2026年9月14日(月)

一般セッション(ポスター講演) | ポスターセッション

13:55 ~ 15:25 | 5F大会議室(5F)

[PS-01] ポスターセッション（１）

[PS-01-01] 島原湧水群における水質・同位体特性の長期年変動とマルチトレーサー法による季節変動の解明

*植山 森[1]、藤井 海羽[2]、隈井 美帆[2]、利部 慎[1] (1. 長崎大学総合生産科学研究科、2. 長崎大学環境科学部)

[PS-01-02] 甲府盆地における地下水涵養源推定に有効な水質トレーサーの検討

*松浦 拓哉[1] (1. 山梨大学大学院総合研究部)

[PS-01-03] 参加型モデリングによるグリーンインフラ導入支援手法の検討

*横井 美也陽[1]、新田 友子[2]、森田 紘圭[3]、中村 晋一朗[4] (1. 日本工営株式会社、2. 中央大学、3. 大日本ダイヤコンサルタント株式会社、4. 名古屋大学)

[PS-01-04] Initial Memory Conditions and Multi-scale Dynamics in Socio- Hydrological (SH) Flood Modeling in Nagoya City

*Muthiah Sadidah[1,2], Daisuke Komori[1,2,3], Tachikawa Ryohei[4] (1. Graduate School of Environmental Studies, Tohoku University, Sendai 980-8572, Japan, 2. Green Goals Initiative Laboratory, Tohoku University, Sendai 980-8572, 3. International Research Institute of Disaster Science, Tohoku University, Sendai 980-8572, 4. Department of Civil and Environmental Engineering, Tohoku University, Sendai 980-8579, Japan)

[PS-01-05] 次世代マイクロ波放射計SAMRAIによる水蒸気鉛直分布推定の初期検討

*鶴岡 整[1]、グェン タットトルン[2]、内海 信幸[3] (1. 東京科学大学 環境・社会理工学院 土木工学コース、2. 宇宙航空研究開発機構 第一宇宙技術部門、3. 東京科学大学 環境・社会理工学院)

[PS-01-06] 一級河川におけるLiDAR DEM を用いた堤防位置および高さの推計精度の検証

*吉村 湧[1]、Do Ngoc Khanh[2]、日置江 桂[3]、山崎 大[4]、平林 由希子[5] (1. 芝浦工業大学　大学院理工学研究科、2. 芝浦工業大学　SIT総合研究所、3. （株）ウェザーニュース、4. 東京大学　生産技術研究所、5. 芝浦工業大学　工学部土木工学課程)

[PS-01-07] Sentinel-2衛星画像と機械学習を用いた山梨県および河道内における外来樹種ニワウルシの検出

*青木 実伶[1]、馬籠 純[2]、石平 博[2]、相馬 一義[2]、安田 泰輔[3] (1. 山梨大学大学院医工農学総合教育部、2. 山梨大学 国際流域環境研究センター、3. 山梨県 富士山科学研究所)

[PS-01-08] SWOT衛星観測に基づく河川水面標高の時空間補完と地上観測による精度評価

*原 幸那[1]、鼎 信次郎[1] (1. 東京科学大学　環境・社会理工学院)

[PS-01-09] 複数反射体を用いた地上デジタル放送波による水蒸気量変動観測の降雨事例解析
－ 大気下層の空間的不均一性に着目して －

*今 颯人[1]、永井 佑佳[2]、小田 僚子[2]、花土 弘[3]、川村 誠治[3]、河谷 能幸[3] (1. 千葉工業大学 創造工学研究科都市環境工学専攻、2. 千葉工業大学 創造工学部都市環境工学科、3. 国立研究開発法人 情報通信研究機構)

[PS-01-10] Improving remote Urban Flood Mapping leveraging Global Building Data and Dual-Polarisation SAR

*Simeon Wagener[1,2], Tomohito Yamada[1], Xiaoxiang Zhu[2] (1. Graduate School of Engineering, Hokkaido University, 2. Data Science in Earth Observation, Technical University of Munich)

[PS-01-11] AMSR2(D),SMAP(D),SMOS(A)のL2土壌水分プロダクツのJAXAモンゴル試験域での比較検証

*開發 一郎[1]、辻本 久美子[2]、広瀬 望[3]、会田 健太郎[4]、浅沼 順[5] (1. 広島大学名誉教授、2. 岡山大学、3. 松江工業高等専門学校、4. （国研）宇宙航空研究開発機構(JAXA)、5. 筑波大学)

[PS-01-12] 高解像度の光学衛星画像による四国地方における農業用ため池の検出

*松崎 塔子[1]、内海 信幸[1]、渡部 哲史[2] (1. 東京科学大学大学院 環境・社会理工学院 土木・環境工学系、2. 九州大学大学院 比較社会文化研究院)

[PS-01-13] 衛星観測流量を用いたバイアス補正と正規化水面標高同化を組み合わせた河川流量再解析

*児島 幸紀[1]、山崎 大[2] (1. 東京大学 工学系研究科、2. 東京大学 生産技術研究所)

© 2026 水文・水資源学会/日本水文科学会

[PS-01-14] Detection of Flood-Related Large-Scale Climate Patterns Using Self-Organizing Maps and Ocean–Atmosphere Regime Analysis

*Wilmat Delankage Sineth Madusanka Priyasiri[1], Sunmin Kim[1], Yasuto Tachikawa[1] (1. Graduate School of Engineering, Kyoto University)

[PS-01-15] 高解像度な河川分断度評価と生物多様性に関する研究

*古厩 瑞希[1]、馬籠 純[2]、石平 博[2]、相馬 一義[2]、松尾 なずな[3] (1. 山梨大学　医工農学総合教育部、2. 山梨大学 国際流域環境研究センター、3. 山梨県庁)

[PS-01-16] 陸面過程モデルSiBUCを用いたイシククル湖表面温度の再現に関する基礎的検討

*新 凌太郎[1]、萬 和明[2]、田中 賢治[2]、Temur Khujanazarov[2]、峠 嘉哉[3] (1. 京都大学大学院 工学研究科、2. 京都大学 防災研究所、3. 千葉大学 環境リモートセンシング研究センター)

[PS-01-17] 宍道湖における酸素・水素安定同位体比の変動要因の評価

*服部 吾郎[1]、吉岡 有美[2]、瀬戸 浩二[3] (1. 岐阜大学 自然科学技術研究科、2. 岐阜大学 応用生物科学部、3. 島根大学 エスチュアリー研究センター)

[PS-01-18] 土地被覆変化と水質の関係による生態環境への影響評価

*髙橋 智也[1]、川越 清樹[2]、薮崎 志穂[3] (1. 福島大学大学院 共生システム理工学研究科、2. 福島大学 共生システム理工学類、3. 総合地球環境学研究所)

[PS-01-19] 高水敷圃場の浸水特性と農業生産の持続性評価

*我妻 成貴[1]、川越 清樹[2]、齋藤 洋介[3] (1. 福島大学大学院　共生システム理工学研究科、2. 福島大学　共生システム理工学類、3. 陸奥テックコンサルタント株式会社)

[PS-01-20] Hydrological Implications of AMOC-Driven Climate Change in 12 Global Cities

*Muhammad Umer[1], Naota Hanasaki[1] (1. National Institute for Environmental Studies (NIES))

[PS-01-21] AMSR２やMODISなどの衛星観測データを用いたモンゴル高原における陸面水文量の不均一性評価

*広瀬 望[1] (1. 松江工業高等専門学校環境・建設工学科)

[PS-01-22] 令和6年能登豪雨を対象にした確率的イベントアトリビューション

*井川 椋介[1] (1. 京都大学院　工学研究科)

[PS-01-23] 河川堤防の侵食破堤確率を考慮した気候変動の影響評価

*高橋 克弥[1]、呉 修一[1]、山田 莉久[2]、沼澤 蓮音[2] (1. 富山県立大学、2. 富山県立大学大学院)

[PS-01-24] 気候変動が山梨・静岡の土砂災害危険度に与える影響評価へ向けた基礎的検討

*長谷川 大祐[2]、相馬 一義[1]、大槻 順朗[1]、松浦 拓哉[1]、馬籠 純[1]、石平 博[1] (1. 山梨大学 大学院総合研究部 、2. 山梨大学大学院医工農学総合教育部)

[PS-01-25] 琵琶湖・淀川流域を対象とした気候変動進行時における森林整備効果の定量評価

*田中 裕士[1]、大八木 豊[1]、永井 椋[1]、辻倉 裕喜[1]、田中 賢治[2]、山本 裕依子[3] (1. 株式会社建設技術研究所 大阪本社 水システム部、2. 京都大学 防災研究所、3. 関西広域連合 本部事務局)

[PS-01-26] 気候変動が洪水・渇水規模および頻度に与える影響評価

*園田 至偲[1]、丸谷 靖幸[2]、瀬戸口 裕也[1]、田中 智大、渡部 哲史 (1. 九州大学大学院工学府土木工学専攻、2. 九州大学大学院工学研究院)

[PS-01-27] 筑後川流域における土地利用・土地被覆の将来予測

*高田 尚輝[1]、丸谷 靖幸[2]、芳賀 智宏[3]、渡部 哲史[4] (1. 九州大学大学院 工学府 土木工学専攻、2. 九州大学大学院工学研究院、3. 東京大学大学院理学系研究科、4. 九州大学大学院比較社会文化研究院)

[PS-01-28] 日本における気候変動影響予測・適応評価のための日本版SSPsに基づく将来人口データの更新

*吉川 沙耶花[1]、五味 馨[2]、高橋 潔[2]、松橋 啓介[2]、真砂 佳史[2] (1. 長崎大学　総合生産科学域、2. 国立環境研究所)

[PS-01-29] 気候変動が遠隔オフグリッド地域における小水力発電の持続性に及ぼす影響―インドネシア農村集落を対象とした発電量と停電日数の評価事例―

*髙田 亜沙里[1]、佐藤 辰郎[2]、御田 成顕[3]、遠藤 いず貴[4]、篠塚 賢一[5]、井手 淳一郎[6] (1. 農業・食品産業技術総合研究機構　農村工学研究部門、2. 九州大学工学研究院　附属アジア防災研究センター、3. 森林研究・整備機構　森林総合研

© 2026 水文・水資源学会/日本水文科学会

究所、4. 北海道立総合研究機構　森林研究本部　林業試験場、5. 岐阜大学　流域圏科学研究センター、6. 公立千歳科学技術大学　理工学部)

[PS-01-30] 気候変動に伴う豪雨災害の激甚化評価：平成30年7月豪雨を対象とした将来予測シミュレーション

今田 由紀子[2]、日比野 研志[2]、梶谷 義雄[3]、金田 幸恵[8]、川瀬 宏明[1]、高藪 出[1]、*仲江川 敏之[1]、村田 昭彦[1]、佐山 敬洋[4]、竹見 哲也[4]、多々納 裕一[4]、立川 康人[4]、田中 智大[4]、中北 英一[4]、藤見 俊夫[4]、森 信人[4]、塩竈 秀夫[5]、肱岡 靖明[5]、山田 朋人[6]、若月 泰孝[7] (1. 気象研究所、2. 東京大学、3. 香川大学、4. 京都大学、5. 国立環境研究所、6. 北海道大学、7. 茨城大学、8. 名古屋大学)

[PS-01-31] 堤防を対象としたミュー粒子測定によるボーリング調査を用いた構造物探査方法の高度化の検討

*米澤 一景[1]、宮本 真希[2]、並河 奎伍[3]、小山 直紀[4]、寺井 しおり[4]、山田 正[4]、山田 朋人[2] (1. 北海道大学 工学院、2. 北海道大学大学院工学研究院、3. 国立研究開発法人土木研究所 河道保全研究グループ 水工チーム、4. 中央大学研究開発機構)

[PS-01-32] 極値統計理論を用いた雨量と河川流量の非定常性に関する応答解析

*中後 亮哉[1]、本木 翔雲[1]、清水 啓太[2]、山田 朋人[2] (1. 北海道大学大学院工学院、2. 北海道大学工学研究院)

[PS-01-33] 異なるアンサンブル生成手法を用いた線状降水帯に伴う降雨の最悪シナリオの推定：2025年熊本事例における検討

*大野 哲之[1]、平賀 優介[2] (1. 関西大学社会安全学部、2. 東北大学工学研究科)

[PS-01-34] GSMaP_NOW データに基づく 120 分先の雨域移動予測における減衰考慮の影響評価

*小林 涼太[1]、手計 太一[2] (1. 中央大学大学院理工学研究科、2. 中央大学理工学術院)

[PS-01-35] 地形のパラメタリゼーションがもたらす山地周辺における降雨量の変化

*岡地 寛季[1]、山田 朋人[2] (1. 中部大学 工学部都市建設工学科、2. 北海道大学 大学院工学研究院)

[PS-01-36] 気象場の遷移過程に着目した機械学習降雨予測モデルの開発と淀川流域への適用

*井上 陽雲[1]、kim sunmin[1]、立川 康人[1] (1. 京都大学 工学研究科社会基盤工学専攻)

[PS-01-37] GSM-GPVを用いた機械学習ダウンスケーリング・バイアス補正手法の開発

*吉兼 隆生[1] (1. 株式会社プリシジョンアース　研究開発部)

[PS-01-38] ドローンを用いた上空の降水粒子測定における雨滴の捕捉に関する課題

*藪田 哲基[1]、馬渕 慎也[1]、松原 えりな[2]、吉見 和紘[2] (1. 富山県立大学大学院 工学研究科、2. 富山県立大学 工学部 環境・社会基盤工学科)

[PS-01-39] 北日本における線状降水帯の雨量と発生位置を支配する環境場の分析

*田原 亮太郎[1]、平賀 優介[1] (1. 東北大学 工学研究科)

[PS-01-40] WRFによる九州地方の線状降水帯再現に及ぼす側面境界配置の影響評価

*髙崎 昌幸[1]、豊田 悠太郎[1]、手計 太一[2] (1. 中央大学大学院　理工学研究科、2. 中央大学理工学術院)

[PS-01-41] 内陸アラスカにおける植生変化が蒸発散と降水に与える影響

*奥村 直旦[1]、植山 雅仁[2]、岩田 拓記[3]、檜山 哲哉[4] (1. 名古屋大学 環境学研究科、2. 大阪公立大学 農学研究科、3. 信州大学 理学部、4. 名古屋大学 宇宙地球環境研究所)

[PS-01-42] モンゴル北部・ヘンティー山脈の夏季降水に対する陸面の寄与

*沢田 芙祐子[1]、檜山 哲哉[2]、藤波 初木[2] (1. 名古屋大学 大学院 環境学研究科、2. 名古屋大学 宇宙地球環境研究所)

[PS-01-43] 全球数値予報モデルの降水を用いたキキクル週間予報― 台風事例を対象とした初期的評価 ―

*池田 翔[1]、太田 琢磨[1] (1. 気象研究所 応用気象研究部)

[PS-01-44] MSMから推定した融解層高度に基づくVILの積算高度を考慮したVILナウキャストの検討

*馬渕 慎也[1]、吉見 和紘[2] (1. 富山県立大学大学院工学研究科、2. 富山県立大学工学部)

[PS-01-45] 夏季の欧州域で発生する大雨を対象とした領域気象モデルによる再現の検討

*宮本 真希[1]、山田 朋人[1] (1. 北海道大学大学院工学研究院)

[PS-01-46] 6か月アンサンブル予報による領域平均降水量の予測特性の評価

© 2026 水文・水資源学会/日本水文科学会

*相原 星哉[1]、吉田 武郎[1]、髙田 亜沙里[1]、皆川 裕樹[2] (1. 農研機構農村工学研究部門、2. 農林水産省農林水産技術会議事務局)

[PS-01-47] Evaluating the Scalability Limits of Distributed Hydrological Modelsand the Role of Representing Hillslope in a Grid-Cell

*Seonjun Choi Choi[1], Tomohiro Tanaka[2], Takahiro Sayama[2], Sugawara Yoshito[2] (1. Graduate School of Engineering, Kyoto University, 2. Disaster Prevention Research Institute)

[PS-01-48] 降水量と気温のみを用いた降雪・積雪・融雪モデルの検討　―　積雪深と積雪底面流出量の推定精度　―

*高瀬 恵次[1,2]、藤原 洋一[1]、伊藤 優子[3]、竹内 由香里[3]、小倉 晃[4] (1. 石川県立大学、2. (株) ホクコク地水、3. 森林総合研究所、4. 石川県)

[PS-01-49] メッシュ気象データを活用した積雪水量と融雪流出予測の精度向上の提案

*平沢 陽子[1,2]、黒滝 紗永[3]、中津川 誠[1] (1. 室蘭工業大学大学院工学研究科、2. 一般財団法人日本気象協会、3. 岩田地崎建設株式会社北海道土木本店土木部工事課)

[PS-01-50] 冬季の降水形態と地上気温および湿球温度の関係の分析

*長谷川 禎史[1]、山田 朋人[2] (1. 北海道大学 大学院工学院、2. 北海道大学 大学院工学研究院)

[PS-01-51] 北海道を対象とした雪水比の地域特性

*石原 知咲[1]、髙田 尚輝[1]、大屋 祐太[2]、丸谷 靖幸[3] (1. 九州大学大学院 工学府、2. 北海道立総合研究機構、3. 九州大学大学院 工学研究院)

[PS-01-52] 熱収支法・Degree-hour 法・SNOWPACK による積雪下面流出量の比較

*山田 嵩」[1]、山田 朋人[2] (1. 寒地土木研究所、2. 北海道大学)

[PS-01-53] 富山県を対象とした機械学習を用いた積雪深予測の基礎検討

*松原 えりな[1]、馬渕 慎也[2]、吉見 和紘[1] (1. 富山県立大学 工学部、2. 富山県立大学大学院　工学研究科)

[PS-01-54] 北海道十勝地方の豪雪に対する海洋熱波による影響の評価

*金城 敦也[1]、岡地 寛季[2]、宮本 真希[3]、山田 朋人[3] (1. 北海道大学大学院工学院、2. 中部大学工学部、3. 北海道大学大学院工学研究院)

[PS-01-55] 釧路湿原の水循環に関する蒸発散を踏まえた将来の有効降雨量の推定

*山本 太郎[1]、大橋 弘紀[2]、佐々木 知子[2]、嵯峨井 聖貴[3]、小泉 和久[3] (1. 一般財団法人北海道河川財団、2. 応用地質株式会社、3. 国土交通省北海道開発局)

[PS-01-56] スギ林における地点樹冠通過雨量の空間分布が雨樋による樹冠通過雨計測に及ぼす影響

*飯田 真一[1]、清水 貴範[1]、小田 智基[1]、岩上 翔[1]、南光 一樹[2]、レヴイア デルフィス[3] (1. 森林総合研究所、2. 東京農工大学、3. デラウェア大学)

[PS-01-57] カンボジア王国の低地乾燥常緑林における森林劣化が生態系の気象環境・水利用効率に及ぼす影響について

*清水 貴範[1]、飯田 真一[1]、壁谷 直記[1]、清水 晃[1]、伊藤 江利子[1]、玉井 幸治[1]、大貫 靖浩[1]、宮沢 良行[2]、田中 憲蔵[3]、植山 雅仁[4] (1. 森林研究・整備機構　森林総合研究所、2. 琉球大学、3. 国際農林水産業研究センター、4. 大阪公立大学)

[PS-01-58] 花崗岩流域における地下水位変動の再現と山体内部の水理特性評価

*小谷 隼人[1]、内田 龍彦[1]、海堀 正博[2] (1. 広島大学先進理工系科学研究科、2. 広島大学防災・減災センター)

[PS-01-59] 森林施業と森林火災が流量応答に及ぼす影響の比較　―年流出高と低水流量に着目して―

*綿貫 翔[1] (1. サントリーグローバルイノベーションセンター株式会社 水科学研究所)

[PS-01-60] 大船渡市林野火災における焼損度の違いがスギの成長に与える影響

*篠原 慶規[1]、秋山 星龍[1]、岩井 晴[1]、峠 嘉哉[2] (1. 宮崎大学 農学部、2. 千葉大学 国際高等研究基幹)

[PS-01-61] 福島県の森林斜面における^{137}Cs蓄積量の時空間的変動：豪雨による森林斜面での^{137}Csの移動

*小田 智基[1]、大手 信人[2]、田野井 慶太朗[3] (1. 森林総合研究所 森林防災研究領域、2. 京都大学 大学院情報学研究科、3. 東京大学 農学生命科学研究科)

© 2026 水文・水資源学会/日本水文科学会

[PS-01-62] 常緑広葉樹林における降雨強度が遮断蒸発特性に与える影響

*鈴木 孝一[1]、篠原 慶規[1]、髙木 正博[1]、阿部 悠南[2]、飯田 真一[3]、田中 延亮[4]、久米 朋宣[5] (1. 宮崎大学　農学部、2. 宮崎大学　農学研究科、3. 森林総合研究所、4. 東京大学　農学生命科学研究科、5. 九州大学　農学研究院)

[PS-01-63] 飯館村のスギ林における間伐後の下層植生の変化が土壌水分動態，地面蒸発および林分蒸散に与える影響

*築田 桃果[1]、岩本 樹里[2]、上原 雄正[1]、高村 詩央里[1]、恩田 裕一[3] (1. 筑波大学 理工情報生命学術院 、2. 筑波大学 生命環境学群地球学類、3. 筑波大学 放射線・アイソトープ地球システム研究センター)

[PS-01-64] 降雨流出時の細菌叢動態調査用渓流水試料の常温放置時間の影響に関する予察的検討

*細田 育広[1] (1. 森林総合研究所関西支所)

[PS-01-65] 源流域河川における小規模ログジャムの解体に伴う出水時の濁度変化

*芳賀 弘和[1]、佐古 龍哉[2]、篠塚 賢一[3] (1. 鳥取大学農学部、2. 鳥取大学大学院、3. 岐阜大学高等研究院)

[PS-01-66] 高時間分解能の日本全国の降水安定同位体比に見られる変動の同時性

*勝山 正則[1]、福澤 加里部[2]、福島 慶太郎[3]、岩崎 健太[4]、南光 一樹[5]、大西 健夫[6]、江草 智弘[7]、牧野 奏佳香[8]、鎌倉 真依[9]、東 若菜[10]、芳賀 弘和[11]、兵藤 不二夫[12]、久米 朋宣[13]、片山 歩美[13]、篠原 慶規[14] (1. 京都府立大学大学院生命環境科学研究科、2. 北海道大学 北方生物圏フィールド科学センター 森林圏ステーション、3. 福島大学 食農学類、4. 森林総合研究所、5. 東京農工大学 農学研究院、6. 岐阜大学 応用生物科学部、7. 静岡大学 農学部、8. 福井県立大学 生物資源学部、9. 龍谷大学 先端理工学部、10. 神戸大学 農学研究科、11. 鳥取大学 農学部、12. 岡山大学 学術研究院、13. 九州大学 農学研究院、14. 宮崎大学 農学部)

[PS-01-67] 流域治水に向けた降雨イベントごとの雨量-流出特性の把握

*大内 憲人[1]、島谷 幸宏[1] (1. 熊本県立大学)

© 2026 水文・水資源学会/日本水文科学会

2026年9月15日(火)

一般セッション(ポスター講演) | ポスターセッション

10:10 ~ 11:40 | 5F大会議室(5F)

[PS-02] ポスターセッション（２）

[PS-02-01] Evaluating the Role of Buffer-Zone Analysis and Localized LULC Transitions in Differentiating Landslide and Non-Landslide Catchments in Java, Indonesia

*CORRY AINA[1], Jun MAGOME[2], Kazuyoshi SOUMA[2], Hiroshi ISHIDAIRA[2] (1. Department of Engineering, Integrated Graduate School of Medicine, Engineering and Agricultural Sciences, University of Yamanashi, 2. Interdisciplinary Centre for River Basin Environment)

[PS-02-02] Improving CaMa-Flood Inundation Estimates using One-Coin Sensor Data in Ogaki City

Muhammad Hasnain Aslam[1], *Yuki Kita[1] (1. Gaia Vision Inc.)

[PS-02-03] 1000メンバーアンサンブル土砂災害危険度予測‐令和2年7月豪雨の九州地方を対象として‐

*瀬戸 里枝[1]、鼎 信次郎[2]、大泉 伝[1]、太田 琢磨[1]、川畑 拓矢[1]、佐々木 織江[2]、Le Anh[3] (1. 気象庁気象研究所、2. 東京科学大学、3. 東京大学)

[PS-02-04] 筑後川下流域における伝統的水管理「モタセ」による水害抑制機能の評価

*金子 貴信[1]、吉川 夏樹[2]、木村 匡臣[3]、長野 宇規[4] (1. 新潟大学大学院 自然科学研究科、2. 新潟大学農学部、3. 近畿大学農学部、4. 神戸大学大学院農学研究科)

[PS-02-05] MEPSを用いた洪水のタイムラグアンサンブル手法の開発

*大泉 伝[1]、小林 健一郎[2]、川畑 拓矢[3]、太田 琢磨[4] (1. 気象研究所 気象予報研究部、2. 埼玉大学 理工学研究科、3. 気象研究所 気象観測研究部、4. 気象研究所 応用気象研究部)

[PS-02-06] 堤防を考慮した全球河川氾濫モデルによるデータ不足地域の洪水リスク推計の評価

*西井 大晟[1]、平林 由希子[2]、山崎 大[3]、Zhao Gang[4] (1. 芝浦工業大学 理工学研究科、2. 芝浦工業大学 工学部土木工学課程、3. 東京大学生産技術研究所、4. 東京科学大学)

[PS-02-07] 田んぼダムの流域内実施位置が浸水被害軽減効果に及ぼす影響
～山形県京田川流域を事例として～

*菅原 正道[1]、井上 祐樹[1]、宮津 進[2] (1. 新潟大学大学院 自然科学研究科 農業水利学研究室、2. 新潟大学 農学部)

[PS-02-08] 水災害の被害低減に向けた居住誘導とコンパクトシティの検討

*羽田 航大[1]、呉 修一[2]、宮田 英寿[1] (1. 富山県立大学大学院、2. 富山県立大学)

[PS-02-09] 富山市内の中小河川を対象とした水田貯留の軽減効果に関する基礎的研究

*萱沼 友祐[1]、馬渕 慎也[2]、吉見 和紘[1] (1. 富山県立大学　工学部、2. 富山県立大学大学院　工学研究科)

[PS-02-10] 三次元防災教育コンテンツに対する印象評価の統計的分析

*児玉 睦希[1]、小野 桂介[2] (1. 東北工業大学大学院、2. 東北工業大学)

[PS-02-11] 再解析データに基づく洪水リスクの広域評価—2025年11月スマトラ島事例—

*中村 要介[1]、阿部 紫織[1]、アマリア ウィジャヤンティ[1] (1. 三井共同建設コンサルタント株式会社)

[PS-02-12] 戦後の水利用と水インフラの変遷を組み込んだ関東平野の長期水資源シミュレーション

*井手 淨[1]、花崎 直太[1] (1. 国立環境研究所)

[PS-02-13] 東京都管理河川における治水計画と調節池の整備経緯

*石原 成幸[1]、天口 英雄[1]、高崎 忠勝[1] (1. 東京都立大学 都市環境科学研究科)

[PS-02-14] 給水・発電・環境流量を統合した
Kafue 川流域における多目的最適化フレームワークの構築

*藪 和史[1]、梶山 青春[2]、花崎 直太[3]、鼎 信次郎[4] (1. 東京科学大学 環境・社会理工学院 融合理工学系、2. 韓国科学技術院、3. 国立環境研究所 気候変動適応センター、4. 東京科学大学 環境・社会理工学院 土木工学系)

[PS-02-15] 水文（気象）条件に対応した灌漑面積変化の水資源モデルへの導入

© 2026 水文・水資源学会/日本水文科学会

*相京 雄大[1]、花崎 直太[2]、平林 由希子[3] (1. 芝浦工業大学大学院 理工学研究科、2. 国立環境研究所 気候変動適応センター、3. 芝浦工業大学 工学部土木工学課程)

[PS-02-16] 都市取水モデルHydroUrbanMapの実データ検証に基づく体系的乖離の分析

*真庭 唯花[1]、藪 和史[1]、梶山 青春[2]、鼎 信次郎[1]、花崎 直太[3] (1. 東京科学大学　環境・社会理工学院、2. 韓国科学技術院、3. 国立環境研究所)

[PS-02-17] 仮想貯水池における出穂期の事前放流の空振りが水稲の減収に与える影響評価

*池本 敦哉[1]、風間 聡[1] (1. 東北大学)

[PS-02-18] 秩父の森の多面的機能の定量評価

*大八木 豊[1]、福田 裕恵[2]、金目 達弥[2]、田中 裕士[1]、永井 椋[1]、後藤 颯太[2]、山田 夏希[2]、関 隆史[3]、笠井 知洋[4]、竹内 えり子[5] (1. 株式会社 建設技術研究所 大阪本社 水システム部、2. 株式会社 建設技術研究所 東京本社 、3. ミドリクNbS株式会社、4. 秩父市役所、5. 大正大学)

[PS-02-19] ダム貯水池がもたらす水安定同位体比の河川分断の評価

*吉岡 有美[1]、吉岡 秀和[2] (1. 岐阜大学　応用生物科学部、2. 北陸先端科学技術大学院大学　先端科学技術研究科)

[PS-02-21] Seasonal variations in nutrient at the downstream of a river with groundwater interaction

*Chanthang Chin[1], Shin-ichi Onodera[1], Mitsuyo Saito[1], Nang Yu War[1], Yusuke Tomozawa[1], Miho Awamura[1], Kelly Tiku Tarh[1], Sharon Bih Kimbi[1] (1. Graduate School of Advanced Science and Engineering, Hiroshima University)

[PS-02-22] CNN-RNNを用いた流出予測に関する研究

*高橋 陽真[1] (1. 岐阜大学大学院　自然科学技術研究科)

[PS-02-23] d4PDFと2変量一般化パレート分布を用いた基準地点を中心とした高水流量算定手法の上流における適用性の検証

*内村 在誠[1]、田中 智大[2]、佐山 敬洋[2] (1. 京都大学大学院 工学研究科 社会基盤工学専攻、2. 京都大学 防災研究所)

[PS-02-24] 簡略化メタ統計的極値分布に基づく地域頻度解析による確率雨量推定の安定性

*崎川 和起[1]、近森 秀高[2] (1. 農研機構、2. 岡山大学学術研究院環境生命自然科学学域)

[PS-02-25] 日本域長期再解析データRRJ-Convによる極値降雨の空間特性評価

*岩部 幸雄[1]、平賀 優介[1]、田原 亮太郎[1] (1. 東北大学大学院工学研究科)

[PS-02-26] メコン川流域におけるダム運用がメコンデルタへの土砂輸送量に及ぼす影響

*江尻 幸太[1]、都築 航太[1]、手計 太一[2] (1. 中央大学 理工学研究科、2. 中央大学大学理工学術院)

[PS-02-27] 再解析短波放射データの地形補正の改良と精度評価

*新川 遥也[1]、田中 賢治[2]、峠 嘉哉[3]、Khujanazarov Temur[2]、萬 和明[2] (1. 京都大学大学院工学研究科地域水環境システム研究領域、2. 京都大学防災研究所、3. 千葉大学リモートセンシング研究センター)

[PS-02-28] 福島県浪江町の地下水の水質と水位変化の特徴

*藪崎 志穂[1]、川越 清樹[2] (1. 総合地球環境学研究所 基盤研究部、2. 福島大学 共生システム理工学類)

[PS-02-29] 白川中流域の人工涵養が熊本地域の地下水に与える影響の推定

*一柳 錦平[1]、Rahmawan Irfan[2]、長岡 輝[2] (1. 熊本大学先端科学研究部、2. 熊本大学自然科学研究部)

[PS-02-30] 京都市の屋上緑化が気温低減に及ぼす効果に関する基礎的研究

*疋田 真珠子[1]、田中 賢治[2] (1. 京都大学大学院工学研究科都市社会専攻、2. 京都大学防災研究所水資源環境研究センター)

[PS-02-31] タイ首都圏における水害時避難行動と寺院の避難所利用可能性

*坂部 雅弥[1]、都築 航太[1]、手計 太一[2] (1. 中央大学大学院 理工学研究科、2. 中央大学理工学術院)

[PS-02-32] 二次元格子に基づく下水道モデルを用いた内水氾濫計算

*山口 駿希[1]、市川 温[2] (1. 京都大学　工学研究科　河川流域マネジメント工学講座、2. 京都大学大学院経営管理研究部)

[PS-02-33] 団粒構造を考慮した地表面エネルギー収支を伴うDual-domain土壌水分移動モデルによる保水・排水特性の評価

© 2026 水文・水資源学会/日本水文科学会

*相良 志織[1]、山田 朋人[2] (1. 北海道大学大学院工学院、2. 北海道大学大学院工学研究院)

[PS-02-34] Impact of soil moisture initial conditions on flood risk in Hokkaido, Japan

*Julie ANDRE[1], Tomohito Yamada[1] (1. Graduate School of Engineering, Hokkaido University)

[PS-02-35] ため池揚水発電システムのため池灌漑地区への適用

*木原 昂[1]、谷口 智之[2]、岩田 幸良[2]、堀 俊和[3]、泉 明良[3] (1. 九州大学大学院生物資源環境科学府、2. 九州大学大学院農学研究院、3. 農研機構農村工学研究部門)

[PS-02-36] 灌漑地における塩類集積潜在リスク分布

*北村 裕和[1]、吉川 沙耶花[2] (1. 長崎大学大学院　総合生産科学研究科、2. 長崎大学　総合生産科学域)

[PS-02-37] 印旛沼循環灌漑地区における排水路内堆積を考慮した一時間間隔での全窒素解析

*岩崎 隼也[1]、飯田 俊彰[2] (1. 株式会社建設技研インターナショナル、2. 立正大学地球環境科学部)

[PS-02-38] 石礫床河川における河道内植生繁茂と土砂動態の数値解析

*山本 道[1]、風間 聡[1] (1. 東北大学大学院工学研究科土木工学専攻)

[PS-02-39] 立地選択モデルを用いた人口減少下における防災集団移転促進事業の動学的費用便益分析

*﨑山 賢人[1]、田中 智大[2]、市川 温[3] (1. 中央復建コンサルタンツ株式会社、2. 京都大学防災研究所、3. 京都大学大学院経営管理研究部)

[PS-02-40] 環境要因と人口要因に基づく耕作放棄地の土地利用評価と湿地化検討

*小島 彩也乃[1]、川越 清樹[2] (1. 福島大学　共生システム理工学研究科、2. 福島大学　共生システム理工学類)

[PS-02-41] 荒廃地域の樹林による土砂流出影響とEco-DRR効果への効果

*星 歩武[1]、川越 清樹[1]、鈴木 皓達[2] (1. 福島大学、2. 三井共同建設コンサルタント)

[PS-02-42] 洪水許容と水害防備林による中小河川の流域治水対策の数値実験

*仁野平 未來[1]、川越 清樹[1]、鈴木 皓達[2] (1. 福島大学共生システム理工学研究科、2. 三井共同建設コンサルタント)

[PS-02-43] 香川県における線引き廃止前後での水害曝露状況に関する分析

*平井 孝明[1]、市川 温[2,1] (1. 京都大学 工学研究科、2. 京都大学大学院 経営管理研究部)

[PS-02-44] 機械学習を用いた取水制限に影響を与える水文量の分析

*近藤 大紀[1]、ティヌンバン アウリア[1]、立川 康人[1] (1. 京都大学 工学研究科社会基盤工学専攻)

[PS-02-45] Impact of Land Cover Dynamics on Seasonal Inflow: A 38-Year Case Study of Saguling Dam

*YUANGGA RIZKY ILLAHI[1], JUN MAGOME[2], KAZUYOSHI SOUMA[2], HIROSHI ISHIDAIRA[2] (1. Integrated Graduate School of Medicine, Engineering and Agricultural Sciences, University of Yamanashi, 2. Interdisciplinary Center for River Basin Environment, University of Yamanashi)

[PS-02-46] Development of Flood Forecast Model
Integrating Local Irrigation Planning on Lombok Island, Indonesia

*Amalia Wijayanti[1], Nakamura Yosuke[1], Abe Shiori[1], Higashiguchi Hiroshi[1], Eka Nugraha Abdi[2] (1. Mitsui Consultant Co., Ltd., 2. Nusa Tenggara 1 River Basin Organization)

[PS-02-47] 氾濫の許容による流域の流出特性と被害特性に関する数値実験

*宇賀神 瑠杜[1]、横尾 善之[2]、風間 聡[1] (1. 東北大学 工学研究科、2. 福島大学 共生システム理工学類)

[PS-02-48] 遮断蒸発モデルの仮定が流出予測に及ぼす影響

*籾山 寛樹[1]、熊谷 朝臣[2]、藤目 直也[3]、江草 智弘[4]、清水 貴範[1] (1. 国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所、2. 東京大学大学院 農学生命科学研究科、3. アジア航測株式会社、4. 静岡大学 農学部)

[PS-02-49] サロゲートモデルを用いたRRIモデルの大域的感度分析

*谷口 雅明[1]、工藤 亮治[1]、近森 秀高[1] (1. 岡山大学 環境生命自然科学研究科)

[PS-02-50] サブグリッド河道および水分保持曲線を導入した新しいRRIモデルの土壌パラメータに対する感度分析

*中村 菜々子[1]、菅原 快斗[2]、田中 智大[2]、佐山 敬洋[2] (1. 京都大学大学院工学研究科、2. 京都大学防災研究所)

© 2026 水文・水資源学会/日本水文科学会

[PS-02-51] 効果的に河川流量を低減する豪雨制御に向けた降雨量の時空間分布と河川流量の関係分析に関する基礎的検討

*小畑 俊平[1]、萬 和明[1]、田中 賢治[1] (1. 京都大学　防災研究所　水資源環境研究センター　地域水環境システム研究分野)

[PS-02-52] 筑後川流域における高出水を誘発する降水特性の分析と将来予測

*瀬戸口 裕也[1]、丸谷 靖幸[1]、渡部 哲史[2] (1. 九州大学大学院、2. 九州大学比較社会文化研究院)

[PS-02-53] 高速版陸面過程モデルによる大規模アンサンブルを用いたコロラド川流域における流量感度係数の分析

*樋口 淳紀[1]、鼎 信次郎[1] (1. 東京科学大学 環境・社会理工学院)

[PS-02-54] 拠点スケールの水資源リスク評価を見据えた全国3次元地表地下連成水循環モデルの開発

*深沢 壮騎[1]、多田 和広[1] (1. 株式会社地圏環境テクノロジー 開発部)

[PS-02-55] RUSLEモデルを用いた石川・富山における土砂生産量の算定と適用性の検証

*中尾 朔也[1]、呉 修一[2] (1. 富山県立大学大学院、2. 富山県立大学)

[PS-02-56] RRIモデルにおける解像度が洪水流出特性に与える影響の評価

*阿部 紫織[1]、Amalia Wijayanti[1]、中村 要介[1] (1. 三井共同建設コンサルタント株式会社)

[PS-02-57] 釧路湿原における水路網が洪水時の水動態に及ぼす影響

*伊藤 毅彦[1]、ポジラパチャイ ワルス[1]、山田 朋人[1] (1. 北海道大学)

[PS-02-58] 集中型モデルと水質トレーサーを用いた降水の貯留・流出特性の比較

*石井 創大[1]、横尾 善之[2] (1. 福島大学共生システム理工学研究科、2. 福島大学共生システム理工学類)

[PS-02-59] 水質計を用いた阿武隈川の炭素輸送量の時間変動解析

*石井 佑弥[1]、横尾 善之[2,3] (1. 福島大学大学院共生システム理工学研究科、2. 福島大学共生システム理工学類、3. 水素エネルギー総合研究所)

[PS-02-60] 鉛直準二次元地表・地中流モデルへの地下水流動機構の導入

*普神 素良[1]、市川 温[1] (1. 京都大学大学院工学研究科)

[PS-02-61] フィルター分離法とT-SASを利用した分布型降雨流出モデルのパラメータ同定手法の検討

*谷田部 陽生[1]、横尾 善之[2] (1. 福島大学大学院共生システム理工学研究科、2. 福島大学理工学群共生システム理工学類)

[PS-02-62] 統合型地圏流体シミュレータGETFLOWSを用いた豪雨時の地中水と間隙空気の挙動把握２

*岩上 翔[1]、小田 智基[1]、野口 正二[2] (1. 森林総合研究所、2. 森林総合研究所東北支所)

[PS-02-63] 基岩の異なる山地流域における谷密度と低水流出特性の関係の分析

*竹島 昂輝[1]、普神 素良[1]、立川 康人[1] (1. 京都大学 大学院工学研究科)

[PS-02-64] 雨水管整備下の市街地小流域における分布型流出モデルのパラメータ最適化手法の検討

*宮本 享真[1]、庄 建治朗[1] (1. 名古屋工業大学 大学院 工学研究科)

[PS-02-65] 標高帯間の地下水流動による土壌水分欠損量の時空間分布形成が流出に与える影響

*小椋 崇弘[1]、陸 旻皎[2] (1. 東京大学大学院 農学生命科学研究科 附属演習林、2. 長岡技術科学大学)

[PS-02-66] A preliminary study to understand the process-based SUMMA hydrological model and explore its applicability to basins in Japan

*Kazumasa Fujimura[1], Frank Han[2], Wouter J. M. Knoben[2], Ashley E. Van Beusekom[2], Martyn P. Clark[2] (1. Department of Architecture, Meisei University, 2. Department of Civil Engineering, University of Calgary)

© 2026 水文・水資源学会/日本水文科学会

一般セッション(ポスター講演) | ポスターセッション

2026年9月14日(月) 13:55 ~ 15:25 | 5F大会議室(5F)

[PS-01] ポスターセッション（１）

[PS-01-01] 島原湧水群における水質・同位体特性の長期年変動とマルチトレーサー法による季節変動の解明

*植山 森[1]、藤井 海羽[2]、隈井 美帆[2]、利部 慎[1] (1. 長崎大学総合生産科学研究科、2. 長崎大学環境科学部)

[PS-01-02] 甲府盆地における地下水涵養源推定に有効な水質トレーサーの検討

*松浦 拓哉[1] (1. 山梨大学大学院総合研究部)

[PS-01-03] 参加型モデリングによるグリーンインフラ導入支援手法の検討

*横井 美也陽[1]、新田 友子[2]、森田 紘圭[3]、中村 晋一朗[4] (1. 日本工営株式会社、2. 中央大学、3. 大日本ダイヤコンサルタント株式会社、4. 名古屋大学)

[PS-01-04] Initial Memory Conditions and Multi-scale Dynamics in Socio- Hydrological (SH) Flood Modeling in Nagoya City

*Muthiah Sadidah[1,2], Daisuke Komori[1,2,3], Tachikawa Ryohei[4] (1. Graduate School of Environmental Studies, Tohoku University, Sendai 980-8572, Japan, 2. Green Goals Initiative Laboratory, Tohoku University, Sendai 980-8572, 3. International Research Institute of Disaster Science, Tohoku University, Sendai 980-8572, 4. Department of Civil and Environmental Engineering, Tohoku University, Sendai 980-8579, Japan)

[PS-01-05] 次世代マイクロ波放射計SAMRAIによる水蒸気鉛直分布推定の初期検討

*鶴岡 整[1]、グェン タットトルン[2]、内海 信幸[3] (1. 東京科学大学 環境・社会理工学院 土木工学コース、2. 宇宙航空研究開発機構 第一宇宙技術部門、3. 東京科学大学 環境・社会理工学院)

[PS-01-06] 一級河川におけるLiDAR DEM を用いた堤防位置および高さの推計精度の検証

*吉村 湧[1]、Do Ngoc Khanh[2]、日置江 桂[3]、山崎 大[4]、平林 由希子[5] (1. 芝浦工業大学　大学院理工学研究科、2. 芝浦工業大学　SIT総合研究所、3. （株）ウェザーニュース、4. 東京大学　生産技術研究所、5. 芝浦工業大学　工学部土木工学課程)

[PS-01-07] Sentinel-2衛星画像と機械学習を用いた山梨県および河道内における外来樹種ニワウルシの検出

*青木 実伶[1]、馬籠 純[2]、石平 博[2]、相馬 一義[2]、安田 泰輔[3] (1. 山梨大学大学院医工農学総合教育部、2. 山梨大学国際流域環境研究センター、3. 山梨県 富士山科学研究所)

[PS-01-08] SWOT衛星観測に基づく河川水面標高の時空間補完と地上観測による精度評価

*原 幸那[1]、鼎 信次郎[1] (1. 東京科学大学　環境・社会理工学院)

[PS-01-09] 複数反射体を用いた地上デジタル放送波による水蒸気量変動観測の降雨事例解析 ー 大気下層の空間的不均一性に着目して ー

*今 颯人[1]、永井 佑佳[2]、小田 僚子[2]、花土 弘[3]、川村 誠治[3]、河谷 能幸[3] (1. 千葉工業大学 創造工学研究科都市環境工学専攻、2. 千葉工業大学 創造工学部都市環境工学科、3. 国立研究開発法人 情報通信研究機構)

[PS-01-10] Improving remote Urban Flood Mapping leveraging Global Building Data and Dual-Polarisation SAR

*Simeon Wagener[1,2], Tomohito Yamada[1], Xiaoxiang Zhu[2] (1. Graduate School of Engineering, Hokkaido University, 2. Data Science in Earth Observation, Technical University of Munich)

[PS-01-11] AMSR2(D),SMAP(D),SMOS(A)のL2土壌水分プロダクツのJAXAモンゴル試験域での比較検証

© 2026 水文・水資源学会/日本水文科学会

*開發 一郎[1]、辻本 久美子[2]、広瀬 望[3]、会田 健太郎[4]、浅沼 順[5] (1. 広島大学名誉教授、2. 岡山大学、3. 松江工業高等専門学校、4. （国研）宇宙航空研究開発機構(JAXA)、5. 筑波大学)

[PS-01-12] 高解像度の光学衛星画像による四国地方における農業用ため池の検出

*松崎 塔子[1]、内海 信幸[1]、渡部 哲史[2] (1. 東京科学大学大学院 環境・社会理工学院 土木・環境工学系、2. 九州大学大学院 比較社会文化研究院)

[PS-01-13] 衛星観測流量を用いたバイアス補正と正規化水面標高同化を組み合わせた河川流量再解析

*児島 幸紀[1]、山崎 大[2] (1. 東京大学 工学系研究科、2. 東京大学 生産技術研究所)

[PS-01-14] Detection of Flood-Related Large-Scale Climate Patterns Using Self-Organizing Maps and Ocean–Atmosphere Regime Analysis

*Wilmat Delankage Sineth Madusanka Priyasiri[1], Sunmin Kim[1], Yasuto Tachikawa[1] (1. Graduate School of Engineering, Kyoto University)

[PS-01-15] 高解像度な河川分断度評価と生物多様性に関する研究

*古厩 瑞希[1]、馬籠 純[2]、石平 博[2]、相馬 一義[2]、松尾 なずな[3] (1. 山梨大学　医工農学総合教育部、2. 山梨大学 国際流域環境研究センター、3. 山梨県庁)

[PS-01-16] 陸面過程モデルSiBUCを用いたイシククル湖表面温度の再現に関する基礎的検討

*新 凌太郎[1]、萬 和明[2]、田中 賢治[2]、Temur Khujanazarov[2]、峠 嘉哉[3] (1. 京都大学大学院 工学研究科、2. 京都大学 防災研究所、3. 千葉大学 環境リモートセンシング研究センター)

[PS-01-17] 宍道湖における酸素・水素安定同位体比の変動要因の評価

*服部 吾郎[1]、吉岡 有美[2]、瀬戸 浩二[3] (1. 岐阜大学 自然科学技術研究科、2. 岐阜大学 応用生物科学部、3. 島根大学 エスチュアリー研究センター)

[PS-01-18] 土地被覆変化と水質の関係による生態環境への影響評価

*髙橋 智也[1]、川越 清樹[2]、薮崎 志穂[3] (1. 福島大学大学院 共生システム理工学研究科、2. 福島大学 共生システム理工学類、3. 総合地球環境学研究所)

[PS-01-19] 高水敷圃場の浸水特性と農業生産の持続性評価

*我妻 成貴[1]、川越 清樹[2]、齋藤 洋介[3] (1. 福島大学大学院　共生システム理工学研究科、2. 福島大学　共生システム理工学類、3. 陸奥テックコンサルタント株式会社)

[PS-01-20] Hydrological Implications of AMOC-Driven Climate Change in 12 Global Cities

*Muhammad Umer[1], Naota Hanasaki[1] (1. National Institute for Environmental Studies (NIES))

[PS-01-21] AMSR２やMODISなどの衛星観測データを用いたモンゴル高原における陸面水文量の不均一性評価

*広瀬 望[1] (1. 松江工業高等専門学校環境・建設工学科)

[PS-01-22] 令和6年能登豪雨を対象にした確率的イベントアトリビューション

*井川 椋介[1] (1. 京都大学院　工学研究科)

[PS-01-23] 河川堤防の侵食破堤確率を考慮した気候変動の影響評価

*高橋 克弥[1]、呉 修一[1]、山田 莉久[2]、沼澤 蓮音[2] (1. 富山県立大学、2. 富山県立大学大学院)

[PS-01-24] 気候変動が山梨・静岡の土砂災害危険度に与える影響評価へ向けた基礎的検討

*長谷川 大祐[2]、相馬 一義[1]、大槻 順朗[1]、松浦 拓哉[1]、馬籠 純[1]、石平 博[1] (1. 山梨大学 大学院総合研究部 、2. 山梨大学大学院医工農学総合教育部)

© 2026 水文・水資源学会/日本水文科学会

[PS-01-25] 琵琶湖・淀川流域を対象とした気候変動進行時における森林整備効果の定量評価

*田中 裕士[1]、大八木 豊[1]、永井 椋[1]、辻倉 裕喜[1]、田中 賢治[2]、山本 裕依子[3] (1. 株式会社建設技術研究所 大阪本社 水システム部、2. 京都大学 防災研究所、3. 関西広域連合 本部事務局)

[PS-01-26] 気候変動が洪水・渇水規模および頻度に与える影響評価

*園田 至偲[1]、丸谷 靖幸[2]、瀬戸口 裕也[1]、田中 智大、渡部 哲史 (1. 九州大学大学院工学府土木工学専攻、2. 九州大学大学院工学研究院)

[PS-01-27] 筑後川流域における土地利用・土地被覆の将来予測

*高田 尚輝[1]、丸谷 靖幸[2]、芳賀 智宏[3]、渡部 哲史[4] (1. 九州大学大学院 工学府 土木工学専攻、2. 九州大学大学院工学研究院、3. 東京大学大学院理学系研究科、4. 九州大学大学院比較社会文化研究院)

[PS-01-28] 日本における気候変動影響予測・適応評価のための日本版SSPsに基づく将来人口データの更新

*吉川 沙耶花[1]、五味 馨[2]、高橋 潔[2]、松橋 啓介[2]、真砂 佳史[2] (1. 長崎大学　総合生産科学域、2. 国立環境研究所)

[PS-01-29] 気候変動が遠隔オフグリッド地域における小水力発電の持続性に及ぼす影響―インドネシア農村集落を対象とした発電量と停電日数の評価事例―

*髙田 亜沙里[1]、佐藤 辰郎[2]、御田 成顕[3]、遠藤 いず貴[4]、篠塚 賢一[5]、井手 淳一郎[6] (1. 農業・食品産業技術総合研究機構　農村工学研究部門、2. 九州大学工学研究院　附属アジア防災研究センター、3. 森林研究・整備機構 森林総合研究所、4. 北海道立総合研究機構　森林研究本部　林業試験場、5. 岐阜大学　流域圏科学研究センター、6. 公立千歳科学技術大学　理工学部)

[PS-01-30] 気候変動に伴う豪雨災害の激甚化評価：平成30年7月豪雨を対象とした将来予測シミュレーション

今田 由紀子[2]、日比野 研志[2]、梶谷 義雄[3]、金田 幸恵[8]、川瀬 宏明[1]、高藪 出[1]、*仲江川 敏之[1]、村田 昭彦[1]、佐山 敬洋[4]、竹見 哲也[4]、多々納 裕一[4]、立川 康人[4]、田中 智大[4]、中北 英一[4]、藤見 俊夫[4]、森 信人[4]、塩竈 秀夫[5]、肱岡 靖明[5]、山田 朋人[6]、若月 泰孝[7] (1. 気象研究所、2. 東京大学、3. 香川大学、4. 京都大学、5. 国立環境研究所、6. 北海道大学、7. 茨城大学、8. 名古屋大学)

[PS-01-31] 堤防を対象としたミュー粒子測定によるボーリング調査を用いた構造物探査方法の高度化の検討

*米澤 一景[1]、宮本 真希[2]、並河 奎伍[3]、小山 直紀[4]、寺井 しおり[4]、山田 正[4]、山田 朋人[2] (1. 北海道大学 工学院、2. 北海道大学大学院工学研究院、3. 国立研究開発法人土木研究所 河道保全研究グループ 水工チーム、4. 中央大学研究開発機構)

[PS-01-32] 極値統計理論を用いた雨量と河川流量の非定常性に関する応答解析

*中後 亮哉[1]、本木 翔雲[1]、清水 啓太[2]、山田 朋人[2] (1. 北海道大学大学院工学院、2. 北海道大学工学研究院)

[PS-01-33] 異なるアンサンブル生成手法を用いた線状降水帯に伴う降雨の最悪シナリオの推定：2025年熊本事例における検討

*大野 哲之[1]、平賀 優介[2] (1. 関西大学社会安全学部、2. 東北大学工学研究科)

[PS-01-34] GSMaP_NOW データに基づく 120 分先の雨域移動予測における減衰考慮の影響評価

*小林 涼太[1]、手計 太一[2] (1. 中央大学大学院理工学研究科、2. 中央大学理工学術院)

[PS-01-35] 地形のパラメタリゼーションがもたらす山地周辺における降雨量の変化

*岡地 寛季[1]、山田 朋人[2] (1. 中部大学 工学部都市建設工学科、2. 北海道大学 大学院工学研究院)

[PS-01-36] 気象場の遷移過程に着目した機械学習降雨予測モデルの開発と淀川流域への適用

*井上 陽雲[1]、kim sunmin[1]、立川 康人[1] (1. 京都大学 工学研究科社会基盤工学専攻)

© 2026 水文・水資源学会/日本水文科学会

[PS-01-37] GSM-GPVを用いた機械学習ダウンスケーリング・バイアス補正手法の開発

*吉兼 隆生[1] (1. 株式会社プリシジョンアース　研究開発部)

[PS-01-38] ドローンを用いた上空の降水粒子測定における雨滴の捕捉に関する課題

*藪田 哲基[1]、馬渕 慎也[1]、松原 えりな[2]、吉見 和紘[2] (1. 富山県立大学大学院 工学研究科、2. 富山県立大学 工学部 環境・社会基盤工学科)

[PS-01-39] 北日本における線状降水帯の雨量と発生位置を支配する環境場の分析

*田原 亮太郎[1]、平賀 優介[1] (1. 東北大学 工学研究科)

[PS-01-40] WRFによる九州地方の線状降水帯再現に及ぼす側面境界配置の影響評価

*髙崎 昌幸[1]、豊田 悠太郎[1]、手計 太一[2] (1. 中央大学大学院　理工学研究科、2. 中央大学理工学術院)

[PS-01-41] 内陸アラスカにおける植生変化が蒸発散と降水に与える影響

*奥村 直旦[1]、植山 雅仁[2]、岩田 拓記[3]、檜山 哲哉[4] (1. 名古屋大学 環境学研究科、2. 大阪公立大学 農学研究科、3. 信州大学 理学部、4. 名古屋大学 宇宙地球環境研究所)

[PS-01-42] モンゴル北部・ヘンティー山脈の夏季降水に対する陸面の寄与

*沢田 芙祐子[1]、檜山 哲哉[2]、藤波 初木[2] (1. 名古屋大学 大学院 環境学研究科、2. 名古屋大学 宇宙地球環境研究所)

[PS-01-43] 全球数値予報モデルの降水を用いたキキクル週間予報― 台風事例を対象とした初期的評価 ―

*池田 翔[1]、太田 琢磨[1] (1. 気象研究所 応用気象研究部)

[PS-01-44] MSMから推定した融解層高度に基づくVILの積算高度を考慮したVILナウキャストの検討

*馬渕 慎也[1]、吉見 和紘[2] (1. 富山県立大学大学院工学研究科、2. 富山県立大学工学部)

[PS-01-45] 夏季の欧州域で発生する大雨を対象とした領域気象モデルによる再現の検討

*宮本 真希[1]、山田 朋人[1] (1. 北海道大学大学院工学研究院)

[PS-01-46] 6か月アンサンブル予報による領域平均降水量の予測特性の評価

*相原 星哉[1]、吉田 武郎[1]、髙田 亜沙里[1]、皆川 裕樹[2] (1. 農研機構農村工学研究部門、2. 農林水産省農林水産技術会議事務局)

[PS-01-47] Evaluating the Scalability Limits of Distributed Hydrological Modelsand the Role of Representing Hillslope in a Grid-Cell

*Seonjun Choi Choi[1], Tomohiro Tanaka[2], Takahiro Sayama[2], Sugawara Yoshito[2] (1. Graduate School of Engineering, Kyoto University, 2. Disaster Prevention Research Institute)

[PS-01-48] 降水量と気温のみを用いた降雪・積雪・融雪モデルの検討　―　積雪深と積雪底面流出量の推定精度　―

*高瀬 恵次[1,2]、藤原 洋一[1]、伊藤 優子[3]、竹内 由香里[3]、小倉 晃[4] (1. 石川県立大学、2. (株) ホクコク地水、3. 森林総合研究所、4. 石川県)

[PS-01-49] メッシュ気象データを活用した積雪水量と融雪流出予測の精度向上の提案

*平沢 陽子[1,2]、黒滝 紗永[3]、中津川 誠[1] (1. 室蘭工業大学大学院工学研究科、2. 一般財団法人日本気象協会、3. 岩田地崎建設株式会社北海道土木本店土木部工事課)

[PS-01-50] 冬季の降水形態と地上気温および湿球温度の関係の分析

*長谷川 禎史[1]、山田 朋人[2] (1. 北海道大学 大学院工学院、2. 北海道大学 大学院工学研究院)

© 2026 水文・水資源学会/日本水文科学会

[PS-01-51] 北海道を対象とした雪水比の地域特性

*石原 知咲[1]、髙田 尚輝[1]、大屋 祐太[2]、丸谷 靖幸[3] (1. 九州大学大学院 工学府、2. 北海道立総合研究機構、3. 九州大学大学院 工学研究院)

[PS-01-52] 熱収支法・Degree-hour 法・SNOWPACK による積雪下面流出量の比較

*山田 嵩」[1]、山田 朋人[2] (1. 寒地土木研究所、2. 北海道大学)

[PS-01-53] 富山県を対象とした機械学習を用いた積雪深予測の基礎検討

*松原 えりな[1]、馬渕 慎也[2]、吉見 和紘[1] (1. 富山県立大学 工学部、2. 富山県立大学大学院　工学研究科)

[PS-01-54] 北海道十勝地方の豪雪に対する海洋熱波による影響の評価

*金城 敦也[1]、岡地 寛季[2]、宮本 真希[3]、山田 朋人[3] (1. 北海道大学大学院工学院、2. 中部大学工学部、3. 北海道大学大学院工学研究院)

[PS-01-55] 釧路湿原の水循環に関する蒸発散を踏まえた将来の有効降雨量の推定

*山本 太郎[1]、大橋 弘紀[2]、佐々木 知子[2]、嵯峨井 聖貴[3]、小泉 和久[3] (1. 一般財団法人北海道河川財団、2. 応用地質株式会社、3. 国土交通省北海道開発局)

[PS-01-56] スギ林における地点樹冠通過雨量の空間分布が雨樋による樹冠通過雨計測に及ぼす影響

*飯田 真一[1]、清水 貴範[1]、小田 智基[1]、岩上 翔[1]、南光 一樹[2]、レヴイア デルフィス[3] (1. 森林総合研究所、2. 東京農工大学、3. デラウェア大学)

[PS-01-57] カンボジア王国の低地乾燥常緑林における森林劣化が生態系の気象環境・水利用効率に及ぼす影響について

*清水 貴範[1]、飯田 真一[1]、壁谷 直記[1]、清水 晃[1]、伊藤 江利子[1]、玉井 幸治[1]、大貫 靖浩[1]、宮沢 良行[2]、田中 憲蔵[3]、植山 雅仁[4] (1. 森林研究・整備機構　森林総合研究所、2. 琉球大学、3. 国際農林水産業研究センター、4. 大阪公立大学)

[PS-01-58] 花崗岩流域における地下水位変動の再現と山体内部の水理特性評価

*小谷 隼人[1]、内田 龍彦[1]、海堀 正博[2] (1. 広島大学先進理工系科学研究科、2. 広島大学防災・減災センター)

[PS-01-59] 森林施業と森林火災が流量応答に及ぼす影響の比較　―年流出高と低水流量に着目して―

*綿貫 翔[1] (1. サントリーグローバルイノベーションセンター株式会社 水科学研究所)

[PS-01-60] 大船渡市林野火災における焼損度の違いがスギの成長に与える影響

*篠原 慶規[1]、秋山 星龍[1]、岩井 晴[1]、峠 嘉哉[2] (1. 宮崎大学 農学部、2. 千葉大学 国際高等研究基幹)

[PS-01-61] 福島県の森林斜面における^{137}Cs蓄積量の時空間的変動：豪雨による森林斜面での^{137}Csの移動

*小田 智基[1]、大手 信人[2]、田野井 慶太朗[3] (1. 森林総合研究所 森林防災研究領域、2. 京都大学 大学院情報学研究科、3. 東京大学 農学生命科学研究科)

[PS-01-62] 常緑広葉樹林における降雨強度が遮断蒸発特性に与える影響

*鈴木 孝一[1]、篠原 慶規[1]、髙木 正博[1]、阿部 悠南[2]、飯田 真一[3]、田中 延亮[4]、久米 朋宣[5] (1. 宮崎大学　農学部、2. 宮崎大学　農学研究科、3. 森林総合研究所、4. 東京大学　農学生命科学研究科、5. 九州大学　農学研究院)

[PS-01-63] 飯館村のスギ林における間伐後の下層植生の変化が土壌水分動態，地面蒸発および林分蒸散に与える影響

*築田 桃果[1]、岩本 樹里[2]、上原 雄正[1]、高村 詩央里[1]、恩田 裕一[3] (1. 筑波大学 理工情報生命学術院 、2. 筑波大学 生命環境学群地球学類、3. 筑波大学 放射線・アイソトープ地球システム研究センター)

© 2026 水文・水資源学会/日本水文科学会

[PS-01-64] 降雨流出時の細菌叢動態調査用渓流水試料の常温放置時間の影響に関する予察的検討

*細田 育広[1] (1. 森林総合研究所関西支所)

[PS-01-65] 源流域河川における小規模ログジャムの解体に伴う出水時の濁度変化

*芳賀 弘和[1]、佐古 龍哉[2]、篠塚 賢一[3] (1. 鳥取大学農学部、2. 鳥取大学大学院、3. 岐阜大学高等研究院)

[PS-01-66] 高時間分解能の日本全国の降水安定同位体比に見られる変動の同時性

*勝山 正則[1]、福澤 加里部[2]、福島 慶太郎[3]、岩崎 健太[4]、南光 一樹[5]、大西 健夫[6]、江草 智弘[7]、牧野 奏佳香[8]、鎌倉 真依[9]、東 若菜[10]、芳賀 弘和[11]、兵藤 不二夫[12]、久米 朋宣[13]、片山 歩美[13]、篠原 慶規[14] (1. 京都府立大学大学院生命環境科学研究科、2. 北海道大学 北方生物圏フィールド科学センター 森林圏ステーション、3. 福島大学 食農学類、4. 森林総合研究所、5. 東京農工大学 農学研究院、6. 岐阜大学 応用生物科学部、7. 静岡大学 農学部、8. 福井県立大学 生物資源学部、9. 龍谷大学 先端理工学部、10. 神戸大学 農学研究科、11. 鳥取大学 農学部、12. 岡山大学 学術研究院、13. 九州大学 農学研究院、14. 宮崎大学 農学部)

[PS-01-67] 流域治水に向けた降雨イベントごとの雨量-流出特性の把握

*大内 憲人[1]、島谷 幸宏[1] (1. 熊本県立大学)

© 2026 水文・水資源学会/日本水文科学会

島原湧水群における水質・同位体特性の長期年変動とマルチトレーサー法による季節変動の解明

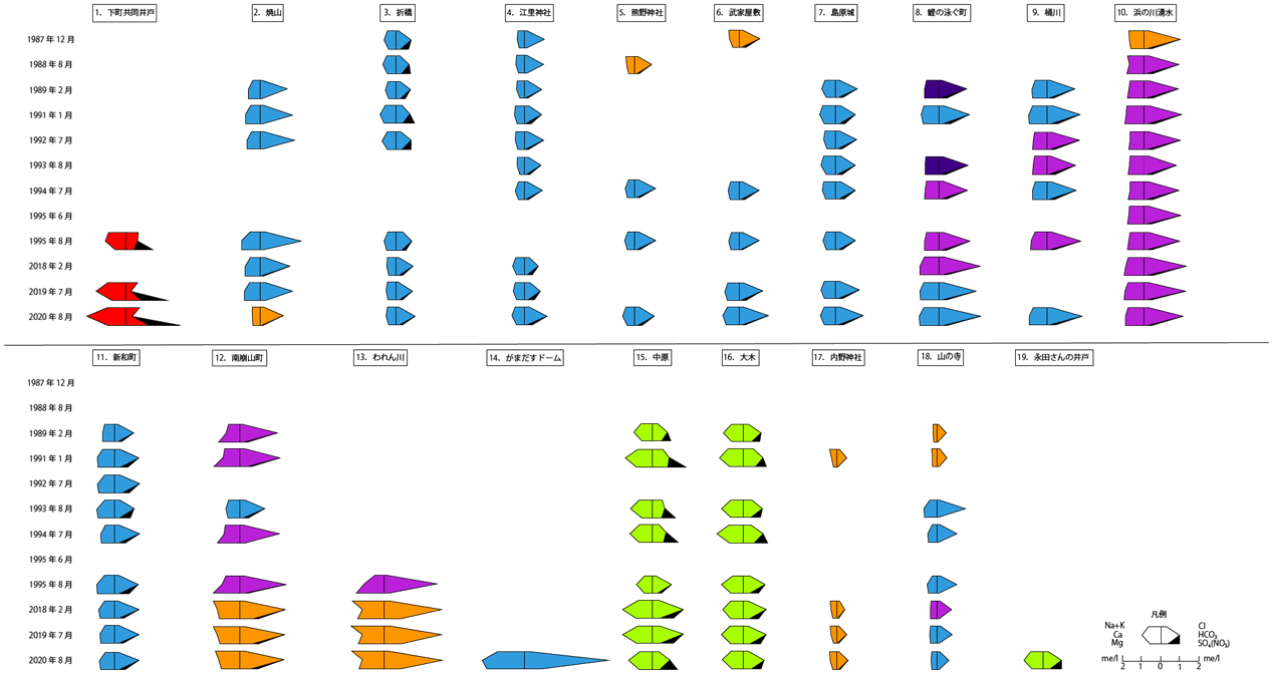
長崎大学総合生産科学研究科　　○ 植山　森
長崎大学環境科学部　藤井海羽・隈井美帆
長崎大学総合生産科学研究科　　利部　慎

1．はじめに

地形や地質構造が複雑な火山地域においては、近年の気候変動や土地利用変化に伴う水質・水量の時間的・空間的な変動が複雑化しており、その動態把握には多くの課題が残されている。長崎県の島原半島ユネスコ世界ジオパークに位置する島原湧水群は、「水の郷」として古くから地域住民に親しまれ、貴重な観光資源・水資源として利用されてきた。しかし近年、一部の湧水において硝酸性窒素による地下水汚染の進行や、湧出量の減少といった問題が表面化しており、持続的な保全に向けた流動メカニズムの解明が急務となっている。これまでの島原湧水群を対象とした研究では、長期的な水質変動の把握や広域的な水質分布の解明が行われてきた。しかしながら、各種水質項目の時間分解能の高い季節的変動特性についてはほとんど検討されておらず、溶存ガスを用いた年代推定においても、一度の採水に基づいた結果で議論されることが多く、平均滞留時間の季節的変動の特徴に関する知見は不足している。また、単独の指標のみに依存した従来の手法では、複雑な地下水流動プロセスの全容を捉えることは困難である。そこで本研究では、島原湧水群における水質・同位体特性の経年的な年変動と、複数の湧水に着目した季節変動を、複数の指標を組み合わせた「マルチトレーサー法」を用いて高精度に明らかにすることを目的とする。

2．調査対象および手法

本研究における調査・解析は、大きく「長期的な年変動の把握」と「高時間解像度観測に基づく季節変動メカニズムの解明」の 2 つのアプローチから構成される。第一に、1980 年代以降の長期的な「年変動」調査である。本アプローチでは、島原湧水群内の広域的な約 20 地点を対象に、過去から現在に至る水質データを網羅的に収集・整理した。具体的には、1980 年代から 2020 年代にかけて測定された主要溶存イオン濃度および水の安定同位体比（$\delta^{18}O$・$\delta^{2}H$）の時系列データを統合し、ヘキサダイアグラム等を用いて水質タイプの経年変化を視覚化することで、数十年にわたる長期的な湧水水質の変動傾向の解析を実施した。これにより、複雑な火山体の地下水流動系における水質形成プロセスが、長期的な環境変化の中でどのような経年変動を示してきたかを捉えることを目的



図−1　島原湧水群における各湧水のヘキサダイアグラムの年変動.

とした。

第二に、高い時間解像度での観測を通じた季節変化のメカニズム解明である。ここでは、2023 年の既存研究（Ishibashi et al., 2024）における毎月の調査データと、2026 年（今年度）に新たに実施した毎月の高頻度調査データ を比較・統合して解析を行った。調査対象は、過去のデータから硝酸性窒素による汚染が懸念される地点など、流動メカニズムの解明が特に求められる 5 地点の湧水とした。現地調査では、水温データロガーによる高時間分解能での常時モニタリングに加え、毎月の採水による主要溶存イオンや安定同位体比の分析を実施した。さらに、近年課題となっている「硝酸イオン濃度」の季節変化メカニズムを詳細に解明するため、水中に溶存しているガス（CFCs および SF_6）を分析し、地下水の平均滞留時間の推定を組み合わせたマルチトレーサー法を適用した。

３．結果と考察

1980 年代以降の約 20 地点の広域データを統合した長期的な「年変動」の解析により、島原湧水群における一部の湧水では、主要溶存イオンおよび安定同位体比の長期的な変動傾向が明らかとなった。約 30 年間のヘキサダイアグラムの変遷を比較した結果、長期的に水質タイプが安定している湧水が存在する一方で、一部の湧水において顕著な水質変化が確認された（図−1）。例えば、農用地の下流側に位置する湧水では経年的な硝酸イオン濃度の増加や大きな年変動が確認された。また、高標高域に位置する湧水では、卓越するイオン種が年により変動することも明らかとなった。この結果は、島原半島における地下水流動系が、数十年スケールでの土地利用変化や気象条件の変動に対してどのように応答してきたかを示す重要な基礎情報となる。

一方で、2023 年（Ishibashi et al., 2024 [1)]）および 2026 年の新規調査に基づく毎月の高時間解像度データの比較からは、降雨や季節変化に伴う動的な水質変動メカニズム、とりわけ硝酸イオン濃度の挙動に関する詳細なプロセスが浮き彫りとなった。農業用地に近い湧水を対象とした観測では、大規模な降雨イベント後に電気伝導度（EC）や硝酸イオン濃度の大きな変動が確認された一方で、CFCs などの年代トレーサーが示す滞留時間には顕著な変化が見られないケースが存在した。これは、浅層の農業由来の硝酸イオンを含んだ比較的新しい水（降雨成分）が急速に負荷されると同時に、深層に貯留されている古い地下水（滞留時間が長い水）との二成分混合が起きて湧出しているという、複雑な流出プロセスを示唆している。さらに、今年度の継続的な高頻度観測により、各湧水の地質構造や涵養源の違いが、硝酸イオン濃度の季節的な変動パターンに明瞭な差異を生じさせることが実証されつつある。これらの結果は、長期的な年変動のトレンドを踏まえた上で、高い時間解像度でのマルチトレーサー観測を実施することが、地下水汚染の進行メカニズムや複雑に交錯する流域水文過程の高精度な「可視化」に極めて有効であることを示している。

４．まとめ

本研究では、マルチトレーサー法を用いた高頻度観測により、島原湧水群における水質・同位体特性の長期的な年変動と、降雨や涵養プロセスの違いに起因する局所的な季節変動の実態を捉えることができた。この結果は、特定の観測項目のみに依存した従来手法の限界を補い、流域水文過程をより高精度で比較可能な形で提示するものである。今後の展望として、現在実施している溶存イオン分析、安定同位体比分析、CFCs や SF_6 を用いた年代測定に加え、微量元素の分析や環境 DNA（eDNA）分析を新たに導入し、さらなる多角的な解析を進める予定である。これにより、湧出メカニズムのより高解像度な解明を目指すとともに、得られた知見が島原市の貴重な水資源である湧水群の持続的な保全や、科学的根拠に基づいた流域水資源管理の推進に貢献することが期待される。

参考文献

1) Ishibashi, M., Sakakibara, K., Suzuki, K. and Kagabu, M., (2024): Variations of the groundwater flow system due to heavy rainfall in Unzen Volcano, Japan. Hydrological Research Letters 18(2), 66-71.

キーワード：Shimabara Springs, multi-tracer approach, residence time, nitrate contamination, seasonal variation

甲府盆地における地下水涵養源推定に有効な水質トレーサーの検討

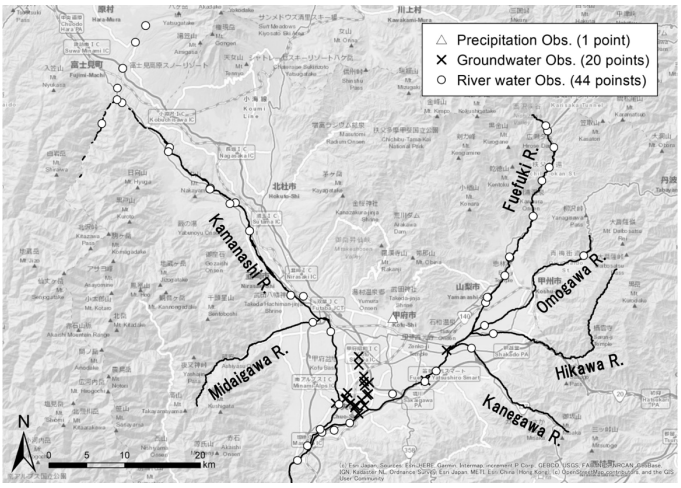
山梨大学大学院総合研究部工学域　○松浦拓哉

１．はじめに

本研究の目的は，甲府盆地全域における陸水水質の空間分布を明らかにするとともに，地下水涵養域の推定に有効な水質トレーサーについて検討した．地下水は直接見ることが困難であるため，水質トレーサーを用いてその起源や流動課程，水質形成プロセスを推定する手法が有効であり，これまで多くの研究で利用されてきた [1), 2)]．地下水涵養源の推定および各涵養源の寄与率を評価するためには，降水や河川水などの涵養源間で明確な水質トレーサーの差異が認められる必要がある．一方で，水質トレーサーに空間的差異が認められない場合には，地下水涵養源の特定は困難となる．甲府盆地における地下水涵養源の推定には，空間的に差異を有する複数の水質トレーサーを用いた包括的な調査・解析が必要であるが，その実態は十分に明らかにされていない．そこで本研究では，甲府盆地全域を対象とした河川水の空間分布を把握し，地下水涵養域の推定に有効な水質トレーサーについて検討した．

２．研究対象領域と観測概要

本研究対象領域は山梨県に位置する甲府盆地である．甲府盆地の主な帯水層は，扇状地堆積層であり，深度約 70 m まで砂礫を主体として形成されている．釜無川と笛吹川の合流付近では，不透水性の粘土層を挟在する礫質の被圧帯水層から地下水が自噴している地域があるが，概ね不圧地下水である．**図−1** は甲府盆地と観測地点である．観測値点数は降水 1 地点，地下水 20 地点，河川水 44 地点である．観測期間は 2024 年 2 月～2025 年 11 月であり，観測頻度は毎月である．観測項目は，pH，電気伝導率 (EC)，水温，主要溶存イオン (Cl^-，NO_3^-，SO_4^{2-}，HCO_3^-，Na^+，NH_4^+，K^+，Mg^{2+}，Ca^{2+})，水素同位体比 (δD)，酸素同位体比 ($\delta^{18}O$)である．



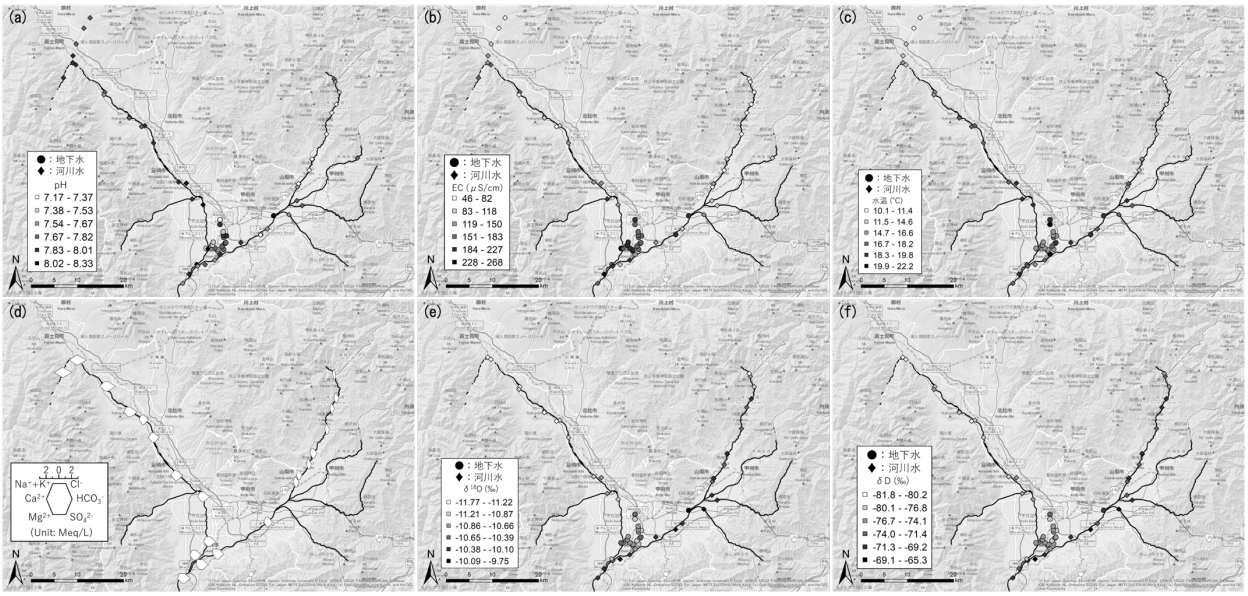
図−1　甲府盆地と観測地点

３．観測結果

図−2 は地下水，河川水の pH，EC，水温，主要溶存イオン，δD，$\delta^{18}O$ の空間分布である．空間分布は，2024 年 2 月～2025 年 11 月までに得られた各水質項目の平均値を用いて解析を行った．なお，δD，$\delta^{18}O$ については，多くの地点で 1 時期のみの観測であったため，これらは，時系列的な平均化を行わず，得られた測定値をそのまま用いた．

pH は，釜無川では全域を通じて約 7.94 とほぼ一定の値を示し，顕著な空間変化は認められなかった．一方，笛吹川では盆地流入前後において pH が明瞭に変化しており，空間的な変化が確認された．EC は，釜無川本川において河川全域にわたって約 150 μS/cm でほぼ一定の値を示した．笛吹川本川では，流下するにつれ EC が上昇する空間変化が認められた．集水域が比較的大きい，金川，重川，日川が合流する地点や荒川が合流する地点では，これら支川の EC が本川よりも高く，支川の合流に伴って本川の EC が上昇した．水温は，釜無川，笛吹川の両河川において，流下するにつれ上昇する傾向が認められた．釜無川では富士橋と最上流地点との水温差が 4.2 ℃，笛吹川本川では，7.1 ℃であった．これらの結果は，下流域ほど気温が高くなることに起因すると考えられる．

ヘキサダイアグラムに着目すると，概ね全地点において，Ca^{2+}と HCO_3^-が卓越した Ca-HCO_3 型の水質を示した．釜無川では，上流域において Ca^{2+}と HCO_3^-が高く，流下するにつれ，減少する傾向が認められた．しかし，釜無川橋を境として，流下に伴って Ca^{2+}と HCO_3^-が増加する空間変化が確認された．また，SO_4^{2-}は上流から下流にかけて徐々に増加する傾向を示した．一方，笛吹川では流下するにつれ，Ca^{2+}，HCO_3^-，SO_4^{2-}が増加する明瞭な空間変化が



図−2　地下水，河川水の pH (a)，EC (b)，水温 (c)，主要溶存イオン (d)，δD (e)，$\delta^{18}O$ (f)の空間分布

認められた．

δD，$\delta^{18}O$ について，釜無川ではそれぞれ-73.4～-82.4 ‰，10.45～-11.88 ‰の範囲を示した．一方，笛吹川ではδD が-68.9～-75.9 ‰，$\delta^{18}O$ が-10.10～-11.26 ‰であり，釜無川は笛吹川と比較して，同位体比が小さい値を示した．標高の上昇に伴い，同位体比が小さくなる明瞭な空間変化が認められた．これは，降水同位体比が標高の増加に伴って低下する高度効果によるものである．釜無川における高度効果は $\delta^{18}O$ が-0.16 ‰/100 m，δD が 1.8 ‰/100 m と算出され，日本の他流域で報告されている高度効果と概ね同程度であった．笛吹川は最上流部を除き，同位体比に顕著な空間変化は認められなかった．笛吹川の観測地点である芹澤橋と西沢大橋の間には，広瀬ダムが存在し，ダムから取水された水は農業用水路等を通じて扇状地全域に供給された後，再び笛吹川へ戻されている．このような人為的な水利用および混合過程により，河川水の同位体比の空間的な差が小さくなり，値が平滑化したと考えられる．

４．まとめ

本研究では，甲府盆地を対象として，地下水と河川水の水質特性を空間的に把握するとともに，地下水涵養源の推定に有効な水質トレーサーについて検討した．その結果，水温，主要溶存イオンは，釜無川と笛吹川の両河川において明瞭な空間変化が認められ，地下水涵養源を推定する上で有効な水質トレーサーであることが明らかになった．笛吹川の EC，釜無川のδD，$\delta^{18}O$ は顕著な空間変化が示され，それぞれ対応する河川由来の地下水涵養源を推定する水質トレーサーとして有効であることが明らかになった．一方，pH，釜無川における EC，笛吹川におけるδD，$\delta^{18}O$ については，空間的な変化が小さく，単独では地下水涵養源を推定するための水質トレーサーとしては不十分であることが示唆された．しかし，pH は地下水において空間変化が顕著に認められ，地下水流動過程の把握に有効であることが明らかになった．

【謝辞】

本研究の一部は，公益社団法人山梨建設技術センター，JSPS 科研費 25K17690，山梨県若手研究者奨励事業の助成を受けている．本研究の遂行にあたり，山梨県大気水質保全課，笛吹市環境推進課，中央市市民部市民環境課から観測地点の提供を受けた．合わせてここに謝意を表します．

参考文献

1) 利部ら：阿蘇カルデラ内における地下水の流動機構，日本水文科学会誌，Vol.41, No.1, pp.1-17, 2011.
2) 神谷ら：溶存イオンデータの多変量解析に基づいた広域地下水流動系の評価，，地盤工学ジャーナル，Vol.9, No.2, pp.219-231, 2014.

キーワード：River water quality, Water quality tracer, Spatial distribution, Kamanashi River, Fuefuki River

参加型モデリングによるグリーンインフラ導入支援手法の検討

日本工営株式会社　○横井美也陽
中央大学　新田友子
大日本ダイヤコンサルタント株式会社　森田紘圭
名古屋大学　中村晋一朗

１．はじめに

近年，地球温暖化の影響により降雨量の増加や熱波など，気候変動が顕著に現れている．この適応策の一つとしてグリーンインフラ（GI : Green Infrastructure）の導入が進んでいる．GI は自然に基づく解決策（NBS : Nature-Based Solutions）とも言われ，自然環境が有する多様な機能を活用したインフラである．しかし，GI はこれまでの行政主体のインフラ整備ではなく，地域の合意形成に基づく導入が必要不可欠である [1]．水利用や環境分野における合意形成を支援する手法の一つに参加型モデリングがある．参加型モデリングとは，研究者だけでなく行政・住民・実務者などの関係者がモデル構築の過程に参加し，問題理解や意思決定に役立てるためのモデリング手法である [2]．GI に関する合意形成や効果，影響評価に関する既往研究は国内外問わず多くあるが，参加型モデリングにおける GI 導入の検討に用いた事例は極めて少ない．そこで，本研究では参加型モデリングを用いた GI 導入支援手法の検討を行う．

２．手法

本研究では，名古屋市中区錦二丁目を対象とする．当該地区は合流式下水道が採用されており，名古屋市中心地を流れる堀川への合流式下水道越流（CSO : Combined Sewer Overflow）が課題となっている．また錦二丁目は住民主体のエリアマネジメントを行っている地域でもあり，企業や行政と連携して，まちの活性化にも取り組んでいる．

本研究で採用する参加型モデリングは，事前のモデル構築と現地のステークホルダーが参加するワークショップで構成される．当該地区への GI 導入による効果をアメリカ合衆国環境庁のオープンソース雨水管理モデル SWMM（Storm Water Management Model）を用いて評価する [3]．プラグインを用いて QGIS 上で土地利用区分，SWMM 用のパラメータを設定し，SWMM へ反映後，堀川沿いの CSO 吐口における流量を解析した．降雨量は近年の平均的な降雨であった 2014 年の気象庁アメダスデータを用いた．モデル内のパラメータはすべて事前に設定し，ワークショップ内での作業時間の短縮を行った．

今回対象とする GI 対策は実現可能性を鑑み，バイオリテンションセル，雨庭，屋上緑化，透水性舗装，貯水槽（雨水タンク），植生湿地帯の 6 種類とした．参加者には，地図上にこれらの対策をどこにどれだけ導入するかを話し合ってもらい，提案された対策をその場でモデルへと反映した．参加者とモデラーの双方の誤認防止と GI の判別を容易にするため，対策の種類別にステッカーを作成し地図上に貼付してもらった（図-1）．対策の導入面積はペンで地図に描画してもらい面積割合で判断した．加えて，対策ごとの実現可能性を三色の付箋を用意し，ステッカー上に重ねて貼付してもらった．なお，本研究は名古屋大学倫理部会から承認を得ている（受付番号：25-25）．



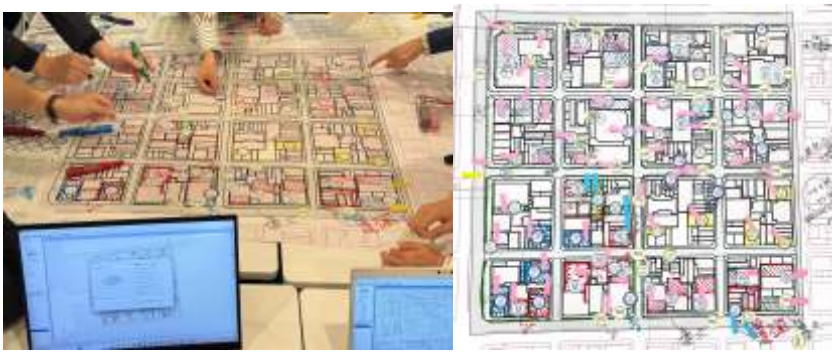
図−1　ワークショップで使用した GI 対策のステッカー例．

ワークショップは 2025 年 12 月 17 日 15-17 時に名古屋市内会議室にて実施した．参加者は，錦二丁目の地域住民及びエリアマネジメントに関わる 13 名である．まず，現状と CSO，GI に関する説明を行い，その

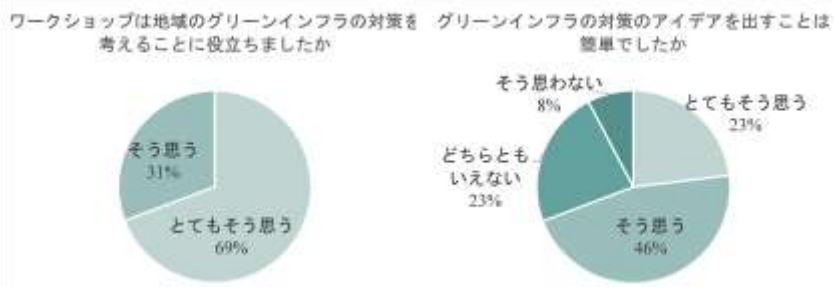


図−2　GI 説明の様子．

後参加者が当該地区への GI の対策についてアイデア出しを行った（図-2）．参加者には話し合いで出てきた対策のステッカーを導入する地点に貼り付けてもらった（図-3）．実現可能性を示す付箋と面積を書き加えると同時にモデルに入力していく作業を行った．最後に参加者へアンケートを実施した．



図−3　参加者のアイデア出しとモデル入力の様子（左）と全ての GI 対策のアイデア（右）．



図−4　参加者へのアンケート結果

３．結果及び考察

(1) シミュレーション結果

名古屋市が管理する道路へは透水性舗装が導入されることを前提にシミュレーションを実施した．錦二丁目北側 1/3 程度が繋がる吐口 4 では，現状において年間 15 回程度 CSO が発生しているが，ワークショップでの GI 導入後 11 回に減少した．また，残りの街区の流出先である吐口 7 では，現状で年間平均 1 回だが，ワークショップでは 2 回発生時の流量の削減を目標とし，GI 導入後は 0 回となった．

(2) 参加者へのアンケート結果

全ての参加者から本ワークショップが地域の GI を考えるのに役立ったとの回答があった（図-4 左）．しかし，「アイデアを出すことは簡単でしたか？」に関しては「そう思わない」「どちらともいえない」が 31%となり，ワークショップの改善の必要性が示された（図-4 右）．ワークショップの時間に対して，全体の長さはよかったが，シミュレーションの入力に時間を要したため休憩時間が長いという意見があった．一方で，ちょうど良いという選択をした理由として，意見交換の場になったことが挙げられた．

４．結論

本研究は，名古屋市錦二丁目を対象に，参加型モデリングを用いた GI 導入支援手法を検討した．ワークショップを通じて地域住民が GI の配置を議論し，その場で効果を可視化した結果，CSO 発生回数や流量の低減が確認された．アンケートからは，効果の即時提示が理解促進と合意形成に有効であることが示された一方，作業時間配分など運営面の改善も課題として明らかになった．

【謝辞】

本研究は JST 未来創造事業（JPMJMI24I1）及び JSPS 科研費（25K01329）の一環として実施しました．ご協力いただいた錦二丁目の皆様へ深く感謝申し上げます．

参考文献

1) 田浦扶充子ら：分散型の水管理を通したあまみず社会のデザインと実践，土木学会論文集 D3（土木計画学），75 巻，5 号，pp.I_153-I_168，2019.

2) Roque, Anais, et al.: Participatory approaches in water research: A review. Wiley Interdisciplinary Reviews: Water 9.2, e1577, 2022.

3) Yiran Bai, et al.: Storm Water Management of Low Impact Development in Urban Areas Based on SWMM. Water, 11(1), 33, 2018.

キーワード：green infrastructure, participatory modeling, workshop, SWMM, CSO

Initial Memory Conditions and Multi-scale Dynamics in Socio-Hydrological (SH) Flood Modeling in Nagoya City

Graduate School of Environmental Studies, Tohoku University Muthiah Sadidah
International Research Institute of Disaster Science, Tohoku University Daisuke Komori
Department of Civil and Environmental Engineering , Tohoku University Ryohei Tachikawa

1. Introduction

Inland flooding has become a major cause of disaster losses in Japan, accounting for about 40–70% of all floods in cities such as Tokyo, Osaka, and Nagoya (Kato, 2021; Komori et al., 2022). Recent MLIT data (2023) show that inland floods still cause the largest share of total damage, emphasizing the need to understand both physical and societal dimensions of flooding.

Most socio-hydrological (SH) models have been applied at large scales and assume no prior societal memory, limiting their ability to capture localized responses (Xia et al., 2022; Komori et al., 2025). This study applies an improved SH model to frequent inland flood areas in Nagoya City, incorporating initial memory conditions and comparing multiple spatial scales to enhance the model's ability to capture human–flood interactions more accurately.

2. Method

An improved socio-hydrological (SH) model (Komori et al., 2025) was applied to represent pluvial flooding by modifying the flood-intensity and protection-increment equations:

$$F = 1 - \exp\left(-\frac{R_F - \alpha_R \times H_-}{co}\right), if\ R_F > R_T \quad (1) \qquad R_T = \alpha_R \times H_- \quad (2)$$

where F is flood intensity (–), R_F is rainfall intensity (mm/h), α_R is design rainfall intensity (mm/h), H_- is pre-flood protection level (–), R_T is rainfall threshold (mm/h), and co is a coefficient relating rainfall to damage.

Population and memory dynamics were expressed as:

$$\frac{dD}{dt} = \rho_d\left(1 - D(1 + \alpha_D M)\right) - \Delta(\Psi(t))FD_- \quad (3)$$

$$\frac{dM}{dt} = \Delta(\Psi(t))FD_- - \mu_S M \quad (4)$$

where D is normalized population density, ρ_D is relative growth rate (/year), α_D is preparedness–awareness ratio (–), $\Delta(\Psi(t))$ is a flood-occurrence function (1 during flood, 0 otherwise), and μ_S is the rate of memory loss (/year).

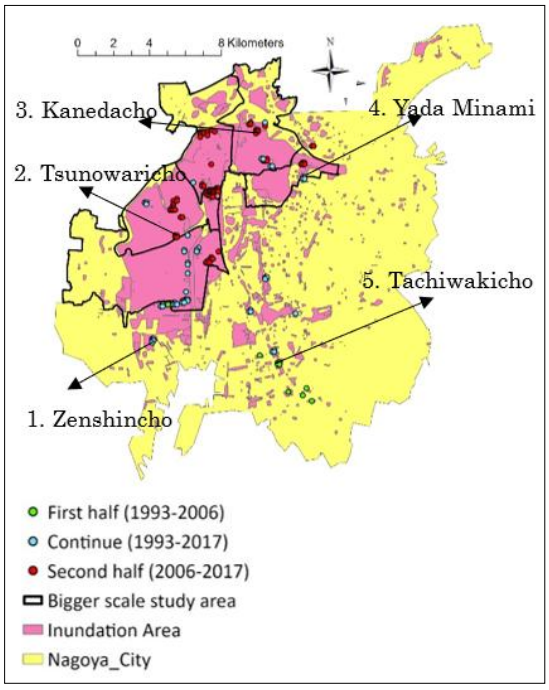


Fig. 1 Study area of Nagoya City

Initial conditions for M were determined through a spin-up simulation (1993–2005) until memory values stabilized. Model validation used the F-ratio between observed and simulated flood intensity.Flood occurrence timing was classified as early (1993–2005), continuous (1993-2017), or latter (1993–2005 vs. 2006–2017).

To examine scale effects in inland flood dynamics, this study analyzed flooding in Nagoya City at both small and large spatial scales. At the small scale, frequently flooded inland areas were identified using flood damage maps from 1993 to 2017. Areas that experienced flooding five times or more were classified as frequently flooded, yielding 155 areas. From these, five representative small-scale areas, each covering approximately 0.05 km², were selected for detailed analysis to capture localized human–flood interactions whereas the larger-scale study area (91.5 km^2) was selected after merging all inundation areas in

Nagoya City from 1996 to 2017 (see Fig.1).

3. Results

After applying the initial condition, differences in societal memory became evident across the target areas. In Yada Minami, the memory value showed a distinct decline—from 0.42 to 0.26 after 2000—whereas Tsunowaricho and Zenshincho displayed relatively stable or rising trends (see Fig. 2a, Fig. 2b, and Fig. 2c, all representing results with initial conditions). Field surveys revealed zero household preparedness in Yada Minami despite continuous flooding, suggesting that repeated events did not necessarily strengthen awareness or collective memory.

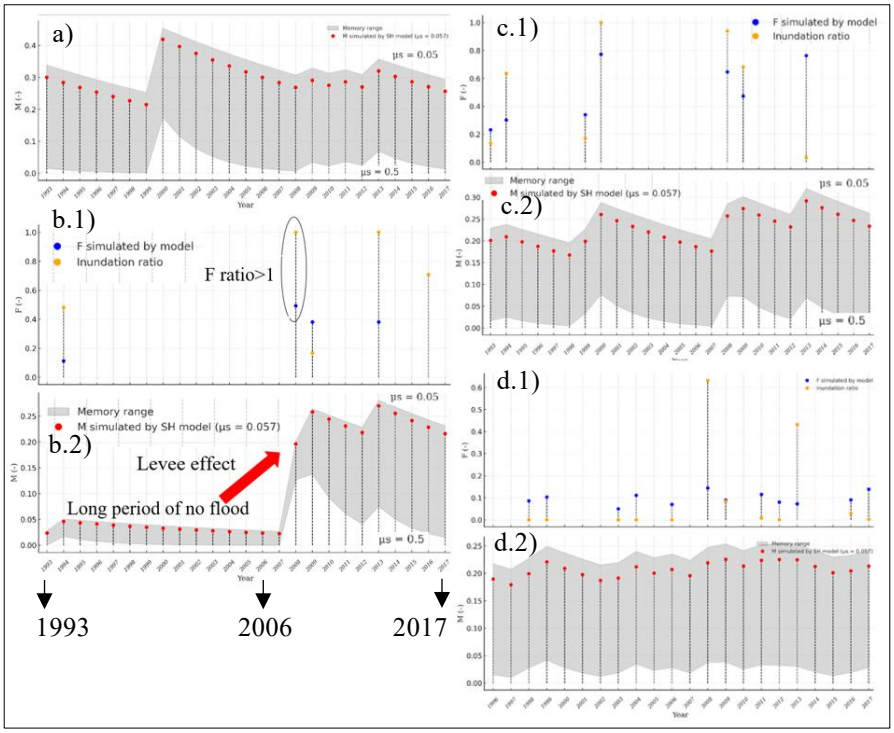


Fig. 2 Result of Socio-hydrolical modeling

The levee effect was observed in Tsunowaricho (see Fig. 2b), classified as a “latter” area where flooding became frequent after 2006. In this area, no flooding was recorded until 2008, resulting in very low community memory (0.02 in 1993) (see Fig.2 b.2). After 2006, the construction of flood countermeasures remained unfinished and could not accommodate the increasing rainfall intensity, leading to more frequent flooding events after 2008. Consequently, residents’ flood memory rose sharply in 2008 (0.1962), and peaked at 0.27 in 2013. The F ratio also exceeded 1 in 2008 (see Fig.2 b.1), indicating that the inundation ratio was greater than the flood model projection, which represents the occurrence of the levee effect after memory decline due to no flood period.

At the larger spatial scale (see Fig. 2d), the SH model could not clearly reproduce the levee effect. In 2008, the observed inundation ratio exceeded the modeled flood intensity (F = 5.5) (see Fig.2 d.1), while societal memory remained high due to continuous small floods, preventing the typical pre-flood decline. In 2016, F < 1 indicated the adaptation effect, but memory values still fluctuated and declined instead of accumulating, suggesting that the model failed to capture adaptive behavior.

4. Conclusion

This study applied SH model to inland flood-prone areas of Nagoya City, introducing realistic initial memory conditions and comparing results across spatial scales. At the small scale, the model captured both the levee effect after long flood-free periods and the adaptation effect under repeated flooding. It is showing that initial memory improves alignment with observed social and population trends. At the larger scale, these dynamics became less distinct, as spatial averaging reduced local feedback between people and floods. The findings highlight that realistic initial conditions and appropriate spatial resolution are essential for reproducing human–flood interactions and improving the SH model’s reliability in urban flood analysis.

References

1) Baldassarre, G. D., Viglione, A., Carr, G., Kuil, L., Salinas, J. L., & Blöschl, G. (2013). Socio-hydrology: Conceptualising human–flood interactions. Hydrology and Earth System Sciences, 17(8), 3295–3303. https://doi.org/10.5194/hess-17-3295-2013

2) Komori, D., Oyatsu, Y., Sadidah, M., & Nagami, K. (2025). Improvement of socio-hydrological model to capture the dynamics of pluvial floods: a case study in frequent pluvial flooding areas in Wakayama City, Japan. Frontiers in Water, 7, 1553835

Keywords: Socio-hydrological modeling, Initial Memory Conditions , Multi-scale, Flooding

次世代マイクロ波放射計 SAMRAI による水蒸気鉛直分布推定の初期検討

東京科学大学 環境・社会理工学院 土木工学コース ○鶴岡 整
宇宙航空研究開発機構 第一宇宙技術部門 Nguyen Tat Trung
東京科学大学 環境・社会理工学院 内海信幸

１．はじめに

近年，人工衛星に搭載されたマイクロ波放射計によるリモートセンシングは，雲水量，降水量，水蒸気量，海上風速，海面水温などの推定に広く利用されている．マイクロ波観測は雲を透過し，昼夜を問わず観測可能であることから，気象分野において重要な観測手段となっている [1)]．特に現在広く利用されている AMSR シリーズなどのマイクロ波放射計は，全球規模で安定した観測を長期間継続してきた．一方で，従来のセンサでは，観測周波数帯が限られていることや周波数分解能が粗いことから，大気下層の水蒸気鉛直分布を詳細に推定することは難しかった．さらに近年では，携帯電話などの通信に用いられる人工電波による干渉（RFI）が問題となっている．このような背景のもと，次世代マイクロ波放射計 SAMRAI が開発されている [2)]．人工電波による干渉を受けた周波数の除去や詳細な情報取得を可能にするため SAMRAI は 1.2～40 GHz を高い周波数分解能で観測する．本研究では，この高周波数分解能観測に着目し，SAMRAI のマイクロ波輝度温度から水蒸気鉛直分布を推定できる可能性を検討した．

水蒸気鉛直分布は降水現象や線状降水帯の発生・発達を理解する上で重要な情報であるが，高度と周波数の間には単純な一対一の対応関係が存在せず，観測された輝度温度は大気全体の情報が混合されたものであるため，水蒸気鉛直分布を推定するために機械学習などの定量的な手法を用いた．さらに，周波数選択が推定精度に与える影響についても検討した．

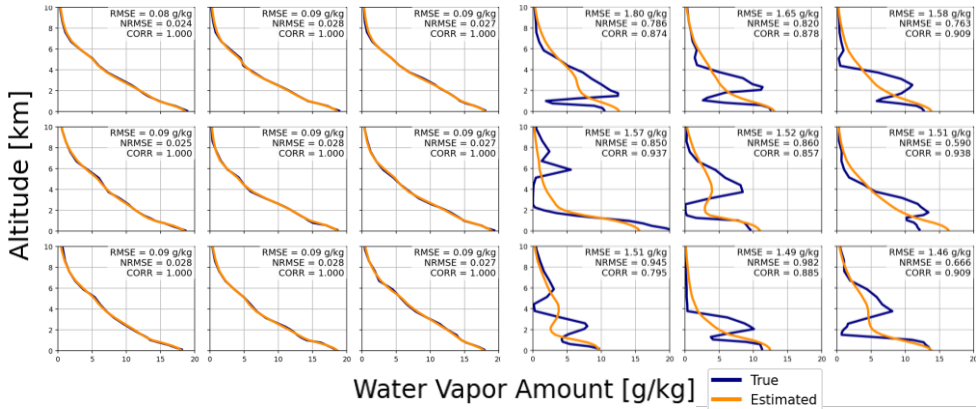
２．使用データ

本研究では，JRA-3Q 再解析データ [3)]から気温や比湿などの大気プロファイルを取得し、その気象条件を放射伝達モデル SDSU[4)] に入力して作成した仮想 SAMRAI 観測データを使用した．対象データは降水や雲の影響を排除するため晴天時のみとし，SAMRAI の観測範囲の中で，海上領域に限定した．また，地表面条件や風速なども一定とし，水蒸気の影響を明確に評価できるようにした．これらの気象データと仮想観測データを事前データベースとして構築し，推定および検証に利用した．データは，学習用として 2018 年から 2022 年，検証用として 2023 年のものを用いた．また，周波数は 1.2 GHz から 40 GHz までを 270 MHz 間隔で使用した．また，推定には，観測に近い事例を参照することで推定根拠を解釈しやすいベイジアンリトリーバルと，複雑な非線形関係を学習して高精度な推定が期待できる機械学習手法（ランダムフォレスト）の 2 種類を使用した．

３．結果

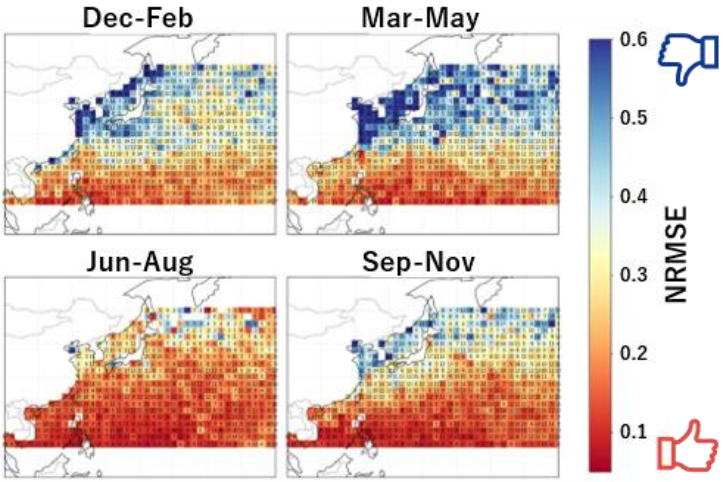
・実験 1 （水蒸気鉛直分布推定の初期的評価）

SAMRAI の観測を想定したマイクロ波輝度温度データを用いて，水蒸気鉛直分布を推定する実験を行った．こ



図−1　ランダムフォレストによって推定精度が良かった 9 個と悪かった 9 個の結果

こでは，ベイジアンリトリーバルとランダムフォレストの 2 種類を比較した．その結果，どちらの手法でも水蒸気の分布をある程度再現できたが，全体としてはランダムフォレストの方が，標準化した二乗平均平方根誤差（NRMSE）において 11 % 良い結果を示した．そのため，本稿ではランダムフォレストによる結果を中心に示す．



図−2　季節ごとの推定結果

推定された水蒸気プロファイルの形に注目すると，図−1 のように，なめらかに変化する単純な分布では真値と推定値がよく一致する一方で，水蒸気量が高さ方向に急激な変化を持つ複雑な分布（凸凹なプロファイル）では誤差が大きくなる傾向が見られた．特に乾燥した条件や局所的な変動が強い場合には，再現が難しいことが分かった．これは，観測される輝度温度が大気全体の情報をまとめた量であるため，鉛直方向の分布を正確に分離することが難しいためと考えられる．

さらに，地域や季節による違いを調べるため，様々な海域や時期のデータを比較した結果が図−2 である．低緯度の海域では比較的良い推定ができたのに対し，日本近海，特に東シナ海周辺では精度が低くなる傾向が見られた．また，その中でも季節別に見ると春の精度が特に低くなることがわかった．一般に，春季の東シナ海では大気状態が複雑となることが多く，大気の状態が複雑になる条件ほど推定が難しくなることが分かった．このことから，推定精度は大気状態の単純さや安定性に強く依存していることが示唆された．

・実験 2 （使用する周波数チャンネルの影響評価）

使用する周波数の数が推定に与える影響を調べた．推定に，SAMRAI がもつように多数の周波数を用いた場合と，従来のセンサがもつような一部の代表的な周波数のみを用いた場合を比較したところ，滑らかなプロファイルが多い条件では少ない周波数でも同等の精度が得られた．一方で，東シナ海の春のように難しい条件では，多くの周波数を用いた方が一部の代表的な周波数だけを用いた場合と NRMSE で比べて 12 % 良い結果となった．このことから，多周波観測は特に複雑な大気条件において有効であり，SAMRAI の広帯域観測の利点が示された．

４．まとめ

本研究では，SAMRAI の観測データを想定したマイクロ波輝度温度から水蒸気鉛直分布の推定可能性を検討した．その結果，多周波情報を用いることでプロファイルの特徴を再現できることが確認された．特に滑らかな分布では高精度な推定が可能であった．一方で，凸凹なプロファイルでは課題が残った．そのため，気象条件が不安定になる特定の地域・季節では精度が低下した．今後は，より適切なデータベース構築や手法の改良により，精度向上を図る必要がある．さらに，実観測データへの適用や他手法との比較も今後の課題である．

参考文献

1) R. G. Sivira et al., “A layer-averaged relative humidity profile retrieval for microwave observations: Design and results for the Megha-Tropiques payload,” Atmos. Meas. Tech., vol. 8, no. 3, pp. 1055–1071, 2015.
2) 宇宙航空研究開発機構（JAXA），「SAMRAI 衛星」，サテライトナビゲーター，https://www.satnavi.jaxa.jp/ja/project/samrai/（参照日：2026 年 4 月 17 日）．
3) Y. Kosaka et al., “The JRA-3Q Reanalysis,” J. Meteorol. Soc. Japan, vol. 102, no. 1, pp. 49–109, 2024.
4) H. Masunaga et al., “Satellite Data Simulator Unit: A multisensor, multispectral satellite simulator package,” Bull. Amer. Meteorol. Soc., vol. 91, no. 12, pp. 1625–1632, 2010.

キーワード：water vapor, microwave radiometer, satellite remote sensing, SAMRAI, feasibility study

一級河川における LiDAR DEM を用いた堤防位置および高さの推計精度の検証

芝浦工業大学　大学院理工学研究科　○吉村　湧
芝浦工業大学　SIT 総合研究所　Do Ngoc Khanh
（株）ウェザーニュース　日置江　桂
東京大学　生産技術研究所　山崎　大
芝浦工業大学　工学部土木工学課程　平林　由希子

１．はじめに

近年、居住地の氾濫原への拡大や資産の高密度化、さらに気候変動に伴う極端降水・洪水の激化によって、水害リスクは世界的に増加している。そのため、高解像度の洪水ハザードマップの整備が進められているが、全球洪水モデルでは堤防などの防御施設の表現が不十分であり、洪水リスクを過大評価する要因となっている。また、既存の全球防御データベースは空間解像度が粗く、局所的な堤防配置や堤防高を十分に表現できない。こうした課題に対し、Khanh et al. (2025) [1]は LiDAR DEM から広域的に堤防位置を推計する手法を開発し、堤防高推定への応用可能性も示した。しかし、その精度を広域的に検証した研究はまだ限られている。そこで本研究では、日本の一級河川を対象に、DEM から推計した堤防位置・堤防高データが実際の堤防高分布をどの程度再現できるかを検証した。

２．手法およびデータ

堤防位置の推定には、LiDAR DEM を用いたライン化堤防検出手法を用いた。具体的には、堤防を凸状の連続する盛り土構造物と仮定し、断面曲率 0.01 以上のピクセルが 10 画素以上連続する箇所をラインとすることで位置を推定した。作成したラインには、連結された各ピクセルに対して複数の地形量を算出し、それらの統計情報をライン単位で集約している。抽出された堤防候補には、山の尾根や微小な盛り土地形も検出しているため、DEM から作成した曲率や側面差などの地形量を基づくパラメータを用いて堤防判定を行い、条件を満たしたものを堤防と判定した（表１）。使用した LiDAR DEM は日本の DEM5A を 10m にアップスケールしたものを使用し、堤防抽出を行う範囲は、河川の中心から 1500m の範囲とした。

表１　堤防検出に使用する閾値と条件

パラメータ	シンボル	条件と閾値
標高差 (中央値)	$Z_{r,\mathrm{med}}$	$1.0 < Z_{r,\mathrm{med}} < 15.0$ m
側面差 (中央値)	$A_{\mathrm{diff,\ med}}$	$< 44°$
側面差 (MAD)	$A_{\mathrm{diff,\ MAD}}$	$< 7.0°$
相対標高 (中央値)	$Z_{\mathrm{prime,\ med}}$	> 0.0 m
長さ	L	> 500 m

堤防高の検証データは、山田ら(2022)[2] により整備され日本域表面流向マップ上に配置された断面データを用いた。作成された手法は以下の通りである。まず、河川の両岸の距離標の座標を特定した。対応する座標が得られない場合や、距離標間を結んだ線が河川と交差していない場合には、その断面を処理対象から除外した。次に、対象断面に対応する断面測量データを読み込み、断面形状に基づいて最低河床位置を検出した。さらに、この最低河床位置を基準として、その左側に存在する最頂部を左岸、右側に存在する最頂部を右岸の堤防高とした。なお、最頂部抽出にあたっては、鉄柵、生垣、ブロック塀、ガードレールなど堤防本体を表さない構造物は除外対象とした。

実測データと DEM から推定された堤防高を比較する際には、まず、実測データにおける各距離標地点の左右岸の最頂部位置から横断線を作成し、これと堤防検出データとの交点を求めることで、標高比較のためのポイントデータを作成した。また、横断線と堤防検出データの交点が 2 点より多かった場合、各左右岸の最頂部から最も近い交点を選び比較を行った。さらに、各堤防検出点において、5 m 解像度の LiDAR DEM（DEM5A）を用い、当該点および周囲 8 ピクセルの中から最大絶対標高値を抽出し、河川断面測量から得られた最頂部標高を比較した。

３．結果

鬼怒川における堤防高の比較では、DEM から作成した堤防の高さと河川断面測量から取得した実測データに基づく堤防高さとの対応は概ね良好であり、検証した 646 地点における平均の標高の平均誤差（RMSE）は 1.233 m であった。標高差（堤防抽出部－最頂部）の分布をみると、誤差は 0～-1 m の範囲に最も多く集中しており、全体として負の側に偏っている事が分かる（図１）。すなわち DEM から作成した堤防高の方が過小となる傾向が確認された。これらの結果は、DEM5A 自体の高さ誤差だけでなく、堤防検出位置の水平誤差や実測データ側の座標誤差の影響を受けている可能性を示している。この鬼怒川における RMSE は、本研究で得られた標高誤差は、既往手法による堤防検出結果の RMSE 2.73 m と同程度以上の範囲にあり、DEM を用いた推計の性能範囲内に収まると考えられる。なお、堤防と判定したピクセルと同一のピクセルにおける DEM から堤防高を取得すると、その平均誤差は 1.890m となり、堤防検出位置と実際の堤防の天端中心との水平的なずれが堤防高さの誤差に影響していることがわかる。周囲 8 ピクセルの最高標高を堤防高とした際には 1.233m であるが、その範囲を広げて周囲 16 ピクセルとすると、堤防誤差は 1.161 m とさらに小さくなる。これ以上探索範囲を広げても RMSE の変化は小さいことから、堤防検出位置の水平誤差は概ね 0～10 m 程度であると推察される。

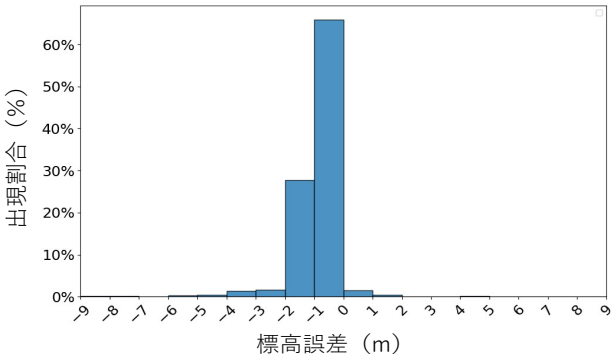


図１　標高誤差の出現割合　n = 646

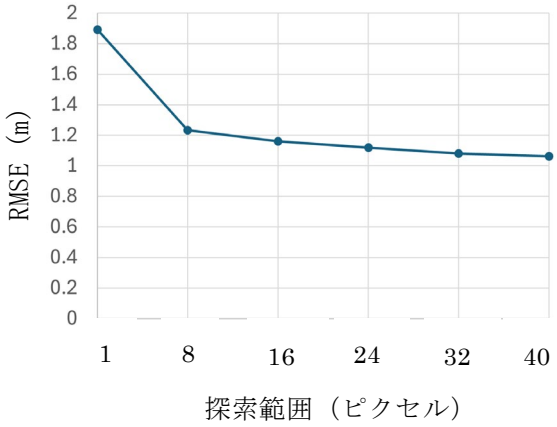


図２　探索範囲を変化させた時の RMSE の

一方で、単純な堤防の水平位置のずれのみでは堤防高さの誤差を説明できない事例も確認された。例えば、崖地形の標高が堤防の最頂部として誤抽出された地点では、約 -7 m の大きな誤差が生じていた。また、橋梁付け根部では、本来の横断線が橋梁部を通過しているにもかかわらず、距離標位置のずれによって該当地点の値を正しく取得できず、-2～-5 m 程度の誤差が生じる事例が 4 地点確認された。実測の距離標座標誤差と標高誤差絶対値に明瞭な相関関係は認められなかったことから、標高誤差は単一の要因ではなく、地形条件、横断線位置のずれ、検出した堤防位置のずれが複合的に影響した結果であると考えられる。

４．まとめ

本研究では、LiDAR DEM から推計した堤防位置および高さが、実測の堤防高をどの程度再現できるかを検証した。鬼怒川では、推計堤防高と実測値の RMSE は 1.233m と概ね良好な対応を示すが、全体的に過少評価となる傾向（0～-1 m）となる事が判明した。一方、崖地形の誤抽出や橋梁部周辺での距離標のずれによる局所的に大きい誤差が確認されたことから、堤防高さの推計精度には、地形条件や横断線位置の不確実性が複合的に影響していることが示された。

５．参考文献

1)　Khanh, D. N. et al: Mapping the World's River Levees: A Hyper-Resolution Levee Database Based on Digital Elevation Models, *Geophysical Research Letters*, Vol. 52, No. 11, p. e2024GL114121, 2025.
2)　山田真史ら：日本全域分布型水文モデルへの河道測量横断面反映手法の開発と水位再現性の検証，*土木学会論文集 b1（水工学）*, Vol. 78, No. 1, pp. 7–22, 2022.
3) 津村ら：高解像度 DEM を用いた広域に適応可能な河川堤防自動検出手法の開発，土木工学会論文集 b1（水工学）, Vol 80, No. 16, 2024

キーワード：Levee, LiDAR DEM, Levee Detection, Levee Hight

Sentinel-2 衛星画像と機械学習を用いた流域および河道内における外来樹種ニワウルシの検出

山梨大学 大学院医工農学総合教育部　○青木実伶
山梨大学 国際流域環境研究センター　馬籠純 石平博 相馬一義
山梨県 富士山科学研究所　安田泰輔

１．はじめに

外来植物は在来種との競合や駆逐を通じて生物多様性に大きな影響を及ぼす。河川は外来植物による影響を受けやすい自然環境かつ、洪水時の流下能力の阻害など、河川管理上の重大な支障をきたすと指摘されている[1)]。中国原産の落葉広葉樹であるニワウルシ（*Ailanthus altissima*）は、極めて速い成長速度に加え、風だけでなく二次的に水によっても拡散される強力な種子拡散能力、および他種の成長を阻害するアレロパシー物質の生成という特性を持つ[2)]。乾燥に強く、水流にさらされた種子が高い発芽率を維持すること[2)]から、河川敷は本種の主要な侵入経路および定着地となりやすく、河畔林生態系への影響が懸念される。日本では重点対策外来種に指定されており、山梨県内でも甲府盆地を中心に全域で侵入が確認されている。本種の早期発見と迅速な防除には侵入状況の正確な把握が不可欠であるが、従来の地上観測だけでは広範囲な河川域を網羅することは困難であり、リモートセンシングによる観測が期待される。これまで、高解像度商用衛星を用いた検出事例はあるが、継続的なモニタリングにおいてはコスト面や観測頻度が課題であった。そこで本研究では、無償かつ高い時空間分解能と多波長情報を有し検出に適した Sentinel-2 人工衛星画像と機械学習モデル(Randam Forest)と組み合わせることで、外来樹種ニワウルシの流域および河川内への侵入状況把握の実現可能性を評価するとともに、検出精度向上を目的とした。

２．使用データおよび検出方法

2021 年に山梨県内で実施した車載カメラ調査に基づき、ニワウルシが単独で写っている地点を抽出した。位置情報を付与したニワウルシ地点（694 点）および同数をランダムサンプリングした非ニワウルシ地点（694 点）を教師データとした。2021 年の Sentinel-2(L2A)の観測データを用い、月ごとに複数時期の画像を重ね合わせて雲の影響を除去したコンポジット画像（計 12 枚）に基づくモデルを作成した。雲による欠損が 1 ヶ月以上継続した期間については、前後時期の晴天日の値から線形補間を行うことで連続性を確保した。また、コンポジット画像との比較のため、各月から晴天日を目視により選定した画像（計 12 枚）に基づくモデルも構築した。なお、月間を通じて欠損が生じた期間については、前後の月の晴天画像で代替した。今回は最もパフォーマンスがよかった、各地点の周囲 5×5 ピクセル（110m×110m）の領域から、正規化植生指標 NDVI(式 1)、正規化マルチバンド干ばつ指標 NMDI[3)](式 2)、および葉緑素量に敏感な Chlorophyll Red-Edge[4)](式 3）の平均値を算出した。

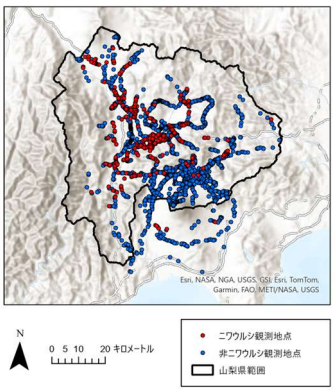


図 1　観測されたニワウルシと非ニワウルシの位置

$$NDVI = \frac{NI}{NIR+R} \quad \cdots(1) \qquad NMDI = \frac{NIR-(SWEIR1-SWIR2)}{NIR+(SWIR1-SWIR)} \quad \cdots(2) \qquad CIre = \left(\frac{NIR}{Red-Edge}\right)\text{-}1 \quad \cdots(3)$$

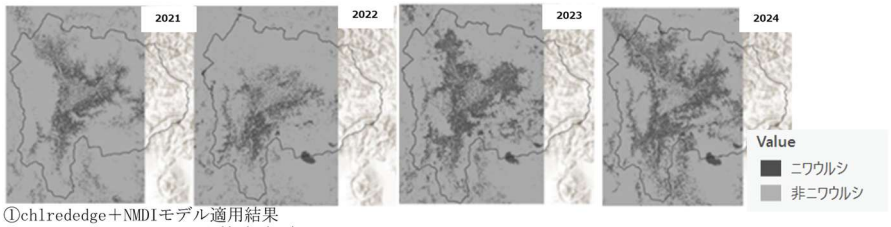
ニワウルシ地点及び非ニワウルシ地点（各 694 点）の指標値を説明変数として Random Forest による二値分類モデルを構築し、モデルの精度を評価した。さらに、構築したうちの高精度なモデルを富士川流域に適用し、複数年の画像から個体群の増減推移を解析する予定である。

３．結果と考察

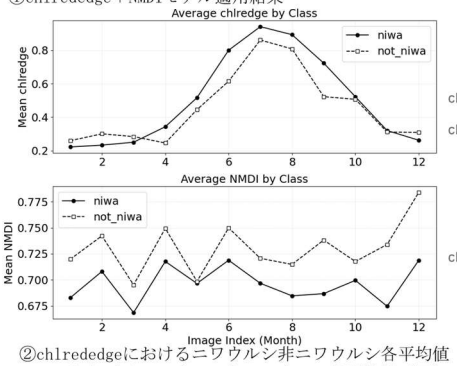
モデルの精度の評価は、精度評価には、正解率、再現率、適合率、および F 値を用いた。再現率は対象の見逃し（偽陰性）、適合率は誤検出（偽陽性）の少なさを示し、F 値はその両者の調和平均である。表 1 のとおり、全般的にコンポジット手法よりも目視選択手法において高い精度が得られた。特に Chlorophyll Red-Edge と NMDI を組み合わせ、目視選択を行ったモデルでは正解率が 0.87 と最も高かった。

表 1　作成したモデルの評価結果

特徴量の組み合わせ	雲処理手法	正解率	適合率	再現率	F-1値
NDVI+NMDI	コンポジット	0.85	0.82	0.89	0.85
NDVI+NMDI	目視選択	0.86	0.83	0.90	0.86
chlrededge+NMDI	コンポジット	0.85	0.81	0.89	0.86
chlrededge+NMDI	目視選択	0.87	0.85	0.90	0.87



①chlrededge＋NMDIモデル適用結果



②chlrededgeにおけるニワウルシ非ニワウルシ各平均値（上）
NMDIにおけるニワウルシ非ニワウルシ各平均値（下）



③chlrededge＋NMDIモデルにおける上位特徴量重要度

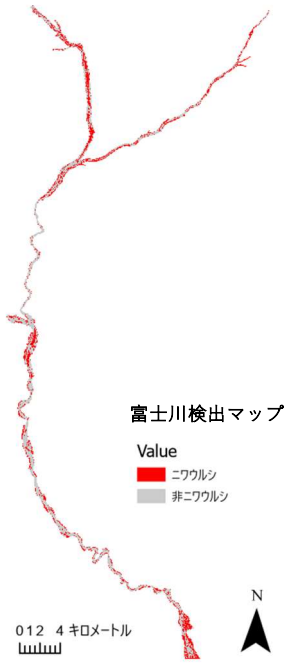


図 3　chlrededge＋NMDI モデル富士川河道内への適用結果

図 2　①chlrededge＋NMDI モデル適用結果（上）、②chlrededge におけるニワウルシ非ニワウルシ各平均値（左中）、NMDI におけるニワウルシ非ニワウルシ各平均値（左下）③chlrededge＋NMDI モデルにおける特徴量重要度（右下）

さらに、Chlorophyll Red-Edge と NMDI を組み合わせ、目視選択を行ったモデルを使用し山梨県の範囲に適応したポテンシャルマップを作成した結果、ニワウルシの拡大傾向が確認された（図２）。また、算出した特徴量の重要度から、4 月および 9 月の Chlorophyll Red-Edge の寄与が最も高く、ニワウルシ固有のフェノロジーが識別の主軸となっていることが判明した（図 2）。一方で、重要度上位には冬季（12 月、11 月）の NMDI も含まれており、生育適地の背景環境も判定に関与していると考えられる。しかし富士川河道内にモデルを適用した結果（図３）、河道全域においてニワウルシが過剰に抽出される傾向が確認された。これは、学習データとした道路沿いの地点と今回予測対象とした河川敷内とで、背景となる土壌水分や地被状態が大きく異なることが要因と考えられる。特に NMDI 等の水分指標において、河川敷特有の水分環境がニワウルシの分光特性と混同された可能性が高い。今後は、水辺の国勢調査をもとにした学習データの拡充や、標高・比高データの導入による環境条件の分離が必要である。

４．まとめ

本研究では、Sentinel-2 衛星データと機械学習（Random Forest）を用いることで、富士川流域におけるニワウルシ分布推定モデルを構築した。コンポジット画像よりも、目視選択した 12 時期の晴天画像を用いた Chlorophyll Red-Edge+NMDI モデルにおいて高い精度が得られることが明らかとなった。一方で、水分条件による河川敷内での過検出という課題も判明した。今後は水辺の国勢調査データやさらなる現地調査、標高・比高データの導入に基づき、河川特有の背景環境を反映した学習データの拡充を目指し、本手法の補正精度を向上させていく予定である。

参考文献

1) 国土交通省水管理・国土保全局河川環境課：河川 における外来植物対策の手引き，平成 25 年 12 月 https://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/kankyo/gairai/tebiki.html
2) Jordi Soler et al., The Invasive Ailanthus altissima: A Biology, Ecology, and Control Review.Plants 2024, 13, 931.
3) Lingli Wang et al., NMDI: A normalized multi-band drought index for monitoring soil and vegetation moisture with satellite remote sensing. GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS, VOL. 34, L20405, doi:10.1029/2007GL031021, 2007
4) Gitelson et al. Relationships between leaf chlorophyll content and spectral reflectance and algorithms for non-destructive chlorophyll assessment in higher plant leaves. J. Plant Physiol. 160. 271–282 (2003)

キーワード：Remote sensing, Invasive species, Machine learning, Ailanthus altissima, River channels plants

SWOT 衛星観測に基づく河川水面標高の時空間補完と地上観測による精度評価

東京科学大学　環境・社会理工学院　○原幸那
東京科学大学　環境・社会理工学院　鼎信次郎

１．はじめに

河川水位の時空間分布の把握は、洪水予測・水資源管理・防災計画において極めて重要である。しかしながら、従来の地上観測網は観測点が離散的であり、世界的に地上観測網が十分に整備されている地域は限られている

近年、Surface Water and Ocean Topography (SWOT)に代表される衛星観測により、河川や湖沼における水面高度 (Water Surface Elevation: WSE) を広域かつ高解像度で取得することが可能となった。SWOT は幅広いスワス観測によって河川の横断方向を含む詳細な水面情報を提供する点が特徴である。一方で、21 日周期の軌道に依存しているため、時間的解像度に限界がある。SWOT 観測の空間的・時間的な欠損を補うために、河川ネットワークをグラフとして扱う Graph Neural Network（GNN）を用いた手法が提案されており、Osanlou ら [1]は、SWOT の WSE・幅・勾配に加えて気象データや流量データを統合し、リーチごとの流量を推定する手法を提案した。

本研究では、SWOT の異なる軌道により観測された河川ノードデータを統合し、GNN を用いて非観測ノードの水面標高を推定する手法を提案する。具体的には、同一河川におけるノード間の接続関係をグラフとして構築し、ある軌道で観測された水位分布の特徴から、他軌道でのみ観測される領域の水位を推定する枠組みを構築する。これにより、単一軌道では得られない高密度な水位分布の再構成を目指す。さらに、推定結果を地上観測の水位データと比較検証し、本手法の有効性を評価する。

２．使用データ・手法

信濃川水系のうち、信濃川上流・信濃川下流を対象とした。SWOT River Database（SWORD）[2]に定義された約 200m 間隔のノードごとに、SWOT の観測結果を集約して提供する L2_HR_RiverSP のうち、信濃川流域を観測する軌道番号 254、532、547 を使用した。観測の品質を評価する指標である Quality Flag が、各ノードごとに good / suspect / degraded / bad の 4 区分のうち、good または suspect と分類されたノードのみを解析に使用した。モデル評価には水文水質データベースにおける観測所水位データを日平均に変換して使用した。水位データは水位に零点高を加えた上で、T.P（東京湾平均海面）基準と EGM2008 ジオイド面との差を考慮した補正を行い、SWOT 衛星の水面標高と整合する絶対標高系に統一した。解析対象とした SWOT の 1168 ノードと軌道、観測所位置を図 1 に示す。期間は 2023 年 8 月 1 日から 2025 年 12 月 31 日を対象とした。

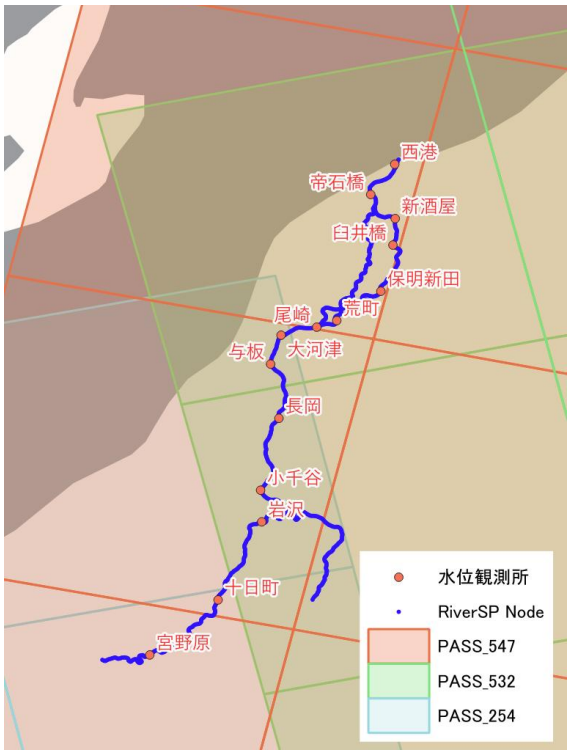


図-1　解析対象の概要

本研究では、SWOT 観測の時空間補完問題として水面標高推定を定式化した。河川ネットワークは SWORD ノードを頂点とし、同一リーチ内の隣接関係およびリーチ間の上流・下流接続によりグラフ構造を構築した。入力データには、ノードごとの WSE を用い、各時刻・軌道ごとにグラフデータを生成し、ノード特徴量としてノードごとの平均水位および分散、河川距離に基づく位置情報、隣接ノードからの観測情報の集約値を付与した。モデルにはグラフ注意ネットワーク（GAT）を採用し、多頭注意機構により隣接ノードからの情報伝播を学習した。出力は各ノードにおける正規化水位であり、最終層でスカラー値として推定される。損失関数は、観測ノードにおける平均二乗誤差、隣接ノード間の平滑性を促す正則化項、下流方向への単調性制約、上流から下流への振幅減衰制約の複合損失と

した。推論時にはモデル出力を元のスケールに逆変換し、観測が存在するノードについては観測値を採用し、非観測ノードのみを推定値で補完した。

精度評価のため、SWOT 観測値と実測値、GNN 推定値と実測値を、それぞれ観測所周辺 10 ノードの平均値に変換したうえで観測所ごとに RMSE を算出した。

３．結果

SWOT 観測データと GNN による水位推定結果について、観測所ごとの精度評価を表 1 に示す。SWOT 単独観測に基づく水位と比較して、GNN による推定水位は全ての観測所において RMSE が低下した。尾崎では、SWOT の RMSE が 2.2m であるのに対し、GNN では 0.87m に低減し、61%の誤差低減が確認された。また、西港、帝石橋など下流域では、SWOT 観測における有効軌道数が相対的に少ないにもかかわらず、GNN による推定は SWOT 単独よりも高精度な結果を示した。

表-1　観測所別の水位推定精度比較

観測所	RMSE[m] (SWOT)	RMSE[m] (GNN)	RMSE 改善率	データ数 (SWOT)	データ数 (GNN)
西港	0.26	0.14	0.45	26	96
帝石橋	1.53	1.05	0.31	28	96
新酒屋	1.86	1.12	0.40	30	96
臼井橋	2.36	1.60	0.32	38	96
保明新田	1.40	0.92	0.35	38	96
荒町	2.13	1.29	0.39	49	96
尾崎	2.22	0.87	0.61	52	96
大河津	7.68	4.55	0.41	61	96
与板	5.92	3.87	0.35	47	75
長岡	5.15	3.10	0.40	59	96
小千谷	6.10	2.63	0.57	89	96
岩沢	1.78	1.50	0.16	90	96
十日町	1.99	1.47	0.26	71	96
宮野原	5.07	2.97	0.41	69	96

一方、最も RMSE が大きかった大河津では、対象期間に顕著な大規模出水は記録されていないにもかかわらず、SWOT 観測において約 20m の誤差が複数回発生していた。この影響により、SWOT 観測値および GNN 推定値のいずれにおいても誤差が大きくなる結果となった。同様の傾向は上流の与板でも認められたが、さらに下流に位置する尾崎では同様の異常値は確認されなかった。与板および大河津に共通する特徴として、観測所が橋梁構造物付近に位置している点が挙げられることから、衛星観測において水面と橋梁面が混在して捉えられていた可能性があり、これが異常値発生の要因である可能性が示唆される。

このような誤差の発生を除くと、河川全域において、GNN は SWOT 単独観測と比較して誤差を低減し、時間的観測密度の増加と空間補間の効果により、安定した水位推定を実現した。

なお、本研究の対象期間（2023 年 8 月～2025 年 12 月）および対象流域においては、SWOT 観測誤差を大きく上回るような顕著な出水イベントは確認されなかったため、洪水時など急激な水位変動条件下において、本手法が空間的依存性を適切に伝播し推定できるかについては検証されておらず、今後の課題である。

４．まとめ

本研究では、SWOT 衛星観測の時間的欠測を補完することを目的として、河川ネットワーク構造を考慮した GNN による水位推定手法を構築した。信濃川水系を対象とした検証の結果、全観測所において SWOT 単独観測よりも GNN による推定精度が向上し、空間的情報伝播の有効性が確認された。今後は、洪水時など水位が急激に変化する条件下での推定安定性について検証する必要がある。

参考文献

1) Osanlou et al., SWOT-based Simulation of River Discharge with Temporal Graph Neural Networks. Processing of the 38th Conference on Neural Information Processing Systems (NeurIPS), 2024.
2) Altenau et al., The surface water and ocean topography (SWOT) mission river database (SWORD): A global river network for satellite data products. Water Resources Research, 57, 2021, DOI 10.1029/2021WR030054.

キーワード：SWOT, River Water Surface Elevation, Graph Neural Network, Remote Sensing

複数反射体を用いた地上デジタル放送波による水蒸気量変動観測の降雨事例解析
― 大気下層の空間的不均一性に着目して ―

千葉工業大学　創造工学研究科　　○今　颯人
千葉工業大学　創造工学部　　永井佑佳
千葉工業大学　創造工学部　　小田僚子
情報通信研究機構　電磁波研究所　　花土　弘
情報通信研究機構　電磁波研究所　　川村誠治
情報通信研究機構　電磁波研究所　　河谷能幸

１．はじめに

大気下層の水蒸気変動量を時間連続的に観測する手法として，地上デジタル放送波（以降，地デジ放送波）を用いた水蒸気量変動観測がある[1)]．ドローンを用いた同時観測では，地デジ放送波が伝搬している高度に対応する上空 50 m 付近の水蒸気量と良い一致が見られている[2)]．著者らは，この新技術の都市域への適用に向け，建物が林立する都市域上空の水蒸気量の変動を安定的に観測する手法について検討を進めている．既往研究[3)]では，千葉工業大学新習志野キャンパス 2 号館屋上（千葉県習志野市）に受信用八木アンテナを設置し，海浜幕張（千葉県千葉市美浜区）に存在する高層建物を反射体とする観測を行い，地デジ放送波の伝搬遅延時間変動と地上の観測値から算出される伝搬遅延時間を比較し，局地的な気象変動との関係について考察を行った．その結果，観測高度は地上数十～300 m 程度以下であることが示唆されている[3)]．

本研究では，水蒸気量の空間変動の抽出を目的として，受信局から南東方向約 12 km の区間を対象に解析を行った．具体的には，先行研究で用いられた海浜幕張の高層建物を含む 9 つの反射波ピークについて反射体の位置を特定し[4)]（**表 1**，**図 1**），複数反射体からの伝搬遅延時間変動を解析した．その結果，降雨時の伝搬遅延時間の顕著な減少が，大気下層における水蒸気の空間的不均一性を反映している可能性を示した．

２．観測概要

本観測では反射法により水蒸気量変動を推定している[1)]．これは，送信局から直接到来する直達波と，受信局の後方にある構造物（反射体）に反射して到来する反射波を利用した観測である．そのため，観測対象エリアは受信局－反射体間となる．直達波と反射波の位相差θ（rad）から

$$\tau_i = \frac{\theta_i}{2\pi f} \tag{1}$$

により伝搬遅延時間τ（μsec）を算出する．fは地デジ放送波の中心周波数（本解析では 521 MHz），iは反射体に付した番号である．本解析では 1 秒間隔で測定された位相データを 1 分間平均したものを使用している．

なお，地デジ水蒸気量変動との比較評価のため，地上気象データから伝搬遅延時間を算出した結果[3)]も用いた．本解析で使用した地上気象データは，気象庁千葉特別地域観測所で観測された気温，現地気圧，相対湿度，風向，風速，降水量の 10 分値データと，千葉工大新習志野キャンパス 12 号館屋上（受信アンテナを設置している建物に隣接）にある複合気象測器（WS601-UMB，Lufft 社）で観測した気温，現地気圧，相対湿度，降水量の 1 分値のデータを使用した．それぞれの気温，現地気圧，相対湿度から算出した伝搬遅延時間はτ(千葉)，τ(CIT)と呼称する．

３．局地的な気象変動と各反射体の地デジ水蒸気量変動との関係

2024 年 6 月 3 日 10:00～6 月 4 日 2:00 における各反射体の伝搬遅延時間変動を**図 2** に示す．6 月 3 日 18:00～19:00 は降水域が西から東へ移動していた．これに連動するように，地上のτ(CIT)は 18:02，τ(千葉)は 18:40 に減少が確認できた．これは，降水が上空の空気塊を引き下ろし，一時的な局地高気圧と下降気流を生じさせ，上空の

相対的に乾燥した空気が地表付近まで下降したことが示唆されている [3]．また，地デジ放送波の観測値においても，τ_2は 18:25，τ_3は 18:26，τ_9は 18:28，τ_{10}，τ_{11}は 18:37 に減少が確認され，降雨域の移動と連動している．明瞭に伝搬遅延時間が減少したτ_2，τ_3，τ_9，τ_{10}，τ_{11}に対し，τ_1，τ_4，τ_6は上昇傾向がみられ，τ_7の変動は比較的穏やかであった．この時間帯以外，例えば同日 22:00 頃はτ_1～τ_{11}の全てで減少が見られているのに対し，地上降雨が顕著に生じた 18:00～19:00 にかけては，上述のような異なる挙動が生じている．

このように伝搬遅延時間変動に明確な差異が生じた要因として，降雨時に大気下層の擾乱が激しく生じ，観測エリアが異なることによる大気下層の水蒸気の局所的な不均一性が観測された可能性がある．また，反射体の高さはそれぞれ異なることから観測高度が同一ではなく，そのために伝搬遅延時間変動傾向に差異が生じた可能性も考えられる．

4．まとめ

本研究では，千葉県東京湾沿岸エリアを対象として，一時的な降雨が観測された時間帯に着目し，複数の反射体における伝搬遅延時間の変動を解析した．その結果，降水により上空の相対的に乾燥した空気が地表付近まで下降したことを反映したと考えられる伝搬遅延時間の減少が認められる反射体と，顕著な減少が認められない反射体とが混在することが明らかとなった．このことから，その要因の一つとして，大気下層における水蒸気量分布の空間的な不均一性が示唆される．今後は，複数の地上観測機器による水蒸気観測および数値解析を組み合わせることにより，複数反射体を用いた地デジ水蒸気観測が，メソγスケール以下の水蒸気量変動を捉える手法として有用であるかについて検討を進める予定である．

表 1　各反射体の概要

反射体番号	直達波到来から起算する反射波到来までの遅れ時間（μsec）	受信局から反射体までの水平距離（km）	送信局-受信局直線からの相対角度（deg）
1	11.81	1.8	14.2
2	16.31	2.5	8.6
3	22.87	3.5	19.1
4	33.61	5.2	15.8
6	46.49	7.0	0.5
7	52.13	7.8	6.0
9	69.30	10.5	16.1
10	73.82	11.2	17.7
11	77.32	11.7	16.7

※5 と 8 は反射体が不明瞭であるため除外

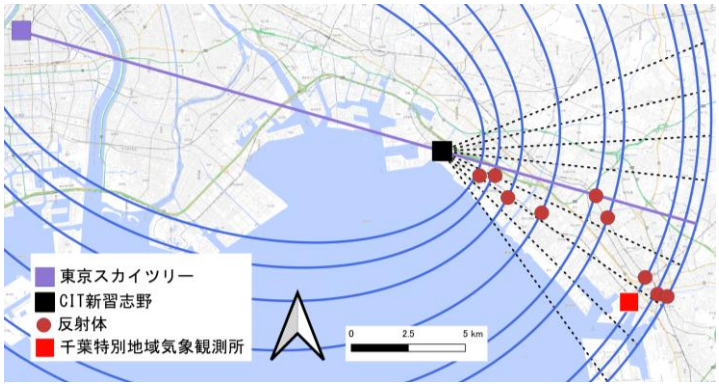


図 1　送信局と受信局と反射体の位置関係
青の楕円線上に反射体が存在する．紫線は送信局（東京スカイツリー）と受信局（千葉工業大学新習志野キャンパス 2 号館）を通る直線．黒破線は受信局における紫線からの角度差を 10° 毎に示す．

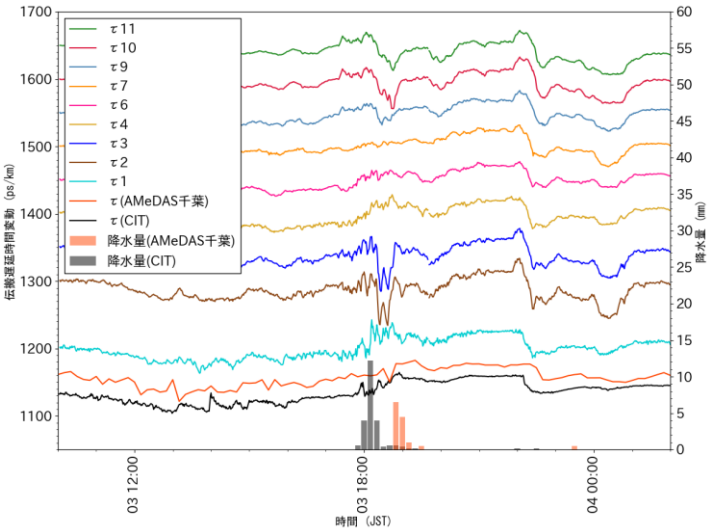


図 2　2024 年 6 月 3 日 10:00～6 月 4 日 2:00 の伝搬遅延時間変動と降水量
τ 1～τ 11は変動を見えやすくするため+1200～+1650 ps/km のオフセットを加えた．

参考文献
1) Kawamura et al., 2017: Water vapor estimation using digital terrestrial broadcasting waves, *Radio Science*, **52**, 367-377.
2) Shimizu et al., 2026: Drone-Based Evaluation of Low-Level Water Vapor Observations Using Digital Terrestrial Broadcasting Waves, *PIERS-Fall*, pp. 1-8.
3) 小田他，2026: 地上デジタル放送波の伝搬遅延時間を利用した水蒸気量変動と局地気象場との関係，土木学会論文集，**82**，No.16，25-16120.
4) 石塚他，2024: 地デジ放送波を用いた水蒸気量変動の観測に必要な反射体選定方法の検討，気象学会 2024 年度春季大会，P263.

キーワード：Water vapor, Rain, Propagation delay, Digital terrestrial broadcasting waves, Urban area

Improving remote Urban Flood Mapping leveraging Global Building Data and Dual-Polarisation SAR

北海道大学大学院工学院 / Technical University of Munich ○ Simeon Wagener
北海道大学大学院工学研究院 山田朋人
Technical University of Munich, Data Science in Earth Observation Prof. Dr. Xiaoxiang Zhu

1 Introduction

Flood risks have been increasing, especially in urban areas, as climate forcing intensifies and rapid urbanisation expands into flood-prone areas. Synthetic Aperture Radar (SAR) techniques provide crucial day-and-night, all-weather flood-mapping capabilities. However, existing methods perform poorly in urban environments, where complex building morphology creates ambiguous backscatter signatures, leading to their general exclusion from flood maps [1,2]. Current approaches rely predominantly on double-bounce backscatter in vertical-vertical (VV) co-polarisation, with good results when building facades align with the satellite azimuth, yet degrade when buildings are oriented obliquely [3,4]. The recent availability of high-precision global building datasets such as the Global Building Atlas (GBA) [5] creates an unprecedented opportunity to benchmark SAR-based urban flood detection. Additionally, with the rising use of deep learning in remote sensing, the need for cross-sensor generalisation studies becomes stronger. This study aims to develop a physics-based methodology that leverages building orientation and full dual-polarisation capability to improve remote urban flood detection. Such tools are essential for operational post-disaster response and emerging parametric insurance applications.

2. Research Gaps

Recent globally available building datasets, such as the GBA [5], remain largely unused in SAR-based urban flood mapping. Some studies have integrated building footprints [6,7], yet building geometry or orientation has not been exploited to improve the accuracy of large-scale urban flood detection. The effects of building orientation on double-bounce SAR backscatter remain obscure; some studies report rapid degradation with increasing aspect angle, while others report effectiveness up to a certain angle. Oblique structures are often overlooked, and cross-polarisation (VH) observations offer a great diagnostic potential [8,9], still underexploited in urban flood mapping. No unified framework has systematically evaluated aspect-angle thresholds across multiple sites or sensors, stymying efforts to develop a transferable flood-mapping model that integrates building and full-polarimetric datasets.

3. Research Questions and Hypothesis

This study addresses three core questions: (1) What aspect angle thresholds (ϕ_crit) define the transition between VV and VH detection efficiency? (2) Does orientation-guided polarisation selection improve flood detection accuracy? (3) Are physics-based models informed by building geometry transferable across sensors and geographic regions? We hypothesise that integrating building data into SAR models to guide polarisation selection will enable reliable large-scale urban flood mapping.

4. Methodology

This study combines open-access building datasets with SAR data from Sentinel-1 and extends to multi-mission analysis using ALOS-2 and RADARSAT-2. Study areas include Beledweyne (Somalia), the 2019 Typhoon Hagibis event in Japan, and selected sites in West Java, chosen for recurrent flooding and the availability of reference data (e.g., UNOSAT flood maps, optical imagery, hydraulic models).

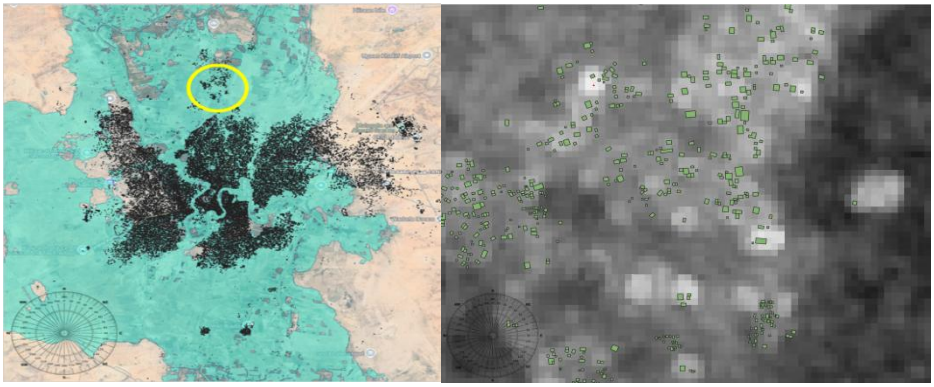


Figure 1 Beledweyne, Somalia 2023 flood: Sentinel-2 UNOSAT flood map and GBA layer (left); zoomed-in flood area with GBA dataset overlaid on Sentinel-1 post-to-pre-flood ratio, showing intensity clusters in urban flood areas (right).

1) Building Orientation and Sensitivity Analysis: Building aspect angles (ϕ) are extracted to quantify orientation-dependent SAR backscatter, and detection performance is evaluated for VV, VH, and combined approaches across multiple flood events to empirically determine critical angle thresholds (ϕ_crit) governing polarisation-dependent flood detection. 2) Sentinel-1 Multi-Site Validation: An orientation-guided approach adaptively selects VV or VH based on ϕ_crit, validated across multiple sites using reference flood maps to quantify the contribution of VH in oblique building configurations. 3) Multi-Mission Transferability Testing: Using physics-informed features (e.g., aspect angle and backscatter response), the approach is evaluated across sensor resolutions and frequency bands to assess robustness across varying acquisition conditions and SAR systems.

5. Expected Results

(1) Empirically derived ϕ_crit thresholds that quantify the VV/VH detection transition as a function of building aspect angle. (2) A validated orientation-guided polarisation selection framework demonstrating improved flood detection coverage in heterogeneous urban areas. (3) A transferable, physics-informed feature set shown to generalise across Sentinel-1, ALOS-2, and RADARSAT-2. (4) An open, reproducible workflow for rapid multi-mission urban flood mapping using global building data.

6. Impact

This study proposes a building orientation-informed methodology transferable across sensors and sites, addressing fundamental generalisation limitations in remote urban flood detection. It leverages freely available SAR and building datasets to enable building-scale flood detection across large, data-scarce regions, supporting damage assessment and prompt disaster response.

Keywords: SAR, urban flood mapping, building orientation, dual-polarisation, sensor transferability

Bibliography

1. Zhao, J., Li, M., Li, Y., Matgen, P. & Chini, M. Urban Flood Mapping Using Satellite Synthetic Aperture Radar Data: A review of characteristics, approaches, and datasets. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine* vol. 13 237–268 Preprint at https://doi.org/10.1109/MGRS.2024.3496075 (2025).

2. Zhao, J. *et al.* Deriving exclusion maps from C-band SAR time-series in support of floodwater mapping. *Remote Sens. Environ.* 265, (2021).

3. Mason, D. C., Dance, S. L. & Cloke, H. L. Floodwater detection in urban areas using Sentinel-1 and WorldDEM data. *J. Appl. Remote Sens.* 15, (2021).

4. Pulvirenti, L., Chini, M., Pierdicca, N. & Boni, G. Use of SAR data for detecting floodwater in urban and agricultural areas: The role of the interferometric coherence. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 54, 1532–1544 (2016).

5. Zhu, X. X., Chen, S., Zhang, F., Shi, Y. & Wang, Y. Global Building Atlas: An Open Global and Complete Dataset of Building Polygons, Heights and LoD1 3D Models. http://arxiv.org/abs/2506.04106 (2025).

6. Liu, W., Fujii, K., Maruyama, Y. & Yamazaki, F. Inundation assessment of the 2019 typhoon hagibis in japan using multi-temporal sentinel-1 intensity images. *Remote Sens. (Basel).* 13, 1–24 (2021).

7. Kwak, Y.-J., Natsuaki, R. & Yun, S.-H. Effect of building orientation on urban flood mapping using ALOS-2 images. (IEEE, 2018).

8. Xiang, D., Tang, T., Ban, Y., Su, Y. & Kuang, G. Unsupervised polarimetric SAR urban area classification based on model-based decomposition with cross scattering. *ISPRS* 116, 86–100 (2016).

9. Chini, M., Pelich, R., Hostache, R., Matgen, P. & Lopez-Martinez, C. Towards a 20 m global building map from sentinel-1 SAR data. *Remote Sens. (Basel).* 10, (2018).

AMSR2(D), SMAP(D), SMOS(A)の L2土壌水分プロダクツの JAXA モンゴル試験域での比較検証

広島大学（名誉教授）　○ 開發一郎
岡山大学　辻本久美子
松江工業高等専門学校　広瀬　望
（国研）宇宙航空研究開発機構（JAXA）　会田健太郎
筑波大学生命環境科学研究科　浅沼　順

1. はじめに

2015年以来、JAXA（宇宙航空研究開発機構: Japan Aerospace Exploration Agency）の地球観測衛星GCOM-W（Global Change Observation Mission-Water）に搭載の高性能マイクロ波放射計2（AMSR2)、NASA（アメリカ航空宇宙局：National Aeronautics and Space Administration）の SMAP（Soil Moisture Active Passive)、ESA（欧州宇宙機関：European Space Agency）の SMOS（Soil Moisture and Ocean Salinity）の3つのセンサーが日単位または2日以上の単位で全球の地球陸地表面の土壌水分（SM）を数十km スケールの分解能で観測し,L2土壌水分プロダクツのデータとして公表されている.本研究者らはこれらの衛星土壌水分データを毎年モンゴル高原試験地の地上土壌水分データと水文観測データを用いて検証しており、AMSR2土壌水分測定の安定性や精度を調べている.しかし，いずれのセンサーも実際にどの深度の土壌水分をどの程度の精度で測定しているのかは十分検討されているとは云えない.Engman and Gurney(1991)[1]のローム土の体積水分量-周波数-侵入深度(penetration depth)の関係では1.5%(体積水分量)での10GHz の侵入深度は約3cm であり，AMSR2土壌水分のアルゴリズムでは最低周波数10.65GHz を使用しているので，現実的には AMSR2は深度3cmより浅い土壌水分を検知している（土壌水分と周波数が増えれば指数関数的に検知の深度が浅くなる）と思われるが、SMAP や SMOS は AMSR2より低周波数での観測を実施しているので、AMSR2よりも深い深度の土壌水分を捉えている可能性が高い.TDR（Time Domain Reflectometry）の CP（コイルプローブ）による JAXA モンゴル高原試験地の Mandalgobi site（MGS)での地上土壌水分測定[2]では1cm刻みで深度1cmから深度3cmまで土壌水分測定を行い，MGS では地表面近くの3深度（1cm，3cm，10cm）で地上土壌水分データが得られる.従って，本研究はこの CP 土壌水分データを用いて0-10cm 深度土壌層の土壌水分プロファイルの不均一性を意識し，観測時間が近い AMSR2(D:下降軌道),SMAP(D:下降軌道)，SMOS(A:上昇軌道)の L2土壌水分プロダクツの比較検証を行うことを目的とした.

2. 研究方法

1）試験地・地上土壌水分測定

本試験地はすでに発表した JAXA モンゴル高原試験地の M1であり，土壌水分方法についても報告した[3]．

2）解析手順

M1の深度1cm の換算面積土壌水分 SM_{area}，深度3cm SM_{area}，深度10cm SM_{area} のデータを用いて AMSR2(D)土壌水分，SMAP(D)土壌水分および SMOS(A)土壌水分を年平均の BIAS(bias)，RMSE(Root Mean Square Error)，ubRMSE(unbiased RMSE)の値[2]を解析して比較検証した.尚、2008年-2009年の深度1cm の CP の土壌水分データと深度3cmの2RtTDR の土壌水分データの相関を調べ，得られた1次回帰式（深度1cm SM_{area}＝0.723 89 x［深度3cm SM_{area}］+ 0.005)を用いてM1内の他のステーションの深度3cm の2RtTDR 土壌水分データを深度1cm の土壌水分に換算した.

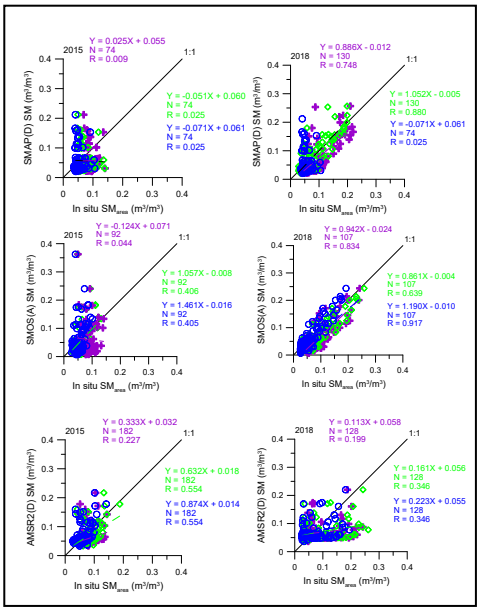


図-1 衛星 SM と地上面積積 SM (In situ SM_{area})の関係（○：深度 1cm 換算, ◇：深度 3cm, ＋：深度 10 cm）

3. 結果と考察

1)衛星土壌水分と地上土壌水分の関係

図-1 は乾燥年（2015 年）と湿潤年(2018 年)の 3 つの衛星土壌水分と地上土壌水分の関係を示している.

本図から SMAP（D）について以下のことが言える.まず，SMAP(D) SM と地上 SM_{area} の関係は湿潤年（2018 年）の方が明らかに良く，SMAP(D) SM と深度 3cm SM_{area} の関係が極めて高く，SMAP(D) SM と深度 1cm SM_{area} の関係は過大評価であり，深度 10cm SM_{area} の関係は過小評価であることが云える．2015 年（乾燥年）の SMAP(D) SM と

地上 SM_{area} の関係は深度 1 cmと深度 3 cmでは負の相関であり，深度 10cm で正の相関がみられる．尚、乾燥年（DY: Dry Year）は年降水量（P_a）が 20 年間（2001 年-2021 年）平均年降水量（111.0 mm）より少ない年、湿潤年（WY：Wet Year）はその逆である．一方，SMOS(A)に関しては，SMOS(A) SM と地上 SM_{area} の関係は湿潤年の方が明らかに良く，深度 1cm では過大評価、深度 3 cmと深度 10cm では過小評価である．2015 年では SMOS(A) SM と地上 SM_{area} の関係は深度 3cm で弱い相関が見られる．AMSR2(D)については AMSR2(D) SM と地上 SM_{area} の関係は乾燥年の 2015 年の方が良く，深度 1cm と深度 3cm の関係が勝っているが，相関は弱く，過小評価である．湿潤年（2018 年）の AMSR2(D) SM と地上 SM_{area} の関係は深度 1cm が相対的に良いが、相関は弱く，過小評価である．

以上の結果から，SMAP(D)は湿潤状態では深度 3 cm付近，乾燥状態では深度 10cm 以下の土壌水分を捉えている可能性が高く，SMOS(A)は土壌水分が高い場合は深度 1 cm-深度深度 3 cmの土壌水分を測定し，乾燥年では深度 3 cm辺りの土壌水分を捉えていると考えられる．

2) 回帰精度評価指数分析

衛星観測結果の回帰分析を行って精度評価指数の BIAS, RMSE, および ubRMSE の値を計算した（図-2）．

図-2 から SMAP(D)の ubRMSE 値は相対的に深度 1cm の値が悪く，湿潤年と乾燥年の ubRMSE 値に少し違いがある（湿潤年は深度間でばらつく）．また，SMOS(A) の深度 10cm の変動幅が大きく、値も良くない．AMSR2(D) については，深度 1 cmの ubRMSE 値（0.024-0.040）が最小で乾燥年の方が若干小さい．三つのセンサーの 3 cm深度の平均 ubRMSE 値(SMAP(D)=0.041 [m^3/m^3]，SMOS(A)=0.040[m^3/m^3], AMSR2(D)=0.036 [m^3/m^3])はほぼ同じである．

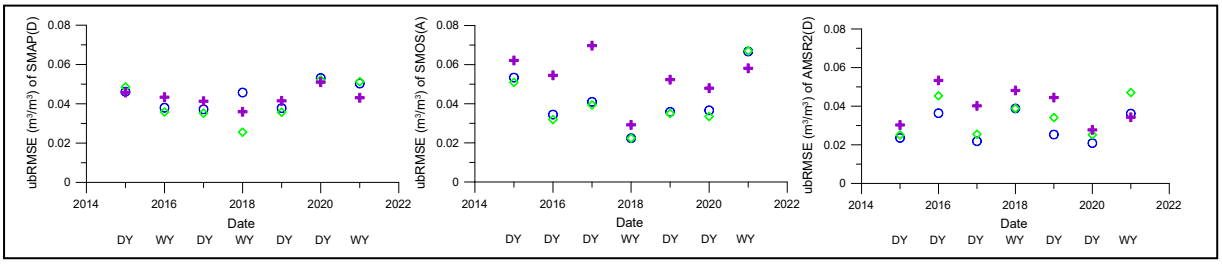


図-2 3つの衛星土壌水分の BIAS, RMSE, ubRMSE の年変化（○：深度1cm 換算，◇：深度3cm，＋：深度10cm, WY:湿潤年, DY:乾燥年）

これらの結果から，SMAP(D)は深度 1cm の測定が，SMOS(A)と AMSR2(D) は深度 10 cm の土壌水分の測定が得意ではないと云える．さらに AMSR2(D)は深度 1cm の土壌水分測定を効果的に行っているが推測される．

4. おわりに

SMAP(D)は三つのセンサーの中で最も安定した土壌水分測定をし，高周波数を使用している AMSR2(D)が他の2つのセンサーよりも浅い深度の土壌水分を測定していると思われる．本研究は科学研究費（13838009, 22K12357），広島大学-JAXA の共同研究（JX-PSPC-308233），岡山大学-JAXA（JX-PSPC-563165），松江高等工業専門学校-JAXA（JX-PSPC-54613），筑波大学-JAXA の共同研究（JX-PSPC-454881)の成果の一部である．本研究に対して広島大学大学院の小野寺真一教授の支援を受けた。

参考文献

1) Engman and Gurney (1991)：Remote sensing in hydrology. Chapman and Hall, London. ISBN0-412-24450-0.

2) Kaihotsu et al. (2024): Time domain reflectometry coil probes for measuring thin surface layer soil moisture: Field tests over 21 years (2002-2022) under highly variable climate conditions in Mongolia. Discover Applied Sciences, 6, Article number 339. https:// doi. org/ 10. 1007/ s42452- 024- 06006-w.

3) 開發一郎ほか（2025）：モンゴル高原試験地における JAXA の AMSR2土壌水分プロダクツの測定深度推定の試み. 水文・水資源学会2025年度研究発表会要旨集, PS-1-65.

キーワード：衛星土壌水分測定, TDR コイルプローブ（CP），AMSR2, モンゴル高原試験地

高解像度の光学衛星画像による四国地方における農業用ため池の検出

東京科学大学大学院環境・社会理工学院　○松崎塔子
東京科学大学大学院環境・社会理工学院　内海信幸
九州大学大学院比較社会文化研究院　渡部哲史

１．はじめに

ため池は、農業用水の安定供給を担う基盤的インフラであると同時に、生態系の保全、洪水緩和、炭素固定などの多面的機能を有している。しかし近年、気候変動による降水パターンの変化や、人口減少・高齢化に伴う農業活動の縮小により、ため池の管理体制や機能の変化が懸念されている。このような状況の把握は、水資源管理の観点から重要な課題である。

しかし、日本全国のため池については、その正確な数や水面積が十分に把握されていない。農林水産省の「農業用ため池一覧」は有用な基礎データの一つであるが、過去の調査結果が更新されないまま掲載されている事例も多く、現況との乖離が指摘されている [1)]。また、位置情報や満水面積が不正確な場合や、実在しないため池が含まれている可能性もあり、データの信頼性には課題が残る。

これに対し、Sentinel-2 の近赤外バンドの反射率を用いた閾値法により、水面の抽出を行ったところ、一定規模以上のため池に対しては高い精度を示した [2)]。しかし、2000m^2 以下の小規模ため池では検出が困難であった [3)]。これは主にセンサーの空間分解能の制約に起因し、複雑な形状や周囲の植生の影響により、単一ピクセル内に複数の地物情報が混在することで、水面判別の精度が低下するためと考えられる。そのため、Sentinel-2 よりも解像度の高い観測を活用することで小規模なため池の水面を検出できるのではないかと考えた。本研究では、高解像度の衛星画像を使った検出を従来の中解像度の画像を使った検出と比較することで、衛星画像の解像度の差が小規模なため池の検出精度に与える影響を調べることを目的とする。

２．手法と使用データ

本研究では、愛媛県西条市および香川県善通寺市を対象とし、PlanetScope の衛星画像によるランダムフォレストを用いた水面検出を実施し、Sentinel-2 の衛星画像を使用した場合との精度を比較した。両衛星で共通して取得可能な 6 バンド（Indigo、Blue、Green、Red、Red Edge、NIR）を使用し、主として空間分解能の違いが分類精度に与える影響を評価した。空間分解能については表- 1 の通りである。Sentinel-2 の Indigo および Red Edge バンドについては、10m 解像度にリサンプリングを行い、他バンドと統一した。Sentinel-2 画像は Google Earth Engine から、PlanetScope 画像は Planet Explorer から取得した。PlanetScope については、Education and Research Basic プランに基づき、月間 3000 km²までの範囲でデータを取得した。いずれの衛星データについても、航空写真の撮影時期から ± 1 週間以内で撮影され、かつ雲が少ない晴天日の画像を選定した。全データを訓練用と検証用で 4 : 1 に振り分け、Planet Scope では 2000 万個、Sentinel-2 では 200 万個のピクセルを検証用として使用した。訓練では計算コストの観点からランダムサンプリングを適用し、それぞれの衛星で間引き率を調整し、約 80 万個のピクセルを訓練した。教師データは、Google Earth の航空写真の５つのシーンを用いて目視判読によりため池水面を抽出し、ポリゴンデータとして作成した。ランダムフォレスト学習では、5 分割交差検証を行い、各グループにおける予測結果と教師データを比較し、Accuracy、Recall、Precision、F1-score、および IoU を指標として分類性能を評価した。

表- 1 PlanetScope と Sentinel-2 の共通バンドと空間分解能

PlanetScope		Sentinel-2	
Band 1 (Coastal Blue)	3.7m	Band 1 (Indigo)	60m
Band 2 (Blue)		Band 2 (Blue)	10m
Band 4 (Green Ⅱ)		Band 3 (Green)	10m
Band 6 (Red)		Band 4 (Red)	10m
Band 7 (Red Edge)		Band 5 (VNIR)	20m
Band 8 (NIR)		Band 8 (NIR)	10m

３．結果

Sentinel-2 および PlanetScope の各衛星画像に対して算出した精度指標の平均値を比較した結果を表- **2** に示す。表- **2** より、共通バンドを用いたランダムフォレストによる水面検出においては、Sentinel-2 よりも PlanetScope の方が高い精度を示した。特に再現率（Recall）は、Sentinel-2 では 0.25 であるのに対し、PlanetScope では 0.70 と大きく向上している。また、各ため池において水面の一部を一貫して検出できた場合の正解データの最小面積は、Sentinel-2 では約 2000 m²であったのに対し、PlanetScope では約 800 m²であった。これらの最小面積以下を有するため池では検出の可否にばらつきがみられた。Sentiel-2 の近赤外バンドのみを用いた手法では検出可能面積が約 2000m² であった [2)]ことを踏まえると、Sentiel-2 において近赤外バンドのみを使用した閾値法と複数バンドを使用したランダムフォレストでは検出精度が変わらないことが示された。

表- 2　Sentiel-2 と Planet Scope の予測比較(交差検証の平均値)

	Sentinel-2	Planet Scope
Accuracy	0.99	0.99
Recall	0.25	0.70
Precision	0.62	0.79
F1-score	0.30	0.73
IoU	0.18	0.59

次に、ため池の正解データに対し、PlanetScope で水面の一部でも検出できた場合、面積区分ごとに実際のため池数と検出数を比較した結果を図- 1 に示す。ため池の面積が大きくなるにつれて、実測値と推定値の差は縮小する傾向が確認された。一方で、800 m²以下の小規模ため池では未検出の割合が依然として高いことが明らかとなった。この要因として、小規模のため池においでは、水面が藻類や水生植物に覆われている場合や、水深が浅く底質の影響を受ける場合には、水域として識別されにくいことが考えられる。したがって、周辺環境や形状情報を考慮可能な手法の導入やランダムフォレスト手法自体の検討が必要であると考えられる。

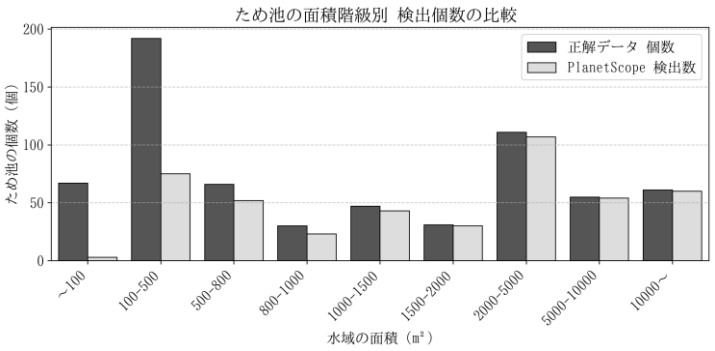


図- 1 ため池の面積別予測と実際の比較

４．まとめ

中解像度の Sentinel-2 衛星画像によるため池の水面検出では 2000m² 以下の小規模なため池の水面を検出できなかったが、高解像度の PlanetScope の衛星画像を使用したランダムフォレスト手法によってため池の水面を一貫して検出できる最小面積は 800m² となり、衛星の空間分解能の向上によりため池の水面検出精度も向上した。しかし、実際は 800m² 以下の面積を有するため池も多く存在し、この大きさ以下のため池の検出可否にはばらつきがみられたため、ランダムフォレスト手法自体の検討や周辺環境や形状情報を考慮可能な手法の導入により、より小さなため池を検出する手法を検討する必要がある。

参考文献

1) 渡部他. ため池管理の状況と課題−愛媛県西条市丹原町を対象とした調査報告−. 水文・水資源学会誌. 2021, 34 巻, 2 号, pp127-135.
2) 小澤 他. 衛星データを用いたため池における水草繁茂域の推定に向けた基礎的検討. 水文・水資源学会研究発表会要旨集. 2023, 36 巻, p.300.
3) 松崎 他. Sentinel-2 を用いた四国地方のため池データベースの改良. 水文・水資源学会研究発表会要旨集. 2025, 38 巻, p.399.

キーワード：Water detection, Irrigation pond, Sentinel-2, Planet Scope, Random Forest

衛星観測流量を用いたバイアス補正と正規化水面標高同化を組み合わせた河川流量再解析

東京大学大学院工学系研究科　○児島幸紀
東京大学生産技術研究所　山崎大

1. はじめに

過去河川流量の再現は，洪水防御計画やハザードマップ作成，水資源管理といった社会的応用に加え，地球の水循環の理解という科学的観点からも重要である。現地観測は時空間的に偏在するため，地球・大陸スケールでの連続的な流量推定には全球河川モデルが有効であるが，各種誤差要因が精度向上の障壁となっている。これらの誤差・不確実性を低減するため，衛星から観測・推定された流量(Q)や水面標高(WSE)データのモデルへの同化が進められてきた。WSE データは，河床標高パラメータの誤差により直接同化が困難であることから，正規化した値を同化する手法が一般的に用いられてきた。しかし正規化 WSE の同化は平均からの偏差情報のみを与えるため，流量再解析値が真値に近づくことを理論的に保証しない。特に，正規化に用いるモデル WSE の平均・分散に対応する流量の平均・分散が真値と乖離する場合，正規化 WSE を同化しても流量は真値に整合しない。一方，衛星観測から推定された Q データは正規化処理を経ずにモデルへ同化可能であるが，推定アルゴリズム内・間の不確実性が大きく，また川幅・WSE・水面勾配の同時観測を要するため，推定可能な時空間範囲が限定される。本研究では，衛星推定 Q を 1 段階目で同化することにより WSE の平均・分散を補正し，それを用いて 2 段階目で正規化 WSE を同化する 2 段階同化手法を提案する。

2. 使用データおよび手法

全球河川モデル CaMa-Flood[1]に，衛星観測 WSE プロダクト DAHITI および SWOT 衛星観測を用いた Q 推定プロダクト SWORD of Science Discharge Product(SoS)を同化した。同化アルゴリズムには局所アンサンブル変換カルマンフィルタ(LETKF)を用い，局所化には経験的局所化パッチ[2]を採用した。モデル共分散の縮退を緩和するために Relaxation to Prior Perturbation を導入した。モデルの外力となる陸面流出には ERA5 daily reanalysis runoff を使用した。アンサンブル摂動は流出由来とし，メンバごとに別年の同日における流出を入力することで，観測年と独立な気候ばらつきをアンサンブルに付与した。

WSE の同化は，観測値およびモデル背景値のそれぞれについて，各グリッドの観測およびモデル WSE の平均で減算し標準偏差で除算することで正規化[3]したうえで実行した。モデル流量の平均・分散が真値と乖離する場合，正規化 WSE の同化では再解析流量の絶対値が真値と一致する保証がないため，2 段階同化アプローチを採用した。すなわち，1 周目で SWOT 推定 Q を同化し，その再解析結果から WSE の平均・分散を算出する。得られた WSE 平均・分散を用いて，2 周目の同化におけるモデル WSE の正規化を行う。

対象地域はミシシッピ川流域とし，実験期間は SWOT 流量取得可能期間に合わせて 2023 年 9 月 1 日から 2024 年 7 月 31 日とした。表 1 に示す 6 種類の実験について，再解析流量を米国地質調査所(USGS)提供の現地観測流量 111 地点と比較評価した。図 1 の評価指標には正規化二乗平均平方根誤差(NRMSE)およびその Improvement Index(IMI)を用いた。IMI は

$$\mathrm{IMI} = 1 - \frac{\text{その指標の最良値} - \text{各実験の指標値}}{\text{その指標の最良値} - \text{対照実験の指標値}}$$

として計算される。図 2 に示す平均，さらに，流量の平均および分散の評価指標として，それぞれ percent bias (PBIAS)，および推定流量の時間分散を現地観測流量の時間分散で除した値 α を用い，|PBIAS|および|α-1|それぞれについても IMI を算出した。

実験名	同化された観測
OL	同化なし(対照実験)
DA-Q	SoS 流量
DA-WSE	正規化 DAHITI 水面標高
DA-2stWSE	正規化 DAHITI 水面標高(2 段階)
DA-_2st WSE+Q	正規化 DAHITI 水面標高(2 段階)と SoS 流量

表1 実験設定のまとめ

3. 結果

図 1 は同化なし実験を除く 4 実験について，観測地点ごとに算出した$\mathrm{IMI}_{\mathrm{NRMSE}}$の累積分布関数である。IMI は値が高

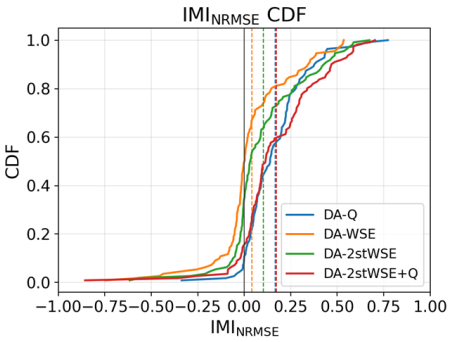


図1 各実験のIMI$_{NRMSE}$の累積分布関数

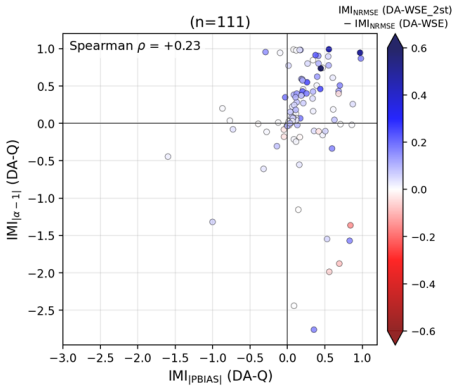


図2 流量同化による流量平均・標準偏差の改善

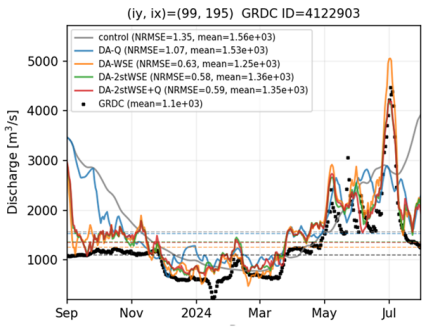


図3 2段階同化が効果的な地点のハイドログラフ

いほど改善が大きいため，分布が右に寄るほど性能が優れる。DA-Q，DA-WSE，DA-2stWSE，DA-2stWSE+Q の IMI$_{NRMSE}$の平均値はそれぞれ 0.165，0.039，0.103，0.173 であった。OL 比で大幅な改善(IMI$_{NRMSE}$>0.25)が見られた地点の割合はそれぞれ 22.5%，15.3%，22.5%，34.2%であった。DA-2stWSE の NRMSE が大多数の地点で DA-WSE を下回ったことは，2 段階同化によるモデル WSE の平均・分散補正が再解析値の改善に寄与することを示す。また，2 段階目で Q を同化した実験(DA-Q，DA-2stWSE+Q)のIMI$_{NRMSE}$平均値が同化しなかった実験(DA-WSE，DA-2stWSE)を上回ったことは，SWOT 流量同化が再解析精度を普遍的に改善することを意味する。一方で，IMI$_{NRMSE}$>0.25 の大幅な改善を得るには，Q 同化のみでは不十分であり正規化 WSE 同化も必要であることが示唆される。

図 2 は，各観測地点を，DA-Q の流量の平均・分散が OL よりも真値に近づいたか否かにより 4 分類したマップである。横軸は DA-Q のIMI$_{|PBIAS|}$，縦軸はIMI$_{|\alpha-1|}$を表す。点の色は DA-2stWSE と DA-WSE のIMI$_{NRMSE}$の差である。流量同化により平均は 111 地点中 89 地点で，分散は 111 地点中 71 地点で改善された。平均・分散ともに改善された地点が 63 地点と最多であり，次いで平均は改善されたが分散が悪化した地点が 26 地点であった。多くの地点で Q 同化によって平均・分散が真値に近づき，これに伴い DA-2stWSE が DA-WSE よりも改善されている。このことから，Q の同化によりモデル側の平均・分散を補正することは，正規化 WSE を同化する前の処理として有効であることが言える。

図 3 は，Q 同化により平均・分散ともに改善した地点のハイドログラフである。DA-Q は現地観測流量を概ね良く再現しているものの，2024 年 7 月のピーク流量を十分に捉えられていない。WSE を同化した実験ではピーク流量ならびに流量の上昇・下降過程が現地観測に近づいている。これは，10 日に一回の再訪周期である SWOT 観測が流量ピーク時期と重ならないため DA-Q のピーク流量が平滑化される一方，複数衛星のコンステレーションにより近傍の WSE が高頻度に観測されるため，WSE 観測にはピーク流量の情報が含まれる可能性が高いことに起因する。したがって，高頻度に観測される WSE の同化はピーク流量の捕捉に有効である。

4．まとめ

衛星観測から推定された流量の同化により，再解析流量の平均・分散を補正できることを示した。さらに，モデル側の WSE の平均・分散を補正することで，正規化 WSE 同化による流量再現精度が向上することを明らかにした。本手法では流量観測の地域的バイアスを考慮せず一律に同化しているため，流量同化による平均値補正がいかなる地域で有効であるのかについては今後詳細に分析する予定である。

参考文献

(1) Yamazaki, D., Kanae, S., Kim, H. & Oki, T. *Water Resources Research* **47**, (2011).

(2) Revel, M., Ikeshima, D., Yamazaki, D. & Kanae, S. *Water* **11**, 829 (2019).

(3) Revel, M., Zhou, X., Yamazaki, D. & Kanae, S. *Hydrology and Earth System Sciences* **27**, 647–671 (2023).

キーワード：River routing model, data assimilatiom, satellite altimetry, discharge estimation,

Detection of Flood-Related Large-Scale Climate Patterns Using Self-Organizing Maps and Ocean–Atmosphere Regime Analysis

Dept. of Civil and Earth Resources Eng., Kyoto University ○Wilmat D.S.M. PRIYASIRI
Dept. of Civil and Earth Resources Eng., Kyoto University Sunmin KIM
Dept. of Civil and Earth Resources Eng., Kyoto University Yasuto TACHIKAWA

1. Introduction.

Large-scale ocean–atmosphere conditions can influence flood occurrence by controlling moisture transport, monsoon circulation, pressure patterns, and convection. In monsoon-influenced regions such as Thailand, major floods may therefore be associated not only with local rainfall, but also with persistent climate regimes before or during the flood period. Identifying these recurring patterns can improve the physical understanding of flood-generating conditions and support the development of climate-based flood indicators (1,2). This study aims to identify large-scale climate patterns associated with major flood events in Thailand, particularly those affecting the Chao Phraya River Basin. Monthly sea surface temperature (SST), mean sea level pressure (MSLP), and water vapour flux (WVF) fields were classified using SOMs with different node sizes. Node sequences of historic flood events were then extracted and compared across selected major flood events. Finally, selected event pairs with similar SOM-node patterns were further examined using raw and anomaly maps, spatial correlation, and Root Mean Square Error (RMSE).

2. Methodology.

Monthly ERA5 data were used to describe large-scale ocean–atmosphere conditions over 45°N–15°S and 60°E–135°E. Three variables were analyzed: SST, MSLP, and WVF. Monthly anomalies were calculated by removing the long-term monthly climatology and were standardized before SOM training. SOMs were trained separately for each variable using 3×3, 4×4, and 5×5 grid sizes. Figure 1 shows an example of a 3×3 SOM of SST, where each node represents a characteristic climate pattern.

After classifying with SOM, major Thailand flood events related to the Chao Phraya River Basin were filtered from the disaster-event database (3). Nine major flood events were selected for event-based analysis. For each event, SOM node sequences were extracted for the pre-flood (F−3, F−2, and F−1) and flood-month (F) periods using three lag windows. These sequences were compared separately for SST, MSLP, and WVF, and separately for each SOM resolution.

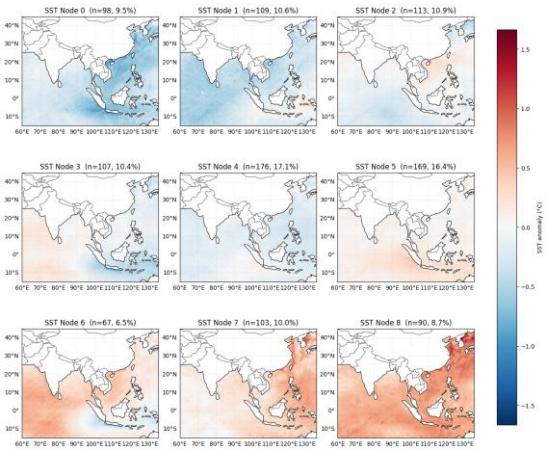


Figure 1. Example of a 3×3 SOM trained with SST.

Based on the detected node-sequence similarities, four representative event-pair cases, A, B, C and D, were selected for detailed physical analysis. The starting month of events included in cases are as follows: Case A -2010 October with 2017 October, Case B -2011 August with 2006 August, Case C - 2007 September with 2017 October, and Case D - 2007 September with 2012 August. For each case, four months including three months prior to the event and the flood month itself (raw and anomaly fields) of SST, MSLP, and WVF were compared between the paired events. Spatial correlation was used to assess pattern similarity, while RMSE quantified the average field difference. For WVF, only the flux magnitude was used for numerical comparison.

3. Results.

The SOM-based analysis showed that flood-related node sequences varied by input variable and SOM node size. The 3×3 SOMs produced broader regime groups and more repeated sequences, while the 4×4 and 5×5 SOMs produced more specific patterns with fewer repeated matches. Among the variables, SST showed relatively clear repeated node patterns across the selected flood events. MSLP and WVF also showed some matching patterns, but their node-sequence similarity was less consistent and appeared to depend more on the event pair and SOM resolution.

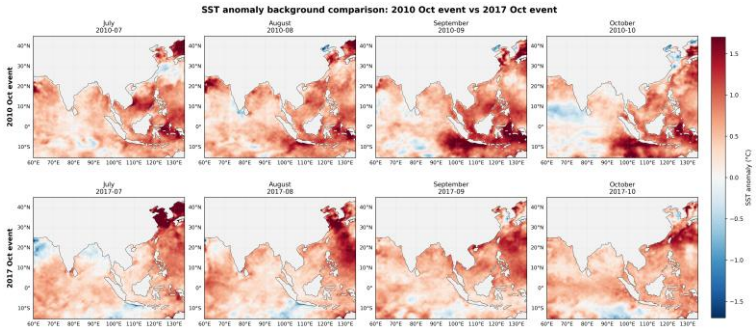


Figure 2. Example from the SST anomaly sequence of event A.

Regarding background analysis, across the cases from A to D, SST showed high mean raw spatial correlations, ranging from 0.83 to 0.96, but lower anomaly correlations, ranging from 0.06 to 0.28. Figure 2 shows an example from the SST anomaly sequence of event A. This indicates that SST patterns were broadly similar in the raw fields, while the event-specific anomaly structures were weaker. MSLP also showed high raw correlations, ranging from 0.83 to 0.98, but its anomaly correlations were more variable, ranging from 0.12 to 0.42. WVF magnitude showed lower raw correlations than SST and MSLP, ranging from 0.64 to 0.84, but its anomaly correlations were relatively stable, ranging from 0.37 to 0.46.

4. Further Research

Future work will focus on improving the physical interpretation and robustness of the identified SOM regimes. First, the occurrence frequency of each SOM node will be quantified for each variable and SOM resolution. This will allow dominant and rare nodes to be distinguished. Frequently occurring nodes may represent common seasonal background states, whereas less frequent or persistent node sequences may indicate more event-specific precursor conditions associated with flood occurrence. Furthermore, the identified SST, MSLP, and WVF patterns will be examined during flood periods, non-flood periods, and climatologically similar seasons to determine whether the detected regimes are flood-specific or mainly reflect seasonal variability. The framework will be extended to combined-variable SOMs and more flood events to test the robustness and future applicability of the identified climate regimes.

References

1. Promchote, P., Wang, S. Y. S., & Johnson, P. G. (2016). The 2011 Great Flood in Thailand: Climate diagnostics and implications from climate change. *Journal of Climate, 29*(1), 367–379.
2. Hewitson, B. C., & Crane, R. G. (2002). Self-organizing maps: Applications to synoptic climatology. *Climate Research, 22*, 13–26.
3. CRED/UCLouvain. (2025). *EM-DAT: The Emergency Events Database*. Centre for Research on the Epidemiology of Disasters, Université catholique de Louvain, Brussels, Belgium. Accessed 2026-01-07.

Acknowledgement

This work was conducted by Theme 4 of the Advanced Studies of Climate Change Projection (SENTAN Program, Project Number: JPMXD0722678534) supported by MEXT, Japan.

Keywords- SOM, Flood, climate regimes

高解像度な河川分断度評価と河川周辺の生物多様性に関する研究

山梨大学 大学院医工農学総合教育部　○古厩瑞希
山梨大学 国際流域環境研究センター　馬籠純、石平博、相馬一義
山梨県庁　松尾なずな

1. はじめに

河川は流下による魚類の移動、氾濫原や河岸域の存在による両生類の生息など、生物多様性において非常に重要な役割を果たしている。しかし、ダムや砂防堰堤などの河川構造物により河川の分断化が進み、生物の移動や生息が制限され、生物多様性の低下を招いている。これまで全球を対象とした河川分断度の研究[1)]、石山らによる河川の連続性と生態系の関係性評価[2)]の研究事例があるが、大規模なダムのみを考慮しているため細かい支流における実態の把握が困難である。

そこで本研究では、小規模な河川構造物を含む詳細な GIS データベースを構築し、山梨県の河川の分断度の数値化及びマップ化を行う。さらに河川構造物が生物多様性に与える影響を定量的かつ視覚的に評価することを目的とする。これにより、生物の移動が円滑にできる河川環境保全策の立案および実施につなげることを目指す。

2. 方法

本研究では、富士川水系を含む山梨県の全河川流域を対象地域とした。また、Grill et al.[1)]に倣い、本流の水源から河口までの範囲及び支流の水源から一つ上位の河川との合流点までの範囲を河川と定義し、その河川分断度(Degree of Fragmentation、以下 DOF と記述)を式(1)により DOF 指標として算出した（図 1)。

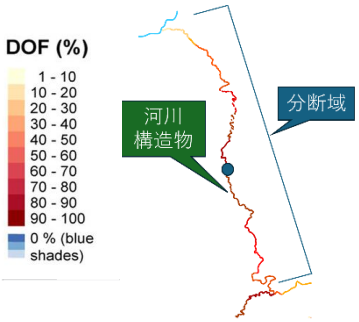


図 1. 河川分断度 DOF 図の例

$$DOF_j = 100 - \frac{|\log_{10} d_{bloc} - \log_{10} d_j \times 100|}{\log_{10}(dr)} \qquad (1)$$

ここで、DOF_jはある地点 j における DOF、d_jは地点 j の自然平均流量、d_{bloc}は地点 j に影響を及ぼす構造物地点の自然平均流量、dr は DOF の影響が表れる最大流出範囲（5）である。

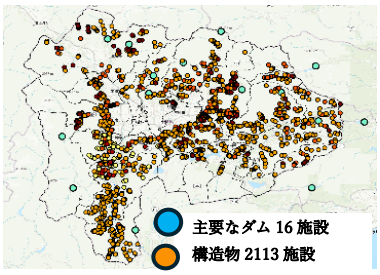


図 2. 河川構造物

分断度評価に用いる構造物は、山梨県の主要なダム 16 施設及び砂防堰堤 2113 施設（山梨県庁および富士川砂防工事事務所より）とし、座標や規模（堤高）等のデータベースを構築した（図 2）。河川ネットワークは、日本域表面流向マップ[3)]による空間解像度 30m の河川流向データをもとに、解析に用いる河川ラスター及び河川リンクデータを作成した。河川ネットワークと構造物データの位置ずれは目視により補正した。また、各河川ラスターの自然平均流出量は、水収支法を用い、1995 年 1 月～2020 年 12 月の年平均降水量（国土交通省）より年平均蒸発散量（Climate Engine.org）を減じることで求めた。さらに、長期平均流量は自然平均流出量を流向データに基づき積算して求めた。最終的に DOF 指標は、河川ラスターのピクセル毎に算出し、それをマップ化した。

得られた DOF マップと ThinkNature による日本の生物多様性地図化プロジェクト[4)]の魚類・両性類の多様性指標マップ（空間解像度 1km）を比較し、空間的な相関関係を評価した。

3. 結果と考察

小規模な支流と用水路、砂防堰堤などの河川構造物の各データを反映させたことにより、従来の河川分断度マップ[1)]（図 3）よりも高解像度な DOF マップ（図 4）が構築された。従来は欠落していた主要ダムがある河川（例：大門ダムの大門川（図 3 の○））についても、本研究では DOF の影響範囲が表現

できるようになった。また、支流上流に位置する中小規模の砂防堰堤が考慮されたため、従来よりも対象領域全体において、DOF の高い河川が増加した。また、河川全域に対し DOF 値が 90 以上の河川割合は約 0.2%から約 1.5%へと増加し、DOF 値が 50 以上の河川割合は約 0.6%から約 1.5%へと増加した。なお高い分断の河川は支流上流域に集中していた。

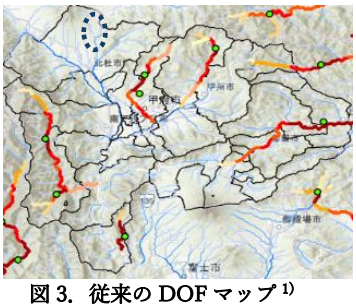


図 3. 従来の DOF マップ[1)]

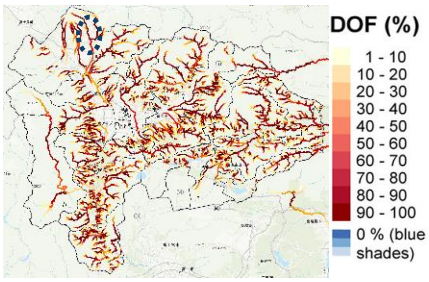


図 4. 本研究の DOF マップ

ThinkNature[4)] の生物多様性マップ（魚類・両生類）と本研究成果である DOF マップを比較（図 5 図 6）すると、分断度 DOF と生物多様性の間には一部の河川域で対応関係が見られた一方、単純な負の相関は確認されなかった。特に上流域では高 DOF にも関わらず高い多様性を示す地点も見られた。これは、分断度の高い河川が支流上流域に多く分布しているため、人工構造物が少ないことや水質・森林などの周辺環境が生物の生息に適しているといった理由が考えられる。また、両生類は河川に加え河岸域にも生息する。つまり河川構造物による縦断方向の影響に限らず人為的水利用での取水や流量調節による河岸域の環境変化など横断方向の影響を考慮する必要がある。

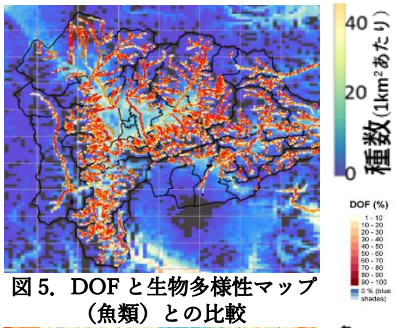


図 5. DOF と生物多様性マップ（魚類）との比較

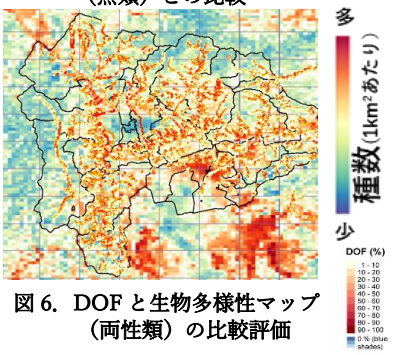


図 6. DOF と生物多様性マップ（両性類）の比較評価

4. まとめと今後の課題

本研究では、従来よりも非常に高解像度かつ信頼性の高い河川構造物および流路データに基づく河川分断度 DOF マップを作成した。河川周辺域の生物多様性と河川分断度の関係性評価への応用も試みた結果、一部対応する箇所が見られたが、単純な負の相関は確認されなかった。河川の分断度のみでなく、周辺の環境土地利用を考慮することも必要である。また本研究で使用した DOF の算出には、河川構造物の位置と自然のみを扱っており、貯水量等の情報は考慮されない。河川の分断度には構造物の規模も影響するため、規模を含む構造物データの整備を進め、これらを考慮した評価をしていきたい。さらに、両生類と流路およびその分断の関係性の評価には、河川から用水路を通じてつながる水田等の土地利用を考慮も重要と考えられる。そこで、現在、用水路ネットワークのデータベース化を進めており、河川と農地用水（水田等）を一体とした生物多様性ネットワークの評価が今後の課題である。加えて、DOF マップと生物多様性マップに基づき特徴的な流域において、現地での生物調査との比較による本研究のような高解像度河川分断度マップの活用策についても検討を行っていきたい。

参考文献

1) Grill, G., Lehner, B., Thieme, M., Geenen, B., Tickner, D., Antonelli, F., et al. (2019) Mapping the world's free-flowing rivers, Nature, 569, 215–221, DOI:10.1038/s41586-019-1111-9

2) 河川縦断・横断方向の連続性の保全再生に関する現状と課題
石山信雄, 2021, 河川縦断・横断方向の連続性の保全再生に関する現状と課題, 公益財団法人リバーフロント研究所, https://www.rfc.or.jp/sozai/result/ivent/R3/seitaikeinw/1.seitaikeinw2021.pdf （参照：2026-05-08）

3) 山崎 大, 冨樫 冴佳, 竹島 滉, 佐山 敬洋（2018）日本全域高解像度の表面流向データ整備 ,土木学会論文集 B1 (水工学論文集), 74(5), I_163–I_168

4) Think Nature Japan 生物多様性マップ 日本の生物多様性地図化プロジェクト, https://biodiversity-map.thinknature-japan.com/ （参照：2026-05-08）

キーワード）河川、河川構造物、生物多様性、GIS、山梨県

陸面過程モデル SiBUC を用いたイシククル湖表面温度の再現に関する基礎的検討

京都大学大学院工学研究科　学生会員　○新凌太郎
京都大学防災研究所　正会員　萬和明
京都大学防災研究所　正会員　田中賢治
京都大学防災研究所 正会員 Temur Khujanazarov
千葉大学環境リモートセンシング研究センター　正会員　峠嘉哉

１．はじめに

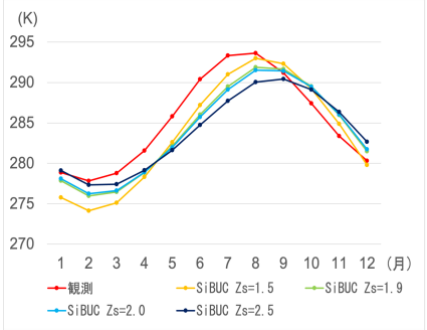
中央アジアの主要な大規模水体が水循環に果たす役割は分かっておらず、気象予測精度の向上による最適な水資源の利用のためにも、それらが中央アジアの水循環に与える影響を把握することが求められている。先行研究[1)]では、衛星による観測値を用いて中央アジアの主要な大規模水体およびその周辺の表面温度を分析し、イシククル湖は水循環への影響が大きいと推測される水体であることを示した。本稿では、陸面過程モデル SiBUC を用いて、イシククル湖周辺における熱収支特性の再現を試みる。

２．使用するデータと分析方法

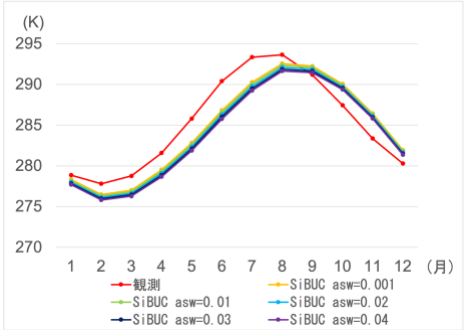
本稿では、先行研究[2)]を参考に、陸面過程モデル SiBUC を用いて、イシククル湖周辺における熱収支特性の再現を試みた。計算範囲は東経 75.5 度から 79.5 度、北緯 41.5 度から 43.5 度とし、格子サイズは 0.05 度、計算対象は 2002～2024 年とした。イシククル湖は世界で有数の水深の深い湖であり、この特徴を SiBUC において表現するために、水体の水深を示す有効深さ（Zs）を変更した。また、先行研究[1)]において、SiBUC による水面温度の再現計算に過小評価が確認されたため、水体のアルベドを表すパラメータを変更した。具体的には、SiBUC では水体のアルベド α を $\alpha = \mathrm{asw}\,\alpha^{\mathrm{asw_2}}$ と表現していることから、同式におけるアルベドに関するパラメータ（asw、asw2）の設定値を変更した。以上の変更を複数設定した SiBUC の計算を行い、SiBUC の計算値と観測値の比較分析を行った。表面温度の観測値には、MODIS の月単位 0.05 度格子の表面温度データ MOD21C3 version6.1 を基に作成した、2001 年から 2020 年の 20 年間における昼間と夜間の 20 年平均月表面温度データを用いた。また、下向き短波放射の観測値には、静止気象衛星（Meteosat）から千葉大学環境リモートセンシング研究センター竹中栄晶特任助教により作成された、0.04 度格子の 2023 年の月平均データを用いた。

３．結果

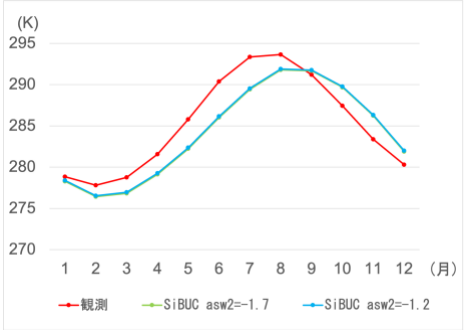
イシククル湖水面の 1 格子における UTC 6 時の SiBUC による放射温度の計算値（2002 年の月平均値）と MODIS による表面温度の観測値の比較を図−1、図−2、図−3 に示す。ここで、SiBUC の計算では、有効深さ（Zs）を一般的な水体の値の 4 倍となる 2.0 を中心に設定し、他の設定値は一定値（asw=0.03、asw2=-1.7）として比較した。有効深さによって、最大値と最小値の差である振幅が変化し、Zs=1.9 のとき、振幅の大きさが最も観測値に近づくこと



図−1　有効深さの変更による SiBUC の計算値と観測値の比較。



図−2　アルベドの変更による SiBUC の計算値と観測値の比較。

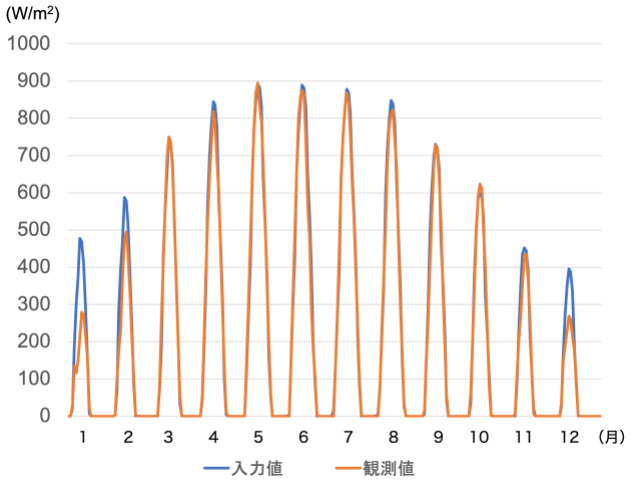


図−3　天頂角の変更による SiBUC の計算値と観測値の比較。

が分かる（図-1）。また、同様にアルベドについても設定値を変更して比較を行い、asw の比較では、Zs=1.9、asw2=-1.7、asw2 の比較では、Zs=2.0、asw=0.02 と設定した。asw を小さくすると、年間を通してわずかに温度が高くなることが分かり（図-2）、asw2 を大きくしても年間を通してわずかに温度が高くなることが分かる（図-3）。

以上の計算設定の変更では、有効深さによって年間を通した温度の振幅が大きく変化する一方で、アルベドに関するパラメータは、温度の増減に微量に変化を与えるのみで、放射温度に対してほとんど影響を与えないことが分かった。また、計算値と観測値においておおよそ１ヶ月分の位相差があり、有効深さやアルベドに関するパラメータの調整では位相差を解消することができなかった。

SiBUC の計算では、水体の設定値を変更しても、計算値と観測値に大きな位相差があり、イシククル湖の水面温度を十分に再現できていない。そこで、SiBUC 計算において入力として与える気象強制力を精査することにした。特に、計算される放射温度に対して大きな影響を与える日射（下向き短波放射）の入力値の精度に要因があると考えた。そこで、本稿では、SiBUC のモデル計算において入力として与えている JRA55 の日射の下向き短波放射の補正計算値と衛星観測値の比較を行い、入力値の妥当性の評価を試みた。下向き短波放射の SiBUC の計算において入力として与える補正計算値と衛星観測値の比較を図−4 に示す。1、2、12 月では観測値と比べて入力値が大きく、それ以外の期間では観測値と入力値が概ね一致しており、冬季を除いては年間を通して入力値の精度が高いことが分かる（図-4）。



図−4　SiBUC 計算において入力として与える下向き短波放射の補正計算値と衛星観測値の比較。

１、2、12 月では、入力値の方が観測値と比べて下向き短波放射量が多く、入力値と観測値において大きな差がある。しかし、水面温度における SiBUC 計算値と観測値の差は他の月と比べて小さい。また、観測よりも大きい下向き短波放射量を与えているため、冬季から夏季にかけて、計算値の方が観測値よりも早く水面温度が上昇すると推測されるが、図-1～図-3 を確認すると、観測値の方が早く上昇している。以上の結果から、入力として与える日射（下向き短波放射）は冬季以外は精度が高く、冬季の誤差についても SiBUC における水面温度の計算精度の低下に対して与える影響は小さく、他の入力の要素にその要因があると考えられる。例えば、放射温度に影響を与える他の気象要素として気温が考えられる。他の要素と合わせて、水面温度の計算値と観測値に位相差が生じる原因を特定し、計算精度を向上させることが今後の課題である。

４．まとめ

SiBUC の計算では、有効深さの値によって年間を通した水面温度の振幅が変化し、計算値が観測値に最も近づく場合においても１ヶ月分の位相差があり、イシククル湖の水面温度を十分に再現できていない。また、入力として与える日射（下向き短波放射）の補正計算値は、衛星観測値と比較して精度が高く、水面温度の計算値が有する位相誤差に対してほとんど影響を与えないことが分かった。今後は、SiBUC 計算において、精度の高い入力を与えるとともに、最適な計算設定を特定することで、SiBUC の計算精度を向上させていく予定である。

参考文献

1) 新・萬・田中・峠・Temur，衛星観測と陸面過程モデルを用いた中央アジアの大規模水体の熱・水収支特性分析，水文・水資源学会研究発表会要旨集，PS-1-22，DOI: jshwr.38.0_159，2025.

2) Sadyrov Sanjar，Integrated Hydrological Modeling in Glaciated Mountain Basins: A Case Study in the Tien-Shan Mountains of Kyrgyzstan，Doctoral Thesis，118p，Kyoto University，2024.

キーワード：イシククル湖、放射温度、SiBUC、下向き短波放射、衛星観測

宍道湖における酸素・水素安定同位体比の変動要因の評価

岐阜大学自然科学技術研究科　服部吾郎
岐阜大学応用生物科学部　吉岡有美
島根大学エスチュアリー研究センター　瀬戸浩二

1. はじめに

宍道湖・中海は，島根・鳥取県境に位置する日本最大の連結汽水湖である．この水域の水循環過程は塩水の遡上や多数の流入河川の影響を受けて複雑であり，その実態は十分に明らかにされていない．酸素・水素安定同位体比（$\delta^{18}O$ および $\delta^{2}H$）は，平衡同位体分別により降水や河川水の同位体比が時空間的に変動する特性や，地表面で蒸発時の動的同位体分別により同位体比が上昇する特性に着目することで，水の起源や経路を推定できる水文トレーサーである．そこで本研究は，宍道湖周辺水域を対象として，長期観測データに基づき $\delta^{18}O$ および $\delta^{2}H$ の変動とその要因を評価した．

2. 研究手法

宍道湖湖心（S01），宍道湖接続部湖岸（S02），中海湖心（M03）の 3 地点において，2008 年 9 月から 2023 年 9 月までの 15 年間，月 1 回の頻度で湖水を採水した．平均水深は宍道湖 4.5 m，中海が 5.4 m であり，採水深度は，S01 で表層から 2 m，S02 で表層から 0.5 m，M03 で表層から 0.5 m（M03-S）と湖底から 1 m（M03-B）である．周湖 5 地点において，約 2 年間，1 か月貯留した降水を採水した．宍道湖への主たる流入河川の斐伊川下流地点において，3 年間，週 1 回の頻度で河川水を採水した．水同位体比アナライザー（Picarro 社製，L2130-i），電気伝導度（EC）計（HORIBA 社製，LAQUAtwin-EC-33B），塩分濃度計（WELL SENSE 社製，IN-SALT 3000）を用いた室内分析を行った．UNESCO（1981）に基づき，EC から塩分濃度を推定した．水文気象については，国土交通省の水文水質データベースおよび気象庁の AMeDAS の観測データを用いた．



図-1　調査地概要

3. 結果と考察

図-2 と図-3 に湖水および河川水の $\delta^{18}O$ と塩分濃度の経時変化を示す．$\delta^{18}O$ の平均値を比較すると，海水の同位体比は 0‰程度であるのに対して，河川水（-8.2‰，n=87），木次降水（-6.9‰，n=23），S01（-6.3‰，n=152），S02（-5.9‰，n=152），M03-S（-3.8‰，n=162），M03-B（-1.1‰，n=168）の順に高くなる傾向がみられた．河川水，S01，M03-S，M03-B の間では，それぞれ約 2‰の差がみられた．塩分濃度については，海水が 3.5%程度であるのに対して，S01（0.38%），S02（0.44%），M03-S（1.08%），M03-B（1.42%）の順に高濃度となり，同位体比と同様の大小関係が確認された．中海では塩分成層が形成されるため，海水起源の同位体比の高い塩水が底

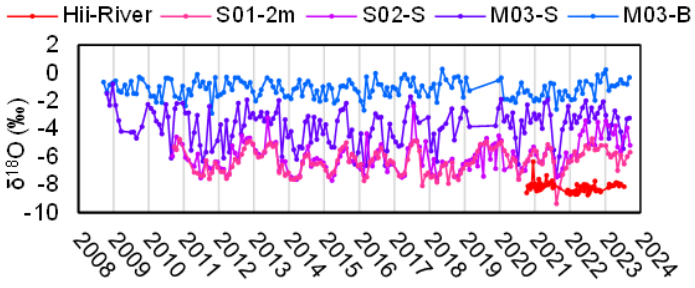


図-2　$\delta^{18}O$ の経時変化

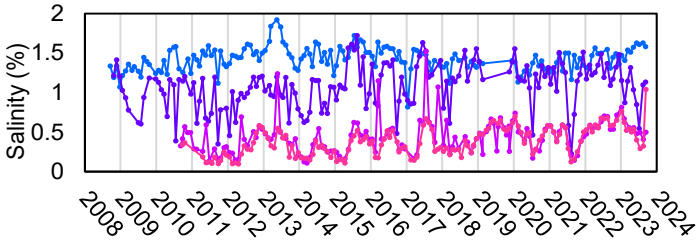


図-3　塩分濃度の経時変化
*2012 年 12 月から 2013 年 8 月は塩分濃度計による観測値，
その他期間は EC からの推定値である．

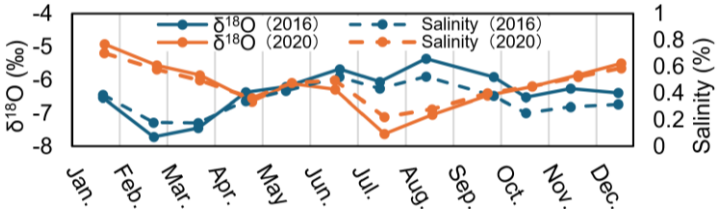


図-4　S01-2m 地点の $\delta^{18}O$ と塩分濃度の季節変動

層に滞留している様子が確認された．図-2 および図-3 からは M03-S のみ塩分濃度の上昇傾向がみられる．同位体比がもっとも高い M03-B では変動が小さいく明瞭な季節変動がみとめられなかった．その他の湖水では季節変動がみられ，かつ 2 つの傾向に大別できた．1 つ目の季節変動の傾向は 2013 年から 2017 年にみられ，図-4 に示すように同位体比は 5 月から 8 月に蒸発による動的分別の影響で上昇，9・10 月に約 100 mm/d^{-1} の高強度の降水の影響で低下した．11 月から 4 月は低く推移したが，その要因としては，11・12 月は蒸発量，降水量ともに少ないこと，1 月から 4 月は積雪・融雪によって同位体比の低い河川水の寄与が増えることが考えられた．2 つ目の季節変動の傾向は，2020 年以降にみられた．日降水量データの分析より高強度の降水の頻度が 6 月から 8 月は増加，9・10 月には減少するようになった．この変化に応じて，図-4 に示すように同位体比は 6 月から 8 月に低下，9・10 月に上昇するようになった．また，中海からの塩水の遡上が年間を通して増加しており，9 月から 1 月の同位体比の上昇の要因として考えられた．2 月から 5 月については遡上の増加によって湖水に対する斐伊川の寄与率が下がり，斐伊川の流量変動を受けて同位体比が変動するようになったことが推察された．

図-5 に湖水，河川水，降水について $\delta^{18}O$ と塩分濃度の関係（全期間）を示す．図-6 に湖水の同関係を 2016 年（同位体の傾向 1 期間）と 2020 年（傾向 2）について示した．ここで，河川水および降水の塩分濃度は測定値が得られていなため，0 と仮定した．図-5 から塩分濃度が高い水ほど同位体比が高く，塩分濃度が低い水ほど同位体比が低くなる関係が示されている．この関係を利用することで，中海の場合は海水，宍道湖の場合は中海からの遡上時に流入する中～高塩分汽水の混合に伴う同位体比変動と，それ以外の要因とを区別することができる．まず，図-5 より，S01 および S02 地点の濃度および同位体比は，河川水を淡水端成分，M03-B を塩水端成分とする混合線上に多く認められることから，河川水と M03-B の二成分混合が支配的であると考えられる．一方，同一塩分濃度に対して混合線よりも同位体比が高い場合には，降水は混合線よりも高い同位体比を示す淡水端成分であることから，三成分混合の端成分としてその寄与，あるいは蒸発に伴う動的同位体分別の影響を示すものである．M03-B は $\delta^{18}O$ が約 1‰，塩分濃度が約 1.5%であり，いずれの変動幅も最も小さい．また，塩分濃度は海水の半分以下であるにもかかわらず，同位体比の低下は小さい．これは，もともと海水起源でありながら蒸発に伴う動的同位体分別を受けた水が，中海の底層に比較的長時間滞留している可能性を示唆する．M03-S については，もっとも変動が大きく，宍道湖湖水と宍道湖底層を端成分とする混合線よりも，同一塩分濃度に対して同位体比が低く，宍道湖湖水，M03-B および海水の三成分混合により説明するのが妥当であると考えられる．これは，強風時や水位勾配・気圧変動に伴い海水が表層側へ流入する影響を反映している可能性がある．図-6 より，S01 および M03-S 地点では，2020 年において $\delta^{18}O$ および塩分濃度は 2016 年と比較して明瞭な線形関係に沿った変動が確認され，高塩分水との混合の影響がうかがえる．

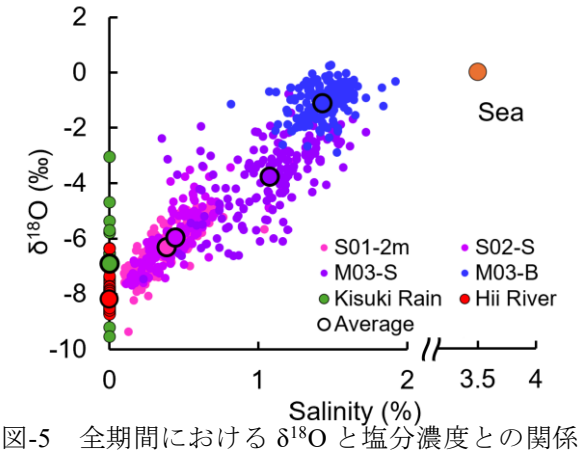


図-5　全期間における $\delta^{18}O$ と塩分濃度との関係

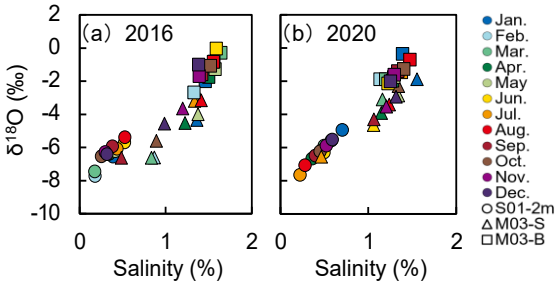


図-6　$\delta^{18}O$ と塩分濃度の関係

4. まとめ

長期観測データから，宍道湖における同位体比の変動季節には，海水の混合，蒸発，河川水，降水が影響しており，さらに近年はその変動特性が変化していることが明らかとなった．$\delta^{18}O$ と塩分濃度の関係からも上記成分の寄与が確認された．

1)　UNESCO, Tenth report of the joint panel on oceanographic tables and standards, UNESCO, 28p, 1981.

キーワード：連結汽水湖，混合解析，塩分濃度，季節変動

土地被覆変化と水質の関係による生態環境への影響評価

福島大学大学院共生システム理工学研究科　○高橋智也
福島大学共生システム理工学類　川越清樹
総合地球環境学研究所　薮崎志穂

１. はじめに

福島県浜通り地方では，東日本大震災や原子力発電所の事故からの復旧，山間部の風力発電開発，気候変動などに伴う流域の土地被覆や水環境の変化が示唆されている．並行して，流域内の生態環境にも変化が生じると推測され，既に社会営利活動に関わる生態にも影響が現れている．例えば，サケはかつての福島県浜通り地方の名産であったものの，近年になり漁獲量が著しく低下し，継続的な営利活動を困難にさせている．こうした現状を踏まえ，生態環境変化の影響を水循環システムから同定し，将来の変化を誘導するための調査解析が必要である．本報告では，生態環境の形成につながる水循環システムを同定することを目的に，土地被覆と水質の関係性を福島県浜通り地方の流域間で比較検討することに取り組んだ．なお，生態環境の影響を誘導するためのターゲットにサケを設定している．サケは，冷水を好む遡河性回遊魚で，北日本の重要な水産資源である．福島県浜通り地方に限らず各地で，海域の水温上昇とともに漁獲量・回帰率が減少する傾向を示している．ただし，遡上障害となる河口閉塞の解消，水深や水温の安定化によっては，希少なサケ漁場を確保できる可能性も残されている．特に水温では，冷水を好む一方で産卵環境として浸透流(地下水)が湧出する，河床内の安定した水温の箇所を利用する知見も得られている [1)]．そのため，水循環システムを理解して生態環境場の情報を取得することが重要といえる．地下水湧出・河川水質に関しては流域内の土地利用も関わることが明らかであり [2)]，先行解析による福島県浜通り地方の河川群を対象にしたサケ回帰率の統計分析では，土地被覆(森林面積変化)，水質の寄与が大きい結果を得ている [3)]．

２. 研究対象領域・解析方法

研究対象領域として，先行解析の福島県浜通り地方の河川群で特徴を示したサケ遡上の盛んな 4 河川（新田川，請戸川，富岡川，木戸川）を設定した．解析の全体構成は，①土地被覆解析，②河川水質解析で構成され，河川間で比較検討した．以下①，②に現在までの解析の詳細を説明する．

① 土地被覆解析

対象領域の土地被覆変化を確認するため，衛星画像を用いて土地被覆改変領域を抽出する解析をすすめた．衛星画像には，Landsat4-5，8-9（空間解像度：30m×30m）を用いた．期間は 2008～2024 年で，サケ生態における降海・栄養蓄積期である 3～5 月の画像を対象にした．特にサケの稚魚が取得する河道の栄養分供給領域となる森林域に着目し，植生の活性度を表す正規化植生指数 NDVI(Normalized Difference Vegetation Index)より行った．NDVI より裸地化領域を抽出して，水循環システムの変化が示唆される流域内の空間情報を整備した．

② 河川水質解析

対象 4 河川 31 地点において現地調査，および河川水試料をサンプリングした．サンプリングは，水循環システムを精緻に読みとるため，直近に無降雨である平水時に行った(採水日：2025/8/13,14，10/22，11/8)．現地調査よりサンプリングした試料は，イオンクロマトグラフィー法，重炭酸滴定法によりイオン濃度分析を行い，イオン組成よりトリリニアダイアグラムを作成して水質を分類した．

３. 解析結果

① 土地被覆解析

NDVI を用いて分析した裸地化領域の抽出結果は，図 1 に示すとおりである．なお，土地被覆改変の閾値には NDVI 平均値-NDVI 標準偏差の値を用い，閾値以下の領域は裸地領域と解釈した．結果として，裸地化領域は各流域の 0.60~0.98％を占めること，土地被覆改変が大きい河川は木戸川，土地被覆改変が小さい河川は新田川であることが明らかにされた．

② 河川水質解析

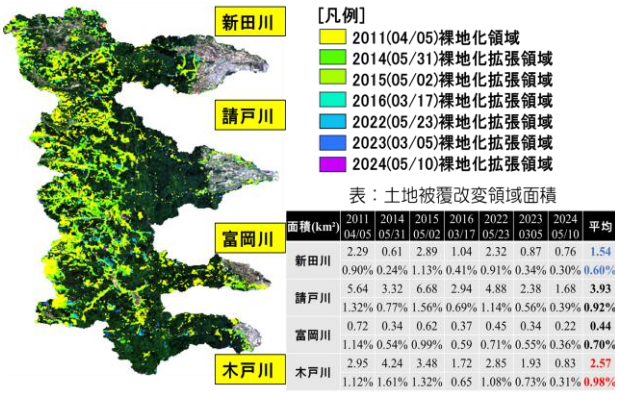
イオンクロマトグラフィー法，重炭酸滴定法で得られたイオン組成による，夏季サンプリング資料のトリリニアダイアグラムを図 2 に示す．4 地点を除く概ねの地点で河川や浅層地下水に属する炭酸カルシウム型に分類された．請戸川 1，木戸川 1 の地点は鉱泉，海水の混入が見られる非炭酸ナトリウム型，新田川 3，6 の地点は滞留時間の長い深層地下水でみられる炭酸ナトリウム型にそれぞれ分類された．新田川において地下水供給の影響の大きな産卵環境に適する地点が分布する結果を得た．

①の結果より，水質の特徴を示した木戸川，新田川において，夏季から秋季にかけての季節変化による水質変化を，トリリニアダイアグラムより確認した(図 3 参照)．木戸川では季節に応じた水質の変化は確認されなかった，一方，新田川では，季節変化に応じて水質の変化する地点が 3 地点確認された．深層地下水供給を示唆する炭酸ナトリウム型の水質分類は夏季のみに確認され，深層地下水は夏季の一時的な流出であることが示唆された．

4．まとめ・今後の展望

解析結果を包括すれば，土地被覆変化の乏しい新田川は地下水供給の影響が相対的に大きい傾向が明らかにされている．そのため，比較的にサケの嗜好する安定的な水循環システムが残存している可能性も示唆される．

ただし，現在の結果は，土地被覆と水質による動向にとどまる．例えば，土地被覆解析から得られた情報を，サケ産卵に環境場に置き換えるためには，流域裸地の大小差が河道形状（河床材，水深）に与える影響も検討しなければならない．また，水質分析では，冷涼な水質に寄与する地下水の湧出影響の精査も必要である．これらの要素の検証のため，今後は対象領域を解析方法①の結果で得られた 2 流域（木戸川・新田川）に限定し，河道形状と地下水流出の影響に着目し，より緻密な調査・解析を実施する．これらの解析も含めて，水循環システムを評価し，あわせて，生態環境の影響を誘導するターゲットのサケとの関連も求める意向である．



表：土地被覆改変領域面積

面積(km²)	2011 04/05	2014 05/31	2015 05/02	2016 03/17	2022 05/23	2023 0305	2024 05/10	平均
新田川	2.29	0.61	2.89	1.04	2.32	0.87	0.76	1.54
	0.90%	0.24%	1.13%	0.41%	0.91%	0.34%	0.30%	0.60%
請戸川	5.64	3.32	6.68	2.94	4.88	2.38	1.68	3.93
	1.32%	0.77%	1.56%	0.69%	1.14%	0.56%	0.39%	0.92%
富岡川	0.72	0.34	0.62	0.37	0.45	0.34	0.22	0.44
	1.14%	0.54%	0.99%	0.59	0.71%	0.55%	0.36%	0.70%
木戸川	2.95	4.24	3.48	1.72	2.85	1.93	0.83	2.57
	1.12%	1.61%	1.32%	0.65	1.08%	0.73%	0.31%	0.98%

図 1 対象河川土地被覆改変領域比較図

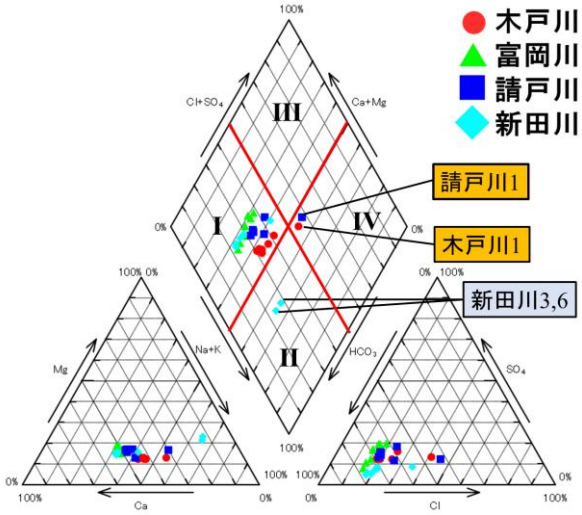


図 2 対象河川のトリリニアダイアグラム

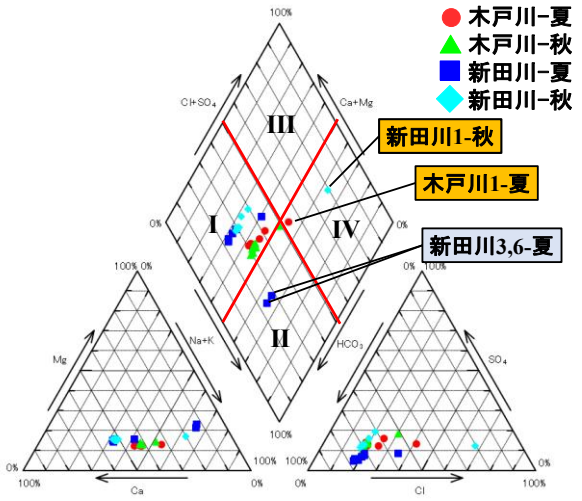


図 3 夏季・秋季の季節変化のトリリニアダイアグラム

謝辞

本研究は，文科省科学研究費補助金（基盤 C:25K04620，基盤 B:24K01125），同位体環境学共同研究 2026 一般 020 の助成を受けて実施したものである．ここに謝意を示す．

参考文献

1) 矢野雅昭ほか：礫厚が浸透流とシロザケ産卵床に及ぼす影響，土木学会論文集 G（環境），Vol.71， No.6，II_191-II_197，2015.
2) 佐々木章晴：北海道根室海区におけるサケ増殖河川の流域土地利用と河川水質との関連，環境情報科学　学術研究論文集，Vol.33, pp.254-258，2019.
3) 髙橋智也ほか：サケ回帰率に寄与する流域環境の諸要素との検討，令和 7 年度水文・水資源学会研究発表会要旨集，DOI:/10.11520/jshwr.38.0_251，2025.

キーワード：Water circulation system, Land cover, River water quality, Chum salmon

高水敷圃場における浸水と農業持続性の関係評価

福島大学大学院共生システム理工学研究科　○我妻　成貴
福島大学共生システム理工学類　川越　清樹

１．　はじめに

気候変動に伴う短時間強雨が増加し，これに起因する洪水，浸水被害が全国的に激甚化している．特に中小河川や都市近郊の低地では従来の河道を中心とした治水対策だけでは対応が難しく，流域全体で水害リスクを軽減する流域治水が推進されている．流域治水の対策オプションとして，一部地域で越水・溢水を許容して下流域の被害を抑制する分散型対策も検討されている[1,2]．越水・溢水を許容する領域は，居住の利用することは不適だが，有効な国土利用をふまえれば，浸水条件下でも成立し得る土地利用の可能性が残されている．特に農業分野では，一定の浸水を許容しつつ生産活動を継続できることが可能になれば，気候変動の緩和と適応の両面をふまえた流域治水の実践が可能になりえる．ただし，浸水条件下でも成立し得る土地利用の可能性についての知見は十分に備わってはいない．

本研究では，東北地方の国管理河川（阿武隈川・岩木川・米代川・名取川）に分布する高水敷圃場を浸水条件下でも成立する土地利用の実験場として設定し，圃場分布，浸水頻度，冠水実績を総合的に整理しえ，浸水特性と農業生産の関係を定量的に評価した．これにより，浸水と共生可能な農業の持続性を検討するための基礎データセットを構築することを目的としている．

２．研究方法，およびデータセット

東北地方の国管理河川に分布する高水敷圃場を対象領域に設定し，①衛星画像による高水敷圃場抽出，②圃場標高調査，③農業生産種目調査，④河川水位観測（40 年間：1985～2024 年）データを利用して，圃場の分布位置，生産種目と冠水頻度，浸水深，浸水時間を基に浸水と共生できる農業持続性に関するデータセットを開発した．以下に特記すべき主要な方法について説明する．

(1)　対象領域の設定と圃場分布データ整備について(方法①，②，③)

衛星画像の判読や河道断面データを用いて圃場の標高位置，面積，河道特性（上下流，右岸・左岸）に基づくデータを整備した．また，圃場の農業生産種目の調査を実施して，作物仕様のデータを整備した．これらのデータ整備により，後続に示す浸水解析および農業持続性評価のインプット要素を整理した．

(2)　浸水分析(方法④)

高水敷圃場の冠水頻度を求めるため，過去 40 年間の河川水位観測データを整理し，被害甚大になる目安になると推測される浸水深 1.0～2.0m の頻度分析を行い，再現年を求めた．また，冠水した事象の時間データを取得し，冠水継続時間も抽出した．

頻度分析には水位データを基に，一般化極値分布（GEV）を用いた統計解析を実施し，浸水発生確率を推定した．式は以下のとおりである．

$$F(x) = \exp\left\{ -\left[1 + \xi \cdot \frac{(x - \mu)}{\sigma} \right]^{-\frac{1}{\xi}} \right\}, \quad \text{ただし} \; 1 + \xi \cdot \frac{(x - \mu)}{\sigma} > 0$$

なお，μ ：位置パラメータ，$\sigma(>0)$ ：尺度パラメータ，ξ ：形状パラメータである．

SLSC (Standard Least Squares Criterion)として，0.04 以下になること基準に精査している．

(3)　冠水実績検証(方法④)

実際に起きた甚大な浸水深の冠水イベントを抽出し，浸水深さと浸水継続時間の関係を求めた．なお，この冠水イベントと比較できるものが(2)より得られた再現年の浸水発生確率である．

３．解析結果

(1)　対象領域の設定と圃場分布データ

図1は衛星画像より取得した東北地方の高水敷圃場の分布結果である．基本的に各河川とも高水敷は河口の位置する平野に遍在する傾向を示す．阿武隈川は，高水敷の面積が大きいことに加えて，平野部河口側ではない平野と盆地の境界に位置する狭窄部付近(宮城県角田，丸森，および福島県伊達)でも圃場分布する特徴を有している．異常出水時に水位の急上昇しやすい場所でも，多面的な畑作農業のほか，カキやモモの果樹園が営農されている．岩木川は，相応に高水敷の面積が大きい河川として位置付けられる．高水敷圃場の営農の概ねはリンゴ果樹園であるが，特徴として集中した広範領域ではなく小規模領域が分散する形態になることが挙げられる．米代川は，東北地方の河川群と比較して高水敷分布面積は中位だが，圃場の占拠率が大きい傾向を示す．なお，概ね田畑の営農がなされている．名取川は，東北地方の河川群と比較して高水敷分布面積は下位だが，圃場の占拠率が大きい傾向を示す．

なお，高水敷圃場の利用は，畑に特化しており田，果樹園は存在しない．その一方で，農業関連として植林利用している特徴を持つ．

(2) 浸水分析

表1は，阿武隈川，岩木川，米代川，名取川の浸水状況を，浸水実績回数(0.5～1.5m以上)と，過去40年間の河川水位観測データを用いて浸水深1.0～2.0mの発生頻度を算出した結果を整理したものである．浸水実績回数では，阿武隈川は浸水実績回数が顕著に多く，名取川では極端に少ないことが明らかにされた．**図1**の結果と比較すれば，こうした浸水実績回数が高水敷圃場の占拠率の大小と関連付けられることが明らかであり，名取川は高水敷浸水の影響の少なさから圃場占拠率が大きくなっていることが示されている．一方で，阿武隈川の高水敷圃場占拠率が少ないとはいえ，圃場が現在も残存することは特徴的な結果である．浸水回数が多くとも残存することの利点，動機に視点をもった調査を進めることも必要といえる．

阿武隈川では笠松・丸森・八幡・二本松で周期的な冠水がみられ，特に丸森・八幡では5～15年に一度と高頻度で浸水が発生した．岩木川では地点間の差が大きく，若宮では100～200年に一度と稀である一方，繁田では50～100年に一度，幡龍橋では15～20年に一度の頻度で浸水が発生した．米代川では浸水頻度が総じて低く，浸水深1.0～2.0mの冠水が発生する地点は限定的であった．名取川では圃場標高が比較的高く，浸水深1.0m以上の冠水はほとんど確認されていない．

(3) 冠水実績検証

図2は，重点的な冠水イベントを浸水深と冠水継続時間の関係を整理した結果である．4河川に共通して浸水深が大きいほど冠水時間が長くなる傾向が確認されたが，その程度は河川毎に異なる結果を得た．阿武隈川では浸水深1.0～2.0mの事象が概ね24時間前後に収まり，丸森・八幡では長時間冠水が発生した．岩木川では幡龍橋や繁田で30～50時間に及ぶ冠水が確認され，果樹園への影響が懸念された．米代川では浸水深・冠水時間ともに低く，洪水時の水位上昇が緩やかであった．名取川袋原圃場では浸水深約0.2m，冠水時間約12時間と浅く短い冠水にとどまり，浸水リスクが低い結果が得られている．

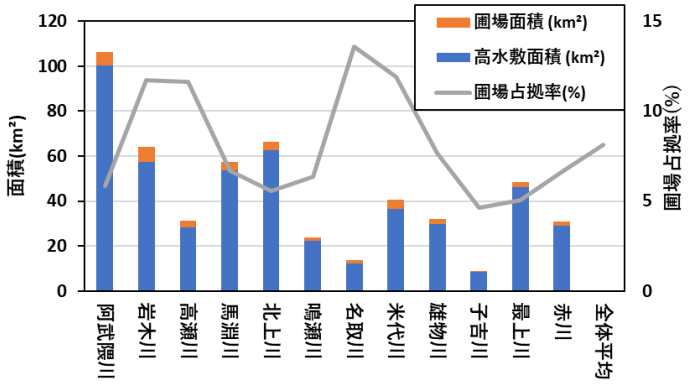


図１　東北地方河川群の高水敷圃場の分布結果

表１　東北地方主要河川の浸水分析結果

河川名	観測所	圃場標高(m)	浸水回数 0.5m	浸水回数 1.0m	浸水回数 1.5m	確率水位 10年	確率水位 30年	確率水位 50年	確率水位 100年
阿武隈川	笠松	14.0	8	5	2	15.1	16.4	17.0	17.9
	丸森	19.3	11	8	7	21.0	22.5	23.2	24.2
	八幡	4.5	11	8	7	6.4	8.5	9.7	11.7
	二本松	8.3	6	5	3	8.6	10.6	11.9	14.0
岩木川	若宮	2.0	0	0	0	1.7	2.0	2.1	2.4
	繁田	3.4	5	1	1	3.3	4.2	4.5	5.0
	五所川原	6.0	0	0	0	3.0	3.8	4.2	4.9
	幡龍橋	13.1	8	5	3	14.3	15.6	16.3	17.3
米代川	柳	3.27	7	4	1	4.1	4.9	5.4	6.2
	富根	3.47	6	4	1	4.1	5.2	5.9	6.8
	坊沢	3.77	4	3	2	4.4	5.5	6.1	7.8
	扇田橋	2.34	0	0	0	1.0	1.4	1.5	1.8
名取川	関上第二	2.70	0	0	0	1.4	1.6	1.7	1.9
	袋原	4.61	1	0	0	3.7	4.5	4.9	5.6
	名取川	8.10	0	0	0	6.5	6.9	7.1	7.4
	余方	5.93	0	0	0	3.3	3.9	4.3	4.8

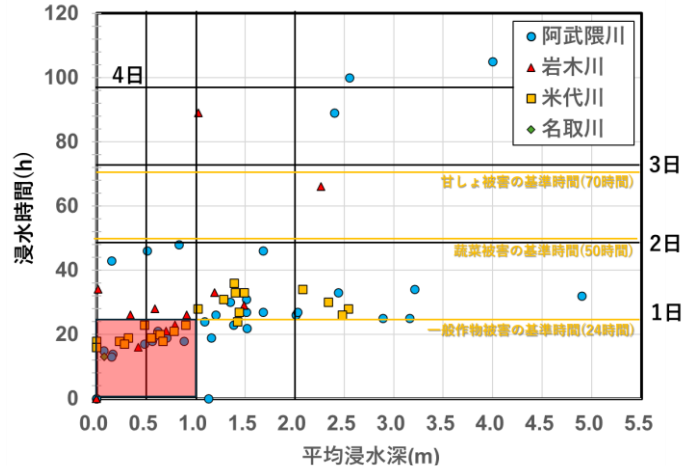


図２　高水敷圃場の浸水深と浸水継続時間の実績図

４．結論と今後の課題

本研究では，阿武隈川・岩木川・米代川・名取川の高水敷圃場を対象に，圃場分布，浸水頻度，冠水実績を総合的に分析し，浸水特性と農業生産の関係を整理した．今後は，作物ごとの浸水耐性評価や地域特性を踏まえた土地利用モデルの構築を進め，流域治水と農業生産の両立に資する持続的な農業のあり方を検討する必要がある．

謝　辞：本研究は，（独）環境再生保全機構の環境研究総合推進費 S-24-2(2)河川洪水被害減少のための包括的適応策の評価と流域治水策の提案(JPMEERF25S12422)の助成を受けて実施したものである．ここに謝意を示す．

参考文献：

(1) 風間聡，原田守啓，堀智晴：人口減少域の中小河川管理の考察，水文・水資源学会誌，37(3)，pp.265-269,2024.
(2) 妹尾泰史・石川忠晴：河川上流部における超過洪水用分散型遊水地の提案と阿武隈川を対象とした試算，土木学会河川技術論文集，28, pp.439-444, 2022.

Key ward: Flood , Farm field , Floodplain terrace

Hydrological Implications of AMOC-Driven Climate Change in 12 Global Cities

National Institute for Environmental Studies ○Muhammad Umer
National Institute for Environmental Studies Naota Hanasaki

1. Introduction

The Atlantic Meridional Overturning Circulation (AMOC) is a key component of the global climate system and is projected to weaken under future warming (Caesar et al., 2021). A weakened AMOC reduces northward heat transport in the North Atlantic Ocean, leading to a large-scale reorganization of atmospheric circulation and precipitation patterns (Liu et al., 2020). Despite its significant influence, AMOC-driven climate impacts have rarely been assessed, particularly at the urban scale, where water systems are highly sensitive to hydro-climatic changes. This study evaluates AMOC-induced climate differences across major global cities and assesses their implications for urban hydrology.

2. Study area

Twelve major global cities were selected to represent key urban regions across both hemispheres, including Los Angeles, Cape Town, Tokyo, and Sydney (Fig. 1). These cities are among the largest urban centers in their respective regions and span a range of climatic conditions, including temperate, tropical, and semi-arid environments, thereby providing broad geographic coverage to analyze regional impacts of AMOC-driven climate variability on urban hydrology.

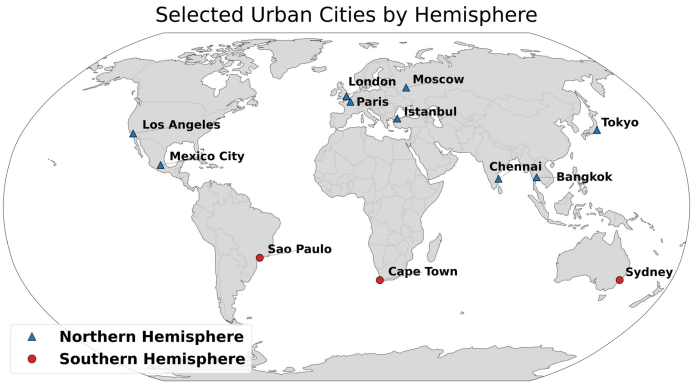


Fig. 1. Study area: Selected major cities across regions.

3. Method

This study uses climate data derived from the MIROC6 framework, following an existing large-ensemble experimental design (Shiogama et al., 2023). The dataset consists of a 50-member atmosphere-only ensemble (MIROC6-AGCM) for the historical period (1981–2020), forced with observed sea surface temperature (SST) and sea-ice concentration (SIC), as provided by prior modeling experiments.

To isolate AMOC effects, the provided dataset was organized into two scenarios: (1) AMOC-active and (2) AMOC-inactive (shutdown) relative to the historical baseline. In this dataset, the AOGCM-derived SST anomalies from coupled atmosphere–ocean freshwater-forcing (H0.5) experiments under the SSP3-7.0 scenario in the North Atlantic were superimposed onto the baseline using a signal-insertion approach, enabling controlled comparison under observed variability. Due to computational constraints, a subset of eleven ensemble members was used for hydrological simulations while retaining variability. The resulting scenario-based meteorological variables were then used to drive the H08 global hydrological model, which incorporates human water use processes and is applied at 5-arcminute resolution with daily simulations. The model was implemented for all cities; however, results for four cities are presented in this abstract.

4. Results

AMOC-driven climate differences exhibit a consistent hemispheric temperature pattern across the selected cities. Relative to AMOC-active conditions, AMOC shutdown cools Northern Hemisphere cities such as Los Angeles by 0.87 °C

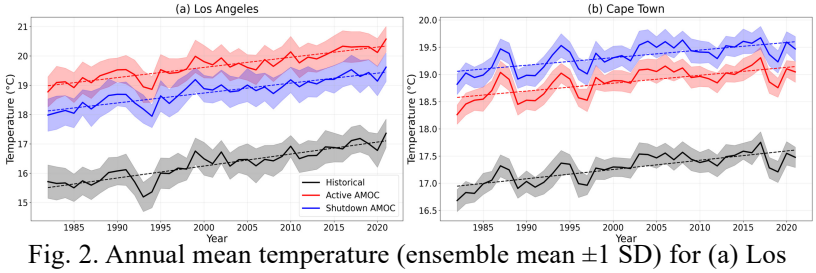


Fig. 2. Annual mean temperature (ensemble mean ±1 SD) for (a) Los Angeles and (b) Cape Town (1981–2020).

and warms Southern Hemisphere cities such as Cape Town by 0.47 °C (ensemble mean annual temperature difference, 1981–2020), reflecting hemispheric heat redistribution associated with reduced North Atlantic heat transport (Fig. 2).

The climate differences translate into distinct urban hydrological responses (Fig. 3). Hydrological analysis of city-scale discharge using the H08 model indicates that flow responses vary significantly across regions. Under AMOC shutdown conditions, Sydney shows the strongest increase in mean annual discharge, while Cape Town exhibits relatively weak changes (Fig. 3c). Los Angeles demonstrates episodic amplification of flows, whereas Chennai shows a variability-dominated response with comparatively smaller changes in mean discharge (Fig. 3a and 3c).

Extreme flow responses (ΔQ95) are more sensitive than mean discharge. Sydney exhibits a pronounced increase in extreme flows, indicating higher flood potential, while Chennai shows a decrease in extreme discharge despite moderate changes in mean flow. Cape Town shows limited response in both mean and extreme flows, suggesting lower sensitivity to AMOC-driven changes (Fig. 3c and 3d).

Seasonal discharge patterns further reveal that AMOC forcing alters the timing and magnitude of hydrological cycles. Winter flow amplification is observed in Los Angeles and Sydney, while Cape Town shows reduced winter flows, and Chennai exhibits a shift in monsoon timing with earlier onset and moderated peak discharge (Fig. 3b).

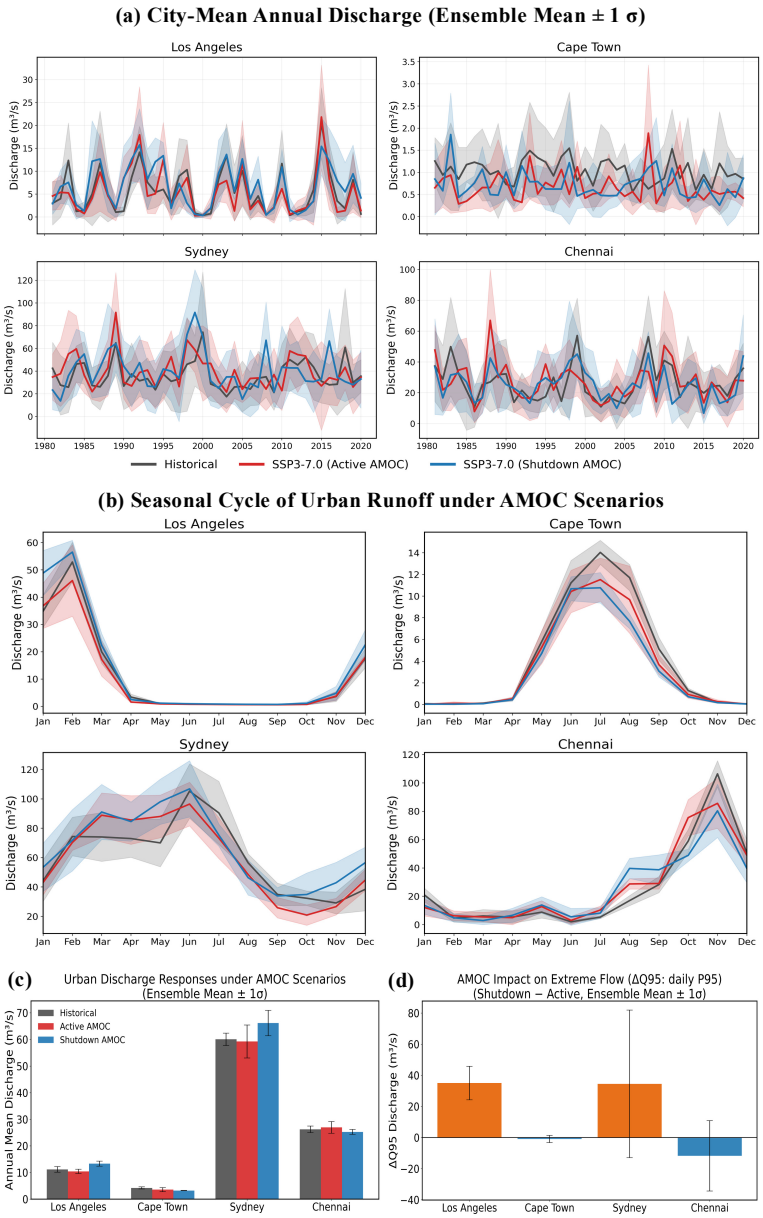


Fig 3. Urban discharge responses under AMOC scenarios for selected cities: (a) annual time series, (b) seasonal cycles, (c) mean discharge, and (d) extreme flow (ΔQ95)

5. Conclusion

AMOC-driven climate differences lead to distinct and regionally varying urban hydro-climatic responses across global cities. While temperature signals exhibit a clear hemispheric pattern, hydrological impacts are location-dependent and stronger in extreme flows than mean discharge. Cities such as Sydney show significant increases in both mean and extreme flows, whereas Cape Town exhibits weak hydrological sensitivity despite significant temperature differences. Seasonal shifts in discharge further highlight AMOC influence on urban water availability. These findings highlight the importance of considering large-scale ocean circulation changes in assessing future urban water risks and potential implications for adaptation strategies.

References

1. Caesar, L., et al. (2021). Current Atlantic Meridional Overturning Circulation weakest in last millennium. *Nat. Geosci.*
2. Liu, W., et al. (2020). Climate impacts of a weakened Atlantic Meridional Overturning Circulation in a warming climate. *Science Advances*
3. Shiogama, H., et al. (2023). MIROC6 Large Ensemble (MIROC6-LE): experimental design and initial analyses. *Earth Syst. Dynam.*

Keywords: AMOC; urban hydrology; climate change; precipitation; oceanic circulation

AMSR 2 や MODIS などの衛星観測データを用いたモンゴル高原における陸面水文量の不均一性評価

松江工業高等専門学校　環境・建設工学科　○広瀬　望
（国研）宇宙航空研究開発機構（JAXA）　会田健太郎
広島大学（名誉教授）　開發一郎

1. はじめに

土壌水分は地表面の水・熱収支に直接的に影響を及ぼし，大気陸面相互作用を通じて，気象現象の形成に関与する重要な物理量である．特に，降水の季節変動や年々変動に対する土壌水分の応答特性は，気象・水文モデルの精度向上に不可欠である．近年，リモートセンシング技術の進展により，人工衛星による土壌水分の全球規模での観測が可能となってきたが，精度の高い気象予測と適切な水資源管理のためには，土壌水分の推定精度の向上が不可欠である．そのためには，観測に基づくマイクロ波放射伝達過程を精緻なモデル化と，衛星観測データに基づく推定アルゴリズムの高度化が必要である．

モンゴル高原は，半乾燥地域であるものの，多様な植生タイプを有している．一方で，衛星観測のフットプリントは数十 km と広範囲である．このため，衛星観測フットプリント内に異なる植生状態を内包し，不均一な状況が季節変化及び年々変動することが考えられる．そのため，多様な陸面状態を構成する土壌水分や植生の不均一性を考慮することによって，衛星観測土壌水分プロダクトの精度向上が期待できる．

そこで，本研究では，AMSR2 や MODIS などの衛星観測データを用いて，土壌水分や植生などの陸面水文量の年々変動及び季節変動を検討し，モンゴル高原における水循環過程への影響を明らかにすることを目的とする．

2. 研究対象領域の概略

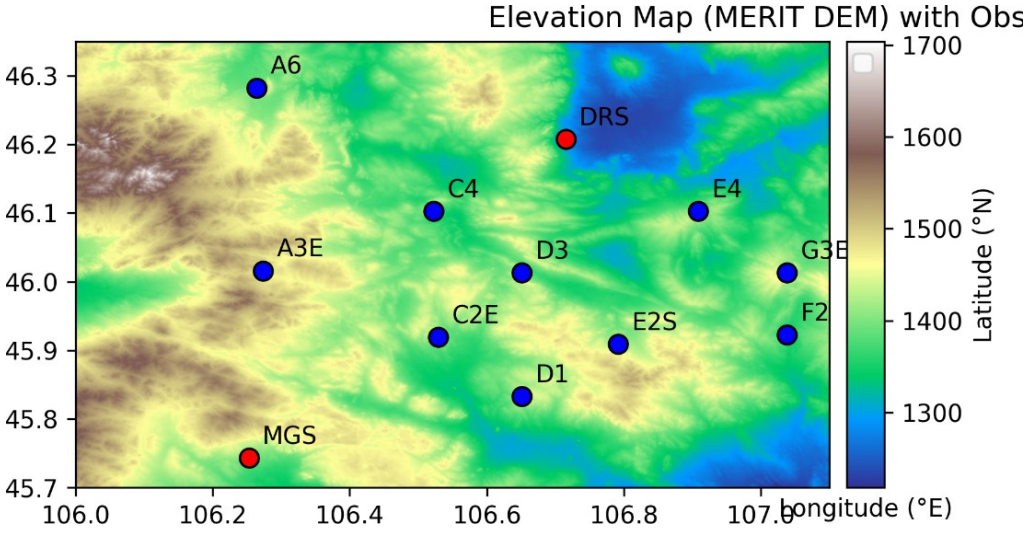


図 1 モンゴル高原における観測サイトの位置図及び標高との関係

本研究では，半乾燥地域であるモンゴル高原を対象として，観測データを用いて，研究を進めることとする．図 1 にモンゴル高原における土壌水分観測ネットワークを示した．図 1 に示したように，広域で土壌水分計測機器が埋設され，リアルタイムで土壌水分計測が行われている．また，自動気象観測ステーション（Automatic Weather Station，AWS）に気象要素だけでなく，陸面から大気への水熱輸送量が観測されており，半乾燥地域における大気陸面相互作用を詳細に検討することができる．なお，対象領域における土地被覆分類及び標高分布を検討したところ，モンゴル高原における研究対象領域における草地(7)，低木地(8)，裸地(19)が 90%近くを占め，半乾燥地域における特徴的な土地被覆を示していることがわかった．また，モンゴルの植生活動は当年の土壌水分によって制御されるといわれており，4）雨量の年較差が激しいことから，植生も土壌水分量と同様に年，季節によって大きく変動する．

3. 結果

これまでの検討結果より，モンゴル高原における検証サイト周辺は，土地被覆分類より，植生が少ない土地被覆状態であることがわかった．そこで，MODIS NDVI を用いて，地上検証サイト内における植生変動特性を明らかにする．まず，MODIS データの広域マップより地上検証サイトを含む研究対象領域を切り出し，対象領域内の NDVI の空間分布を可視化し，サイト内の NDVI の領域平均値を求め，季節変動及び年々変動特性を検討した．その結果，春先は植生が小さく，降雨が増加する夏期に植生が大きくなる様子がわかる．また，植生状態（NDVI）が年々で大きく変動していることがわかった．

また，AMSR 2 の土壌水分の推定結果及び地上検証サイト内の地上観測データに基づいて，研究対象領域内における土壌水分の不均一性を検討した．具体的には，対象領域内における現地計測で得られた土壌水分の平均値と標準偏差の関係を検討した．その結果，土壌水分の平均値が小さいときは，土壌水分の標準偏差も小さい．一方，土壌水分の平均値が大きいときも，土壌水分の標準偏差も小さくなる傾向がある．土壌水分の平均値が 0.15 から 0.2 の間に，土壌水分の標準偏差のピークがある．また，標準偏差のピーク値は 0.1 程度であることがわかった．そのため，現地の実測結果と AMSR2 の結果を比較すると，両者の関係は類似しているものの，AMSR2 の土壌水分プロダクトが現地の実測結果より過大評価となっているため，対象領域内の土壌水分の平均値が高くなることに起因していると考えられる．

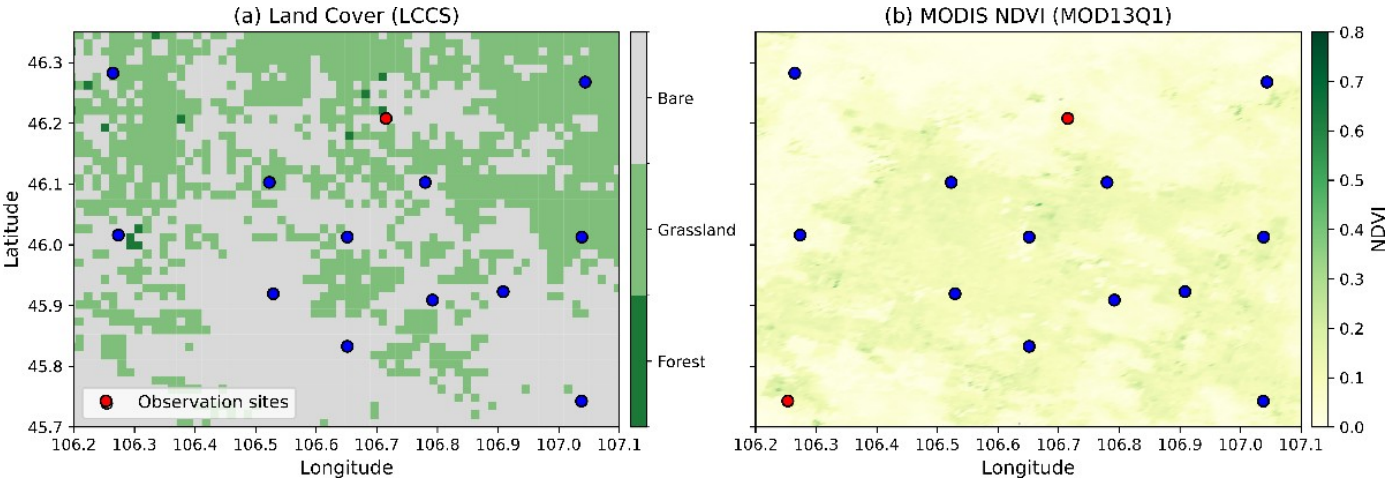


図2　研究対象領域における土地被覆分類とMODIS NDVIとの比較

4. まとめと今後の課題

本研究では，AMSR2 や MODIS などの衛星観測データを用いて，土壌水分および植生に着目し，モンゴル高原の研究対象領における季節変動及び年々変動の特徴を検討した．その結果，対象領域における土地被覆分類と MODIS NDVI との関係を明らかにした．今後は，AMSR2 による土壌水分推定の精度向上を目指して，放射伝達モデルにおける植生水分量の取り扱いについて，現地観測結果を踏まえて，検討する進める予定である．

参考文献

1) 会田健太郎，開發一郎，浅沼順，広瀬望，AMSR土壌水分推定における土壌水分空間分布の影響検討，水工学論文集，81巻，16号，24-16030，https://doi.org/10.2208/jscejj.24-16030.
2) 樋口淳紀，広瀬望，衛星観測データを用いたモンゴル高原における植生の長期トレンド分析，土木学会論文集B1（水工学），vol.81，No.16，24-16029，https://doi.org/10.2208/jscejj.24-16029

キーワード：モンゴル高原，衛星観測プロダクト，植生，土壌水分

令和 6 年能登豪雨を対象にした確率的イベントアトリビューション

京都大学院工学研究科　井川椋介
京都大学防災研究所　田中智大
京都大学防災研究所　佐山敬洋

1. 序論

近年，豪雨災害が激甚化の傾向にあり，その原因の一つとして考えられているのが地球温暖化による気候変動である．地球温暖化の影響評価の方法の一つとしてイベントアトリビューション(Event Attribution，以下 EA と表記する)があり，過去に発生した特定の極端現象（例えば台風や梅雨前線）を対象にして人間活動の影響を評価する手法である．本研究は能登半島を対象に過去の温暖化による領域平均雨量，主要河川の洪水ピーク流量，および半島全体の浸水面積の頻度分布の変化を分析すること，さらに令和 6 年能登豪雨を対象にその結果を用いてアンサンブルデータから類似の事象を抽出し，発生頻度の違いから気候変動の影響を評価する確率的 EA を実施し，その有用性を分析するとともに，気象変数から影響評価変数にかけての気候変動の影響の大きさの違いを考察することを目的とする．

2. 能登豪雨

2024 年 9 月 20 日から 23 日にかけて前線が停滞した影響により，東北地方から西日本にかけて広い範囲で雷を伴った豪雨災害が発生した．特に秋田県と石川県では線状降水帯が発生した．能登では同年 1 月に震度 7 の地震も起こっており地盤が緩んでいたため，土砂災害が多く発生した．川瀬ら [1)]は気象モデルを用いて対象とする事例を再現したうえで，温暖化のトレンドを取り除いて非温暖化条件での仮想実験を行い，両実験による結果の違いから気候変動の影響を評価する量的EAを,両実験の降水量を降雨流出氾濫モデルRRIに入力することで，能登半島を対象に降水量，流量，氾濫面積に関して実施した．その結果，降水量は 17%増加し，輪島市市街地を流れる河原田川ではピーク流量がおよそ 40%増加した．また浸水面積は約 100%増加した．

3. 方法

本研究では，能登半島における領域平均雨量，主要河川の洪水ピーク流量，領域全体の浸水面積を対象に，過去実験(HPB 実験)と非温暖化実験(NAT 実験)による頻度分布を各再現期間レベルで比較して過去の温暖化の影響を評価する．そのうえで，令和 6 年能登豪雨の再現期間および対応する再現期間の再現レベルの変化を調べることで確率的 EA を実施する．使用するデータは地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベース(d4PDF)を 5km メッシュにダウンスケーリングしたものを 2001 年から 2020 年まで対象にして HPB 実験と NAT 実験の比較を行う．ピーク流量，浸水面積を解析するために能登半島に分布する複数の二級河川における洪水氾濫を同時に解析できる降雨流出氾濫モデル(RRI モデル)を用いる．佐山ら [2)]は令和 6 年 1 月能登半島地震の地殻変動による標高の変化を考慮した RRI モデルを構築しており，これらを本研究で用いる．能登半島全域を対象として領域平均雨量を計算し，年最大 6 時間積算雨量を抽出して頻度解析を実施した．ただし，1 年最大値は極度分布の適合度が極端に低かったため，5 年最大値を抽出し Gumbel 分布を当てはめて雨量と再現期間の関係を得た．また年最大 6 時間雨量の発生前 48 時間および発生後 18 時間の計 72 時間の雨量データを抽出し RRI モデルに入力して得られた河原田川における洪水ピーク流量と能登地方の浸水面積を対象に雨量と同じく，5 年最大値を抽出し Gumbel 分布を当てはめてピーク流量，浸水面積と再現期間の関係を得た．

4. 結果

得られた結果を図-1 に示す．観測情報に基づく能登豪雨の 6 時間雨量は 102mm であり再現期間は HPB 実験が 97.8 年，NAT 実験は 201 年となり発生頻度は 2.05 倍となった．再現期間が 97.8 年時の NAT 実験

の 6 時間雨量は 93.6mm となった．すなわち令和 6 年能登豪雨時に推定された雨量の再現期間における HPB 実験と NAT 実験の雨量の変化率は 1.09 となった．能登豪雨に対する解析雨量を入力した RRI モデルによる河原田川の輪島地点における推定ピーク流量は 967 ㎥/s である．このときの再現期間は，HPB 実験は 332 年，NAT 実験は 598 年となり発生頻度は 1.80 倍となっている．再現期間が 332 年時の NAT 実験の流量は 888 ㎥/s となった．すなわち令和 6 年能登豪雨時に推定された流量の再現期間における HPB 実験と NAT 実験の流量の変化率は 1.09 となる．能登豪雨時の能登地方全体の浸水面積は 22 ㎢に対応する HPB 実験と NAT 実験の再現期間はそれぞれ 69.7 年，268 年となり，頻度は 3.85 倍となっている．再現期間 69.7 年時の NAT 実験の浸水面積は 16.2 ㎢となる．すなわち令和 6 年能登豪雨時に推定された浸水面積の再現期間における HPB 実験と NAT 実験の浸水面積の変化率は 1.37 となる．さらに，解析を行った全データを対象に，各メンバーで雨量，流量，浸水面積が上位何番目であるかを，同じ年の順位を HPB 実験と NAT 実験で比較した．その結果，順位相関係数は雨量，流量，浸水面積のいずれも 0 から 0.15 であった．

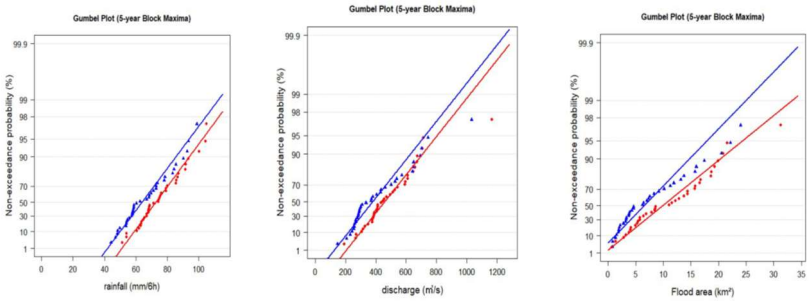


図-1 雨量，流量，浸水面積の Gumbel 分布を当てはめた結果．青色が HPB 実験，赤色が NAT 実験を表す．データの経験累積確率の描画にはワイブル公式を用いた．

5. 結論

過去の気候変動によって，令和 6 年能登豪雨における雨量の発生頻度は 2.05 倍，流量における発生頻度は 1.80 倍，浸水面積における発生頻度は 3.85 倍となっている．また再現期間の大きさの順は HPB 実験で浸水面積，雨量，流量，NAT 実験で雨量，浸水面積，流量の順となっている．雨量と浸水面積は HPB 実験では 97 年と 67 年，NAT 実験は 200 年と 268 年であるが流量は HPB 実験が 331 年，NAT 実験が約 600 年と極端に再現期間が長くなっている．発生頻度は雨量を基準とすると，流量は 2.05 倍と 1.80 倍で差が少ないものの，それぞれの再現期間は 97 年と 331 年と全く異なっている．雨量や浸水面積が能登半島の対象領域全体を代表する変数であるのに対し，流量は河原田川という特定の河川流域での雨量の結果を代表する変数であり，空間スケールが異なる．その結果，雨量を条件に抽出した降雨事例の中で河原田川流域の雨量が小さい事例も含まれ，流量の再現期間が大きく見積もられたと考えられる．一方，浸水面積は，発生頻度は 2 倍ほど違うものの再現期間でみると雨量とはあまり差がみられないという結果となった．このことは，中小河川が集まる能登半島のような地域においては浸水面積に対して雨量を用いて災害変数の確率的 EA を行うことができる可能性を示している． 順位相関係数は雨量，流量，浸水面積のいずれも 0 から 0.15 であり順序に相関があるとはいえない．同じ年の HPB 実験と NAT 実験は温暖化以外の境界条件は同じであるため，年ごとの境界条件は能登豪雨ほどの限られた地域における災害にはほとんど影響を及ぼしておらず，局所的な気象場の影響を強く受けているものと考えられる．

参考文献

1) 川瀬宏明，佐山敬洋，渡邉俊一，今田由紀子．(2025)．近年の昇温が令和 6 年 9 月の能登の大雨と浸水に与えた影響，2025 年度秋季大会（ポスター発表）．
2) 佐山敬洋，菅原快斗，田中智大. (2026)．令和 6 年能登半島地震の地殻変動が奥能登豪雨の洪水氾濫に及ぼした影響．*土木学会論文集, 82*(16), 25-16113.

キーワード：Climate Change, River, Frequency Analysis

河川堤防の侵食破堤確率を考慮した気候変動の影響評価

富山県立大学工学部　○髙橋克弥，呉修一
富山県立大学大学院工学研究科　山田莉久，沼澤蓮音

１．背景・目的

近年，富山県においても気候変動の影響により線状降水帯の発生や短時間強降雨による内水氾濫・中小河川の氾濫などが頻発している．小矢部川でも既往最大流量を観測するなど，今後も洪水の規模・頻度の増加が予想される．更に富山県河川は急流であり，「越水なき破堤」を引き起こす侵食破堤が生じることが懸念されている．気候変動の影響評価研究は，富山県河川を対象としても数多く行われているが，侵食破堤に与える影響が検討された事例は少ない．よって本研究の目的は，富山県河川において侵食破堤のリスクを考慮した気候変動の影響評価を行うことである．本研究を通じて，破堤リスクの高い地点（ホットスポット）を特定し，被害が想定される箇所を明確化する．さらに，越水なき破堤が生じる確率を算定し，気候変動でどの程度上昇するかを定量的に評価する．

２．対象流域

本研究では，富山，岐阜にまたがる一級河川の神通川，庄川および小矢部川の 3 河川を対象とする．流域面積は小矢部川が 667 km^2，庄川が 1,189 km^2，神通川が 2,720 km^2 である．日本屈指の急流河川であるため，水衝部での侵食破堤が生じえる．

３．研究手法

３．１．対象流量の算定

降雨データは 5 km メッシュの d4PDF (地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベース)における過去実験，4 ℃上昇実験のそれぞれ 372 年分を使用した．このデータにバイアス補正を施し，降雨流出解析を行うことで，各確率年における河川流量を算出した．本研究では過去実験および 4 ℃上昇における確率 350 年に相当するイベントを解析対象外力とした．

３．２．破堤地点の選定

まず洪水脆弱部として松本ら[1)]の手法を参考に，堤防破堤地点を選定した．重要水防箇所，簡易な侵食ポテンシャル評価，護岸整備が未実施の地点の 3 条件などを考慮して破堤リスクが高いと考えられる地点を選定した．各河川で左右岸各 6 箇所の抽出に成功した．

３．３．洪水氾濫解析

河道部の洪水追跡計算には，一次元不定流計算を，洪水氾濫計算には二次元不定流計算を用いた．

３．４．浸水・床上浸水・水平避難確率の算定

各破堤箇所ケースの洪水氾濫解析より得た浸水深・流速の結果から，松本ら[1)]の手法を参考に，地先のリスクとして浸水・床上浸水確率および水平避難（事前避難が必要な高リスク地区）確率を算定する．これにより気候変動に脆弱なホットスポットを抽出する．

３．５．破堤確率の算定

上記の地先のリスクでは，破堤箇所の破堤のしやすさは均等で，必ず 1 地点が破堤するという仮定がある．よって，真にリスクの高い地点を明らかにするため堤防縦断方向の破堤確率を算定する．植村ら[2)]の破堤判定モデルを参考に，まず破堤判定の大まかな流れとして，ハイドログラフを外力条件としたとき，高水敷を有する堤防の破堤発生は以下のように判定する．

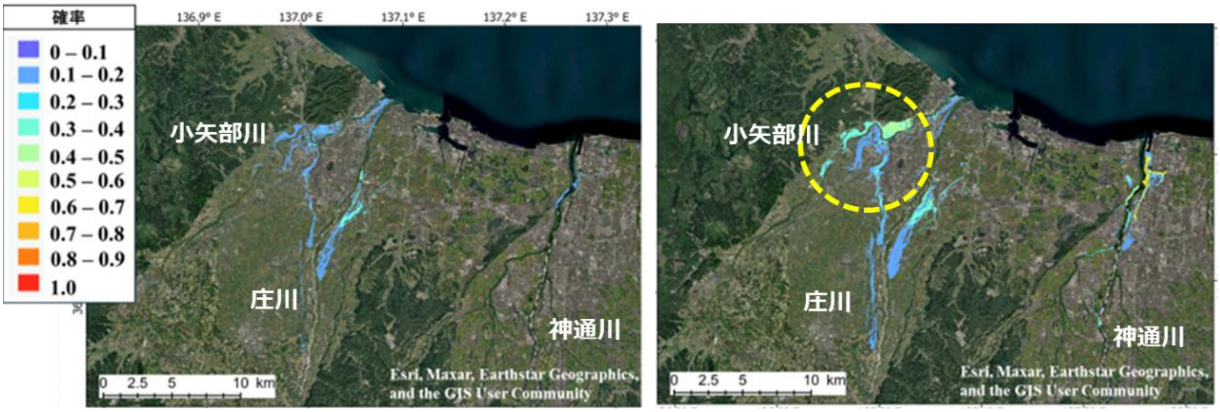


図-1　水平避難確率分布（左：過去，右：4℃上昇）

(a) 高水敷上における流速を算出する．(b) 堤防法面に生じるせん断応力を算出する．(c) 堤防法面の侵食が発生する限界せん断応力を超過している期間の侵食量を算出する．(d) 侵食量の累積値が堤防幅を超過する場合に破堤発生と判定される．

流速およびせん断応力の算定には，iRIC Nays2DH を用いる．対象流域は，令和 5 年に護岸侵食が複数地点で生じた小矢部川である．堤防の特性は，堤防の侵食されやすさに応じて設定する係数 k および堤防法面の侵食が開始する限界せん断応力 τ_c の設定を，対数正規分布に従う乱数として与え，10,000 ケースのデータセットをそれぞれ準備し，侵食破堤が生じるかをモンテカルロ法に基づき検討した．

4．計算結果と考察

過去実験および 4℃上昇時の水平避難確率を**図-1** に示す．小矢部川下流で水平避難リスクが高いことがわかる．この地域が気候変動のホットスポットとする．

次に，過去実験，4℃上昇実験で堤防の破堤確率を算定した．これらの図は，用紙の都合上割愛している点，ご容赦頂きたい．気温上昇にともない破堤確率が上昇することが明らかとなった．特に流速の早い湾曲部などで顕著であった．しかしながら，破堤確率の値自体は極めて小さい．ここで破堤が生じると判定された箇所と，先行研究で堤防の破堤ポテンシャルが高い（侵食ポテンシャル，重要水防箇所，護岸の整備箇所など）と判定された箇所の重ね合わせを行うと，小矢部川左岸の 2 か所で，侵食ポテンシャルがあり，実際に破堤確率も算定される箇所が存在する箇所が存在することが明らかとなった．

5．まとめ

本研究は，気候変動が富山県河川に与える影響評価に取り組んだ．従来までの河川流量や浸水範囲への影響のみならず，浸水確率など地先のリスクでの評価や侵食破堤確率での評価を行うことが出来た．このように急流河川の課題である「越水無き破堤」の侵食リスクを考慮した気候変動の影響評価に取り組むことで，富山県の気候変動に脆弱な地点を明らかにし，その箇所で浸水が生じる確率を定量的に評価する成果を得た．

【謝辞】本研究は，JP24H00329 の助成を受けたものです．ここに記して謝意を表します．

参考文献

1) 松本晋太郎，呉修一 ： 富山県河川における堤防の侵食リスクを考慮した破堤箇所選定方法の提案，土木学会論文集，80 (16), 23-16109, 2024.
2) 植村郁彦ら：侵食による破堤確率の評価手法の確立に向けた基礎的な手法の提案，土木学会論文集，81 (16), 24-16101, 2025.

キーワード：climate change, location of levee brench, Toyama, probability of levee breach

気候変動が山梨・静岡の土砂災害危険度に与える影響評価へ向けた基礎的検討

山梨大学大学院医工農学総合教育部　○長谷川大祐
山梨大学大学院総合研究部　相馬一義，大槻順朗，松浦拓哉，馬籠純，石平博

1. はじめに

近年，日本では豪雨による土砂災害が多発している．特に山梨県から静岡県にかけての地域では糸魚川－静岡構造線が縦断し，花崗岩層などの脆弱な地質条件と併せて土砂生産・土砂流出が活発である．山梨・静岡両県における土砂災害に対して，機械学習を活用した土砂災害危険度推定手法が構築されている[1)]．一方で近年は気候変動の影響により短時間に集中する豪雨や線状降水帯の発生頻度が増加しており，これらの豪雨頻度や強度の変化によって土砂災害危険度も大きく変化することが懸念されている．

以上を踏まえて，本研究では高解像度気候変動予測結果を，誘因と素因を用いた機械学習による土砂災害危険度推定手法に入力するこれにより，現在気候下と将来気候下における土砂災害危険度の変化を比較し，気候変動が危険度推定に与える影響を明らかにすることを目的とする．

2. 機械学習を活用した気候変動が土砂災害危険度に与える影響評価

本研究では機械学習手法として全結合型深層ニューラルネットワーク（以下，NN）を用い，1 km メッシュの各セルに，誘因として 60 分間積算雨量と土壌雨量指数，素因として最大傾斜角度，森林面積，表層地層，地形分類等 46 項目を入力する[1)]．学習・検証，閾値決定では，山梨・静岡における過去の土砂災害事例を用いる．入力データの正規化手法について上限となる固定値を設定し，降水がそれを超える値は 1 として扱うよう変更した．過去の豪雨事例における NN 出力値（0～1）に対して，土砂災害が発生した行政区分で見逃しが無いように閾値を設定した．

推定実験ではこの NN に対して高解像度気候変動予測結果を誘因として入力する（図 1）．高解像度気候変動予測結果として，日本域気候予測データ（DS2022）について，RCP2.6 シナリオを用いた空間解像度 2 km の結果を用いる[2), 3), 4)]．現在気候（1980～1999 年）および将来気候（2076～2095 年）のそれぞれ 20 年分のデータを用いて，長期的な危険度の変化を評価した．

1 年間で危険と判定されたセルの数を行政区分（市町村）ごとに集計した．その結果，20 年間で年ごとのばらつきが大きくなったことから，各行政区分において 1 年間で危険とされたセル数について 20 年分の中央値を算出して評価を行った．

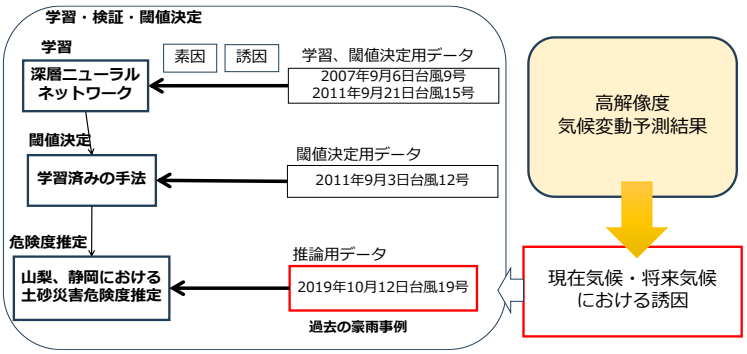


図 1　機械学習を活用した気候変動が土砂災害危険度に与える影響評価の流れ

3. 気候変動が山梨・静岡の土砂災害危険度に与える影響の検討

気候変動による将来気候と現在気候の差を統計的に評価するため，各行政区分（市町村）で危険と判定された年間セル数（20 年分）に対して，Mann–Whitney の U 検定を適用した．このとき，有意水準が 5%で中央値に有意な差が認められる地域のみを抽出した結果を図 2 に示す．その結果，山梨県北部，東部，静岡県西部の一部山

間部等において将来気候で現在気候と比べて危険度が増加する傾向が見られた．静岡県中部の一部山間部では減少する傾向が見られたが，この地域では現在気候下，将来気候下ともに危険と判定される頻度が高い．静岡県の海岸部等，気候変動前後で変化が見られない地域も見られる．

このことから山梨・静岡県の中でも気候変動の影響は一様ではなく，地域ごとに異なる可能性が示唆された．山梨県北部は2004年以降の豪雨では土砂災害の発生頻度が少ない地域であり，気候変動下で特に注意が必要と考えられる．山梨県北部での危険度が高くなった原因については，素因に由来する急峻な地形に加え，誘因となる豪雨頻度が増加したことが重なったことが考えられる．一方で，同じ山間部でも静岡県中部のように危険度が下がった地域も見られ，より詳細な検討が必要と考えられる．

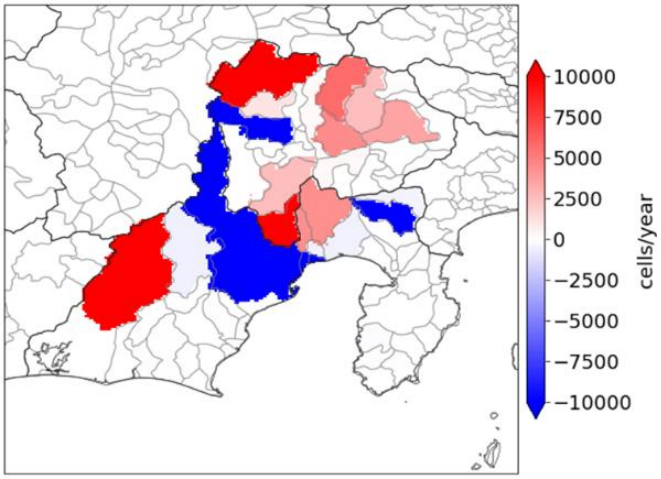


図２　気候変動に伴う土砂災害危険度の変化
各行政区分で危険と判定されたセル数（年間値、20年間の中央値）について将来気候から現在気候を引いた値

4. 結論

本研究では，高空間解像度気候変動予測の結果を土砂災害危険度推定手法に入力し，気候変動による降雨量と頻度の増加が山梨・静岡の土砂災害危険度に与える影響評価を試みた．危険と判定された頻度を行政区分（市町村）ごとに統計的に検討した結果，現在気候と将来気候で有意差がみられる地域が確認された．また2004年以降の豪雨では土砂災害の発生頻度が少ない山梨県北部でも気候変動下では危険と判定される頻度が有意に増加しており，適応策を考える上で特に注意が必要と考えられる．今後は学習方法や手法の妥当性を検討して信頼性向上を目指し，現在気候と将来気候とで危険と判定される頻度が変化した地域についてより検討を深めることが課題である．

【謝辞】
山梨県建設技術センター研究助成事業，科研費 JP25K07934，JP24H00291，JP24H00033，株式会社サンポー，鈴与建設株式会社，名大 HPC プロジェクトの支援を受けました．ここに感謝の意を表します．

参考文献

1) 平野 英孝, 他 8 名, 2024: 富士川周辺地域の土砂災害危険度現況推定におけるデータ選別手法導入の検討, *AI・データサイエンス論文集*, 5(2), 33-40.
2) 気象庁: 日本の気候変動 2025, 付録 A 気候変動の将来予測, pp.297-332.
3) Mizuta, R., *et al*., 2012: Climate simulations using MRI-AGCM3.2 with 20-km grid. *J. Meteor. Soc. Japan*, 90A, 233-258, doi:10.2151/jmsj.2012-A12.
4) Murata, A., *et al*., 2015: Projection of future climate change over Japan in ensemble simulations with a high-resolution regional climate model. *SOLA*, 11, 90–94, doi:10.2151/sola.2015-022.
5) Kawase, H., *et al*., 2021: Regional characteristics of future changes in snowfall in Japan under RCP2.6 and RCP8.5 scenarios, *SOLA*, 17, 1–7, doi: 10.2151/sola.2021-001.

キーワード：機械学習，土砂災害危険度，日本域気候予測データ，高解像度気候変動予測

琵琶湖・淀川流域を対象とした気候変動進行時における森林整備効果の定量評価

株式会社　建設技術研究所　○田中裕士，大八木豊，永井椋，辻倉裕喜
関西広域連合　山本裕依子
京都大学防災研究所　田中賢治

1．はじめに

我が国では，将来の人口減少・高齢化，気候変動に伴う災害リスクの増大に対応した治水機能強化や水資源確保が喫緊の課題となっている．国土の約 7 割を占める森林は，水源の涵養，国土の保全，地球温暖化の防止，木材の供給等の多面的機能を有しており，国民生活・経済に大きく貢献している．このような機能を持続的に発揮していくためには，人工林を中心に，植栽，間伐等の森林整備を実施する必要がある．国土交通省水管理・国土保全局や農林水産省林野庁では，流域治水や水資源基本計画の施策メニューとして森林整備・管理を掲げているが，その具体的な手法や効果の評価手法は確立していない．

本研究では，上記リスクに対応した持続可能な森林整備・管理手法を提案することを将来目的とし，琵琶湖・淀川流域を対象に，樹種，整備状況別の土壌水分特性を反映した陸域水循環モデルを用いて，気候変動進行時（4℃上昇）における森林整備効果を定量評価した．

2．陸域水循環モデルの作成

森林整備効果の評価には，陸面過程モデル SiBUC[1)]，地下水モデル及び河道流下モデルから成る陸域水循環モデル [2)] を使用した．SiBUC の基底流出量は，地下水モデル（1 段タンクモデル）に貯留させた後，貯留水の一部を地下水流出として流出させた．SiBUC の表面流出量と基底流出量を落水線に沿った河道流下モデルに入力し Kinematic Wave 法で河川流量を逐次計算した．対象流域のメッシュスケールについては，流域内の河川の流出特性を再現するために 1km メッシュを採用し，流域を約 8,300 メッシュに分割した．森林簿に登録された林班毎の樹種，林齢，整備状況等の情報を取得し，現地調査で得た土壌水分特性及び透水係数 [2)] を SiBUC に反映した．

3．解析ケースの設定

将来的な林業の担い手減少に対応するため，**表-1** の関連府県の森林ゾーニングの方針を参考に，針葉樹林を循環林エリア（林業生産活動を促進）と環境林エリア（針広混交林化し自然サイクルを維持）に区分・設定した（**図-1**）．

本研究では，現在気候・将来気候における外力データとして，d4PDF（4℃上昇）を適用した．解析ケースは，**表-2** に示す 3 ケースとし，それぞれのケースで確率統計解析を実施するための十分なシミュレーション年数を確保した．3 ケースそれぞれの間伐状況に応じて土壌水分特性及び透水係数を設定した．琵琶湖・淀川流域では，9 ダム及び 2 堰により流水管理が行われているが，これら施設の操作を計算に反映せず，森林整備状況による流況の変化を評価する．

表-1　関連府県の森林ゾーニングの方針

府県	循環林	環境林	備考（参考資料）
大阪府	・傾斜35°以下 ・土壌が褐色森林土	左記以外の森林	大阪森林整備指針
奈良県	・標高1200m未満 ・傾斜40°未満 ・林道距離500m未満		『奈良県森林環境維持向上に関する指針』について
滋賀県	・標高800m以下 ・傾斜40°未満 ・林道距離200m未満		琵琶湖森林づくり基本計画
三重県	・傾斜45°未満 ・伐採施業有，または林道距離400m未満		三重県型森林ゾーニングの考え方とそのねらい
兵庫県 京都府	・標高600m以下 ・傾斜35°未満 ・林道距離100m未満		現在の施業箇所が循環林になるよう条件設定

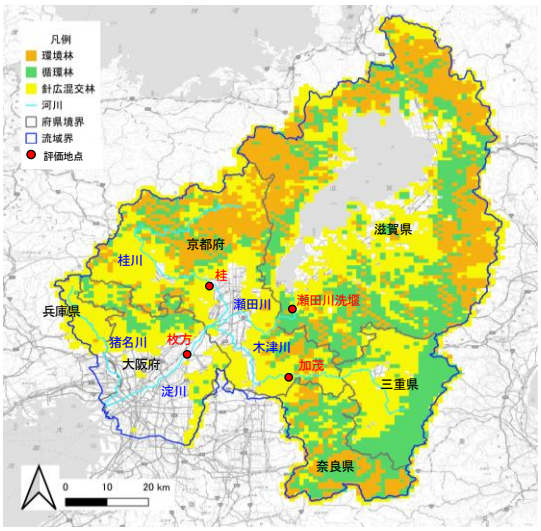


図-1　循環林・環境林の設定結果

表-2　解析ケースの設定

ケース概要	外力データ	森林状況（土壌パラメータ）
case1：現在気候／森林整備（現況）	現在気候 海面水温：1 ケース 解析年数：300 年	現況
case2：気候変動進行／森林荒廃（担い手減少）	将来気候（4℃上昇） 海面水温：6 ケース 解析年数：750 年	森林整備をしなかった状況を想定，針葉樹の土壌は未間伐土壌のパラメータを設定
case3：気候変動進行／森林整備（担い手維持）		森林整備した状況を想定，循環林の土壌は間伐土壌のパラメータ，環境林の土壌は針広混交林のパラメータを設定

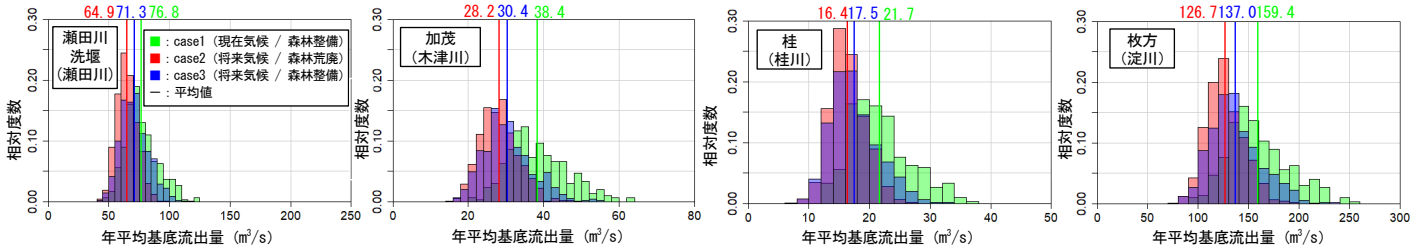


図-2　年平均基底流出量のヒストグラム

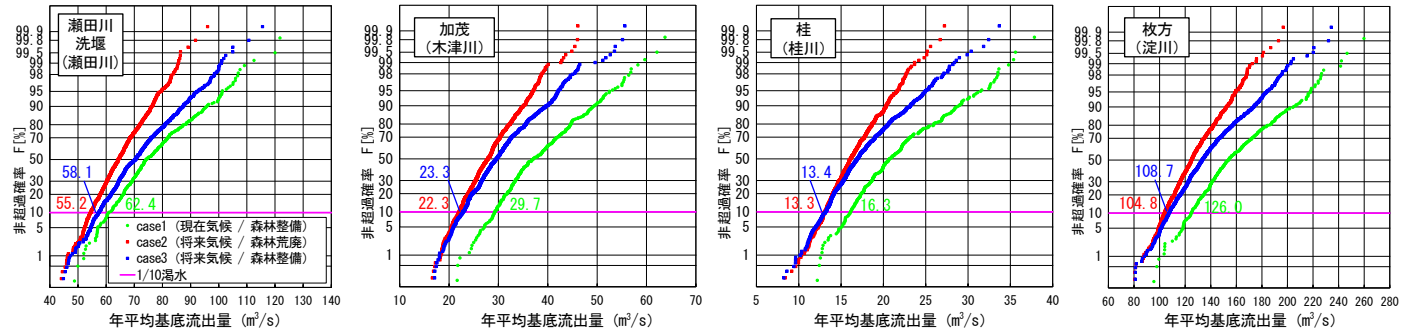
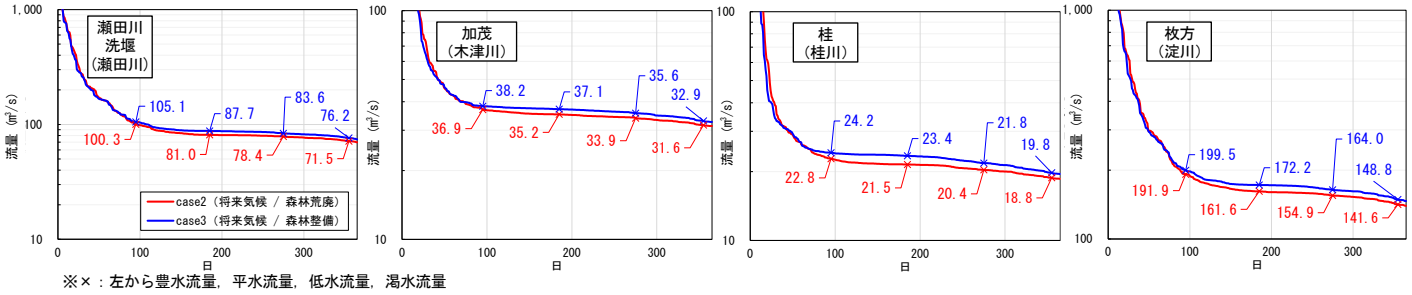


図-3　年平均基底流出量の非超過確率分布図



※×：左から豊水流量，平水流量，低水流量，渇水流量

図-4　10 年確率渇水年における森林整備前後の流況図

4．d4PDF を用いた森林整備効果の定量評価

気候変動進行時における森林整備効果を評価するため，陸域水循環モデルを用いて，3 ケースの河川流量を算定した．平常時の河川流量となる基底流出量に着目し，本支川の水位観測所における年平均基底流出量のヒストグラムを**図-2** に，非超過確率分布図を**図-3** に示す．これらから，将来気候は現在気候に比べて基底流出量が減少すること，森林荒廃時は森林整備時に比べてさらに基底流出量が減少することがわかる．森林整備により，将来気候の年平均基底流出量のアンサンブル平均は 7（桂）～10%（瀬田川洗堰）増加，10 年確率渇水年の年平均基底流出量は 1（桂）～5%（瀬田川洗堰）増加する結果となった（case2，3 の比較）．また，各年の枚方地点の渇水流量を統計処理して 10 年確率渇水年を選定し，この渇水年における森林整備前後の流況図を**図-4** に示す．同図から，全地点とも森林整備時（case2）の方が森林荒廃時（case3）より豊水以下の流量が大きいことがわかる．特に枚方地点の渇水流量の差分 7.2 m^3/s は，京都府全体の水道用水の使用量に相当することから，森林整備効果は大きいと評価できる．

5．まとめ

琵琶湖・淀川流域を対象に，樹種，管理状況別の土壌水分特性を反映した陸域水循環モデルを用いて，気候変動を考慮した森林整備効果を評価した結果，森林整備により自然流況を安定化する効果を確認した．今後は自然流況ではなく，利水運用シミュレーションによって琵琶湖・淀川流域内の利水施設を考慮した流況を算定し，取水制限日数等のより効果を実感できる指標を用いて森林整備効果を評価する予定である．

参考文献

1) Tanaka K：Development of the new land surface model scheme SiBUC commonly applicable to basin water management and numerical weather prediction model, doctoral dissertation, Kyoto University, 2004.

2) 大八木豊，田中裕士，芝本和孝，辻倉裕喜，田中賢治：琵琶湖・淀川流域における森林整備効果の定量評価，土木学会論文集，82 巻，16 号，25-16084，2026.

キーワード：森林整備，気候変動，d4PDF，陸域水循環モデル，SiBUC

気候変動が洪水・渇水規模および頻度に与える影響評価

九州大学大学院　工学府　学生会員　園田至偲
九州大学大学院　正会員　丸谷靖幸
九州大学大学院　学生会員　瀬戸口裕也
京都大学防災研究所　田中智大
九州大学大学院比較社会文化研究院　渡部哲史

１．はじめに

近年，地球温暖化の影響により豪雨といった異常気象が頻発している．IPCC 第 6 次報告書[1)]によると，現在（2011–2020 年）の世界の表面の平均気温は 1880 年代後半から 100 年あたり 10.9℃上昇している．また，気象庁[2)]によると，2010 年代の時間雨量 50 mm 以上の強雨の発生頻度は 1990 年代後半に比べて 1.5 倍となっていることが示されている．一方で，2020 年と 1900 年の日降水量 1.0 mm 以上の年間日数を比較すると，約 9 日減少しており，無降水日が増加している．こういった異常気象による豪雨や日照りからの大規模な渇水が予測される．

既往の研究では，気候変動による渇水流量の発生頻度は現在気候と比較し，現在気候から世界平均気温が 2℃上昇した場合に 2.2 倍，4℃上昇した場合に 4.8 倍と予測されている[3),4)]．渇水により給水制限がかかると，日常生活や農業，製造業などに大きな影響を与える．ただし，水需要は社会条件などにより変化しやすいため，正確な予測は難しい．また，令和 7 年には全国の 35 水系 37 河川において渇水傾向にあった．一方で，令和 7 年夏には渇水傾向であった河川において線状降水帯に伴う豪雨災害が発生するなど，水資源の確保と同時に洪水対策の必要性が示唆された．

そこで本研究では，気候変動が渇水流量に与える影響を現在（HPB）と将来（4˚C 上昇：F4K）を対象に評価することを目的とする．さらに，令和 7 年の事例を踏まえると，渇水だけではなく洪水の同時評価が重要であるため，渇水と洪水頻度・規模を同時に評価することを試みる．

２．内容

本研究では白川流域を対象とする（図-1）．本研究で使用するデータは d4PDF（database for Policy Decision making for Future climate）[5)]であり，現在気候に関しては 1980 年 9 月から 2010 年 8 月までの 3 年×50 アンサンブル（1500 年分），4℃上昇は 2050 年 9 月から 2111 年 8 月までの 60 年×6SST×15 アンサンブル（5400 年分）を用いた．なお，d4PDF のバイアス補正には Watanabe et al.（2020）[6)]を適用した．



図−1　白川流域

次に，本研究では，降雨流出モデルである 1K-DHM（1km-Distributed Hydrological Model）[7)]と氾濫モデルである IMCR モデル（Inundation Model Coupling a Rainfall runoff model）[8)]を結合した流出氾濫モデルを用いた．詳細は参考文献を参照されたい．

気候変動が洪水・渇水頻度に与える影響を評価するため，HPB と F4K の降水量と気温を入力値とすることで，長期計算を実施する．その結果から，各年での渇水流量を HPB と F4K で比較し，渇水頻度，さらに，洪水頻度・規模についても同様に HPB と F4K に関して比較を行う．なお渇水頻度は，「現在気候の各アンサンブルで計算される渇水流量の平均値を下回る日流量の数」と本研究では定義した．そして，氾濫または洪水と渇水が同時に発生した年数について現在気候と将来気候で比較を行う．ここで，渇水の発生は各アンサンブルの渇水流量の平均値を閾値として，その値を下回る年を渇水が起きたと定義した．洪水の発生は HPB の年最大流量を抽出し，降順に並べた上位 10%を閾値とし，その値を超えた年を洪水が発生したと定義した．

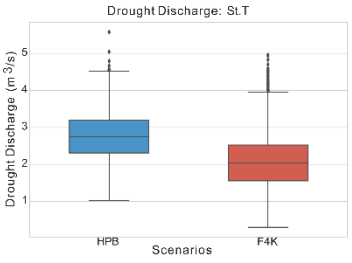


図-2　St.T における渇水流量の比較

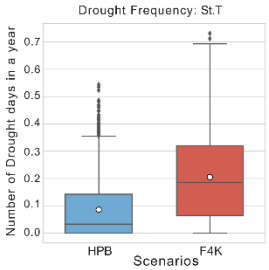


図-3　St.T における渇水頻度の比較

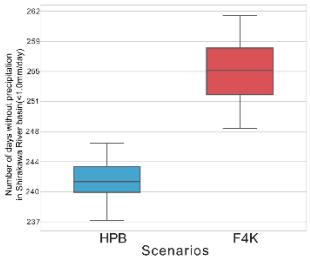


図-4　白川流域における流域平均降量に基づく無降水日の比較

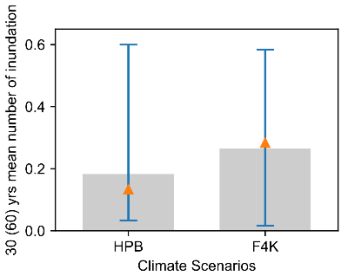


図-5　白川流域における氾濫頻度の比較

３．結果

図-2 に HPB と F4K における St.T での渇水流量を箱ひげ図を示す．中央値に着目すると，HPB に比べて F4K では渇水流量が小さくなっていることが分かる．そのため，将来において渇水流量が小さくなり，水資源量が少なくなる可能性が示唆された．次に図-3 に HPB と F4K における St.T での渇水頻度を示す．中央値に着目すると，F4K は HPB を上回っていることが分かる．また図-4 に白川流域における無降水日（1 日当たりの合計降水量が 1 mm 未満の日）を示す．その結果，気候変動の影響によって F4K では HPB と比較して無降水日が増加し，渇水頻度が増加傾向を示したと推測される．図-5 に HPB と F4K における白川流域での氾濫頻度の結果を示す．最大値や最小値では HPB と F4K における発生頻度に差はないものの，平均値および中央値は HPB で 0.18 および 0.13，F4K で 0.27 および 0.28 であり，他の結果と同様に気候変動によって現在よりも氾濫頻度が増加する可能性が示唆された．

４．まとめ

気候変動により渇水と氾濫共に発生頻度が将来において増加する可能性が示された．本研究では過去に氾濫が発生した流域内の上流域のみを氾濫解析対象領域としたところ，上流域で発生する氾濫の影響が下流域の洪水と渇水の規模頻度に与える影響が大きいことが確認された．渇水と洪水といった相反する水災害の発生頻度が共に増加するので，両者への対策を将来に向けて検討することが重要であることが示唆された．

【謝辞】

本研究は河川砂防技術研究開発公募研究・流域課題（代表：丸谷，R8～R9 年度）により推進した成果の一部である．ここに記し謝意を表す．

参考文献

1) Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC): Summary for Policymakers. In Climate Change 2021: The Physical Science Basis, 2021. 2) 気象庁：大雨や猛暑など（極端現象）のこれまでの変化. https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/extreme/extreme_p.html, 2025. 3) 西村ら: 気候変動による非超過確率 1/10 の少雨年の発生頻度の変化の計算，河川技術論文集，第 29 巻, pp.551-556, 2023. 4) 西村ら: 気候変動による非超過確率 1/10 の少雨年の発生頻度の変化の計算，河川技術論文集，第 30 巻, pp.363-368, 2024. 5) Mizuta, R. et al.: Over 5,000 years of ensemble future climate simulations by 60-km global and 20-km regional atmospheric models, *Bull. Ame. Meteor. Soc.*, Vol.98, No.7, pp.1383-1398, 2017. 6) Watanabe, S. et al.: Bias correction of d4PDF using a moving window method and their uncertainty analysis in estimation and projection of design rainfall depth, *Hydrol. Res. Lett.*, Vol.14, No.3, pp.117-122, 2020. 7) Tanaka, T. and Tachikawa, Y.: Testing the applicability of a kinematic wave-based distributed hydrologic model in two climatically contrasting catchments, *Hydrolog. Sci. J.*, Vol.60, pp.1361-1373, 2015. 8)田中ら: 分布型流出モデルをネスティングする流出・氾濫一体型モデルの構築. 土木学会論文集 B1, 70(4), I_1495 I_1500, 2014.

キーワード：降雨流出モデル，氾濫モデル，気候変動，d4PDF，渇水

筑後川流域における土地利用・土地被覆の将来予測

九州大学大学院工学府土木工学専攻　○高田尚輝
九州大学大学院工学研究院　丸谷靖幸
東京大学大学院理学系研究科　芳賀智宏
九州大学大学院比較社会文化研究院　渡部哲史

１．はじめに

地球温暖化による気候変動の進行に伴い，水災害の激甚化や頻発化が予測されている．IPCC 第 6 次報告書第 1 作業部会 [1] は，極端降水や渇水を含む，世界全体の水循環のさらなる悪化を予測している．一方，生物多様性条約 COP15 では，2030 年までに生物多様性の損失を止め，回復に転じさせる目標が掲げられるなど，環境保全の重要性も高まっている．

しかし，流域における治水，利水，環境の取り組みには利益相反が生じ得る．例えば，ダム運用において，治水面では空容量確保のための低水位が，利水面では安定供給のための高水位が求められる．このような利益相反を調整し，相乗効果を発現させるため，国土交通省は流域の関係者間で課題を共有し，流域治水・水利用・流域環境に関して一体的な取り組みを行う，流域総合水管理を推進している．

流域の合意形成には，多様なシナリオに基づく流出予測が不可欠である．例えば，人口減少したシナリオで耕作放棄地が増加した場合，田畑が草地や森林へ変化し，流出特性が現在から変化すると考えられる．そこで本研究では九州地方の筑後川流域を対象として，流出計算に必要な土地利用・土地被覆（LULC）を森林景観モデル LANDIS-II を用いて想定される様々なシナリオで計算し，複数のシナリオ間での比較，検討を行った．

２．使用モデル・使用データ

本研究で使用した LANDIS-II は，景観スケール（10,000-10,000,000ha）で，森林の遷移，撹乱を計算することができる数値モデルである．景観は数十 m から数百 m 四方のサイト（グリッド）に分割され，樹木は種と年齢によって定義されるコホートという単位で管理される．また，LANDIS-II は確率論的なモデルであり，遷移過程の種子飛散や定着，攪乱の発生などは乱数によって決定される．

遷移過程については，LANDIS-II では複数の拡張機能が存在する．本研究ではデフォルトの Biomass Succession 拡張機能に比べ，気候変動への応答性が高いという特徴がある，Net Ecosystem CN Succession（NECN Succession）拡張機能を使用した．NECN Succession は， 4 つのリタープールと 3 つの土壌有機物プールにおいて枯死したバイオマスの分解プロセスをシミュレーションし，成長プロセスへフィードバックすることで生態系の炭素と窒素の収支を計算する [2]．本研究では LULC の予測を行うため，月単位のタイムステップで動作し，コホートの成長において多くの生活史パラメータを考慮する事が重要であることから，NECN Succession を採用した．

撹乱については，人工林にて行われている択伐，皆伐を Harvest 拡張機能を用いて再現した．国有林については国有林の地域別の森林計画，民有林については，各県の地域森林計画に従って設定した．また，シナリオ特有の土地利用に関しても，Harvest 拡張機能を用いて再現した．

気候データは，Watanabe et al.[3]の手法によってバイアス補正された d4PDF を用いた．日ごとの平均気温，最高気温，最低気温，降水量を LANDIS-II の入力として用いる．

植生データは，各県の森林簿および国有林野データを用いた．これらのデータに含まれている共通して含まれている樹種を確認し，表−1 に示す樹種をシミュレーション対象とした．県によって樹種の記載の細かさに差が存在しており，一番粗いデータに揃えたため，一つのシミュレーション樹種に複数の樹種が存在している．その他針葉樹についてはマツ，その他広葉樹についてはブナ（*Fagus crenata*）のパラメータを用いた．

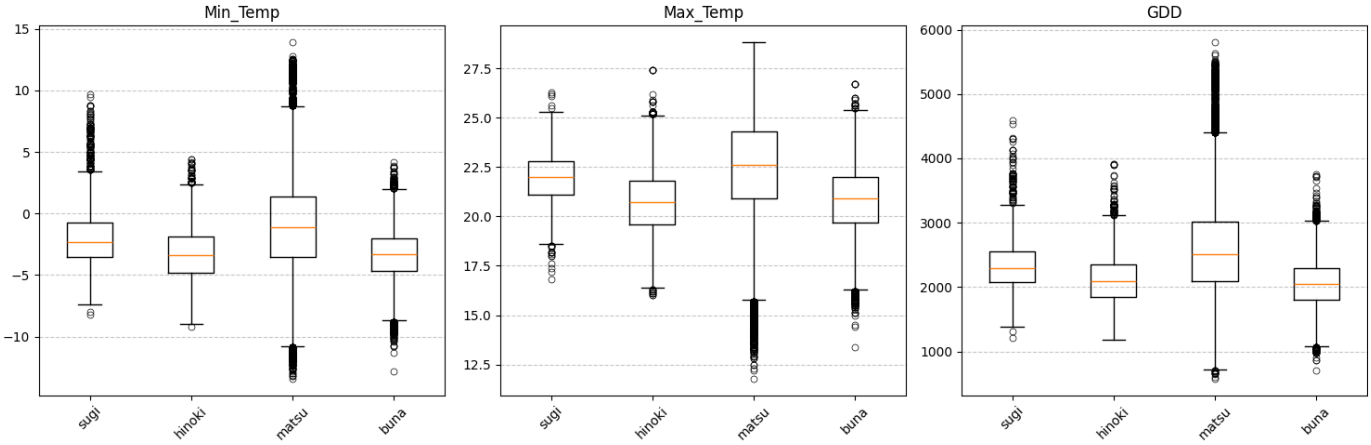
各樹種の生活史パラメータは，文献調査によって可能な限り決定し，決定できなかったパラメータについては SPOTPY を用いてキャリブレーションを行い，値を決定した．

表−1　本研究でシミュレーション対象とした樹種

略称	学名
スギ	*Cryptomeria japonica*
ヒノキ	*Chamaecyparis obtusa*
マツ	*Pinus densiflora, Pinus thunbergia, Larix kaempferi, Pinus elliottii, Pinus taeda*
その他針葉樹	（多数存在するため省略）
その他広葉樹	（多数存在するため省略）

３．パラメータ同定

紙面の都合上，気温関係のパラメータのみ記述する．各樹種について，最寒月，最暖月の平均気温と生育可能な積算温度（最低・最高）が必要である．環境省が提供している現存植生図 2024 から各樹種が存在している地点を特定し，その地点の気温を国土数値情報の平年値メッシュデータ（2022）から取得した．



図−1　各樹種の最寒月の平均気温（左），最暖月の平均気温（中），積算気温（右）の分布

４．まとめ

本研究では，筑後川流域を対象として LANDIS-II を用いたシミュレーションを複数のシナリオにおいて試行した．紙面の都合上，本要旨では解析手法についての説明を主に紹介したが，研究発表会ではシナリオ間の詳細な比較結果も含めて報告を行う予定である．

【謝辞】

河川砂防技術研究開発公募研究・流域課題（代表：丸谷靖幸，「筑後川流域を対象とした流域総合水管理の推進に向けた流域総合水循環モデルの開発」，R8～R9 年度）により推進した成果の一部である．

参考文献

1) Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC): Summary for Policymakers. In Climate Change 2021: The Physical Science Basis, 2021.

2) Scheller, R. M., Hua, D., Bolstad, P. V., Birdsey, R. A., & Mladenoff, D. J., The effects of forest harvest intensity in combination with wind disturbance on carbon dynamics in Lake States Mesic Forests, Ecological Modelling, 222(1), 144-153, 2011.

3) Watanabe, S., Yamada, M., Abe, S. and Hatono, M.: Bias correction of d4PDF using a moving window method and their uncertainty analysis in estimation and projection of design rainfall depth, Hydrol. Res. Lett., Vol.14, No.3, pp.117-122, 2020.

キーワード：LANDIS-II, Forest landscapes, Climate Change, LULC

日本における気候変動影響予測・適応評価のための日本版 SSPs に基づく将来人口データの更新

長崎大学　総合生産科学域　○吉川沙耶花
国立環境研究所　福島地域協働研究拠点　五味 馨
国立環境研究所　社会システム領域　高橋潔
国立環境研究所　社会システム領域　松橋啓介
国立環境研究所　気候変動適応センター　真砂 佳史

１．はじめに

気候変動の影響や適応策に関する研究では，通常，何らかの形で将来の状況を想定したシナリオを使用する．シナリオとは、起こりうる未来を想定したあらゆるモデルの入力データとなるものである．代表的な社会経済シナリオとして，共通社会経済経路（Shared Socioeconomic Pathways: SSPs）がある（O’Neill et., 2012）．この世界版 SSPs は世界をいくつかの領域に分けた情報しか存在しないため，日本国内の詳細な分析・評価には不向きであり，かつ各国の政策状況を踏まえた将来見通しが十分に反映されていない可能性がある．それらの問題を考慮した日本版 SSPs は，世界版 SSPs の考え方に対応し、日本国内の各種の中長期的計画・施策を調査し、意見交換を踏まえて、日本版 SSPs の叙述シナリオ（Chen et al., 2020）及び付随する人口データ（国立環境研究所, 2021）を構築している．

国立環境研究所より提供されている人口データは，2015 年の国勢調査，2017 年発行の国立社会保障人口問題研究所の日本の将来人口推計及び 2018 年発行の国立社会保障人口問題研究所の日本の地域別将来推計人口に基づき整備されている．2020 年にすでに国勢調査が実施され、2023 年に国立社会保障人口問題研究所の日本の将来推計人口及び地域別将来推計人口が更新されているため，本研究では日本版 SSPs に付随する人口データを更新することを目的とする．

２．使用データと手法

基本的な手法は全て日本版 SSP 別人口シナリオ第２版（国立環境研究所, 2021）の手法を踏襲している．まずは，2023 年発行の国立社会保障人口問題研究所の日本の将来推計人口の中から日本版 SSPs に付随するシナリオを選択する．世界版 SSPs の出生率・死亡率等の傾向から日本版 SSP1 は出生高位（死亡中位）推計，日本版 SSP2 は出生中位（死亡中位）推計，日本版 SSP3 は出生 1.00（死亡中位）推計，日本版 SSP4 は出生 1.20（死亡中位）推計，日本版 SSP5 は出生中位（死亡中位）かつ外国人入国超過数 25 万人推計を選択した．全人口推計は，これらの推計値と一致するように計算される．次に，市町村ごとの人口を推計する．ここでは，コーホート要因法を採用している．コーホート要因法での人口推計には，「子ども女性比」「0～4 歳性比」「生残率」「移動率」が必要であるが，2023 年発行の国立社会保障人口問題研究所の日本の地域別将来推計人口には出生中位・死亡中位推計の結果のみ市町村別・5 歳年齢別・年別に公表されているため全ての推計においてこれらのデータを使用している．2023 年発行の国立社会保障人口問題研究所の日本の地域別将来推計人口での移動率の推計には，プール法が用いられているが，ここでは計算量を軽減させるために各市町村を大都市圏か地方圏か，また市街地か非市街地かを区別し，移動率を SSP シナリオごとに調整している．最後に，市町村ごとの人口推計結果をメッシュ別に分布させた．国土数値情報メッシュ別将来推計人口データ（R6 国政局推計）の 2025 年推計値の秘匿メッシュを補完したものと、日本版 SSP 市区町村別人口推計を用いて、日本版 SSP メッシュ別人口推計データを更新した．

本人口推計は，基準年 2020 年から 2120 年まで 5 年おき、性別 5 歳階級別のデータである．また，対象とした市町村は，1729 市町村（政令市 20，そのほかの市 769，町村 916，東京都区部 23，浜通り地域 1）である．福島県「浜通り地域」に属する 13 市町村（いわき市、相馬市、南相馬市、広野町、楢葉町、富岡町、川内村、大熊町、双葉町、浪江町、葛尾村、新地町、飯舘村）については、それらの市町村をまとめた地域をひとつの地域（浜通り地域）として推計した．東日本大震災による東京電力第一原子力発電所事故により大規模な非難が発生しいまもその影響が残っている地域であるため，日本の他の地域と同様の方法で人口推計するには適さない状況と考えられる．そのため，福島県「浜通り地域」は他の地域とは区別して推計をしている．メッシュ別人口推計の空間解像度は，基準地域メッシュ・分割地域メッシュ（2 分の 1 地域メッシュ）・分

割地域メッシュ(4 分の 1 地域メッシュ)の 3 つを予定している.

表 1 主要パラメータのまとめ

			日本版 SSP1	日本版 SSP2	日本版 SSP3	日本版 SSP4	日本版 SSP5
出生率			高	中	1	1.2	中
生残率			中	中	中	中	中
外国人							外国人入国超過数 25 万人
移動率	2020 年～2055 年	大都市圏市街地	+0.8%	±0%	±0%	-1.0%	+1.2%
		大都市圏非市街地	±0%	±0%	±0%	±0%	+0.8%
		地方圏市街地	+0.8%	±0%	±0%	-1.0%	+0.8%
		地方圏非市街地	±0%	±0%	±0%	+0.8%	-0.1%
		福島浜通り地域	+0.4%	±0%	±0%	-0.5%	±0%
	2055 年～2120 年	大都市圏市街地	+0.71%	±0%	±0%	-3.6%	+1.2%
		大都市圏非市街地	-0.45%	±0%	±0%	+0.36%	+0.8%
		地方圏市街地	+0.18%	±0%	±0%	-3.0%	+0.8%
		地方圏非市街地	0.65%	±0%	±0%	+1.1%	-0.1%
		福島浜通り地域	+0.17%	±0%	±0%	-3.6%	+1.2%

３．結果とまとめ

総人口は，2020 年で 1.261 億人，2100 年で 0.79 億人（日本版 SSP1），0.62 億人（日本版 SSP2），0.45 億人（日本版 SSP3），0.54 億人（日本版 SSP4），0.71 億人（日本版 SSP5）という結果となった．総人口数減少が最も高いシナリオは日本版 SSP3，最も低いシナリオは SSP1 であった．この傾向は，日本版 SSP 別人口シナリオ第２版の結果とは少々異なる結果である. 日本版 SSP 別人口シナリオ第２版では, 2100 年で 0.72 億人(日本版 SSP1), 0.59 億人（日本版 SSP2），0.37 億人（日本版 SSP3），0.46 億人（日本版 SSP4），0.79 億人（日本版 SSP5）という内訳であった．この違いは出生率の想定が見直されたことによる減少スピードが緩やかになった結果が反映されているためであると考える.

本研究では, 気候変動及び適応評価のための日本版 SSPs に準拠した社会経済シナリオのデータを開発するため, 日本全域を対象に，2020 年から 2120 年の将来の各時点における将来人口を市町村別及びメッシュ別に推計した. 本研究で作成した人口推計データは，国立環境研究所 気候変動適応情報プラットフォーム（A-PLAT）にて公開される予定である.

【謝辞】

本研究は，（独）環境再生保全機構の環境研究総合推進費（JPMEERF25S12431）の支援を受け実施された．記して感謝の意を表します.

参考文献

1) O'Neill, B. C., Carter, T. R., Ebi, K. L., Edmonds, J., Hallegatte, S., Kemp-Benedict, E., Kriegler, E., Mearns, L., Moss, R., Riahi, K., van Ruijven, B., and van Vuuren, D.: Meeting Report of the Workshop on the Nature and Use of New Socioeconomic Pathways for Climate Change Research, National Center for Atmospheric Research, Boulder, CO, 2012.
2) Chen, H., Matsuhashi, K., Takahashi, K., Fujimori, S., Honjo, K., and Gomi, K.: Adapting global shared socio-economic pathways for national scenarios in Japan. Sus-tainability Science, 15(3), 985-1000, 2020.
3) 国立環境研究所: 日本版SSP 別人口シナリオ第2 版, 2021 https://adaptationplatform.nies.go.jp/socioeconomic/population.html.
4) 国立社会保障人口問題研究所: 日本の地域別将来推計人口 令和５(2023)年推計, 2023 https://www.ipss.go.jp/pp-shicyoson/j/shicyoson23/t-page.asp

キーワード：Scio-economic scenario, Climate change, Future projection

気候変動が遠隔オフグリッド地域における小水力発電の持続性に及ぼす影響
―インドネシア農村集落を対象とした発電量と停電日数の評価事例―

農業・食品産業技術総合研究機構 農村工学研究部門　○髙田亜沙里
九州大学工学研究院 附属アジア防災研究センター　佐藤辰郎
森林研究・整備機構 森林総合研究所　御田成顕
北海道立総合研究機構 森林研究本部 林業試験場　遠藤いず貴
岐阜大学 流域圏科学研究センター　篠塚賢一
公立千歳科学技術大学 理工学部　井手淳一郎

１．はじめに　近年、発展途上国における工業化や生活水準の向上に伴い、エネルギー需要は急速に増加している。アジア諸国では化石燃料への依存が依然として高く、資源制約や温室効果ガスの排出増加による気候変動の進行と相まって、持続可能なエネルギー供給の確保が重要な課題となっている。このような背景のもと、エネルギー需要の大きいアジア諸国では、再生可能エネルギーの導入が積極的に進められている。全国的な電力網の延伸が困難な遠隔農村地域においては、再生可能エネルギーによる自立型・分散型電化が有効な手段とされており、特に山岳地域では、地形の自然落差を利用できる小水力発電所（Micro-Hydropower Plants：MHPPs）の導入が進められてきた。一方で、MHPPs は長期間にわたる継続的な運用によって初めて経済的に成立するため、将来の電力需給のバランスを見据えた長期的な計画が不可欠である。しかしながら、大規模水力発電を対象とした気候変動影響評価は数多く行われている一方で、低流量の影響をより直接的に受ける小規模・分散型の小水力発電所については、将来の発電量や停電期間まで含めた定量的な評価は十分ではない。そこで本研究では、インドネシア西ジャワ州のチプタゲラ集落を対象として、将来の気候変動下における MHPPs の稼働条件を予測する簡便かつ実用的な手法を構築し、将来の発電量および停電日数の推定、ならびに MHPPs の稼働停止が住民生活に及ぼす影響を評価することを目的とする。

２．対象地　チプタゲラ集落では、国営電力会社による電力網の延伸が困難であることから、地方政府等の支援を受けて、Cibareno 川を水源とした計 4 基の流れ込み式 MHPPs が導入され、家電などの基礎的な電力需要を担っている。このうち、Cicemet、Cibadak、Situmurni No.2 の 3 基はクロスフロー水車を、Situmurni No.1 の 1 基はプロペラ水車を採用している。対象地域は熱帯雨林気候のもと、雨季（10～3 月）と乾季（4～9 月）が明瞭に区分される。住民の主な生業は稲作であり、稲は文化的・精神的に極めて重要な存在として位置づけられている。

３．方法　現地観測データと水文流出モデル、確率降雨生成を統合した簡便な枠組みを用いて、将来の気候変動下における MHPPs の発電量と停電日数を評価した。まず、2016 年 10 月～2020 年 1 月の期間で降雨量、気温、河川水位の現地観測を実施し（期間中に一部欠測あり）、水位データは、流量観測に基づく水位–流量関係式を用いて河川流量に換算した。次に、観測降雨量・気温・流量データを用いて、水文流出モデルとして直列 4 段タンクモデルを構築した。将来の河川流況評価には、降雨発生間隔および降雨量を確率変数とする確率降雨モデル [1]を用いて日降雨時系列を生成した。過去期間（2016～2019 年）は観測降雨データから、将来期間（2020～2099 年）は気候シナリオ（SSP1-2.6 と SSP5-8.5）に基づく降雨特性の変化量を反映させた。各期間について 100 系列の降雨データを生成し、これらを流出モデルに入力することで将来の河川流量を算定した。算定した河川流量を用いて、各 MHPP の水車特性および有効落差を考慮した発電量算定を行った。水車効率は流量に応じて変化するものとしてクロスフロー水車およびプロペラ水車それぞれの特性曲線を適用した。また、農業用水や環境流量として確保される流量を考慮するため、確保流量を 95%流量に水配分比 e を乗じた値として定義し [2]、流量がこれを下回る場合には発電停止が生じると仮定した。e は運転者への聞き取り調査および感度解析に基づき 0.30～0.34 の 5 通りに設定し、各将来期間および各気候シナリオについて 100 系列の流量と組み合わせ、年間発電量および停電日数を計 500 通りずつ算定した。さらに、水車形式の違いが停電日数に及ぼす影響を検討するため、Situmurni No.1 発電

所のプロペラ水車をクロスフロー水車に仮想的に置き換えた条件で解析を行った。その際、当地の地形や設備配置を考慮して、クロスフロー水車では有効落差を 2.5 m 低減させた。加えて、MHPPs の運用実態や停電が住民生活に及ぼす影響を把握するため、運転者および住民への聞き取り調査を実施した。

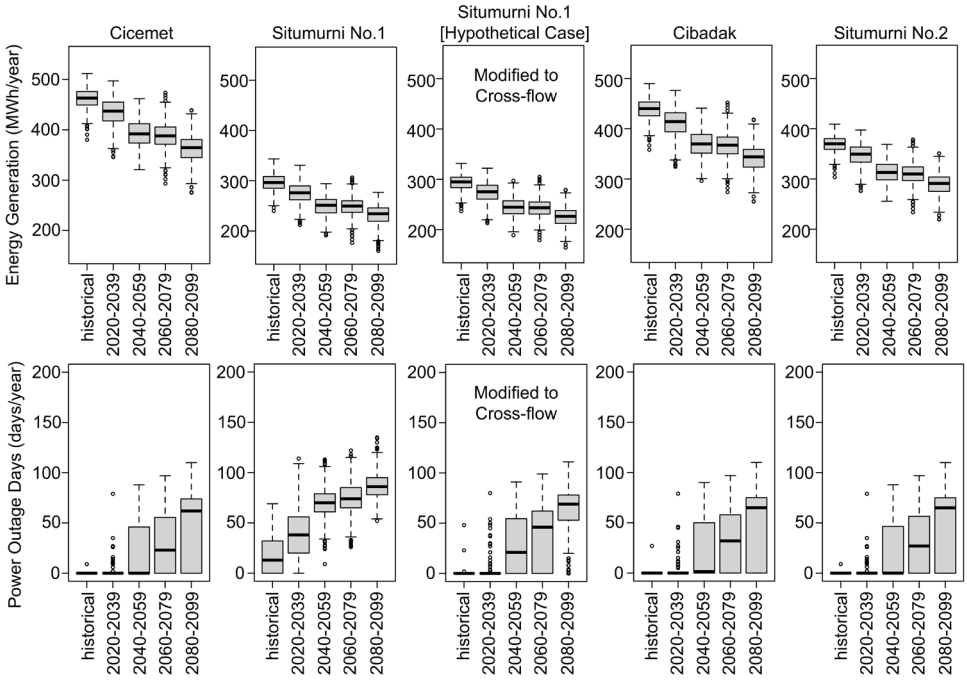


図-1　各小水力発電所における将来期間の年間発電量と停電日数の推定結果
（SSP5-8.5 シナリオ；Takada et al., 2026 [3] を改変）

４. 結果と考察　聞き取り調査から、当集落の MHPP は 4 人の運転者によって日常的に管理されており、特に雨季には流木や土砂の除去といった保守作業の負担が大きいことが明らかとなった。水車形式による違いも顕著であり、プロペラ水車はクロスフロー水車に比べて異物侵入を受けやすく、維持管理の手間が大きい傾向が確認された。水文流出モデルを用いた将来解析の結果、SSP1-2.6 および SSP5-8.5 の両気候シナリオにおいて乾季の低水流量が減少し、これに伴い年発電量は将来に向かって減少する傾向が示された。発電量の相対的な減少幅は 4 基の MHPP 間で大きな差はなかった。一方、停電日数の変化には施設間差がみられ、プロペラ水車を備える Situmurni No.1 発電所では将来の早い段階から停電日数が増加し、SSP5-8.5 の 2080–2099 年には年間中央値で 86 日の停電が生じる可能性が示唆された。これは、プロペラ水車が低流量条件下で効率低下を起こしやすいことに起因すると考えられる。さらに、Situmurni No.1 発電所のプロペラ水車をクロスフロー水車に仮想的に置き換えた解析では、年総発電量はほぼ維持された一方で、停電日数が大幅に減少する結果が得られた。これらの結果は、MHPP 設計における重要なパラドックスを示している。従来の設計や事業性評価では発電量やコスト効率の最大化が重視されてきたが、その観点からは有効落差が低下するクロスフロー水車への置換は利点が小さい、あるいは不利に見える可能性がある。しかし、当集落のようなオフグリッド地域では日常生活に不可欠な電力を地域内で賄っており、総発電量よりも供給の信頼性が重視される場合が多い。停電頻度の低減は、家電や情報通信の利用継続を可能にし、生活の質を直接的に向上させる。本研究が示すように、水車形式の選択は、発電量という電力の「量」が同程度であっても、供給の信頼性という「質」に大きな影響を及ぼす。当集落では電力利用が教育、加工産業、観光活動へと拡大しており、停電日数の増加はこれらの活動を阻害する可能性がある。

５．おわりに　インドネシアの遠隔農村集落を対象に、気候変動下における小水力発電の発電量変動と停電リスクを評価した。その結果、将来の乾季における流量低下により停電日数が増加する可能性が示された。オフグリッド地域では、発電量の最大化よりも電力供給の信頼性が生活の質や地域活動を左右するため、MHPP の設計・更新においては、停電リスクを重視した計画が、気候変動下での持続性確保に重要であることが示唆された。

謝辞　本研究は JSPS 九州大学持続可能な社会を拓く決断科学大学院プログラム、JST 各事業（JPMJRX16F1, JPMJPF2109, JPMJRS23I6, JPMJSC19C3）、三井物産環境基金（R19-0026）、および科研費（JP20KK0241, JP21K18113, JP22K14966,JP23K23650, JP24H00057, JP24K01815, JP24K01016, JP25K01480）の支援を受けて実施した。

参考文献　1) Laio et al., 2001. Adv. Water Resour. 24, 707–723. 2) Moiz et al., 2018. Appl. Energy. 224, 309–321. 3) Takada et al., 2026. Journal of Cleaner Production (under review).

キーワード：Hydro meteorological observations, Data scarce environments, Power-outage risk, Low flow vulnerability

気候変動に伴う豪雨災害の激甚化評価：平成 30 年 7 月豪雨を対象とした将来予測シミュレーション

東京大学　今田 由紀子、日比野 研志
香川大学　梶谷 義雄
名古屋大学　金田 幸恵
気象庁気象研究所　川瀬 宏明、高藪 出、仲江川 敏之、村田 昭彦
京都大学　佐山 敬洋、竹見 哲也、多々納 裕一、立川 康人、
田中 智大、中北 英一、藤見 俊夫、森 信人
国立環境研究所　塩竈 秀夫、肱岡 靖明
北海道大学　山田 朋人
茨城大学　若月 泰孝

１．はじめに

近年の気候変動に伴い、大気中の可降水量の増加を背景とした極端降水現象および台風の激甚化が顕著となっている。地球温暖化の進行は、降雨の頻度や強度の変化を通じて、河川管理に深刻な影響を及ぼすことが予測されている。環境省では令和２年度から、「気候変動による災害激甚化に関する影響評価業務」を研究者と共同で実施し、過去に甚大な被害をもたらした台風や豪雨現象が現在よりも地球温暖化が進行した状況下でどのような影響をもたらすようになるか評価してきた。

本研究では、広域にわたり甚大な被害をもたらした「平成 30 年 7 月豪雨」を対象事例とし、気候変動適応策の策定に資する科学的知見を得ることを目的とする。具体的には、工業化以前と比較して世界平均気温が 2℃および 4℃上昇した将来気候条件下における豪雨の時空間分布の変化、およびそれらが一級水系の河川流量に及ぼす影響を、アンサンブル気象・水文シミュレーションにより定量的に評価した。

２．シミュレーション手法

本研究では気象モデルと複数の水文モデルを結合した高解像度シミュレーションを実施した。

2.1　気象モデルと入力条件

非静力学気象モデルとして NHRCM（水平解像度 5km、および 2km への力学的ダウンスケーリング）および WRF（水平解像度 4km）を用いた。アンサンブル気候予測データベース（d4PDF 等）から得られた海面水温（SST）および気温の変化成分を、再解析データに足し合わせる「擬似温暖化手法」を採用し、現在気候、2℃上昇、4℃上昇の各シナリオに対し、初期値鋭敏性に起因する不確実性を考慮するため、各 27 パターン、計 81 ケースの気象アンサンブル実験を構成した。

2.2　水文・河川モデル：

河川流量の算定には、分布型流出予測モデル RRI モデルおよび 1K-DHM モデルを用いた。中国・四国・九州地方における一級河川 41 水系を対象に、上記気象モデル実験の結果を全ケース入力し、河川流出解析を実施した。

2.3 解析の構成

将来予測における不確実性の定量的評価のため、気象計算の結果に基づき、将来気候の 54 ケースに対して 2 種の水文モデルを適用し、計 108 ケースの河川流量シミュレーションを実施した。初期値のわずかな差異が大規模な変動を誘発するカオス性を考慮し、アンサンブル平均および統計的なばらつきの幅による評価を重視した。

３．結果

3.1　将来気候下における降水量の変化

平成 30 年 7 月豪雨と同一の総観場において温暖化が進行した場合、総降水量は現況と比較して有意に増大する結果が得られた。各シナリオにおける総降水量の変化率は、2℃上昇シナリオで、平均 9%増加（最小-1% ～ 最大 23%）、4℃上昇シナリオで 平均 25%増加（最小 1% ～ 最大 50%）であった。地理的分布に着目すると、特に九

州南部や四国地方などの西日本太平洋側において降水量の増加が顕著であり、温暖化の進行に伴い極端降水現象のリスクが空間的に拡大・深化することが定量的に示された。

3.2 将来気候下における河川流量の変化

降水量の増加に伴い、河川のピーク流量も増大するが、降水量の増加率を上回る比率で流量が増加する流出過程における非線形な応答（激甚化の増幅）が確認された。増加率は、2℃上昇シナリオで平均 17%増加（最小 3%～最大 40%）、4℃上昇シナリオで平均 46%増加（最小 11%～最大 89%）となった。水系別の解析では、特に 4℃上昇シナリオにおいて大淀川、球磨川、肱川等の水系で実測を大幅に超過する流量が算出された。これは、流域の飽和度や地形特性に起因する流出効率の変化が、降雨増分をさらに増幅させるリスクを示唆している。

４．まとめ

本研究のアンサンブル実験により、同一の将来気候条件下であっても、対流系の空間的ばらつきや線状降水帯の発生位置といった予測の不確実性の範囲内で、特定流域における被害規模が劇的に変動するリスクが浮き彫りとなった。 「九州地方や四国地方で現実よりも降水が集中していたら」という確率論的な感度解析の結果、実際の豪雨では深刻な被害を免れた流域においても、過去の観測値を遥かに凌駕するピーク流量が発生し得た可能性が示された。これは、過去の経験値に基づく単一のシナリオによるリスク管理には限界があり、気象現象の不確実性を内包した「最悪のシナリオ」の想定が不可避であることを意味している。

本研究のシミュレーション結果は、将来の温暖化環境下において、平成 30 年 7 月豪雨を上回る規模の出水が発生し得ることを科学的に裏付けるものである。これは堤防整備を中心とした従来のハード対策のみでは、激甚化する水害のリスクを完全に封じ込めることが困難であることを示唆している。 河川整備の加速に加え、遊水地機能の確保やダムの事前放流、土地利用規制や、科学的予測に基づいたタイムラインの設定や実効性の高い避難経路の確保など、流域全体のあらゆる関係者が協働する「流域治水」の社会実装は、国土交通省で進められており、将来の温暖化環境下では、流域治水へのパラダイムシフトは必須である。

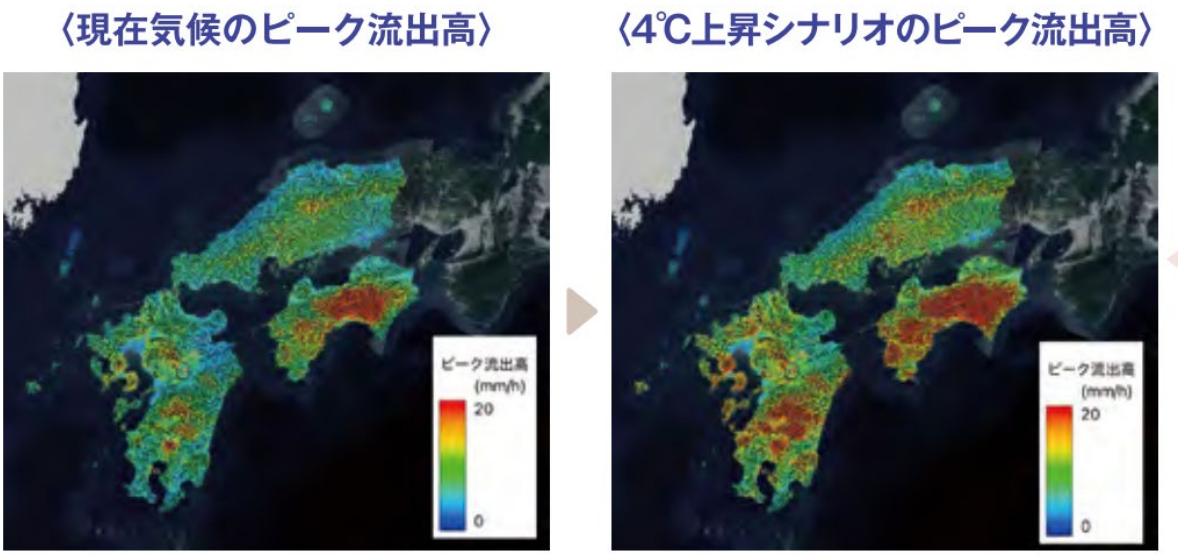


図 1. 平成 30 年 7 月豪雨を対象とした現在気候(左)と 4℃上昇シナリオ時(右)のピーク流出高。『深刻化する豪雨～我々はどのようなリスクに直面しているのか～2025』p.1 より転載(環境省 2025)。

キーワード：平成 30 年 7 月豪雨、気候変動適応策、アンサンブル実験、河川流量、流域治水、環境省

【謝辞】本稿は、環境省「気候変動による災害激甚化に関する影響評価業務」の成果、環境省 2025: 『深刻化する豪雨～我々はどのようなリスクに直面しているのか～2025』https://www.env.go.jp/content/000346702.pdf を基に執筆した。この事業を進めるにあたり、三菱総合研究所ならびにパスコの両社には多大な貢献を頂いた。

ミュー粒子測定による構造物探査方法の説明

北海道大学工学院　○米澤一景
国立研究開発法人土木研究所 河道保全研究グループ 水工チーム　並河奎伍
中央大学研究開発機構　小山直紀
中央大学研究開発機構　寺井しおり
北海道大学大学院工学研究院　宮本真希
北海道大学大学院工学研究院　山田朋人
中央大学研究開発機構　山田正

1―はじめに

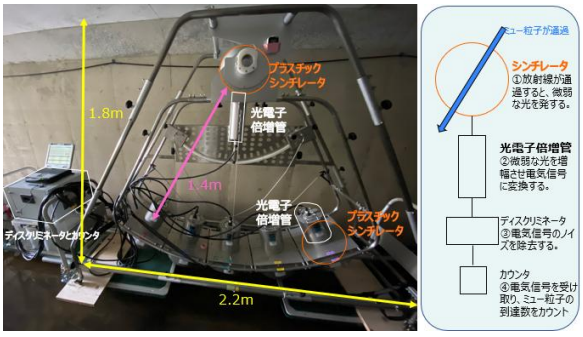
宇宙線ミュー粒子を用いたミューオグラフィが注目されている．本研究では，ミュー粒子の測定によりいかにして物質内部の密度を得ることができるのかを，その歴史とともに説明する．

2―ミューオグラフィの数学的説明

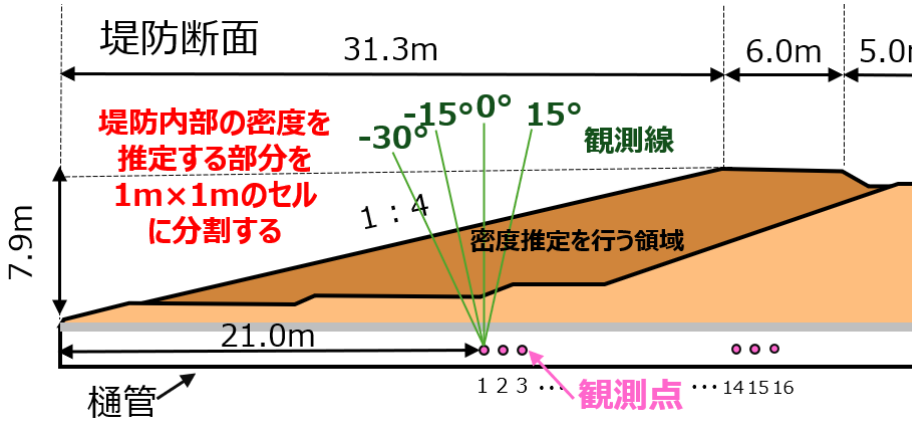
1936 年に物理学者 Carl Anderson らの霧箱実験によって発見されたミュー粒子は，宇宙空間から飛来する一次宇宙線が地球大気と衝突して生じるパイ中間子が，崩壊して生成される二次宇宙線の 1 種であり，レプトンに属する素粒子である．ミュー粒子は電子の約 200 倍の重さを持ち，わずか 2.2 マイクロ秒で崩壊する．また，高い透過力を持ち，物質を通過する際には主に電離作用によってエネルギーを失う．ミューオグラフィは，この性質を利用して，古くは坑道の岩盤厚さを高い精度で推定しており，近年ではピラミッドの巨大空間の発見にも用いられた物体を透視する技術である．湊により提案された経験式(1)[2]により，ミュー粒子の透過量と物質の面密度(距離×密度)との関係が示され，物質の密度の計算にミュー粒子を用いることを可能とした．

$$I_{(h,\theta)} = I_{00}\cos^{\alpha+\beta h}\theta \cdot exp\left(\frac{-h}{A+Bh+Ch^2}\right) \quad (1)$$

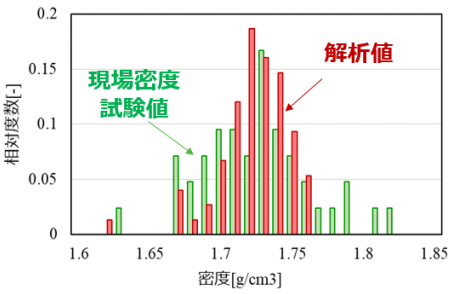
hはミュー粒子が透過した物質の面密度で単位は$(hg\ cm^{-2})$，θは天頂角であり，$I_{(h,\theta)}$はミュー粒子の個数フラックス$[/\mathrm{cm}^2/\mathrm{s}/\mathrm{sr}]$である．また，$I_{00} = 0.00723[/\mathrm{cm}^2/\mathrm{s}/\mathrm{sr}]$, $A = 17.61$ $[\mathrm{cm}^2/\mathrm{hg}]$, $B = 0.1404$ $[\mathrm{cm}^4/\mathrm{hg}^2]$, $C = -7.069 \times 10^{-5}$ $[\mathrm{cm}^6/\mathrm{hg}^4]$, $\alpha = 1.495$, $\beta = 0.002018$ $[\mathrm{cm}^2/\mathrm{hg}]$は定数である．ミュー粒子観測では，ミュー粒子に反応して微弱な光を発するシンチレータと，光を増幅し電気信号に変換する光電子増倍管などを組み合わせて計測する方法があり．鈴木が開発した観測方法は 2 枚のシンチレータで同じミュー粒子を観測することによりあらゆる方向から飛来するミュー粒子の到来方向を特定することを可能にした[3]．また，鈴木によって開発されたマルチ観測器(図‐1) は，複数の到来方向からのミュー粒子を同時に測定することを可能にし，計測時間を大幅に短縮した．並河，山田らによって提案された Moore-Penrose



図－1　鈴木により開発されたマルチ観測器



図‐2　堤防に対して行われた実験の模式図



図－3　実測値と解析値の比較

逆行列， Tikhonov の正則化法による逆解析は，定量的に物質の密度を推定することを可能にした．並河，山田らは，堤防の樋管でマルチ観測器を 1m ずつ動かし 16 の観測点，64 の観測線（図 - 2）においてミュー粒子観測データから面密度を計算し，この逆解析を用いて堤防内部の密度推定を高精度で行った（図 - 3）．Moore-Penrose 逆行列は，アメリカの数学者である E. H. Moore と，2020 年にブラックホールに関する研究でノーベル物理学賞を受賞した当時大学院生のイギリスの数理物理学者 Roger Penrose がそれぞれ独立に到達した逆行列であり，未知数が多く解が無数に存在する方程式において，尤もらしい最小ノルム解を一意に導くことができる．A は各観測線でミュー粒子が堤防内部を通過する走路距離マトリックス，xは推定する堤防内部の各セルの密度，bは観測データより求められる各観測線でミュー粒子が通過する堤防内部の面密度ベクトルであるとして， (2)式(図-4)が，密度推定の逆問題を表す方程式および制約条件である．正則行列 C について，逆行列C^{-1}を用いて(3)方程式(図-4)の解は(4)式(図-4)のように表せる等に，非正則行列 A について，(2)式(図-4)の解は Moore-Penrose 逆行列$A^{\dagger}$ を用いて(5)式(図-4)のように表せる．Aの特異値分解を(6)式(図-4)のようにすると$A^{\dagger}$ は(7)式(図-4)のように表せる．ここで$\mu_r = 0$の時は$\frac{1}{\mu_r} = 0$とすることにする．一方で，

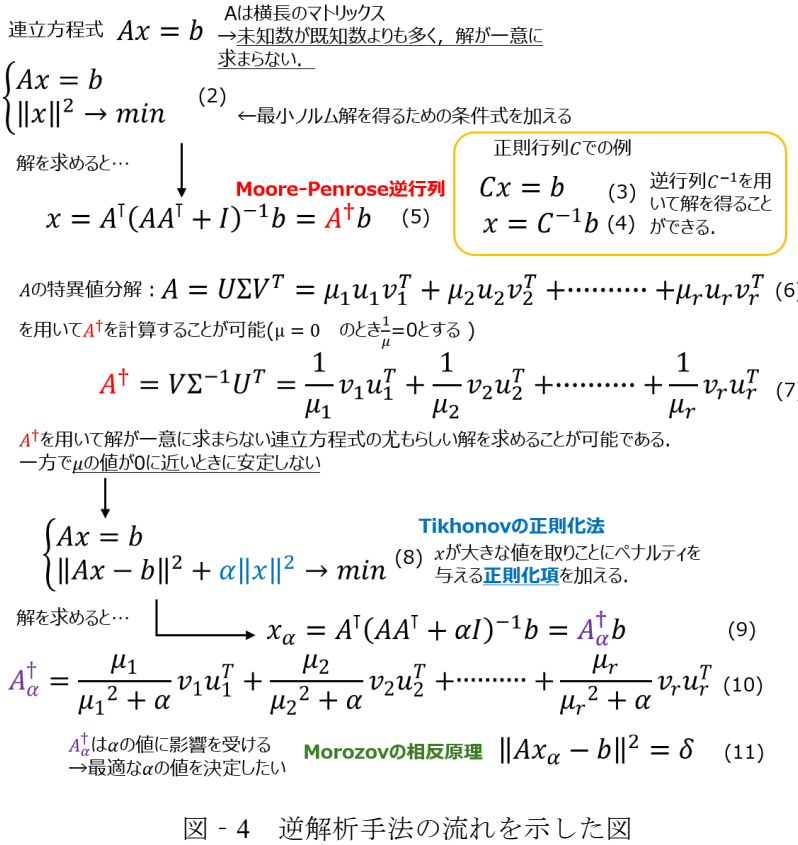


図 - 4　逆解析手法の流れを示した図

この解は特異値μの影響を強く受け，μが非常に小さい値をとるときに解が不安定になってしまうという課題がある．1900 年代のソ連ではミサイルの軌道の逆算，遠方の物体の位置特定といった軍事・宇宙開発などのために解が一意に存在しない不適切問題を解くための数学理論が急速に発展した．数学者 Andrey Tikhonov が 1963 年に提唱した Tikhonov の正則化法を用いて，正則化項を加え，‖ x^2 ‖が大きな値をとることにペナルティを与えることで，解の安定化を図ったのが(8)式(図-4)である．(8)式(図-4)の解は$A_\alpha^{\dagger}$を用いて(9)式(図-4)のように表せる．$A_\alpha^{\dagger}$は(10)式(図-4)のように表せる．一方で，$A_\alpha^{\dagger}$は正則化パラメーター α の値に強く影響を受ける．そこで，正則化においての課題であった正則化パラメーター α の決定には数学者 Valentin Morozov が 1966 年に提唱した Morozov の相反原理を用いて，観測データのノイズをδとして，(11)式(図-4)を満たすような最適な α を決定した．

3－まとめ

ここまで、ミュー粒子測定を用いた密度解析の手法を詳しく解説した．発表では，堤防におけるボーリング調査の点の観測値を用いながら，堤防内部の面的な密度分布を得るための解析手法の高度化について発表する．

【謝辞】
本研究は文部科学省「気候変動予測先端研究プログラム」JPMXD0722680734，科研費基盤研究(B)26K01048 および第 3 期内閣府戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)「スマート防災ネットワークの構築(サブ課題 B)」の支援を受けて実施した.ここに記して感謝の意を示す.

参考文献
1) 植村郁彦:気候変動を踏まえた統合的水害リスク評価手法とその活用に関する研究,北海道大学博士論,2025
2) 湊進: 宇宙線透視像, 放射線,Vol.19,No1,49-56 頁,1992
3) 鈴木敬一: ミュー粒子による土木物理探査の可能性, 物理探査, 第 65 巻,第 4 号, 251－259 頁, 2012.
4) 並河奎吾,山田ら: 河川堤防の内部構造可視化に向けた新たな宇宙線ミューオトモグラフィ解析,土木学会論文集,Vol.80,No.16,23-16156,2024.

キーワード：Muon, Embankments, Tomography, Inverse Problem Analysis, geophysical exploration

極値統計理論を用いた雨量と河川流量の非定常性に関する応答解析

北海道大学大学院工学研究院　○中後亮哉
北海道大学大学院工学研究院　本木翔雲
北海道大学工学研究院　清水啓太
北海道大学工学研究院　山田朋人

1. はじめに

近年，地球規模の気候変動に伴う極端現象の顕著化が指摘されており，日本各地において従来を上回る規模の豪雨が頻発している．特に 2019 年東日本台風は,関東・東北地方を中心に記録的な降雨をもたらし，甚大な社会被害を引き起こした．寒川ら [1]の研究によれば，北海道から九州に至る広範囲で年最大日降水量の超過確率降水量が有意に増加しており，洪水リスクの増大が懸念されている．しかし，洪水氾濫に直接関与するのは降雨量のみならず，河道改修やダムの運用といった人為的要因を内包する河川流量である．したがって，自然要因と人為要因が複合的に作用する流量特性の把握は極めて重要である．本研究では，雨量と流量の統計的変化を明らかにして，人為的影響を考慮した比較と検討を行う．解析手法には，清水・山田ら [2]が提案した確率限界法検定に基づく非定常性評価手法を採用する．本手法は森口 [3]の理論を水文統計学に応用したもので，分布の裾野における変化を鋭敏に捉え,設定した確率分布の妥当性を時系列上で診断できるという利点を有する．図 1 は 1976 年から 2000 年までの観測値から年最大日雨量の母集団分布を仮定し，当該期間と近年の年最大日雨量の統計的性質の変化を確率限界法検定に基づく非定常性評価手法で有意水準 5%で定量化したものであり，2020 年時点の方が暖色の地点が多く，非定常性を示す地点が多いことがわかる．

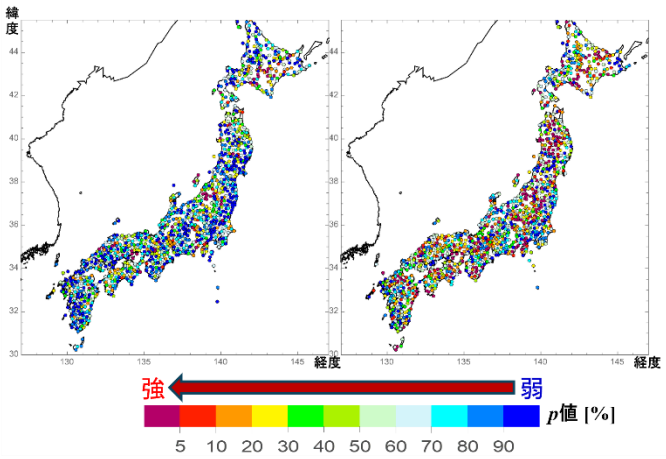


図 1　年最大日雨量の母集団分布に対する，2005 年 2020 年時点の全国各観測地点における P 値の変化

2. 研究手法

2.1 確率限界法検定の理論概要

本手法は，仮定した母集団分布の採択域に基づき，時系列の非定常性を判定するものである．累積分布関数 $F_X(X)$を経た累積確率 U は標準一様分布 U[0,1]に従い，その第 i 順序統計量はベータ分布に従う.これを利用し，第 i 順序統計量の非超過確率および超過確率から，検定統計量x_αを次式で定義する．

$$x_\alpha = -\log 2\alpha_{min} \tag{1}$$

ここで, α_{min}は各データの超過・非超過確率の最小値である.検定統計量の分布$F_\alpha(x)$に Gumbel 分布を仮定すると，その位置母数 μ_aおよび尺度母数 σ_a は標本サイズ n に応じて一意に定まる.このとき,非定常性の強度を示す p 値は，実現値 x_α の超過確率として次式で与えられる．

$$p(x) = 1 - F_a(x) \tag{2}$$

2.2 非定常性評価の手順

以下の手順により降雨および流量時系列の非定常性を定量的に評価する．

（手順 1）： 標本サイズ n の年最大日流量，年最大雨量の標本から，母集団分布 $F_X(X)$と $F_Q(X)$を推定する．

（手順 2）： $(n+j)$個の観測標本を用い（j は年目からの経過年数），確率限界法検定による p 値を算出する．p 値は，$(n+j)$個の標本サイズに相当する検定統計量分布における，式(1)によって表される実現値の超過確率として定義される．

（手順 3）: (手順 2)を j=1 から j=j_{max} まで繰り返し，式(2)を用いて，j_{max}個の p 値を得る （1≦j≦j_{max}）.

（手順 4）: 所与の有意水準を下回る p 値が時点 $(n+j)$ において得られた際，n個のデータから仮定した母集団分布 $F_X(X)$と $F_Q(X)$を棄却し，非定常性が検出されたと判定する.

2.3 使用データ

全国 50 地点の 1976 年から 2024 年の年最大日流量の観測値を用いた．この 50 地点 は, 1976 年から 2000 年において 20 個以上, 25 個以下の観測値を有する観測地点である．なお,年最大日雨量は流域平均の観測値である．データは雨量・流量年表データベース [4]のものを用いた.

3．結果

全国の 50 箇所の観測地点の年最大日流量に対して非定常解析を行った. 1976 年から 2000 年までの 25 年間を定常期間と仮定し, 2001 年から 2024 年までの観測値の p 値を地点ごと，年ごとに導出した. 図 2 は 2001 年と 2023 年の結果を示している．暖色の地点ほど p 値が小さい，つまり非定常であり，寒色の地点ほど P 値が大きい，つまり定常であることを示している. 2001 年時点での全国の p 値を見ると，九州地方から東北地方ではほぼすべての地点で寒色であり，定常状態であることがわかる．しかし北海道では暖色の地点が多く, p 値が 30%以下の地点が多くみられる. 2023 年時点では，本州でもオレンジ色や赤色の地点が見られるようになっており，非定常性が表れているといえる．四国では暖色を示す観測地点が見られない．北海道ではさらに暖色を示す地点が多くなっている. 50 地点のうち, 41 地点において p 値が低下している.

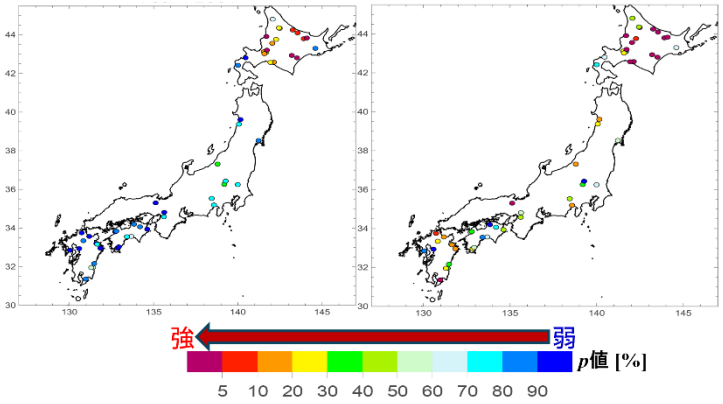


図 2 年最大日流量の母集団分布に対する，2001 年 2023 年時点の全国各観測地点における P 値の変化

4．まとめ

雨量だけでなく，流量においても全国の観測地点において p 値が低下し，非定常性が表れている地点が多いことがわかった．今回の非定常解析に用いた 50 地点はデータの有無のみに基づき抽出したものであり、地点ごとの立地特性が解析結果に与える影響については十分に考慮されていない。ダムの上流にある観測地点は雨量の観測値と流量の観測値が応答しやすいと考えられる．しかし，ダムの下流にある観測地点はダムの流量調整や遊水池の影響，支川からの流入など様々な人為的要因によって流量が変化する．今後は、ダムの上流部と下流部の観測地点それぞれの雨量と流量の統計的変化の応答関係について着目する.

【謝辞】

本研究は文部科学省「気候変動予測先端研究プログラム」JPMXD0722680734，科研費基盤研究(B)26K01048 および第 3 期内閣府戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)「スマート防災ネットワークの構築(サブ課題 B)」の支援を受けて実施した．ここに記して感謝の意を表します.

参考文献

1) 寒川典昭：日本列島２０世紀の降水量時系列の経年的非定常性とその確率降水量の評価値に及ぼす影響，自然災害科学，J. JSNDS，26-4，pp355-365，2008.
2) 清水啓太，山田朋人：確率限界法検定に基づく極値水文時系列の非定常性評価手法の検出力特性，土木学会論文集，Vol. 81，No. 16，24-16136，2025.
3) 森口繁一：確率表現関数の検定について―Kolmogorov-Smirnov 検定を考え直す―，日 本統計学会誌, Vol. 25，No. 3，pp. 233-244，1995.
4) 日本河川協会：雨量・流量年表データベース（DVD 版），2007.

キーワード：Extreme Value Theory, Non-Stationary, Extreme Rainfall and River Discharge

異なるアンサンブル生成手法を用いた線状降水帯に伴う降雨の最悪シナリオの推定：2025 年熊本事例における検討

関西大学社会安全学部　　○大野哲之
東北大学工学研究科　　平賀優介

1. 研究の背景

計画規模や想定最大規模降雨などの設定は，水防設備等のハード対策や住民の避難等のソフト対策を実施する上で基盤となるため水文気象学として重要な課題の一つである．従来は降雨規模の設定には大気と降水の線形性を仮定した統計的外挿が主流だったものの，近年では気象学的に整合性のある最悪ケースの豪雨シナリオの推定を目的に WRF 等の数値気象モデルを用いた研究が盛んである [1]．過去の豪雨事例について，大気の河等の水蒸気流入が観測事実から数十 km 程度位置ずれし得たと仮定し，降水量の感度実験を行う手法 (以下，Transposition) が適用されてきた [2]．一方で短時間降水予測は初期条件に対する感度が非常に高いものの，初期条件の不確かさに伴う豪雨の最悪シナリオの推定への影響は検討されていない．本研究は，数値気象モデル CReSS を用いてアンサンブルメンバーの生成手法である時間ずらし法 (以下，Time-lagged 法) と Transposition 法を適用し，2025 年 8 月 10-11 日にかけて熊本県を中心に記録的な大雨を観測した線状降水帯事例において発生し得た最悪シナリオにおける降水量の推定とその要因の解析を行う．

2. 事例分析・研究手法

図 1-a に 2025 年 8 月 10 日 00UTC の地上天気図を示す．中国東部から対馬沖にかけて停滞前線が位置し，黄海から朝鮮半島南部にかけて低気圧が前線上を移動したため，南西寄りの風に伴う水蒸気流入が活発になったと考えられる．また気象庁 MSM 解析値から，水蒸気流入が特に多い領域が熊本県周辺まで南下・停滞し，線状降水帯が維持されたことがわかる（**図 1**-b）．菊池川流域に位置する AMeDAS 岱明地点で，観測史上最大を更新する 12 時間雨量 404.5 mm，24 時間雨量 453.5 mm を観測するなど記録的な豪雨となった．

本研究では気象モデル CReSS を用いて空間解像度 1 km のシミュレーションを実施した（計算領域は**図 1**-b の黒太線）．Time-lagged 法では，MSM 解析値を毎 1 時間に内挿することで 9 日 00UTC から 10 日 00UTC までの 25 メンバーを生成・計算を行った（**図 1**-c）．解析期間は最も降水が多かった 11 日 06UTC までの 24 時間とした．本研究ではコントロールラン (CTL) を以下のように定義した．i) Time-lagged アンサンブルのうち，菊池川流域における平均雨量が XRAIN 観測の値と誤差が小さい 3 メンバーを選び，ii) さらに降水域の構造の再現性を定量的に評価する手法である SAL 法に基づいて再現性が良好なメンバーを選択し，CTL とした．また Transposition 法では，CTL の初期値・境界値（標高・気温等の地上物理量を除く）を南北方向に 0.05 度毎，最大 0.5 度移動させて CReSS に入力することで，流域平均雨量を最大化する条件について解析した．

3. 解析結果・考察

図 2-a は，11 日 06UTC までの 24 時間における XRAIN 観測の雨量分布である．図中には豪雨に見舞われた三流域（北から菊池川，白川，緑川流域）を黒太線で示している．24 時間で 400 mm を上回る紫色の領域が五島列島，長崎，天草半島，そして熊本県の三流域を中心に分布している．Time-lagged アンサンブルのうち，CTL として選ばれた No.25 では，XRAIN 観測に近い位置および強度の雨域が再現されていた（**図 2**-b）．また Transposition アンサンブルの中でも，CTL に対して 0.35 度北に初期値・境界値を移動させた計算で流域

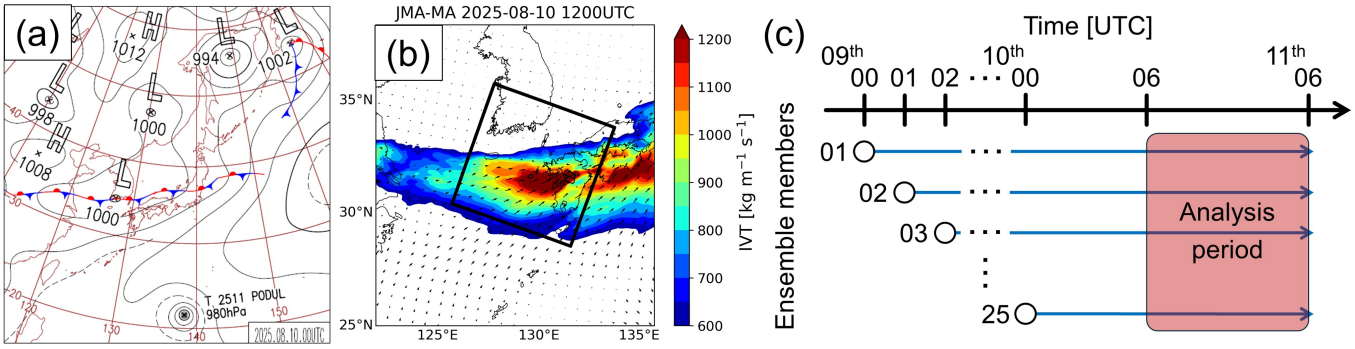


図 1: (a)10 日 00UTC の地上天気図．(b)10 日 12UTC の水蒸気フラックスの鉛直積算．(c)Time-lagged アンサンブルの概要．

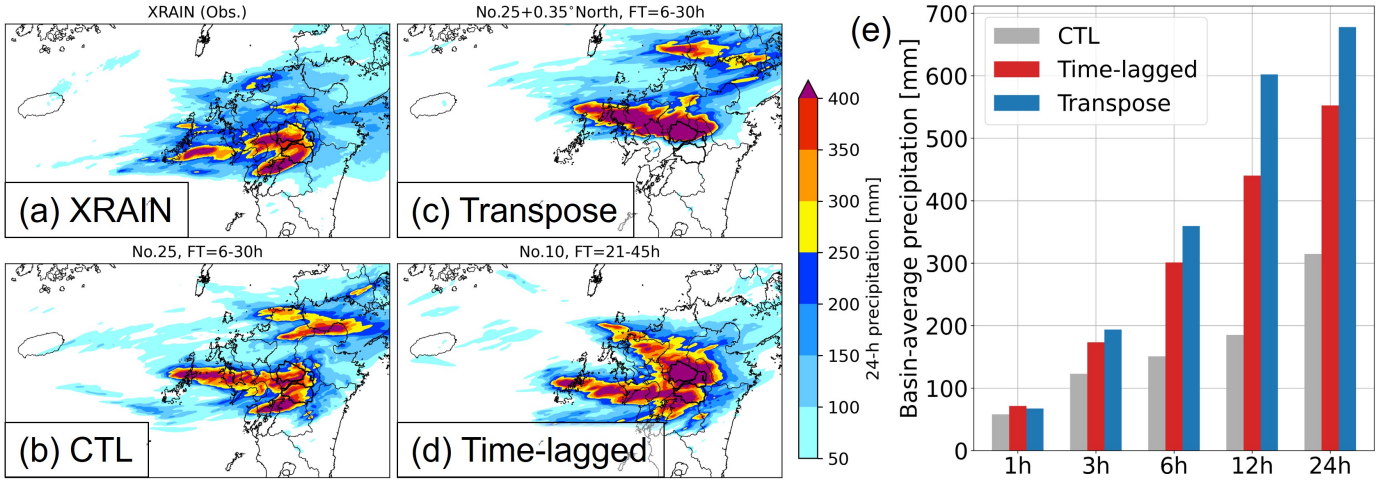


図 2: (a)XRAIN, (b)CTL, (c)Transpose 最大, (d)Time-lagged 最大の 24 時間雨量．(e) 菊池川における時間別流域平均雨量.

平均雨量が最大を示した．線状降水帯に伴う雨域は CTL に比べてやや北側に移動し，400 mm 以上の強雨域の面積も拡大した（**図 2**-c）．一方で Time-lagged アンサンブル中で最大の降水量を示した No.10 では，CTL と異なり九州北部から南東方向に伸びる雨域と，五島列島から東に伸びる雨域の 2 つが形成されていた（**図 2**-d）．Transposition 法では移動された雨域による降水量の最大化が実現される一方で，Time-lagged 法では初期値の不確かさの中で時間発展した，CTL とは異なる豪雨シナリオを示したと考えられる．

菊池川流域における時間ごとの流域平均雨量の比較を**図 2**-e に示す．XRAIN 観測における菊池川の流域平均雨量は 12 時間 236 mm / 24 時間 316 mm に対して，CTL：185 mm / 315 mm，Time-lagged 最大：440 mm / 552 mm，Transposition 最大：602 mm / 678 mm であった．菊池川流域における想定最大規模降雨である 12 時間 545 mm は，Time-lagged 最大と Transposition 最大の中間に位置しており，環境場の条件次第では観測を大幅に上回る降水量が同流域にもたらされていた可能性が示唆された．24 時間平均の水蒸気フラックスの鉛直積算を解析したところ，CTL，およびアンサンブル最大を示したメンバーにおいて総観規模での分布の変化は見られず，局所的なピークのずれに留まっていた．このことは総観規模的な環境場が大きく改変されることはなく，数十 km 程度の水蒸気流入のピークずれが降水量の違いの原因の一つであることを示唆している．またアンサンブル最大を示す 2 つのメンバーでは水平収束の位置，時間，強度に違いが見られた．Transposition 最大では，CTL に対して収束位置が北側にシフトしたことに加えて，五島列島や長崎周辺の地形に伴う水平収束の強化が降水量の増加に寄与していたと考えられる．その一方で Time-lagged 最大では，九州北部沿岸で CTL よりも数時間以上早く水平収束が生じたことで，菊池川での降水の開始が早まったと考えられる．異なる物理的メカニズムにより 2 つのアンサンブル最大の豪雨シナリオが生じており，降水量のアンサンブル最大の推定では時間・空間両方の要因を考慮に入れることが今後必要である．流域によっては Time-lagged 最大が Transposition 最大を上回るケースも見られたため，アンサンブル最大の多寡について一般的な関係は見出されておらず，より多くの事例や流域における検証が必要となると考えられる．

4. まとめ

2025 年 8 月に熊本県を中心に記録的な豪雨となった事例に対して最悪ケースの降水量の推定を行ったところ，時間・空間ずれを考慮した 2 つのアンサンブル生成手法で観測を大幅に上回る降水量の可能性が示された．今後は線状降水帯のアンサンブル拡張や気候変動の影響評価について解析を進める予定である．

【謝辞】本研究は JSPS 科研費 JP24K22975（研究代表者: 大野哲之）の支援を受けて実施されたものです．

参考文献

[1] Ohara, N., M. Kavvas, S. Kure, Z. Chen, & S. Jang (2011): Physically based estimation of maximum precipitation over American River watershed, California. *J. Hydrol. Eng.*, **16**, 351-361.

[2] Hiraga, Y., Watanabe, S., Yamashita, T., & Takizawa, H. (2025): Climate change effects on probable maximum precipitation (PMP) of mesoscale convective systems: Model-based estimation and large ensemble-based frequency analysis. *J. Hydrol.*, 661, 133724.

キーワード：mesoscale convective systems, worst-case scenario, ensemble generation, basin-averaged precipitation

GSMaP_NOW データに基づく 120 分先の雨域移動予測における減衰考慮の影響評価

中央大学大学院理工学研究科　○小林涼太
中央大学理工学術院　手計太一

１．はじめに

現在，日本では気象庁や国土交通省が運用するレーダ雨量や，JAXA が運用する GSMaP[1]により降水量分布をリアルタイムで把握することが可能である．また，これらの観測データを用いた降水量予測として，気象庁の高解像度降水ナウキャスト[2]は 1 時間後，理化学研究所の GSMaP_RNC は 12 時間後まで予測を行っている．一方，雨域の移動のみに着目した運動学的手法に基づく予測では，雨域の発達や減衰を十分に考慮できないため，リードタイムの増加に伴い誤差が増大しやすい[3]．そこで本研究では，雨域内平均降水量の時間変化に基づく減衰補正を導入し，GSMaP_NOW を用いた 120 分後までの雨域移動予測を行い，減衰考慮が予測精度に与える影響を評価することを目的とした．

表−1　本研究で使用したデータの概要

プロダクト名	時間分解能	空間分解能	用途
GSMaP_NOW	30分	10 km	予測の入力，30分刻み評価の基準値
GSMaP_MVK	60分	10 km	60分刻み評価の基準値
GSMaP_RNC	60分	10 km	比較対象の予測データ

２．予測手法

本研究で使用したデータは GSMaP_NOW，GSMaP_MVK，GSMaP_RNC であり，概要を表−1 に示す．対象期間は 2025 年 12 月（UTC）とし，対象領域は関東地方と日本海側を含む北緯 33.8～38.8 度，東経 136.5～141.5 度とした．GSMaP_NOW は予測入力と 30 分刻み評価の基準値，GSMaP_MVK は 60 分刻み評価の基準値として用いた．

雨域の移動予測では，GSMaP_NOW の直近 2 時刻のデータから，降雨強度 0.1 mm/h 以上の格子が 8 近傍で隣接する領域を雨域として抽出した．次に，PIV 法（粒子画像流速測定法）により対象領域全体の移動方向と移動ベクトルを推定し，その方向を基準として雨域ごとにパターンマッチングによる相関追跡を行うことで，移動方向および移動量を決定した．減衰を考慮する予測では，2 時刻$(t-30,\ t)$における雨域内の平均降水量$R(t-30)$，$R(t)$の変化から雨域ごとに強度比を算出した．強度比rを式(1)に示す．

$$r = \frac{R(t)}{R(t-30)} \tag{1}$$

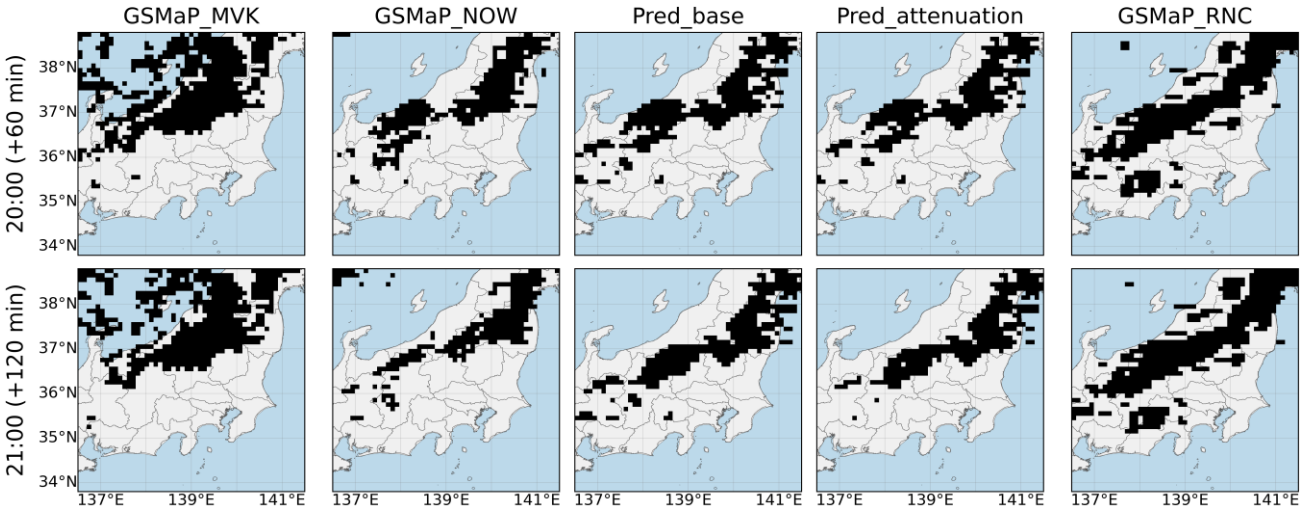
ここで$r<1$を減衰時とし，$r=1$は 30 分間で雨域内の平均降水量が変化していないことを示す．また，本研究では雨域の発達は考慮しないため，$r>1$の場合は$r=1$として扱った．以上の手法により，減衰を考慮しない予測と，減衰を考慮する予測の 2 条件で 30 分間隔，120 分後までの予測を行った．予測時刻$t+30n(n=1, 2, 3, 4)$における雨域内の平均降水量$R(t+30n)$を式(2)に示す．

$$R(t+30n) = R(t)r^n \tag{2}$$

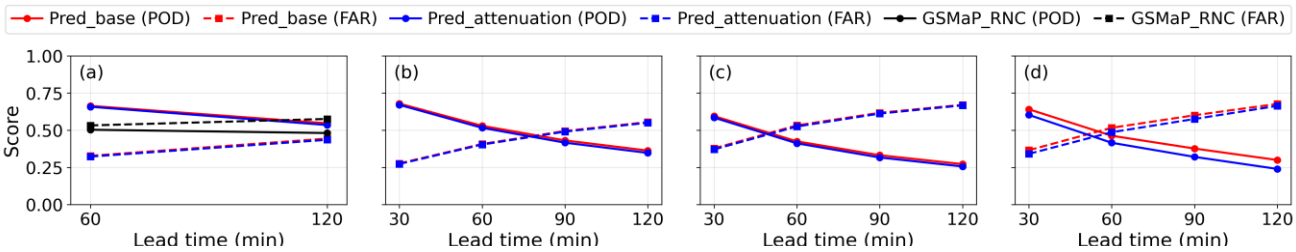
精度評価では，各格子点における降水の有無を対象とし，POD（捕捉率）および FAR（誤検出率）を算出した．評価閾値は 0.1 mm/h を基本とし，減衰補正の影響を確認するため 0.5 mm/h の場合も評価した．なお，降雨時は，各評価閾値について真値において対象領域内に閾値以上の降水格子が存在する時刻とした．

３．予測結果

図−1 は，2025 年 12 月 3 日 18 時 30 分および 19 時 00 分（UTC）の GSMaP_NOW を入力し，19 時 00 分を初期時刻として算出した 60 分後および 120 分後の予測結果である．図中には，GSMaP_MVK，GSMaP_NOW，減衰を考慮しない予測（以降，Pred_base），減衰を考慮する予測（以降，Pred_attenuation）および GSMaP_RNC の分布を示しており，降水格子を黒で示した．60 分後において，Pred_base および Pred_attenuation は GSMaP_NOW にみられる日本海側から内陸部の雨域を概ね再現した．一方，GSMaP_MVK ではより広い雨域，GSMaP_RNC では静岡県付近の雨域が確認され，観測情報や処理過程，入力データ，予測手法の違いにより雨域面積や発生位置に差が生じたと考えられる．120 分後においても，GSMaP_NOW を参照した場合，本手法による予測は雨域の移動傾向と概ね対応したが，一部の雨域が残存し，減衰考慮による雨域縮小の効果は限定的であった．



図−1　初期時刻 2025 年 12 月 3 日 19 時 00 分（UTC）の 60 分後と 120 分後の雨域比較．左から GSMaP_MVK，GSMaP_NOW，減衰を考慮しない予測（Pred_base），減衰を考慮した予測（Pred_attenuation），GSMaP_RNC（上段：60 分後，下段：120 分後）



図−2　対象期間における POD と FAR の平均値．基準値：(a) GSMaP_MVK，(b) (c) (d) GSMaP_NOW，閾値：(a) (b) 0.1 mm/h，(c) (d) 0.5 mm/h，(a) は GSMaP_RNC も併記，(d) は減衰時を対象

図−2 は，2025 年 12 月における降雨時の POD と FAR の平均値を示した図であり，図−2 (a) は GSMaP_MVK，図−2 (b) ～ (d) は GSMaP_NOW を基準値とした．図−2 (a) より，60 分後および 120 分後の評価では，本手法は GSMaP_RNC と比較して POD が高く，FAR が低い値を示した．また，図−2 (b) (c) より，30 分後で POD が高く FAR が低い一方，リードタイムの増加や閾値 0.5 mm/h への変更に伴い，POD は低下し FAR は増加した．図−2 (a) ～ (d) のいずれにおいても，Pred_attenuation の POD と FAR は Pred_base に比べてわずかに低下し，特に減衰時のみを対象とした図−2 (d) でその差が大きかった．これは，雨域縮小により見逃しが増加する一方，空振り格子が減少したためである．したがって，本評価では減衰考慮による総合的な精度向上は確認されなかった．

４．まとめ

本研究では，GSMaP_NOW を用いた 120 分後までの雨域移動予測に，雨域内平均降水量の時間変化に基づく減衰補正を導入し，その影響を評価した．その結果，GSMaP_NOW を参照した場合，本手法は 120 分後まで雨域の移動傾向と概ね対応していた．また，GSMaP_MVK を基準値とした 60 分後および 120 分後の評価では，本手法は GSMaP_RNC と比較して POD が高く，FAR が低い傾向がみられた．減衰を考慮した場合，予測雨域が縮小することで空振りは減少した一方，見逃しが増加したため，総合的な精度向上は限定的であった．

参考文献

1) Kubota, T., K. Aonashi, T. Ushio, S. Shige, Y. N. Takayabu, M. Kachi, Y. Arai, T. Tashima, T. Masaki, N. Kawamoto, T. Mega, M. K. Yamamoto, A. Hamada, M.Yamaji, G. Liu and R. Oki: Global Satellite Mapping of Precipitation (GSMaP) products in the GPM era, Satellite precipitation measurement, Springer, 2020.

2) 技術開発推進本部 豪雨監視・予測技術開発部会 運動学的予測グループ：高解像度降水ナウキャストにおける降水の解析・予測技術について．測候時報，81 巻，pp.55-76，2014.

3) Otsuka, S., S. Kotsuki, M. Ohhigashi, and T. Miyoshi, 2019: GSMaP RIKEN Nowcast: Global precipitation nowcasting with data assimilation. *J. Meteor. Soc. Japan*, 97, 1099-1117.

キーワード：GSMaP, Movement Prediction, PIV, Pattern Matching, Rainfall Prediction

地形のパラメタリゼーションがもたらす山地周辺における降雨量の変化

中部大学工学部都市建設工学科　○岡地寛季
北海道大学大学院工学研究院　　山田朋人

1．はじめに

地球温暖化による極端な降雨イベントにおける降雨強度の平均的な変化は熱力学の法則であるクラウジウス-クラペイロン関係式に沿っての増加する．その特徴は標高が低い地域は保存され，標高が高い地域ではその増加率を上回る傾向が指摘されている（Yamada et al., 2018）．この余剰分は地形による強制上昇により降雨量が増大する．本研究では，山地周辺域の極端降雨に着目し，数値実験におけるグリッド標高設定のパラメタリゼーションの違いがもたらす降雨量への影響を分析した．

2．使用データ

本研究では気候予測データセット 2022 の一つである本州域 d4PDF ダウンスケーリングデータ（以降，本州域 d4PDF）と関東域 d4PDF ダウンスケーリングデータ（以降，関東域 d4PDF）を利用した．両データセットの水平解像度は 5 km，過去実験のアンサンブル数はそれぞれ 732 年と 3000 年分のを有する．両者のパラメタリゼーションの相違点の一つとして標高設定がある．前者はグリッド最大標高，後者はグリッド平均標高が用いられる．この相違点に着目し，本研究では山地周辺への極端降雨として台風に由来する降雨イベントを抽出し，標高設定による極端降雨への影響を分析する．その他に気象研究所が作成した水平解像度 60km の d4PDF 台風トラックデータを使用した．星野・山田ら（2020）が作成した手法を上記データに適用し， 2019 年台風 19 号（以降，Hagibis）に類似する経路を有する台風イベントを抽出した．Hagibis に類似する経路を有するイベントは両地域において最大規模の降雨をもたらすことがこれまでの分析から示された（岡地・山田ら，2024）． 使用した地形データは Digital Elevation Model（DEM）の一種である GTOPO30 の全地球の標高データ，水平空間解像度は 1 km である．

3．結果

図-1(a)は解析対象地域とその周辺域の標高分布を表す．**図-1(a)**に示すように千曲川流域は埼玉県境の甲武信ヶ岳（標高 2475 m）に発し，東側を関東山地，西側を飛騨山脈（北アルプス）に囲まれた盆地が連なった流域である．**図-1(b)**は本州域 d4PDF と関東域 d4PDF の標高の差分を示す．対象とする東西領域の境界では標高が最大で 400 m 程度差があることがわかる．Hagibis と類似経路を辿る台風事例がもたらす対象地域における降雨量を分析するため，抽出した台風事例に対して本州域 d4PDF と関東域 d4PDF の雨量を利用し，

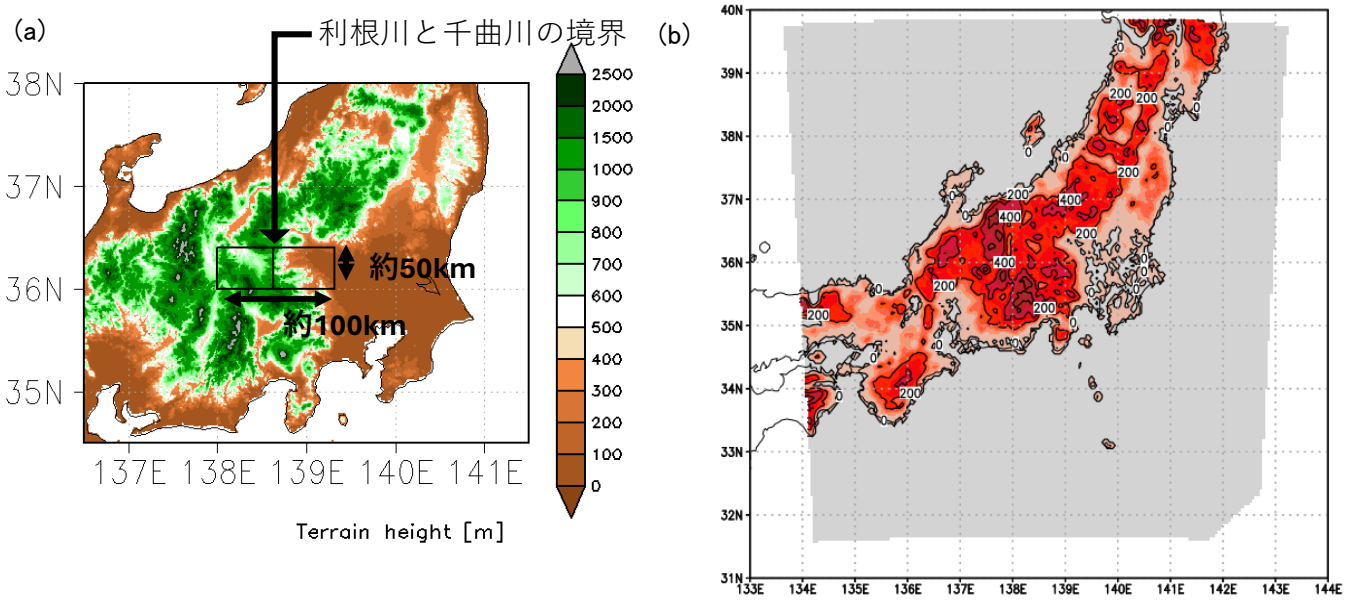


図-1(左図)数値実験のドメインと対象とする利根川と千曲川流域の流域界周辺の地形．岡地・山田（2024）より転載．図-1(右図)グリッド最大標高設定の本州域 d4PDF からグリッド平均標高設定の関東域 d4PDF の標高を差し引いた値の空間分布．

得られたデータから対象領域である利根川上流域と千曲川上流域のグリッド算術平均の累積雨量を算出した．

図-2(a)は抽出した台風によってもたらされた利根川と千曲川の対象地域における領域平均累積雨量の散布図を表す．ここで示すデータは両アンサンブルデータにおいて共通の日時を示す．黒破線で結ばれた赤と青の点が同一イベントを示す．標高設定の違いによる降雨量の変化は両流域において増加傾向にある．特に風上側に位置する利根川において増加量が多い傾向がみられた．変化量は降雨量が多いイベントほど利根川における降雨量増加が多く，千曲川における増加量は相対的に小さいあるいは減少傾向が見られた．

図-2（右図）はそれぞれのアンサンブルデータより抽出した結果を用いて算出した累積雨量の変化倍率を示す．変化倍率は本州域 d4PDF より抽出した累積雨量を関東域 d4PDF より抽出した同一イベントの累積雨量で除して 100 倍した値である．概ね全てのケースにおいて両領域において雨量が増加する．さらに利根川における雨量の増加率は千曲川における雨量の増加率よりも大きい傾向にある．利根川では増加傾向にあるが，千曲川では減少するケースは 6 ケースであった．これはグリッド最大標高を用いた計算において風上側での雨量の増加が顕著となり，風下側では雨量は増加するがその増加量は風上側より少ない特徴が示された．

４．まとめ

本研究では，山地周辺における極端降雨に対して，数値気象モデルで用いるグリッド標高設定の違いが降雨量に与える影響を分析した．グリッド最大標高を用いた場合，両流域とも降雨量が増加する傾向が確認された．特に風上側に位置する利根川流域では増加量が大きく，降雨イベントが極端になるほど増加傾向が顕著であった．一方，風下側の千曲川流域では増加量が比較的小さく，一部のケースでは減少も見られた．これは，標高を高く設定することで風上側での地形性降雨が強化され，水蒸気が先に消費されるため，風下側への水蒸気供給が相対的に減少した可能性を示唆している．以上より，数値モデルにおける地形標高の設定方法は，山地周辺の極端降雨分布に大きな影響を与え，特に風上・風下の降雨配分を変化させる重要な要因である可能性が示唆された．

【謝辞】研究は科研費基盤研究(B)23K22864，文部科学省「気候変動予測先端研究プログラム」JPMXD0722680734 および第 3 期内閣府戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)「スマート防災ネットワークの構築(サブ課題 B)」の支援を受けて実施した．

キーワード：地形性降雨，d4PDF，アンサンブルデータ，台風 Hagibis

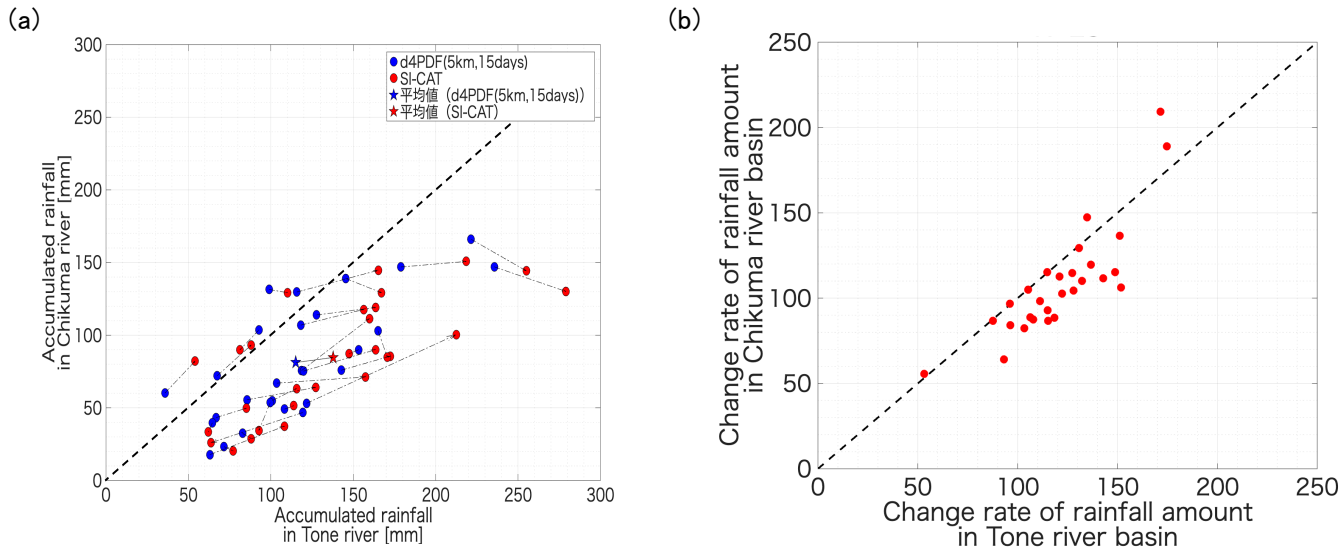


図-2（左図）Hagibis に類似する経路を有する台風イベントの利根川と千曲川の対象地域における領域平均累積雨量．（右図）Hagibis に類似する経路を有する台風イベントの利根川と千曲川の対象地域における領域平均累積雨量の変化率．変化率は本州域 d4PDF より抽出した累積雨量を関東域 d4PDF より抽出した同一イベントの累積雨量で除して 100 をかけた値である．

気象場の遷移過程に着目した機械学習降雨予測モデルの開発と淀川流域への適用

京都大学大学院工学研究科　◯井上陽雲
京都大学大学院工学研究科　Kim Sunmin
京都大学大学院工学研究科　立川康人

1　はじめに

近年、地球温暖化の進行に伴う気候変動の影響により水循環プロセスが変化し、日本各地で災害級の豪雨が発生している。そのため、減災に資する予測精度の向上が急務となっている。従来の降雨予測では局地的な集中豪雨の予測や長期的な気象予測に課題があり、近年機械学習を用いた予測モデルが提案されている。また、複雑な気象場をクラスタリングによりパターン化して解析するアプローチも有効視されている[1)]。そこで、本研究ではまず気象要素をクラスタリングしてその遷移パターンと降水との関係を解析した上で、降水予測モデルを提案する。

2　分析に使用するデータセット

本研究では、解析データとして欧州中期予報センター（ECMWF）が提供する全球再解析データセット ERA5（対象期間：1940 年～2024 年）を用いた。広域気象場の解析範囲は日本周辺域（北緯 20°–50°，東経 120°–150°）に設定し、豪雨との関連が深い 6 つの気象要素（850hPa における相当温位、ジオポテンシャル高度、東西風、南北風、鉛直風、および 200hPa におけるジオポテンシャル高度）を使用した。

データの整形にあたりまず協定世界時から日本標準時への変換を行い、各気象要素の日平均値を算出した。次に季節変動を除去し豪雨に寄与する突発的な気象変動を抽出するため、各要素から基準値を差し引いてアノマリーを算出した。予測モデルへの適用を前提とし、基準値には直近 30 日間の移動平均値を採用している。

さらに、豪雨が頻発する時期に焦点を当てるため、データから 5 月～8 月の期間のみを抽出した。これらの高次元な時系列データを機械学習モデルに適した形式にするため、抽出した期間内の全時空間（時間・緯度・経度）を通した平均値と標準偏差を用いて標準化を行った。こうして構築した広域のアノマリーデータセットと、淀川流域周辺（北緯 34.5°-35.5°，東経 135.25°–136.25°）における日積算降水量との関係を解析し、降水量の予測モデル構築につなげることを目指した。

3　クラスターを用いた分析と予測モデル構築

(1)　クラスターを用いた気象分析

構築したデータセットに対して Autoencoder を用いて次元削減を行い、日々の広域気象場を 64 次元の潜在変数として抽出した。得られた潜在変数空間において、マクロな気圧配置のパターンを分類するため、非階層的クラスタリング手法である k-means 法を適用した。ここで、クラスター数kは、主要な気象パターンを十分に捉える目的で$k = 9$に設定した。k-means 法は初期値によって結果が変動するため、本研究では初期値を変えて 50 回のクラスタリング試行を行った。その中から、分類結果が淀川流域周辺の降水量変動を最も適切に説明できているものを最適結果として採用するため、評価指標として EV 値（Explained Variance）を用いた。本指標は降水量の全分散に対するクラスター間分散の比率を表しており、値が 1 に近いほどクラスター間の分離が明確で降水量の変動を適切に説明できていることを示す。次に気象場の時間的な遷移の翌日の降水量への影響を具体的に明らかにするため、以下の解析を実施した。

・日次クラスター遷移図の作成：全期間を対象に、ある日のクラスターから翌日のクラスターへの遷移回数を集計し、遷移図として可視化して、気象場の典型的な変化パターンを網羅的に把握した。さらに、一定以上の降水量が観測された日に限定した遷移図も作成し、通常時と比較することで、豪雨を引き起こしやすい特異な遷移傾向を抽出した。

・主要遷移パターンの事例解析：上記で特定されたいくつかの遷移パターンについて、そのクラスターの推移が降水量に対してどのような気象学的・物理的意味を持つのかを具体的に考察し、予測手法への応用可能性を検討した。

(2)　降雨予測モデルの構築

前項のクラスター分析によって気象場の遷移が降水と関係があることが確認できたので、時系列データの学習に優れた深層学習モデルである LSTM を用いて予測モデルを構築した。具体的には、クラスター分類の基礎となった 64 次元の潜在変数を入力データとして活用し、直近 5 日間の潜在変数の連続的な推移から、翌日の淀川流域周辺における降水量を予測する構造とした。予測は 0-1, 1-5, 5-10, 10-25, 25mm 以上の 5 ランク分類問題として定式化した。(1)(2)の全体の手順の概要を図 1 に示す。

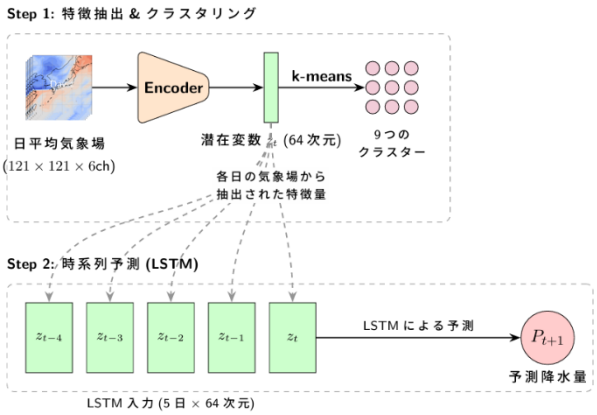


図 1：本研究の解析手順

4　結果と考察

(1)　クラスターを用いた気象分析の結果

図 2 にクラスタリング結果の図を示す。同図は抽出された 9 個のクラスターについてそれぞれ相当温位と水平風の空間平均場を算出して図示したものである。抽出された 9 個のクラスターはそれぞれ独立した特徴的な空間パターンを示しており、設定したクラスター数（k=9）が過剰な分割ではないことが確認された。

・日次クラスター遷移図の結果：　基本的に同クラスターへの遷移が中心だが、変化時は特定の数パターンが目立つ結果になった。また、翌日が上位数%の豪雨となる場合に限ると、別の遷移パターンが頻出していた。

・主要遷移パターンの事例解析：　前節で特定したクラスター遷移パターンに着目し，各パターンの気象場の特徴を詳細に解析した．また、その結果をもとに気象学的な観点からも特定されたクラスター遷移パターンの考察を行った。

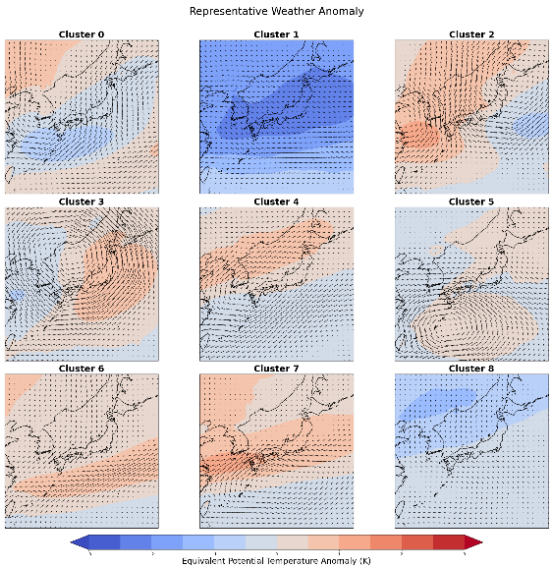


図 2：クラスタリング結果

(2)　降雨予測モデルの構築結果

前章で構築した降雨予測モデルによる予測結果を示す。テストデータに対するモデルの全体的な正答率（Accuracy）は 53%となった。全体の傾向を概ね捉えることには成功したものの、大雨クラスの予測精度は相対的に低く、極端な豪雨現象の予測においては依然として課題が残る結果となった。

5　結論

本研究では淀川流域の降水量とその周辺の大気場の遷移との関係をクラスタリングによって解析した。解析結果からは降雨の直前には特定のクラスターの遷移パターンが起こりやすいことが分かり、気象現象的な観点からも説明することができた。一方で予測モデルへの応用はまだ改善の余地が残る結果になった。

参考文献

1) Chen, X., Leung, L. R., and Sun, N.: Weather Systems Connecting Modes of Climate Variability to Regional Hydroclimate Extremes, Geophysical Research Letters, Vol.50, Issue 24,https://doi.org/10.1029/2023GL105530.

GSM-GPV を用いた機械学習ダウンスケーリング・バイアス補正手法の開発

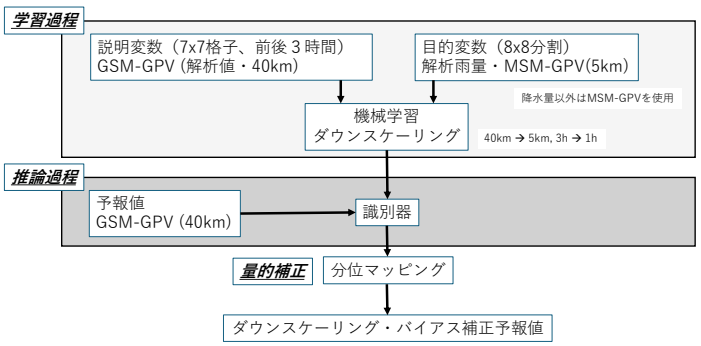
株式会社プリシジョンアース　　○吉兼隆生

１．はじめに

農業をはじめとした各種産業では、作付計画や水資源管理、防災対応、エネルギー需給予測などを目的として、中長期の天気予報が広く利用されている。特に降水量や気温、風速などの地域気象情報は、社会活動や経済活動に大きな影響を与えるため、より高精度な予測が求められている。一方で、地域気象は山岳や海陸分布などの地形条件に強く依存しており、数十 km 程度の粗い解像度を持つ数値予報モデルでは、局地的な地形性降水、局地循環を十分に再現することが難しい。そのため、予報データの高解像度化が重要な課題となっている。しかし、数値予報モデルそのものを高解像度化するには膨大な計算資源が必要となる。特に中長期予報では、多数のアンサンブル計算や長期間積分が必要となるため、数 km スケールの高解像度シミュレーションを広域かつ長期間にわたって実施することは、現状では計算コストの面から容易ではない。このため、比較的粗い解像度で計算された数値予報結果から、局地的な気象場を推定するダウンスケーリング技術が重要となる。従来から利用されている統計的ダウンスケーリング手法では、地形に対応した気象イベントに対応することが難しく、再現精度が十分でないことが報告されている[1]。近年では、深層学習をはじめとする機械学習技術の発展により、高解像度な気象場を推定する新しいダウンスケーリング・バイアス補正手法が多数提案されている。特に画像処理技術を応用した手法では、地形情報や周辺格子との関係性を学習することで、局地的な降水分布や気象イベントを高精度に再現できる可能性が示されている[2]。本研究では、昨年発表した機械学習によるバイアス補正手法をさらに発展させ、時間方向および空間方向の両方に対してダウンスケーリング可能な新たな手法を開発した。本手法では、全球数値予報モデルである GSM-GPV データを入力として用い、高解像度な解析値との関係を学習することで、局地気象の再現精度向上を目指す。本手法の予測性能を評価し、従来手法との比較を実施した。

２．方法

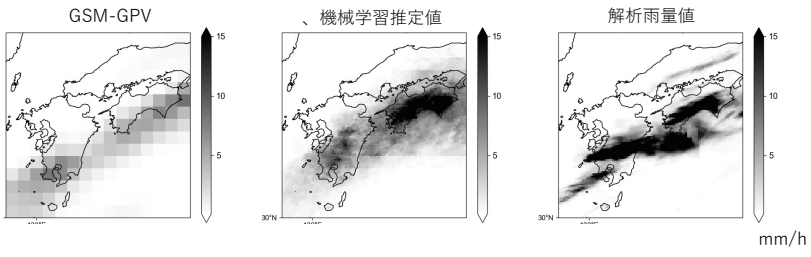
本研究では気象庁のデータを用いてダウンスケーリング・バイアス補正を実施した。機械学習では、解像度の 5 倍以上の現象を再現できる数値モデル特性を利用して、説明変数と目的変数を設定した。説明変数は、２週間、１ヶ月アンサンブル予報への適用を前提として、GSM-GPV の 7x7 格子点の範囲（便宜的に解像度を 0.4 度に調整）とし、目的変数はその中心の格子を 8x8 に分割した格子点に対応する解析雨量値、MSM-GPV（解像度を 0.05 度に調整）を採用した。機械学習モデルは実績のある回帰モデル（SVM-SVR）を採用した[2,3]。さらに GPS-GPV は 3 時間毎のデータが格納されているため、3 時間値から 1 時間値への時間ダウンスケーリングを実施した。便宜的に線形内挿により算出した 1 時間値を説明変数として採用し、1 時間ごとの降水量の推定値を求めた。ダウンスケーリング・バイアス補正システムの流れ図を図 1 に示す。学習期間を 2008 年~2018 年、推論（テスト）期間を 2019 年~2021 年として、3 年間の降水、気温、地上風等のダウンスケーリング・バイアス補正値を調査した。



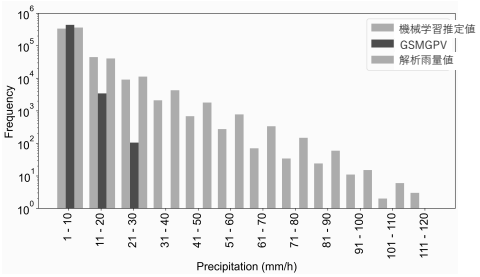
図―1　ダウンスケーリング・バイアス補正手法のフローチャート

３．結果

図２は 2020 年 7 月 4 日 0UTC の熊本豪雨事例での降水分布を示す。解析雨量では九州南部から四国にかけて降水帯が形成され、球磨川流域で強い降水が見られる。GSM-GPV も同様の降水帯が見られるが、降水量が全体的に小さく、若干南側に移動して形成している。機械学習推定値(MLDS-MSMGPV)は、基本的に GSM-GPV の降水帯に対応して形成するため、位置は必ずしも解析雨量と一致しないが、地形に対応した強い降水が形成されるなど、観測に近い特性を示した。機械学習手法の特性から、GSM-GPV よりもやや広い範囲に降水が広がる傾向が見られる。その結果、見逃し率(Miss)が大幅に改善されるものの、空振り率(FAR)が低下し、スレッドスコアが全体的に改善する傾向が見られた。図３は九州地域での 7 月の１時間降水量(3 年間）のヒストグラムを示す。GSM-GPV は 3 時間値を 1 時間値に内挿した値で、最小値で過大、最大値で過小となり時間変化の変動幅が小さくなる傾向があるが、基本的に低解像度のため強雨の再現性が良くない。しかし、機械学習推定値では、空間ダウンスケーリングにより地形に対応した降水が再現可能になり、さらに 1 時間値へのダウンスケーリングにより降水の時間変化が大きく、強雨の再現が大幅に向上した。



図―2　2020 年 7 月 4 日 0UTC の降水分布



図―3. 九州地域での 1 時間降水量のヒストグラム（7 月, 3 年間）。

４．まとめ

本研究で開発した機械学習を用いたダウンスケーリング・バイアス補正手法を GSM-GPV データに適用した結果、補正後の降水分布は、元の GSM-GPV と比較して観測値（解析雨量）に近い特性を示した。特に、降水強度や降水域の空間分布、降水頻度分布に改善が見られ、局地的な降水特性をより適切に再現できることが確認された。従来の統計的手法では、気象イベントごとに異なる降水特性を十分に表現することが難しかったが、本手法では気象場の空間構造を学習することで、降水イベントに応じたバイアス補正が可能であることを示した。また、時間方向のダウンスケーリングにより、降水頻度分布についても観測に近い特性が得られた。さらに、降水だけでなく、気温や地上風についても観測に近い空間分布および時間変動特性が得られ、本手法の有効性が確認された。今後は、水災害や農業分野への応用を視野に入れ、湿度や日射量などを含む多様な気象要素について詳細な検証を進める予定である。

参考文献

1) Maraun D, et al. Towards process-informed bias correction for climate change simulations. Nat Clim Change. 2017; 7:764–773.
2) Hess, P., & Boers, N. (2022). Deep learning for improving numerical weather prediction of heavy rainfall. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, *14*(3), e2021MS002765.
3) Yoshikane, T., & Yoshimura, K. (2022). A bias correction method for precipitation through recognizing mesoscale precipitation systems corresponding to weather conditions. *PLoS Water*, *1*(5), e0000016.
4) Yoshikane, T., & Yoshimura, K. (2023). A downscaling and bias correction method for climate model ensemble simulations of local-scale hourly precipitation. *Scientific Reports*, *13*(1), 9412.

キーワード：Machine learning, Downscaling, Bias correction, Weather forecast, Precipitation

ドローンを用いた上空の降水粒子測定における雨滴の捕捉に関する課題

富山県立大学大学院工学研究科　○藪田哲基
富山県立大学大学院工学研究科　馬渕慎也
富山県立大学工学部環境・社会基盤工学科　松原えりな
富山県立大学工学部環境・社会基盤工学科　吉見和紘

1．はじめに

近年，頻発化する豪雨やそれに伴う洪水等の災害が問題となっており，降水現象を面的かつ高精度に把握することが重要である．我が国では多様な降水観測手法があり，上空では気象レーダや気象観測衛星，地上では転倒ます型雨量計等の地上雨量計が用いられ，全国各地で降水観測が行われている．特に気象レーダは面的な降水観測が可能であり，降水量推定や降雨予測など多様な用途に活用されている．活用方法の一例として降水粒子の判別が挙げられる[例えば 1)]．これは気象レーダの偏波情報から雨，氷晶等の判別を行う手法であり，この情報を活用することで降雪量の定量推定や降雹予測による被害防止が期待される．一方で，判別結果の妥当性の検証には，上空の任意の定点の降水粒子の観測結果と気象レーダを用いた推定結果の比較が必要である．しかし，粒子判別結果の確からしさを定量的に示すことは，現在の観測技術でも課題が多い．降水粒子の観測測器としてディスドロメータが挙げられるが，地上に設置されるため上空の降水粒子の観測が困難である．上空ではビデオゾンデが用いられるが，風の影響により上空の任意の定点で観測を行うことが困難である．そのため，気象レーダによる粒子判別手法の妥当性を検証するための新たな観測手法の開発が必要であると考える．伊與田ら(2025)[2)]は全天候型ドローンにビデオゾンデの一種である Rainscope[3)]を搭載した測器(以下，MARSHALL)を用いて降水粒子の測定実験を行い，高度 1 m 程度で MARSHALL を用いた降水粒子観測の適用可能性を示した．一方で，100 m 程度の高度では雨滴の測定が困難になる課題が示された．この要因として上空の風の影響が考察されているが，実験時には風の測定が行われておらず，その影響は明らかになっていない．そこで本研究では MARSHALL に風向風速計を搭載し飛行中の風速と機体の姿勢を比較することで，雨滴測定中の MARSHALL の挙動を把握することを目的とした．

2．研究手法

実験日と飛行高度を表-1 に示す．実験は 2025 年 9 月から 2025 年 12 月の降雨事例を対象とした．実験場所は富山県立大学グラウンドの中央付近で行った．機器は MARSHALL を用い，新たに MARSHALL のアーム部に CALIPSO の Ultrasonic Portable Solar Wind Meter を搭載した．実験方法は，MARSHALL を空中でホバリングさせた状態で風速を測定し，MARSHALL のフライトレコーダから得られるピッチ角とロール角について比較を行った．MARSHALL の制御軸を図-1 に示す．ピッチ角とロール角は 0° を基準として正負の値で記録される．本研究ではドローンの純粋な傾きと風速を比較し飛行中の MARSHALL の挙動を把握する必要があるため，ピッチ角・ロール

表-1 風の測定日と測定高度

実験日	観測時間帯	高度(m)
9月12日	12:14～12:22	6
	12:28～12:35	60
	12:40～12:47	75
	12:52～12:35	80
10月16日	12:20～12:37	20
	12:41～12:59	60
	13:04～13:19	100
	13:29～13:35	140
10月27日	11:06～11:21	20
	11:36～11:53	60
	11:56～12:14	100
	12:17～12:37	140

実験日	観測時間帯	高度(m)
11月28日	14:11～14:26	20
	14:31～14:46	20
	14:52～15:07	20
	15:19～15:29	20
12月17日	15:19～15:30	20
	15:37～15:55	20
	16:06～16:21	20
	16:31～16:45	20

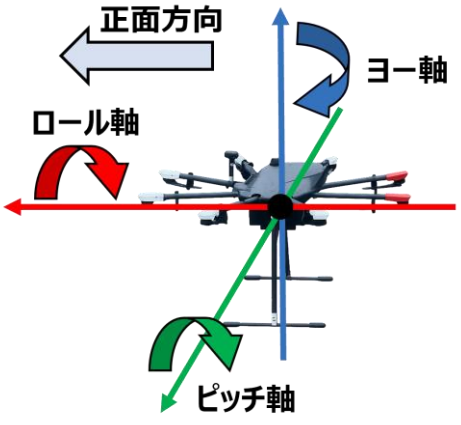
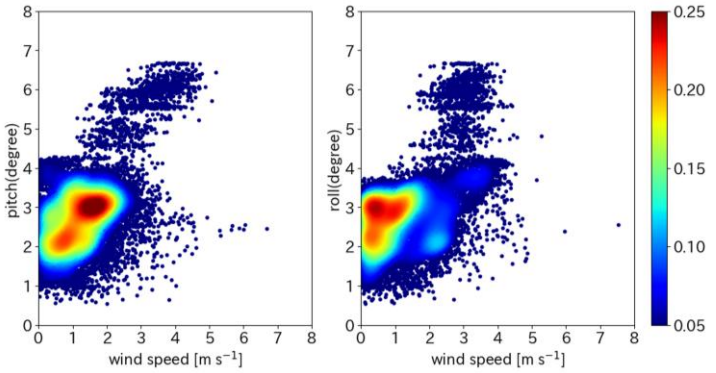


図-1 MARSHALL の制御軸のイメージ

角のそれぞれを絶対値をとり，風速との関係について比較を行った．風速は 1 秒に 1 データが得られるが，風は時間的な変化が激しいため，前 60 秒(60 データ) を用いて移動平均した値を用いた．フライトレコーダは 0.1 秒に 1 データが得られるため，10 データを平均して 1 秒に 1 データとした．なお，ヨー角はドローンの方位角を示すものであり姿勢制御に及ぼす影響が少ないと考えたため，本研究では用いていない．



図−2 ピッチ角(左図)，ロール角(右図)と風速の関係



図−3 雨滴検出の成功例(左図)と失敗例(右図)

３．結果と考察

図−2 は左図がピッチ角，右図がロール角を示し，横軸が風速，縦軸が角度であり，プロット数について密度プロットを行った．密度分布では，風速が 2 ms^{-1} 程度でピッチ角が 3°，風速が 1 ms^{-1} 程度でロール角が 3° の密度が卓越した．また，風速 1 ms^{-1} 程度でピッチ角 2° 付近でも密度が高くなった．高密度の部分ではピッチ角とロール角ともに正の傾きが確認でき，風速の上昇に伴った角度の増加傾向を示した．

図−2 の密度が高い部分は常時発生している傾きを示した．これにより Rainscope の検出窓の面積が雨滴に対して相対的に縮小したため，100 m 程度の高度では雨滴の捕捉率が低下したと考えられる．また，ピッチ角とロール角ともに風速が 4 ms^{-1} 程度で 5.5° から 7° の傾きとなった．この傾きに注目すると密度が高くないため，常時発生していたものではなく短時間に測定されたものであり，突発的に発生したといえる．これにより Rainscope のセンサ部が誤検出を起こし，降水粒子が検出されない画像が撮影され，粒子の捕捉率が低下したと考えられる．図−3 に雨滴検出の成功例と失敗例を示す．左図が成功例であり，緑線が雨滴の輪郭部である．センサ部の誤検出により必要以上に画像が撮影されることで，雨滴の検出ができない画像が増加し雨滴の捕捉率が低下したと考えられる．

４．まとめ

本研究は，MARSHALL に風速計を搭載し，雨滴の測定が困難になる原因の考察を行うことを目的とし，フライトレコーダに記録されたピッチ角，ロール角と風速の関係から飛行中のドローンの挙動の把握を行った．結果として，飛行中の MARSHALL はピッチ角，ロール角ともに 3° 程度の傾きで密度が高く，Rainscope の検出窓が降水粒子に対して相対的に縮小したと考えられる．また，5.5° から 7° 程度の傾きは密度は高くないが注目すると，短時間で突発的に発生した傾きと考えられる．これにより Rainscope のセンサ部で誤検出が発生し，図−3 の右図に示すような雨滴検出ができない画像が増加し，雨滴の捕捉率が低下したと考えられる．

【謝辞】

本研究は，JSPS 科研費 JP25K07940，JST【ムーンショット型研究開発事業】【JPMJMS2329】の支援を受けたものです．ここに記して謝意を表します．

参考文献

1) 中北ら：C バンド偏波レーダーを用いた降水粒子識別とビデオゾンデを用いた集中同期検証観測，京都大学防災研究所年報，第 51 号 B，2008.
2) 伊與田ら：低高度における自然環境下でのドローンを用いた降水粒子観測手法の検討，土木学会中部支部，2025.
3) Suzuki，K., et al.: Development of a new particle imaging radiosonde with particle fall velocity measurements in clouds. SOLA，19，261-268，2023.

キーワード：All weather drone, Capture rate, Pitch, Roll, Drone Attitude

北日本における線状降水帯の雨量と発生位置を支配する環境場の分析

東北大学大学院工学研究科　○田原　亮太郎
東北大学大学院工学研究科　　平賀　　優介

1. はじめに

線状降水帯は近年，全国各地で頻発し土砂災害や洪水氾濫を引き起こしており，防災上きわめて重要である．これまで既往研究は，線状降水帯の発生・維持に関わる要因として，対流不安定，鉛直シア，低層水蒸気輸送，水蒸気フラックス収束などの重要性を指摘してきた [1,2]．一方，従来研究の多くは線状降水帯による豪雨事例について，発生時の環境場の特徴を調べることに重点を置いており，豪雨をもたらす条件と，似た総観場・メソスケール環境でありながら豪雨に至らない条件とを十分に識別できていない．この課題に対し，近年はアンサンブル予報を用いた解析が有効な手段として用いられている．アンサンブル内には，強雨を再現するメンバー，弱い降水にとどまるメンバー，あるいは降水域が異なる位置に現れるメンバーが含まれるため，極端降水の有無や位置ずれを支配する環境要因を抽出できる．そこで本研究は，アンサンブル予報を用いて，線状降水帯の雨量および発生位置を制御する環境要因を明らかにすることを目的とする．

2. 手法

対象事例は，2022 年 8 月 3 日から 4 日にかけて山形県・新潟県において発生した線状降水帯事例である(以降「AUG22」)．準停滞性前線が北日本に停滞し，東シナ海から流入する湿潤多湿な空気が日本海を経由し前線に流入した．また，メソαスケールの下層低気圧が準停滞性前線上にあり，東進した．この下層低気圧は東進途中に 2 つに分離し，一つは太平洋側に東進，他方は日本海上に弱い低気圧性循環として停滞した．

数値気象モデルに Weather Research and Forecasting model version 4.6.0 を使用し，対象事例のアンサンブル計算を実施した．日本域を囲む第 1 領域(水平解像度: 12km)と，東北・北陸地域を囲む第 2 領域(水平解像度: 4km)が計算領域として設定された．鉛直解像度は 45 層(地表面～50hPa)である．パラメタリゼーションは Hiraga and Tahara (2025) と同様である [3]．初期条件・境界条件に，FNL0.25 Degree Global Tropospheric Analyses and Forecast Grids（時間解像度 6 時間，空間解像度 0.25 度×0.25 度，以下，FNL 再解析）を使用した．また，本研究はラグ平均予報法 [4]をもとに 288 メンバーのアンサンブル計算を実施した．ラグ平均予報法は開始時刻をずらした複数のシミュレーションを行う簡易なアンサンブル生成手法である．本研究は 10 分間隔の初期・境界値を，6 時間解像度の FNL 再解析データのうち隣接する 2 時刻の線形補間を用い 48 時間分作成し，計 288 メンバーのアンサンブル計算を実施した(2022 年 7 月 31 日 0:00～2022 年 8 月 2 日 0:00 UTC)．

本研究は，降水特性を支配する環境条件を調べるため，288 個のアンサンブルメンバーを，降水強度と降水域の空間分布に基づいて分類した．まず，対象領域(図-1a)，赤線矩形領域)における 24 時間領域平均降水量を指標とし，上位 5 パーセンタイルに含まれる 15 メンバーを降水強度の高いグループ，下位 5 パーセンタイルに含まれる 15 メンバーを低いグループと定義した．次に，降水域の位置ずれを評価するため，d02 領域の 24 時間積算降水量分布に経験的直交関数(EOF)解析を適用した．EOF 解析によりアンサンブル内における降水分布の主要な変動パターンを抽出し，第一主成分(PC1)の値に基づいて分類を行った．PC1 の上位および下位 5 パ

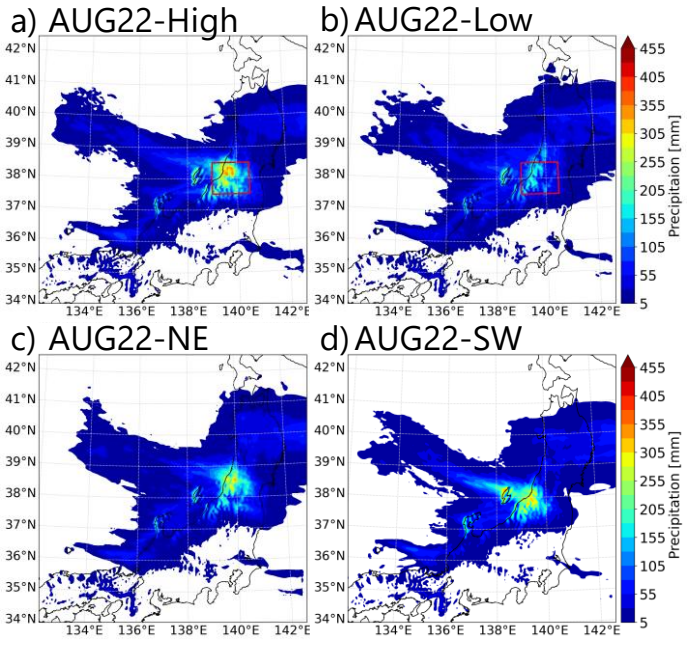


図-1　各グループ平均の 24 時間累積降水量

ーセンタイルに属する各 15 メンバーを，降水域の代表的な位置ずれを示すグループとして定義した．

3. 結果・考察

図−1 に降水強度および空間的位置ずれに基づく分類結果を示す．降水強度の高いメンバーでは，250 mm を超える降雨域が広範囲に分布する一方，降水強度の低いメンバーでは，そのような強雨域は明瞭に見られなかった．また，EOF 解析に基づく空間的位置ずれの分類では，降水域が解析領域の北東側に位置するメンバー，および南西側に位置するメンバーが特定された．これは，第一主成分が AUG22 における降水域の主要な位置ずれパターンを捉えていることを示している．以降，降水強度の高いメンバーを AUG22-High，低いメンバーを AUG22-Low と呼ぶ．また，降水域の位置が異なるメンバーを，それぞれ AUG22-NE，AUG22-SW と表記する．

降水強度および降水域の位置ずれは，水蒸気輸送量やその経路，水蒸気フラックス収束の強度やその位置により主に規定される．**図−2** に各グループにおける鉛直積算水蒸気フラックス(IWVF)の差分と，その発散・収束(IWVF div.)の空間分布を示す．降水量の大小に関して，降水強度の高いグループ(AUG22-High)において，降水域周辺に北西から流入する IWVF が高く広範囲に分布する一方，降水強度の低いグループ(AUG22-Low)において，解析領域に流入する鉛直積算水蒸気フラックスの値は相対的に小さい．また，AUG22-High において解析領域付近に明瞭な水蒸気収束域が形成・維持される一方，AUG22-Low において強い収束域は形成されない．降水域の位置ずれに関して，北東側に降水域が分布するグループ(AUG22-NE)において，鉛直積算水蒸気フラックスの高い領域は北部に見られる一方，南西側に降水域が分布するグループ(AUG22-SW)において，鉛直積算水蒸気フラックスの高い領域は南部に見られる(**図−2b**))．また，降水域の位置に対応し，収束域の形成位置は異なる(**図−2e, f**))．

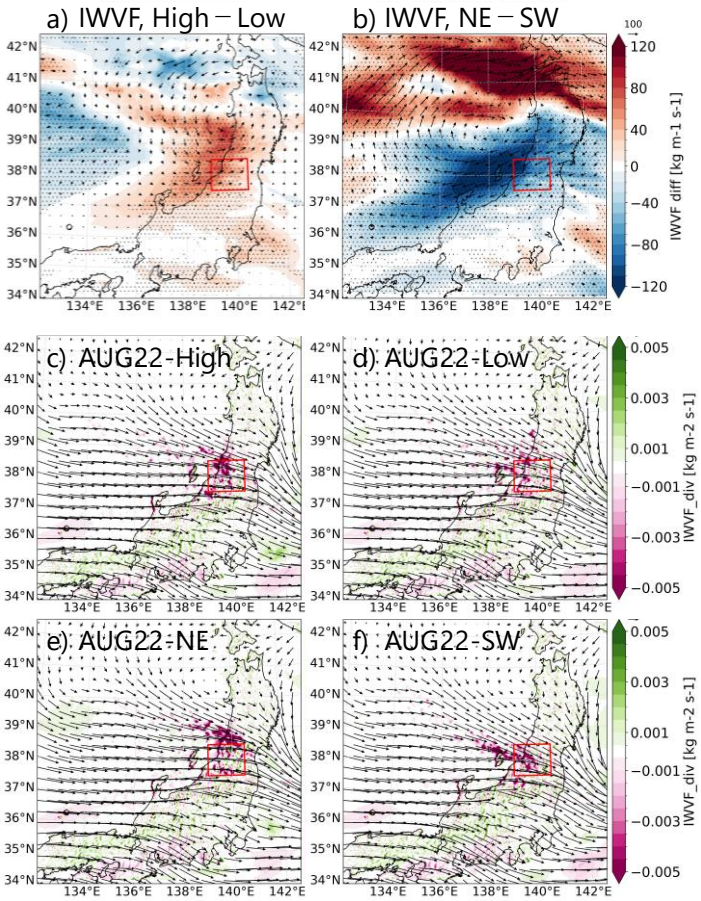


図 −2a) AUG22-High と AUG22-Low，および b) AUG22-NE と AUG22-SW の IWVF の差分．c)−f) 各グループの IWVF div.

【謝辞】
本研究の一部は，JSPS 科研費(26KJ0582)の支援を受けて実施されました．記して感謝の意を表します．

参考文献

1) Kato, T., & Goda, H. (2001). Formation and maintenance processes of a stationary band-shaped heavy rainfall observed in Niigata on 4 August 1998. Journal of the Meteorological Society of Japan. Ser. II, 79(4), 899-924.
2) Tahara, R., Hiraga, Y., & Kazama, S. (2025). Climate change effects on the localized heavy rainfall event in northern Japan in 2022: Uncertainties in a pseudo-global warming approach. Atmospheric Research, 314, 107780. https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2024.107780
3) Hiraga, Y., & Tahara, R. (2025). Sensitivity of localized heavy rainfall in Northern Japan to WRF physics parameterization schemes. Atmospheric Research, 314, 107802. https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2024.107802
4) Hoffman, R. N., & Kalnay, E. (1983). Lagged average forecasting, an alternative to Monte Carlo forecasting. Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography, 35(2), 100-118.

キーワード： Mesoscale Convective System, Ensemble-Based Analysis, 線状降水帯

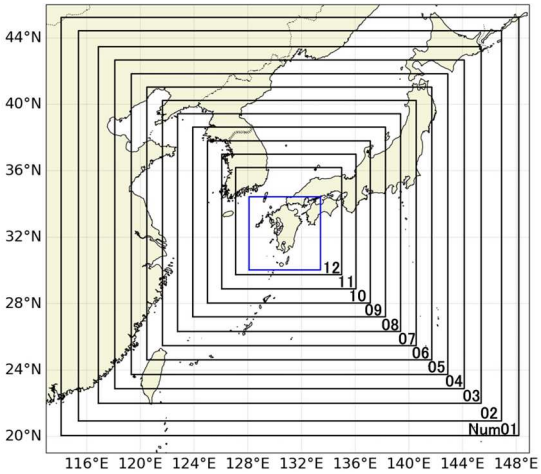
WRF による九州地方の線状降水帯再現に及ぼす側面境界配置の影響評価

中央大学大学院理工学研究科　○髙崎昌幸，豊田悠太郎
中央大学理工学術院　手計太一

１．はじめに

東シナ海からの暖湿流の流入路に位置する九州地方では，梅雨期を中心に停滞前線に伴う線状降水帯が頻発し，河川氾濫や土砂災害が社会的に大きな課題となっている．一方，線状降水帯の形成および維持には水蒸気供給や対流の組織化といった複数の過程が関与するため，気象モデルによる再現や予測は依然として課題が残されている[1)]．また Du et al[2)]は，境界条件が気象モデルにおける降雨の再現に及ぼす影響について指摘している．加えて，東シナ海からの暖湿流は側面境界を通じてモデル領域内へ導入されるため，側面境界の空間配置は水蒸気供給場の再現性に影響を及ぼす可能性がある．しかし，九州地方における線状降水帯の形成に重要な東シナ海起源の暖湿流を適切に表現するために，側面境界の空間配置が降水帯の再現に与える影響を系統的に検討した研究は限られている．

そこで本研究の目的は，数値実験を用いて側面境界の空間配置に起因する流入場，特に低層の水蒸気輸送場の違いが，九州地方における線状降水帯の再現性に与える影響を評価することである．



図−1　計算領域（黒線：第 1 領域，青線：第 2 領域）

表−1　数値実験の計算条件
（D1：第 1 領域，D2：第 2 領域）

WRF/ARW4.5.2							
積分時間	Event 1	D1, D2:2017/07/02 18 UTC-2017/07/06 18 UTC					
	Event 2	D1, D2:2019/08/24 18 UTC-2019/08/28 18 UTC					
格子間隔, 時間ステップ	D1：12 km, 60 s / D2：4 km, 20 s						
格子サイズ（D1）	Num 01	Num 02	Num 03	Num 04	Num 05	Num 06	
	226×226	211×211	196×196	181×181	166×166	151×151	
	Num 07	Num 08	Num 09	Num 10	Num 11	Num 12	
	136×136	121×121	106×106	91×91	76×76	61×61	
格子サイズ（D2）	124×124						
積雲対流スキーム	D1 : cu 1 / D2 : OFF						
大気境界層スキーム	D1 : pbl 4 / D2 : pbl 4						
雲微物理スキーム	D1 : mp 10 / D2 : mp 10						
地表面スキーム	D1 : sfclay 4 / D2 : sfclay 4						

２．数値実験の概要

(1)気象モデルと対象事例：本研究で用いた気象モデルは，領域気象モデル Weather Research & Forecasting Model（以降，WRF）である．WRF は米国の NCAR/NCEP を中心として短期の気象予測用に開発された完全圧縮・非静力学方程式系に基づくメソ気象モデルである．本研究で解析対象とした事例は，九州北部地方において線状降水帯による記録的な豪雨をもたらした 2 つの事例（Event 1：平成 29 年 7 月九州北部豪雨，Event 2：令和元年 8 月九州北部豪雨）である．

(2)計算条件：図−1 は本数値実験の計算領域である．第 1 領域が東シナ海を十分に包含するケースを Num 01 と定義し，Num 01 を基準として第 1 領域を東西・南北方向に 90 km ずつ縮小させた計 12 ケースを作成した．物理過程，水平解像度，鉛直層数，計算期間，ネスティング条件は全ケースで統一した．また，表−1 は本数値実験の計算条件である．初期条件および境界条件は，6 時間間隔，空間解像度 0.25 度の NCEP Final Operational Global Analysis（FNL）データを用いた．またデータ同化は行わず，双方向ネスティング（Two-Way nesting）を適用した．

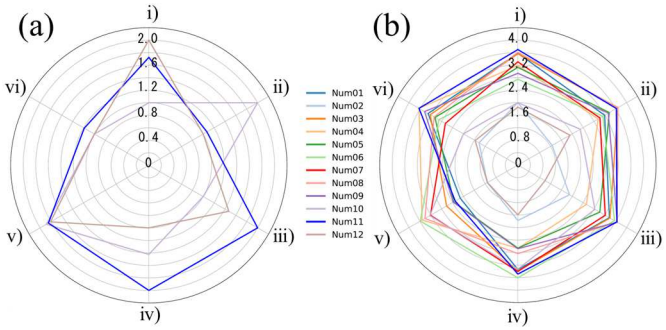
３．評価方法

本研究では，楕円近似法[3)]を用いて線状降水帯の再現性を評価した．楕円領域の抽出に際しては，最大 3 時間積算降水量（抽出Ⅰ）では 100 mm，最大 24 時間積算降水量（抽出Ⅱ）では第 2 領域内の 95 パーセンタイル値を降水量閾値とした．また，著者ら[4)]と同様に，抽出された楕円領域に対して降水特性を表す指標として，i)面積積分総降水量，ii)降水分布の不均一度，iii)強雨域面積率，iv)楕円中心位置，v)降水ピーク時刻，vi)降雨継続時間を定義した．ここで，ii)の不均一度には Gini 係数を用いた．また，iii)の強雨域面積率は，楕円領域内に占める強雨域の面積割合とし，強雨域は抽出Ⅰでは 130 mm，抽出Ⅱでは全国合成レーダーGPV（以降，GPV）の楕円内降水量の上位 10 %に相当する降水量を閾値とし，当該閾値以上の降水量を示す範囲とした．各指標のスコアは，GPV を真値とする相対誤差に基づいて 0〜1 の範囲に正規化した後，線状降水帯が形成されないケースと区別するため一律 1 を加

算し，抽出Ⅰと抽出Ⅱの結果を合算したスコアを用いてレーダーチャートを作成した．なお，正規化は値が大きいほど GPV との一致度が高くなるように設定した．

４．評価結果

(1)降水域の抽出：抽出Ⅰでは，Event 1 は全ケースで所定の閾値を満たさず，すべて評価対象外となったのに対し，Event 2 は全ケースで閾値を満たした．また抽出Ⅱでは，Event 1 は Num 01～Num 09 の 9 ケースが評価対象外となり，Event 2 では Num 02 および Num 12 の 2 ケースが評価対象外となった．これより，Event 1 では短時間強雨および降雨持続性の再現は限定的であったことが示された．一方，Event 2 では短時間強雨は概ね再現されたものの，降水の持続性に課題が残るケースが存在した．以上より，短時間強雨の再現と降水の持続性は異なる再現特性として評価する必要があることが示唆された．



図−2　正規化した値から作成したレーダーチャート
（(a)：Event 1，(b)：Event 2）

(2)総合評価：図−2 は正規化した値から作成したレーダーチャートである．複数指標を総合的に評価するため多角形面積を総合スコアとして用いた．Event 1 では評価対象 3 ケースのうち Num 11 が最大面積を示し，Event 2 においても Num 11 が各指標で高い値となり，最大面積を示した．ただし，レーダーチャートの多角形面積による評価は，指標間の重みに依存する可能性がある．そこで，各指標の重み係数を 0～1 の範囲で 0.1 刻みに変化させる感度分析を行い，約 170 万通りの組み合わせについて多角形面積を算出した．さらに，各組み合わせにおける最大面積となるケースの出現回数を集計した結果，両事例とも Num 11 の出現回数が最も多く，Num 11 は複数の指標に対して安定した再現性を示した．

(3)水蒸気輸送量解析：各ケースに対して西側境界および南側境界から流入する低層水蒸気輸送量を WRF の出力値および FNL 解析値から算出し，回帰分析により両者の関係を定量化した．水蒸気輸送量は比湿と境界面に対する風速の法線成分の積を地表面から 850 hPa まで鉛直積分して算出した．その結果，両事例において Num 11 は決定係数が 0.98 以上と最も高く，RMSE も 1.6×10^{7}（kg/m・s）と最小値を示した．このことから，Num 11 では FNL データと整合的な流入場が内部領域へ導入されたと考えられる．一方，他のケースでは流入風の位相や強度に差異がみられ，流入場の再現性の違いが低層の水蒸気供給や収束構造を介して対流の発生，発達に影響した可能性がある．

５．まとめ

本研究では，数値実験を用いて側面境界の空間配置に起因する低層の水蒸気輸送場の違いが，九州地方における線状降水帯の再現性に与える影響を複数の指標に基づくレーダーチャートを用いて評価した．その結果，本研究で定義した Num 11，すなわち西側境界を東シナ海の北東部に配置したケースが両事例で最も高い評価を示した．さらに，低層の水蒸気輸送場についても Num 11 は FNL 解析データと高い整合性を示し，側面境界から供給される水蒸気場が適切に再現されていた．以上より，本研究で対象とした 2 事例および数値実験条件の範囲では，側面境界からの流入場の再現性が降水の再現性に影響を及ぼすことが示され，Num 11 の境界配置が九州地方における線状降水帯の再現に有利であると結論付けられた．

1) Kato, T.：Quasi-stationary Band-Shaped Precipitation Systems, Named “Senjo-Kousuitai”, Causing Localized Heavy Rainfall in Japan, *Journal of the Meteorological Society of Japan. Ser. II*, Vol.98, No.3, pp.485-509, 2020.
2) Du et al：Exploring suitable domain size for high-resolution urban rainfall simulation, *Urban Climate*, Vol.61, 2025.
3) 辻本浩史ら：現業レーダデータを用いた土砂災害事例における線状降水帯の抽出，砂防学会誌, Vol.69, No.6, pp.49-55, 2017.
4) 髙崎昌幸ら：九州地方を対象とした線状降水帯再現を規定する WRF の境界条件の検討，第 53 回土木学会関東支部研究発表会要旨集，Ⅱ-83, 2025.

キーワード：WRF, Boundary conditions, Linear precipitation bands, Torrential rain, Kyushu region

内陸アラスカにおける植生変化が蒸発散と降水に与える影響

名古屋大学 環境学研究科 地球環境科学専攻 ○奥村直旦
大阪公立大学 農学研究科 緑地環境科学専攻 植山雅仁
信州大学 理学部 理学科 岩田拓記
名古屋大学 宇宙地球環境研究所 檜山哲哉

1．はじめに

北極域では全球平均を大きく上回る速度で温暖化が進行している。温暖化に伴う永久凍土融解や森林火災の頻発により、内陸アラスカでは常緑針葉樹林から落葉広葉樹林への植生遷移が生じている可能性が指摘されている。このような植生遷移は、熱・水・炭素循環を通じて大気と陸面の相互作用を変化させるため、その影響を定量的に把握することは気候予測において重要な課題である。

本研究では、内陸アラスカを対象に、植生変化が水循環に与える影響を解明することを目的に、陸面過程モデル Noah-MP と領域気象モデル WRF を結合し、大気―陸面相互作用を考慮した数値実験を行った。これまでの研究において、内陸アラスカのフラックス観測データに基づき、クロトウヒ林とシラカバ林に対する Noah-MP のパラメタリゼーションを行った。本発表では、この構築済みのモデル基盤を用い、現在植生（クロトウヒ林）がシラカバ林に遷移したと仮定した場合の地域気象、特に降水への影響を評価した結果を示す。

2．方法

本研究では、陸面過程モデル Noah-MP と領域気象モデル WRF（version4.7.1）を用いた数値シミュレーションを実施した。計算領域はフェアバンクスを中心としたアラスカ全土を覆う広領域（領域 1：解像度 15 km）、アラスカ内陸部（領域 2：解像度 5 km）の 2 つのドメインを設定し、Two-way ネスティング手法を用いて各領域間のフィードバックを考慮した。また、大気境界層や雲の構造を精緻に捉えるため、鉛直方向は 60 層とした。

初期および境界条件には ERA5 再解析データ（空間解像度 0.25°）を 6 時間ごとに使用し、海面水温（SST）の更新も適用した。対象期間は 2024 年 6 月上旬および 7 月上旬である。本シミュレーションにおける WRF の主要な物理過程スキームの設定を表 1 に示す。実験デザインとして、現在の植生分布（クロトウヒ林）を用いた対照実験（Control）と、領域内のクロトウヒ林をすべてシラカバ林に変更した感度実験（Sensitivity）を実施した。モデルの出力結果はすべてアラスカ標準時に変換して解析を行い、現地の気象の日変化を評価した。

表 1. WRF モデルの主要な物理過程スキームの設定

物理過程	採用したスキーム
雲物理過程	Thompson scheme
長波・短波放射過程	RRTMG scheme
大気境界層	MYNN 2.5 level TKE scheme
接地境界層	MYNN surface layer scheme
陸面過程	Noah-MP scheme
積雲パラメタリゼーション	Kain-Fritsch（領域1のみ適用）

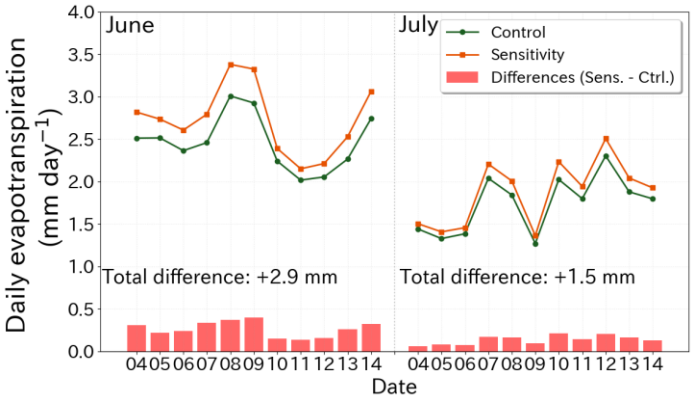


図 1. 領域 2 における各実験の日積算蒸発散量の日々変化。緑線が現在植生（クロトウヒ林）、赤線がシラカバ林に変化させた実験結果を示す。

3．結果および考察

決定されたパラメータを用いた Noah-MP を WRF に結合させ、現在植生による対照実験とシラカバ林への遷移を想定した感度実験を行った結果、感度実験では両期間を通じて顕熱フラックス（H）の減少と潜熱フラックス（LE）の増加が確認され、植生変化によってボーエン比が低下した。LE の増加量を蒸発散量に換算すると、6 月で 2.9 mm、7 月で 1.5 mm で

あった（図 1）。またそれに伴う大気境界層（PBL）高度の低下が確認された（図 2）。この熱力学的応答が降水量に与える影響を詳細に解析したところ、背景となる大気場（背景場）の違いにより、増加の程度に明瞭な差が現れた。7 月上旬のアラスカ内陸部は、大規模な低気圧性循環の影響により、移動性の層状雲に覆われていた。低気圧は期間を通じて断続的に通過していた。水蒸気フラックスも大きく、降水の大部分（ERA5 で約 80%）が総観規模の強制力による大規模降雨で占められていた。このような背景場では、植生変化に伴う LE の増加による降水量の増加率は約 2.3%にとどまった（図 3 下）。一方、6 月上旬は総観規模擾乱の影響が相対的に小さく、低気圧の影響はほとんどなかった。また、日射による陸面加熱をきっかけとした局地的な対流性降雨が確認された。7 月と比較して水蒸気の移流が少なかったため、植生変化に伴う PBL 高度の低下や水蒸気供給の増加が、大気の不安定度を通じてより敏感に積雲対流を促した。その結果、6 月の降水量の増加率は約 6.5%に達した。しかし WRF モデル内での対流性降雨については 7, 11 ,12 日で減少が見られた（図 3 上）。これらの日では、H の減少により、対流活動が抑制されたものと考えられる。大気—陸面相互作用に着目すると、純放射量が大きい 6 月は活発な地表面エネルギー交換が確認されたのに対し、7 月における陸面からのフィードバック効果は相対的に限定的であったと推察される。

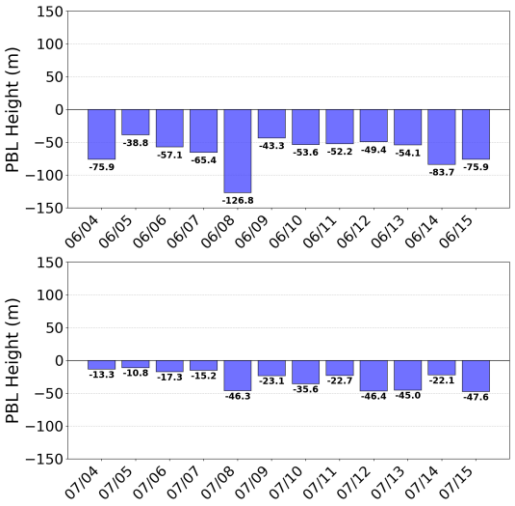


図 2. 領域 2 におけるクロトウヒ林とシラカバ林の日平均 PBL 高度の差の日々の変化。（上図：6 月、下図：7 月）

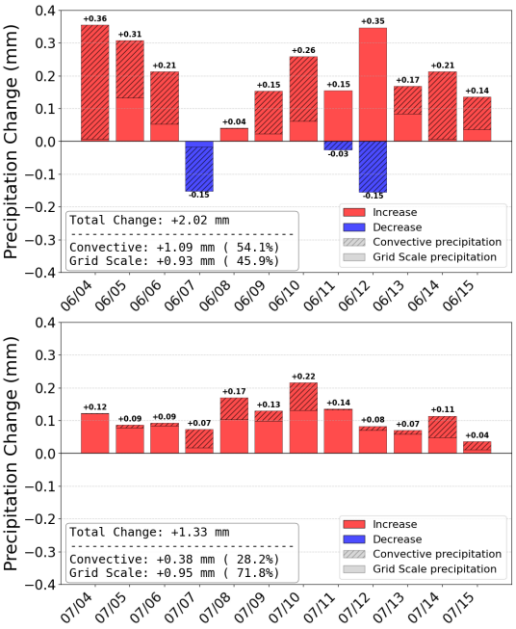


図 3. 領域 2 におけるクロトウヒ林とシラカバ林の日積算降水量の差の日々の変化。棒グラフの塗りつぶし部分は格子スケール降雨、斜線部分は対流性降雨の寄与を示す。左下のボックスは期間合計の変化量およびその内訳である。（上図：6 月、下図：7 月）

以上の比較から、アラスカ内陸部における広葉樹林化は一貫して大気下層を湿潤化させる効果を持つものの、それが降水量の増加に結び付くかどうかは、総観規模の背景場や水蒸気の移流の強さに依存することが明らかとなった。

４．まとめ

本研究では、内陸アラスカを対象とした領域気象モデル（WRF）による数値シミュレーションを通じて、常緑針葉樹林（クロトウヒ林）から落葉広葉樹林（シラカバ林）への植生遷移が夏季の地域気象および水循環に与える影響を評価した。シミュレーションの結果、広葉樹林化に伴って潜熱フラックスが増加（ボーエン比が低下）し、PBL の発達が抑制されることで、大気下層が湿潤化することが明らかになった。この大気下層の湿潤化が実際の降水量増加として顕在化するかどうかは、背景場に強く依存することが示された。すなわち、総観規模擾乱に伴う大規模降雨が支配的であった 7 月と比較して、日射による陸面加熱に伴う局地的な対流活動が卓越していた 6 月においては、降水量増加へのフィードバックがより顕著に現れた。

結論として、内陸アラスカにおける植生遷移に伴う大気—陸面相互作用の変化は、地域の水循環を加速化させる効果をもつが、その影響度は水蒸気移流の強さや総観規模擾乱の有無によって変動する。本研究で得られた知見は、水循環メカニズムの理解にとどまらず、将来的な森林火災リスクの評価や永久凍土の融解、さらには北極域全体の環境変動予測において重要な示唆を与えるものである。

キーワード：Vegetation change, Evapotranspiration, Precipitation, WRF

モンゴル北部・ヘンティー山脈の夏季降水に対する陸面の寄与

名古屋大学 大学院 環境学研究科　○ 沢田芙祐子
名古屋大学 宇宙地球環境研究所　檜山哲哉
名古屋大学 宇宙地球環境研究所　藤波初木

１．はじめに

モンゴルはユーラシア大陸の半乾燥域に位置する中緯度の内陸国であり、南部には砂漠、北部には森林ステップが広がっている。モンゴル北部において、夏季降水量（6－8 月）が年降水量の約 60%を占めている[1]。そのため、夏季降水はモンゴルの水資源や生態系に大きな影響を与えている。夏季のモンゴルでは、主に低気圧性擾乱[2]に伴って降水がもたらされる一方で、陸面の影響が大きい[3]ことから対流性降水も発生する。しかし、これらの降水への寄与や大気循環との関係についての研究は限られている。特に陸面過程が降水や大気水循環に与える影響について定量評価した研究はほとんど行われてこなかった。本研究では、モンゴル北部における夏季降水に対して、陸面過程がどの程度寄与しているのかを定量的に評価することを目的とする。

２．データ

本研究では夏季降水量を調べるために MSWEP（Multi-Source Weighted-Ensemble Precipitation V2.8）[4]を使用した。MSWEP は高空間解像度の格子点降水量データで、地上雨量計、衛星データによる推定降水量、ERA5（ECMWF Reanalysis v5）大気再解析デ―タの降水量を統合して作られている。MSWEP の時間解像度は 3 時間、空間解像度は 0.1 度格子である。また、低気圧など降水システムに関わる大気循環場の特徴を調べるために、大気再解析データ ERA5 を使用した。ERA5 の時間解像度は 1 時間、空間解像度は 0.25 度格子である。さらに、蒸発散量を検討するために GLEAM（Global Land Evaporation Amsterdam Model）[5]を使用した。本研究の対象期間は 2014－2024 年の夏季（6－8 月）とする。

３．午後の降水と日降水量の関係

MSWEP を解析した結果、夏季のモンゴルではハンガイ脈周辺とヘンティー山脈周辺で降水量が多いことが分かった。両山脈における夏季降水量は、解析対象期間のうち、2016 年に最小値、2020 年に最大値を示した。また、両山脈では午後（地方時間 11:00－20:00）に降水量が極大となる日変化の特徴がみられた。この時間における降水を午後降水とし、日降水量のうち午後降水量が 50%以上を占める日を午後降水日と定義し、その特徴について解析を行った。

夏季降水量に占める午後降水量の割合は、2016 年は 69.2%、2020 年は 83.3%であり、いずれの年においても 5 割以上を示した。また、午後降水日の日数は、2016 年が 57 日、2020 年が 72 日であった。両年とも、多雨日（各年の日平均降水量よりも多い日）の翌日以降に午後降水日が多い傾向がみられた。これは、低気圧性擾乱による降水が陸面を湿潤化し、低気圧通過後の日射による陸面加熱が対流性降水の発生を促した結果であると考えられた。

４．蒸発散量の検討と降水への寄与

午後降水日の傾向から低気圧が通過した日は水蒸気フラックス収束が降水に大きく寄与するが、低気圧通過後は陸面からの蒸発散の寄与が大きくなると考えられた。そこで、陸面過程としての蒸発散に着目し、ERA5 と GLEAM の蒸発散量データおよび大気水収支解析から評価した蒸発散量の比較と検討を行った。なお、大気水収支解析における蒸発散量は，可降水量の時間変化と降水量の和から、水蒸気フラックス収束を差し引くことで算出した。降水量データとして ERA5 と MSWEP の 2 種類を用いたため、それぞれの場合について蒸

発散量を算出した。以上より得られた 4 種類の蒸発散量の代表値として、中央値を用いた。

その結果、多雨日の後に蒸発散量が増加し、その後減少するが、次の多雨日後に再び蒸発散量が増加する傾向が見られた（図 1）。また、ほとんどの多雨日には水蒸気フラックス収束量が、少雨日には蒸発散量が、降水量に大きく寄与していた。多雨日の翌日以降には、数日から 1 週間程度の期間で比較的大きな蒸発散量が継続し、午後降水日と一致する傾向にあった。降水に対する蒸発散量の割合は、午後降水日において 108.8%（2016 年）、65.1%（2020 年）、それ以外の日で 152.3%（2016 年）、82.1%（2020 年）であった。したがって、2016 年のように降水量が少なく乾燥した年には降水量に対する蒸発散量の割合が大きいことがわかった。また、午後降水日以外においても降水量に占める蒸発散の割合が大きいことから、低気圧性擾乱による降水においても蒸発散が大きく寄与していることが示唆された。

(a) 2016 年　　(b) 2020 年

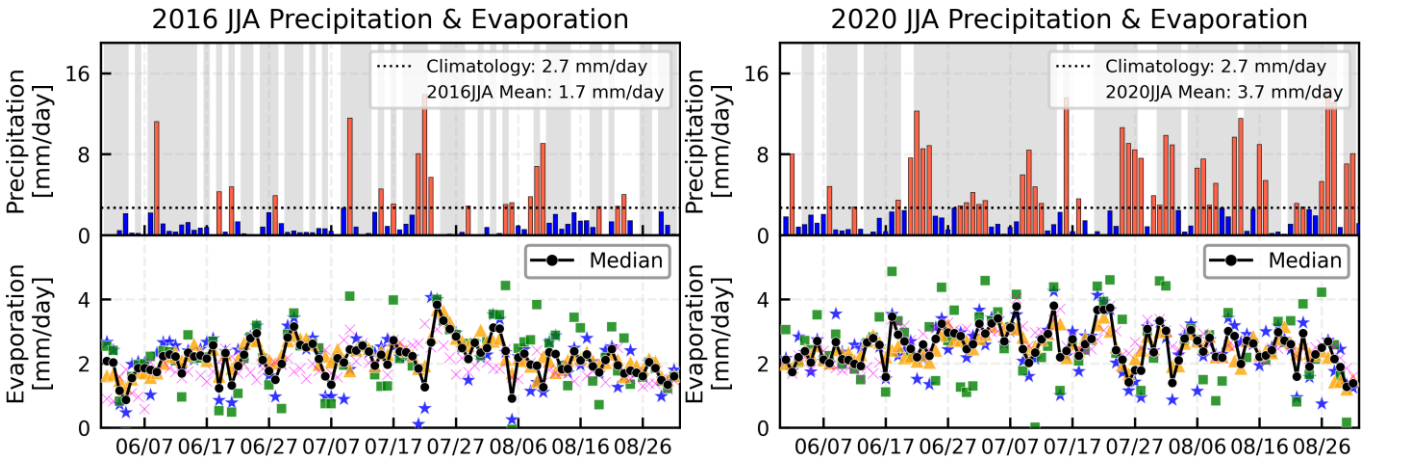


図 1：2016 年(左)と 2020 年(右)の日降水量と蒸発散量の時系列
上図は日降水量を示し、2014－2024 年の夏季平均を基準として、平均以上の日を赤、平均以下の日を青で示す。また、陰影は午後降水日を表す。下図は大気水収支解析に基づく蒸発散量（青、緑）、ERA5（黄）と GLEAM（ピンク）による蒸発散量データと、これらの中央値（黒）を示す。

5．まとめ

モンゴル北部の夏季降水には低気圧性擾乱に伴う大気循環による寄与に加え、陸面状態の変化を介した蒸発散が関与している可能性が示された。特に、降水イベント後に陸面が湿潤化し、その後の蒸発散の増加が午後降水の発生と対応する傾向が確認された。一方で、低気圧通過時には水蒸気フラックス収束が支配的であり、降水の発生メカニズムは大気循環と陸面過程の両方に依存していると考えられた。今後はこれらの寄与をより定量的に評価し、陸面過程が降水変動に与える影響をより詳細に解析する予定である。

【謝辞】
本研究は、科学研究費補助金・基盤研究(A)（課題番号 25H00507）の研究経費の一部を使用した。

【参考文献】

[1] Yatagai and Yasunari, *Journal of the Meteorological Society of Japan*, **73**, 909–923, 1995.
[2] Komatsu et al., *Journal of the Meteorological Society of Japan*, **99**, 1003−1022, 2021.
[3] Koster et al., *Science,* **305**, 1138−1140, 2004
[4] Beck et al., *Bulletin of the American Meteorological Society*, **100**, 473–500, 2019.
[5]Miralles et al., *Scientific Data,* **12**, 416, 2025.

キーワード：大気–陸面相互作用、夏季降水量、日変化、蒸発散量、大気水収支

全球数値予報モデルの降水を用いたキキクル週間予報― 台風事例を対象とした初期的評価 ―

気象庁気象研究所　応用気象研究部　○池田翔
気象庁気象研究所　応用気象研究部　太田琢磨

１．はじめに

気象庁キキクル（危険度分布）[1]は、浸水害・洪水害・土砂災害の発生の高まりを表す各種指数と、全国の気象台が収集した実際の災害記録との対応関係から、目先の避難に直結する情報を発信できる点に、ほかの水文モデルにはない最大のアドバンテージを持つ。ところが、例えば現状の洪水キキクルでは 3 時間先までの予測に限られ、住民の早期避難や農業利用・ダム管理などといった社会経済活動への利用にあたっては、リードタイムが十分とは言い難い。そこで我々の研究では、数時間～数日スケール（短・中期予報）の気象モデルの降水を用いて、リードタイムを延長したキキクルの応答について調査し、エンドユーザーの役に立つ形に纏めていきたいと考えている。本報告では、全球モデルの降水を入力した週間スケール（5 日先まで）のキキクルの応答について、初期結果を報告する。

２．データと手法

気象庁キキクル（浸水・洪水）と全球モデルによる降水を用いて、日本域を対象に、5 日先までの予報実験を行った。降水データは、予報の確からしさを見積もる複数シナリオを提示することを目的に、気象庁とヨーロッパ中期予報センター（以降それぞれ GSM、ECMWF と記載）による全球予報の 1 時間降水予報値を用いた。2024 年 8 月 29 日の朝に九州地方に上陸した台風第 10 号の事例について、2024 年 8 月 25 日～28 日 00UTC 初期値の降水データを用い、予報時間を 120 時間としハインドキャストを行った。なお、タンク初期値は解析雨量を用いて 1 か月以上スピンアップを行い、危険度判定（注意報・警報）には 2023 年 6 月 8 日の基準値を用いた。

３．結果

九州南部で降水が強まり、指定河川で氾濫危険情報が発表された時刻を含む、8 月 28 日 01 時（UTC）～29 日 00 時（UTC）について検証を行った結果を記す。まず台風の進路予測について、両モデルともに 3 日前から九州の南の海上から九州地方に上陸する予測に成功した（図略）。降水量については、両モデルとも過少予測だが、本期間では GSM のほうが相対的に予測成績は良好だった（図略）。したがって、両モデルともに浸水・洪水キキクルの危険度予測も過少傾向だったが、GSM のほうが相対的に予測成績は良い傾向が見られた。

図 1 に、九州地方における洪水キキクルの危険度分布の予測を示す。解析雨量を入力した危険度分布（図 1a）では、鹿児島県や宮崎県、大分県を中心に警報級以上のメッシュが拡がる。GSM による 3 日前予測（FT = 72：図 1c）では、九州北部地方の長崎県や佐賀県で警報級の危険度が予測された。2 日前（FT = 48：図 1d）及び前日（FT = 24：図 1e）予測では、鹿児島県で注意報以上の危険度は予測できたが警報級のメッシュの拡がりは狭く、さらに分水嶺の東側に位置する宮崎県、大分県では広範囲で予測に失敗した。一方、ECMWF による予測は、降水量の予測精度が GSM よりも劣ったため、GSM による危険度予測以下の予測精度となった（図 1h、図 1i）。浸水キキクルについても、同様の結果だった（図略）。

図 2 には、流域雨量指数について、気象庁 HP「流域雨量指数の予測値」[2]の主要な河川の代表格子における地点時系列の例を示す。図 2a は加世田川（鹿児島県）で台風中心付近の対流雲が直接流入する流域、図 2b は都農川（宮崎県）で台風中心より外側の収束や地形による強制上昇といったメソスケールの降水現象の影響を強く受ける流域を想定した。解析雨量による指数の推移では、両流域ともに 28 日夜間に指数が急上昇した。予測では両モデルともに洪水波形のピーク時刻の予測精度は良いが、指数の量的応答は弱く、特に図 2b ではその特性が強い。

４．考察

全球モデルが浸水・洪水予測において不得手とする降水系を特定するために、GSM 降水の 6 時間予報値（短期積分値）を外力とし、予測誤差のうちランダムな誤差（すなわち台風位置の誤差）を極力小さくし検証を行った。

降水量について頻度解析を行うと、GSM は台風循環に伴うメソスケールの収束による降水や地形性降水が過少である（図略）。次に、キキクルの危険度について頻度解析を行うと、これらの降水系の影響を強く受ける宮崎県や大分県で、浸水及び洪水危険度の再現頻度が低かった（図略）。

５．まとめと今後

キキクルの週間スケールの予測において、台風位置の予測に成功すると危険度上昇のシグナルは得られたが、危険度は過少な地域が多かった。その要因として、台風循環に伴うメソスケールの収束線や地形性降水の予測の失敗が考えられた。そこで、気象モデルの高解像度化（雨量の量的増強）により、宮崎県や大分県では危険度予測が面的に改善される可能性はある。今後は、様々な高解像度気象データも用いて、リードタイムの長いキキクルの予測精度について統計的に検証する予定である。また、土砂キキクルも対象とする。

【謝辞】

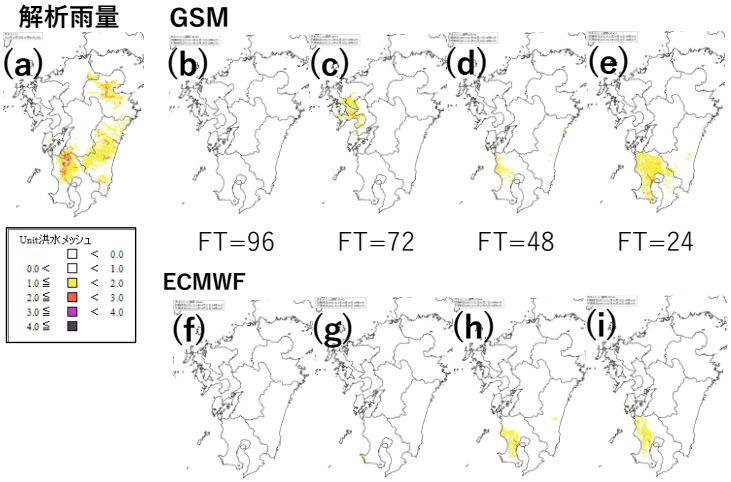
ECMWF の予測データは、埼玉大学小林健一郎教授よりご提供いただきました。

参考文献

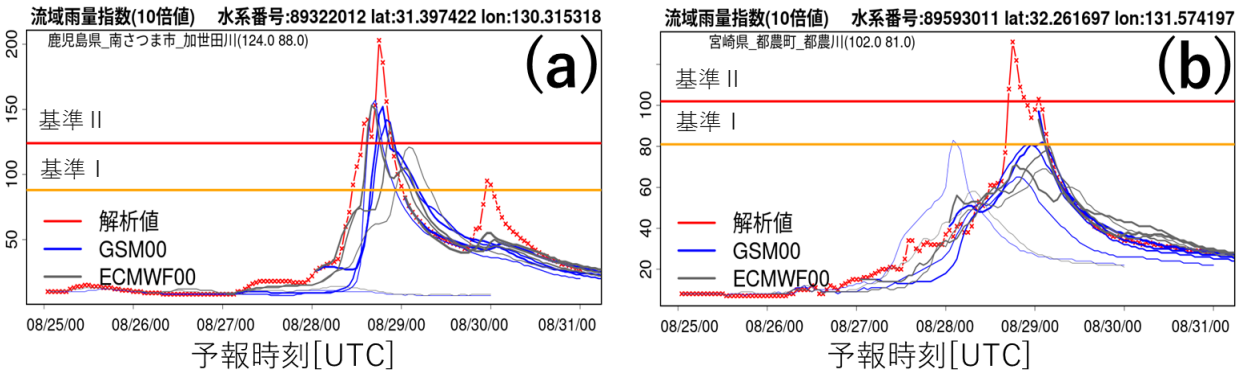
1) 太田ほか, 雨による災害危険度を表す指数と警報の危険度分布, 測候時報, 第 90 巻, 8, 2023.

2) 気象庁, 流域雨量指数の予測値（6 時間先までの洪水危険度）, 2026. https://www.jma.go.jp/bosai/floodindex/

キーワード：Global precipitation forecasts、Kikikuru、Medium-range flood risk forecasting、Runoff Index



図−1　台風第 10 号が上陸した 8 月 29 日 00 時（UTC）（予報対象時刻）に対する異なる初期時刻（8/25、8/26、8/27、8/28 の 00UTC）による洪水危険度予測の比較。 (a)解析雨量、(b)~(e)GSM、(f)~(i)ECMWF



図−2　（a）加世田川（鹿児島県南さつま市）と（b）都農川（宮崎県都農町）における 8 月 29 日（予報対象日）に対する異なる初期時刻（8/25、8/26、8/27、8/28 の 00UTC）による流域雨量指数予測の比較。赤色折れ線は解析雨量、青色折れ線は GSM、灰色折れ線は ECMWF で、線が太いほど新しい初期時刻であることを示す。横線はそれぞれ、基準 I と基準 II の指数値を示す。

MSM から推定した融解層高度に基づく VIL の積算高度を考慮した VIL ナウキャストの検討

富山県立大学大学院工学研究科　○馬渕　慎也
富山県立大学工学部　吉見　和紘

１．はじめに

中小河川では，局地的大雨に起因する水災害が発生し、問題となっている．水災害の防止には局地的大雨を正確に予測する必要があり，局地的大雨に対する短時間降雨予測手法の精度向上が求められている．短時間で発達する局地的大雨に対しては，気象レーダの三次元観測データを用いて降雨予測を行うことが有効である．特に，二重偏波フェーズドアレイ気象レーダ(以下，MP-PAWR)は 30 秒程度で 100 仰角を超える三次元観測が可能であり，従来レーダと比較して高速・高密度な観測が可能である．高密度観測が可能な MP-PAWR を活用した降雨予測手法として，VIL ナウキャストが挙げられ [1]，従来の予測モデルよりも早期に大雨の検知が可能である．これまでにも，MP-PAWR データを活用した降雨予測手法の検討が行われている [2),3)]．一方で，MP-PAWR を活用した VIL ナウキャストでは予測雨量の過大評価が指摘されており，改善が必要である．筆者らは，この過大評価の一因として融解層高度の影響に着目した．一般に，気象レーダによる融解層の観測では，ブライトバンド現象により反射強度が過大に評価される場合がある [4]．VIL ナウキャストの主となる要素である VIL は融解層情報考慮せずに鉛直積算しており，既往研究でも融解層は VIL の誤差要因の 1 つとして挙げられている [5]．そこで本研究では融解層高度以下を積算した VIL による VIL ナウキャストの予測を行い，従来の VIL ナウキャストの予測結果と比較することで改善効果の検証を行った．

２．研究手法

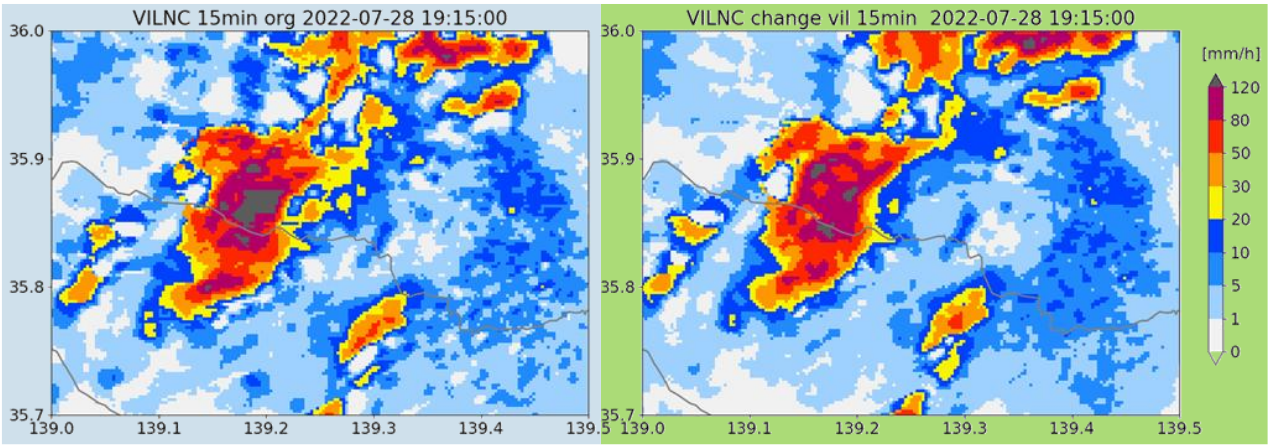
使用データは埼玉大学に設置されている MP-PAWR の 114 仰角データと MSM のデータを用いた．降雨強度は Maesaka et al.[6)]を参考に算出し，2 km 高度のデータを用いた．対象事例は MP-PAWR が観測を開始した 2018 年以降で MP-PAWR にて 120 mm/h 以上を観測した 10 事例を選定した．また，観測データは PPI (Plan Position Indicator)から CAPPI (Constant Altitude PPI)を作成し，用いた．VILNC は現在の降雨強度と上空の水分量を鉛直積算した物理量(VIL)を用いて降雨予測を行う手法である．本研究では MSM の気温データから融解層高度を算出し，融解層以下を積算した VIL を用いて予測を行った．リードタイムは 5~30 分までの 5 分ごととした．比較指標として，バイアススコア (BS)，RMSE を用いた．バイアススコアは総雨量が過大であるか過小であるかを示し，1 より大きい場合は過大，1 より小さい場合は過小であることを示す．RMSE は予測結果の誤差を示し，0 に近いほど誤差が小さい．

３．結果と考察

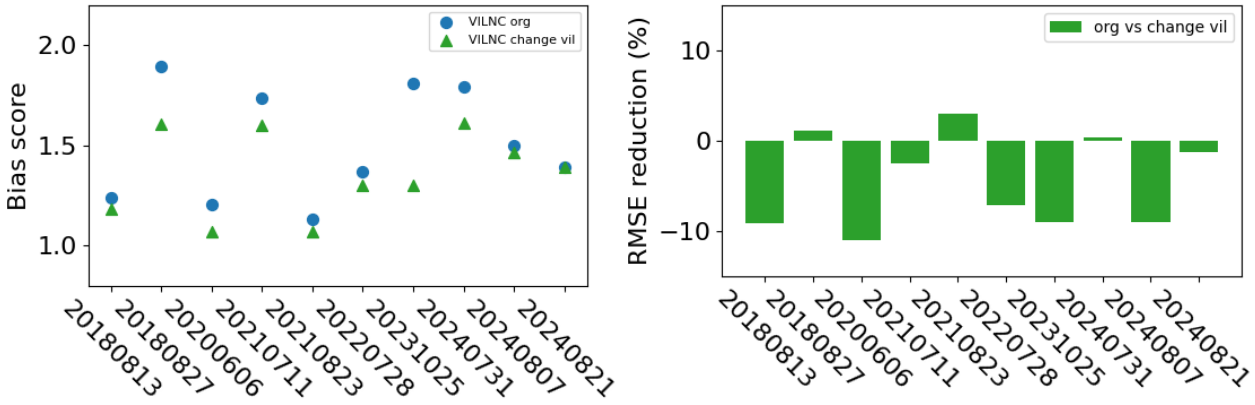
融解層以下を積算した VIL ナウキャストによる予測雨量と従来の VIL ナウキャストの予測雨量の結果を**図−1** に示す．寒色系は弱い雨を示し，暖色系は強い雨を示し，灰色は 120 mm/h 以上の特に強い雨を示している．従来の VIL ナウキャストの予測結果で灰色であった降水領域に対して，融解層以下を積算した VIL ナウキャストの予測結果では予測雨量の減少が確認された．また，各事例の平均 BS，平均 RMSE 減少率を**図−2** に示す．横軸に各事例を示し，縦軸に各指標を示している．平均 BS はどの事例においても従来の予測結果に対して 1 に近づいており，改善が確認された．一方で，RMSE 改善率についてはマイナスの値を示すつまり改善が見られなかった事例も確認された．これは積算高度の違いにより，上空の雨が含まれなくなり降水量または降水領域が減少したことで誤差が大きくなったためであると考えられ，融解層より上層も重要であることを示唆している．

４．まとめ

本研究では融解層高度以下を積算した VIL による VIL ナウキャストの予測を行い，従来の VIL ナウキャストの予測結果と比較することで改善効果の検証を行った．融解層以下を積算した VIL を用いた VIL ナウキャストの予測結果では従来の VIL ナウキャストの予測結果よりも降水強度の減少が確認された．比較指標の結果では，BS では改善が確認されたが RMSE 改善率では事例によって改善が見られない場合があった．これは



図−1　2022 年 7 月事例における従来の予測結果(左図)と融解層を考慮した予測結果(右図)



図−2　各事例の平均バイアススコア，平均 RMSE 改善率の比較

積算高度の違いにより，上空の雨が含まれなくなり降水量または降水領域が減少したことで誤差が大きくなったためであると考えられ，融解層より上層も重要であることを示唆している．そのため今後は，水分量の算出の際に，融解層の部分は前後の層で内挿するアルゴリズムを導入し，改善効果を確認する予定である．

謝辞：MP-PAWR のデータセットは，国立研究開発法人情報通信研究機構により収集・提供されたものである．ここに記して謝意を表する．加えて，本研究では JST 次世代研究者挑戦的研究プログラム JPMJSP2188 の助成を受けた．ここに記して謝意を表する．

参考文献

1) Hirano, K. and Maki, M.: Imminent Nowcasting for Severe Rainfall Using Vertically Integrated Liquid Water Content Derived from X-Band Polarimetric Radar, Journal of the Meteorological Society of Japan, Vol.96A, pp.201-220, 2018.

2) 佐々木結加，小島彩織，小山直紀，吉見和紘，山田正：MP-PAWR を用いた降雨量推定の精度評価及び局地的大雨の早期予測の実用化に向けた研究，土木学会論文集 B1(水工学)，78.2，I_337-I_342，2022.

3) Mabuchi, S. and Yoshimi, K.: Multi-case study on VIL Nowcast enhanced with conditional bifurcation using vertical wind, *Hydrological Research Letters*, Vol.19, No.4, pp.247-251, 2025.

4) 越田智喜，沖大幹：X バンド MP レーダで観測された「融解層」の特徴，水文・水資源学会誌，第 27 号，第 5 号，pp.233-244，2014.

5) Boudevillain, B. and Andrieu H.: Assessment of Vertically Integrated Liquid (VIL) Water Content Radar Measurement, *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, Vol.20, No.6, pp.807-819, 2003.

6) Maesaka, T., Maki, M., Iwanami, K., Tsuchiya, S., Kieda, K. and Hoshi, A.: Operational rainfall estimation by X-band MP radar network in MLIT, Japan. Proceedings of 35th Conference on Radar Meteorology, Pittsburgh, P11.142, 2011.

キーワード：MP-PAWR, rainfall prediction method, melting layer, VIL Nowcast, localized heavy rainfall

夏季の欧州域で発生する大雨を対象とした領域気象モデルによる再現の検討

北海道大学　○宮本真希
北海道大学　　山田朋人

１．はじめに

2021 年 7 月，ヨーロッパで数日にわたる大雨が発生し，特に山間地域において強い雨に見舞われたドイツ，ベルギーやオランダを中心に被害が広がった．甚大な被害を受けたこれらの地域は，夏季においては気温と湿度が日本に比べて低く，降水量も少ない傾向にある一方で北海に面するため冬季においてはストームの影響を受けやすい．本研究では，当該地域における発生頻度が低い夏季の大雨として代表的な事例である 2021 年 7 月の豪雨を対象に，領域気象モデルによる再現を実施する．本稿においては対象事例の発生時における大気の状態および地理条件を分析内容を述べる．

２．使用データ

本研究では，数値予報を観測情報に基づき再解析して作成された ERA5 の hourly データから降水量，500hPa におけるジオポテンシャル高度および水平風，850hPa における気温，比湿，水平風を取得した．なお，標高データは再解析に用いられたものを使用した．

３．結果

図-1 に 2021 年 7 月 11 日から 16 日にヨーロッパにおいて発生した大雨の概況を示す．図-1(a),(b)より 72 時間で 100mm 以上の大雨が山間地域にもたらされた．図-1(c),(d)は Guel 川の支川である Ahr 川および Meuse 川の支川である Guel 川の流域平均の降雨強度と累積雨量である．両流域ともに 7 月 13 日から 16 日にかけて降雨が集中していたことがわかる一方で，Ahr 川は 7 月 13 日と 15 日に降雨のピークが 2 回みられ（図-1(c)），Guel 川においては 7 月 13 日から 16 日にわたり多数の降雨のピークがみられた（図-1(d)）．イベント期間を通して流域平均 1 時間雨量は 10mm/hr を下回っていながらも，数十時間にわたって降雨が継続していた大雨事例である．

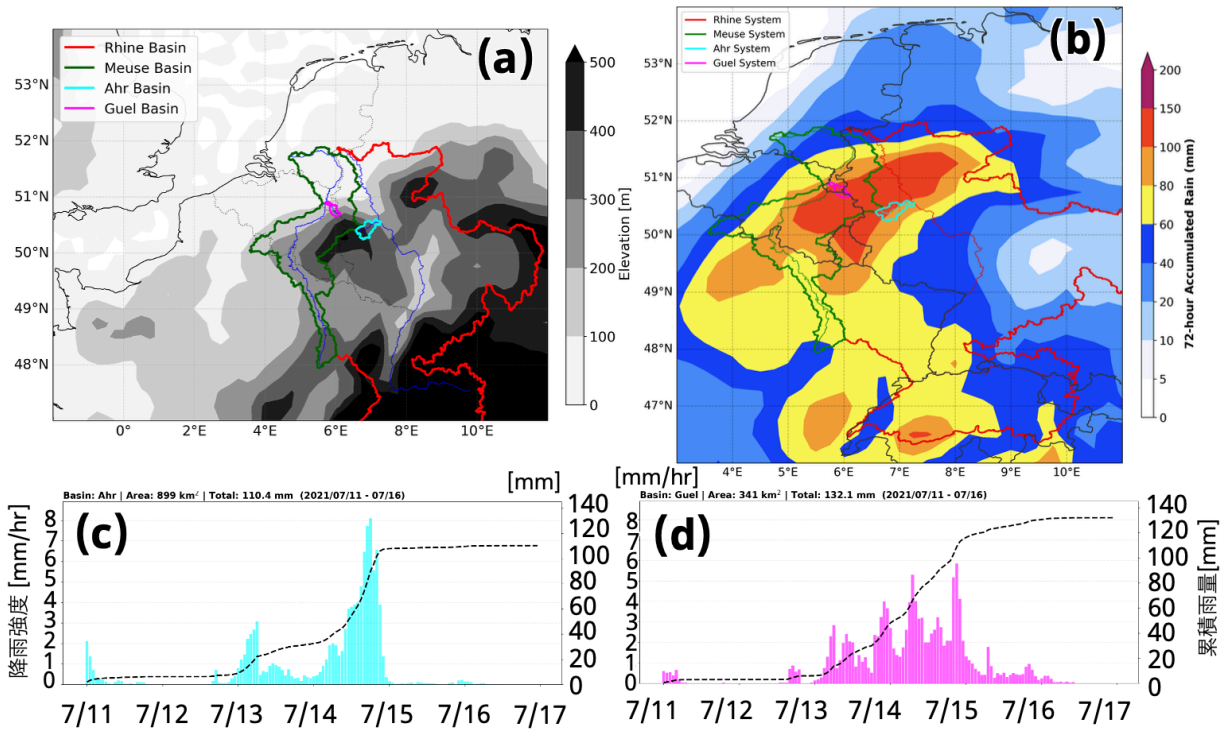


図-1　2021 年 7 月 11 日から 16 日にヨーロッパで発生した大雨イベントの降水概況．(a)は標高，(b)は 7 月 16 日 00 時(UTC)の前 72 時間積算雨量であり(a), (b)に特に大雨がもたらされた流域の流域界を示す．(c), (d)は流域平均の 1 時間雨量（棒グラフ；左縦軸）と流域平均の累積雨量（点線； 右縦軸）である．(c)は Ahr 川，(d)は Guel 川である．

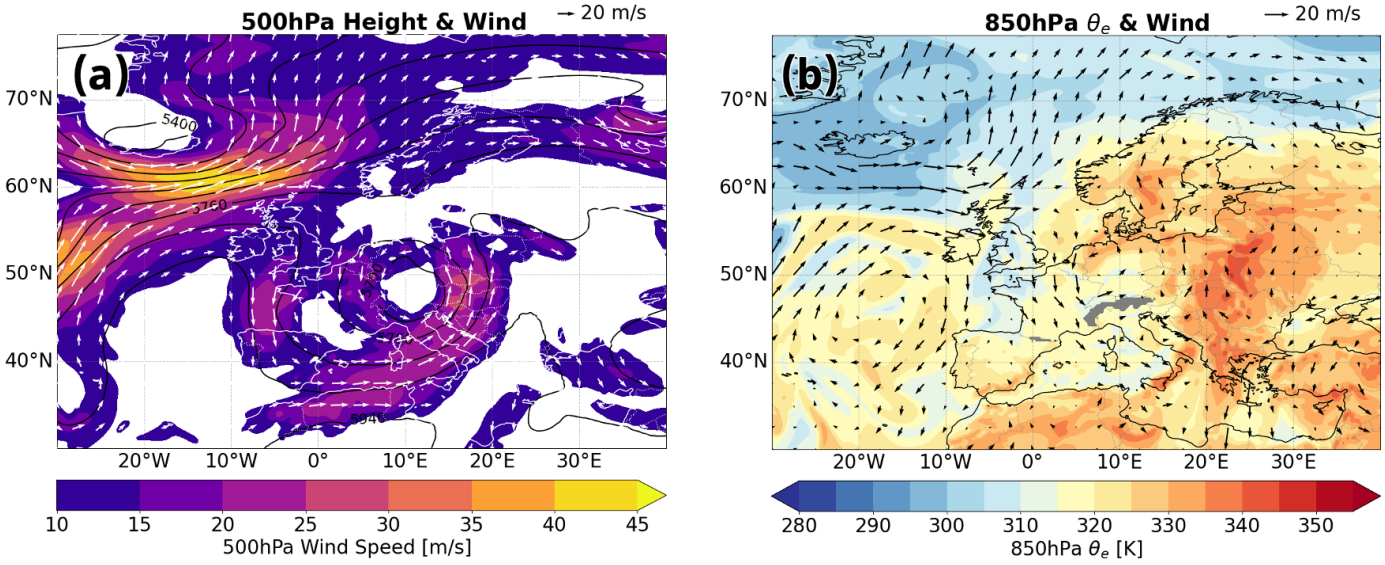


図-2　2021 年 7 月 14 日 17 時(UTC)における大気の状態．(a)は大気中層(500hPa; 高度 5,500m 相当)におけるジオポテンシャル高度 [m]（等値線）と水平風ベクトルとその大きさ [m/s]（塗りつぶし）である．(b)は大気下層(850hPa; 高度 1,500m 相当)における相当温位 [K]（塗りつぶし）と水平風ベクトルである．なお，山地に相当する領域は灰色で塗りつぶした．

特に降雨が強かった 7 月 14 日 17 時 (UTC) における欧州域の大気の状態を図-2 に示す．図-2(a)より，偏西風の本流から切り離された低気圧性の渦（寒冷渦）が北緯 48 度東経 10 度付近に存在することがわかる．850hPa 等圧面において上空の寒冷渦の直下付近で低気圧性の風の場となっており，この循環に伴うようにして地中海から広がる高相当温位の領域が大雨の発生地域まで及んでいた（図-2(b)）．すなわち，当該地域においては，寒冷渦の出現により大気中層は寒冷である一方で下層においては温暖湿潤であったことから，多量の水蒸気が供給され，かつ大気の状態が不安定となっていた．それに加えて大雨の発生地域が山間地域であったことから地形による強制上昇も大雨の要因であったと考えられる．

また，図-2(b)に示す通り，下層大気における低気圧性循環により，地中海から西ヨーロッパに広がる高相当温位の領域はアルプス山脈を迂回するように分布していた．図-1(b)に示す累積雨量の分布と比較すると，高相当温位の領域の前方に位置する山間地域（図-2(a)に示される寒冷渦の西側）において特に降雨が強化されていた．

４．まとめ

本研究は，2021 年 7 月中旬に欧州域において発生した大雨を対象に領域気象モデルにより再現することを目的としており，対象事例における降雨特性および気象要因の分析を実施した．本事例は，長時間にわたり降雨が継続してもたらされたことで生じた大雨事例であった．大雨の発生においては，上空に寒冷渦が存在し，大気下層においては温暖湿潤な空気が流入しており大気が不安定な状態であったことや，地形による降雨の強化への寄与が大雨の主な要因として考えられる．領域気象モデルによる当該事例の再現においては，上で述べた上空における寒冷渦の発生や大気下層の循環場といったマルチスケールの現象の表現や，降雨形成に対する地形の効果を考慮して実験を実施する予定である．

【謝辞】

本研究は文部科学省「気候変動予測先端研究プログラム」JPMXD0722680734，科研費基盤研究(B)26K01048，科研費若手研究 26K17467 および第 3 期内閣府戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)「スマート防災ネットワークの構築(サブ課題 B)」の支援を受けて実施した．

キーワード：Heavy rainfall, Orographic rainfall, Polar low, Regional climate model

6 か月アンサンブル予報による領域平均降水量の予測特性の評価

農研機構 農村工学研究部門 ○相原星哉，吉田武郎，髙田亜沙里
農林水産省 農林水産技術会議事務局 皆川裕樹

1．はじめに

気候変動の影響により，渇水リスクの増大が懸念されている[1]．2023 年夏季には，新潟県において記録的な高温と少雨が重なり，コシヒカリの 1 等米比率が 4.9%（平年は 75.3%）にまで低下する被害が発生し[2]，その影響が顕在化し始めている．こうした被害を軽減する方策として，長期気象予報を活用した営農計画の策定や農業水資源管理手法の確立が有効と考えられる．一方で，長期気象予報により提供される気温や降水量等の平年偏差に関する情報から水資源量の見通しを予測することは難しく，農業水資源管理分野での活用は進んでいない．そのため，長期気象予測情報を活用した定量的な農業水資源量予測手法の開発が求められる．そのためには，長期予報における降水量予測値が実用上十分な精度で利用可能な時空間スケールや予測値が有する特性について明らかにする必要がある．そこで本研究では，東北地方から九州地方までの 8 地方とその内部の各 1 流域を対象に，気象庁が提供する長期予報である 6 か月アンサンブル予報による降水量の予測精度や傾向について，複数の時間スケールの領域平均値に基づき評価した．

2．方法

2.1 対象領域・データ　図 1 に示す本州の 8 地方領域およびその内部の各 1 流域を対象とした．予測値には，気象庁 6 か月アンサンブル予報データを，観測値にはメッシュ農業気象データを使用した．解析期間は 2022 年 2 月 10 日～2024 年 12 月 31 日とした．

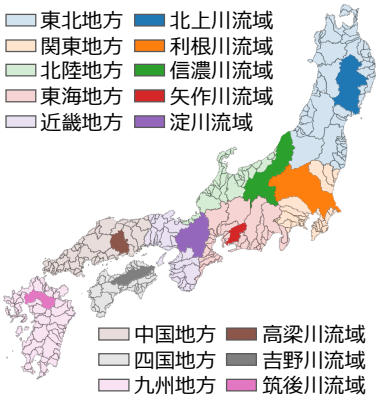


図 1　対象領域

2.2 バイアス補正　バイアス補正は予報格子点別に実施した．まず，予報格子点を中心に，予報格子間隔を 1 辺とする予報メッシュを作成し，その範囲内にある 3 次メッシュ単位の観測値を算術平均して，予報格子点に対応する観測値を得た．次に，ガンマ分布に適合させた月別の確率密度関数を予測値と観測値の双方で推定し，クオンタイルマッピング法により予測値を補正した．

2.3 領域平均降水量の算出　予報メッシュの範囲内にある 3 次メッシュに予報格子点の予測値を一様に与えた後，対象領域内の 3 次メッシュの値を算術平均して，領域平均値を算出した．観測値も同様にして領域平均値を得た．

2.4 予測特性の評価　9 種の累積期間（1 日，3 日，5 日，10 日，15 日，30 日，60 日，90 日，120 日間）の累積降水量のアンサンブル平均値を算出した．そして，同様に累積値を計算した観測値との相関係数に基づき各領域における予測精度を評価し，時空間スケールとの関係性や予測値の持つ特徴について検討した．

3．結果と考察

3.1 降水量の累積期間と予測精度の関係　各領域で予測リードタイムと相関係数の関係を確認すると，相関係数は概ねリードタイム 15 日にかけて低下したが，それよりも先ではリードタイムに関わらずほぼ一定の値となった．そこで，図 2 には，リードタイム 15 日以上の予測値の相関係数と累積期間の関係を，対象領域別に比較して示す．北陸地方および信濃川流域を除いては，全ての領域で累積期間が長くなるほど相関係数は大きくなり，概ね 30 日以上の累積値で相関係数 0.6 を上回った．領域間で比較すると，九州地方および筑後川流域の相関係数が大きい傾向にあった．一方で，北陸地方および信濃川流域では，30 日累積値で相関係数が極大値を示した．ただし，その値は 0.4 程度で，他の領域よりも小さかった．地方単位の領域と流域の相関係数を比較すると，全ての領域で両者には大きな差はなく，空間スケールとの関係性は不明瞭であった．以上のことから，降水量予測値の活用においては，北陸地方および信濃川流域では 30 日累積値を，その他の領域では 30 日以上の累積値を用いることが実用上有効と考えられた．

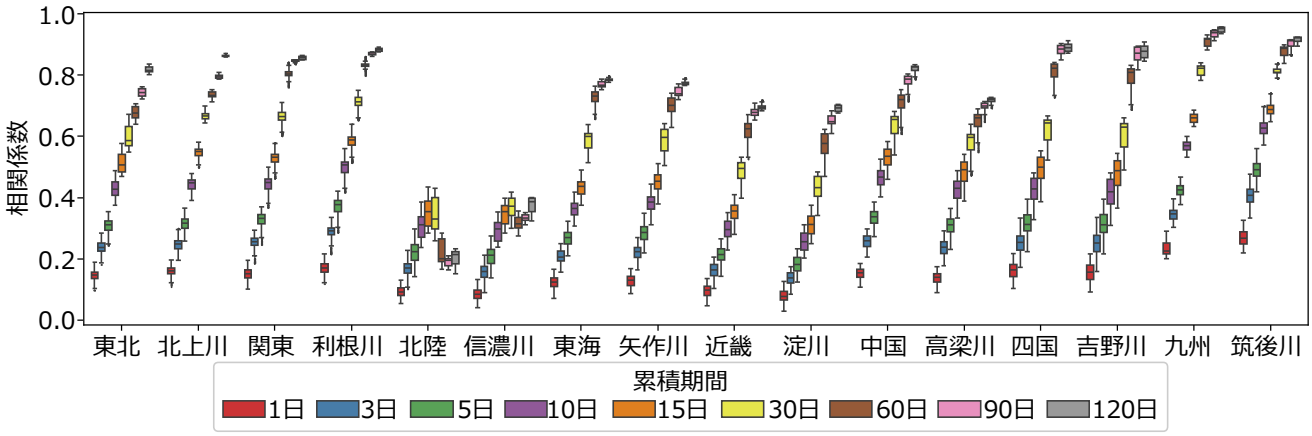


図 2　各領域における 9 種の累積降水量と予測精度の関係

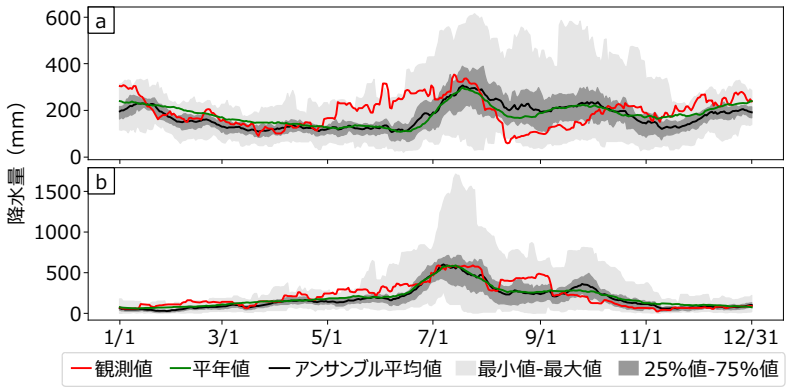


図 3　北陸地方（a）および九州地方（b）における 2023 年の 30 日間累積降水量（b）の予測値（リードタイム 1 日の場合）

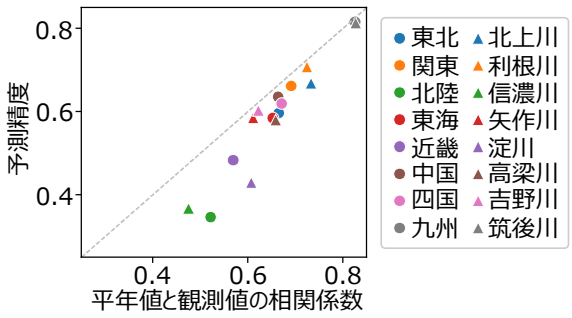


図 4　平年値と観測値の間の相関係数と 30 日累積降水量の予測精度（予測リードタイム 15 日以上の平均）の関係

3. 2 2023 年の予測事例　図 3 には，北陸地方で記録的な高温・渇水被害が発生した 2023 年における 30 日累積降水量の予測事例を，相関係数がそれぞれ最小と最大であった北陸地方と九州地方を例に示す．北陸地方のアンサンブル平均値は，5～7 月にかけて観測値よりも過小で，8～9 月には過大であった．また，年間を通じて平年値とほぼ同等の変動を示した．九州地方については，5～6 月および 8～9 月にはアンサンブル平均値は観測値よりも過小であったものの，年間を通じて観測値の傾向を概ね予測できていた．アンサンブル平均値が平年値とほぼ同等の変動を示した点は，北陸地方と共通していた．

3. 3 予測精度と平年値の関係　アンサンブル平均値が平年値と類似した変動を示す傾向は，他の領域にも共通してみられた．そこで図 4 に，各領域の 30 日累積降水量の予測精度（アンサンブル平均値と観測値の相関係数）と，平年値と観測値の相関係数の関係を示すと，両者には正の相関（0.956）があった．このことから，アンサンブル平均値は平年値と同等の変動を示す特徴があり，観測値が平年値に近い変動を示すほど，アンサンブル平均値による予測精度が高まるものと推察された．北陸地方の予測精度が低かったことは，解析対象期間（2022～2024 年）には夏季の少雨や冬季の豪雪が連続して発生し，降水量が平年値と乖離したことが要因と考えられる．他の領域においても，平年値との偏差が大きいイベントが発生する際には予測精度が低下する可能性があり，その場合にはアンサンブル平均値以外の予測値の活用が有効と示唆された．

4．おわりに

6 か月アンサンブル予報による降水量の予測精度や傾向について，計 16 の地方領域・流域を対象に，9 種の累積降水量のアンサンブル平均値に基づき評価した．その結果，概ね 30 日以上の累積値を用いると実用上十分な予測精度が得られることが分かった．また，アンサンブル平均値は平年値とほぼ同等の変動を示すため，平年偏差が大きい事象を予測する際には，アンサンブル平均値以外の活用が有効であると示唆された．

参考文献　1) 髙田ら，土木学会論文集, 80(16), 23-16118, 2024.
2) 新潟県，https://www.pref.niigata.lg.jp/uploaded/attachment/385244.pdf, 2023.
キーワード　6 か月アンサンブル予報，降水量，水資源量予測

Evaluating the Scalability Limits of Distributed Hydrological Models and the Role of Representing Hillslope in a Grid-Cell

Graduate School of Engineering, Kyoto University, Choi Seonjun
Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, Tomohiro Tanaka
Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, Takahiro Sayama
Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, Yoshito Sugawara

1. Introduction and Study Area

Distributed hydrological models (DHMs) often suffer from performance degradation when applied to coarser spatial resolutions due to topographic smoothing. Ensuring scalability-the ability to maintain consistent results across varying grid sizes without arbitrary recalibration-remains a critical challenge. To address this, this study evaluates the scalability of the 1K-DHM, a kinematic wave-based distributed hydrological model that assumes lateral flow-dominant runoff generation. While the original 1K-DHM did not account for vertical percolation, this study utilizes an improved version that incorporates the Green-Ampt infiltration model. The evaluation is conducted in the Shigaraki Experimental Catchment (23.9 hectares) located in Shiga Prefecture, Japan. As shown in Fig. 1, the catchment is characterized by steep mountainous terrain. The model was initially calibrated at a 5 m resolution to establish a reference (Choi et al., 2026). To evaluate the scaling effects, these calibrated parameters were directly transferred to the 25 m and 50 m resolutions without further recalibration.

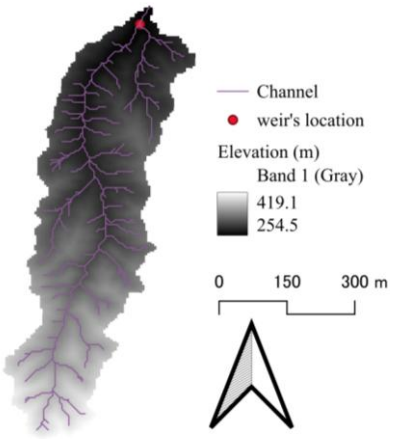


Fig. 1 Study area (the red circle represents the weir's location for the discharge comparison).

2. Topographic Smoothing and Gradient Improvement in Open-Book Routing

Standard cell-distributed models failed to maintain scalability because increasing the grid size reduces drainage density, losing critical runoff pathways. To address this, an open-book structure-simplifying the catchment into hillslope-channel units (Woods and Sivapalan, 1999)-was adopted to preserve the original drainage network. However, even this structure underestimates peak discharge if gradients are derived from coarsened DEMs. Therefore, an improved uniform slope method was implemented. Based on Manning's equation where discharge is proportional to the square root of the slope ($\sqrt{S}$), the hillslope gradient was determined by the square of the mean of the square root of the 5 m DEM gradients: $S = (mean\ (\sqrt{S}))^2$. As demonstrated in Fig 2., the original method causes excessive terrain flattening at 25 m and 50 m resolutions. In contrast, the proposed uniform slope method preserves high-resolution terrain characteristics within simplified units, effectively overcoming the limitations of conventional cell-distributed routing.

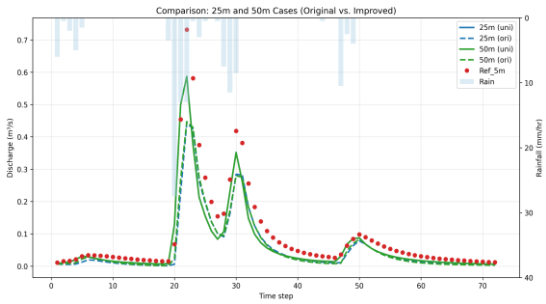


Fig. 2 Comparison of hydrographs between the original and improved slope gradient methods across different resolutions.

3. Numerical Scalability and Structural Mimicry in Open-Book Routing

To address the limitations of the standard cell-distributed model, an open-book routing structure was evaluated. In this configuration, the hillslope geometry was simplified: a uniform slope was applied to eliminate the effects of DEM smoothing,

while the slope length was systematically assigned based on the Strahler order to control the flow routing. To examine the sensitivity of this structure, simulations were performed across three different slope lengths (L = 9.6 m, 17.3 m, and 34.6 m).

As demonstrated in Fig. 3, this setup achieved a high degree of numerical scalability. For each assigned slope length, the hydrographs for the 25 m and 50 m resolutions overlap almost perfectly. The results indicate that applying a uniform slope ensures scalability across different resolutions, while the shape and timing of the hydrograph are fundamentally governed by slope length.

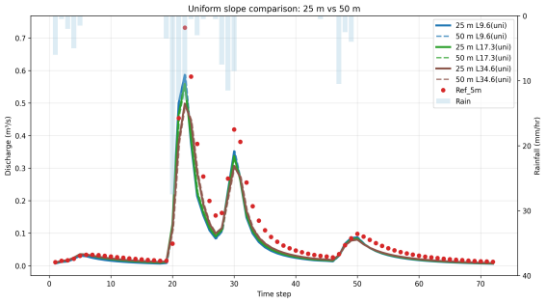


Fig. 3 Numerical consistency via Open-book routing (L denotes slope lengths. Solid and dashed lines represent 25 m and 50 m respectively.)

However, this consistency is identified as numerical mimicry rather than true physical scalability. Although the open-book model reproduces the reference hydrograph by adjusting these geometric inputs, it remains structurally inconsistent with the original catchment. This is because the open-book and cell-distributed framework possess fundamentally different structures. This limitation emphasizes the need for a new framework that preserves the basin's structural properties.

4. Proposed Tapered Framework for Distributed Open-Book and 1x1 Lumped Models

While the uniform open-book model can achieve numerical scalability, its assumption of a uniform width inherently ignores the topographic convergence and divergence of actual catchments. To move beyond numerical mimicry and accurately represent these flow dynamics, this study introduces a tapered geometry defined by a variable width function, b(x). This b(x) function is derived from the flow accumulation data of the 5 m reference scale to preserve the natural terrain structure.

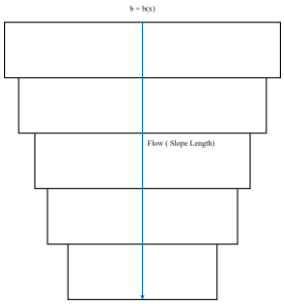


Fig. 4 Conceptual schematic of the tapered framework

This tapered geometry is incorporated into the 25 m and 50 m open-book grids, allowing these coarser models to explicitly account for sub-grid topographic diversity. Furthermore, this structural adjustment enables the introduction of a 1x1 lumped representative hillslope model. Unlike distributed frameworks that remain constrained by arbitrary grid resolutions, the 1x1 model conceptualizes the entire catchment as a single structural unit equipped with b(x). As shown in Fig. 4, by applying the tapered width function to both the distributed open-book grids and 1x1 model, this framework is designed to preserve the physical characteristics-such as flow convergence and divergence-thereby proposing robust solution for achieving true physical scalability.

5. Conclusion

This study demonstrates the standard cell-distributed model fails to maintain scalability due to topographic smoothing and structural sensitivity. While a uniform open-book framework achieves numerical scalability-revealing that a uniform slope ensures scale independence, whereas slope length governs the hydrograph shape-it fundamentally relies on structural mimicry by ignoring natural flow convergence and divergence. To achieve true physical scalability, this study proposes incorporating a variable width function, b(x), into both distributed open-book grids and a 1x1 lumped representative hillslope model. By explicitly preserving essential terrain diversity, this structure-aware framework enables robust hydrological scaling without the need for arbitrary parameter recalibration.

Reference

1) S. Choi, T. Tanaka, K. Yorozu, Y. Tachikawa: Testing and improving a distributed rainfall-runoff model using slope surface flow as a new observation metric, Hydrological Research Letters, 20(1), pp. 74-81, 2026.
2) R. Woods, M. Sivapalan: A synthesis of space-time variability in storm response: Rainfall, runoff generation, and routing, Water Resources Research, 35(8), pp. 2469-2485, 1999.

Keywords: Hydrological Model Scalability, Open-Book Routing, Structural Mimicry

降水量と気温のみを用いた降雪・積雪・融雪モデルの検討
― 積雪深と積雪底面流出量の推定精度 ―

Estimation of snow depth and melting snow runoff with a snow accumulation/melt model

石川県立大学生物資源環境学部　○高瀬恵次・藤原洋一
森林総合研究所　伊藤優子・竹内由香里
石川県　小倉晃

１．はじめに

積雪深および融雪量の予測は，水資源管理や融雪洪水に係る河川管理のためだけなく，融雪期の斜面崩壊予測あるいは通行規制など道路管理などにとって重要な課題である．積雪深や融雪量の計算には多層積雪層内の水移動や熱移動などを考慮した極めて精緻な物理的モデルも提案されているが，それらの運用には日射量など入手の難しい気象データを必要とすることなどから，気温のような入手が容易なデータのみを用いるモデルの需要も高い．小原ら（2008）は降水量と気温を入力データとするモデルを提案し，その過程で融雪水の地面到達量の観測値と計算値を比較しているが，河川流出量の再現性を最終目的としているため，積雪深や地面到達量（融雪量）の予測精度は必ずしも高いと言えない．そこで本報告では，降水量と気温のみを用いた降雪・積雪・融雪モデルを構築し，融雪ライシメータでの積雪深と融雪量（積雪底面流出量）の観測結果と比較することにより，その予測精度を検討した．

２．調査地と観測の概要

石川県農林総合研究センター林業試験場（北緯 36.43°,東経 136.64°）は標高約 200m に位置し，気象露場での年降水量は 3,209mm（2018-2022 年平均），12～3 月の冬期間降水量は 1103.4mm（2017～2023 年平均）である．積雪量は毎年かなり変動し，2017-2025 年の積雪深最大値は 238cm，最小値は 31cm である．融雪ライシメータは，気象露場に隣接して設置した．大きさ 3.5×3.5m の枠を防水性シートで覆い，融雪水の積雪底面流出量を転倒マス型流量計で測定した．積雪深および気温などの気象要素は，気象露場で測定されている．

３．降雪・積雪・融雪モデルの概要

構築したモデルの概要を Fig.1 に，新雪密度の計算法を Fig.2 に，積雪層の取扱い法を Fig.3 に示す．積雪深および融雪量の計算手順は以下のとおりである．

①雨雪判別気温（TSNOW：℃）によって雨・雪を判別する．

②降雪の場合は新雪密度を計算する．（Fig.2 参照）

③積雪がある場合は，地温（地中熱伝達）による積雪下面での融雪強度（GMLT）と，積雪層表面での気温・雨による表面融雪強度（SMLT）を以下のように計算する．

$GMLT=G0$（本論では一定とした．）　（mm･h^{-1}）　(1)

$SMLT=Csnow\times TT+RAIN\times TT/80.0$　（mm･h^{-1}）　(2)

$Csnow$：時間融雪係数（mm･h^{-1}･$^{\circ}$C^{-1}）

TT：気温（$^{\circ}$C）　$RAIN$：降雨量（mm･h^{-1}）

なお，この計算は上層および下層で 1 層毎に行い，積雪層の消滅を判定する．

④各積雪層の密度変化を計算する．

気温による密度変化量　$TT\times\exp(-CT\times SHCi)$　（g･cm^{-3}･h^{-1}）(3)

載荷重による密度変化量　$CE\times SHCi/DNSi$　（g･cm^{-3}･h^{-1}）(4)

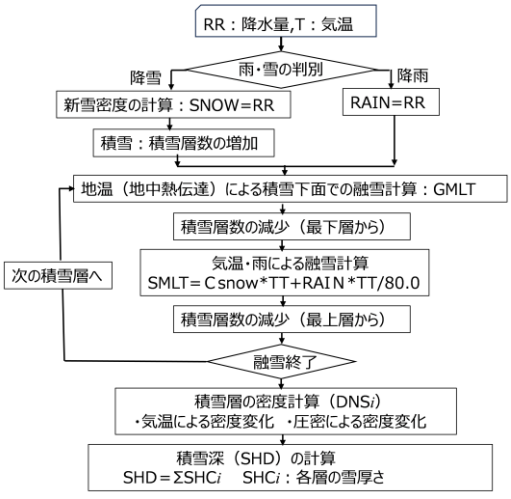


Fig.1　降雪・積雪・融雪モデルの概要

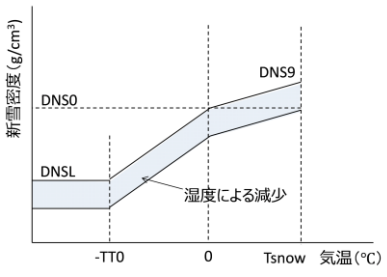


Fig.2　新雪密度の概念図

CT：気温による密度変化係数

CE：載荷重による密度変化係数

SHCi：第 i 層までの積雪深　　（mm）

⑤各層の積雪密度（*DNSi*），積雪水量（*SDi*）から積雪深を計算する．

このように，本モデルの特徴は積雪層の履歴（新雪→積雪→密度変化→融解による消滅）を全層にわたって追跡することにある．また，本論では積雪表面のアルベドの経時変化を表現するために，以下のような方法で融雪係数の変化を計算した．

$$Csnow' = (\mathrm{LOG}(NCOVER) \times CVR + 1.0) \times Csnow \quad (5)$$

Csnow'：補正融雪係数（mm･h^{-1}･℃$^{-1}$）

NCOVER：第 1 層目の降雪日からの時数　（hrs）

CVR：融雪係数に係るパラメータ

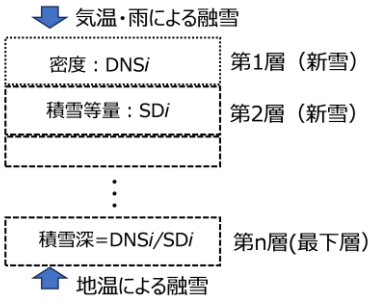


Fig.3　積雪層の履歴・融雪の概念図

４．結果と考察

モデルに含まれるパラメータは，雨雪判別気温（*TSNOW*），新雪密度（*DNSL*，*DNS0*，*DNS9*）と積雪層の最大密度（DNSmax），地温による融雪強度（*G0*），補正融雪係数に係るパラメータ（CVR，*Csnow*）および密度変化に係るパラメータ（*CT*，*CE*）の計 10 個である．このうち，*DNSL*，*DNS0*，*DNS9*，*DNSmax* と *G0* についてはこれまでの観測結果を参考に，それぞれ 0.05，0.1，0.2，0.6（g･cm^{-3}），0.05（mm･h^{-1}）とし，残り 5 個のパラメータを積雪深の観測値と計算値の絶対 2 乗誤差が最小となるように数学的最適化法により決定した．その結果，*TSNOW*=1.41，*Csnow*= 0.0515，*CVR*= 0.0715，*CT*= 0.0750，*CE*= 2.12×10^{-6} を得た．これらのパラメータを用いた計算積雪深と観測値の比較を Fig.4 に示す．このように，両者はよく一致しており，本モデルは実際の積雪，融雪過程をよく再現していると言える．なお，この場合の最大積雪総数は 362 層，融雪末期の融雪係数は 1.4（mm･h^{-1}･℃$^{-1}$）で新雪に対する融雪係数のおよそ 1.4 倍に相当することがわかった．また，積雪層内での融雪水の浸透および保水を考慮しない場合の積雪底面流出量計算値と観測値の比較を Fig.5 に示す．このように，一部乖離する部分もあり，融雪水の積雪層内での浸透・流出現象を表現するモデルが必要と考えられる．

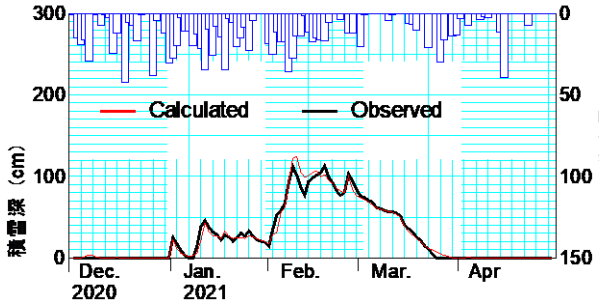


Fig.4　モデルによる計算積雪深と観測値の比較

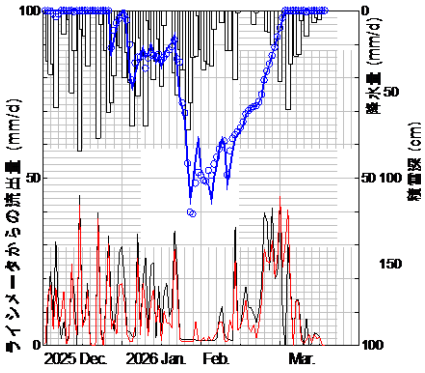


Fig.5　モデルによる積雪底面流出量の比較

５．おわりに

本報告では，気温と降水量のみを用いた降雪･積雪･融雪モデルを構築し，融雪ライシメータでの積雪深と積雪底面流出量の観測値と比較してその再現性を検討した．積雪層の履歴や融雪係数の経時変化等を考慮した結果，積雪深は精度良く再現することができたが，積雪層内での融雪水の保水現象など解決すべき課題も残されており，林内における積雪･融雪現象の解明と併せて今後の課題とする．

【謝辞】 本研究は，「日本学術振興会科学研究費補助金:基盤研究(B)（一般），代表 伊藤優子」の支援を受け実施した．記して感謝の意を表します．

参考文献

1) 小原一哉・堺茂樹，降雪・積雪・融雪過程のモデル化と河川融雪流出予測への応用に関する研究，土木学会論文集 B，Vol.64 No,1，49-6，2008

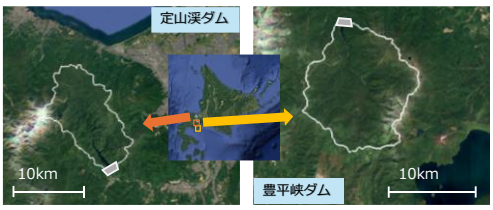
キーワード：降雪・積雪・融雪モデル，雨雪判別，融雪係数，積雪底面流出量

メッシュ気象データを活用した積雪水量と融雪流出予測の精度向上の提案

室蘭工業大学大学院，一般財団法人日本気象協会　平沢陽子
岩田地崎建設株式会社　黒滝紗永
室蘭工業大学大学院工学研究科　中津川誠

1．はじめに

北海道のような積雪寒冷地域では，融雪水は水資源として恩恵をもたらす一方で，洪水の原因ともなる．近年の気候変動の情報を踏まえ，融雪期の大雨に対する治水上の安全性に加え，融雪期の無効放流を減らして発電の増強を図るといった利水機能向上を目指す動きもみられる．そのため，融雪期にも精度良く流出計算を行う必要性が高まっている．平沢ら [1]は，「解析雨量」および「解析積雪深」を用いて任意の流域に年間通して適用できる流出計算を提案し，相良ら [2]は同手法を北海道の美利河ダム，札内川ダムに適用し降水量の補正によって融雪流出量の精度を改善できることを示した．本研究では相良らの手法を定山渓ダム，豊平峡ダム（図-1）に適用し，融雪期の流出予測計算を行い，予測における手法の有効性を検証した．



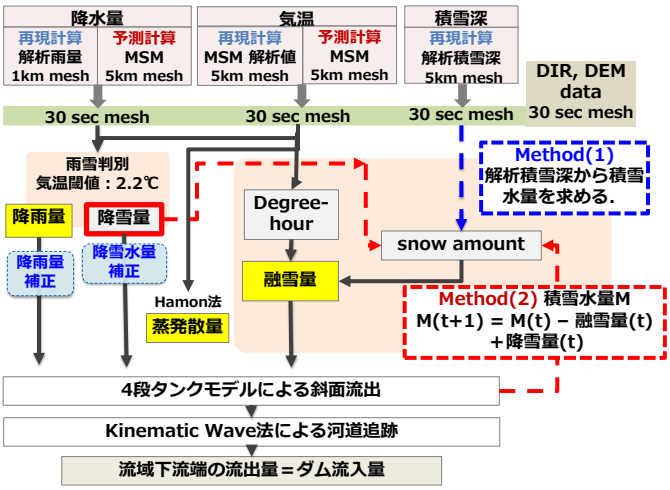
図−1　対象流域の位置

2．使用データと流出計算方法

流出計算に用いる流向データ(DIR)と標高データ(DEM)は，HydroSHEDS の 30sec（約 900m）メッシュデータとし，これに対応したメッシュ単位で流出計算を行う．流出計算に用いる気象データを**表−1** に示す．解析積雪深は，積雪深の実況が 1 時間ごとに約 5km 四方の時空間解像度で提供される．気温データは，気象庁のメソ数値予報モデル GPV（MSM）解析値を用いた．配信間隔は 3 時間のため，1 時間値に線形補間した．さらに，MSM モデル標高（5km メッシュ）から流出計算用の標高（30 秒メッシュ）へ一定の気温減率（0.6℃/100m）で標高補正した．図-2 に流出計算のフローを示す．供給水量は，雨量＋融雪量（雪面，底面）−蒸発散量の値で与える．雪面からの融雪量の上限はデグリーアワー法により算出する．デグリーアワーファクターは中津川ら [3]を参考に 0.15 mm/degC/h とした．積雪水量は，解析積雪深を用いて積雪水量を求める方法（方法 1）と，解析雨量から積雪水量を推定する方法（方法 2）の 2 つの方法で求め比較した．方法 2 では，過年度の流域水収支から求めた補正係数を用いて降雨量，降雪水量を補正した．各メッシュの流出量の計算を 4 段タンクモデルで行い，これらと合算しつつ河道追跡し，流域末端で算出したものが全流出量となる．

表−1　使用データ

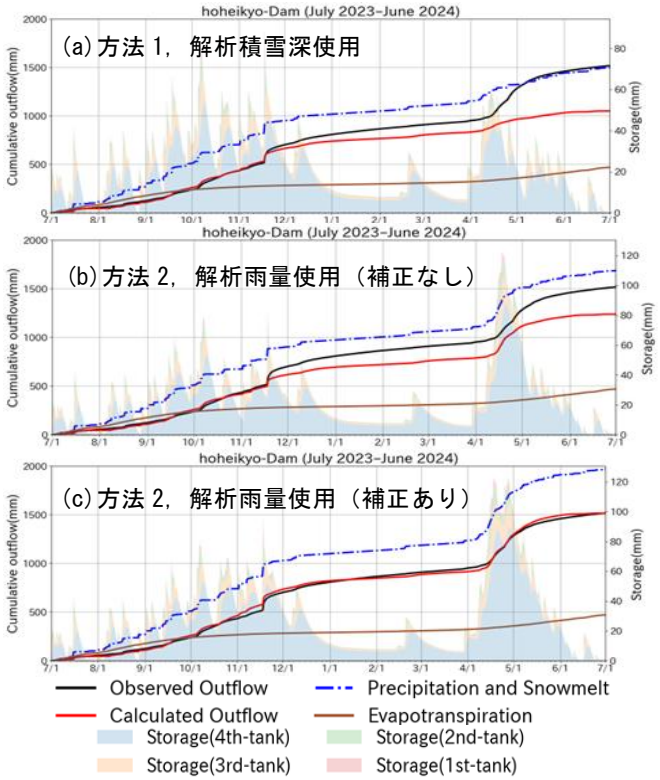
データ	格子サイズ	提供元
HydroSHEDS	30sec(約900m)	アメリカ地質調査所(USGS)
解析雨量	1km	国土交通省，気象庁
解析積雪深	5km	
MSM気温	5km	



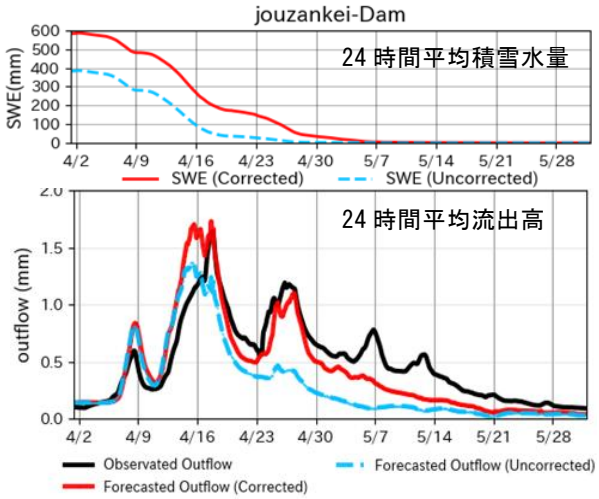
図−2　流出計算のフロー

3．結果

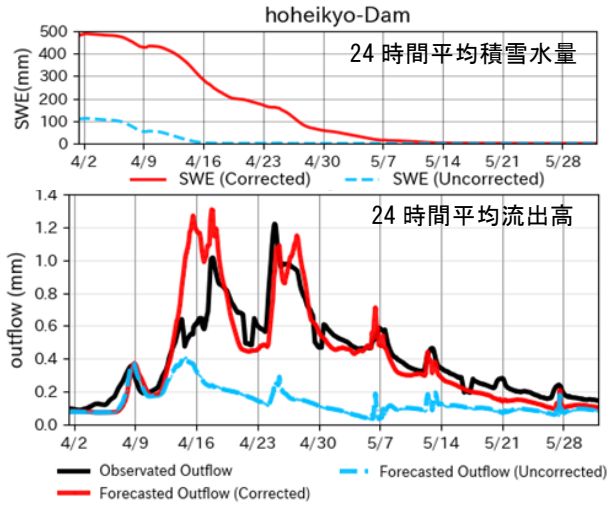
方法 1，方法 2 の再現計算精度を比較するため，豊平峡ダム流域における 2023 年 7 月～2024 年 6 月の水文諸量累積値を図-3 に示す．方法 2 において水収支から算出した降雨量の補正係数は定山渓ダムで 1.0，豊平峡ダムで 0.8 となったが，実務上の観点を考慮し両流域とも 1.0 とした．降雪水量の補正係数は，定山渓ダムで 1.3，豊平峡ダムで 2.3 が得られた．解析積雪深を用いた方法 1 および解析雨量を用いた方法 2 で降水量補正をしない場合では，融雪期後半の流出高が過小評価となった（a，b）．方法 2 で解析雨量を補正したところ，融雪期の流出高の過小評



図−3　長期流出再現計算の比較結果
（豊平峡ダム：2023 年 7 月～2024 年 5 月）.



図−4　定山渓ダム予測結果（期間：2024 年 4 月～5 月．
上：24 時間平均積雪水量，下：24 時間平均流出高）.



図−5　豊平峡ダム予測結果（期間：2024 年 4 月～5 月．
上：24 時間平均積雪水量，下：24 時間平均流出高）.

価が改善し，計算結果は実績流出高を概ね再現できた（c）．各ダム流域を対象に融雪期（2024 年 4 月～5 月）の流出予測計算を行った．予測初期時刻は MSM の更新間隔に合わせた 3 時間間隔とし，流出高の 24 時間平均値について予測精度を評価した．積雪水量および流出高の 24 時間平均値の予測結果を図-4，5 に示す．降雪水量を補正しない場合，平均流出高が過小評価されたが，補正を行うことで過小評価が大きく改善された．これは降雪水量の過小評価，すなわち積雪水量の過小評価が解消されたことによるものである．

４．まとめ

解析雨量などの公開気象データを活用した流出計算手法を北海道の 2 つのダム流域に適用して検証を行った．本研究の対象流域のように融雪流出量が過小評価となる場合でも，過去年度の水収支から算出した補正係数で解析雨量を補正することにより，流出量の精度を向上できることを示した．

【謝辞】

本研究は，JSPS 科研費（課題番号 22H01594，FY2022～2025）の助成を受けたものである．記して謝意を表す．

参考文献

1) 平沢ら：公開気象情報を用いた降雨・融雪を考慮できる通年流出予測手法の提案，第 69 回水工学講演会，採択論文，2024.
2) 相良ら：公開気象情報を用いた積雪寒冷地のダム流域に適用できる流出計算手法，土木学会北海道支部論文報告集，81，B-1-03，2025.
3) 中津川ら：水文情報の総合化による雪期ダム流入量の推算，(財) 北海道河川防災研究センター研究所紀要，XVII，pp.299-323，2006.

キーワード：Dam Inflow Forecasting, Snowmelt, Precipitation Correction, Water Balance, Snow Depth Analysis,

冬季の降水形態と地上気温および湿球温度の関係の分析

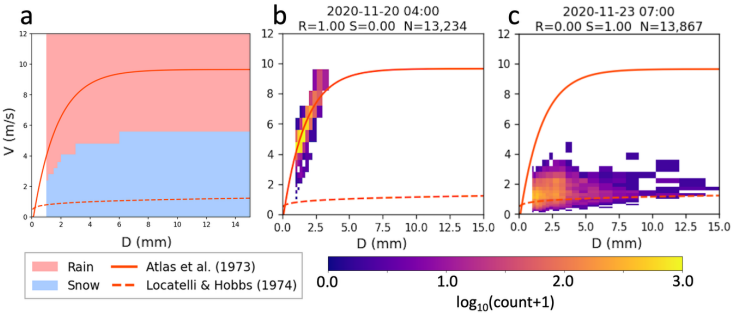
北海道大学大学院工学院　　○長谷川禎史
北海道大学大学院工学研究院　　山田朋人

1．はじめに

降水は雨であるか雪であるかによって我々の生活や地上の水・熱収支に異なる影響をもたらす．地上における降水形態は降水粒子が通過する大気の気温・湿度の鉛直分布に依存するが，水文モデル等における実用上，地上観測値のみを用いた雨雪の分離手法が開発されてきた．地上における降水形態の判別の基準として固体降水の発生確率が 50%である気温や湿球温度が一般に用いられるが，降水形態が遷移する温度帯の幅や，判別手法による精度の違いを検証する研究は限られている．本研究ではディスドロメーター観測値から判定した降水形態と地上気象観測値を用い，降雪頻度と地上気温および湿球温度の関係について分析を行った．

2．使用データ・手法

本研究では石狩川水系豊平川上流に位置する定山渓ダム（北海道札幌市）集水域内の流木処理場における気温（℃），相対湿度（%），およびレーザー式ディスドロメーター Parsivel（OTT 社）の観測データを使用した．当地点では 2005 年より毎年，冬季に積雪・気象の自動観測および積雪断面観測を行なっている．対象期間は 2020 年から 2024 年の 5 年間で，11 月から翌年 4 月までの観測値を使用した．



図−1　(a)終端速度曲線に基づく雨・雪判別領域マップ．(b)雨，(c)雪であると判定された時刻の V-D 分布．

降水粒子の相判別のため Parsivel の落下速度−粒径（V-D）分布を用いた．Parsivel は直径 D (mm) と落下速度 V (ms^{-1}) をそれぞれ 32 クラスに分割した 32×32 の粒子数行列（以下，V-D 行列）を出力する．本研究では 10 分毎の観測値を 1 時間に積算した V-D 行列を用い，1 時間毎に雨雪判別を行った．判別の基準として，雨粒および雪片の終端落下速度-粒径関係である Atlas et al.（1973）[1]の経験式および Locatelli and Hobbs（1974）[2]の経験式

$$V_{rain}(D) = 9.65 - 10.3e^{-0.6D} \quad (1)$$

$$V_{snow}(D) = 0.8D^{0.16} \quad (2)$$

をそれぞれ用いた（ともに V の単位は ms^{-1}，D の単位は mm）．粒子数が格納される 32×32 の各 V-D ビンを式(1)，式(2)の曲線との速度軸方向の距離より雨のビン，雪のビンに分類し（図−1a），雨のビンに含まれる粒子の割合が多い時刻は「雨」（例：図−1b），雪のビンに含まれる粒子の割合が多い時刻は「雪」（例：図−1c）と判定した．小粒径域（$D < 1.0$ mm）はレーザー端部に降水粒子の一部のみが通過したことによるエラーの影響を受けるため，判別対象から除外した．

各時刻の湿球温度は以下の Sprung の乾湿計公式に Tetens の式を代入し，反復計算より求めた．

$$e = e_{sw} - Ap(T_s - T_w) \quad (3)$$

ここで，e は水蒸気圧（hPa），e_{sw} は T_w における飽和水蒸気圧（hPa），A は乾湿計係数（K^{-1}），p は現地気圧（hPa），T_s は地上気温（℃），T_w は湿球温度（℃）．Tetens の式は，

$$e_{sw} = 6.1078 \times 10^{\frac{aT_w}{b+T_w}} \quad (4)$$

ここで a, b は係数である．式(3)，式(4)の各係数は $T_w \geqq 0$ のとき氷結時の値（$A = 0.000662$, $a = 7.5$, $b = 237.3$）を，$T_w < 0$ のときは非氷結時の値（$A = 0.000583$, $a = 9.5$, $b = 265.3$）を用いた．

気温と降雪発生頻度の関係を求めるために以下を行った．「雨」または「雪」と判定された時刻における気温を抽

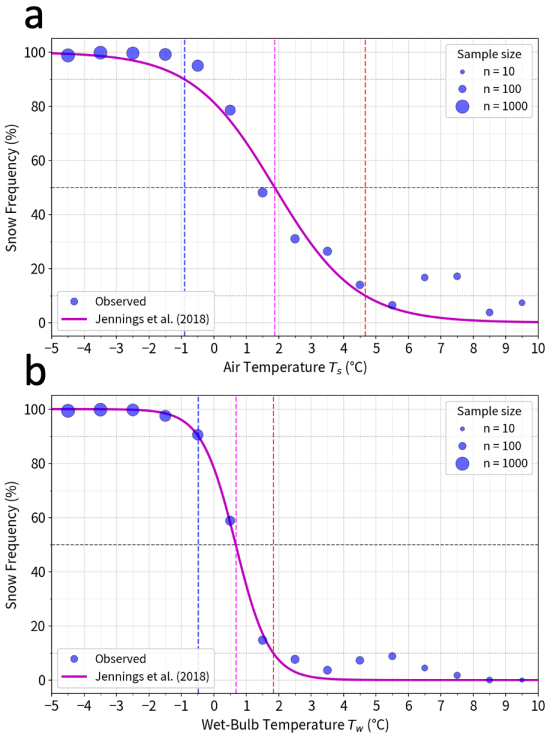
出し，−5℃から 10℃までの 1℃刻みの気温区間ごとに降雪頻度を求めた．例えば気温が 0℃以上 1℃未満かつ天気が「雨」または「雪」の時刻が合計 100 時間あり，うち 75 時間の天気が「雪」であった場合，0℃以上 1℃未満の気温区間における降雪頻度は 75%となる．得られた−5℃から 10℃までの 1℃ごとの降雪頻度に以下のロジスティック曲線 [3]をフィッティングすることで，気温と降雪の発生頻度の関係式（降雪頻度曲線）を求めた．

$$p(snow) = 1/(1 + e^{\alpha+\beta T_s}) \quad (5)$$

ここで，$p(snow)$ は降雪発生確率，T_s は地上気温（℃），α および β はパラメーターである．「雨」または「雪」の時刻が 10 時間未満の気温区間の値は除外した上で，非線形最小二乗法でパラメーターの推定を行った．降雪発生確率が 50%となる地上気温 $T_{s,50}$ は，式(5)に $p(snow) = 0.5$，$T_s = T_{s,50}$ を代入し，$T_{s,50} = -\alpha/\beta$ と求められる．湿球温度についても同様に−5℃から 10℃までの 1℃刻みの温度区間ごとの降雪頻度を求め，式(5)をフィッティングし，降雪発生確率が 50%となる湿球温度 $T_{w,50}$ を求めた．

3．結果

得られた降雪頻度曲線を図−2 に示す．降雪発生確率が 50%となる地上気温 $T_{s,50}$ は 1.87℃，湿球温度 $T_{w,50}$ は 0.67℃であった．また湿球温度の降雪頻度曲線は気温のそれと比較し，温度の上昇に対する降雪頻度の変化が急であった．このことは，湿球温度は気温と比較して，降水形態が不確定な温度の幅が小さく，より高精度に雨雪を判別できることを示唆している．



図−2　(a)気温，(b)湿球温度に対する降雪頻度曲線．

4．まとめ

札幌市定山渓ダム流域内の観測サイトにおける 2020〜2024 年冬季の地上気温，湿度およびディスドロメーターによる観測データを用い，降雪頻度と地上気温・湿球温度の関係の分析を行った．降雪発生確率が 50%となる閾値は地上気温で 1.87℃，湿球温度で 0.67℃であった．また，湿球温度に基づく降雪頻度曲線は気温のそれより急峻であり，湿球温度が降水形態の判別においてより高精度な指標となることが示唆された．研究発表会では著者らが行った日本全国を対象とした地上気温，湿球温度と降雪頻度の関係に関する分析 [4]についても紹介する予定である．

【謝辞】

本研究は文部科学省「気候変動予測先端研究プログラム」JPMXD0722680734，科研費基盤研究 (B) 26K01048 および第 3 期内閣府戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）「スマート防災ネットワークの構築」の支援を受けて実施した．また国立研究開発法人土木研究所寒地土木研究所にはデータの提供を頂いた．ここに記して謝意を表する．

参考文献

1) Atlas et al., Doppler radar characteristics of precipitation at vertical incidence. Rev. Geophys. 11, 1–35, 1973, DOI 10.1029/RG011i001p00001.

2) Locatelli and Hobbs., Fall speeds and masses of solid precipitation particles. J. Geophys. Res. 79, 2185–2197, 1974, DOI 10.1029/JC079i015p02185.

3) Jennings et al., Spatial variation of the rain-snow temperature threshold across the Northern Hemisphere. Nat. Commun. 9, 1148, 2018, DOI 10.1038/s41467-018-03629-7.

4) 長谷川禎史，山田朋人：日本全国を対象とした冬季の降水形態を判別する気温および湿球温度の空間分布，令和8年度土木学会全国大会第81回年次学術講演会講演概要集，2026.

キーワード：Rain-snow discrimination, Precipitation, Rainfall, Snowfall, Wet-bulb temperature

北海道を対象とした雪水比の地域特性

九州大学大学院工学府　○石原知咲
九州大学大学院工学府　髙田尚輝
北海道立総合研究機構　大屋祐太
九州大学大学院工学研究院　丸谷靖幸

１．はじめに

近年，地球規模で気候変動が進行し，特に冬季および高緯度地域で地球温暖化の影響が顕著である [1]．日本では，北海道などの寒冷地で融雪期の降水形態の変化，流域平均雨量の増加，融雪の早期化が観測されている [2]．将来の水資源管理・災害対策等を検討する上で，これらの影響を適切に評価することが重要である．

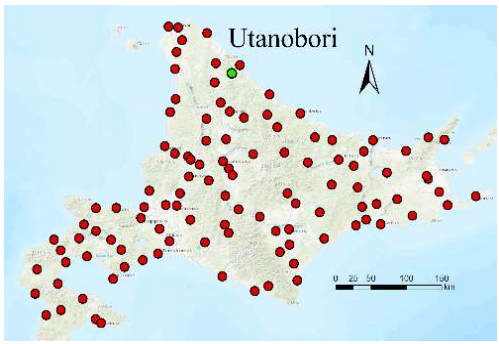
気候変動影響評価において，例えば水防災や水環境の研究では GCM(General Circulation Model)から出力される降水量が様々な影響評価モデルの入力値として利用されている．一方，積雪・融雪モデルでは降雪量を入力値とするため，GCM の降水量を降雪量へ変換する必要がある．この変換手法として，降雪量・降水量・気温の観測値を用い，気温を説明変数とするロジスティック関数を構築し，雪水比（降雪量/降水量）を推定する方法がある [3]．

既往の研究では，複数の気象観測地点に対して単一のロジスティック関数が適用されている．一方で，雪水比は降水量によりばらつきが大きいこと，季節により変化することが示唆されている [4]．そのため，雪水比を高精度に推定するには，地域特性を考慮する必要がある．そこで本研究では，北海道全域を対象に雪水比特性の地域差を評価し，それに影響する要素を整理することを目的とする．

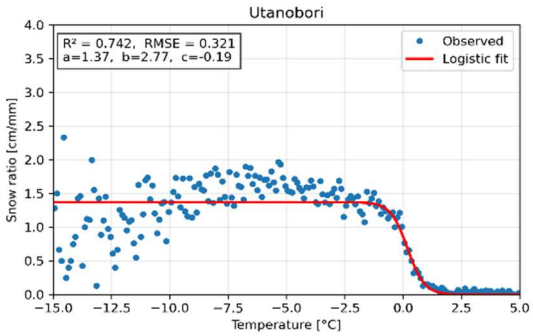
２．使用データおよび解析の手法

本研究では，気象庁により降雪量が観測されている北海道内 110 地点を対象とし，気温，降水量，降雪量の時間観測値を用いた（図−1）．対象年数は，観測開始年から 2024 年までとした．

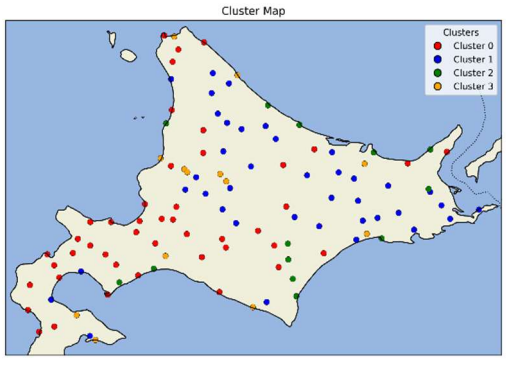
まず，北海道内 110 地点それぞれについて，気象データ（降水量，降雪量, 気温）を用いてロジスティック関数により雪水比を推定した．雪水比の推定方法の詳細は Byun *et al.* [3]を参照いただきたい．各地点で得られた係数 a, b, c をもとにクラスタリングを行い，雪水比特性の地域性を評価した．さらに，各係数を目的変数，寒冷期（11~4 月）の気温・降水量・風速・標高を説明変数とした多変量回帰分析を行い，その後，重回帰分析における説明変数の重要度（相対的重要度）を算出する手法である LMG（Lindeman, Merenda, and Gold）法により各説明変数の相対寄与率を算出することで，雪水比の地理的・気象的特徴との関係を整理した．



図−1　対象観測地点



図−2　歌登における雪水比



図−3　クラスター分布

３．結果

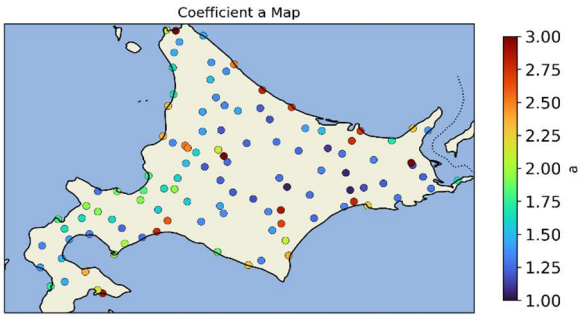
作成したロジスティック関数の例として，歌登（図−1）の結果を図−2 に示す．また，全地点の係数 a, b, c を用いて K-Means 法でクラスタリングを行い，空間分布を地図上に可視化した結果を図−3 に示す．図−3 より，クラスター0 は南西部，クラスター1 は北東部，クラスター2 は沿岸域に分布する傾向がわずかに見られ，弱い地域性が示唆された．

表−1　各係数に対する解析結果（主要因子のみを示す）

目的変数	主要因子	標準化回帰係数 β	LMG 寄与率(%)	p 値	モデル全体の R^2
a	風速	0.471	65.7	0.00003***	0.2960
b	気温	-0.322	49.2	0.02062*	0.1611
c	降水量	-0.186	95.2	0.06929	0.0346

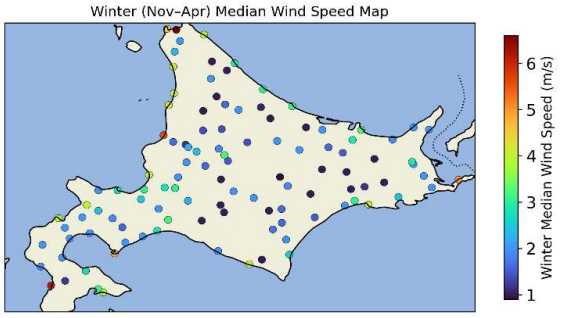
p<0.001:***
p<0.01:**
p<0.05:*

多変量回帰解析を行い，LMG 法によって寄与率を算出した結果から，主要因子を抜粋して表−1 に示す．係数 a で風速，係数 b で気温，係数 c で降水量が最も寄与率が高くなった．この結果より，各係数は異なる気象因子に支配されており，雪水比の地域差が単一要因では説明できないことが示された．特に，係数 c において寄与率は 95.2%と高い値を示した．一方で，他の係数と比較してモデルの説明力は低く，単純な関係では説明できない可能性も示唆された．



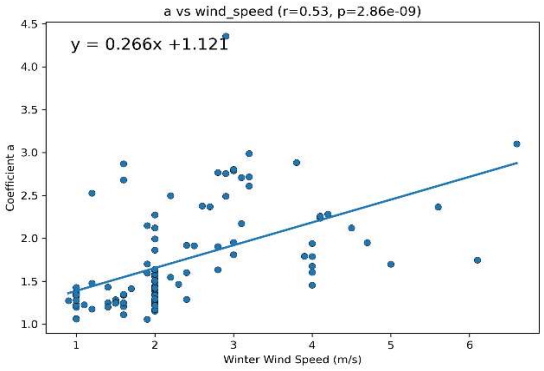
図−4　係数 a の空間分布

さらに詳しく確認するため，各係数と主要要因の空間分布を確認した．例として，係数 a の空間分布を図−4，主要因子である風速の空間分布を図−5 に示す．両者を比較すると，係数 a の大きい箇所（沿岸部，西部）で同様に風速も大きく，両者の空間分布が概ね対応していることが確認できる．



図−5　寒冷期風速の空間分布

また，各係数と主要因子の関係を定量的に把握するため，横軸に主要因子，縦軸に係数をとった散布図を作成した．例として係数 a の結果を図−6 に示す．冬期風速の中央値が 1 m/s のとき，係数 a は約 1.4 であり，風速が 1 m/s 増加するごとに係数 a が約 0.27 増加する傾向が確認された．



図−6　風速と係数 a の関係

4．まとめ

本研究では，北海道内 110 地点を対象に雪水比特性の地域差を評価し，その要因について検討を行った．その結果，係数 a は風速，係数 b は気温，係数 c は降水量によって特徴づけられ，雪水比の地域差は単一要因ではなく，係数ごとに異なる気象要素によって形成されていることが明らかとなった．よって，雪水比の推定においては地域特性を考慮することが重要であることが示された．さらに，主要因子と各係数との間に一定の対応関係が確認されたことから，気象条件に基づいて各係数を近似的に設定することで，雪水比モデルの簡易推定が可能となることが示唆される．今後は，その精度検証を行うとともに，広域的な気候変動影響評価への応用が期待される．

［参考文献］

1)　IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change): AR6 Climate Change 2021: The Physical Science Basis, 2021.
2)　安保ら: 観測値に基づく日本の積雪寒冷地の直近 22 年間にわたるダム流入量と気温の変化について，水文・水資源学会 2025 年度研究発表会, 2025.
3)　Byun *et al.*: A Snow-Ratio Equation and Its Application to Numerical Snowfall Prediction, WEATHER AND FORECASTING, VOLUME 23, pp.644-658, 2013.
4)　気象庁予報部: ガイダンスの解説，数値予報課報告・別冊第 64 号, pp.247, 2018.

キーワード：雪水比，降水量，降雪量，気温，北海道

熱収支法・Degree-hour 法・SNOWPACK による積雪下面流出量の比較

寒地土木研究所　　○山田　嵩
北海道大学大学院工学研究院　　山田朋人

1. はじめに

融雪流出解析モデルにおける融雪量の推定には，主に熱収支法または Degree-hour 法が用いられる．熱収支法は，放射収支，風速，湿度等の物理条件を考慮して融雪量を算定する手法であり，物理的な妥当性が高い．しかし，多くの気象要素を必要とするため，観測データが限られる山岳域や広域解析への適用には課題がある．これに対して，Degree-hour 法は気温のみを指標として融雪量を推定する簡便な手法であり，広域展開が容易である．しかし，放射や風速等の影響を明示的に考慮しないため，物理過程の表現には限界がある．さらに，近年では積雪変質モデル SNOWPACK[1)]を用いた融雪量の推定も行われている．SNOWPACK は積雪層内の物理過程を詳細に表現できる一方で，熱収支法同様に多くの入力データを必要とし計算負荷が大きい．そのため，熱収支法，Degree-hour 法および SNOWPACK による融雪量推定の違いを比較し，各手法の特性を明らかにすることは，融雪流出解析への適用性を検討する上で重要である．そこで本研究では，この 3 手法による融雪量をライシメーターによる底面流出量と比較して，その適用性を検証した．

2. 対象地点・使用データ

対象地点は北海道札幌市に存在する定山渓ダムの流木処理場とした．流木処理場では長短波放射，気温，相対湿度，降水量および底面流出量等の観測を行っている．解析期間は 2023 年 12 月 1 日から 2024 年 4 月 30 日および 2024 年 12 月 1 日から 2025 年 4 月 30 日までとし，時間解像度は 1 時間とした．

3. 解析手法

3.1. Degree-hour 法

Degree-hour 法は気温のみを指標として融雪量を推定する手法であり，式(1)で表される．

$$M_D = k \times T_a \tag{1}$$

ここでM_Dは融雪量，kは融雪係数，T_aは気温である．本研究ではkを$0.25\ \mathrm{mm/℃\cdot h}$の一定値とした．

3.2. 熱収支法

熱収支法には近藤 [2)]の熱収支モデルを用いた．式(2)に熱収支式を示す．

$$Q_m = R_n - H - LE \tag{2}$$

ここでQ_mは雪面熱収支から求めた融雪可能熱量，R_nは正味放射量，Hは顕熱輸送量，LEは潜熱輸送量である．なお，R_nは下向きを正，HおよびLEは上向きを正として扱った．さらに，顕熱および潜熱輸送量は近藤 [2)]のバルク式を用いて以下の式で計算した．

$$H = C_p \rho C_H U (T_s - T_a) \tag{3}$$

$$LE = L_v \rho \beta C_H U [q_{sat}(T_s) - q] \tag{4}$$

ここでC_pは空気の定圧比熱，ρは空気の密度，βは蒸発効率であり，積雪面では$\beta \approx 1$，C_Hはバルク数，Uは風速，T_sは表面温度，q_{sat}はT_sに対する飽和比湿，qは大気の比湿である．これらの変数のうち，風速および表面温度は流木処理場で観測しており，比湿は Tetens 式により算出し，気圧は標高 398 m を考慮して$p = 967\ \mathrm{hPa}$とした．また，交換速度は近藤 [2)]に基づき$C_H U = 0.001 + 0.002U$とした．得られた融雪可能熱量Q_mが正の場合，氷の融解潜熱を用いて mm 単位の融雪量に換算した．

3.3. 積雪貯留

Degree-hour 法および熱収支法による融雪量は，積雪内の融雪水の貯留および流出遅れを考慮するために，中津川ら [3)]による積雪貯留モデルに入力した．本モデルでは，積雪層を線形貯留槽として扱い，貯留係数は積雪深に応じて変化するものとした．なお，本モデルでは融雪水や雨水の再凍結過程は明示的には考慮していない．

3.4. SNOWPACK

積雪変質モデルにはスイス連邦雪・雪崩研究所により開発された SNOWPACK を用いた．SNOWPACK は山岳地形上の大気，積雪および土壌間で生じる物理過程のシミュレーションが可能である．本研究では，流木処理場で観測された気象・積雪データを SNOWPACK に入力し，積雪下面流出量を算定した．

3.5. 比較検証

検証は，ライシメーターにより同時に観測された積雪下面流出量との比較により行った．Degree-hour 法および熱収支法では，算定した融雪量を積雪貯留モデルに入力して積雪下面流出量を求めた．なお，熱収支法および Degree-hour 法では，底面融雪量として 1 mm/day を加えた．SNOWPACK では，モデルにより算定された積雪下面流出量を用いた．これらを観測された積雪下面流出量と比較し，Nash-Sutcliffe 係数（NSE）により各手法の再現性を評価した．

4. 結果および考察

各シーズンの比較結果を図-1 に示す．全解析期間における NSE は，2023–2024 年冬季で熱収支法 0.304，Degree-hour 法 0.210，SNOWPACK0.608，2024–2025 年冬季でそれぞれ 0.317，0.269，0.644 となり，両冬季とも SNOWPACK が最も高い再現性を示した．熱収支法および Degree-hour 法では冬季の積雪下面流出量を大きく過大評価しており，積雪内での融雪水の再凍結過程を考慮していないことが要因と考えられる

熱収支法は Degree-hour 法よりやや高い NSE を示したものの，両手法とも SNOWPACK に比べて再現性は低く，熱収支法を用いることによる明確な改善は確認されなかった．したがって，本観測地点における熱収支法との比較では，使用変数の少ない Degree-hour 法であっても，積雪下面流出量の再現性に大きな差は生じないことが示唆された．

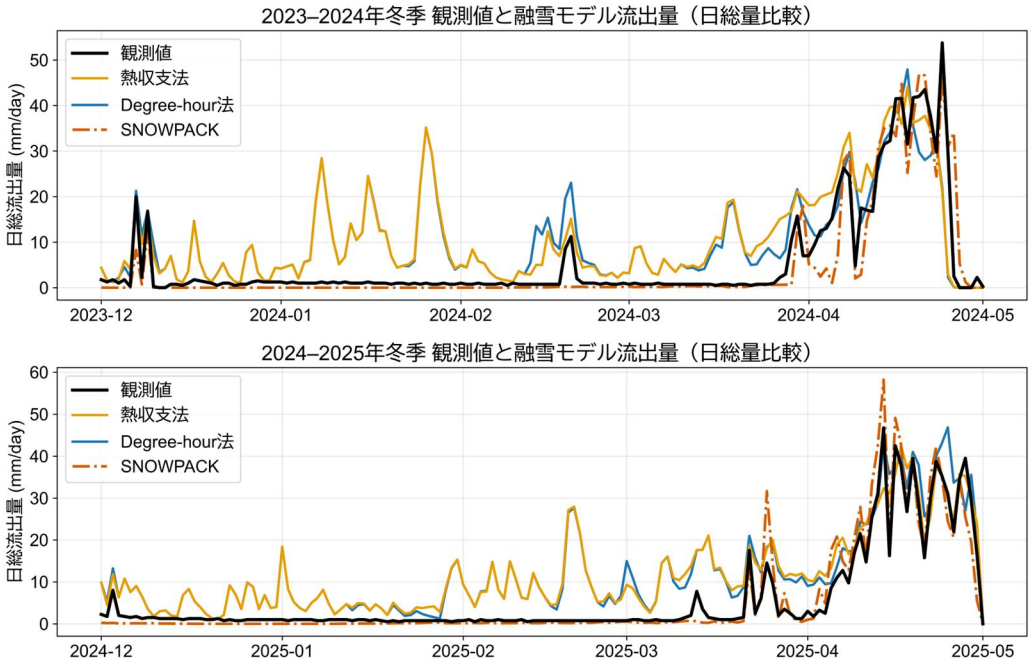


図-1 観測値と各手法による底面流出量の比較図（上：2023-2024，下：2024-2025）

5. まとめ

本研究では，熱収支法，Degree-hour 法および SNOWPACK による積雪下面流出量の違いを比較・検証した．その結果，熱収支法および Degree-hour 法では，積雪期の積雪下面流出量を過大評価する傾向がみられた．熱収支法は Degree-hour 法よりやや高い NSE を示したものの，両手法とも SNOWPACK に比べて再現性は低かった．SNOWPACK による再現性は良好であり，積雪内の再凍結過程の有効性が示唆された．

【謝辞】

定山渓ダム流木処理場での観測においては，定山渓ダム管理支所の協力を受けた．ここに記して謝意を表す．

参考文献

1) Bartelt, P. and Lehning, M.: A physical SNOWPACK model for the Swiss avalanche warning. Part I: numerical model, Cold Regions Science and Technology, 35, 123–145, 2002.
2) 近藤純正：地表面に近い大気の科学，東京大学出版会，2000.
3) 中津川誠，工藤啓介・星清：積雪貯留を考慮した汎用的な融雪流出解析，水工学論文集，48，37–42，2004.

キーワード：snowmelt, snowpack bottom runoff, energy balance method, degree-hour method, SNOWPACK

富山県を対象とした機械学習を用いた積雪深予測の基礎検討

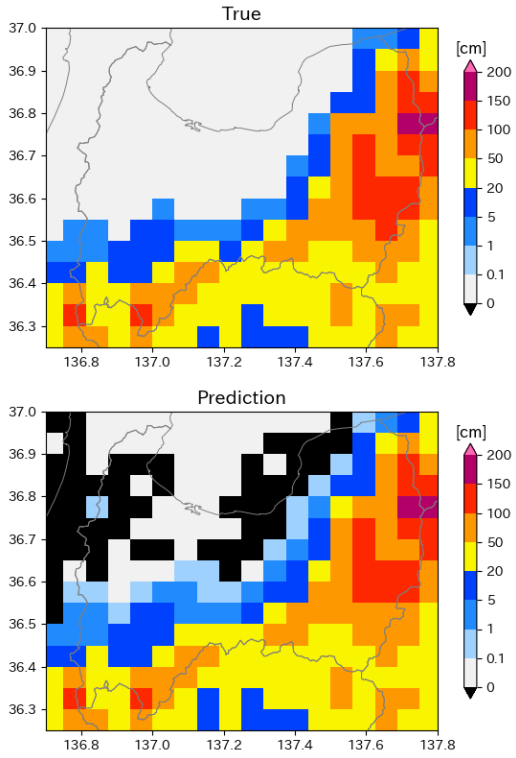
富山県立大学工学部環境・社会基盤工学科　○松原えりな
富山県立大学大学院工学研究科　馬渕慎也
富山県立大学工学部環境・社会基盤工学科　吉見和紘

１．はじめに

近年，大雪による被害が社会的に問題となっている．2018 年の大雪では，福井県内で最大 1,500 台の車両滞留が発生し大規模な交通障害となった．また，2026 年に青森県で発生した記録的な大雪では，除雪が追い付かず市民生活に大きな影響を及ぼした．このような被害を軽減するためには，積雪深の空間分布を的確に把握し，交通規制や除雪対策の判断に活用することが重要である．気象庁が提供する解析積雪深 [1]は，1 時間ごとに約 5 km 格子で積雪深を面的に推定した情報であり，広域的な積雪状況を把握する上で有用である．一方で実際の除雪作業や道路管理では，時空間的により高分解能を有するデータが求められていることが，著者らのヒアリング調査から明らかとなっている．そこで著者らは，日本有数の豪雪地帯である富山県を対象に，解析積雪深などの面的な気象データを用いた時空間高分解能データの作成及び機械学習を用いた積雪深予測を行うことを目標としている．解析積雪深を活用した既往研究では，渡辺ら [2]が解析積雪深を用いた融雪量を考慮したダム流入量予測を行い，河川分野における解析積雪深の活用可能性を示した．また，機械学習を応用した既往研究では，鈴木ら [3]が機械学習モデルの一種である畳み込みニューラルネットワーク（CNN）を用いた集中豪雨予測モデルを考案し，倉上ら [4]が，CNN の一種である U-Net を導入した降水量予測補正の検討を行い，気象分野における CNN の適応可能性を示した．これらの既往研究を踏まえ，本研究では基礎検討として，解析積雪深を入力とした機械学習モデルを構築し，入力時間数及び予測時間の違いが積雪深予測に与える影響を把握することを目的とする．

２．研究手法

本研究では，入力時間数および予測時間の違いが積雪深予測に与える影響を把握するため，解析積雪深と機械学習モデルを用いて予測を行った積雪深（以下，予測積雪深）の精度検証を行った．使用データは解析積雪深であり，富山県を含む北緯 36.25～37.0 度，東経 136.7～137.8 度を対象領域とし，その領域内の格子データを用いた．解析期間は 2019 年 11 月 21 日 13 時～2025 年 7 月 1 日 8 時の 49,172 時刻である．また，訓練期間を 2019 年 11 月 21 日 13 時～2024 年 5 月 7 日 13 時の 39,337 時刻，検証期間を 2024 年 5 月 7 日 14 時～2024 年 12 月 8 日 10 時の 4,917 時刻，テスト期間を 2024 年 12 月 8 日 11 時～2025 年 7 月 1 日 8 時の 4,918 時刻とした．機械学習モデルには CNN を用いた．気象データは一般に多次元の格子点データとして表現され，画像認識の分野で活躍している CNN との親和性が高いと考え CNN を採用した．入力時間数は過去 3・6・9・12・24 時間の 5 条件，予測時間は 1～24 時間先の 24 条件とし，組み合わせごとに予測時間の解析積雪深を正解データとした，計 120 個のモデルを構築した．精度検証の指標には，平均誤差，二乗平均平方根誤差（RMSE）用いた．平均誤差は解析積雪深に対する予測積雪深の偏りの平均を，RMSE は予測積雪深の誤差の大きさを示す指標である．



図−1　2019 年 11 月 21 日 16 時の解析積雪深及び予測積雪深（入力時間が過去 3 時間，予測時間が 1 時刻先）の分布図．

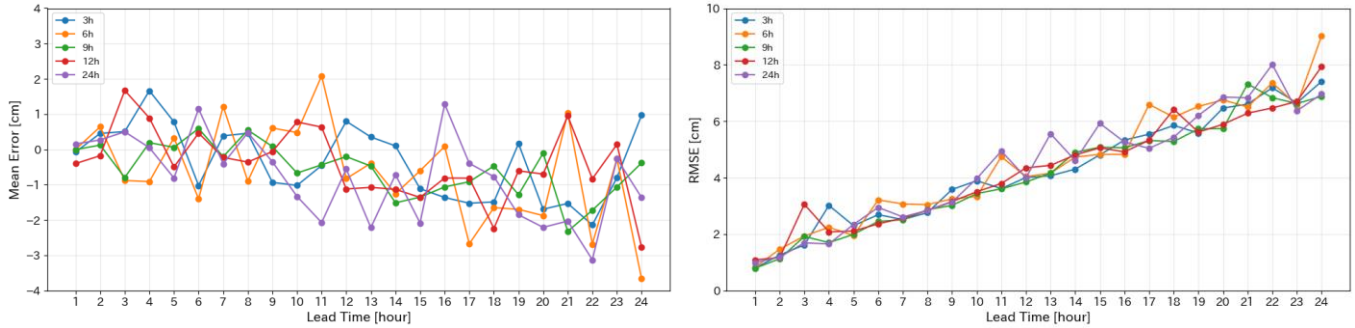


図-2　入力時間数ごとの平均誤差，RMSE と予測時間の関係.

3．結果と考察

図-1 に 2019 年 11 月 21 日 16 時における解析積雪深及び入力時間数が過去 3 時間，予測時間が 1 時間先である場合の予測積雪深分布図を示す．解析積雪深と予測積雪深は概ね同様の分布を示しており，積雪深の空間的な傾向を再現できていることが確認された．一方で，予測積雪深には負の値がみられ，入力時間数および予測時間を変更した他のモデルにおいても同様の傾向が確認された．これは，海域では積雪が存在しないため，解析積雪深において常に 0 cm 付近の値を示していた領域を，モデルが積雪深の減少傾向として学習したことで，0 cm 未満の値を出力したためと考えられる．その結果，積雪が存在しない海域周辺を中心として負の値が確認されたと考えられる．図-2 に入力時間数ごとの平均誤差，RMSE と予測時間の関係を示す．予測時間の増加に伴い RMSE は増加する傾向となり，予測時間が 1 時間増加するごとに予測積積雪深は約 0.3 cm 増加することが示された．また，平均誤差はばらつきがみられるものの全体的に減少する傾向となった．これらの結果より，予測時間が長くなるにつれて予測精度が低下することが確認された．一方で，入力時間数の違いによる大きな差異はみられなかった．これは，予測時間の 1 時間前の解析積雪深が予測積雪深に強く寄与しているためと考えられる．

4．まとめ

本研究では，解析積雪深を入力データとした機械学習モデルを構築し，入力時間数および予測時間の違いが積雪深予測に与える影響を把握するため，解析積雪深と予測積雪深の精度検証を行った．予測積雪深は概ね解析積雪深と同様の分布傾向を示したが，海域周辺を中心として負の値が確認された．これは，積雪が存在しない海域においてモデルが積雪深の減少傾向として学習したためと考えられる．指標結果より，入力時間数による大きな差異はみられなかったが，予測時間が長くなるにつれて予測精度が低下することが確認された．これは，予測時間の 1 時間前の解析積雪深が予測積雪深に強く寄与しているためと考えられる．今後は，解析積雪深に加え他の面的な気象データを入力とした機械学習モデルを構築し，時空間的に高分解能の積雪深予測を行う予定である．

【謝辞】

本研究は，株式会社東芝様より研究内容に関する助言を頂きました．JSPS 科研費（25K07940）と JST【ムーンショット型研究開発事業】【JPMJMS2329】の助成を受けました．ここに謝意を表します．

参考文献

1)　酢谷ら，解析積雪深・解析降雪量及び降雪短時間予報について，測候時報，Vol.91，No.1，pp.1-25，2024.
2)　渡辺ら，アンサンブル予測雨量と融雪量を考慮した Elastic Net による通年ダム流入量予測の研究，土木学会論文集，Vol.81，No.16，pp.1-7，2025.
3)　鈴木ら，集中豪雨の発生予測に対する畳み込みニューラルネットワークの応用，水文・水資源学会 2018 年度研究発表会要旨集，pp.130-131，2018.
4)　倉上ら，ショートカット接続を含む深層学習における数値気象モデル降水量予測補正の検討，土木学会論文集 G（環境），Vol.76，No.5，pp.I_471-I_478，2020.

キーワード：Machine learning, Convolutional Neural Network, Snow Depth Analysis, Prediction, Toyama prefecture

北海道十勝地方の豪雪に対する海洋熱波による影響の評価

北海道大学大学院工学院　○金城敦也
中部大学工学部　岡地寛季
北海道大学大学院工学研究院　宮本真希
北海道大学大学院工学研究院　山田朋人

1．はじめに

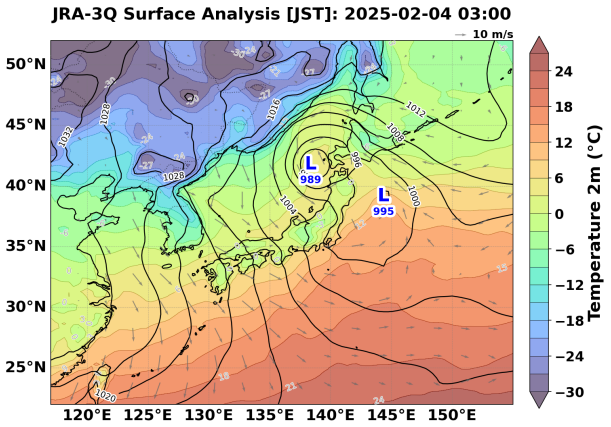
2025 年 2 月 3 日から 4 日にかけて、北海道十勝地方は記録的な豪雪に見舞われた。わずか一晩で帯広測候所では 12 時間降雪量 120 cm を記録した。加えて、2006 年以降の統計がある十勝地方の AMeDAS 12 地点のうち、9 地点において 12 時間降雪量の観測史上 1 位を更新した。数時間に数十センチの降雪が発生した事例は約 3 年に 1 度みられるが、今回の豪雪は約半日にわたって強い雪が降ったため、十勝地方全域で交通網の麻痺やビニールハウスの倒壊などの農業被害がもたらされた。

本事例は、発達しながら北海道南西部で停滞した日本海上の低気圧と新たに三陸沖に発生した低気圧によってもたらされた。図−1 はピーク時（2025 年 2 月 4 日午前 3 時）の地上天気図である。この二つの低気圧によって、十勝地方には太平洋から湿った南東風が断続的に吹き込み、降雪が強くなった。図−2 に、ピーク時（2025 年 2 月 4 日午前 3 時）の低層における水蒸気フラックスを示す。これより、太平洋からの非常に湿った大気が日高山脈に衝突し、十勝平野付近で激しく収束している様子が確認できる。この大量の水蒸気流入が、記録的な降雪をもたらす直接的な要因となった。さらに、黒潮続流の蛇行に伴って三陸沖から十勝沖にかけて暖水渦が停滞し、顕著な暖水状態が維持されていた。実際に、2025 年 2 月 4 日時点の十勝沖の海面水温（SST）は、過去 30 年間（1996–2025 年）の 2 月の平年値と比較して 4〜7℃も高い異常値を示していた。平田ら [1]は、この海洋熱波によって帯広周辺の降水量を約 50%増大させたことを数値実験により明らかにしている。

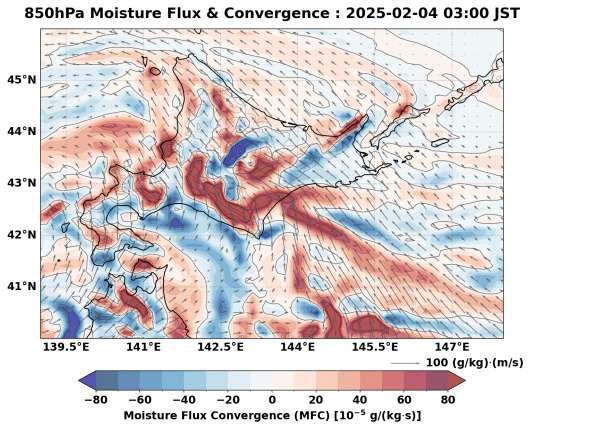
以上の背景を踏まえ、本研究では過去の豪雪事例における SST の偏差を解析し、海面水温の変動が降雪強度や降雪量に与える影響のメカニズムを明らかにすることを目的とする。

2．使用データ

2023 年から始まった黒潮続流の蛇行 [2]により、南から温かい海水がもたらされ、三陸沖や十勝沖の海水温が高い状態が続いていた。本研究では、海面水温および流速の参照データとして多重スケール三次元変分法により高解像度衛星データを同化した再解析データ JCOPE2M[3), 4)]を用いた。1993 年 1 月以降の日本近海の海流と海水温の分析を水深 0m, 100m で行った。エクマン輸送の影響による貯熱構造を評価するため、水深 100m の解析も行った。



図−1　JRA-3Q による 2025/2/4 午前 3 時の地上天気図
黒線：地上気圧，色：気温（地上 2m），矢印：風（地上 10m）



図−2　MSM による 2025/2/4 午前 3 時の 850hPa の水蒸気フラックスおよび収束量分布(MFC)
矢印：水蒸気フラックス，赤：収束，青：発散

3．結果

図−3 に海面および水深 100m における海水温と海流の空間分布を示す。本来房総半島沖を東進する黒潮続流が三陸沖まで北上しており、そこから切り離された暖水渦によって十勝沖の海面水温が高い状態が維持されていた。そこで、図−3 の赤枠の矩形領域(143.5°E–146.5°E, 40.5°N–43.0°N)の十勝沖を対象海域とし、1995 年 12 月から 2025 年 4 月までの過去 30 年間を基準とした月別平年値からの偏差解析を行った。

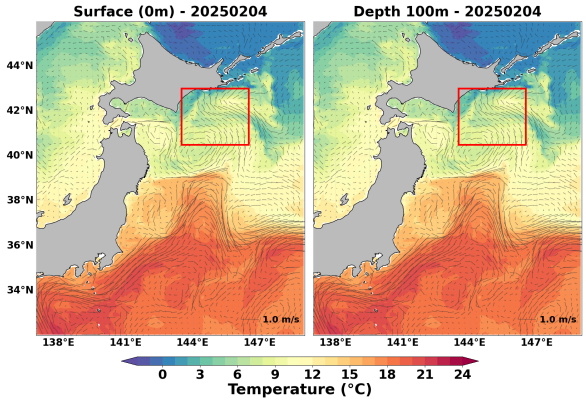
さらに、帯広測候所における 1953 年 1 月から 2025 年 5 月 31 日までの観測記録を対象に日降雪量の上位 50 事例を抽出した。図−4 は、再解析データが取得できる 1993 年 1 月以降の 17 事例について、発生日の海面水温から該当月の平年値を差し引いた偏差を比較したものである。その結果、本事例（2025 年 2 月 4 日）は高い正偏差（+4.12℃）を示しており、2000 年 1 月 7 日の事例と並び、十勝沖が極めて高温な条件下で発生していたことがわかった。以上の結果から、本事例では黒潮続流の北上に伴う海洋熱波の影響により、十勝沖の海面水温が過去の主要な豪雪事例と比較しても特異的に高い値を示していたことが明らかとなった。

4．まとめ

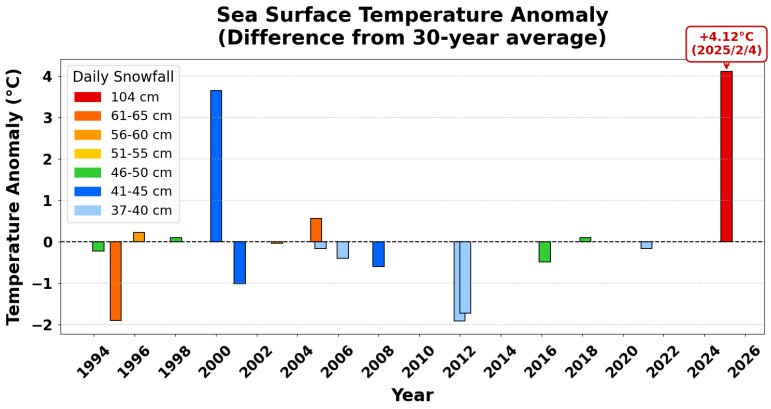
本研究では、2025 年 2 月の十勝地方における記録的豪雪に対し、海洋熱波が与えた影響を評価した。解析の結果、十勝沖では暖水渦に伴う深層まで及ぶ貯熱構造が形成されており、海面水温は過去の豪雪事例と比較しても突出した正偏差を記録していた。今後は気象モデルを用いた感度実験等により、海洋の影響をより定量的に評価していく必要がある。

【謝辞】

本研究は文部科学省「気候変動予測先端研究プログラム」JPMXD0722680734，科研費基盤研究(B)26K01048 および第 3 期内閣府戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)「スマート防災ネットワークの構築(サブ課題 B)」の支援を受けて実施した.



図−3　2025/2/4 の 1 日平均の海流と海水温
（左図：海面，右図：水深 100m）
赤枠の短径領域を解析対象とする



図−4　帯広における日降雪量上位事例の海面水温平年偏差
（対象海域：143.5°E–146.5°E, 40.5°N–43.0°N）
各事例発生日の海面水温から、該当月の月別平年値（期間：1995 年 12 月〜2025 年 4 月）を差し引いた値

参考文献

1) Hidetaka Hirata, Kenta Tamura, Takehiro Morioka, Tomonori Sato: Mechanisms behind the Record-Breaking Snowfall in Obihiro, Hokkaido, Japan, in February 2025: Roles of Atmospheric Environment and a Marine. Heatwave, SOLA, Vol. 21C, 1−9, doi:10.2151/sola.21C-001,2025

2) Shusaku Sugimoto, Atsushi Kojima, Tatsuya Sakamoto, Yuma Kawakami, Hideyuki Nakono: Influence of extreme northward meandered Kuroshio Extension during 2023–2024 on ocean–atmosphere conditions in the Sanriku offshore region, Japan, Journal of Oceanography, 81:203-215, 2025

3) Miyazawa, Y., A. Kuwano-Yoshida, T. Doi, H. Nishikawa, T. Narazaki,T. Fukuoka, and K. Sato, 2019: Temperature profiling measurements by sea turtles improve ocean state estimation in the Kuroshio-Oyashio Confluence region, Ocean Dynamics, 69, 267-282.

4) Miyazawa, Y., S. M. Varlamov, T. Miyama, X. Guo, T. Hihara, K. Kiyomatsu, M. Kachi, Y. Kurihara, and H. Murakami, 2017: Assimilation of high-resolution sea surface temperature data into an operational nowcast/forecast system around Japan using a multi-scale three dimensional variational scheme, Ocean Dynamics, 67, 713-728.

キーワード：海面水温(SST)，黒潮続流，海洋熱波，水蒸気フラックス，低気圧

釧路湿原の水循環に関する蒸発散を踏まえた将来の有効降雨量の推定

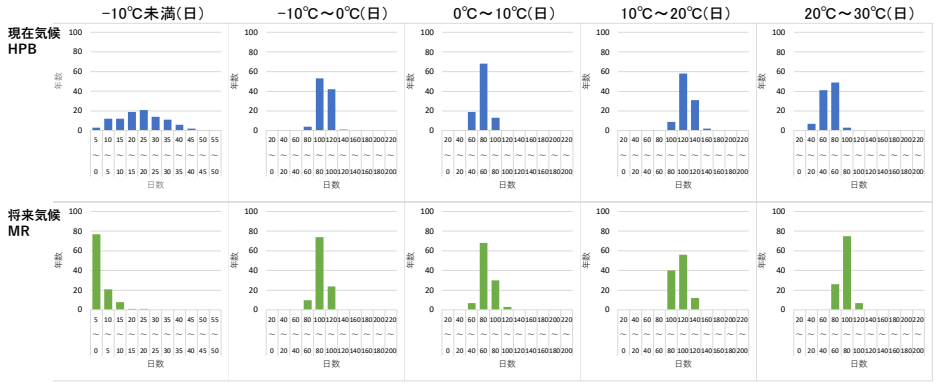
一般財団法人北海道河川財団　○山本太郎
応用地質株式会社　大橋弘紀，佐々木知子
北海道開発局釧路開発建設部　嵯峨井聖貴，小泉和久

１．はじめに

釧路湿原は面積約 258km^2 の日本最大の湿原であり，国立公園に指定され広大な自然が残されている．高度成長期の湿原周辺流域の開発による湿原への土砂流入の影響などにより湿原環境の変化が生じていたことから，2005 年に釧路湿原自然再生全体構想が策定され，湿原環境を保全するよう自然再生事業が進められている．近年気候変動が進む中，温暖化で降雨量が増加すれば湿地としての湿潤状態の維持の面でプラス効果となる一方で，同時に蒸発散が活発化することで湿地の水分が減少するマイナス効果も生じる懸念がある．釧路湿原が多くの生物の生息場であり，また泥炭に炭素保有効果があり温暖化進行抑制に寄与すること，さらに湿原が観光など地域産業に効果があることなどを考えれば，将来にわたる湿地の維持は地域の大きな課題である．ここでは釧路湿原の水循環の視点から現在および将来予測での蒸発散と有効降雨量を算定し，今後に向けての検討の方向性を示すこととした．

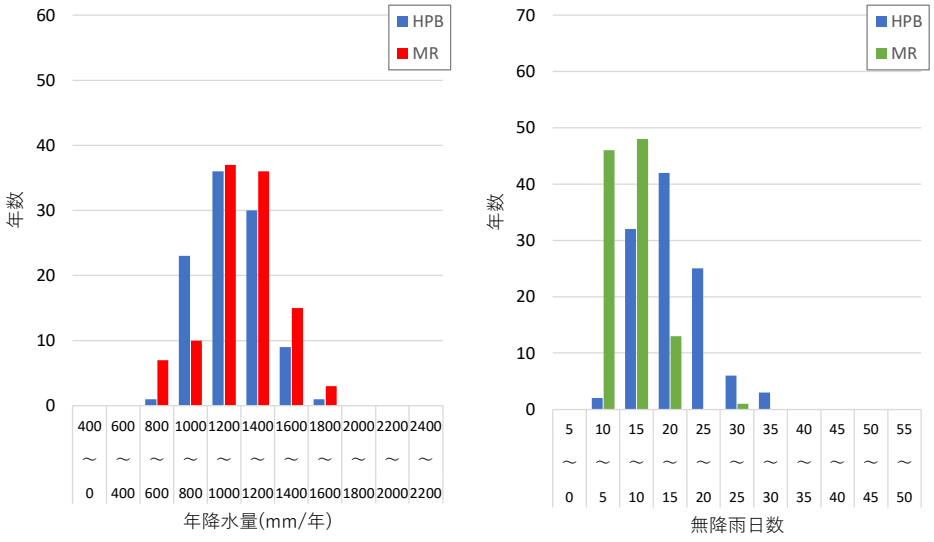
２．気温と降雨の将来変化予測

現在と将来の気候予測は d4PDF データを用いることとし，元の 20km メッシュデータから 5km に力学的ダウンスケールを行ったものとした[1)]．現在気候には HPB シナリオ 3000 年分，将来気候には 4℃上昇を想定した 6 シナリオの中から平均的な傾向の MR を使用した[2)]．

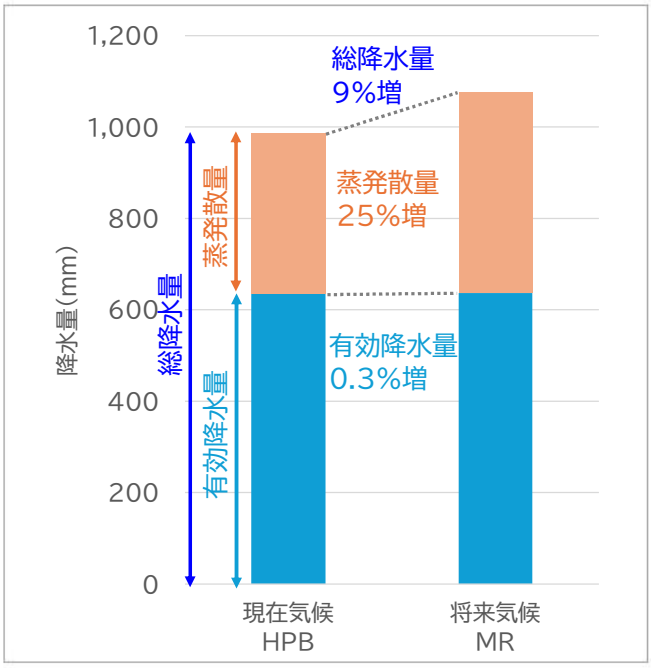


図−1　日平均気温頻度の変化

気温の変化として特徴的なのは日平均気温が-10℃未満となる日数で，現在気候 HPB では 20～25 日となる年の頻度が最も高いのに対し，将来気候 MR では 0～5 日の年が 80%近くとなる予測結果が示された．また日平均気温が 20～30℃となる日数が現在気候 HPB では 60～100 日の頻度が 50%程度であるのに対し，将来気候 MR では 80%近くまで増加する予測となっている．降雨では，年降水量 1,200mm 以上となる年が現在気候 HPB では全体の 40%であるのに対し，将来気候 MR では 55%程度に増加する予測となる．また無降雨日数は現在気候 HPB より将来気候 MR が少なく，冬季に雨が降ることの影響が表れている可能性がある．

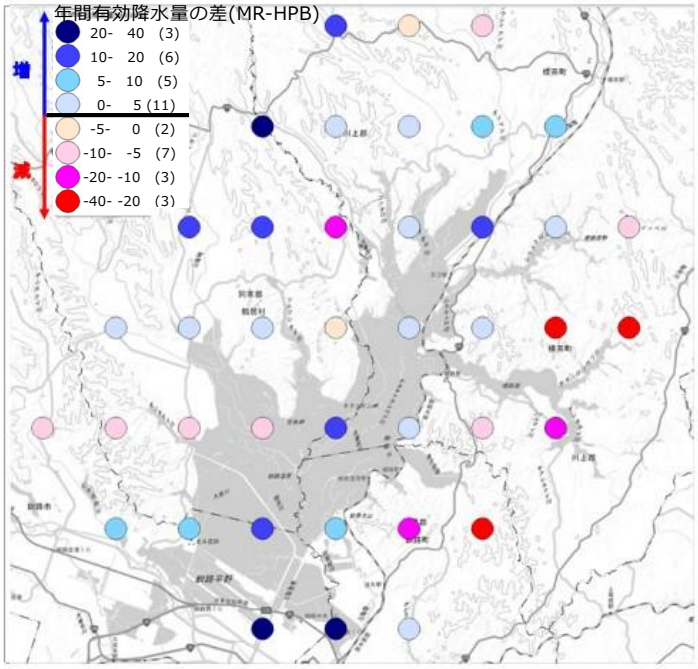


図−2　年降水量と無降雨日数の変化



釧路湿原周辺メッシュ110年間年平均

図−3　蒸発散量を踏まえた有効降水量の変化



釧路川流域における110年間年平均
有効降水量の増減

図−4　場所別の有効降水量の変化

３．蒸発散と有効降水量

前項で整理した気温と降水量をもとに釧路湿原流域の蒸発散量を計算し有効降水量を算定した．蒸発散量はMakkink 式を用いた. 計算結果は図-３の通りで計算対象の 110 年間の平均値で, 総降水量が現在気候 HPB の 986mm から将来気候 MR では 1,075mm と 9%増加するのに対して, 蒸発散量が現在気候 HPB の 351mm から将来気候 MR では 438mm と 25%増加することによって，有効降水量は現在気候 HPB の 635mm から将来気候 MR では 637mm と増加が 0.3%にとどまる予測となった. 有効降水量の増減に関する空間分布は図-４に示すように大まかには湿原中心部では有効降水量が増加するが周辺では減少する傾向にあるように見えるが，今後の詳細な分析で明らかにすべき点となる.

４．まとめ

温暖化で総降水量が増加する場合に湿地の維持の観点ではプラス効果に働きそうであるが，蒸発散の働きが大きくなることを含めて考えると降雨由来で湿原に入る水の量は降雨量の増加ほど増えない可能性があることが示された．本研究では一部の温暖化シナリオのデータを使用した予測結果であることから，今後さらなる検討を行い湿原の湿地としての維持の可能性を示していきたい.

参考文献

1) Yamada, T. J., Hoshino, T., & Suzuki, A. ,Using a massive high-resolution ensemble climate data set to examine dynamic and thermodynamic aspects of heavy precipitation change. Atmospheric Science Letters, 22(12), e1065. , 2021 https://doi.org/10.1002/asl.1065
2) 釧路湿原自然再生協議会土砂流入・水循環小委員会，釧路湿原における気候変動の影響評価－高解像度気候変動予測モデルと水・物質循環モデルを活用した影響評価－，2026

キーワード：Wetland restoration，気候変動，温暖化，蒸発散，有効降水量

スギ林における地点樹冠通過雨量の空間分布が雨樋による樹冠通過雨計測に及ぼす影響

森林総合研究所　○飯田真一，清水貴範，小田智基，岩上翔
東京農工大学　南光一樹
University of Delaware　Delphis F. Levia

１．はじめに

森林に降った雨（林外雨）のうち，一部は樹木表面に接触し，林床面に到達することなく失われる．この成分が遮断損失量であり，林外雨量の 10～30%に相当する [1]．最終的に林床面まで到達した雨滴が樹冠通過雨，幹を伝って流下する雨水が樹幹流であり，遮断損失量は林外雨量から樹冠通過雨量および樹幹流量を差し引いて求められる．地点樹冠通過雨の空間不均質性は高いため [1)2)]，対象林分の遮断損失量を正確に評価する際には，空間代表性を確保した樹冠通過雨量の計測値が必要となる [3)]．この検討には多数の地点樹冠通過雨計測値が必要となるため，安価な貯留型雨量計（受水部の直径 20cm 程度）を林床面上に数十個以上配置して計測することが多い．他方，降雨中の遮断動態を高時間分解能で評価する場合には，広い受水面積（～1m^2）を有する雨樋を用いて雨水を集水し，転倒ます型流量計で計量するケースが主流である．雨樋の面積が十分大きい場合には，林分の特性を代表した樹冠通過雨量として取り扱うことに問題は生じにくいと推察されるが，実際の計測データに基づいて検討を行う必要がある．そこで，スギ林を対象として貯留型雨量計 30 台ならびに雨樋 2 台を用いた計測を実施し，地点樹冠通過雨量の空間分布特性が雨樋を用いた樹冠通過雨計測に与える影響を検討したので報告する．

２．方法

計測対象林分は森林総合研究所千代田苗畑のスギ平地林であり，立木密度 1950 本/ha，平均胸高直径 23.6cm，平均樹高 20.3m である．北西に約 300m 離れた開空地において林外雨量を計測した．遮光ボトルに直径 21cm の漏斗を固定した自作の貯留型雨量計を林内の 30 地点に配置し，貯留された雨水の重量をデジタルフォースゲージで計量して地点樹冠通過雨量を求めた（計測期間：2022 年 9 月～2023 年 11 月）．

林内に既製品の平底雨樋（上端幅約 17cm，下端幅 15cm，樋の深さ 15cm，長さ 4m，公称面積 6800cm^2）を 2 か所（地点 A，B）に設置して集水した雨水を 1 転倒 200mL の転倒ます型流量計 2 台を用いて計量した．平底雨樋による計測を 2022 年 9 月から 2023 年 3 月まで行ったのち，特注した V 字型樋（上端幅 20cm，樋の深さ 22cm，長さ 3m，公称面積 6600cm^2）で置き換え，計測を行った．転倒ます型流量計の出力はデータロガーを用いて 1 分間間隔で記録し，既報 [4)]による補正を適用した．30 台の地点樹冠通過雨量の空間不均質性に起因する平均値の評価誤差 [5)]を算出するとともに，モンテカルロサンプリングを用いて 30 台のうち任意の台数を用いた場合の評価誤差を得た．

３．結果と考察

合計 30 の地点樹冠通過雨量のうち，全イベント総量での最大値を記録したのは地点 28，最低値は地点 25 となった（表-1）．また，降雨規模で林外雨量を区分した場合でも，順位の傾向はおおむね保持されることが明らかとなった．樹冠通過雨は直達雨，滴下雨，飛沫雨に大別され，直達雨は直上の開空度に [6)]，滴下雨は樹冠の構造の影響を受けると考えられる [7)]．全天空写真による各地点の開空度と樹冠通過雨量との

表-1　地点樹冠通過雨量の順位

	林外雨量（mm）の区分				
順位	総量	< 40	40 - 60	60 - 80	80 ≤
1	**28**	4	29	**28**	**28**
2	29	**28**	1	29	29
3	7	**6**	**28**	7	7
4	4	7	**6**	4	**6**
5	**6**	29	3	1	4
6	1	1	4	**6**	5
7	3	3	7	18	1
8	5	**12**	5	17	3
9	30	30	30	20	17
10	**12**	20	**12**	5	18
11	17	19	19	9	30
12	18	18	16	3	20
13	20	**15**	17	30	9
14	19	17	18	**12**	**12**
15	**15**	16	**15**	**15**	16
16	16	9	13	8	19
17	9	22	20	19	8
18	8	8	2	14	**15**
19	13	13	14	16	14
20	**10**	24	**23**	22	**10**
21	14	**23**	**10**	13	13
22	2	5	8	**10**	11
23	22	**10**	9	11	2
24	11	2	11	21	22
25	**23**	26	21	2	21
26	21	27	22	27	**23**
27	27	21	27	**23**	27
28	24	**25**	26	24	24
29	26	11	24	26	26
30	**25**	14	**25**	**25**	**25**

数字は地点番号．総量での5刻みの順位の地点を灰色で示す．

相関は決定係数 0.1 未満と低いが，開空度の最大値付近の地点では樹冠通過雨量が相対的に大きい傾向にあった．今後，樹冠の点群データ等を用いて，より空間分解能の高い検討を行う必要があるだろう．降雨規模が大きい 60mm 以上の区分では滴下雨が卓越しているものと推察されるが，順位の変動は少ないことから（表-1），滴下の発生個所が空間的に大きく変動しない可能性が示唆される．

2 台の雨樋による樹冠通過雨量の平均値は 30 地点の樹冠通過雨量の平均値と高い正の相関を示した（決定係数 0.99）．30 地点平均値の総量は 862.8mm であったのに対して，2 台の雨樋平均値の総量は 823.0mm であり，4.6%小さかった．なお，雨樋による総量には平底と V 字型双方の計測値が含まれている．30 地点の樹冠通過雨量の空間不均質性に起因する測定誤差は 6.6%であったことから，両者の差は有意ではなく，雨樋の平均値は林分の代表性を反映していると判断される．

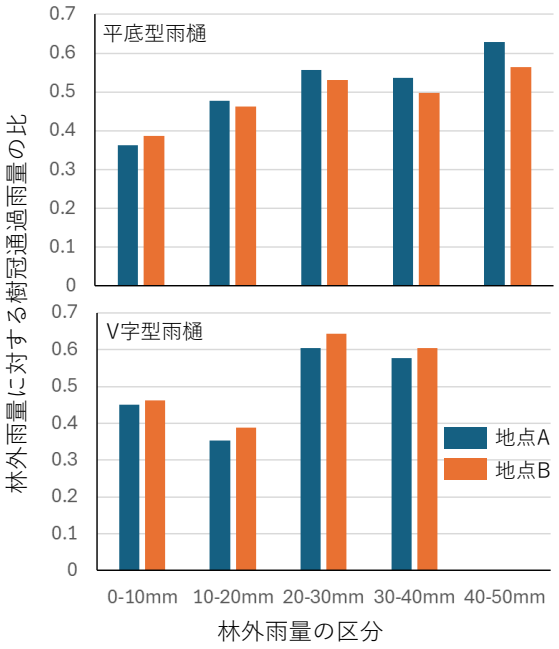


図-1　林内 2 地点の雨樋による樹冠通過雨量

他方，地点樹冠通過雨量の空間分布特性が降雨規模で大きく変化しないことを考慮すると（表-1），本研究が用いた平底型と V 字型の面積差は 3%と小さいものの長さは 1m 異なっていることから，両者の計測値には差異が生じる可能性がある．計測値を比較した結果，林外雨量の大小によって多少のバラツキはあるものの，平底型では地点 A の方が大きく，V 字型では地点 B の方が大きい傾向があり（図-1），地点 A と B の差は 3～10%であった．この差が有意であるかどうかを判別することは難しいが，試みとして，貯留型雨量計 30 台による計測値に基づく台数と測定誤差の関係を用いて検討する（図-2）．雨樋 1 台の受水面積に相当する貯留型雨量計の台数は 17～19 台であり，それに対応する測定誤差は 8～10%であったことから，地点間 A と B の差は有意ではない可能性が高い．ただし，この検討はあくまで試みであり，雨樋による計測値同士を比較する場合は，雨樋を複数設置して得た空間分布から算出される測定誤差を考慮する必要がある．

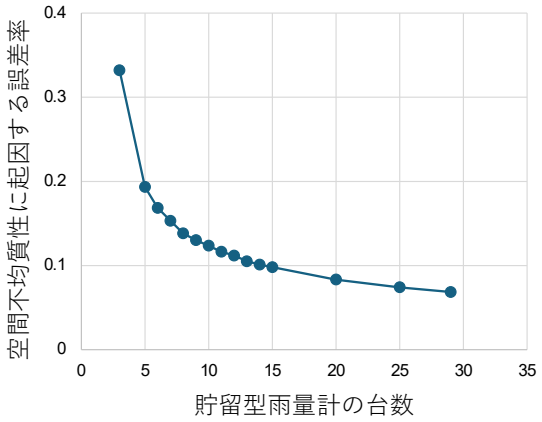


図-2　雨量計台数と測定誤差の関係

4．まとめ

本試験地では，30 地点の樹冠通過雨の空間分布特性は降雨ごとに大きく変動しないこと，2 台の雨樋の平均値を樹冠通過雨量の林分代表値とみなして問題はないことが明らかとなった．同一林内に設置された複数の雨樋による樹冠通過雨量の比較を行う場合，検出された差の有意性を判断することは難しいことに注意が必要である．

【謝辞】

本研究は JSPS 科研費 JP 23K23661 の助成を受けたものです．

参考文献

1) 田中ほか（2005）東京大学演習林報告，113，197-240．2) Lloyd and Marques (1988) Agricultural and Forest Meteorology, 42, 63-73. 3) Carlyle-Moses et al. (2004) Journal of Hydrology, 297, 124-135. 4) Iida et al. (2020) Ecological Studies, 240, 29-54. 5) 飯田（2009）杉田・田中「水文科学」，103-116．6) 佐藤ほか（2003）水文・水資源学会誌，16，605-617．7) Levia et al. (2019) Hydrological Processes., 33, 1698-1708.

キーワード：Japanese cedar stand, throughfall, trough, spatial variation

カンボジア王国の低地乾燥常緑林における森林劣化が生態系の気象環境・水利用効率に及ぼす影響について

森林総合研究所　○清水貴範，飯田真一，壁谷直記，清水晃，
伊藤江利子，玉井幸治，大貫靖浩
琉球大学　宮沢良行
国際農林水産業研究センター　田中憲蔵
大阪公立大学　植山雅仁

１．はじめに

世界の森林は依然として減少傾向が続いているが，1990 年代と比較して，今世紀以降その減少速度は鈍化している [1)]．一方，インドシナ半島中南部に位置するカンボジア王国（以下，カンボジア）では，1990 年代まで続いた内戦の影響により，当時既に近隣諸国で希少になっていた天然生の低地乾燥季節林が，2010 年代前半頃にはまだ広範囲に生育していた．カンボジアの森林の多くは，雨季／乾季に対応して展葉／落葉を繰り返す落葉林であるが，メコン川西岸を中心に乾燥常緑林の分布域が存在している．同国の乾燥常緑林の森林土壌は，落葉林と比較して厚く発達しており，高木の根系が土壌深くまで伸長していた [2)]．それらの樹木は土壌深部に貯留された雨水を用いて，通常の乾季であれば旺盛に蒸散し [3)]，同時に光合成による CO_2 吸収を盛んに行ってきたと考えられる．しかしながらカンボジアの森林の占有面積は，近年の強い開発圧力による伐採と農地などへの土地利用変化によって，近年急速かつ確実に縮小している [1)]．発表者らが観測を継続してきた乾燥常緑林もその例外ではなく，植生区分上は森林として残存しているものの，周辺の森林の消失と高木を中心とした無秩序な択伐，さらにそれらに起因するとみられる風衝による倒木の頻発によって，森林が劣化してきている．このことは全く望ましい状況ではないが，期せずして熱帯における森林劣化の進行下での気象環境や CO_2 交換量・水利用効率の変動について，観測データを取得するに至った．そこで，カンボジアの乾燥常緑林における森林劣化が，これらの観測値にどのような影響を及ぼしていたのかを比較検討することとした．

２．観測地と観測方法

観測はカンボジア・コンポントム州の乾燥常緑林流域（北緯 12º44’，東経 105º28’）で行った．比較対象とする観測は 2011 年 9 月～2012 年 12 月までの約 1 年半，2013 年 9 月～2014 年 6 月までの約 10 か月間，および 2023 年 11 月～2024 年 11 月の約 1 年である．このうち 2011～2014 年の前 2 期間には，観測地周辺で大きな森林劣化がみられない状況であり，本報告ではこの期間を「森林劣化前」，2023～24 年の期間を「森林劣化中」とする．流域内に設置した観測タワーの高度 51m（森林劣化前）および高さ 48m（森林劣化中）に，超音波風速温度計（SAT：CSAT3，Campbell Sci. Inc.），オープンパス型赤外線式水蒸気／CO_2 ガスアナライザー（LI-7500A, Li-Cor）と強制通風筒に格納した温湿度計（HMP45A もしくは HMP155A, いずれも Vaisala）を設置し，観測タワーおよび観測舎の屋根に設置した太陽電池パネルと蓄電池によってこれらを稼働させた．測定データは 0.1 秒間隔で取得し，地上の観測舎内もしくはタワーに設置した防水ボックス内に格納した記録計（森林劣化前：CR1000＋CFM100, 森林劣化中：CR1000X, いずれも Campbell Sci. Inc.）を用いて自記記録して，30 分間隔で渦相関法に基づくフラックスと，平均風速の算出を行った．劣化前の期間には，観測タワーの 4 高度に設置した大気吸引口からそれぞれ 20 分間隔で周辺大気を H_2O／CO_2 濃度計（LI-840, Li-Cor）に導流して，測定した気体濃度をデータロガー（CR1000）に記録し，その時系列変化から測定高度（51m）以下の大気層内の CO_2 貯留量を算出した．降水量は観測タワーの最上部（森林劣化前は地上高 60m, 森林劣化中は地上高 57m）に設置した転倒マス雨量計（RG-2M, Onset）で計測した．また，同高度に設置した日射計 2 台（森林劣化前：CMP3, Kipp&Zonen，森林劣化中：SR05, Hukseflux）によって，全天日射量および日射の反射量を計測した．これらの値は同機種のデータロガー（CR10X, Campbell Sci. Inc.）で積算値もしくは平均値を 10 分間隔で記録した．

3．結果

森林劣化前と比較して，森林劣化中の期間には，高木の喪失により樹木の密度が疎になったほか，平均樹高が低下した．これらの変化に影響を受けると考えられる気象要素として，両期間のアルベドと SAT 風速を比較した．森林劣化前のアルベドは乾季に増加・雨季に減少する明瞭な季節変動を示し，その値は 0.106±0.01（平均値±標準偏差）であったが，森林劣化中の季節変動はやや不明瞭で，アルベド値は 0.132±0.004 となり，日射の反射率が上昇していた（図-1）．期間を通じた日平均風速値は，森林劣化前と森林劣化中でそれぞれ 2.26ms^{-1} と 3.08ms^{-1} となり，森林劣化の進行によって明らかに樹冠上の風速が増加した（図省略）．CO_2 フラックス値から算出した NEP（純生態系生産量）の積算値は，森林劣化中の値が森林劣化前の 2 期間のちょうど中間を通るような変動を示し（図-2），NEP に対する森林劣化の影響はそれほど明瞭ではなかった．両期間の乾季を対象に，水利用効率の一指標である uWUE（underlying Water Use Efficiency[4]）＝GPP×VPD$^{0.5}$/λE（GPP：総一次生産量，VPD：飽差，λE：潜熱フラックス）について検討した（図-3）．その結果，森林劣化中の期間に限り，GPP×VPD$^{0.5}$ の包絡線がλE の増加に伴って鈍化しており，森林劣化中の乾季には蒸発散量が増加しても，生態系の光合成量はその増加に対応して大きくはならない状況が判明した．

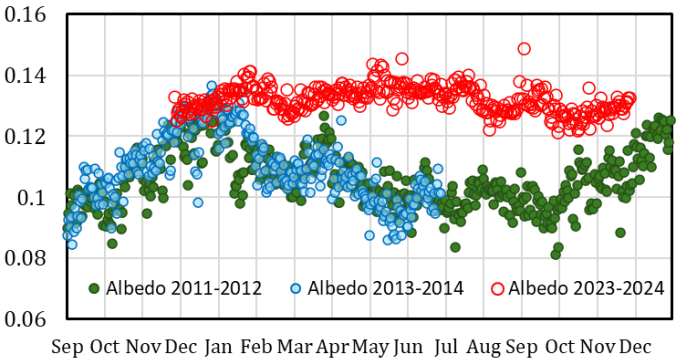


図-1　カンボジアの乾燥常緑林樹冠上で測定したアルベドの比較

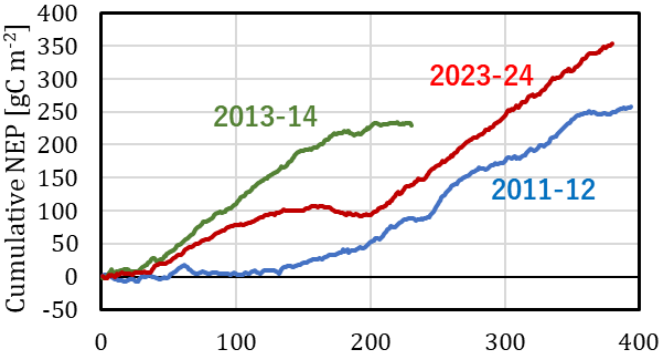


図-2　乾燥常緑林における NEP 積算値の季節変動：各年の 11/14 を起点（Day1）としている

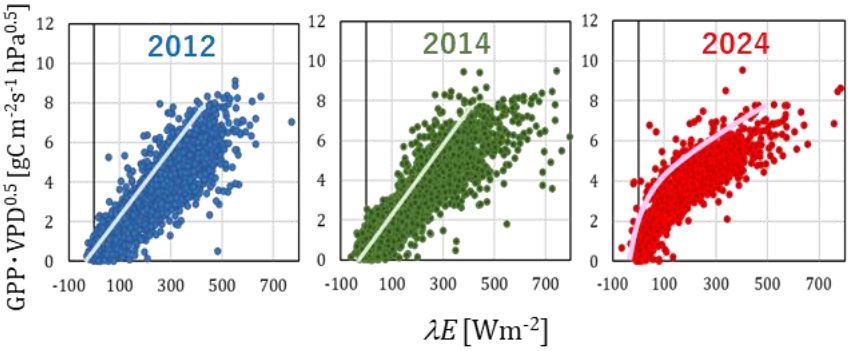


図-3　乾季後半の乾燥常緑林の uWUE（λE と GPP×VPD$^{0.5}$ の包絡線の傾き）の観測期間ごとの比較

4．まとめ

森林劣化が進行しているカンボジア国の乾燥常緑林の樹冠上で気象観測とフラックス観測を行い，森林劣化以前の観測値と比較した．発表では両観測期間の気象環境に着目してさらに考察を加えるとともに，風速変動のパラメータや熱収支に関する比較結果も合わせて示す予定である．

【謝辞】

本研究は科学研究費補助金（20H03039 および 21H05316）の支援を受けて実施した．

参考文献

1) FAO (2025) Global Forest Resources Assesment 2025.　2) Ohnuki et al. (2008) Geoderma, 146, 94-101.

3) Iida et al. (2026) Agric. For. Met., 376, 110894.　4) Zhou et al. (2016) Water Resour. Res., 52, 1160-1175.

キーワード：Tropical dry evergreen forest, Forest degradation, Meteorological factors, Flux observation

花崗岩流域における地下水位変動の再現と山体内部の水理特性評価

広島大学大学院先進理工系科学研究科　○小谷隼人
広島大学大学院先進理工系科学研究科　内田龍彦
広島大学防災・減災研究センター　海堀正博

１．背景・目的

山体が降雨に対してどのくらい貯留できるのか，或いは現在どのくらい水を有しており，基底流出を支えているのかを把握することは流域治水において不可欠な要素である．しかしながら，従来の流出解析や水収支解析に基づく手法では，貯留量は流域全体の統合量として扱われることが一般的であり [1]，その結果として，山体基岩内部に至る空間的に不均質な貯留構造やその実態は十分に記述されていない．特に，風化基岩や亀裂性岩盤中における地下水は，長期的な基底流出を支える重要な役割を担うと考えられるものの，その貯留量や流動特性については観測的制約から十分な定量化がなされていない．また，山岳トンネルにおいて確認される恒常的な湧水は，山体内部に大規模な地下水貯留系が存在することを示唆しており，一部では利水資源としても活用されているが [2]，これらの現象を説明可能な山体スケールでの地下水貯留評価手法は未だ確立されていない．さらに，斜面崩壊の発生においては，降雨に伴う地下水位の上昇や間隙水圧の増加が重要な要因とされているが [3]，とりわけ岩盤内地下水の応答が斜面安定性に及ぼす影響については不明な点が多い．このことは，表層から基岩内部に至る山体全体の水循環プロセスを統合的に理解する必要性を示している．特に，深度方向に変化する空隙率分布に基づく貯留構造の把握と，地下水位の時間変動に基づく地下水動態の定量化が重要な課題となる．

本研究では，花崗岩流域における山体を対象に地下水位の観測を行い，水位波形を再現するモデルを構築することを目的とする．

２．現地観測概要

広島県東広島市鏡山 2 丁目に位置するががら山において 2021 年 7 月～12 月と 2022 年 6 月～2025 年 12 月まで地下水位（岩盤・表層）の現地観測を実施した．ががら山の周辺では 2018 年の西日本豪雨時に数多くの土石流が発生した．ががら山の周辺は花崗岩流域の割合が高く，これに由来するまさ土が多いこともあり土石流発生危険度の高い地域である．研究対象の斜面は，東西方向・南北方向ともにおよそ 90（m）の範囲を北東から南西に向かい下るような地形で，高低差は約 56（m），平均勾配は約 23（°）となっている．この斜面では所々に地下水面が地表まで到達している箇所が存在しており，降雨時以外にも恒常的に高い地下水位が維持されている斜面である．計測には応用地質製 S&DLmini 水位計を用い，水位・温度の観測を 2 分間隔で行っている．岩盤内地下水位の観測地点として山頂付近に 2 地点と中腹に 3 地点設けた．さらに，表層地下水位の観測地点として斜面中腹に 6 地点設けた（図-1）．岩盤内地下水位観測はボーリング孔内に水位計を設置することで，表層地下水位観測は地盤に直接貫入した塩ビ管内に水位計を設置することで行った．岩盤内地下水位の中腹観測地点は 2022 年 6 月から観測している．E 以外の表層地下水位の観測地点 5 地点は同一の落水線上の地下水位を縦断的に観測できるよう設置してあり，E は周辺の地形が谷のようになっている地点である．雨量データは広島大学気象観測システム（HIRODAS2）と，AMeDAS 東広島観測所のデータを用いた．観測した水位は HIRODAS2 のデータと実効雨量式を用いて半減期と遅れ時間を定量的に評価した．AMeDAS デ

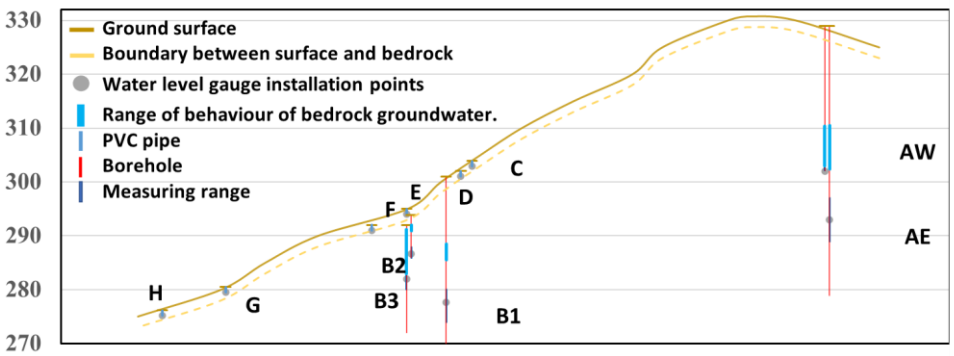


図-1 ががら山断面図と観測箇所

ータは構築したモデルを用いた長期の地下水位波形再現に使用した．

3．結果・考察

本研究では，観測水位データと雨量データ（HIRODAS2），実効雨量式を用い，半減期および遅れ時間の定量的評価を行った．その結果，水位波形の再現にはこれら両パラメータを地下水位依存の変数とすることが有効であることを明らかにした．この知見に基づき，山体を「表層」と「岩盤層」の二層構造として捉えた二段タンクモデルによる地下水位再現計算モデルを構築した（図-2）．岩盤内の地下水位観測 4 地点に適用したところ，相関係数において高い再現精度を確認した（図-3）．また，同モデルのパラメータから算出した透水係数および空隙率は，深部ほど低値を示すという物理的妥当性を有していた．一方，中腹浅部の地下水位において，減衰期（夏～冬季）に計算値と実測値に乖離が見られた．これは，実効雨量式では考慮しきれない固有の地形的特徴が影響している可能性を示唆している．以上の検証から，本モデルは地質構造が複雑な浅部よりも，表層の地理的特徴を平均化して処理できる深度 3m 以深の深部地下水位の再現において高い適合性を示すことが判明した．さらに，各パラメータと初期地下水位の関係を整理した結果，両者には正の相関が認められ，一次関数による定式化が可能であった，これにより，各パラメータを初期水位依存の関係式に置き換えることで，煩雑なパラメータ同定作業を大幅に短縮しつつ，妥当な地下水位予測を実現する手法を確立した．今後は，他の山体データから標高の違いを考慮した無次元化を行う．

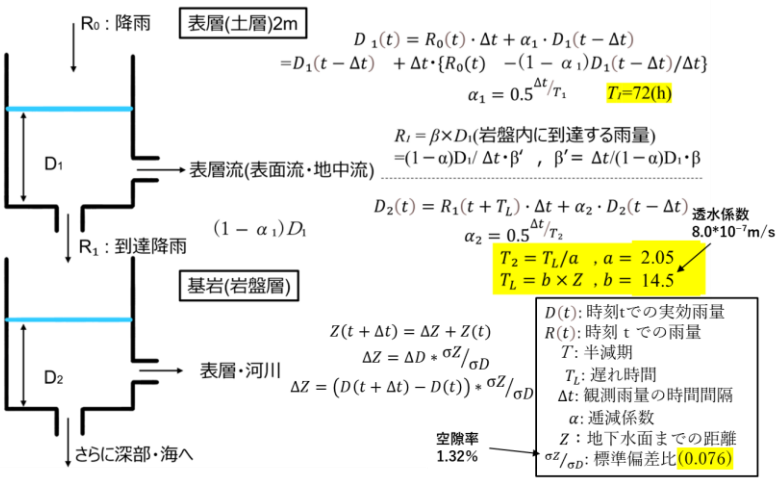


図-2 二段タンクモデル

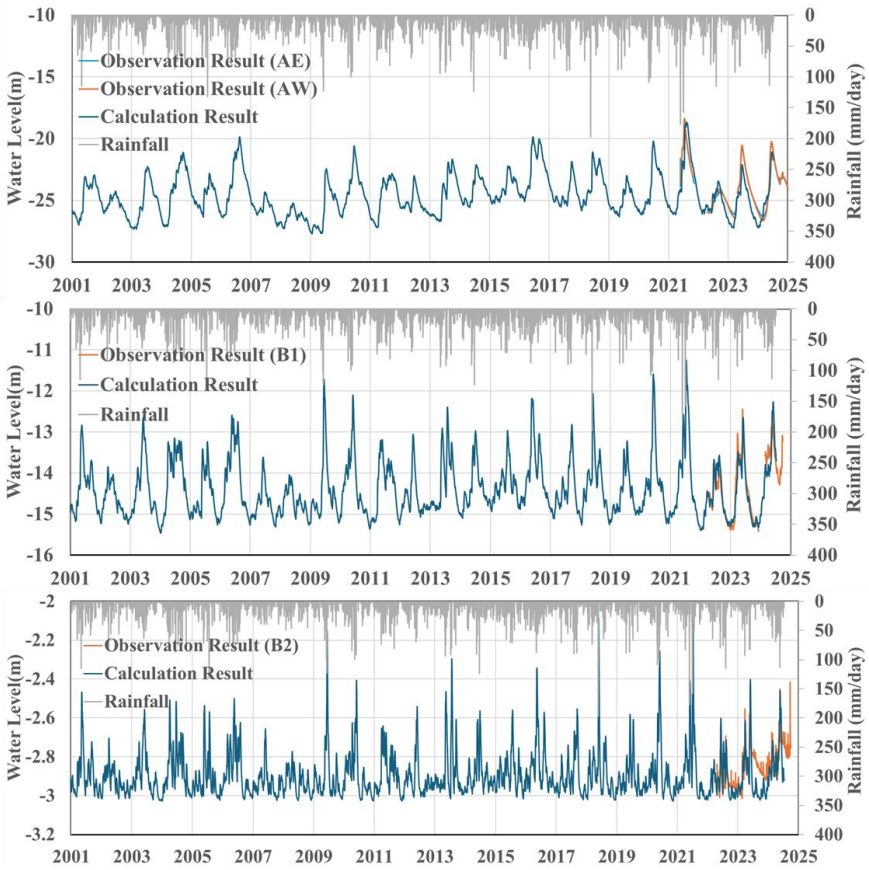


図-3 再現計算結果

【謝辞】

本研究は，JST 次世代研究者挑戦的研究プログラム JPMJSP2132 の支援を受けた．記して感謝の意を表します．

【参考文献】

1) Kirchner, J. W. (2009). Catchments as simple dynamical systems: Catchment characterization, rainfall-runoff modeling, and doing hydrology backward. Water Resources Research, 45, W02429.

2) 大島洋志，トンネルと地下水―私が学んできたこと―，地下水学会誌，Vol.62，No.2，pp.257-281，2020.

3) R. M. Iverson：Landslide triggering by rain infiltration, Water Resources Research, Vol. 36, pp. 1897–1910, 2000.

キーワード：Field observation, Bedrock groundwater level, Tank model, Effective rainfall, Porosity

森林施業と森林火災が流量応答に及ぼす影響の比較　―年流出高と低水流量に着目して―

サントリーグローバルイノベーションセンター株式会社　水科学研究所　○綿貫翔

1．はじめに

森林は，蒸発散や浸透，土壌水分貯留などを通じて流域の流出特性に影響を及ぼす．森林伐採や植生変化に伴う流量変化については，これまで多くの流域研究で報告されており，植生量の減少は蒸発散量の低下を通じて年流出量の増加をもたらす場合がある [1]．国内においても，森林流域試験により森林施業や植生変化が水源涵養機能に及ぼす影響が検討されてきた [2]．

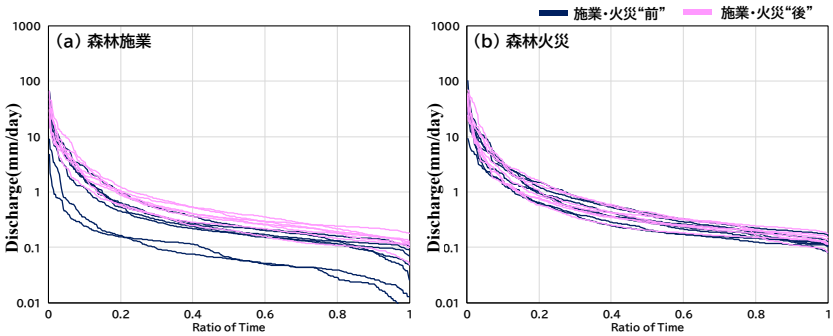
一方，水資源管理の観点では，年間の総流量だけでなく，低水時に河川へ供給される流量の変化も重要である．森林火災は，植生量を減少させるだけでなく，熱による土壌構造の変化や土壌撥水性の発現などを通じて，浸透・貯留過程や流出発生過程を変化させる可能性がある [3]．そのため，森林施業と森林火災はいずれも樹木量の減少を伴う森林攪乱であるものの，年流出高や低水流量に対して同じ方向の影響を及ぼすとは限らない．特に，森林火災後の低水流量や基底流への影響については，洪水流出や年流出量に比べて十分に理解されていない [4]．

そこで本研究では，森林総合研究所の竜ノ口山森林理水試験地における観測流量を用いて，森林施業前後および森林火災前後の流量応答を比較した．特に，既往研究との比較を考慮して年流出高を評価するとともに，水資源上重要な低水側の応答を流況曲線，Q95，355 日流量により評価した．

2．使用データおよび方法

本研究では，竜ノ口山の南谷流域における日流量データを用い，森林施業前後および森林火災前後の流量変化を比較した．解析期間は，森林施業前を 1937～1943 年，森林施業後を 1947～1953 年，森林火災前を 1952～1958 年，森林火災後を 1960～1966 年とした．また，降水との関係を確認するため，同期間の降水量データを用いた．

評価指標として，年流出量を流域面積で除した年流出高を算出し，森林攪乱が年間の流出量に及ぼす影響を比較した．低水流量の変化は，流況曲線に加え，日本の水文観測で定義される 275 日流量および 355 日流量，ならびに国際的な低水評価で用いられる Q95 により確認した [5), 6)]．本研究では，より渇水側の変化を把握するため，主に Q95 および 355 日流量に着目した．なお，1944～1946 年にかけて皆伐し，1959 年に火災で全焼したため，これらの年は解析対象外とした．

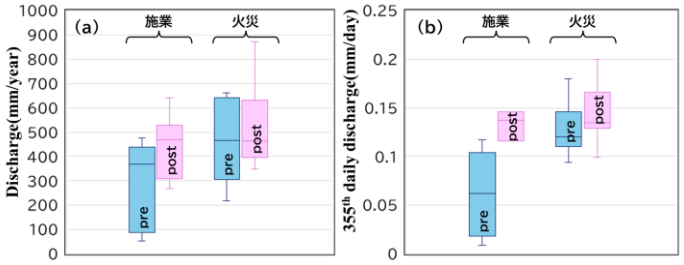


図−1　流況曲線　(a)森林施業，　(b)森林火災

3．結果

年降水量を比較した結果，森林施業後の平均年降水量は施業前より約 107 mm 大きく，森林火災後の平均年降水量は火災前より約 38 mm 大きかった．ただし，いずれの比較においても統計的に有意な差は認められなかった（Welch の t 検定, 森林施業 : $p = 0.429$, 森林火災 : $p = 0.721$）．

森林施業前後および森林火災前後の流況曲線を図−1 に示す．森林施業後には，低水側の流量が施業前よりも高くなる傾向がみられた．一方，森林火災後には，低水側の流量が火災前と同等からやや低下する傾向がみられた．



図−2　森林施業前後および森林火災前後における年流出高と 355 日流量の比較　(a)年流出高，(b)355 日流量

年流出高と 355 日流量の比較を図−2 に示す．年流出高は，森林施業後に 292.9 mm から 440.7 mm へ，森林火災後に 452.8 mm から 536.8 mm へ平均値として増加したが，いずれも統計的に有意な差は認められなかった（森林

施業：$p = 0.093$，森林火災：$p = 0.391$）．一方，355 日流量は，森林施業後に 0.064 mm/day から 0.132 mm/day へ有意に増加した（$p = 0.010$）のに対し，森林火災後には 0.127 mm/day から 0.145 mm/day へわずかに増加したものの，有意な差は認められなかった（$p = 0.301$）．なお，Q90，Q95 および 275 日流量についても，355 日流量と同様に，森林施業後には有意な増加が認められた一方，森林火災後には有意な変化は認められなかった．

４．考察

本研究では，森林施業後と森林火災後の流量応答を，同一観測地点の流量データに基づいて比較した．その結果，森林施業後には 355 日流量が有意に増加した一方，森林火災後には年流出高が平均値として増加していたにもかかわらず，355 日流量には有意な増加は認められなかった．また，流況曲線では，森林施業後に低水側の上昇が明瞭であったのに対し，森林火災後には低水側が火災前と同等からやや低下する傾向を示した．このことは，樹木量の減少を伴う森林攪乱であっても，低水流量への影響の現れ方は攪乱の種類によって異なる可能性を示している．既往研究[1)]では，森林伐採や植生変化による影響は年流出量を中心に評価されることが多い．しかし，本研究では，年流出高の平均値が森林施業後および森林火災後のいずれも増加した一方で，355 日流量の応答は両者で異なった．この結果は，年間の総流出量の変化だけでは，低水時に河川を支える流量の変化を十分に把握できない可能性を示している．この違いを説明する仮説として，森林攪乱に伴う蒸発散量の変化だけでなく，流域内の浸透・貯留機能の変化が関与した可能性が考えられる．森林施業後には，土壌の浸透・貯留機能が大きく損なわれないまま蒸発散量が低下し，低水時に河川を支える水量が増加した可能性がある．一方，森林火災後には，蒸発散量の低下による流量増加効果が想定されるにもかかわらず，土壌撥水性や土壌構造の変化に伴う浸透能の低下により，降水が土壌や地下水として流域内に保持されにくくなった可能性がある．その結果，年流出高の増加が低水流量の増加として現れにくかったと考えられる．

さらに，年降水量には森林施業前後および森林火災前後で有意な差が認められなかった．したがって，森林施業後と森林火災後でみられた低水応答の違いは，少なくとも年降水量の違いのみで説明されるものではなく，森林攪乱の種類に応じた流域内の浸透・貯留過程の変化を反映している可能性がある．

５．まとめ

本研究では，竜ノ口山森林理水試験地の南谷における観測流量を用いて，森林施業前後および森林火災前後の流量応答を比較した．その結果，森林施業後には 355 日流量が有意に増加した一方，森林火災後には有意な変化は認められなかった．この結果は，森林施業と森林火災がいずれも樹木量の減少を伴う森林攪乱であっても，低水流量への影響は同一ではないことを示している．特に，森林火災後には，年流出高が平均値として増加しても，その増加分が低水時の河川流量を支える成分として現れるとは限らない可能性が示された．

以上より，森林攪乱による流量変化を評価する際には，年流出高だけでなく，低水流量や渇水時の水資源への影響を併せて評価することが重要である．特に，森林火災の影響評価では，洪水流出や土砂流出だけでなく，水源涵養機能や低水流量への影響に着目する必要がある．

参考文献

1) Brown, A. E., Zhang, L., McMahon, T. A., Western, A. W. and Vertessy, R. A.: A review of paired catchment studies for determining changes in water yield resulting from alterations in vegetation, Journal of Hydrology, 310, 28–61, 2005.
2) 野口正二・藤枝基久：森林流域試験と今後のあり方，森林総合研究所研究報告，6(2)，111‐126，2007.
3) Scott, D. F.: The contrasting effects of wildfire and clearfelling on the hydrology of a small catchment, Hydrological Processes, 11, 543–555, 1997.
4) Rey, D. M. et al.: Wildfire-induced shifts in groundwater discharge to streams identified with paired air and stream water temperature analyses, Journal of Hydrology, 619, 129315, 2023.
5) Smakhtin, V. U.: Low flow hydrology: A review, Journal of Hydrology, 240, 147–186, 2001.
6) 国土交通省水管理・国土保全局：水文観測業務規程細則，2015.

キーワード：森林火災，森林施業，森林攪乱，流況曲線，低水流量

大船渡市林野火災における焼損度の違いがスギの成長に与える影響

宮崎大学農学部　○篠原 慶規・秋山 星龍・岩井 晴
千葉大学国際高等研究基幹　峠 嘉哉

１．はじめに

2025 年から 2026 年にかけて国内では大規模な林野火災が立て続けに発生した。なかでも岩手県大船渡市で発生したものは大規模であり，消失面積は 3,000 ha を超えた。国内の樹木は成熟期を迎え（Shinohara et a., 2022），林内には多くの燃料が蓄積している。また，気候変動による乾燥気候の増加も懸念される。そのため，今後も大規模な林野火災が頻発する懸念がある。

林野火災は，燃焼位置に着目すると，樹冠火，地表火，地中火に分類され，その大半は地表火により燃焼する（篠原，2026）。地表火は樹木の幹を焼損させる。焼損の大きい場所では，樹木は直ちに枯死するが，焼損の小さい場所では，しばらくは生き残り，徐々に枯死する現象が見られ，”delayed mortality”と呼ばれる（Hood et al., 2018）。樹木が枯死すると，木材として利用できないだけでなく，倒木の危険性が高まるため，将来的に枯死する樹木は早期の伐採が望まれる。樹木の枯死は，焼損度だけでなく，樹木の大きさや地形・水文条件の影響を受けると考えられるが，国内の主要造林樹種であるスギを対象として林野火災後の樹木の枯死を評価できる方法は確立されていない。

そこで本研究では，評価手法確立に向けた基礎データを収集するために，大船渡市林野火災において焼損したスギ人工林を対象とし，焼損度の異なる 2 サイトにおいて，林野火災後 1 年間にわたる樹木の動態を明らかにすることを目的とした。

２．方法

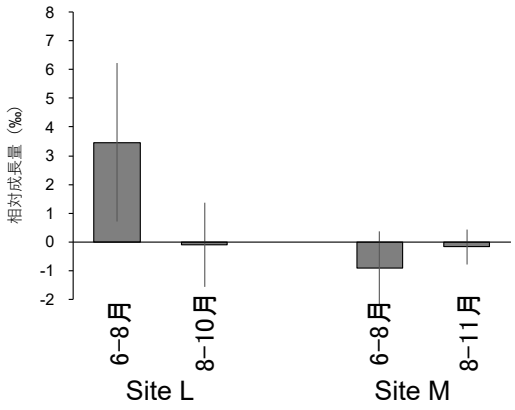
2025 年 2 月～3 月の林野火災で焼損した大船渡市綾里のスギ人工林に 2 サイトを設置した（焼損度低：Site L，焼損度中：Site M）。設置時点での Site L の平均直径は 49.1 cm，平均樹高は約 26 m，Site M の平均直径は 43.7 cm，平均樹高は約 26 m であった。樹木の樹幹火傷の最大値の平均は，Site L で 1.9 m，Site M で 3.0 m であった。

2025 年 6 月 12 日～13 日に，周囲長の変化を詳細に計測可能なデンドロメータを，焼損度低サイトでは 11 本，焼損度中サイトでは 24 本に設置し，8 月 26 日までの周囲長の変化を計測した。Site L では 10 月 15 日，Site M では 11 月 18 日にも周囲長を計測した。円形を仮定することで，周囲長から直径に変換し，成長量（変化量）を直径で除した相対成長量を解析に用いた。Site M では，周囲長を 10 分単位で計測できる電動デンドロメータ（MIJ-02 Type3）も 24 本中 6 本に設置した。

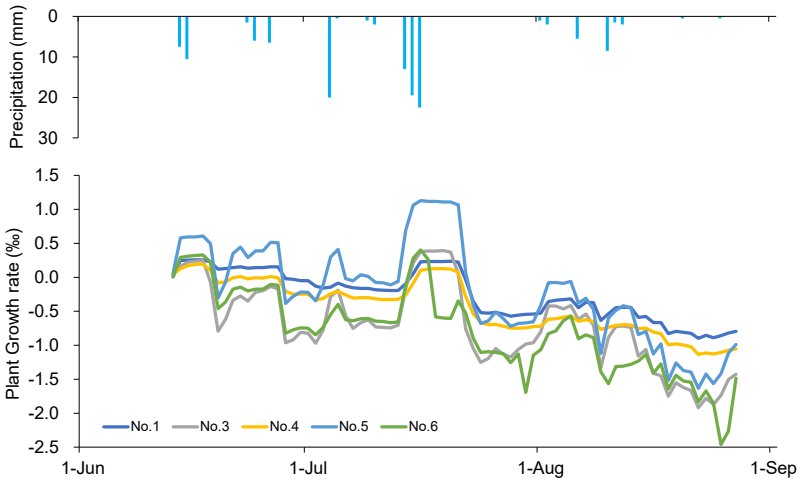
Sentinel-2 衛星を使って，2 サイトの正規化植生指数（NDVI）の変化を調べた。晴天日の近赤外と赤の画像から 10×10 m の解像度で NDVI を計算し，各サイトとオーバーラップしている 10 点を抽出し，平均値を解析に用いた。ただし，Site M では，サイト内で行われた実験木の採取（伐採）の影響を受けていると思われる 4 点は解析から除外し平均値を求めた。比較対象として，焼損が無かった大船渡市内のスギ林（Site N）においても，同様に値を抽出した。解析期間は 2024 年 3 月 24 日～2026 年 1 月 3 日である。

３．結果と考察

図−1 には，焼損度低サイトと焼損度中サイトで，直径成長量を比較した結果を示した。両サイトとも 8 月以降は大きな変化は見られなかった。これはスギの成長停止時期が 7 月～8 月であるためだと考えられる（Nishizono et al., 2018）。一方，6～8 月の変化は対照的だった。Site L では明瞭な直径成長が見られたのに対し，Site M では成長は見られず，ほとんどの樹木で収縮していた。Site M の電動デンドロメータの計測データを図−2 に示した。降雨に応答して膨張していたが，全体的には収縮傾向が見られ，（手動）デンドロメータの計測結果と調和的だった。



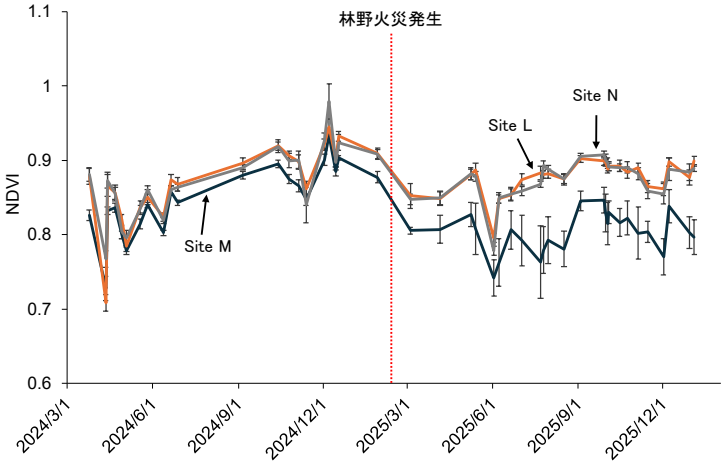
図–1 2 サイトにおける直径の相対成長量の平均値と標準偏差



図–2 アメダス（大船渡）の日降水量と Site M における相対成長量

林野火災発生前，Site M は他の 2 サイトよりも NDVI が小さい傾向が見られたが，3 サイトの NDVI は同調して変化していた（図–3）。林野火災後，Site M と Site N は同調して変化していたが，Site L では低下傾向が見られた。

以上より，Site L では，林野火災後に樹木の活性低下は見られないものの，Site M では樹木の活性が大きく低下している可能性が示唆された。Site M では，樹幹火傷が Site L と同程度の樹木でも成長が見られなかった。また，両サイト共に，樹幹火傷の高さと成長量に負の相関はみられなかった。このことから樹幹火傷で表現される焼損度以外の要素も樹木の活性に影響を与えている可能性がある。Site M は，海に近く，恒常的に塩分阻害の影響を受けている可能性がある。また，Site L は谷に近く，Site M と比較し，水分条件が良好な可能性がある。今後は，焼損度や地形・水文条件，直径・樹高などが異なる様々な樹木を対象とすることで，林野火災後のスギの成長及び生死に影響を与える主要因が解明されることが望まれる。



図–3 3 サイトの NDVI の平均値と標準偏差の変化

【謝辞】 本研究は，科研費・特別研究促進費 25K21634 を用いて行われた。

引用文献

Hood, S. M., Varner, J. M., Van Mantgem, P., & Cansler, C. A. (2018). Fire and tree death: understanding and improving modeling of fire-induced tree mortality. Environmental Research Letters, 13(11), 113004.

Nishizono, T., Zushi, K., Hiroshima, T., Toyama, K., Kitahara, F., Terada, F., Takagi, M., Saito, S. (2018) Latitudinal variation in radial growth phenology of *Cryptomeria japonica* D. Don trees in Japan, Forestry: An International Journal of Forest Research, 91(2) 206–216.

篠原慶規 (2026). 日英砂防用語解説：第１２回林野火災. 砂防学会誌, 78(6), 73.

Shinohara Y., Kume T. (2022). Changes in the factors contributing to the reduction of landslide fatalities between 1945 and 2019 in Japan. Science of the Total Environment, 827, 154392.

キーワード：林野火災，地表火，樹幹火傷，樹木の生死

福島県の森林斜面における ^{137}Cs 蓄積量の時空間的変動：豪雨による森林斜面での ^{137}Cs の移動

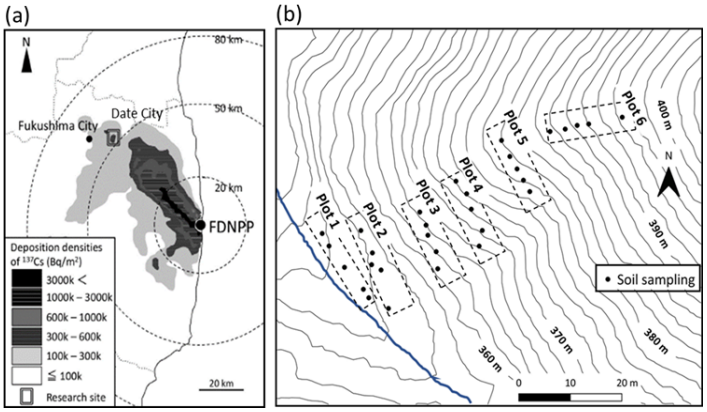
森林総合研究所森林防災研究領域　○小田智基
京都大学大学院情報学研究科　大手信人
東京大学大学院農学生命科学研究科　田野井慶太朗

１．はじめに

2011 年 3 月に発生した福島第一原子力発電所（FDNPP）の事故により、大量の放射性物質が放出され、福島県の約 70%を占める森林地帯に放射性降下物が降り注いだ。放出された放射性物質の一つである放射性セシウム（^{137}Cs）は、半減期が 30.1 年と長く、生態系に長期的な影響を及ぼすことが懸念されている。福島県の森林域は、チェルノブイリ周辺の森林と比較しても急峻であり降水量も多いため、土壌や落葉がこれらの斜面を移動することで、森林斜面内の ^{137}Cs 蓄積量に空間的な変動が生じ斜面の直下の緩やかな河畔帯に、多量の ^{137}Cs が蓄積している（Oda et al., 2022）。2019 年 10 月に福島県において台風（Hagibis）による観測史上最大規模の降雨が観測され、福島県内の多くの河川において土砂に伴う ^{137}Cs 流出が観測されている（Ueda et al., 2021; Vandromme et al., 2023）。しかし、これまで大規模降雨に伴う斜面スケールでの空間分布の経年変動はほとんど知られていない。本研究では、森林斜面での大規模降雨後の ^{137}Cs 蓄積量の空間分布の変動を明らかにすることを目的とする。

２．方法

福島県伊達市霊山町の上小国川上流の森林斜面（図 1a)に 20×60m のプロットを設置し、6 つのサブプロットを設けた。土壌試料は、直径 5.5 cm の土壌コアサンプリング器（DIK-110C）を用いて、2017 年 11 月 4 日および 2022 年 11 月 8～9 日に、各サブプロットから 5 地点で土壌試料（30 ㎝）を採取した（図 1b)。土壌の試料は、乾燥後細かく粉砕して 20 mL のポリプロピレン容器に充填し NaI(Tl)シンチレーションガンマカウンター（2480 WIZARD2, PerkinElmer Japan Co., Ltd., Yokohama, Japan）を用いて ^{137}Cs 濃度を測定した。土壌中の ^{137}Cs の総蓄積量は深さ 30 ㎝までの積算値とした。2017 年から 2022 年にかけての各プロットにおける ^{137}Cs 蓄積量の変化を評価するため、2022 年の ^{137}Cs 蓄積量と、2017 年の観測値に基づき自然減衰を考慮して算出した 2022 年の ^{137}Cs 蓄積量とを比較した。



図−1　(a)初期の ^{137}Cs 沈着分布図（第 6 回航空モニタリング調査）および調査地点の位置、(b) 斜面プロットの地形図.

３．結果

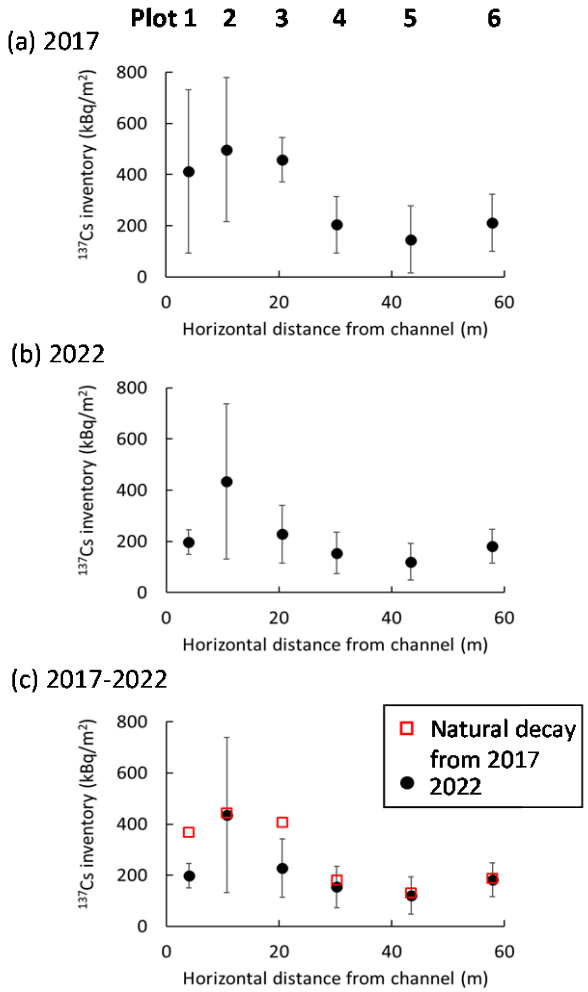
各プロットと河川水路との平均距離と、平均 ^{137}Cs 蓄積量との関係を図 2 に示す。2017 年の空間分布によると、下部斜面（Plot 1～3）の濃度は 415～500 kBq/m²であり、上部斜面（146～212 kBq/m²）よりも有意に高かった。2022 年の空間分布では、Plot 2 のみが平均 435 kBq/m²と高い蓄積量を示し、他のプロットは 120～228 kBq/m²であった。2022 年の Plot 1 および Plot 3 における ^{137}Cs の蓄積量は、2017 年の測定値に基づき自然減衰を補正した ^{137}Cs の蓄積量と比較して、それぞれ 170～180 kBq/m²低く、46%および 44%の減少を示している（図 2c)。20cm より深い層では ^{137}Cs 蓄積量はほとんど検出されなかったことから、地表での土壌浸食に伴い ^{137}Cs が移動したと考えられる。その他の plot 2, 4, 5, 6 については、^{137}Cs 蓄積量に大きな減少は見られなかった。

図 3 は、斜面における ^{137}Cs 蓄積量変化の空間分布を示している。特に渓岸域（Plot 1）と Plot 3 では全体として大幅な減少が見られた。さらに、プロット 2 では 1 箇所で ^{137}Cs の大幅な増加が見られた。斜面中部から尾根にかけての区域（Plot 4～6）では、^{137}Cs 蓄積量に大きな変化は見られなかった。

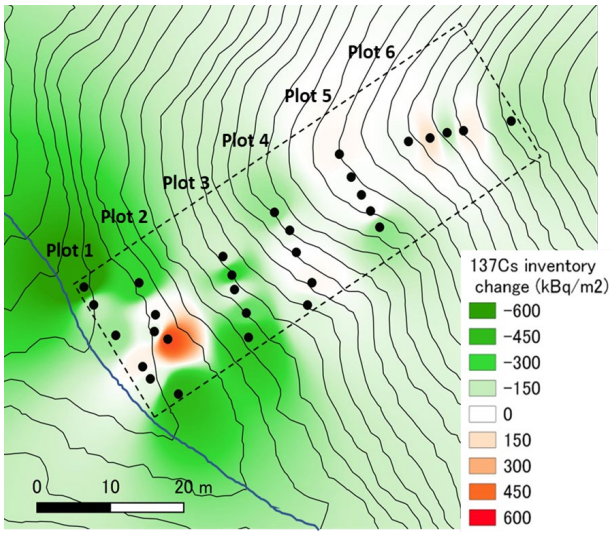
これらの空間分布の変動から、特に渓岸域（Plot 1）における ^{137}Cs 蓄積量の減少は、2019 年の台風時に発生した洪水による冠水および表土の浸食に起因すると考えられる。Plot 3 については、洪水時に水位が到達した可能性は低いことから、雨滴衝撃および表面流の発生に伴うリル浸食の影響が支配的であったと推察される。さらに、Plot 2 において ^{137}Cs 蓄積量の増加が認められた地点は、Plot 3 における ^{137}Cs 減少が顕著な地点の直下に位置していることから、Plot 3 から移動した ^{137}Cs および土砂が Plot 2 に再堆積した可能性が高い。一方、斜面上部（Plot 4～6）では ^{137}Cs の変動は小さく、斜面の大部分において顕著な土砂移動は生じていないことが示唆される。また、^{137}Cs は時間の経過とともに鉛直方向へ移動することが知られており、これに伴い表層における浸食による移動量は相対的に小さくなっている可能性がある。

４．まとめ

2017 年から 2022 年までの 5 年間において、森林斜面における ^{137}Cs 蓄積量の空間分布に変化が見られた。特に河畔域において、^{137}Cs 蓄積量の著しい減少が観測された。この ^{137}Cs の大幅な減少は、2019 年の台風時の河川の増水による河畔域の浸食に起因すると考えられる。これまで斜面におけるリターおよび土砂移動に伴い河畔域に蓄積していた ^{137}Cs は、洪水時の浸食作用によって再移動し、大規模な流出に寄与する可能性が示唆された。一方、斜面の大部分においては ^{137}Cs の蓄積量に顕著な変動は認められなかったことから、今後、斜面崩壊等の大規模撹乱が発生しない限り、斜面上における ^{137}Cs の移動量は限定的であると考えられる。



図−2　各プロットにおける ^{137}Cs の平均蓄積量と、河川からの距離との相関関係（2017 年（a）、2022 年（b））、および 2022 年における自然減衰による変化と分布（c）



図−3　2017 年から 2022 年にかけての ^{137}Cs 蓄積量の変化の空間分布

参考文献

1) Oda, T., Hotta, N., Miura, S., Endo, I., Tanoi, K., Renschler, C.S. et al. (2022) Redistribution of the soil ^{137}Cs inventory through litter and sediment transport on a hillslope covered by deciduous forest in Fukushima, Japan. Earth Surface Processes and Landforms, 1–13.

2) Vandromme, R, Hayashi, S., Tsuji, H., Evrard, O. et al (2023) Lessons learnt on the impact of an unprecedented soil decontamination program in Fukushima on contaminant fluxes, Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 120 (43) e2301811120.

3) Ueda, S., Hasegawa, H., Ohtsuka, Y., Ochiai, S., & Tani, T. (2021). Ten-year radiocesium fluvial discharge patterns from watersheds contaminated by the Fukushima nuclear power plant accident. Journal of Environmental Radioactivity, 240(106759), 106759.

キーワード：^{137}Cs inventory, Forest hillslope, Intensive rainfall, Soil erosion

常緑広葉樹林における降雨強度が遮断蒸発特性に与える影響

宮崎大学農学部　○鈴木孝一・篠原慶規・髙木正博
宮崎大学農学研究科　阿部悠南
森林総合研究所　飯田真一
東京大学農学生命科学研究科　田中延亮
九州大学農学研究院　久米朋宣

１．はじめに

遮断蒸発とは，森林に降った雨のうち地面に落下するまでに蒸発する水のことである．森林では降雨の 10〜30 %を遮断蒸発が占めている．そのため，遮断蒸発を知ることは長期的な水資源量の評価や，洪水時など短期間の流出特性を把握にとって重要である．

降雨中や降雨直後は飽差が 0 に近づくため，蒸発が起こりにくい微気象条件にもかかわらず，これだけの蒸発が起こる理由は十分に解明されていない．葉や枝に衝突した雨滴が飛沫となり蒸発する過程（飛沫蒸発）が遮断蒸発のメカニズムの一つとして挙げられる（Murakami et al. 2006）．飛沫蒸発は降雨強度の増加に伴い増加されることが指摘される一方，降雨強度と遮断蒸発強度の関係が観測されなかった事例もある（Toba et al. 2005）．これまで針葉樹人工林で遮断蒸発特性の解明が行われていたが，常緑広葉樹林で行われた例は少ない．そこで，常緑広葉樹林において，降雨強度が遮断蒸発特性に与える影響を明らかにすることを目的とした．そのために，宮崎大学田野フィールドの常緑広葉樹林で，降雨量，樹冠通過雨量，樹幹流を計測し，遮断蒸発量を高い時間分解能で算出した．

２．方法

宮崎大学田野フィールドの常緑広葉樹林に 15 m×15 m のプロットを設置した．近隣のアメダス（田野）における年平均降水量は 3,300 mm，平均気温は 17.4 ℃である．胸高直径 1 ㎝以上の樹木を対象とした場合，立木密度は 4,844 本/ha，胸高断面積合計は 55.4 ㎡/ha である．主な樹種はアラカシやスダジイで常緑広葉樹の本数が 9 割，落葉広葉樹の本数が 1 割を占めている．遮断蒸発量は，降雨量から樹冠通過雨量と樹幹流量を差し引くことで算出した．プロット内には樹冠通過雨量を計測する貯留型雨量計 25 個と転倒マス式雨量計 5 個，樹幹流量を計測する転倒マス式雨量計 7 個（アラカシ×5，スダジイ×1，ヤマザクラ×1）を設置した．降水量はプロットから 500 m ほど離れた，樹冠で閉塞されていない田野フィールド管理棟の屋上に貯留型雨量計 1 個，プロットから 20 m 離れたタワーの高度 14 m に転倒マス式雨量計 1 個を設置して計測した．貯留型雨量計は，1 週間から 2 週間の頻度で回収し，転倒マス式雨量計は 10 分間隔でデータを記録した．計測期間は 2024 年 11 月 9 日から 2025 年 11 月 12 日までである．

タワーの転倒マス式雨量計のデータを用いて，降雨イベントを抽出した．6 時間以上降雨が中断した場合，異なる降雨イベントとして取り扱い，計 107 回のイベントデータを解析に用いた．降雨量や樹冠通過雨量の総量は，貯留型雨量計のほうが精度良く捉えていると考え，貯留型雨量計のデータの回収ごとに，転倒マス式雨量計と貯留式雨量計の計測値の比を用いて，転倒マス式雨量計での計測値を補正した．樹幹流量は，計測された樹幹流量の合計値に，プロット内の胸高断面積合計/計測木の胸高断面積合計を掛け合わせて算出した．その上で，イベントごとに降雨時間と降雨強度，遮断蒸発強度を算出した．降雨時間は，林外における降雨開始から終了までの時刻の差とした．降雨強度はイベントごとの総降雨量を降雨時間で除して算出した．遮断蒸発強度は，イベントごとの総遮断蒸発量を降雨時間で除して算出した．

３．結果と考察

計測期間における降雨量は 2653 mm，樹冠通過雨量は 1670 mm，樹幹流量は 435 mm，遮断蒸発量は 555 mm となり，遮断蒸発率（降雨量に占める遮断蒸発量の割合）は 21%となった．降雨量と樹冠通過雨量，樹幹

流量，遮断蒸発量の関係は正の相関がみられた．降雨量と遮断蒸発率の関係を見ると，降雨量が少ないとばらつきが大きいが，降雨量が多くなるにつれて遮断蒸発率が平均値あたりに収束した（図1）．

降雨強度と遮断蒸発強度の関係を降雨量 10 mm 以上と 10 mm 未満のイベントに分けて解析した結果，ともに降雨強度が大きくなるに従って遮断蒸発強度も大きくなる傾向が見られた（図 2）．

次に，降雨強度に基づき，降雨イベントを 3 つのグループに分類した．すべてのグループにおいて遮断蒸発量は降雨時間と正の相関を示した．さらに，降雨強度が大きいグループほど回帰曲線の傾きが大きく，降雨時間の増加に対して遮断蒸発量がより増加する傾向が見られた（図 3）．

以上のように，降雨強度が大きいほうが、遮断蒸発量，遮断蒸発強度が大きくなるという傾向が見られた．遮断蒸発メカニズムを理解するうえで降雨強度は重要な要素の 1 つとなることが示唆された．また，この傾向は，飛沫蒸発の存在を立証するために行われた既往研究（Saito et al. 2013）と一致する．強雨時に生成される飛沫が蒸発に寄与していた可能性がある．

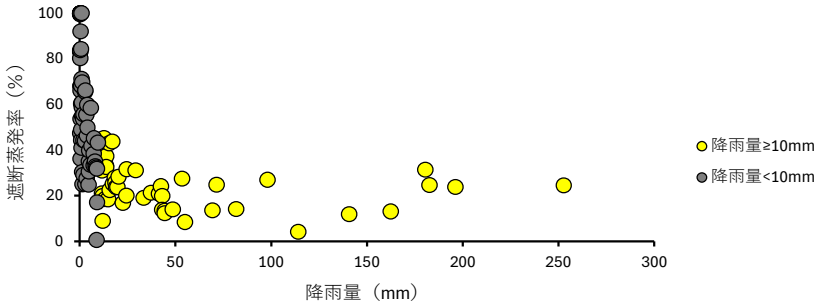


図-1　降雨量と遮断蒸発率の関係

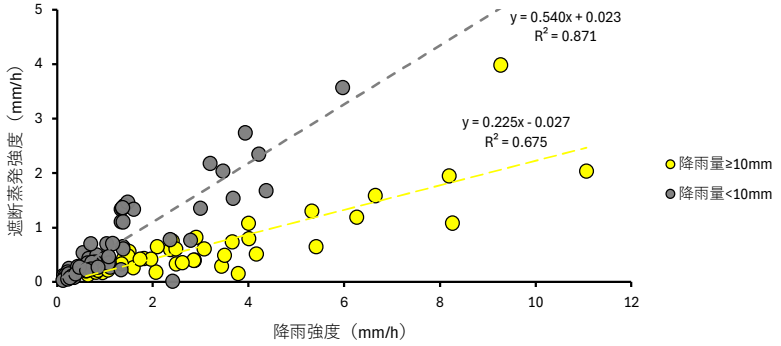


図-2　降雨強度と遮断蒸発強度の関係

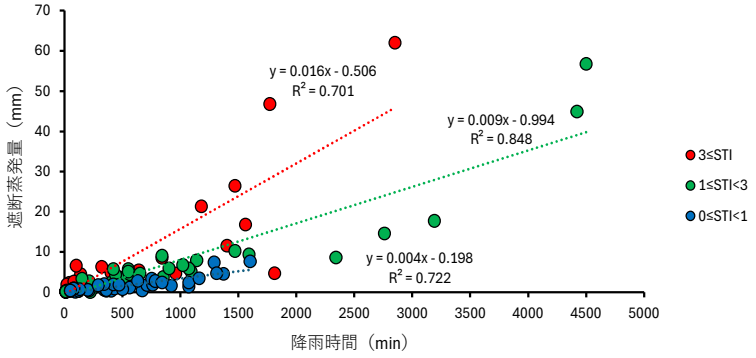


図-3　降雨強度(STI)別の降雨時間と遮断蒸発量の関係

4．まとめ

宮崎大学田野フィールドにおける常緑広葉樹林の遮断蒸発率は 21%であった．降雨量に関わらず，降雨強度が大きくなるにつれて，遮断蒸発量や遮断蒸発強度も大きくなった．このことから，常緑広葉樹林においても，降雨強度が，遮断蒸発現象に大きな影響を与えている可能性もある．今後は，風速や温度・湿度等も含めた詳細な気象条件や樹木への水の貯留なども含めて解析することで，遮断蒸発現象を解明していくことが望まれる．

参考文献

Murakami. (2006): Journal of Hydrology, 319, pp.72-82,
Toba et al. (2005): Journal of Hydrology, 313, pp.208-220,
Saito et al. (2013): Journal of Hydrology, 507, pp.287-299,

キーワード：canopy interception loss, evergreen broadleaf forest, throughfall, stemflow, rainfall intensity

飯舘村のスギ林における間伐後の下層植生の変化が 土壌水分動態，地面蒸発および林分蒸散に与える影響

筑波大学 理工情報生命学術院 ○築田桃果
筑波大学 生命環境学群地球学類 岩本樹里
筑波大学 理工情報生命学術院 高村詩央里
筑波大学 理工情報生命学術院 上原雄正
筑波大学 放射線・アイソトープ地球システム研究センター 恩田裕一

1. はじめに

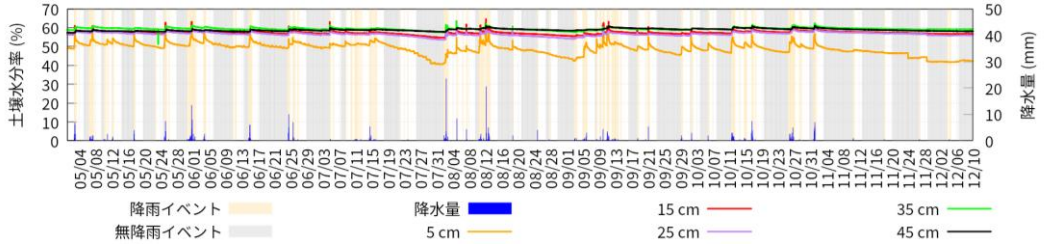
日本の人工林の多くは利用期を迎える一方，管理放棄による水源涵養機能の低下が懸念されている．森林管理手法の一つである間伐は，林分構造や光環境を変化させ，林内雨量や蒸発散量などの林内水収支に影響を及ぼすことが知られている．土壌水分の時系列データから林内雨量や蒸発散量を推定する土壌水分収支法は，森林内水収支の簡便な評価手法として期待されている．一方で，間伐後に発達する下層植生が土壌水分動態や蒸発散過程に与える影響については十分に検討されていない．間伐後には下層植生が繁茂し，浅層土壌水分へ影響を及ぼす可能性がある．そこで本研究では，間伐後に発達した下層植生に着目し，土壌水分動態および林内水収支への影響を明らかにすることを目的とする．

2. 観測及び解析方法

本研究は，2022 年に列状間伐（3 伐 6 残）が実施された福島県相馬郡飯舘村のスギ人工林を対象として行った．間伐区および対照区において，マルチプロファイル型土壌水分計(深度 5–45 cm)による土壌水分の連続観測を実施した．また，林内雨量およびライシメーターによる林床面蒸発散量観測を行い，土壌水分収支法による推定値との比較を行った．さらに，日射量計，複合型気象観測装置（ATMOS-41），温湿度計ロガーを設置し，林内微気象を観測した．下層植生およびリター層の影響を検討するため，森林土壌を充填した植木鉢型ライシメーターによる条件別比較観測を進めている．解析では，ssml 型の土壌水分収支法を適用し，降雨イベント期間の深度 0–50 cm の土壌水分増加量を林内雨量，無降雨イベント期間の深度 0–20 cm の土壌水分減少量を林床面蒸発散量として評価した．さらに，日射量との関係から林床面蒸発散量を推定し，深度 0–50 cm の総土壌水分減少量との差分から根系吸水量の評価を試みた．

3. 結果

土壌水分収支法を適用した結果，降雨イベント時の土壌水分増加量から林内雨量を，無降雨期間の土壌水分減少量から林床面蒸発散量を推定できることが確認された（図 1-3）．特に，推定林内雨量は雨量計による実測値と概ね一致し，樹冠体積が大きい地点ほど遮断率が増加する傾向が再現された．また，間伐列中央部では林床面蒸発散量の推定値とライシメーター実測値との高い対応が認められ，林内の日射環境変化が土壌水分減少過程へ影響していることが示唆された．一方で，間伐後には下層植生の繁茂やリター層の発達に伴い，土壌水分変動の空間的不均一性が増加する傾向が確認された．特に浅層土壌では，降雨後の応答や減少速度に地点差がみられ，下層植生による遮断蒸発および蒸散の影響が示唆された．現在は，微気象観測および植木鉢型ライシメーター観測を継続し,下層植生およびリター層条件を考慮した林床面蒸発散量推定手法の改良を進めている．



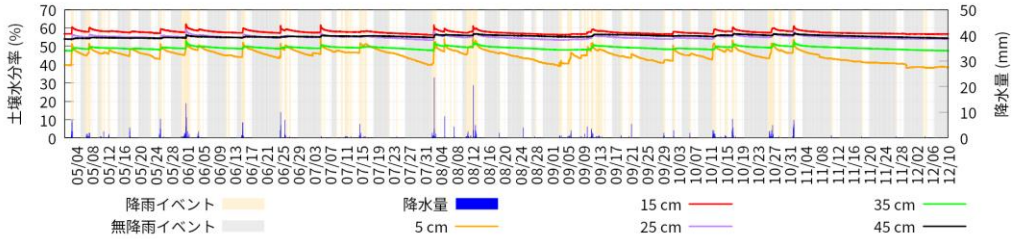


図 1: 土壌水分率の時系列変化と降水量(上:間伐区中央，下:対照区中央)

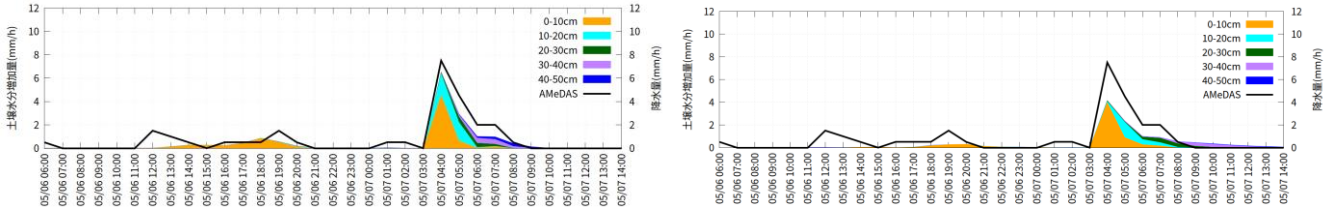


図 2: 降雨イベント(2025.5/6~5/7)の土壌水分増加量と降水量(左:間伐区中央，右:対照区中央)

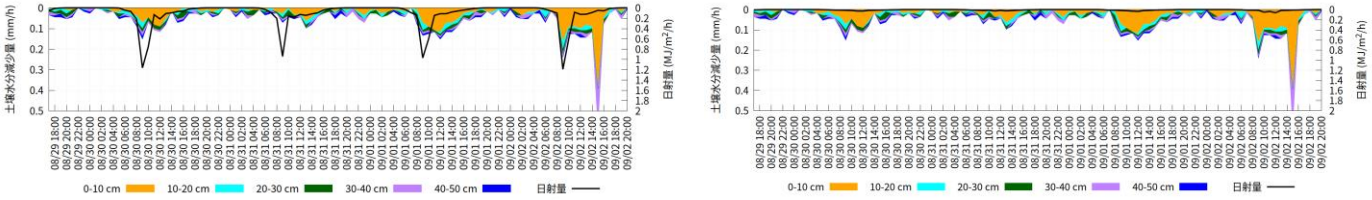


図 3: 無降雨イベント(2025.8/29~9/2)の土壌水分減少量と日射量(左:間伐区中央，右:対照区中央)

4. まとめ

本研究では，土壌水分収支法を用いて，間伐後スギ人工林における土壌水分動態および林内水収支変化の評価を行った．降雨時の土壌水分増加量および無降雨期間中の減少量から，林内雨量や林床面蒸発散量を評価できる可能性が示された．また，間伐後に発達した下層植生やリター層が浅層土壌水分変動の空間的不均一性に影響を及ぼす可能性が示唆された．

今後は，微気象観測および植木鉢型ライシメーターによる観測結果を活用し，林床面蒸発散量と根系吸水量の分離評価を進めるとともに，API（先行降雨指数）や浸透条件を考慮した解析により，土壌水分収支法の推定精度向上を目指す．

参考文献

1) 岩本樹里（2026）：土壌水分観測による林内水収支の推定と間伐の影響評価，筑波大学卒業論文.
2) Onda, Y., Gomi, T. (2021): Hydrological and geomorphological processes of forested headwater catchments. Journal of Forest Research, 26, 1-2.
3) Guderle, M., Hildebrandt, A. (2015): Using measured soil water contents to estimate evapotranspiration and root water uptake profiles - a comparative study. Hydrology and Earth System Sciences, 19, 1437–1457.
4) 恩田裕一（2023）：福島における放射性物質の環境動態と森林管理に関する研究，日本森林学会誌.

キーワード：Evapotranspiration, thinning, soil water balance method, understory vegetation, forest water balance

降雨流出時の細菌叢動態調査用渓流水試料の常温放置時間の影響に関する予察的検討

森林総合研究所関西支所　○細田育広

１．はじめに

斜面土層中に生息する細菌・古細菌も降雨流出過程で流出する．渓流水に含まれる細菌叢は DNA 解析で検知されるデジタル情報であり，流出経路の積算情報となる．この点が流出経路の平均化情報となる溶存成分や水安定同位体比などの無機化学成分とは大きく異なる（杉山ら，2020）．森林総合研究所関西支所の竜ノ口山森林理水試験地南谷（22.6 ha）における自動採水器を用いた観測では，渓流水の細菌叢組成も降雨流出の時間スケールで水質等の環境変数と連動していること，細菌叢モジュールの消長が流域の乾湿状態を明確に反映することなどが確認されている（細田, 2025; 2026）．ただし信頼できる細菌叢情報を得るためには，採水試料の品質管理が重要となる（山中・廣原, 2019）．源流域を調査対象とする場合，アクセスの悪さや出水時の作業安全性を考慮して自動採水器を利用したいところではあるが, その許容性を明確にすることが観測事例を増やしていくためには必要である. そこでまず, 本稿では採水後，回収するまでの時間経過が細菌叢情報に与える影響を予察的に調べた結果を報告する．

２．方法

1) 試料水採取: 2025 年 7 月末，竜ノ口山森林理水試験地南谷（図–1; 細田・谷, 2016）の量水堰堤直上（#5）において，基底時渓流水を 500 mL 樹脂製バッグ（カウパック, DP16-TN0500）に共洗いして 5 袋採取し，閉栓後断熱性容器に常温保管して検証試料とした．本稿で用いた試料の採水時条件を表–1 に示す．保管容器内温度は 10 分間隔で記録した（T&D, RTR-52）．

2) 機器分析: 検証試料水は，採取後 30 分から 7 日目の間に順次 22 µm の滅菌フィルターで濾過し，フィルターを細菌叢解析に用いた. 細菌叢解析は委託により DNA 抽出後, 16S rRNA V4 領域を対象に得られた Amplicon Sequence Variant（ASV）リードの品質を管理し，分類学上の情報を付与した ASV テーブルを作成した（593 属 1015 種）．

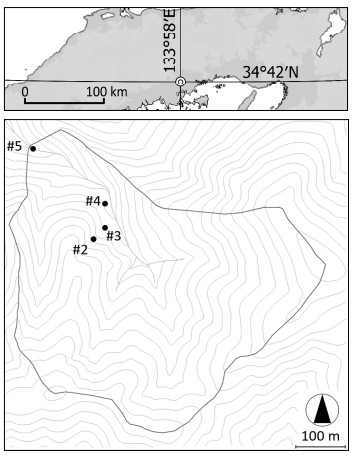
3) 統計解析: 検証試料の ASV テーブルを 2022-2024 年の水試料 ASV テーブル（比較試料; 細田 2025; 2026）にマージし，未使用の樹脂製バッグ等から検出された細菌叢を除外した．これを元にリード数を属レベルで集約し，全試料合計リード数が 100 以上の ASV を選別して希薄化した（684 属）．さらにリード数を相加対数平均し，統計解析ソフト R を用いて相関ネットワーク解析により各検証試料から検出される細菌叢組成の変化を可視化した．また Non-metric multidimensional scaling（NMDS）を用いて類似性を比較し，環境変数との関係を調べた．

３．結果

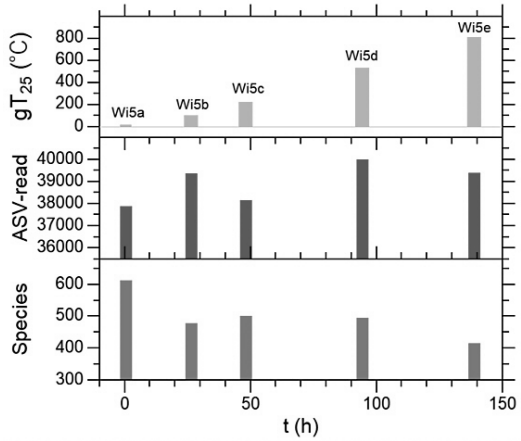
1) 時間経過（図–2）：検証試料採取時の気温は 30.6 ℃，水温は 25.6 ℃，試料保管中の断熱性容器内温度は 30 ℃前後であった．検証試料の ASV リード数は 26 時間経過後に増加，48 時間経過後に採取直後と同レベルまで減少した後，94 時間経過後に再び大きく増加して 139 時間経過後にやや減少する増減を繰り返した．種数は採取直後が最も多く, 24 時間経過後に大きく減少して以降は緩やかな減少傾向となった．

表–1　試料水採取時の状況（水位は降雨開始時の値）.

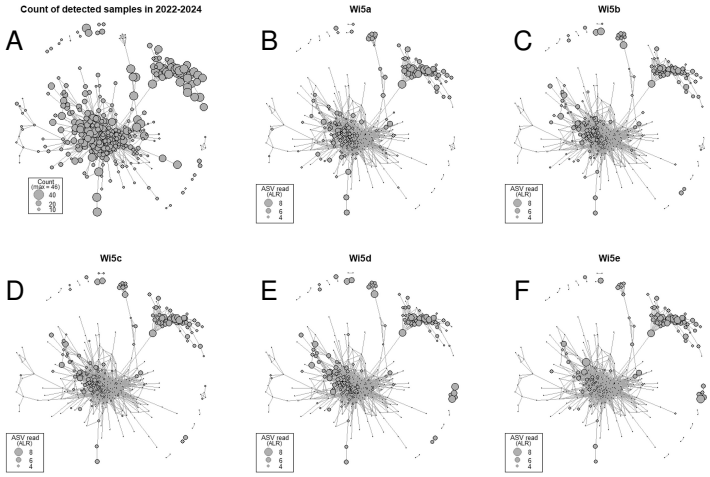
ID	採取日	30日間先行雨量	イベント雨量	#1水位	#2水位	#3水位	#5水量
#	年.月.日	mm	mm	m	m	m	mm/h
A	2022.08.16	134	-	-	-	-	0.003
B	2022.11.25	49	-	-	-	-	0.002
D	2023.07.05	149	31	-	1.47	0.22	0.015
E	2023.11.10～11	32	8	-	-	-	0.002
F	2024.01.21	7	15	-	-	-	0.002
G	2024.06.22～23	259	51	-	1.43	0.01	0.027
H	2024.08.26, 29～09.02	65	71	-	-	-	0.004
i	2025.07.30	51	-	-	-	-	0.001



図–1　地形および試料採取地点.



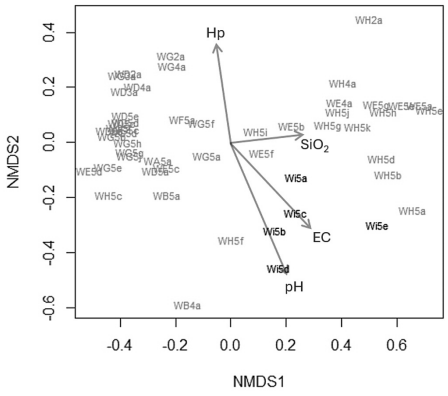
図–2　検証試料の採取後の経過.
gT_{25}: 1 時間経過毎の平均気温－25℃の積算値, ASV-read: ASV リード数の合計, Species: 種数の合計, t: 採取後の経過時間.



図–3　細菌叢の相関ネットワーク（相関係数 > 0.75）.
シンボルサイズは次の条件で図示した: A: 比較試料における検出試料数, B–F: 各検証試料における検出リード数.

2) 相関ネットワーク（図–3）: 検証 5 試料から検出された細菌叢は，概ね比較 46 試料で検出された細菌叢の範囲にあった．時間経過に伴いリード数の多い属に変化がみられる．Wi5b（試料名は W+採取日 id+採取地点番号+時系列[a,b,c,..]）以降は Alkanindiges 属，Rheinheimera 属の増加が目立ち，Wi5d 以降 Rikenellaceae 科の増加が目立った．種数が減少した Wi5e でもその傾向が継続されつつ vadinHA49 属が増加した．

3) NMDS 配置（図–4）: 検証試料は全試料中最も流域が乾燥していた時に採取された．Morishita-Horn 類似度に基づく NMDS 配置において，その細菌叢組成は比較試料の中で最も乾燥していたときの湧水（採水日 B），出水（採水日 H）の低減時渓流水に近いと考えられた．各検証試料は分散したが，試料全体の中では一角にまとまっており，危険率 5%未満で有意な環境変数の傾度の中に配置された．



図–4　NMDS 配置と環境変数の関係.
矢印は危険率 5%未満で有意な環境変数のベクトル. Hp: 水位標高, SiO_2: 溶存ケイ酸濃度, EC: 電気伝導度, pH: 酸性度.

４．まとめ

検証試料の細菌叢の増減に関しては，死滅と分解，捕食，閉栓・高温保管による嫌気的環境の進行などに伴う隆盛種の変動の影響が考えられる．もともとの検体の不均質性に由来することも考えられるが，検証試料は NMDS 配置の中で比較的大きく分散しており，Wi5a 以外の信頼性は低いといわざるをえない．しかし，細菌叢の類似性は概ね保たれていた．また，自動採水器の使用には試料汚染の可能性があるとしても，得られる細菌叢情報は環境変数と親和的な傾向を示している．このため本稿における最長期間程度，高温に晒された試料でもリード数に拘らない解析においては全く使用に耐えないわけではなさそうである．より低温の場合など，なお検討の余地が残される．

【謝辞】

本研究は JSPS 科研費 JP22K05733 の助成を受けたものです．記して感謝の意を表します．

引用文献

細田 2025. 降雨出水に伴う渓流水細菌叢組成の変動と環境変数との対応関係. 水文・水資源学会研究発表会要旨集, PS-2-46. ／ 細田 2026. 竜ノ口山南谷における降雨出水時渓流水の細菌叢モジュールの消長. 日本森林学会講演要旨集 137: 284. ／ 細田・谷 2016. 古生層堆積岩小流域の厚い風化基岩層における水分変動が降雨流出応答に及ぼす影響, 地形 37(4): 465-492. ／ 杉山ら 2020. 地下水流動系という視点からみる微生物動態研究の課題と展望. 地下水学会誌 62(3): 431-448. ／ 山中・廣原 2019. 環境 DNA 試料の採取から分析に至るまで 採水，保存・運搬，ろ過の現状. 化学と生物 57(6): 380-387.

キーワード：斜面水文，降雨流出過程，原核生物叢，品質管理，竜ノ口山

源流域河川における小規模ログジャムの解体に伴う出水時の濁度変化

鳥取大学農学部　○芳賀弘和
鳥取大学大学院連合農学研究科　佐古龍也
岐阜大学高等研究院　篠塚賢一

１．はじめに

日本の上流域の大部分は森林に覆われており，源流域河川には倒木や流木が普遍的に存在する．これらはログジャム（複数の倒木や流木の集合体）を形成し，流路内障害物として流下物質を捕捉する機能を有する．近年，日本の森林では間伐や主伐の進展に伴い，林地残材（切り捨てられた樹木や枝条）の発生状況が変化している．一方で，バイオマス利用の拡大により，未利用材や林地残材の搬出も進んでいる．また，管理が行き届かない人工林では樹木の大径化が進行しており，流路への倒伏に伴う流木供給量の増加も懸念される．このような森林の管理や利用形態の変化により，流木の供給および滞留特性は変化し，その結果としてログジャムの形成や機能にも影響が及ぶと考えられる．流木やログジャムに関する研究は，地形学，生態学，砂防工学などの分野で知見が蓄積されており，近年では流域スケールでの流木動態シミュレーション，炭素循環，水質への影響など，多様な視点から研究が進んでいる．しかし，日本の源流域河川において，流木やログジャムが水や土砂の流れに与える影響を現地観測に基づいて評価した研究は限られている．また，流木は災害を助長する側面を有するため，防災対策として流路内から除去される場合もある．しかし，流木除去は河川生態系や下流域の水環境に対する攪乱とも捉えられるため，これらの対策を一律に適用することは適切ではなく，対象地域の自然的・社会的条件に応じた対策が求められる．そのためにも，流木やログジャムが水や土砂の流れに与える影響を実証的に評価し，知見を蓄積することが不可欠である．本報告では，源流域河川においてログジャムの骨格をなす流木（key-wood）の除去（ログジャム解体）を一つの攪乱として位置づけ，その解体前後における出水時の濁度変化をログジャムによる堰上げ水位と水の伝搬特性の観測に基づいて評価した．

２．方法

調査は，岡山県真庭市北部に位置する鳥取大学・蒜山水文試験地内の河川で実施した．この河川に設定されている長さ 500m の流木調査区間での予備調査によると，長さ 1.0m 以上，直径 0.10m 以上の流木が合計 115 本（出現頻度 0.23 本/m）滞留しており，ログジャムも 10 か所で形成されていた．本研究ではこの調査区間よりも 200m 下流の地点（集水面積 123ha）にあった小規模ログジャムに着目した．このログジャムは，6 本（ヒノキ 5 本，ミズナラ 1 本）の流木が key-wood となっており，それらの長さと直径（流木の中央部）の範囲は，それぞれ 4.20～6.35m，0.10～0.28m であった．ログジャムは流下方向に約 10m の範囲にあり，洪水痕跡から水位の堰上げ高は 0.5m 程度であった．ログジャムの 2 か所に枝条やリターが堰き止められて集合しており，見かけのサイズは直方体（流下方向×横断方向×鉛直方向）で近似すると，それぞれ 0.7×2.8×0.5m，0.6×2.7×0.4m であった．ログジャムの解体は，晩秋（2025 年 10 月 30 日）に実施した．Key-wood の除去作業は熟練したオペレータが重機（グラップル）で 1 本ずつ慎重に持ち上げて流路外へ出し，枝条やリターはそのままにした．この解体に伴う水の流れと濁度の変化を把握するために，ログジャムの上流側で流量と濁度を観測し，ログジャムの下流側で濁度を観測した．両地点における出水時の濁度の関係について，ログジャムの解体に伴う変化を抽出するために，線形混合効果モデルを用いて解析した．応答変数をログジャム下流側での濁度，固定効果として上流側の濁度，処理前後（0：解体前，1：解体後），およびその交互作用を含め，イベントをランダム切片とした．また，誤差構造として，各イベント内の時系列的な自己相関を考慮した．解析には R の nlme パッケージの lme 関数を用いた．また，堰上げ水位の変化を捉えるために，ログジャム付近で水位を測定した．さらに，ログジャムを水が通過する際の伝搬特性を把握するために，ログジャム中央部から 40m 上流側で塩水を投入し，20m 上流側と 30m 下流側で検出される電気伝導度ピークの時間差に基づいて水の伝搬速度を算出した．

３．結果

ログジャム解体後，積雪・融雪期を経て 5 か月が経過した時点ではログジャムに捕捉されていた枝条やリターの集合体は下流側へ数十センチ移動していた．しかし，そのサイズに大きな変化はなく，解体前と同様に流れを堰上げていた．

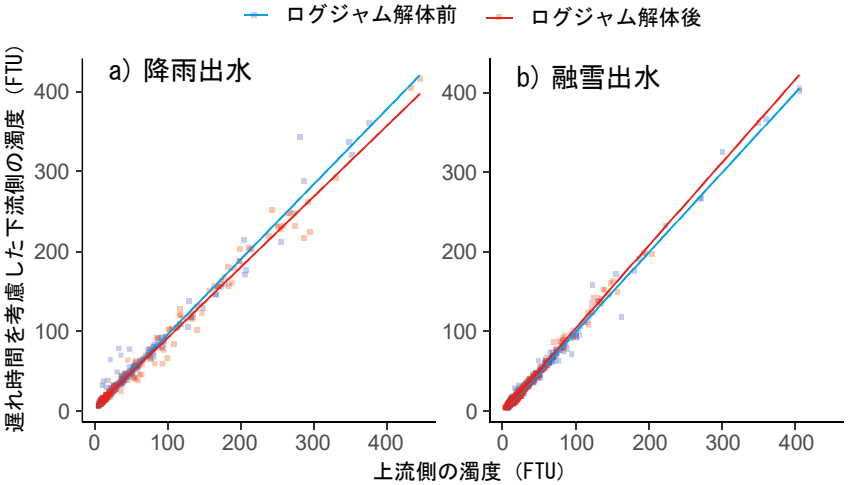
ログジャム上流側の濁度と下流側の濁度の間には極めて強い相関があったが，降雨出水と融雪出水とでパターンが異なった（図−1）．降雨出水（n = 8）を対象に，上流と下流の濁度関係を評価するため，タイムラグ補正後のデータに対して線形混合効果モデルを適用した結果，上流の濁度と下流の濁度の正の関係自体は維持されるが，その関係の強さはログジャム解体後に有意に低下した．融雪イベント（n = 6）については，上流の濁度と下流の濁度の正の関係自体は維持されるが，その関係の強さはログジャム解体後に有意に増加した．

ログジャムによる堰上げ水位は，解体に伴って低下することはなかった．逆に，2025 年 12 月中旬に約 3cm 上昇した．この堰上げは，その後も融雪期を通じて維持された．

水の伝搬速度は流量に依存しており，4L/s の条件下で 0.05m/s，108L/s の条件では 0.28m/s であった．解体前の流量と伝播速度との関係にフィットする曲線は，除去後のデータのプロットとほぼ重なった．

４．考察

ログジャムの解体により，堰上げ水位の低下と水の伝搬速度の上昇が生じ，出水時の濁度の応答は強まると想定いていた．しかしながら，解体後には顕著な変化は見られず，濁度の応答についてはむしろ想定と逆であった．その後，落葉期を経て堰上げ水位が上昇し，そのまま融雪期を迎えたが，融雪出水時の濁度の応答は降雨出水のそれとは逆になり，想定に沿うものであった．これは，ログジャムの解体による濁度への影響は数ヶ月をかけて徐々に進行するとともに，濁水形成過程が降雨時と融雪時で異なることを示唆している．ログジャム内に捕捉されていた枝条やリターは，見かけ上ログジャムの解体によってそれらに変化はなかった．これは，枝条などの小径流木の一部が河床の滞留土砂に埋まっていたとするとそれらは比較的安定であり，解体に伴ってすぐには流出しないと考えられる．さらに，解体の時期が落葉期と重なっており，流下してくる落葉リターを捕捉することにより流れを阻害するようになり，12 月の出水でそれらのリターが枝条間に圧密されて目詰まりが強まり，堰上げ水位が急増したと考えられる．その後，融雪出水を経て，それらの枝条やリターの集積構造が徐々に壊れ，目詰まりも弱まっていったと思われる．現状では想像の域を出ないが，ログジャム解体の直後に検出された濁度応答の低下と融雪期の濁度応答の上昇は，このような枝条とリターの作用によってもたらされたと解釈できる．本研究の結果は，ログジャムの流路内障害物としての機能を評価する際に，水文・水質のモニタリングデータに加え，骨格要素の効果とそれに捕捉される目詰まり要素の効果の両方を考慮することの重要性を示唆している．



図−1．出水時におけるログジャムの上流と下流の濁度の関係．
点は観測地，実線は線形混合効果モデルに基づく予測値を示す．
a)降雨出水，b）融雪出水．

【謝辞】

本研究の一部は，2024 年度河川財団の研究助成を受けて実施した．試験地管理において，鳥取大学蒜山研究林の福富正吾さん，米田亜佐美さん，森岡麻衣さんに尽力いただいた．調査では，井上実咲さん，畠山和佳奈さんに協力していただいた．ここに記して謝意を表します．

キーワード：流木，ログジャム，枝条，目詰まり，濁度，伝搬速度，堰上げ

高時間分解能の日本全国の降水安定同位体比に見られる変動の同時性

京都府立大学生命環境科学研究科　○勝山正則
福澤加里部(北大)・福島慶太郎(福島大)・岩崎健太(森林総研)・南光一樹(農工大)・大西健夫(岐阜大)・
江草智弘(静岡大)・牧野奏佳香(福井県大)・鎌倉真依(龍谷大)・東若菜(神戸大)・芳賀弘和(鳥取大)・
兵藤不二夫(岡山大)・久米朋宣(九大)・片山歩美(九大)・篠原慶規(宮崎大)

1. はじめに

水の安定同位体比は水循環のトレーサーとして広く利用されている。流域に対するインプットである降水から、浸透・移動過程にある土壌水や地下水、アウトプットである渓流水・河川水に至るまでの移動において、安定同位体比のシグナルは均されつつ、一部が保存されることを利用して、滞留時間や土壌中の移動経路の推定、植物による水利用・吸水深度の推定など、幅広い研究に用いられる。

このうち、降水同位体比は気象条件の影響を強く受け、材料となる水蒸気の由来・起源に応じて空間的に変動が大きいだけでなく、一雨ごとに値が異なるという時間的変動も大きい。言い換えるとこの変動のパターンや仕組みを理解することは、気候変動の影響をいち早く把握するための一助となり、結果として生じる水循環への影響予測にもつながる。降水同位体比の長期観測の代表例として、IAEA の GNIP による観測データがよく利用されるが、一つの国の観測地点数が少ないため空間分解能が低く、また時間分解能も粗い。そのため、その同位体比決定のメカニズム解析や、降水から先の詳細な流域内水移動過程の解析には適さない。本研究では、日本各地で一雨ごとを目標とした高い時間分解能の降水同位体比観測を一斉に行い、実データをもとにしてその変動パターンを解明することを目的とする。

2. 方法

2025 年 4 月以降、全国 14 箇所(音威子府、福島、つくば 2 地点、岐阜、静岡、福井、大津、京都、神戸、鳥取、岡山、福岡、宮崎)で、概ね一雨ごとに降水を採取し、その安定同位体比を測定している。ただし、地点によっては観測開始時期が異なる。なお、本要旨では 2025 年 4 月から 7 月のデータをもとに議論するが、その後も継続して採取している。

3. 結果

すべてのデータをプロットした δ ダイヤグラムの近似直線は

$$\delta^{2}H = 8.21\delta^{18}O + 11.26 \ (R^2 = 0.97)$$

となり、天水線(GMWL)と比較的近かった。各地域の天水線(LMWL)は年間を通じたデータを元に、降水量や降水頻度、季節性などを考慮して決定すべきであるが、春季から夏季にかけての 4 ヶ月間のデータを見る限り、妥当な直線関係が見られた。採水地点ごとの観測値を単純平均値で比較すると、音威子府で最も小さく、ついで福島、つくばと続き、東北日本の観測地点においては緯度効果が明瞭に見られた。西南日本の観測地点でも概ねその傾向は見られたが、その傾向から外れる地点も見られた。ただしこれには観測開始時期の違いも影響していると考えられ、継続的なデータ取得が必要である。

時系列の変動を見ると、同一地点内での降水ごとの変動が大きく、明瞭な季節変動は見られなかった。一方、地点間では、同位体比の値には違いがあるものの、変動パターンが連動する、すなわち同じタイミングで全国で同位体比が低下あるいは上昇するようなパターンが見られた。具体的には、2025 年 5 月 7 日前後に回収されたサンプルでは全国的に同位体比が低下し、逆に 2025 年 5 月 19 日前後に回収されたサンプルでは全国的に上昇するような変動が見られた。

4. 考察

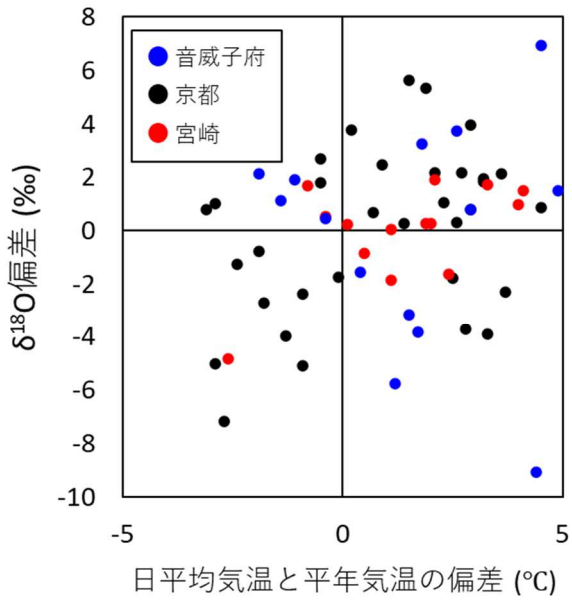


図 1. 気温偏差とδ^{18}O 偏差の関係

観測期間中に見られた全国的な同位体比の連動現象について考察する。気象庁が公開している 2025 年 5 月の「日々の天気図」(気象庁, 2026)によると、2025 年 5 月 6 日の天気概況は「沖縄～東北は低気圧や前線の影響で広く曇りや雨。気温も上がらず」とされていた。また、2025 年 5 月 19 日にかけては、16 日に九州南部で梅雨入り後、18 日にかけて全国的に降水があった。図 1 に音威子府・京都・宮崎のデータについて観測期間中の日平均気温と気温平年値の差を示した。データはグラフの第 1 象限と第 3 象限に比較的多くプロットされ、気温偏差が正のときにはδ^{18}O 偏差も正、気温偏差が負のときにはδ^{18}O 偏差の負となる傾向が見られた。すなわち、その日の気温が高いときには同位体比が大きい傾向が見られた。

降水安定同位体比は、降水の材料となる水蒸気の生成過程を反映するため、緯度効果のようなその地域ごとの気候・気象条件を反映した同位体比となることが知られている。つまりこれにより、地域ごとに大まかな同位体比の差が生じる。一般に、温度が低いほど降水同位体比が小さくなることを温度効果というが、本研究の結果は緯度効果のような大きな空間スケールの減少に加え、雲からの降水過程において気温が影響していることを示している。ただし、図中で第 2 象限、第 4 象限にある点も無視できないため、詳細な解析が必要である。

5. 結論

観測期間が限られているため年間を通じた議論はまだできないが、一雨ごとの採水を目指した詳細な降水観測同位体比から、気温が鋭敏に降水同位体比に影響を与えている結果が見えている。これは気候変動影響が降水同位体比に顕著に現れる可能性を意味している一方で、流域へのインプットと考えると変動が大きくなることを示唆している。流域水循環を解析するうえで降水安定同位体比の重要性が揺らぐことはないが、気候・気象条件の変化が顕著になる中、気温の影響を適切に評価しないとトレーサーとして利用しにくくなる。本研究のような高時間分解能のデータは貴重であり、解析に用いるトレーサーとして、海洋上の相対湿度の違いを反映し、気温の影響を受けにくいとされる ^{17}O-excess などの新指標(Barkan and Luz, 2007; 土原ら, 2016)も合わせて用いて解析精度を高めることが今後求められる。

引用文献

Barkan, E. and Luz, B. (2007) Diffusivity fractionations of HO/HO and HO/HO in air and their implications for isotope hydrology. Rapid Commun. Mass Spectrom., 21: 2999-3005. https://doi.org/10.1002/rcm.3180

気象庁 (2026) 日々の天気図, 2025 年 5 月, No. 280, https://www.data.jma.go.jp/yoho/data/hibiten/2025/2505.pdf. (参照: 2026/5/7).

土原健雄, 吉本周平, 白旗克志, 石田聡 (2016) 茨城県の水田農業地域における降水, 地表水, 地下水の^{17}O-excessおよび水素・酸素安定同位体比, 農業農村工学会論文集, 84: 185-194. https://doi.org/10.11408/jsidre.84.I_185

キーワード：降水安定同位体比, 全国一斉観測, 緯度効果, 温度効果

流域治水に向けた降雨イベントごとの雨量-流出特性の把握

熊本県立大学流域治水を核とした復興を起点とする持続社会共創拠点運営機構　〇大内憲人
熊本県立大学共創の流域治水研究室　　島谷幸宏

１．はじめに

気候変動に伴う水災害の激甚化・頻発化に対し、河川整備のみによる治水対策から、山地から市街地、氾濫域に至る流域のあらゆる箇所で、関係者が協働して貯留・浸透機能を分担する「流域治水」への転換が進められている。流域治水を推進するにあたっては、それぞれの流域が本来備えている「降雨を貯留・浸透させる能力」を物理的な実態に即して定量的に把握し、降雨量に応じて流出プロセスがどのように遷移していくのかという流出特性を把握することが必要である。この把握において、様々な降雨イベントを総雨量高-総流出高の散布図によって示されている。しかし，個別の降雨イベントに着目した流出解析は、地表面の飽和過程や初期損失の変化をより直接的に抽出できる利点がある。特に、累加雨量と直接流出高の関係を複数の直線で近似して把握することで、流域の物理特性を表現する有用な指標であると考える。

本研究では、行政による流出特性の把握に用いられた複数の主要な降雨イベントを対象に、流域の物理特性を定量的に把握することを目的とした。

２．使用データおよび解析手法

2.1 使用データ

解析対象として、球磨川水系の市房ダムの流入データと流域平均雨量を用いた。対象とした降雨イベントは八代河川国道事務所が作成した総雨量−総流出の関係図[1)]で用いられたイベントした。

2.2 減水曲線の解析と基底流量分離

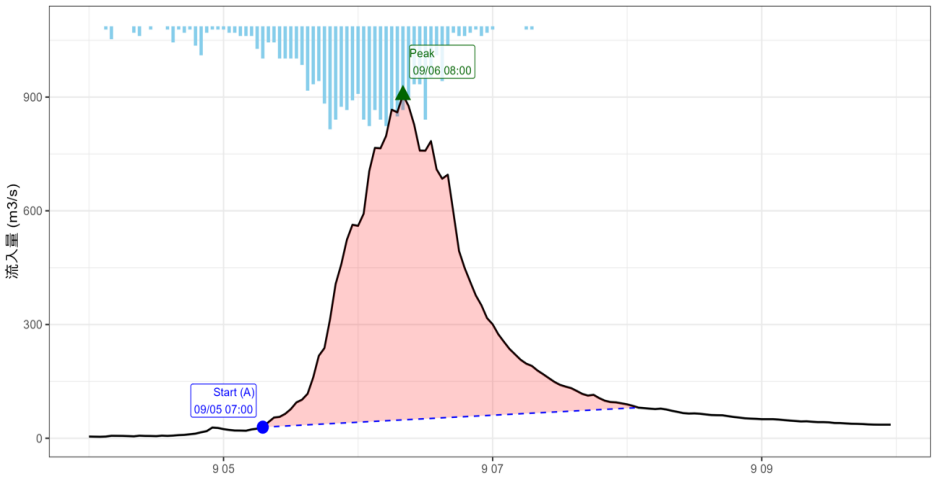
流出高を求める際の流出量は直接流出量とした。そこで、次に示す方法で直接流出量の算出を行った。まず、ハイドログラフの低減部を片対数紙に描き、3 本の直線でを近似すると、洪水の終わりから 1 つ目の折れ点が直接流出量の終了点とした。直接流出の開始点から終了点までを結ぶ線を用いて基底流量を分離（図-1）し、各事象の直接流出高（mm）を算出した。

2.3 流出特性の把握

算出された直接流出高を縦軸、累加雨量を横軸にとった散布図に対し、流出の遷移を表現する 3 本の直線（s1～3）による近似を行った。本解析では、これら 3 つの傾き（流出率）と変化点（c1、c2）の算出を行った。

2.4 解析対象データの選定

流出散布図の終盤においては、雨が止んだ後も流量は遅れてくるため、雨量が増えないまま流出高のみが増加する垂直なデータ群が現れる。これをそのまま計算に含めると、傾き s3 が流出率 1.0（降った雨以上の水が流れる状態）を大幅に超過し、物理的な実態と乖離する。本研究では、物理的な整合性を保つため、各事象の波形を目視確認し、流出生成プロセスが継

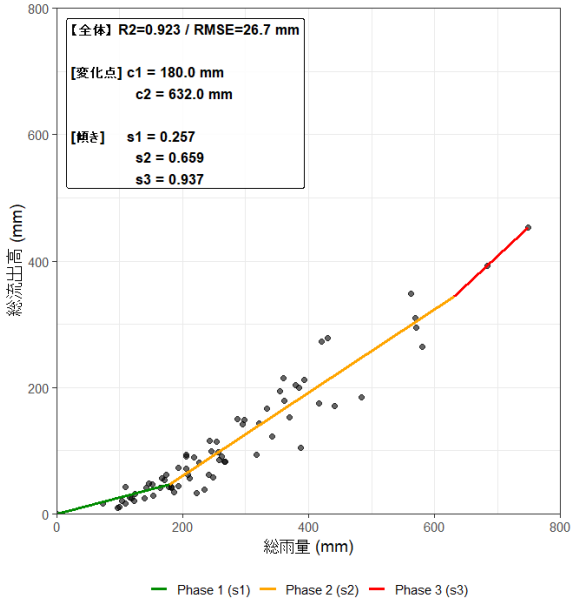


図−1　　直接流出量の算出例　ピンク部分：直接流出量

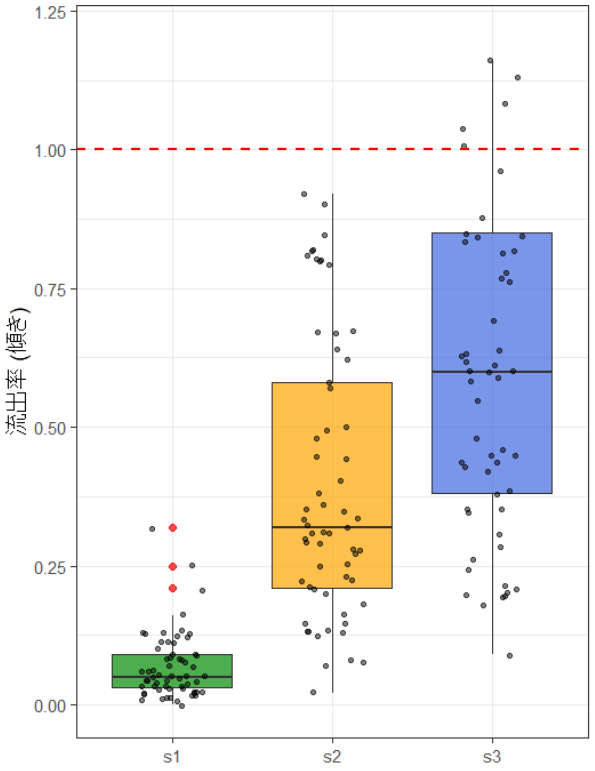
続している範囲の累加雨量を上限として設定し、それ以降のデータを除外して解析を行った。

３．結果

事象ごとの総雨量と総流出高の関係を統合し、流域全体の巨視的な応答特性を俯瞰した結果を図−2 に示す。データ群全体に対して s1～3 を適用した結果、総雨量が 180.0 mm（c1）までは流出率は低く、632.0 mm（c2）を超えると流出率が 0.937 となり、流域の広範囲が飽和する状態になったと考えられる。これは、当該流域が備える「貯留・浸透容量」の限界値を定量的に示唆するものである。 次に、各降雨イベントの解析から得られた流出率（s1, s2, s3）の分布を図−3 に示す。降り始めの s1 は低い値に集中しており、事象によらず安定した初期損失機能が発揮されていることがわかる。また、s3 の中央値は 0.6 付近にあり、大規模出水時であっても流域内で地下浸透や貯留による損失が一定割合で継続している実態を明確に示している。これらの結果から、流域全体の巨視的な閾値と、出水プロセスごとの安定した流出特性が整合していることが確認された。



図−2　総雨量-総流出高の関係



図−3　各降雨イベントの解析から得られた流出率

４．まとめ

本研究では、全事象を統合した解析を行うことで流域全体の飽和雨量を定量的に、個別の事象解析によるパラメータ分布からその流出パターンの把握を行った。

得られた各パラメータや閾値は、流域の現状の「貯留・浸透特性」を捉える物理的指標として有効であり、将来的な土地利用の変化や対策導入の前後でこれらの指標を比較することで、流域治水における中長期的な計画策定や対策効果の評価に資するものである。今後は、先行降雨条件などがこれらパラメータの分布に与える影響や他の流域との比較を行う予定である。

【謝辞】

本研究は，JST 共創の場形成支援プログラム JPMJPF2109 の支援を受け実施したものである．

参考文献

1) 八代河川国道事務所 HP,
https://www.qsr.mlit.go.jp/yatusiro/site_files/file/bousai/gouukensho/sankousryou/sankousiryou-ryuryou2.pdf

キーワード：Catchment based Flood Management, Flow characteristics

一般セッション(ポスター講演) | ポスターセッション

2026年9月15日(火) 10:10 ~ 11:40 | 5F大会議室(5F)

[PS-02] ポスターセッション（２）

[PS-02-01] Evaluating the Role of Buffer-Zone Analysis and Localized LULC Transitions in Differentiating Landslide and Non-Landslide Catchments in Java, Indonesia

*CORRY AINA[1], Jun MAGOME[2], Kazuyoshi SOUMA[2], Hiroshi ISHIDAIRA[2] (1. Department of Engineering, Integrated Graduate School of Medicine, Engineering and Agricultural Sciences, University of Yamanashi, 2. Interdisciplinary Centre for River Basin Environment)

[PS-02-02] Improving CaMa-Flood Inundation Estimates using One-Coin Sensor Data in Ogaki City

Muhammad Hasnain Aslam[1], *Yuki Kita[1] (1. Gaia Vision Inc.)

[PS-02-03] 1000メンバーアンサンブル土砂災害危険度予測‐令和2年7月豪雨の九州地方を対象として‐

*瀬戸 里枝[1]、鼎 信次郎[2]、大泉 伝[1]、太田 琢磨[1]、川畑 拓矢[1]、佐々木 織江[2]、Le Anh[3] (1. 気象庁気象研究所、2. 東京科学大学、3. 東京大学)

[PS-02-04] 筑後川下流域における伝統的水管理「モタセ」による水害抑制機能の評価

*金子 貴信[1]、吉川 夏樹[2]、木村 匡臣[3]、長野 宇規[4] (1. 新潟大学大学院 自然科学研究科、2. 新潟大学農学部、3. 近畿大学農学部、4. 神戸大学大学院農学研究科)

[PS-02-05] MEPSを用いた洪水のタイムラグアンサンブル手法の開発

*大泉 伝[1]、小林 健一郎[2]、川畑 拓矢[3]、太田 琢磨[4] (1. 気象研究所 気象予報研究部、2. 埼玉大学 理工学研究科、3. 気象研究所 気象観測研究部、4. 気象研究所 応用気象研究部)

[PS-02-06] 堤防を考慮した全球河川氾濫モデルによるデータ不足地域の洪水リスク推計の評価

*西井 大晟[1]、平林 由希子[2]、山崎 大[3]、Zhao Gang[4] (1. 芝浦工業大学 理工学研究科、2. 芝浦工業大学 工学部土木工学課程、3. 東京大学生産技術研究所、4. 東京科学大学)

[PS-02-07] 田んぼダムの流域内実施位置が浸水被害軽減効果に及ぼす影響
～山形県京田川流域を事例として～

*菅原 正道[1]、井上 祐樹[1]、宮津 進[2] (1. 新潟大学大学院 自然科学研究科 農業水利学研究室、2. 新潟大学 農学部)

[PS-02-08] 水災害の被害低減に向けた居住誘導とコンパクトシティの検討

*羽田 航大[1]、呉 修一[2]、宮田 英寿[1] (1. 富山県立大学大学院、2. 富山県立大学)

[PS-02-09] 富山市内の中小河川を対象とした水田貯留の軽減効果に関する基礎的研究

*萱沼 友祐[1]、馬渕 慎也[2]、吉見 和紘[1] (1. 富山県立大学　工学部、2. 富山県立大学大学院　工学研究科)

[PS-02-10] 三次元防災教育コンテンツに対する印象評価の統計的分析

*児玉 睦希[1]、小野 桂介[2] (1. 東北工業大学大学院、2. 東北工業大学)

[PS-02-11] 再解析データに基づく洪水リスクの広域評価—2025年11月スマトラ島事例—

*中村 要介[1]、阿部 紫織[1]、アマリア ウィジャヤンティ[1] (1. 三井共同建設コンサルタント株式会社)

[PS-02-12] 戦後の水利用と水インフラの変遷を組み込んだ関東平野の長期水資源シミュレーション

*井手 淨[1]、花崎 直太[1] (1. 国立環境研究所)

© 2026 水文・水資源学会/日本水文科学会

[PS-02-13] 東京都管理河川における治水計画と調節池の整備経緯

*石原 成幸[1]、天口 英雄[1]、高崎 忠勝[1] (1. 東京都立大学 都市環境科学研究科)

[PS-02-14] 給水・発電・環境流量を統合した
Kafue川流域における多目的最適化フレームワークの構築

*藪 和史[1]、梶山 青春[2]、花崎 直太[3]、鼎 信次郎[4] (1. 東京科学大学 環境・社会理工学院 融合理工学系、2. 韓国科学技術院、3. 国立環境研究所 気候変動適応センター、4. 東京科学大学 環境・社会理工学院 土木工学系)

[PS-02-15] 水文（気象）条件に対応した灌漑面積変化の水資源モデルへの導入

*相京 雄大[1]、花崎 直太[2]、平林 由希子[3] (1. 芝浦工業大学大学院 理工学研究科、2. 国立環境研究所 気候変動適応センター、3. 芝浦工業大学 工学部土木工学課程)

[PS-02-16] 都市取水モデルHydroUrbanMapの実データ検証に基づく体系的乖離の分析

*真庭 唯花[1]、藪 和史[1]、梶山 青春[2]、鼎 信次郎[1]、花崎 直太[3] (1. 東京科学大学　環境・社会理工学院、2. 韓国科学技術院、3. 国立環境研究所)

[PS-02-17] 仮想貯水池における出穂期の事前放流の空振りが水稲の減収に与える影響評価

*池本 敦哉[1]、風間 聡[1] (1. 東北大学)

[PS-02-18] 秩父の森の多面的機能の定量評価

*大八木 豊[1]、福田 裕恵[2]、金目 達弥[2]、田中 裕士[1]、永井 椋[1]、後藤 颯太[2]、山田 夏希[2]、関 隆史[3]、笠井 知洋[4]、竹内 えり子[5] (1. 株式会社 建設技術研究所 大阪本社 水システム部、2. 株式会社 建設技術研究所 東京本社 、3. ミドリクNbS株式会社、4. 秩父市役所、5. 大正大学)

[PS-02-19] ダム貯水池がもたらす水安定同位体比の河川分断の評価

*吉岡 有美[1]、吉岡 秀和[2] (1. 岐阜大学　応用生物科学部、2. 北陸先端科学技術大学院大学　先端科学技術研究科)

[PS-02-21] Seasonal variations in nutrient at the downstream of a river with groundwater interaction

*Chanthang Chin[1], Shin-ichi Onodera[1], Mitsuyo Saito[1], Nang Yu War[1], Yusuke Tomozawa[1], Miho Awamura[1], Kelly Tiku Tarh[1], Sharon Bih Kimbi[1] (1. Graduate School of Advanced Science and Engineering, Hiroshima University)

[PS-02-22] CNN-RNNを用いた流出予測に関する研究

*高橋 陽真[1] (1. 岐阜大学大学院　自然科学技術研究科)

[PS-02-23] d4PDFと2変量一般化パレート分布を用いた基準地点を中心とした高水流量算定手法の上流における適用性の検証

*内村 在誠[1]、田中 智大[2]、佐山 敬洋[2] (1. 京都大学大学院 工学研究科 社会基盤工学専攻、2. 京都大学 防災研究所)

[PS-02-24] 簡略化メタ統計的極値分布に基づく地域頻度解析による確率雨量推定の安定性

*崎川 和起[1]、近森 秀高[2] (1. 農研機構、2. 岡山大学学術研究院環境生命自然科学学域)

[PS-02-25] 日本域長期再解析データRRJ-Convによる極値降雨の空間特性評価

*岩部 幸雄[1]、平賀 優介[1]、田原 亮太郎[1] (1. 東北大学大学院工学研究科)

[PS-02-26] メコン川流域におけるダム運用がメコンデルタへの土砂輸送量に及ぼす影響

*江尻 幸太[1]、都築 航太[1]、手計 太一[2] (1. 中央大学 理工学研究科、2. 中央大学大学理工学術院)

[PS-02-27] 再解析短波放射データの地形補正の改良と精度評価

© 2026 水文・水資源学会/日本水文科学会

*新川 遥也[1]、田中 賢治[2]、峠 嘉哉[3]、Khujanazarov Temur[2]、萬 和明[2] (1. 京都大学大学院工学研究科地域水環境システム研究領域、2. 京都大学防災研究所、3. 千葉大学リモートセンシング研究センター)

[PS-02-28] 福島県浪江町の地下水の水質と水位変化の特徴

*藪崎 志穂[1]、川越 清樹[2] (1. 総合地球環境学研究所 基盤研究部、2. 福島大学 共生システム理工学類)

[PS-02-29] 白川中流域の人工涵養が熊本地域の地下水に与える影響の推定

*一柳 錦平[1]、Rahmawan Irfan[2]、長岡 輝[2] (1. 熊本大学先端科学研究部、2. 熊本大学自然科学研究部)

[PS-02-30] 京都市の屋上緑化が気温低減に及ぼす効果に関する基礎的研究

*疋田 真珠子[1]、田中 賢治[2] (1. 京都大学大学院工学研究科都市社会専攻、2. 京都大学防災研究所水資源環境研究センター)

[PS-02-31] タイ首都圏における水害時避難行動と寺院の避難所利用可能性

*坂部 雅弥[1]、都築 航太[1]、手計 太一[2] (1. 中央大学大学院 理工学研究科、2. 中央大学理工学術院)

[PS-02-32] 二次元格子に基づく下水道モデルを用いた内水氾濫計算

*山口 駿希[1]、市川 温[2] (1. 京都大学　工学研究科　河川流域マネジメント工学講座、2. 京都大学大学院経営管理研究部)

[PS-02-33] 団粒構造を考慮した地表面エネルギー収支を伴うDual-domain土壌水分移動モデルによる保水・排水特性の評価

*相良 志織[1]、山田 朋人[2] (1. 北海道大学大学院工学院、2. 北海道大学大学院工学研究院)

[PS-02-34] Impact of soil moisture initial conditions on flood risk in Hokkaido, Japan

*Julie ANDRE[1], Tomohito Yamada[1] (1. Graduate School of Engineering, Hokkaido University)

[PS-02-35] ため池揚水発電システムのため池灌漑地区への適用

*木原 昂[1]、谷口 智之[2]、岩田 幸良[2]、堀 俊和[3]、泉 明良[3] (1. 九州大学大学院生物資源環境科学府、2. 九州大学大学院農学研究院、3. 農研機構農村工学研究部門)

[PS-02-36] 灌漑地における塩類集積潜在リスク分布

*北村 裕和[1]、吉川 沙耶花[2] (1. 長崎大学大学院　総合生産科学研究科、2. 長崎大学　総合生産科学域)

[PS-02-37] 印旛沼循環灌漑地区における排水路内堆積を考慮した一時間間隔での全窒素解析

*岩崎 隼也[1]、飯田 俊彰[2] (1. 株式会社建設技研インターナショナル、2. 立正大学地球環境科学部)

[PS-02-38] 石礫床河川における河道内植生繁茂と土砂動態の数値解析

*山本 道[1]、風間 聡[1] (1. 東北大学大学院工学研究科土木工学専攻)

[PS-02-39] 立地選択モデルを用いた人口減少下における防災集団移転促進事業の動学的費用便益分析

*﨑山 賢人[1]、田中 智大[2]、市川 温[3] (1. 中央復建コンサルタンツ株式会社、2. 京都大学防災研究所、3. 京都大学大学院経営管理研究部)

[PS-02-40] 環境要因と人口要因に基づく耕作放棄地の土地利用評価と湿地化検討

*小島 彩也乃[1]、川越 清樹[2] (1. 福島大学　共生システム理工学研究科、2. 福島大学　共生システム理工学類)

[PS-02-41] 荒廃地域の樹林による土砂流出影響とEco-DRR効果への効果

*星 歩武[1]、川越 清樹[1]、鈴木 皓達[2] (1. 福島大学、2. 三井共同建設コンサルタント)

[PS-02-42] 洪水許容と水害防備林による中小河川の流域治水対策の数値実験

© 2026 水文・水資源学会/日本水文科学会

*仁野平 未來[1]、川越 清樹[1]、鈴木 皓達[2] (1. 福島大学共生システム理工学研究科、2. 三井共同建設コンサルタント)

[PS-02-43] 香川県における線引き廃止前後での水害曝露状況に関する分析

*平井 孝明[1]、市川 温[2,1] (1. 京都大学 工学研究科、2. 京都大学大学院 経営管理研究部)

[PS-02-44] 機械学習を用いた取水制限に影響を与える水文量の分析

*近藤 大紀[1]、ティヌンバン アウリア[1]、立川 康人[1] (1. 京都大学 工学研究科社会基盤工学専攻)

[PS-02-45] Impact of Land Cover Dynamics on Seasonal Inflow: A 38-Year Case Study of Saguling Dam

*YUANGGA RIZKY ILLAHI[1], JUN MAGOME[2], KAZUYOSHI SOUMA[2], HIROSHI ISHIDAIRA[2] (1. Integrated Graduate School of Medicine, Engineering and Agricultural Sciences, University of Yamanashi, 2. Interdisciplinary Center for River Basin Environment, University of Yamanashi)

[PS-02-46] Development of Flood Forecast Model
Integrating Local Irrigation Planning on Lombok Island, Indonesia

*Amalia Wijayanti[1], Nakamura Yosuke[1], Abe Shiori[1], Higashiguchi Hiroshi[1], Eka Nugraha Abdi[2] (1. Mitsui Consultant Co., Ltd., 2. Nusa Tenggara 1 River Basin Organization)

[PS-02-47] 氾濫の許容による流域の流出特性と被害特性に関する数値実験

*宇賀神 瑠杜[1]、横尾 善之[2]、風間 聡[1] (1. 東北大学 工学研究科、2. 福島大学 共生システム理工学類)

[PS-02-48] 遮断蒸発モデルの仮定が流出予測に及ぼす影響

*籾山 寛樹[1]、熊谷 朝臣[2]、藤目 直也[3]、江草 智弘[4]、清水 貴範[1] (1. 国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所、2. 東京大学大学院 農学生命科学研究科、3. アジア航測株式会社、4. 静岡大学 農学部)

[PS-02-49] サロゲートモデルを用いたRRIモデルの大域的感度分析

*谷口 雅明[1]、工藤 亮治[1]、近森 秀高[1] (1. 岡山大学 環境生命自然科学研究科)

[PS-02-50] サブグリッド河道および水分保持曲線を導入した新しいRRIモデルの土壌パラメータに対する感度分析

*中村 菜々子[1]、菅原 快斗[2]、田中 智大[2]、佐山 敬洋[2] (1. 京都大学大学院工学研究科、2. 京都大学防災研究所)

[PS-02-51] 効果的に河川流量を低減する豪雨制御に向けた降雨量の時空間分布と河川流量の関係分析に関する基礎的検討

*小畑 俊平[1]、萬 和明[1]、田中 賢治[1] (1. 京都大学　防災研究所　水資源環境研究センター　地域水環境システム研究分野)

[PS-02-52] 筑後川流域における高出水を誘発する降水特性の分析と将来予測

*瀬戸口 裕也[1]、丸谷 靖幸[1]、渡部 哲史[2] (1. 九州大学大学院、2. 九州大学比較社会文化研究院)

[PS-02-53] 高速版陸面過程モデルによる大規模アンサンブルを用いたコロラド川流域における流量感度係数の分析

*樋口 淳紀[1]、鼎 信次郎[1] (1. 東京科学大学 環境・社会理工学院)

[PS-02-54] 拠点スケールの水資源リスク評価を見据えた全国3次元地表地下連成水循環モデルの開発

*深沢 壮騎[1]、多田 和広[1] (1. 株式会社地圏環境テクノロジー 開発部)

[PS-02-55] RUSLEモデルを用いた石川・富山における土砂生産量の算定と適用性の検証

*中尾 朔也[1]、呉 修一[2] (1. 富山県立大学大学院、2. 富山県立大学)

© 2026 水文・水資源学会/日本水文科学会

[PS-02-56] RRIモデルにおける解像度が洪水流出特性に与える影響の評価

*阿部 紫織[1]、Amalia Wijayanti[1]、中村 要介[1] (1. 三井共同建設コンサルタント株式会社)

[PS-02-57] 釧路湿原における水路網が洪水時の水動態に及ぼす影響

*伊藤 毅彦[1]、ポジラパチャイ ワルス[1]、山田 朋人[1] (1. 北海道大学)

[PS-02-58] 集中型モデルと水質トレーサーを用いた降水の貯留・流出特性の比較

*石井 創大[1]、横尾 善之[2] (1. 福島大学共生システム理工学研究科、2. 福島大学共生システム理工学類)

[PS-02-59] 水質計を用いた阿武隈川の炭素輸送量の時間変動解析

*石井 佑弥[1]、横尾 善之[2,3] (1. 福島大学大学院共生システム理工学研究科、2. 福島大学共生システム理工学類、3. 水素エネルギー総合研究所)

[PS-02-60] 鉛直準二次元地表・地中流モデルへの地下水流動機構の導入

*普神 素良[1]、市川 温[1] (1. 京都大学大学院工学研究科)

[PS-02-61] フィルター分離法とT-SASを利用した分布型降雨流出モデルのパラメータ同定手法の検討

*谷田部 陽生[1]、横尾 善之[2] (1. 福島大学大学院共生システム理工学研究科、2. 福島大学理工学群共生システム理工学類)

[PS-02-62] 統合型地圏流体シミュレータGETFLOWSを用いた豪雨時の地中水と間隙空気の挙動把握２

*岩上 翔[1]、小田 智基[1]、野口 正二[2] (1. 森林総合研究所、2. 森林総合研究所東北支所)

[PS-02-63] 基岩の異なる山地流域における谷密度と低水流出特性の関係の分析

*竹島 昂輝[1]、普神 素良[1]、立川 康人[1] (1. 京都大学 大学院工学研究科)

[PS-02-64] 雨水管整備下の市街地小流域における分布型流出モデルのパラメータ最適化手法の検討

*宮本 享真[1]、庄 建治朗[1] (1. 名古屋工業大学 大学院 工学研究科)

[PS-02-65] 標高帯間の地下水流動による土壌水分欠損量の時空間分布形成が流出に与える影響

*小椋 崇弘[1]、陸 旻皎[2] (1. 東京大学大学院 農学生命科学研究科 附属演習林、2. 長岡技術科学大学)

[PS-02-66] A preliminary study to understand the process-based SUMMA hydrological model and explore its applicability to basins in Japan

*Kazumasa Fujimura[1], Frank Han[2], Wouter J. M. Knoben[2], Ashley E. Van Beusekom[2], Martyn P. Clark[2] (1. Department of Architecture, Meisei University, 2. Department of Civil Engineering, University of Calgary)

© 2026 水文・水資源学会/日本水文科学会

Evaluating the Role of Buffer-Zone Analysis and Localized LULC Transitions in Differentiating Landslide and Non-Landslide Catchments in Java, Indonesia

University of Yamanashi Corry Aina
University of Yamanashi Jun MAGOME
University of Yamanashi Hiroshi ISHIDAIRA
University of Yamanashi Kazuyoshi SOUMA

1. Introduction

Floods, extreme weather, and landslides are the three most frequently occurring hazards, particularly on Java Island, Indonesia. Although the frequency of landslide events has relatively declined compared to other hazards, the affected population and associated loss ratio have increased sharply, reaching an approximate fourfold year-on-year rise[1]. Beyond geological and geomorphological factors, landslides are also strongly influenced by anthropogenic drivers, particularly land use and land cover (LULC) change and spatial planning practices.

Land transformation within river buffer zones represents a critical yet often overlooked factor. Rapid and frequently unregulated development can intensify surface runoff, reduce infiltration capacity, and destabilize slope materials. Previous studies focusing on landslides in riverbank areas have also identified building loads from settlements surrounding river corridors as an important trigger[2], which is consistent with the landslide characteristics examined in this study. However, most studies treat LULC as a static, coarse-scale factor, overlooking localized transitions in hydrologically sensitive zones. This limits insight into how finer-scale anthropogenic changes influence landslide occurrence. Therefore, analyzing LULC transitions within river buffer zones alongside localized observations around landslide points is essential to capture the spatial dynamics linking land transformation and slope instability.

2. Method

The analysis was conducted at the catchment scale across Java Island using landslide data from 2016 to 2024. Landslide coordinates were obtained from the National Disaster Management Authority (BNPB) database and preprocessed in ArcGIS Pro to ensure spatial consistency. Out of 190 catchments with recorded landslides, 28 were selected for detailed analysis due to their moderate to very high impact levels. These levels were determined using a relative impact index, defined as the number of landslide events normalized by the exposed population, enabling comparison across catchments with varying population densities. For comparison, catchments with no recorded landslide events during the same period were selected as control samples and analyzed using the same framework to identify differences in LULC transition characteristics between landslide-affected and relatively stable environments. The LULC data used were derived from a global dataset[3], which was reclassified, validated, and evaluated across four time steps from 1990 to 2020 to capture long-term land-use transition patterns.

2.1 Riparian Buffer Analysis: Riparian buffer analysis was conducted to assess LULC transitions within river-adjacent zones. In Indonesia, designated river buffer widths vary from 15 m to 100 m depending on river characteristics and regulatory context. However, due to spatial resolution constraints of the LULC dataset, the analysis was limited to buffer distances of 50 m and 100 m, which provide a more reliable representation at the available scale.

2.2 Local Neighborhood Analysis: This analysis examines LULC transitions within the surrounding grid neighborhood centered on each recorded landslide location to capture localized spatial context. The approach is designed to identify whether landslides are associated with intensified land-use disturbances, particularly transitions involving vegetation loss and conversion to more exposed or anthropogenically modified land classes. By focusing on landslide neighborhood-scale patterns, this method enables the detection of localized LULC dynamics that may contribute to slope instability but are not captured in broader-scale analyses.

3. Results and Discussions

There is a clear contrast between landslide and non-landslide catchments (Fig. 1). Landslide catchments show a marked increase in built-up areas (up to 1 km²) and a decline in vegetation (up to 3 km²) within both 50m and 100m buffer zones, indicating intensive riverbank development. In contrast, non-landslide catchments remain relatively stable, with dominant vegetation and minimal built-up expansion. The largest built-up increase

occurred in the Abab Catchment, reaching 10.5 km² over 30 years. Similar trends are observed at the local scale (Fig. 2), where landslide points are commonly surrounded by built-up expansion and vegetation loss, indicating increased land disturbance both along riverbanks and within the immediate landslide surroundings. Although some locations remain stable with persistent vegetation cover, the overall trend indicates that landslides tend to occur in areas experiencing localized land-use transitions toward more exposed or anthropogenically modified surfaces.

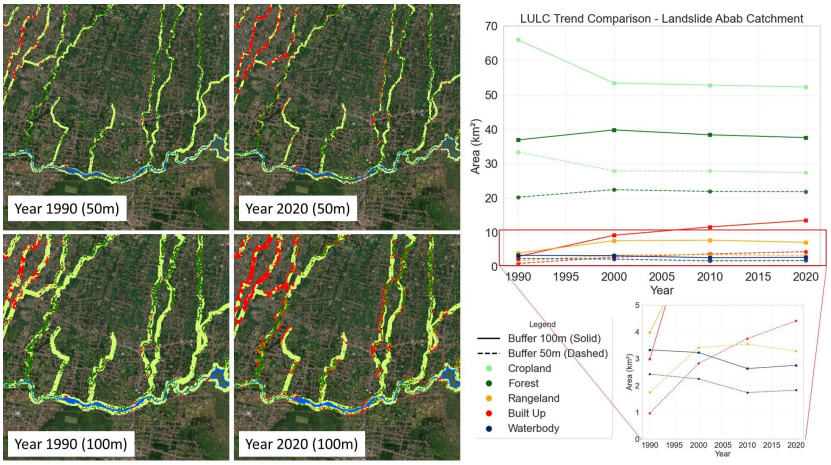


Fig. 1 River buffer analysis in Abab Catchment

4. Conclusion

The results demonstrate a consistent association between landslide occurrence and intensified LULC transitions, particularly the expansion of built-up areas and the reduction of vegetation cover. This pattern is observed at both buffer and local neighborhood scales, with landslide catchments showing substantially higher levels of land disturbance compared to relatively stable, vegetation-dominated environments.

The alignment of these patterns across scales highlights the importance of localized land-use dynamics—especially surrounding riverbank zones—in shaping landslide-prone conditions. While causality is not explicitly established, the results suggest that areas undergoing rapid anthropogenic transformation can serve as spatial indicators of elevated landslide susceptibility. This emphasizes the need for stricter land-use control and monitoring within hydrologically sensitive zones to reduce future landslide risk.

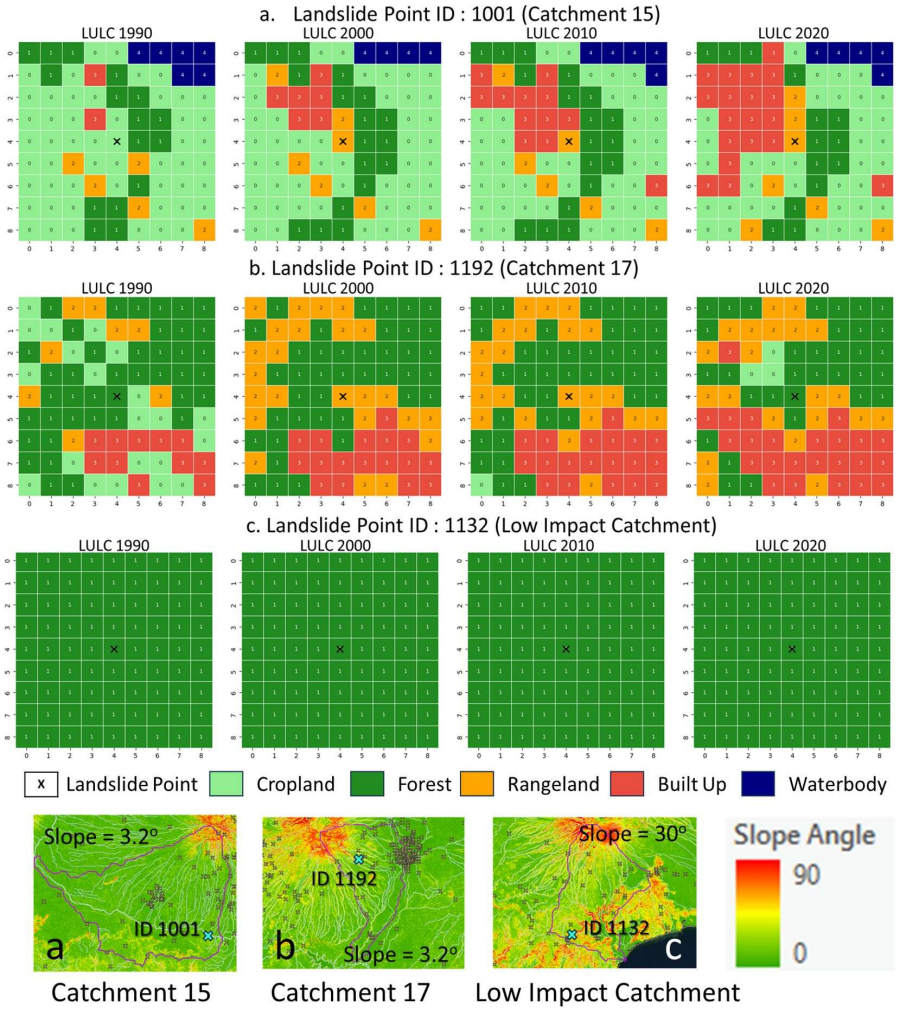


Fig. 2 Landslide-Centered Local Neighborhood Analysis of LULC Transitions

References

1) BNPB Data and Communication Center. (2023). Compilation of disaster events and impacts in Indonesia. DIBI BNPB. https://dibi.bnpb.go.id/.

2) Salve Prastica, R. M., Apriatresnayanto, R., & Marthanty, D. R. (2019). Structural and Green Infrastructure Mitigation Alternatives Prevent Ciliwung River from Water-related Landslide. International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology, 9(6), 1825–1832. https://doi.org/10.18517/ijaseit.9.6.8413.

3) Liangyun Liu, Xiao Zhang, & Tingting Zhao. (2023). GLC_FCS30D: the first global 30-m land-cover dynamic monitoring product with fine classification system from 1985 to 2022 [Data set]. Zenodo. https://doi.org/10.5281/zenodo.8239305.

Keywords: Sociohydrology, Landslide, Land use land cover, Riverbank Buffer, Anthropogenic

Improving CaMa-Flood Inundation Estimates using One-Coin Sensor Data in Ogaki City

Gaia Vision Inc. Muhammad Hasnain Aslam
Gaia Vision Inc. Yuki Kita

1. Introduction

CaMa-Flood provides a computationally efficient framework for river and floodplain simulation and is suitable for near-real-time flood applications. However, its native river network and unit-catchment scale are much coarser than the local drainage channels, streets, and lowland features that control observed urban inundation depth. Even when regional flood timing is reasonably simulated, local inundation outputs may be biased in peak depth, timing, and duration. This study investigates how locally observed water-depth data from One-Coin Flood Sensors in Ogaki City, Gifu Prefecture, can be used to assess and improve CaMa-Flood-based inundation estimates.

The current baseline analysis concentrates on two sensor locations, Hachiman Shrine and Unga Canal, with the intention of expanding to the wider Ogaki sensor network. CaMa-Flood serves as the principal modelling tool, and simulated flood volumes are downscaled to a 1-arcsecond resolution for comparison with sensor-recorded water depths. The objective is to establish a practical workflow in which local sensor data support point-scale assessment, detect biases, refine parameters, and enhance future post-processing corrections to CaMa-Flood inundation outputs.

2. Data and Method

The experiment used hourly TE-Japan 1-arcmin runoff forcing over a regional domain of 136.30–137.90 deg E and 34.98–36.15 deg N. CaMa-Flood was run in a natural, no-dam configuration using the Japan CaMa-Map based on MERIT Hydro and J-FlwDir, with hourly model output. Simulations covered 2023–2024, with August–September 2024 analysed in detail because this period includes the main sensor responses.

Observed water-depth data were obtained from the One-Coin sensor network for two baseline sites, Hachiman Shrine and Unga Canal. MLIT hourly river-flow data at Mankoku and Okajima on the Ibi River were used as supporting hydrological information. Since sensor-observed water depth is strongly affected by local elevation and microtopography, CaMa-Flood-simulated flood volumes were converted to point-scale inundation depths using a storage–water-surface relationship (Fig. 1) derived from high-resolution unit-catchment topography maps. This flood-volume-based downscaling approach allows different local depths to be estimated at the two sensor sites and enables comparison of depth magnitude, timing, peak bias, and implications for sensor-informed post-processing of CaMa-Flood outputs.

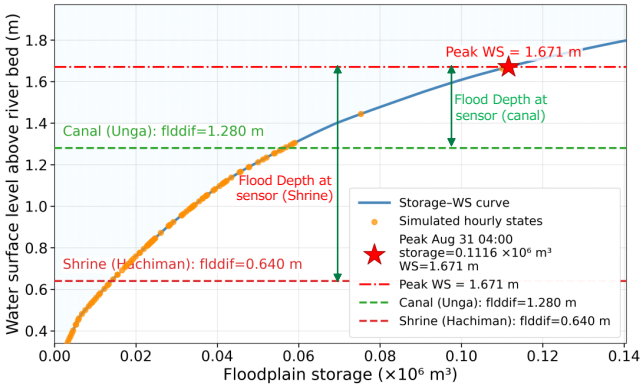


Fig. 1. Storage–water-surface relationship used to convert simulated flood volumes into local inundation depth at the two One-Coin sensor locations.

3. Results and Discussion

The local sensor response can be meaningfully interpreted after converting the CaMa-Flood modelled floodplain storage into point-scale inundation depth. The storage–water-surface relationship indicates that different sensor elevations within the same unit catchment can produce different local flood depths for the same simulated water-surface state. This explains why the canal and shrine sensors show different depth responses and confirms that local elevation information is essential when using CaMa-Flood outputs for site-scale assessment. The downscaled CaMa-Flood inundation map provides spatial context for interpreting the two One-Coin sensor sites within the local floodplain setting of Ogaki City (Fig. 2). The two sensors are connected to different local drainage pathways, indicating that local elevation and flow-path structure can

influence the depth response at each site. Since independent observed inundation-extent data are not yet available for this event, the inundation map is used here as a diagnostic model-output figure rather than for spatial validation.

CaMa-Flood captured the main flood-response period during late August to early September 2024, but the observed peaks were generally sharper than the simulated response, and several local peaks appeared earlier or later than the modelled peaks. This time lag likely reflects the influence of local drainage connectivity, small-scale topographic controls, and forcing uncertainty. The monthly peak-depth comparison further showed that downscaled CaMa-Flood underestimated observed maxima at both sensor sites (Fig. 3). These findings indicate that the current CaMa-Flood framework provides a useful basis for local inundation assessment after downscaling, but further improvement is needed through sensor-informed bias diagnosis and post-processing correction.

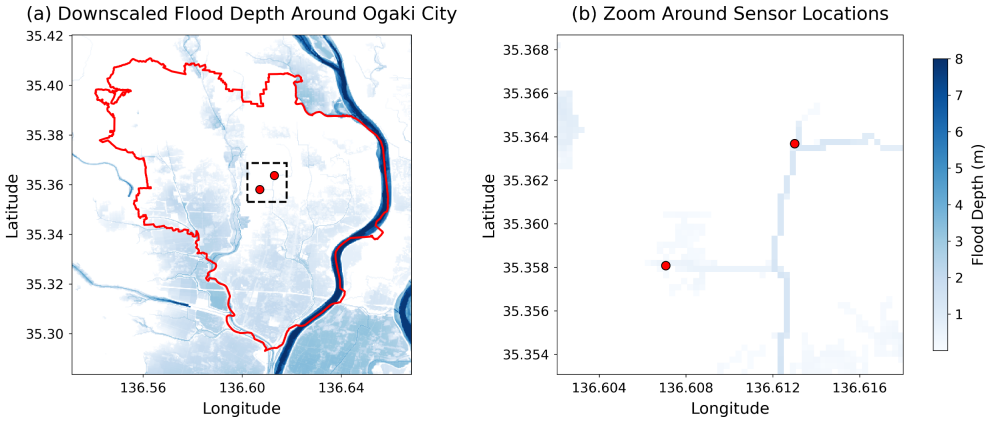


Fig. 2. Downscaled CaMa-Flood inundation depth around Ogaki City (red outlines indicates City boundary)

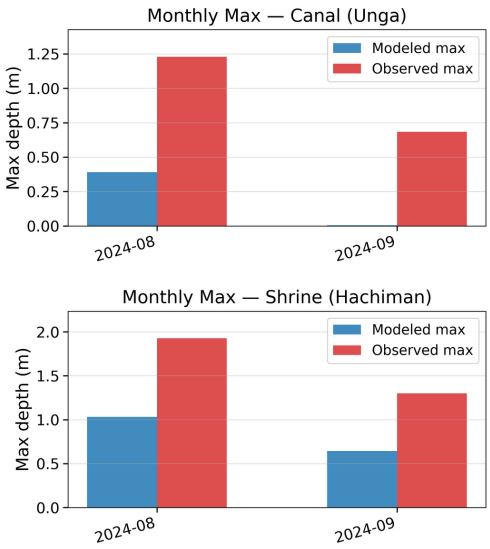


Fig. 3. Monthly peak-depth comparison at the canal and shrine sensors using downscaled results

4. Conclusion

The baseline analysis demonstrates that One-Coin sensor data can support point-scale assessment and improvement of CaMa-Flood inundation outputs. The comparison at two Ogaki sensor sites showed that downscaled CaMa-Flood captured the main flood-response period, but local peak depth and timing still require correction. In the next stage, the expanded Ogaki sensor network will be used to quantify peak-depth bias, timing error, duration error, and missed or false local responses. These diagnostics will support testing of forcing data, roughness parameters, and downscaling assumptions. Sensor-informed post-processing, including simple bias correction, event-based depth adjustment, and AI-assisted correction, will then be examined while retaining the computational advantage of the CaMa-Flood.

Acknowledgements

The authors thank Pacific Industrial Co., Ltd. for providing the One-Coin Flood Sensor data used in this baseline analysis.

References

1) Yamazaki et al., A physically based description of floodplain inundation dynamics in a global river routing model. Water Resour. Res. 47, W04501, 2011.
2) Aslam et al., Flood Volume Allocation Method for Flood Hazard Mapping Using River Model with Levee Scheme. Egusphere, 2025, DOI:10.5194/egusphere-2025-4358.
3) JAXA, Product Description Document of Today's Earth, 2024.

Keywords: CaMa-Flood, sensor water depth, inundation, downscaling

1000 メンバーアンサンブル土砂災害危険度予測 - 令和 2 年 7 月豪雨の九州地方を対象として -

気象庁気象研究所　○瀬戸　里枝
東京科学大学　鼎　信次郎
気象庁気象研究所　大泉　伝
気象庁気象研究所　太田　琢磨
気象庁気象研究所　川畑　拓矢
東京科学大学　佐々木　織江
東京大学　Le　DUC

１．はじめに

日本では近年，局地的大雨に起因する水災害が急増しているが，局地的大雨の位置や強度の正確な予測は難しく，災害発生の危険性の情報や予測の確率情報を活用することで被害軽減を図っている．その取り組みにおいては，信頼性の高い災害危険度の予測や確率情報を得るために，大アンサンブル予測の活用が期待されている．また，危険度の判断や警報の発表基準については，降水量よりも災害発生との相関が高く，災害発生ポテンシャルの表現に有効とされる土壌雨量指数や流域雨量指数が活用されている．本研究では令和 2 年 7 月豪雨を対象に，1000 メンバーアンサンブル降水予測を用いて，水災害の中でも予測の難しい土砂災害に関する指数である土壌雨量指数を計算した．これをもとに，大アンサンブルによる土壌雨量指数の予測性能を評価した．また，地域毎に設定された基準と指数とから決まる災害危険度の予測性能についても評価した．

２．土壌雨量指数と土砂災害危険度の予測性能の評価

(1)　土壌雨量指数と土砂災害危険度

土壌雨量指数は気象庁で土砂災害の危険度を表すために使われている指数であり，直列三段タンクモデルの総貯水高にあたる．土砂災害危険度は，この土壌雨量指数と 60 分積算雨量をもとに決定される．土砂災害に関する防災気象情報のうち，最も危険度の高い土砂災害危険警報は，地域ごとの過去事例の統計分析から設定されている土砂災害発生危険基準線（CL）を超えるか否かで判断される．

(2)　評価実験の設定

2020 年 3 日夜から 4 日にかけて，九州地方に発生した線状降水帯が記録的な大雨をもたらし，球磨川流域西部に位置する芦北町を中心に土砂災害が多数発生した．令和 2 年 7 月豪雨について，九州地方をカバーする図 1 の領域で 7 月 3 日 19 時からの 24 時間を対象として指数計算と予測の評価を行った．入力する降水量データには，1000 メンバーアンサンブル（1000En）予測降水量，Meso-scale Ensemble Prediction System（MEPS）の予測降水量，解析雨量の 3 種類の降水量データを用いた．

(3)　結果

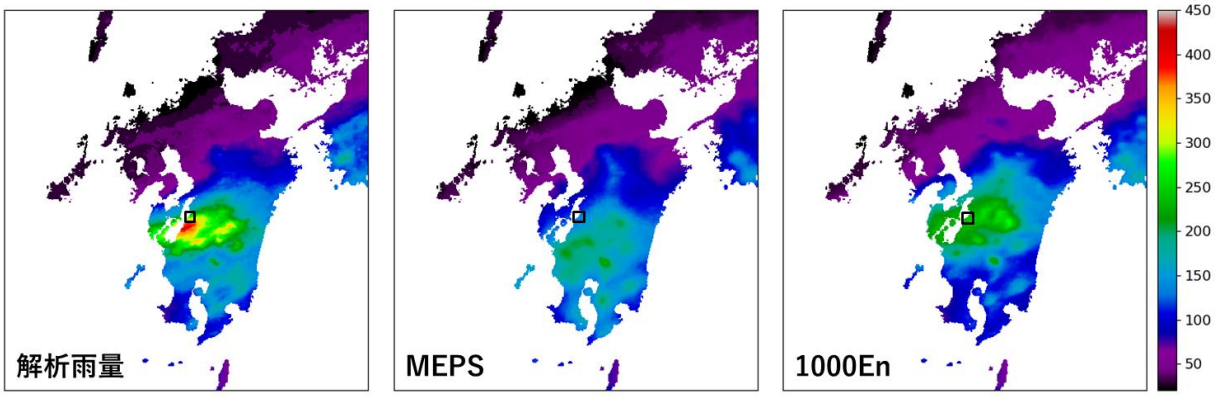


図 1　7 月 4 日 8 時の土壌雨量指数の分布（黒四角で囲った部分は芦北町付近）
（左：指数（解析雨量），中央：指数（MEPS）のアンサンブル平均，右：指数（1000En）のアンサンブル平均）

図 1 は，各雨量データ（解析雨量，MEPS，1000En）を用いて計算した土壌雨量指数の分布を示す．解析雨量による指数（指数（解析雨量）と表す）がピークとなった 7 月 4 日 8 時において，現業の 21 メンバーアンサンブル予測を用いた指数（MEPS）の平均値は，九州南部の広い範囲で 150～200 程度の値に留まり，過小評価となっていた．指数（1000En）の平均値は，熊本県中部付近で 300 程の値と，MEPS の場合と比較すると実際に近い値であり，領域もおおむね合っている．これより，土壌雨量指数の分布の精度については指数（1000En）の方が良好であった．しかし，指数の大きかった地点を細かく見ると，実際より北東にずれており，土砂災害の危険性の予測という観点からは位置ずれが大きかった．

図 2 は，左から芦北町湯浦，宇城市三角町，人吉市矢黒町での土壌雨量指数の時間変化を示した図である．芦北町での土壌雨量指数の時間変化（左図）からは，大部分のアンサンブルメンバーで指数（解析雨量）の値を下回っている．指数（解析雨量）のピーク時には，指数（1000En）の上位 10%平均値よりも指数（解析雨量）が約 15%ほど大きかった．一方で土砂災害の報告のなかった宇城市における土壌雨量指数の時間変化（図 2 中央）からは，ほとんどのメンバーの指数（1000En）が指数（解析雨量）を大きく上回っており，空振りとなっていた．災害対応の観点からは，空振りを低減しつつも，発生確率が低くても大きな被害をもたらす降雨シナリオを見逃さないことが重要であり，降水予測や基準値設定の不確実性を考慮して，大アンサンブル予測や CL 基準を用いる場合の運用の工夫の検討が必要である．

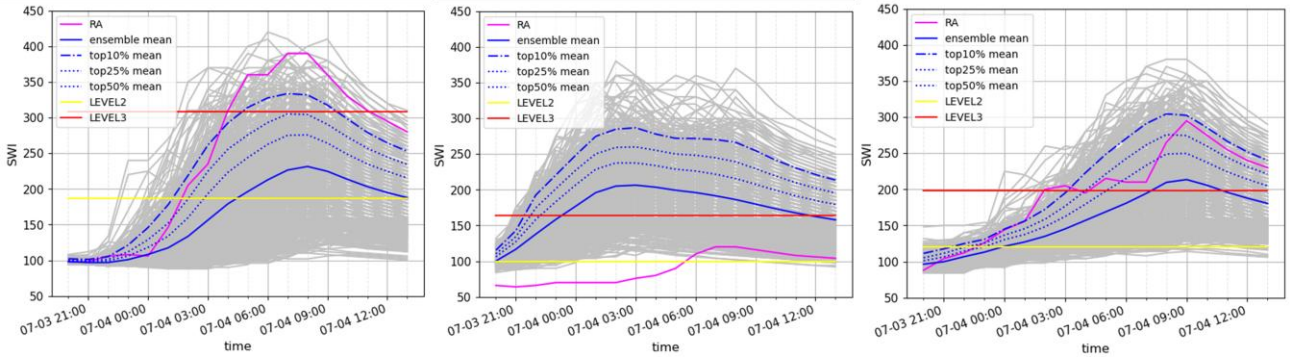


図 2　土壌雨量指数の時系列（上段）（左：芦北町湯浦，中央：宇城市三角町，右：人吉市矢黒町）

４．まとめ

1000 アンサンブル土砂災害危険度予測によって，現業の 21 メンバーメソアンサンブル予報では捉えられなかった土砂災害の危険性を予測できた．しかし 1000 アンサンブルのうち，実際に近い高い指数を予測したメンバーは少なく，災害発生の確率は低く予測された．また，平均化によって危険性の情報が損なわれること，指数は適切だが危険度が適切に予測できなかった地点があったことなどから，上位メンバーの活用などの危険度の判定方法の工夫や，社会的許容リスクや予測システムの特性を踏まえた CL 基準の補正手法の検討が今後の課題である．

【謝辞】

本研究は JAXA 第 4 回地球観測研究公募（ER4AMN203），科研費（JP20K14834，JP21H05002，JP22K20455，JP25H00760）の支援を受けて実施されました．ここに記して感謝の意を表します．

【参考文献】

1)　中山真吾，瀬戸里枝ほか：令和 2 年 7 月豪雨の九州地方を対象とした 1000 メンバーアンサンブル土砂災害危険度予測，土木学会論文集特集号(水工学), Vol.82, No.16, 2026
2)　中山真吾，瀬戸里枝ほか：令和 2 年 7 月豪雨の九州地方を対象とした 200 メンバーアンサンブル土砂災害危険度予測，土木学会論文集特集号（水工学），Vol.81, No.1, 2025.

キーワード：1000 member ensemble forecast, landslide risk prediction, soil water index

筑後川下流域における
伝統的水管理「モタセ」による水害抑制機能の評価

新潟大学大学院自然科学研究科　○金子貴信
新潟大学農学部　吉川夏樹
近畿大学農学部　木村匡臣
神戸大学大学院農学研究科　長野宇規

1. はじめに

近年の気候変動により，各地で水害を引き起こす大規模な豪雨が発生している．このため，従来の大型インフラ施設を中心とした一元的な水管理に基づく治水対策のみでは，十分な対応が困難になりつつある．こうした背景のもと，治水対策の新たな方向性として流域治水が提唱されている．流域治水における「氾濫をできるだけ防ぐための対策」の一つとして，既存施設の活用およびその効果の適切な評価の重要性が指摘されている．

人口および経済活動が集中する低平地では，水路網に設置された水利施設によって用排水を管理する分散型の水管理形態が形成されてきた．福岡県柳川市では，橋梁下部の水路断面縮小による流下抑制や，多数の水門・堰の操作によって，治水と利水を両立させる仕組みが構築されている．この仕組みは，水を保つという意味から「モタセ」と呼ばれ，現在まで継承されている．モタセに代表される分散型水管理は，流域治水における既存施設の活用の実例と位置づけられる．一方で，その水害抑制機能は，施設操作や水路構造など多様な要素が複合的に関与するため，流域スケールでの定量的な評価は十分に行われていない．

そこで本研究では，柳川市の一部流域を対象として，モタセがもつ水管理上の特性を表現可能なモデルを構築し，モタセが有する水害抑制機能を流域スケールで定量的に評価することを目的とした．なお，本研究では，流域内に張り巡らされた水路網を総じて堀割と呼ぶこととする．

2. 対象地

本研究の対象地は，福岡県の南部に位置し，有明海に面する柳川市の一部である．本地域は感潮河川に挟まれ，最大で 6 m の干満差の影響を受ける．流域面積は 1,747 ha であり，流域内には堀割が網状に張り巡らされており，141 箇所の水門と河川沿いに設置された 21 箇所の樋門によって水管理が行われている．平時は有明海の干満差を利用した自然排水が基本であるが，自然排水が不可能な条件下では，4 箇所の農業用排水機場により流域外への強制排水が行われている（**図-1**）．これらの施設の運用は，主として管理者の経験に基づいている．さらに，2012 年の九州北部豪雨以降，豪雨が予想される際に堀割の水位を事前に低下させ，雨水の貯留容量を確保する先行排水が実施されている．

3. モデルを用いた水害抑制機能の評価

3.1 堀割モデルの構築

対象とする堀割は，流域内に高密度に存在し，多数の水利施設によって細く分割されているため水面形は不連続となる．このため，既存の数値シミュレーションモデルは，計算負荷の増大や再現性の確保の観点から適用が困難であった．そこで，既存の内水氾濫解析モデルを基盤とし，堀割内における水の移動過程を表現する「堀割サブモデル」を新たに構築した．本サブモデルでは，水利施設により分割された堀割を 1 つの貯水域として扱い，水収支に基づく計算を行うことで，計算負荷を軽減しつつ，複雑な堀割における水の挙動を表現することを可能にした．また，本モ

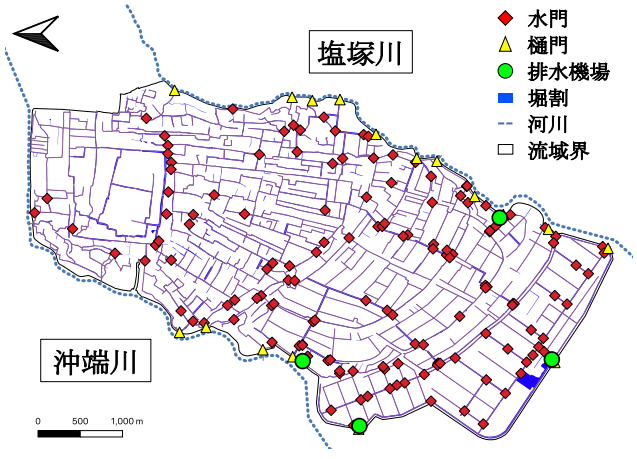


図-1：対象流域と各水利施設

デルを対象地に適用した結果，観測結果と整合的な水位変動を再現できることが確認された．本研究では，本モデルを用いて，モタセおよび先行排水による水害抑制機能を定量的に評価した．

3.2　検証方法

モタセの水害抑制機能の評価には，比較対象としてモタセを考慮しない条件を表現するモデルが必要である．そこで，モタセの特徴である橋梁部における水路断面の縮小や水門操作による流況制御をすべて除外し，水面勾配によって駆動される流れを一次元不定流モデルによって表現する既存の内水氾濫解析モデル（以下，モタセなしモデル）を構築した．

本検証では，降雨条件を降雨継続時間 24 時間とし，100 年確率降雨 325 mm，（最大時間雨量 70 mm/h）を採用した．降雨波形については，降雨ピーク時刻が降雨開始から 1〜24 時間の 1 時間刻みに変化する，24 種類のハイエトグラフを設定した．また，評価指標として，土地利用区分に基づく浸水の閾値（水田：30 cm，非水田：5 cm）を超える浸水深に浸水面積を乗じて算出した浸水量に加え，流域外への排水に着目した．

4.　結果

4.1　モタセの水害抑制機能の評価

検証の結果，モタセによる浸水量軽減率は平均 50%であった．浸水量軽減率が最大となった降雨イベントについて，浸水量ピーク時の水路内貯留量を比較したところ，モタセありの場合の貯留量は，モタセなしの場合の約 1.2 倍であった（**図-2**）．また，流域外への総排水量に占める排水経路の割合を比較すると，モタセなしの場合には，モタセありの場合と比べて排水機場からの排水量を抑制し，樋門からの排水割合を高めることが確認された．以上より，モタセは水路内の貯留能力を向上させるとともに，河川沿いに設置された樋門が有効に機能することで，下流域における浸水量を軽減する効果をもつことが示唆された．

4.2　先行排水による水害抑制機能の評価

モタセありモデルを用いた検証の結果，先行排水実施によって，浸水量軽減率は平均約 67%であった．この効果は，先行排水による空き容量の創出によるものであり，浸水軽減率が最も高かった降雨イベントに着目すると，約 90 mm の降雨量に相当する空き容量が確保されていた（**図-3**）．また，先行排水実施の場合，排水機場の運用コストは，先行排水非実施時から約 40%削減された．以上より，先行排水による空き容量の確保は，下流域における浸水量を抑制できるとともに，排水機場の運用コストを低減することが明らかとなった．

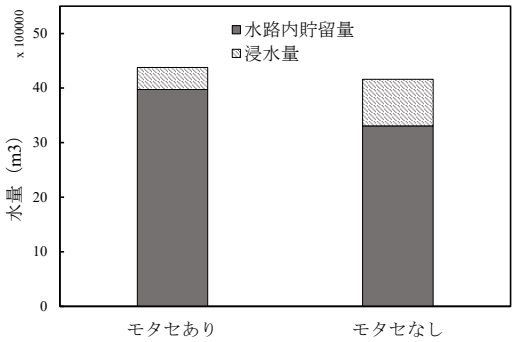


図-2：水路内貯留量と浸水量（モタセ）

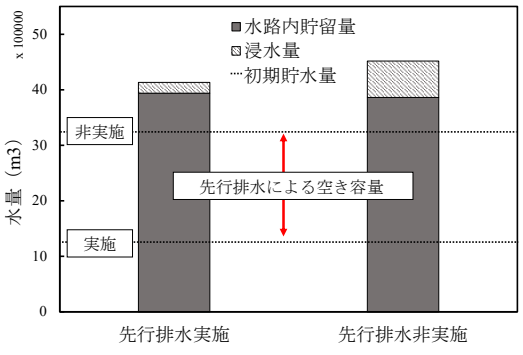


図-3：水路内貯留量と浸水量（先行排水）

5.　おわりに

本研究では，福岡県柳川市で継承されるモタセの水害抑制機能を評価可能な数値モデルを構築し，その機能を流域スケールで定量評価した．その結果，モタセは水路内の貯留能力を高め，下流域への急激な流出を抑制する効果をもつことが示された．さらに，先行排水と組み合わせることにより，相乗的にモタセの水害抑制機能を高めることが示唆された．

現在，モタセは管理者の経験に基づき運用されているが，近年の気候変動に伴う降雨特性の変化に対して，経験則のみでの運用は困難となる可能性がある．さらに，管理者の高齢化により水管理技術の継承が課題となっている．こうした背景のもと，モタセの機能をモデル化し，類似した流域への適用可能性を検討することは，低平地における持続的かつ合理的な水管理の実現に資するものと考える．

キーワード：Motase, Pluvial flooding, Numerical simulation

MEPS を用いた洪水のタイムラグアンサンブル手法の開発

気象研究所 気象予報研究部　○大泉　伝
埼玉大学 理工学研究科　　小林　健一郎
気象研究所 気象観測研究部　川畑　拓矢
気象研究所 応用気象研究部　太田　琢磨

１．はじめに

近年の大型計算機の発展により，現業気象モデルを用いた 1000 メンバー規模の大アンサンブル気象予報に関する研究が行われ，この結果を利用した洪水予測[1] や土砂災害予測[2] の研究も進展している．一方で，大アンサンブル気象予報の現業化には依然として課題が多く，現業の気象予報を活用して洪水予報を高度化する取り組みも重要である．また，現場の予報官からは「予報官が作成したメインシナリオの補足情報として利用できるように、アンサンブル予報を複数シナリオとして提示するのではなく， 1 つのサブシナリオに集約し，活用できるようにしてほしい.」という要望が寄せられている．そこで本研究では，気象庁が配信するメソアンサンブル予報システム（MEPS : 21 メンバー）を用い，これらの課題に対応できないか検討した．

Oizumi et al. [3]は，1000 メンバー・100 メンバー・MEPS の降水予測と流域雨量指数を用いて洪水リスクの確率予報を行い，36 河川を対象にメンバー数と予報精度の関係を調査した．その結果，洪水発生リスクの予測では 1000 メンバーと 100 メンバーに有意差はないものの，洪水ピークの予測には 1000 メンバーが必要であることが示された．一方、MEPS を用いた場合は十分な予報精度が得られなかった。その要因として，メンバー数の少なさに加え，解像度 5 km では、豪雨の位置・量を正確に予測することが困難である点が挙げられる．このような問題を解決する手段の 1 つとしてメンバー数を増やすことが挙げられる。

そこで、本研究では，初期時刻の異なる MEPS を組み合わせることでメンバー数を実質的に増加させ，予測精度の向上を図るタイムラグアンサンブル手法を提案する．複数の初期時刻の予測結果を整理して，1 つのシナリオとして集約するとともに, 確率的評価を行う. ここでは, 中小河川を対象とした事例解析を示す.

２．実験設定

対象は, 令和 5 年 9 月 8 日に台風 13 号により洪水が発生した日立市の数沢川である. 同市では 18 時に 78.5 mm, 19 時に 80 mm の降水を観測し，数沢川と支流の平沢川の合流地点で氾濫が発生し，日立市役所周辺が 18〜20 時頃に浸水した．流域面積は 6.67 km²と，MEPS（解像度 5 km）の 1 グリッドよりも小さい.

洪水予測モデルには流域雨量指数[4] を用いた．スピンアップ期間は 1 カ月間とし解析雨量を使用した．MEPS の初期時刻は，9 月 7 日 9 時・15 時・21 時および 9 月 8 日 3 時（JST）の 4 ケースとした.

３．結果

表 1 に，初期時刻の異なる MEPS を用いた計算結果を示す．解析雨量を用いた実験では 18〜20 時に既往最大値を超過した．MEPS の 9 月 7 日 9 時・15 時を初期時刻とする実験では，既往最大値を超過したメンバーは 1〜3 にとどまったが, 9 月 7 日 21 時および 9 月 8 日 3 時を初期時刻とする実験では 4〜5 メンバーに増加し，危険度の高まりが示された.

次に，タイムラグアンサンブルによる確率予測を行った．4 つの初期時刻における既往最大値超過メンバー数を合算し，全 84 メンバーで割った超過確率（10%刻みで四捨五入）を算出した．その結果，16〜21 時の超過確率は 10〜20%となり，特に 18・19 時に相対的にリスクが高まることが示された.

図 1 は，既往最大値（黒）に加え，30 年値（オレンジ）および 50 年値（赤）の超過確率を示す．解析雨量（青）では 18 時に 30 年値・50 年値・既往最大値を超過し，19 時にピークを示した．MEPS による超過確率も，

表 1　MEPS の初期時刻別にみた既往最大値超過メンバー数と超過確率（%）.セルの色は超過メンバー数を 5 メンバー単位で示す.

	MEPS初期時刻（JST）	9/8 12:00	9/8 13:00	9/8 14:00	9/8 15:00	9/8 16:00	9/8 17:00	9/8 18:00	9/8 19:00	9/8 20:00	9/8 21:00
MEPS （既往最大の超過メンバー数）	2023/9/7 9:00	0	0	1	1	1	2	2	3	1	1
	2023/9/7 15:00	2	2	2	1	2	3	2	1	1	1
	2023/9/7 21:00	0	0	0	1	2	2	4	4	5	6
	2023/9/8 3:00	0	0	0	0	0	3	5	4	4	4
既往最大値の超過確率（%）	超過メンバー数/80	0%	0%	0%	0%	10%	10%	20%	20%	10%	20%

30 年値・50 年値では 17 時以降に 20%，既往最大値では 18 時に 20%となり実際の超過タイミングを捉えていた. これらの結果から, 9 月 8 日 16 時以降に警戒を強める必要があり，18 時頃に最もリスクが高まる可能性があるというサブシナリオが得られた.

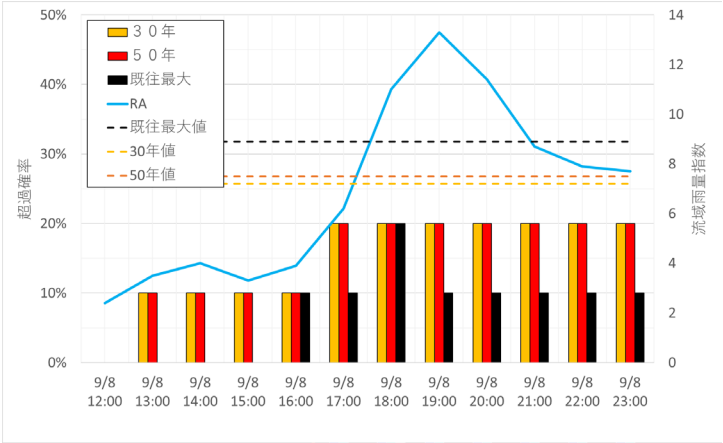


図 1　解析雨量に基づく流域雨量指数（青線）と，MEPS による既往最大値・30 年値・50 年値の超過確率（黒，オレンジ，赤の棒グラフ）.

4. まとめ

初期時刻の異なる MEPS を組み合わせたタイムラグアンサンブルにより，洪水危険度が高まる時間帯を早期に把握できる可能性が示された．今後の課題として、100 メンバーのアンサンブル予報と、本手法の比較を行い、有効性を検証する。また洪水リスクの確率は 10～20%と必ずしも高いとは言えず，検証事例を蓄積し，MEPS を用いた洪水予測の特性を明らかにする。豪雨の予測精度向上が期待される解像度 2km の局地アンサンブル予報システムによる予報との比較を行い，気象モデルの解像度の違いが、洪水の予測精度に与える影響について調査を行う.

【謝辞】

本研究は科研費（25K08248）の支援を受けて実施されました．ここに記して感謝の意を表します.

参考文献

1) Kobayashi, K., et al., 2020: Ensemble flood simulation for a small dam catchment in Japan using nonhydrostatic model rainfalls. Part 2: Flood forecasting using 1600-member 4D-EnVar-predicted rainfalls. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 20, 755–770.

2) 中山真吾, 瀬戸里枝ほか : 令和 2 年 7 月豪雨の九州地方を対象とした 1000 メンバーアンサンブル土砂災害危険度予測，土木学会論文集特集号(水工学), Vol.82, No.16, 2026

3) Oizumi T., et al. 2025: Advanced Impact-Based Forecast for a Severe Flood Event Using a 1000-Member Ensemble Weather Prediction at Convective-Scale, *JMSJ*, 103, pp. 649-673.

4) 気象庁 大気海洋部気象リスク対策課：雨による災害危険度を表す指数と警報の危険度分布，測候時報，第 90 巻：8, 2023.

キーワード：Ensemble Flood Forecasting; Time-Lagged Ensemble; Mesoscale Ensemble Prediction System (MEPS)

堤防を考慮した全球河川氾濫モデルによるデータ不足地域の洪水リスク推計の評価

芝浦工業大学大学院　理工学研究科　○西井大晟
芝浦工業大学　工学部土木工学課程　平林由希子
東京大学　生産技術研究所　山崎大
東京科学大学　Zhao Gang

１．はじめに

気候変動に伴う極端な大雨の増加により，河川洪水リスクの増加が懸念されている．特にアフリカ大陸では，急激な人口増加と経済発展を背景に，氾濫原に分布する人口や資産の曝露（Exposure）が急速に拡大しており，洪水リスクの増加に対応するための適応策を早急に検討する必要がある．しかし，堤防の位置や高さに関する情報を入手できる地域は限られているため，広域を対象とした洪水リスク評価において，河川堤防の効果を陽に考慮することは困難であった．こうした制約から，Tanoue et al. (2021)[1] などの既往研究では，堤防の効果を設定された確率規模以下の被害額を一律にゼロと評価してきた．しかし，このような手法では，堤防による河道内の水位上昇や背水効果といった物理的な水理現象を十分に表現できないため，堤防による治水効果を過大に評価する可能性がある．

近年，Zhao et al. (2025) [2]は，全球河川氾濫モデル CaMa-Flood (Yamazaki et al., 2011[3]) に河川堤防を導入した堤防モジュールを開発した．同研究では，GDP や人口密度などのオープンデータを用いて堤防パラメータを全球的に推定する手法が提案されており，データが比較的豊富な地域において，その有効性が確認されている．一方，発展途上国をはじめとする堤防データが限られた地域では同手法の検証は十分に行われておらず，堤防データが限られた地域における堤防モジュールを用いた洪水リスク評価の有効性については，さらなる調査分析が必要である．

そこで本研究ではナイル川流域を対象とし，データ不足地域における堤防を考慮した全球河川氾濫モデルの妥当性を検証するとともに，堤防が洪水リスク推計に及ぼす影響を明らかにすることを目的とする．

２．使用モデル及びデータ

本研究では，全球河川氾濫モデル CaMa-Flood v4.30 を用いた．物理的な堤防効果を表現するため，Zhao et al. (2025)の手法により推定された「集水域に対する堤外地の割合」および「堤防高」の全球データを，CaMa-Flood の堤防モジュールに導入した．計算期間は過去 41 年間（1979～2019 年）とし，再解析 GRADES の流出量データを入力として，6 分角解像度で日河川水位および浸水深を算定した．得られた各年の最大貯水量に対して，L-モーメント法を用いてガンベル分布に適合させ，再現期間 2～1000 年の各確率規模に対応する貯水量を算定した．その後，高解像度地形データ(MERIT Hydro)に基づき，浸水深を 30 秒角（約 1km）へとダウンスケールした．

モデルの検証には，人工衛星高度計データベース（DAHITI） から取得した河川水位を用いた．対象地点は，計算期間（1979–2019 年）に少なくとも 3 年以上の観測データが存在する地点とし，合計 114 地点を選定した．各地点において，観測値およびモデル計算値のそれぞれから期間平均を差し引くことで偏差を算出し，年最大水位偏差を抽出した．この観測値とモデル値の差に基づき，年最大水位の平均絶対誤差（MAE）を評価指標として用いた．

経済損失額の算出には，2020 年基準のセクター別 GDP データ（SectGDP30 v2, Shoji et al., 2025）と，浸水被害関数（EC-JRC, 2017）を用いた．農業・商業・工業の 3 セクターを対象に，各確率規模の被害額にその生起確率を乗じて積算することで，期待年間被害額（Expected Annual Damage: EAD）を算定した．

また，約 90m（3 秒角）の高解像度河道距離データ，土地利用図，および推定された堤防距離データを用いて，評価エリアを「河道内」「堤外地」「堤内地」の 3 クラスに分けて分析した．堤防による被害軽減率は，堤内地 EAD について，堤防なし条件に対する堤防考慮条件の変化率として定義した．一方，被害減少額は，河道内 EAD を除いた対象エリア（堤外地と堤内地）における，堤防なし条件と堤防考慮条件の EAD の差分として算出した．なお，各年の被害額を時系列で比較する際は，2020 年固定の GDP による過大推計を補正するため，世界銀行の GDP 推移データを用いて，各年の推計被害額を当時の経済規模に補正した．

3．結果

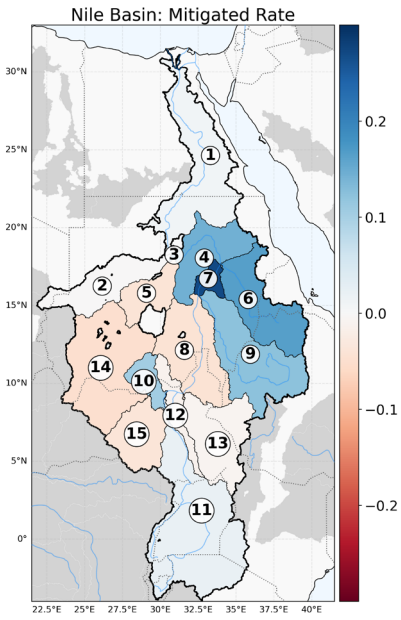


図 1：堤内地の被害減少率

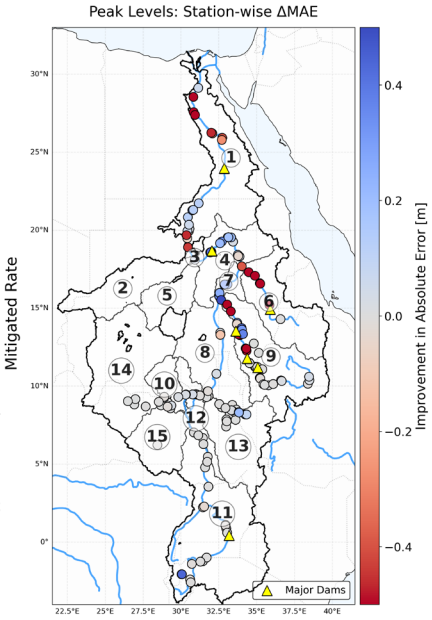


図 2：堤防考慮による年最大水位 MAE の変化

表 1：セクター別経済被害まとめ

単位:Million USD

Sector	堤防無	堤防考慮ー堤防無	低減率(%)
農業	3,904	194	5.0
商業	19,636	283	1.4
重工業	3,496	-102	-2.9
合計	27,037	375	1.4

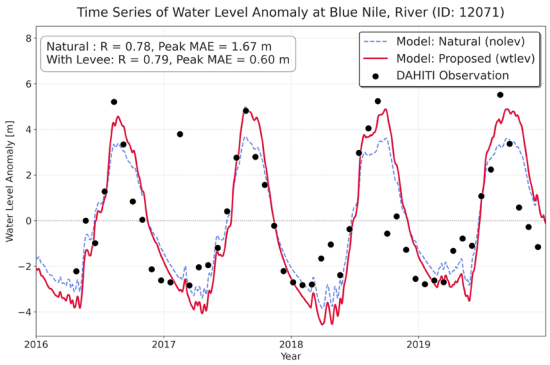


図 3：衛星データとの比較（河川水位偏差）

河川水位の衛星観測との比較の結果，堤防を考慮することで年最大水位偏差の MAE が 0.1m 以上改善した地点は 114 地点中 20 地点であり（図 2），青ナイル川下流域（ID:9）では絶対誤差が 1.07m 改善した（図 3）．一方，24 地点では誤差が悪化し，そのうち 17 地点は主要ダムから流路延長下流 500 km 以内に位置していた（ID:1,3,6）．これらの地点では堤防導入前からピーク水位を過大評価しており，導入後はピーク水位が平均 0.86m 上昇することでさらに過大バイアスが増幅された．これはモデルにおいてダム操作を未考慮であるため，流量変動や堤防高が過大評価されているためと考えられる．また，南スーダン周辺（ID:12）などの堤防整備が進んでいない地域では，モデルに導入した堤防の効果が小さいため，堤防を考慮することによる MAE の改善効果が限定的であった．

堤防を考慮したことによるナイル川流域全体の年間被害額は 1.4%減の 375 百万 USD であり，先進国における既往研究の削減率より大幅に低かった．この原因の一つに，ナイル川流域では堤外地および河川近傍にも工場や農地などが存在するため，堤防を考慮することで河川水位が上昇し，堤外地および堤防超過時の河川近傍での被害が増加したことが考えられる．たとえば，ある程度の規模の堤防が存在する青ナイル川（ID:9）や中流域の堤内地では，堤防を考慮することによる被害の削減効果が見られた一方で，白ナイル川下流域（ID:8）では，経済損失が 4.3%増加した（図 1）.セクター別では，農業で 5.0%，商業で 1.4%の被害低減が見られたが，重工業では被害額が 2.9%増加（-102 百万 USD）した（表 1）．

4．まとめと今後の展望

本研究はナイル川流域を対象に，全球河川氾濫モデルにおいて堤防を考慮したことによる洪水リスク推計への影響を評価した．堤防が存在する地点では，ダム下流を除き河川水位のピーク過小評価が改善した一方で，ダム操作が未考慮であると，堤防により誤差が拡大することが確認された．また，堤外地や河川近傍での経済活動が多い地域では，堤防を考慮することにより被害額が増加することが判明した．

参考文献

1) Tanoue, M., Taguchi, R., Alifu, H., Hirabayashi, Y.: Residual flood damage under intensive adaptation, *Nature Climate Change*, Vol. 11, No. 1011 巻, 10 号, pp. 823–826, 2021.

2) Gang Zhao, Dai Yamazaki, Yoshiaki Tanaka, Xudong Zhou, Shuping Li, Yang Hu, Yukiko Hirabayashi, Jeffrey Charles Neal, Paul D. Bates: Developing a Levee Module for Global Flood Modelling with a Reach-Level Parameterization Approach, 2025.

3) Yamazaki, D., Kanae, S., Kim, H., Oki, T.: A physically based description of floodplain inundation dynamics in a global river routing model, *Water Resources Research*, Vol. 47, No. 447 巻, 4 号, 2011.

キーワード：CaMa-Flood, Levee, Expected Annual Damage, Nile Basin, River Flooding

田んぼダムの流域内実施位置が浸水被害軽減効果に及ぼす影響
～山形県京田川流域を事例として～

新潟大学大学院　○菅原正道
新潟大学大学院　井上祐樹
新潟大学　宮津進

１．はじめに

気候変動による水害の発生リスクの増大を受けて「流域治水関連法」が施行され，流域全体での総合的な治水対策が求められている．その中で，流域に面的に広がる水田が持つ洪水緩和機能に着目した「田んぼダム」の活用が注目されている．田んぼダムは，水田排水施設に落水量調整装置を設置することで，豪雨時に水田からの排水を一時的に抑制し，雨水を貯留することによって流出ピークの平準化を図るものである．しかし，田んぼダムの経済価値を評価した研究事例は限られている．また，限られた研究事例の大部分は，田んぼダムが流域内の全水田で実施されていると仮定して経済価値を算出している．こうした中，沼澤ら [1]は富山県内河川における田んぼダム実施率を考慮して田んぼダムの経済価値を算出した．しかし，田んぼダムの実施率は 50%と 100%の二通りしか設定されておらず，流域内の田んぼダム実施位置もランダムに設定されているため，田んぼダムの流域内実施位置が被害軽減効果に与える影響は定かではない．

そこで本研究では，山形県京田川流域を対象として，田んぼダムの流域内実施率を 20%刻みで変更させて経済価値を算出し，田んぼダムの流域内実施位置が被害軽減効果に与える影響を評価した．

２．研究手法

吉川ら [2]，宮津ら [3]が開発した内水氾濫解析モデルを用いて，田んぼダムの浸水被害軽減効果を定量評価した．シミュレーション対象降雨は，流域内で甚大な浸水被害をもたらした令和 6 年 7 月豪雨とした．解析対象流域内の全水田を対象に，①田んぼダム非実施（実施率 0%），②田んぼダム実施条件（実施率を上流または下流から 20%，40%，60%，80%，100%と変化させたシナリオ）を想定し，それぞれの浸水域および浸水継続時間を算定した．なお，水田の初期水深は 0cm，水田畦畔高は 30cm と設定した．浸水被害額は「治水経済調査マニュアル（案）」[4]を参考に算出した．田んぼダム非実施条件と各実施条件の浸水被害額の差を浸水被害軽減額とした．

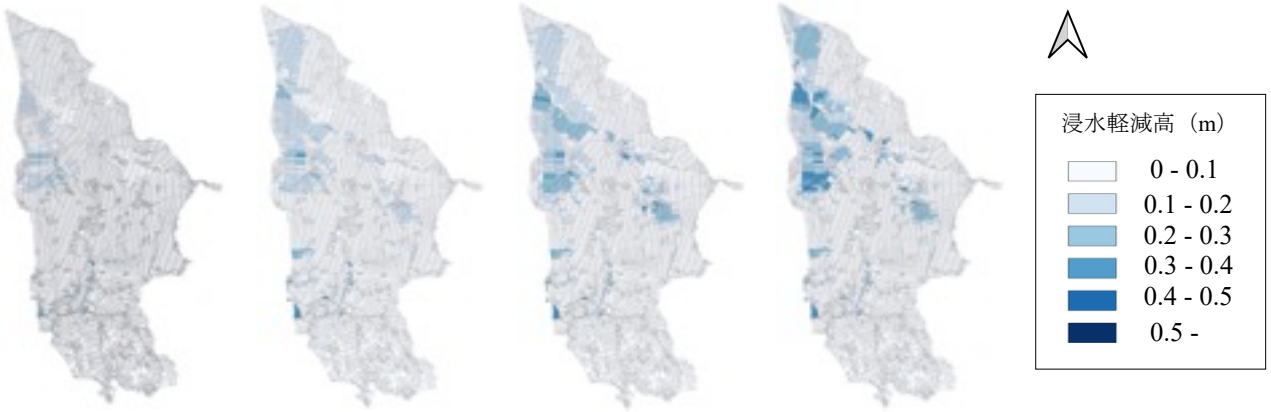
３．結果

(1)　シミュレーション結果

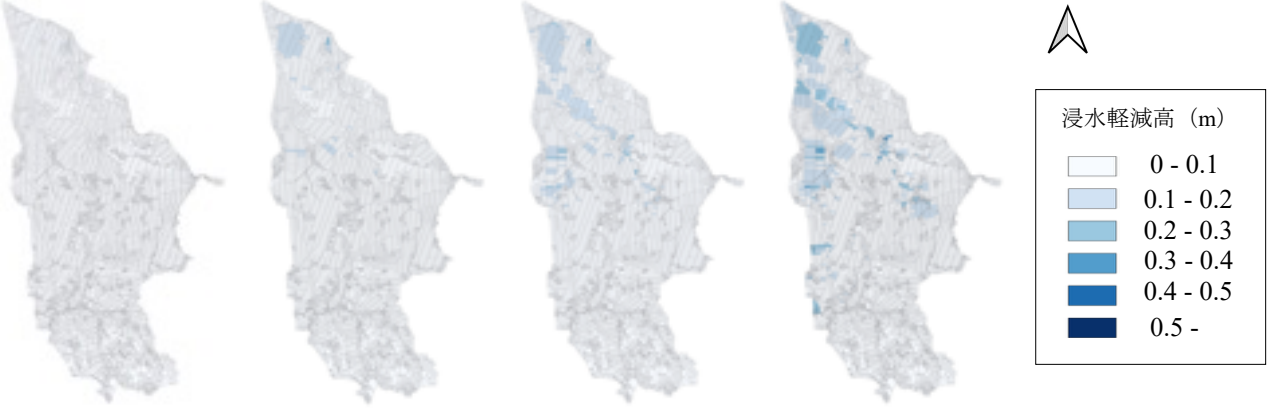
各シミュレーション結果から得られた実施率ごとの浸水深の差分を図-1，図-2 に示す．浸水減少高は，上流から田んぼダムを実施した場合の方が大きくなることが示された．また，浸水減少面積，湛水量減少量も上流から田んぼダムを実施した場合の方が大きくなることが示された．これは，流域上流部で流出抑制を行うことで，下流部のピーク流量が抑えられるためである．下流側から実施率が 20%である場合はほとんど流出抑制効果が得られないが，実施率 40%以降では下流からの実施でも流出抑制効果が発現することが示された．ただし，実施率が同様であれば上流から実施する場合の方が一貫して効果が高くなる傾向が示された．

(2)　浸水被害軽減額の算出結果

実施率 20%時，上流側からの実施により約 1,482 万円の浸水被害軽減効果が確認された（図-3）．それに対し，下流側から実施した場合は約 111 万円にとどまった（図-3）．特に軽減効果が大きく現れたのは，家屋被害額と公共土木施設被害額であり，両者が被害額全体の大半を占めていた．すなわち，上流からの流出抑制が下流域の市街地に及ぼす被害を抑制したと考えられる．一方，実施率 80%の段階で被害軽減額は上流側から実施時に約 4,840 万円，下流側から実施時に約 3,440 万円に達し，両者の被害軽減率の差は縮小した（図-3）．これは実施規模が広がるにつ



図−1　上流から実施率を変更した際の浸水軽減高の比較



図−2　下流から実施率を変更した際の浸水軽減高の比較

れて下流域配置の効果も顕在化するためだと考えられる．ただし，同じ実施率であっても，被害軽減額は一貫して上流からの田んぼダム実施の方が高いことが示された．

4．まとめ

田んぼダムの経済価値は，流域内の実施位置によって大きく変動することが明らかになった．流域上流部で田んぼダムを実施することで，下流部のピーク流量の低減が効果的に図られ，浸水面積や湛水量，被害額の縮減につながった．限られた予算で田んぼダムの効果を効率的に発揮させるためには，流域の上流部から優先的に普及を推進することが求められることが示された．

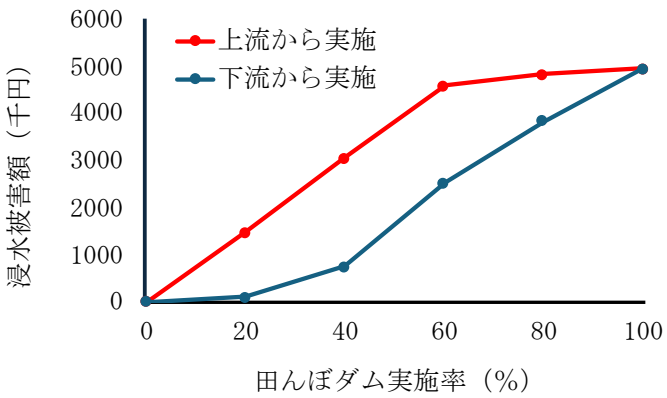


図-3　実施率を変更した際の浸水被害額の比較

参考文献

1)　沼澤ら，富山県河川における洪水氾濫解析を通じた河道内植生伐採と田んぼダムの費用対効果分析，土木学会論文集 B1(水工学)，Vol.81，No.16，2025　2) 吉川ら，低平農業地帯を対象とした内水氾 濫解析モデルの開発，土木学会論文集 B1(水工学)，Vol.67，No.4，pp.991-996，2011　3) 宮津ら，，田んぼダムによる内水氾濫被害軽減効果の評価モデルの開発と適用，農業農村工学会論文集，Vol.80，No.6，pp.479-488，2012
4) 国土交通省（2025），治水経済調査マニュアル(案)

キーワード：田んぼダム，流域治水

水災害の被害低減に向けた居住誘導とコンパクトシティの検討

富山県立大学大学院工学研究科　○羽田航大
富山県立大学工学部　呉修一
富山県立大学大学院工学研究科　宮田英寿

1．はじめに

富山市では少子高齢化による諸問題やインフラの老朽化に居住地域を誘導するコンパクトシティで対応している．富山駅を中心に都市機能誘導区域を，公共交通の沿線に居住誘導地域を設定している．公共交通の充実や魅力ある街づくりによる居住誘導を図っており，近年は公共交通利用者の増加や中心部への転入者の増加といった成果が出始めている．しかし，居住誘導地域内に水害リスクの高い地域が存在するという課題がある(図-1)．コンパクトシティは少子高齢化などの社会課題に有用であるため，災害リスクを考慮したコンパクトシティの構築が必要であると考える．よって，本研究ではコンパクトシティ施策を重点的に進めている富山市を一例として，コンパクトシティの現状と富山市の水害リスクなどを整理することで，水害リスクの観点から見たコンパクトシティの課題と移転の効果について検討する．

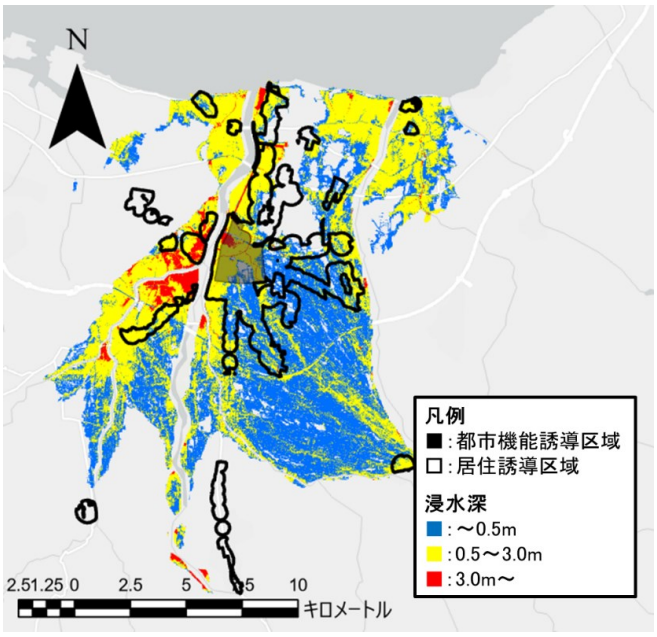


図-1　計画規模降雨における洪水浸水想定区域と誘導区域の重ね合わせ [1)]

2．対象領域

居住誘導の対象領域として，富山市，射水市，高岡市を対象とした．コンパクトシティ政策が積極的に推進されている富山市の諸条件を整理する．富山市は北部に広大な平野部を有しており，富山駅を中心として市街地および居住地域が形成されている．一方，南部には山地が広がっており，その面積は市域全体の約 7 割を占めている．

3．研究手法

3.1 居住誘導シナリオの選定

対象領域で国土数値情報ダウンロードサービス [1)]の土地利用細分メッシュより，土地利用を 5 分類に整理した．山地・都市・水域・畑地は居住誘導先には適していないものし，今回の解析では土地利用が田んぼの地域を居住誘導先として，居住誘導シナリオを設定した．まず，居住誘導区域内の浸水被害が予測されていない田んぼが宅地化され，水害リスクの高い地域から移転していくものを Case1 とした．Case2 では対象領域を現状のコンパクトシティから拡大し，case1 に加え，全てのバス停から 300 m 以内の浸水被害が予測されていない田んぼに移転していくことを想定した．次に家屋倒壊等氾濫想定区域・浸水を基準に，居住誘導元を基準としたケースを設定し，被害低減効果を検証することで，移転の被害低減効果および必要な移転先の規模を確認した．Case3 では家屋倒壊等氾濫想定区域から全ての家屋が移転した場合を想定した．さらに，Case4 では浸水深 3 m 以上の区域を居住誘導元とするシナリオを設定した．

3.3 被害額・被災人口の算定

居住誘導シナリオの被害低減効果を確認するにあたり，各ケースの被災人口と被害額を算出した．本解析では国土数値情報ダウンロードサービス [1)]のデータを使用した．治水経済調査マニュアル（案）[2)]および各種資産評価単価及びデフレーター[3)]を参考に資産額・被害額を算定する．対象資産は，直接被害に該当する家屋，家庭用品，事業所償却・在庫，農漁家・償却，農作物とした．資産額の算定には，地域統計メッシュ [4)]と土地利用細分メッシュを用いて，資産別の基礎数量に各種資産評価単価及びデフレーターの評価額を乗じた．また，計算メッシュは 250 m を基本とした．被害

表-1　各ケースにおける被害額・被災人口の被害低減効果

		Case1(コンパクトシティ)		Case2(+バス)		Case3(家屋倒壊想定)		Case4(浸水深3m)	
		低減率	移転面積(ha)	低減率	移転面積(ha)	低減率	移転面積(ha)	低減率	移転面積(ha)
被害額	富山市	5%	125	25%	2228	10%	2731	13%	1413
	他地域	ー	ー	46%	5603	10%	4406	14%	2594
被災人口	富山市	0.03%	125	19%	2228	11%	2731	2%	1413
	他地域	ー	ー	34%	5603	9%	4406	9%	2594

額の算定には，対象資産に浸水深別の被害率を乗じる．洪水氾濫想定区域データより得た解像度 5 m の浸水深を，解像度 250 m にアップスケーリングした平均値を用いて被害率を決定し，対象地域の被害を算定している．被災人口の算出は人口分布データを被害額算出に使用したメッシュを用いて行った. 浸水が予測されているメッシュ内の人口を集計することで算出した．人口分布データは 2015，洪水氾濫想定区域データは 2023 年度時点のものを使用した．

4．結果

表-1 に各ケースにおける被害低減効果を示す．富山市のみにおいて被害額を順とした被害低減効果を確認すると，Case1 では 5 %，Case2 では 25 %，Case3 では 10 %，Case4 では 13 %の被害低減効果を確認できた．Case1・Case2 は移転面積に対する被害低減効果が大きいことが分かる．Case1 では 5 %，Case2 においては 25 %の被害低減効果を確認できたが，このケースでは移転先・移転元の選定基準により過剰な結果となっている．移転先選定の際に全てのバス停を対象としており，運行本数の少ない路線が対象に含まれている．特に，被害額の Case2，Case3 を比較すると，Case2 の被害低減効果は Case3 の倍以上あるのに対して移転面積は Case3 の方が大きい．Case3・Case4 は Case1 の 10 倍規模の移転面積が必要であるが，被害低減効果は 2〜3 倍程度しか変化しないことが分かる．また，Case4 は移転面積が広い Case3 よりも被害低減効果が大きいという結果になり，移転元の選定が重要であることがわかる．

次に被災人口を基準とした被害低減率として，case1 では 0.03 %，case2 で 13 %，case3 で 11 %，case4 で 2 %の結果となった．Case3 の解析では 11 %の被害低減効果が確認できたが，Case1 と比べると 20 倍程度の移転面積が必要である．つまり，現状のコンパクトシティでは移転先容量が不足している．そのため，対象領域を拡大して考えたケースを考える．富山市の他に射水市と高岡市を含めた地域・富山県全域に拡大して考える．Case1 の被害低減効果が Case2 では射水・高岡市を追加した領域で被害額の被害低減効果が 46 %，被災人口で 34 %と富山市内を対象に場合よりも被害低減効果が大きい．Case3 は被災人口でみると Case4 よりも被害低減効果が大きいが被害額でみると小さい．被害額を基準とした場合と被災人口を基準とした場合で，効果的な移転元の選定基準が異なることが確認された．

５．まとめ

本研究では居住誘導の被害低減効果を確認した．現状のコンパクトシティの移転では 5 %程度しか被害が低減できない結果となった．コンパクトシティは今後の少子高齢化社会において重要であるが，現状の富山市では移転策が不足しており，人口密度を上昇させるか他地域への展開が必要である．本研究においては解析条件に粗い点が多くあるが，水害リスクを考慮したコンパクトシティの構築について検討できたと考える．

謝辞

本研究は，JSPS 科研費 JP24K01135 の助成を受けたものです．ここに記して謝意を表します．

参考文献

1) 国土交通省：国土数値情報ダウンロードサービス，https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/，2026 年 4 月 30 日閲覧
2) 国土交通省河川局：治水経済調査マニュアル（案），p49-p57，2025.
3) 国土交通省河川局：治水経済調査マニュアル（案）各種資産評価単価及びデフレーター，p.1-p.12, 2020.
4) e-stat：境界データダウンロード，https://www.e-stat.go.jp/gis/statmap-search?type=2，2026 年 4 月 30 日閲覧

キーワード：Urban Function，Guidance Zone，Housing Incentives，Compact City，Toyama City

富山市内の中小河川を対象とした水田貯留の軽減効果に関する基礎的研究

富山県立大学工学部環境・社会基盤工学科　○萱沼友祐
富山県立大学大学院工学研究科　馬渕慎也
富山県立大学工学部環境・社会基盤工学科　吉見和紘

1．はじめに

近年，大雨の頻発化により，全国各地で内水氾濫による浸水被害が生じている．富山県においても，富山市街地で毎年のように浸水被害が発生しており，今後も同様の被害が発生する可能性は高い．頻発する水災害を踏まえて，国は流域治水に方針を転換し，流域全体で協働して対策を行うことが重要であると指摘している．浸水被害の軽減に向けて，土地利用情報を考慮した内水氾濫対策を行う必要がある．富山市内の土地利用別面積を**図-1** に示す．**図-1** の色で示すように富山市内は田畑の割合が 42 %と他の土地利用と比べて多いことがわかる．そのため，田畑を活かした内水氾濫対策を行うべきであり，国土交通省が推進している流域治水施策集 [1]を参考にすると水田貯留が挙げられる．既往研究として，宮津らにより水田貯留の浸水被害軽減効果が示されている [2]．これらの背景を踏まえて，本研究では富山市街地を対象に数値解析を用いて仮想的な内水氾濫対策を施し，その地域に対する水田貯留の軽減効果を定量的に示すことを目的とした．

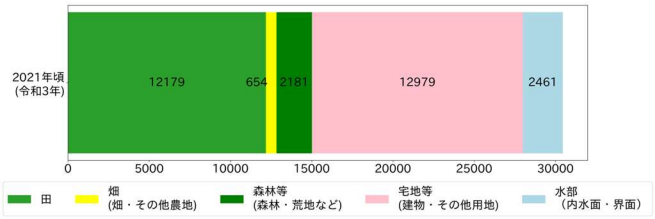


図-1　富山市内の土地利用別面積

2．研究手法

富山市街地を対象に，数値解析により水田貯留を定量的に評価するための簡易的なモデルを構築した．解析ソフトウェアは日立パワーソリューションズが開発した「DioVISTA/Flood」を用いた．降雨事例は 2022 年 8 月 13 日，2022 年 8 月 20 日，2023 年 7 月 12 日の 3 事例を対象に内水氾濫解析を行った．内水氾濫対策を施していない状態を対策なしと定義し，各事例を対象に対策なしの場合と水田貯留を施した場合を比較して浸水面積の軽減率を算出した．2022 年 8 月 13 日の降雨を対象とした対策なしの場合を case1-a，水田貯留を施した場合を case1-b，2022 年 8 月 20 日を対象にした場合を case2-a，case2-b，2023 年 7 月 12 日を対象にした場合を case3-a，case3-b とした．

3．解析条件

流出モデルではキネマティックウェーブモデルによる流出計算，河川モデルでは 1 次元不定流計算，氾濫モデルでは 2 次元不定流計算を行っている．解析条件を**表-1** に示した．解析条件にある河道データは富山県から提供して頂いた断面データをベースとし，断面データのない河道では RTK 測量による結果を用いた．対象地域は解析事例で浸水が発生した地域を参考に**図-2** に示す「浸水域算出範囲」とした．水田貯留の貯留高は農林水産省の情報を参

表-1　解析条件

各種条件	項目	詳細
境界条件	上流端流量	流出解析により求めた流入量を与えた
	下流端流量	当日の実績の水位データを与えた
計算条件	河道データ	富山県から提供して頂いた断面データをベースとし、断面データのない河道ではRTK測量による結果を用いた
	粗度	0.015とした
	降雨	XRAINの1分間値の観測値を用いた
	計算時間	雨の降り始めから河川の水位が平常時の水位に戻るまでとした
	標高データ	基盤地図情報数値標高モデル(5m)
	土地利用	土地利用細分メッシュ(100m)
	計算メッシュサイズ	5m
	入出力データ	1分

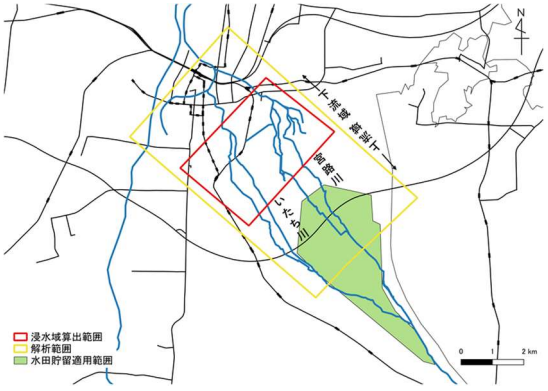


図-2　解析の対象範囲

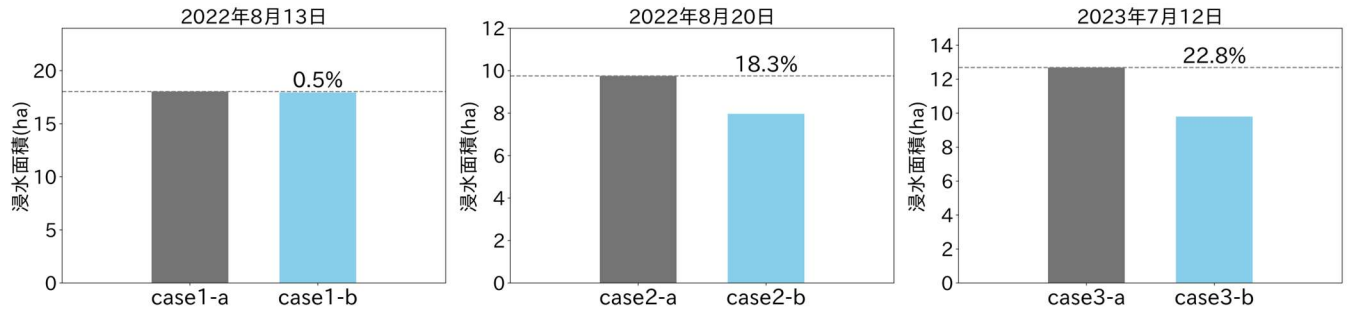


図-3　各事例における水田貯留を施した場合の浸水面積軽減率
(左図　case1，中央図 case2，右図　case3)

考に，水稲の品質や収量に考慮し[3]，貯留高は 30 cm とした．

４．結果と考察

事例ごとの対策なしの場合と水田貯留を施した場合の最大浸水面積および対策なしの場合に対する最大浸水面積の軽減率を**図-3** に示す．**図-3** をみると今回解析を行った 3 事例においては水田貯留による浸水面積の軽減効果が示された．また，対策なしの場合と水田貯留を施した場合の最大浸水面積の軽減率をみると，浸水面積が最も大きい事例(case1)では軽減率が 0.5 %であるに対し，最も小さい事例(case3)では軽減率が 22.8 %となった．

事例によって最大浸水面積の軽減率に差が生じた原因は水田貯留の敷設場所と降雨特性であると考えられる．case2, case3 に対して水田貯留を施した場合では水田貯留の浸水被害軽減効果が機能しているといえる．case2, case3 の降雨は解析範囲の上流部で雨が多く降っている．水田貯留を施した場所が解析範囲の上流部であったため，最大浸水面積の軽減率が高くなったと考えられる．一方で，case1 に対して水田貯留を施した場合では他 2 つの事例に比べて最大浸水面積の軽減率が低くなっている．case1 の降雨は解析範囲の下流部で多く雨が降っている．水田貯留を施した場所が解析範囲の上流部であったため，他 2 事例よりも水田貯留の浸水被害軽減効果が機能しなかったと考えられる．今回解析を行った事例のように，降雨の特徴によって軽減効果が大きく左右されることから，水田貯留による浸水面積軽減効果は降雨特性により異なると考えられる．

５．まとめ

本研究では，富山市街地で内水氾濫が発生した大雨を対象として，数値解析を用いて仮想的な内水氾濫対策を施した際の浸水面積の軽減効果を検証した．水田貯留は今回解析を行った 3 事例においては対策なしの場合と比べて浸水面積軽減に効果を示した．一方で，case2，case3 では水田貯留による一定の浸水面積軽減効果が確認されたが，case1 では他 2 つの事例より水田貯留による浸水面積軽減効果が低かった．今後は，降雨事例を増やし，降雨特性と軽減効果の関係を整理する必要がある．

謝辞：本研究では，国土交通省が提供する XRAIN 原データを利用した．このデータセットは，文部科学省の補助事業により開発・運用されているデータ統合解析システム(DIAS)の下で，収集・提供されたものである．また，富山県土木部河川課，富山市建設 部河川整備課から貴重なデータを提供頂きました．加えて，日立パワーソリューションズ(株)の，DioVISTA/Flood を使用しました．ここに記して感謝の意を表します．

参考文献

1)国土交通省, 流域治水施策, https://www.mlit.go.jp/river/pamphlet_jirei/kasen/gaiyou/panf/sesaku/pdf/r503_sesaku_01.pdf, 閲覧日：2026 年 4 月 30 日.

2) 宮津ら，田んぼダムによる内水氾濫被害軽減効果の評価モデルの開発と適用，農業農村工学会論文集，第 80 巻，6 号，pp.479-488，2012.

3) 農林水産省，「田んぼダム」の手引き　第 4 章「田んぼダム」の営農への影響，https://www.maff.go.jp/j/nousin/mizu/kurasi_agwater/attach/pdf/ryuuiki_tisui-207.pdf，閲覧日：2026 年 4 月 30 日.

キーワード：Pluvial Inundation Flood,Paddy Field Storage,River Basin Disaster Resilience and Sustainability by All

三次元防災教育コンテンツに対する印象評価の統計的分析

東北工業大学大学院工学研究科土木工学専攻　○児玉睦希
東北工業大学工学部都市工学課程　小野桂介

１．背景・目的

近年，気候変動に伴い豪雨災害が頻発・激甚化し，水害リスクが増大しているため，防災を自分事として捉える流域治水の考え方が求められている[1)]．その実現には，地域の水害リスクを理解し，避難行動を主体的に考える力を育成する防災教育が重要である．また，GIGA スクール構想により 1 人 1 台端末環境が整備され，デジタル教材を活用した学習が日常化しつつある[2)]．小野ら[3)]は，三次元空間の洪水ハザードマップを用いた授業が児童の興味・関心を引き出す効果を有することを示唆した．しかし，紙媒体ハザードマップと三次元防災教育コンテンツに対する学習者の印象評価の差異や，学校・学年・地域の違いによる評価傾向は十分に整理されていない．そこで本研究では，小中学校で実施した授業後アンケートを用い，両手法に対する印象度を統計的に比較するとともに，印象度の選択理由を学校種・地域別に集計することで，ハザードマップ提示手法の違いが学習者評価に与える影響を明らかにすることを目的とする．

２．出前授業概要

防災教育授業を，小中学校において実施した．出前授業は，2025 年 11 月 7 日に盛岡市内の 2 つの小学校（計 119 人），11 月 14 日に北上市内の中学校（37 人），12 月 18 日および 19 日に仙台市内の小学校（55 人）において行った．対象学年は，小学校では 5 年生，中学校では 2 年生とした．授業は，紙媒体ハザードマップと三次元防災教育コンテンツの双方を体験する構成とした．まず，紙媒体ハザードマップを用いて，自分の住んでいる地域や学校，自宅周辺における想定浸水深を確認させた．次に，三次元デジタル空間上に再現された同一地域を操作し，視点を自由に移動させながら上空や街中を巡る「空中散歩」を通じて，浸水深の分布や広がりを立体的に確認させた．授業後には，各提示手法に対する印象度および印象度の選択理由に関するアンケート調査を実施した．アンケートでは，紙媒体ハザードマップおよび三次元防災教育コンテンツに対する印象度を 0～100 の数値で回答させた．また，印象度の選択理由として，浸水の深さや範囲のわかりやすさ，地域の建物や地形のわかりやすさ，見たい場所の見つけやすさ，使い方のわかりやすさ，楽しさ等に関する項目を設定し，複数選択で回答を得た．

３．結果・考察

紙媒体ハザードマップと三次元防災教育コンテンツに対する印象度は，同一の児童・生徒による対応のあるデータである．そこで，対応のある t 検定の適用を検討したが，両手法の印象度差に正規性が認められなかったため，平均値差を前提とする対応のある t 検定ではなく，Wilcoxon の符号付順位検定を用いた．その結果，両手法の印象度には有意な差が認められた（$W = 953$，$p < 0.001$）．印象度の代表値を表-1 に示す．紙媒体ハザードマップの平均値は 72.2，中央値は 80，標準偏差は 17.9 であったのに対し，三次元防災教育コンテンツの平均値は 88.0，中央値は 90，標準偏差は 14.3 であった．したがって，三次元防災教育コンテンツは，紙媒体ハザードマップよりも高い印象評価を得る傾向が統計的に確認された．

表-1　各提示手法に対する印象度の代表値および検定結果
Wilcoxon の符号付順位検定：$W = 953$，$p < 0.001$

	平均値	中央値	標準偏差
紙媒体	72.2	80.0	17.9
三次元マップ	88.0	90.0	14.3

次に，学校種および地域による評価傾向の違いを把握するため，印象度の選択理由について単純集計を行った．表-2 には，学校種・地域別にみた印象度の選択理由の選択率差を示す．対象人数は学校種・地域により異なるため，人数差ではなく選択率差を用いて比較した．

表-2 より，「楽しく学ぶことができたから」は，北上市内中学校で+54.1%，盛岡市内小学校で+56.3%となり，三次元防災教育コンテンツの選択率が紙媒体ハザードマップを大きく上回った．また，「地域の建物や地形がわか

りやすかったから」は，北上市内中学校で+40.5%，盛岡市内小学校で+29.4%，仙台市内小学校で+25.5%となり，すべての対象で三次元防災教育コンテンツの選択率が紙媒体ハザードマップを上回った．これらの結果から，三次元表現は，学習の楽しさや地域の建物・地形の把握に関して評価されやすい傾向があると考えられる．

一方で，紙媒体ハザードマップの選択率が三次元防災教育コンテンツを上回る項目もみられた．「自分の見たい場所が見つけやすかったから」では，盛岡市内小学校で−17.6%，「使い方がわかりやすかったから」では，北上市内中学校で−37.8%となった．このことから，三次元表現は楽しさや地域空間の把握に関して評価されやすい一方で，目的地の探索や操作のわかりやすさについては，紙媒体ハザードマップが評価される場合があると考えられる．紙媒体ハザードマップは対象地域を一覧的に確認しやすく，目的地を探す際に操作を必要としないため，位置確認や扱いやすさの面で評価された可能性がある．したがって，三次元表現は学習意欲の喚起や地域空間の把握を支援する一方，紙媒体ハザードマップは位置確認や全体把握を支援する手法として有効であり，両手法を補完的に活用する必要があると考えられる．

表-2　学校種・地域別にみた選択理由の選択率差（単位: %）

選択理由	北上市内中学校	盛岡市内小学校	仙台市内小学校
浸水の深さや範囲がわかりやすかったから	-8.1%	+23.5%	+7.3%
地域の建物や地形がわかりやすかったから	+40.5%	+29.4%	+25.5%
自分の見たい場所が見つけやすかったから	+2.7%	-17.6%	+14.5%
使い方がわかりやすかったから	-37.8%	-2.5%	+3.6%
楽しく学ぶことができたから	+54.1%	+56.3%	+10.9%
浸水の危険性を身近に感じたから	+18.9%	+4.2%	+3.6%

注) 各値は，三次元防災教育コンテンツの選択率から紙媒体ハザードマップの選択率を差し引いた選択率差を示す．正の値は三次元防災教育コンテンツ，負の値は紙媒体ハザードマップの選択率が高いことを示す．

４．まとめ

紙媒体ハザードマップと三次元防災教育コンテンツに対する印象度を比較した結果，三次元防災教育コンテンツは紙媒体ハザードマップよりも高い印象評価を得る傾向があることが分かった．また，学校種・地域別に選択理由を整理した結果，三次元防災教育コンテンツは，学習の楽しさや地域の建物・地形のわかりやすさにおいて共通して評価されることが分かった．一方，見たい場所の探しやすさや使い方のわかりやすさでは，紙媒体ハザードマップが評価される場合もみられた．今後は，授業前後の理解度や防災意識の変化も含めて分析し，学年や地域特性に応じた効果的な提示手法を検討していく予定である．

【謝辞】
本研究は一般財団法人河川情報センター令和 7 年度研究助成の助成を受けた．環境省・（独）環境再生保全機構の環境研究総合推進費（JPMEERF 25S12422）により実施された．国土交通省令和 8 年度河川砂防技術研究開発公募の支援を受けた．ここに謝意を示します．

参考文献

1) 水害リスクを自分事化し，流域治水に取り組む主体を増やす流域治水の自分事化検討会-国土交通省水管理・国土保全局, https://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/suigairisk2/dai01kai/index.html, accessed 2025-04-28.
2) GIGA スクール構想について：文部科学省，https://www.mext.go.jp/a_menu/other/index_0001111.htm，accessed 2025-04-30.
3) 小野桂介，薄田啓太郎，菊池輝，高坂保孝加: 三次元都市データとマインクラフトを活用した防災教育コンテンツの開発と実践，土木学会論文集特集号（地球環境）, Vol. 80, No. 27, pp. 24-27034, 2024.

キーワード：防災教育，洪水氾濫，ハザードマップ，三次元デジタル空間，アンケート調査

再解析データに基づく洪水リスクの広域評価—2025 年 11 月スマトラ島事例—

三井共同建設コンサルタント株式会社　阿部紫織
三井共同建設コンサルタント株式会社　○中村要介
三井共同建設コンサルタント株式会社　Amalia Wijayanti

１．はじめに

近年，東南アジア地域では極端降雨の増加に伴い洪水被害が頻発しており，広域的な水害リスクの把握が重要となっている．特にインドネシアに代表される地域では，地上雨量や水位などの観測データの公開が十分ではなく，発災直後における被害状況の把握や洪水規模の評価が困難である．実際に，2025 年 11 月にスマトラ島各地で発生した洪水では，アチェ州をはじめとする複数地域で浸水被害が報告されたものの，詳細な観測データや被害情報の把握には制約があった．このような観測データが限られた地域においては，再解析データや数値モデルを活用した洪水リスク評価手法の確立が求められている．

一方で，再解析降雨データは全体で一貫したデータが得られる利点を有するものの，降雨強度や空間分布に不確実性を含むため，その適用性については十分な検証が必要である．また，広域を対象とした洪水解析においては，氾濫計算の有無により評価可能な指標や適用目的が異なる．

本研究の目的は，観測データが十分に得られない地域においても水害リスクを評価可能な手法を構築し，その有効性を検証することである．そのため，河道からの越水を生じさせない計算(氾濫なし計算)による河道流量を過去の流量と比較する手法と，広域的な被害範囲を見積もるため河道からの氾濫を考慮した計算(氾濫あり計算)の 2 種類の解析を実施した．

２．検討概要

流出解析モデルとして Rainfall-Runoff-Inundation(RRI)モデル [1)]Ver.1.4.2 を用いた. 地形データには MERIT Hydro[2)] を使用し，スマトラ島全域を対象として 3s(≈90m)から 30s(≈900m)にスケールアップした．土地利用については RRI-GUI の機能を用いて USGS の GLCC-V2 及び FAO の土壌分類に基づきパラメータを自動で設定した．蒸発散量は Marganingrum & Santoso[3)]を参考に，全島で一律 4mm/day とした．河道はレジーム則により設定し，氾濫なし計算においては河道深さを 60m に掘り下げ，氾濫を抑制した．一方で氾濫あり計算においては山本ら [4)]よりバタンハリ川で設定されたレジーム則を全島に適用した．

降雨データには Copernicus Climate Change Service（C3S）が提供する Climate Data Store（CDS）から取得した ERA5 再解析データ [5)]を使用し，1980 年～2024 年までの各年について連続計算を実施した．なお，インドネシアでは毎年 11 月頃から雨季に入ることを考慮し，前年の 9 月から当年 12 月 31 日まで計算を実施した．各メッシュにおける確率流量を推定には Gumbel 分布を適用し，分布パラメータの推定には L-moments 法を用いた．また，2025 年 11 月洪水イベントについては助走期間も含めた 2025 年 10 月 1 日から 12 月 7 日までを対象に計算を行った. 各メッシュにおいてイベントのピーク流量と各再現期間の確率流量を比較し，イベント流量の相当再現期間を指標として，洪水リスクの高い地点を抽出した．

３．結果

1980 年から 2024 年までの 45 年分の計算結果から推定した 2025 年 11 月洪水イベントの相当再現期間を図-2 に示す．これより，実際に大きな被害が報告されたアチェ州周辺において 100～200 年相当の流量が推定され，極めて高い洪水リスクを有していたことが示された．また，西スマトラ州のパダン市周辺では 200 年確率流量を超える地点が多く見られ，実際の被害報告とも整合した．なお，100 年を超える相当再現期間については外挿を含むため，解釈には留意が必要である．

次に，氾濫計算の結果として得られた最大浸水深分布を図-1 に示す．これを衛星観測データ(Asia Sentinel)及びインドネシア地理空間情報庁(Badan Informasi Gepspatial: BIG)による浸水区域推定と比較すると，主要な浸水域の

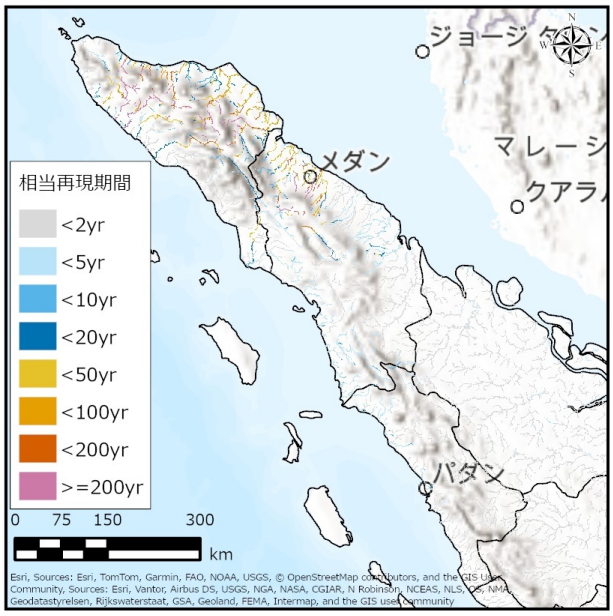


図-2 2025 年 11 月洪水の相当再現期間

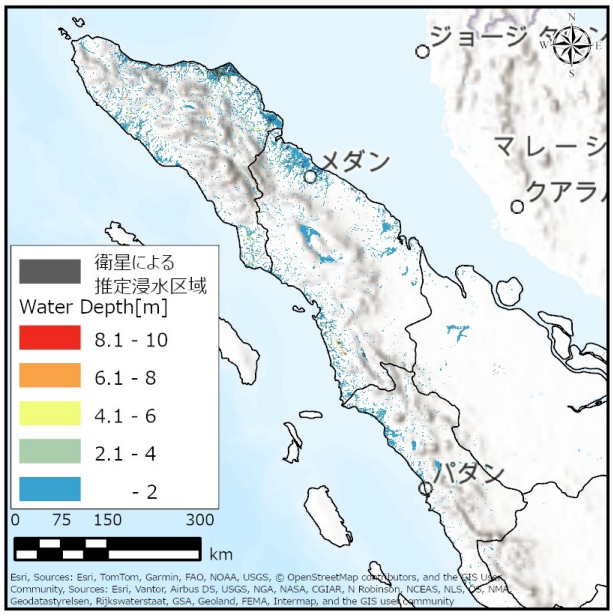


図-1 最大浸水深分布と浸水区域の推定

分布は概ね一致しており，本研究で構築した RRI モデルにより実際の氾濫状況を一定程度再現できていることが確認された．なお，衛星観測による浸水域は観測時刻や衛星の軌道・観測条件に依存するため，必ずしも最大浸水範囲を示すものではない点に留意する必要がある．

４．まとめ

再解析降雨データを使用し，RRI モデルにより事前に構築した流出解析結果に基づき，観測データが不足する地域において洪水イベントの洪水リスクを評価する手法を提案した．本研究の対象とした 2025 年洪水では，実際に被害が大きかった地域において，100 年確率流量を大きく上回る流量が推定され，本手法により洪水リスクの高い地点を空間的に把握できることが示された．一方で本研究で用いた ERA5 は再解析データであり，利用可能な期間が限られているため，100 年を超える確率流量の推定には外挿が含まれている．この点については，アンサンブル気候予測データなどの長期データを活用することででより信頼性の高い確率評価が可能になると考える．

また，氾濫計算の結果から，広域的な浸水被害の分布についても一定程度再現可能であることが確認された．本研究では現地データの制約から河道を全島一律のレジーム則として設定しているが，詳細なデータを導入することで，浸水深等の定量的評価の精度向上が期待される．以上より，本手法は観測情報が限られる地域においても，洪水リスクおよび広域的な浸水被害の分布を簡便に推定可能な手法として有効であることが示された．

参考文献

1) T. Sayama, G. Ozawa, T. Kawakami, S. Nabesaka, K. Fukami: Rainfall-Runoff-Inundation Analysis of Pakistan Flood 2010 at the Kabul River Basin, Hydrological Sciences Journal, 57(2), pp. 298-312, 2012.
2) D. Yamazaki, D. Ikeshima, J. Sosa, P. D. Bates, G. H. Allen, T. M. Pavelsky: MERIT Hydro: a high-resolution global hydrography map based on latest topography dataset. *Water Resources Research*, 55, 5053–5073, 2019.
3) D. Marganingrum, H. Santoso : Evapotranspiration of Indonesia tropical area. *Jurnal Presipitasi*, 16(3), 106–116, 2019.
4) 山本浩大，佐山敬洋, Apip，寶馨: 湿潤熱帯流域における降雨流出氾濫モデルの適用性に関する研究，土木学会論文集B1（水工学）, 2019, 75巻, 2号, p. I_253-I_258.
5) H. Hersbach et al.: ERA5 hourly data on single levels from 1940 to present. *Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS)*, 2023. https://doi.org/10.24381/cds.adbb2d47 (accessed on 1 Mar 2024).

キーワード：ERA5, RRI model, Return period, Cyclone, Indonesia

戦後の水利用と水インフラの変遷を組み込んだ関東平野の長期水資源シミュレーション

国立環境研究所　気候変動適応センター　　井手　淨
国立環境研究所　気候変動適応センター　　花崎　直太

１．はじめに

日本国内では戦後，人口増加や経済成長による水需要増大に対応するため，ダムや導水路など水インフラ整備が各地で進められた。関東平野では地下水から河川水利用への切替が進み，主に地下水の過剰揚水に起因する都市部の地盤沈下も抑制された。一方でこれらの水インフラ整備と人間水利用変化が流域水循環にどのように影響を及ぼしたかについては，長期的かつ空間仔細な検討は必ずしもなされているとは言えない。利根川や荒川を対象とした水資源モデルを用いた過去の再現計算は複数事例があるものの（井手ら 2020; 松村ら 2021），数十年単位で人間水利用や水利施設に関する情報をモデルに組み込んで計算した事例は筆者らの知る限りない。そこで本研究では，「ダムや導水は戦後の水需要の増大にみあった供給量の増強にどの程度寄与するのか？」という問いを設定し，長期の水資源シミュレーションを通して，これらの寄与を検証する。

２．使用データ

計算には水資源モデル H08 を使用した（Hanasaki et al., 2022）。入力に用いた８つの気象外力（降雨・降雪・気温・地表気圧・相対湿度・風速・下向き長波放射・下向き短波放射）のうち，降雨・降雪を除いた 6 要素は，空間解像度 0.1°の ERA5-Land 再解析データセットを用い，１分角のモデル格子へとダウンスケールした。気温は ERA5 の重力ポテンシャル高度および H08 地形モデルで採用されている 1 分角標高データを用い，気温減率補正により標高差を補正した。地表気圧および風速は，スプライン補間法を用いて空間補間を行った。相対湿度は，補間に先立ち Tetens の式を用いて気温および露点温度から再計算した。

降雨量および降雪量については Hatano et al（2022）による高解像度グリッド降水量データを用い，１分角格子に集約した後，格子気温に基づき 0 ℃および 2 ℃を雪と雨の境界温度とした線形配分により分配した。さらに，降雪量についてはアンダーキャッチの影響を考慮し，2 倍に補正した。地表面エネルギー収支計算に必要な地表アルベドには，ISLSCP の無雪期アルベドデータを用い，1985 年 4 月から 1991 年 3 月（1988 年を除く）までの月別値を平均化した上で，１分角格子へダウンスケールした。

入力に用いる地図情報のうち，特に重要な流向および河道網については，デジタル標高データに基づいて構築した。松村ら (2021)の手法に従い，3 秒角解像度の MERIT-DEM データセット（Yamazaki et al., 2017）を，モデルの空間解像度に対応する 1 分角グリッドに集約した。人間水利用のモデル化に必要な入力データとして，井手ら（2026）の生活用水・工業用水利用量と水田面積の 1 km 格子・年別時系列データデータを用いた。

ダム・貯水池については，流域内の貯水容量が 20×10^6 m³を超え，灌漑等に利用される貯水池を選定し，GranD からダム容量を取得した。ダム放流操作は 1996 年から 10 年間の月別ダム流入量と放流量のデータを元に，貯水池毎に低流量月・高流量月・放流量を設定した。主要な河道分岐について，利根川から荒川・江戸川水系への分水，武蔵水路，北千葉導水，利根・関宿水門は，モデル制約として明示的に組み込んだ。主要な地域導水路網として，群馬用水・霞ヶ浦用水（I，II期）・北総用水・埼玉合口・房総導水について，取水地点および受益地域を調べ，個別に取水元・配水先格子を設定した。

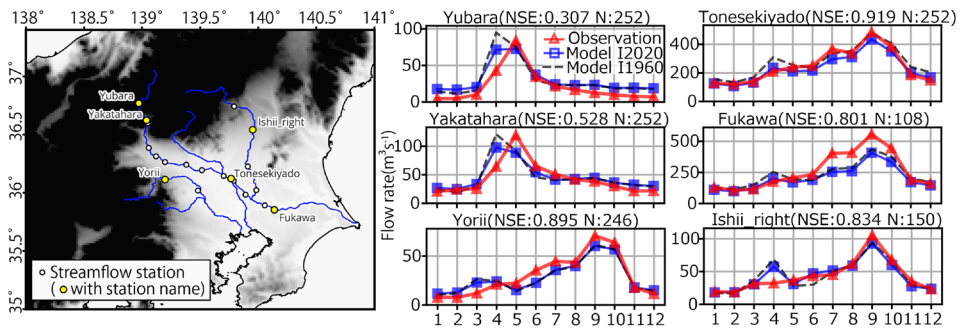


図 １河川流量観測地点と主要箇所の月平均流量の比較

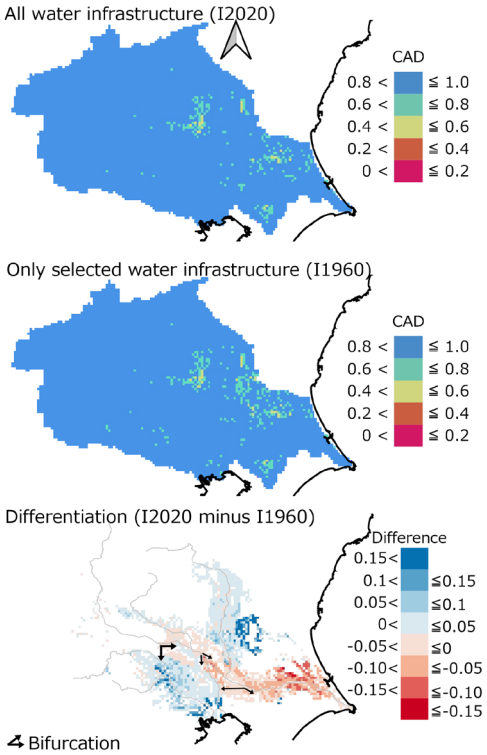


図 2 CAD の分布状況

3．計算実験

ダム・導水を加味した陸面水循環過程に基づく河川流下に人間水利用（生活・工業・農業用水）での取水を加味する 2 種の水資源モデルシミュレーション実験を実施した。2020 年までに建設完了したインフラ（ダムおよび導水路網）を機能させた I2020 実験と，1960 年時点の建設分のみを反映させた I1960 実験である。計算期間はいずれも 1950 年から 2020 年で，貯水池操作は計算対象年がダム建設年以降の場合にのみ機能する。

4．結果・考察

河川流量観測値およびモデル計算値の 30 年分（1990–2020 年）を用い Nash-Sutcliffe 係数（NSE）を算出し，さらに月別河川流量（期間平均値）について観測値とモデル値を比較した（図 1）。3 月期はモデル流量の過大傾向が認められるが，利根川最上流地点の湯原を除き，NSE はいずれの地点も 0.5 以上を示す。また考慮するダム（貯留施設）の数が多い I2020 実験は I1960 実験より 3 月期流量を実測値に近づく方向で過小評価し（湯原，利根関宿，屋形原等），ダム操作の影響が流量に反映されたことが示唆される。

各実験で得られた 70 年間の水需要量に対し，各年，一年を通じて取りたい時に取りたい量の水が取れたかを示す指標（CAD）を計算した。本指標により，自然水循環から取水可能な量と需要量の間で不均衡が生じやすい地域を可視化できる。CAD の分布（図 2）は，両実験とも栃木県・茨城県・千葉県の一部地域で 0.4～0.8 と相対的に低い。H08 では，発生する水需要を地表水で賄う分と地下水で賄う分に配分し，自然水循環での充足可否を評価する。このため，一部地域の CAD 低下は地下水需要の空間分布設定に起因する可能性がある。

I2020 実験と I1960 実験の CAD 分布の差を取ると，関東平野北西部（鬼怒川周辺）と南部（荒川周辺）を中心に CAD が高い領域が広く分布しており，整備された導水路網により，広く水が配分がされるようになったことを示唆する。一方，利根川本線では荒川への分岐設定地点より下流域で CAD が低下した。これは I2020 実験では荒川へ利根川本線の流量を分派させた関係で，モデル上で取得可能な水量が減少したためと考えられる。

5．まとめ

本研究では，戦後以降の水利用データおよび水利施設データを組み込んだ関東平野の長期水資源モデルを構築し，導水が水需給の安定化に与える影響を数値実験により評価した。水インフラ増強により，流量再現では春先における水資源貯留の効果が示唆された。また戦後以降に稼働した導水路機能による分水で，分派先（荒川流域）や導水受益箇所（鬼怒川流域）で不足水量の不均衡解消が見られた。一方で，利根川本線下流では分派により取得可能な水量が相対的に減少した状況を可視化出来た。

【謝辞】

科学研究費助成事業 (JP21H05177)および内閣府 BRIDGE プログラムより支援を受けました。感謝申し上げます。

参考文献

井手 淨ら，統合水資源モデル H08 で推計した（略），土木学会論文集 B1（水工学），2020, 76 巻, 2 号, p. I_289-I_294

松村明子ら，全球水循環モデル H08 による都市の（略），土木学会論文集 B1（水工学），2021, 77 巻, 2 号, p. I_205-I_210

Hanasaki, N. et al. Toward hyper-resolution global hydrological … Hydrol. Earth Syst. Sci., 26, 1953–1975, 2022.

Hatono, M. et al. A 0.01-degree gridded precipitation dataset for Japan, 1926-2020. Sci Data 9, 422, 2022.

Yamazaki, D. et al. A high-accuracy map of global terrain elevations … Geophys. Res. Lett., 44, 5844–5853 (2017).

井手 淨ら, 20 世紀後半の日本の水利用に関する長期格子データの構築，水文・水資源学会誌, 2026, 39 巻, 1 号, p. 63-79

キーワード：水資源モデル (Water resources model)，水インフラ（water infrastructure），水利用(water use)

東京都管理河川における治水計画と調節池の整備経緯

東京都立大学 都市環境科学研究科 ○石原 成幸
東京都立大学 都市環境科学研究科 天口 英雄
東京都立大学 都市環境科学研究科 高崎 忠勝

１．はじめに

東京都の管理する中小河川（国土交通省による直轄管理以外の一・二級河川）は，高々度に都市機能の集積した市街地を貫流しており，水害が発生時の被害は甚大を極めることから，市街化が急速に進行した1970年代以降，河道整備に加えて緊急・暫定的な調節池整備が図られてきた．その後，これらの調節池は上位の治水計画（河川整備計画）に包含される形で，正式に位置づけられた経緯があるが，これらの背景を認識している関係者が少なくなっている．

このため，本報では治水計画上における調節池の位置づけと整備経緯の関係を明らかにすることを目的とする．

なお，ここでは便宜上，調節池規模を小規模：5万㎥程度まで，中規模：5万～10万㎥程度，大規模：10万㎥以上と定義するとともに，治水計画は1985年時点を基準とし，後年度の上位計画策定や改定等を考慮のうえ考察を試みた．

２．治水計画と調節池の整備経緯に基づく分類



図-1 主要な東京都管理河川と調節池（概略図）

表-1 調節池の諸元概要等

河川名	No	区分	調節池名	形態	用地	解析	貯留量	設置区市	完成年度/備考
石神井川	1	A①	富士見池	D	公園	①	33,800	練馬	1972/2007拡充
	2	A①	南 町	D	河川		12,000	西東京	1980
	3	A①	向 台	D	河川		81,000	西東京	1980
	4	A①	芝久保	D	河川		11,000	西東京	1980
	5	A②	城北中央公園	B	公園		250,000	板橋他	整備中/Ⅰ+Ⅱ期
	6	A②	石神井川上流地下	T	道等		293,000	西東京他	整備中
白子川	7	B①	比丘尼橋上流	D	河川	②↓①	34,400	練馬	1985
	8	B①	比丘尼橋下流	B	河川		212,000	練馬	2002
	9	A②	白子川地下	T	道等		212,000	練馬	2018
神田川	10	A②	神/環状七号線地下	T	道等	①	540,000	杉並他	2007
	11	A②	下高井戸	B	公園		30,000	杉並	整備中/2024部稼
善福寺川	12	A①	和田堀第六	D	公園		48,000	杉並	1983/2007拡充
	13	A②	善福寺川	B	公園		35,000	杉並	2017
	14	A②	和田堀公園	D	公園		17,500	杉並	2024/旧和田堀2+3
妙正寺川	15	A①	妙正寺第一	D	UR+区		30,000	新宿他	1986/合築
	16	A①	北江古田	D	公園		17,000	中野	1986(江古田川)
	17	A②	落 合	B	公園		50,000	新宿	1995
	18	A②	妙正寺第二	B	河川		100,000	中野	1995
	19	A②	上高田	B	公園		160,000	中野	1997
	20	A②	鷺 宮	D	公園		35,000	中野	2013

河川名	No	区分	調節池名	形態	用地	解析	貯留量	設置区市	完成年度/備考
環状七号線地下広域・石神井川区間				T	道等	①	681,000	中野他	整備中
	21	A②	(K-7地下広域	T	道等		1,433,000	杉並他	全体規模)
霞 川	22	B①	霞 川	B	河川	①	88,000	青梅	2006
柳瀬川	23	B③	金 山	D	河川	④	46,000	清瀬	1993/ピオトープ
黒目川	24	B②	黒目橋	B	河+都	①↓④	221,000	東久留米	2018/合築
落合川	25	B②	下谷橋	D	河川		9,500	東久留米	2025
目黒川	26	A②	船入場	B	河川	①	55,000	目黒	1990
	27	A②	荏 原	B	都有		200,000	品川	2001/合築
古川	28	A②	古川地下	T	河川	①	135,000	港他	2017
野川	29	B③	野川第一	D	河川	①↓③	21,000	小金井	1983/ピオトープ
	30	B③	野川第二	D	河川		35,000	小金井	1989
	31	A②	野川大沢池	D	河川		158,000	三鷹	2001/2023拡充
残堀川	32	B①	残堀川	D	国有	①	60,000	立川他	2018
境川	33	B②	境川金森	B	河川	①↓③	151,000	町田	整備中
	34	B②	境川木曽東	B	河川		49,000	町田	整備中
	35	B②	境川木曽西	B	河川		50,000	町田	整備中

注）解析 ①:(修正)合理式, ②:合成合理式, ③:準線形貯留型, ④:貯留関数法 ※貯留量:㎥

注）○形態 D:掘込式, B:地下・箱式, T:地下・トンネル式, ○用地 河川:河川敷, 公園:公園用地, 道等:道路敷・地上権等, UR等:UR・区, 都有・国有:都・国有地, ○部稼:部分稼働 ○本表は計画段階を除く

図−1は，東京都管理の中小河川図に，調節池の配置・計画を追記した．その多くは台地～丘陵部を流れる一・二級河川が該当する．表−1には水系・河川別の調節池の諸元概要のほか，構造形態，用地分類，解析手法を示した[1)~3)]．

本報では調節池の設置経緯や目的から，上位計画に位置づけのある調節池を区分Ａとし，それ以外を区分Ｂと大別したうえ，条件別に細分した．ただし，施設の拡充等に伴い複数の区分に該当する場合もあるため留意を要する．

Ａ：上位の治水計画（年超過確率1/20：大手町・八王子ほか）に位置づく調節池

① 緊急・暫定的に整備された経緯を有する調節池の場合：基本高水流量を河道で処理する河川において，河道整備完了まで長期間を要する上流域等での水害対策として，市街化が急拡大した1970～80年頃に緊急・暫定的に小・中規模の調節池を整備したのち，上位計画に包含された経緯を有する調節池である．

石神井川や妙正寺川などの上流域において，50mm/h対応河道の外書きとして公有地などに小・中規模の掘込式等を整備し，その後に上位計画対応で拡充等が実施されている．なお，神田川などでは中心市街地部での50mm/h河道拡幅の困難さから，調節池に加えて一部で分水路を設置しているが，本報では仔細を省く．

② 上位計画策定時（1988年以降）に新たに計画された調節池の場合：現行の治水計画（年超過確率1/3：大手町ほか）の計画高水流量に対応する河道整備を前提とし，上位計画との差分流量をＡ①を含む調節池等の組み合せにより分担する場合である．新たに中流域での大規模な地下・箱式またはトンネル式で整備が進められており，河川流域を跨いだ治水対策が可能となる施設である．なお，当初はＡ①で検討されたが，上位計画策定後に整備着手した施設は本区分とし，2025年時点で未着手の施設を表−1の対象外とした．

Ｂ：現行の治水計画で既定された調節池

① 既定計画に基づく調節池の場合：調節池効果を加味した計画高水流量の河道計画と施設計画となっている．

例えば，白子川・霞川などでは，50mm/h（合理式等）対応の河道と中・大規模な地下・箱式調節池を同時に整備され，上位計画にも対応できる施設計画を有している．下記②と重複する場合も多い．

② 下流域に他県管理のネック区間を有する場合：県側の河川整備の進捗に照応し，都管理区間の治水水準の早期向上を図るため調節池を先行整備している．調節池は都管理区間の下流域または中流域に設置される．

境川では65mm/h（準線形貯留型・流域対策を含む）対応の河道整備において，河道を下流区間の能力見合いで暫定河床に制限し，調節池の整備完了後に計画河床まで掘り下げる対策を講じている．土地利用状況や上位計画を勘案し，施設形態を中～大規模の地下・箱式で整備しており，上記Ａ②や下記③の区分と重複する場合がある．

③ 長期間にわたり河道整備が困難な場合：本川整備の遅れやネック箇所が存在し，河道整備に長期間を要する中・上流域に設置する調節池などである．野川では65mm/h（準線形貯留型・流域対策を含む）対応で河道整備を先行し，旧河道に小・中規模の掘込式の施設整備となっている．また柳瀬川では50mm/h（貯留関数法）対応の整備に際し，水害が頻発した支川・空堀川の改修促進の観点から，合流点下流に小規模の掘込式調節池を整備している．

３．調節池形態による施設の上部・土地利用並びに配置上の特徴

表−1より，調節池の形態別の上部・土地利用区分は，①堀込式Ｄ：地元自治体が公園等として占用・河川が公園等を占用，②地下・箱式Ｂ：池上部を公園等で占用，③トンネルＴ：道路敷の地下を河川（トンネル）が占用（一部民地の地上権設定），④UR・都有等：河川立体区域制定の先駆けとなる住宅等との協定による合築など，に大別できる．

また施設配置面からは，近接する調節池群や内カーブへの設置など，水理条件や効率的な取水に不向きとも取れる現状もある．しかしながら，水害対策と云う喫緊の課題に対し，高度市街地における用地取得，河川整備の長期化・困難さを鑑みれば，河道の流量配分計画に基づく適切な施設配置であり，各施設の設置時点での最適解の積み重ね結果として，また所定区間での大規模用地の確保を最優先した行政施策として，その妥当性を評価すべき点が多い．

４．まとめ

現状で一見不合理とも見受けられる調節池の配置状況は，高密度な市街地における用地確保の困難さや既存施設の有効活用の結果であった．これらは理論面と別次元の極めて対応困難な実社会での課題解決を優先した経緯を有し，法令の新制度導入への契機となる等の治水対策を推進する際の苦心の跡として，その経緯と位置づけを明らかにした．

注）「年超過確率1/3：大手町，同1/20：大手町・八王子」とは，当該地での1時間50または75・65mm降雨に相当する．

参考文献

1) 建設局河川部：東京の河川事業，東京都建設局，2025.
2) 建設局河川部：東京の河川，東京都建設局，1985.　116p.
3) 建設局河川部：東京の中小河川，東京都建設局，1972.　107p.

キーワード：Urban River, River Management, Flood Control Plans, Regulating Reservoirs, Tokyo Metropolitan Government,

給水・発電・環境流量を統合した Kafue 川流域における多目的最適化フレームワークの構築

東京科学大学　○藪 和史
韓国科学技術院　梶山 青春
国立環境研究所　花崎 直太
東京科学大学　鼎 信次郎

１．はじめに

水力発電に依存する都市の水システムは，気候変動下で複合的な脆弱性を抱えている．ザンビア共和国では 2023/24 年に El Niño 由来の干ばつにより，水力発電量が設計容量の 3〜4 割まで低下し，ルサカ市では 1 日最大 20 時間以上の計画停電が生じた．停電に伴うポンプ稼働制限はルサカ市の給水量低下にも波及し [1]，水・エネルギー複合危機が顕在化した．既往の流域最適化研究 [2]は発電と環境流量を主軸とし，都市への給水を統合的に扱った事例は限られている．また，Kafue Gorge Lower（2021 年運用開始）を含む現行 3 ダム構成下での多目的評価も未だ整備されていない．

本研究では，Kafue 川流域の 3 つの水力発電ダム（Itezhi-Tezhi（以下 ITT），Kafue Gorge Upper（KGU），Kafue Gorge Lower（KGL））とルサカ市への給水を含む都市水システムを対象に，貯水池操作に対する多目的 Pareto 最適化フレームワークを構築する．本稿では，(1) ダムの操作方針が複数の目的の間に生むトレードオフ構造，および (2) 複数目的に対する Pareto 最適解はどのダム操作方針から生まれるか，の二点を明らかにする．あわせて，NRW（無収水）の削減が最適化に与える影響についても考察する．

２．データと手法

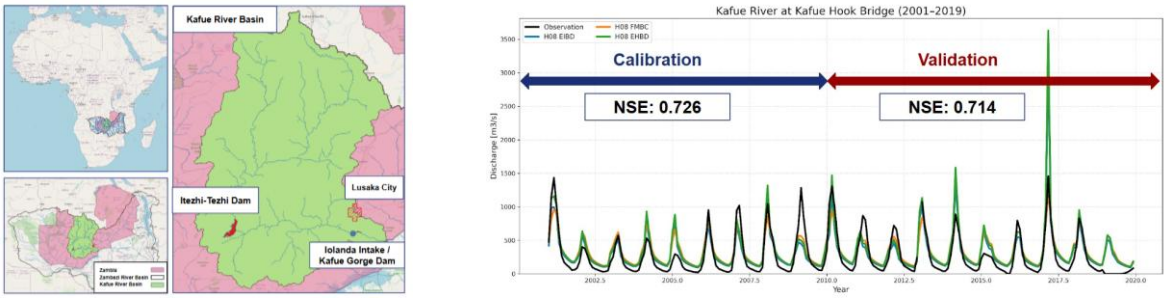
対象流域は Kafue 川（ザンベジ川支流）とし，解析期間は 2001–2025 年とした．水文モデルには全球水資源モデル H08[3]（5 分解像度）を用い，気象外力として ERA5 の気温・比湿・気圧・風速・放射，および降水量はアフリカ大陸での精度 [4]を考慮して RFE v2.0 を用いた．流量検証は Kafue 川流域内の 3 地点（Solwezi Road, Lubungu, Kafue Hook Bridge）で実施し，Nash–Sutcliffe 効率係数（NSE）を基準にパラメータ同定を行った．3 地点のうち最大流量を示す Kafue Hook Bridge について NSE を評価した．

目的関数は次の 5 つとした．f1：ルサカ市給水充足率の長期平均（日次需要を都市人口・都市人口への給水サービスの普及率・NRW から，日次供給を Kafue 川流量・Iolanda 処理場容量・地下水量から算出し，供給/需要比を期間全体（8766 日）で平均），f2：年水力発電量[GWh/yr]．各ダムで $P = \rho g Q H \eta$（Q：タービン通水量，H：落差，$\eta = 0.89$）により日次発電量を算出し，ITT（120 MW），KGU（990 MW），KGL（750 MW, 2021 年 7 月以降）の 3 ダム合計の年積算値とした．f3：年発電量の年々変動係数（標準偏差/平均，値が小さいほど安定），f4：ITT 直下年間基底流量達成率（雨季 100 m³/s，乾季 60 m³/s），f5：3 月の季節増水流量達成率（300 m3/s を 4 週間連続）．

解析対象は，5 つのダム操作方針：S0（現行の rule curve に対する追従係数 [5]），S1（発電優先），S2（給水優先），S3（生態系優先），S4（積極放流）とした．S0 は現行 rule curve に対する追従係数（0.7〜1.33）を，S1 と S4 はそれぞれ乾期（5–10 月）の最低放流量 Q_min（200〜300 m³/s および 250〜310 m³/s）を，S2 は Iolanda 取水点の最低維持流量（100〜150 m³/s）を，S3 は 3 月の季節増水流量目標（250〜350 m³/s）を，各 10 パターンに変化させ，計 50 通りの操作則を構築した．これに需要側介入として無収水削減目標 NRW（55 %（現状）と 35 %の 2 パターン）を組み合わせ，計 100 ケース（5×10×2）を構築した．各ケースについて，ITT ダムの観測放流量・水位から逆算した流入時系列(2001–2024，8766 日)を入力として，各シナリオのダム操作則に従って日々の放流量を決定し，ITT 貯水池の貯水量変化を逐次計算して ITT 放流時系列を得た．次に，Kafue Flats 伝播モデル(遅延 75 日・減衰率 0.92・7 日移動平均で湿地内の貯留と分散を表現)により KGU・KGL 流入を，水力発電式により 3 ダムの発電量を，Iolanda 取水可能量計算によりルサカ給水量をそれぞれ推定し，5 目的を評価した．

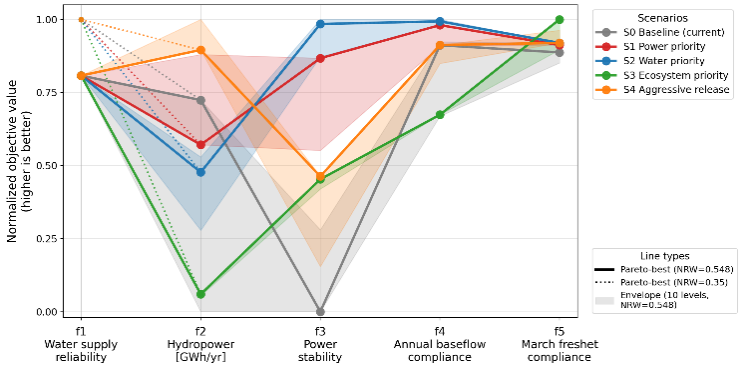
３．結果

図 1 左に対象流域（Kafue 川流域：ザンベジ川支流）の位置と主要施設を，右に Kafue Hook Bridge における観測流量と H08 計算流量の時系列を示す．較正期間（2001–2009 年）では NSE = 0.726，検証期間（2010–2019 年）では NSE = 0.714 を得て，本流域の年々変動および季節変動が概ね再現できることを確認した．図 2 に 100 ケースの評価結果を平行座標プロット [6]で示す．各シナリオ色の半透明帯（envelope）は，現状条件（NRW = 0.548）における 10 種類の操作則パラメータ設定の達成範囲を示す．太線は，各シナリオで 5 目的の正規化値合計が最大となる Pareto 最適解，点線は NRW = 0.35 条件下の代表的 Pareto 解を表す．図より，操作則の違いに応じて，発電量・環境流量・電力安定性の間に明瞭なトレードオフが確認された．一方，NRW 改善条件（点線）では，f1 のみが向上し，他の 4 目的は現状条件の Pareto 最適解（太線）と同程度を維持した．



図–1　（左）対象流域と ITT ダム・KGU ダム・KGL ダム・Iolanda 取水点・ルサカ市の位置.
（右）Kafue Hook Bridge における H08 シミュレーション流量と観測流量の比較.

表 1 に各シナリオの 5 目的バランス最良の Pareto 解における 5 目的評価値を示す．現状条件下では全シナリオで f1=0.90 となり，シナリオ間の差は f2，f3，f4，f5 の 4 目的に集約される．シナリオごとの特徴を見ると，S4（積極放流，Q_min_dry=270）は f2=8398 GWh/yr で全体最大だが，f3=0.236 と発電安定性に劣る．S1（発電優先，Q_min_dry=200）は f2=7302 GWh/yr と f4=0.98 を両立．S3（生態系優先，march_target=317）は f5=1.000 だが f4 が 0.674 まで低下する単目的最適解となる．これに対し S2（給水優先，iolanda_target=133）は f4=1.000，f3=0.172 と最も安定した運用を実現し，5 目的の正規化値合計（バランススコア）も 4.51 で他シナリオを上回る．なお，NRW を 55%から 35%へ削減した場合，全シナリオで f1 が 0.904 から 1.000 に上昇するが，他の 4 目的には影響しない．



図–2　100 ケースの Pareto 評価を平行座標プロット[6]で示す．縦軸は各目的を「上方向ほど望ましい」に正規化(f1・f4・f5: 絶対値, f2・f3: 全現状条件 50 ケースで min-max 正規化, f3 は上下反転).

表–1　各シナリオの 5 目的バランス最良の Pareto 解
(現状条件 NRW=0.548).

シナリオ	f1	f2	f3	f4	f5
S0 現行	0.90	6857	0.257	0.92	0.86
S1 発電優先	0.90	7302	0.186	0.98	0.91
S2 給水優先	0.90	6942	0.172	1.00	0.92
S3 生態系優先	0.90	5777	0.228	0.67	1.00
S4 積極放流	0.90	8398	0.236	0.89	0.92

f1: 給水充足率の長期平均(無次元, 0–1)，f2: 年水力発電量 [GWh/yr]，f3: 発電安定性(年々変動係数, 無次元, 値が小さいほど安定), f4: ITT 直下年間基底流量達成率(無次元, 0–1), f5: 3 月の季節増水流量達成率(無次元, 0–1).

4．まとめ

本研究の結果から，まず操作則方針が 5 目的の間に明瞭なトレードオフを生むことが確認された．5 目的のバランスが最も取れた解は S2（給水優先）から得られ，5 目的のバランススコア 4.51 で他シナリオを上回った．あわせて，需要側介入（NRW 削減 55%→35%）が給水信頼度のみを 0.904 から 1.000 に押し上げ，他の 4 目的には影響を与えないことから，供給側操作則と需要側介入が補完的役割を持つことが示唆された．本研究の意義は，第一に，Kafue 川流域における多目的最適化として，ルサカ市への給水を陽に組み込み，また貯水池操作則（供給側）と無収水削減（需要側）を統合的に扱った点にある．第二に，Kafue Gorge Lower（2021 年運用開始）を含む現行 3 ダム構成下で多目的 Pareto 評価を実施した点にある．今後は，(1) H08 ダム操作モジュールの本実行による発電・流量計算の精緻化と，これに伴う評価ケース数の拡大，(2) NRW 削減コストおよび取水能力拡張オプションを目的関数に加えた最適化の拡張，(3) CMIP6（5 GCM × 3 SSP）および SSP 人口シナリオによる不確実性評価を行う．

参考文献

1) Energy Regulation Board: 2024 Annual Statistical Bulletin, Republic of Zambia, March 2025.
2) Arias, M.E. et al.: Future hydropower operations in the Zambezi River basin: Climate impacts and adaptation capacity, River Research and Applications, Vol.38, No.5, pp.926–938, 2022.
3) Hanasaki, N. et al.: An integrated model for the assessment of global water resources – Part 1: Model description and input meteorological forcing, Hydrology and Earth System Sciences, Vol.12, pp.1007–1025, 2008.
4) Mekonnen, K. et al.: Accuracy of satellite and reanalysis rainfall estimates over Africa: A multi-scale assessment of eight products for continental applications, Journal of Hydrology: Regional Studies, Vol.49, 101514, 2023.
5) World Bank: The Zambezi River Basin: A Multi-Sector Investment Opportunities Analysis, World Bank Africa Region, Water Resources Management, June 2010.
6) Owusu, A., Zatarain Salazar, J., Mul, M., van der Zaag, P., Slinger, J.: Quantifying the trade-offs in re-operating dams for the environment in the Lower Volta River, Hydrology and Earth System Sciences, Vol.27, pp.2001–2023, 2023.

キーワード：Multi-objective optimization, Pareto frontier, Hydropower, City Water supply, Kafue River

水文（気象）条件に対応した灌漑面積変化の水資源モデルへの導入

芝浦工業大学大学院　理工学研究科　　○相京雄大
国立環境研究所　気候変動適応センター　　花崎直太
芝浦工業大学　工学部土木工学課程　　平林由希子

１．はじめに

気候変動下において，食料安全保障と水資源の持続可能性を両立することは重要な課題である．途上国における人口増や食の多様化により食料生産の大幅な増産が求められる一方，水資源という物理的制約が表面化しており，時空間的な水需給を整合的に評価する枠組みが不可欠となっている．この評価には全球水資源モデルが有用であるが，従来のモデルでは灌漑農地面積を特定の年に固定したり 5 年刻みの空間分布データを与えているものが多い[1]．しかし，現実の農家は干ばつ等の水資源の年々変動に応じて作付面積を調整するなど適応行動をとっており，これを無視すると気候変動下の水不足リスク，および食料生産評価に偏りが生じる恐れがある．既往研究[2]では，パキスタン・インダス川流域東部において，前年の河川流量と当年の作付面積の遅延相関を示し，これを水文モデルに組み込むことで取水量推計を改善した．一方で，この関係が他地域にも適用可能かは十分に検証されていない．

そこで本研究では，中国の主要 3 流域を対象に，インダス川流域で示された水文気象要素と灌漑農地面積変化の関係が他地域でも成立するかを調査した．さらに，得られた関係を用いて灌漑農地面積の反応を反映したデータを作成し，全球水資源モデル H08 に導入することで，河川流域の貯留量推計への影響を分析した．

２．手法・使用データ

本研究では，全球水資源モデル H08（空間解像度 0.5°）を用い，2000 年~2018 年を対象にシミュレーションを行った．気象強制力には H08 の標準のものである WATCH Forcing data ERA-Interim (WFDEI)を用いた．

灌漑農地面積の年々変動の抽出には，中国の年次灌漑マップ IrriMap_Syn[3]を用い，これを流域単位で集計して毎年の灌漑農地面積とした．IrriMap_Syn は 2000 年から 2019 年までの 20 年間をカバーし，MODIS データ，統計データ，既存の複数灌漑データセットや土地被覆製品を統合した 500m 解像度のマップである．

初めに，中国の主要 3 流域（長江・黒竜江省・黄河）を対象に，水文気象変動に対する灌漑農地面積の応答解析を行った．説明変数として，降水量は WFDEI の流域平均値を，河川流量・地下水量には H08 のモデル出力（河川流量：流域最大ダム位置流量，地下水量：地下水涵養量の流域平均）を用いた．長期トレンドの影響を排除するため両系列から線形トレンドを除去したうえで，ピアソン相関係数 R と p 値を算出した．対象期間が 19 年間と短いため，$p<0.10$ を有意とし，相関が最も高い変数をその流域の灌漑面積を説明する支配的要因（dominant driver）であると仮定した．

次に，特定された支配的要因に基づき，H08 に入力する灌漑面積を毎年の水文（気象）条件に応じて動的に更新するアルゴリズムを実装した．具体的には，年 t の面積を入力する際，支配的要因となった水文量を W として，変動比率 $Ratio = W_{t-1}/mean(W_{t-3}, W_{t-2}, W_{t-1})$ を計算し，前年の面積に乗じることで更新した．この動的更新したケースの効果を確認するために，全期間で灌漑面積が変動しない固定ケースとの比較を行った．

３．　結果

長江流域では，前年の河川流量，降水量および地下水涵養量が，いずれも灌漑面積変動と有意に相関しており，前年の水文状況が灌漑面積変動に先行して影響していることが示された（表 1，図 1）．このうち，前年の河川流量が最も高い相関を示したため，本研究では長江流域における代表的な支配要因として採用した．これは，同地域で稲作が卓越し，河川水を利用することが多い湛水型灌漑であるためと考えられる．一方，黒竜江省および黄河流域では有意な支配要因は認められなかった．特に黒竜江省では，対象期間中に灌漑面積が大幅に拡大しており，その変化には耕地拡大や営農条件の変化などが含まれている可能性がある．したがってこれらの流域では，過去の灌漑

面積変動を単一の水文要因だけでは十分に説明できない．

次に，水文（気象）条件と灌漑面積に有意な相関がみられた長江流域を対象に，前年の河川流量の変動比率に基づく灌漑面積更新手法を H08 に実装し，GRACE 衛星観測に基づく陸水貯留量(TWS)アノマリ [4]との比較を行った（図 2）．図から，H08 のシミュレーション結果は GRACE 観測による TWS の季節ピークのパターンを概ね再現している．しかし，2012 年以降において，観測値とシミュレーションとの差が年を追うごとに拡大している．これは，2012 年以降の向家壩ダムや渓洛渡ダムなどの大規模ダム群による貯留量増加が，モデルで考慮されていないためと考えられる．

灌漑面積を動的に更新したことによる TWS の差異に着目すると，TWS アノマリが負になる時期において，灌漑面積を変化させたケースは固定ケースよりも TWS 低下が緩和されている．両シミュレーション結果の差分を分析した結果，例えば 2016 年においては，変化させたケースの方が，年平均で 8.14mm の水を流域内に保持していた．すなわち，平年よりも河川流量が少ない年は灌漑面積が縮小することで水需要を減らし，取水量が減ることで流域内の水消費が減少している，この差は同年の TWS の季節変動の全振幅の約 5.1%に相当する．

表 1　中国 3 流域における灌漑農地の支配的要因

	河川流量	降水量	地下水涵養量
長江	0.506 (p=0.027)	0.470 (p=0.042)	0.456 (p=0.050)
黒竜江省	0.138 (p=0.573)	0.131 (p=0.594)	0.220 (p=0.365)
黄河	−0.158 (p=0.518)	−0.248 (p=0.305)	0.085 (p=0.729)

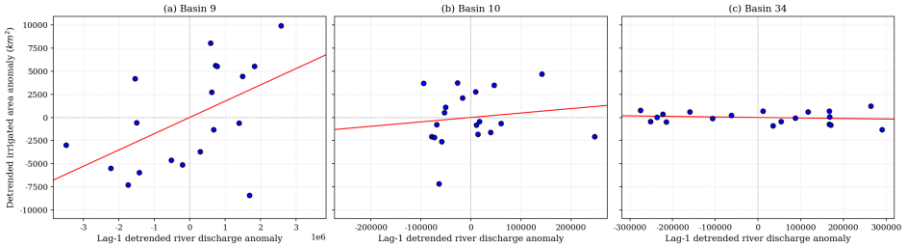


図 1　前年の河川流量に対する灌漑農地の反応（左から長江，黒竜江省，黄河）

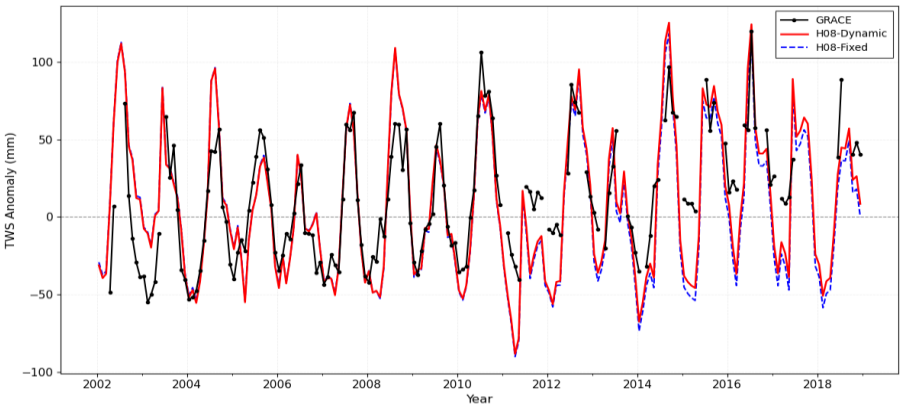


図 2　長江流域における貯留量変化（黒：観測，赤：動的変化，青：固定）

4．まとめ

本研究では，インダス川流域で示された水文気象量と灌漑農地面積の関係が他地域でも見られるかを調査し，中国の主要 3 流域を事例として分析を行った．その結果，長江流域では，前年の水文量（河川流量，降水量，地下水涵養量）と灌漑面積が有意に相関し，特に前年の河川流量と最も高い相関を示した．一方で，黒竜江省および黄河流域では有意な関係を認められず，灌漑農地面積を単一の水文要因だけでは十分に説明できなかった．さらに，長江流域を対象として，前年の河川流量に基づく灌漑面積更新手法を H08 に導入した．近年の大規模ダム開発の影響によりモデルと GRACE の直接的な精度比較には課題が残るものの，灌漑面積を更新した結果，固定ケースに比べて貯留量の低下が緩和された．

参考文献

1) Siebert, S., Kummu, M., Porkka, M., Döll, P., Ramankutty, N., Scanlon, B. R.: A global data set of the extent of irrigated land from 1900 to 2005, Hydrology and Earth System Sciences, Vol. 19, No. 319 巻, 3 号, pp. 1521–1545, 2015.

2) Umer, M., Hanasaki, N., Gopalan, S. P., Ali, Z., Oki, T.: Incorporating dynamic crop area in hydrological model to address interannual variability in water withdrawal and implication of sustainable water management, Journal of Hydrology, Vol. 661, p. 133778, 2025.

3) Zhang, C., Dong, J., Zuo, L., Ge, Q.: Tracking spatiotemporal dynamics of irrigated croplands in China from 2000 to 2019 through the synergy of remote sensing, statistics, and historical irrigation datasets, Agricultural Water Management, Vol. 263, p. 107458, 2022.

4) GRACE-FO, D. N. W.: JPL GRACE and GRACE-FO Mascon Ocean, Ice, and Hydrology Equivalent Water Height JPL RL06.3Mv04 [Data set], NASA Physical Oceanography Distributed Active Archive Center, https://doi.org/10.5067/TEMSC-3MJ634, Data Accessed: 2026/03/09.

キーワード：Irrigation cropland, Global Hydrological Model, Farmer Adaptation, GRACE-FO

都市取水モデル HydroUrbanMap の実データ検証に基づく体系的乖離の分析

東京科学大学 環境・社会理工学院 ○真庭唯花
東京科学大学 環境・社会理工学院 藪和史
韓国科学技術院　梶山青春
東京科学大学 環境・社会理工学院 鼎信次郎
国立環境研究所 花崎直太

１．はじめに

近年，急速な都市化と気候変動の進行により，世界の都市が直面する水不足は深刻化している．都市人口の集中は水需要を増大させる一方，降水パターンや蒸発散の変化は水資源の変動性を高めている．その結果，多くの都市で水ストレスが顕在化し，利用可能な淡水資源が枯渇する「Day Zero」の回避が現実的な課題となっている．

このような状況の中で，水資源リスクを全球スケールで評価・将来予測する重要性が高まっている．全球水資源モデル（GHMs）は，水供給と需要を定量的に評価する上で重要な役割を担ってきた．これらのモデルは格子ベースで水資源を計算するが，近年の高解像度化（約 5 分解像度）により都市スケールでの解析が可能となった一方で，都市域と水源が異なる格子に分離される問題が生じている．その結果，導水インフラを明示的に考慮しない現行モデルでは，都市の水不足が過大評価される可能性がある [1)]．この問題に対応するため，HydroUrbanMap（HUM）が開発され [2)]，全球的に一貫した枠組みで都市境界と取水地点の推定が行われているが，実データとの比較による十分な検証がなされていない．

そこで本研究では，モデル推定結果と実際の取水構造を実証的に比較することで，既存モデルが捉えきれていない現実的な取水条件を明らかにし，都市取水モデルの高度化に向けた指針を提示することを目的とする．

２．研究手法

(1) 既存の都市取水モデル HydroUrbanMap

HUM は，地球全体を約 10 km × 10 km のグリッドに分割し，一般的な仮定に基づいて都市の取水地点をグリッドセル単位で自動推定するモデルで，以下の 3 ステップで都市の取水地点を推定する．①人口データから都市を構成するグリッドセルの集合を特定し，都市域を定義する．②都市域を流下する河川の都市域内最上流セルを都市域内の取水地点として推定する．③都市域から 100km 以内のグリッドセルを探索し，年間平均流量が大きく，かつ都市内取水地点より標高が高いグリッドセルを都市域外の取水地点として推定する．ただし，取水量の代理指標として年平均河川流量を使用し，その取水量が都市全体の取水量の 5%に満たない場合は取水地点候補から除外する．

(2) 実取水データ

地理・気候・社会条件の異なる 10 都市（東京，パリ，ニューヨーク，シアトル，ケープタウン，イスタンブール，チェンナイ，ダルエスサラーム，ルサカ，バンコク）を対象都市として選定した．公的統計や水道事業者の報告書等に基づき，取水地点，取水量，水源および供給インフラに関する実データを収集・整理した．

調査した実取水地点とモデル推定取水地点を地図上で重ね合わせ，水源河川の一致を基準にモデルの推定精度を評価した．この比較により，モデルが適切に都市取水構造を再現できている条件と，再現できていない条件を分析し，乖離の要因を明らかにした．

３．結果：共通的乖離と修正指針

比較分析の結果，複数都市に共通する 4 つの体系的乖離が確認された．各乖離の実証的根拠とそれに基づく修正指針を以下に示す．

第一の乖離は，遠方水源の未推定である．ニューヨーク・イスタンブール・チェンナイでは，取水距離 100 km を超える遠方水源が総取水量の 92.7%・35.8%・47.5% をそれぞれ担うことが確認された（図-1）．しかし HUM は探索を 100 km 以内に制限しているため，水供給の中核を担うこれらの遠方水源が探索対象から除外される．この乖離に対し，100 km 以内で需要が充足されない場合に 200 km・300 km と段階的に探索範囲を拡張する需要充足型の枠組みを提案する．

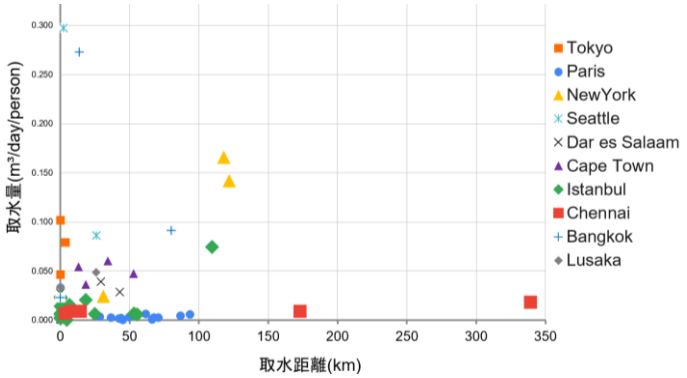


図-1　対象 10 都市における取水距離と取水量の関係．

第二の乖離は，季節変動を反映しない指標による誤選定である．チェンナイでは，HUM が候補として選定する Ponnaiyar 川が雨季のみ流量をもち乾季にはほぼ枯渇するため，実際の水供給には使用されていない（図-2）．年平均流量では乾季の実態を反映できず，年間を通じた安定供給が困難な水源を誤選定してしまう．そこで，年間の 90%の日数で超過される流量 Q90 から環境流量を差し引いた有効取水可能量を指標として用いることを提案する．これにより，季節変動の大きい河川を実態に即して低評価できる．

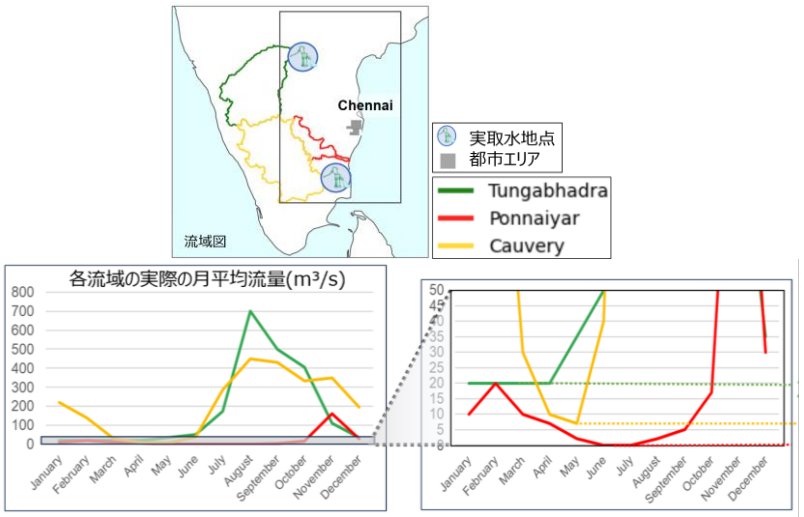


図-2　チェンナイ各流域の実際の月平均流量．

第三の乖離は，上流位置の非考慮による誤選定である．ニューヨークは水質確保のため上流域の貯水池を主要水源とし，ケープタウンは雨季の降水を上流ダムに貯留し，乾季に供給する構造をとる．いずれも流量の絶対値だけでなく上流位置であることが選定基準となっているが，HUM は年平均流量が最大の地点を選ぶため，流量の小さい上流は選定されない．この乖離に対し，有効取水可能量と上流位置の両方に重みを付けた複合評価指標を用いて都市外取水地点を選定することを提案する．

第四の乖離は，周辺環境制約の非考慮による誤推定である．ある都市の取水地点を探索する際，HUM は周辺の他都市域や地形的障壁を考慮しないため，実際には利用されない水源が候補として誤推定される．実データを確認すると，全 10 都市において他都市域内に位置する水源からの取水は行われておらず，また先進国都市では主要山地を越えた位置からの取水も確認されなかった．この乖離に対し，他都市の都市域内を探索対象から除外するとともに，先進国都市では地球規模の山地分布データを用いて主要山地越えの探索を制限することを提案する．

4．まとめ

本研究は，実データとの比較分析を通じ，既存の都市取水モデル HUM が持つ 4 つの構造的仮定（100 km 距離制約・年平均流量指標・流量単一評価・周辺環境の非考慮）に起因する体系的乖離を 10 都市の実証データに基づいて明らかにした．提案した修正指針はいずれも複数都市に共通する実取水特性に基づいており，高解像度 GHMs による都市水不足評価の現実性・信頼性向上に貢献するものである．

参考文献

1) 加藤ら，全球水資源モデル H08 を用いた大都市における 5 分水平解像度水需給推定，土木学会論文集 B1(水工学), Vol.77, No.2, p.217-222, 2021.

2) Kajiyama K., Hanasaki N., Kanae S., City boundaries for global urban water scarcity assessment, Scientific Data, Vol.13, Article No.657, 2026.

キーワード：都市取水モデル，HydroUrbanMap，水資源，全球水資源モデル H08

仮想貯水池における出穂期の事前放流の空振りが水稲の減収に与える影響評価

東北大学大学院工学研究科　○池本敦哉　風間聡

１．はじめに

気候変動に伴う豪雨頻度の増加により，洪水被害が激甚化・頻発化している[1]．洪水被害軽減のため，流域治水として既存インフラの高度利用が期待されている[2]．新規ダム建設に関する制約から，農業用貯水池に治水機能を付与する対応は不可避である．農業用貯水池において事前放流の実施による治水効果が示されているが，治水利用は本来の目的と異なるため，治水および利水の運用ルールを単一の貯水容量内で競合させる要因になる．さらに，事前放流は治水容量確保のための適応策であり，数値予報の予報誤差が実施判断を困難にするとされている[3]．事前放流実施後において，予測した降雨が生じない場合，利水容量の回復不全から灌漑用水不足が生じる，事前放流の空振りが生じる．洪水被害の軽減と収量被害の軽減を両立するため，事前放流の空振りが収量に与える影響を定量評価することが重要である．しかし，農業用貯水池を対象とした場合，その水文情報が未観測であることが多く，既存の確率論的研究は個別地点の最適化に留まっている．先行研究における評価は，洪水被害軽減に焦点を当てており[4]，収量維持のために妥当な貯水池操作や収量に生じる影響について定量的に議論されていない．そこで本研究は，日本全国に点在する農業用貯水池を想定し，事前放流操作が水稲の収量に与える影響を評価することを目的に，仮想的な貯水池を設定し，水収支計算ならびに水稲の収量計算を実施した．

２．方法

小規模農業用貯水池におけるデータの欠落は，各貯水池の水収支評価を制限する要因になる．そのため，仮想貯水池を各グリッドに設定し，パラメータ実験を実施した．仮想貯水池の採用により，実測値の存在しない施設群を直接の対象とせず，物理的に成立し得る諸元の範囲を定義した．シミュレーション対象は，農業用貯水池のデータに基づき，貯水池が存在する地点に限定し抽出した．

気象データとして，過去実験に基づく大規模アンサンブル気候予測データセット d4PDF[5]より計 200 年分のデータを採用した．空間解像度 20km の日別データを用いた．各データセットから日最高気温，日最低気温，日降水量，参照作物蒸発散量を読み込み，入力値とした．参照作物蒸発散量は FAO-56 Penman-Monteith 式より算出した．日射量，風速，気温の各物理パラメータを反映した計算は，水収支評価の精度を高度に担保した．算出された気象値を AquaCrop に入力した．参照作物蒸発散量の動的閾値に基づく間欠灌漑ロジックと仮想貯水池モデルを統合した．土壌プロファイルは粘土質に設定し，深さ方向に 12 層を定義した．全層において飽和透水係数 Ksat を日あたり 15.0mm，排水係数 tau を 0.2 とした．永久しおれ点 thWP を 0.24 から 0.30，圃場容水量 thFC を 0.40 から 0.45，飽和体積含水率 thS を 0.50 に固定した．作物の生育フェノロジーは有効積算温度により管理した．農林水産省の統計に基づき，地域別に有効積算温度の閾値を決定した．各メッシュにおいて 60 回の探索を実施し，空間パラメータを最適化した．当該プロセスは，目標到達日数 55 日との誤差を最小化した．最適化により，モデルの頑健性を担保し，各地域の気候実態に対する再現性を向上させた．最適化されたモデル上で具体的な水管理方法を定義した．

移植前から落水期に至るまで，生育段階に応じた水位目標を設定した．移植 7 日前から移植前日までの代かき準備期は，目標水位を 0mm から 40mm まで線形に増加させた．活着期は 40mm，通常期は 20mm を目標とした．キャノピーカバーが最大値の 80 パーセントに達した時点で中干しを開始した．土壌水分減少率が 0.40 に達した時点で中干しを終了した．出穂開花期以降は目標水位を 40mm とし，出穂後 35 日で落水期へ移行した．蒸発散需要に基づく間欠灌漑制御を，仮想貯水池の水収支制約下で実行した．

集水域に対する灌漑面積の大きさ（集水比）と単位貯水力を組み合わせた 25 パターンの仮想シナリオを設計した．集水比は全国統計のパーセンタイル値に基づき，1.75157，2.10340，3.09894，11.24497，13.37865 の 5 水準とした．単位貯水力は 1ha あたり 33,333.3，20,000.0，24,000.0，22,000.0，17,073.2m^3 の 5 水準とした．最大の治水効果

を想定するため，事前放流により善良の水を放流した．開花期前後の有効積算温度 150 度の期間における水不足は，収穫指数 HIadj の非線形な崩壊を誘発する．そこで，出穂開始日前後の 150 度の期間をクリティカルな対象範囲として定義した．一様分布を用いたモンテカルロシミュレーションを適用し，この期間内における事前放流の実施日を決定した．構築した手法全体を統合し，事前放流が収量の減収に与える影響を定量化した．

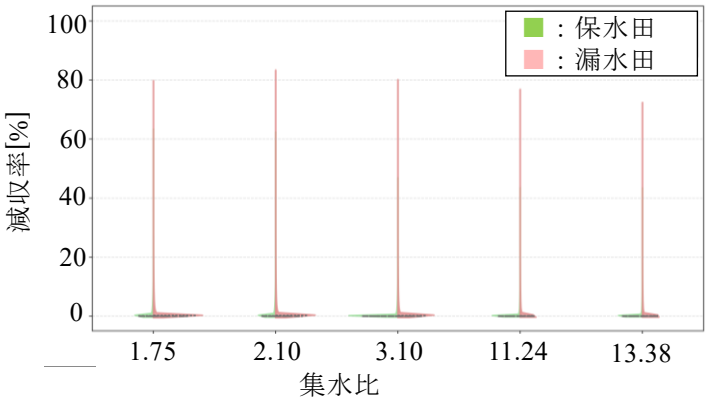


図 1　集水比と減収率の分布

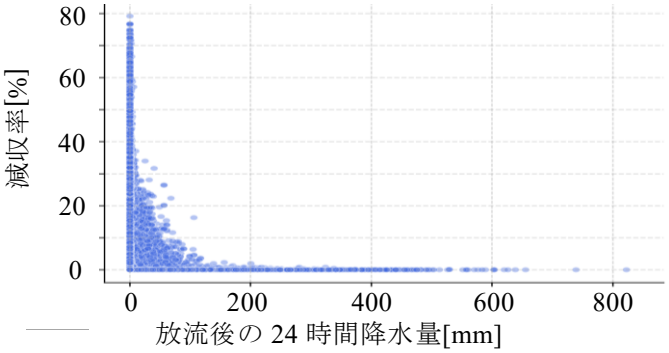


図 2　放流後の降水量と減収率の関係

3．結果および考察

図 1 に，集水比と減収率の分布を示す．保水田において，集水域に対する灌漑面積の大きさ最小値の 1.75 から最大値の 13.38 まで拡張させた結果，減収率は 0%から 40%の範囲に分布した．集水比の増加に伴い，分布の最頻値および中央値は 0%近傍へ収束した．一方，漏水田において，集水比を増加させた場合，減収率が 80%近傍に到達した．集水インフラの規模拡張は，土壌の保水性が高い条件下において減収リスクの抑制に寄与した．しかし，漏水性の高い土壌条件下においては，インフラを最大規模に拡張しても極端な気象条件下における深刻な減収を回避できない物理的限界が示された．減収リスクの最小値は，農業用貯水池土壌の物理的特性により規定された可能性がある．

図 2 に，放流後の降水量と減収率の関係を示す．事前放流後の降水量が 20mm 未満の領域において，減収率 60%から 80%を示すケースが密集した．降水量が 200mm を超過したケースにおいて，減収率が生じない結果が比較的多く確認された．イベント期間中の降水量確保は，減収回避の要因であるものの，絶対的な安全条件にならない．降水量が 100mm に達しても深刻な減収が生じる事例の存在は，事前放流による貯水量の損失が回復不可能な水ストレスによる減収を引き起こした可能性を示している．

4．おわりに

本研究は，事前放流操作が水稲の収量に与える影響を評価することを目的に，減収被害を定量化した．結果，土壌特性が減収を規定し，貯水池の規模拡大や事前放流後に多雨が生じても空振りの回避に限界があることを示した．今後，減収被害が生じたケースにおいて，現業の予報値が有する誤差特性を考慮し，定量化する必要がある．生じうる被害を確率論的に議論することにより，事前放流の実施と放流量の意思決定に資する．

【謝辞】　本研究は，JSPS 科研費 JP24KJ0427 の助成を受けた．加えて，文部科学省「変動地球共生学卓越大学院プログラム」の支援を得た．ここに記して，感謝の意を示す．

参考文献

1) Zhao et al : A framework for quantifying climate-informed heavy rainfall change: Implications for adaptation strategies, *Science of The Total Environment*, Vol.835,2022.
2) 下坂ら：既存ダム群の洪水調節機能向上のための新しい放流方法の提案，水工学論文集，vol.52，2008.
3) 藤田ら：全国多目的ダムにおける気象庁 MSM・GSM の事前放流への利用可能性，土木学会論文集 B1（水工学），vol.77，pp. I_85–I_90.
4) Ikemoto et al. : Evaluation of an adaptation strategy for flood damage mitigation under climate change through the use of irrigation reservoirs in Japan, *Water Resources Management*, vol.37, pp.4159–4175, 2023.
5) Mizuta et al.: Over 5,000 Years of Ensemble Future Climate Simulations by 60-km Global and 20-km Regional Atmospheric Models, *Bulletin of the American Meteorological Society*, Vol.98, No.7, 2017.

キーワード：Irrigation reservoir, Water resources, Crop yield, Flood control

秩父の森の多面的機能の定量評価

株式会社　建設技術研究所　○大八木豊，福田裕恵，金目達弥，田中裕士，永井椋，後藤颯太，山田夏希
ミドリク NbS 株式会社　関隆史
秩父市産業観光部先端技術推進課　笠井知洋
大正大学情報科学部　竹内えり子

１．はじめに

我が国は，温室効果ガスの削減や自然環境の保全等の環境対策を実践しつつ，経済成長と社会の持続可能性を両立させるグリーン社会の実現を目指している．グリーン社会に不可欠な森林は，水源涵養，温暖化防止等の多面的機能を有しており，地域の生活・経済に大きく貢献している．このような機能を持続的に発揮していくためには，間伐等の森林整備を実施する必要があり，円滑に整備を進める上で森林の多面的機能の定量評価が求められている．

本研究は，グリーン社会の実現に向け，先端技術やデジタル技術を活用した森林の多面的機能の評価手法を確立し，森林資源の可視化と多様な収益手法を組み合わせた持続可能な事業スキームを構築することを目的とする．本論文では，荒川上流の秩父地域を対象に実施した森林の価値に関するアンケート結果や森林の多面的機能の評価結果を報告する．

２．研究対象地域

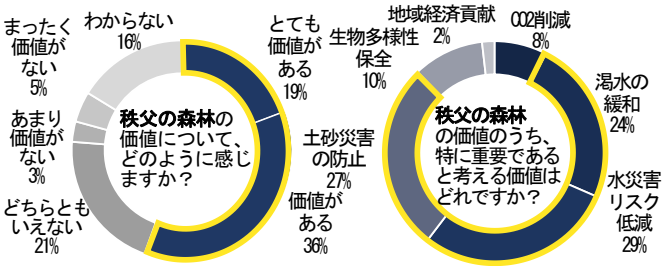
荒川は，我が国の政治・経済の中枢機能を有する東京を貫流する，幹線流路延長 173km，流域面積 2,940km^2 の一級水系である．流域内人口は約 976 万人，流域の資産は約 188 兆円に及ぶ．また，荒川は，東京都・埼玉県の約 1,500 万人の水道用水を供給している．本研究対象の秩父地域は，荒川流域の森林の約 54%を占め，4 基のダムが整備されており，重要な水源地域となっている（**図-1**）．



図-1　研究対象地域位置図

３．秩父の森の価値に関するアンケート調査

秩父の森に対する住民の意識を把握するため，Web 調査会社の首都圏在住者の登録モニターを対象に，アンケート調査を実施した．調査結果を**図-2** に示すとおり，回答者の半数以上（55%）が「とても価値がある」，「価値がある」と回答があった．水災害リスクの緩和，土砂災害の防止，渇水の緩和といった防災・減災機能や水源涵養機能に高い価値が認められている．この結果を踏まえ，以下の機能を定量評価した．



右図：秩父の森林の価値のうち，特に重要であると考える価値について，重要であると考える順に第 1 位，第 2 位と順位をつけて回答を求めた結果のうち，1 位を集計したもの．

図-2　アンケート調査結果

４．水源涵養・流出抑制機能の定量評価

森林の水源涵養・流出抑制機能の評価には，陸面過程モデル SiBUC[1)]，地下水モデル及び河道流下モデルから成る陸域水循環モデル [2)]を使用した．SiBUC の基底流出量は，地下水モデル（1 段タンクモデル）に貯留させた後，貯留水の一部を地下水流出として流出させた．SiBUC の表面流出量と地下水流出量を落水線に沿った河道流下モデルに入力し Kinematic Wave 法で河川流量を逐次計算した．

対象流域のメッシュスケールについては，流域内の河川の流出特性を再現するために 1km メッシュを採用し，流域を 796 メッシュに分割した．森林簿に登録された林班毎の樹種，林齢，整備状況等の情報を取得し，他県の現地調査 [2)]で得た土壌水分特性及び透水係数を SiBUC に反映した．森林を含む土地利用のパラメータは，100m メッシュで整理し，加重平均値を設定した．モデルの実行に必要な水文気象データは，降水量，気温，風速，比湿，地上気圧等であり，流域内の気象庁の観測所のデータを使用した．森林の多面的機能（森林整備効果）の評価にあたり，埼玉地域森林計画の目標間伐面積（県合計）を各市町の森林面積で案分し，秩父地域で 9,200ha を間伐することを想定した．間伐実施想定箇所は，林道から 400m 以内かつ勾配 40 度未満の間伐未実施の人工林を対象とした（**図-3**）．

2014 年 1 月 12 日～2023 年 12 月 31 日を対象に，構築した陸域水循環モデルを用いて「森林整備シナリオ（**図-3** の■を整備）」と「森林荒廃シナリオ（**図-3** の■が荒廃）」の河川流量を算定した．赤平川合流点における 2019 年（洪水年）の森林整備による河川流量の変化を**図-4** に，2017 年（渇水年）の森林整備による流況の変化を**図-5** に示す．

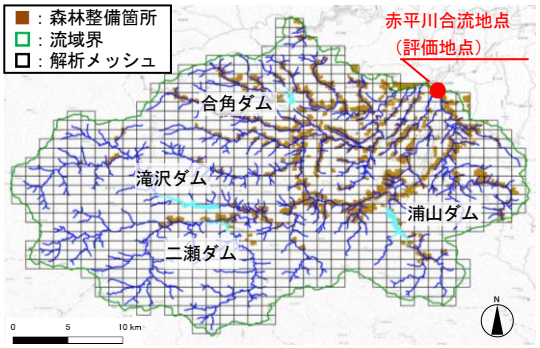
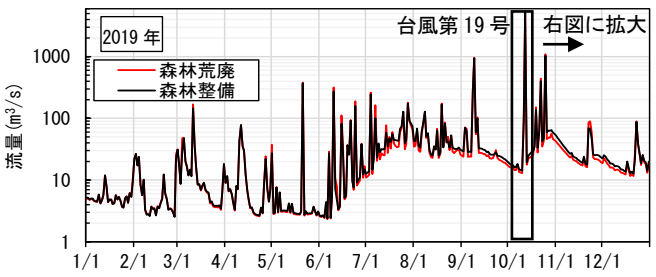


図-3　間伐実施想定箇所位置図

図-4 から 2019 年台風第 19 号時に，森林整備により河川流量が約 50m³/s 減少していることが分かる．これは，流域内の浦山ダムの治水容量の 1/6 に相当する 430 万 m³ を貯留していることから，森林整備の効果は大きいと言える．また，**図-5** から森林整備により赤平川合流点の渇水流量が約 0.7 m³/s（約 6 万 m³/日）増加していることが分かる．これは，東京都約 20 万人の上水道給水量に相当することから，森林整備の効果は大きいと評価できる．



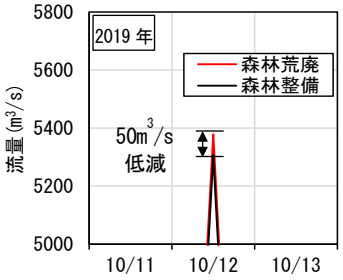


図-4　森林整備による河川流量の変化

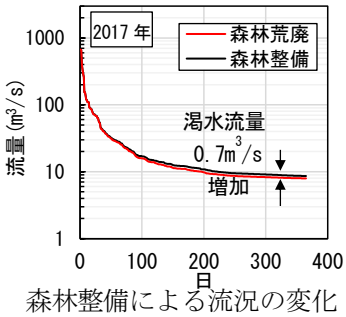


図-5　森林整備による流況の変化

５．土砂流出抑制機能の定量評価

森林の土砂流出抑制機能の評価には，土地改良事業設計指針 [3]で採用されている USLE 式を使用した．この式による土砂流出量は，6 つの係数（降雨係数，土壌係数，斜面長係数，傾斜係数，植被係数，保全係数）の積で算出される．土砂災害警戒区域では，森林整備に加えて筋工設置等の土砂災害対策を行うものとし，保全係数等を変更した [4]．上記４．と同じシナリオで土砂流出量を算定した結果，森林整備等により 2019 年台風 19 号時に約 16 万 m³ の土砂流出が低減した．直轄砂防区域の砂防ダムの計画堆砂量が約 9 万 m³ であることから，この効果は砂防ダム 1.8 基分に相当する．

６．生物多様性の保全機能の定量評価

本研究では，森林整備による生物多様性の違いを確認するため，2025 年 10 月 24 日に間伐実施箇所と未実施箇所において，水域・陸域を対象に環境 DNA を調査した．水域ではドローン，陸域ではペイントローラーを用いて採取した．環境 DNA を分析した結果，森林整備による生物相の大きな違いは見られず，哺乳類 14 種，鳥類 13 種，魚類 2 種，両生類 2 種の合計 31 種（重要種 11 種）を確認した．両者に大きな違いがなかった理由として，間伐未実施箇所が完全にうっ閉した状況ではなく，適度に日光が入る森林であったこと等が考えられる．

７．まとめ

秩父地域を対象に，樹種，管理状況別の土壌水分特性を反映した陸域水循環モデル等を用いて森林の多面的機能を定量評価した．この結果，森林整備により洪水流量や土砂流出量を減少させるとともに，渇水流量を増加させるなど流況を安定化させる効果を確認した．水域・陸域で環境 DNA 調査を行い，秋季 1 回の調査ではあるが 31 種の生物種を確認した．今後，森林資源の可視化と多様な収益手法を組み合わせた持続可能な事業スキームを検討する予定である．

参考文献

1) Tanaka K：Development of the new land surface model scheme SiBUC commonly applicable to basin water management and numerical weather prediction model, doctoral dissertation, Kyoto University, 2004.
2) 大八木豊，田中裕士，芝本和孝，辻倉裕喜，田中賢治：琵琶湖・淀川流域における森林整備効果の定量評価，土木学会論文集，82 巻，16 号，25-16084，2026.
3) 農林水産省：土地改良事業計画指針 農地開発（改良山成畑工），1992.
4) 北原曜：植生の表面侵食防止機能，砂防学会誌，54 巻，5 号，pp.92-101，2002.

キーワード：森林整備，多面的機能，陸域水循環モデル，SiBUC，環境 DNA

ダム貯水池がもたらす水安定同位体比の河川分断の評価

岐阜大学応　○吉岡有美
北陸先端科学技術大学院大学　　吉岡秀和

１．はじめに

水の酸素・水素安定同位体比は，平衡同位体分別とよばれる作用によって降水の同位体比が時空間的な変動特性を有することに着目して地下水や河川水の起源，水の移動経路や混合過程の推定などに利用される，水循環評価に適したトレーサーである．地表面では蒸発する過程でより重い同位体が優先的に残留し，同位体比が上昇する動的同位体分別が生じる．大型の水理構造物であるダムによって河川の上下流では，魚類をはじめとする河川流域の生物多様性が分断する「河川分断」を引き起される．本研究はダム貯水池による同位体比の「河川分断」，ダム上・下流での降水の時空間変動に基づく河川水の同位体比がどのように変容するかの評価を目的とした．

２．研究対象地

複数の一級河川に設置されたダムの上・下流での河川水採水調査を実施した．調査地概要を図-1 に示す．国内最大規模の総貯水量を有するダム A と下流のダム B およびム C のダム群については，ダム流入河川水，ダム貯水池表層水（ダム A)，ダム放流水，下流河川水を採取した．他県のダム D については，流入河川水とダム放流水を採取し，ダム E とダム F については，約 12 km 上流，25 km 下流の地点で河川水を採取した．大型ダムであるダム D は，洪水調整，不特定利水，水道用水等の供給を目的とし，ダム A およびダム E はこれらに加えて発電目的も有するも多目的ダムである．

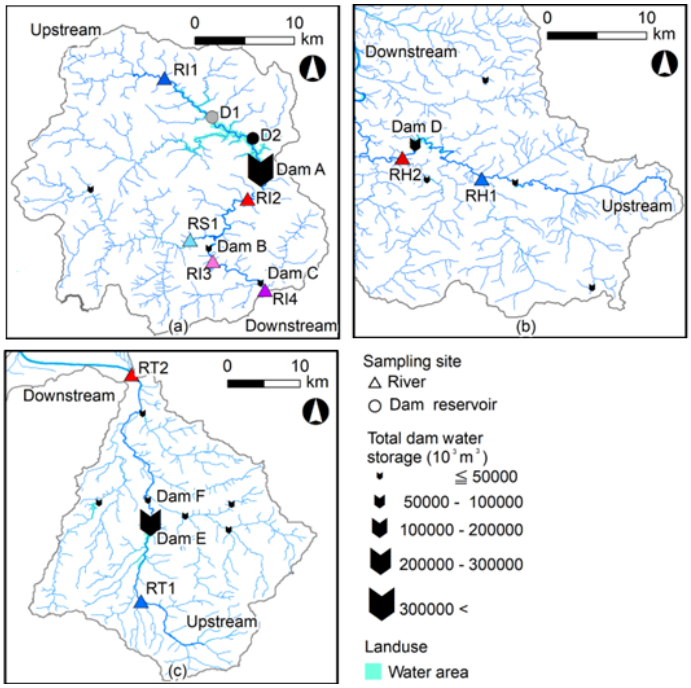


図-1　調査地概要

３．研究および考察

酸素の安定同位体比（$\delta^{18}O$）の時間変動を貯水率，貯水量の変動とともに図-2 に示す. ダム A については，ダム貯水池の表層水（上流）＞ダム流入河川水，ダム貯水池の表層水（下流）＞ダム流入河川水となる関係が調査期間の 92%で観測された．なお，表層水（上流）の最大上昇量は 1.2‰，表層水（下流）の上昇量は 1.6‰であった．下流河川水へ影響するダム放流水については，調査期間の 69%でダム放流水＞ダム流入河川水となり，$\delta^{18}O$ の最大上昇量は 0.7‰であった．ダム放流水で同位体比の上昇がみられない期間は 2024 年，6 月と 9 月，2025 年は 5～8 月の蒸発量が相対的に大きくなる時期であった．ダム A の貯水率は 70-100%の範囲で変動し，4 月から 8 月あるいは 9 月までは洪水調整のために減少傾向を示し，その後は増加傾向を示した．さらに，河川水の起源となる降水は気温が低いほど同位体比が低くなる温度効果の影響を受け季節変動性を有することが知られている. ダム流入河川水は 2025 年においては 3 月が最も低く，その後 7 月まで上昇傾向が観測された. 低温期の同位体比の低い流入水が滞留時間の長いダム貯水池内で貯留後，高温・洪水期に放流されることにより，流入水の季節変動性が遅れてダム放流水に反映されたことが，蒸発量の多くなる時期にダム放流水の同位体比が高くならなかった要因と考えられる．言い換えれば，ダム A の操作によってダム上流・下流での河川水の同位体比の差異は，低温期に増幅され，高温・洪水期には抑制されることが明らかになった. ダム B については, 貯水率 10～90%程度で大きく変動し, 洪水期開始前の 4～6 月に貯水量減少し，11 月以降に貯水量増加する傾向を示したが，ダム放流水＞ダム流入河川水となる時期は 10 月～4 月であり，ダム A と概ね一致していた．最下流に位置する発電目的の小規模ダム C については，ダム C 放流水＞ダム B 放流水の

関係が時期に関わらず確認されたが，これは平衡同位体分別を受けた降水と河川水に起因するものと考えられる．

ダム D については，ダム放流水＞ダム流入河川水となる関係が調査期間の 50%で観測され，ダム A・B とは異なり 6～9 月にも観測された．$\delta^{18}O$ の最大上昇量は 2.4‰であった．ダム D については貯水率 34～100%で変動し，2022 年を除き洪水期開始直前に貯水量がおよそ最小となるように管理されていた．このため，洪水期にはダム A と比較して低温期の同位体比が低い流入水の放流水に対する寄与が小さく，さらに貯水量が少ない場合には貯留量が多い場合と比較して同じ蒸発量であっても蒸発前後における貯水池内の水の残存率が低下する．その結果として，動的同位体分別による同位体比上昇が生じたと考えられる．ダム E については，上流および下流の採水日が異なり，さらに両採水地点間の距離が大きく平衡同位体分別の影響があるため，ダムによる同位体比の上昇量の定量化は困難である．ダム E については，貯水率は 20～80%で変動し，第 2 洪水期の 3 月～5 月は融雪出水により貯水量が増加しており，他のダムが貯水量を減少させているのに対して対照的である．そのため，第 1 洪水期（他のダムの洪水期に相当）の開始時の貯水量は年間を通して相対的に多く，9 月頃まで減少傾向にある．$\delta^{18}O$ については，貯水量が増加傾向にある時期である 2024 年 9 月～2025 年 1 月，2025 年 8 月～12 月でダム上流河川水＞ダム下流河川水の関係が明瞭である．2023 年は夏季の降水量が少なく，流入河川水の同位体比が高かったため，地点間の差異が認められなかった可能性が高い．

４．まとめ　ダム流入水とダム放流水の $\delta^{18}O$ を比較したところ，2 つの大型ダムでは期間の 50%以上でダム放流水で同位体比の上昇が確認できたが，上昇する時期はダムの操作の影響を強く受けることが明らかになった．

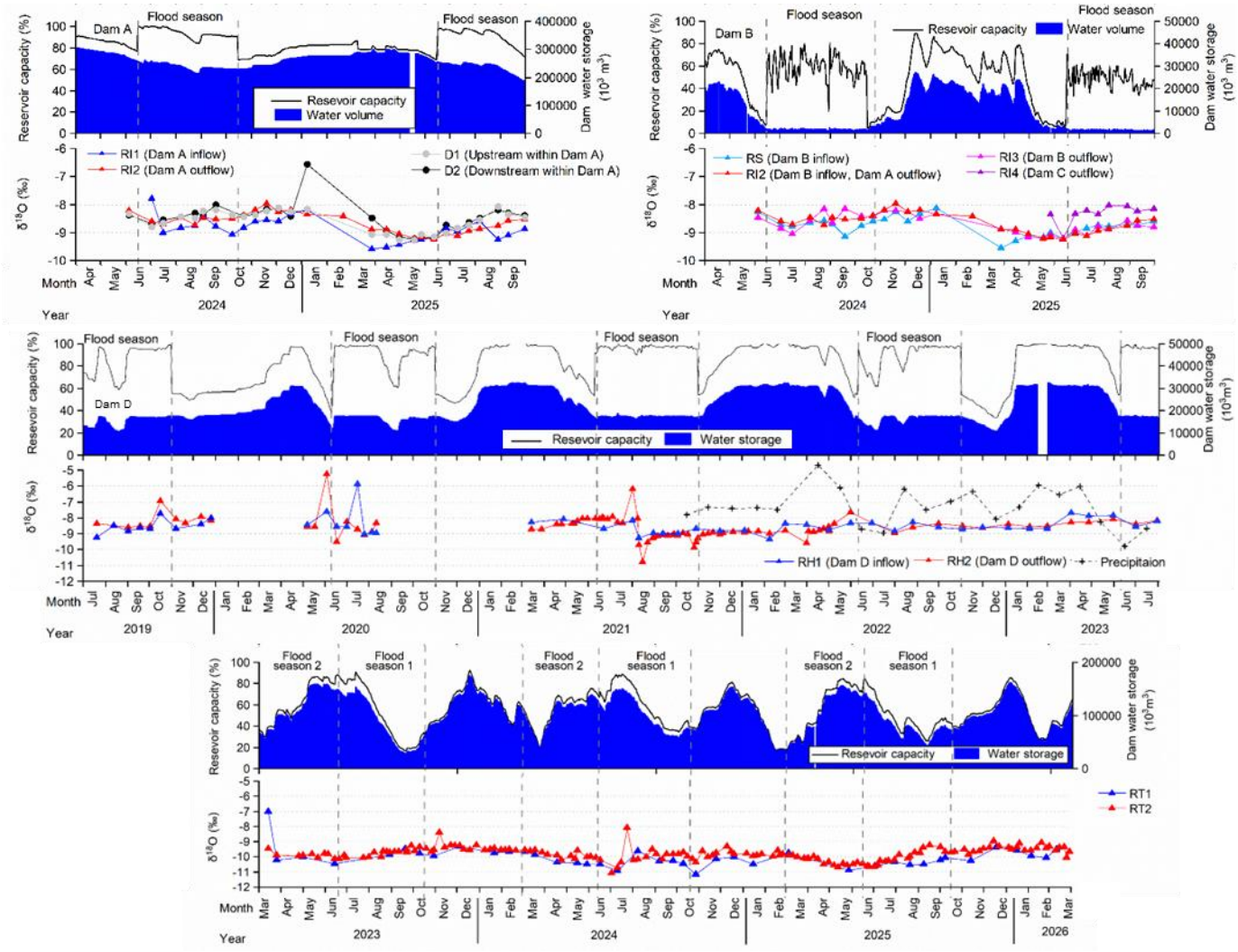


図-2　貯水率*，貯水量，$\delta^{18}O$ の経時変化．

*非洪水期には常時満水位，洪水期は制限水位が設定される場合には，同じ貯水量に対する貯水率が異なる．

【謝辞】　本研究はクリタ水・環境科学振興財団の支援を受けて実施しました．記して感謝します．
キーワード：動的同位体分別，季節変動，ダム操作，洪水期

Seasonal variations in nutrient at the downstream of a river with groundwater interaction

Graduate School of Advanced Science and Engineering, Hiroshima Univ.
Chin Chanthang, Shin-ichi Onodera, Mitsuyo Saito, Nang Yu War,
Yusuke Tomozawa, Miho Awamura, Kelly Tiku Tarh, Sharon Bih Kim
bi

1. Introduction

A persistent environmental issue is contamination and eutrophication of water environments caused by the excess nutrient loading from agricultural fertilizers and localized wastewater. Due to understanding the temporal dynamics of nutrient transport is important for watershed management and provide the sustainable for water resource planning. Inrecently, applying high-frequency water quality monitoring provides detailed temporal information that improves the understanding of nutrient transpo rt pathways and pollutant loading mechanisms. The Takahashi River catchment, located in western Japan, is one of the important river systems draining agricultural, urban, and forested landscapes (Guyo et al., 2024). The catchment supports extensive agricultural activities, including rice cultivation and livestock farming, which may influence nutrient export into river net works. Seasonal precipitation and typhoon-related storm events further affect hydrological conditions and nutrient transport processes within the basin.

The primary objective of this research is to evaluate the seasonal variation of nutrient loads based on the high-frequency monitoring data in weekly sampling at Takahashi River, western Japan. Time-series of nutrient loads use concentration and discharge data to reveal seasonal trends and flow-driven variability, with higher fluxes occurring during high-flow periods. Thus, the importance of hydrological conditions in controlling nutrient transport and emphasize the need for intensified monitoring during the rainy season and typhoon events (Guyo et al., 2025).

2. Method

The Takahashi River catchment is located in Okayama Prefecture, western Japan (Fig.1). The river originates in the Chugoku Mountains and flows southward into the Seto Inland Sea. The catchment includes mountainous forest areas, agricultural lands, urban settlements, and river floodplains (Nang et al., 2024). The climate of the region is characterized as humid temperate with distinct seasonal rainfall patterns.

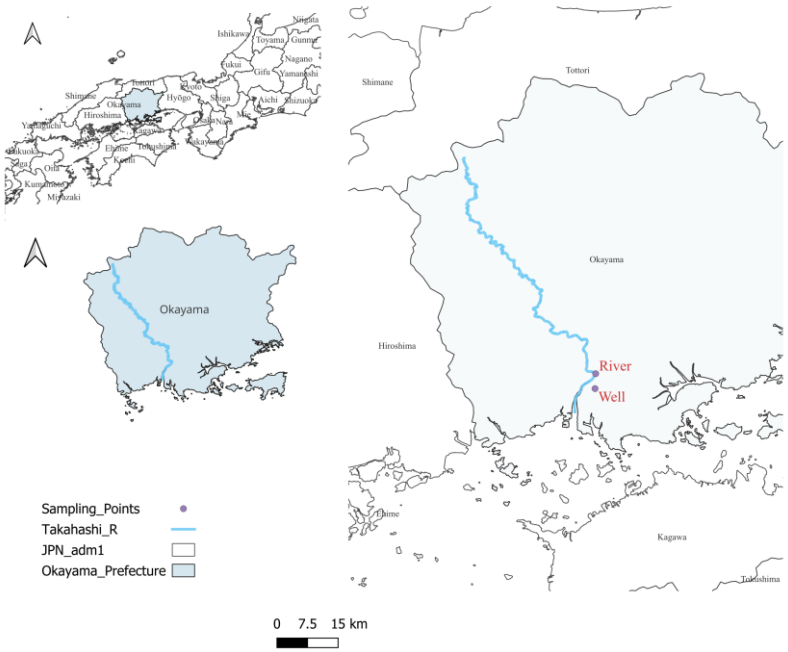


Fig.1 Location of the research sites in the study area

For the temporal variation of dissolved silicate silica (SiO_2-Si) etc., river water and groundwater samples were collected weekly from 2020 to 2026 at the downstream site of the river, the river discharge monitoring site by Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism (MLIT), and at the borehole with 10m depth of 2.3km far from the river (Fig.1), respectively. Those samples were analyzed NH_4^+, NO_3^-, PO_4^{3-}, and SiO_2 by the auto analyzer, spectrophotometry.

3. Results

Time series analyses were conducted to assess seasonal patterns and discharge-driven variability within the catchment. Results are showed in the Fig.2. The fuluctuation of SiO_2-Si concentrations in the river and groundwater were similar, but the groundwater indicated a decreasing trend in 2022, as compared with the river. The average values in river water was 4.72 mg/L, and it was lower than 7.35 mg/L in groundwater. The river concentration would increased in summer to autum with groundwater discharge. On the other hand, the groundwater concentration in 2022 would decreased with river water recharge during the high flow period in 2021.

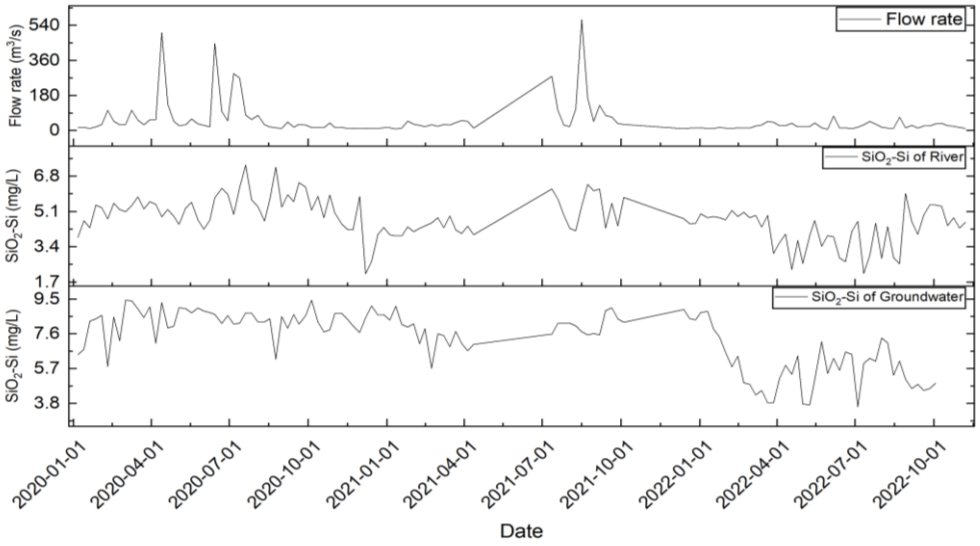


Fig.2 Seasonal variations in river flow rate, SiO_2 -Si concentrations in river and groundwater from 2020 to 2022

4. Conclusion

Nutrient loads estimated from concentration and discharge data revealed clear seasonal trends and flow driven variability, with higher fluxes occurring during high-flow periods. The results highlight the importance of hydrological conditions in controlling nutrient transport and emphasize the need for intensified monitoring during storm events. Thus, future research should integrate hydrological modeling and source apportionment techniques to refine nutrient management strategies and reduce downstream eutrophication risk.

References

1) Guyo, R. H., Wang, K., Onodera, S., Saito, M., & Moroizumi, T. (2025). Long-term effects of forest growth dynamics and climate change on groundwater recharge and evapotranspiration in a steep catchment of western Japan. *Ecological Indicators*, *177*, 113652. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2025.113652
2) Guyo, R. H., Wang, K., Saito, M., Onodera, S., Shimizu, Y., & Moroizumi, T. (2024). Spatiotemporal shallow and deep groundwater dynamics in a forested mountain catchment with diverse slope gradients, western Japan. *Groundwater for Sustainable Development*, *25*, 101150. https://doi.org/10.1016/j.gsd.2024.101150
3) Nang, Y. W., Onodera, S., Wang, K., Shimizu, Y., & Saito, M. (2024). Slope Gradient Effects on Sediment Yield of Different Land Cover and Soil Types. *Water*, *16*(10), 1419. https://doi.org/10.3390/w16101419

Keywords: River water-groundwater interaction, nutrient, monitoring

CNN-RNN を用いた流出予測に関する研究

岐阜大学大学院　○高橋陽真
岐阜大学環境社会共生体研究センター　　児島利治

1. はじめに

近年，気候変動に伴う集中豪雨が頻発しており，河川氾濫による甚大な被害を抑制するための迅速な洪水予測が求められている．洪水予測では予測値が出てから実際に洪水が起こるまでの時間をリードタイムと呼び，リードタイムを長く出来れば，避難のための時間が長くすることが可能である．現在，一般的に使われている河川水位・流量予想の手法として集中型流出モデルや分布型流出モデルがある．集中型流出モデルは迅速な予測が可能であるが降雨分布などを考慮できない．分布型流出モデルは降雨分布を考慮できるが計算に時間がかかり，リードタイムが短くなってしまう問題がある．これらの問題は近年注目されている深層学習を用いて解決できる可能性がある．その深層学習モデルとして本研究では CNN-RNN を用いた流出予測モデルを提案する．

2. 提案モデル

CNN-RNN とは，画像認識に有効な CNN と時系列データに有効な RNN という二つの深層学習モデルを組み合わせたモデルである．RNN 層には LSTM と GRU の 2 種類を用い比較検討を行った．LSTM は入力，出力，忘却の 3 つのゲートとセル状態を持ち，長期的な依存関係を学習可能である．GRU はリセットと更新の 2 つのゲートで構成され，LSTM より構造が簡潔である CNN で降雨の特徴を抽出し，時間ごとの特徴と流量データから，RNN がその時間変化を学習することで，最終的な予測流量を出力する．本研究室では CNN-LSTM に関する先行研究 [2)]を実施しており，本研究では特に LSTM と GRU の比較に焦点を当てて報告する．

3. 使用データと研究方法

長良川上流域を対象領域とした．まず，気象庁の解析雨量データから降雨分布画像を作成し，これを CNN に入力することで，空間的な降雨パターンの抽出を行った．流量データについては，国土交通省の「水文水質データベース」[1)]より取得した 1 時間ごとの観測値を用いている．対象期間は 2006 年から 2021 年としたが, 全期間のデータをそのまま学習させると，降雨のない期間を過剰に学習する恐れがある．そのため，本解析では学習および検証に際し，データを流出イベントとして個別に抽出して用いた．モデルの評価にあたっては，学習イベントを CNN-GRU に入力して得られた計算値が，検証イベントのデータとどの程度近似しているかを NS (Nash-Sutcliffe) 係数を用いて算出した． 182 イベントを抽出し，そのうち 30 イベントを学習に，14 イベントを検証に用いた．

4. CNN-RNN モデルについての検討

CNN-GRU と CNN-LSTM の両方を最適化したうえで，予測精度を比較した．比較検証にあたり，予想に過去何時間分の降雨データと流量データをモデルに入力するか（時間方向次元の長さ）によって精度に違いが出ると考えたため，入力データが少ない場合（時間方向次元$L = 6$）と入力データが多い場合（時間方向次元$L = 18$)で分けて比較することとした．また，CNN-GRU について，複雑な流量予測への対応力を検証するため，ピーク数が 2 山以上となるマルチピークイベントに対して精度よく予測できるか調べた．

5. 研究結果

5.1 CNN-GRU と CNN-LSTM の比較について

図-1 および図-2 に，例としてイベント 118 における予測結果を示す．図-1 のように，時間方向次元 $L = 6$ では CNN-GRU のほうが実測値に沿った予想ができている．これは構造がシンプルな GRU が，限られた情報下で効率的に流出特性を学習できたためと考えられる．一方，図-2 のように，$L = 18$ では CNN-LSTM の

ほうが実測値に沿った予測ができている，情報の高密度化に伴い，LSTM の複雑なセル状態が情報の取捨選択をより細かく行えたことが要因と推測される．

CNN-GRU は少ない入力ステップ（$L = 6$）で実用的な精度を確保できるため，データの準備から予測出力までの実質的なリードタイムにおいて，CNN-LSTM よりも緊急時の運用に適していることが明らかとなった．また，評価指標についても，適切な入力ステップであれば，多くのイベントで基準に達することが確認できた．

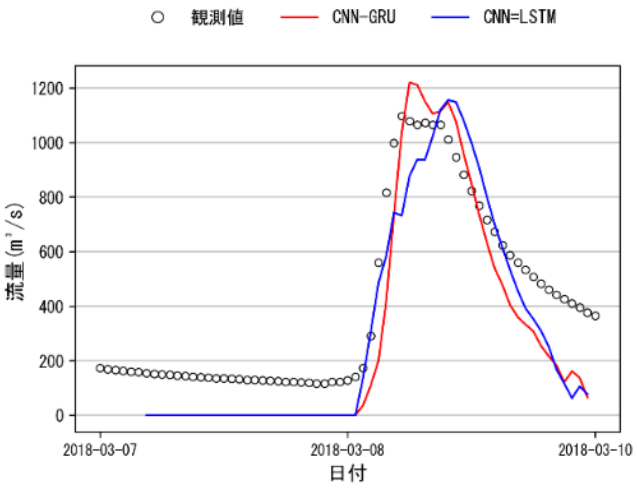


図-1　イベント 118 の予測結果($L = 6$)

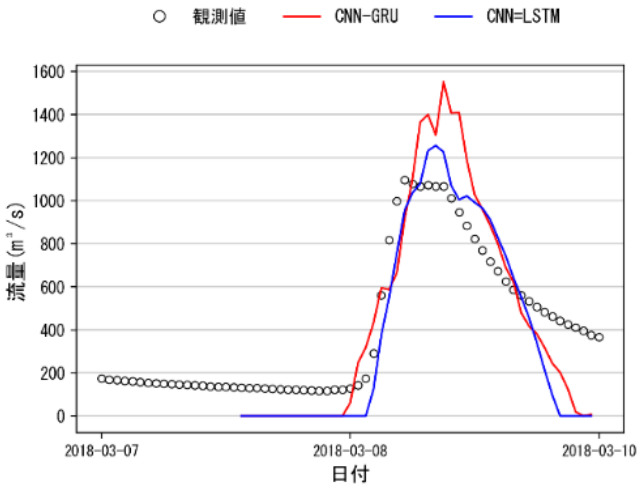


図-2　イベント 118 の予測結果($L = 18$)

5.2 マルチピークイベントへの適応と課題

図-3 に例としてイベント 99 における検証結果を示す．マルチピークイベントでの検証を行った結果，図-3 のように CNN-GRU は第 1 ピーク・第 2 ピーク共に極めて高い追従性を示した．精度評価においても，検証した全イベントの NS 係数の平均値は 0.7 以上を達成しており，全体的に高精度で予測できているといえる．一方で，全イベントを通して減水期の予測値が実測より早く低下するという課題も明確になった．これは雨が止んだ後の土壌からの緩やかな流出という物理的な遅延効果を表現することの難しさを示している．

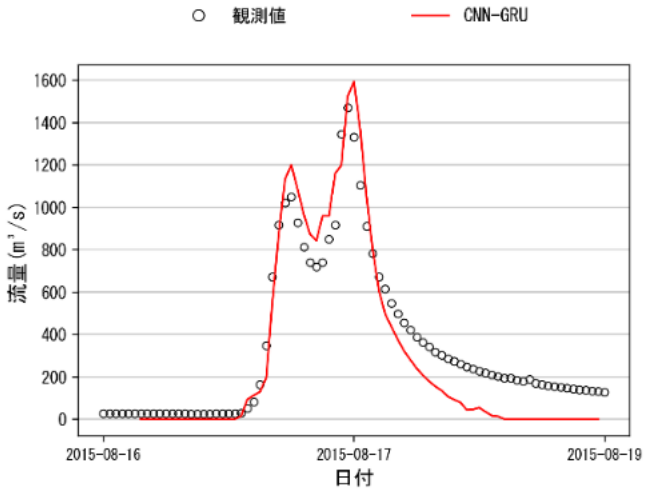


図-3　イベント 99 の予測結果

6. おわりに

本研究により，CNN-GRU は少ない情報量で迅速かつ正確にピークを捉えるという，初動対応において極めて重要な特性を持つことが実証された．今後の課題として，計算速度を維持したまま減衰期の物理的妥当性を担保するモデルの構築が挙げられる．また，他地点でも検証を行い，一般的に使用可能か検証する必要がある．

参考文献

1) 国土交通省「水文水質データベース」(https://www1.river.go.jp，参照：2026/01/26)
2) 壁谷高明：CNN-LSTM を用いた流出予測に関する研究，令和 7 年岐阜大学大学院自然科学技術研究科修士論文，2025.

キーワード：降雨流出モデル，深層学習，CNN-GRU，CNN-LSTM，洪水予測

d4PDF と 2 変量一般化パレート分布を用いた 基準地点を中心とした高水流量算定手法の上流における適用性の検証

京都大学大学院工学研究科　○内村在誠
京都大学防災研究所　田中智大
京都大学防災研究所　佐山敬洋

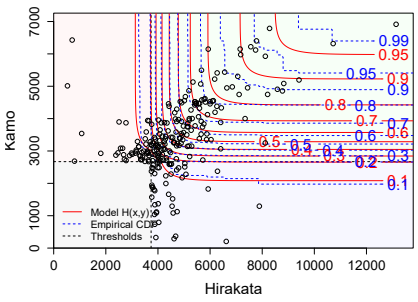
1．　はじめに

我が国の治水計画では，洪水防御前の自然流量である「基本高水」と，それを河道や調節施設へ配分した「計画高水流量」が策定される．これらは，各水系で設定された基準地点において，既往降雨を計画規模まで引き伸ばした対象降雨群に基づく流出計算により算定される．この算定に用いる基準地点の数は水系の規模により異なり，小規模水系では 1 地点，大規模水系では複数の地点が設定される．これは，広大な流域における降雨パターンの多様性を網羅するためである．しかし，基準地点の数や配置のあり方は実務的な経験則に依拠しており，その妥当性に関する体系的な学術的知見はいまだ十分に蓄積されていない．

そこで本研究では，d4PDF[1]に 2 変量一般化パレート分布（bGPD）[2]をフィッティングし，下流の基準地点での洪水発生時における上流地点の条件付流量分布を推定する．この分布を「基準地点で計画規模レベルの流量が発生する降雨分布による上流地点の流出計算結果のばらつき」と見なし，各地点で独立に求めた流量分布と比較することで，基準地点での洪水イベントを用いた手法における上流地点の治水安全度を定量的に評価する．以上を通じて，基準地点を中心とした高水算定手法の上流における適用性を検証し，基準地点配置に関する新たな学術的知見を提示することを目的とする．

2．　d4PDF による大規模アンサンブル流量データセット

本研究では，淀川流域を対象とする．5km 解像度の d4PDF（720 年）の過去実験から，枚方上流で 24 時間雨量が 30 mm 以上，または上流三川の主要地点（羽束師，宇治，加茂）のいずれかより上流で 24 時間雨量が 50 mm 以上となった 9850 の降雨イベント抽出した．それぞれの降雨イベントでは抽出した 24 時間と前後 3 日間の計 7 日間で 1K-DHM を用いた降雨流出計算を行い，流域内の複数地点でピーク流量を抽出し，以降の分析でこれを大規模アンサンブル流量データセットとして用いた．1K-DHM のパラメータや流域モデルは立川ら[3]を踏襲した．

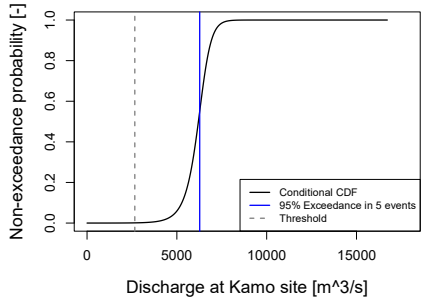


図−1　d4PDF による枚方（横軸），加茂（縦軸）地点データ流量（黒点）にフィットさせた bGPD．赤線は bGPD の，青い破線は経験同時累積確率の等値線を表す．

3．　条件付流量分布

基準地点となる下流地点と任意の上流地点を選び，大規模アンサンブル流量データセットからそれら 2 地点の流量の閾値超過データ(POT)を抽出し，これに bGPD をフィッティングした．さらにこの bGPD モデルから，下流地点で洪水流量となる場合の上流の条件付流量分布を導いた．下流地点に枚方，上流地点に加茂を選んだ組み合わせにおける bGPD のフィッティングの結果および条件付流量分布の結果をそれぞれ図-1，図-2 に示す．なお，本研究では下流の基準地点の洪水流量は 200 年確率流量とし，こちらは下流地点で独立に一般化パレート分布（GPD）をあてはめることで求めた．

基準地点で計画規模レベルの流量が発生する降雨分布を 5 パターン抽出し，それらの流出計算結果の最大値をとる操作を考える．この操作は，図-2 の条件付流量分布から無作為に 5 つの確率流量を抽出し，その最大値をとるプロセスとしてモデル化できる． 抽出された 5 イベントの最大



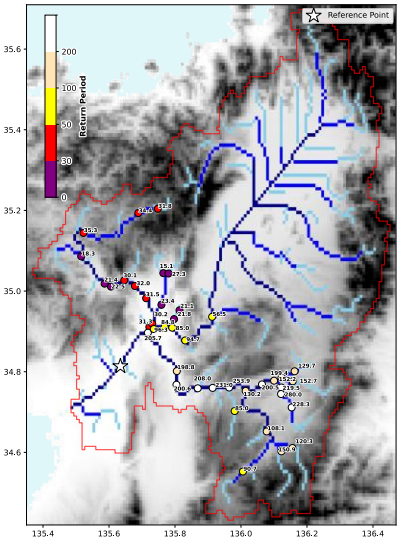
図−2　枚方地点で 200 年流量生起時の加茂地点の条件付流量分布．

値が，95%の確率で上回る（少なくとも 1 回は超える）閾値は，条件付流量分布の非超過確率 p を用いて$1-p^5=0.95$を解くことで，p=0.549 と算出される（図-2 の青線）． 本研究では，この非超過確率 0.549 に対応する確率流量が，対象の上流地点においてどの程度の治水安全度を有するかを評価する．具体的には，上流地点で独立に推定した一般化パレート分布（GPD）を尺度として，この「基準地点で洪水が生じる 5 イベントの最大値の 95%超過値として保証される洪水レベル」が，上流地点で実際に何年一回起こるレベルに相当するのかを再現期間によって評価する．

4． 結果

枚方地点を基準地点に選び，上流地点の条件付流量分布から非超過確率 0.549 に対応する確率流量の再現期間を推定した結果を図-3 に示す．本研究では，bGPD の従属関数モデルに log モデルを用いた．log モデルでは，2 変量の極値従属性を一つのパラメータ$r(\geq 1)$で表現し，これが大きいほど極値従属性が高い．各上流地点において基準地点枚方との流量の極値従属性を表すrと推定された再現期間の関係を図-4 に示す．

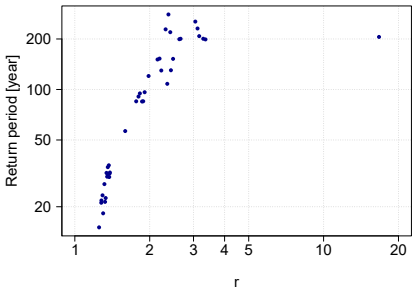
この結果から，基準地点との極値従属性が高い木津川流域の上流地点では推定された治水安全度も高くなる一方で，基準地点での極値従属性が低い桂川流域の上流地点では基準地点の洪水イベントから洪水流量を見積もる手法では十分な治水安全度が確保されにくいことが確かめられた．



図−3 枚方を基準地点としたときの上流地点の治水安全度．

5． まとめ

本研究では，d4PDF による大規模アンサンブル流量データセットと 2 変量一般化パレート分布によって，基準地点で洪水が生じるイベントで流域全体の洪水流量を推定する手法において上流地点での治水安全度が担保されるかどうかを検証した．その結果，基準地点との極値従属性が低い上流地点では洪水流量が過小評価されることが分かった．このように下流地点との極値従属性が低い支川においては，その支川内に個別の基準地点を追加で設けることで，その基準地点より上流の地域にとって危険な流量をもたらす洪水イベントを推定に取り入れることが可能になり，治水安全度を確保できるようになると考えられる．今後は上流地点の基準地点との極値従属性の要因分析を行うことで，基準地点を用いた洪水流量設定手法において洪水流量の過小評価が起こりやすい上流地点の特徴を明らかにする．



図−4 bGPD の従属パラメータrと上流の治水安全度の関係．

【謝辞】

本研究は，文部科学省気候変動予測先端研究プログラム JPMXD0722678534 および JSPS 科研費 JP24K00988, JP25KJ1476 の助成を受けた．分析においては，文部科学省による複数の学術研究プログラム（「創生」，「統合」，SI-CAT，DIAS）間連携および地球シミュレータにより作成された d4PDF を使用した．記して謝意を表する．

参考文献

1) Kawase et al., Identifying robust changes of extreme precipitation in Japan from large ensemble 5-km-grid regional experiments for 4K warming scenario. Journal of Geophysical Research. Atmospheres, Vol.128, Issue 18, e2023JD038513, 2023
2) Rootzén, H., Tajvidi, N., Multivariate generalized Pareto distributions. Bernoulli, Vol.12, No.5,pp.917-930, 2006.
3) 立川ら，超多数アンサンブル気候予測実験データを用いた極値河川流量の将来変化の分析，土木学会論文集 B1（水工学），Vol.73，No.3，pp.77-90，2017.

キーワード：River planning, d4PDF, Design flood discharge, Multivariate generalized Pareto distribution, Peak-Over-Threshold

簡略化メタ統計的極値分布に基づく地域頻度解析による確率雨量推定の安定性

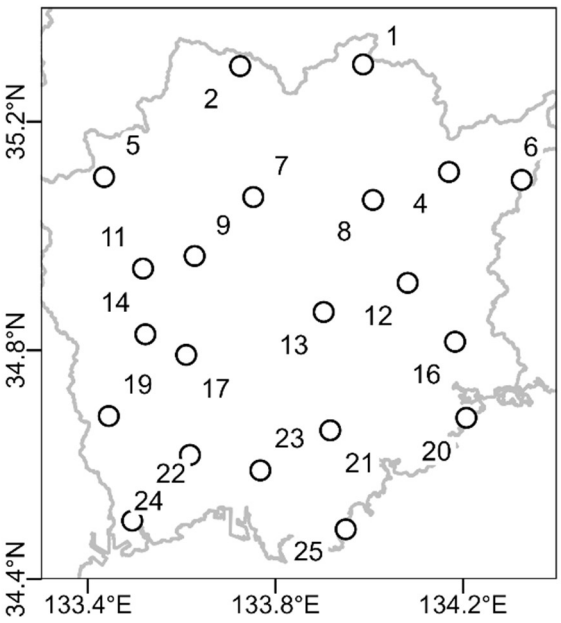
農業・食品産業技術総合研究機構　○﨑川和起
岡山大学学術研究院環境生命自然科学学域　　近森秀高

1．はじめに

近年，水害・土砂災害などの豪雨災害が激甚化・頻発化していることが報告されている．この要因として，気候変動に伴う極端気象現象の増加が挙げられており，国家および地域の持続的な発展に対するリスク要因として認識されている．本研究の目的は，観測データが著しく少ない地域において，水害対策における計画規模の決定に必要となる「豪雨の非超過確率」を高精度に推定することである．中山間地域や発展途上国のように観測データが乏しい地域では，推定精度の確保が困難であり，従来の研究では，対象地点の観測データを周辺の複数地点のデータで補完する地域頻度解析（Regional Frequency Analysis：RFA）が活用されてきた[1)]．しかし，非超過確率の推定に年最大値法を採用した場合，1 地点あたりで利用可能なデータ数が限られており，RFA により地点数を増加させたとしても，サンプル数増加による精度向上の効果は限定的であった．そこで本研究では，日雨量データから年最大値の非超過確率を推定可能な簡略化メタ統計的極値分布（Simplified Metastatistical Extreme Value：SMEV 分布）の適用を検討した[2)3)]．日雨量を対象とすることで，1 地点あたりのサンプル数を大きく確保できるため，RFA 法を適用することにより，利用可能なサンプル数の大幅な増加が期待され，非超過確率をより高精度に推定できる可能性がある．本研究では，SMEV 分布を用いた RFA に基づく非超過確率の推定を行い，本手法の精度および安定性について評価した．

2．解析資料

解析対象地域として岡山県を選定し，県内に位置する観測所 30 地点（右図）を対象とした。解析には，地上気象観測所および地域気象観測システム（AMeDAS）の日雨量データ（1996～2025 年の 30 年間）を用いた。岡山県は，北部の中国山地から南部の瀬戸内海沿岸に向かって階段状に標高が低下する地形構造を有し，地形は「山地」「低山地（台地状丘陵）」「低地」といった複数の区分に明瞭に分かれ，県内に帯状に分布する。加えて，降雨量観測地点が豊富であり，統計解析に十分なデータが確保可能である。



図−1 解析対象の地上観測所

3．SMEV 分布の概要

SMEV 分布を表す確率分布関数は，次のようにして求められる．日雨量を対象とする場合，解析対象期間内におけるすべての降雨日の日雨量に確率分布（例えば Weibull 分布など）を適用し，この確率分布関数を対象期間の年平均降雨日数分だけ累乗して得られる確率分布関数が，SMEV 分布の確率分布関数となる．SMEV 分布は，サンプルサイズが年間のイベント数に限定される MEV 分布に対して，解析対象期間の全ての年のイベントデータを一括して利用することが可能であり，(1) パラメータ推定の精度および効率性の向上，(2) 年毎のサンプルサイズによる影響の軽減といった利点がある．

以下に，SMEV 分布の確率分布関数$H(x)$を示す．

$$H(x) = [F(x|\theta)]^{\bar{n}} \tag{1}$$

ここで，$F(x|\theta)$：解析対象期間の非超過確率（日雨量），$\bar{n}$：解析対象期間の平均降雨日数，θ：確率分布パラメータである．なお、日雨量に適用する分布には①ガンマ分布，②ワイブル分布，③一般化ガンマ分布を採用した．

4．地域分類の評価

各地点の模擬降雨を対象に，日雨量に基づく L モーメントを特徴量として，階層クラスタリング（Ward 法）による地域分類を実施した. 日雨量に基づく特徴量を用いたのは, SMEV 分布が日雨量分布（親分布）に基づいて極値分布を導出する枠組みであるためである。クラスタ数は事前検討により $k = 3$とした．図-2 に，模擬降雨に基づく共クラスタ頻度マップを示す.

検証の結果，クラスタは主として降雨分布特性および地形条件に対応して空間的に整合的に分布した。また，共クラスタ頻度に基づく安定性評価の結果，クラスタ内部では高頻度，クラスタ間では低頻度を示し，明確なクラスタ構造が維持されていることが確認された.

5．非超過確率推定の評価

模擬降雨を対象に，SMEV 分布を地域頻度解析（RFA）に適用し，推定された非超過確率の 95%信頼区間を用いて推定の安定性を評価した. 比較のため, SMEV 分布を地点頻度解析（At-site Frequency Analysis：AFA）に適用した結果とも比較した。図-3 に模擬降雨に基づく非超過確率の信頼区間を示す.

検証の結果，SMEV 分布は全日雨量データを用いるため，分布推定のばらつきが小さい．さらに，RFA によりサンプル数を増加させた日雨量データに適用することで標本ばらつきが一層抑制され，非超過確率推定の安定性が向上した．AFA と比較すると，本手法では信頼区間が顕著に縮小しており，RFA の適用による安定性改善が確認された.

6．結論

本研究の結果，RFA における地域分類においては，SMEV 分布で用いる日雨量データに基づくクラスタリングが，地形的特徴と整合的な結果を示し，その妥当性が確認された．これにより，各地点のクラスタ帰属は，リサンプリングによる降雨頻度のばらつきに対しても安定であることが明らかとなった。また，この地域分類に基づいて行った SMEV 分布を適用した地域頻度解析により，極値雨量に関する推定の安定性を向上させることが可能となった.

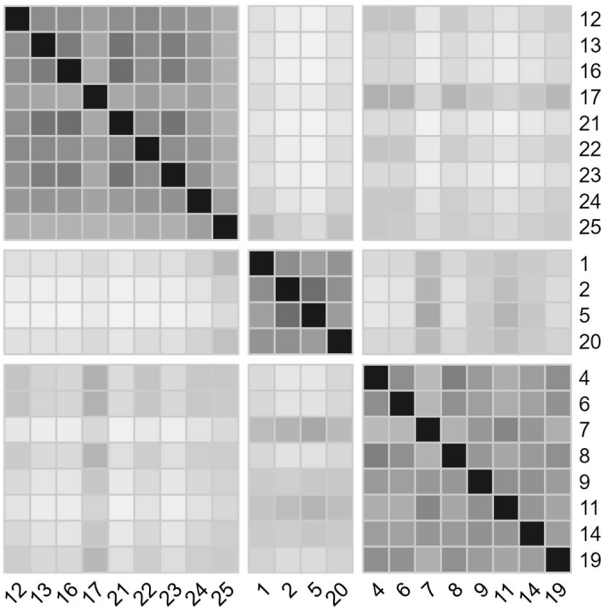


図-2 模擬降雨に基づく共クラスタ頻度マップ

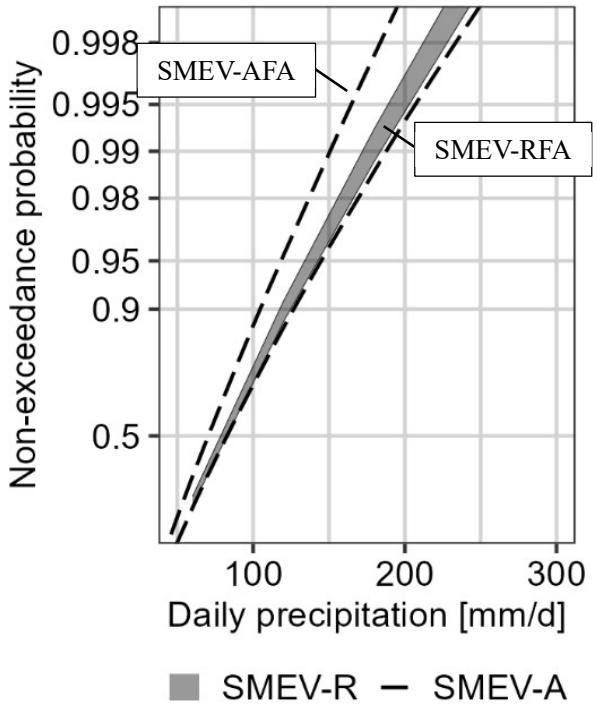


図-3 模擬降雨に基づく非超過確率の信頼区間

参考文献

1) Hosking, J. R. M. and J. R. Wallis (1997): Regional Frequency Analysis: An Approach Based on L-moments, Cambridge University Press, Cambridge, 224pp.

2) M.Marani and M. Ignaccolo：A metastatistical approach to rainfall extremes, Advances in Water Resources,79， 121-126,2015.

3) Marra, F., Zoccatelli, D., Armon, M., Morin, E. (2019): A simplified MEV formulation to model extremes emerging from multiple nonstationary underlying processes. Advances in Water Resources, 127, 280-290.

キーワード：極値解析，メタ統計的極値分布，地域頻度解析

日本域長期再解析データ RRJ-Conv による極値降雨の空間特性評価

東北大学大学院工学研究科　○岩部　幸雄
東北大学大学院工学研究科　平賀　優介
東北大学大学院工学研究科　田原　亮太郎

１．はじめに

近年，我が国における豪雨災害は顕著に激甚化・頻発化の傾向を示しており，既往の治水計画に基づく対策のみでは災害発生リスクの十分な低減が困難となりつつある[1)]．さらに，治水事業の推進に際しては，限られた財政資源および人員の下で効率的に施策を選択・実施する必要があり，科学的根拠に基づく「選択と集中」が求められている．このような背景から，極値降雨の長期的変動特性およびその空間的分布特性を把握することは，気候変動下における水災害リスク評価や合理的な治水計画策定において極めて重要である．一方，AMeDAS に代表される地上観測に基づく降雨データは，高精度ではあるものの観測点密度に限界があり，特に中小河川流域における空間的情報の不足が課題として指摘されてきた．また，レーダー観測と地上雨量計を統合して作成される解析雨量は，面的な降雨分布情報を提供する点で有用であるが，観測期間が相対的に短いことに加え，レーダー機器の更新や地形遮蔽による観測精度の空間的不均一性を内在することが知られている[2)]．これに対し，数値モデルに基づく再解析データは，物理法則に基づいた時空間分布を長期間にわたり提供可能であり，欧米では治水分野への応用が進展している[3)]．日本においても，気象庁と東北大学は共同で開発した高解像度日本域長期再解析データ「RRJ-Conv」[4)]の治水分野への適用が期待されている．すなわち，RRJ-Conv により高解像度の極値降雨分布が推定できる可能性があるが,RRJ-Conv の極値降雨に対する再現性評価は十分に実施されていない.本研究では，RRJ-Conv の極値降雨に対する再現性について，AMeDAS 観測および解析雨量を対象とした比較分析を実施する．また，異なる再解析データとの比較を実施し，RRJ-Conv の特性を議論する．特に，中小河川流域における RRJ-Conv の空間補完的役割および極値解析への適用可能性を検証する．

２．使用データ

日本域長期領域再解析（RRJ-Conv）は，気象庁気象研究所と東北大学により開発された水平 5 km 解像度の長期再解析データセットである[4)]．本データセットは，均質かつ長期的に整合的な気象場を再構築し，極端気象および気候変動特性の解明を目的としている．観測同化は地上気圧・ラジオゾンデ・台風位置に限定され，衛星・レーダー観測は使用していない点が特徴である．1959～2022 年にわたり一貫して再現可能な長期再解析として位置づけられる[4)]．比較対象として，全球再解析データである JRA55 および ERA5 を用いた．JRA55 は長期間にわたる気候解析に広く用いられている再解析データであり，ERA5 は高い時間・空間解像度を有し，近年の再解析データの中でも高精度なデータセットとして知られている．精度評価には，AMeDAS 観測および解析雨量を用いた．これにより，再解析データの極値降雨に対する再現性を観測に基づいて評価した．

3.　解析手法

本研究では，RRJ-Conv によって提供される格子点降雨量を観測点と比較可能な形式に変換するため，対象観測点を中心とした 4 近傍格子を用いた逆距離荷重法（Inverse Distance Weighting; IDW）による空間補間を適用した．極値指標としては年最大日降雨量を採用し，以下の観点から再現性の評価を行った．まず，空間的評価として，年最大降雨量の平均分布を用いて降雨の空間分布特性の再現性を検証した．次に，量的評価として，観測値を基準としたバイアスおよび RMSE を算出し，系統的誤差および誤差量の大きさを評価した．さらに，時間的評価として，相関係数により年々変動の再現性を評価した．再現性低下の要因分析として，RMSE が 90 パーセンタイル以上を示した観測所を対象に正規化差分を求めた．正規化差分は，再解析値と観測値との差分を，各観測所における観測値の平均値で除することで算出した．得られた正規化差分についてヒストグラムを作成し，過大・過小評価の分布特性を評価した．また，$\pm 2\sigma$ を超える外れ値事例を抽出し，各事例について台風起因の有無を判定す

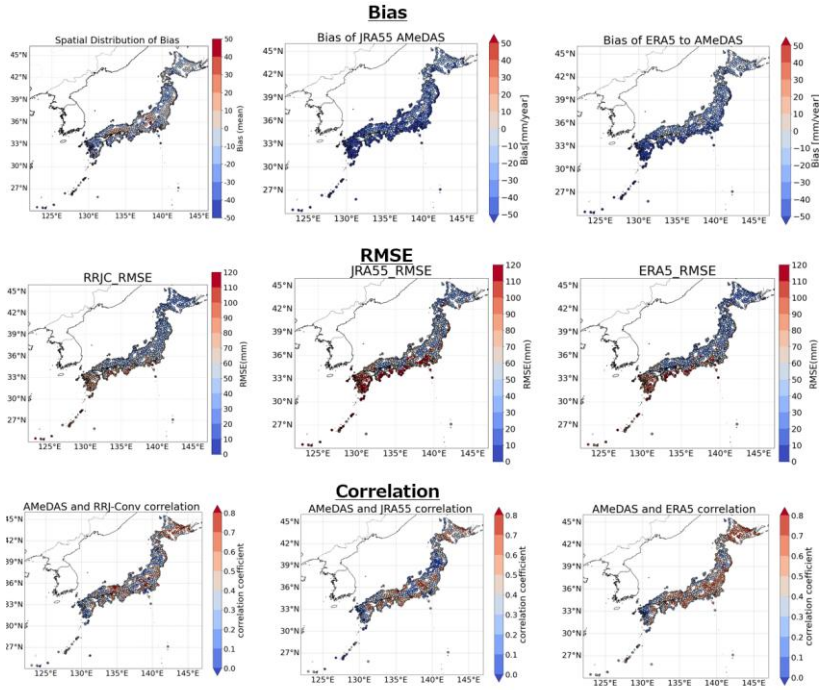


図-1　RRJ-Conv(左)，JRA55(中)，ERA5(右)のバイアス(上段)，RMSE(中段)，相関(下段)の結果．

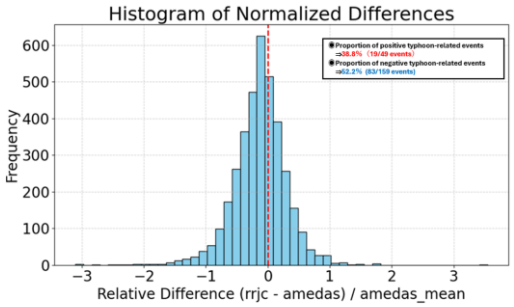


図-2　正規化差分のヒストグラムおよび，正負方向の外れ値（±2σ）に対しての台風起因割合．

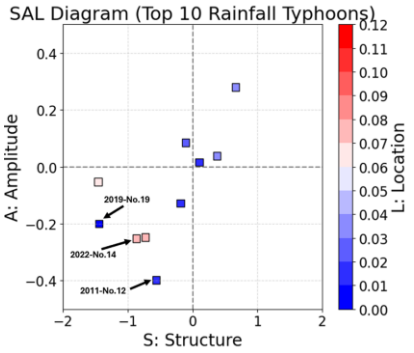


図-3　総降水量上位10台風事例のSAL分析

ることで，外れ値に対する台風の寄与割合を評価した．さらに，台風に伴う降雨に着目し，SAL（Structure-Amplitude-Location）指標を用いた統計的評価を実施した．

４．結果

RRJ-Conv は年最大降雨量の空間分布を良好に再現し，紀伊半島や四国南部，九州南部などの太平洋側の多雨域を良好に再現するとともに，日本海側から太平洋側にかけた降水量勾配も概ね表現していた．量的評価においては，系統的なバイアスは比較的小さく，RMSE は既存の再解析データと同程度またはそれ以上の精度を示した．時間特性に関しては，年々変動の再現性は ERA5 が最も高かったものの，RRJ-Conv も比較的良好な相関係数を示し，極値降雨の時間変動を概ね捉えていた(図-1)．一方で，正規化差分を用いた外れ値解析の結果から，極値降雨の過小評価が卓越しており，特に，±2σ を超える外れ値事例の多くは台風に起因していることが示された(図-2)．総降水量上位 10 位の台風事例を対象とした SAL 解析の結果，降雨強度（Amplitude）および構造（Structure）は全体的に過小評価傾向を示した一方で，強降雨域の位置(Location)については明確な偏りは認められなかった(図-3)．これにより，RRJ-Conv は強降雨域の位置は適切に再現できるものの，台風に伴う強い対流性降雨の強度および広がりの再現に課題があることが示された．以上より，RRJ-Conv は空間分布および長期トレンドの再現性に優れ，既存の再解析データと同等以上の精度を有することが示された．一方で，極値降雨の過小評価は台風に伴う降雨が主要因であり，台風時の再現性向上が今後の重要な課題である．

参考文献

１）Hiraga, Y., Watanabe, S., Yamashita, T., & Takizawa, H. (2025). Climate change effects on probable maximum precipitation (PMP) of mesoscale convective systems: Model-based estimation and large ensemble-based frequency analysis. Journal of Hydrology, 661, 133724.
２）鈴木博人，中北英一，高橋日出男：1 kmメッシュ解析雨量の精度検証　関東甲信越地方と東北地方における解析,土木技術論文集 B1(水工学)Vol.73,No.4, I _13- I - I _18,2017.
３）Bukovsky, A., Barsugli, J., Hoerling, M., et al. : The CONUS404 data set: A long-term, 4-km resolution climate data set for the conterminous United States, *Bulletin of the American Meteorological Society*, Vol. 102, No. 10, pp. E1859–E1880, 2021.
４）Fukui, K., Sato, Y., Seko, H., et al., “RRJC-Conv: A 5-km Japanese regional reanalysis assimilating only conventional observations over 60 years,” *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, Early View, 2024.

キーワード：Reanalysis data,Extreme precipitation, Typhoon rainfall, SAL (Structure–Amplitude–Location)

メコン川流域におけるダム運用がメコンデルタへの土砂輸送量に及ぼす影響

中央大学大学院理工学研究科　○江尻幸太，都築航太
中央大学理工学術院　手計太一

１．はじめに

メコン川における上流からの土砂供給は，海岸線の形成において重要な役割を果たしている．メコン川流域の南シナ海沿岸は，メコンデルタから流出した土砂が沿岸流によって輸送され，海岸沿いに堆積することで形成されている [1]．しかし，2009 年に総貯水容量 14,560 Mm^3 を超える Xiaowan ダムが運用を開始し，下流域への土砂輸送量に深刻な影響を与えていることが指摘されている [2]．その後，2019 年にはメコン川本川の Xaiyaburi ダムおよび Don Sahong ダム，支川の Lower Sesan 2 ダムが運用を開始した．しかし，2019 年に運用が開始されたダム群がメコンデルタにおける土砂流入量に及ぼす影響は定量的に明らかにされていない．

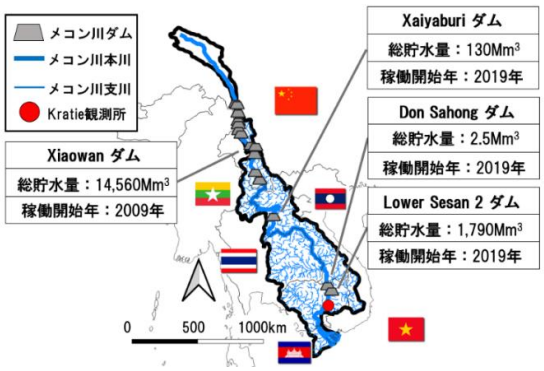


図-1　メコン川流域における主要ダムおよび観測地点

そこで本稿は，メコン川流域で運用を開始したダム群がメコンデルタにおける土砂流入量へ与えた影響を明らかにすることを目的とする．

２．対象領域および使用データ

図-1 に本研究で対象とするメコン川流域における主要ダムおよび観測地点の地理分布を示す．メコン川は，チベット高原を源流とし，中国，ミャンマー，ラオス，タイ，カンボジア，ベトナムの順に 6 か国を流下する国際河川である．その流域面積は約 795,000 km^2 であり，東南アジア最大級の河川流域である．本研究では，これらの国を流下する本川および主要支川に建設されたダム群に着目した．本稿では，メコンデルタへの土砂流入量を定義する地点として Kratie 地点を設定した．同地点はデルタの入り口に位置し，潮汐による背水の影響を受けない地点とされている [3]．このため，同地点はメコンデルタへの土砂流入量を評価する代表地点として適している．

使用データは，Mekong River Commission（MRC）が提供している Kratie 地点における日流量データおよび浮遊砂濃度の月別データ，日雨量データである．土砂輸送量は，日流量と浮遊砂濃度を用いて算出した．

３．結果

図-2 に 1996～2023 年の Kratie 観測所における日流量，浮遊砂濃度，土砂輸送量の時系列図を示す．月別の土砂輸送量は，日別に算出した土砂輸送量を月ごとに集計して求めた．土砂輸送量の経年変化を明らかにするため，Kratie 地点における日流量，浮遊砂濃度，土砂輸送量の月ごとの経年変化に対して，修正 Mann-Kendall 検定 [4]（以降，修正 MK 検定）を実施した．Xiaowan ダムの運用が開始された 2009 年，Don Sahong ダム，Xaiyaburi ダム，Lower Sesan 2 ダムの運用が開始された 2019 年を閾値として 1996～2008 年を第 1 期間，1996～2018 年を第 2 期間，1996～2023 年を第 3 期間と定義し比較した．表-1 は Kratie 観測所における各月の日流量，浮遊砂濃度，および土砂輸送量の修正 MK 検定の結果である．有意性のある増加傾向については赤色，減少傾向については青色，有意性のない増加傾向については橙色，減少傾向については水色で示した．

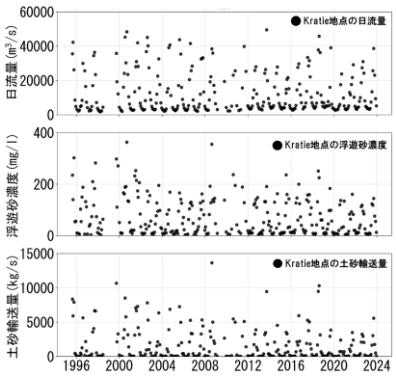


図-2　Kratie 観測所における日流量，浮遊砂濃度，土砂輸送量の時系列図

日流量における修正 MK 検定の結果，第 2 期間の 3 月，4 月，5 月，第 3 期間の 3 月，5 月において有意な増加傾向が認められた．乾季に相当する 3 月，5 月で流量が増加しており，メコン川流域のダム貯水池開発が流量の安定供給に貢献していると推察される．また，第 3 期間の 8 月において有意な減少傾向が認められた．雨季に相当する

表-1　Kratie 観測所における日流量，浮遊砂濃度，および土砂輸送量に関する修正 MK 検定の結果

要素	解析期間	年	月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
日流量 (m^3/s)	第1期間	-	+5%	+	-	+	-	+	+	+	+	-	-	-	+
	第2期間	-	+1%	+	+	+5%	+5%	+1%	+	+	-	-	-	-	+
	第3期間	-	+	+	+	+5%	+	+5%	+	-	-5%	-	-	-	-
浮遊砂濃度 (mg/L)	第1期間	-	-	+	-	-	+	-	+	-	-	-5%	+	-	-
	第2期間	+	-	-	+	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-
	第3期間	-	-	-5%	+	-	-	-	-	-	-	-1%	-	-5%	-
土砂輸送量 (kg/s)	第1期間	-	-	+	-	-	+	+	+	-	+	-	+	-	-
	第2期間	-	+	-	+	+	+	+	+	+	-	-5%	-	-5%	-
	第3期間	-5%	-	-	+	+	+	+	+	-	-1%	-1%	-	-5%	-

※表中の「-」は負のトレンド，「+」は正のトレンドを示し，数字は有意水準を表している．

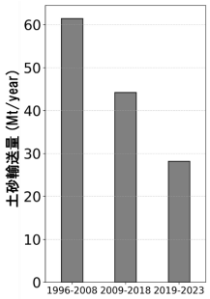


図-3　解析期間ごとの年間土砂輸送量の平均値

8 月における流量の減少は，ダム運用に伴う洪水ピークの低減の影響によるものと考えられる．次に，浮遊砂濃度における修正 MK 検定の結果，第 1 期間の 9 月，第 3 期間の 1 月，9 月，11 月において有意な減少傾向が認められた．これらの浮遊砂濃度の低下は，上流域におけるダム運用に伴う土砂捕捉が要因の一つとして推察される．ただし，河道変化や砂利採取等の影響についても今後検討が必要である．土砂輸送量における修正 MK 検定の結果，第 2 期間の 9 月，11 月，第 3 期間の 8 月，9 月，11 月において有意な減少傾向が認められた．

Kratie 地点の集水域内に位置する 21 地点の地上観測所において，年降水量を対象とした修正 MK 検定を実施した結果，いずれの地点においても有意な変化傾向は認められなかった．このことから，少なくとも年降水量の長期変化が土砂輸送量減少の主因である可能性は低いと考えられる．

また，解析期間ごとの年間土砂輸送量の変化を明らかにするため，12 カ月分のデータが完備された 1996 年，2000～2008 年，2012～2016 年，2018～2023 年の浮遊砂濃度データを用いて年間土砂輸送量を算出した．算出された年間土砂輸送量から，1996～2008 年，2009～2018 年，2019～2023 年の 3 期間における平均値を算出した．なお，上述した傾向検定における期間設定は，ダム運用開始前後の変化を把握するため，1996～2008 年，1996～2018 年，1996～2023 年の 3 期間としたが，年間土砂輸送量の平均値比較における期間設定は，1996～2008 年，2009～2018 年，2019～2023 年の 3 期間とした．図-3 に解析期間ごとの年間土砂輸送量の平均値を示す．1996～2008 年，2009～2018 年，2019～2023 年の年間土砂輸送量の平均値はそれぞれ 61.19 Mt/year，43.46 Mt/year，28.09 Mt/year となった．1996～2008 年の平均値と 2009～2018 年の平均値を比較すると約 29 %減少している．また，1996～2008 年の平均値を 2019～2023 年の平均値と比較すると約 54 %減少している．ただし，2019～2023 年は対象期間が比較的短いため，今後のデータ蓄積により傾向の頑健性を確認する必要がある．

４．まとめ

本稿では，Xiaowanダムの運用が開始された2009年と，Xaiyaburiダム，Don Sahongダム，Lower Sesan 2ダムの運用が開始された2019年を閾値として，メコン川における土砂輸送量の経年変化を統計的に分析した．その結果，8月，9月，11月における土砂輸送量に有意な減少傾向が認められた．また，2019～2023年の年間土砂輸送量の平均値は1996～2008年と比べて約54 %減少していた．

既往研究や本研究で示された流況変化を踏まえると，ダム運用は雨季の流量低減や乾季の流量安定化に寄与している可能性がある．一方で，土砂輸送量の低下は生態系や水産業への影響に加え，メコンデルタにおける海岸線後退を促進する要因となり得る．今後もダム開発が進むことを踏まえると，土砂輸送量のさらなる減少が懸念される．

参考文献

1) 堀博，メコン河―開発と環境，古今書院，p.306，1996.
2) 柿澤一弘，宮沢直季，砂田憲吾:メコン河下流域における土砂・栄養塩動態の推定について，水工学論文集，Vol51，pp.1183-1188，2006.
3) Manh, N. V., Dung, N. V., Hung, N. N., Merz, B. and Apel, H., Large-scale suspended sediment transport and sediment deposition in the Mekong Delta, *Hydrology and Earth System Sciences*, Vol. 18, pp. 3033-3053, 2014.
4) Hamed, K. H. and Rao, A. R., A modified Mann–Kendall trend test for autocorrelated data, Journal of Hydrology, Vol.204, pp.182–196, 1998.

キーワード：TSS, SSL, Modified Mann-Kendall test, Mekong Delta, Mekong River

再解析短波放射データの地形補正の改良と精度評価

京都大学大学院工学研究科　学生会員　◯新川　遥也
京都大学防災研究所　正会員　田中　賢治
千葉大学環境リモートセンシング研究センター　正会員　峠　嘉哉
京都大学防災研究所　正会員　Temur Khujanazarov
京都大学防災研究所　正会員　萬　和明

1　はじめに

半乾燥地域であるキルギスにおいて，氷河は貴重な水資源であり，その計画的な利用が求められている．そのためには，融解量を正確に把握することが不可欠である．先行研究では，陸面過程モデル SiBUC に気象庁提供の再解析データ JRA55 を用いてキルギスの Bordu 氷河のおける雪氷融解量を推定していたが，融解量は実際よりも過大に推定されていた．この原因の一つとして再解析データ JRA55 の短波放射量データが詳細な地形の影響を反映しておらず，実際よりも短波放射量を多く与えたことが考えられる．本稿ではその精度を上げるために短波放射データに詳細な地形データを与えることで，より現実に近い短波放射データ作成を試みた．

2　使用したデータおよび手法

2.1　使用したデータ

・現地観測データ（気温，気圧，比湿，降水量，短波放射，長波放射，風速）
・再解析データ JRA-3Q（短波放射）
・GTOPO30(1km 解像度地形データ)

2.2　地形補正モデルと感度実験の設定

短波放射を直達日射と散乱日射に分離し、GTOPO30 を用いて地形の影や天空率（Sky View Factor）を考慮するモデルを使用.

補正プログラム内の 3 つの計算要素
①周辺地形からの反射 [Fr2]
②斜面入射係数 [Fb2] の斜面投影補正と上限設定
（太陽光線をどれくらい真正面から受け止めているかを反映する補正）
③障害物位置判定 [theta] の保存先変更（元々は地点に保存→山ごとに保存）

それぞれ ON/OFF（1/0）とする 8 通りの組み合わせモデルを作成．(例：t110 は①:ON, ②:ON, ③:OFF)
1 日値で観測値との RMSE（平方二乗平均誤差)、BIAS（平均誤差）を算出し、定量的に評価した．
①の変更により，短波放射値の増加が予想される．また，②の補正は朝夕など太陽が低い時間帯において，値が急激に増大することを防ぐために上限を設定している．

3　結果

3.1　地形補正要素の感度評価と最適化

全 8 モデルの誤差を比較し，RMSE 上位 3 モデルと地形補正前の JRA3Q の RMSE,BIAS を示したものが図 1 である．図 1 のグラフを見ると，要素③（Fb2 補正式：斜面への入射角投影に対するスケール補正と上限値設定）を適用することが、日射量の絶対値を合わせる上で極めて重要（RMSE を約 24 W/m^2 改善）であることが分かる．また，要素①（周辺地形からの反射）による過小評価の底上げも精度向上に寄与することが確認された．一方で要素②（theta）による方位情報の適切な保存は精度向上にほとんど寄与しなかった．

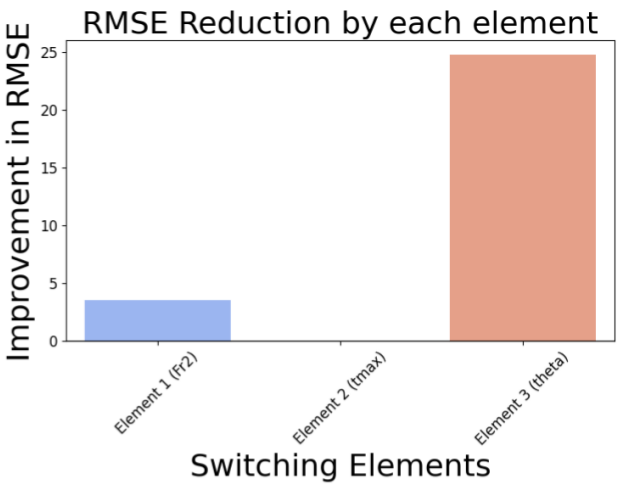


図 1　各要素による精度改善効果

3.2　未補正 JRA-3Q と地形補正済み JRA-3Q の精度比較

未補正の JRA と、低い RMSE を持つ地形補正モデル (t101 など) を比較すると，未補正 JRA は全体的に過大評価（BIAS = +13.52 W/m^2）であったが、地形補正により遮蔽効果が適切に評価され、BIAS がほぼゼロ（例: -1.23 W/m^2）へと大幅に改善した．

一方で、RMSE に関しては未補正 JRA（49.72 W/m^2）よりも地形補正モデル（約 60 W/m^2）の方が増加（悪化）する結果となった．

表 1　RMSE および BIAS の比較

Model	RMSE(W/m^2)	BIAS(W/m^2)
t101	60.010713	7.403238
t001	60.38785	-1.233195
t111	60.449304	9.770845
JRA(未補正)	49.72	13.52

4　SWE 変化への影響

陸面過程モデル SiBUC による雪氷融解量推定を行って地形補正が SWE 変化に与える影響を確かめる．
解析対象期間は 2023 年 1 月 1 日 0 時～2023 年 7 月 28 日 18 時で，入力データは以下の 3 通り

A. すべて観測データ
B. 短波放射だけ JRA-3Q，他はすべて観測データ
C. 短波放射だけ JRA-3Q(地形補正 t110)，
　他はすべて観測データ

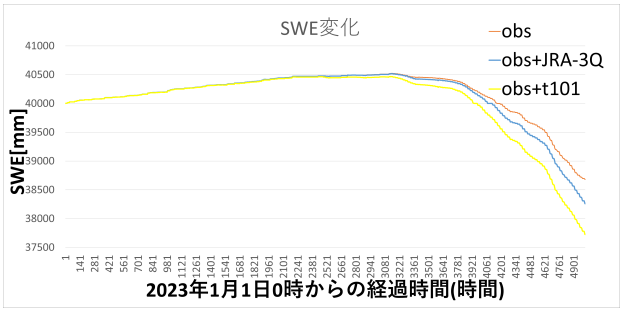


図 2　各入力データによる SWE 変化の比較

これら A，B，C を入力した際の SWE 変化を比較した結果が図 2 である．

図 2 を見ると，地形補正をした JRA-3Q よりも未補正の JRA-3Q の方がすべて観測データを入力した結果に近いことが分かる．このことから，BIAS が小さくなっても融雪期の RMSE が小さくないと，SWE 変化は正しく計算されないことが分かった．

5　考察

5.1　SWE 計算における BIAS 改善の意義

RMSE の悪化は日々のばらつきの増加を意味するが、氷河の質量収支や水文モデリングにおいては長期間の積算エネルギー入力が最も重要である．本補正によって系統的な過大評価（BIAS）を取り除けたことは、実用上極めて価値が高い．しかし，図 2 のように BIAS が低くなっても精度が悪くなることがあると分かった．これは融雪期において RMSE が大きくなってしまったことが原因と考えられる．

5.2　RMSE 悪化の要因

日変化の時系列波形を分析した結果、観測値が急上昇する快晴時に、地形補正モデルが極端に値を下げる現象が確認された。これは再解析データと局所観測の空間スケールのミスマッチに起因すると考えられる．

6　おわりに

本稿ではキルギスの天山山脈に位置する Bordu 氷河を対象に短波放射データの地形効果補正に取り組んだ．地形補正をすると，RMSE が増加する一方，BIAS が大きく減少した．SWE 変化にとっては積算のエネルギー量が重要なため，SWE 変化の再現精度が向上すると思われたが，精度は悪化した．これは融雪期の RMSE が大きく，雪を融かしすぎてしまったことが原因と考えられる．今後はさらに精度の高い地形効果による補正を行い，短波放射の精度を上げた後にイシククル湖を対象とした面的な融解量推定を行う予定である．

参考文献

1) 岩川岳史: 中央天山地域における氷河観測による 雪氷水文プロセスの改良, 修士論文，京都大学，2022

キーワード：SiBUC，雪氷融解量，再解析データ

福島県浪江町の地下水の水質と水位変化の特徴

総合地球環境学研究所 基盤研究部　○藪崎志穂
福島大学 共生システム理工学類　川越清樹

１．はじめに

福島県双葉郡浪江町は福島県の浜通り地域のほぼ中央に位置し，南北約 15 km，東西約 30 km，面積約 223 km^2 で，東西方向に長い特徴を有する．沿岸から約 9 km を境として，東側には平野，西側には山地（阿武隈高地）が広がっている．平野部には水田や畑，民家が分布し，山地の多くは森林で占められている．それぞれの面積は，平野は 51 km^2，山地は 172 km^2 で，山地の割合は 8 割近くに及んでいる．主要な河川として，阿武隈高地を源流とする請戸川と高瀬川が西から東に向かって流れており，請戸川の上流域には大柿ダム，高瀬川上流には焼築頭首工が築造され，震災前にはこれらのダムの水は農業用水として利用されていた．地質も沿岸から約 9 km を境に大きく異なり，東側の平野部には新第三紀および第四紀の堆積岩，西側の山地部には白亜紀の花崗岩や花崗閃緑岩がそれぞれ分布している．浪江町は 2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震の津波の影響により，沿岸域の広範囲で海水が浸水し，家屋の流出や堤防や道路の損壊など大きな被害を受けた．さらに，地震の津波に起因する福島第一原子力発電所（大熊町）の事故の発生に伴い，大量の放射性物質が環境中に放出され，特に浪江町の北西部に広がる山間部の土壌や植生，湖底などに高濃度の放射性物質が降下し，深刻な汚染をもたらした．このため，浪江町では長期間にわたり立ち入り制限が行われ，2025 年 3 月時点においても西部の山間部では帰還困難区域として広範囲で立ち入り制限が続いている [1)]．その一方で，放射線量が低い沿岸域付近では除染や土地の改良などの復興事業が実施され，住民の帰還や農業・工業活動の再開，商業施設や研究施設の建設，震災復興祈念公園の整備などが徐々に進められている．

浪江町には震災前には 4 か所の水道用の取水施設があり，震災後の 2026 年時点では 3 か所の施設が利用されており，水源はいずれも浅層地下水（不圧地下水）である．また，震災前には沿岸域から内陸にかけて民家所有の井戸が点在しており，これらは生活雑用水や農業用水などに利用されていた．こうしたことから，浪江町では震災前においても地下水の需要が高く，住民の帰還や農業等の再開に伴い将来的に生活用水や農業・工業用水として地下水利用が増えることが予測される．地下水資源を枯渇させることなく，水質を保全しながら持続的に地下水を利用するためには，地下水の流動や貯留量を把握することが重要である．しかしながら，これまで浪江町の詳細な地下水調査はほとんど行われておらず，地下水に関する情報は乏しい．そこで，本研究では浪江町を対象として調査を行い，不圧および被圧帯水層の水質特性や地下水位の変動・季節変化の有無，降水イベントに伴う水質と水位の変化，海水侵入の影響，地下水の涵養域や地下水流動，滞留時間などを把握し，適正な地下水利用のためのデータを蓄積することを目的として調査を進めている．本発表では，特に沿岸域および内陸部に設置した観測井の水位と水質の季節変化の特徴に焦点を当て，また既存井戸の調査結果についても併せて報告する．

２．研究方法

浪江町の沿岸域の既存井戸の調査は，2022 年 12 月から沿岸域 1 か所，2023 年 12 月から内陸部 4 か所，阿武隈山地内 1 か所で定期的に実施している．井戸の深さは約 3 ～4 m（阿武隈山地内の井戸のみ約 9 m）で，いずれも不圧地下水である．2025 年には被圧地下水の採水を 1 か所で行った．現地では，水温，EC，pH，ORP，地下水位を測定し，地下水を採取した．また，水位や水質の連続測定のため，2025 年 1 月に沿岸から約 7 km，標高約 30 m の場所（内陸部）に深さ 12m の観測井，2025 年 11 月に沿岸から約 0.3 km，標高約 3 m の場所（沿岸域）に深さ 10 m の観測井をそれぞれ設置した．共に不圧地下水であり，内陸部の井戸は大年寺層の帯水層に相当する．観測井には，水位と水温，EC のロガーを設置して，30 分間隔でデータを記録しており，定期的に地下水採取も実施している．これら 2 地点および内陸部の標高約 200 m の地点に蒸発防止構造を備えた降水採取装置を設置し，1～2

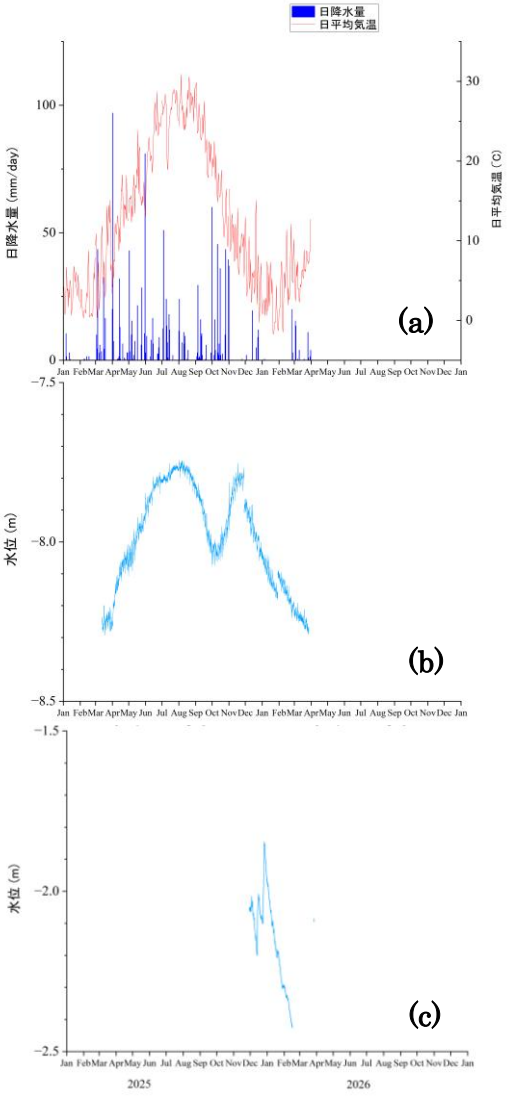
か月ほどの間隔で定期的に降水試料を回収している．さらに，降水の浸透過程や植生の地下水利用の検討のため，2025 年 11 月～2026 年 3 月にかけて，沿岸域の湿地周辺で地表面から深度 1.0 m までの 7 深度に多孔質素焼管（ポーラスカップ，DIK-8390）を埋設し，引き圧をかけて地中水を採取した．採水試料は 0.22μm のシリンジフィルターで濾過し，主要溶存イオン（IC，ICS-6000；HCO_3^-は pH4.8 アルカリ度滴定法にて定量），微量元素（ICP-MS，Agilent 7500cx および 8900），酸素・水素安定同位体比（CRDS 法，Picarro L2140-i），Sr 安定同位体比（MC-ICP-MS，Neptune Plus）の測定を行った．一部地点については，滞留時間推定用として CFCs と SF_6 分析用の採水を行った．

３．結果

内陸と沿岸の観測井の水質組成は Ca-HCO_3 型で近似した組成を示すが，溶存成分濃度は沿岸域のほうが高く（沿岸部は約 55 mS/m；内陸部は約 20 mS/m），地質や滞留時間の影響により水質の差異が生じていると考えられる．NO_3^-濃度は沿岸および内陸共に低く，人間活動の影響は殆ど受けていないと見なせる．$\delta^{18}O$，δ^2H は内陸部の観測井のほうが若干低く（$\delta^{18}O$ で約 0.5‰の差），涵養標高の影響が現れていると考えられる．観測中の標高別降水同位体比には標高と負の相関（高度効果）が認められており，今後データを蓄積することにより涵養標高の推定が可能であると考えられる．観測井の $^{87}Sr/^{86}Sr$ は内陸部では約 0.706 で，沿岸部ではそれよりもやや高い（約 0.707）が，海水の値（0.70918）と比べると明瞭な差が認められる．溶存成分や $\delta^{18}O$，δ^2H，$^{87}Sr/^{86}Sr$ の結果から，少なくともこれまでの観測期間においては沿岸域の観測井の地下水には海水侵入の影響が及んでいないことは明らかである．

地下水の水位と EC の連続観測結果より，内陸部の観測井の水位は GL–8.3～–7.7 m の範囲で変動しており 100 mm 程度の多量の降水イベントが発生した際には 0.07 m 程度の水位上昇が生じているが，相対的に大きな水位変化は認められない（図 1b）．また EC も概ね一定しており，卓越流（preferential flow）の影響は少ないと考えられる．さらに冬期には水位が低下する傾向があり，データを蓄積してさらに検討を進める．一方，沿岸域の観測井の水位は GL–2.4～–1.8 m の範囲で変動しており，降水イベントに対する応答が認められるが，日変動は少なく潮汐の影響は少ないと考えられる（図 1c）．内陸部の観測井と同様に，冬季に水位が低下する傾向があるが，沿岸域の観測データはまだ少ないため今後のデータを注視する．EC の値には約 10 mS/m の変動幅があり，比較的多量の降水イベントが生じた際に EC は低下する傾向が認められ，これは水位変化の特徴と整合している．

引き続き観測を行い，現在測定中の滞留時間の推定値や地質データ，降水の安定同位体比なども併せて，浪江町地下水涵養域や地下水流動について考察を進めてゆく予定である．



図−1　観測井の水位変化．
（2025 年 3 月～2026 年 3 月）
(a) 日降水量と日平均気温
(b) 内陸部の水位変化
(c) 沿岸部の水位変化

【謝辞】

本研究は，JSPS 科研費（JP25K04620，JP20K01150，JP23H00528）の助成を受けて実施しています．

参考文献

1) 福島県避難地域復興課 HP，避難指示区域の概念図（令和 7 年 3 月 31 日時点），https://www.pref.fukushima.lg.jp/sec/11050a/．（2026 年 4 月 24 日閲覧）

キーワード：Namie Town, Groudwater, Water chemistry, Stable isotopes, Variation in water table

白川中流域の人工涵養が熊本地域の地下水に与える影響の推定

熊本大学大学院先端科学研究部　○一柳錦平
熊本大学大学院自然科学教育部　Irfan T. Rahmawan・長岡輝

１．はじめに

熊本地域は豊富な地下水資源を有しており，熊本市の水道水は100%地下水を利用している．本地域の水文地質構造は，砂礫層やAso-4火砕流堆積物から構成される浅層の被圧地下水と，Aso-3火砕流堆積物や砥川溶岩から構成される深層の不圧地下水に分かれている．これら帯水層の主要な涵養域の一つが下方への浸透能力が非常に高い白川中流域であり、不透水層が存在しないために白川からの水は両方の帯水層に浸透する。両帯水層の豊富な地下水は主に北西から南東方向に流れ、熊本市の江津湖周辺に湧水として湧き出ている。その結果、水前寺・江津湖湧水群には熊本市の最も大きな水道水源である健軍水源地を含む数多くの湧水が形成されている．

これまでも江津湖周辺の地下水湧出量の長期変動については多くの研究があり，1992年から2006年までは江津湖周辺の地下水湧出量は減少していたが，2006年以降は回復したことが示された[1,2]．この原因として，2004年以降に白川中流域で行われた水田からの人工涵養の影響が指摘されている[1]。また，熊本地域の地下水の水質を使って白川河川水の混合割合を推定する方法が提案された[3]．そこで本研究では，インプットとして白川中流域の人工涵養量と，アウトプットとして江津湖周辺に湧出する地下水における白川河川水の混合割合を定量的に比較し，2006年以降の江津湖周辺の地下水湧出量に対する白川中流域の人工涵養の影響を推定することを目的とする．

２．使用したデータ

水前寺・江津湖周辺の地下水湧出量を求めるため，1991年12月より毎月13 地点において河川や水路の流量を観測している．本研究では先行研究[2]と同様に，水前寺，上江津湖，下江津湖の3つに区分し，下流側の地点から上流側の地点と流入河川の流量を除き，各ゾーンの地下水湧出量とした．ただし，各ゾーンの地下水湧出量が負の場合は湖水が地下に浸透しているため，地下水湧出量は無しとして，各ゾーンの合計値を全地下水湧出量とした．各月の全地下水湧出量を合計して年間の値とした．また，年降水量は熊本地方気象台のデータを使用した．

３．結果と考察

1992年から2005年までの年地下水湧出量と年降水量の変動を図−1（左図）に示す．この期間は全地下水湧出量は下降傾向を示しており，そのトレンドを直線回帰したところ，式1を得た．

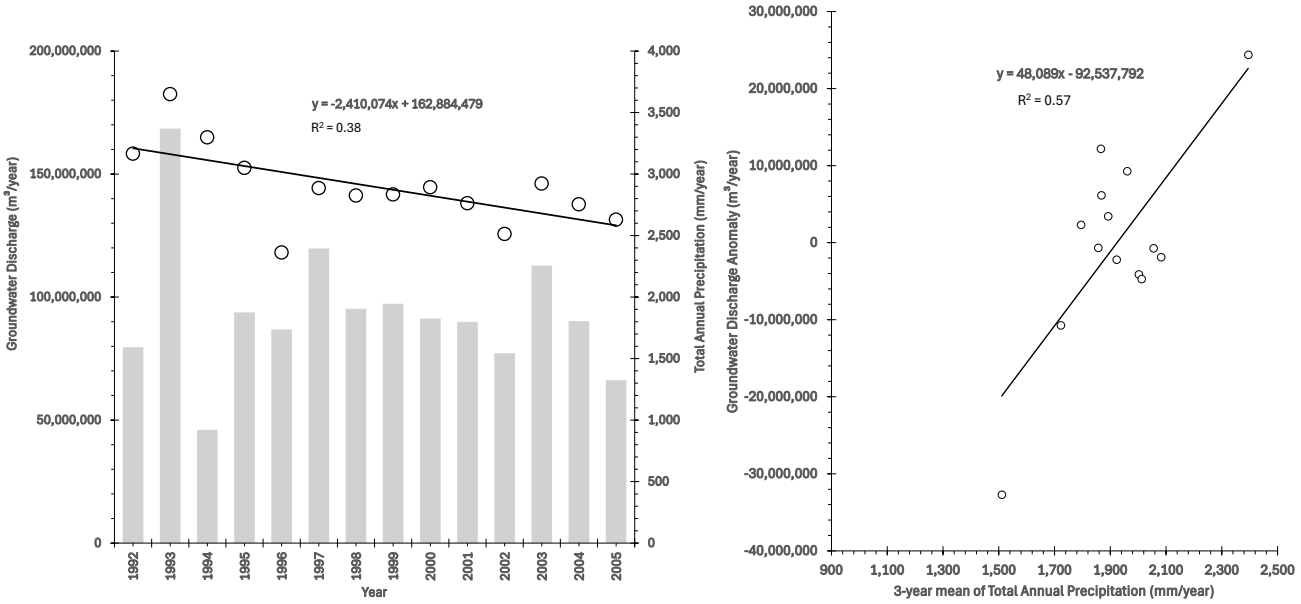
$y = -2{,}410{,}074x + 162{,}884{,}479$　（R^2=0.38）　（式1）

まずは降水量の影響を除くため，この回帰直線からの偏差と過去 3 年間の年平均降水量の相関を求めた結果（右図），式2を得た．

$y = 48{,}089x - 92{,}537{,}792$　（R^2=0.58）　（式2）

両式ともに，決定係数は有意水準5%で有意である．過去3年間とした理由は，江津湖周辺の湧水の約80%を占める水前寺・上江津湖周辺の湧水の滞留時間は745–978日と推定されたためである（壁谷ほか，2026）．

次に，全地下水湧出量の増加量を2007年（125,816,256 m^3/yr）と2008年（150,585,623 m^3/yr）の差として求めた結果，24,769,367 m^3/yrとなった．2006年から2008年の3年間の年降水量の平均値は2,311mm/yrであり，この値を式2に代入した結果，降水量による増加分は18,595,887 m^3/yrと推定できた．つまり，18,595,887/24,769,367≒0.75となり約75%が降水量による影響であると推定できた．残りの増加分は24,769,367-18,595,887=6,173,480 m^3/yrとなり，約25%がそれ以外の影響であると推定できた． それ以外の影響について考えられるのは，この数年間で最も大きく変わった水文環境として，2004年以降に白川中流域で行われた水田からの人工涵養の影響が挙げられる．



図−1　左図は 1992 年から 2005 年までの各年の地下水湧出量（○）とその回帰直線，および年降水量（棒グラフ）を示す．右図は全地下水湧出量の各年の偏差（Y 軸）と 3 年間の平均降水量（X 軸）の相関を示す．

そこで，白川中流域での人工涵養量との比較を行った．白川中流域の水田湛水によって増加した地下水涵養量は，2004 年から 2007 年までの平均値は約 11,000,000 m^3/yr と見積もられている [1]．また，2020 年の調査ではあるが，江津湖周辺の湧水や地下水に含まれている白川河川水の混合割合は約 30%と推定されている [4]．この割合が過去も変化していないと仮定すると白川河川水は 11,000,000*0.3=3,300,000 となり，この量は増加分（24,769,367 m^3/yr）の約 13%と推定できた．

４．まとめ

白川中流域における人工涵養が，熊本市江津湖周辺の地下水湧水量に与える影響について定量的に考察した．その結果，2008 年の増加分のうち，降水量による影響が約 75%，白川中流域の人工涵養による影響が約 13%と推定できた．本研究の結果はかなりの誤差や仮定を含んでおり，今後の解析によって大きく変化する可能性があると考えている．

【謝辞】

本研究で使用した流量の観測値は，くまもと地下水財団から提供していただきました．また，本発表には環境研究総合推進費（JPMEERF20255M02）の支援を受けました．記して感謝の意を表します．

参考文献

1) 市川，熊本、白川中流域における湛水事業による地下水への影響，東海大学基盤工学部・産業工学部紀要, 2, 1-6, 2014.
2) 一柳ほか，熊本市江津湖周辺における地下水湧出量の再考察，日本水文科学会誌, 50 (1), 3‐11, 2020.
3) 市川，熊本白川中流域湛水事業，地下水学会誌, 64 (4), 291-300, 2022.
4) Rahmawan et al., Estimating the Groundwater Recharge Sources to Spring-Fed Lake Ezu, Kumamoto City, Japan from Hydrochemical Characteristics, Geosciences 15:457, 2025.
5) 壁谷ほか，江津湖周辺の湧水や河川水の平均通過時間の推定 −d 値の季節変動を用いた研究事例−九州森林研究, 79, 87-91, 2026.

キーワード：Lake Ezu at Kumamoto City, groundwater discharge, artificial recharge, Shirakawa midstream area

京都市の屋上緑化が気温低減に及ぼす効果に関する基礎的研究

京都大学大学院工学研究科　　疋田真珠子
京都大学防災研究所　　田中賢治

1．はじめに

近年地球規模での温暖化が加速しており，都市部での気温上昇がより問題となっているが，中でも京都市は盆地特有の地形的制約により熱が滞留しやすく，沿岸都市と比較しても極めて過酷な熱環境にある．これらの酷暑対策として，グリーンインフラが注目されており，京都市では条例により一部の建物に対し屋上緑化が義務付けられている[1)]．しかし，従来の研究[2)]では平坦な沿岸都市を主に対象地域としており，京都盆地のような閉鎖的地形における屋上緑化の有効性は十分に検証されていない．本研究では大気陸面結合モデル CReSiBUC（ver2.4.4)[3)]を用い，屋上緑化が気温低減に及ぼす影響を京都市中心部を対象に定量的に検証する.屋上緑化率を段階的に設定した感度実験を通じて,緑化面積の拡大が周辺気温に与える影響を評価し，盆地特有の熱環境における屋上緑化の有効性を明らかにする.

2．屋上緑化の表現に伴う CReSiBUC (ver2.4.4)の改良

本研究で用いた大気陸面結合モデル CReSiBUC は，従来の形では建物の上の緑地を表現できていなかったが，本研究では屋上緑化の蒸散効果を表現するため，新変数として各メッシュ内の 3 階以上の建物面積率（$r3$）と屋上緑化率（grr）を設定し以下の改良を加えた．熱・水収支の計算では，緑地面積率を屋上緑化を施した面積分だけ加算し，対応する分だけ都市域の面積率を減少させる処理を行った（図 1)．なお，屋上緑化の植生は草地のみと定義した．一方，運動量及び粗度については，現実の都市構造は緑化によって変化しないことに留意し，元の面積率を使用した.

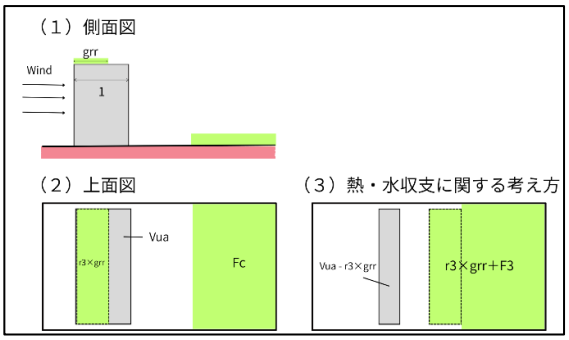


図 1　CReSiBUC における屋上緑化の表現

3．使用データと計算設定

計算の境界条件および初期値として入力した各種データセットとパラメータについて表 1 のとおりである.

表 1　使用データ一覧

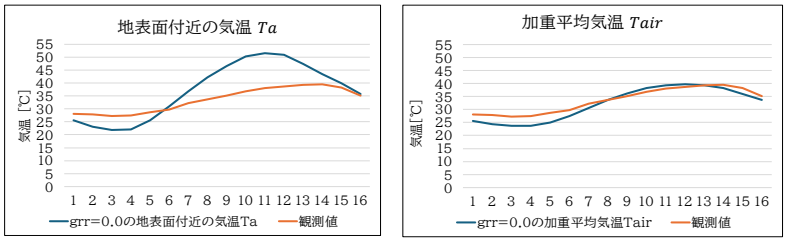
パラメータ	使用データ
大気境界条件および初期値の作成	第 3 次長期再解析データ（JRA-3Q）等圧面解析値
海面温度（SST）	GHRSST による UKMO 作成の OSTIAProduct（Level 4）
標高データ	米国地質調査所（USGS）Gtopo30
土壌パラメータ （砂，粘土，根厚・再補給層までの土層厚）	Ecoclimap（Champeaux et al. 2005）
植生パラメータ（LAI，Nc，Vc）	Ecoclimap（Champeaux et al. 2005）
人口排熱量（AH）	野依ら[4)]による「気象予測への活用に向けた日本全域の人口排熱量分布推定に関する検討」のデータ
建物階数割合分布	ArcGIS データコレクション 2011 詳細地図（ゼンリン）

解析の計算設定について，解析対象日は 2025 年 7 月 30 日とし，計算期間は同日の 3 時から 18 時までの合計 15 時間とした．計算領域は北緯 35.0 度，東経 135.8 度を中心とし東西南北に 246km 四方となる京阪神エリア全体を対象とした．空間解像度は 2 km とし，東西及び南北方向にそれぞれ 123 メッシュを配置した.

4．結果と考察

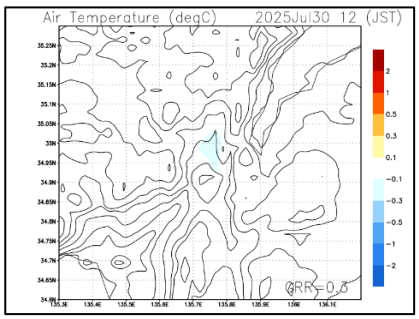
より精度の高い解析が行うため，まず気温変数の調整を行った.モデルから出力される地表付近の気温Ta

と，モデルから出力される地表面温位と大気第 1 層の温位を 2 ：3 の比率で重み付け平均した,加重平気温$Tair$を観測値と比較した結果，Taは過大評価の傾向が見られたのに対し,$Tair$は 15 時等において観測値との誤差がほぼ 0℃となり極めて高い再現性を示したため，以降の評価指標として$Tair$を採用した．感度分析では屋上緑化率を 0%，10%，30%，50%，75%の 5 パターンで数値シミュレーションを実施し，屋上緑化率 0%との差分を検討した．緑化率 10%では顕著な気温低減は見られないが，30%では最大約 1℃の気温低下が確認された（図 3 ―a）．緑化率が 50%を超えると，3 階以上の建物密度が高い地域を中心に 1℃を超える低減効果が広範囲に認められ，75%では 2℃以上の顕著な気温低下が得られた（図 3 ― b ）．図 4 の最も低減が顕著であった京都市中心部における低減量の時間変化を見ると，屋上緑化率に比例して効果が増大し，75%で最大 2.432℃の気温低下を確認した．なお，昼間に見られる気温のがたつきは雲による日射遮蔽等の気象因子の影響と考えられる．以上より，少なくとも 1℃の気温低下を得るには 30%以上の緑化面積が必要であることが明らかとなった．

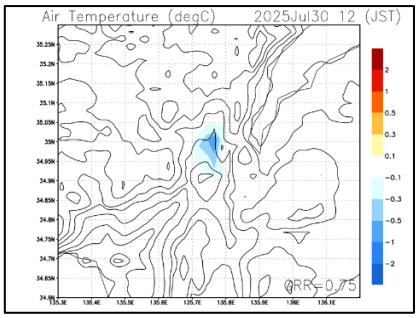


(a)地表面付近の気温 T_a を採用した場合　(b)加重平均気温 T_{air} を採用した場合

図 2　各気温変数と観測値



(a)緑化率 30%



(b) 緑化率 75%

図 3 12 時における気温差

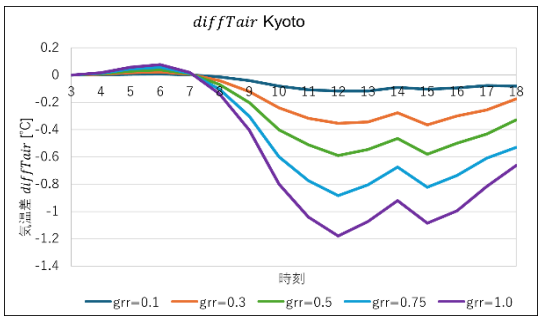


図 4　京都市中心部の緑化率別の気温差

5．結論と今後の課題

本研究では大気陸面結合モデル CReSiBUC を用い，屋上緑化の低減効果を定量的に検証した．特殊な盆地でも屋上緑化は有効であり，75%導入で最大 2℃以上，1℃以上の低減には 30%以上の緑化が必要と判明した.導入は容易ではないが,行政等の緑化推進が熱環境改善に大きな意義を持つことを裏付ける結果である.今後の課題は,草地のみとした植生定義への樹木等の追加や面積率の設定，相対的な熱・水収支計算の精緻化といったモデル改良，および実際の屋上緑化施設での現地気温測定による信頼性向上を図ることである.

【謝辞】
本研究の遂行にあたり，多大なるご協力をいただいた山梨大学の相馬一義先生に深く感謝の意を表する.

参考文献

1）京都市.　“京都市風致地区内建築等規制条例”.　https://www.city.kyoto.lg.jp/,(参照 2026-01-30).
2）村上ら 建物外皮の熱負荷軽減によるヒートアイランド対策効果の評価：屋上緑化・高反射塗装の導入に関する検討,日本建築学会環境系論文集.　2004, vol. 69, no. 582, p. 93-100.　など
3）Souma, K., Tanaka, K., et al. (2013), A comparison between the effects of artificial land cover and anthropogenic heat on a localized heavy rain event in 2008 in Zoshigaya, Tokyo, Japan, J. Geophys. Res. Atmos., 118, 11,600–11,610, doi:10.1002/jgrd.50850.
4）野依ら,気象予測への活用に向けた日本全域の人口排熱量分布推定に関する検討,土木学会論文集 G（環境）, 76(5), I_317-I_323, 2020.

キーワード：Rooftop greening, Temperature reduction, CReSiBUC, Heat Island Effect, Kyoto city

タイ首都圏における水害時避難行動と寺院の避難所利用可能性

中央大学大学院理工学研究科　○坂部雅弥，都築航太
中央大学理工学術院　手計太一

１．はじめに

東南アジアの主要国の一つであるタイでは，2011 年に同国史上最悪の大規模洪水が発生した．この洪水によって，全国で 816 人の犠牲者が生じ，被害額は約 3.75 兆円に上った [1]．この災害については，被害評価や洪水外力の再現解析に関する研究が数多く蓄積されているものの，避難行動に着目した研究は限られている．

一方で，著者らはこれまでに，タイ首都圏の寺院を対象とした水害リスク評価を実施してきた [2]．しかし，寺院側の受け入れ体制や避難所としての運用実態については十分に検討されていない．

そこで本研究では，水害時の避難行動および寺院の避難所としての利用実態と利用可能性を明らかにすることを目的に，アンケート調査およびヒアリング調査を実施した．

２．調査方法

本調査の対象地は，タイのアユタヤ県 10 寺，ノンタブリー県 7 寺，バンコク都 13 寺の計 30 寺およびその周辺地域である．調査にあたっては，日本語で作成した調査票を英語およびタイ語に翻訳し，Kasetsart University の学生の協力のもと，タイ語で聞き取りを行った．本調査における質問項目を表−1 に示す．

３．被験者の属性

本調査で得られた回答者は，男性 144 人（47.1 %），女性 162 人（52.9 %）の計 306 人である．年代別内訳は，10 代 38 人（12.4 %），20 代 11 人（3.6 %），30 代 34 人（11.1 %），40 代 52 人（17.0 %），50 代 65 人（21.2 %），60 代以上 106 人（34.6 %）である．また，職業別内訳は，僧侶が 52 人（17.0 %），その他が 254 人（83.0 %）であった．

４．分析結果

本研究では，①避難行動の実態（4.1 避難経験の有無，4.2 避難時の浸水深，4.3 避難先），②寺院の避難所としての利用実態と利用可能性（4.4 寺院の浸水経験の有無，4.5 寺院の避難所としての利用経験の有無，4.6 寺院の避難所としての利用可能性）の 2 区分で整理し，これらについて地域別の観点からカイ二乗検定を行い，有意な関連が認められた項目について残差分析を行った．なお，紙面の都合上，調査結果とその考察の一部を以下に示す．

4.1　避難経験の有無（対象者：306 人）

単純集計の結果，避難経験者は 96 人（31.4 %），避難経験のない者は 210 人（68.6 %）であり，全体として避難経験のない者が多数を占めた．浸水経験者（259 人）に限定した場合も，避難経験者は 95 人（36.7 %）にとどまり，浸水経験者の約 3 分の 2 が避難行動を取っていない実態が示された．地域別にみると，いずれの地域においても避難率は低く，カイ二乗検定の結果から，「地域」と「避難経験の有無」との間に有意な関連は認められなかった．

4.2　避難時の浸水深（対象者：避難経験者 96 人）

単純集計の結果，浸水深 0.5 m 以上 1.0 m 未満で避難を開始した者が 43 人（44.8 %）と最も高い割合を示した．地域別にみると，アユタヤ県（28 人）では 1.0 m 以上 2.0 m 未満で避難を開始した者が 13 人（46.4 %）と最も多く，ノンタブリー県（15 人）およびバンコク都（53 人）では 0.5 m 以上 1.0 m 未満で避難を開始した者がそれぞれ 7 人（46.7 %），30 人（56.6 %）と最も高い割合を示した．一方で，残差分析の結果，アユタヤ県では浸水深 1.0 m 以上 2.0 m 未満および 2.0 m 以上で避難を開始した者の割合が有意に高く，バンコク都では 0.3 m 以上 0.5 m 未満および

表−1 質問項目

番号	内容	対象者	回答形式
1	性別	全員	選択式
2	年齢	全員	選択式
3	国籍	全員	選択式
4	タイに住んでいるか	全員	選択式
5	職業	全員	選択式
6	浸水経験回数	全員	選択式
7	避難経験の有無	全員	選択式
	以下，設問2において「はい」と回答した場合		
7-1	避難時の浸水深	避難経験者	選択式
7-2	避難先	避難経験者	選択式
7-3	避難先の安全度	避難経験者	選択式
	以下，設問2において「いいえ」と回答した場合		
7-4	設問7の回答理由	避難経験者	自由記述式
8	避難政策の満足度	全員	選択式
	寺院の浸水経験回数	僧侶	選択式
10	寺院の避難所としての利用回数	僧侶	選択式
11	寺院が避難所として利用可能かどうか	全員	選択式
12	設問11の回答理由	全員	自由記述式
3	防災アプリの利用経験の有無	全員	選択式
14	防災アプリの利用意向	全員	選択式

0.5 m 以上 1.0 m 未満で避難を開始した者の割合が有意に高いことが示された．以上より，「地域」と「避難時の浸水深」との間に有意な関連が認められ，避難開始の閾値が地域によって異なることが明らかになった．

4.3　避難先（対象者：避難経験者 96 人）

単純集計の結果，寺院に避難した者が 40 人（41.7 %）と最も高い割合を示した．地域別にみると，アユタヤ県（28 人）では寺院に避難した者が 14 人（50.0 %），バンコク都（53 人）では 23 人（43.4 %）と，両地域で寺院が最も多い避難先となった．ノンタブリー県（15 人）では寺院および学校以外への避難が 7 人（46.7 %）と最も高い割合を示した．一方で，カイ二乗検定の結果，「地域」と「避難先」との間に有意な関連は認められなかった．

このように寺院が主要な避難先の一つになっている背景には，寺院が宗教的に地域住民にとって身近でアクセスしやすい施設であることが一因として考えられる．なお，標高や構造上の安全性については今後の検討課題である．

4.4　寺院の浸水経験の有無（対象者：僧侶 52 人）

単純集計の結果，自身の寺院に対して「浸水経験がある」と回答した僧侶は 37 人（71.2 %），「浸水経験がない」と回答した僧侶は 15 人（28.8 %）であり，浸水経験を有する寺院が多数を占めた．地域別にみると，いずれの地域においても浸水経験を有する寺院の割合が最も高かった．一方で，カイ二乗検定の結果，「地域」と「寺院の浸水経験の有無」との間に有意な関連は認められなかった．

4.5　寺院の避難所としての利用経験の有無（対象者：僧侶 52 人）

単純集計の結果，自身の寺院が避難所として「利用された経験がある」と回答した僧侶は 14 人（26.9 %），「利用された経験がない」と回答した僧侶は 38 人（73.1 %）であり，利用実績は必ずしも高いとはいえない．しかし，一部の寺院では，公的な避難所指定の有無にかかわらず避難所としての利用実績が確認された．地域別にみると，いずれの地域においても避難所として利用された経験がない寺院の割合が最も高かった．一方で，カイ二乗検定の結果，「地域」と「寺院の避難所としての利用経験の有無」との間に有意な関連は認められなかった．

4.6　寺院の避難所としての利用可能性（対象者：306 人）

単純集計の結果，寺院が避難所として「利用可能」と回答した者は 207 人（67.6 %），「利用不可能」と回答した者は 99 人（32.4 %）であり，全体として「利用可能」と評価する者が多数を占めた．「利用可能」と回答した理由としては，寺院が比較的標高の高い場所に位置していることや，寺院内に高床式の建物を有していることが主に挙げられた．地域別にみると，いずれの地域においても「利用可能」と回答した者の割合が高かった．一方で，残差分析の結果，アユタヤ県では「利用可能」と回答した者の割合が有意に高く，バンコク都では有意に低いことが示された．さらに，職業別にみると，「利用可能」と回答した割合は僧侶で 34 人（64.2 %），僧侶以外で 173 人（68.4 %）であり，避難する側と受け入れる側との間に大きな差はなかった．以上より，受け入れ主体である僧侶においても，寺院が避難所として利用されることに対して概ね肯定的に捉えていることが示された．

５．まとめ

本調査では，タイ首都圏において，水害時の避難行動および寺院の避難所利用可能性を検討した．その結果，浸水経験者のうち避難経験を有する者は 36.7 %にとどまり，浸水を経験しても避難行動を取らない住民が多い実態が示された．また，避難経験者のうち寺院に避難した者は 41.7 %であり，寺院が主要な避難先の一つとして機能していることが確認された．一方，寺院の避難所利用実績は 26.9 %にとどまったものの，寺院の避難所利用可能性については 67.6 %が肯定的に評価しており，寺院を地域防災拠点として活用できる可能性が示唆された．今後は，寺院の浸水リスク，施設構造，受け入れ体制を踏まえた安全性評価が必要である．

【謝辞】本調査の実施にあたり，Kasetsart University の学生各位に多大なる協力をいただいた．ここに記して謝意を表する．

参考文献

1) 中村ら，2011 年タイ王国 Chao Phraya 川洪水における水文及び氾濫の状況，水文・水資源学会誌，Vol.26, No.1, pp.38-46, 2013.
2) 坂部ら，LiDAR データによる MERIT DEM の簡易補正手法の提案とタイ首都圏における寺院の水害リスク評価，土木学会論文集 G（環境），Vol.81, No.27, 25-27026, 2025.

キーワード：Flood, Evacuation, Survey, Thailand, Temple

二次元格子に基づく下水道モデルを用いた内水氾濫計算

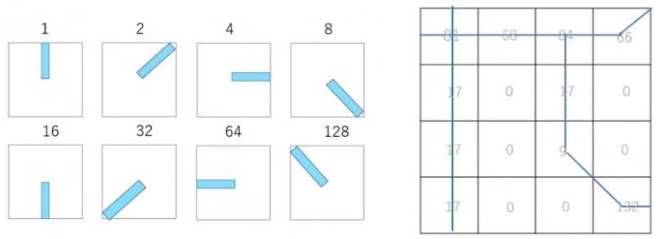
京都大学大学院工学研究科　○山口駿希
京都大学大学院経営管理研究部　市川　温

1．はじめに

近年，都市域では短時間強雨の増加により内水氾濫の危険性が高まっている．内水氾濫の発生には，地表面の流れだけでなく，下水道の排水能力や管内水位の上昇が大きく関係するため，下水道モデルと氾濫モデルを連成した解析が重要である．従来の下水道モデル[1)]では，下水管をリンク，マンホールをノードとして表現する一次元ネットワークモデルが多く用いられてきた．しかし，細い枝線まで含む下水道網を対象とする場合，複雑なネットワーク構造を計算モデル上に再現するために多大な労力を要する．そこで本研究では，下水道網を二次元格子上で簡略的に表現することで，下水道網を簡潔に記述し，数値計算の手順を単純化する手法を提案する．さらに，本手法を二次元氾濫モデルと連成し，都市域における内水氾濫の再現計算を通じてその適用性を検討する．

2．モデル化の方法

本研究では，対象領域を二次元格子に分割し，同一格子上で地表面流と下水道流を計算する．氾濫モデルでは，地盤高，粗度係数，建物占有率および流出係数を各格子に与え，建物による影響を考慮した局所慣性方程式と連続式[2)]に基づいて降雨に伴う地表水深と流量を計算する．また，地表面と下水道の相互作用は簡略化のためマンホール位置でのみ考慮し，地表面から下水道への排水量および下水道から地表面への噴出量をマンホールを介して受け渡す．



図−1　下水道接続方向の数値表現

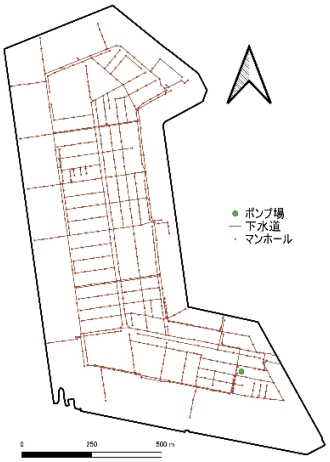
下水道モデルでは，下水道網を二次元格子上で表現し，各格子セルにおける下水管の接続方向を数値化する．図−1 に示すように，セル中心から見た 8 方向に対して，上方向から時計回りに 1，2，4，8，16，32，64，128 の値を割り当て，複数方向に接続する場合はそれらの和により 0 から 255 の整数値として接続状態を表す．これにより，下水道網の構造を簡潔に記述し，隣接セルとの接続関係を機械的に処理することができる．下水道流れの計算には，局所慣性方程式と連続式にスロットモデルを組み合わせたものを基礎式として用いる．表−1 に示すように，各時間ステップにおいて，まず時刻 n の水位，流量，通水断面積などを用いて，時刻 n+1 の各接続方向の流量を計算する．次に，連続式により各セルの水量を更新し，その水量と貯留容量の関係から水深，通水断面積，径深などを算出する．以上の計算を時間ステップごとに繰り返すことで，下水道内の流量および水位の時間変化を求める．

表−1　計算ステップの概要

ステップ	内容	使用する式・変数
1	$Qx_{i-\frac{1}{2}j}^{n+1}$ の計算	局所慣性方程式(x 方向)
2	1 と同様に y, u, v 方向の計算	局所慣性方程式(y,u,v 方向)
3	V_{ij}^{n+1} の更新	連続式
4	$h_{ij}^{n+1}, A_{ij-\frac{1}{2}}^{n+1}, R_{i-\frac{1}{2}j}^{n}$ の計算	$h_{ij}^{n+1}, A_{ij-\frac{1}{2}}^{n+1}, R_{i-\frac{1}{2}j}^{n}$
5	次のタイムステップへ進む	-

3．大正区鶴町集水区の豪雨出水の再現

相良ら[3)]と同様に，1997 年 8 月豪雨により浸水被害が発生した大阪市大正区鶴町集水区を対象領域とした．本領域は海および河川に囲まれており，領域外との水のやり取りは南東部に位置するポンプ場を介して行われる．本研究では，対象領域内に存在する下水管を管径によらず考慮し，下水管 664 本，マンホール 596 個を用いて計算を行った．氾濫モデルおよび下水道モデルの格子サイズはいずれも 5 m とし，地表面の計算格子数は 37189 個，対象領域面積は約 0.9 km^2 である．下流端のポンプ場では，ポンプ場に接続するセルから領域外へ排水するものとし，最大吐出流量を 5.96 m^3/s とした．また，実際の下水道網を図−2，二次元格子



図−2　実際の下水道網



図−3　モデル化した下水道網

上で表現した下水道網を図-3，地盤高を図-4 に示す．降雨条件には 1997 年 8 月豪雨の降雨データを用い，図-5 に示す降雨に基づいて再現計算を行った．計算結果は，対象豪雨時の浸水実績と比較し，モデルの再現性を検討した．

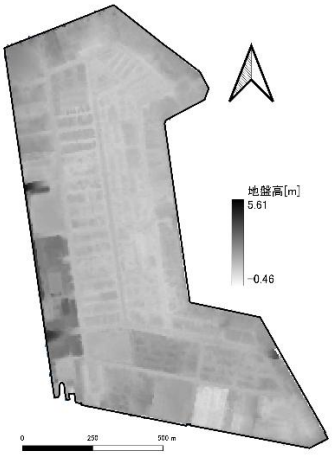


図-4　地盤高

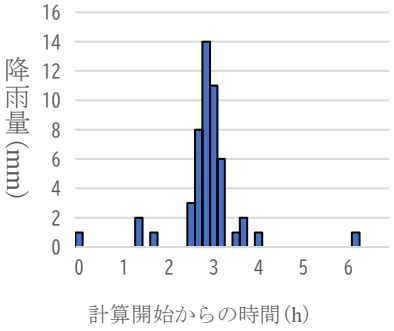


図-5　降雨強度

４．計算結果と考察

図-6 に，本モデルで得られた最大浸水深分布と対象豪雨時の浸水実績を示す．計算結果では，浸水実績の範囲内で浸水が確認された一方で，実績では浸水が示されていない領域にも広範囲に浸水が発生した．降雨ピーク時にはポンプ場が最大吐出流量で排水していたものの，地表面に広範囲の浸水が残存した．この要因として，本モデルでは地表面から下水道への排水をマンホール位置でのみ考慮しており，実際の雨水ますを介した排水を考慮していないため，地表面から下水道への排水量を過小評価した可能性がある．

一方，対象領域内の浸水分布に着目すると，特に西側および南西側において浸水深が大きくなる傾向が確認された．これは，図-4 に示すように当該地域の地盤高が周辺より低いことに加え，周囲に下水管が少なく，地表の水が十分に排水されずに貯留したためと考えられる．さらに，数は限られるものの，下水道網を二次元格子上に変換する際，同一セル内で同方向に重なる管路や複数のマンホールの一部を除去しているため，局所的な排水能力や接続関係の再現性に影響した可能性もある．

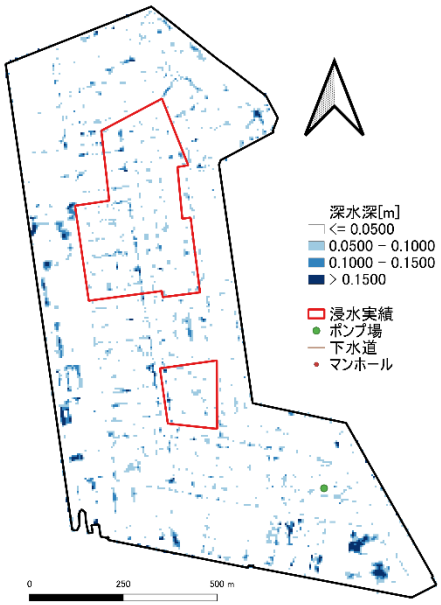


図-6　最大浸水深分布と浸水実績

５．まとめ

本研究では，下水道網を二次元格子上で表現した下水道モデルと二次元氾濫モデルを連成し，大阪市大正区鶴町集水区を対象に 1997 年 8 月豪雨の再現計算を行った．その結果，地表面から下水道への排水，下水道から地表面への噴出，およびポンプ場から領域外への排水といった，下水道と地表面流の相互作用に関する基本的な挙動を確認することができた．また，浸水実績範囲内においても浸水が確認され，本手法により対象領域内の浸水しやすい箇所を一定程度表現できる可能性が示された．一方で，計算結果は浸水実績と比較して浸水範囲および浸水深を過大に評価した．この要因として，本モデルでは地表面から下水道への排水をマンホール位置でのみ考慮しており，実際の雨水ますを介した排水過程を十分に表現できていないことが考えられる．今後は，雨水ますを介した地表面から下水道への流入過程を導入するとともに，下水道網の格子化に伴う管路・マンホールの表現方法を改善し，より広域を対象とした過去の豪雨災害の再現計算を通じて，本手法の適用性を検証する必要がある．

【謝辞】

下水道網に関する資料を提供いただいた大阪市建設局の関係各位に謝意を表します．

参考文献

1) 北村諒馬，朝岡良浩，佐藤俊和，小山由美子：本川・支川・下水管網を一体化した河川合流部付近の内水・外水氾濫解析，土木学会論文集，Vol.80，No.27，論文 ID 24-27017，2024.
2) 国土交通省 水管理・国土保全局 河川環境課 水防企画室，国土技術政策総合研究所 河川研究部 水害研究室：洪水浸水想定区域図作成マニュアル（第 4 版）
3) 相良亮輔,錦織俊之,井上和也,戸田圭一: 枝線下水道を考慮した市街地氾濫解析, 水工学論文集,第 48 巻,pp. 589–594, 2004.

キーワード：Sewer system model, flood inundation model, Runoff, Urban hydrology

団粒構造を考慮した地表面エネルギー収支を伴う Dual-domain 土壌水分移動モデルによる保水・排水特性の評価

北海道大学大学院工学院　○相良志織
北海道大学大学院工学研究院　山田朋人

１．はじめに

降雨は地表面に到達した後，浸透，蒸発，表面流出などを通じて水循環を形成し，農地流域における水資源管理や土壌侵食，養分流出に大きく関与する．これらの過程を定量的に理解するためには，土壌中の水移動を適切に表現するモデルによる計算が必要である．土壌水分移動は Richards 方程式を基礎とした単一間隙系モデルにより記述されることも多いが，実際の農地土壌は団粒構造を有しており，その内部には微細なミクロポアと連結性の高いマクロポアが共存している．マクロポアは重力に支配された速い排水経路として機能する一方，ミクロポアは毛管力による保水機能を有する．このような異なるスケールの間隙構造は，降雨時の浸透速度や含水率分布，蒸発過程に大きな影響を与えると考えられる．そこで本研究では，団粒構造の影響を考慮し，土壌中の水・熱・蒸発過程を扱う数値モデルの構築を行う．

２．研究目的

本研究の目的は，団粒構造を考慮した土壌浸透モデルを構築し，その構造が土壌水分特性に与える影響を評価することである．本研究では，土壌をミクロポア領域とマクロポア領域の 2 つの領域に分割する Dual-domain を採用する．さらに，両領域間の水分交換を導入することで，実際の団粒構造における水の移動過程を表現する．また，本研究では水分移動と熱移動を同時に扱う点に着目し，蒸発過程における水分依存性と温度依存性を同時に評価する仕組みを構築する．これにより，水・熱・蒸発の関係を一体的に評価することを目指す．

３．モデル構成

本モデルは鉛直一次元を対象とし，土壌内の水移動と団粒構造，地表面でのエネルギー収支，蒸発過程を統合した数値計算を行う．各時間ステップにおいて，気象条件の入力，蒸発ポテンシャルの計算，液相水移動，表面貯留更新，蒸気拡散，熱伝導計算を実行し，圧力水頭などの水分場および温度場を更新する構造となっている．

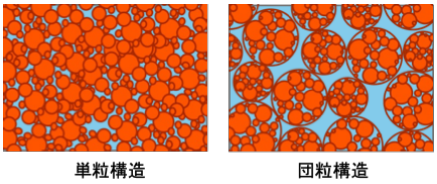


図-1　団粒構造の模式図

本モデルでは，降雨量 R，気温 Ta，相対湿度 RH，風速 u，短波放射 SW，長波放射 LW を入力気象条件として与える．これらの気象データは，各時間ステップにおける地表面エネルギー収支および蒸発計算に利用され，降雨量は地表面への水供給として液相水移動計算にも用いられる．蒸発ポテンシャルは，Penman–Monteith 式により算出し，地表面では正味放射 Rn，顕熱 H，潜熱 LE，地中熱 G からなるエネルギー収支を考慮し，地表面温度 Ts を求める．本モデルでは，水分状態と熱状態の相互作用を考慮して，蒸発過程を評価する．

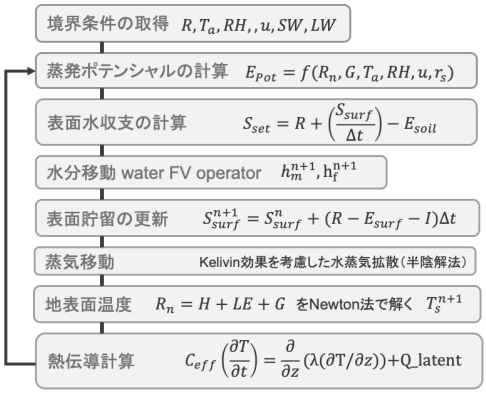


図-2　土壌水分移動モデルのフロー図

液相の水移動は次式の Richards 方程式に基づき，体積含水率 θ と圧力水頭 h を主要変数として記述する．　不飽和特性には van Genuchten-Mualem 式 [1)2)] を適用し，体積含水率$\theta(h)$および透水係数$K(h)$を与える．(2)式により、飽和時の透水係数 Ks を基準として、不飽和条件下の透水係数$K(h)$を求めることができる．

$$\theta(h) = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{\{1 + (\alpha|h|)^n\}^m} \qquad (1)$$

$$K(h) = K_s S_e^{\frac{1}{2}} \left\{1 - \left(1 - S_e^{\frac{1}{m}}\right)^m\right\}^2 \qquad (2)$$

ここで，$\theta(h)$は体積含水率，hは圧力水頭，θ_rは残留体積含水率，θ_sは飽和体積含水率，αおよびmは土壌特性パラメータ，S_eは有効飽和度である．

本研究では，団粒構造の影響を表現するため，土壌をミクロポア領域（matrix flow）とマクロポア領域（fast flow）の 2 領域に分割する Dual-domain モデルを導入した．ミクロポア領域では高い保水性を持つ一方，マクロポア領域では透水性が高く，より迅速な水移動が生じる．

$$\phi_m \frac{\partial \theta_m}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z}\left\{k_m(\theta)\left(\frac{\partial h_m}{\partial z}+1\right)\right\} + \Gamma \quad (3) \qquad \phi_f \frac{\partial \theta_f}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z}\left\{k_f(\theta)\left(\frac{\partial h_f}{\partial z}+1\right)\right\} - \Gamma \quad (4)$$

また，両領域間では，上式のΓで示されるように，圧力水頭差に応じた水分交換を考慮することで，団粒構造内での再分配過程を表現している．

$$\omega = \frac{a_{mf} D_{int}}{R_a} \quad (5) \qquad \Gamma = \omega * \left(h_f - h_m\right) \quad (6)$$

ここで、ωはドメイン間の交換係数，a_{mf}は領域界面面密度，D_{int}は拡散係数，R_aは団粒半径である．さらに，その交換係数ωを用いて，水頭差から交換項Γを計算する．

地表面過程としては，降雨および前時刻から残存する地表面水を水供給源とし，可能蒸発量，土壌の浸透能力，および地表面貯留量の上限に基づいて，蒸発，浸透，表面流出への分配を計算する．

また，本モデルでは，液相水移動に加えて，土壌間隙中の水蒸気移動を考慮する．水蒸気密度は圧力水頭および温度に依存して変化し，その密度勾配に基づいて蒸気フラックスを計算する．また，蒸気移動に伴う潜熱項を熱伝導計算へ反映することで，水分移動と温度変化の相互作用を表現する．

$$\rho_v = a_w \rho_{vs} \quad (7) \qquad q_v = -D_v \frac{\partial \rho_v}{\partial z} \quad (8)$$

ここで，ρ_vは水蒸気密度，a_wは Kelvin 効果を考慮した水分活性，ρ_{vs}は飽和水蒸気密度，q_vは水蒸気フラックス，D_vは有効水蒸気拡散係数である．土壌内部の温度変化は熱伝導方程式に基づき計算する．熱伝導率および熱容量は土壌水分状態に応じて変化し，蒸発に伴う潜熱項も考慮することで，水分移動と熱移動の相互作用を表現する．

本モデルでは，空間方向に有限体積法を適用し，時間方向には陰解法を用いて数値計算を行う．非線形項を含む水分方程式については Picard 反復により収束計算を行い，地表面温度計算には Newton 法を適用する．これにより，水分移動および熱移動を安定的に計算することが可能となる．

４．数値計算および評価の方針

本研究では，構築した Dual-domain 土壌水分移動モデルの妥当性を確認するため，仮想的な降雨条件を用いた数値計算を予定している．単一間隙モデルと Dual-domain モデルを比較し，交換項Γによる領域間の水分再分配や，乾燥劣化に伴う団粒構造の変化が，保水性および排水性へ与える影響を評価する．また，数値計算に加え，畑地観測や土壌サンプルを用いた実験結果との比較を行い，モデルの妥当性および適用可能性について検証を進める予定である．さらに，マルチスペクトルカメラを搭載した UAV による観測を実施し，地表面状態や植生情報と土壌水分状態との関係についても検討する．数値モデルによる過程理解に加え，室内実験および UAV 観測を組み合わせることで，団粒構造が土壌水分動態へ与える影響を多面的に評価することを目指す．

【謝辞】

本研究は文部科学省「気候変動予測先端研究プログラム」JPMXD0722680734，科研費基盤研究(B)26K01048 および第 3 期内閣府戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)「スマート防災ネットワークの構築(サブ課題 B)」の支援を受けて実施した．

参考文献

1) Mualem, Y., A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media, Water Resources Research, Vol.12, No.3, pp.513-522, 1976.
2) van Genuchten, M.Th., A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils, Soil Science Society of America Journal, Vol.44, pp.892-898, 1980.

キーワード：Dual-domain model, Soil aggregate structure, Vapor transport, Surface energy balance, Water retention

Impact of soil moisture initial conditions on flood risk in Hokkaido, Japan

Graduate School of Engineering, Hokkaido University Julie ANDRE
Graduate School of Engineering, Hokkaido University Tomohito YAMADA

1. Introduction

As the global water cycle tends to intensify with climate change, most of the mid and high-latitudes, among which Japan states, are expecting more frequent and intense heavy precipitation. In Hokkaido, Japan's northernmost island, a +4°C future global warming may lead to an increase by about 50% in intensity for heavy precipitation (for a 100-year event, [1]). This is expected to lead to increased flood risk in Japan.

Still, rainfall intensity is not the only aspect that impacts flood intensity: rainfall spatio-temporal patterns but also soil moisture antecedent condition can play an important role in the relation between rainfall and river discharge. Typically, if the catchment is already at saturation before a rainfall event, then all the rain will be transformed into runoff and river discharge, resulting in a larger flood peak. As an illustration, in summer 2016, precipitation from three different typhoons that hit Hokkaido within a week, left the soils saturated, when another heavy rainfall occurred due to a 4th typhoon. This resulted in a particularly extreme flood in the Tokachi river, Hokkaido, with large damages in the Obihiro region.

A few studies have looked at the potential link between soil moisture antecedent conditions and flood. Some perform hydrological simulations of a few past extreme events with different soil moisture initial conditions (*[2]*), others do statistical analysis based on many events extracted from observational data (*[3, 4, 5, 6, 7]*). However, this topic is still not very well understood. Besides, the previous studies focused mainly on either Europe, the US and Australia, and highlighted regional disparities over these regions, making it crucial to perform similar analysis on other regions.

In this paper, we investigate quantitatively the impact of soil moisture initial conditions on flood intensity, in Japan, based on observation data.

2. Research methods

This study focuses on 18 "natural" riversheds in Hokkaido, Japan, that is to say riversheds which are not impacted by dam operation or irrigation. We use high quality river discharge data for 2002-2025, at hourly resolution, at dam locations (focusing on the catchment upstream of the dams, figure 1a); average rainfall data interpolated from Japanese rain gauges network; as well as soil moisture extracted from the reanalysis ERA5. We extract peak discharge events with the following steps. On the time series of river discharge, we first separate the baseflow from the peakflow (also called stormflow or direct flow) as in [5], using a separation slope scaled with the area of the rivershed. We thus get the total volume of peakflow and the peak maximum for each peakflow event. We then define the total rainfall corresponding to this event, by going backward from the start of the discharge event, until the accumulated rain in the previous day is less than 1mm. This defines the start of the rain event. The antecedent soil moisture value is taken as the minimum of soil moisture between this timestep and the previous one. We also perform a cleaning step: we remove inconsistent events (too short, too small discharge or too small rain), and we merge two consecutive events if the second starts less than 1 day after the first event ended. We also focus on months from June to October, to limit the impact of snow and snowmelt, as they would change the relation between rainfall and river discharge.

We finally perform a statistical analysis on the extracted events, computing the Spearman correlation coefficient between the soil moisture antecedent condition and the runoff coefficient (ratio of total rainfall over the total peakflow, for a given event), on all extracted events.

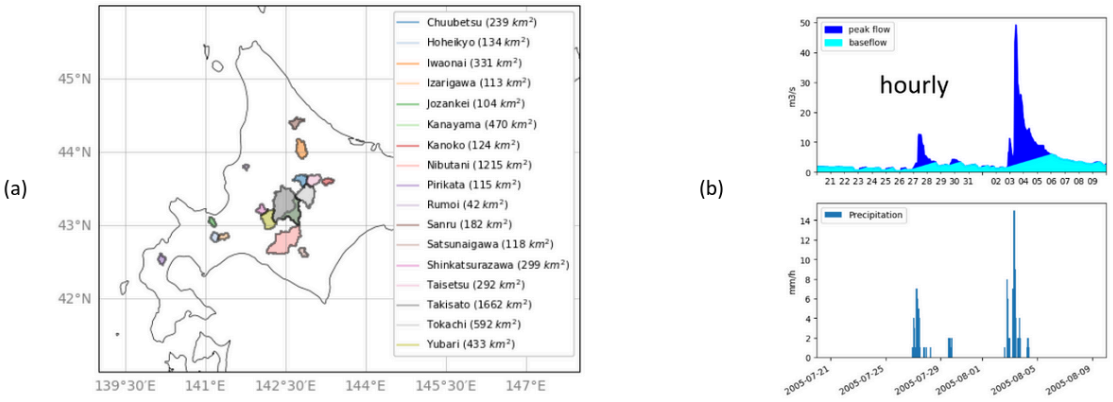


Figure 1: (a) Map of the 18 riversheds in Hokkaido, Japan, that we considered as natural and which we study in this paper (rivershed upstream of the corresponding dam). (b) An extract of the river discharge timeserie, separated in peakflow and baseflow, and the corresponding rainfall, for the rivershed upstream of Jozankei dam.

3. Preliminary results and future work

As an illustration, we will focus on results on the rivershed upstream of Jozankei dam. Our extraction method resulted in 276 events for this rivershed, over the period 2002-2025 (11 events per year on average), with an event mean of $8.5 \times 10^5\ m^3$ for total peak runoff and 48 mm for total rainfall. Events are more numerous during August-September-October (Figure 2a).

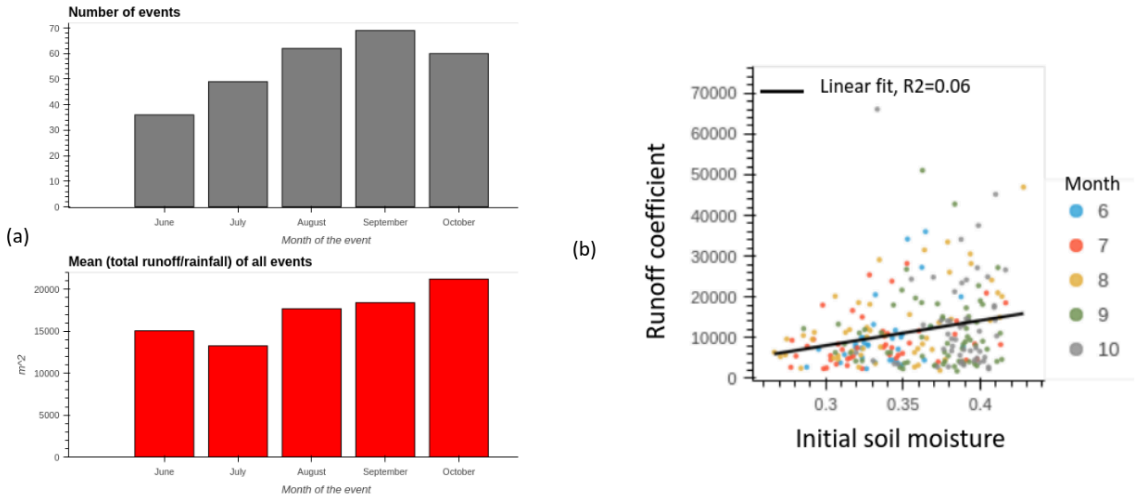


Figure 2: (a) Seasonality of the number of events and of the runoff coefficient (ratio of total peakflow to total rainfall) for events extracted in the Jozankei dam watershed. (b) Scatter plot of the runoff coefficient vs the initial soil moisture (taken as the ERA5 soil moisture at depth 28-100 cm), on all flood events extracted on Jozankei rivershed.

The positive correlation we have on Jozankei rivershed means that the wetter this catchment (due to previous rainfall events), the larger the river discharge for a fixed rainfall event. We will discuss the strength of the obtained correlation between soil moisture antecedent condition and runoff coefficient, based on the events extracted over the 18 dams in Hokkaido.
In the future, we plan to apply this analysis to the whole Japan territory and use other sources of soil moisture observation such as on satellite products.
In future work, we plan to complement this analysis with the study of 1) the typical time of soil moisture decay after a given rain event, and 2) the typical time between two rain events in past data and future projections. These two aspects, added to the impact from soil moisture antecedent condition to flood presented in the current abstract, will help to construct a more complete view of the evolution of flood risk with the future climate.

[Acknowledgments] This work was supported by the JSPS postdoctoral fellowship (grant number P25709) and JSPS KAKENHI (grant number JP26K01048).

[Literature references]
[1] Technical Committee on Flood Management Planning in Response to Climate Change "Recommendations on Flood Management Planning in Response to Climate Change" (Revised in April 2021)
[2] Grillakis, M. G., A. G. Koutroulis, J. Komma, I. K. Tsanis, W. Wagner, and G. Blöschl. "Initial Soil Moisture Effects on Flash Flood Generation – A Comparison between Basins of Contrasting Hydro-Climatic Conditions." Journal of Hydrology, Flash floods, hydro-geomorphic response and risk management, vol. 541 (October 2016): 206–17. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.03.007.
[3] Berthet, L., V. Andréassian, C. Perrin, and P. Javelle. "How Crucial Is It to Account for the Antecedent Moisture Conditions in Flood Forecasting? Comparison of Event-Based and Continuous Approaches on 178 Catchments." Hydrology and Earth System Sciences 13, no. 6 (2009): 819–31. https://doi.org/10.5194/hess-13-819-2009.
[4] Sazakume, Satohide, Masahiro Liang, and Oliver Saavedra. "Consideration of Antecedent Soil Moisture for Predicting Flood Characteristics." 土木学会論文集b1(水工学) 71, no. 4 (2015): I_97-I_102. https://doi.org/10.2208/jscejhe.71.I_97.
[5] Massari Christian, Victor Pellet, Yves Tramblay, et al. "On the Relation between Antecedent Basin Conditions and Runoff Coefficient for European Floods." Journal of Hydrology 625 (October 2023): 130012. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.130012.
[6] Ivancic, Timothy J., and Stephen B. Shaw. "Examining Why Trends in Very Heavy Precipitation Should Not Be Mistaken for Trends in Very High River Discharge." Climatic Change 133, no. 4 (2015): 681–93. https://doi.org/10.1007/s10584-015-1476-1.
[7] Ho, Michelle, Conrad Wasko, Declan O'Shea, Rory Nathan, Elisabeth Vogel, and Ashish Sharma. "Changes in Flood-Associated Rainfall Losses under Climate Change." Journal of Hydrology 625 (October 2023): 129950.

[Keywords] Flood, soil moisture, antecedent conditions, climate

ため池揚水発電システムのため池灌漑地区への適用

九州大学大学院生物資源環境科学府　○木原昂
九州大学大学院農学研究院　谷口智之
九州大学大学院農学研究院　岩田幸良
農研機構農村工学研究部門　堀俊和
農研機構農村工学研究部門　泉明良

1. はじめに

近年，激甚化・頻発化する豪雨災害への防災・減災対策としてため池の低水位管理や事前放流が検討・実施されている．治水対策を実施するためには用水確保が欠かせない．そこで，木原ら[1]は，太陽光発電を利用して農業排水を反復利用するため池揚水発電モデルを開発し，3 種のモデルため池灌漑地区の諸元値（貯水量や水田面積など）を設定して，揚水と低水位管理を組み合わせることによる利水・治水安全度の将来変化を日本全国 5 km メッシュで評価した．

本研究では，上記の解析において低水位管理の強度によって利水・治水安全度の傾向が異なったセル（岐阜県）に実在する 34 基のため池（図-1）を対象に，ため池揚水発電モデルを適用し，ため池諸元の違いが利水・治水対策の有効性に与える影響を評価した．

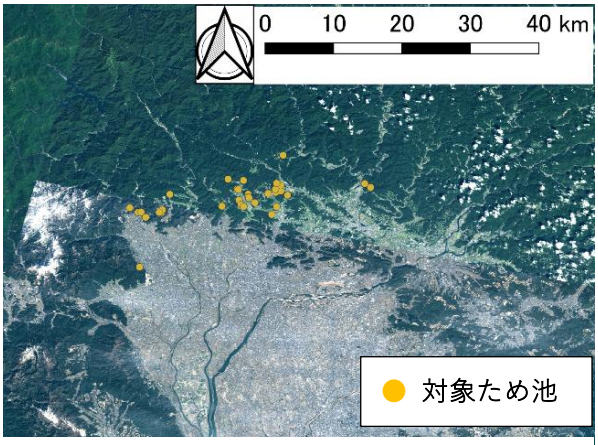
2. ため池揚水発電モデルの概要

ため池揚水発電モデルでは水田とため池のそれぞれの水収支を日ごとに計算した．ため池の水位が 0 m を下回った日数（以下，水不足日数）と最大水位を上回った日数（以下，越流日数）をそれぞれ利水・治水安全度の指標とし，現在気候での満水管理と比較して利水・治水安全度の両方が向上する条件を探索した．なお，水田とため池で水をやり取りするため，単位はすべて水田単位面積あたりの水深（mm）に換算した．また，蒸発散量はペンマン式を用いて計算した．

3. 使用データおよび解析条件

気象データは，メッシュ農業気象データ地域気候予測シナリオデータセットの 5 つの GCM データ（MIROC5, MRI-CGCM3, GFDL-CM3，HadGEM2-ES，CSIRO-Mk3-6-0）から現在気候値（1981~2000 年）ならびに RCP2.6，RCP8.5 シナリオの各将来気候値（2081~2100 年）を用いた．

対象とした 34 のため池諸元値（表-1）をため池防災支援システム[2]に収録されているため池データベースより取得し，太陽光パネルの面積はため池水面面積の 50%とした（農林水産省，2021）．揚水の水源は，水田からの浸透水（末端排水路で一時貯留した排水の反復利用）を想定した．また，水田浸透量 20 mm/d，管理用水



図－1　対象としたため池の周辺地図
（背景は地理院地図より引用）

表－1　対象ため池の諸元値

ため池名称	総貯水量（㎥）	集水面積（㎡）	ため池水面面積（㎡）	受益面積（㎡）	堤高（m）
ため池 1	1,000	100,000	300	100,000	5
ため池 2	2,300	90,000	6,000	150,000	3
ため池 3	500	40,000	400	30,000	2
ため池 4	1,500	30,000	600	68,000	3
ため池 5	3,700	150,000	2,400	150,000	5
ため池 6	510	20,000	500	20,000	1
ため池 7	520	60,000	450	20,000	2
ため池 8	6,000	240,000	2,000	206,000	4
ため池 9	360	70,000	300	10,000	3
ため池 10	4,800	242,000	3,700	128,000	5
ため池 11	1,560	2,000	1,200	40,000	3
ため池 12	2,500	80,000	2,000	60,000	6
ため池 13	1,350	60,000	800	30,000	2
ため池 14	6,000	240,000	2,500	130,000	4
ため池 15	1,500	60,000	700	30,000	3
ため池 16	11,000	620,000	3,000	176,000	14
ため池 17	3,170	40,000	1,200	40,000	4
ため池 18	900	30,000	400	10,000	5
ため池 19	400	60,000	400	4,000	2
ため池 20	4,080	80,000	1,500	40,000	3
ため池 21	14,000	200,000	7,000	120,000	7
ため池 22	3,600	60,000	1,000	30,000	3
ため池 23	3,960	90,000	1,400	30,000	3
ため池 24	8,300	43,000	3,500	54,000	5
ため池 25	31,000	290,000	10,300	160,000	7
ため池 26	2,000	130,000	1,600	10,000	7
ため池 27	27,000	574,000	8,000	71,000	13
ため池 28	23,300	240,000	3,000	56,000	9
ため池 29	12,900	340,000	2,800	30,000	8
ため池 30	540,000	5,350,000	98,100	1,180,000	18
ため池 31	46,500	440,000	9,000	95,000	10
ため池 32	8,500	93,000	3,000	10,000	3
ため池 33	3,000	50,000	1,600	3,000	4
ため池 34	26,600	180,000	5,000	10,000	10

量 5 mm/d（灌漑放流を行った日に限る），水田畦畔高 100 mm は共通の値を与えた．

ため池の貯水管理は，現在気候における「揚水なし，満水位管理」を基準とし，将来気候における「揚水なし，満水位管理」と「揚水あり，満水位の 70%，50%，30%，10%低水位管理」の 5 パターンを設定した．

4. 結果と考察

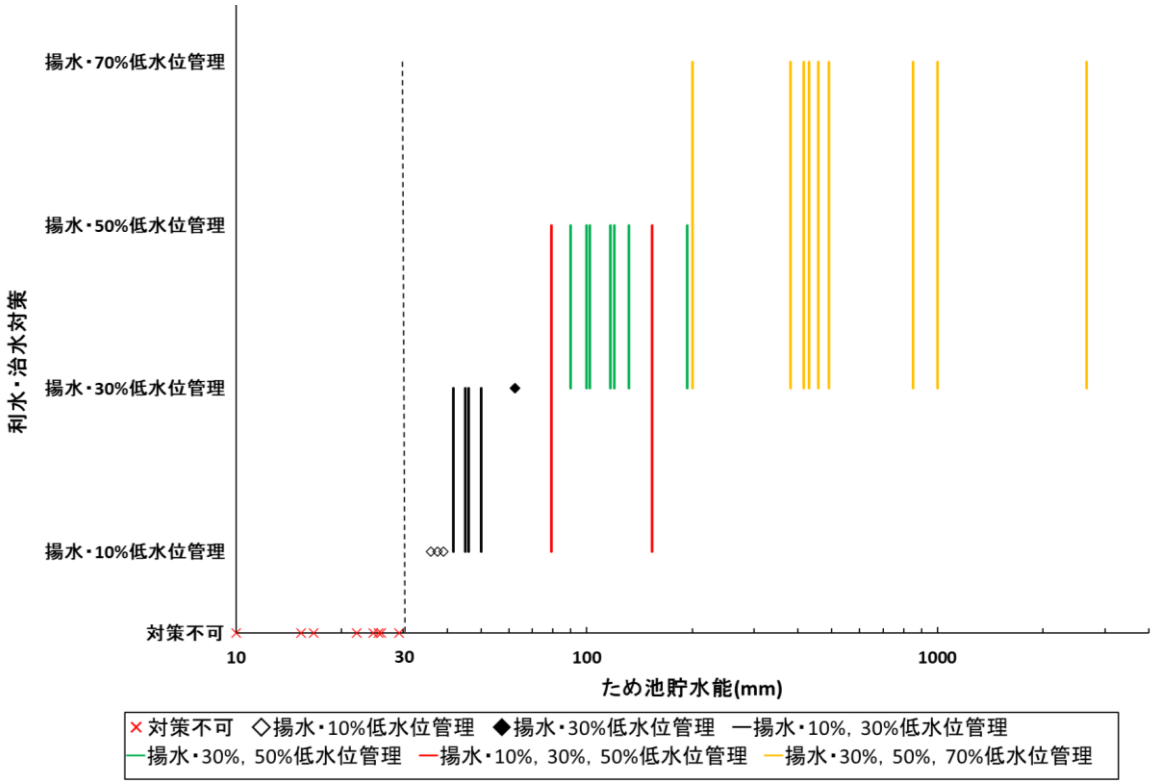
現在気候において満水管理を行った場合（現状の安全度）と比較して，将来気候の各条件で利水・治水安全度が向上した条件を図-2 に示す．ここで，横軸は水田面積あたりのため池貯水深（ため池貯水量/水田面積．以下，ため池貯水能）である．各 GCM，RCP シナリオのアンサンブル平均において，ため池貯水能が 30 mm 未満である 8 基のため池では，揚水といずれの低水位管理の組み合わせでも安全度の向上は認められなかった．これらのため池は，ため池貯水能貯水量が本研究で設定した 1 日あたり水田消費水量（約 30 mm）を下回っているため，満水時でも一回の灌漑で水不足に陥る．このような小規模なため池が将来の気候変動に適応するためには，貯水容量の増強などのハード対策が不可欠であると考えられる．

一方，ため池貯水能が 30 mm 以上である 26 基のため池では，揚水といずれの低水位管理の組み合わせによって，現在気候（満水管理）よりも利水・治水安全度が向上した．最も多くのため池（23 基）で有効であったのは「揚水あり，満水位の 30%低水位管理」であった．ため池貯水能が相対的に小さいため池では，揚水によって空き容量がすぐに回復するため，満水位の 10%低水位管理のような極端な低水位管理を導入しなければ治水効果が得られない．他方で，ため池貯水能が大きいため池では，揚水で回復する水量がため池貯水能と比して小さいため「揚水・70%低水位管理」のような比較的弱い低水位管理でも治水効果を発揮しつつ，利水安全度を確保できたと考えられる．しかし，このようなため池で満水位の 10%のような極端な低水位管理を導入すると，揚水によって貯水の回復量が小さいために，現在気候と比較して水不足日数が卓越してしまうことに留意する必要がある．

今後は，実ため池の管理実態や栽培ごよみを考慮した解析を進める予定である．

【謝辞】本研究は科研費 24K09128，JPMJSP2136 の支援を受け実施されました．

引用文献：1）木原ら（2026），ため池における揚水と低水位管理が将来の利水・治水安全度に与える影響の評価，2026 年度（第 75 回）農業農村工学会大会講演会，2）Hori *et al.*（2019），Development of Disaster Prevention Support System for Irrigation Pond (DPSIP)，Journal of Disaster Research Vol.14 No.2



図－2　ため池貯水能と利水・治水安全度が向上する対策の関係

キーワード：Irrigation-pond, Pumping, Global Climate Model

灌漑地における塩類集積潜在リスク分布

長崎大学大学院総合生産科学研究科　北村裕和
長崎大学総合生産科学域　吉川沙耶花

1. はじめに

現在，世界の陸地の 10%以上に相当する約 14 億 ha が土壌塩性化の影響を受けており，塩類集積は国際的な環境問題の 1 つである[1)]．塩類集積は，自然発生に起因する一次塩類集積と，灌漑などの人為的要因により発生する二次塩類集積の 2 種類に大別される．グローバル化が急速に進む現代社会において，二次塩類集積は食の安全保障及び人類社会の持続可能性を脅かす重大な課題である．東山ら(2020)[2)]は，灌漑農地における塩類集積の因子を，発生のメカニズムから「土壌タイプ」「乾燥」「地下水位」「地下水の状態」「灌漑様式」の 5 つに決定し，それぞれに対してリスク判定を行い，それらを重ね合わせることで全球の潜在的なリスク分布を示した．しかしながら，既存の 5 つの因子ではとらえきれていない塩類集積の要因があると考えている．1 つは地形的な要因を考慮できていない点である．標高が低く起伏の小さな地形では，地下水が浅くなりやすいことで毛細管現象による塩分の蓄積が発生しやすく，周囲の高地から水分とともに塩類が流入しやすい地形であるためである．灌漑地で発生した塩類集積について，その要因を 1 つに特定することは困難である．そのため，二次塩類集積の発生要因は一次塩類集積の発生要因を包含していると考え，本研究では図-1 のように，灌漑地で発生する塩類集積を二次塩類集積であるとした．地形は主に一次塩類集積の発生要因となるが，灌漑地においては二次塩類集積を促進させる要因の 1 つになる．第二に，乾燥指標の適合性の検証が不十分であることを挙げたい．乾燥の度合いを定義することは非常に複雑であり，気温・降水・蒸発の 3 つの要因を考慮する必要がある．既存手法では，5 つの因子の 1 つである「乾燥」について，降水量を可能蒸発散量で除した値である Aridity Index が 0.65 未満の地域を，塩類集積が発生するリスクのある地域とした単一の指標を用いた．本研究は，既存手法による推定の適合性について検証し，指標を改良することでより実際の塩類集積を反映した潜在リスク分布図を作成することを目的としている．

2. 使用データと手法

まず，既存手法による推定を再現した結果と観測データ（土壌の電気伝導度）を比較し，適合性評価を行った．「土壌タイプ」「乾燥」「地下水位」「灌漑様式」の 4 つの因子は最新のデータを用いて更新を行った．電気伝導度は，水中に溶解しているイオンの濃度に依存して電気の流れやすさを示す指標であり，水質や塩分濃度の評価に広く用いられている．ここでは，Schofield & Kirkby(2003)[3)]から，電気伝導度 8.0dS/m 以上を塩類集積土壌であると仮定し，推定した潜在リスクと比較した．次に，地形的な要因を追加するにあたって，Iwahashi & Yamazaki（2022）[4)] が開発した全球地形分類ポリゴンデータを基に作成されたラスター型地形分類データセット Terrain22 を用いた．本研究で抽出した地形は，Terrain22 におけるクラス 21 および 22 に対応する地形区分である．これらの地形区分は傾斜が極めて小さく，最近傍河川からの比高が低く，局所的な凹凸が小さい平坦地形として特徴づけられ，塩類集積を誘発する地形であると考えられる，低標高・低起伏地形を反映している．他の因子同様に，リスクの有無で二値化したものを 6 つ目の塩類集積要因として追加した．加えて，複数の乾燥指標を用いて潜在リスクの推定を行い，その適合性について比較検討することにした．本研究では，Schofield & Kirkby(2003)[3)]から，Aridity Index が 0.05 以上 1 以下を塩類集積しやすいとした新たな乾燥指標として用いた．既存手法同様に 5 つの因子による推定結果をケース 1，地形的な要因を 6 つ目の因子として追加した推定をケース 2，地形的要因を追加し Aridity Index が 0.05 以上 1 以下を「乾燥」指標として採

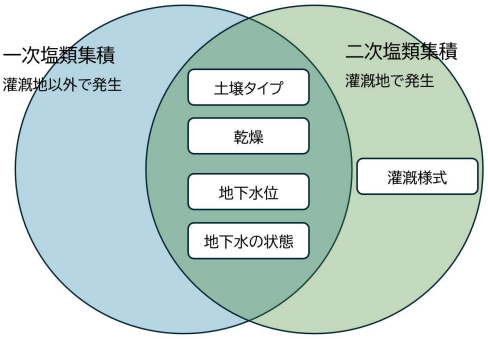


図-1　一次塩類集積と二次塩類集積の発生要因の比較

用した推定をケース 3 とし，この 3 つの推定手法を用いてそれぞれ推定を行った．本研究では，5 つもしくは 6 つの因子によるリスク個数を潜在リスク値と表記する．手法の適合性を示すために，電気伝導度 8.0dS/m 以上の地点が各潜在リスク値に何地点分布しているか，ケース 1，ケース 2，ケース 3 でそれぞれ比較した．

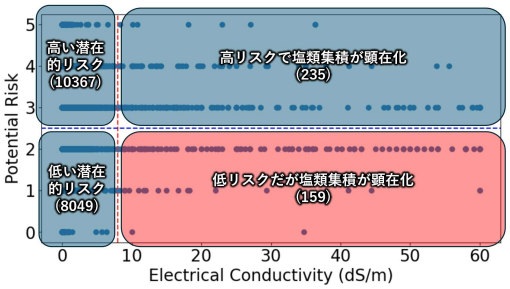


図-2　ケース 1 による潜在リスクと電気伝導度の関係（地点数）

3. 結果

電気伝導度と既存手法による潜在リスク値を比較すると，図-2 のように分類できる．電気伝導度データ 18,810 地点のうち，塩類集積が発生しているとされる 8.0dS/m 以上の地点は 394 地点であった．潜在リスク値 2 以下を低リスクであると仮定すると， 159 地点では潜在的リスクは低いと推定されたが，実際に塩類集積が顕在化している．これらの地点は，電気伝導度 8.0dS/m 以上の地点の約 4 割にのぼり，既存の 5 つの指標による推定では潜在的なリスクを過小評価している可能性が高いと考えた．ケース 2，3 による二次塩類集積の潜在リスク分布は共通して，ヨーロッパ全域やブラジル，韓国では，最も低い潜在リスクを示した．北アメリカ大陸や中国南東部，インドの多くの範囲では，中程度の潜在リスクが確認できた．中国北東部の黄淮海平原やインドのインダス平原とガンジスデルタ，エジプトのナイルデルタ，オーストラリア西部，カザフスタンでは，面積は小さいながらも高い潜在リスクを示した．ケース 3 ではケース 2 と比較して，潜在リスクが高い地域でさらに高い潜在リスクを示した．ケース 3 では，アルゼンチンのパンパやインドシナ半島，アメリカ合衆国のフロリダ州，イタリア北部などで潜在リスク値 6 を観察できた．ケース 2，3 における推定の各潜在リスク値の割合分布を見ると，ケース 2 では灌漑地の 89%, ケース 3 では約 92%が少なくとも 1 つの因子において潜在リスクがあることがわかる．また，ケース 2 では灌漑地の約 3 割，ケース 3 では約 4 割が，3 つ以上の因子でリスクありと判断された．これは比較的高い数値であると考える．

ケース 2，3 の電気伝導度 8.0dS/m 以上の地点数はケース 1 と比べて，潜在リスク値 3 以下の地域で減少し，4 以上の地域で増加した．これは，既存手法によりリスクを過小評価されていたいくつかの地点において，ある程度，推定手法の適合度の改善が見られたことを指し，既存手法より二次塩類集積の実態を反映できていると考える．またその変化はケース 3 でより顕著であった．

4. まとめ

本研究では，灌漑地における塩類集積の潜在リスクの分布を，「土壌タイプ」，「乾燥」，「地下水位」，「地下水の状態」，「灌漑様式」，「地形」の 6 つの因子から推定した．因子の改良により，中国北東部，インドシナ半島，アルゼンチン，イタリア北部などでは広範囲で最も高い塩類集積の潜在リスクを新たに示した．また，本研究による推定結果は既存手法による推定結果と比較すると，電気伝導度 8.0dS/m 以上のいくつかの地点で潜在リスクの上昇が見られた．このことから，地形的な要因を考慮し，乾燥の評価基準を変更することで，すでに塩類集積が顕在化しているいくつかの地点でのリスクの過小評価がいくらか改善できたといえる．

【謝辞】

本研究は JSPS 科研費 JP25K01335 より助成を受けたものです．ここに謝意を表します．

参考文献

1) FAO, FAO launches first major global assessment of salt-affected soils in 50 years, 2024.
2) 東山晃太，吉川沙耶花，鼎信次郎：全球規模での灌漑耕作による塩類集積の潜在的リスク分布推定，土木学会論文集 B1（水工学），Vol.76, No.2, 115-120, 2020.
3) Schofield, Kirkby: Application of salinization indicators and initial development of potential global soil salinization scenario under climatic change, Global Biogeochemical Cycles, Vol.17, Issue3, pp.1-13, 2003.
4) Iwahashi, J., & Yamazaki, D., Global polygons for terrain classification divided into uniform slopes and basins, Progress in Earth and Planetary Science, Vol.9, Issue1, 33, 2022.

印旛沼循環灌漑地区における排水路内堆積を考慮した一時間間隔での全窒素解析

株式会社建設技研インターナショナル　○岩﨑隼也
立正大学　地球環境科学部　　飯田俊彰

１．はじめに

2010 年より農林水産省が進めている国営印旛沼二期農業水利事業では、循環灌漑が導入されている。水田からの排水は一度低地排水路に集められ、再び取水され用水として利用されている。循環灌漑による印旛沼への栄養塩類流出負荷の低減効果が期待されている。

循環灌漑の効果を保ちつつ利水の利便性を損なわないためには、低地排水路の水位・水質の経時変化を把握し、それに基づき柔軟に機場操作を行うことが有効と考えられる。既往の研究にて作成された低地排水路の水位と TN 濃度を計算するモデル（図 1）は、適合度が十分でなく、Δt＝24h であるため、1 日の水移動をまとめて処理することで非現実的な挙動が生じた。また、用排水機場や水田管理は日内で時間的に区切られることが多く、詳細な操作解析を行うには Δt の短縮が適切と判断された。本研究では、Δt 短縮によるモデルの水位変化および TN 濃度の変化を報告する。

２．方法

計算時間間隔の短縮にあたり、モデルへの各種入力値を一時間単位のものに修正した。蒸発散量はペンマン式を用いて算出した蒸発散位に補正係数をかけることで定義し、これにより対象流域における水収支を合わせた。なお、印旛沼土地改良区からの情報提供および現場踏査の結果を踏まえ、対象流域を既往のモデルから南側の圃場にまで拡大した。追加された圃場は図１中の水田群⑤と同様のブロックとしてモデルに追加した。さらに、低地排水路内の堆積物を考慮するために、非灌漑期の無降雨日における排水機場での排水量と水位変化の関係をもとに、低地排水路における水位と水量の関係を定義しなおし、モデル計算に反映した。その後、タンクモデルのパラメータを試行錯誤および遺伝的アルゴリズムによる大域的探索によって決定した。パラメータ決定の際には、Okura et al.（2025）の水収支解析の結果から大きく逸脱しないよう、タンクモデルにおける表面流出量と地下水流出量の比を調整した。

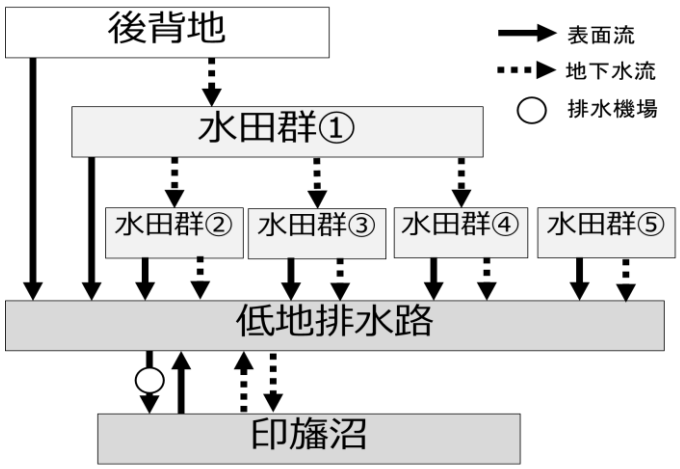


図１　玉川(2022)による低地排水路水位モデルの概要.

TN 濃度の計算については、施肥による圃場への TN 供給量やその経時変化を既往の研究における現地農家三軒へのアンケート結果や JA 長生が提示する推奨値などをもとに試行錯誤的に決定した。また、脱窒率や作物吸収率、そしてタンクモデルの流出孔における全窒素の溶出率についても試行錯誤的に決定した。作物吸収率に関しては、モデルの計算が一時間間隔になったことを考慮し、明期における吸収率が暗期における吸収率の二倍になるものとした。

３．結果と考察

低地排水路の水位を計算するモデルは NS=0.30、TN 濃度を計算するモデルは NS=0.63 となった（図２）。一方で、

モデルで計算された圃場及び後背地からの低地排水路への流量や TN 負荷量を低地排水路での収支をもとに推定した推定値と比較すると、一時間間隔の計算においては流量で NS=0.40、TN 負荷量で NS=0.81、一日ごとの累積値においては流量で NS=0.98、TN 負荷量で NS=0.82 と高い適合度を示した。また、低地排水路へ流入した水の流入量や TN の流入負荷量の流入元を同定（図３）すると、降雨のない五月から六月上旬、および八月は印旛沼からの取水による流入や負荷が多く、降雨のある六月中旬から七月までは圃場および後背地からの流入や負荷が多いことが分かった。灌漑期全体においては、水量、TN 負荷量ともに圃場からの低地排水路への流出が最も多く、全体のおよそ半分を占めており、残りのおよそ 1/3 を印旛沼からの取水が占めていることが示された。このことから、排水の水質を制御するには圃場からの流出を制御することが重要だと考えられる。今後は本研究により作成されたモデルを用いて、用排水機場の操作方法の変更、および農家の水管理の方法の変更による流出負荷削減効果をシミュレーションによって検討することが求められる。

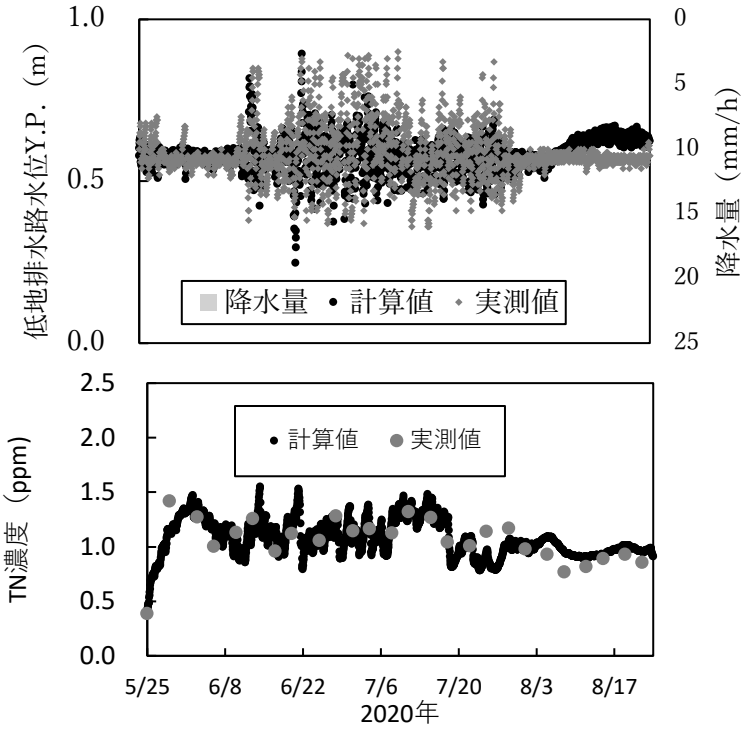


図２　低地排水路の水位と TN 濃度の計算結果

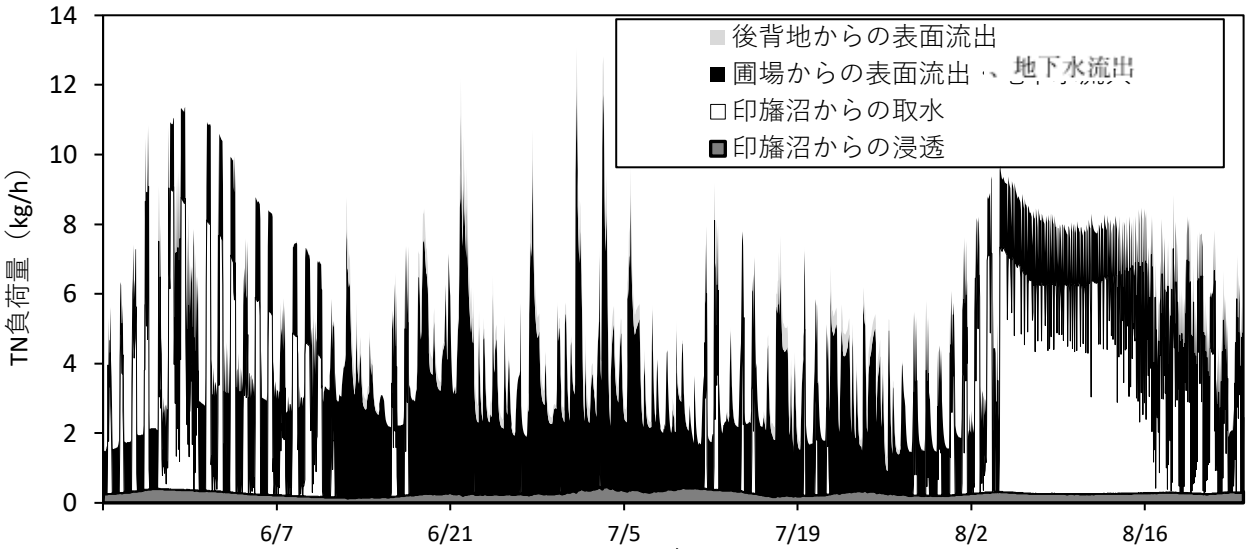


図３　各流出源からの低地排水路への TN 負荷量

引用文献

1. 玉川怜史，飯田俊彰，木村匡臣，浅田洋平(2022)：印旛沼循環灌漑地域の低地排水路の懸濁物質および窒素の動態分析．水文・水資源学会 日本水文科学会 2022 年度研究発表会要旨集，PP-1-25（2022 年９月４日，京都大学宇治おうばくプラザ）

2. Okura, F., Kamei, A., Kato, T. (2025)：*Water Balance Analysis of Hydrological Processes in Cyclic Irrigation: A Case Study of the Imbanuma Irrigation Area in Chiba, Japan*, Journal of Hydrology: Regional Studies, 57, 102111.

キーワード：循環灌漑、印旛沼、タンクモデル、全窒素

石礫床河川における河道内植生繁茂と土砂動態の数値解析

東北大学大学院工学研究科　○山本　道
東北大学大学院工学研究科　風間　聡

１．はじめに

河川管理における水と土砂の管理に加えて河道内植生管理の負担が増加している．Asaeda et al.(2023) は日本の河川中流域における河道内植生の増加を報告し，上流からの土砂供給の減少が河道内植生の増加に寄与したと指摘した [1]．土砂供給の変化が植生の変化を誘発したと考えられる一方，河道内植生の繁茂は河道内の土砂動態を変化させると考えられる．例えば Tsujimoto (1999) は，洪水と低水の繰り返しに伴う植生域の拡大により植生周辺への土砂堆積と主流路の浸食が発生し，最終的に多段テラスが形成されるプロセスを示した [2]．しかし，植生発達に伴う一連の土砂収支変化は定量化されていない．本研究は寒河江川下流部の事例を対象に植生の繁茂による土砂収支変化を質的量的に分析する．

２．データセットと手法

対象河川は Yamamoto et al. (2026)[3]において河道内植生の繁茂が確認されている山形県・寒河江川の下流部約 7 km である．植生の繁茂に伴い流路形態は網状流路から裸地相互砂州と密な植生群落が見られる蛇行流路に変化した [3]．土砂収支の変化を推定するために iRIC Nays2DH を用いた平面 2 次元河床変動計算を実施した．数値計算スキームの詳細は Nelson et al. (2016)[4]を参照されたい．河床地形データには 2013 年度の河川横断測量データを使用した．この測量データの標高を空間補間した地形上に約 15m サイズの非構造計算格子を作成した．流体中の植生パラメータとして植生密度と高さを設定する必要があるが，2013 年の空中写真を基に木本域と草本域を判別し，木本に密度 0.015m^{-1}，高さ 5m，草本に密度 0.03m^{-1}，高さ 1m の値を与えた．対象とした出水は 2013 年 7 月 18 日 0 時から 24 時までのイベントであり，11 時にピーク流量 963 m^3s^{-1} を持つ単峰性のハイドログラフと有する．なお，24 時間の本計算の前に 1 時間の定常流を与える助走計算も実施した．河床材料粒径には 2025 年 7 月に現地調査を実施した際に採取した粒径分布を用いた．上流端の供給土砂濃度は平衡土砂濃度を仮定した．

上記の計算条件を共通に 2 通りの数値実験を実施した．実験 1 は 2013 年の空中写真に見られる河道内植生を考慮した計算（植生繁茂条件）であり，実験 2 は実験 1 と同じ地形条件の下，植生が無い条件を考慮した計算（無植生条件）である．これらの 2 実験の本計算終了時における土砂収支と河床材料粒径を比較した．

３．結果と考察

図-1 に植生繁茂条件における河床変動高から無植生条件の河床変動高を引いた差分の空間分布を示す．暖色が植生繁茂条件において堆積がより大きい又は浸食がより小さい傾向を，寒色が植生繁茂条件において浸食がより大きい又は堆積がより弱い傾向を示している．植生繁茂条件において植生域の堆積が顕著な傾向が確認できる．また，流路において浸食傾向が見られる．次に，助走計算は除く計算前後の河床高から土砂収支を整理したところ，河道内土砂量変化は植生繁茂条件において $9.2\times10^2 m^3$ の増加となった．一方，無植生条件において河道内土砂量変化は $1.6\times10^3 m^3$ の増加となり，植生繁茂により計算区間を通過する量が割合にして 42%増加した．

このことは，植生により流れの集中が発生したことを示唆している．区間全体にわたって流れの集中が河床せん断力を増加させ，掃流砂量が増加したと考えられる．

土砂輸送形態の変化は洪水後の河床材料粒径にも表れた．図-2 は計算後の中央粒径の差（植生繁茂条件－無植生条件）の空間分布を示している．流路中心は植生繁茂条件において中央粒径がより大きく，粗粒化したことが分かる．反対に，粗粒化した直ぐ側方に比較的大きく細粒化した箇所が見られ，Tsujimoto (1999)が示したように，植生周辺への細砂の取り込みが見られた．

こうした粒径の二極化は藤田ら(2003)[5]が指摘するように，更なる植生侵入適地の供給に繋がり，河道内植生の過剰繁茂につながる可能性がある．

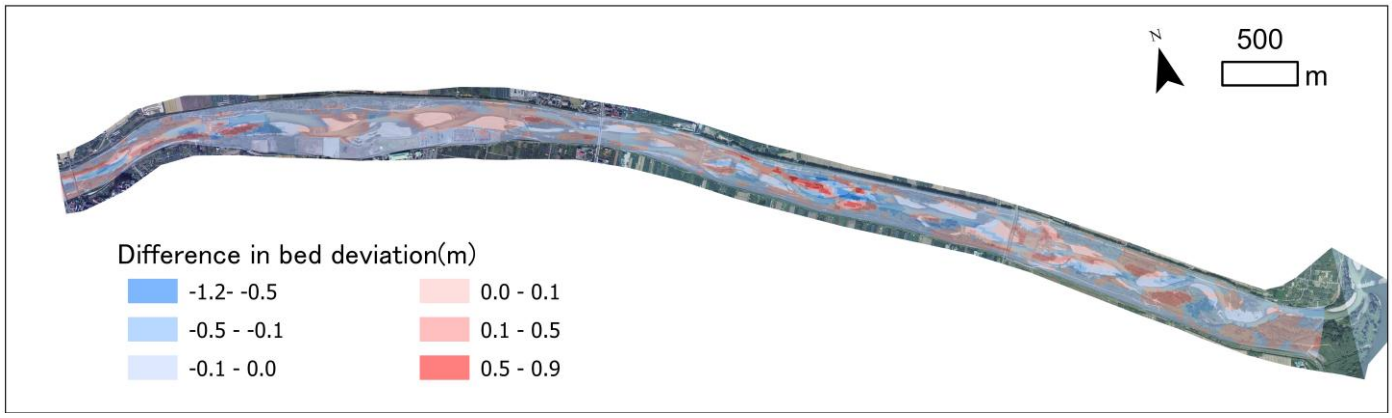


図-1　河道内植生の有無による河床変動高の差分（植生繁茂条件－無植生条件）

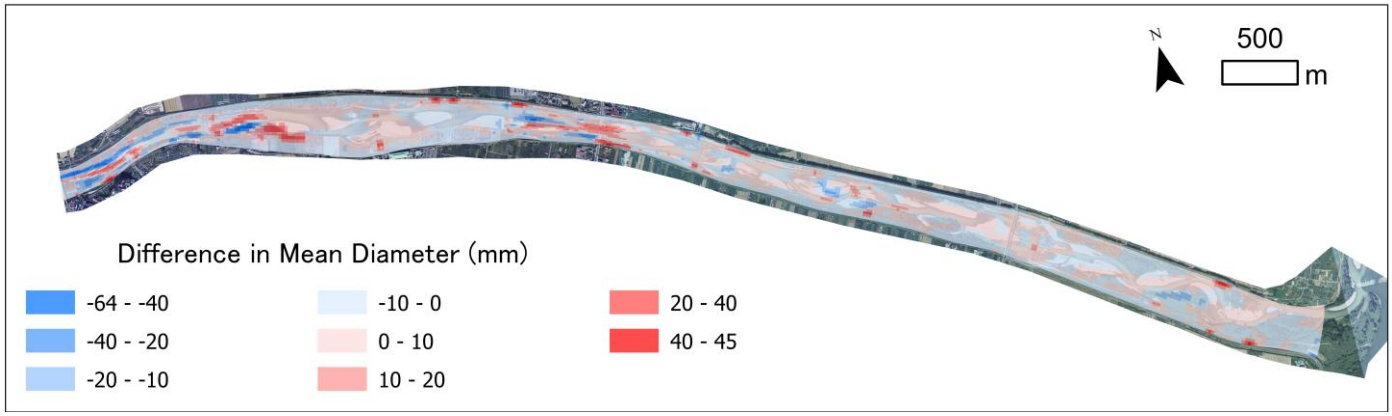


図-2　河道内植生の有無による河床材料の中央粒径の差分

４．結論

本研究は，iRIC Nays2DH を用いた洪水時の河床変動計算により，植生が繁茂した礫床蛇行河川における土砂輸送と土砂収支の特性を土砂量と河床材料粒径の両者から解析した．植生により流れが集中し，流路における土砂輸送と粗粒化が発生した．河道内の粒径と地形の二極化が促進される可能性が示唆された．

【謝辞】

本研究は，JSPS 科研費 JP23KJ0183 の支援及び，国立研究開発法人科学技術振興機構（JST, JPMJSA2501）と独立行政法人国際協力機構（JICA）の連携事業である地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム（SATREPS）の CREWS プロジェクトの支援を受けて実施しました．記して感謝の意を表します．

参考文献

1) Asaeda, T., García de Jalón, D., O'Hare, M., & Rahman, M. (2023). Sequential riparian vegetation alteration in Japanese river landscapes. International Journal of River Basin Management. https://doi.org/10.1080/15715124.2023.2273843

2) Tsujimoto, T. (1999). Fluvial processes in streams with vegetation. Journal of Hydraulic Research, *37*(6). https://doi.org/10.1080/00221689909498512

3) Yamamoto, T., Johnson, M. F., & Kazama, S. (2026). Encroachment of riparian vegetation in a braided river due to catchment management in Japan. CATENA, 267, 110005. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.catena.2026.110005

4) Nelson, J. M., Shimizu, Y., Abe, T., Asahi, K., Gamou, M., Inoue, T., Iwasaki, T., Kakinuma, T., Kawamura, S., Kimura, I., Kyuka, T., McDonald, R. R., Nabi, M., Nakatsugawa, M., Simões, F. R., Takebayashi, H., & Watanabe, Y. (2016). The international river interface cooperative: Public domain flow and morphodynamics software for education and applications. Advances in Water Resources, *93*. https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2015.09.017

5) 藤田光一，李参熙，渡辺敏，塚原隆夫，山本晃一，望月達也．(2003)．扇状地礫床河道における安定植生域消長の機構とシミュレーション．土木学会論文集, 2003(747), 41–60. https://doi.org/10.2208/jscej.2003.747_41

キーワード：　Riparian vegetation, In-channel tree, Sediment budget, Riverbed material, Riverbed deformation analysis

立地選択モデルを用いた人口減少下における防災集団移転促進事業の動学的費用便益分析

中央復建コンサルタンツ株式会社　○﨑山賢人
京都大学防災研究所　田中智大
京都大学大学院経営管理研究部　市川　温

1．はじめに

近年，我が国では気候変動に伴う豪雨の頻発化・激甚化を背景として，「流域治水」の推進が求められている．この中で，洪水リスクの高い区域から居住を安全な区域へ誘導する防災集団移転促進事業は，非構造的対策の一つとして注目されている．とくに 2020 年の制度改正以降は，住宅が残存する段階でも移転支援が可能となり，事前防災集団移転促進事業（以下，防集事業）が本格化しつつある．

一方，既往の費用便益分析では，移転前後の被害額差を便益とみなし，その効果が評価期間中持続すると仮定する静学的評価が中心であった．しかし，実際の移転は複数年にわたり段階的に進行し，その間にも人口減少や住宅市場の変化が進むため，便益は時間とともに形成される．そこで本研究では，京都盆地を対象に，立地選択モデルへ防集事業を実装し，人口減少下における動学的費用便益分析手法を構築した．

2．エージェントベースモデルに基づく立地選択モデルの概要と防集事業の実装

図-1 に研究の枠組みを示す．本研究で用いた立地選択モデルは，各世帯およびディベロッパーをエージェントとし，住宅市場における需給調整を通じて人口移動と住宅価格形成を再現するエージェントベースモデル（ABM）である．世帯は住宅価格，住宅面積，金融資産，交通利便性等に基づいて立地選択を行い，ディベロッパーは空き家率や周辺住宅価格を踏まえて住宅価格を決定する．これにより，人口動態と住宅市場の相互作用を通じた都市構造変化を年次で再現する．

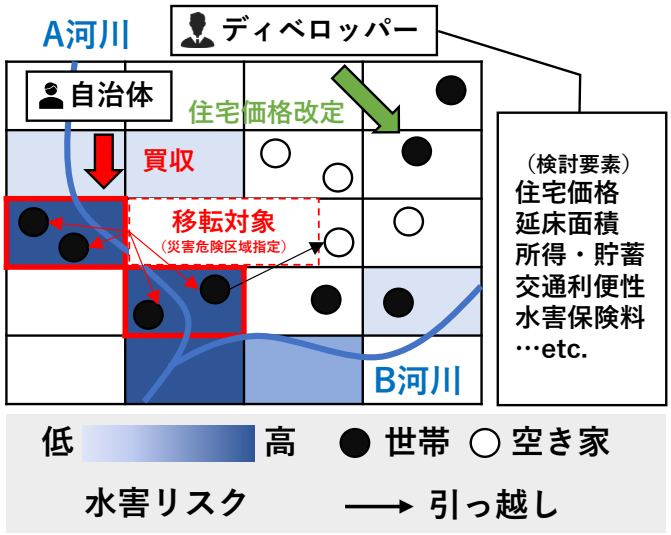


図-1　エージェント型立地選択モデルの概要

防集事業をモデルへ適切に実装するため，茨城県大洗町で実施されている「堀割・五反田周辺地区防災集団移転促進事業」を対象とした現地調査・ヒアリングを参照した．同地区では，既成市街地内の空き地・空き家等の既存ストックを活用して移転を進める「差込型」の事前防集が採用されており，移転が段階的に進行する点に特徴がある．本研究では，この事例を踏まえ，①災害危険区域への新規立地の禁止，②同一自治体内の既存住宅ストックへの移転，③防集期間中の段階的移転，④自治体による買い取り制度をモデルに実装した．

3．動学的費用便益分析の枠組み

洪水リスクの評価には，既往研究で作成した浸水被害確率マップ（図-2）を用いた．本研究では，各メッシュの年期待被害率と，各年の人口・資産分布を重ね合わせることで年期待被害額を算定し，「防集事業なしシナリオ」と「防集事業ありシナリオ」の差分を便益とした．分析では，人口減少の有無と便益評価方法の違いに着目し，表-1 に示す 4 つの評価シナリオを設定した．静学的評価では，ある時点の移転前後差を便益とし，その値が評価期間を通じて持続すると仮定する．一方，動学的評価では，移転が段階的に進む過程に応じて年次ごとの便益を現在価値化して積み上げる．なお，ST は人口減少を考慮しない定常人口シナリオ，NonST は将来人口減少を考慮する非定常人口シナリオを表す．さらに，本研究では便益の評価期間を 50 年間とし，防集事業は 10 年間にわたり段階的に進行するものと設定した．防集事業の段階的な進行を考慮することで，移転が一時点で完了したものとみなす静学的評価と，防集事業の段階的な進行を考慮する動学的評価との差異を明らかにする．

表-1　評価シナリオの設定

シナリオ	モデルの特徴
S-ST 静学的評価 人口減少なし	一時点における「移転前後」の年期待被害額の差を便益として評価する．移転が即時に完了すると仮定し，移転途中に残るリスクは考慮しない．
S-NonST 静学的評価 人口減少あり	S-ST と同一の静学的枠組みに，将来人口推計を外生的に反映する．人口・資産が縮小した将来時点における「移転前後」の差を便益とするため，人口減少による被害低下が差分に含まれる．
D-ST 動学的評価 人口減少なし	S-ST と同一の都市構造シミュレーション結果を用い，年次ごとの被害軽減効果を現在価値に換算して積み上げる．移転の段階的進行に伴うリスク低減の時間的遅れを反映する．
D-NonST 動学的評価 人口減少あり	S-NonST と同一の人口減少シミュレーション結果を用い，年次ごとの被害軽減効果を積み上げて評価する．人口減少による被害の自然減と，防集による追加的削減効果を時間軸上で区別できる．

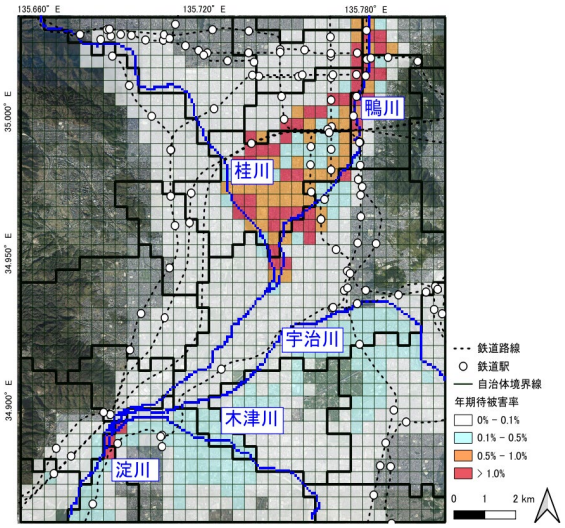


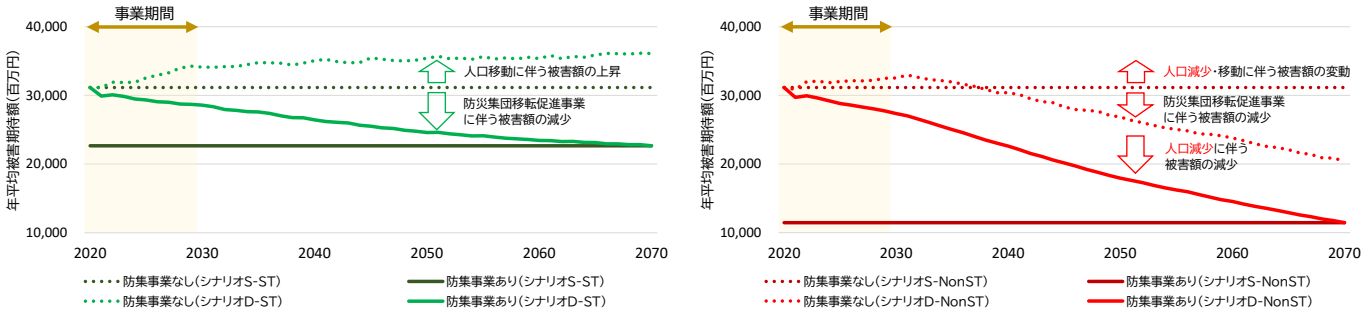
図-2　浸水被害確率マップ（500mメッシュ）

4．便益計測方法の違いが防集事業評価に与える影響

図-3 に，年期待被害率 1.0%以上の区域（図-2）を移転対象とした場合の年期待被害額の推移を示す．図-3(a)は人口減少を考慮しない ST シナリオ，図-3(b)は人口減少を考慮する NonST シナリオの結果である．本研究では，4 つのシナリオを通じて，①人口減少の考慮することによる影響と，②静学的評価・動学的評価の違いによる影響を区別して考察する．まず，ST シナリオと NonST シナリオを比較する．ST シナリオでは，「防集事業なし」の場合に年期待被害額が将来的に増加するのに対し，「防集事業あり」の場合には低下傾向を示した．これに対し，NonST シナリオでは，「防集事業なし」の場合でも，地域全体の人口・資産分布の縮小に伴って年期待被害額が低下する傾向がみられた．これは，人口減少下では，防集事業を導入しなくても被害額が自然に減少する部分が存在することを示している．したがって，人口減少下における防集事業の効果を評価する際には，人口・資産の縮小に伴う被害額の自然減少と，防集事業による追加的な削減効果とを区別して把握する必要がある．

次に，静学的評価と動学的評価を比較すると，静学的評価では，移転が一時点で完了したものとみなすため，被害額が事業開始時点からすでに事業完了後の水準となる．その結果，事業実施期間中の便益を大きめに評価する可能性がある．これに対し，動学的評価では，移転の進行に応じた年次ごとの被害軽減効果を積み上げるため，事業実施期間において段階的に表れる効果を便益として見積もることができる．

したがって，移転が複数年にわたり進行する防集事業の評価においては，将来にわたって人口・資産が減少すること，および移転が段階的に進行する実態を踏まえ，便益の時間的形成過程を明示的に扱う必要がある．



(a)　シナリオ S-ST・D-ST　　(b)　シナリオ S-NonST・D-NonST

図-3　静学的評価（S）と動学的評価（D）における年期待被害額の推移比較（年期待被害率 1.0%以上を移転対象とした場合）

【謝辞】本研究は，公益財団法人河川財団の河川基金，公益財団法人日立財団 2025 年度第 57 回倉田奨励金，および公益財団法人大林財団奨励研究助成の助成を受けて実施したものである．ここに記して感謝の意を表する．

【参考文献】崎山賢人，田中智大，市川温：逆線引きの導入が都市構造と洪水リスクに与える長期的影響の分析，土木学会論文集，Vol.82，No.1，25-00208，2026.

キーワード：　Agent-based model, Cost-benefit analysis, Population dynamics, Group relocation, Flood risk

環境要因と人口要因に基づく耕作放棄地の土地利用評価と湿地化検討

福島大学共生システム理工学研究科　○小島彩也乃
福島大学共生システム理工学類　　川越　清樹

1．はじめに

気候変動による影響が顕在化し，洪水リスクの増大や水循環の変化に対応した新たな水管理の在り方が求められている．中上流域においては，人口減少や少子高齢化に伴う耕作放棄地増加のほか，保全対象物減少による川じまい (河川整備の維持管理をなくすこと)も議論[1)]されている．今後の中上流域の変化は，流域全体の洪水リスクや水循環形成にも影響を及ぼす．そのため，変化する現状を精緻に捉え，新たな流域水管理の転換を計画することが肝要である．一方，気候変動やネイチャーポジティブの視点から生態系を活かした気候変動適応(EbA)が注目されている．気候変動の適応の機能だけにとどまらず，EbA に含まれる氾濫原湿地の保全・再生による貯留能力の向上などは新たな水管理に貢献できる土地利用方法である．既に，土地利用の観点から水田が雨水や洪水の貯留機能を有することが示され，田んぼダムの取り組みは土地利用活用の代表的事例といえる[2,3)]．中上流域に分布する耕作放棄地の利活用は，治水・水循環機能への貢献は大きいと想定されるが，評価に対する知見は十分に備わっていない．治水・水循環機能に効用がありつつも土壌，地形，気候条件の特徴に従って効用の大きさも変化することが予測されるため，特徴を分類する方法の確立も必要とされる．治水・水循環機能に対する効用を特徴に分類することができれば，耕作放棄地の湿地化，浸透化などの具体的な土地利用活用まで誘導でき，立地条件に応じた実装可能な EbA，および将来に有用な流域水管理にもつながりうる．本研究では，中上流域における耕作放棄地の土地利用転換として地域の各種条件に応じて土地利用転換の方向性を環境背景，管理人口のポテンシャルから求める分類を進めた．特に湿生環境により多種多様な EbA が可能になりえる湿地化の抽出にも着目して解析を行った．

2．研究対象領域，およびデータセット

本研究の対象領域は福島県における山間部および扇状地である．耕作放棄地の抽出のため，国土数値情報より土地利用データ(空間解像度 100m×100m)を取得した．対象期間は 1976 年，1987 年，1997 年，2006 年，2016 年，2021 年の計 45 年 6 時期である．耕作放棄地に退避させる環境要素別のグループ条件は表 1 に示すとおりである．環境要素のデータは，土壌は 20 万分の 1 土地分類基本調査,標高差は国土数値情報(空間解像度 10m×10m),平均傾斜角度は(空間解像度 50m×50m),気候値はメッシュ気候値(2020 年)(空間解像度 1km×1km)である．

3．結果

表 1 は階層的クラスター分析によるタイプ分類の結果である．耕作放棄地は，表中の A～E，およびその他の 6 タイプに分類された．クラスターの系統より，6 タイプの分類を強く支配する環境要素は土壌である結果を得た．特徴的な土壌の性状を挙げると，タイプ B タイプは，泥炭土で構成され，主に平坦地に分布する．細粒分の土層であるため湿地に適した条件と判定される．タイプ C,E は，褐色低地土で構成され，タイプ B ほどの細粒分ではない状態だが風化帯である特性を有し，相応の保水が期待できる準湿地に適した条件と判定できる．タイプ C,E の保水性能差に関わる環境要素は表流水の流入状況に依存すると考えられ，地形の傾斜角度が緩いほど滞水傾向が強く湿地寄りになることが推定される．したがって，タイプ C の方が湿地帯形成しやすいと判定される．その他のタイプの土壌は，概ね浸透性に富む条件であることから，基本的に浸透化しやすい部類に属すると判定される．なお，面積割合としては，概ね浸透型に分別され，湿地型，準湿地型，条件型の面積割

表 1　階層的クラスター分析によるタイプ分類

TYPE	A	B	C	D	E	その他
土壌	褐色森林土	泥炭土	褐色低地土	赤黄色土・岩屑土	褐色低地土	褐色森林土
標高差	0-450，450-					
降水量(mm)	800-1,800					
傾斜角度(°)	0	0	0-1	2-4	2-4	0-2,4-5
タイプ個数	2,836	23	51	4	13	3,050
機能タイプ	浸透型	湿地型	準湿地型	条件型(赤色・岩屑→排水良好，黄色→排水不良)	準湿地型	湿地型
湿地ポテンシャル	低	高	中	低	中	低

合は小さい結果が得られた．したがって，現存の耕作放棄地の水循環の機能としては地下水供給に寄与できると予測される．湿地帯を形成する場合は，相応の改良が必要になることが示唆される．

図 1 に対象領域における耕作放棄地のタイプ分類・機能的タイプ分類および土地利用を重ね合わせた総括図を示す．結果より，耕作放棄地は阿武隈高地西麓の阿武隈川流域の右岸側と河川近辺に集中している．また，湿地型のタイプは二本松，南相馬に位置することを把握した．地形分類に応じた耕作放棄地点数は，山地で 12,817 地点，扇状地で 3,044 地点に分布し，山地側に偏った位置づけとなる．ただし，いずれも河川に近接した分布形態を成しており，洪水の調節には相応有効になり，残存する水供給系統を利活用すれば洪水だけでなく水循環の整備も円滑になりえることを裏付けている．

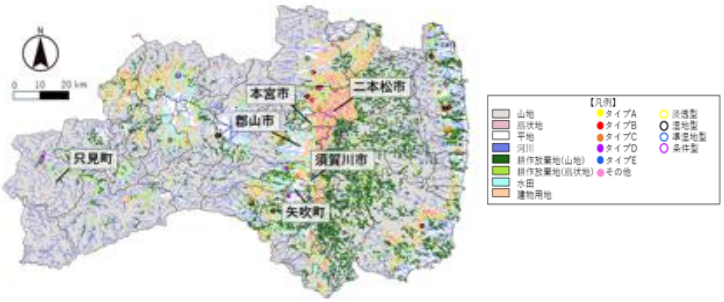


図 1 対象領域における耕作放棄地のタイプ分類総括図

表 2　水管理ポテンシャルの市町村別の傾向

市町村	TYPE	周辺土地利用	管理人口 (1km 圏内)	想定される土地利用	備考
二本松市	湿地型	水田近接	約 87 人	湿地化	水供給機能
須賀川市	準湿地型	水田・建物用地近接	約 306 人	湿地化	下流域への洪水時の氾濫抑制
二本松市 本宮市 郡山市	浸透型	非近接	約 1,200 人	遊水	地下水浸透によるリスク軽減
只見町	条件型	非近接	約 35 人	遊水	下流域への洪水時の氾濫抑制
須賀川市 矢吹町	条件型	非近接	約 116 人 約 1,204 人	遊水	

表 2 は，水管理のポテンシャルを見積もることを踏まえた主要耕作放棄地付近の人口分布(耕作放棄地範囲 1km 以内)を市町村毎に整理した結果を示す．現在情報ではあるが相応に維持管理運用できる管理ポテンシャルは存在している結果を得た．湿地型の分布する二本松市では，水田も近接していることから，ため池機能も兼ねた湿地化の活用が適する可能性が認められた．準湿地型の分布する須賀川市では建物用地が近接しているため，湿地化によって洪水時の氾濫抑制機能を発揮に適する可能性が認められた．その他，浸透型が分布する二本松市，本宮市，郡山市は 1km 圏内に約 1,200 人の管理可能人口が存在する結果も得られ，耕作放棄地を地下浸透による洪水リスク低減に寄与する緩衝空間として利用できる可能性が示された．

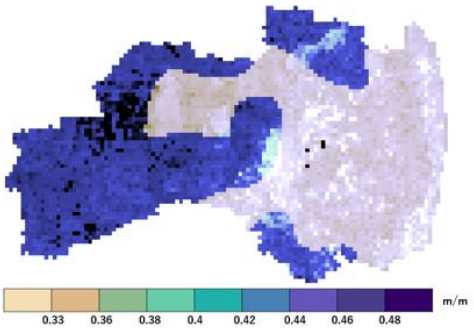


図 2　衛星データによる福島県の土壌水分量 (2021/10/29)

4．結論と今後の課題

本研究の耕作放棄地のタイプ分類より，浸透型のタイプが多く存在し，湿地型，準湿地型のタイプが希少であることが明らかにされた．また，現存の評価のみであるが，相応に水管理に従事できる可能性のある人口が確保されていることが明らかにされ，現在の取り組み推進によっては，流域全体の水管理，EbA の創出のポテンシャルを有する結果を得た．ただし，現況の結果は，耕作放棄地の性状までは示した結果ではない．性状を把握するため，衛星画像による土壌水分(図 2 参照)などを含めた解析を進め，精緻な状態把握を含めて耕作放棄地の利用を検討する．

【謝辞】
本研究は(独)環境再生保全機構の環境研究総合推進費 S-24(JPMEERF20S11813)により実施されたものである．ここに謝意を示す．

参考文献

1)　風間聡ほか：人口減少域の中小河川管理の考察，水文水資源学会誌, 37(3), pp. 265-269, 2025.
2)　例えば，Takeshi Osawa et al: How paddy fields as previously natural wetland inhibit the occurrence of floods，Ecological Indicators，　114, ID:106306, 2020.
3)　川越清樹ほか：日本列島を対象とした土地構造・施設に基づく貯水ポテンシャルマップの開発，土木学会論文集 G(環境), 77(5), pp.I_77-I_84, 2021.

キーワード：Abandoned farmland, River Basin Disaster Resilience and Sustainability by All, Water Cycle Improvement

荒廃地域の樹林による土砂流出影響と Eco-DRR 効果への効果

福島大学共生システム理工学類　○星　歩武
川越　清樹
三井共同建設コンサルタント株式会社　鈴木　皓達

1. はじめに

近年，気候変動の影響により短時間降雨の発生が日本各地で頻発し，水災害の激甚化・頻発化が認められている．令和元年東日本台風を機に，流域治水の概念が提案され，河道対策の強化だけではない，流域のあらゆる関係者の連帯の対策が進められている．保全対象で重点的な対策が進む一方で，流域の上流側は広大な山地であるゆえに対策の整備を加速することが困難な領域になりうる．上流域では，自然の資産である樹林を活用した対策を講じ，流域全体の防災，減災に貢献していく選択肢が挙げられる．こうした考え方は Ecosystem-based Disaster Risk Reduction（Eco-DRR）として位置づけられ，気候変動の防災・減災上の適応だけではなく，緩和策としての効用を与える．既にこうした研究の展開は Eco-DRR マップの開発[1)]や樹木による土砂生産の効果の評価[2)]，斜面崩壊の土砂流出[3)]により展開され，更に地域固有の効果だけではなく普遍的な効果として発展させることが必要とされている．

本研究では，福島県を流下する阿武隈川左支川の荒川流域を研究対象に設定し，Eco-DRR に関わる知見を集積した．荒川流域は国直轄の砂防指定地であり，遊砂地が整備されている．この地域で知見を収集することは，流域治水に貢献するだけでなく，砂防施設運用の具体な計画や森林水文機能の健全化にも資することが可能になり得る．

2. 研究方法とデータセット

土砂緩衝効果等をはじめとして Eco-DRR に利活用できる環境要因に関わる知見を集積するため，以下の①～③に示す研究を進めた．

①：土砂動態を抽出するため衛星画像の赤外線，近赤外線の画像データより，NDVI（正規化植生指数）を導出し，裸地領域を抽出した．NDVI は-1.0～+1.0 の範囲で値が求められ，値が低いと植生が非活性，また，植生がないことを示す．各年の月別 NDVI 値の動向を比較し，NDVI の値が安定する 5 月～10 月の衛星画像を求めて裸地領域を同定した．結果として，閾値を NDVI＝0.2 に設定し，0.2 以下の領域を裸地とした．なお，解析対象は荒川遊砂地上流と設定している．

②：遊砂地より上流側の流域の樹林情報や環境要因を比較して，土砂，樹林の動態の関係性を明らかにした．

③：①，②より得られた動態の情報を緻密に把握するため，UAV（Unmanned Aerial Vehicle）等を用いてオルソ画像や DSM（数値表層モデル）を取得した．DSM と基盤地図情報より取得された DEM（数値標高モデル）を導出することで，樹高や木の配列などの緻密な情報を把握し，Eco-DRR に関わる知見を集積した．

3. 解析結果

(1) 裸地領域抽出解析

図 1 は NDVI を用いて抽出された裸地領域の導出結果である．1992-2024 年安定化領域は，継続して裸地化している領域となり，1997 年，2004 年，2010 年，2020 年，2024 年の結果は各年代で拡大化した拡張領域である．1992-2004 年安定化領域の面積は，5.9km²であり，荒川遊砂地上流の流域面積（54.9 km²）の約 10%を占めることが明らかにされた．この広大な裸地領域は継続して裸地形成されていることから，絶えず表層崩壊が生じていることを示している．また，空間的には荒川本川渓岸に集中しており，降雨に反応して河道に土砂供給されていることを示している．拡

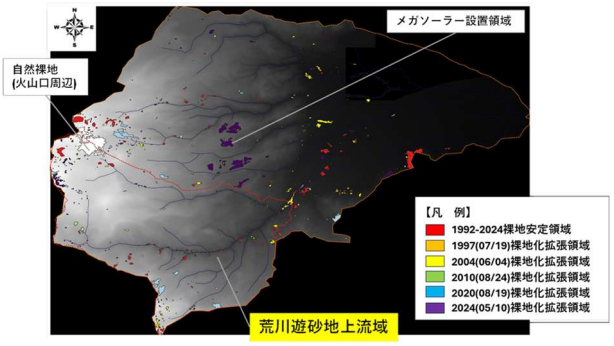


図 1 NDVI を用いて抽出された裸地領域の導出結果

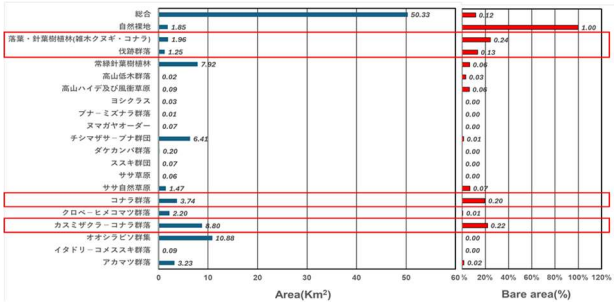


図 2 1992～2024 年期間　裸地安定領域の樹林帯状況

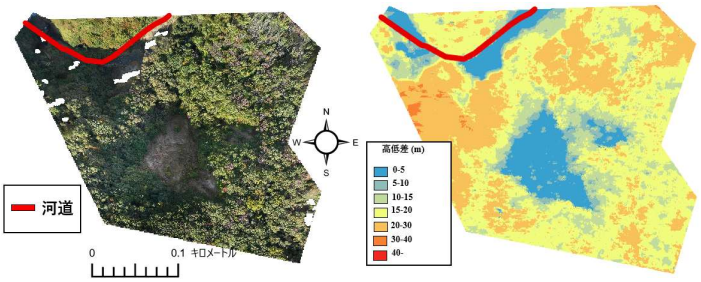


図 3 UAV による緻密解析結果

張した裸地面積は，おおよそ 1997 年に 0.3km²，2004 年に 0.3km²，2010 年に 0.2km²，2020 年に 0.5km²，2024 年に 0.1km²になる結果を得た．1992-2024 年安定化領域と比較して拡張面積割合は小さいため，土砂流出の主体は継続した領域の表層崩壊であることを推測させる．

(2) 裸地の環境要素の関係

荒川上流域の裸地化（土砂生産の主体である 1992～2024 年安定領域）した領域の植生条件を図 2 に示す．土地被覆がカスミザクラーコナラ群落，コナラ群落，落葉針葉樹林という条件では裸地領域が多くみられる傾向である．なお，拡張領域に関してもコナラに関わる林相の斜面で裸地拡大している傾向も明らかにされた．コナラ群落に関しては，樹林帯の高低差による林冠ギャップにより，雨水浸透する知見も認められており[2)]，この知見と同様な結果が得られている．この影響は地域固有ではなく，土砂生産に関わる普遍的な条件であることが示唆される．

(3) 土砂動態の緻密な情報集積

抽出された裸地領域での土砂流出緩衝効果を定量的に評価するために，UAV による緻密解析を行った結果を図 3 示す．この結果は斜面上部側の樹林帯の樹高が 5～30m で不均一に分布していること，斜面末端側で樹高 20m～30m の高木が土砂流出を緩衝して河川への土砂供給を防いでいることを示している．以上を考慮すれば，裸地化している領域が河川への土砂流出を促進させていないことを示唆し，更に精密化した情報を集積させないといけないことを示す．あわせて，こうした緩衝事例は Eco-DRR に寄与する情報であるため，知見の集積に努めなければならないことも示している．

4. 今後の課題

本研究では福島県荒川流域の遊砂地上流域を対象として，衛星画像および UAV による空撮情報を用いた裸地動態と樹林分布の解析を行った．おおよその土砂動態の全貌が明らかにされたが，緻密な情報を取得した検証が必要であるため，今後，現地にて UAV 及び 360 度カメラで測量を実施し，実質の状況に近いデータを取得する必要がある．また，シミュレーションソフトを用いて土石流モデルを計算し，適切な樹林配置と時間変化の検討を行う．なお，Eco-DRR の効果を求める必要があるため，気候変動緩和の影響も加えた緻密解析を進める意向である．

【謝辞】

本研究は，国土交通省河川砂防技術研究開発，国立環境研究所気候変動適応研究プログラム PJ2-4 流域生態系管理による気候変動適応効果の評価の助成を受けて実施したものである．ここに謝意を示す．

参考文献：

1)川越ら：森林資源の活用を考慮した斜面に対する Eco-DRR マップの開発，土木学会論文集 G(環境)，76(5)，pp.I_361-I_370，2020.

2)池本ら：2022 年 8 月の豪雨事例を用いた斜面崩壊の環境条件の比較分析，土木学会論文集，80(27)，ID:24-7015，2024.

3)渡部ら：数値地理と空撮の情報を用いた樹木による土砂生産緩衝の効果の評価，土木学会論文集，80(27)，ID:24-7014，2024.

キーワード：River Basin Disaster Resilience and Sustainability by all, landslide, Climate change adaptation, UAV

洪水許容と水害防備林による中小河川の流域治水対策の数値実験

福島大学共生システム理工学研究科　○仁野平未來
福島大学共生システム理工学類　川越　清樹
三井共同建設コンサルタント株式会社　鈴木　皓達

１．はじめに

近年，短時間豪雨や線状降水帯の頻発により全国各地で洪水被害が顕在化し，将来的な水災害の激甚化・頻発化が懸念されている．このような背景から，従来の河川改修中心の治水から流域全体で多主体が協働する「流域治水」への転換が進められている．しかし，限られた人員・予算の下で流域全体を一律に維持管理することには限界があり，洪水を部分的に許容しつつ被害軽減を図る柔軟な治水策の検討が不可欠である．特に中小河川では，流域の人口減少に伴い保全対象物の減少，管理労働力不足が深刻化しており，従来の堤防整備強化や定期的な樹木伐採を実施することもままならなくなる将来像も予測される．以上より，管理縮小して一部で堤内への遊水機能を許容する選択肢も検討しなければならない．ただし，遊水機能を擁したとしても，防災を留意した上で国土を社会活動へ有効に活用していく方法論も準備することが肝要といえる．例えば，古来，霞堤では水害防備林を配置し，遊水機能を緩衝させて社会活動を継続してきた歴史を有している [1]．また，こうした歴史は，気候緩和とともに生態系を利用した防災機能に示される Ecosystem-Based Disaster Risk Reduction（Eco-DRR）にも関連付けられるものともいえる [2]．こうした流域の計画は，従来，経験値を基盤に構築されてきた．一方で，気候変動や社会変貌の予測シナリオも含めて，整備配置を検討できれば，持続性を見込める流域計画を誘導できる知見になりえる可能性もある．

本研究では，福島県を流れる夏井川を対象領域に設定し，近年の衛星画像を用いて河道内の植生分布とその安定度を評価することで植生伐採放置候補地を抽出し，放置による流量の配分を導出することを目的に遊水機能の配置場所選定の研究を進めた．この研究を基盤に，気候変動や社会変貌の予測シナリオも含めて，遊水機能を有したまま社会活動のできる水害防備林の最適配置を検討する予定である．

２．解析方法，およびデータセット

植生伐採放置候補地の抽出，放置による流量の配分を導出するため，河道植生動態の衛星解析判読，および現地調査と，降雨流出解析を組み合わせた検討を進めた．衛星画像判読では，Sentinel Hub EO Browser より雲量 0～20%の条件で Sentinel-2（10m 解像度）のデータを取得し，河道マスクと NDVI を用いて 2017 年～2024 年の各季節データから植生分布を抽出した．NDVI の平均値と標準偏差から，植生活性が安定的に高い河道植生繁茂の領域を抽出した．また，現地調査より植生の高さや種類を確認し，解析結果の妥当性を検証した．降雨流出解析では，降雨流出モデル（RRI）を用いて，令和元年東日本台風の降雨，および将来予測される降雨量を入力し，粗度係数（0.03：植生無，0.04：植生有）を変化させることで，流速・流量への影響を評価した．これにより，河道内植生を考慮した流況変化を定量的に把握することを進めた．

３．結果

(1) 河道植生動態の衛星解析判読

河道内 NDVI の時空間解析の結果，夏井川では年間を通じて安定した植生繁茂域が点在し，植生伐採放置候補地を抽出した（**図 1** 参照）．これらの候補地は，河道幅および高水敷が広い中流～下流部に集中し，特にいわき市街地下流で広範に分布する結果となった．この領域は市街地保全への直接的な効果は限定的である一方，流域全体としては流出抑制機能を有する可能性が示された．一方で，上流側（小川地区周辺）にも複数の候補地が確認され，市街地保全の観点から費用対効果の高い遊水機能の配置候補地となる可能性が示唆された.また，現地踏査の結果，こ

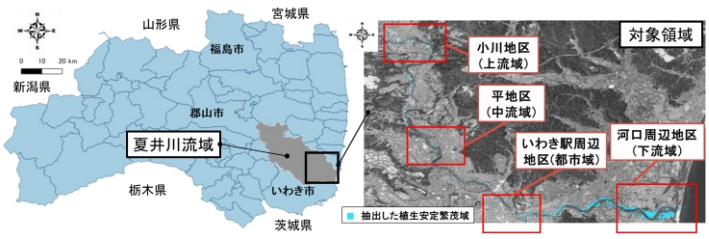


図 1　NDVI 分析による植生伐採放置候補地

れらの領域ではヨシ・ススキ等の多年生草本が繁茂し，草丈約 2.0m に達する箇所も確認され，高い NDVI 値との整合が得られた．

(2) 降雨流出解析

RRI モデルによる流出解析の結果，降雨量の増加に伴いピーク流量は顕著に増大するが，降水量 1.25 倍から，流出量が降水量よりも比率が増加する傾向が把握された．(図 2　参照)．なお，河口から約 3～14 km 区間(いわき市街地)はいずれも浸水する可能性が高いため，堤防などの対策以外に堤内地対策を重点化する必要がある．一方，上流側の約 15～20 km 区間（小川地区）では農地・森林が広がり，かつ安定植生繁茂域が点在することから，遊水機能を適用させる洪水許容候補地になりえることが把握された(図 3-1　参照)．なお，植生変化による流下抵抗の影響を考慮するため，粗度係数を 0.03 から 0.04 へ一律に変更した解析を試行した結果を図 3-2 に示す．顕著な差異はないものの，ピーク流量に一定の変化が認められた．今後，植生の空間分布に応じて，局所的な流量変化の解析を実施する．

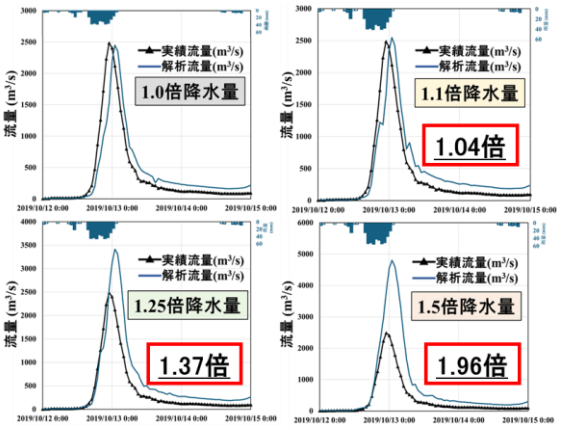


図 2　将来気候変動下での解析流量

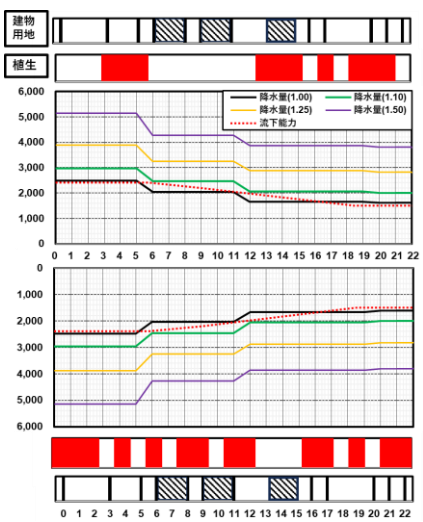


図 3-1
出水時の流量分配

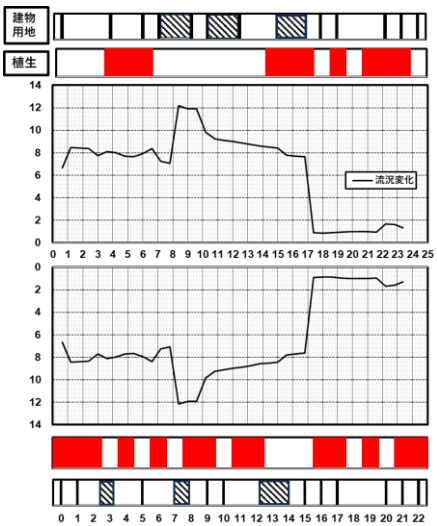


図 3-2
粗度係数(植生)変化による流量分布の比較

4.　まとめ

本研究では，河道内植生を「治水上有益な存在」ではなく，「再生力が高く維持管理が困難な植生地」として再定義し，NDVI を用いて夏井川における安定的な植生繁茂域を抽出した．現地調査より，対象植生は地下茎により短期間で再生するため，管理が追いつかない難管理箇所であることを明らかにした．さらに，気候変動に伴う降水の極端化や無降雨期間の長期化により，将来的に植生問題は増大することが示唆される．空間的な植生の性状の差異もある，そのため，上流域・植生繁茂域・下流域に区分した領域分解型解析を導入し，特に植生繁茂域に限定した粗度変化が流況およびピーク流量に与える影響を定量的に評価する．これらの評価により，抽出した植生繁茂域を基に，洪水を一時的に受け止める遊水機能の抽出領域をより緻密に抽出するとともに，遊水機能の抽出領域で国土利用できるような水害防備林の適正配置の検討を進める予定である．

【謝辞】

本研究は，(独)環境再生保全機構の環境研究総合推進費 S-24-2(2)河川洪水被害減少のための包括的適応策の評価と流域治水策の提案(JPMEERF25S12422)，気候変動の影響予測及び適応策評価業務(福島県)の助成を受けて実施したものである．ここに謝意を示す．

参考文献

1)　大熊孝：水害防備林の再興に関する一考察，土木史研究，pp.135-143, 17, 1997.

2)　大澤剛士・西田貴明・遠香尚史・山野博哉・小笠原奨悟：地方自治体における生態系を活用した防災・減災（Eco-DRR）の推進要因，保全生態学研究，pp.149-160, 30(2), 2025.

キーワード：River Basin Disaster Resilience and Sustainability by all, Green Infrastructure, In-channel Vegetation

香川県における線引き廃止前後での水害曝露状況に関する分析

京都大学大学院工学研究科　○平井孝明
京都大学大学院経営管理研究部　　市川　温

1．はじめに

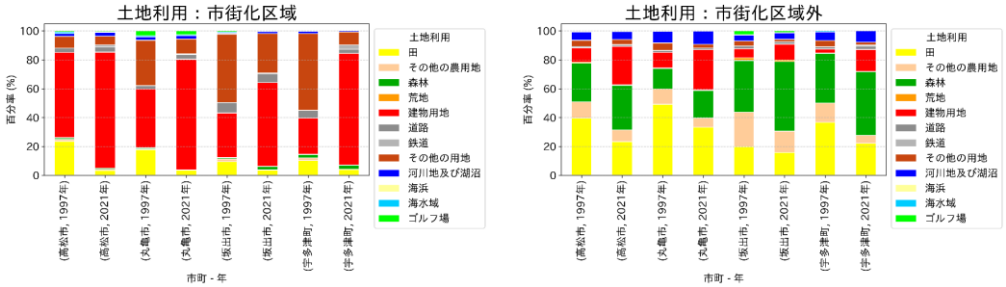
近年，気候変動に伴う集中豪雨の頻発に伴い，水害リスクが増大している．そのような状況の中では，ハード的な対策だけでなく，都市計画によるソフト的な対策も重要になる．日本の都市計画において市街化区域は，「溢水，湛水，津波，高潮等による災害の発生のおそれのある土地の区域」を含まないものと規定されており，災害リスクのある場所への居住を制限する役割も期待されていた．しかしながら，蕨ら[1)]の研究では，市街化区域の拡大過程で，結果として水害リスクのある場所が編入されたケースが確認されている．一方，香川県は 2004 年に全県レベルで線引きを廃止した．土井ら[2)]の研究では，線引きの廃止後，旧市街化調整区域での住宅・商業開発が急増し，低密度な市街地の拡散や，それによる農地振興の阻害といった新たな形態のスプロールが進行したことが示されている．市街化区域の拡大が水害リスクを増大させた例はあるが，スプロール現象による実質的な市街地の拡大が水害曝露状況に及ぼす影響については明らかになっていない．そこで本研究は，香川県における線引き制度廃止前後での土地利用及び人口の変化を，浸水想定区域との重なりに着目しながら定量的に把握し，線引き制度を維持している他地域と比較することで，線引き廃止が，居住者の水害曝露状況にどのような影響を及ぼしたかを明らかにすることを目的とする．

2．研究対象地域及び分析手法

本研究では，旧香川中央都市計画区域を包含している高松市・丸亀市・坂出市・宇多津町の都市計画区域を研究対象地域とした．分析手法としては，QGIS を用いて線引き制度の有無が水害曝露状況に及ぼした影響を定量的に分析した．まず，国土数値情報の「土地利用細分メッシュデータ」(1997 年度及び 2021 年度)，国勢調査の人口及び世帯に関する地域メッシュ統計（2000 年及び 2020 年）を用い，建物用地の推移と人口分布の変化を整理した．区域区分の境界を基準に，制度廃止後の郊外への開発の拡散状況を把握した．次に，国土数値情報の「洪水浸水想定区域データ（1 次メッシュ単位)」(2022 年）に含まれる，計画規模降雨に対応する浸水深ランクデータと，前述の土地利用・人口データを空間的に重ね合わせて分析を行った．これにより，各時期における浸水想定区域内の土地利用割合および人口を算出し，線引き廃止後に水害リスクの高い地域への居住や開発がどの程度進行したかを検証した．

3．土地利用変化及び人口変化の比較分析結果

図 1 は，旧市街化区域内外における各市町の線引き廃止前後での土地利用を示している．旧市街化区域内外を問わず，4 市町全てにおいて，建物用地の増加とともに，田やその他の農用地の減少が確認された．坂出市以外では旧市街化区域外での建物用地の増加率が旧市街化区域内を上回っている．これは市街化区域外として開発が進んでいなかった地域の開発が線引き廃止後に盛んに行われたということであり，スプロール現象の発生を示唆している．

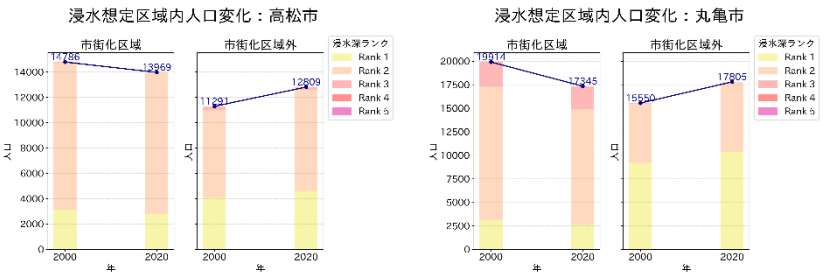


(a) 旧市街化区域　　(b) 旧市街化区域外

図 1　各市町における土地利用変化

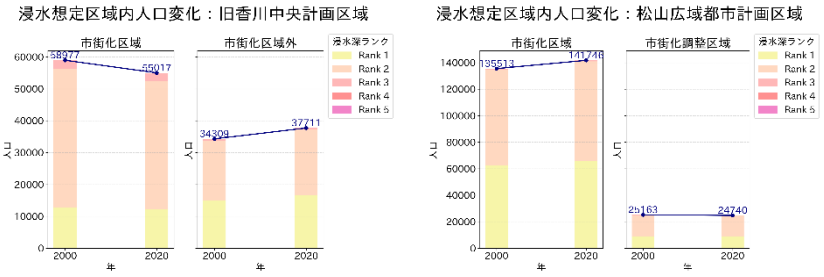
図 2 は，高松市及び丸亀市の浸水想定区域内について，旧市街化区域内外における線引き廃止前後での人口変化の違いを示している．両市においては線引き廃止によって開発が郊外へとシフトしたことにより旧市街化区域では浸水リスクのある場所の人口が減少した一方で，旧市街化区域外の浸水想定区域内人口が増加している．これは郊外での開発が容易になった結果，本来抑制されるべき水害リスクの高い農地などの宅地化が進んだ結果と考えられる．ただし，全人口に対する浸水想定区域内人口の割合は，高松市では 6.28%から 6.35%となり，丸亀市では 31.52%から 30.44%へと微減していることから，線引き廃止前後で市全体での水害リスクは大きく変わっていないと言える．

また，線引きの有無と水害曝露状況に関する考察を深めるため，旧香川中央都市計画区域と同程度の都市規模を持ち，香川と同じ四国の瀬戸内海側に位置し，現在も線引きを維持している松山広域都市計画区域を比較対象地域に設定した．図 3 は，両都市計画区域での浸水想定区域内人口の変化を線引き廃止前後の同じ期間で示している．香川では浸水想定区域内人口が旧市街化区域内で減少し，旧市街化区域外で増加している一方，松山では浸水リスクのある場所でも人口が市街化区域内に留まる傾向が見られた．この対比により，香川で見られた郊外の浸水リスク地域への人口流入は，線引き廃止が影響している可能性が示唆される．一方松山では利便性の高い場所での水害リスク拡大に対して居住選択面での対策が重要になると考えられる．



(a) 高松市　　(b) 丸亀市

図 2　浸水想定区域内人口変化の旧市街化区域内外による差異



(a) 旧香川中央都市計画区域　　(b) 松山広域都市計画

図 3　都市計画区域全体での浸水想定区域内人口の変化

4．まとめ

本研究は，香川県での線引き廃止が居住者の水害曝露状況にどのような影響を及ぼしたかを明らかにすることを目的とした．分析の結果，線引き廃止後，旧市街化区域外での建物用地の増加率が旧市街化区域内を上回っている自治体が多く，スプロール現象の発生が示唆された．また，旧市街化区域では浸水リスクのある場所の人口が減少した一方で，旧市街化区域外では本来抑制されるべき水害リスクの高い農地などの宅地化が進み，浸水想定区域内人口が増加した．全体での水害リスクは線引き廃止前後で大きな変化が見られなかった．比較対象地域との対比により，香川で見られた郊外の浸水リスク地域への人口流入は，線引き廃止が影響している可能性が示唆された．以上の分析から，線引き廃止の結果，旧市街化区域の浸水想定区域内へ人口が集中せず，水害リスクが分散したことが分かった．しかし同時に都市の拡散を許容し，結果として郊外では水害リスクの高い地域への居住を促進させてしまったことが示唆された．自治体が線引き廃止を検討する場合，市街化調整区域において水害リスクが拡大する可能性を考慮し，行政としてどのような対応を取るのかをあらかじめ定めて周知することが求められる．

参考文献

1）蕨裕美, 松川寿也, 中出文平, 樋口秀: 市街化区域と災害リスク区域の関係に関する研究，都市計画論文集, Vol.54, No.3, pp.931–937, 2019.
2）土井健司, 紀伊雅敦, 松居俊典: 香川県における線引き全県廃止の経緯分析と廃止後の制度設計の課題，土木学会論文集 D3, 70 巻, 5 号, pp.I_443–I_452, 2014.

キーワード：Flood exposure, Zoning, Urbanization promotion/control area, Urban sprawl

機械学習を用いた取水制限に影響を与える水文量の分析

京都大学大学院工学研究科　　○近藤大紀
京都大学大学院工学研究科 Aulia FA Tinumbang
京都大学大学院工学研究科　　立川康人

１．はじめに

近年、気候変動に伴う降水パターンの極端化により、2025 年度の空梅雨に代表される深刻な渇水リスクが増加しており、従来の渇水リスク予測を見直す必要が生じている [1)]。従来、渇水の状況把握や予測には、標準化降水指標（SPI）や標準化降水・蒸発散指数（SPEI）といった統計的指標が広く用いられてきた。しかし、社会的渇水は、気象要因に加えてダム運用等の社会的要因が複雑に相互作用するため、単一の気象指標のみを用いて予測することは困難である [2)]。そこで本研究では、高度に水資源開発が進んでいる豊川流域を対象に、非線形な相互作用を扱うことが可能なランダムフォレストを用いて、取水制限の発生を社会的渇水と定義した判別モデルの構築を試みる。具体的には、河川流量やダム流入量等の水文量を統合し、各変数の最適な積算期間をグリッドサーチにより特定する。これにより、社会的渇水の予測精度向上を図るとともに、特徴量重要度分析を通じて渇水発生を支配する主要因とその時間スケールを定量的に解明することを目的とする。

２．研究手法

本研究では、Hobeichi et al. (2022) を参考に、ランダムフォレストを用いたモデル構築において、未知のデータに対する予測性能を検証するため、水文量および過去の取水制限発生データを、学習用のトレーニングデータ (80%) と検証用のテストデータ (20%) に分割し、データの無作為分割から学習・評価に至る一連の試行を計 100 回反復することで、モデルの頑健性を担保した。渇水発生事例は非発生事例に比べて少ないという対象データの不均衡性により、ランダムフォレストを用いた学習では非発生事例への過学習が起こりやすい。そのため最適な重み係数については、各試行のトレーニングデータ内において Out-Of-Bag (OOB) サンプルを用いたグリッドサーチを行い、渇水事例の再現率が最大化される値を決定した。モデルの構築においてまず、降水量(P)をベースに、ET や PET を加えた 3 パターンの変数の組み合わせ（① P ② P + ET ③ P + ET + PET）におけるモデルの精度を同一積算期間で比較することで、説明変数の増加による予測性能の変化を検証した。続いて、すべての水文量を入力変数とし、同一積算期間を一律に適用した多変数ランダムフォレストモデルを構築し、各変数の特徴量重要度を算出した。その結果、重要度が低い変数を除外し、P、ET、PET、w1、２地点のダム流入量、河川流量からなる計 7 種類の水文量に対してそれぞれ 7 パターンの積算期間を独立に変化させ、生成される 823,543 通りの組み合わせすべてについて、Case1（水文量のみ）、Case2（水文量と月データ）、Case3（水文量と月・年データ）の場合でグリッドサーチを行い、モデルを構築・評価した。グリッドサーチにより選定された高い予測精度を有するモデルを対象に、特徴量重要度を分析し、各説明変数のモデルへの寄与度を定量的に表した。

３．結果と考察

予測精度として全データに対する正解の割合（Accuracy）を用い、積算期間を 1 ヶ月単位で更新した際の 3 モデルの変化を右の図 1 に比較した。横軸は積算期間を表す。説明変数の増加によって予測精度の向上が示唆されたものの、必ずしも一律の改善に寄与するわけではないことが明らかとなった。すべての水文量を入力したモデルにおける各変数の特徴量重要度を示したのが以下の図 2 である。

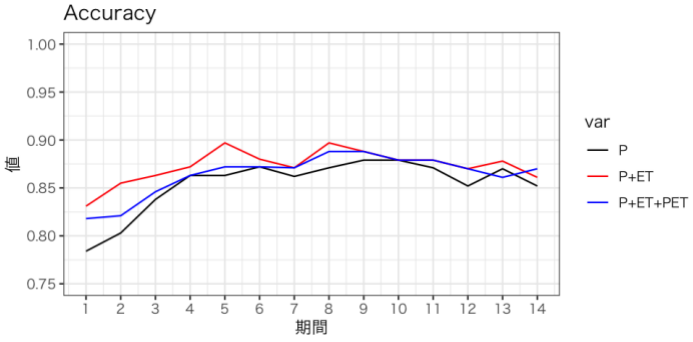


図 1 Accuracy の推移

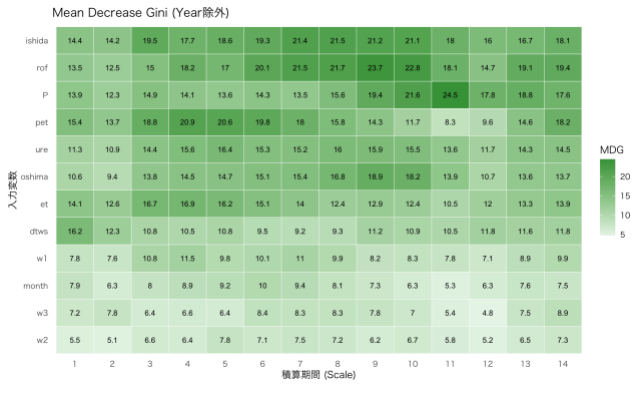


図 2　特徴量重要度のヒートマップ

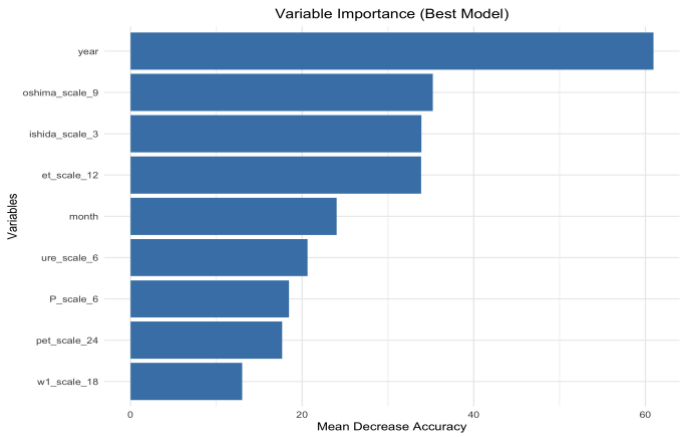


図 3　MDA 比較

MDG はノード分割によるジニ不純度の減少量の総和を、全決定木で平均した各変数の重要度を表す。河川流量や降水量といった水文量は MDG の最大値がそれぞれ 23.7、24.5 と重要であるとわかった一方、地表面貯水量変化や土壌水分量といった水文量は MDG の最大値がそれぞれ 16.2、11.5 と重要度が比較的低いことがわかった。続いて、グリッドサーチを行った結果、それぞれの場合で最も精度が良かったモデルとそのときの各変数の積算期間と各評価指標を示したのが以下の表 1 である。また、最も予測精度が良かった Case3 モデルに対して特徴量重要度を分析し、各変数のモデルへの寄与度を表したのが図 3 である。その結果、時代変化を考慮した Case 3 で Accuracy が 2.2%、Recall が 7%程度向上していること、また特徴量重要度の分析から、渇水発生メカニズムにおいて、水文量の影響だけでは説明しきれない水資源管理施設の整備状況や水需要の変化など時代変化が大きな要因となっていることを示しており、入力水文量の積算期間が比較的長期間になることによって精度が向上することがわかった。

表 1 各 Case における最良モデルの水文量積算期間（月）および予測精度

	P	et	pet	Oshima	Ure	Ishida	w1	Acc	FAR	Pre	Rec
Case1	6	24	6	9	3	6	9	0.885	0.041	0.861	0.679
Case2	24	24	18	9	3	6	18	0.885	0.038	0.869	0.674
Case3	6	12	24	9	6	3	18	0.907	0.035	0.888	0.747

4．まとめ

本研究では、ランダムフォレストを用いて豊川流域における渇水に影響を与える変数と積算期間を求めた。その結果、渇水予測精度が 90%を超えるモデルを構築することができた。また、特徴量重要度分析により、ダムなどの水資源管理施設の整備を反映する時代変化が、渇水予測に大きな影響を与えていることがわかった。

【謝辞】
本研究は、文部科学省気候変動予測先端研究プログラム JPMXD0722678534 の助成を受けたものです。

参考文献

1) 環境省: IPCC 第 6 次評価報告書統合報告書政策決定者向け要約, pp. 17, 2023.
2) Hobeichi, S., Abramowitz, G. Evans, J. P., Ukkola, A.: Toward a Robust, Impact-Based, Predictive Drought Metric, Water Resources Research, 58, pp. 1-20, 2022.

キーワード：社会的渇水、ランダムフォレスト、取水制限、渇水発生予測モデル、特徴量重要度

Impact of Land Cover Dynamics on Seasonal Inflow: A 38-Year Case Study of Saguling Dam

University of Yamanashi Yuangga Rizky Illahi
University of Yamanashi Jun MAGOME
University of Yamanashi Kazuyoshi SOUMA
University of Yamanashi Hiroshi ISHIDAIRA

1. Introduction

Dam life cycles span extended periods, during which land use changes occur throughout the watershed due to population growth, urbanization, and agricultural expansion. Because LULC change is widely recognised to influence reservoir inflow, while government policy shifts can strongly drive LULC transformation, the Saguling Dam represents an important case study for evaluating the long-term impacts of policy-driven land use change on dam operation. The construction of the Saguling Dam was completed in 1985 in the Citarum River Basin, after which the area experienced significant land use and land cover (LULC) changes associated with the expansion of Bandung City. This transformation was linked to Indonesia's shift toward industrialisation in the 1990s, although the Asian financial crisis of 1997–1999 led to the president's resignation and marked the end of this policy phase[1]. Nevertheless, urbanisation in Bandung City continues to intensify, influencing water availability at the Saguling Dam, which is located downstream of the city.

The Saguling Dam is part of a cascade system located downstream of the Cirata Dam and Jatiluhur Dam within the Citarum River Basin. This system serves multiple functions, including hydropower generation, irrigation, drinking water supply, and flood regulation. Understanding changes in water availability at the Saguling Dam since its completion in 1985 is therefore critical, as alterations in inflow conditions can propagate through the cascade system and affect overall performance. In this study, the SWAT+ model was applied to simulate the impacts of LULC dynamics using 1985 as the baseline, with results evaluated against changes in water availability up to 2023[2].

2. Method

To construct a dynamic land use and land cover change (LULCC) model for the Saguling Dam (Fig. 1), the GLC_FCS30 dataset was used. The dataset originally comprised 30 detailed classes, which were reclassified into seven broader categories to align with the land use classification scheme required for SWAT+ modelling. The data spanned five-year intervals from 1985 and three-year intervals from 2020 to 2023. An accuracy assessment was conducted on the reclassified LULC data using Google Earth Pro imagery as ground truth. Due to the limited availability of observational weather data, ERA5-Land reanalysis data were used for the period 1983–2023 and were bias-corrected using the Quantile Mapping method based on data from 25 observation stations across the watershed.

The SWAT+ model was executed using the most recent LULC map, and multi-site calibration was performed using discharge data from six tributary stations for the period 2021–2023. The model was then validated using data from the same stations for the period 2019–2020. For further evaluation, discharge data from an additional station located along the main river were used for final validation. Following satisfactory model performance, the calibrated parameters were applied to other LULC periods, which were arranged sequentially to represent conditions from 1985 to 2023.

A non-parametric trend analysis was employed to evaluate hydrological alterations attributable to LULCC. This analysis compared an evaluation period against a predefined baseline. The baseline period was defined as 1985–1990, representing conditions prior to major policy changes. The period 1995–2023 was then used to evaluate deviations from this reference. Discharge differences between the simulated conditions and the baseline were calculated and normalised by precipitation to minimise climatic influences. The Mann-Kendall test was applied to the normalised discharge differences during the evaluation

period, such that the detected trends represent changes relative to the baseline rather than within the baseline itself. The test statistic (Z) was evaluated at a significance level of $p < 0.05$, and trend magnitude was quantified using the Sen's slope estimator as the median of pairwise slopes. The analysis was conducted at annual and seasonal scales, with the rainy season defined as November to April and the dry season as May to September, enabling the identification of distinct hydrological responses under contrasting seasonal conditions.

3. Result and Discussion

LULCC data indicate a marked expansion of developed areas and a sharp decline in agricultural land in 1995 followed by a moderated decrease after the Asian financial crisis while tree cover continuously declined (Fig. 1). The SWAT+ model showed satisfactory performance after final validation (NSE = 0.52; PBIAS = 12.01; KGE = 0.59). Annual inflow volume to the Saguling Dam during 1985 to 2023 did not exhibit a significant long term trend relative to the baseline ($p = 0.4388$) although the Sen's slope estimator indicates a decreasing tendency of -7.312 MCM yr^{-1} (Fig. 2). However, seasonal trend analysis using the Mann-Kendall test and Sen's slope estimator reveals strong contrasts between wet and dry periods. The rainy season shows a substantial increase (+39.00 MCM) with a significant upward trend ($p = 0.002$) whereas the dry season exhibits a decrease (-23.72 MCM) with a pronounced downward trend ($p = 0.0000$) (Fig. 3). This pattern reflects a seasonal redistribution of flow with increased runoff during the wet season and reduced water availability in the dry season.

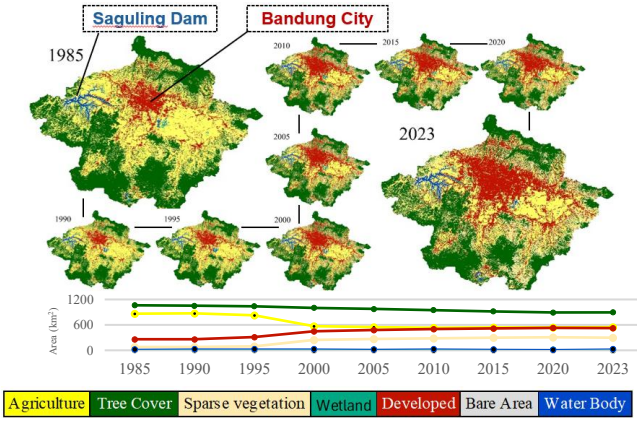


Fig. 1 Land Use Land Cover Change

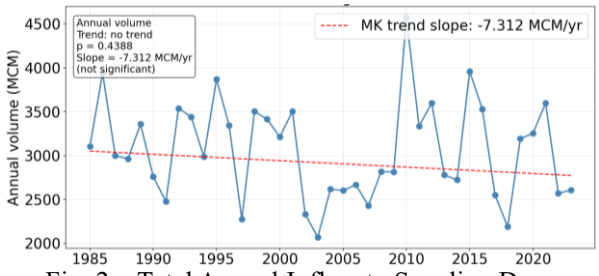


Fig. 2 Total Annual Inflow to Saguling Dam

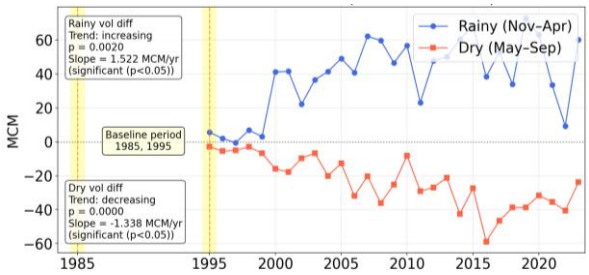


Fig. 3 Seasonal Volume Difference (1995 – 2023)

Trends in annual extremes further support this interpretation: increasing flood peak differences ($p = 0.0020$) indicate heightened peak flows relative to the baseline, consistent with reduced infiltration and faster runoff response, whereas decreasing low-flow differences ($p = 0.0000$) reflect worsening low-flow conditions, likely due to diminished groundwater recharge and baseflow contributions.

4. Conclusion

The findings indicate that, although total annual runoff relative to the baseline does not exhibit a significant long-term trend, LULCC intensifies hydrological seasonality, amplifying wet-season runoff and flood peaks while degrading dry-season flows and low-flow conditions. Increased wet-season water is largely discharged downstream, whereas dry-season deficits remain unresolved. This imbalance increases dependence on effective reservoir storage management, heightens vulnerability to prolonged dry periods, and reduces the buffering capacity of the system. These results highlight the need to incorporate dynamic LULCC considerations into dam operation and water resource planning to ensure long-term reliability.

References

1) Morley et al., The role of agriculture in the structural transformation of Indonesia. IFPRI Discuss. Pap. 1838, Washington, DC, 2019, DOI:10.2499/p15738coll2.133263.

2) Bieger et al., Introduction to SWAT+, a completely restructured version of the Soil and Water Assessment Tool. J. Am. Water Resour. Assoc. 53, 115–130, 2017, DOI:10.1111/1752-1688.12482.

Keywords: Dynamic Land Use Land Cover, Water availability, Trend analysis, Watershed Management, Policy Change

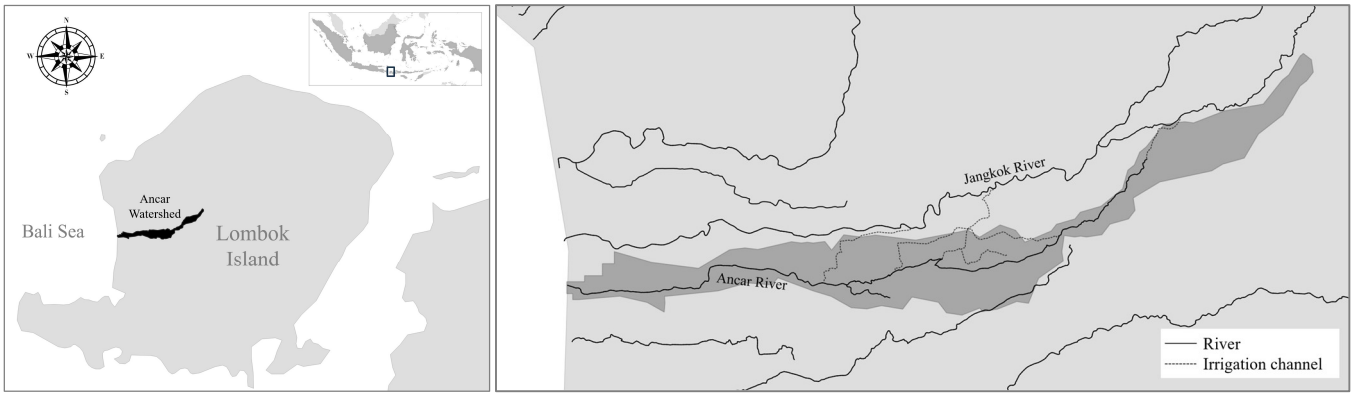
Development of Flood Forecast Model Integrating Local Irrigation Planning on Lombok Island, Indonesia

Mitsui Consultants Co., Ltd. ○Amalia Wijayanti
Mitsui Consultants Co., Ltd. Nakamura Yosuke
Mitsui Consultants Co., Ltd. Abe Shiori
Mitsui Consultants Co., Ltd. Higashiguchi Hiroshi
Nusa Tenggara 1 River Basin Organization Eka Nugraha Abdi

1. Introduction

In 2022, the United Nations launched the Early Warning for All initiative, which seeks to ensure universal access to early warning systems by 2027[1]. Over the recent decades, many global flood forecasting systems have been developed, however, prediction accuracy in small islands and watersheds influenced by water control structures is often lower than that in natural river systems on large continents. This study focuses on Lombok Island, which has an approximate area of 4,570 km², as a case study.

Lombok Island exhibits distinct hydroclimatic characteristics, with relatively high rainfall in the northern region and markedly drier conditions in the south[2]. To support agricultural activities in southern Lombok, irrigation systems were introduced during the Dutch colonial period, involving the construction of channels that convey water from northern rivers to the southern part of the island. In response to local geographical conditions, irrigation water in some cases is discharged into upstream sections of other natural rivers before being re-diverted downstream into irrigation channels in the downstream. For example, in Ancar watershed (Figure 1b), upstream river sections receive irrigation discharge from the Jangkok River, which is subsequently diverted at downstream points for irrigation distribution. Consequently, a complex interaction between irrigation discharge and natural river systems has developed. Given this hydrological complexity, the interaction between irrigation infrastructure and natural river flows requires further evaluation in hydrological models.



(a) (b)

Figure 1. (a) Map of Lombok Island, (b) Ancar River Network

2. Method

The Ancar watershed is predominantly urban, with a water network comprising a combination of natural river systems and irrigation channels. A major flood event occurred in July 2025, resulting in widespread inundation. However, the integration of flood mitigation strategies and irrigation planning within real-time decision-making frameworks remains limited. In the Rainfall–Runoff–Inundation (RRI) Model[3], boundary conditions are typically defined using time-series data. For future real-time model applications, the integration between hydrological model and irrigation intake planning by the government becomes important for small rivers such as the Ancar River. The river basin organization in Lombok (BBWS NT1) which is responsible

for water resource management across the island, establishes an annual irrigation plan in which water intake from rivers is adjusted at 10-day intervals (three times per month). This study aims to incorporate this irrigation scheduling framework into the RRI model to improve its applicability for real-time flood forecasting.

In this study, the boundary conditions in the RRI model, originally defined as time-series data in seconds, were modified to align with the local government irrigation plan. Thus, modifications were made to the boundary input format. In this study, the boundary condition framework was modified to support a date-based input format. Instead of specifying values at fixed time intervals, boundary conditions are defined using start and end timestamps in calendar format (year, month, day, and hour), enabling direct representation of operational water management plans.

To maintain compatibility with the existing model structure, the date-based inputs are internally converted into elapsed simulation time. The simulation start time is automatically derived from the rainfall input file name, which contains the forecast initialization date and hour. During preprocessing, each boundary condition period is transformed into a corresponding elapsed time relative to the simulation start. The model then proceeds using the original time-based computational framework without modification to the core hydrodynamic routines. This approach enables seamless integration of long-term operational irrigation schedules and ensures alignment with local government needs.

3. Results

The implementation of boundary conditions was shown to enhance model accuracy. During the July 2025 flood event in the Ancar watershed, the root mean square error (RMSE) during peak rainfall decreased from 5.1 m³/s without boundary conditions to 4.4 m³/s with boundary conditions applied. The baseflow during no-rainfall conditions, the RMSE was further reduced from 4.33 m³/s to 0.39 m³/s.

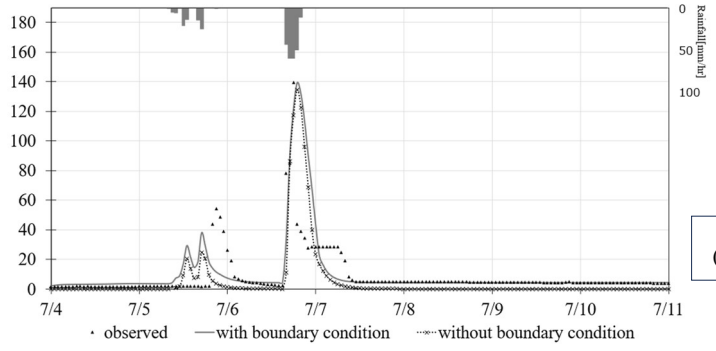


Figure 2. Hydrograph of 2025 Flood

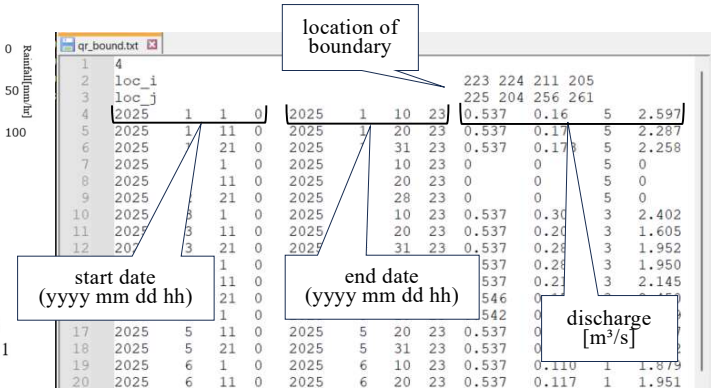


Figure 2. Boundary condition file

4. Conclusion

Integrating local irrigation planning into the RRI model is essential for river systems characterized by mixed networks of natural flows and irrigation infrastructure, as observed in the Ancar watershed. The proposed date-based boundary condition framework enhances the usability of the RRI model by aligning it with real-world irrigation operations while preserving computational efficiency. In the Ancar River, incorporating these boundary conditions significantly improves model accuracy, as demonstrated by reduced RMSE under both normal (non-emergency) and peak flood conditions.

References

1 World Meteorological Organization. Early Warnings for All: The UN Global Early Warning Initiative for the Implementation of Climate Adaptation Executive Action Plan 2023–2027. WMO (2022).

2 Narendra, B. H. et al. Flood susceptibility mapping based on watershed geomorphometric characteristics and land use/land cover on a small island. Global Journal of Environmental Science and Management (2023).

3 Sayama, T. et al. Rainfall–runoff–inundation analysis of the 2010 Pakistan flood in the Kabul River basin. Hydrological Sciences Journal, Vol. 57, pp. 298–312 (2012).

Keywords: Flood Forecast, RRI Model, Ancar River

氾濫の許容による流域の流出特性と被害特性に関する数値実験

東北大学工学研究科　○宇賀神瑠杜
福島大学共生システム理工学類　　横尾　善之
東北大学工学研究科　　風間　聡

1. はじめに

極端豪雨の頻発化・激甚化によって (IPCC, 2021)，水災害による被害が頻発化・増大している中，日本の人口減少地域では治水投資額が減少することで，河川堤防の維持が困難となっている (風間ら, 2024)．これに対し，自然地形を利用した治水構造物の有効性が示されている．例えば，霞堤や流水型遊水地 (石川, 2020) がある．しかし，これらの解析には内水氾濫が未考慮であり，氾濫を許容できる可能性のある領域についての知見が乏しい，という課題がある．したがって，氾濫を許容することが可能な地域特性と，それらが流域全体に与える影響が未だ不明である．そこで本研究では，流域地形の異なる複数流域を対象とし，無堤防化を想定した降雨流出氾濫解析と被害額を算出することで，氾濫の許容によって生じる流出特性・被害特性を解明することを目的とする．これにより，流域一体的な治水に向けた適切な不連続堤の地形特性とそのポテンシャルを検討する．

2. 使用データと方法

対象流域は人口減少が著しい東北地方の，阿武隈川，最上川，北上川，雄物川，米代川の 5 つの河川流域とした．対象降雨は，阿武隈川流域における令和元年東日本台風時の流域平均雨量を各流域一様に与えた．これは阿武隈川流域における 100 年確率の降雨であり，極端現象を対象とし降雨分布の違いによる影響を除去するためである．**図** 1 は対象流域と一級河川，考慮したダムを示す．地形データは，日本表面流向マップ (山崎ら, 2020) を，降雨データは, 解析雨量データを用いた. 数値実験には, Sayama *et al.* (2012) の降雨流出氾濫 (Rainfall-Runoff-Inundation: RRI) モデルに対して，氾濫計算の再現性を向上させたモデル (Ugajin *et al.*, 2026) を用いた．これは，河道幅を考慮することで氾濫域・洪水流の再現性を改善し, 河川堤防が外水・内水の氾濫流に作用する現象を明示的に再現している．

氾濫の許容することが流域に与える影響を最大化させるため, 流域全体における河川堤防の有無についての 2 パターンを各流域で降雨流出氾濫解析した．堤防高については，直轄区間は河道横断面データに含まれる河川堤防高を，それ以外の区間は直轄区間における集水面積と堤防高の関係を外挿することによって推定した．そして，降雨流出氾濫解析で得た最大浸水深から，Yamamoto *et al.* (2021) の手法を用いて被害額を算出した．

3. 結果

図 2 は，各流域における貯留量と浸水時間・被害額との関係性の比較を示す．米代川流域は短い浸水時間で大きな貯留量を得ることが可能で，洪水氾濫流を早く流出させる特性を有している．これは，河道に平行な幅の狭い氾濫原が広く存在していることに起因しており，水文学的には氾濫の許容のポテンシャルが高い．一方で，最上川流域は小さい被害額で大きな貯留量を得られることが可能で，小さな被害で氾濫を許容できるポテンシャルが大きい．反対に，北上川流域は氾濫水の貯留量に対して浸水時間が長くて被害が大きい．これは，幅の広い氾濫原が多く建物用地が立地しているためであり，土地利用が不変であるとすると，連続した河川堤防が有効な傾向にある．

図 3 は，各土地利用間における貯留量と浸水時間・被害額との関係性の比較を示す．各河川メッシュの半径 250 m 以内で支配的な土地利用を参照している．荒れ地・畑地は，短い浸水時間で大きな貯留量を得ることができ，氾濫を許容しても素早く氾濫水を流出させる特徴があり，排水型の氾濫の氾濫の許容に適している可能性がある．田んぼは, 小さい被害額で大きな貯留量を得ることができるが, 氾濫の許容によって浸水時間が増大傾向であるため, 遊水型の氾濫許容に適していると考えられる．

図 4 は，各河川メッシュについて，氾濫が許容できる可能性のある河川区間の分類とその割合を示している．分類の共通条件として，治水効果を目的に「流量増加期には本川の洪水流が外水氾濫し，流量減少期にはその氾濫水量以上を回収」とした．そして氾濫を許容することで, 氾濫量と回収量どちらも増加する Type-A,

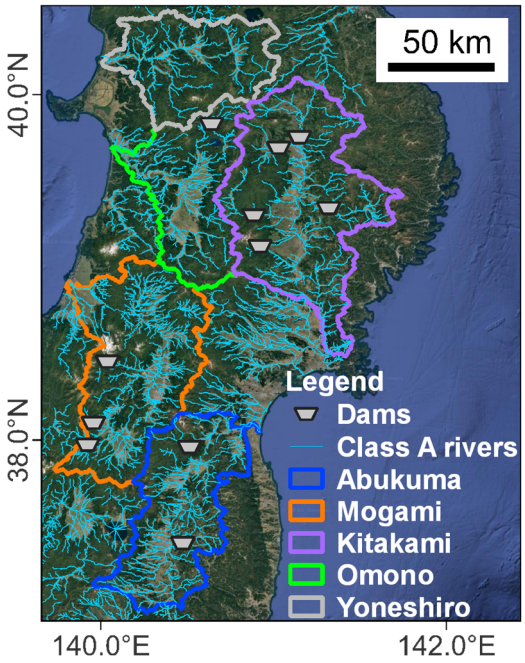


図 1　対象流域と反映したダムの位置図
背景: Google Map
(https://www.google.co.jp/maps)

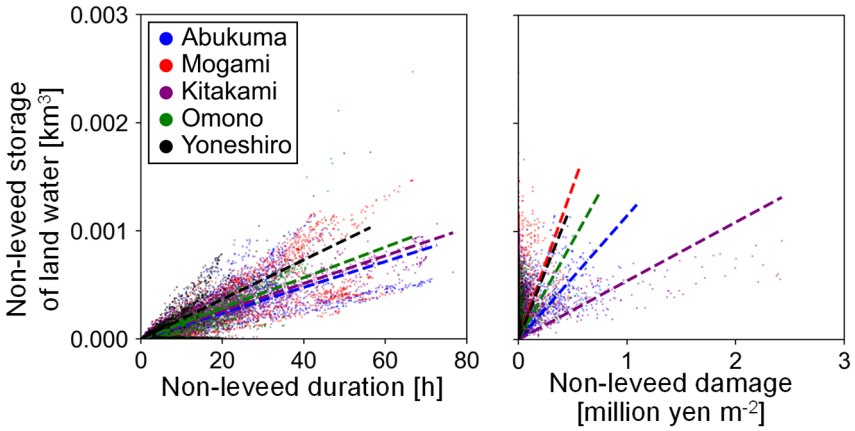


図 2　各流域間における貯留量と
浸水時間・被害額との関係の比較

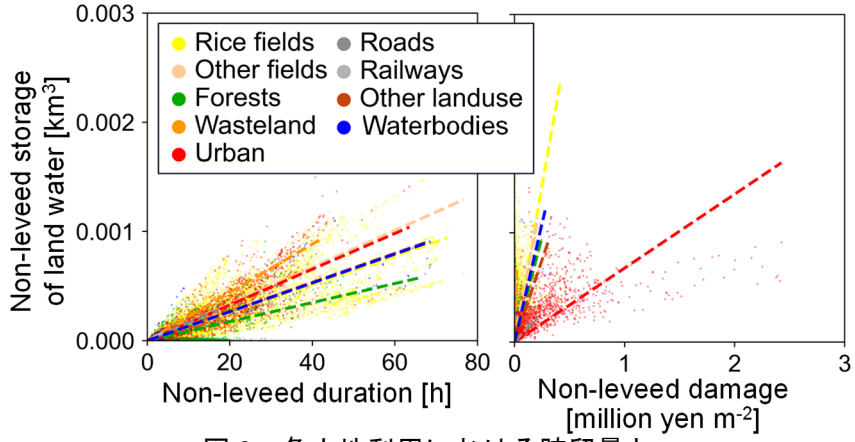


図 3　各土地利用における貯留量と
浸水時間・被害額との関係の比較

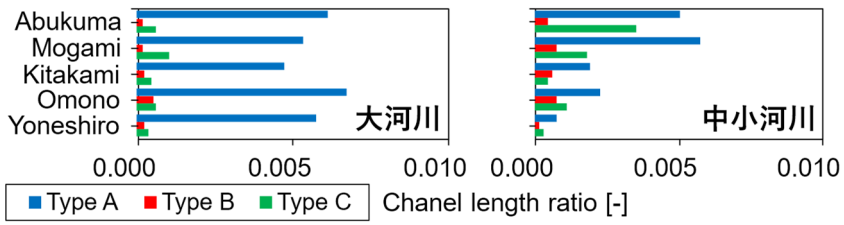


図 4　各流域の大河川・中小河川における，
分類区間の流域総河川長に対する割合

氾濫量が増加する Type-B, 回収量が増加する Type-C，と分類した．大河川（集水面積 200 km^2 以上）では，遊水効果が大きい Type-A がどの流域においても約 0.5%存在し，周辺の氾濫原は一時的な貯留効果があった．中小河川（集水面積 50 km^2 以上, 200 km^2 未満）では，氾濫を促す Type-B と氾濫水を多く回収する Type-C が大河川よりも多く，氾濫原を経路として洪水流・氾濫流を早く流出させる傾向があった．

4.　まとめ

本研究は氾濫の許容によって生じる流出特性・被害特性を解明することを目的とし，堤防有無において降雨流出氾濫解析と被害額算出を実行し，氾濫を許容できる可能性がある流域特性と土地利用との関係性を明らかにした．今後は氾濫許容の可能性が大きい領域に不連続堤を設置した場合の治水効果について解析する．

【謝辞】

本研究は，環境省・(独)環境再生保全機構の環境研究総合推進費（JPMEERF25S12422）により実施した．本研究の一部は，科学研究費補助金（JP23K26202, 24H00329）の助成を受けたものである．ここに感謝の意を表す．

【参考文献】

Sayama, T., Fujioka, S., Ushiyama, T., Tatebe Y., Fukami, K. (2012) Rainfall-Runoff-Inundation Analysis of Pakistan Flood 2010 for the Entire Indus River Basin, *Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B1 (Hydraulic Engineering)*, 68(4), I_493-I_498. DOI: 10.2208/jscejhe.68.I_493.

Ugajin R, Yokoo Y, Sayama T, Bari SH, Leong C. 2026. Improving rainfall-runoff-inundation model for realistic representations of main river with levees. Hydrological Research Letters 20: 127–134. DOI: 10.3178/hrl.25-00050.

Yamamoto T, Kazama S, Touge Y, Yanagihara H, Tada T, Yamashita T, Takizawa H. 2021. Evaluation of flood damage reduction throughout Japan from adaptation measures taken under a range of emissions mitigation scenarios. Climatic Change 165: 60. DOI: 10.1007/s10584-021-03081-5.

キーワード：RRI model, Inundation, Flood, Runoff characteristics

遮断蒸発モデルの仮定が流出予測に及ぼす影響

（国研）森林研究・整備機構　森林総合研究所　○籾山寛樹
東京大学大学院　農学生命科学研究科　熊谷朝臣
アジア航測株式会社　藤目直也
静岡大学農学部　江草智弘
（国研）森林研究・整備機構　森林総合研究所　清水貴範

1．はじめに

日本の国土の約 7 割を占める森林においては、降水の 2 割以上が遮断蒸発となることも多く [1]、遮断蒸発の予測は流域管理上重要である。プロセスベースのモデルとして広く利用されている遮断蒸発モデル [2]は、植生による一時貯留という形で遮断蒸発を捉えている（以下貯留型とする）。その一方、森林で遮断蒸発を計測する場合には、植生の水貯留量ではなく、遮断蒸発量そのものが得られる。森林管理による遮断蒸発の変化を推定する場合にも、降水量に対する遮断蒸発量の比（以下総遮断率 β_T とする）を推測するモデルが用いられる場合もある [1]。この場合、β_T を降水量に乗じて遮断蒸発を計算することになる（以下比例型とする）。貯留型と比例型との差は特に豪雨時に大きくなるものの、この違いが流出予測に及ぼす影響はほとんど調べられていない。そこで本研究では、遮断蒸発モデルの仮定が流出予測に及ぼす影響を評価し、遮断蒸発の計算方法について検討した。

2．方法

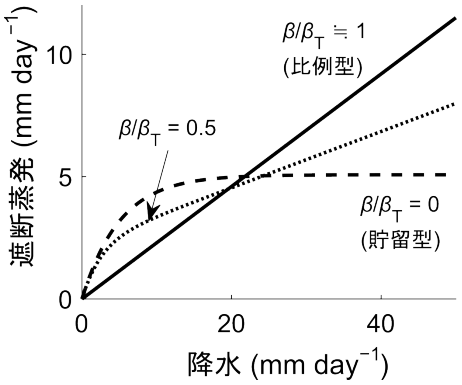
遮断蒸発量 IC(P)及び日降水量の確率密度関数 $f(P)$を、日降水量 P（mm day^{-1}）、植生による貯留量 S_t（mm）、終端遮断率（P が十分大きいときに仮定される遮断率）β、降雨日の平均日降水量 η_p（mm day^{-1}）を用いて以下のように表す [3),4)]。

$$\mathrm{IC}(P) = (1-\beta)S_t\{1-\exp(-P/S_t)\} + \beta P$$

$$f(P) = (1/\eta_p)\exp(-P/\eta_p)$$

このとき、β_TE[P] = E[IC]を仮定すると（E[x] : x の期待値）、$0 \le \beta < \beta_T$ に対して IC(P)を以下のように表せる（図−1）。

$$\mathrm{IC}(P) = (1-\beta)\frac{\beta_T-\beta}{1-\beta_T}\eta_p\left\{1-\exp\left(-\frac{1-\beta_T}{\beta_T-\beta}\frac{P}{\eta_p}\right)\right\} + \beta P$$

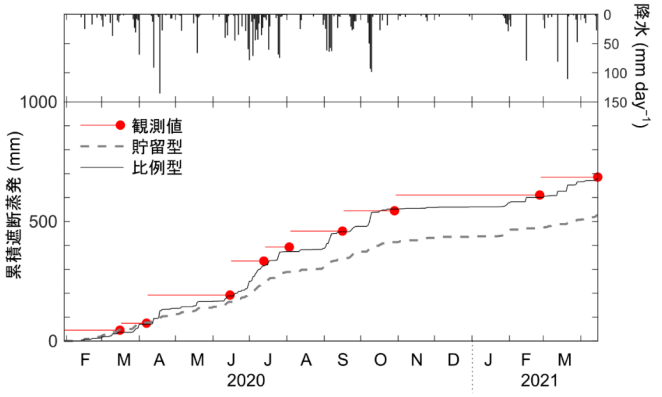


図−1 異なる β/β_T に対する推定日遮断蒸発量と降雨量の関係(β_T = 0.23, η_p =17.0 mm day^{-1})。

まず、このモデルを利用した計算値を、大洞沢流域（神奈川県清川村、35°28′N, 139°12′E）内の針葉樹人工林プロットにおける遮断蒸発観測値と比較した。そして過去に大洞沢流域へ適用した流出モデル [5)]に組み込み、遮断蒸発モデルの仮定の違いが大洞沢流域での流出予測に及ぼす影響を調べた。この際、洪水重視の指標（Nash–Sutcliffe 指標 [6)]）と渇水重視の指標（流出量の逆数に対する Nash–Sutcliffe 指標 [7)]）のそれぞれで、Generalized Gridding Method[8)] による最適化を試みた。

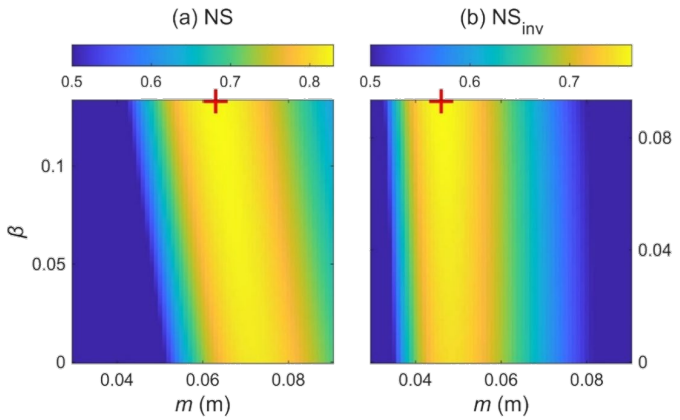
3．結果

貯留型のモデルは比例型と比べて、特に降水強度が大きくなる時期に遮断蒸発を過小評価する傾向が見られた（図−2）。流出量に基づいて評価した場合にも、最適パラメータは遮断蒸発モデルが比例型となる場合に

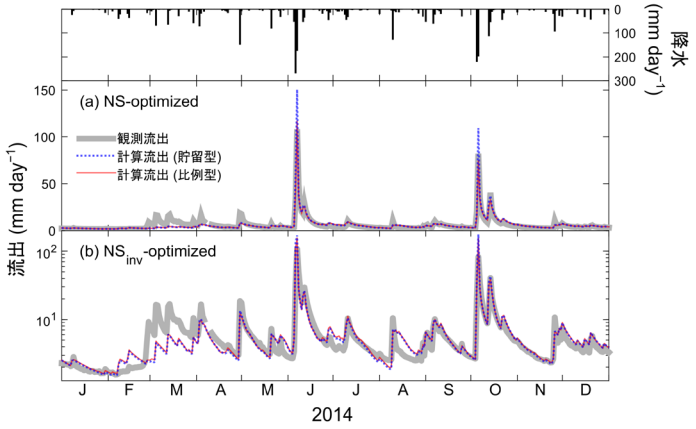


図−2 大洞沢における降雨量ならびに累積遮断蒸発量の比較（2020/1/30–2021/4/15）。なお、観測結果を基に β_T = 0.23 を使用して計算されている。

得られた（図–3）。その一方、特に洪水重視の評価指標を用いた場合は、遮断蒸発モデルの仮定にかかわらず高い評価値が得られており、遮断蒸発過程の仮定による差（すなわち β の差）が、流域の保水性を表す流出モデルのパラメータ m の変化によって相殺されていた（図–3）。そして、遮断蒸発モデルが貯留型か比例型かによる違いは、洪水時にのみ大きく表れた（図–4）。



図–3 流域の保水性 m 及び終端遮断率 β の変化に対する（a）Nash–Sutcliffe 指標（ NS, 洪水重点の指標）および（b）流出量の逆数に対する Nash–Sutcliffe 指標（NS$_{inv}$, 渇水重点の指標）の応答。総遮断率 β_T は 0.133（NS）または 0.093（NS$_{inv}$）としており、十字は最適値が得られた位置を示す。



図–4 (a) では Nash–Sutcliffe 指標 (NS) を用いた場合 (m = 0.063 m, β_T = 0.133)、(b) では流出量の逆数による Nash–Sutcliffe 指標 (NS$_{inv}$) を用いた場合 (m = 0.046 m, β_T = 0.093) の最適値を使用している)。また、遮断蒸発モデルに貯留型 (β/β_T = 0) と比例型 ($\beta/\beta_T \fallingdotseq 1$) を用いた場合の計算値を、それぞれ表示している。

4．考察とまとめ

貯留型のモデルは、β_T に加えて η_p も利用することで、降水量が少ない場合には降水の多くが遮断されるという遮断蒸発の特性を反映できる。しかしこの場合は、総遮断蒸発量は過小評価され、流出予測精度の向上も見られなかった。本研究では、降水イベント中の蒸発について具体的なメカニズムを解明することを目的とはしていない。しかし、降水量の多い時期に貯留型モデルでは遮断蒸発量の過小評価が見られるという結果が得られ、貯留型のモデルでは表現されていないプロセスの存在が示唆された。また、特に洪水を重視する指標を用いた場合、遮断蒸発の仮定に関するパラメータと流域の保水性を表す m との間に equifinality[9]が見られた。これは、流出観測のみから遮断蒸発プロセスを推定する困難さを示している。防災上特に重要となる極端豪雨では、比例型を仮定するか貯留型を仮定するかによって算定される遮断蒸発量が大きく異なる。これに伴い、流出予測量も特に大きく変化すると考えられる。豪雨時の遮断蒸発メカニズムについては未だ解明されていない点が多いものの、降水量と遮断蒸発量の関係がより正確に分かるようになれば、洪水予測のさらなる改良につながる可能性がある。

謝辞　本発表は Momiyama et al. (2023, J. Hydrol. Vol. 623, 129843）を基にしています。研究の実施にあたりましては、神奈川県自然環境保全センター 対照流域調査地・流域水収支評価研究委託（代表：熊谷朝臣）、森林総合研究所 交付金プロジェクト 2（課題番号 202210）、環境省 地球環境保全試験研究費 MAFF1942、科学技術振興機構 次世代研究者挑戦的研究プログラム JPMJSP2108 による補助を受けました。記して感謝の意を表します。

参考文献　1) Inokoshi et al. (2023) For. Ecol. Manage. 547 121387; 2) 例えば Gash (1979) Q. J. R. Meteorol. Soc., 105, 43–55; 3) Linsley et al. (1949) *Applied Hydrology*; 4) Rodriguez-Iturbe et al. (1999) Proc. R. Soc. Lond. Ser. A 455, 3789–3805; 5) Momiyama et al. (2021) For. Ecol. Manage. 499, 119593; 6) Nash & Sutcliffe (1970) J. Hydrol. 10, 282–290; 7) Pushpalatha et al. (2012) J. Hydrol. 420–421, 171–182.; 8) Duan (2003) *Calibration of Watershed Models*, 89–104; 9) Beven (1993) Adv. Water Resour. 1, 41–51.

キーワード　森林、評価手法、洪水、蒸発散、水文モデル

サロゲートモデルを用いた RRI モデルの大域的感度分析

岡山大学環境生命自然科学研究科　○谷口雅明・工藤亮治・近森秀高

1. はじめに　降雨流出氾濫モデル（Rainfall-Runoff-Inundation：RRI モデル）は流出と氾濫を一体的に解析できるモデルとして社会実装に向けた検討が進んでいる [1]．RRI モデルの予測の頑健性向上にはパラメータ設定に起因する不確実性の評価が不可欠であり，その有効な手段の 1 つが感度分析であるが，既往研究 [2]では局所的な評価にとどまっている．そこで本研究では，Sobol'法を用いた大域的感度分析により RRI モデルの出力を支配するパラメータの特定とパラメータ間の交互作用（パラメータ単独では現れず，複数パラメータの複合効果としてのみ現れる感度）の評価を目的とする．ただし，Sobol'法を RRI モデルのような分布型水文モデルに直接適用する場合，計算時間が膨大となり現実的ではない．そのため，Marrel ら [3]の手法に基づき，ガウス過程回帰によるサロゲートモデルを構築し，これを RRI モデルの代理モデルとして Sobol'法による感度分析を実施した．

2. 解析資料　吉井川水系の苫田ダム流域（流域面積 217.4km^2），那賀川水系の長安口ダム流域（流域面積 494.3km^2）を対象とし，2006 年から 2021 年に観測されたピーク比流量 1m^3/s/km^2 以上の出水（苫田ダム流域 13 イベント，長安口ダム流域 15 イベント）を抽出した．解析には，標高データ，時間単位のダム流入量および解析雨量を用いた．

3. 解析手法　解析手法は以下の 4 段階で構成される（図-1）．①ラテン超方格法によるパラメータセットのサンプリング（学習データ：1,000 サンプル），②各サンプルに対する RRI モデルの実行と応答変数（Nash–Sutcliffe 効率係数：NSE，総流量，ピーク流量）の算出，③ガウス過程回帰によるサロゲートモデルの構築，④Sobol'法による感度指標の推定である．Sobol'法はモデル出力の分散を各パラメータへの寄与に分解する大域的感度分析手法であり，パラメータ単独の寄与を表す一次感度指標S_i（$i = 1,2,\ldots,k$，k：入力変数の数），パラメータ間の交互作用を含む全寄与を表す総感度指標S_{T_i}の 2 指標を推定する．両指標の差（$S_{T_i} - S_i$）はパラメータ間の交互作用を意味する．S_iとS_{T_i}は式（1），（2）のように定義され，推定には Python のライブラリである SALib を用いた．また，必要なサンプル数は$N(k+2)$で，推奨は$N \geq 500$とされており [4]，この推奨を十分に上回る$N = 1{,}024$を採用した．

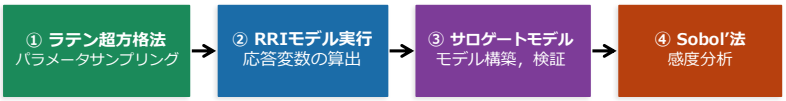


図-1 感度分析のフロー

$$S_i = \frac{V_i}{V(Y)} = \frac{V_{X_i}\left[E_{\mathbf{X}_{\sim i}}(Y|X_i)\right]}{V(Y)} \quad (1), \qquad S_{T_i} = \frac{E_{\mathbf{X}_{\sim i}}\left[V_{X_i}(Y|\mathbf{X}_{\sim i})\right]}{V(Y)} = 1 - \frac{V_{\mathbf{X}_{\sim i}}\left[E_{X_i}(Y|\mathbf{X}_{\sim i})\right]}{V(Y)} \quad (2)$$

ここで，Y：モデルの出力，X_i：対象の入力変数（$i \leq k$），$\mathbf{X}_{\sim i}$：X_i以外のすべての入力変数，$Y|X_i$：X_iを固定したときのY値である．対象パラメータは福井ら [1]を参考に表-1 のように設定した．Sobol'法はパラメータ間の独立性を前提とするが，$\theta_a > \theta_m$という RRI モデルの制約条件のもとではこの前提を厳密に満たせない．そのため，本研究ではθ_aを定数として扱い*，その影響は本研究の対象外とした．ガウス過程回帰では自動適合距離尺度を有する Matérn 5/2 カーネルを採用した．また，ガウス過程回帰に基づくサロゲートモデルの予測精度を学習データとは独立した 100 サンプルに対する決定係数R^2で検証した．その結果，ほぼすべてのイベント，応答変数の組み合わせで$R^2 \geq 0.95$となり，サロゲートモデルが RRI モデルの応答変数を良好に近似していることを確認した．

表-1 対象とした RRI パラメータとその範囲

パラメータ		範囲
n_{river}	河川の粗度係数	0.015 ~ 0.1
n_{slope}	斜面の粗度係数	0.15 ~ 1.0
D	土層の厚さ	0.5 ~ 2.0
(θ_a)	（飽和＋不飽和層の間隙率）	(0.5)*
k_a	飽和透水係数	0.01 ~ 0.3
θ_m	不飽和層の間隙率	0.05 ~ 0.49
β_{k_m}	透水係数比（不飽和層）	2.0 ~ 30
riv_thresh	河道モデルの設定閾値	3 ~ 50

4. 結果・考察　各イベントについて独立に感度分析を行い，両流域における応答変数ごとの各パラメータのS_i，S_{T_i}の分布を図-2 に示す．応答変数を NSE，総流量とした場合，θ_mとDのS_i，S_{T_i}が他のパラメータに比べて大きく，θ_mとDが支配的なパラメータであることが示された．また，θ_mとDは$S_{T_i} - S_i$が大きく，交互作用の存在が示唆された．一方，応答変数をピーク流量とした場合，θ_mとDに加えてriv_threshも高い感度を示した．また，θ_mとDには交互作

用がみられたが，riv_threshは$S_{T_i} - S_i$が小さくパラメータ間の交互作用は限定的であった．これらの傾向は苫田・長安口の両ダム流域で確認された．RRI モデルの斜面流は式（3）の流量流積関係式により定義され，水深h，$\theta_m D$，$\theta_a D$の大小関係により不飽和地中流，飽和地中流，表面流の 3 段階で表現される．

$$q_x = \begin{cases} -k_m \theta_m D \left(\frac{h}{\theta_m D}\right)^{\beta} \frac{\partial H}{\partial x}, & (h \le \theta_m D) \\ -k_a (h - \theta_m D) \frac{\partial H}{\partial x} - k_m \theta_m D \frac{\partial H}{\partial x}, & (\theta_m D < h \le \theta_a D) \\ -k_a (h - \theta_m D) \frac{\partial H}{\partial x} - k_m \theta_m D \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{1}{n_{slope}} (h - \theta_a D)^{\frac{5}{3}} \sqrt{\left|\frac{\partial H}{\partial x}\right|} \operatorname{sgn}\left[\frac{\partial H}{\partial x}\right], & (\theta_a D < h) \end{cases} \quad (3)$$

ここで，q_x：x方向の流量フラックス，$k_m = k_a/\beta$：不飽和透水係数，H：基準面からの水位である（簡略化のためx方向のみの式を記載）．式（3）よりθ_mとDは常に積として流出過程に関与するため，パラメータ間の交互作用が現れたと解釈できる．また，両パラメータは各流出成分の閾値として降雨発生時から流出に関与するため，いずれの応答変数においても高い感度を示したと考えられる．一方，riv_threshは河道モデル適用の集水グリッド数の閾値であり，その変化は流入時間を変化させ流出の時間的集中度に影響するため，ピーク流量への感度が高いと考えられる．ただし，流域への総入力量は変わらないため，riv_threshは流出の時間配分を変えるものの，流域全体の水収支には影響せず総流量への感度も小さかったといえる．また，riv_threshの変化はピーク付近の限られた時刻における流出の時間的集中度を変化させるにとどまる．一方，NSE は全時刻の二乗誤差を積算する指標であるため，全時刻の流出量に影響するθ_mやDと比べて，riv_threshの NSE への感度は相対的に小さかったといえる．さらに，RRI モデルの出力（水深）を分析した結果，対象イベントでは表面流の発生は短期的かつ局所的であることが確認された．よって，式（3）の第 3 段階にのみ関与するn_{slope}は流出過程への時空間的な影響範囲が限定的であるため，感度が小さくなったと考えられる．以上より，RRI モデルをより頑健に構築するためには，単独の寄与S_iと交互作用がともに大きいθ_mとDを積としてパラメータ化するなどの工夫が必要であると考えられる．さらに，ピーク流量の予測精度を重視する場合はriv_threshも慎重に設定すべきである．こうした感度特性を考慮してパラメータ設定を行うことで，パラメータ設定に起因する不確実性が低減し，より頑健なモデルの構築が期待される．

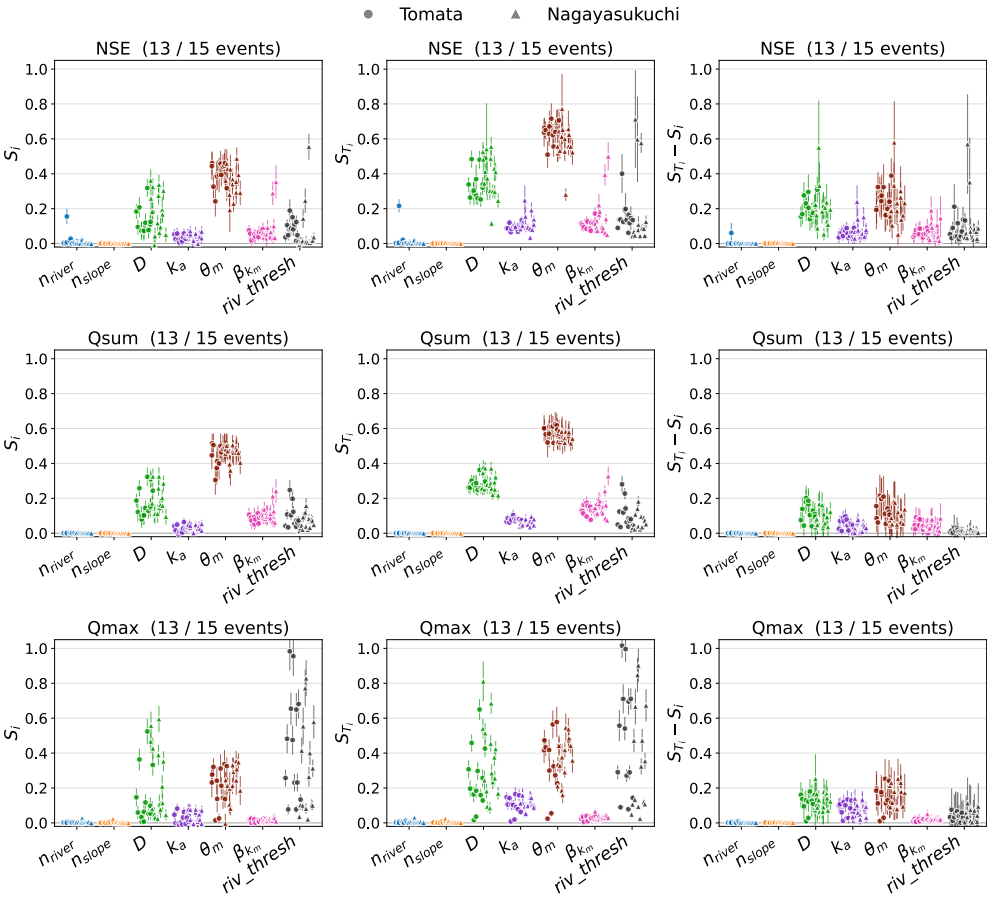


図-2　各パラメータにおけるS_i，S_{T_i}の分布

参考文献
1) 福井治ら，流域治水検討に適用するための RRI モデルのパラメータ設定手法，河川技術論文集，第 30 巻，pp.531-536，2024.
2) Sayama et al., Rainfall–runoff–inundation analysis of the 2010 Pakistan flood in the Kabul River basin Hydrological Sciences Journal, Vol. 57, No.2, pp.298-312, 2012.
3) Marrel et al., Calculations of Sobol indices for the Gaussian process metamodel, Reliability Engineering and System Safety, Vol.94, No.3, pp.742-751, 2009.
4) Saltelli et al., Variance based sensitivity analysis of model output. Design and estimator for the total sensitivity index, Computer Physics Communications, Vol.181, No.2, pp.259-270, 2010.

キーワード：流出モデル，RRI モデル，大域的感度分析，Sobol’法，サロゲートモデル

サブグリッド河道および水分保持曲線を導入した新しい RRI モデルの土壌パラメータに対する感度分析

京都大学大学院工学研究科　○中村菜々子
京都大学防災研究所　菅原快斗
京都大学防災研究所　田中智大
京都大学防災研究所　佐山敬洋

１．研究の背景と目的

流出モデルは，降雨流出過程などの物理プロセスを方程式によって表現したものであり，モデルパラメータは流域特性を概念的に表現した値となる場合が多い．そのため，モデル出力を実際の観測値にできるだけ一致させるためにはパラメータ同定が不可欠であり，モデル出力に対して感度の高いパラメータを把握することが重要である．

流出モデルの一つである RRI モデルに対して，著者らはサブグリッド河道と水分保持曲線の導入を主とする改良を行った (RRI v.2)．これにより，水分保持曲線に関する土壌の物性情報をパラメータとして直接利用できる [1]．本研究では，サンプリングした土壌の特性を反映して最適化した場合，水分保持曲線に関わる特性を反映してそれ以外のパラメータを最適化した場合，すべてを最適化した場合を比較し，現地計測に基づくパラメータ同定の可能性を検討する．

２．方法

（１）対象流域と対象降雨

本研究では，三重県の二級河川である安濃川を対象とする．2012 年台風第 17 号，2013 年台風第 18 号，2014 年台風第 11 号の解析雨量をモデルに入力し，安濃ダムへの流入量を解析する．

（２）流出モデル

流出モデルには，RRI v.2[1]を用いた．その特徴は降雨流出，河道追跡，氾濫解析の 3 層の構造を持つこと，Brooks-Corey Mualem の水分保持曲線に基づく流量流積関係式 [2]が導入されていること，サブグリッド河道を持ち全てのグリッドセルにおいて河道追跡を行うことである．

（３）パラメータ

最適化の対象としたパラメータは，Brooks-Corey Mualem の水分保持曲線 [2]に関するパラメータ(飽和体積含水率θ_s，残留体積含水率θ_r，水分保持曲線の非線形性を表すλ，空気侵入圧ψ_e)，飽和透水係数k_s，土層厚L，初期貯留量 θ_i である．パラメータ最適化アルゴリズムには PESTPP-GLM[3]を用いた．PEST はモデル出力と観測値の差の二乗和を目的関数とした非線形最小二乗法に基づくパラメータ推定手法であり，PESTPP-GLM は一般化線形モデルに基づく．PESTPP-GLM を用いて，3 事例の NSE の平均が最大となるようにパラメータを最適化した．ただし，初期貯留量は事例ごとに異なる値を設定し，その他のパラメータは 3 事例で共通の値を設定した．

また，安濃ダム流域の 1 地点で一定深度毎にサンプリングした試料に対する pF 試験と変水位透水試験の結果から，土壌パラメータのサンプル値を求めた (表-1)．

表-1　pF 試験と変水位透水試験から求めた各パラメータのサンプル値

パラメータセット番号	サンプル深さ	θ_s	θ_r	λ	ψ_e[m]	k_s[m/s]
①	20 cm	0.63	0.3	0.26	-0.011	1.90×10^{-5}
②	65 cm	0.45	0.27	0.25	-0.017	2.61×10^{-7}
③	95 cm	0.49	0.026	0.16	-0.01	5.70×10^{-6}
④	125 cm	0.56	0.23	0.53	-0.015	2.69×10^{-5}

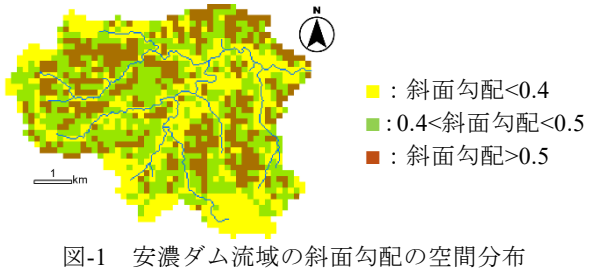


図-1　安濃ダム流域の斜面勾配の空間分布

（４）計算条件

Case A：全ての土壌特性について現地計測を反映し，土層厚を最適化した．

Case B：水分保持曲線に関わる特性について現地計測を反映し，透水係数と土層厚を最適化した．

Case C：対象となる全てのパラメータを最適化した．

現地計測(Case A と B)については，サンプリング深さの異なる 4 種類のパラメータセットを設定する(表-1)．土層厚の最適化については，土層厚を一様にする場合と，斜面勾配によって土層厚を 3 区分(図-1)したうえで最適化する場合の 2 種類を考えた．Case A①～④，Case B①～④，Case C の 9 つのパラメータ設定に対してそれぞれ 2 種類の土層厚の設定を考え，計 18 パターンの計算を行った．

３．結果と考察

上記の 18 パターンに対して Nash-Sutcliffe 係数 (NSE)とピーク流量の相対誤差 (RPD)の絶対値を求め，図-2 と図-3 に示す. ただし, 青は土層厚を 3 区分に分けて最適化した場合, 赤は土層厚を一様として最適化した場合を表す.

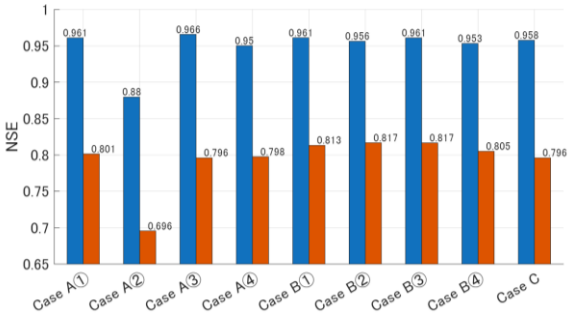


図-2 計 18 パターンの計算結果に対して求めた Nash-Sutcliffe 係数 (NSE)

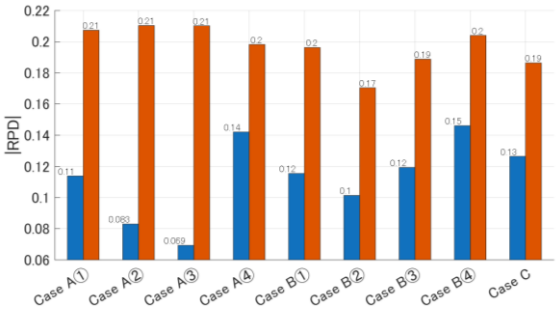


図-3 計 18 パターンの計算結果に対して求めたピーク流量の相対誤差 (RPD)の絶対値

土層厚を 3 区分に分けた場合 (青)は土層厚を一様とした場合(赤)と比べて，NSE は 1 に，RPD は 0 に近い値となる．土層厚区分の有無はハイドログラフの再現性に大きく寄与するといえる．土層厚以外のパラメータは流域一様であることから，土層厚の区分を導入することで流域の流出応答特性の不均一性を再現することとなり，より物理的なモデリングができている可能性が考えられる．

全ての土壌特性の現地計測を反映した Case A に着目すると，Case A②では土層厚区分の有無に関わらず他のパターンより低い水準となる．また，Case A②と Case B②を比較すると，透水係数の現地計測を用いない Case B②において再現性が高い. 透水係数がハイドログラフの再現性に与える影響は大きく, 透水係数が適切でない限りは, 他のパラメータを最適化してもハイドログラフを精度よく再現できないといえる．

水分保持曲線に関わる特性の現地計測を反映した Case B においては，対象パラメータをすべて最適化した場合と同水準の NSE と RPD を得た．透水係数以外の土壌パラメータはハイドログラフの再現性に大きく寄与せず，それらのパラメータの影響は，透水係数や土層厚を最適化することで補完される．土壌水分量は水分保持曲線に限らず土層厚にも影響されるためであると考えられる．

以上より，RRI v.2 では，土壌特性の現地計測をそのまま反映し，その他のパラメータを最適化するという手法によって，現地計測に基づくパラメータ同定ができる．ただし，土層厚区分の導入等で流域の流出応答特性の不均一性を再現し，透水係数が適切な値でないときは，透水係数を最適化の対象に含める必要がある．

【謝辞】

本研究は，内閣府 SIP「流域内の貯留機能を最大限活用した被害軽減の実現」(代表:角哲也)の支援を受け実施されました．また，実験データは，防災研究所　松四雄騎教授より提供いただきました．記して感謝の意を表します．

参考文献

1) 佐山敬洋，菅原快斗，田中智大．令和 6 年能登半島地震の地殻変動が奥能登豪雨の洪水氾濫に及ぼした影響．土木学会論文集, Vol. 82 No. 6: 25-16113, 2026.
2) 菅原快斗，佐山敬洋．水分保持曲線を反映する流量流積関係式の導出と分布型流出モデルへの適用．土木学会論文集 B1(水工学). Vol. 77, No. 1, 124-135, 2021.
3) Doherty, J.: PEST: a unique computer program for model-independent parameter optimisation. Proceedings of the Water Down Under 1994 Conference (IE, Australia), pp. 551–554. 1994.

キーワード：RRI (Rainfall-Runoff Inundation) model, water retention curve, sensitivity analysis

効果的に河川流量を低減する豪雨制御に向けた降雨量の時空間分布と河川流量の関係分析に関する基礎的検討

京都大学大学院工学研究科　学生会員　○小畑俊平
京都大学防災研究所　正会員　萬　和明
京都大学防災研究所　正会員　田中賢治

1．はじめに

近年，気候変動の影響により，豪雨災害の激甚化が進んでいることを背景に，ムーンショット型研究開発事業・目標 8「2050 年までに、激甚化しつつある台風や豪雨を制御し極端風水害の脅威から解放された安心安全な社会を実現」が開始されている．例として豪雨の発生・発達過程への人為的介入によって強度および発生頻度を制御・低減する豪雨制御手法[1)]が検討され，また，下層への洋上カーテン設置が豪雨抑制に有効である可能性が示されている[2)]．加えて，意思決定方法の検討や法的課題の検討は行われているが，河川流量に与える影響について考察された研究はまだあまり多くない．そこで本研究では，筑後川流域を対象に，どのような豪雨制御が河川流量を効果的に低減しうるかという観点から，降雨の時空間分布とピーク流量の関係を分析した．

2．使用データと方法

本研究では，降雨データとして，気象庁の解析雨量を元に，筑後川流域における流量観測地点である瀬ノ下，荒瀬と松原ダムそれぞれの上流域について 2006 年から 2023 年までの流域平均雨量を求めた．流域面積は，松原，荒瀬，瀬ノ下の順に小さい．また，国土交通省の水文水質データベースから，2006 年から 2023 年までについて下筌，松原，江川，寺内の各ダムについて 1 時間ごとの流入量と放流量を取得し，荒瀬，瀬ノ下地点については流量を取得し，ダム操作による流量への影響を除去した自然流量を求め，河川流量の値として用いた．

本研究では，対象とする洪水において，降雨強度と河川流量がピークとなる時間差をラグ時間と定義し，ラグ時間と最大降雨強度，ピーク河川流量の相関関係を調べ，降雨の時間分布とピーク河川流量との関係を考察した．

降雨の空間分布に関しては，最大降雨強度およびピーク河川流量となった時刻における降雨の空間分布に注目し，降雨の空間分布と河川流量の関係を考察した．

3．結果

年最大河川流量となった事例について，3 地点のラグ時間，ピーク河川流量，最大降雨強度の相関係数を表 1 に示す．同表から，瀬ノ下地点においてはピーク河川流量とラグ時間の間に中程度の負の相関が見られた．これより，ラグ時間が短いほどピーク河川流量が増加する可能性が示唆される．また，最大降雨強度とピーク河川流量は，瀬ノ下地点と比較して荒瀬，松原の両地点の方が相関係数は高く，比較的小さな流域では最大降雨強度の影響が強く河川流量に現れることがわかる．

図 1 にピーク河川流量と 3～24 時間まで 3 時間刻みで積算時間を変えた積算降雨量の間の相関係数を示す．同図から，瀬ノ下，荒瀬の両地点は 24 時間積算降雨量が，松原ダム地点は 6 時間積算降雨量がピーク河川流量との相関係数が

対象変数	瀬ノ下	荒瀬	松原
ピーク流量とラグ時間	−0.410	−0.150	−0.154
最大降雨強度とラグ時間	−0.224	−0.197	−0.199
最大降雨強度とピーク流量	0.473	0.694	0.668

表 1　ピーク河川流量，ラグ時間，最大降雨強度の相関係数．

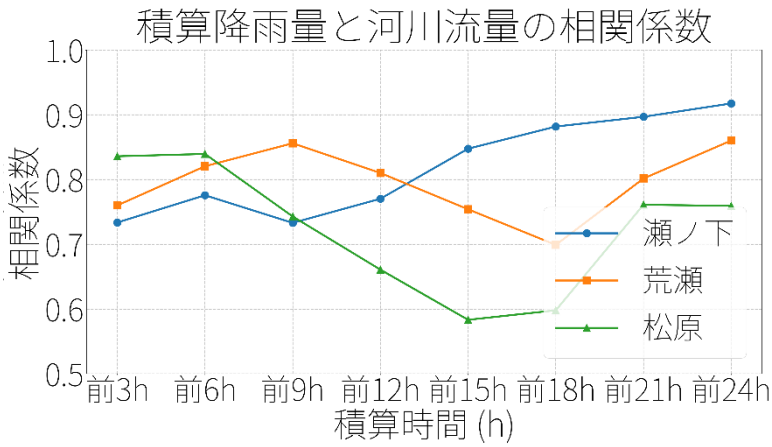


図 1　積算降雨量と河川流量の相関係数．

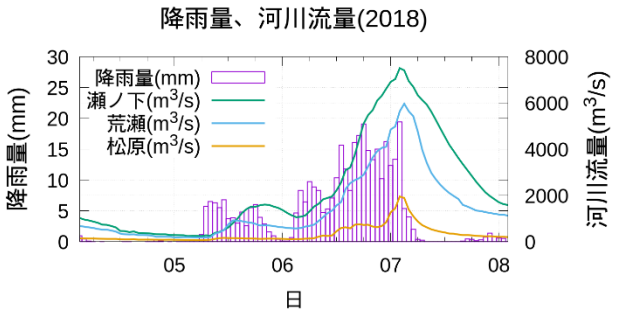


図 2　2018 年洪水事例

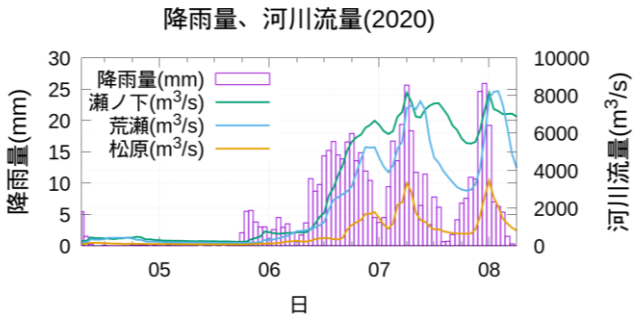


図 3　2020 年洪水事例

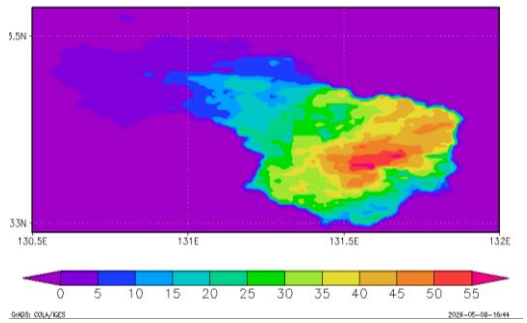


図 4　2018/07/07/01~02　瀬ノ下降雨分布

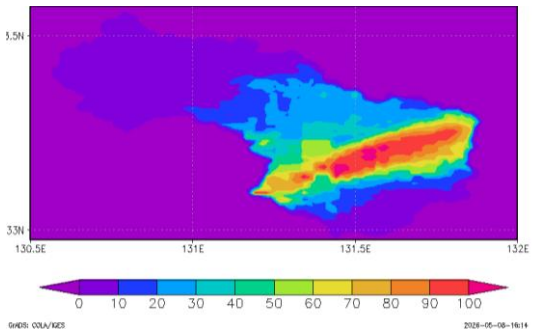


図 5　2020/07/07/05~06　瀬ノ下降雨分布

一番大きくなった．相関係数が最大となる雨量の積算時間は，流域の大きさに起因すると考えられる．

降雨の空間分布について，瀬ノ下においてラグ時間が 0 時間であった 2018 年 7 月 7 日 2 時と 2020 年 7 月 7 日 6 時に注目する．瀬ノ下地点の流域平均雨量と瀬ノ下，荒瀬，松原ダム地点の河川流量について，図 2 に 2018 年事例を，図 3 に 2020 年事例をそれぞれ示す．また，最大降雨強度となった時刻の降雨分布について，図 4 に 2018 年事例を，図 5 に 2020 年事例をそれぞれ示す．図 2 より，2018 年事例ではピーク流量となる半日程度前から最大降雨強度と同程度の降雨となっており，このときの降雨位置は主に中下流域であったことを確認している．図 4 より，最大降雨強度となった時刻には上流域で降雨が発生していることが確認できるが，図 2 より，その後，降雨は継続していない．2020 年事例について，図 3 より河川流量がピークとなった後に再度流量が上昇していることが確認できる．図 5 は，図 4 と同様に上流域に集中した降雨の空間分布を示しているが，図 5 の時点で上流域に降雨が数時間継続していたことを確認している．すなわち，ある程度の強度の降雨が継続した場合には流量の増加に寄与すると考えられる．以上より，降雨の空間分布と降雨の継続が河川流量の増加に影響することが示唆される．

４．まとめ

本研究では，降雨の時空間分布が河川流量に与える影響について分析した．その結果，流域面積が大きい瀬ノ下地点では，ラグ時間が短いほど河川流量が大きくなる可能性が示唆された．また，河川流量に大きな影響を与えうる因子として，流域規模に応じた時間の積算降雨量，最大降雨強度後の降雨の継続，降雨の空間分布が挙げられた．得られた知見に基づいて，効果的な豪雨制御に関する考察を深める予定である．

謝辞

本研究は JST ムーンショット型研究開発事業 JPMJMS2283 の助成を受けました．

参考文献

1) 山口弘誠. (2025). ゲリラ豪雨・線状対流系豪雨と共に生きる気象制御. 日本風工学会誌, 50(1), 5-9.

2) 西村将真，山口弘誠, & 中北英一. (2024). 洋上カーテンを想定した風速場操作による線状対流系豪雨の制御シミュレーション. 水文・水資源学会研究発表会要旨集 水文・水資源学会 2024 年度研究発表会 (p. 17). 水文・水資源学会.

キーワード：豪雨制御，河川流量，流域平均雨量，時空間分布

筑後川流域における高出水を誘発する降水特性の分析と将来予測

九州大学大学院　○瀬戸口裕也
九州大学大学院　丸谷靖幸
九州大学比較社会文化研究院　渡部哲史

1. はじめに

IPCC 第 6 次評価報告書（AR6）によると，産業革命以前から現在までに全球平均気温が約 1.1 ℃上昇しており，この温度上昇が気候変動を加速させていると示唆している．その影響として，近年では様々な極端現象が顕在化しており，例えば局所豪雨の発生頻度が増加している．この極端現象に伴う影響として，平成 30 年豪雨災害や令和 2 年 7 月豪雨災害のような洪水被害の増加が挙げられる．IPCC AR6 では，気候変動は今後加速していく可能性を示唆しているため，持続可能な流域管理を行うには，気候変動の影響を流域スケールで把握することが重要となる．

研究対象地域を図-1 に示す．d4PDF の現在気候（以下 HPB）と将来気候（2 度上昇：以下 F2K，4 度上昇：以下 F4K）の降水量に着目し，高出水を誘発する降水パターンについて分析を行い，その特徴と傾向を明らかにすることを目的とする．



図-1 研究対象地域

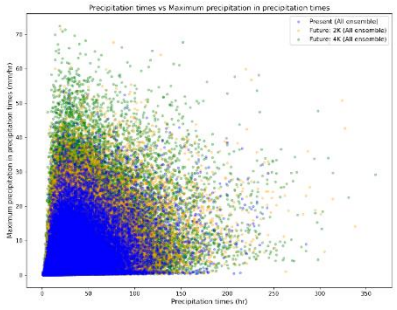
本研究では，d4PDF NHRCM（空間解像度 20 km）[1]の HPB，F2K，F4K を利用した．HPB は 1980 年 9 月−2010 年 8 月の 30 年 x50 アンサンブル（=1500 年），F2K は 2030 年 9 月−2090 年 8 月の 60 年 x6SSTx9 アンサンブル（=3240 年），F4K は 2050 年 9 月−2110 年 8 月の 60 年 x6SSTx15 アンサンブル（=5400 年）のデータを解析に使用した．ただし，d4PDF は気候モデルによる予測値であるため，観測値との間にバイアスが存在する．そこで本研究では，HPB と同期間の観測データを用いて Watanabe et al.によりバイアス補正 [2]を行った．なお，降水パターンの分析には，本研究対象流域である筑後川流域周辺の気象庁および国土交通省の降水観測地点の Thiessen 法に基づき算出した流域平均降水量を用いた．

本研究の目的である高出水発生パターンの分析には，河川流量の推定が必要となる．そこで本研究では，分布型降雨流出モデル 1K-DHM[3]に線形貯留モデルによる地下水機構ならびに Thornthwaite 法による蒸発散量を考慮した流出モデルを利用した．なお，本研究では筑後川流域で主要なダムである下筌ダム，松原ダムの操作ルールを踏まえたダムモデル [4]を考慮した．ただし，氾濫は考慮していないことを記しておく．

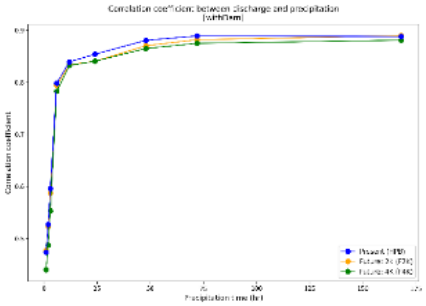
まず筑後川流域において出水を誘発する降水パターンを分析するため，1，2，4，6，8，12，24，48，72，168 時間降水量に着目し，1)各時間の年最大降水量，2)降水継続時間と最大降水量の関係，3)降水継続時間と累積降水量の関係，4) 24 時間降水量における 90%，95%，99%確率降水量以上の降水発生回数，5)月最大流量と各時間降水量，6)近似式の算出，7)近似式による流量の推定の 7 項目について解析を行い，HPB，F2K，F4K で比較した．

2. 結果

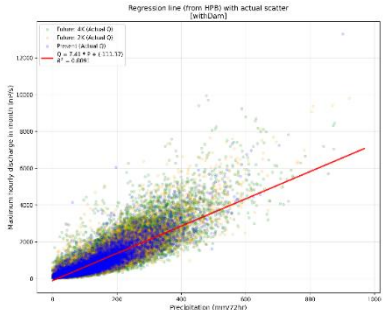
本要旨では紙面の都合上，主要な結果のみを示す．はじめに降水継続時間と最大降水量の関係を図-2 に示す．HPB と比較し，F2K，F4K ともに降水継続時間が短くなっていることが分かる．一方，F2K，F4K ともに降水継続期間中の最大降水量が増加することが確認された．そのため，将来気候において短時間降水量が



図−2　降水継続時間と降水継続期間中の最大降水量の関係



図−3　現在気候の月最大流量と各時間降水量の関係

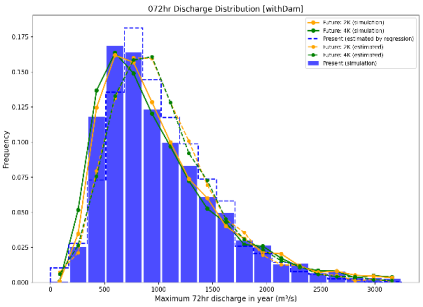


図−4 現在気候の月最大流量と 72 時間降水量の関係

増加する可能性が示唆された．

次に，図-3 に月最大流量と各時間降水量の相関係数を示す．降水時間が長くなるにつれて相関係数は上昇し，特に 48 時間から 72 時間降水量にかけて高い相関が確認された．筑後川流域の計画雨量は 18 時間雨量を基準としているが，本解析では 72 時間降水量と月最大流量の相関が最も高く，高出水の発生には出水直前の短時間降水だけでなく，それ以前からの累積降水の影響が大きいことが示された．

図-4 に月最大流量と 72 時間降水量の関係を示す．72 時間降水量の増加に伴い月最大流量も増加する傾向がみられ，正の相関が確認された．



図−5　近似式を用いた推定流量とモデル計算による流量の関係

図-5 に近似式を用いた推定流量とモデル計算による流量の関係を示す．推定流量とモデル計算流量は概ね対応しており，72 時間降水量を用いた近似式により，月最大流量の傾向を一定程度再現できることが確認された．一方で，推定流量の分布はモデル計算流量と比較してやや高流量側に位置しており，特にピーク付近から高流量域にかけて発生頻度をやや過大評価する傾向がみられた．このことから，72 時間降水量を用いた近似式は簡易的な評価には有効であるものの，より詳細な流量推定が必要な際は流出モデルを用いた検討の必要性が確認された．

3.　まとめ

筑後川流域において，将来気候（F2K，F4K）における降水時間の減少および降水の激甚化の可能性が示唆された．また流量と降水の関係については現在気候での解析により，高出水発生時から 72 時間前までの降水が最も強い影響を与えることが明らかとなった．

以上より，筑後川流域における高出水の発生には 72 時間程度の累積降水量が強く関係しており，将来気候下で短時間降水量および累積降水量が増加する場合，高出水の発生頻度や規模が増大する可能性がある．

謝辞：

本研究は，河川砂防技術研究開発公募研究・流域課題（代表：丸谷靖幸，「筑後川流域を対象とした流域総合水管理の推進に向けた流域総合水循環モデルの開発」　，R8～R9 年度）により推進した成果の一部である．ここに記して感謝の意を表する．

参考文献：

1) Mizuta, R. et al.: Over 5,000 years of ensemble future climate simulations by 60-km global and 20-km regional atmospheric models, *Bull. Ame. Meteor. Soc.*, Vol.98, No.7, pp.1383-1398, 2017. 2) Bias correction of d4PDF using a moving window method and their uncertainty analysis in estimation and projection of design rainfall depth, *Hydrol. Res. Lett.*, Vol.14, No.3, pp.117-122, 2020. 3)Tanaka, T. and Tachikawa, Y.: Testing the applicability of a kinematic wave-based distributed hydrologic model in two climatically contrasting catchments, *Hydrol. Sci. J.*, Vol.60(7-8), pp.1361-1373, 2015. 4) 宮本昇平ほか：治水ダムの異常洪水時防災操作の発生確率に与える気候変動影響評価　−下筌・松原ダムを例にして−，土木学会論文集 B1（水工学），Vol.77，No.2，pp.I_37-I_42，2021.

キーワード：分布型流出モデル，降水，d4PDF，ダムモデル，筑後川

高速版陸面過程モデルによる大規模アンサンブルを用いた コロラド川流域における流量感度係数の分析

東京科学大学　環境・社会理工学院　　○樋口淳紀
東京科学大学　環境・社会理工学院　　鼎信次郎

１．はじめに

地球温暖化の進行に伴い，北米コロラド川上流域(Upper Colorado River Basin: UCRB)では流量の長期的減少が観測されており，約 4000 万人の生活用水・農業用水を支える同流域の水資源管理は喫緊の課題となっている．UCRB の水文気候変動研究では，流量変化は降水感度 α(降水量 1%変化あたりの流量変化率)と気温感度 β(気温 1℃上昇あたりの流量変化率[%/℃])という 2 つの一定の感度係数によって決定されると仮定されてきた．しかし β の推定値は推定手法によって大きく異なり，将来予測における不確実性の主要因となっている．観測データへの回帰分析では β≈−13〜−15[%/℃]が得られる一方，モデルへの気温摂動実験(デルタ法)では β≈−2〜−9[%/℃]と推定されており，両者の間には大きな差が存在する．そのため，この差の物理的な解明が求められていた．

Milly・Dunne(2020)[1)]はこの差に着目し，積雪面積の減少による地表アルベド(太陽放射の反射率)の低下が吸収放射量を増加させ蒸発散を増大させるという積雪アルベドフィードバックが β の差の主要因であることを，50 万メンバーの超大規模アンサンブルシミュレーションにより示した．同研究はこの積雪アルベドフィードバックを陽に考慮することで，回帰ベースとデルタ法の β の乖離を整合的に説明することに成功し，将来の気温上昇に伴う流量減少の定量的評価を可能にした．

しかし，Milly・Dunne(2020)を含むこれまでの研究では，α および β が時代によらず一定であるという仮定の検証は行われていない．気温上昇に伴い積雪域の縮小が進行するほど，アルベドフィードバックはより強く機能すると考えられる．すなわち，積雪量が少ない時代においては，同じ大きさの気温上昇に対してより大きな流量減少が生じる可能性があり，β は時代とともに変化しうる．α についても，蒸発散の増大に伴い降水が流量として現れる割合が低下するならば，同様に時代変化が生じうる．そのため，α と β の定常性を検証し，その時代変化を定量的に評価することは，将来の水資源予測の信頼性向上に直結する重要な課題である．そこで本研究では，高速版陸面過程モデルエミュレータによる大規模アンサンブルを用いて，本エミュレータにおける流域スケールでの α および β の推定可能性を確認するとともに，その時代変化の傾向を分析することを目的とする．

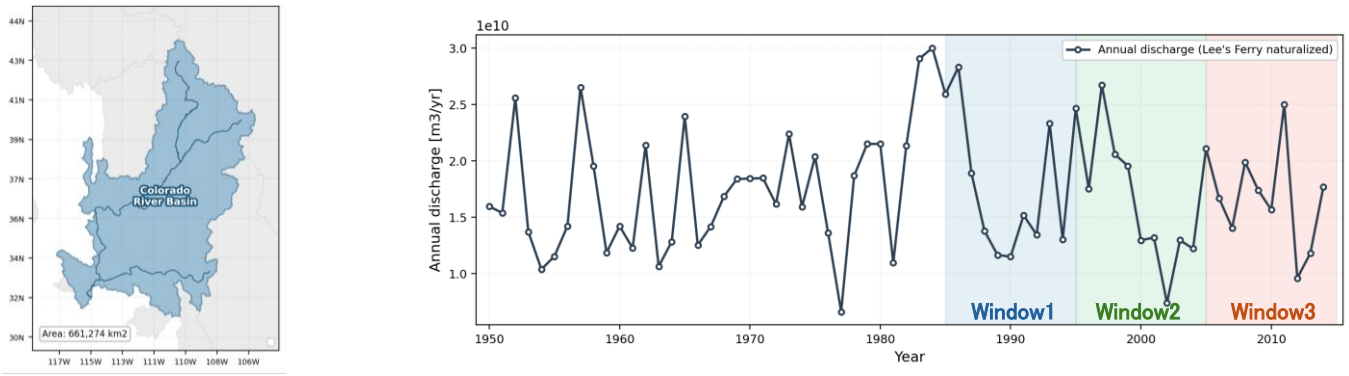


図１　対象領域(左)，コロラド川流域における年総流量の推移(右)

２．研究手法

本研究では，大規模なパラメータアンサンブルを実施するため，陸面過程モデル MATSIRO をベースとして開発された高速版陸面過程モデルエミュレータを使用した．エミュレータとは，複雑な陸面過程を単純な式と最適化されたパラメータで表現したモデルであり，元のモデルの動態を近似しながら計算コストを大幅に削減することができる．本エミュレータは降水量(降雨・降雪)・気温・比湿・気圧を入力とし，SWE・湿地貯留量・土壌水分・Runoff を日次・0.5 度解像度で出力する．パラメータは MATSIRO の出力に対して最適化されており，既往研究に

より本モデルは SWE および湿地貯留量において優れた再現性を示すことが確認されている [2]．気象強制力には GSWP3-W5E5 を使用した．

アンサンブルメンバーとして，積雪・蒸発散に関わる 5 パラメータ(積雪スケール係数 a，融雪感度 b，融雪閾値温度 Tc，融雪指数 xi，蒸発散感度 g)を対象に，最適値を基準として N(1.0, 0.005)に従うモンテカルロサンプリングにより 1,000 メンバーを生成し，3 つの 10 年時間窓(1985-1994，1995-2004，2005-2014)に対して独立に実行した．各メンバーの Runoff はフルモデルから最適化したラグ付き線形リザーバーモデルにより月流量に変換し，自然化流量との NSE 上位 10 メンバーを採択した．その後，採択メンバーの年次データに対して重回帰分析($\Delta Q/Q = \alpha(\Delta P/P) + \beta(\Delta T)$)を各窓で実施し，α および β を推定した．

3．結果・考察

図 2 に各窓における α と β の分布を示す．エミュレータ採択メンバーの α の中央値は 1985–1994 年の 0.57 から 2005–2014 年の 0.23 へと時代とともに低下した．α の低下は降水増加に対して流量として現れる割合が低下していることを示す．なお，既往研究では回帰ベースの α は約 2.0 と推定されており，本研究の推定値は著しく低い．この差は，本エミュレータが降水増加に対する Runoff を過小評価している可能性を示唆しており，α の絶対値の解釈には注意が必要である．β の中央値は 1985–1994 年の−3.8[%/℃]から 2005–2014 年の−27.4[%/℃]へと変化し，気温上昇による流量減少効果が時代とともに増大している傾向を示した．これは Milly・Dunne(2020)が示した積雪アルベドフィードバックが近年においてより強く機能している可能性と整合的である．

図 3 に採択メンバーの 5 パラメータの係数分布の 3 窓比較を示す．いずれのパラメータにおいても窓間で明確な変化は見られなかった．本エミュレータは放射過程を陽に扱わず，複数のパラメータが蒸発散・積雪過程に複合的に関与しているため，α と β の変化をパラメータの変化として明確に捉えることには限界があると考えられる．

以上の結果は，UCRB における α および β が時代によって変化する可能性を示唆しており，感度係数を定常と仮定した将来予測には注意が必要であることを示している．統計的有意性の確認には，より長期・大規模なアンサンブルが必要であり，今後は α の推定精度向上を含むエミュレータの改良とあわせて，デルタ法の導入およびスライディングウィンドウへの拡張により α および β の時代変化をより詳細に検討する予定である．

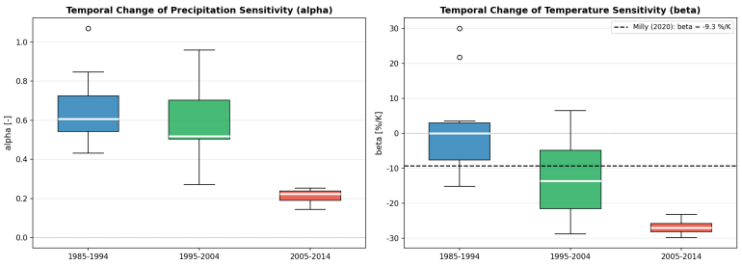


図 2　各窓における α と β の分布

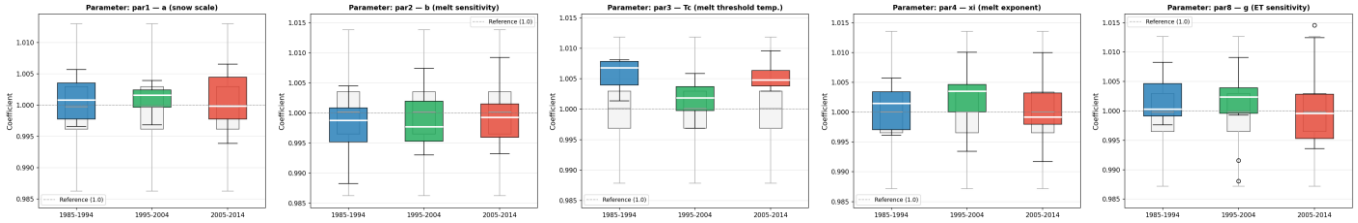


図 3　各窓における採択メンバーにおける 5 つのパラメータの係数分布(最適化済みのパラメータに乗じた値)

参考文献

1) Milly, Paul CD, and Krista A. Dunne. "Colorado River flow dwindles as warming-driven loss of reflective snow energizes evaporation." *Science* 367.6483 (2020): 1252-1255.

2) Olson, Roman, Tomoko Nitta, and Kei Yoshimura. "A fast physically-guided emulator of MATSIRO land surface model." *Journal of Hydrology* 634 (2024): 131093.

キーワード：Ensemble simulation，Colorado River Basin，Emulator，Temperature sensitivity，Precipitation sensitivity

謝辞：本研究では，東京大学生産技術研究所芳村研究室よりデータの提供を受けた．また，同研究室 Roman Olson 博士には有益な助言と多大な協力をいただいた．記してここに謝意を表す．

拠点スケールの水資源リスク評価を見据えた全国 3 次元地表地下連成水循環モデルの開発

（株）地圏環境テクノロジー　○深沢壮騎
（株）地圏環境テクノロジー　　多田和広

１．はじめに

近年，各企業は ISSB/SSBJ 等のサステナビリティ開示基準に対応するため拠点レベルでの水資源リスク評価を求められており，一般には Aqueduct[1]のような全球水リスクツールが使われている．これは一次スクリーニングには非常に有用である一方で，拠点の実態としての水資源リスクとは乖離することも多く，拠点スケールの実務的な評価に接続しづらいのが現状である．本研究では全球統一的な水資源リスク評価のワークフロー構築を目指している．前報 [2]では，北海道の十勝川流域を実証サイトとし，気候変動下における渇水リスク評価の 3 次元地表地下連成水循環モデルを用いた試みを行った．本研究では，拠点スケールの実務的な評価基盤となる 3 次元地表地下連成水循環モデルを日本全国で構築・較正した．特に，水資源評価において注目されやすい森林に注目しモデル化を進めた．

２．森林蒸発散モデル

全国 3 次元地表地下連成水循環モデルを構築するにあたり，基本的なモデル構築システムとしては前報の延長上にあるため詳細は省略し，主要な改良点として森林蒸発散のモデル化を示す．

森林蒸発散は大別して樹冠遮断，蒸散，林床面蒸発に分けられるが，この区分を考慮可能な森林蒸発散モデルを組み込んだ．遮断と蒸散については Inokoshi et al.(2023)[3]を，林床面蒸発については Chiu et al.(2025)[4]を採用した．これらのモデルを用いる場合，入力に必要な森林用パラメータについては，立木密度は Crowther et al. (2015)[5]，樹高は Lang et al. (2023)[6]，着葉・落葉日は GSI[7]を使った判定式，収量比数の算出には森林総研「収量比数 Ry 計算プログラム」を用いることで，一通りの入力が全球的に可能である．

さらに森林土壌に対応した蒸発散効率を考慮する．先述の蒸散，林床面蒸発モデルは可能蒸発散量を求めるものであり，実際に土壌水分が豊富にある場合にはほぼその量が実蒸発散量として扱われるが，無降雨が続くなどで土壌水分量が十分でなくなった場合には実蒸発散量は可能蒸発散量よりも小さくなる．森林においては林床面蒸発項よりも蒸散項の方が多くの場合支配的であることから，蒸散効率を与えるモデルとして Feddes モデル [8]を組み込み，3 次元水循環モデルの時々刻々の土壌水分量と該当格子の WRC を参照することで実蒸発散量を評価した．

３．全国 3 次元地表地下連成水循環モデルの較正

前章で構築したモデルの解析には地表地下連成 3 次元水循環解析シミュレータ GETFLOWS[9]を用いた．以下，時間解像度は 1 日，空間解像度は 0.25 分（約 500m）としている．

パラメータ較正について，基本的な手続きは既往報告 [10]と同一で，日単位の河川流量あるいはダム流入量を対象とし，気象パラメータと地質パラメータの同時最適化を Optuna[11]を用いて行った．目的関数は non-parametric KGE[12]を使って流量および流量の逆数を適用した合計値とした．地質パラメータのグルーピングを風化弛み別ではなく地質タイプ別としてより物理的な意味合いを明確にした．観測データについては，水文水質データベースの河川流量およびダム諸量データベースのダム流入量を活用した．解析期間 2015/8/1～2016/7/31 に十分な観測データが存在し，かつ上流側にダムが含まれていない地点 295 地点の中から，101 地点をトレーニングデータ，26 地点をテストデータとした．その他の地点のうち 77 地点は参考データとし，残る 91 地点については低信頼性データとして可視化には用いなかった．

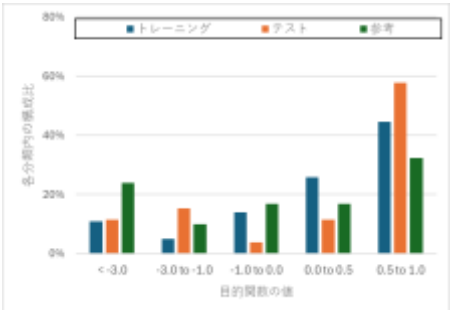


図 1　データ分類別の目的関数構成比

図 1 に各地点における目的関数をデータ分類別に示した分布を，図 2 にはサンプルとしていくつかの地点の観測と解析流量の時系列グラフを示す．目的関数が大きい（右側）ほど再現性の高かった地点である．基本的にはかなり良好な再現性を示している（図 2 左）が，目的関数が低くなり

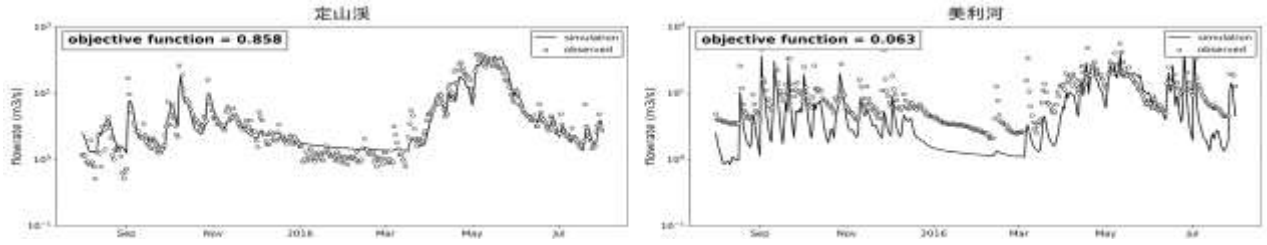


図 2　定山渓ダム・美利河ダムにおける観測・解析の時系列ダム流入量グラフ

やすいのは，低水期に水枯れが生じるような場合や，系統的にオーダーレベルでずれが生じている場合（図 2 右）である．これらは 3 次元モデルやパラメータだけでなく、観測精度，局所地質，人為的な水利用，気象外力なども含めて総合的に判断する必要がある．

４．まとめ

拠点スケールの水資源リスク評価を見据えて全国 3 次元地表地下連成水循環モデルを構築・較正を行い，地表水流量の時系列再現性の検証を行った．今後はモデルを用いた水資源リスク評価，全球への拡張を目指す．

【謝辞】

本研究の一部は内閣府総合科学技術・イノベーション会議の戦略的イノベーション創造プログラム （SIP)「スマート防災ネットワークの構築」（管理法人：防災科研）の中で実施された．

参考文献

1) Kuzma, S., Bierkens, M. F. P., Lakshman, S., Luo, T., Saccoccia, L., Sutanudjaja, E. H. and Van Beek, R. (2023): Aqueduct 4.0: Updated decision-relevant global water risk indicators. Technical Note, World Resources Institute. doi:10.46830/writn.23.00061.
2) 深沢壮騎，多田和広. 2025. 気候変動下における水循環モデルを用いた十勝川流域の渇水リスク評価，水文・水資源学会研究発表会要旨集，38，15，OS-01-08．doi:10.11520/jshwr.38.0_15.
3) Shodai Inokoshi, Takashi Gomi, Chen-Wei Chiu, Yuichi Onda, Asahi Hashimoto, Yupan Zhang, Taku M. Saitoh. 2023. A watershed-scale evapotranspiration model considering forest type, stand parameters, and climate factors, Forest Ecology and Management, Volume 547, https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.121387.
4) Chiu, C.-W., A.Hashimoto, S.Inokoshi, T.Gomi, Y.Onda, and X.Sun. 2025. “Developing a Structural Framework to Estimate Forest Floor Evapotranspiration With the Relative Yield Index (Ry).” Ecohydrology18, no. 7: e70125. https://doi.org/10.1002/eco.70125.
5) Crowther, T., Glick, H., Covey, K., et al. "Global tree density map" 2015. https://elischolar.library.yale.edu/yale_fes_data/1
6) Lang, N., Jetz, W., Schindler, K., & Wegner, J. D. 2023. A high-resolution canopy height model of the Earth. Nature Ecology & Evolution, 1-12.
7) Jolly, W.M., Nemani, R. and Running, S.W. 2005, A generalized, bioclimatic index to predict foliar phenology in response to climate. Global Change Biology, 11: 619-632. https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2005.00930.x
8) Feddes, R. A., Kowalik, P. J., & Zaradny, H. 1978. Simulation of field water use and crop yield. Centre for Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen.
9) Tosaka H., Itho K., Furuno T. 2000: Fully Coupled Formulation of Surface flow with 2-Phase Subsurface Flow for Hydrological Simulation, Hydrological Processes, 14, 449-464.
10) 深沢壮騎，多田和広. 2024. 水循環モデルを用いた降雪地域における積雪・融雪期の再現性向上手法の検討，日本地下水学会 2024 年秋季講演会講演予稿集.
11) Akiba, T., Sano, S., Yanase, T., Ohta, T. and Koyama, M. 2019. Optuna: A next-generation hyperparameter optimization framework. Proceedings of the 25th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery & Data Mining, 2623-2631. https://doi.org/10.1145/3292500.3330701
12) Pool, S., Vis, M.J.P. and Seibert, J. 2018. Evaluating model performance: towards a non-parametric variant of the Kling-Gupta efficiency. Hydrological Sciences Journal, 63(13-14), 1941-1953. https://doi.org/10.1080/02626667.2018.1552002

キーワード： GETFLOWS, Surface and Groundwater Coupling, Water Resource Rsik, Forest evapotranspiration

RUSLE モデルを用いた石川・富山における土砂生産量の算定と適用性の検証

富山県立大学大学院工学研究科　○中尾朔也
富山県立大学工学部　　呉修一

１．はじめに

2024 年 9 月に発生した奥能登豪雨は，奥能登地方を中心に 21 水系 28 河川で洪水氾濫が生じた．本災害は，同年 1 月の能登半島地震の影響を受けた複合災害であり，地震による地盤の軟弱化に伴う土砂・植生の流出や大規模な地盤変状が洪水被害を増大させたと考えられている．近年の気候変動による豪雨頻度の増加や将来的な南海トラフ大地震の懸念がある中，中小河川における複合災害の影響を明らかにすることは，洪水リスク評価や防災・減災の観点から重要である．著者ら[1)]による既往の研究では，広域での降雨流出・洪水氾濫解析による洪水被害の再現を通じた出水状況の把握や，地盤変状が洪水被害に与えた影響の定量評価が進められてきた．しかし，塚田川のように土砂・植生の流出が顕著な河川において，従来の流水のみを考慮した解析手法では浸水被害が過小評価される課題がある．このような豪雨時に大量の土砂が供給される急勾配な山間部を流れる中小河川は全国各地に存在している．

本研究では，広域の中小河川で適用可能な土砂・植生の流出および堆積を考慮した洪水氾濫解析に向けて，広域の土砂生産量推定が可能な経験モデルの RUSLE モデルを用いて広域における土砂生産量と算定した．さらに、塚田川流域に対象に実測推定値との比較を通じてモデルの妥当性を検証する．

２．対象流域の概要

本研究では，石川県および富山全域を対象として広域的な土砂生産量の分布を把握する．また，奥能登豪雨において土砂・植生の流出を伴う顕著な洪水被害が発生した石川県輪島市の塚田川を対象にモデルの精度検証を行う．

３．研究手法

土砂生産量の推定には，広域での土砂生産量の推定が可能な経験モデルである RUSLE モデルを使用した．モデルの適用にあたっては葛城・有働 [2)]を参考とした．本モデルによる単位面積あたりの年間平均土砂流出量 A は次式で表される．

$$A = R \times K \times LS \times C \times P$$

ここで，A : 年間土壌侵食量 [ton ha^{-1} yr^{-1}]，R : 降雨強度係数 [MJ mm ha^{-1} hr^{-1} yr^{-1}]，K : 土壌係数 [ton hr MJ^{-1} mm^{-1}]，LS : 地形係数 [無次元]，C : 作物係数 [無次元]，P : 土地保全係数 [無次元]である．入力降雨は気象庁の解析雨量を使用しており，対象期間は 2024 年 1 月から 9 月としている．また，土地利用には国土数値情報の土地利用細分メッシュ，土壌分類は日本土壌インベントリ―の縮尺 20 万分の 1 土壌図を使用した．斜面長と斜面勾配を算定には，水文補正標高データ [3)]の 30 m メッシュ標高データを使用した．推定結果の検証は，国土交通省が推定した塚田川流域における奥能登豪雨の土砂生産量推定値 [4)]との比較により行った．

４．計算結果

図-1 に広域的な算定結果を**図-2** に塚田川流域における土砂生産量の分布を示す．広域的には，両県ともに平野部では土砂生産量が極めて低いのに対し，急勾配な山間部において大きい値を示した．奥能登地域では降雨強度係数が大きかったことも起因して高い土砂生産量が得られた．塚田川では流域全体の 9 か月間の土

砂生産量は 77143 m³と算定された．流域平均の侵食深は約 1.12 cm であった.これに対し，国土交通省の調査[4]による奥能登豪雨時の推定値は 53 万 m³であり，本モデルの算定値は大幅な過小評価となった．この過小評価の要因として，地震に伴う土壌の不安定化を既存の土壌係数や地形係数に十分反映できていない可能性が考えられる．また，RUSLE は表層侵食を主対象としており，同年 1 月の能登半島地震による大規模な斜面崩壊や植生流出などを十分に表現できていないことも一因として考えられる．

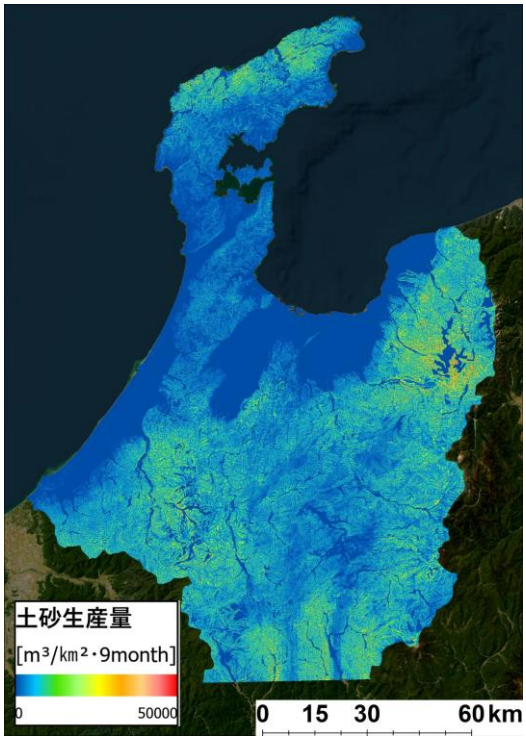


図-1　広域的な土砂生産量の分布

５．まとめ

本研究では，広域の中小河川で適用可能な土砂・植生の流出および堆積を考慮した洪水氾濫解析の開発に向けて，RUSLE モデルを用いた広域の土砂生産量の算定を行った．急勾配な山間部および降雨強度係数の高い地域で高い土砂生産量が得られた．また，塚田川を対象としたモデル検証により，RUSLE モデルでは豪雨に伴う大規模な土砂・植生の流出を十分に表現することができないことが明らかとなった．今後は，降雨浸透に伴う斜面安定性の低下などの流出過程を詳細に表現可能な物理モデルを用いた土砂生産量の算定を目指す．

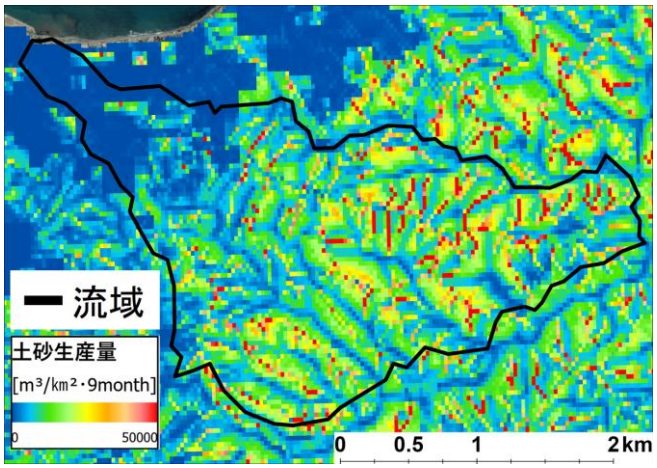


図-2　塚田川流域の土砂生産量の分布

【謝辞】

本研究は，R8 年度河川基金助成事業「土砂流出・堆積を考慮した広域での洪水氾濫リスク評価手法の開発（代表：呉修一）」の助成を受けたものである．ここに記して謝意を表します．

参考文献

1) 中尾朔也・呉修一：2024 年 9 月奥能登豪雨における洪水氾濫解析を通じた広域での出水状況の再現と地震の影響評価，河川技術論文集, Vol.32, 2026，投稿中.
2) 葛城遥佳・有働恵子：日本における RUSLE モデルと土砂流出率を用いた土砂生産量推定モデルの構築，土木学会論文集, Vol.80, No.27, 2024.
3) 山崎大，冨樫冴佳，竹島滉，佐山敬洋：日本全域高解像度の表面流向データ整備，土木学会論文集 B1（水工学 Vol.74, No.4, pp.I_163-I_168, 2018.
4) 国土交通省：能登半島での地震・大雨による被害とこれまでの対応，能登半島での地震・大雨を踏まえた水害・土砂災害対策検討会（第 1 回），資料 2-2，2025.1.14.
https://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/kentoukai/noto_kentoukai/dai01kai/pdf/04_shiryo04.pdf （2026 年 3 月 31 日閲覧）

キーワード：Okunoto torrential rain, multiple disaster, Sediment Yield Estimation, RUSLE, Tukada River

RRI モデルにおける解像度が洪水流出特性に与える影響の評価

三井共同建設コンサルタント株式会社　○阿部紫織
三井共同建設コンサルタント株式会社　Amalia Wijayanti
三井共同建設コンサルタント株式会社　中村要介

１．はじめに

近年，気候変動に伴う極端降雨の増加により，洪水リスクの広域的な把握が重要となっている．特に，気候変動影響評価や再解析データを用いた長期解析では，多数の降雨イベントや複数年・複数シナリオを対象とした計算が必要となるため，広域を対象とした効率的なシミュレーション手法が求められる．しかしながら，広域シミュレーションでは，空間解像度の設定が計算精度および計算コストの双方に大きく影響する．一般に高解像度モデルは地形や河道を詳細に表現可能である一方，計算負荷が著しく増大するという課題がある．低解像度モデルは計算コストを抑制できるものの，小規模流域や島嶼部における河道地形を適切に表現できない可能性があり，洪水流出の再現性に影響を及ぼすことが懸念される．特にインドネシアのように多数の島嶼から構成され，中小規模流域が広く分布する地域においては，この影響は顕著となる可能性がある．

しかしながら，広域かつ島嶼を含む流域を対象とした場合において，空間解像度の違いが洪水流出特性に与える影響については，十分な定量評価が行われていない．本研究の目的は，インドネシア全土を対象として島ごとに構築した RRI モデルを用い，空間解像度の違いが洪水流出特性に与える影響を定量的に評価することである．

２．検討概要

流出解析モデルとして Rainfall-Runoff-Inundation(RRI)モデル [1)]Ver.1.4.2 を用いた. 対象はインドネシア全土とし，原則として島ごとにモデルを構築した．ただし，バリ島とロンボク島は地理的に近接しているため 1 つのモデルとして扱った．地形データには MERIT Hydro[2)]を使用し，3s(≃90m)から 30s(≃900m)及び 150s(≃4.5km)にスケールアップした．土地利用および土壌パラメータについては RRI-GUI の機能を用いて USGS の GLCC-V2 及び FAO の土壌分類に基づき自動で設定した．蒸発散量は Marganingrum & Santoso[3)]を参考に，モデルごとに一律 4～5mm/day として設定した．河道はレジーム則により設定し，河道深さを 60m に掘り下げ，氾濫が発生しない条件にて計算を実施した．

降雨データには Copernicus Climate Change Service（C3S）が提供する Climate Data Store（CDS）から取得した ERA5 再解析データ [4)]を使用し，1980 年～2024 年までの各年について連続計算を実施した．なお，インドネシアにおける雨季開始時期を考慮し，前年 9 月 1 日から当年 12 月 31 日までを計算期間とした．計算結果は各メッシュにおける年最大流量分布図として整理した．

解像度間の流量差を定量的に評価するため，各流域の河道出口における流量を抽出し，年最大流量を指標として比較を行った．対応する出口の抽出は緯度経度に基づく最近傍マッチングにより実施したが，必ずしも同一河道を対応付けているとは限らない点に留意する必要がある．

３．結果

例として，ジャワ島における 30s および 150s 解像度の河道出口年最大流量の比較を図- 1 に示す．ジャワ島では 80 河道が対応付けられた．相関係数は 0.961 であり，空間解像度を変更しても流量の相対的な大小関係は概ね保持されていることが示された．一方で 150s 解像度では系統的な過小評価が見られ，平均で約 10%，中央値では約 20%の流量の低下が確認された．また，誤差が±20%に収まる割合は約 35%に留まり，絶対値としての一致度は必ずしも高くないことが示された．

表- 1 に各島における 30s 及び 150s 解像度で算出した河道出口年最大流量の比較指標を示す．比較指標には，対応付けられた河道出口数，相関係数(r)，比率の平均(MeanRatio; Q_{150s}/Q_{30s})，±20%以内の一致率(Within±20%)を用いた．なお，マルク諸島については，対応付けられた河道出口が 1 地点のみであるため，比較指標の解釈には注

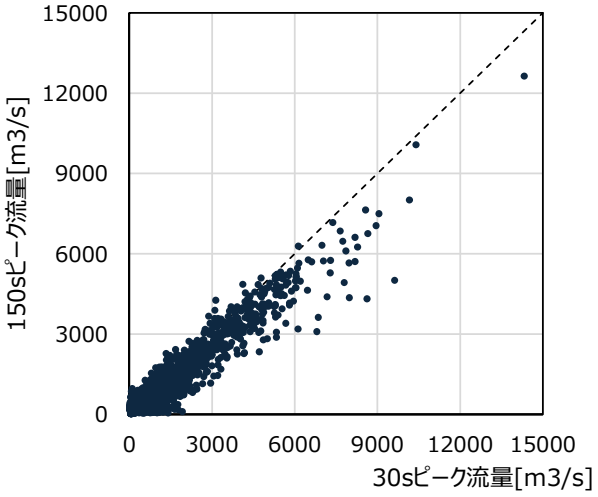


図- 1 ジャワ島における年 30s 及び 150s 解像度で算出した河道出口年最大量の比較(1980～2024 年)

表- 1 インドネシア各島における 30s 及び 150s 解像度で算出した河道出口年最大流量の比較指標(1980～2024 年)
各指標は相関係数(r)，平均比率(MeanRatio)および±20%以内の一致率を示す．出口数は両解像度で対応付けられた河道出口数を示す．

	面積[km2]	出口数	r	MeanRatio	Within±20%
Kalimantan	737,326	61	0.99	1.08	57.6%
Sumatra	436,473	42	0.96	0.71	36.0%
Sulawesi	180,071	106	0.98	1.10	42.3%
Jawa	127,671	80	0.96	0.91	35.3%
Timor	29,235	27	0.98	1.12	56.9%
Sumbawa	15,492	6	0.97	1.08	77.0%
Flores	15,220	12	0.89	1.16	39.3%
Sumba	11,110	13	0.97	1.08	77.0%
Bali-Lombok	10,426	9	0.66	1.16	29.1%
Alor	5,274	11	0.91	1.25	44.8%
Maluku	2,902	1	0.93	0.91	82.4%

意を要する．相関係数は，面積の大規模な島嶼で高い相関(≧0.95)を示す一方で，小規模島嶼では低下する傾向が見られた．この要因として，大規模な島嶼では河道出口のサンプル数が多く，相関係数が安定しやすい一方で小規模な島嶼ではサンプル数の不足やマッチング誤差の影響が相対的に大きくなると考えられる．平均比率には島ごとにばらつきが見られ，島の面積との明確な関係は確認できなかった．

一致率は小規模な島嶼ほど高くなる傾向が見られた．一方で，小規模な島嶼では河道の数が少なく，統計的なばらつきの影響を受けやすいことや，流域スケールが小さいことにより相対誤差が小さく評価される可能性がある．このため，一致率の高さは必ずしもモデル間の整合性の高さを示すものではない点に留意が必要である．

特にバリ島・ロンボク島ではほかの島と比較して相関係数が低く，解像度間の流量特性の整合性が低い結果となった．この要因として，いずれも約 5,000km^2 規模の小規模島嶼であり，150s 解像度化により河道網や流域境界の表現が大きく変化したことに加え，河道出口のマッチング誤差の影響が顕在化した可能性が考えられる．

４．まとめ

本研究の結果から，大規模な島嶼では解像度間で高い相関が維持されており，流量の空間的な分布構造は概ね保持されていることが示された．一方で，±20%以内の一致率は必ずしも高くなく，流量の絶対値には差が生じることが確認された．このことから，大規模流域を対象とした広域解析においては相対的な洪水流出特性の評価には粗解像度モデルを適用できる可能性がある一方で，計画流量などの絶対値評価に用いる場合には注意が必要である．また，小規模流域では解像度の違いによる影響が顕著となるため，適用に際しては流域規模に応じた解像度の選定が重要である．

参考文献

1) T. Sayama, G. Ozawa, T. Kawakami, S. Nabesaka, K. Fukami: Rainfall-Runoff-Inundation Analysis of Pakistan Flood 2010 at the Kabul River Basin, Hydrological Sciences Journal, 57(2), pp. 298-312, 2012.
2) D. Yamazaki, D. Ikeshima, J. Sosa, P. D. Bates, G. H. Allen, T. M. Pavelsky: MERIT Hydro: a high-resolution global hydrography map based on latest topography dataset. *Water Resources Research*, 55, 5053–5073, 2019.
3) D. Marganingrum, H. Santoso : Evapotranspiration of Indonesia tropical area. *Jurnal Presipitasi*, 16(3), 106–116, 2019.
4) H. Hersbach et al.: ERA5 hourly data on single levels from 1940 to present. *Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS)*, 2023. https://doi.org/10.24381/cds.adbb2d47 (accessed on 1 Mar 2024).

キーワード：Reanalysis data, RRI Model, Spatial resolution, Flood discharge

釧路湿原における水路網が洪水時の水動態に及ぼす影響

北海道大学大学院工学研究院　○伊藤毅彦
北海道大学大学院工学研究院　Waruth Pojsilapachai
北海道大学大学院工学研究院　山田朋人

１．はじめに

釧路湿原は約 200km^2 の面積を有する北海道東部に位置する日本最大の湿原であり，国内初のラムサール条約登録湿地である．湿原内では，国の特別天然記念物であるタンチョウをはじめとした多種多様な生態系が形成されているとともに，洪水時には貯留機能を発揮することで釧路川流域内の水循環に大きな影響を及ぼすことが知られている．一方で，農地開発や治水事業による河道の直線化及び排水路の整備が実施され，これらに伴う植生の変化や湿原面積の減少が生じており，湿原全体を対象とした自然再生事業が進められている．また，気候変動による極端降雨の増加に伴って，洪水の頻度や規模が増大するとともに，土砂流出量は約 2〜3 倍に増大することが予測されている [1]．以上を踏まえると，湿原内の詳細な水路網の空間分布の把握とこれらが洪水時における水・土砂動態に及ぼす影響評価が極めて重要である．前者は，UAV 搭載 LiDAR 測量による高解像度の 3 次元点群データから湿原内の微細な水路網を抽出可能であることが示されており [2]，本研究では後者に着目して，釧路湿原における水路網が洪水時の水動態に及ぼす影響に関する基礎的検討を実施した．

２．研究手法

本研究では，降雨流出氾濫（Rainfall-Runoff-Inundation, RRI）モデル [3]を使用し，湿原内の水動態を解析した．**図-1** に示す釧路川流域の支川の一つである雪裡川の流域全体を計算対象領域とした．地形データは J-FlwDir[4]を 5 秒解像度にアップスケールしたデータを使用し，土地利用データは JAXA の高解像度土地利用土地被覆図を使用した．ある特定の降雨イベントの再現計算をするのではなく，10mm/h の降雨を領域内に一様かつ定常で 24 時間与えた．RRI モデルでは，水動態を平面二次元の拡散波近似式で解く斜面セルと一次元の拡散波近似式で解く河川セルが重なり合っており，各地点の集水面積に基づき，どちらのセルで水動態が解かれるか決まる．本研究では，Case1 は集水面積が 0.1km^2 以上，Case2 は 1km^2 以上，Case3 は集水面積が 10km^2 以上のセルをそれぞれ河川セルとした．**図-1** の黄色部で示す領域における 3 ケース各々の河川セルの設定を**図-2** に示す．このように，Case1 ではより詳細な水路網を RRI モデルに反映しているのに対して，Case3 では水路網の反映は比較的粗いことが分かる．その他の計算条件はケース間で同一とし，これらケース間の計算結果を比較することで，詳細な水路網の有無による水動態への影響を分析した．



図-1　釧路川流域及び雪裡川流域の位置図

３．結果

計算結果の一例として，**図-3** に計算終了時刻における 3 ケースの斜面水深及び流量ベクトルを示す．Case1，Case2，Case3 の順で河道からの氾濫水量

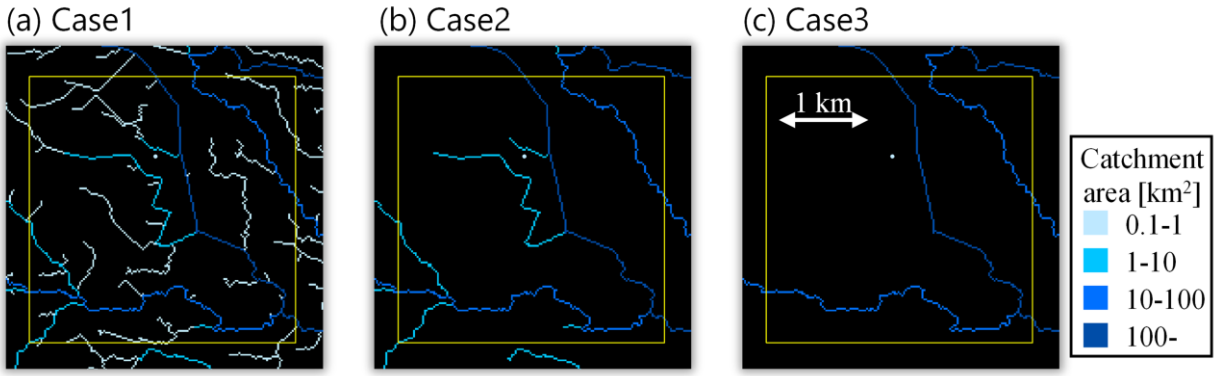


図-2　3 ケース各々における河川セルの設定

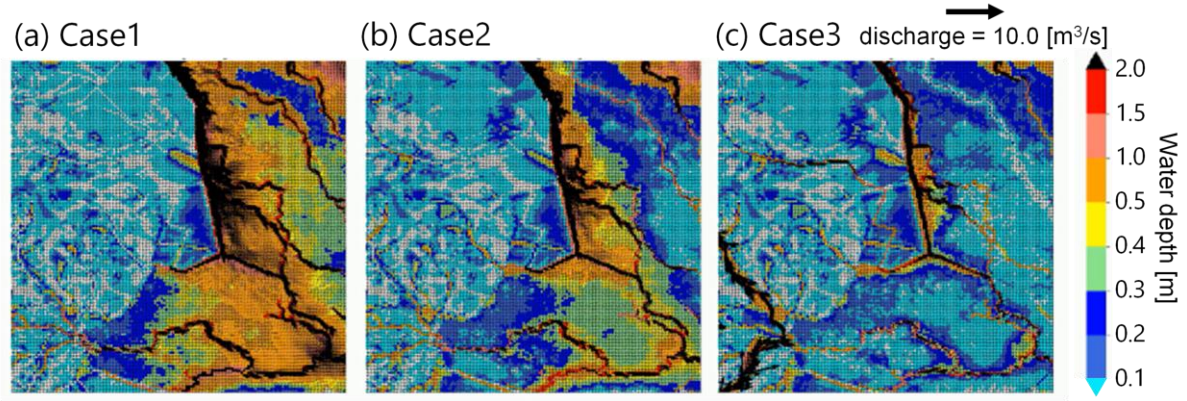


図-3　計算終了時刻における 3 ケースの斜面水深及び流量ベクトルの比較

が大きく，これによって浸水深や浸水範囲も大きい．河川や水路における水位の上昇や氾濫発生のタイミングも同様の順で早いことが分かった．これより，釧路湿原内における詳細な水路網は洪水伝播をより早期化させる影響を有する可能性が示された．今後は上述した UAV 測量で得られた水路網を参照することで，より再現性の高い数値解析を実施するとともに，土砂動態に関しても検討を進めていく予定である．

【謝辞】
本研究は，内閣府戦略的イノベーション創造プログラム（SIP)「スマート防災ネットワークの構築」（研究推進法人：国立研究開発法人防災科学技術研究所），JSPS 科研費 JP26K01048，JP26K17468 の支援を受けて実施されました．ここに記して感謝の意を表します．

参考文献

1) Yoshimura, K., Yamada, T. J., Fujimura, Y., & Yogata, T. (2025). Kushiro wetland climate change impact assessment using a high-resolution climate change projection model. *Hydrological Research Letters*, 19(4), 231-238.
2) Pojsilapachai, W., Ito, T., & Yamada, T. J. (2026). Optimized UAV-LiDAR Workflows for Fine-Scale Stream Network Mapping in Low-Gradient Wetlands: A Case Study of the Kushiro Wetland, Japan. *Water*, 18(6), 693.
3) Sayama, T., Ozawa, G., Kawakami, T., Nabesaka, S., & Fukami, K. (2012). Rainfall–runoff–inundation analysis of the 2010 Pakistan flood in the Kabul River basin. *Hydrological Sciences Journal*, 57(2), 298-312.
4) 山崎大，冨樫冴佳，竹島滉，& 佐山敬洋．(2018)．日本全域高解像度の表面流向データ整備．土木学会論文集 B1 (水工学), *74*(5), I_163-I_168.

キーワード：Kushiro Wetland, Channel network, Flood propagation, Hydrodynamics

集中型モデルと水質トレーサーを用いた降水の貯留・流出特性の比較

福島大学大学院共生システム理工学研究科　○石井創大
福島大学理工学群共生システム理工学類　　横尾善之

１．本研究の背景と目的

流域の不均一性に起因する複雑な流出機構の解析と妥当性の検証には、降雨の流出に伴う化学的・物理的な水質トレーサーを用いることが有用である．河川水質は流域の水文過程における水-岩石相互作用で形成されるため、水文過程を反映した各流出成分の「貯留-流出特性」を同定できる水文モデルの適用が行われている．しかし、最適な水質トレーサーを複数選定し、取得することは容易ではない．また，Rode *et al.* (2016)が指摘するように，降水時における急激な流出応答や，季節変動を正確に捉えるためには，高時間分解能かつ長期間の水質観測が必要である．そこで本研究では，五色沼湖沼群を経由する毘沙門沼流域と阿武隈川水系荒川支流の東鴉川流域において，河川の流出高と水質の時系列データから主要な貯留・流出の流出成分と水文過程を逆推定し，水質トレーサーによる物質動態の関係から両流域における貯留-流出特性の相違を明らかにすることを目的とした．

２．方法

本研究では，福島県の湖沼群を有する毘沙門沼流域と，山地渓流である東鴉川流域を対象とした．まず，多項目水質計（YSI EXO2， Xylem 社製）を用いて毎時の河川中の電気伝導度，濁度，蛍光溶存有機物を観測した．また，絶対圧水位計（S&DL mini, 応用地質株式会社製）を用いて毘沙門沼への流入河川の水位を観測し，東鴉川の水位は水文水質データベースより取得した．水位は流域別に H-Q 式を用いて流出高に換算した．

解析手順として，まず，Hino and Hasebe (1982)の数値フィルター法を用いて水質と流出高の時系列データを逓減特性ごとに成分分離し，主要な流出成分を推定した．次に，分離した流出成分別に単相関分析と時系列の比較を行い，各流出成分を説明しうる水質トレーサーを同定した．さらに，流域間の降水の応答特性の相違を明らかにするために，各水質を無次元化して比較を行った．最後に，Yokoo *et al.* (2017)の手法で主要な流出過程を逆推定・モデリングすることで，流域の貯留-流出関係の相違を定量的に検討した．

３．結果

図 1 および図 2 は流出高の成分分離結果である．毘沙門沼流域と東鴉川流域における主要な降水の流出経路は速い流出成分q_1, 速い中間流出成分q_2, 遅い中間流出成分q_3, 遅い流出成分q_4の 4 成分で構成されている．また，本研究では速い流出成分を表面流，遅い流出成分を基底流と定義した．図 3 は毘沙門沼流域における流出高と無次元比抵抗SER_4の類似した変動特性を時系列で示した図である．無次元比抵抗SER_4の時系列変動からは，4 月頃から 5 月頃の融雪時期における流出高の増加時期に類似した変動が確認できる．これは融雪後に浸透した水が溶存イオンを希釈し，比抵抗が増加したことを示している．図 4 は東鴉川流域における流出高と無次元濁度$\mathrm{Turbidity}_4$の類似した変動特性を時系列で示した図である．無次元濁度$\mathrm{Turbidity}_4$の時系列変動からは、夏季の降水の応答には著しく反応している一方で、冬季は変動が小さいことが確認できる．これは、地表面付近で生じる濁質成分が降水イベントにより輸送されていることを示している．図 5 は，各流域における貯留-流出動態の相違を示している．貯留高と流出高の変動幅より、東鴉川流域は降水に対する応答感度が高く，特に表面流が卓越する流出特性を有している．一方，毘沙門沼流域は降水が長期間の滞留後に流出する流出特性を有している．図 6 は各流出成分の平均滞留時間を比較した図である．毘沙門沼流域では遅い流出成分ほど滞留時間差分が大きくなる．毘沙門沼流域の長期間の滞留時間が流域内部における水-岩石相互作用による河川水質形成を促進している要因であることを示唆している．

４．まとめ

以上より，貯留−流出特性の違いが水質成分の流出挙動を決定づける要因である可能性が示された．今後は，積雪・融雪期間における流出機構への影響を考慮したモデリングや，ヒステリシスなどの降水時の物質動態解

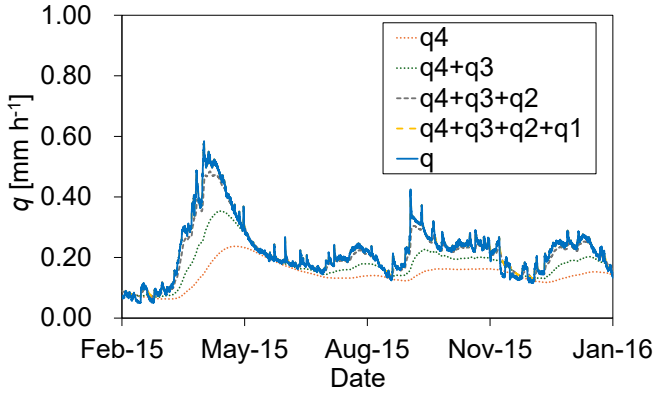


図 1　毘沙門沼流域の成分分離結果

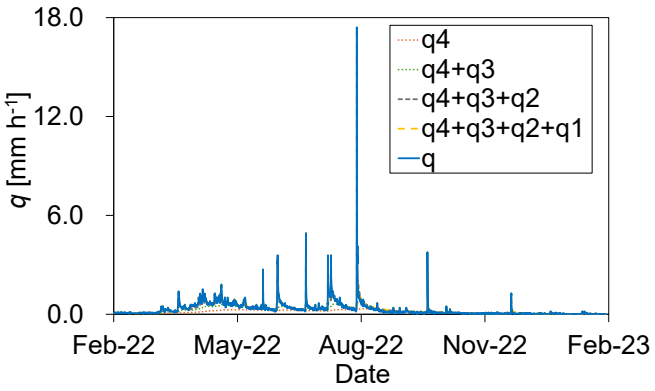


図 2　東鴉川流域の成分分離結果

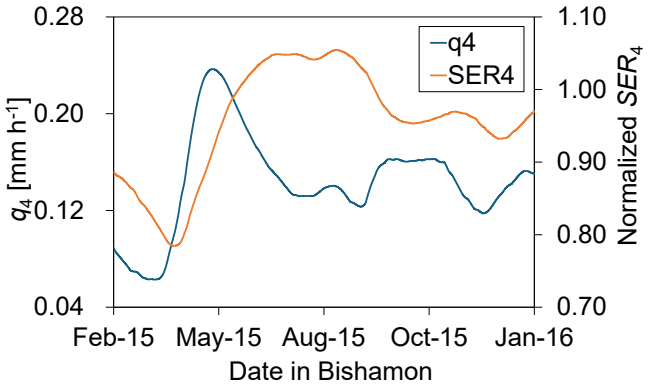


図 3　流出高と無次元比抵抗 SER_4 の時系列

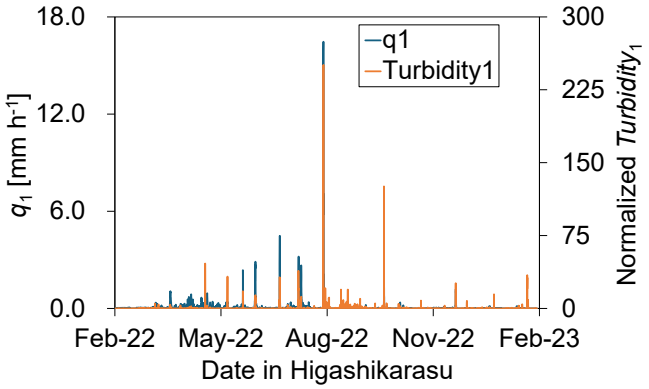


図 4　流出高と無次元濁度 $Turbidity_1$ の時系列

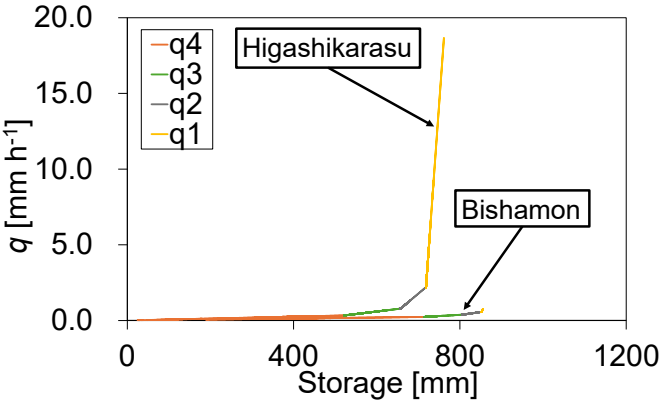


図 5　各流域の貯留−流出関係

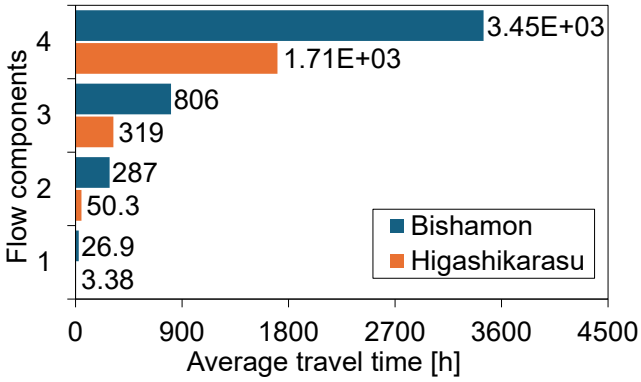


図 6　各流域の平均滞留時間

析により，貯留−流出関係と物質動態の関係の解明に取り組む．

【謝辞】

本研究は科研費（24760388, 16K06501, 16KK0142, 20H02249)および環境省・（独）環境再生保全機構の環境研究総合推進費（JPMEERF20252004）の成果の一部である．ここに謝意を表す．

参考文献

Hino M, Hasebe M. 1982. Identification and prediction of nonlinear hydrologic system (hourly unit data). *Proceedings of the Japan Society of Civil Engineers* **1982**: 83–94. DOI: 10.2208/jscej1969.1982.324_83.

Rode M, Wade AJ, Cohen MJ, Hensley RT, Bowes MJ, Kirchner JW, Arhonditsis GB, Jordan P, Kronvang B, Halliday SJ, Skeffington RA, Rozemeijer JC, Aubert AH, Rinke K, Jomaa S. 2016. Sensors in the Stream: The High-Frequency Wave of the Present. *Environmental Science & Technology* **50**: 10297–10307. DOI: 10.1021/acs.est.6b02155.

Yokoo Y, Chiba T, Shikano Y, Leong C. 2017. Identifying dominant runoff mechanisms and their lumped modeling: a data-based modeling approach. *Hydrological Research Letters* **11**: 128–133. DOI: 10.3178/hrl.11.128.

キーワード：Water quality tracer, Filter separation, Inverse estimation, Storage-discharge response

水質計を用いた阿武隈川の炭素輸送量の時間変動解析

福島大学共生システム理工学研究科　○石井　佑弥
福島大学共生システム理工学類・水素エネルギー総合研究所　　横尾　善之

1.　背景と目的

地球温暖化が深刻化する中で，炭素循環の動態を正確に理解することは国際的な課題である．特に，陸域から海洋への輸送経路として河川が果たす役割は大きいが，降雨や季節変動といった自然要因が複雑に関与しており，不確実性が高い．既往研究では炭素輸送に関して，河川での季節ごとのサンプリング（Zhang *et al.* 2022）亜熱帯集水域での DIC 調査（Xianwei *et al.* 2021）など多くの報告があるが，河口域における高頻度かつ長期間の連続観測データは極めて限られている．そこで本研究では，阿武隈川の河口から 8km に位置する岩沼水位観測所付近において多項目水質計を用いた高頻度の観測を実施し，太平洋への炭素量を定量的に明らかにすることを目的とする．

2.　方法

本研究の対象流域は，東北地方で第 2 位の流域面積（5,400 km²）を持つ阿武隈川とし，河口から約 8 km 上流に位置する岩沼水位観測所付近を観測地点に設定した．この地点において多項目水質計（EXO2）を設置し，2024 年 2 月から 2025 年 11 月にかけて，水温，電気伝導度，濁度，および蛍光性溶存有機物（fDOM）を含む計 7 項目の水質データを 1 時間間隔で連続的に取得した．炭素の連続データを得るため，岩沼観測所付近の阿武隈橋において定期的な採水を実施した．採取した河川水試料は，ろ過した後に 105℃2 時間で乾燥し，TOC-L 計を用いて DOC，DIC，PTC 濃度を測定した．得られた DOC 濃度の実測値と同時刻の fDOM 観測値との相関関係から換算式を作成し，これを毎時の連続データに適用することで，高頻度な DOC 濃度の時間推移を推定した。同様に，DIC は電気伝導度の逆数をとった比抵抗と PTC は濁度を用いて連続データを得た．

さらに，炭素の輸送実態を詳細に解析するため，国土交通省が公開している岩沼観測所の毎時流量データを取得し，Hino & Hasebe (1984)の手法を用いた成分分離を行った．これにより，流量と炭素輸送量を表層流，中間流，基底流に大きく分離した．それぞれを比較して，変動や輸送量に与える影響を評価した．あわせて，気象庁の過去の気象データを用いて流域内の平均降雨量が水質変動に及ぼす影響についても検討を加えた．

3.　結果

阿武隈川河口域における高頻度かつ長期間の連続観測によって，河川を通じた炭素輸送の時間変動とその支配要因が明らかとなった．まず，多項目水質計で得られた各指標と炭素濃度の相関解析を行ったところ，それぞれ正の相関がみられた．これらの関係式に基づき算出された炭素輸送量は，DTC が約 48,000 t/year，PTC が約 4,000 t/year であり，溶存性炭素が全体の輸送量の大部分を占めていることが定量的に示された．

時系列データおよび流出量の推移から，阿武隈川における炭素輸送は，安定的に輸送される DTC と出水時に輸送される PTC に分類される．融雪期の放出に加え，夏季の出水イベントが輸送量の支配的な要因となることがわかる．

さらに，成分分離解析を用いた流量と輸送量の比較では，両者のピークがほぼ完全に一致し，特に DTC 輸送量と流量の決定係数は 0.68～0.76 という正の相関を示した．PTC 輸送量についても決定係数 0.83～0.90 の正の相関がみられた．阿武隈川からの炭素輸送は平常時よりも降雨や融雪に伴う増水時に強く支配されていることが分かった．以上の結果より，炭素輸送の大部分は短期間の出水イベント時に集中しており，本研究のような高頻度・長期間の観測によって年間の炭素動態を正確に評価することが可能となることが実証された．

謝辞

本研究は科研費 (16KK0142，22H05208) および環境省・（独）環境再生保全機構の環境研究総合推進費（JPMEERF20252004）の成果の一部である．ここに謝意を表す．

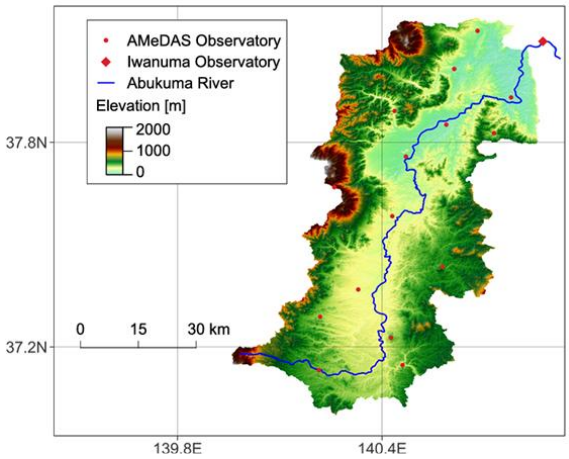


図 1　阿武隈川流域

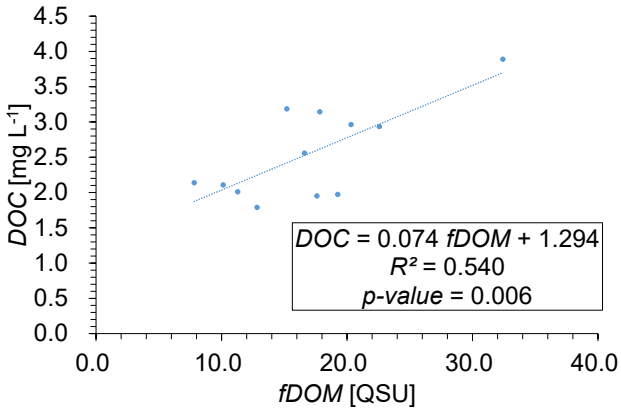


図 2　DOC と fDOM の関係式

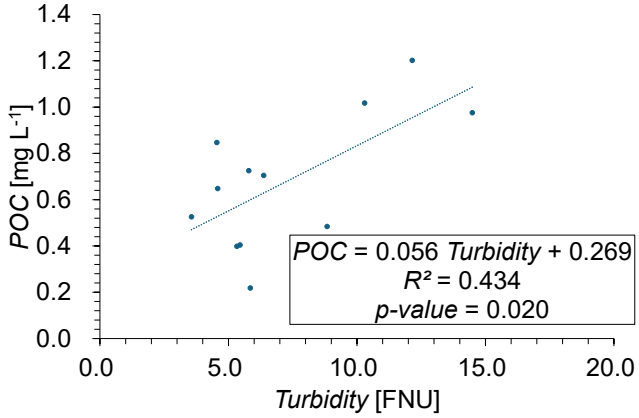


図 3　POC と Turbidity の関係式

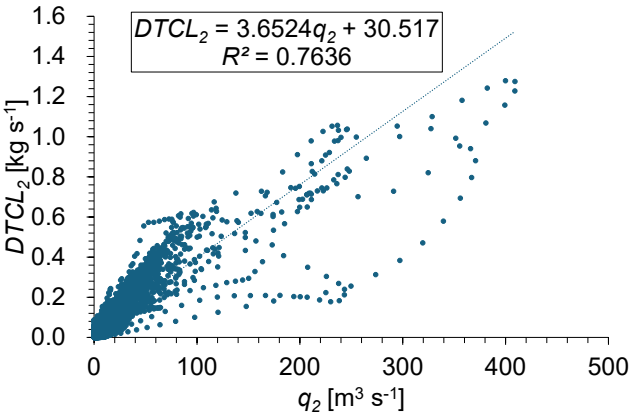


図 4　DTC 成分分離の比較

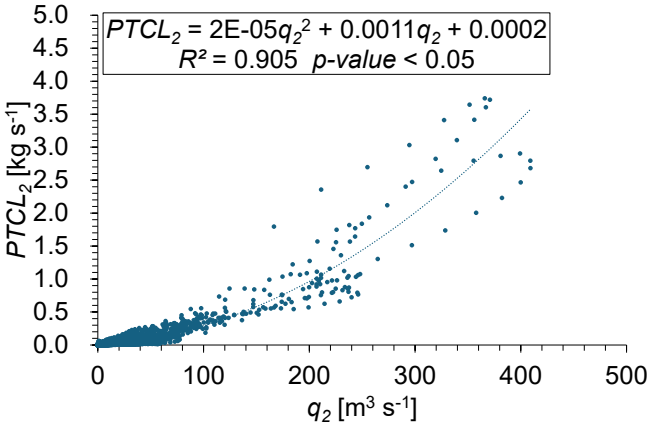


図 5　PTC 成分分離の比較

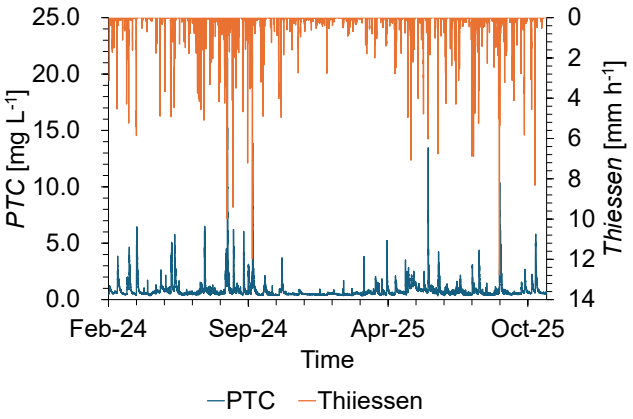


図 6　PTC と平均降水量の比較

引用文献

Xianwei S, Sidan L, Kun S, Yang G, Xuefa W. 2021. Flux and source of dissolved inorganic carbon in a headwater stream in a subtropical plantation catchment. *Journal of Hydrology* **600**: 126511. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2021.126511.

Zhang L, Xu YJ, Li S. 2022a. Riverine dissolved organic matter (DOM) as affected by urbanization gradient. *Environmental Research* **212**: 113457. DOI: 10.1016/j.envres.2022.113457.

キーワード：DOC, fDOM, POC, Turbidity

鉛直準二次元地表・地中流モデルへの地下水流動機構の導入

京都大学大学院工学研究科　○普神素良　市川温

1. はじめに

流域特性や水文条件によらず高精度な流出予測を実現するためには、降雨流出に寄与する水文プロセスを物理的に表現したモデルが必要である。鉛直二次元のリチャーズ式に基づいて表土層中の飽和不飽和流を解析する鉛直準二次元地表・地中流モデル[1)]（以下、準二次元モデル）を地質の異なる複数の山地流域に適用した結果、地質特性によって洪水流量の再現性に違いがあり、堆積岩や付加体からなる流域では良好な再現性が得られた一方で、花崗岩流域や一部の火山岩流域では流量を過大推定する傾向が確認された[2)]。後者の流域では基岩の風化の進行や亀裂の発達により深部への浸透が生じやすく、地下水涵養・流出機構をモデルにおいても考慮する必要があると考えられる。

本研究では、表土層中の雨水流動を対象とする準二次元モデルに基岩への浸透と地下水流動機構を組み込んだ分布型降雨流出モデルを構築した。主として花崗岩からなる佐賀県の厳木ダム流域（流域面積 33 km^2）にモデルを適用し、洪水イベントから低水期にかけての降雨流出計算をおこなった。

2. モデルの概要

準二次元モデルを用いた流域モデルでは、標高・流向データの格子点を結ぶ斜面を設定する。各斜面は鉛直二次元の計算格子をもつ。本研究では、地下水流動を計算するため、各斜面の最下層に基岩のパラメータをもつ層を追加し、さらにこの分布型モデルに平面二次元の不圧地下水モデルを結合した。モデルの概念図を図 1 に示す。

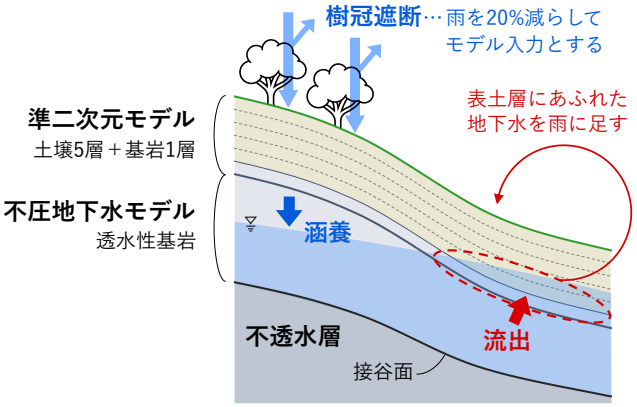


図 1　モデルの概念図

準二次元モデルの斜面の水平長さと地下水モデルのセルサイズは、いずれも地形データの解像度と同じ 1 秒（約 30 m）である。2 つのモデルは交互に計算を進め、斜面底面の標高と地下水位に基づいて地下水の涵養・流出を判断し、対応するセル間で水をやりとりする。地下水位が底面より低い斜面では底面に自由流出境界条件を適用し、準二次元モデルの計算によって地下水涵養強度を求める。地下水位が底面を超えている斜面では不透水境界条件を適用し、斜面底面を超えた分の水を準二次元モデルの計算において雨に足すことで地下水帯からの流出を表現する。

地下水モデルでは、地下水層の底となる基盤面の標高が必要となり、これを接谷面から推定した。接谷面は DEM の各セルに対してその周囲数セル内の最低標高値を適用することで作成され、最低標高値を探す範囲を変えることでモデルの透水性基岩の厚さを調整することができる。対象とした厳木ダム流域は面積の86%が花崗岩類、残りのほとんどが変成岩からなる。一般的に花崗岩流域は基岩の深部まで風化が進んでいるとされることを踏まえて、地質ごとの特性に対応する透水性基岩の厚さ分布となるように接谷面を作成した。

3. 計算条件

計算期間は、2021 年 8 月 11 日～12 月 31 日までの 143 日間とした。降雨データは解析雨量を使用し、樹冠遮断として降雨強度を 20%減じてモデル入力とした。

表 1　モデルパラメータ

	残留体積含水率 θ_r	飽和体積含水率 θ_s	飽和透水係数 K_s [m/s]	Mualem-van Genuchten パラメータ α [/m]	n_v
土壌層	0.28	0.475	9.72×10^{-4}	4	2
基岩層	0.3	0.45	*8.33×10^{-7}	3.25	1.75
地下水	–	*0.2	*8.33×10^{-7}	–	–

*Hopp & McDonnell (2009) の値を調整した。

準二次元モデル（土壌 5 層+基岩 1 層、あわせて表土層厚 1.2 m）では、土壌と基岩の保水性と透水性を Mualem-van Genuchten 式で表現する。また、地下水モデルのパラメータは、透水係数と空隙率である。これらのモデルパラメータの値は、Hopp & McDonnellの研究[3)]による観測値をもとに決定した。使用した値を表 1 に示す。

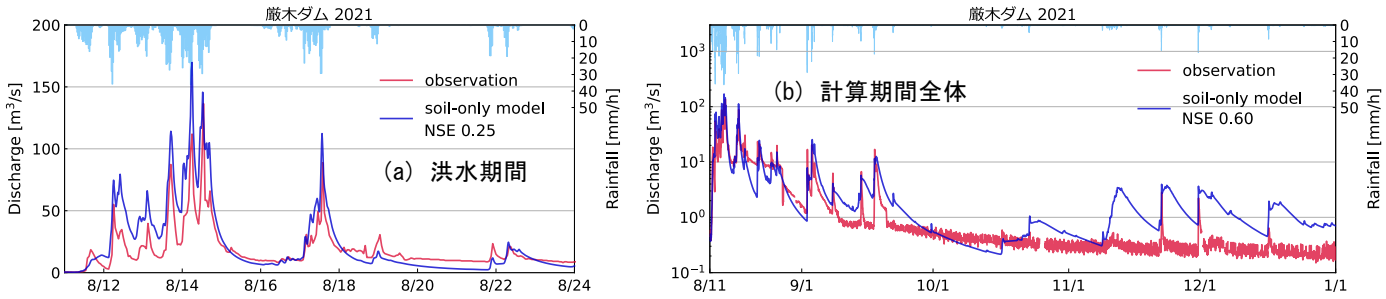


図 2　表土層のみのモデルによる計算結果

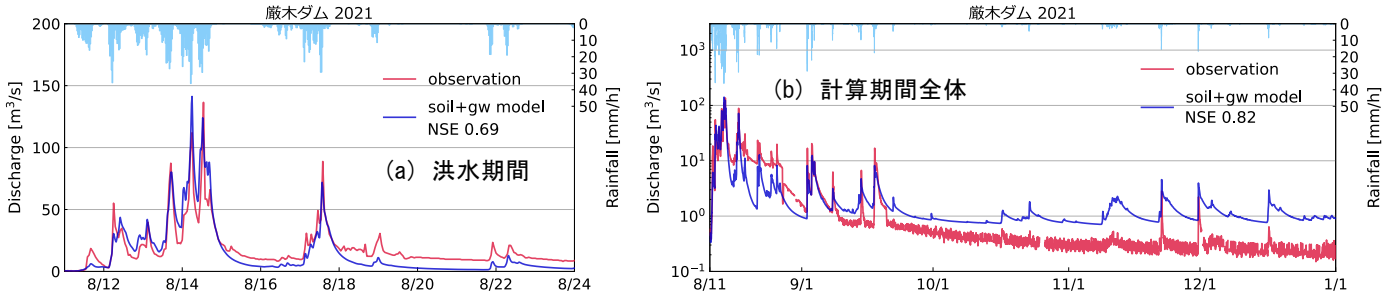


図 3　表土層＋地下水モデルによる計算結果

4. 結果と考察

図 2、図 3 に、表土層のみのモデル、および地下水の計算機構を追加したモデルの計算結果をそれぞれ示す。各図(a)は洪水期間のハイドログラフ、(b)は計算期間全体のハイドログラフ（対数軸）である。

(a)の洪水期間では、図 2 の表土層のみのモデルはピーク流量を大幅に過大推定したのに対し、図 3 の表土層＋地下水モデルでは雨水の一部が基岩へ浸透して短期的な流出が抑制され、流量の再現性が向上した。洪水期に基岩に貯留された雨水は、低水期に遅れて流出する。図 2(b)の表土層のみのモデルは流量の逓減が急で全体的にハイドログラフの形状が観測値と異なるが、図 3(b)の表土層＋地下水モデルでは地下水帯からの持続的な流出により流量が 1 m^3/s 付近で安定し、観測に近い推移が得られた。しかし、地下水を考慮したモデルでは、(a)の無降雨時の流量が表土層のみのモデルと比べてさらに過小推定、(b)の低水流量はやや過大推定となっており、土層から基岩への浸透と地下水帯からの流出について、量やタイミングの再現性には課題が残る。

また、10月以降の小規模な降雨について、表土層＋地下水モデルでは降雨終了後速やかに流量が逓減することで流出ピーク時刻が観測値とおおよそ一致している。これは、地下水流動機構の導入により、地下水位が高く土壌が湿潤に保たれる河道付近で降雨に伴って流出が生じる一方、上流斜面では雨水が基岩や土壌に浸透・保持されて流出が遅れるためと考えられる。

5. まとめ

本研究では、表土層を対象とした準二次元モデルに地下水の計算機構を導入し、基岩への浸透や地下水流動の影響が大きいと考えられる花崗岩流域を対象に降雨流出計算をおこなった。表土層から基岩への雨水の浸透と地下水帯を通じた流出プロセスをモデルに考慮したことで、洪水時のピーク流量や緩やかな流量逓減、低水期の流出応答の再現性が向上した。本稿では試行錯誤で決めた基岩パラメータ、基盤面地形および初期地下水位の設定方法の確立、蒸発散を考慮した長期の計算、複数の流域でのモデル検証が今後の課題である。

謝辞　本研究は JSPS 科研費　JP24K07681, JP25K23477 の助成を受けたものである。

参考文献

1) Fugami et al.: Development of a physically-based catchment-scale rainfall-runoff model using the vertical quasi-two-dimensional surface-subsurface flow modeling, *Hydrological Research Letters*, Vol.19, No.1, pp.58−64, 2025.
2) 普神・市川：鉛直準二次元地表・地中流モデルの洪水予測精度と流域地質の関係．水文・水資源学会研究発表会要旨集, Vol.38, pp.173-174, 2025.
3) Hopp & McDonnell: Connectivity at the hillslope scale: Identifying interactions between storm size, bedrock permeability, slope angle and soil depth, *Journal of Hydrology*, Vol.376, pp.378−391, 2009.

キーワード：Quasi-2D model, Richards' equation, Groundwater, Rainfall-runoff simulation

フィルター分離法と T-SAS を利用した分布型降雨流出モデルのパラメータ同定手法の検討

福島大学大学院共生システム理工学研究科　○谷田部陽生
福島大学理工学群共生システム理工学類　横尾善之

1. 背景と目的

河川流量のハイドログラフを分離して河川流量を成分別に解析することは，降雨流出プロセスを解明する上で有効な手掛かりとなる．しかし，成分分離手法や流出モデリング手法は多様である上に，降雨流出モデルのパラメータや構造に起因する不確実性の存在が大きな課題となっている．本研究は，分布型降雨流出氾濫モデルで実河川の流量を再現した河川流量の計算値に加えて，流出起源や流出経路を分離する Time-Space Accounting Scheme（T-SAS）法によって流出経路に関する情報を取得した．これと並行して，河川流量の観測値をその逓減特性に基づいて成分分離を行うフィルター分離法を適用・比較することで，異なる視点から流出経路に関する情報を取得した．両者を比較することで，分布型降雨流出氾濫モデルに内在するモデルのパラメータおよび構造に関する不確実性を低減できる可能性を検討した．

2. 方法

本研究は，阿武隈川水系荒川支流の東鴉川（図 1）を対象とした．まず，分布型降雨流出モデルの一つである降雨流出氾濫（Rainfall-Runoff-Inundation: RRI）モデルを用いて，計算流量が観測流量を再現するようにモデルパラメータを試行錯誤によって調整した（図２）．次に，フィルター分離法を利用して，河川流量の観測値を逓減特性が異なる 3 成分に分離した．また，Sayama and McDonnell (2009)が開発した T-SAS 法を利用して，RRI モデル内の流水の動態を空間的に追跡することで流出経路を特定し，表面流，中間流，地下水流の 3 成分に分離した．最後に，これらの結果を相互比較し，降雨流出氾濫モデル表現している降雨流出氾濫現象と河川流量のフィルター分離手法による分離結果の関係について，定量的に検討した．

3. 結果と考察

フィルター分離法では，観測・モデル双方の流量から 3 成分が抽出された（図３）．図 4 は，相関分析の結果で，増減のピーク時期は概ね一致しているものの，モデルは中間流出成分および遅い流出成分を過大に評価する傾向が確認された．これは，土壌深さや飽和側方透水係数といったパラメータ設定が，実際の流域特性に対して不確実性を有している可能性を示している．図 5 は，T-SAS による分離結果で，フィルター分離法と比較して流量の増減が激しく現れた．物理的な流路を追跡する T-SAS の結果と，逓減特性に基づくフィルター分離の流量の増減が異なるのは，モデル構造上の物理的表現と実際の流出速度との間に不一致があるからだと考える．図 6 は，フィルター分離法による遅い成分と中間の成分の合計と，T-SAS の地下水流の比較を行ったもので，値が類似していることが分かる．従って，分布型降雨流出モデルの地下水モデルのパラメータは河川流量を成分分離した結果を踏まえて推定できる可能性がある．

4. 結論

以上より，再現精度の低下には，観測データの制約に加え，モデル内のパラメータや流路構造が実際の現象を完全に表現できていないモデル構造の不確実性が関与していると考えられる．今後は，両手法の差異を詳細に分析し，不確実性の主因となる物理パラメータを特定することでモデルの高度化を図る必要がある．

【謝辞】
本研究は科研費（21K18740，23K26202，22H05208)および環境省・（独）環境再生保全機構の環境研究総合推進費（JPMEERF20252004）の成果の一部である．また，降雨流出氾濫モデルおよび T-SAS 法の利用においては，京都大学防災研究所の佐山敬洋教授および東北大学大学院工学研究科博士後期課程の宇賀神瑠杜氏の支援を得た．ここに謝意を表す．

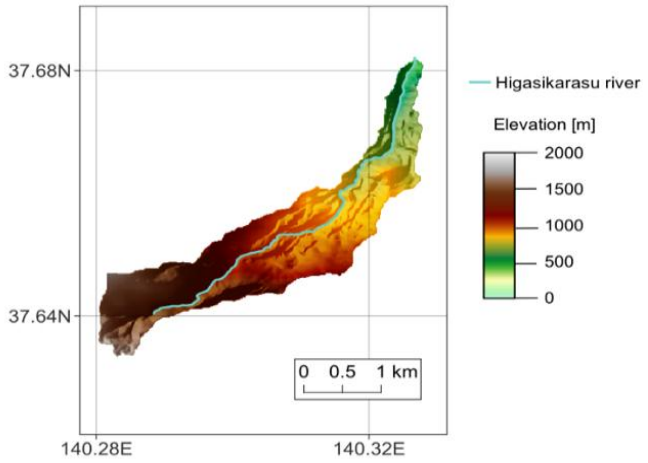


図 1　東鴉川流域

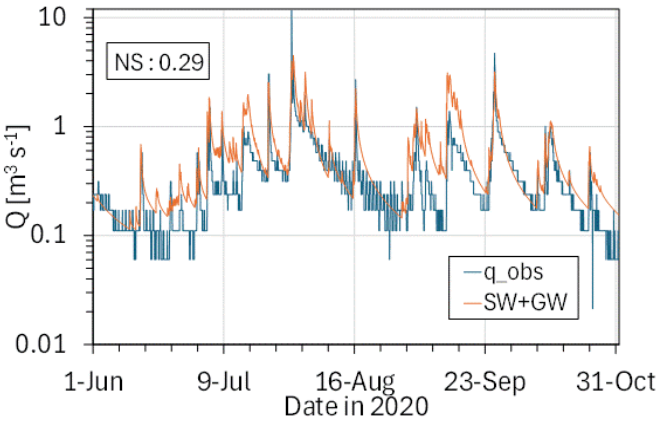


図 2　モデルで再現した流量

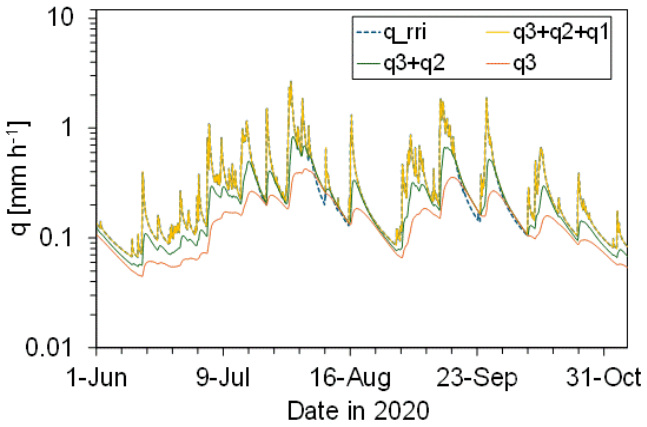


図 3　フィルター分離結果

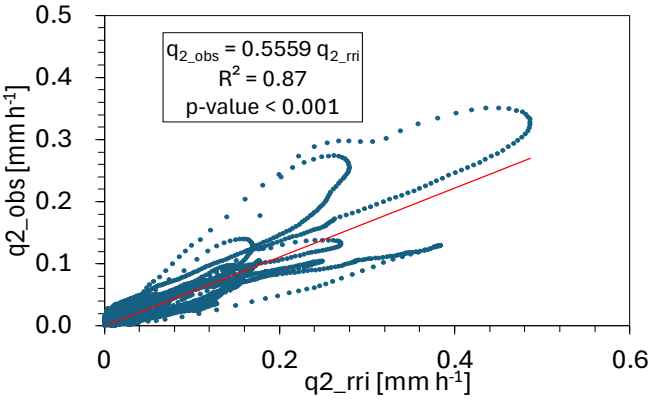


図 4　中間成分の相関図

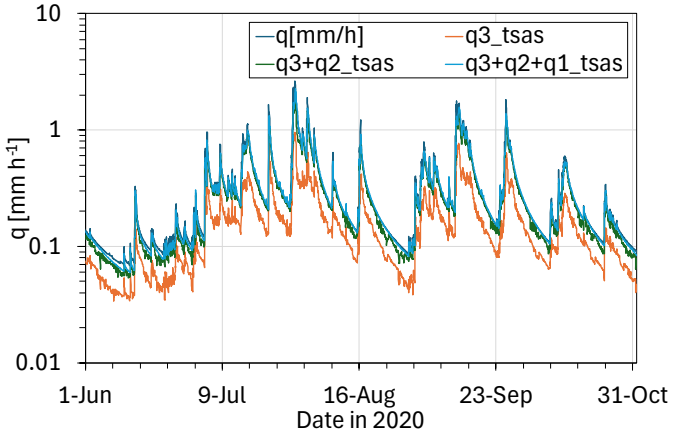


図 5　T-SAS による分離結果

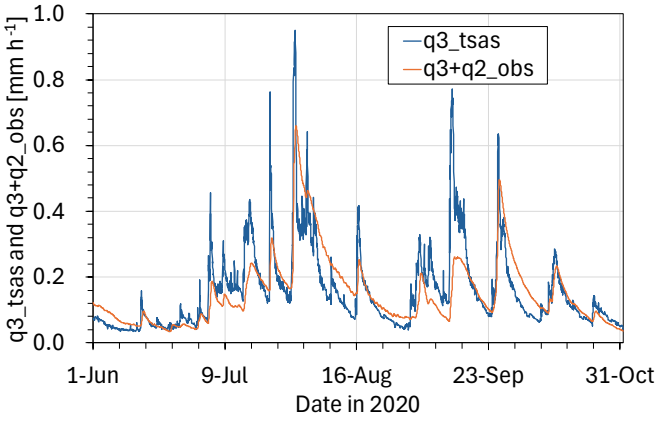


図 6　T-SAS とフィルター分離結果の比較

参考文献

1) Yokoo Y, Chiba T, Shikano Y, Leong C. 2017. Identifying dominant runoff mechanisms and their lumped modeling: a data-based modeling approach. *Hydrological Research Letters* **11**: 128–133.

2) Sayama T, McDonnell JJ. 2009. A new time‐space accounting scheme to predict stream water residence time and hydrograph source components at the watershed scale. *Water Resources Research* **45**: 2008WR007549.

キーワード：降雨流出氾濫（RRI）モデル，T-SAS 法，フィルター分離法，ハイドログラフ分離

統合型地圏流体シミュレータ GETFLOWS を用いた

豪雨時の地中水と間隙空気の挙動把握 2

森林総合研究所 森林防災研究領域　○岩上 翔，小田智基
森林総合研究所 東北支所　野口正二

1．はじめに

降雨流出過程に関する研究において，降雨に対する流出応答の速さは一般的なダルシー流に基づいた流れでは説明が付かず，表面流やホートン流などのプロセスに加えてパイプ流などの選択的な流動経路の存在が議論されてきた．しかし降雨に対する速い流出応答や豪雨時の想定以上の大出水を生じるプロセスについては明らかにされたとは言えず，再現・予測することは依然として難しい．速い流出応答や大出水の発生に寄与する可能性のあるプロセスの 1 つとして間隙空気圧の役割があり，室内実験において「封入空気」が流出に影響をおよぼす可能性について指摘した例がある．しかし現地観測による報告はほとんど無く[1)]，基岩層までを含めた斜面スケールでの間隙空気の挙動を示した例は報告がない．本研究では，間隙空気が流出に影響を及ぼすプロセスを以下のように仮定する．すなわち，豪雨時には降下浸透する雨水と地下水面あるいは岩盤等の不透水層によって斜面内の間隙空気が封入され（封入空気の形成），地下水位の上昇等によって加圧されることにより斜面下部における地下水面を刺激し流出を後押しするというものである．本研究の目的は，山地斜面の斜面スケールにおいて，現地観測による実測値を基にした数値シミュレーションを用いて間隙空気の挙動と流出への影響（つながり）を示すことである．

2．調査地と方法

調査地は森林総合研究所・常陸太田試験地内の小流域（HA・HB 流域）である．HA・HB 流域では土層内の間隙空気圧の観測を行うとともに斜面上の 3 ヵ所に複数深度ずつ設置した 10 本の観測井があり，その内の恒常的に水位が存在する 7 本において孔内圧の測定を行った．HA・HB 流域の基岩は結晶片岩や角閃岩を主体とする変成岩であり，流域面積は 0.84 ha，植生は 1924 年に植栽されたヒノキとスギの人工林である．

数値シミュレーションには水と空気の挙動を統合的に扱うことが可能な 3 次元数値シミュレーションモデル: GETFLOWS（GEneral purpose Terrestrial fluid-FLOW Simulator, （株）地圏環境テクノロジー）を使用した．数値シミュレーションを行うにあたっては，地形的な流域境界を越えた地下水の流れも考慮するために周辺を含めた領域を設定した．またボーリングコアや現地踏査の結果を踏まえて地質構造を決定した．

3．結果

降雨量・流出量・地下水位等の実測値を用いて地中水の流れについて検討したところ，湧水地点の位置や流量について高精度で再現することができた（図 1 a）．また 2 次元断面図上での水飽和率の分布では（図 1b）豪雨時には湧水地点が斜面上部に移動するとともに，斜面に沿って飽和帯が形成され，源流部に間隙空気が封入される“封入空気”が形成される様子が再現された．また，こうした封入空気は源流部に形成されるものであることが明らかとなった．同じ豪雨時における空気圧の分布について示した結果（図 1c），斜面中腹から湧水地点に向かう空気圧の流れがあることを示すことが出来た．斜面中腹においては，地下水位の上昇と空気圧の上昇が連動していることも把握することが出来た．一方で水飽和率が 1 （100%）の場所では空気は存在しないため，水飽和率分布と空気圧分布の整合性を整理していく必要があるとともに，空気の存在量や，流出へのつながりに関して量的な評価を行っていく必要がある．

【謝辞】
本研究は JSPS 科研費 24K04410 の助成を受けたものである．

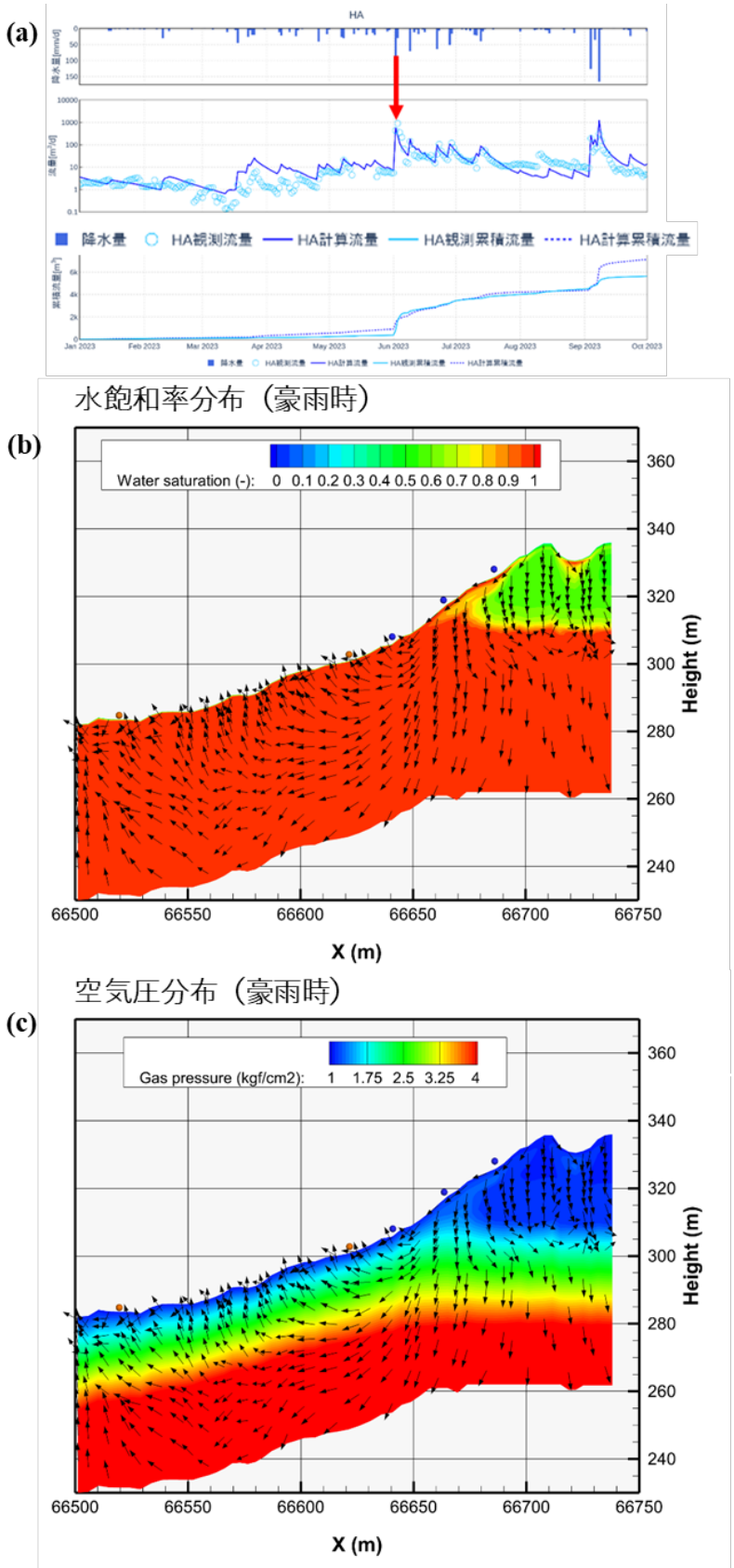


図. 常陸太田試験地 HA 流域における GETFLOWS を用いた (a) 流出解析の例とその豪雨時における (b) 水飽和率分布 および (c) 空気圧分布

参考文献

1) Iwagami, S., Noguchi, S., Shimizu, T., Kubota, T. and Iida, S.: Field measurement of entrapped pore‐air pressure and the effect of rising groundwater level in the soil layer. *Hydrological Processes*. **38**(7), 2024. (DOI: 10.1002/hyp.15235)

キーワード：Rainfall-Runoff process, Pore air pressure, Numerical simulation, GETFLOWS

基岩の異なる山地流域における谷密度と低水流出特性の関係の分析

京都大学大学院工学研究科　○竹島昂輝
京都大学大学院工学研究科　普神素良
京都大学大学院工学研究科　立川康人

1．はじめに

河川流量の予測に向けて近年さまざまな降雨流出モデルが開発されているものの、透水性といった流域の水理特性の網羅的な観測が困難であり、実測値を完全に再現するには至っていない。地形学の分野では、透水性の低い岩石からなる流域、降水量が多い流域で谷密度が高くなることが知られている[1)]。これは、雨水が浸透しにくく表流水が発生しやすいことにより高頻度に谷が刻まれるためと考えられている。そのため、谷密度から透水性の推定ができる可能性がある。また、近年は、1 m や 0.5 m といった高解像度の地形データが広い範囲で整備され、詳細な地形解析ができるようになっている。例えば、2012 年に長野県林業総合センターで開発された CS 立体図[2)]を利用することで、地形の特徴を視覚的に理解することが可能である。そこで本研究では、CS 立体図を利用して谷密度を求め、流域ごとの違いや谷密度の空間分布の違いを整理し、低水流出特性と比較することで、谷密度が流域の透水性を反映しているのかを分析した。

2．分析手法

地質の異なる流域として、耶馬渓ダム（88.4 km²）、日向神ダム（84.3 km²）、定山渓ダム（103.3 km²）、厳木ダム（33.7 km²）、中筋川ダム（21.1 km²）、蓮ダム（80.9 km²）、滝沢ダム（108.6 km²）のそれぞれの上流域を対象とした。各流域について、国土地理院の基盤地図情報より入手した 1 m 解像度の DEM データを用いて CS 立体図を作成した。CS 立体図は、標高、曲率、傾斜量のレイヤそれぞれに彩色、透過処理を施して重ねたものであり、凹地形は主に地形曲率に基づいて青色で強調される。本研究では、1 m 解像度の RGB ラスタとして作成された CS 立体図において、視覚的に谷と判断されるグリッドの RGB 値（各色 0 – 255 の値をとる）を確認し、「Blue ≥ Red + 10」という閾値を満たすグリッドを谷として抽出した。抽出した谷グリッドに対して細線化処理をおこない、150 m 四方のメッシュごとに谷線の総延長をメッシュの面積で割ることで谷密度を算出した。谷密度の空間分布を図 1(a)に示す。さらに、流域間で谷密度の分布を比較するため、図 1(b)のようなヒストグラムを作成した。そして、谷密度が 35 /km 以上のメッシュを高谷密度領域とし、その割合を指標として低水流出特性との関係を分析した。

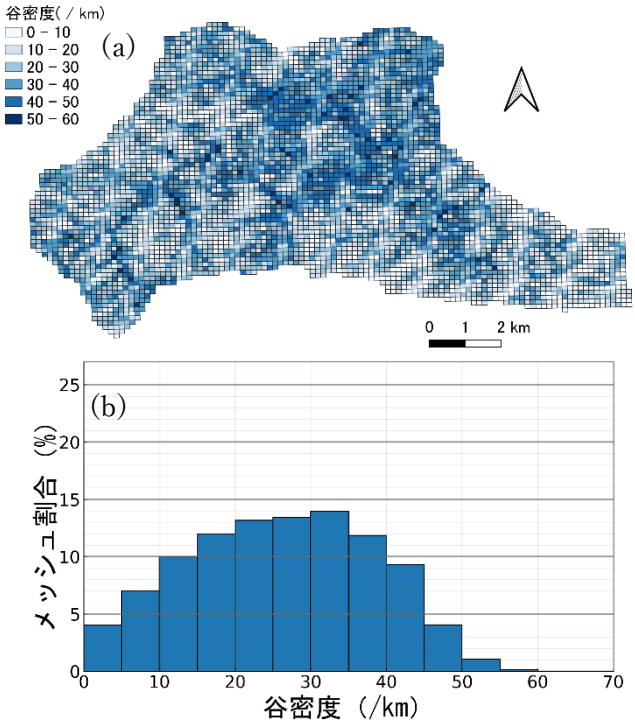


図 1　滝沢ダム流域における
(a)谷密度の空間分布(b)谷密度の頻度分布

低水流出特性の比較には流況曲線から得られる渇水流量と逓減曲線から得られる逓減係数を用いた。流況曲線の作成には、各流域において 2010 年から 2024 年の過去 15 年間の平均値を用いた。流況曲線、逓減曲線の作成に際して、国土交通省の水文水質データベースからダム流入量データを収集した。また、日向神ダムの流入量データは福岡県より提供されたデータを用いた。

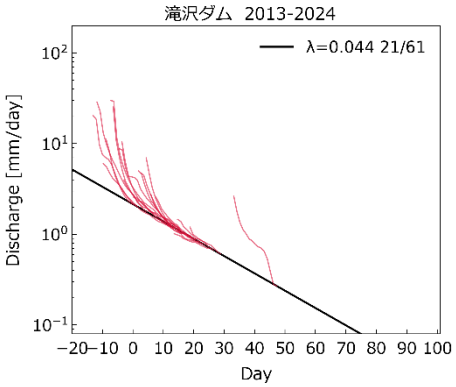


図 2　滝沢ダム流域における合成逓減曲線

逓減曲線は、杉山・小林[3]の方法を参考に合成逓減曲線を作成した。合成逓減曲線は、一定期間以上の無降雨が継続した際に得られる複数の自然逓減曲線の末端流量値を抽出し、それらを包絡する形で指数関数型の曲線を当てはめることで、流域の低水流出特性を総合的に表現するものである。図 2 に滝沢ダム流域における合成逓減曲線を示す。

3．結果と考察

対象流域における高谷密度領域の割合と渇水流量、高谷密度領域の割合と逓減係数の関係を図 3、図 4 に示す。また、最小二乗法により一次回帰直線を求め、傾き・切片および決定係数 R^2を算出し、図中に実線で示した。

渇水流量が多い流域、逓減係数の小さい流域では低水流出が多いといえ、透水性が高いと推定される。

図 3 を見ると全流域での相関はみられないものの日向神ダムと蓮ダム流域以外の流域については地形学の知見から期待される通り谷密度が高いほど透水性が低いという右下がりの関係を見出すことができる。そこで、日向神ダムと蓮ダム流域を除いてもとめた回帰直線を破線で示した。これらの 5 流域を対象とすると、やや強い相関がみられた（R^2 ＝0.669）。これら 2 流域については、年間降水量および月別降水量を他流域と比較することにより除外理由の検討を試みたが、降水量の観点からはこれら 2 流域において渇水流量が相対的に高くなる明確な要因を特定するには至らなかった。

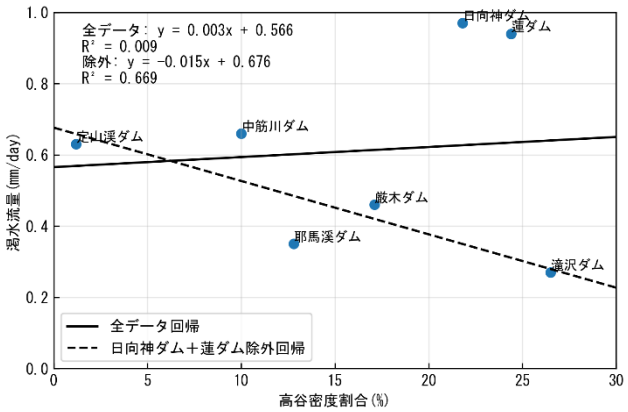


図 3　高谷密度領域の割合と渇水流量の関係

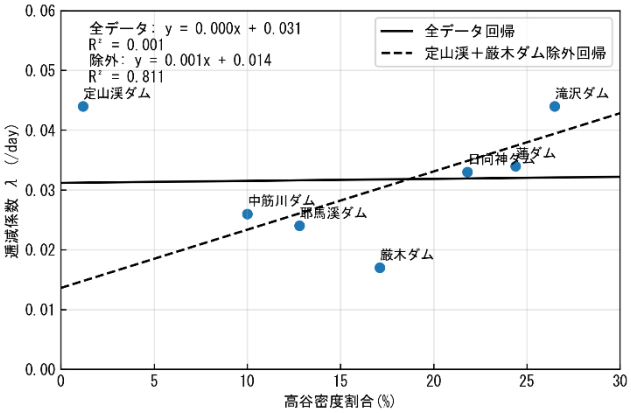


図 4　高谷密度領域の割合と逓減係数の関係

図 4 を見るとこちらにおいても全流域での相関はみられなかったものの定山渓ダムと巌木ダム流域以外の流域については地形学の知見から期待される通り谷密度が高いほど逓減係数が高いという右上がりの関係を見出すことができる。そこで、定山渓ダムと巌木ダム流域を除いてもとめた回帰直線を破線で示した。この結果より定山渓ダムおよび巌木ダムを除外した 5 流域に限定すると、谷密度と逓減係数の間に比較的強い相関が見られた（R^2 ＝0.811）。定山渓ダムおよび巌木ダム流域が逓減係数と谷密度特性との間に期待される関係が見られない理由としては、定山渓ダム流域においては寒冷地特有の流出特性が、巌木ダム流域においては水田の存在により谷密度が過大に算出された可能性が、それぞれ考えられる。ただし、データ数が少ないため、回帰の信頼性には注意が必要である。

4．まとめ

本研究では、山地流域における谷密度と低水流出特性の関係を分析した。谷密度と渇水流量の間に明瞭な相関は見られなかったが、流域を限って着目すると一定の傾向が示唆された。流況曲線から得られる渇水流量は透水性だけでなく流域ごとの地質や気候の影響も強く受けていると考えられ、谷密度という地形的な特徴のみで渇水流量の大小を説明することは難しいことが分かった。また、谷密度と逓減係数においては明確ではないものの、一定の傾向が認められた。普遍的な関係性を明らかにするにはより多くの流域での検討や、土壌や植生といった要素と併せて評価することが今後の課題である。

参考文献

1）松倉公憲: 地形学, 朝倉書店, p.157, 2021.
2）戸田堅一郎: 曲率と傾斜による立体図法（CS 立体図）を用いた地形判読, 森林立地, Vol.56, No.2, pp.75-79, 2014.
3）杉山博信, 小林健一郎: ダム流域における低水流出の指標に関する一考察, 農土論集, No.168, pp.111-115, 1993.

キーワード　谷密度, CS 立体図, 低水流出, 逓減曲線

雨水管整備下の市街地小流域における分布型流出モデルのパラメータ最適化手法の検討

名古屋工業大学大学院　○宮本享真
名古屋工業大学大学院　　庄建治朗

１．はじめに

近年の豪雨災害の激甚化に伴い，浸水被害のリスクが高まっている．特に都市域においては，資産の集中により水害時の被害は甚大なものとなっており，水害対策が重要である．未知の降雨に対して高精度の降雨流出予測を行うためには，降雨流出モデルの適切なパラメータ設定が不可欠となる．市街化の進んだ都市流域の特徴として雨水管網の整備があり，その特性を反映したモデル構築及びパラメータの推定方法については未だ不確実性を伴う[1)]．また，降雨に対する流出応答の早さから，台風等の長時間にわたる大規模降雨だけでなく，ゲリラ豪雨のような局地的短時間降雨への対策も極めて重要となる．以上のことから本研究では，都市流域における多様な降雨形態に対応可能なパラメータの特定を目的に，分布型流出モデルのパラメータ最適化手法について検討する．

２．対象流域及び対象降雨

本研究の対象地は，名古屋市緑区の扇川支流に位置する神沢池流域とした．流域面積は 1.043km^2 である．この地域は住宅地が広がっており，表面の多くが不浸透面となっている．神沢池は名古屋市により，1 分毎，0.01m 単位で水位が記録されており，これを基に仮想流入量方式でため池への流入量（流域からの流出量）を算出した．

降雨強度は 1 分間隔，250m メッシュで取得可能な XRAIN レーダ雨量データを採用し，流域平均雨量を算出した．2020～2023 年に観測された降雨のうち，最大時間雨量が 30mm を超えた降雨，または，総雨量が 100mm を超えた降雨として 5 降雨を抽出した．さらに，近年における記録的な降雨である 2011 年台風 15 号豪雨を加えた計 6 降雨を対象降雨イベントとした．対象降雨イベントの諸元を表-1 に示す．これより，総雨量や継続時間，流出率はイベント毎に大きくばらついていることがわかる．

表-1　対象降雨イベント

降雨イベント	日付	総雨量 [mm]	最大時間雨量 [mm]	継続時間 [h]	流出率 [-]
No.1	2011/9/20	238.26	59.59	20	0.58
No.2	2020/7/21	54.44	32.99	6	0.59
No.3	2020/9/4	52.72	44.09	5	0.33
No.4	2021/7/12	38.72	34.61	2	0.34
No.5	2022/7/3	81.82	33.38	13	0.39
No.6	2023/6/1~3	168.72	24.94	31	0.70

３．降雨流出モデル及び最適化手法

本研究では，分布型流出モデルである SWMM を用いて対象流域をモデル化した．SWMM（Storm Water Management Model）は，地表流と管路内の流れを考慮することで都市排水を表現できるモデルである．対象流域について，名古屋市の雨水管路図を基に雨水管とマンホールを設定し，流域を複数の小流域に分割した．

モデルに入力するパラメータを表-2 に示す．感度分析により NSE への影響度が大きい上位 4 つのパラメータを特定し，同定対象とした．他のパラメータについては，既往文献[2)]を参考に固定値を与えた．なお，小流域内の不浸透面積率や勾配等については固定値を設定した．本研究では多様な降雨に対応するパラメータ値を得るため，柿沼ら[3)]の方法を参考にし，SCE-UA 法を用いてモデルパラメータの最適化を行った．検証イベントには最大時間雨量の大きい No.1 及び No.3 降雨を選定し，最適化対象には単一イベントでの最適化結果が極めて良好（NSE>0.9）であった No.2, No.4, No.6 の 3 イベントを採用した．目的関数として，(i) NSE，(ii) NSE+ピーク流量二乗誤差の 2 ケースを設定した．

表-2　モデルパラメータ

パラメータ（NSE への影響度ランク）		単位	探索範囲（固定値）
N-Imperv (2)	不浸透域の粗度係数	m$^{-1/3}$s	0.01~0.15
N-Perv (6)	浸透域の粗度係数	m$^{-1/3}$s	(0.020)
S-Imperv (4)	不浸透域の窪地貯留量	mm	1.0~10.0
S-Perv (5)	浸透域の窪地貯留量	mm	(6.0)
f_0 (3)	初期浸透能	mm/h	15.0~100.0
f_∞ (8)	最終浸透能	mm/h	(10.0)
k (7)	Horton モデルの減衰定数	/h	(0.36)
Roughness (1)	雨水管の粗度係数	m$^{-1/3}$s	0.005~0.050

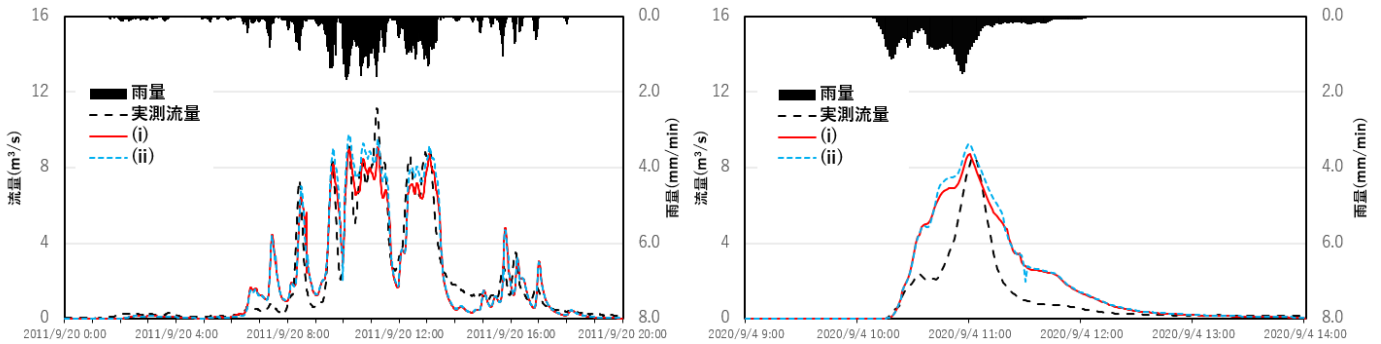


図-1　検証イベントにおける流出解析結果（左図：No.1，右図：No.3）

4．結果

2 ケースの目的関数により最適化されたパラメータを表-3 に，また，それらを検証イベントへ適用した流出解析結果を図-1 に示す．最大降雨である No.1 降雨については，各ケースにおける NSE が（i）0.89，（ii）0.88 となり，良好な再現性が得られた．No.3 降雨については,ハイドログラフの立ち上がり及び逓減部で流量を過大評価しており，NSE が（i）0.54，（ii）0.43 と低くなった．この原因として，No.3 降雨は流出率が低く，流出過程で生じる損失雨量を適切に再現できていないことが考えられる．ただし，治水計画上重要となるピーク流量の精度は良好であり，一定の精度は保たれていると考える．表-3 より，ケース（ii）では雨水管の粗度係数が小さく，また，他のパラメータの値が大きくなっていることがわかる．雨水管の粗度係数は影響度が最も大きいパラメータであり，これによりピーク流量の応答を強める反面，他のパラメータでハイドログラフ全体の整合性を調節する傾向が確認できた．実際に検証イベントのピーク付近で流量が増加していることから，No.1 降雨のような大規模降雨ではケース（ii）が有効であると考える．ケース（i），（ii）に加え，最適化対象の中で最も流出率が低かった No.4 降雨と最も流出率が高かった No.6 降雨において同定されたパラメータ（それぞれ low, high）を適用したときの，総流量誤差率（REV）及びピーク流量誤差率（REP）を図-2 に示す．これより，流出率が中程度の No.1 降雨に流出率が低い降雨のパラメータを適用した場合や，流出率が低い No.3 降雨に流出率が高い降雨のパラメータを適用した場合には再現度が低くなっているものの，ケース（i），（ii）では，REV 及び REP 共に良好な妥協点となるパラメータが得られていることがわかる．したがって，複数のイベントを組み合わせて最適化する手法は都市小流域においても有効であり，多様な降雨に適用できる可能性があると考える．

表-3　最適化されたパラメータ

ケース	パラメータ			
	N-Imperv	S-Imperv	f_0	Roughness
(i)	0.070	9.2	74.0	0.012
(ii)	0.081	9.7	82.3	0.010

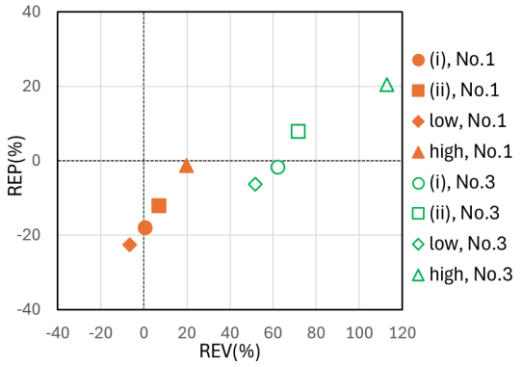


図-2　REV 及び REP

5．まとめ

本研究では，雨水管の整備された市街地小流域を対象に，SWMM のパラメータ最適化手法について検討した．その結果，都市流域においても多様な降雨に対応するパラメータが得られる可能性があることが示された．今後は他の流域でも解析を行い，モデル精度の向上や流域特性・降雨特性との関係について検討を進めていく．

参考文献

1) Perin. R et al., Automated calibration of the EPA-SWMM model for a small suburban catchment using PEST: A case study. Environ. Monit. Assess. 192, 1-17, 2020.
2) 日本下水道新技術機構：流出解析モデル利活用マニュアル（雨水対策における流出解析モデルの運用手引き），2017
3) 柿沼ら：複数洪水イベントの組み合わせによる洪水予測に適した RRI モデルパラメータの最適化手法に関する検討，河川技術論文集，第 26 巻，pp.199-204，2020.

キーワード：都市，SWMM，パラメータ，SCE-UA，NSE

標高帯間の地下水流動による土壌水分欠損量の時空間分布形成が流出に与える影響

東京大学大学院農学生命科学研究科附属演習林　○小椋崇弘
長岡技術科学大学　　陸　旻皎

１．はじめに

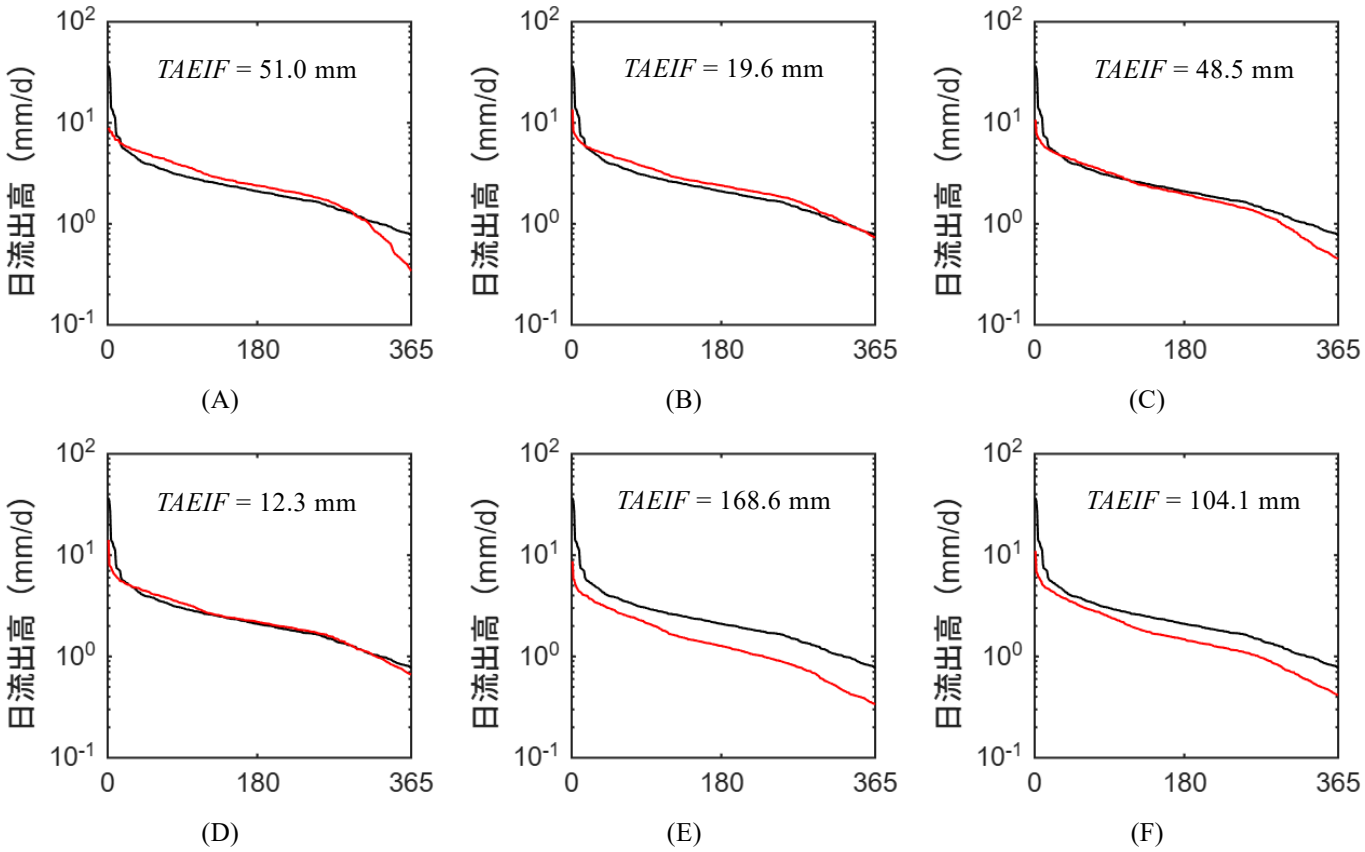
社会に甚大な影響を与える洪水や渇水のような平均から大きく逸脱した水文現象を理解し，また予測するためには，流出の生起場である土壌の物理特性の理解を通した水文現象の理解が重要である．近年，新たな土壌水分の定量化として土壌水分欠損量（*SMD*）の概念が提案されており，これに基づく流出モデルも提案されている[1)]．このモデルでは，不飽和帯の土壌水分分布に静水圧平衡を仮定することにより，任意の時刻の地下水面位置を求めることができるとともに，流域を上流域と下流域の 2 つの標高帯に分割してその間の地下水ピエゾ流動量を求めることで，流域内の側方流動と土壌水分の時空間分布形成を考慮して流出計算を行うことができる．しかし，このモデルで流域を 3 つ以上に分割したケースについて，流出の再現性評価や対応する実現象の解釈などは不十分である．本研究では，当該のモデルについて，流域を 3 つ以上に分割する手法を確立し，流域分割数の違いによって標高帯ごとの *SMD* の時空間分布形成が流出生成に与える影響について検証することを目的とする．

２．対象流域と方法

本研究では，愛知県瀬戸市に所在する東京大学大学院農学生命科学研究科附属演習林生態水文学研究所赤津研究林内の白坂本谷流域を対象とし，年間を通して日流量ならびに日降水量について欠測のない 2014 年のデータを用いた[2)3)]．降水量と気温のデータは，同研究林内白坂気象露場（北緯 35.218889 度，東経 137.164722 度）で得られたものを用いたが，蒸発能力の推定に用いる日照時間データについては，近隣の AMeDAS 観測点である多治見観測所のものを用いた．これらの気象データは 1 時間単位に再集計したものを用いた．土壌水分特性パラメータは，農研機構の日本土壌インベントリーの提供する近隣かつ土壌分類が同一である圃場で得られたデータから求めた[4)]．定数 SMD_d は，藤枝（2007）の最大流域貯水量と概ね同じであると仮定して文献中の値を用いた[5)]．数値標高モデルは，生態水文学研究所が 2025 年から 2026 年にかけて独自に作成したものを用いた．流域分割では，ヒプソメトリック曲線を用いて部分流域の面積が等しくなる等高線を流域分割線とし，分割を行わない場合，2 分割した場合，3 分割した場合，5 分割した場合の 4 ケースを設定した．部分流域の代表標高は，部分流域をさらに等面積で 2 分割する標高とし，また，この標高から引かれる等高線について，流域の出口にあたる量水堰堤との線形距離行列を計算し，この平均の差を部分流域間の距離とみなした．これにより，モデルのパラメータで未知であるのは流域分割線下の平均的な土層厚δのみとなる．本研究では，2 分割した場合について，実測流出高と計算流出高から流況曲線について求められた評価指標 *TAEIF* を試行錯誤的に最小化したものを基準となるδとして，3 分割と 5 分割については 2 分割で得られた基準となるδをそのまますべての分割線について用いた場合（実験 1）と，上流域から下流域に向かって，3 分割の時は基準となるδの 0.5 倍と 1.5 倍を，5 分割では基準となるδの 0.5 倍，0.75 倍，1.0 倍，1.25 倍を与えた場合（実験 2）のそれぞれ 2 ケースについて数値実験を行った[6)]．土層厚の設定の違いについては *TAEIF* と流況曲線形状から評価した．

３．結果と考察

計算結果を図−1 に示す．図−1 の(A)は分割を行わない場合，(B)は 2 分割した場合，(C)は 3 分割した場合の実験 1，(D)は 3 分割した場合の実験 2，(E)は 5 分割した場合の実験 1，(F)は 5 分割した場合の実験 2 の，それぞれの流況曲線である．黒線は観測流出高，赤線は計算流出高である．また，それぞれの *TAEIF* は図−1 中に示した．基準となるδとして 0.62 m が得られた．(A)では豊水期と渇水期の計算流出高が同区間の実測流出高よりも小さく，直接流出，基底流出ともに流出生成が不十分であることがわかる．(A)と(B)を比較すると，渇水期の計算流出高，豊水期の計算流出高ともに実測流量に近づき，*TAEIF* も大きく改善したことがわかる．地下水ピエゾ流動を考慮したことによって流出生成が増加したことがわかる．単純に流域を 3 分割した(C)では，2 分割の(B)と比較して低



図−1 流況曲線の計算流出高と実測流出高の比較

水期～渇水期の計算流出高が同区間の実測流出高と比較して小さくなり，*TAEIF* も増大しているが，上流域の土層厚を薄く，下流域の土層厚を厚くした(D)において大きく改善したことが分かる．流域分割数を増やし，なおかつ上流域に向かって土層厚を薄く，下流域に向かって土層厚を厚くするように設定していくことで，流出生成が改善される可能性が見いだされた．しかし，単純に流域を 5 分割した(E)において，計算流出高と実測流出高の乖離が大きくなり，全体として流出生成が不足するという結果が得られた．また，(D)と同様の設定を行った(F)において，*TAEIF* はある程度の改善を見たものの(B)や(D)と比較すると十分大きく，単純に流域の分割数を増やし，また土層厚を比例的に与えるのでは流出生成の評価は改善しないことが示された．

４．おわりに

SMD に基づく流出モデルの計算において，単純に流域の分割を増やしつつ比例的に土層厚を与えることは，3 分割に対しては有効であったが，5 分割に対しては有効ではなく，異なる方法を検討する必要があることが明らかとなった．また，分割数が十分多いケースについての土層厚の与え方については，今後方法を検討していきたい．

参考文献

1) 小椋崇弘・陸旻皎，地下水のピエゾ流動が流域水循環に及ぼす影響，水文・水資源学会誌 38, pp. 266-278, 2025.
2) 東京大学大学院農学生命科学研究科附属演習林基盤データ整備委員会水文水質部門，東京大学演習林水文観測・水質分析報告（自 2014 年 1 月至 2014 年 12 月），演習林（東大）59, pp. 245-254, 2017.
3) 東京大学大学院農学生命科学研究科附属演習林基盤データ整備委員会気象部門，東京大学演習林気象報告（自 2014 年 1 月至 2014 年 12 月），演習林（東大）58, pp. 239-259, 2016.
4) 国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構. “データの提供”，日本土壌インベントリー, https://soil-inventory.rad.naro.go.jp/offer.html, 2019. (参照: 2026/05/08)
5) 藤枝基久，森林流域の保水容量と流域貯留量，森林総合研究所研究報告 6(2), pp. 101-110, 2007.
6) 陸旻皎，減水曲線から流域固有減水定数と土壌蒸発散の季節パターンを推定する試み，水文･水資源学会誌 36, pp. 286-296, 2023.

キーワード：Soil moisture deficit, Piezometric groundwater flow, Flow duration curve, Variable source area concept

A preliminary study to understand the process-based SUMMA hydrological model and explore its applicability to basins in Japan

Department of Architecture, Meisei University Kazumasa Fujimura
Department of Civil Engineering, University of Calgary Frank Han
Department of Civil Engineering, University of Calgary Wouter J. M. Knoben
Department of Civil Engineering, University of Calgary Ashley E. Van Beusekom
Department of Civil Engineering, University of Calgary Martyn P. Clark

1. Introduction

Hydrological models serve a wide range of purposes and applications, including flood control, water resource management, irrigation planning, forest and watershed management, and the evaluation of waterfront environmental conditions. The spatial domain of hydrological models can vary from regional to global scales, depending on the specific purpose of the application. Therefore, a variety of hydrological models have been developed, and they continue to evolve as computational capabilities advance. The structure of hydrological models, particularly runoff models, had traditionally been based on conceptual frameworks that employed lumped representations to cope with the inherent complexity of natural hydrological processes. In recent years, advances in ground-based and satellite hydrological and climate observation technologies have generated rich datasets and enabled the establishment of extensive observational networks. These developments, in turn, have facilitated the advancement of physically based hydrological models.

Among many physically based hydrological models, this study uses the Structure for Unifying Multiple Modeling Alternatives (SUMMA), presented by Clark et al.[1), 2)]. SUMMA was developed under the concept of a unified approach to process-based hydrologic modeling, enabling controlled and systematic evaluation of multiple model representations of hydrologic processes and scaling behavior. This study also uses the mizuRoute tool, presented by Mizukami et al.[3)], which post-processes runoff outputs from any distributed hydrologic model and can be coupled with the SUMMA framework.

2. Overview of SUMMA and mizuRoute

2.1. SUMMA model concept

The Structure for Unifying Multiple Modeling Alternatives (SUMMA) was designed to enable systematic evaluation of multiple model representations of biophysical and hydrologic processes. SUMMA formulates a general set of conservation equations that simulate energy storage and fluxes as well as water storage and transmission. For thermodynamics, the heat balance of components, including the vegetation canopy, canopy air space, snow, and soil, as affected by radiative fluxes through the canopy, is simulated. For hydrology, the water balance of the vegetation, snow, and soil is simulated considering vertical and lateral transmission, including liquid water through snow and soil, as well as the storage and transmission of water in a shallow subterranean aquifer. SUMMA is organized into Hydrologic Response Units (HRUs) and Grouped Response Units (GRUs), with each GRU comprising one or more HRUs; this structure enables comprehensive evaluation of alternative approaches for representing spatial variability and lateral flow. Further details are provided in Clark et al.[1) 2)]

2.2. mizuRoute runoff routing simulation

mizuRoute is a runoff-routing tool that processes runoff outputs from any distributed hydrologic model to produce spatially distributed streamflow, based on hillslope routing and river-channel routing. River segments connect the HRUs from upstream to downstream and form a river network within the basin. Routing is carried out using a gamma-distribution-based unit hydrograph for hillslope routing and two alternative procedures for river-channel routing: kinematic wave tracking (KWT) and impulse response function unit hydrograph (IRF-UH).

3. Model applicability to basins in Japan

3.1. Advances in hydrological models

Influenced by the Asian monsoon, the Japanese climate is characterized by typhoons and heavy rainfall in summer, while winter brings heavy snowfall in northeastern Japan and comparatively low precipitation in the Setouchi area and the Pacific side of western Japan. Therefore, the application of hydrological models has largely been directed toward the practical management and operation of river runoff and irrigation systems. Although the global hydrological model H08, which solves land-surface water and energy balances, was introduced by Hanasaki et al. (2008)[4], earlier thermodynamic studies in Japanese meteorology—led by Kanda, M. (1990)[5] (urban heat environments) and Kondo, J. (1994)[6] (general meteorology)—were not well integrated with hydrological runoff modeling. It is important that hydrological models maintain diversity, including biophysical and hydrological processes, even if such complexity is not currently required in practical applications, as it can extend their applicability for future practical use. Given the context of hydrological model usage in Japan described above, applying the SUMMA model to basins in Japan can enhance its applicability to Japanese hydrological settings.

3.2. Applicability to basins in Japan

Characteristics of River Basins in Japan. Mountains and hills occupy about 70% of Japan's land area, while the remaining 30% consists of plains. Effective water-resources management and flood control in mountainous regions are essential to support the plains and lowlands where agriculture, industry, and urban activities are concentrated. Even the Tone River basin—the country's largest, with a basin area of 16,800 km² and containing both upper mountainous regions and lower areas with intensive human activity—is small compared to continental river basins. In general, many Japanese basins have highly complex land-use patterns due to the concentration of population and industry. In such basins, hydrological observations are conducted at many locations, and the data are publicly available, making it meaningful to apply the SUMMA hydrological model to evaluate biophysical and hydrological processes.

Challenges in applying SUMMA to river basins in Japan. For an initial application, it is preferable to focus on mountainous basins rather than urban basins, because diverse land use and complex sewer systems exist in urban areas. Although basin management is conducted in an integrated manner, operations are often implemented at the sub-watershed scale using water level and discharge as key indicators. Incorporating additional biophysical indicators into operational management remains a future challenge. Finally, when applying global datasets to Japanese river basins, bias correction and appropriate downscaling are often required, which can be challenging. This issue is not unique to SUMMA but is common to many hydrological models.

4. Concluding Remarks

This paper provided a preliminary overview of directions for applying SUMMA to river basins in Japan. We currently have six datasets spanning more than 20 years from snowy mountainous and plan to begin analyzing them.

References

1) Clark, M. P., et al., A unified approach for process-based hydrologic modeling: 1. Modeling concept, WRR, 51 (4), 2498–2514, doi:10.1002/2015WR017198, 2015a.
2) Clark, M. P., et al., A unified approach for process-based hydrologic modeling: 2. Model implementation and case studies. WRR, 51, 2515–2542, doi:10.1002/2015WR017200, 2015b.
3) Mizukami, N., Clark, M. P., et al. MizuRoute version 1: A river network routing tool for a continental domain water resources applications, Geoscientific Model Development, 9, 2223–2238. doi:10.5194/gmd-9-2223-2016, 2016.
4) Hanasaki, N., et al. An integrated model for the assessment of global water resources – Part 1: Model description and input meteorological forcing, Hydrol. Earth Syst. Sci., 12, 1007–1025, doi: 10.5194/hess-12-1007-2008, 2008a.
5) Kanda, M., Hino, M., Shinoda, Y., The effect of vegetation on atmospheric surface layer and the water buget in soils, Proc. of Hydraulic Engineering, Vol. 34, 235-240, doi:10.2208/prohe.34.235, 1990. (in Japanese)
6) Kondo, J., Meteorology of the Water Environment: Water and Heat Budget at the Earth's Surface, Asakura Publ. Co., Ltd., 348p,1994. (in Japanese)

Keywords: Structure for Unifying Multiple Modeling Alternatives (SUMMA), biophysical and hydrologic processes, mizuRoute, complex land-use patterns