

2026年9月14日(月)

プロポーズドセッション | WUI火災に対応する水文・水資源分野の新展開

9:30 ~ 10:30 | 2Fホール(2F)

[OS-01] WUI火災に対応する水文・水資源分野の新展開

座長: 峠 嘉哉(千葉大学)

9:30 ~ 9:40

[OS-01-02] 日本国内の林野火災の発生傾向とWUI火災事例

* 峠 嘉哉¹ (1. 千葉大学)

9:40 ~ 9:55

[OS-01-01] 人工衛星データを活用した山林火災の延焼速度の推定

* 岩見 達也¹ (1. 国土技術政策総合研究所)

9:55 ~ 10:10

[OS-01-03] 無降雨日の連続時における火災発生リスクのあるスギ林面積の拡大速度の推定

* 玉井 幸治¹ (1. 森林総合研究所)

10:10 ~ 10:20

[OS-01-04] 大船渡市林野火災被害地近郊の未被害のスギ林と落葉広葉樹林における林床可燃物量

* 吉藤 奈津子¹、小南 裕志¹、寺井 水萌¹、平田 晶子²、岩崎 健太³ (1. 森林総合研究所 森林防災研究領域、2. 森林総合研究所 生物多様性・気候変動研究拠点、3. 森林総合研究所 森林災害・被害研究拠点)

プロポーズドセッション | 学際的学会の総力を流域治水への推進力へ

13:00 ~ 13:45 | 2Fホール(2F)

[OS-03] 学際的学会の総力を流域治水への推進力へ

座長: 手計 太一(中央大学 理工学術院 社会理工学部 都市環境学科)

13:00 ~ 13:15

[OS-03-01] キャリブレーションフリーの流出モデルへの期待

* 谷 誠¹ (1. 京都大学名誉教授)

13:15 ~ 13:30

[OS-03-02] 背水現象を利用した圃場への洪水導水手法の提案と再現計算による打倒性評価

* 小柳 俊登¹、川村 勇斗²、手計 太一³、乃田 啓吾⁴ (1. 中央大学大学院理工学研究科、2. 国土交通省、3. 中央大学理工学術院、4. 東京大学大学院農学研究科)

13:30 ~ 13:45

[OS-03-03] 日タイ2流域の比較分析に基づく流域治水ガバナンス障壁の構造化

* 鈴木 耕平^{1,2}、乃田 啓吾²、出村 沙代¹、手計 太一³、吉田 貢士²、木口 雅司²、沖 大幹²、吉見 和紘⁴ (1. 株式会社たがやす、2. 東京大学、3. 中央大学、4. 富山県立大学)

プロポーズドセッション | 社会水文学：水の超学際研究に向けて

15:35 ~ 16:50 | 2Fホール(2F)

[OS-04] 社会水文学：水の超学際研究に向けて（1）

座長:飯泉 佳子(日本大学 文理学部学科)

15:35 ~ 15:50

[OS-04-01] 社会水文学の超学際研究への転換に向けてーこれまでの展開と課題ー

*中村 晋一郎¹、小森 大輔²、檜山 哲哉³、飯泉 佳子⁴ (1. 名古屋大学 大学院工学研究科、2. 東北大学 災害科学国際研究所、3. 名古屋大学 宇宙地球環境研究所、4. 日本大学 文理学部学科)

15:50 ~ 16:05

[OS-04-02] 信濃川流域における治水と都市開発のシステムレベルでの経済分析：短期での最適化が生む長期的な脆弱性

*石渡 幹夫¹、川崎 昭如²、福渡 隆³ (1. 明治大学 経営学部、2. 東京大学未来ビジョン研究センター、3. 国土交通省近畿地方整備局)

16:05 ~ 16:20

[OS-04-03] 水災害による貧困固定化と格差拡大：東南アジア洪水常襲地帯における世帯調査に基づく実証分析

*川崎 昭如¹ (1. 東京大学未来ビジョン研究センター)

16:20 ~ 16:35

[OS-04-04] 気候変動影響を考慮した全球将来人口分布推計と極端気象リスク評価への応用

*佐野 太一¹、瀬谷 創¹、沖 大幹² (1. 神戸大学 大学院工学研究科、2. 東京大学 大学院工学系研究科)

16:35 ~ 16:50

[OS-04-05] Decoding Human-Flood Interactions through Historical Religious Architecture: A Socio-Hydrological Approach in the Chao Phraya River Basin

*ZHAOLONG GU^{1,2,3}, Daisuke Komori^{1,2,3}, Sartsin Phakdimek⁴, Thapthai Chaithong⁵ (1. The International Research Institute of Disaster Science (IRIDeS), Tohoku University, 2. Green Goals Initiative, Tohoku University, 3. Graduate School of Environmental Studies, Tohoku University, 4. School of Geotechnology, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, 5. Department of Geography, Faculty of Social Sciences, Kasetsart university, Thailand)

プロポーズドセッション | 社会水文学：水の超学際研究に向けて

17:00 ~ 18:15 | 2Fホール(2F)

[OS-05] 社会水文学：水の超学際研究に向けて（2）

座長: 檜山 哲哉(名古屋大学 宇宙地球環境研究所)

17:00 ~ 17:15

[OS-05-01] 水インフラをケアから考える：人－水関係の超学際研究に向けて

*難波 美芸¹ (1. 千葉大学 人文科学研究院)

17:15 ~ 17:30

[OS-05-02] 全球水安全保障におけるジェンダー不平等：水ストレス・水アクセスと人口構造の時空間統合分析

*柿沼 薫¹、和田 義英² (1. 東北大学、2. アブドラ王立科学技術大学)

17:30 ~ 17:45

[OS-05-03] Modeling seasonal dynamics of farmers' perceived water availability: A comparative sociohydrological assessment in Sri Lanka's Dry Zone

*Romitha Wickramasinghe¹, Shinichiro Nakamura¹ (1. Nagoya University)

17:45 ~ 18:00

[OS-05-04] 地下水マネジメントを目指した水文プロセス研究成果の社会実装

*嶋田 純¹ (1. 熊本大学 名誉教授)

18:00 ~ 18:15

[OS-05-05] 水文・制度・ガバナンス：石西礁湖のサンゴ礁生態系保全をめぐる探索的ケーススタディ

*千葉 知世¹、久保 慶明² (1. 大阪公立大学 現代システム科学研究科、2. 関西学院大学 総合政策学部)

2026年9月16日(水)

プロポーズドセッション | マルチトレーサーによる流域水文過程の可視化

13:00 ~ 14:30 | 2Fホール(2F)

[OS-09] マルチトレーサーによる流域水文過程の可視化

座長: 齋藤 光代(広島大学 大学院 先進理工系科学研究科)、利部 慎(長崎大学総合生産科学研究科)

13:00 ~ 13:15

[OS-09-01] マルチトレーサーによる流域水文過程の可視化：国際的な研究動向と今後の展望

*利部 慎¹ (1. 長崎大学総合生産科学研究科)

13:15 ~ 13:30

[OS-09-02] 地下水のマルチトレーサー分析により推定された富士山北麓の地下水流動過程

*山本 真也¹、Oshin Alagiyawanna^{2,3}、横山 祐典²、太田 耕輔⁴、Musy Stéphanie⁵、Currle Friederike⁵、Tomonaga Yama⁵、Schilling Oliver^{5,6}、中村 高志⁷ (1. 山梨県富士山科学研究所、2. 東京大学 大気海洋研究所、3. The University of Bremen、4. 産業技術総合研究所、5. University of Basel、6. Eawag, Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology、7. 山梨大学)

13:30 ~ 13:45

[OS-09-03] 釜無川扇状地地下水におけるトリチウム濃度の鉛直分布特性

*永井 晴也¹、中村 太良¹、松浦 拓哉¹、中村 高志¹ (1. 山梨大学)

13:45 ~ 14:00

[OS-09-04] d 値の季節変動を用いた江津湖周辺の湧水や河川水の平均通過時間の推定*壁谷 直記¹、清水 晃¹、一柳 錦平²、Rahmawan Irfan²、長岡 輝²、清水 貴範³、飯田 真一³ (1. 森林総合研究所九州支所、2. 熊本大学大学院先端科学研究部、3. 森林総合研究所)

14:00 ~ 14:15

[OS-09-05] マルチトレーサーによる島嶼沿岸スケールでの海底湧水の空間分布推定

*齋藤 光代¹、小野寺 真一¹、Nguyen Nhat^{2,3} (1. 広島大学 大学院 先進理工系科学研究科、2. 岡山大学 大学院 環境生命科学研究科、3. ベトナム アンザン大学)

14:15 ~ 14:30

[OS-09-06] 水温を指標とした流出過程可視化の可能性

*大西 健夫¹、千家 正照²、原田 守啓³、平松 研¹ (1. 岐阜大学応用生物科学部、2. 株式会社ユニオン、3. 岐阜大学環境社会共生体研究センター)

プロポーズドセッション | WUI火災に対応する水文・水資源分野の新展開

2026年9月14日(月) 9:30 ~ 10:30 | 2Fホール(2F)

[OS-01] WUI火災に対応する水文・水資源分野の新展開

座長: 峠 嘉哉(千葉大学)

9:30 ~ 9:40

[OS-01-02] 日本国内の林野火災の発生傾向とWUI火災事例

* 峠 嘉哉¹ (1. 千葉大学)

9:40 ~ 9:55

[OS-01-01] 人工衛星データを活用した山林火災の延焼速度の推定

* 岩見 達也¹ (1. 国土技術政策総合研究所)

9:55 ~ 10:10

[OS-01-03] 無降雨日の連続時における火災発生リスクのあるスギ林面積の拡大速度の推定

* 玉井 幸治¹ (1. 森林総合研究所)

10:10 ~ 10:20

[OS-01-04] 大船渡市林野火災被害地近郊の未被害のスギ林と落葉広葉樹林における林床可燃物量

* 吉藤 奈津子¹、小南 裕志¹、寺井 水萌¹、平田 晶子²、岩崎 健太³ (1. 森林総合研究所 森林防災研究領域、2. 森林総合研究所 生物多様性・気候変動研究拠点、3. 森林総合研究所 森林災害・被害研究拠点)

10:20 ~ 10:30

総合討論

日本国内の林野火災の発生傾向と WUI 火災事例

千葉大学国際高等研究基幹 ○峠嘉哉

1. はじめに

一般に林野火災は居住地火災に比べて焼損面積が大きく延焼速度が速いため、急激に林野で延焼拡大する場合に消防力によって制御することが困難となることがある。そのため、林野で急拡大した火災が居住地に向けて延焼する場合には深刻な被害に至りやすく、近年では居住地との近接領域で生じる林野火災（林野・居住地近接火災、Wildland Urban Interface Fire: WUI 火災）が防災上の懸念として注目されている¹⁾。国外では 2025 年のロサンゼルス事例や 2023 年のハワイ州事例を始めとして多数の深刻な事例が報告されている。日本国内の林野火災は海外の乾燥域における事例と比べて小規模な傾向にあるものの、建物火災には至らなかったものの懸命な消火活動によって延焼阻止された事例や、実際に居住地側に延焼し被害が出た事例もある。大規模林野火災が多数生じた 2025 年では、大船渡市林野火災や今治市林野火災は建物被害が生じた典型的な WUI 火災である。

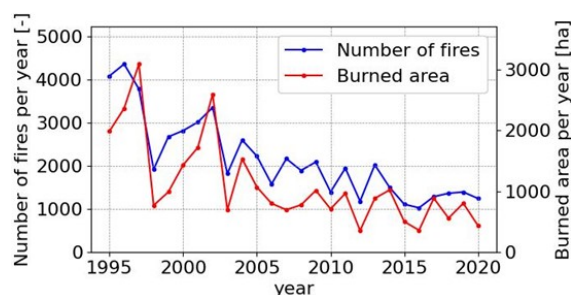
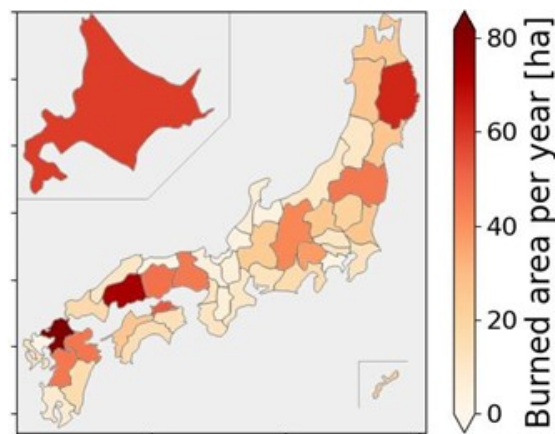
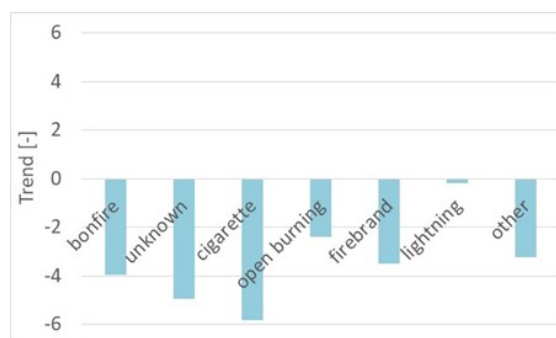
本発表では、2025 年以降に深刻な WUI 火災事例が国内でも生じていることを受け、日本国内で 1995-2020 年に生じた計 55,863 件の林野火災事例を調査した Touge et al. (2024)²⁾から発生傾向の時空間的な特徴を紹介し、その中で建物火災に至った WUI 火災事例の調査結果を事例として示す。最後に筆者らが提案した極端火災の定義方法を紹介する。

2. 日本国内の林野火災の時空間的特徴²⁾

日本国内の林野火災の生起件数は長期的に大幅な減少傾向にある。図 1 は年間の火災件数と焼損面積を示したものであるが、1990 年代後半では 4,000 件ほどだった林野火災件数は近年では毎年 1,000 件前後に減少している（図 1）。焼損面積も火災件数の減少に伴って同様に減少傾向にある。年間焼損面積の 90%は面積上位 10%の火災事例によって焼失しているなど、各年の焼損面積のほとんどは大規模事例によるものであることから、少数の大規模事例を対象として発生要因を調査する意義は大きい。

時空間的な特徴として、まず季節変化は明瞭で冬から春にかけて発生傾向が多い傾向があり、大規模事例もその時期に生じやすい。この時期は乾燥しやすいという自然条件に加えて、山菜取り等のための入山者の多さや農業用のたき火が増加する季節でもあるなど人為的な要因も多い時期であると考えられる。空間的には太平洋側で多い傾向にあり、特に三陸地方や瀬戸内地方など 2025 年以降にも大規模林野火災が生じた領域は元々林野火災の焼損面積が大きい領域である（図 2）。

出火要因としては、要因不明の事例を除くと 98.8%が人為的な失火によるものであり、主に野焼き・たき火・煙草の 3 種類が多く割合を占める。自然要因は雷によるものが多い。これらの出火要因毎に、Mann-Kendall 検定で長期トレンドを調べると（図 3）、雷以外の人為的な要因は全て大幅な減少傾向が示されたことから、図 1 に示された長期的な減少傾向は人為的な失火が減少したためと考えられる。

図 1 国内の林野火災の長期変化²⁾図 2 県別の平均年間焼損総面積²⁾図 3 林野火災の出火要因の長期トレンド²⁾

3. WUI 火災の調査例：2025 年大船渡市林野火災

2025 年 2 月 26 日に生じた大船渡市林野火災は、延焼範囲が 3,370ha と平成以降最大の林野火災事例となった。特筆すべきは出火から間もなく発生した大規模な樹冠火による急速な延焼拡大であり、出火時刻の僅か 1 時間後には出火地点から東方向に約 2-3km 離れた田浜地区で火災が確認されており、綾里湾を超える飛び火が生じたと考えられる。

図 4 は Sentinel-2 衛星に基づく正規化焼損率 (Normalized Burn Ratio: NBR) の林野火災前後の変化であり、鎮圧直後の 2025 年 3 月 12 日から約一年前の 2024 年 3 月 24 日の差を示したものである。

出火地点の合足地区付近の東側で大幅に NBR 値が減少している領域があり、焼損度が極めて高い領域が広域に広がっていたことが分かる。筆者らは林野火災の延焼時の写真や動画等の収集に取り組んでおり、その記録資料からも当該領域における極めて激しい燃焼の様子が示されている。

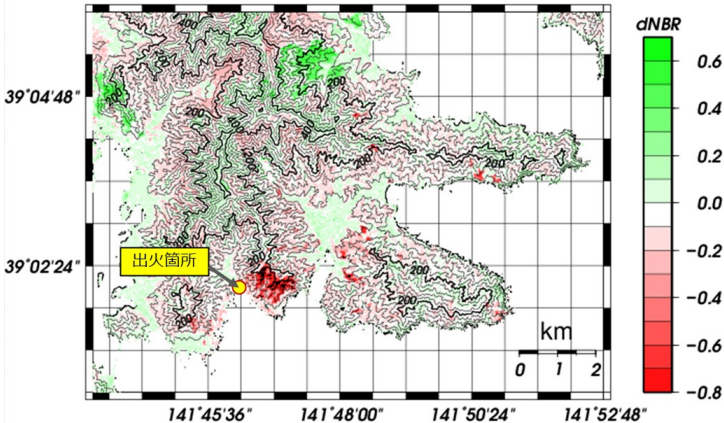


図 4 大船渡市林野火災の焼損域における dNBR 値 (2025 年 3 月 12 日と 2024 年 3 月 24 日の差)

4. 極端な林野火災の定義

極端火災事例を水文学的に分析するにあたり、筆者らは極端火災の定義方法を提案した (図 5)^{3,4)}。年間・月間の林野火災件数と焼損総面積をそれぞれ縦軸と横軸でプロットした上で、焼損面積が増加するような変化を林野火災拡大ベクトル (Wildfire extent vector: WEV)、件数が増加するような変化を林野火災増加ベクトル (Wildfire increase vector: WIV) とした。少数の大規模事例で総焼損面積が大きくなることはあり得るため WEV は横軸に並行になり得るが、林野火災件数が増加すると総焼損面積も必然的に増加するため WIV は斜めに伸びて三角形の図となる。極端火災事例には、発生件数が極端に多い場合 (極端多発型: Super frequent) と個々の焼損面積が大きい場合 (極端規模型: Megafires)、双方が大きい場合 (複合極端型: Compound Extreme) があり、赤色のグラデーションで林野火災の極端性を示す。



図 5 林野火災の生起状況の極端性^{3,4)}

研究事例としては WIV 方向の水文分析も多いが、WUI 火災の観点では WEV 方向の極端性評価も必要である。

【謝辞】本研究は、科学研究費補助金 (24H00336 代表：峠嘉哉) の成果により実施された。謝意を示す。

参考文献

1) Tang, W., C., He, L., Emmons, J., Zhang: Global expansion of wildland-urban interface (WUI) and WUI fires: insights from a multiyear worldwide unified database (WUWUI). Environmental Research Letters, 19(4), 044028, 2024.

2) Touge, Y., K., Shi, T., Nishino, C., Sun, A., Sekizawa: Spatial-temporal characteristics of more than 50,000 wildfires in Japan from 1995 to 2020. Fire Safety Journal, 142, 104025, 2024.

3) Shi, K., Y., Touge, D., Yanhong: Wildfire univariate and bivariate characteristics simulation based on multiple machine learning models and applicability analysis of wildfire models. Progress in Disaster Science, 20, 100301, 2023.

4) Shi, K., Y., Touge, S., Kazama: Hydrometeorology-wildfire relationship analysis based on a wildfire bivariate probabilistic framework in different ecoregions of the continental United States. Agricultural and Forest Meteorology, 358, 110215, 2024.

キーワード：Wildfire, WUI fire, Wildfire Bivariate Characteristics, Mann-Kendall test, Sentinel-2

人工衛星データを活用した山林火災の延焼速度の推定

国土技術政策総合研究所 岩見達也

1. はじめに

近年、地球規模で森林火災、林野火災、そして WUI (Wildland-Urban Interface) 火災の被害が深刻化しており、甚大な人的被害や建物被害が生じるケースが発生している。一方で、日本では数年前まで顕著な山林火災の被害は稀で、WUI 火災の危険性について話題に上ることは少なかった。そのような状況の中、2025 年 2 月に岩手県大船渡市で大規模火災が発生し、3,370ha の山林と 226 棟の建物が焼損した。そして 2026 年 4 月には岩手県大槌町で 1633ha (精査中) の山林が焼損する大規模火災が発生した。その間にも岡山市、今治市、上野原市など、数百 ha に及ぶ大規模な山林火災が相次いでいる。

WUI 火災のリスクを適正に評価するためには、山林の燃焼性状の把握が必要となる。海外では山林火災に燃焼性状を対象とした研究が活発に行われているが、そのまま日本の山林に適用できるわけではなく、知見が不足している状況である。そこで、2025 年 2 月の大船渡市の火災及び 2026 年 4 月の大槌町の火災を対象に、人工衛星による観測データを用いて、延焼動態 (燃焼範囲や延焼速度の時刻歴) を分析した結果を報告する。

2. 人工衛星データの利用

分析に用いた人工衛星データは、VIIRS (Visible/Infrared Imager and Radiometer Suite) センサを搭載した米国の衛星 (以下、VIIRS 衛星) 3 機 (Suomi-NPP, NOAA-20, NOAA-21) 及び欧州宇宙機構 ESA (European Space Agency (欧州宇宙機関)) が運用する Sentinel-2 (3 機 2A, 2B, 2C) の観測データである。

VIIRS 衛星は太陽同期準回帰軌道を取り、直下を 375m の分解能で、3 機それぞれ 2 回/1 日の頻度でほぼ全球を観測できる。観測バンドは可視光 0.4 μ m から熱赤外線 12 μ m であり、特に、火災の検出に有効な波長 4 μ m 帯の中間赤外線に対応するセンサを有しており精度良く火災の検出が可能である。なお、観測時間帯は午前 1 時前後と午後 1 時前後である。本稿では NASA が公開する Active Fire Product の検出アルゴリズム¹⁾を一部パラメータの調整を行って実装したプログラムを用いた。

Sentinel-2 も太陽同期準回帰軌道を取り、可視光から短波赤外線までを観測し、3 機体制のコンステレーションにより、概ね 1 回/5 日の頻度で同一地点を観測可能である。4 μ m 付近を感知するセンサは有していないが、1.6 及び 2.2 μ m の短波赤外線センサにより火災の可能性を検出することが可能である。特に、地上分解能が 20m で、VIIRS に比べて詳細な観測ができることから、条件が整えば極めて有効な情報源となり得る。本稿では Copernicus Browser サイトで公開される False Color (Urban) データ²⁾に含まれる band4 (0.67 μ m)、band11 (1.6 μ m)、band12 (2.2 μ m) を用いて、雲領域を除いた山林部分のピクセルのうち band12 が band11 及び band4 の 1.1 倍~2 倍 (目視により火災域が有効に判別可能な閾値を調整) 以上の強度が得られたピクセルを抽出した。なお、全体的に薄い雲がかかっていた大槌町の火災に対する 4 月 23 日の観測では band4 は利用せず、小釜地区では band12 が band11 の 0.95 倍、吉里吉里地区では band12 が band11 の 1.03 倍以上のピクセルを抽出した。

3. 延焼動態

3. 1. 大船渡市の火災の延焼動態

2025 年 2 月に岩手県大船渡市で発生した 2 件の火災 (19 日発生及び 26 日発生) を対象に、前述した衛星による観測結果から延焼動態 (延焼等時線) を推定した (図-1)。

3. 2. 大槌町の火災の延焼動態

2026 年 4 月 22 日に岩手県大槌町で発生した 2 件の火災 (小釜地区及び吉里吉里地区) を対象に、前述した衛星による観測結果から延焼動態 (延焼等時線) を推定した (図-2)。なお、4 月 23 日午後から 4 月 24 日未明にかけて火災地域の大部分が雲に覆われており、十分な地表の観測ができなかった。これらの時間帯はその前後の延焼状況

に基づいて補間した。

4. 延焼速度

延焼動態の推定結果より、延焼速度の図上計測を行った（表-1）。最も早い延焼速度は、2/26 に大船渡市で発生した火災初期の東方面への延焼時に記録し、538.7mであった。なお、報道によれば、出火から約4時間後の17:00過ぎまでに②で示した終点に近い地域で燃焼が確認でき、その場合の延焼速度はさらに速い値が求められる³⁾。大槌町でも吉里吉里地区での火災初期の東方面への延焼速度が速く、292.6m/h を記録している。このように火災初期に急速に火災が広がったことで、対応が困難となり 1,000ha を超える甚大な被害につながったと考えられる。

初期の延焼速度以外では⑥を除けば、延焼速度は 50m/h 未満に収まっている。

5. おわりに

近年で特に広い範囲が焼損した大船渡市と大槌町の火災について人工衛星による観測データを利用して延焼動態を推定した。今後、気象状況や地形条件等と重ねて分析を進める予定である。

参考文献

1) Wilfrid Schroeder et al : The New VIIRS 375 m active fire detection data product: Algorithm, description and initial assessment, Remote Sensing of Environment 143 (2014.5)

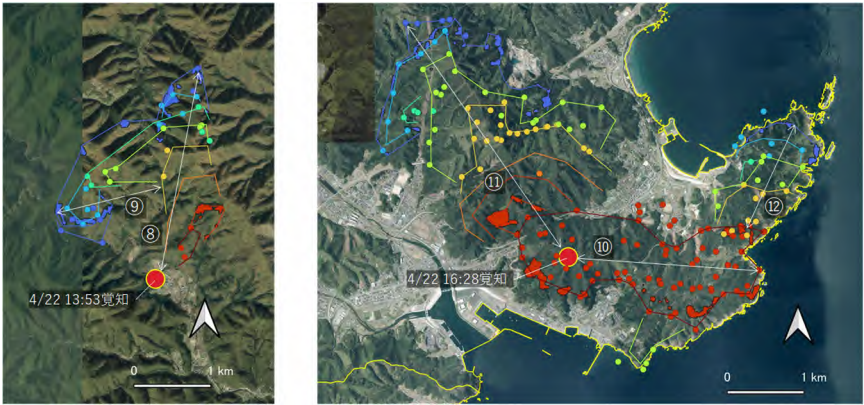
2) Copernicus Sentinel data 2026 (<https://browser.dataspace.copernicus.eu>) (2026 年 5 月 8 日確認)

3) 国土交通省 国土技術政策総合研究所、国立研究開発法人 建築研究所：令和 7 年 2 月 26 日に発生した大船渡市林野火災における建築物等の被害調査報告（速報）、2025.6 (<https://www.nilim.go.jp/lab/bbg/saigai/R7/ofunatokasai.pdf>) (2026 年 5 月 8 日閲覧)

キーワード：Large-scale fire in Ofunato City, Large-scale fire in Otsuchi Town, WUI fire, Fire spread dynamics



図-1 岩手県大船渡市火災の延焼動態（推定）



(a)小鎚地区 (b)吉里吉里地区

図-2 岩手県大槌町火災の延焼動態（推定）

Sentinel-2 データ：Contains modified Copernicus Sentinel data 2026 processed in Copernicus Browser(<https://browser.dataspace.copernicus.eu>)
検出結果：NASA 公開データを解析(<https://search.earthdata.nasa.gov/>)
背景画像：地理院タイル(<https://maps.gsi.go.jp>)
行政界：国土数値情報（国土交通省）(<https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/>)

表-1 延焼速度

		距離[m]	起点日時		終点日時		経過時間	延焼速度[m/h]
大船渡市	①	2,204	2025/2/19	11:55	2025/2/21	13:00	49:05	44.9
	②	4,656	2025/2/26	13:02	2025/2/27	1:00	11:58	389.1
	③	6,447	2025/2/26	13:02	2025/2/27	1:00	11:58	538.7
	④	1,820	2025/2/26	13:02	2025/2/27	1:00	11:58	152.1
	⑤	2,129	2025/2/27	1:00	2025/3/1	1:00	48:00	44.4
	⑥	1,850	2025/3/1	1:00	2025/3/2	1:00	24:00	77.1
	⑦	1,431	2025/3/2	13:00	2025/3/4	13:00	48:00	29.8
大槌町	⑧	2,834	2026/4/22	13:53	2026/4/26	13:00	95:07	29.8
	⑨	1,204	2026/4/24	13:00	2026/4/26	13:00	48:00	25.1
	⑩	2,497	2026/4/22	16:28	2026/4/23	1:00	8:32	292.6
	⑪	3,704	2026/4/22	16:28	2026/4/26	13:00	92:32	40.0
	⑫	1,473	2026/4/23	1:00	2026/4/26	13:00	84:00	17.5

無降雨日の連続時における火災発生リスクのあるスギ林面積の拡大速度の推定

森林総合研究所 玉井幸治

1. はじめに

林野火災は多くの場合、林床に堆積する落葉落枝などの林床可燃物が燃える地表火から始まる。そのため、林床可燃物の含水状態を把握することは、火災発生リスク評価の基礎となる。林床可燃物の乾燥速度は、樹冠の疎密によって決まる林床面日射量に大きく左右され、人工林の場合では若いほど相対日射率が高く、早く乾燥する。

本報告では、林床面可燃物が可燃状態となるまで乾燥して林野火災発生リスクの発生した人工林面積の無降雨日の連続時における拡大速度を、林齢構造に着目しての評価を試みる。対象地域を大規模な林野火災が最近発生した群馬県と山形県とし、日本における主要な人工林のタイプであるスギ林を分析対象とした。

2. 方法

森林の生長程度を示す胸高断面積合計と林齢の関係を、群馬県については林野庁・林業試験場（1955）から、山形県については林野庁・秋田営林局（1960）から得た（図-1）。そして胸高断面積合計と相対日射率の関係式（玉井ら、2025）を用いて、林齢別での相対日射率を推定した。さらに全天日射量と降水量の時間データを林床可燃物含水比予測モデル（玉井・後藤、2020）に入力して、林床可燃物の含水比変動を計算した。含水比が 0.2 g g^{-1} を下回る状態を可燃状態と定義し、火災発生リスクのあるスギ林と判定した。そして無降雨日の連続時における火災発生リスクのあるスギ林面積の拡大速度を推定するため、群馬県と山形県におけるスギ林の林齢構成データを林野庁による樹種別齢級別面積（2022年3月31日現在）（<https://www.rinya.maff.go.jp/j/keikaku/genkyou/h24/4.html>）から得た（図-2）。両県とも林齢56年以上のスギ林が多く、群馬県では69%、山形県では53%を占めた。

樹種別齢級別面積は2022年3月現在の値であるため、林床可燃物含水比予測モデルによる計算は2022年を対象とした。群馬県では2022年1月1日、山形県では2022年4月1日のそれぞれ午前1時における含水比を最大値である 2.0 g g^{-1} と設定し、それぞれ前橋地方気象台と山形地方気象台において観測された1時間ごとの全天日射量（図-3）を林床可燃物含水比予測モデルに入力して、含水比が 0.2 g g^{-1} 未満となるまでに要する日数を計算した。実際には降水量を観測している日でも降水量を 0.0mm とみなすことにより、長期にわたって無降雨日が連続している状況を仮想的に実現した。山形県での試算を4月1日からとしたのは、3月までは林床が積雪に覆われており、林野火災発生リスクが高くなるのは概ね4月以降であるためである。

3. 結果と考察

林齢26～70年におけるスギ林は群馬県でよりも山形県の方で大きく生長しているため、相対日射率は山形県でよりも群馬県の方が小さかった。林齢が大きくなるにつれ相対日射率の減少はゆっくりとなり、群馬県では林齢46～65年で相対日射率3%、林齢66年生以上では2%と長い年数でも変化しなくなった。山形県では林齢41年以上で相対日射率は2%で変化しなくなった（図-4）。無降雨日の連続時において林床可燃物が可燃状態にまで乾燥するのに要する日数は、林齢10年のスギ林や展葉前の落葉広葉樹林が該当する相対日射率約50%の森林では、1月の群馬県で3日、4月の山形県では2日であった。また相対日射率2%の森林では、1月の群馬県で55日、4月の山形で35日であった（図-5）。可燃状態までの乾燥が山形県の方で早いのは、山形県での計算期間が4月からであり、1月からである群馬県でよりも全天日射量が多いためである（図-3）。スギ林の成長に伴って相対日射率が低下することから、若い森林から順に含水比が 0.2 g g^{-1} 未満となり、火災発生リスクを有するようになると思われる。すなわち林床可燃物が可燃状態となるまで乾燥して火災発生リスクがあると評価されたスギ林の面積割合は、無降雨日の連続につれて図2の左下から右上へと線上を次第に移動して増加していく。図2の横軸を、図-5を用いて林齢から無降雨日の連続日数に置き換えたのが図-6である。

スギ林全体の中で、林床可燃物が可燃状態となるまで乾燥して火災発生リスクがあると評価されたスギ林の面積割合は、群馬県の39日目で20%から50%へ、55日目で50%から100%へと、それぞれ大きく増大した。39日

目では相対日射率が 3%であるスギ林で、55 日目には相対日射率が 2%以上であるスギ林で、それぞれ一斉に林床可燃物の含水比が 0.2g g^{-1} を下回る計算となり、火災発生リスクが生じたと判断されたためである。山形県でも同様に、35 日目に火災リスクのあるスギ林面積の割合が 25%から 100%に大きく増加した。相対日射率が 2%であるスギ林で一斉に火災発生リスクが生じたと判断されたためである。

1 月の群馬県では無降雨日が連続しておおよそ 39 日目と 55 日目、4 月の山形県では 35 日目に、林野火災の発生リスクのあるスギ林の面積が大きく増加する結果となった。群馬県での 39 日目と 55 日目、山形県での 35 日目における計算期間 1 日目からの積算全天日射量はそれぞれ、 34.13MJ m^{-2} 、 639.9MJ m^{-2} 、 642.5 MJ m^{-2} であった。

参考文献

- 1) 玉井・後藤（2020）水利科学，No.376：19-31.
- 2) 玉井ら(2025)森林総合研究所研究報告，24(1)：23-27.
- 3) 林野庁・秋田営林局（1960）山形地方すぎ林林分収穫表調整説明書，pp.103.
- 4) 林野庁・林業試験場（1955）北関東・阿武隈地方すぎ林林分収穫表調整説明書，pp.63.

キーワード：Relative solar radiation ratio, Fuel moisture, Plantation forest

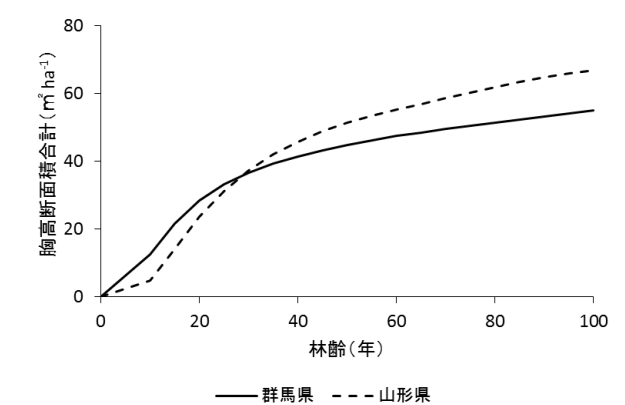


図-1 林齢別でのスギ林の胸高断面積合計

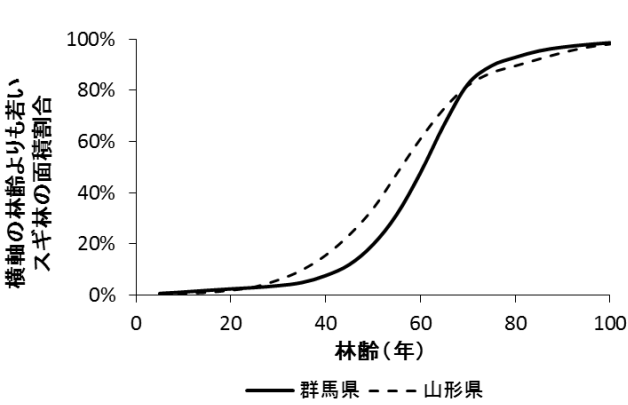


図-2 横軸の林齢よりも若いスギ林の面積割合

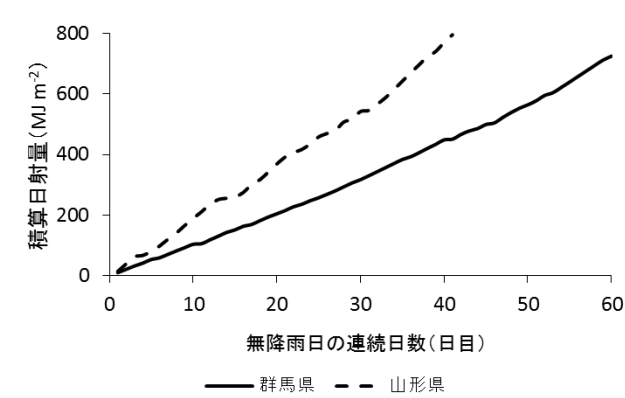


図-3 地方気象台で観測された計算期間中の積算日射量

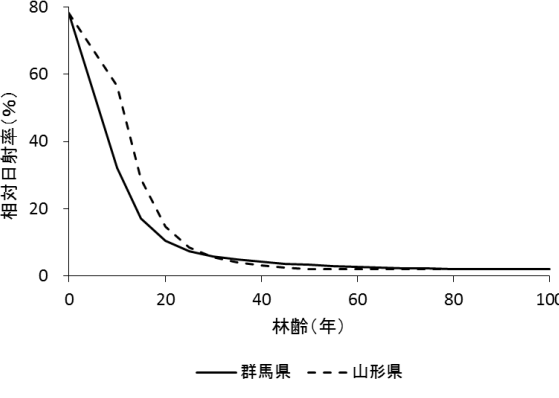


図-4 林齢別での相対日射率

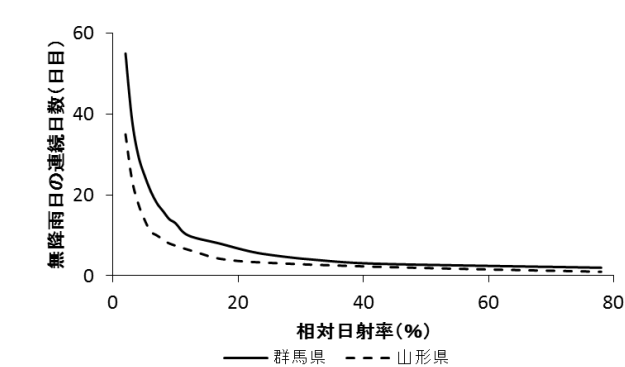


図-5 林床可燃物が可燃状態になるまでに要する無降雨日の連続日数

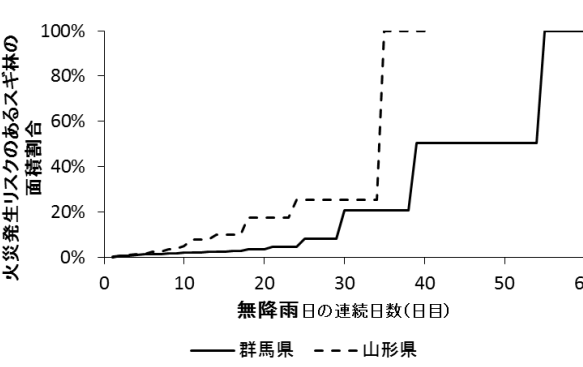


図-6 無降雨日の連続による林野火災発生リスクのあるスギ林面積の拡大速度

大船渡市林野火災被害地近郊の未被害のスギ林と広葉樹林における林床可燃物量

森林総合研究所森林防災研究領域 ○吉藤奈津子、小南裕志、
寺井水萌
森林総合研究所生物多様性・気候変動研究拠点 平田晶子
森林総合研究所森林災害・被害研究拠点 岩崎健太

1. はじめに

世界各地で気候変動に伴う林野火災の増大が懸念されている。日本では 1970 年代頃から出火件数も合計燃損面積も減少傾向であったが、2025 年以降は数百～数千 ha 規模の林野火災が複数発生している¹⁾。岩手県大船渡市では 2025 年に約 3,370ha にまで延焼し、多くの森林が被害を受けた。こうしたなか、林野火災リスクを考慮した森林管理を考えるにあたって、どのような樹種や林分条件で火災の危険度が高いのかを知る必要が高まっている。

森林の火災は一般にリター等の林床可燃物が燃焼する地表火から始まる。日本の森林で発生する火災の大部分は地表火である。地表火の勢いが増すと樹冠火に発展し急激に被害が拡大する。したがって地表火の強度を知ることは重要である。2025 年の大船渡市林野火災では一部で樹冠火が発生したものの大部分は地表火で、その強度は樹幹の燃焼痕の高さなどから見て場所によって大きな違いがみられた。地表火の延焼速度や強度には風速と傾斜に加え林床可燃物の量・質・含水比が影響する。本研究では林床可燃物量に着目し、大船渡市のスギ林及び落葉広葉樹林における違いを明らかにすることを目的とした。被害地の林床可燃物量を火災後に調査することはできないため、それに代わるものとして大船渡市の未被害地のスギ林と落葉広葉樹林を対象とした。

2. 方法

調査は岩手県大船渡市三陸町の越喜来湾の北側に位置する半島にあるスギ林 2 か所（スギ 1、スギ 2）、落葉広葉樹林 2 か所（落広 1、落広 2）の計 4 か所で行った（図-1）。いずれも 2025 年大船渡市林野火災の延焼範囲の外側に位置する未被害地である。4 つの調査地のうちスギ 2 と落広 2 は谷筋を挟んで隣り合っており、いずれも尾根付近にはアカマツが多い。2025 年大船渡市林野火災は 2 月から 3 月にかけて延焼したことに合わせて、同じく落葉後の冬である 2026 年の 1 月に調査を行った。

本研究では林床可燃物として L 層リターを調査対象とし、各調査地においてそれぞれ 30 地点で堆積深測定とサンプリングを行った。林床に直径 40cm のカラーを置き、その中の 7～10 ヶ所で堆積深を測定した後、カラー内の L 層リターを全て採取した。カラー外にはみ出る大きな枝等があった場合は、切断してカラー内に含まれる部分のみを採取した。採取したサンプルはオーブンで乾燥し乾燥重量を測定した。



図-1 調査地

延焼範囲は 2025 年 2 月 19 日及び 26 日発生 of 火災によるものを¹⁾を参照し著者がトレース。（地理院地図 Vector（国土地理院）を加工して作成）

3. 結果とまとめ

堆積深はスギ1で最も大きく平均12.1cm、最も小さいのは落広1で平均3.2cmであった。スギ2と落広2は同程度でそれぞれ平均が6.1cm、6.4cmあった(図-2)。乾燥重量はスギ1に比べて落広1は少なく、平均値はそれぞれ2.1、0.7kg/m²であった(図-3)。スギ2と落広2の乾燥重量は現在分析中である。落広1は堆積深も乾燥重量も他の調査地に比べて少ない地点が多く、数cmの堆積深でリターが連続的に存在し土壌が完全に覆われている場所もある一方で、リターが少なく疎らで不連続にしか存在せず土壌が露出している場所もあった。一方、スギ1と2、落広2は堆積深の最小値が比較的大きいことからわかるように、土壌が露出している場所はほとんど見られなかった。

可燃物量が多いと火炎長や火線強度は増大するので²⁾、含水比など他の林床可燃物条件に大きな違いがなければ、スギ1のように乾燥重量が多い場所は落広1のような少ない場所に比べると強度は大きくなりやすいと考えられる。また、落広1のように林床可燃物量が少なく不連続で土壌が露出している場所では、地表火は延焼しにくいと考えられる。本調査ではスギ林の方が落葉広葉樹林よりも比較的堆積深が大きい傾向がみられたものの、同じスギ林あるいは落葉広葉樹林であっても調査地による差異が見られた。また、延焼速度や火線強度には乾燥重量だけでなく含水比や堆積密度、個々のリターの表面積・体積比など林床可燃物特性に関する複数の要素が影響し³⁾、樹種によってそれら他の要素も異なると考えられる。加えて風速や地形の影響も大きい。実際の林地における火災の延焼リスクや強度に対する樹種の違いを評価するには、林床可燃物の量だけでなく他の要素の影響も含めて、さらに研究を進める必要がある。

参考文献

- 1) 総務省消防庁, 令和7年版消防白書. 2025.
- 2) Kreye et al., Effects of fuel load and moisture content on fire behaviour and heating in masticated litter-dominated fuels. International Journal of Wildland Fire 22, 440-445, 2013, DOI 10.1071/wf12147.
- 3) Rothermel, A Mathematical Model for Predicting Fire Spread in Wildland Fuels. Research Paper INT-115. Ogden, UT: USDA Forest Service, 1972.

キーワード：林野火災、林床可燃物、地表火

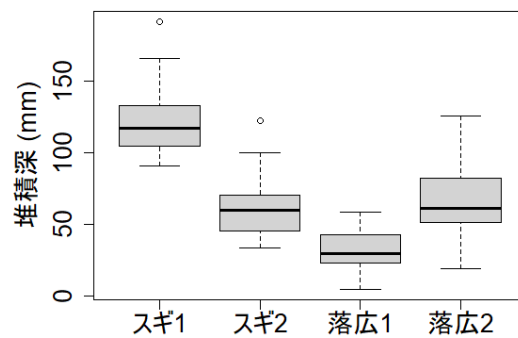


図-2 堆積深の比較

線:中央値, 箱:四分位範囲, ひげ:最大・最小値, 点: 外れ値

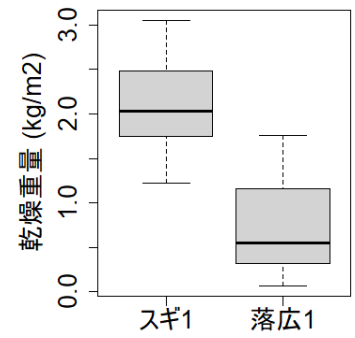


図-3 乾燥重量の比較

箱ひげ図の各要素は図-2と同じ

プロポーズドセッション | 学際的学会の総力を流域治水への推進力へ

2026年9月14日(月) 13:00 ~ 13:45 | 2Fホール(2F)

[OS-03] 学際的学会の総力を流域治水への推進力へ

座長:手計 太一(中央大学 理工学術院 社会理工学部 都市環境学科)

13:00 ~ 13:15

[OS-03-01] キャリブレーションフリーの流出モデルへの期待

*谷 誠¹ (1. 京都大学名誉教授)

13:15 ~ 13:30

[OS-03-02] 背水現象を利用した圃場への洪水導水手法の提案と再現計算による打倒性評価

*小柳 俊登¹、川村 勇斗²、手計 太一³、乃田 啓吾⁴ (1. 中央大学大学院理工学研究科、2. 国土交通省、3. 中央大学理工学術院、4. 東京大学大学院農学研究科)

13:30 ~ 13:45

[OS-03-03] 日タイ2流域の比較分析に基づく流域治水ガバナンス障壁の構造化

*鈴木 耕平^{1,2}、乃田 啓吾²、出村 沙代¹、手計 太一³、吉田 貢士²、木口 雅司²、沖 大幹²、吉見 和紘⁴ (1. 株式会社たがやす、2. 東京大学、3. 中央大学、4. 富山県立大学)

キャリブレーションフリーの流出モデルへの期待

京都大学名誉教授 谷 誠

1. はじめに

山地流域のピーク流量は、キネマティックウェーブ法で仮定される「有効降雨強度を受けて傾斜方向に流れる一次元流」によって形成されると説明されてきた。だが、小島ら（2025）は、「土壌層内の圧力水頭分布と風化基岩亀裂からの湧水流量の観測により、降雨の時間変動は鉛直不飽和浸透によってなだらかに変換されてピークが形成されること」を明らかにし、「その後の傾斜方向への流れは高速の選択流であるため、ハイドログラフに変形や遅れをほとんど生じさせない」と推測した。また、溪流河道でのハイドログラフの扁平化や遅れ時間について、Asano *et al.* (2019)は、「山地流域の河道多数点でのピーク流量の生起時刻の観測を行って、生起時刻の河道流下にとまなう遅れ時間を解析し、その結果から、斜面での流出過程においてピークの遅れ時間は非常に小さいこと」を示した。

以上の結果から、ピーク流量の形成とその遅れをもたらすメカニズムについて、従来の水文学の常識とは異なる課題が残されていることがわかる。小島らの観測結果については、鉛直不飽和浸透に基づく流出モデル（VZ モデル）による再現が可能になっており（Kojima and Tani, 2025）、今後、物理的根拠に基づく分布型流出モデルの開発方針の転換が求められる。そこで今後の研究課題について、5月に公刊した拙著「豪雨災害の水文学」（谷、2026）の内容をベースに、流出過程のなぞを解く新たな学際的研究プロジェクトの提案への期待をこめて発表したい。

2. 洪水流出応答における鉛直不飽和浸透の重要性とその流出応答への影響

貯留関数法では、累加雨量が飽和雨量を超えた場合は飽和流出率が与えられるが、その率がほぼ1になる流域、1より小さい流域に分かれるようである（Supraba and Yamada, 2015）。拙著第4章では後者の代表例である風化花崗岩の桐生試験地での観測結果を詳述しているが、ここでは前者について記述する。この場合は降雨総量と洪水流出総量が等しくなり、降雨波形の流出波形への変換過程が有効降雨分離過程と錯綜することがなくなって、流出メカニズムの問題が変換過程に絞込まれて単純化する。この変換過程は、冒頭に記したように傾斜方向流によって説明されてきたが、管見の限り、流出空間内部での水文量の時空間分布の観測実証は為されていない。一方、この変換を鉛直不飽和浸透が担うとの説明に対しては、小島らの研究以外にも流出空間内部の観測事例がある（例えば Montgomery and Dietrich, 2002；篠宮・吉永、2008）。さらに、この波形変換に対して貯留関数法で用いられる基礎式（ $S=kq^p$ ）については、Tani *et al.*, (2020) はリチャーズ式を用いた数値実験によって、鉛直不飽和浸透の解から得られる S - q 関係が上式で近似されること、 p の値が土壌層の厚さと土壌物理性によって決まることを明らかにしている。

以上から、有効降雨と洪水流量の時間変動の波形変換が主に鉛直不飽和浸透を通じて決まること、これが貯留量を基礎に置く流出モデルで流出応答を再現できる根拠であることが強く示唆される。とすれば、同一の地質の流域においては、従来の TOPMODEL 等の流出モデルが重視してきた地形よりも（例えば Hjerdt *et al.*, 2004）、むしろ、土壌層の厚さや土壌物理性の方が流出応答に対するセンシティブティが高い可能性がある。よって、すでに開始されている流域の基岩を含む地下構造と水文特性の関係に関する観測研究（Kosugi *et al.*, 2011; Katsura *et al.*, 2014; Inaoka *et al.*, 2024）の重要性がますます高まっている。よって、斜面水文学におけるこうした研究の発展が望まれる。

3. 無降雨期間の流出過程と蒸発散過程の相互作用

累加雨量が飽和雨量を超えるような大規模な降雨事例では、先に述べたように、流出寄与域の空間変動が小さくなる。このことは、貯留関数法による流出再現が大規模降雨では容易になるとの大月ら（2013）の結果とも整合的である。大月らは同時に、中小規模の降雨事例に対する再現の困難さをも指摘している。また VZ モデル適用においても、寄与域の変動する場合には再現性が大きく低下する（谷、2023）。したがって今後は、波形変換における鉛直不飽和浸透の役割をふまえたうえで、夕立型を含む中小規模の降雨条件での流出寄与域変動のメカニズム解明が重要である。

この寄与域変動の問題はまた、無降雨期間における土壌層や風化基岩内の水流動および蒸発散によって生じる水文

量の空間分布の時間変動現象に密接にかかわっている。土壌を最も乾燥させるのは蒸散であり、それは土壌と植物と大気の連続系における相互作用現象の中で把握すべきなのだが（Tanaka *et al.*, 2004）、この分野の研究はまだまだ未熟である。その理由としては、大気陸面交換過程は鉛直方向、流出過程は水平（傾斜）方向という、モデルで主に対象としてきた方向軸のずれが挙げられる。十分に土壌層が湿潤な期間では、VZ モデルの仮定である地表面付近では鉛直不飽和浸透が卓越すると考えられるのだが、その前後、土壌層が乾燥していく期間と降雨によって湿潤化する期間における水文量（圧力水頭、体積含水率、不圧地下水面等）の 3 次元分布の時間変化には不明の点が多い。斜面水文学の観測とモデル化においては、流出と蒸発散の相互作用を組み込んだ研究が今後重要になるだろう。

その際、極端現象への取り組みが重要である。拙著では、極端豪雨について水文学と斜面地形学の遷移過程としてとらえるべきことを第 5 章で記述したが、極端少雨の問題は言及しておらず、若干ふれておきたい。90 年の歴史をもつ竜ノ口山森林理水試験地の年雨量の最小値は 1939 年の 622mm で、南谷と北谷の年総流量は 52、50 mmであったが、流水が涸れる期間はなかった（谷・細田、2012）。興味深いのは、降雨時の洪水流の規模が通常年に比べて小さい傾向が年を超えて続いたことであって、平年には隠れていた流出経路が顕在化したとみられる。また、渇水期間にも低下しにくい森林の蒸散特性が見出されており（Tanaka *et al.*, 2004）、水資源確保には林業伐採が効果的である。こうした研究には、頻度の低い極端現象を取得できる高精度の小流域観測の継続が不可欠であることを特に強調したい。

4. 山地流域の溪流河道における洪水流の伝播

山地流域の溪流河道での洪水流に関する研究では、はじめに述べた Asano *et al.* の観測・解析手法を広く展開すべきである。洪水防御計画においては洪水流の追跡が必要になるが、山地溪流では基岩が階段状に露出する区間と堆積土砂のある部分が交互に現れ、加えて多数の支流の合流もあって、現象が複雑である。これに対して、ピークの遅れや流量の扁平化に関する観測情報は乏しい。そこで小流域での研究的な観測と大流域での治水当局の組織的な観測とを組み合わせることにより、洪水流の伝播に関するメカニズムの解明を期待したい。

5. キャリブレーションフリーの流出モデルに必要なトップダウンとボトムアップ両研究の結合

流出過程に関する研究では、モデルを前提にして流量や流域内の水文量の変動特性を理解しようとする膨大な数のトップダウン的研究と、観測によって流出メカニズムを知ろうとする比較的少数のボトムアップ的研究が進められてきた。しかし、前者では流域内部の水文量観測による検証がなされない場合が多く、後者では個別観測結果にとどまり一般性を追求しないことが多い。結果的に、計算流量が観測流量に合うようにモデルパラメータの値を決めざるを得なくなり、試行錯誤を必要としないキャリブレーションフリーの流出モデル開発にとっての桎梏となってきた。

この根本的な原因は、水文学には大気科学や海洋学とは違って、「たとい境界条件が不均質であっても、流体の移動空間自体は均質である」との仮定が成り立たないことに由来する。そのため、トップダウン的研究において、水移動空間における不均質性の影響が小さくなるような特別な条件における解析が必要になる。拙著第 2 部では、特別な条件として定常状態に準じる状態を対象とすることでこのテーマに取り組んでいる。特に第 7 章では、Tani（2008; 2013）が開発した土壌物理学の相似則をふまえ、「ピーク流出強度の低下を、貯留量の流出強度に対する微分で定義される流出平準化機能によって定式化し、これに対する流域条件のセンシティブティを、一定の降雨強度を与えた場合における無次元化されたリチャーズ式の定常解を用いて定量評価する解析手法」を解説した。流出過程の研究者にはその方法論の内容を十分に咀嚼し、今後のキャリブレーションフリーの流出モデル開発につないでいただきたい。

文献

Asano *et al.*: *WRR* 56, 2020 ; Hjerdt *et al.*, *WRR* 40, 2004 ; Inaoka *et al.*, *HP* 38, 2024 ; Katsura *et al.*: *JoH* 511, 2014 ; Kojima and Tani: *JoH* 660, 2025 ; 小島ら : 水文学会誌 38, 2025 ; Kosugi *et al.*: *WRR* 47, 2011 ; Montgomery and Dietrich: *WRR* 38, 2002 ; 大月ら、水文学会大会要旨集 26, 2013 ; 篠宮・吉永 : 水文学会誌 21, 2008 ; Supraha and Yamada: *JJSCE*, Ser. B1 (Hydraulic Engineering) 71 (4) , 2015 ; Tanaka *et al.*: *JGU* 109, 2004 ; Tani: *JoH* 360, 2008 ; Tani: *HESS* 17, 2013 ; 谷 : 水文学会誌 36, 2023 ; 谷 : 豪雨災害の水文学、鹿島、2026 ; 谷・細田 : 水文学会誌 25, 2012 ; Tani *et al.*, *JoH* 588, 2020.

キーワード

流出メカニズム、物理的流出モデル、土壌・植物・大気連続系、流出平準化機能、キャリブレーションフリー

背水現象を利用した圃場への洪水導水手法の提案と再現計算による妥当性評価

中央大学大学院理工学研究科
国土交通省
中央大学理工学術院
東京大学大学院農学研究科

○小柳俊登
川村勇斗
手計太一
乃田啓吾

1. はじめに

令和 3 年にいわゆる流域治水関連法が施行され、流域全体で雨水を貯留・浸透させる多層的な治水対策が進められている。ハード・ソフト対策に加え、流域内の土地利用や既存資源を活用した治水対策が求められている。本研究グループは、流域内に広く分布し、一時的な貯留空間として利用可能な圃場の洪水緩和機能に着目した。林り是全国の水田の有効貯水量は約 10.6 億 m³、畑の有効貯水量は約 8.0 億 m³と推定しており、圃場の持つ大きな貯留ポテンシャルを示している。

現在、圃場を活用した施策の一つに水田貯留（田んぼダム）があるが、田んぼダムは圃場に降った雨水の流出を抑制する施策であり、その効果は基本的に当該地域での降雨に依存する。そこで本研究グループは、河川水位上昇時に排水路等で生じる背水を利用し、圃場へ洪水を一時的に導水・貯留する手法を提案した²⁾。圃場への洪水導水の社会実装には、営農者の理解が不可欠であり、その判断材料として、導水時の浸水深、湛水範囲、排水過程を定量的に示す科学的根拠が求められる。以上のことから、本研究では、2023 年 7 月豪雨時に富川地区で生じた圃場浸水を対象に、平面二次元不定流計算によって浸水・排水過程を再現し、背水を利用した洪水導水手法の妥当性を評価することを目的とする。

2. 研究手法概要

(1)研究対象領域：図-1(a)に、神通川の支川である井田川の両岸に位置し、富山県富山市を中心に約 12.6 km²の受益地を有する井田川土地改良区を示す。本研究では井田川、山田川等の河川及び土地改良区内を流れる用排水路を解析対象とした。図-1(b)は、井田川と山田川の合流部付近に位置する富山市富川地区の圃場を示している。神通川は国内屈指の急流河川であるが、本川に治水ダムを有していない。そのため、同流域の治水対策は河道掘削等の河道内対策に依存している。富山市のハザードマップでは、富川地区において 5.0～10.0 m の浸水深が想定されており、洪水被害リスクの高い地域である。

(2)本手法の妥当性評価：提案手法の妥当性を検証するため、図-1(b)に示す富山市富川地区の圃場を対象に再現計算を実施した。対象事例は、線状降水帯の発生により排水路が溢水し、圃場に浸水が生じた 2023 年 7 月 12～13 日の豪雨とした。

数値実験には浸水域の時空間変化を表現可能な平面二次元不定流計算を用いた。また、対象圃場に位置する用排水路の河道モデルは、土地改良区より提供を受けた諸元データ、国土地理院が提供する空間分解能 5 m の基盤数値標高モデル（以降、5 mDEM）と RTK-GPS を用いた現地測量データを統合し、用排水路の河道モデルを作成した。

数値実験の精度を確保するうえで、氾濫域における標高データは極めて重要である。そこで、2026 年 1 月に図-2(a)に示す富川地区の圃場において、RTK-GPS による現地測量を 20 m 間隔で実施した。比較対象は上記のデータに加え、富山県より提供を受けた LP 測量データ（2019 年 9 月実施、空間分解能 1 m）から作成した LP1 mDEM、5 mDEM である。

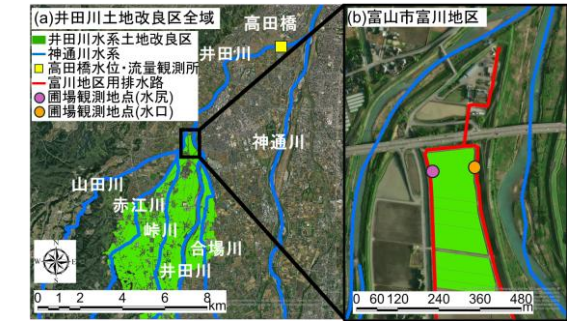


図-1 研究対象領域の概要 ((a)井田川土地改良区, (b)富山市富川地区)

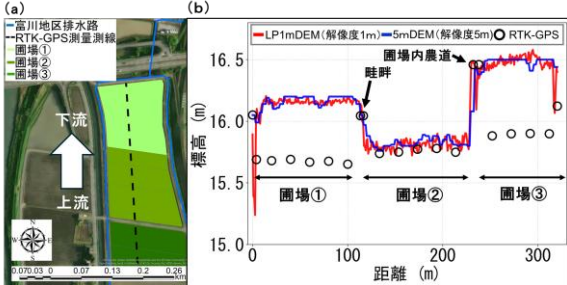


図-2 圃場内測量箇所及び標高データの比較 ((a)RTK-GPS による測量実施箇所, (b)複数の標高データの比較)

図-2(b)に圃場内測量実施地点における標高データの比較を示す。本研究では、RTK-GPSによる現地測量データを基準値として扱った。比較の結果、LP1 mDEM 及びオープンデータである5 mDEM は、圃場①、③において畦畔や農業用道路の標高を上回る値を示しており、RTK-GPS 測量データに対して標高を過大に評価していることが確認された。

そこで、本研究では5 mDEM より高解像度であるLP1 mDEM と RTK-GPS 測量結果を比較した。その結果、両者の差は圃場①では約50 cm、圃場②では約5 cm、圃場③では約60 cm となり、すべての圃場において、LP1 mDEM は RTK-GPS 測量値より高い標高を示した。この標高値の乖離は、LP 測量時の圃場内作物の繁茂状況が影響した可能性がある。以上より、本研究では圃場ごと平均誤差に基づき、LP1 mDEM の標高値から圃場①で50 cm、圃場②で5 cm、圃場③で60 cm を一律に減じた補正標高データを作成し、解析に用いた。

本研究では、当該日の降水量を用いて推定した流量ハイドログラフを、対象圃場に接続する2つの排水路に上流境界条件として与えた。井田川、山田川等の河川については、高田橋観測所の観測データを基に流量ハイドログラフを作成し、境界条件として与えた。また、排水路と山田川との合流部に位置する樋門については、実際の操作実績に基づき、13日1時35分に閉鎖する操作を実施し、9時45分に開放する条件を与えた。

数値実験の再現性は、図-1(b)に示す富川地区の圃場内に設置された水位計の観測データと、観測地点周辺9メッシュにおける計算浸水深を比較することで評価した。

3. 解析結果とまとめ

図-3は、富山市富川地区における降水量、ならびに数値実験と観測値による浸水深の時系列変化を比較したものである。図中における黒色は圃場の水尻側、赤色は圃場の水口側のデータである。圃場内に設置した水位計の正確な位置を特定できなかった。また、水位計は給排水口に近く、圃場内でも局所的に勾配の大きい地点に設置されていた。このため、数値実験値として水位計設置地点周辺9メッシュの最大値および最小値を示した。

解析の結果、数値実験による浸水深の波形は、浸水開始直後の水位上昇からピーク、減衰過程に至るまで、観測値と概ね一致した。また、樋門開放後には、圃場内に貯留された水が排水路を通じて山田川へ排水される過程も再現され、洪水導水後の排水プロセスについて一定の妥当性が確認された。浸水開始時刻から13日12時までの Nash-Sutcliffe 係数 (NSE) は、水口で0.82、水尻で0.71であり、概ね良好な再現精度を示した。

図-4は、再現計算により得られた富川地区における12日23時30分および13日3時の浸水深分布を示す。同地区では23時30分に排水路下流部に位置する圃場①から浸水が開始された。樋門閉鎖から約1時間30分後の13日3時には、浸水が圃場全体へ徐々に拡大し、浸水深が増加した。

以上より、本研究で構築した数値モデルにより、背水を利用した圃場への導水時に生じる浸水および排水挙動を概ね再現できることが示された。

【謝辞】

本研究の成果の一部は、一般財団法人河川情報センター研究助成の支援を受けた。ここに記して敬意を表する。

参考文献

- 1) 林直樹, 土地利用の変化が農林業の多面的機能に与える影響, 電力中央研究所報告書, 2012
- 2) 上野陽平ら, 農事暦を考慮した背水による農地への積極的な洪水導水の検討, 河川技術論文集, Vol.35, No.1, pp.41-57, 2022

キーワード: flood diversion, backwater, paddy fields, Ida River Basin, Toyama

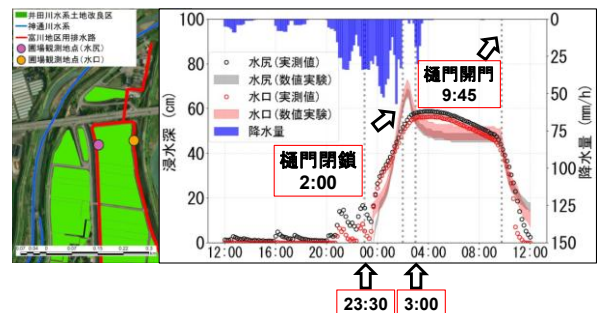


図-3 富山市富川地区における数値実験と観測データの浸水深の時系列変化の比較

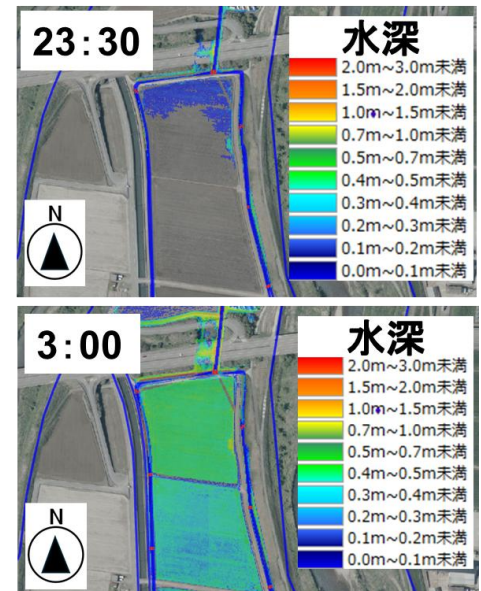


図-4 再現計算における富川地区での23時30分、3時における浸水深の分布

日タイ 2 流域の比較分析に基づく流域治水ガバナンス障壁の構造化

株式会社たがやす ○鈴木 耕平・出村 沙代
東京大学 乃田 啓吾・吉田 貢士・木口 雅司・沖 大幹
中央大学 手計 太一
富山県立大学 吉見 和紘

1. はじめに

気候変動に伴う水災害の激甚化・頻発化は、河川管理者主体のハード整備を中心とした従来型治水対策の限界を露呈させている。日本国内では流域全体の関係者が協働して水害リスクを低減する「流域治水」への政策転換が急務となっており（国土交通省, 2021），多岐にわたるステークホルダーの行動変容と合意形成を前提とした社会実装が求められている。Oki（2024）が提唱する「すべての人のための、すべての人による水インフラ」という概念はこの方向性と合致し，官主導型管理から住民主体の共創への移行を促すものである。この視点は，流域治水における多主体協働の理念を国際的に捉え直す上で有用である。流域治水が直面するガバナンス上の障壁は，国・地域・文化によって大きく異なると考えられるが，その構造を国際的に比較・体系化した研究は限られている。

本研究は，グラフィックファシリテーション（Graphic Facilitation; 以下 GF）を用いた 3 段階の参画型共創プロセスを富山県小矢部川流域（先進国農村型）とタイ北部メーサーイ川流域（開発途上国国境地帯型）に適用し，「地域固有の障壁」と「国境を越えた普遍的課題」の構造化を試みた。あわせて，GF が異なる立場のステークホルダー間の知識統合を促進する境界対象（Star & Griesemer, 1989）として機能する条件を明らかにすることを目的とする。

2. 調査方法

対象地は，①研究チームが事前に社会的ネットワークを有する，②調査直前に深刻な洪水被害を経験している，③社会制度・文化・自然条件が対照的，の 3 条件を満たす 2 流域を選定した。小矢部川流域は，2023 年 7 月の線状降水帯による豪雨で甚大な被害を受けた先進国農村型流域である（WS：2024 年 7 月 6 日，97 名参加）。メーサーイ川流域は，2024 年 9 月台風ヤギによる過去最大規模の洪水を経験したタイ・ミャンマー国境河川である（WS：2025 年 3 月 13 日，30 名参加）。

研究デザインは複数ケース質的比較事例研究（Yin, 2014）の枠組みを採用し，複製論理に基づき 2 流域の結果を体系的に比較した。同一の 3 段階参画型共創プロセス（Phase 1：事前ヒアリング→Phase 2：GF を用いたワークショップ→Phase 3：事後ヒアリング）を両流域に適用した（表 1）。データ分析はテーマティック分析（Braun & Clarke, 2006）と SCAT（大谷, 2008）の 2 段階で実施し，両流域共通テーマと流域固有テーマを構造化した。

表 1 3 段階参画型共創プロセスの構成

段階	実施内容	設計意図
Phase 1 事前ヒアリング	キーマンへの半構造化インタビュー	地域固有の課題・障壁を事前に抽出し WS の問いを設定
Phase 2 ワークショップ	科学的データ共有＋グループ対話＋GF リアルタイム可視化	科学知と生活知の統合；障壁の言語化と共有
Phase 3 事後ヒアリング	WS 後～4 週間以内の半構造化インタビュー	WS 前後の認識変化を検証；次のアクションを確認



図 1 メーサーイ川流域ワークショップにおける GF 記録（2025 年 3 月 13 日）作画：出村沙代

3. 結果

両流域の SCAT での分析の結果，テーマ「情報伝達と実効的避難行動の乖離」が両流域に共通して抽出された（表 2）。小矢部川では「備え方・指示の受け取り，わからない」「夜はどう動くか」，メーサーイ川で

は"ANNOUNCEMENT IS SAME (Be careful)""WARNING NOT EFFECTIVE""Do I need to escape?"という発言が、独立した SCAT での分析を経て同一の概念構造として収束した。また「空間的利害の非対称性（上流 vs 下流）」も共通課題として確認された。

一方、地域固有の障壁の性質は 2 流域で質的に異なった。小矢部川では、田んぼダムの導入が治水上有効であると一部の参加者から提言されつつも、農繁期の労働負担や費用負担が農家にとって現実的な制約となっており（発言：「今の時期ムリでしょ！！」）、高齢化に起因する防災情報へのアクセス格差も重なって、社会実装の障壁として析出された。メーサーイ川では、洪水を引き起こす降雨の約 8 割が国境を越えたミャンマー側の流域に降るため、タイ側だけでは上流の水文情報を取得することができず、この越境的な水源構造そのものが治水ガバナンスの根本的な障壁という認識となっていた。加えて、ヒ素等による水質汚染リスクや、高齢者のプライバシー意識・文化的背景に起因する情報共有の困難さが複合した多層的障壁が確認された。（表 2）。

表 2 流域ガバナンス障壁の構造化枠組み（青地：普遍的課題，白地：地域固有の障壁）

抽出テーマ	小矢部川（先進国農村型）	メーサーイ川（開発途上国国境地帯型）
【普遍的課題①】 警報→行動の変換不全	「どう動くか」の判断困難（SCAT-1）	"WARNING NOT EFFECTIVE"（SCAT-3）
【普遍的課題②】 空間的利害の非対称性	農家（上流・負担）vs 下流住民（受益）（SCAT-2）	"WATER 80% MYANMAR"（SCAT-4）
生業・土地利用との衝突（地域固有）	「今の時期ムリ」農家の労働・経済負担（SCAT-2）	—
高齢化による情報インフラ限界（地域固有）	防災無線難聴・デジタル格差	—
越境の情報アクセスの遮断（地域固有）	—	国境による上流データ不能（SCAT-4）
複合リスク・行政断絶・文化的障壁（地域固有）	—	ヒ素汚染・機関間情報不一致・高齢者情報開示拒否

4. 考察

「警報→行動の変換不全」は、社会インフラ・言語・制度的文脈が大きく異なる両流域で独立した SCAT での分析を経て同一の概念構造として収束しており、Lindell & Perry（2012）の保護行動決定モデル（PADM）における「Know（脅威認知）から How（保護行動）への心理的連鎖の断絶」として理論的に位置づけられる。これは技術的な情報提供の精度向上と並行して、住民が行動シナリオを共に設計する参画プロセスへの投資を正当化する実証的根拠である。

事前・事後ヒアリングの比較から、参加者の当事者化プロセスは「課題からの距離感」によって規定されることが示された。小矢部川（距離が遠い文脈）では受動的参加から「上流者として下流のために行動しなければ」という空間的当事者意識への転換が確認された一方、メーサーイ川（距離が近い文脈）では WS が即座に「AI を用いた早期警戒システム構築」等の政策提言へ移行した。この差異は「文脈適応型設計」の必要性を示唆する。

GF が境界対象として機能した共通条件として、①異質な知識の同一場への持ち込み、②研究者による中立的な場の設計、③リアルタイム可視化のフィードバック、の 3 点が重要な条件として示唆された。小矢部川では「科学者も一緒に話す場に入っている！！」、メーサーイ川では「言語の壁を溶かす」という発言が記録され、多言語環境においても境界対象としての機能が発揮されたことが示された。

5. 結論

本研究から 3 点が示された。第一に、「警報から保護行動への翻訳の失敗」と「空間的利害の不均衡」は国境・文化・制度を越えた普遍的課題であり、参画プロセスへの投資を正当化する実証的根拠となる。第二に、参加者の当事者化プロセスは「課題からの距離感」によって規定され、文脈適応型設計が有効である。第三に、異質な知識の同一場への持ち込み・中立的な場の設計・リアルタイム可視化という条件が揃うことで、GF は流域ガバナンスの障壁を参加者自身が言語化・可視化する境界対象として機能する。

【参考文献】

1) 国土交通省（2021）：流域治水関連法（令和 3 年法律第 31 号）。

2) Lindell, M.K. & Perry, R.W. (2012): The protective action decision model. Risk Analysis, 32(4), 616–632.

3) Oki, T. (2024): Water infrastructure of all, by all, for all. Nature Water, 2, 706–708.

4) Otani, H. (2008): SCAT: A qualitative data analysis method. Bull. Grad. School of Education, Nagoya Univ., 54(2), 27–44.

5) Star, S.L. & Griesemer, J.R. (1989): Boundary objects. Social Studies of Science, 19(3), 387–420.

6) Yin, R.K. (2014): Case Study Research (5th ed.). SAGE.

7) Braun, V. & Clarke, V. (2006): Using thematic analysis. Qualitative Research in Psychology, 3(2), 77–101.

キーワード：流域治水，グラフィックファシリテーション，合意形成，SCAT での分析，国際比較

プロポーズセッション | 社会水文学：水の超学際研究に向けて

■ 2026年9月14日(月) 15:35 ~ 16:50 | 金 2Fホール(2F)

[OS-04] 社会水文学：水の超学際研究に向けて (1)

座長: 飯泉 佳子(日本大学 文理学部学科)

15:35 ~ 15:50

[OS-04-01] 社会水文学の超学際研究への転換に向けてーこれまでの展開と課題ー

*中村 晋一郎¹、小森 大輔²、檜山 哲哉³、飯泉 佳子⁴ (1. 名古屋大学 大学院工学研究科、2. 東北大学 災害科学国際研究所、3. 名古屋大学 宇宙地球環境研究所、4. 日本大学 文理学部学科)

15:50 ~ 16:05

[OS-04-02] 信濃川流域における治水と都市開発のシステムレベルでの経済分析：短期での最適化が生む長期的な脆弱性

*石渡 幹夫¹、川崎 昭如²、福渡 隆³ (1. 明治大学 経営学部、2. 東京大学未来ビジョン研究センター、3. 国土交通省近畿地方整備局)

16:05 ~ 16:20

[OS-04-03] 水災害による貧困固定化と格差拡大：東南アジア洪水常襲地帯における世帯調査に基づく実証分析

*川崎 昭如¹ (1. 東京大学未来ビジョン研究センター)

16:20 ~ 16:35

[OS-04-04] 気候変動影響を考慮した全球将来人口分布推計と極端気象リスク評価への応用

*佐野 太一¹、瀬谷 創¹、沖 大幹² (1. 神戸大学 大学院工学研究科、2. 東京大学 大学院工学系研究科)

16:35 ~ 16:50

[OS-04-05] Decoding Human-Flood Interactions through Historical Religious Architecture: A Socio-Hydrological Approach in the Chao Phraya River Basin

*ZHAOLONG GU^{1,2,3}, Daisuke Komori^{1,2,3}, Sartsin Phakdimek⁴, Thapthai Chaithong⁵ (1. The International Research Institute of Disaster Science (IRIDeS), Tohoku University, 2. Green Goals Initiative, Tohoku University, 3. Graduate School of Environmental Studies, Tohoku University, 4. School of Geotechnolgy, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, 5. Department of Geography, Faculty of Social Sciences, Kasetsart university, Thailand)

社会水文学の超学際研究への転換に向けてーこれまでの展開と課題ー

名古屋大学大学院工学研究科 ○中村晋一郎
東北大学災害科学国際研究所 小森大輔
名古屋大学宇宙地球環境研究所 檜山哲哉
日本大学文理学部学科 飯泉佳子

1. はじめに

現代の水問題は、気候変動、人口動態の変化、インフラの老朽化、さらには社会的格差の拡大など、多様な要因が複雑に絡み合う形で顕在化している。こうした問題を理解するためには、自然科学のみならず、人文・社会科学を含む学際的アプローチが不可欠である。社会水文学は、2010年代に人間と水の相互作用（人間-水相互作用）を動的かつ双方向的なフィードバックとして捉える枠組みとして提案され、人間-水相互作用を理解するための学際的な研究分野として発展してきた¹⁾。近年では、これまでの「理解」のための学際研究から、水問題解決のための意思決定と実践を伴う超学際研究への転換が課題となっている。本発表では、これまでの国内外における社会水文学の展開を整理するとともに、社会水文学の超学際研究への転換に向けた課題と方向性を議論する。

2. ここまでの社会水文学の展開

社会水文学は、理論的枠組みの構築と国際的な研究コミュニティの形成を両輪として発展してきた。特に、国際水文科学協会（IAHS）の10ヵ年科学計画「Panta Rhei—Everything Flows」（2013-2022）では、同学会内に設置された「Human-Water Feedbacks Commission」などが中心となって各国で社会水文学研究が推進され、人間-水相互作用のメカニズムを理解するための理論的基盤が整備されてきた。その成果として、2025年にはこれまでの知識と研究成果を統合した書籍「Coevolution and Prediction of Coupled Human-Water Systems—A Sociohydrologic Synthesis of Change in Hydrology and Society」が刊行されるなど、着実な理論的発展が見られる。

また、研究コミュニティ形成の場として、国際社会水文学会議（ISHC）は、米国地球物理学連合（AGU）、欧州地球科学連合（EGU）、国際測地学・地球物理学連合（IUGG）、IAHS等の主要な国際会議と並んで、社会水文学のコミュニティ形成を担う中核的な場となっている。2021年にオランダ・デルフトで開催された第1回ISHCに続き、第2回ISHCが2025年7月19日から21日まで東京大学において開催され、35カ国から375名（うち日本からは167名）が参加した。第2回ISHCでは「Expanding and Mainstreaming Sociohydrology toward Transdisciplinary Praxis（超学際の実践に向けた社会水文学の拡大と主流化）」をテーマとし、これまで人間-水相互作用のメカニズムの理解に重点が置かれてきた社会水文学を、実社会の課題解決に向けた実践（praxis）へと展開していく方向性が打ち出され、この学問が「理解のための科学」から「実践科学」へと転換するための重要な節目として位置づけられた。国内においても、個別の研究の展開に合わせて、水文・水資源学会におけるグループ研究やプロポーздセッション、日本学術会議社会水文学小委員会等の設置、さらに社会水文学に関する解説論文や総説の出版等を通して²⁾、学際的な対話の場と、国内の研究者コミュニティの形成が推進されてきた。

3. 社会水文学の水の超学際研究に向けた課題

以上のように、社会水文学は理論的枠組みの構築と国際・国内コミュニティの形成において着実な発展を遂げてきた。これまでの社会水文学は、理論的枠組みや方法論を提供することで複雑な人間-水相互作用の理解に大きく貢献してきたが、実証性や定量化を重視するあまり地域ごとの違いや社会的側面が過度に単純化されていること、あるいは、実際の意思決定や政策への適用が限定的であるといった課題が盛んに指摘されている。「理解のための科学」を「実践科学」へと接続するための枠組みと方法論は未だ十分に確立されていない。

この転換を実現するにあたり、二つの変革の必要性が指摘されている。一つは「grounded：方法論・認識論の転換」である。「grounded」とは、知識は実際の課題や現場の中に存在しており、研究者は外部からの観察者ではなく地域への関与者として、地域の歴史・文化・社会構造に根ざした文脈依存的な理解を追求することを指す。

Zwarteveen et al. (2025) は、社会水文学が定量化・一般化を重視するあまり地域固有の社会的文脈を捨象してきたと批判し、現場に根ざした認識論への転換を提唱している。もう一つは「praxis: 実践への転換」である。「praxis」は、知識は社会とともに使われるべきものであるとの立場から、研究の成果を政策や現場の意思決定へと直接接続し、研究者が実課題解決に関与することを指す。Nakamura et al. (2025) は、社会水文学が理解のための科学から超学際的な実践科学へと展開するための枠組みとして praxis の概念を中心に据え、研究者が意思決定プロセスに直接関与することの重要性を指摘している。

この二つの転換は同時期ではあるものの個別に提示されたが、現場や文脈依存的な理解なしに課題解決は成立しないため、これらは連続的な事象として見るべきだろう。しかし、この二つの転換を同時に追求することには固有の緊張関係が伴う。第一に、現場に根ざした知識は個別の文脈に深く埋め込まれているがゆえに、それをより広い政策や他地域へと応用するための一般化が難しい。第二に、研究者が意思決定や政策形成に直接関与することは、科学の客観性・中立性をいかに保つかという問いを生じさせる。これらの緊張関係を意識的に扱いながら、二つの転換を同時かつ双方向的に推進することが、社会水文学を超学際研究へと転換させるために必要であろう。

この二つの転換を接続する方法論の一つに参加型アプローチがある。参加型アプローチとは、行政・NGO・市民といった主体を研究プロセスおよび意思決定の両面に巻き込む方法論であり、超学際研究の中核をなす知識の共創を実現する手段として、これまで水分野でも広く議論されてきた。研究プロセスへの参加は現場に根ざした知識の収集を可能にし、意思決定への参加はその知見を政策や現場へと直接実装することを支える。この二段階の参加を通じて、理解から実践までを一貫して支える統合的な枠組みの構築が、社会水文学の超学際研究への発展の核となると期待される。近年の社会水文学における参加型アプローチの実践として、例えば Coletta et al. (2024) は、参加型モデリングを用いて、研究者とステークホルダーが協働しながら洪水リスクと都市システムの相互作用を定量化し、グリーンインフラ導入に向けた意思決定を支援した。このアプローチにより、ステークホルダーの現場の知識をモデル構造に直接反映することで、科学的知見と地域の状況と課題を統合した適応戦略の設計を可能とした。

4. おわりに

本発表では、社会水文学の発展を踏まえ、水の超学際研究としての展開に向けた課題と方向性について議論した。これまでの社会水文学は、人間-水相互作用の理解を中心に発展してきたが、今後はその知見を実際の課題解決へと接続する段階にある。ここまで「grounded: 方法論・認識論の転換」と「praxis: 実践への転換」という二つの変革の必要性が指摘されており、それらをつなぐ参加型アプローチが中核的な方法論となるだろう。

【謝辞】

本発表は、日本学術会議社会水文学小委員会の活動の一環で実施します。また本研究は、JST 創発的研究支援事業 JPMJFR241H の支援を受けたものです。

参考文献

- 1) Tian et al., eds. Coevolution and prediction of coupled human-water systems: a sociohydrologic synthesis of change in hydrology and society. Elsevier, 2025, ISBN: 9780443417368.
- 2) 中村ら, 社会水文学の進展と日本における学際研究の可能性: 価値システム, ガバナンス, 文化, 歴史からのアプローチ. 水文・水資源学会誌, Vol.38, No.1, pp.43-65, 2025.
- 3) Zwarteveen et al. A situated proposal for a grounded approach to socio-hydrology. Journal of Hydrology, 2025, 134828.
- 4) Nakamura et al. Expanding and mainstreaming sociohydrology toward transdisciplinary praxis. Frontiers in Water, 2025, 7: 1629905.
- 5) Coletta et al., Socio-hydrological modelling using participatory System Dynamics modelling for enhancing urban flood resilience through Blue-Green Infrastructure. Journal of Hydrology, 2024, 131248.

キーワード: sociohydrology, human-water feedbacks, grounded, praxis, participatory approach

信濃川流域における治水と都市開発のシステムレベルでの経済分析：短期での最適化が生む長期的な脆弱性

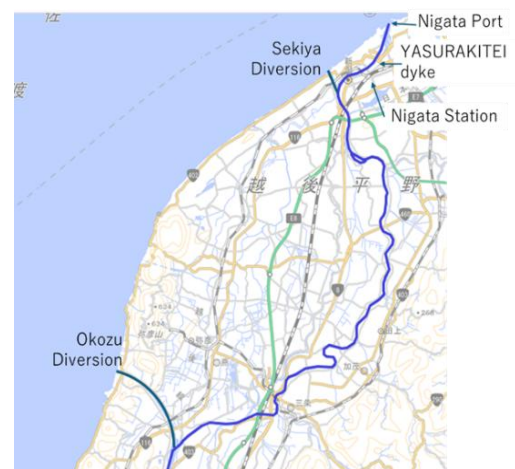
明治大学経営学部 〇石渡 幹夫
 国土交通省近畿地方整備局 福渡 隆
 東京大学未来ビジョン研究センター 川崎 昭如

1. はじめに

気候変動下において水害対策は長期的な視点が求められる¹⁾。しかし、従来の費用便益分析は個別事業を20～50年で評価するため、長期間にわたる流域全体での、社会経済や人々の価値観の変化、そして複数事業による影響を捉えきれないという限界を持つ。また、治水構造物がリスク認知の低下を介して氾濫原での開発を促し、かえって脆弱性を拡大させる「堤防効果」や「安全開発パラドックス」が指摘されている^{2),3)}。しかしながら、こうした人間－水システムの複合的な動態を世紀規模での経済評価で体系的に定量化した研究は限られている。本研究は、信濃川を対象に新潟市域における一連の治水・開発事業の効果を、プロジェクトレベルとシステムレベルの両視点から再構築する。後付けで事業を批判するのではなく、特に、治水・都市開発事業が進行する途上国にとって、気候変動・経済社会の変化、および価値観の変容を踏まえた将来の治水戦略への教訓を導き出すことを目的とする。

2. 対象地域と方法

信濃川は流路延長 367 km、流域面積 11,900 km²、流域人口 283 万人を擁する。下流の越後平野は信濃川と阿賀野川の沖積堆積物により形成された低湿地であり、江戸期以来、排水・分水・築堤等の大規模改修を経て稲作地帯として整備されてきた。本研究では、大河津分水（1924 年通水）、河道埋立（1933～1942 年）、1963 年の埋立計画（1964 年新潟地震を契機に中止）、関屋分水（1972 年通水）、およびやすらぎ堤事業（1987 年～）の一連の治水・都市開発事業を分析対象とする（図－1）。治水事業の効果・費用は国土交通省・新潟県・新潟市の報告書等のデータを使用した。2025 年 7 月に施設状況を確認するため現地踏査を実施した。埋立事業の便益は2015 年地価公示価格を用いた。費用と便益は国土交通省「治水経済調査マニュアル」のデフレータを用いて2015 年価格に換算し、社会的割引率 4%を基準として 2%・6%の感度分析を行った。プロジェクトレベル評価は各事業を独立に評価し、システムレベル評価は連続する事業を相互依存性とともに関連して評価する。



図－1 信濃川下流域

3. 結果と考察

3.1 一連の事業と社会水文学的フィードバック

大河津分水により新潟市内の信濃川本川の洪水リスクは低下し、1933 年から 1942 年にかけて約 200 ha に及ぶ河道が埋立られ、行政機関・公園等の用地として活用された。川幅は 800 m から 273 m に縮小し、流下能力は約 4,500 m³/s からその当時の既往最大に相当する 1,500 m³/s へ約 3 分の 1 に減少したと推計される。1960 年代にはさらに信濃川本川の約 100ha の埋立が計画されたが、1964 年の新潟地震により中止された。皮肉にも別の災害がさらなる脆弱性の増大を防ぐ形となった。同時期に、文化・環境の価値をほぼ無視する当時の価値観から市内の運河・水路が埋立られた。失われた流下能力を補うため、1972 年に関屋分水（最大 3,200 m³/s）が建設され、現在は 150 年確率規模に相当する 4,200 m³/s の流下能力が確保されている。1987 年以降は水辺空間を創出するやすらぎ堤事業が実施されている。

3.2 プロジェクトレベル評価

個別事業はいずれも経済的に正当化される。2015 年価格・割引率 4%で評価した場合、1933～1942 年の埋立事業は造成地価値 2,900 億円であり費用 2,230 億円を上回る、そのうち 1930 年代の 63ha については、当時の土地価格と事業費の比、B/C は 15 を超える。中止された 1960 年代の埋立事業も、もし実施されていれば造成地価値の 1,450 億円は費用 1,150 億円を上回る。関屋分水が 1978・2004・2011 年の洪水で防いだ被害は合計で 11 兆 7,100 億円と推計され、これを便益とすると費用 3,650 億円に対して、B/C は 30 を超える。また、やすらぎ堤の環境に対する経済分析では費用便益比は 36 となる。これは、かつて埋立られた水辺空間が現代では環境的・文化的価値を持つことを意味し、世代間で水の価値観が変化したことを示す。

3.3 システムレベル評価

河道埋立と関屋分水を相互依存的な事業群として連結評価すると、便益 2,900 億円に対し費用は合計

5,880 億円（埋立 2,230+関屋分水 3,650）となり、純便益は-2,980 億円に転じる（表-1）。すなわち、埋立事業は数十年遅れて顕在化する「隠れた負債」として流下能力の喪失を生み出し、後年の補償的インフラ投資によって便益が相殺されている。埋立を行わなかった仮想シナリオでは、従前の流下能力 4,500 m³/s により 2011 年の 3,386 m³/s の洪水にも対応可能であり、関屋分水建設を要しなかった可能性がある。感度分析（2%・6%）においても、システム全体の純便益が負となる定性的結論は頑健である。

さらに、埋立事業が生み出した潜在的負債の規模を測るため、仮に関屋分水が建設されず 1978・2004・2011 年の洪水被害が現実化していた場合を試算すると、被害想定額 11 兆 7,100 億円と埋立費用 2,230 億円の合計が費用となり、便益（造成地価値 2,900 億円）を差し引いた純便益は-11 兆 6,430 億円となる。この値は埋立事業の影響が後年の関屋分水が建設されなければ顕在化していたであろう損失の大きさを示す。

表-1 プロジェクトレベルとシステムレベルでの経済評価（10 億円）

(a) Figures related to measures billion JPY (billion USD)		(b) Reclamation cost and benefit	
Reclamation cost 1933-42	223 (1.5)	Benefit	290
Value of land reclaimed 1933-42	290 (1.9)		
Sekiya Diversion cost	365 (2.4)	Cost Reclamation + Sekiya Div.	588
Damage cost avoided by Sekiya Diversion	11710 (78)	Benefit-Cost	-298
Reclamation cost (abandoned plan)	115 (0.77)		
Value of land reclaimed (abandoned plan)	145 (0.97)		
YASURAGITEI cost	0.61 (0.0041)	Cost Reclamation + Damage cost	11,933
YASURAKITEI benefit	22 (0.15)	Benefit-Cost	-11,643

3. 4 時間軸の不整合と経路依存

システムレベルで負の純便益が生じたことは、大河津分水（1924 年通水）と関屋分水（1972 年通水）の 48 年間で、事業の意思決定の時間軸（数年～数十年）とその影響が出て対応に必要な時間軸（数十年～数世紀）が整合していないことを示している。埋立事業が当時「合理的」に見えたのは、長期にわたるリスクを評価できなかったためである。いったん市街化された河道の復元は不可能であり、増大する曝露に対応するために、構造物投資を要求し続ける経路依存的な軌道に固定化させている（図-2）。

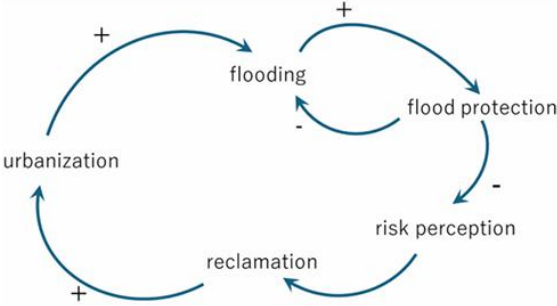


図-2 新潟における社会水文モデル

4. まとめ

信濃川における一連の治水・開発事業は、開始時の判断としては合理的でありながら、長期的にはシステム全体として脆弱性を強め、負の純便益をもたらした。「堤防効果」の典型的な事例である。また、人々の水辺の価値は時代とともに変化するため、将来世代の価値観を検討する必要がある。これらは過去の意思決定への事後批判ではなく、現代および途上国における治水・都市開発への教訓である。不可逆的な自然改変を伴う治水事業は、①100 年規模での評価期間設定、②一連の事業間の相互依存性の検討、③潜在的な脆弱性・レジリエンス評価が不可欠である。気候変動に伴う降雨パターンの変化や、途上国での急速な都市化と人口増加、水辺の環境・文化価値の再評価を踏まえると、システムレベルの視点はますます重要となる。

【謝辞】本研究は、JSPS 科研費 26K15272 の助成、一般財団法人河川情報センターの令和 7 年度研究助成を受けて実施したものです。記して感謝の意を表します。

参考文献

1) Kundzewicz, Z. W. et al.: Assessing river flood risk and adaptation in Europe—review of projections for the future, *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 15(7), pp.641-656, 2010.

2) Di Baldassarre, G. et al.: Debates—Perspectives on socio-hydrology: Capturing feedbacks between physical and social processes, *Water Resources Research*, 51(6), pp.4770-4781, 2015.

3) Ding, M. et al.: Reversal of the levee effect towards sustainable floodplain management, *Nature Sustainability*, 6(12), pp.1578-1586, 2023.

4) Ishiwatari, M., Fukuwatari, T., Kawasaki, A.: Short-Term Optimization, Long-Term Vulnerability: System-Level Economics of Flood Protection and Urban Development in the Shinanogawa River, *Frontiers in Water* 8, 2026.

キーワード : Levee effect, Safe development paradox, System-level cost-benefit analysis, Shinanogawa River, Path dependency

水災害による貧困固定化と格差拡大：東南アジア洪水常襲地帯における世帯調査に基づく実証分析

東京大学未来ビジョン研究センター／デジタルオブザーバトリ研究推進機構 ○川崎昭如

1. はじめに

水災害は生命・財産の喪失に直結するだけでなく、貧困の固定化や格差の拡大、教育・健康などの人的資本の蓄積を阻害し、人々の暮らしを長期的に脅かす。その影響は均一ではなく、脆弱な層ほど被害が大きく、回復も遅い。とりわけ資産や社会関係資本に乏しい人々は、同規模の災害でも回復が遅れ、結果として貧困と格差の拡大を招くことが指摘されている。近年、気候変動等の影響により、世界的に水災害の発生件数は増加傾向にあり、それに伴い経済的損失も拡大している。このような状況のもと、水災害に対する評価の視座が、従来の「被害額」中心から「生活機会や社会経済活動の回復」へと転換する潮流が強まっている。すなわち、住居損壊、道路冠水、農地被害、資産喪失といった水災害による直接的な被害にとどまらず、それらがもたらす格差の拡大や世代間の貧困固定化など中長期的な社会経済への波及効果を明らかにし、新たな計測・評価手法を開拓することが不可欠である。

そこで筆者らは、「水災害は直接的な被害を引き起こすだけでなく、とりわけ下位中所得国・低所得国においては、社会経済的不平等を拡大させる要因にもなりうる」と考えている。そして、「気候適応策として適切な治水投資を行うことは、被害軽減に加え、格差是正や社会レジリエンスの強化にも資する可能性がある」という仮説のもと、研究開発を重ねてきた。本発表では、東南アジアにおける洪水を対象に、現地調査に基づき、洪水が貧困および経済格差に与える影響の実証的分析の結果を紹介する。

2. 分析結果

2.1 洪水常襲地帯の住民が被る社会経済的な影響

筆者らはこの課題に取り組むため、現地大学の研究者と協力し、タイ、ミャンマー、フィリピン、スリランカ、バングラデシュなどの洪水常襲地帯で合計約 9,000 世帯を対象に世帯訪問調査を実施し、量的データの収集に努めてきた。図-1 は、ミャンマーのバゴー川中流域、タイのチャオプラヤ下流域、フィリピンのパッシング・マリキナ川下流域での分析結果を示している。洪水時に浸水が深い地域に居住する住民ほど、木材や竹、藁など脆弱な素材の家屋に住む割合が高い。これらの調査を通して、浸水が深いほど世帯員一人当たりの年間収入が低下することをフィールドで実証した。

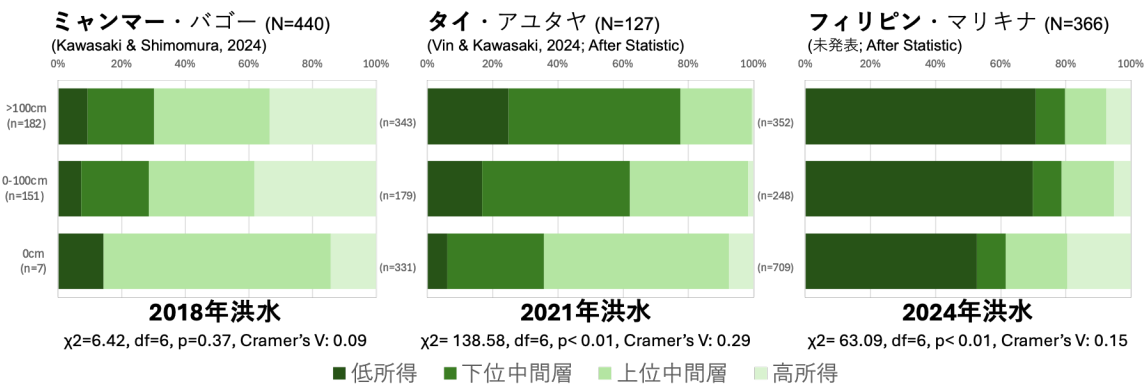


図-1 洪水時の浸水深と世帯一人当たり年間収入の関係

2.2 度重なる水災害が家計経済に与える中長期的な影響：対照群を用いた比較分析

洪水常襲地帯では、一部の住民は他地域へ移住するが、多くの住民は高い洪水リスクを認識しつつも移住を望まない。これは、馴染みあるコミュニティへの依存、職場や施設への近さ、先祖伝来の土地への愛着、他地域の土地不足や土地価格の安さなど、複数の社会的要因によるものである。しかし、度重なる洪水は短期的な生活困窮にとどまらず、長期的には所得格差を拡大させることが以前から指摘されていた。ただし、

この関係をフィールド調査で実証した研究はほとんど存在しなかった。そこで筆者らは、洪水が長期的に所得格差をどの程度拡大させるのかを明らかにするため、上述の洪水常襲地帯で調査を行った（図-2）。両地域は複数回の大規模洪水を経験している。これらの洪水で被害を受けなかった世帯を対照群（コントロール群）と設定し、低所得層と高所得層の家計経済の変化を比較分析した。

ミャンマーでは、低所得層の世帯の経済状況は度重なる洪水により悪化が長期的に続いた。多くは日雇いの労働で生計を立てており、洪水による長期浸水は収入機会の喪失を招き、貯蓄がないため高金利で借金に頼らざるを得ず、貧困の悪循環に陥りやすい。被災後、低所得層は資産売却や借金に依存する傾向が強く、生活再建が遅れる一方で、中間層以上は貯蓄や社会的ネットワークを活用して迅速に回復する。この差が累積し、災害後の数年間で社会内の格差拡大につながるものがフィールド調査から示唆される。タイでは、2011年および2021年の洪水により、非被災地の高所得層と被災地の低所得層の間の経済格差は、この10年間で1.8倍に拡大した。さらに、同一の経済階層内においても、格差は高所得層で2.1倍、低所得層で1.6倍に拡大した。フィリピンでも、2009年・2022年・2024年の洪水を経て、非被災地の高所得層と被災地の低所得層の間の経済格差は、この15年間で1.7倍に拡大した。同一階層内の格差も、高所得層で1.1倍、低所得層で8.2倍に拡大した。

このように洪水は、低所得層の家計を短期・中期に悪化させる一方で、高所得層の経済状況を相対的に押し上げ、結果として格差拡大をもたらす。本研究は、そのメカニズムを実データに基づき定量的に実証するフレームワークを提示した。

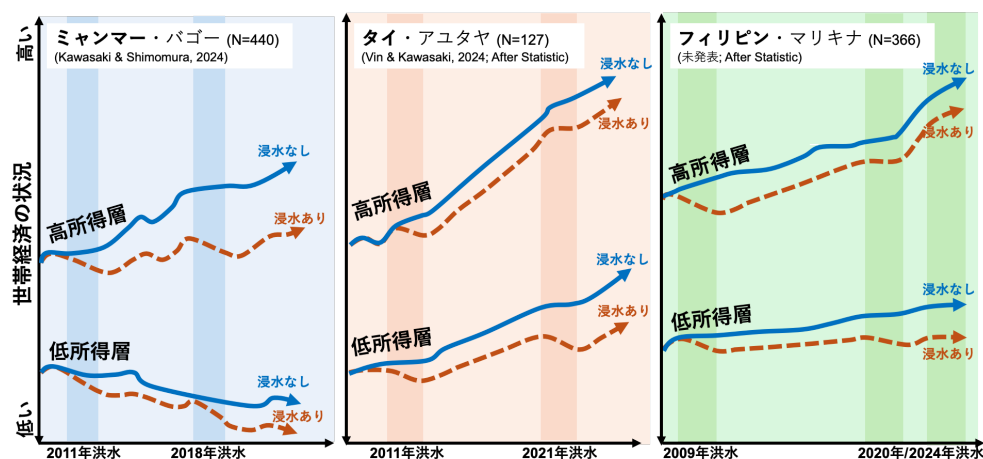


図-2 度重なる洪水による高所得層と低所得層の経済格差の拡大

3. おわりに

本研究では、東南アジアにおけるフィールド調査に基づき、水災害が貧困や格差に与える影響を整理し、水災害が単なる自然現象ではなく社会的不平等を拡大させる要因であることを実証した。災害は物的損失にとどまらず、所得回復の遅れ、教育中断、借金依存、人的資本の喪失を通じて、長期的に貧困を固定化し、格差を拡大する。急速な都市化や農村開発が進むアジア・アフリカ諸国では、貧困層に水災害リスクが高まり、人間の安全保障を脅かしている。治水投資を含む気候適応策は、被害軽減のみならず、社会レジリエンス強化や格差是正に資する可能性を持ち、社会政策の一環として位置づけることが、貧困削減と社会レジリエンス向上への重要な道筋となる。

【謝辞】 本稿の研究成果は、筆者がこれまで参画してきた JICA/JST SATREPS プログラムの研究成果を中心にまとめたものである。本研究の一部は東京大学デジタルオブザーバトリ研究推進機構の支援を受けて実施した。相手国政府や研究機関を含めて、研究実施にあたりご協力をいただいた全ての皆様に感謝いたします。

【参考文献】 川崎昭如（2026）貧困や格差拡大に対する水災害の影響の計測および社会レジリエンスを高める気候適応策の評価、JICA 緒方貞子平和開発研究所『今日の人間の安全保障』、第3号、pp.68-74.

キーワード：度重なる洪水，貧困，格差，東南アジア，水災害リスク

気候変動影響を考慮した全球将来人口分布推計と極端気象リスク評価への応用

神戸大学大学院工学研究科

○佐野太一

神戸大学大学院工学研究科

瀬谷 創

東京大学大学院工学系研究科

沖 大幹

1. はじめに

気候変動影響評価において、将来人口分布は洪水、渇水、熱波、極端降水などの気候・水文リスクに曝露される人口を推計するための基盤情報である。高解像度の気候・水文データは格子単位で整備される一方、人口統計データは国や行政区域単位で整備されることが多く、国別人口シナリオを空間的に明示的なグリッド人口分布へ変換する手法が必要となる。

SSP に整合した全球将来人口分布として Jones and O’Neill (2016) による推計は気候変動影響評価で広く用いられている¹⁾。しかし、このような既存の人口分布推計では、気候変動や水資源条件の変化が人口分布そのものに与える影響は十分に考慮されていない。一方で、水資源量、農業生産性、干ばつ、高温ストレスなどは地域の居住環境や人口移動に影響しうる²⁾。世界銀行の Groundswell でも、農業生産性や水資源量を考慮した国内気候移住の推計が行われているが、全球で一貫した将来人口分布データとしての利用には限界がある³⁾。

そこで本研究では、SSP に基づく国別将来人口を制約条件としつつ、気候・水資源条件を考慮して国内の人口変化をグリッドへ配分する全球将来人口分布推計手法を構築する。さらに得られた人口分布を用いて、極端高温および極端降水に関する気候リスク境界を逸脱する人口を再評価し、将来人口分布の仮定が気候変動影響評価に与える影響を検討する⁴⁾。

2. 使用データおよび手法

本研究では、過去の人口分布データとして GHS-POP を用い、1980 年から 2010 年までの全球人口分布を 5 年ごとに整理した⁵⁾。将来の国別人口については、IIASA/WIC による SSP 別国別人口データを用いた⁶⁾。推計では、各国の総人口が SSP シナリオと一致することを制約条件とし、国別人口の変化量を国内グリッドへ配分した。

人口配分モデルとして、基準年の国内人口比率を維持するコンスタントシェアモデル、人口集積と距離減衰を考慮する通常の重力モデル、および気候・水資源条件を人口ポテンシャルに組み込む気候変動考慮重力モデルを比較した。気候・水資源条件を表す変数として、平均降水量、暑熱・寒冷に起因する超過死亡、主要穀物収量、河川流量、および極端乾燥を表す干ばつ指標を用いた。各変数は、国内での相対的な居住地魅力を表すよう標準化した。

モデルのパラメータは、1980 年から 2000 年までの人口分布変化を用いて推定し、2000 年から 2010 年の人口分布を用いて検証した。モデルの適合度は、予測人口分布と観測人口分布の負の対数尤度および赤池情報量規準により評価した。

3. 結果

モデル比較の結果、気候・水資源条件を考慮した重力モデルは、コンスタントシェアモデルおよび通常の重力モデルよりも過去の人口分布変化をよく再現した。推定されたパラメータから、主要穀物収量および河川流量は人口集積に対して正の効果を持つ一方、干ばつ指標および暑熱・寒冷関連死亡リスクは負の効果を持つことが示された。(表-1) これは、水

表-1 気候・水資源変数を組み込んだ重力モデルの推定パラメータ

	係数	説明変数から外した場合のΔNLL	t 値
平均降水 θ_{pr}	3.10×10^{-4}	2.05×10^{-3}	0.0640
暑熱死亡 $\theta_{HeatCold}$	-7.71×10^{-4}	8.24×10^{-3}	- 0.128
穀物収量 θ_{yield}	5.04×10^{-4}	7.90×10^{-3}	0.126
河川流量 θ_{dis}	2.49×10^{-3}	2.68×10^{-1}	0.731
早魃月数 θ_{SPI}	-1.07×10^{-2}	2.51×10^{-1}	- 0.710

資源が比較的豊富で農業生産性の高い地域に人口が集積しやすく、干ばつや健康リスクが高い地域では人口増加が抑制される傾向を示している。

この人口ポテンシャルに基づいて、SSP に沿った国別人口変化量を国内グリッドへ配分した結果、2100 年の人口分布には先行研究との差が生じた。(図-1) 具体的には、各国の総人口は SSP シナリオに一致するよう固定した上で、気候・水資源条件に応じて国内の人口配分が変化する。そのため人口変化は国全体の人口増減ではなく、同一国内での相対的な配分先の違いとして現れる。特に水資源量や農業生産性の条件が相対的に良い地域では人口が増加し、干ばつや暑熱・寒冷関連死亡リスクが高い地域では人口が減少する傾向がみられた。

さらに、得られた将来人口分布を用いて、Sano and Oki (2022) で定義された気候リスク境界⁴⁾を逸脱する人口を再評価した。気候リスク境界を逸脱するグリッドの位置そのものは、気候ハザードにより決まるため人口分布の更新によって大きく変化しない。一方で、そのグリッドに居住する人口は変化するため、未曾有の極端気象リスクに曝露される人口の推計値は大きく変化した。(図-2) SSP5-RCP8.5 シナリオでは、従来の人口分布を用いた場合に将来人口の 33.2%が気候リスク境界を逸脱するのに対し、気候変動を考慮した人口分布を用いた場合には 28.9%となり、逸脱人口は約 13%減少した。

4. まとめ

本研究では SSP に基づく国別将来人口を制約条件としつつ、気候・水資源条件を考慮して全球の将来人口分布を推計する重力モデル型の面補間手法を構築した。その結果、河川流量や農業生産性が高い地域では人口が集積しやすく、干ばつや暑熱・寒冷関連死亡リスクが高い地域では人口増加が抑制される傾向が確認された。また、得られた将来人口分布を極端気象リスク評価へ応用した結果、人口分布の仮定を更新することで、未曾有の極端気象リスクに曝露される人口の推計値が変化することが示された。これは洪水、渇水、熱波、極端降水などの気候・水文リスク評価において、将来人口分布を外生条件として固定せず、気候・水文環境と相互に関係する要素として扱う必要性を示している。

参考文献

- 1) Jones and O'Neill, Spatially explicit global population scenarios consistent with the Shared Socioeconomic Pathways. Environmental Research Letters, Vol.11, 084003, 2016.
 - 2) Cattaneo and Peri, The migration response to increasing temperatures. Journal of Development Economics, Vol.122, pp.127-146, 2016.
 - 3) Rigaud et al., Groundswell: Preparing for Internal Climate Migration. World Bank, Washington, DC, 2018.
 - 4) Sano and Oki, Future population transgress climatic risk boundaries of extreme temperature and precipitation. Environmental Research Communications, Vol.4, 081001, 2022.
 - 5) Schiavina et al., GHS-POP R2023A - GHS population grid multitemporal (1975-2030). European Commission, Joint Research Centre (JRC) [Dataset], 2023, DOI 10.2905/2FF68A52-5B5B-4A22-8F40-C41DA8332CFE.
 - 6) Lutz et al., World Population and Human Capital in the Twenty-First Century. Oxford University Press, Oxford, 2014.
- キーワード : Future population projections, Climate change impacts, Climatic risk, Gravity model, Exposure assessment

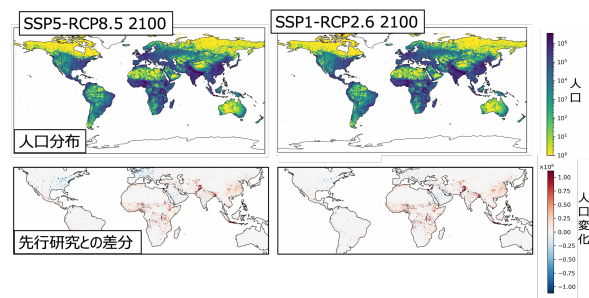


図-1 SSP5-RCP8.5 および SSP1-RCP2.6 における 2100 年の全球人口分布推計と先行研究との差分。

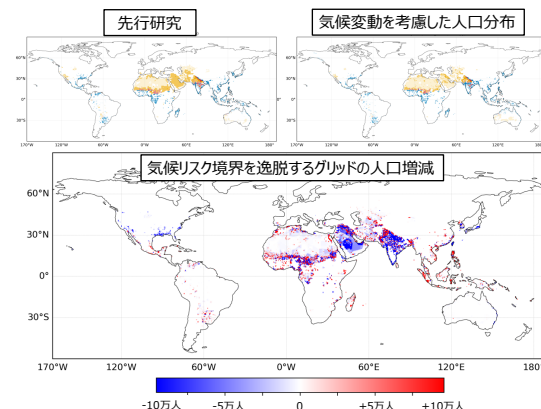


図-2 気候リスク境界を逸脱するグリッドにおける人口増減の比較

Decoding Human-Flood Interactions through Historical Religious
Architecture: A Socio-Hydrological Approach in the Chao Phraya River
Basin

International Research Institute of Disaster Science, Tohoku University
International Research Institute of Disaster Science, Tohoku University
School of Geotechnology, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology
Department of Geography, Faculty of Social Sciences, Kasetsart university

Zhaolong Gu
Daisuke Komori
Sartsin Phakdimek
Thapthai Chaithong

1. Introduction

Socio-hydrology has emerged as an important interdisciplinary framework for understanding the reciprocal interactions between human society and hydrological processes. Existing studies have primarily focused on modern flood-control infrastructures such as levees and seawalls, while long-term adaptive knowledge embedded in traditional communities has received comparatively limited attention. Historical religious structures provide valuable physical evidence for reconstructing long-term human-water relationships because their spatial configurations often reflect accumulated environmental experiences and disaster awareness.

The Chao Phraya River Basin in Thailand presents a suitable environment for examining basin-scale human-flood interactions due to its diverse hydrological conditions ranging from mountainous upstream regions to lowland floodplains downstream. Historical Buddhist temples distributed throughout the basin have survived repeated flood events over centuries and therefore potentially contain materialized records of localized flood adaptation.

This study aims to investigate how temple architectural configurations reflect regional flood characteristics and adaptive strategies. By integrating field surveys with hydrological simulations, the research explores the possibility of interpreting historical religious architecture as a socio-hydrological archive of long-term flood memory and resilience.

2. Method

This study investigated 76 historical Buddhist temples located in Chiang Mai, Sukhothai, Nakhon Sawan, Chainat, and Ayutthaya. Field surveys measured three architectural elevation parameters related to flood resilience:

- H1: Total height increase relative to surrounding terrain
- H2: Foundation elevation of important structures
- H3: Overall temple ground elevation

To evaluate flood exposure, the Rainfall-Runoff-Inundation (RRI) model was used to simulate inundation depths under 10-, 20-, 50-, and 100-year return period flood scenarios. An Exposure Indicator (Indicator E) was calculated using maximum inundation depth (100-year return period flood scenarios was chosen in this study) to quantify localized flood characteristics, the equation was as follow: Indicator E=Maximum simulated inundation depth (m) / 0.05 m. Statistical analysis was conducted to evaluate

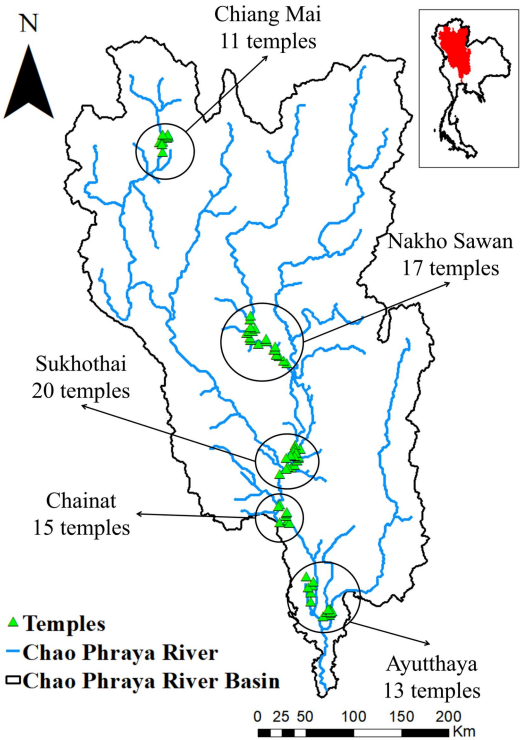


Fig. 1 The distribution of target temples.

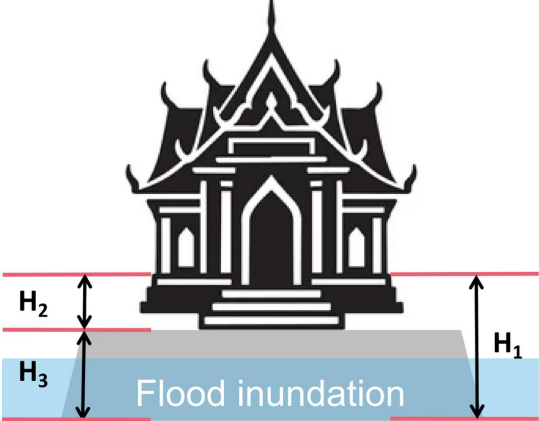


Fig. 2 The scheme of target temple.

the relationship between Indicator E and temple elevation (H1). In addition, the relative contributions of H2 and H3 were compared among upstream, midstream, and downstream regions.

3. Results

The results indicated that most historical temples maintained functional resilience against 20-year return period floods. In many cases, the total height increase (H1) exceeded simulated inundation depths, suggesting that temple elevation contributed significantly to flood avoidance and protection of sacred interior spaces. Statistical analysis revealed a significant positive correlation ($r \approx 0.686$) between the Exposure Indicator (Indicator E) and H1 (showed in Figure 3). This finding suggests that temple architectural configurations were not determined solely by religious symbolism or aesthetic traditions but were also systematically shaped by localized flood characteristics. Distinct regional adaptation strategies were identified throughout the basin. As showed in Figure 4, in downstream cities such as Ayutthaya and Chainat, resilience mainly relied on selective elevation of important structures (H2), reflecting adaptation to deep and prolonged inundation. In contrast, temples in the midstream regions of Sukhothai and Nakhon Sawan emphasized overall site elevation (H3), which effectively addressed shallow but widespread flooding conditions. Meanwhile, temples in Chiang Mai exhibited substantial safety margins in foundation elevations to cope with highly uncertain flash floods in mountainous upstream environments.

4. Conclusion

This study demonstrated that historical religious architecture can provide valuable evidence for reconstructing long-term human - flood interactions. By integrating architectural surveys and hydrological simulations, the research clarified that temple elevation designs were systematically adapted to localized flood characteristics throughout the Chao Phraya River Basin. The findings contribute to interdisciplinary socio-hydrological research by connecting hydrology, disaster resilience, and cultural landscape analysis.

References

1) Di Baldassarre, G., Viglione, A., Carr, G., et al.: Socio-hydrology: Conceptualising human-flood interactions. *Hydrology and Earth System Sciences*, 17(8), 3295-3303, 2013.

2) Komori, D., Kiguchi, M., and Nakamura, S.: The 2011 great flood in the Chao Phraya River, Thailand: Actual conditions, issues, and countermeasures. *Kasen*, 786, 18-25, 2012.

3) Sayama, T., Tatebe, Y., Iwami, Y., and Tanaka, S.: Hydrologic sensitivity of flood runoff and inundation: 2011 Thailand floods in the Chao Phraya River basin. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 15(7), 1617-1630, 2015.

4) Sivapalan, M., Savenije, H. H. G., and Blöschl, G.: Socio-hydrology: A new science of people and water. *Hydrological Processes*, 26(8), 1270-1276, 2012.

5) Gu, Z., Komori, D., Phakdimek, S., and Chaithong, T.: Assessment of Long-Term Flood Resilience in the Chao Phraya River Basin Through Historical Temple Architecture.

Keywords: Socio-hydrology, Flood Resilience, Human-Flood Interaction, Buddhist Temples, Chao Phraya River Basin

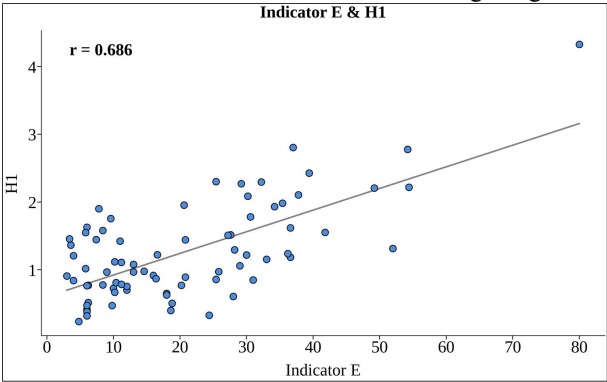


Fig. 3 The relationship H1 and the Indicator E.

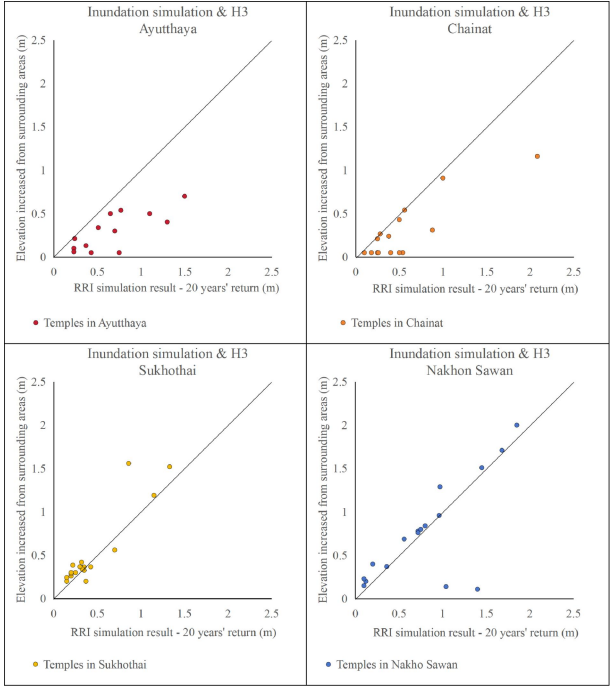


Fig. 4 Relationship between the H3 and the simulation results of flood scenarios for a 20-year return period.

プロポーズドセッション | 社会水文学：水の超学際研究に向けて

■ 2026年9月14日(月) 17:00 ~ 18:15 | 会場 2Fホール(2F)

[OS-05] 社会水文学：水の超学際研究に向けて（2）

座長: 檜山 哲哉(名古屋大学 宇宙地球環境研究所)

17:00 ~ 17:15

[OS-05-01] 水インフラをケアから考える：人－水関係の超学際研究に向けて

*難波 美芸¹ (1. 千葉大学 人文科学研究院)

17:15 ~ 17:30

[OS-05-02] 全球水安全保障におけるジェンダー不平等：水ストレス・水アクセスと人口構造の時空間統合分析

*柿沼 薫¹、和田 義英² (1. 東北大学、2. アブドラ王立科学技術大学)

17:30 ~ 17:45

[OS-05-03] Modeling seasonal dynamics of farmers' perceived water availability: A comparative sociohydrological assessment in Sri Lanka's Dry Zone

*Romitha Wickramasinghe¹, Shinichiro Nakamura¹ (1. Nagoya University)

17:45 ~ 18:00

[OS-05-04] 地下水マネジメントを目指した水文プロセス研究成果の社会実装

*嶋田 純¹ (1. 熊本大学 名誉教授)

18:00 ~ 18:15

[OS-05-05] 水文・制度・ガバナンス：石西礁湖のサンゴ礁生態系保全をめぐる探索的ケーススタディ

*千葉 知世¹、久保 慶明² (1. 大阪公立大学 現代システム科学研究科、2. 関西学院大学 総合政策学部)

水インフラを「ケア」から考える：人－水関係の超学際研究に向けて

千葉大学人文科学研究院 ○難波美芸

1. はじめに

水は学際的な研究対象としてきわめて特徴的な位置を占めている。水は、降雨、河川流量、地下水、洪水リスク、水資源といった自然科学的・工学的対象であると同時に、土地利用、都市化、防災、産業、住民の生活実践、制度、価値観、信仰と深く結びついて現れる。この点で、社会水文学が学際的に発展してきたことは、いわば対象からの要請であったといえよう。

こうした学際性のなかで、たとえば水－人－権力の関係を主題化する近年の *Hydrohumanities* ¹⁾ のように、水を工学、水文学、経済学の管理対象としてのみ見るのではなく、文化、権力、価値、物質性を含む関係性から捉えるという人文学からのアプローチも展開されてきた。このように、水をめぐる学際的な議論が発展しつつあるとはいえ、領域間の境界が曖昧になっていくことは、それぞれの学問領域の特徴が失われることを意味しない。本発表では、文化人類学の立場から、「水に関する超学際研究の深化」に向けて、人－水関係を「ケア」という視点から考察する。ここでいうケアとは、人間同士の支援や配慮に限定されず、不確実で変化し続ける水環境のなかで、水、土、植物、動物、身体、インフラ、制度、記憶を含む関係を維持し、調整し、時に組み替える実践である。²⁾ この視点はまた、水インフラや防災施策を社会実装する際に、どのような人－水関係が前提とされ、望まれるのかを考えるための入口にもなる。つまり本発表の目的は、「より多様な人間要因」を水研究に追加することではなく、そもそも水と社会の関係をどう記述し、何を問題として定義するのかを組み替える点にある。

2. 学際的結節点としての「ケア」概念

近年、水害や防災の研究においても、「ケア」という概念を用いて避難や防災施策を捉え直そうとする試みが見られる。³⁾ とりわけ水害は、地震や噴火等の突発的な災害に比べて到達までの時間的猶予があり、避難を計画・判断・行動の連鎖として捉えやすい。そこでは、避難を、自律した主体が情報を受け取り、合理的に判断し、能動的に行動する過程として捉える見方が問い直され、ケア概念は、避難をめぐる主体／客体、能動／受動の二分法をゆるめるものとして導入されている。³⁾

もっとも、水害や防災の文脈でケア概念が導入される場合、その焦点はしばしば人間同士の関係に置かれている。だが、たとえば避難所も単なる指定施設ではなく、平時から共同で維持し「育てる」場所としていく構想が提案されるなど、³⁾ モノや場所などの非人間存在も含みこんだケア論への萌芽が見られる。またこうした議論からは、人－水関係が非常時だけではなく、平常時の生活実践や空間利用、維持管理、移動、記憶、制度的対応のなかで構築されていることが含意されているといえる。ケアは、その媒介関係を記述する概念になる。

人類学、とりわけポストヒューマン人類学やマルチスピーシーズ民族誌以降のケア論は、ケアを人間同士の倫理に限定しない。ケアとは、人間と非人間を含む関係のなかで、既存の「善き状態」を守るのではなく、変化し続ける関係のなかで、何を維持し、何を手放し、どのような世界を持続させるのかをめぐる具体的な実践である。²⁾ この点でケアは、「問題が生じた際の事後的対応」を意味するものではない。むしろ、人びとが日常的に水辺を利用し、補修し、移動し、季節変化に応答しながら暮らすことそれ自体が、環境との関係を維持するケア実践として捉えられる。水インフラをめぐる問題もまた、インフラが効率的に機能しているか否かだけではなく、どのような関係世界を維持し、あるいは切断するのかという観点から考え直されることになる。

3. Environing

このようにケアを人間以上の関係へと広げて考えるうえで、環境史、環境人文学に由来する“environing”の視点を取り入れた近年のインフラ論⁴⁾は重要な手がかりとなる。ここでいう“environing”とは、環境をすでに存在する背景や周囲としてではなく、人間と非人間、技術と自然が相互に関与しながら作り出していく過程として捉える視点である。⁴⁾ インフラとはその過程を媒介するものであり、既存の環境のなかに単に設置される構造物ではなく、環境そのものを囲い込み、定義し直し、作り替えていく働きをもつ。⁴⁾

水インフラもまた、洪水を防ぐ、排水する、水を供給するという技術的機能だけによって理解されるものではない。それは、水辺とは何か、川と都市はいかに関係するのか、人びとがどこで暮らし、移動し、いつ耕し、儀礼を行うのかを再編する。したがって、水インフラをめぐるケアを考えることとは、インフラがうまく機能しているかどうかを評価するだけではなく、そのインフラによってどのような人－水関係が維持され、断たれ、あるいは新たに生成する——環境化（environing）する——のかを問うことである。

本発表では、以上の視点を、ラオス・ヴィエンチャンのメコン川沿いにおける護岸整備と水辺利用の事例を通して考える。コンクリート堤防や堤防道路の整備は、川との距離、都市景観、土地利用を再編する一方で、人びとは堤外地の利用、補修、季節的な水辺利用などを通じて、水との関係をその都度結び直す。水辺における日常実践は、水を完全に管理し、安定化することではなく、水が来ること、変化することを前提にしながら、水辺との関係を維持し続ける営みである。こうした事例は、水インフラが環境を作り替えると同時に、人びとがその変化に応答しながら人－水関係をケアしていることを示している。

4. まとめ

超学際研究とは、異なる分野が同じ対象を単一の言語へと翻訳することではない。むしろ、水を「流量」「リスク」「資源」「汚染源」「信仰対象」「関係」などとして捉える複数の記述が、それぞれの問いと方法を保ちながら接続される場をつくることである。

ケアは、人－水関係を、あらかじめ成立した主体と対象の関係としてではなく、多様なアクターの関与によって立ち上がる関係世界として捉えることを可能にする。この点でケアは、工学における維持管理や実装、防災研究における避難支援、人類学における関係性の記述をゆるやかに接続しうる概念でもある。すなわち、ケアの視点は分野間の差異を消去するのではなく、それぞれが何を守り、何を問題とし、どのような関係を望ましいものとして想定しているのかを対話可能にする。以上の議論から、社会実装において重要なのは、技術や政策の導入を、人－水関係の再編として捉えることであるといえる。ケアの視点は、その過程に関与するアクターたちとそれらの間で創発する関係性や価値を可視化する入口となる。

【謝辞】

本研究は、日本学術振興会科学研究費助成事業（25K00177）「インフラストラクチャーのクイア化：ラオスにおける開発と民俗土木技術を事例に」の支援を受け実施されました。記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) De Wolff, K., Faletti, R. C., & López-Calvo, I., eds. *Hydrohumanities: Water Discourse and Environmental Futures*, University of California Press, 2022.
- 2) Puig de la Bellacasa, M., *Matters of Care: Speculative Ethics in More than Human Worlds*. University of Minnesota Press, 2017.
- 3) 例えば松田曜子, ケアとしての避難, *自然災害科学*, Vol.43, pp. 315–325, 2025.
- 4) Rippa, A., *Infrastructure and the environment in anthropology*. *Social Science Information*, Vol. 63, No. 1, pp.25–46, 2024.

キーワード：ケア, 文化人類学, インフラストラクチャー, ラオス, Environing

全球水安全保障におけるジェンダー不平等：水ストレス・水アクセスと人口構造の時空間統合分析

東北大学学際科学フロンティア研究所
 ○柿沼薫
 アブドラ王立科学技術大学
 和田義英

1. はじめに

安全な水へのアクセスは持続可能な開発目標（SDG 6）の中核をなす課題である。世界的に水アクセスは改善してきた一方で、基本的な飲料水サービスを受けられない人々は依然として多く存在する。また、水アクセス不足の負担は人口集団間で均等に分布しているわけではなく、水汲み労働が女性に偏っていることが指摘されてきた。水資源評価では、水ストレスや水アクセスの空間分布が広く解析されてきたが、水不足や水アクセス不足の影響を実際に受ける人口は、年齢、性別、居住地、人口移動などによって空間的に偏っている。したがって、水安全保障を評価する際には、総人口だけでなく人口の構成を考慮する必要がある。

既往研究では、水ストレスや水アクセスの全球評価は進展している一方で、年齢・性別別人口分布を水資源情報と統合し、水安全保障におけるジェンダー差を全球規模で定量化した研究は限られている。そこで本研究では、Kakinuma and Wada (2024)¹⁾ で報告した研究成果に基づき、水ストレス・水アクセスと人口構造を統合することで、水安全保障におけるジェンダー格差を全球規模で評価することを目的とする。得られた結果を踏まえ、全球水安全保障評価に人口構造を組み込む意義を議論する。

2. 使用データと方法

本研究では、水ストレス、水アクセス、年齢・性別別人口分布を空間的に統合し、水アクセス不足地域、高水ストレス地域、および両者が重複する水脆弱環境に居住する人口の性差を評価した。解析期間は、使用したデータが共通して利用可能な 2000 年から 2014 年とした。水ストレスは、水需要量と水利用可能量の比に基づく指標であり、空間解像度は約 10 km である。水アクセスには、低・中所得国を対象とした水道アクセス率のグリッドデータを用いた。人口データには、WorldPop による年齢・性別別人口分布を用い、15～49 歳の労働年齢人口および 15 歳未満の子どもを対象とした。これらのデータを約 10 km 空間解像度に統合した。データの概要を表-1 に示す。

表-1 データ概要

データ種別	空間解像度	期間	出典
水ストレス	~10 km	1960-2014	Wada et al. (2016) ²⁾
水アクセス	~5 km	2000-2017	Deshpande et al. (2020) ³⁾
労働年齢性別人口（15-49 歳）	~1 km	2000-2020	WorldPop (2018) ⁴⁾
子ども性別人口（15 歳未満）	~1 km	2000-2020	WorldPop (2018) ⁴⁾

水アクセス率が 40%未満の地域を水アクセス不足地域、水需要量と水利用可能量の比が 40%を超える地域を高水ストレス地域と定義した。また、水アクセス不足地域かつ高水ストレス地域に該当する地域を水脆弱環境と定義した。さらに、Multiple Indicator Cluster Surveys（MICS）に基づく各国の水汲み主体の情報をを用い、水脆弱環境に居住する人口の性差と水汲み負担の性差との関係を検討した。

3. 結果

水アクセス不足地域における性差を年齢階層別に評価した結果、子どもでは性差が比較的小さい一方で、15～49 歳の労働年齢人口では、アフリカを中心に女性が男性より多く水アクセス不足地域に居住していた。この結果は、水アクセス不足の影響が単に地域の水インフラ条件だけでなく、年齢・性別別人口分布によっても左右されることを示している。

水アクセス不足と高水ストレスが重複する水脆弱環境では、アフリカ全体で労働年齢女性が男性より平均 4.4%

多く分布していた。一方、アジアでは平均すると労働年齢男性が女性より 4.6%多く水脆弱環境に分布していた。このように、水安全保障におけるジェンダー差は世界全体で一方向に偏るものではなく、地域ごとの人口構造や移動パターンによって異なる。さらに、水脆弱環境における人口の性差と水汲み主体の関係を検討した結果、ブルキナファソ、トーゴ、ソマリアなどでは、水脆弱環境に女性が多く分布しているだけでなく、水汲みも主に女性が担っていた。一方で、水汲み主体には地域差もみられ、モンゴルなどでは男性が主に水汲みを担う国も確認された。

アジアでは同期間に水アクセス不足人口が顕著に減少したのに対し、アフリカでは労働年齢人口の約 60%が水アクセス不足状態のまま改善が停滞した。特に 2012 年以降、アフリカでは高水ストレス人口が微増しており、水アクセス不足と高水ストレスが重複する水脆弱環境に居住する人口の増加が懸念される。全球的な水アクセス改善はアジア、特に中国の進歩に大きく依存しており、地域によって改善の程度に大きな差がみられた。

4. 考察

アフリカにおける労働年齢女性の水脆弱環境への集中は、就労機会を求めた労働年齢男性の都市部への選択的移住により、水インフラが整備されていない農村部に女性が多く残留するという人口移動パターンが関与していると考えられる。これは、若年成人期以降に農村部の性別構造が変化するという先行研究の知見とも整合する。また、水脆弱環境に男性が多い地域であっても水汲みを女性が担う国が存在することは、ジェンダー格差が水文脆弱性だけでなく社会的規範によっても規定されていることを示している。さらに、干ばつによる水ストレスの強化は、水汲みに要する時間と距離を増大させ、すでに水汲み負担を担う女性への影響を不均等に拡大させる可能性がある。本研究の知見は、水文学的評価に人口構造を統合することで、このような不均等な影響を定量的に把握できることを示している。

5. まとめ

本研究は、水資源情報に年齢・性別別の人口構造を統合することで、集計的な評価では捉えられなかった水安全保障のジェンダー格差を全球規模で定量化した。主要な知見は、第一に、アフリカでは労働年齢女性が水脆弱環境に平均 4.4%多く分布し、水汲みも主として女性が担っていたことである。第二に、アジアでは水アクセス不足人口が大幅に減少した一方、アフリカでは 2000～2014 年を通じて改善が限定的であった。第三に、水安全保障におけるジェンダー格差は、地域ごとの人口移動や社会的役割によって異なり、一様ではないことが示された。SDG 5 と SDG 6 の同時達成に向けて、水資源評価に人口移動や年齢・性別構造、社会的役割の視点を組み込むことが重要である。

【謝辞】

本研究は JSPS 科研費 19K20487, 韓国 NRF Brain Pool program (RS-2024-00445763) 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) Kakinuma K. and Wada Y. (2024) Gender inequality in global water security, *Environmental Research Letter*, 19, 114071.
- 2) Wada, Y., de Graaf, I. E. M. and van Beek, L. P. H.: High-resolution modeling of human and climate impacts on global water resources, *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 8, 735–763, 2016.
- 3) Deshpande, A. et al.: Mapping geographical inequalities in access to drinking water and sanitation facilities in low-income and middle-income countries, 2000–17, *The Lancet Global Health*, 8, e1162–e1185, 2020.
- 4) WorldPop: WorldPop gridded population datasets, University of Southampton, 2018.

キーワード：水安全保障, ジェンダー不平等, 水ストレス, 水アクセス, 人口構造, 社会水文学

Modeling seasonal dynamics of farmer's perceived water availability: A comparative sociohydrological assessment in Sri Lanka's Dry Zone

Department of Civil Engineering, Nagoya University, ○Romitha Wickramasinghe

Department of Civil Engineering, Nagoya University, Shinichiro Nakamura

1. Introduction

Capturing human behavior remains one of the most complex and crucial challenges in coupled human–water systems, as it offers vital insights into system dynamics. Studies indicate that human responses are often shaped more by perceived conditions than by actual environmental states. In agriculture, perception acts as a cognitive filter through which hydro-climatic information is interpreted, guiding decisions such as seasonal cropping extent and irrigation practices. Hence, capturing human perception is essential for a realistic assessment of system responses, especially regarding drought resilience. Traditionally, perceptions of environmental variability have been studied using surveys reliant on self-reported answers to structured questionnaires. While these approaches offer valuable qualitative insights into how communities understand and respond to climatic risks, they are frequently impacted by recall bias (Wollburg et al., 2021) and social desirability bias (Bergen & Labonté, 2019). Furthermore, these methods are rarely combined with observed system dynamics, restricting their capacity to quantitatively link perceptions with actual hydrological or agricultural outcomes. Such limitations highlight the need for alternative strategies that enable quantitative, dynamic, and behaviorally informed representations of human perception in coupled human–water systems.

2. Method

In this study, we deploy a state-of-the-art sociohydrological model designed to simulate farmers' seasonal cultivation area in centralized and quasi-decentralized irrigation systems. It consists of three sub-modules, including reservoir operation, cultivation area and irrigation water demand (Wickramasinghe and Nakamura 2025). The reservoir operation module can simulate reservoir storage, irrigation water release and environmental flow release. The cultivation area module

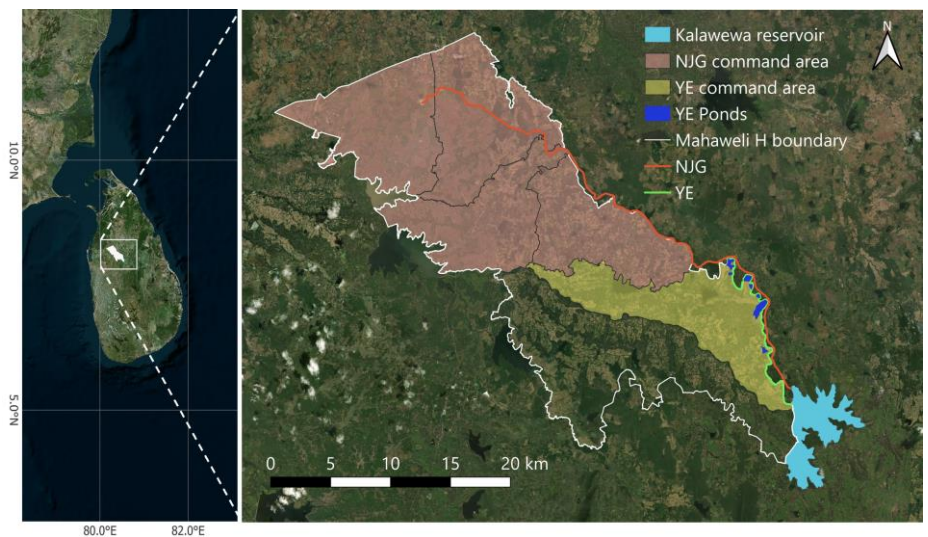


Fig. 1 Study area. Centralized NJG and quasi-decentralized YE.

decides the seasonal cultivation area dynamically based on actual and perceived reservoir water availability and rainfall, as well as access to local ponds of an agent. The irrigation water demand is simulated by the crop module. In general, this can simulate the basic seasonal irrigation process at seasonal time steps. Here, we further enhance the model's ability to explicitly capture wet and dry seasonal effects and apply it to the centralized New Jaya Ganga (NJG) and quasi-decentralized Yoda Ela (YE) irrigation systems in Sri Lanka's Dry Zone (Fig. 1) over the period 2012–2020 at six-month (seasonal) intervals. Both coexist under the Kalawewa reservoir, and NJG canal supplies reservoir water directly to crop lands. YE is characterized by reservoir water being supplied to a series of small tanks (ponds or local reservoirs) before farmers withdraw water.

3. Results

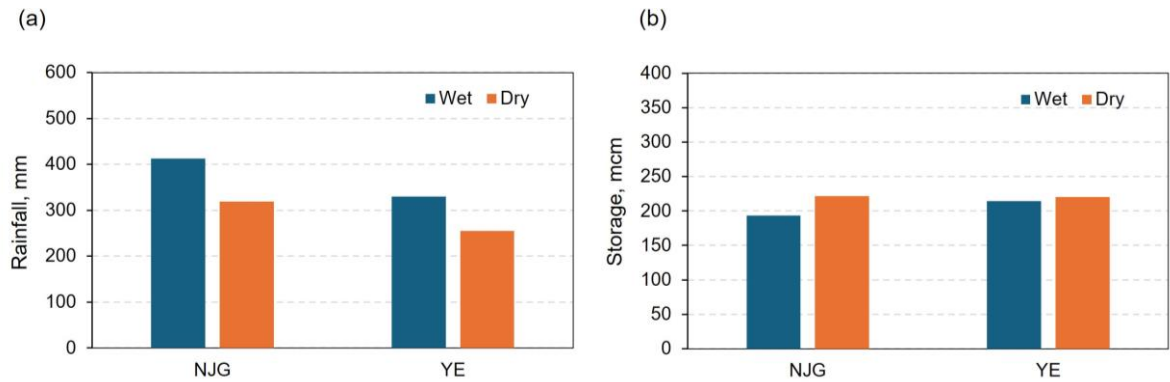


Fig. 2 Modeled seasonal farmer-perceived levels of hydro-climatic factors across irrigation systems and seasons. (a) perceived rainfall and (b) perceived reservoir water availability

The modeled results (Fig. 2) reveal distinct seasonal and system-dependent patterns in farmers’ perception of hydro-climatic factors. Perceived rainfall exhibits strong seasonal variability, with higher values during the wet season compared to the dry season in both irrigation systems. This is because farmers expect more rainfall to decide cultivation area during the wet season compared to dry season. Additionally, rainfall perception is consistently higher in the centralized system (NJG) than in the quasi-decentralized system (YE) across both seasons, indicating a higher reliance on rainfall where local buffering is limited. In contrast, perceived reservoir water availability shows minimal variation across both seasons and systems. Perception of reservoir water availability remains relatively stable, reflecting the influence of institutional water release schedules that regulate supply and buffer seasonal fluctuations. As a result, reservoir water availability is perceived as consistent regardless of seasonal conditions.

These results highlight a clear contrast: while farmers’ rainfall perception is highly sensitive to both seasonal variability and system configuration, reservoir perception remains largely invariant. This demonstrates that farmers dynamically adjust their reliance on rainfall across seasons, whereas their dependence on reservoirs is structurally stable. Capturing such seasonal dynamics is therefore essential in decision-making, as aggregated representations would obscure these contrasting behavioral responses.

4. Conclusion

This study demonstrates that farmer perceptions of water availability are inherently seasonal and vary across irrigation system configurations, emphasizing the importance of explicitly representing seasonal dynamics in sociohydrological models. By explicitly capturing these seasonal perception dynamics, the study reveals that farmer decision-making cannot be adequately understood through time-averaged representations. Ignoring such dynamics may mask critical differences in how water sources are valued and utilized across systems and seasons. These findings underscore the need to incorporate seasonal perception variability into sociohydrological modeling to improve the assessment of irrigation system behavior under changing climatic conditions.

References

1) Bergen, N. and Labonté, R., 2020. “Everything Is Perfect, and We Have No Problems”: Detecting and Limiting Social Desirability Bias in Qualitative Research. *Qual. Health Res.*, 30(5): 783-792.

2) Wickramasinghe, R. and Nakamura, S., 2024. Evaluation of the drought resilience of indigenous irrigation water systems: A case study of dry zone Sri Lanka. *Environ. Res. Commun.*, 6(3): 035003.

3) Wollburg, P., Tiberti, M. and Zezza, A., 2021. Recall length and measurement error in agricultural surveys. *Food Policy*, 100: 102003.

Keywords: Farmer perceptions, Sociohydrological modeling, Irrigation systems

地下水マネジメントを目指した水文プロセス研究成果の社会実装

熊本大学名誉教授 ○ 嶋田 純

1. はじめに

日本一の地下水都市を標榜する熊本市を含む熊本地域では、2014 年の基本法制定以前から県や市の地下水条例を通して、地域の地下水資源の保全・利用に関する様々な措置を積極的に推進してきていることはよく知られている。2021 年 6 月の水循環基本法への地下水条項追加により、地域の実情に応じた地下水の保全・利用に関する措置を講ずることが地域に求められることが法的に明記された。同年 10 月に地下水を大量に利用する世界的な半導体企業である TSMC の熊本進出が正式に表明され、それと関連した多くの IC 関係企業の熊本への進出計画の公表は、地域の地下水資源に対する市民の懸念を高め、熊本県を中心とした地元自治体が様々な地下水保全対策を積極的に実施する、ここ数年の流れをもたらしている。

演者は、これまで地域の詳細な地下水観測網と同位体水文学ツールを駆使して地下水の涵養・流動・流出といった地下水流動に関わる水循環プロセス研究を進めてきた地元研究者の立場から、研究成果を地域の地下水マネジメント政策に有効に活用する社会実装を目指したいと考えている。お世話になっている地域社会への還元策とも考えており、ここでは最近手掛けた 2 つの事例を紹介したい。

2. 地下水の年代情報を活用した地下水資源量評価

水資源としての地下水資源量（賦存量）は、地球規模では良く参照されるが、流域規模となるとその算出根拠に見合う帯水層パラメータ等の取得が難しいため、地域の地下水資源量を算定している例はあまり見られない。

熊本地域においては、数多く分布する地下水観測井戸網を活用してこれまで様々な年代トレーサーを用いた調査研究が行われ、年齢解像度の高い ^{85}Kr の原位置抽出装置の開発と採水調査を行うことで第二帯水層分布域を網羅する広範囲にわたる地下水年代分布が取得された。科学技術振興機構（JST）の CREST 研究プロジェクトでは、熊本地域の最新の地下水位や河川流量観測データに加えて、地域地下水研究成果としての水

温や水素酸素安定同位体比、 ^3H ・ ^{85}Kr による年代情報などの独立した流動トレーサー指標によるモデルの再現性検証を踏まえた 3 次元非定常で地表水と地下水を統合的に解くことのできる GETFLOWS を用いた地下水流動モデルの構築が行われた¹⁾。

定常状態にある地下水の滞留時間は、貯留量を流入・流出フラックスで除した概念であることを踏まえると、地下水年代再現性の高いモデルによる貯留量の算定は、一定程度の信憑性を持つと考えられる。熊本県は、前述した地下水流動モデルを用いて確認された熊本地域の地下水貯留量を算定・公表することで、揚水増加に伴う

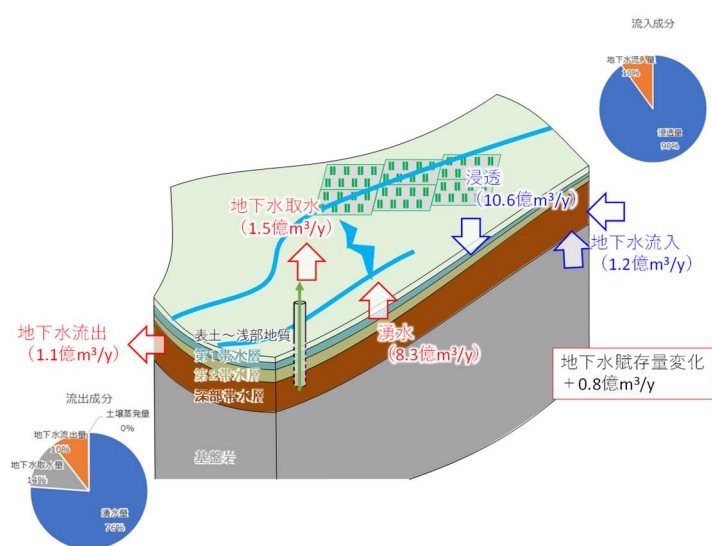


図 1. 熊本地域の地下水収支概念図（2015 年）（嶋田，2025）

地下水資源枯渇の懸念払拭を目指した。貯留量集計範囲は、第二帯水層の流跡線から推測される阿蘇外輪山から有明海に至る地下水域で、同様にこの集計範囲での地下水流出入量の年変動についても公表している³⁾。地下水資源量やその収支状況及びそれらを踏まえた人工地下水涵養策の展開は、地下水のステークホルダーである地域住民・企業と情報共有することで地下水の持続的利用の理解・協力醸成に大きく貢献している。

3. 阿蘇の草原維持と地下水涵養効果の活用

『地下水涵養』とは、降水や地表水が地表面を横切って浸透し地下水流動系に付加される作用である。地下水涵養量は、降水量、植生（土地利用）、地質、地表面傾斜など様々な要因から影響を受けることが知られている。地下水利用が盛んな熊本地域では様々な土地利用の地下水涵養効果を評価するために、不飽和土壌水中の安定同位体プロファイルを利用して地下水涵養量を直接的に算出する研究が多くあり、2000mm程度の年降水量を持つ菊池台地における広葉樹林と畑地では、畑地の地下水涵養量が1mm/y程度多くなっていることが示されている。畑地の栽培作物よりも樹木の蒸発散量の方が大きい結果と考えられるが、このような植生の違いが地下水涵養効果に与える影響をより詳細に把握するために、阿蘇外輪山西麓斜面に樹齢30

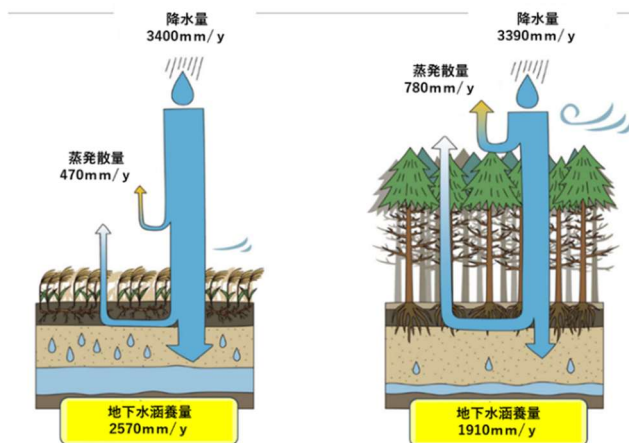


図2. 草原・森林の涵養量比較と県の関連パンフ

年の杉・檜混合林と牧草流域からなる植生のみが異なるほぼ同規模の隣接する2つの試験流域を設定し、流域水収支の比較観測が3年間実施された。降水量、微気象観測による蒸発散量、河川流量の測定と流出水成分に基づく直接流出と地下水流出の成分分離を行うことで、それぞれの植生に応じた地下水涵養量が算出された。観測値に基づく水収支項目の年平均値は、左図に示すように同程度の降水量に対し、蒸発散量では森林は牧草地の1.7倍程度大きくなり、同じ地形・地質環境ではあるが植生の影響を受けた土壌の貯留構造の違いも加味されて、結果的に牧草地の地下水涵養量は森林の1.35倍になることが示された。土壌水の安定同位体プロファイル法による当該試験流域での地下水涵養量測定でも、牧草地域の方が森林地域よりも30%程度大きな値を持つという流域水収支法と調和的な結果が得られている²⁾。

阿蘇地域独特の草原景観は、牧野畜産との連携活動で維持されてきたもので、野焼きをはじめとする草原維持活動の継続は地域の大きな課題となっている。透水性が高く穏傾斜の阿蘇火砕流台地においては、牧草地（草原）の積極的な活用は持続的な地下水管理を遂行する上でも有効な手段になり得ることから、阿蘇の草原再生事業強化策の一環として、草原の持つ地下水涵養効果とタイアップした新たな募金活動が2025年から始まり、その貢献証明として、上述してきた植生に応じた涵養量評価研究の成果が広く活用されている³⁾。

参考文献

- 1) 嶋田 純・利部 慎・田原康博・井手 淨・小林嵩丸 (2025)：地下水の年代情報を活用した地下水資源量評価とその意義。日本水文科学会誌, 55, 5-15.
- 2) 工藤圭史, 嶋田 純, 丸山篤志, 田中伸広 (2016)：異なる地表面植生に対する地下水涵養量の定量的評価—土壌水中の安定同位体比を用いた Displacement Flow Model の適用—, 地下水学会誌, 58 (1), 31-45.
- 3) 熊本県環境生活部 (2026) 地下水保全ホームページ. 熊本県庁 HP,

<https://www.pref.kumamoto.jp/site/groundwater-conservation/> (2026.04.25 閲覧)

キーワード：地下水マネジメント, 水文プロセス研究, 地下水年代評価, 地下水涵養量, 熊本地域

水文・制度・ガバナンス：石西礁湖のサンゴ礁生態系保全をめぐる探索的ケーススタディ

大阪公立大学 ○千葉知世

関西学院大学 久保慶明

1. はじめに

社会水文学は、人間社会と水文システムの相互作用の解明を中心的な問いとしている。自然的・水文的条件に対し、社会を構成する諸主体がどのように対応するかを考えると、諸主体の対応を規定する制度の存在が注目される。ここで制度とは「社会におけるゲームのルール、あるいは人間の相互作用を形作る人為的拘束」を意味し（North 1990）、諸主体による対応の束をガバナンスと呼ぶこととする。自然的・水文的现象に対して社会がどう応答するかは制度によって制約されるのであり、ガバナンスはその制約のなかで生み出された応答である。社会水文学では社会と水の双方向的な変化と適応の動態が分析され、そこでは制度の存在も分析対象とされてきたが、なぜある水文・自然的条件のもとで実効的な応答が生じにくいのかについて、制度を媒介変数として明示的に扱った研究は多くない。本研究は、社会と水の共進化（改善に向けた双方向的な変化・適応）が抑制される構造的な原因を、制度に注目して探索しようと試みるものである。

自然的・水文的条件と社会の媒介変数としての制度に注目するための手がかりとして、本研究では「制度的空白（institutional void）」の概念を援用する。制度的空白は、市場制度の不在・未整備を論じる経営学の系譜（Khanna and Palepu 1997）と、公共政策過程における意思決定ルールの不在を論じる政治学の系譜（Hajer 2003）に大別されるが（千葉・久保 2025）、ここでは公式・非公式制度の不在・乖離・齟齬等を広く指すものとして用いる。本研究は、制度が自然的・水文的条件に根差した空白を抱えているとき、社会の応答（ガバナンス）の可能性が構造的に制約され、自然的・水文的条件への実効的な対処もまた制限されるのではないかという緩やかな問いを扱う探索的ケーススタディである。

対象として、石西礁湖におけるサンゴ礁劣化問題とそれに対するガバナンスの形成事例を扱う。石垣島と西表島の間に広がる石西礁湖は日本最大のサンゴ礁域であり、360 種以上の造礁サンゴが分布する生物多様性のホットスポットである。本事例に注目する理由は次の二つである。第一に、高海水温による白化、赤土流出、地下水・海底湧水を経由した陸域由来の栄養塩流入、オニヒトデの大量発生、利用圧といった複数の要因が複合的に作用しており、ガバナンスの対応に関連する水文現象の多様な特性を同一事例の中で観察できる。第二に、自然再生推進法（2002 年）を根拠として設立された石西礁湖自然再生協議会が約 20 年にわたり活動しており、自然的・水文的条件とガバナンスの形成過程を長期的に追跡できる。

2. 使用データ

関連する法律・行政計画・協議会議事録等の文書の精査と、石西礁湖自然再生協議会の構成員をはじめとする関係主体への半構造化インタビュー調査の記録を主たるデータとして用いる。本要旨執筆時点で完了した調査（環境省石垣自然保護官事務所の現任・前任レンジャー対象、2026 年 4 月実施）に加え、発表当日までに追加調査を予定しており、その結果も発表内容に反映する。

3. 結果と考察

発表時には次の流れで結果と考察を述べる。

第一に、石西礁湖の劣化に作用する自然的・水文的要因を整理する。各要因を時間的スケール・越境性・可視性・因果関係の明確性といった特性から整理し、要因間の相互連関を示すことで問題構造の複合性を説明する。

第二に、それらの要因によって導かれる制度的空白について論じる。陸域と海域の物理的な水循環のつながりに対する水平的な制度領域間の間隙、問題の発生スケールと国内制度に基づく管轄スケールの間の垂直的乖離といった重層的なミスマッチが指摘される。

第三に、この制度的空白のもとでの各アクターの応答と限界を記述する。制度の重層的な不在・乖離・齟齬と

執行権限の制約のもとで、強制力を伴う手段ではなく合意形成と自主的な行動変容を重視する協議会方式のガバナンスが主要な応答として選択され、自然再生推進法（2002 年）を法的根拠として石西礁湖自然再生協議会（2006 年）が設立された。協議会では自然的・水文的条件の変化に応じて対応を変化させてきたことが観察される。例えば 2016 年の大規模白化により移植サンゴがほぼ全滅したのち、協議会がレジリエンス強化（攪乱を所与としたうえでサンゴ礁生態系の自然回復力を高める）の方針への転換を打ち出したことは、スケールの垂直的乖離による制度的空白へのガバナンスの適応として理解することができる。また、石垣市による部局横断型サンゴ礁保全チームの形成、漁業者・事業者による自主的保全組織の設立は、制度的空白を補完する代替的・仲介的行動として位置づけられる。一方、陸域負荷の主要な発生源である農業者の参加が十分に得られていない。調査からは、地下水経由という水文の経路の不可視性が当事者認識を妨げ、自発的参加の動機が十分に育っていないことが示唆された。また、協議会は強制性を伴う働きかけを行わない方針を設計上の判断として選択しており、これによって場の包摂性が確保されているが、公式制度の変化を導きにくい側面も有している。

4. おわりに

石西礁湖の事例は、水文的条件の複雑さが制度的空白を生み、その空白が自発的な協議会方式のガバナンスを主要な応答様式として導き、そのガバナンスが制度的空白を再生産するというループを形成する構造を示唆している。制度的空白が固定化するとガバナンス主体の資源消耗が進み、保全活動の継続的实施が困難になることでサンゴ礁生態系のさらなる劣化という自然的・水文的帰結をもたらさう。本研究は単一事例の探索的分析にとどまるが、今後は他事例との比較研究により、水文的条件、制度、ガバナンスの対応関係についての仮説の精緻化が期待される。

【謝辞】

本研究は総合地球環境学研究所 LINKAGE プロジェクト「陸と海をつなぐ水循環を軸としたマルチリソースの順応的ガバナンス：サンゴ礁島嶼系での展開」の支援を受け実施されました。記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) Hajer, M. (2003) Policy without polity? Policy Sciences, 36, 175–195.
- 2) Khanna, T. and Palepu, K. (1997) Why focused strategies may be wrong for emerging markets. Harvard Business Review, 75(4), 41–51.
- 3) North, D.C. (1990) Institutions, Institutional Change and Economic Performance. Cambridge University Press.
- 4) 千葉知世・久保慶明 (2025) 環境問題をめぐる「制度的空白」概念の予備的考察. 環境経済・政策学会 2025 年大会.

プロポーズドセッション | マルチトレーサーによる流域水文過程の可視化

■ 2026年9月16日(水) 13:00 ~ 14:30 | ■ 2Fホール(2F)

[OS-09] マルチトレーサーによる流域水文過程の可視化

座長: 齋藤 光代(広島大学 大学院 先進理工系科学研究科)、利部 慎(長崎大学総合生産科学研究科)

13:00 ~ 13:15

[OS-09-01] マルチトレーサーによる流域水文過程の可視化：国際的な研究動向と今後の展望

*利部 慎¹ (1. 長崎大学総合生産科学研究科)

13:15 ~ 13:30

[OS-09-02] 地下水のマルチトレーサー分析により推定された富士山北麓の地下水流動過程

*山本 真也¹、Oshin Alagiyawanna^{2,3}、横山 祐典²、太田 耕輔⁴、Musy Stépanie⁵、Currle Friederike⁵、Tomonaga Yama⁵、Schilling Oliver^{5,6}、中村 高志⁷ (1. 山梨県富士山科学研究所、2. 東京大学 大気海洋研究所、3. The University of Bremen、4. 産業技術総合研究所、5. University of Basel、6. Eawag, Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology、7. 山梨大学)

13:30 ~ 13:45

[OS-09-03] 釜無川扇状地地下水におけるトリチウム濃度の鉛直分布特性

*永井 晴也¹、中村 太良¹、松浦 拓哉¹、中村 高志¹ (1. 山梨大学)

13:45 ~ 14:00

[OS-09-04] d 値の季節変動を用いた江津湖周辺の湧水や河川水の平均通過時間の推定*壁谷 直記¹、清水 晃¹、一柳 錦平²、Rahmawan Irfan²、長岡 輝²、清水 貴範³、飯田 真一³ (1. 森林総合研究所九州支所、2. 熊本大学大学院先端科学研究部、3. 森林総合研究所)

14:00 ~ 14:15

[OS-09-05] マルチトレーサーによる島嶼沿岸スケールでの海底湧水の空間分布推定

*齋藤 光代¹、小野寺 真一¹、Nguyen Nhat^{2,3} (1. 広島大学 大学院 先進理工系科学研究科、2. 岡山大学 大学院 環境生命科学研究科、3. ベトナム アンザン大学)

14:15 ~ 14:30

[OS-09-06] 水温を指標とした流出過程可視化の可能性

*大西 健夫¹、千家 正照²、原田 守啓³、平松 研¹ (1. 岐阜大学応用生物科学部、2. 株式会社ユニオン、3. 岐阜大学環境社会共生体研究センター)

マルチトレーサーによる流域水文過程の可視化：国際的な研究動向と今後の展望

長崎大学総合生産科学研究科 ○利部 慎

1. はじめに

流域水文過程の解明は、水循環の理解や水資源管理において不可欠な基盤的研究テーマである。しかし、植生、地形、地質構造の多様性に加え、近年の気候変動や土地利用変化に伴う時間的・空間的な変動が複雑化しており、その動態把握には未だ多くの課題が残されている。単独の指標や、特定の観測項目のみに依存した従来の手法では、これら複雑なプロセスの全容を捉えることは困難であり、複数の物理・化学・同位体指標を組み合わせた「マルチトレーサー法」による、より高精度で比較可能な「可視化」が強く求められている。本発表では、マルチトレーサー研究の国際的な動向を概観するとともに、国内の調査事例を交えながら本手法の有効性と限界を整理し、将来の観測・解析の方向性について展望する。

2. 国際誌におけるマルチトレーサー研究の推移

マルチトレーサーを用いた水文科学的研究の動向を探るため、Scopus を用いて国際誌における「マルチトレーサー」および「地下水」を対象とした論文数を調査した。マルチトレーサー関連の論文は、1990 年代には年間数件程度であったが、2010 年以降急増し、累計で 445 件の論文が掲載されている（図-1）。マルチトレーサー論文の研究テーマを精査したところ、研究の変遷は大きく 4 つの主要なテーマに分類できる。1990 年代には、水の安定同位体比 ($\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$) やトリチウム (^3H) や CFCs 等を用いた「テーマ 1：地下水流動と年代推定」、主要イオンや窒素安定同位体比 ($\delta^{15}\text{N}$, $\delta^{18}\text{O}$) 等を用いた「テーマ 2：汚染起源と物質動態の解明」といった基本的なプロセスの解明が主流であった。しかし、2010 年代以降、気候変動に伴う水循環の複雑化や、分析機器の高精度化・普及を背景に、沿岸域の海底湧水や河川との交換プロセスを定量的に評価する「テーマ 3：地表水ー地下水相互作用の定量化」が増加している。さらに近年では、環境 DNA や医薬品などを新たな共トレーサーとして使い、ベイズ混合モデル等と組み合わせる「テーマ 4：新規トレーサーの開発と数値・統計モデルとの統合」へと研究の主軸のシフトがみられ、全体の論文数を押し上げている。

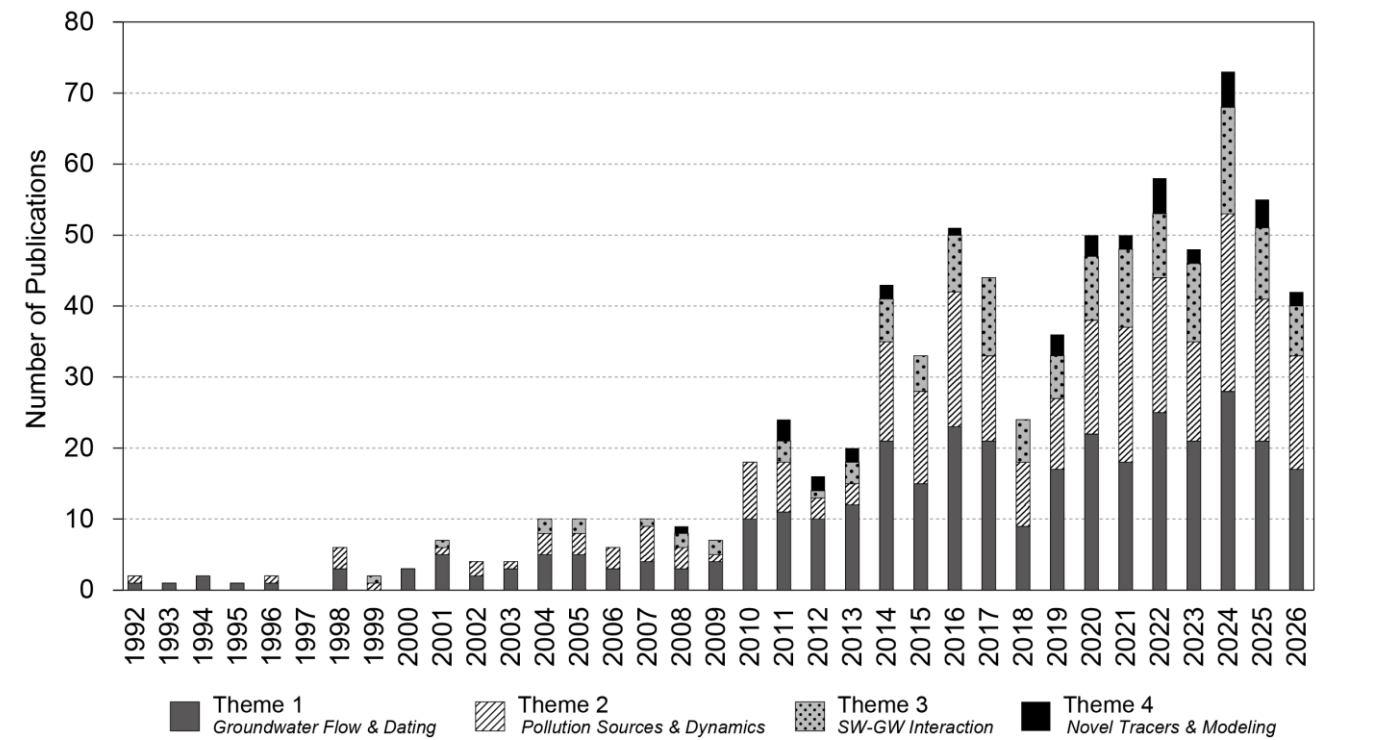


図-1 マルチトレーサー論文のテーマ別の掲載数の推移。

3. マルチトレーサー法の有効性と限界

マルチトレーサー法の有効性を示す事例として、利尻島における研究が挙げられる（浅井ほか, 2024¹⁾）。³H, CFCs, SF₆等の複数の年代トレーサーを組み合わせた解析により、陸域湧水は異なる年代の地下水が混合した指数関数モデル（平均通過時間 10～45 年）で近似できる一方、南西部の国内最大級の海底湧水はピストン流的に流動する通過時間約 40 年の地下水によって形成されていることが明らかになり、スケールの異なる地下水流動系を可視化できた。また、熊本地域では、人為的影響や微生物分解の影響を受けにくい ⁸⁵Kr を用いることで、涵養域から湧出域に至る精緻な地下水滞留時間（数ヶ月～約 40 年）の空間分布と硝酸性窒素の動態が解明されている（Kagabu et al., 2017²⁾）。また新規トレーサーの有効性を示す事例として、2016 年熊本地震前後での人工甘味料（2000 年に国内認可されたアセスルファム等）を用いた地下水汚染の評価が挙げられる（Ishii et al., 2021³⁾）。地震 7 ヶ月後には地下水中の同濃度が最大で被災前の 189 倍に急増し、下水管損傷に伴う下水漏出の激化を明確に捉えた。約 2 年半後にはインフラ復旧に伴い濃度は劇的に低下しており、人工甘味料が突発的な汚染の推移や復旧効果を評価する優れた指標となることが実証された。

一方で、本手法には現場特有の限界も存在する。例えば、名古屋市内の小規模な里山湧水では、流出時の大気との接触に伴う水温変動により CFCs や SF₆ 濃度が季節変動し、見掛けの年代が夏季に冬季よりも 10 年以上長くなるという矛盾が生じることが報告されている。複数の年代トレーサー間で生じる不確実性や矛盾をどう統合的に解釈し、流動モデルへと統合していくかが現在の大きな壁となっている（浅井ほか, 2020⁴⁾）。

4. まとめ

地下水流動の実態解明には、単独の指標ではなく、物理・化学・同位体・年代といった多角的な情報を統合するマルチトレーサー法が不可欠である。特に、1990 年代以降に蓄積された「年代推定と流動（テーマ 1）」や「汚染起源と物質動態（テーマ 2）」といった基盤的な研究は、現在の水循環理解の土台となっている。また、近年増加している医薬品や人工甘味料等の異分野の物質をトレーサーとする革新的なアプローチは、人間活動と地下水環境を直接リンクさせる強力なツールとなり得る。今後は、本セッションでの分野横断的な議論を通じて、各手法の有効性と限界を整理しつつ、新規トレーサーの地下環境中での挙動特性（吸着・分解の有無など）の解明も進めたい。多様なトレーサーと流動モデルの統合により、流域水文過程の定性的な「可視化」から定量的な「数値化・予測」へとフェーズを発展させ、持続可能な地下水管理やリスク評価に貢献していくことが期待される。

参考文献

- 1) 浅井和由・浅井和見・茂木勝郎・林 武司・辻村真貴・張 勁 (2024): マルチ年代トレーサー (³H・CFCs・SF₆) による利尻島の海底湧水と陸域湧水の滞留時間推定. 地下水学会誌, Vol.66, No.3, pp.207-225.
- 2) Kagabu, M., Matsunaga, M., Ide, K., Momoshima, N. and Shimada, J. (2017): Groundwater age determination using ⁸⁵Kr and multiple age tracers (SF₆, CFCs, and ³H) to elucidate regional groundwater flow systems. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, Vol.12, pp.165-180.
- 3) Ishii, E., Watanabe, Y., Agusa, T., Hosono, T. and Nakata, H. (2021): Acesulfame as a suitable sewer tracer on groundwater pollution: A case study before and after the 2016 Mw 7.0 Kumamoto earthquakes, *Science of the Total Environment*, Vol.754, 142409.
- 4) 浅井和由・辻村真貴・加藤勇治 (2020): 里山湧水における年代トレーサーの挙動－温度変動が CFCs, SF₆ 濃度に与える影響－. 地下水学会誌, Vol.62, No.4, pp.589-599.

キーワード : Multi-tracer, Hydrological processes, Visualization, Surface water-groundwater interaction

地下水のマルチトレーサー分析により推定された富士山北麓の地下水流動過程

山梨県富士山科学研究所 ○山本真也

東京大学大気海洋研究所・University of Bremen Oshin Alagiyawanna

東京大学大気海洋研究所 横山祐典

産業技術総合研究所 太田耕輔

University of Bersel Stéphanies Musy, Friederike Currle,

Yama Tomonaga

University of Bersel, Eawag Oliver S. Schilling

山梨大学 中村高志

1. はじめに

火山体は高い貯水能力を有する一方で、地質の不均一性に起因する地下水涵養量の地域差が大きく、また透水性の高い火山噴出物に覆われているため、地下水ポテンシャルやシミュレーションに基づく地下水動態の把握が困難である¹⁾。このため火山地域では、同位体比や主要イオン化学組成などのトレーサーを用いた地下水流動過程の解明が精力的に進められてきた²⁾。日本列島には多くの活火山が分布しているが、中でも富士山は日本最大の玄武岩質火山であり、山麓で湧き出す地下水（日量 480 万トン）は生活用水や農業用水、工業用水として利用される重要な水資源である。また、忍野八海をはじめとする山麓の湧水群は、世界文化遺産の構成資産に登録されており、富士山における地下水の形成・流動メカニズムの解明は、地下水資源保全のみならず、文化遺産の保存・管理の観点からも重要である。富士山の水理地質構造における最大の特徴は、透水性に富む新富士火山の噴出物の下位に、難透水性の古富士泥流が広く分布する点である。この構造により、新富士火山の噴出物が帯水層となり、地下水が古富士泥流の上を下方に流れる大規模な流動系が形成されている³⁾。また、新富士火山の噴出物中にも帯水層があり、溶岩流のクリンカー部や火山砂礫層を流動する地下水流が明らかにされている⁴⁾。一方、近年の南東麓の地下水を対象にしたマルチトレーサー分析により、新富士火山中の地下水がより深い地下水と最近涵養された地下水の混合により生じていること⁵⁾、富士川断層沿いにおいて地下深部からの地下水の流出等が明らかにされている⁶⁾。しかし、こうした現象が南東麓で見られる局地的な現象なのか、それとも富士山全体で普遍的に認められるものなのか、については現時点で明らかにされていない。そこで本研究では、富士山北麓の地下水を対象にマルチトレーサー分析（主要溶存イオン組成、微量元素組成、水の酸素・水素安定同位体比、硝酸イオンの窒素・酸素安定同位体比、溶存無機炭素の放射性炭素濃度）を行い、地下水の流動メカニズムについて検討を行った。

2. 試料および手法

本研究では、2023 年 8 月から 9 月にかけて富士山北麓の市町村の 70 地点の水源井戸で採取した地下水試料を用いた。採取した試料は、0.22 μ m のメンブレンフィルターで濾過した後、主要溶存イオンおよび微量元素組成、水の酸素・水素安定同位体比、硝酸イオンの窒素・酸素安定同位体比の分析を行った。主要溶存イオンおよび微量元素組成は、イオンクロマトグラフ法（Dionex ICS-1100, Integrion, 富士山研）および ICP-MS 法（Agilent 7900, 富士山研）により分析した。重炭酸イオン濃度は、pH4.8 硫酸滴定法により定量した。また、水の酸素・水素安定同位体比はキャピティリングダウン分光法（PicarroL2120, ベーゼル大学）により、硝酸イオンの窒素・酸素同位体比は脱窒菌法により分析した（Sercon Hydra20, 山梨大学）。更に、35 地点の地下水試料については、東京大学大気海洋研究所のシングルステージ型加速器質量分析計により放射性炭素（ ^{14}C ）濃度（ $\Delta^{14}\text{C}_{\text{DIC}}$ ）の分析を行った。

3. 結果

地下水中の水の酸素・水素安定同位体比（ $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$, $\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}$ ）は、富士山麓の天水線上に分布し、これら地下水が主に天水起源であることが再確認された。一方、本栖湖および精進湖周辺の一部の井戸では相対的に高い酸素・水素同位体比が認められ、湖水の混合の影響が示唆された。また、地下水中の $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ とバナジウム濃度の間には負の

相関が見られた ($r = -0.58, p < 0.05$)。これまで富士山では、湧水中のバナジウム濃度が滞留時間とともに増加することが報告されており⁷⁾、これらの関係は高標高域で涵養された地下水ほど長い滞留時間を持つことを示唆している。一方、地下水中の ^{14}C 濃度 ($\Delta^{14}\text{C}_{\text{DIC}}$) は、 -329‰ ~ 22‰ の値を示した。この値は、約 3100 年前~現代の年代に相当し、従来のトリチウムなどの年代トレーサーから推定された滞留時間 (新富士 30-40 年; 古富士 >60 年⁸⁾) に比べ古く、 ^{14}C に枯渇した地下水の寄与を示唆している。一般に地下水中の $\Delta^{14}\text{C}_{\text{DIC}}$ は、地下水流動過程で生じる異なる起源や年代を示す地下水との混合や、地下水中の炭素成分の付加・除去に伴う ^{14}C 濃度の変化により変動する。そこで本研究では、 $\Delta^{14}\text{C}_{\text{DIC}}$ が低い地下水の成因を明らかにするため、主要溶存イオン組成との比較を行った。その結果、 $\Delta^{14}\text{C}_{\text{DIC}}$ は、フッ化物イオンと良い負の相関 ($r = -0.85, p < 0.05$) を示すことが明らかとなった。また、硫酸イオンおよび塩化物イオンについても、 $\Delta^{14}\text{C}_{\text{DIC}}$ が低い領域 ($< -200\text{‰}$) で濃度が増加する傾向が認められた。これら溶存イオンは一般に火山ガスに特徴的に含まれる成分であることから、これらの関係は、 ^{14}C に枯渇した火山ガスまたは深部流体起源の CO_2 の混入により、地下水中の $\Delta^{14}\text{C}_{\text{DIC}}$ が低下した可能性を示唆する。更に、 $\Delta^{14}\text{C}_{\text{DIC}}$ は、 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ や井戸深度とも有意な相関を示し (それぞれ $r = 0.83, p < 0.05, r = 0.76, p < 0.05$)、高標高域で涵養された地下水が地下深部を流動する過程で火山ガスや深部流体の影響を受けていることを示唆している。一方、塩化物イオンは $\Delta^{14}\text{C}_{\text{DIC}}$ が比較的高い ($> -100\text{‰}$) の領域でも増加傾向が見られた。塩化物イオンは、大気降下物や火山ガス、海水等に含まれる成分であるが、硝酸イオンの窒素安定同位体比と正の相関を示すことから ($r = 0.58, p < 0.05$)、人為活動による影響が示唆された。

4. まとめ

富士山北麓における地下水のマルチトレーサー解析の結果、高標高域で涵養された地下水が地下深部を流動する過程において、火山ガスあるいは深部流体の影響を受けていることが示唆された。富士山では地下約 1000 m に低温熱水の存在が推定されており⁹⁾、本研究の結果は、これまで南東麓で指摘されてきた深部流体の寄与が北麓においても認められる可能性を示している。

【謝辞】

富士吉田市、富士河口湖町、鳴沢村、忍野村、山中湖村には水道水源の試料を提供していただいた。記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 谷口, 「地下水涵養と流出」II. 火山地域における地下水涵養と流出, 日本水文科学会誌, Vol. 28, No. 3, pp. 105–110, 1998.
- 2) 例えば Asai et al., Isotopic approach to understanding the groundwater flow system within an andesitic stratovolcano in a temperate humid region: Case study of Ontake volcano, central Japan. Hydrological Processes 23, 559–571, 2009. など
- 3) 土, 富士山の地下水・湧水, 富士火山 (荒牧ほか編), 375–387, 2007.
- 4) 安原ほか, 富士山の地下水とその涵養プロセスについて, 富士火山 (荒牧ほか編), 389–045, 2007.
- 5) Gmati et al., Aquifers interaction in the southwestern foot of Mt. Fuji, Japan, examined through hydrochemistry and statistical analyses, Hydrological Research Letters, 5, 58–63, 2011.
- 6) Schilling et al., Revisiting Mt Fuji's groundwater origins with helium, vanadium and environmental DNA tracers, Nature Water, 1, 60–73, 2023
- 7) Ono et al., Regional groundwater flow system in a stratovolcano adjacent to a coastal area: a case study of Mt. Fuji and Suruga Bay, Japan, Hydrogeology Journal, 27, 717–730, 2019.
- 8) 戸崎・浅井, 富士山の地下水年代, 地学雑誌, 126, 1, 89–104, 2017.
- 9) Aizawa et al., Gas pathways and remotely triggered earthquakes beneath Mount Fuji, Japan, Geology, 44, 2, 2016.

キーワード : Multi-tracer, Volcano, Major ions, Trace elements, Stable isotopes, Radiocarbon, Groundwater

釜無川扇状地地下水におけるトリチウム濃度の鉛直分布特性

山梨大学大学院土木環境工学コース ○永井晴也
 山梨大学大学院土木環境工学コース 中村太良
 山梨大学大学院総合研究部工学域 松浦拓哉
 山梨大学国際流域環境研究センター 中村高志

1. はじめに

本研究の目的は、釜無川扇状地における地下水の深度別滞留時間を明らかにすることである。本研究対象領域である釜無川扇状地では、工業用水や農業用水などの生活用水として地下水が日常的に利用されている。既往研究では、水素・酸素同位体比、主要溶存イオンを用いて、地下水涵養源や流動機構を推定する研究^{1),2)}が数多く実施されている。一方で、年代トレーサーを用いた研究は、著者が知る限りこれまで実施されておらず、地下水の滞留時間は十分に検討されていない。以上を鑑み、本研究では、釜無川扇状地地下水を対象としてトリチウム濃度の分析を行い、地下水の深度別滞留時間について検討した。

2. 対象領域および観測・分析概要

図-1 は本研究対象領域である釜無川扇状地を擁する甲府盆地および観測地点である。観測地点は11地点である。観測は2015年4月、2025年10月、12月に行った。釜無川扇状地は、甲府盆地北西部から流れる釜無川によって形成された扇状地である。釜無川は長野県との県境に位置する鋸岳（標高 2685 m）に源を発し、長野・山梨両県の県境を成しながら流下し、立場川との合流後、尾白川、御勅使川、笛吹川と合流しながら甲府盆地西部を南下する1級河川である。盆地の主となる帯水層は扇状地を形成している扇状地堆積層であり、砂礫によって構成され深度は300 mまで及んでいる。一部の地域では、不透水性の粘土質あるいは粘土混り砂礫質からなる被圧帯水層より地下水が自噴している地域が存在するが概ね不圧地下水である。

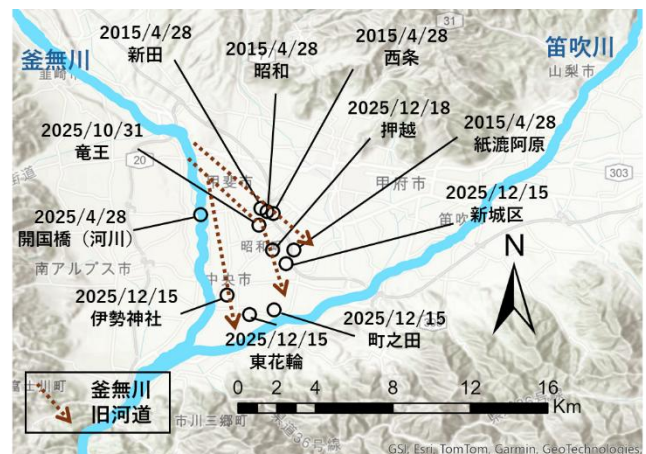


図-1 対象領域および観測地点

トリチウム濃度の分析は、(株)地球科学研究所に委託した。分析方法は電気濃縮-液体シンチレーション計数法を用いており、Fe-Ni 電極による電気分解によってトリチウムを20倍以上に濃縮後、低バックグラウンド液体シンチレーションカウンターによりβ線を計測した。濃度単位は、SI単位系のBq/Lおよび水素原子(^1H) 10^{18} 個中のトリチウム原子数で表すトリチウム単位(T.U.)を用いた。

3. 結果

表-1 は、釜無川扇状地地下水におけるトリチウム濃度の分析結果である。地下水中のトリチウム濃度は、時間の経過とともに放射壊変により減少する。そのため、70年以上前に涵養された地下水では、現在のトリチウム濃度は検出下限値以下となる。従って、水試料からトリチウムが検出されるか否かによって、地下水が比較的若い地下水であるか、古い水であるかを判定できる点が、トリチウムを年代トレーサーとして利用する上での大きな利点である。表-1 より、釜無川扇状地における地下水中のトリチウム濃度は1.0~2.7 T.U.の範囲を示した。全ての地点でトリチウムが検出されたことから、対象地下水はいずれも1950年以降に涵養された地下水であることが明らかとなった。

図-2 はトリチウム濃度と深度の関係と各地点の主要溶存イオン濃度により作成したヘキサダイアグラムである。2015 年，2025 年のいずれにおいても，深度の増加に伴ってトリチウム濃度が減少する傾向が認められた。これは，滞留時間の長い地下水ほど，放射壊変によってトリチウム濃度が低下するためであり，地下水の滞留時間を反映した結果であると考えられる。ヘキサダイアグラムに着目すると，深度が浅くトリチウム濃度の大きい竜王と比較して，東花輪と新城区では全体的に溶存イオン濃度が大きくなる傾向が認められた。この結果は，地下水深度の増加に伴い滞留時間が長くなることを示唆している。一方，町之田のヘキサダイアグラムでは，滞留時間の長い地下水に特徴的な重炭酸ナトリウム型の水質が確認され，深度が深い東花輪や新城区よりも滞留時間が長い可能性が示唆された。これは，図-1 に示すように，釜無川扇状地地下水の多くが釜無川旧河道上に位置しており，旧河道からの涵養の影響を強く受けている一方で，町之田は釜無川から最も離れた地点に位置しているため，他地点と比較して地下水流動が緩やかとなり，滞留時間が長くなっているためと考えられる。

4. まとめ

本研究では，山梨県釜無川扇状地を対象に地下水中のトリチウム濃度を分析し，その空間分布特性を明らかにした。その結果，いずれの観測地点においてもトリチウムが検出され，釜無川扇状地地下水は 1950 年以降に涵養された水であることが分かった。また，釜無川扇状地地下水のトリチウム濃度は，深度と相関性があり，このことから，深度の大きい地下水ほど滞留時間が長いことが考えられた。しかし一部の地下水ではその限りではなく，深度は小さいが釜無川からの距離が大きい地点では長い滞留時間を示す水質が現れた。

【謝辞】

本研究の一部は，「山梨県大村智人材育成基金若手研究者研究奨励事業」の助成を受けた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

1) Nakamura, T. et al., (2017) : Influence of a dual monsoon system and two sources of groundwater recharge on Kofu basin alluvial fans, Japan, Hydrology Research, 48 (4), 1071-1087.

2) Nguyen, C.Q. et al., (2025) : Evaluating mountain recharge in Yamanashi, Japan, using stable isotopes and a hydrogeological groundwater flow model, Hydrology Research, 56 (9), 951-966.

3) 山梨県(2023) : 富士川水系釜無川圏域河川整備計画，1~2.

キーワード : Groundwater, Tritium, Residence time, Groundwater water dating, Kamanashi River alluvial fan

表-1 観測地点のトリチウム濃度

地点名	観測日	T.U.	深度(m)
紙漉阿原	2015/4/28	1	230
昭和	2015/4/28	2.3	130
西条	2015/4/28	2.3	55
新田	2015/4/28	2.7	10
開国橋(河川水)	2015/4/28	2.5	標高273(m)
竜王	2025/10/31	2.1	50
東花輪	2025/12/15	1	80
町之田	2025/12/15	1.2	60
新城区	2025/12/15	1	120
伊勢神社	2025/12/15	1.5	不明
押越	2025/12/18	2.1	不明

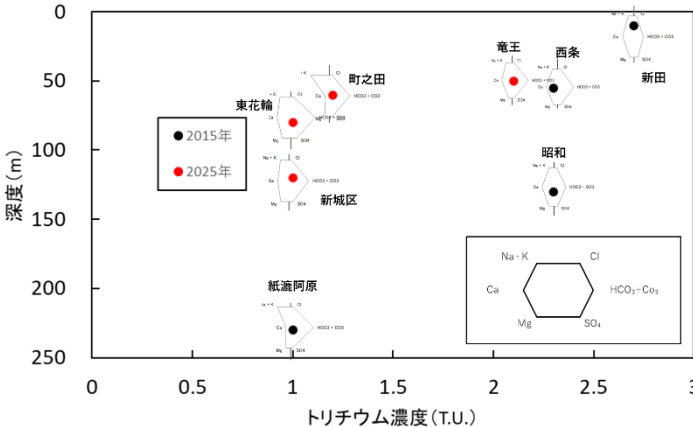


図-2 トリチウム濃度と深度の関係およびヘキサダイアグラム

d 値の季節変動を用いた江津湖周辺の湧水や河川水の平均通過時間の推定

森林総合研究所九州支所 ○壁谷直記・清水 晃
 熊本大学大学院先端科学研究 一柳錦平・
 RAHMAWAN Irfan Tsany・長岡 輝
 森林総合研究所 清水貴範・飯田真一

1. はじめに

水の水素・酸素安定同位体比から算出される d 値 (deuterium excess) は次の式によって表される.

$$d = \delta \text{ } ^2\text{H} - 8 \delta \text{ } ^{18}\text{O} \quad (1)$$

このパラメーターは、水が蒸発・凝結する際の相変化の状態によって変化する。そのため、水蒸気気団の起源およびその生成環境が季節的に大きく変化する日本を含めた東アジア地域では、降水の d 値に明瞭な季節変動が存在している。Kabeya *et al.*, (2007)¹⁾ は、この季節変動特性に着目し、その季節変動を周期関数として近似して入力関数として用いる修正サイン波法を開発した。この手法は、花崗岩の源頭部流域、片麻岩流域や結晶片岩流域などの流域内の水の平均通過時間の推定に利用可能であった。しかし、これまでこの手法が対象としたエリアは、山地上流部に限られており、流域下部の湖水周辺の湧水地などに用いられたことはなかった。そこで、本研究では熊本市内の中心部にある江津湖エリアを対象に d 値の季節変動を用いた修正サイン波法の有効性を検証するとともに、江津湖周辺の湧水や河川水の d 値の季節変動データを用いて、それらの平均通過時間を推定した。なお、本研究は、既報²⁾で公表した研究成果を要約したものである。

2. 調査地

調査地は、熊本市南部の水前寺・江津湖湧水群である。江津湖は、湖面積 0.5 km²、最大水深 約 4 m、平均水深 2.5 m の淡水湖である。本研究では、江津湖に流入する河川水と上江津湖から下江津湖まで約 3.2 km の流下区間における湖水と湧水を、計 11 地点で毎月 1 回採取した。

水分子を構成する水素、酸素安定同位体比 ($\delta^2\text{H}$, $\delta^{18}\text{O}$) は、熊本大学理学部の Piccaro L-1102i (米国 Piccaro 社) を用いて分析した。これらの値を式 1 に代入し d 値を算出し、応答関数モデルを用いて水の平均通過時間を推定した。2021 年 4 月から 2023 年 8 月までの約 2 年半のデータを用いた。水の平均通過時間の詳しい計算方法は、既報²⁾に述べたので、ここでは省略する。

3. 結果と考察

平均通過時間 (τ) は、各採水地点で異なっており、江津湖へ流入する河川である R1 地点で 2,645 日と最も長かった (図-1)。上津湖・中江津湖ゾーンの不圧地下水による湧水 (S1~2) や河川水および湖水 (R2, L1~3) は 644~978 日であった。これに対して、下江津湖ゾーンの被圧地下水による湧水 (Ar1~3) は 1,238 ~2,144 日と上江津湖・中江津湖ゾーンよりも長かった。江津湖から流出する湖水 (L4) は、1,840 日であった。

江津湖に流入する河川水（R1）の平均通過時間は2,645日と11地点中で最も長かった。上江津湖・中江津湖ゾーンに注ぐ河川水（R2）や不圧地下水による湧水（S1～2）の平均通過時間は745～978日で、それよりも短かった。下江津湖ゾーンの被圧地下水による湧水（Ar1～3）の平均通過時間は、1,238～2,144日で、上江津の河川水や湧水よりも長いが、江津湖へ流入している河川水（R1）よりは短かった。江津湖に流入する河川水（R1）は、支流河川（R2）や不圧地下水による湧水（S1～2）や被圧地下水による湧水（Ar1～3）によって涵養されている。このように河川水（R1）および湖水（L1～4）の平均通過時間は、約3.2 kmの流下区間中に流入する河川水や湧水の影響により、大きく変化していた（図-1）。

江津湖周辺の湧水の平均通過時間は、これまでの既往研究により、トリチウム濃度に基づいた推定方法によっ

て約 7 年（2,555 日）程度と推定されていた^{3), 4)}。今回の推定結果は、これらの値と整合的であるとともに、これまで詳細が不明であった、江津湖へ流入する河川水が上江津湖、中江津湖、下江津湖の各ゾーンで湧水などの涵養の影響を受けることで、平均通過時間を変化させながら流下していることが明らかとなった。

4. まとめ

本研究は熊本市内の中心部にある江津湖周辺の湧水や河川水の d 値の季節変動データを用いて、それらの平均通過時間を推定した。江津湖周辺の湧水の平均通過時間は、不圧地下水に由来するもの（745～978 日）よりも被圧地下水に由来するもの（1,238～2,144 日）の方が長かった。この 2 つの種類の湧水のうち主に、前者は、上江津・中江津ゾーン、後者は、下江津ゾーンを涵養している。これらの流動経路が異なる地下水が江津湖で湧出しているため、江津湖への流入した河川水が江津湖から湖水として流出する約 3.2 km の流下区間において、江津湖の河川水・湖水の平均通過時間は、644～2,645 日と大きく変化していることが明らかになった。

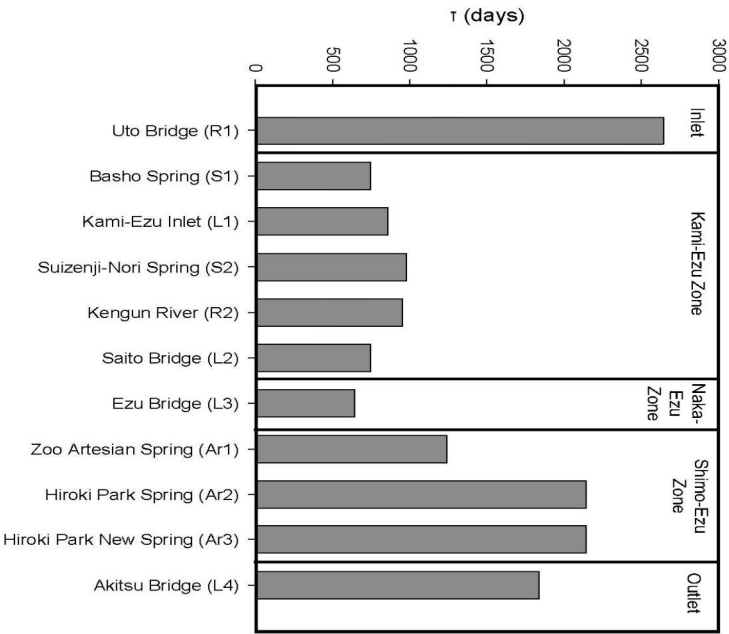


図-1 江津湖の流下方向に沿った湧水、河川水の平均通過時間（ τ ）の変化（既報²⁾ 改変）

【謝辞】

本研究は、熊本大学理学部の水文研究グループによる長年の調査結果を利用させて頂きました。この調査観測に関わったすべての研究メンバーに感謝します。

1) Kabeya *et al.*, (2007) HYDROLOGICAL PROCESSES 21(3) : 308-322.
2) 壁谷ら (2026) 九州森林研究 79: 87-91.
3) 利部ら, (2010) 日本地下水学会春季講演会2010年春季講演会予稿集, 16-19.
4) 小野ら, (2011) 陸水学雑誌72: 193-210.

キーワード： deuterium excess, confined groundwater, unconfined groundwater, mean transit time, modified sine-wave method

マルチトレーサーによる島嶼沿岸スケールでの海底湧水の空間分布推定

広島大学大学院先進理工系科学研究科 ○齋藤光代

広島大学大学院先進理工系科学研究科 小野寺真一

岡山大学大学院環境生命科学研究科

(現: An Giang University, Viet Nam) Nguyen Hong Nhat

1. はじめに

海底湧水 (Submarine Groundwater Discharge: SGD) は海底部を介した地下水の流出と定義され、地球上の水・物質循環において重要な役割を果たしていると考えられている。特に、地下水は地表水よりも高濃度の溶存成分を含む傾向にあることから、沿岸域の栄養塩 (窒素, リン, ケイ素) や炭素の循環, 沿岸生態系に及ぼす影響が指摘されている。現地における SGD の直接的な測定法としては、従来シーページメーターやピエゾメーターが用いられてきたが、ある程度広域スケールでの評価にはトレーサー法が有用であるとされる¹⁾。SGD については、自然環境中に存在する物質を用いる天然トレーサー法を適用するのが一般的であり、その代表的な例として、地表水と比べて地下水中で高い値を示すラドン (^{222}Rn) が用いられている²⁾。 ^{222}Rn はウラン (^{238}U) 系列の放射性同位体であり、半減期が 3.8 日で、溶解度の高い希ガスである。地下水が地層中を流動する過程で岩石・鉱物由来の ^{222}Rn が溶解し濃度 (放射能) が上昇するが、地下水が海域へ流出すると、大気への散逸および放射壊変により減少する。そのため、SGD が生じている場所では海水中で比較的高濃度の ^{222}Rn が検出されることになる。しかしながら、海水の ^{222}Rn 濃度は総じて低濃度であるため、現地で海水を揚水しながら測定を行う必要があり、容易ではない。一方で、溶存態ケイ素 (DSi) は岩石や鉱物の化学的風化によって地下水に溶解し、 ^{222}Rn と同様に地下水中で高濃度を示す傾向があり、SGD のトレーサーとしても有用である可能性が指摘されている³⁾。

そこで本研究では、瀬戸内海の島嶼沿岸域を対象に、ラドン (^{222}Rn) と溶存態ケイ素 (DSi) をマルチトレーサーに用い、SGD の空間分布を推定することを目的とした。

2. 対象地域の概要と方法

対象地域は広島県・尾道市の瀬戸内海沿岸に位置する生口島であり、年平均降水量は 1,100mm、年平均気温は 16℃で、柑橘栽培が主要な産業の一つとなっている。島の面積は約 31km²、周囲は約 25km で、基盤地質は花崗岩である。島内最高標高の観音山 (約 472m) が南西部に位置し、島全体を通して急勾配な山地地形を呈する。島の北部には小規模の河川が流出しているが、島の南部、西部、東部は北部よりもさらに急勾配となっており、河川があまり発達していない (図 1)。

現地調査は 2021 年 8 月および 2022 年 11 月に実施し、漁船を用いた曳航観測により、生口島の海岸線沿いに表層海水の塩分、水温、クロロフィル a、およびラドン (^{222}Rn) 濃度の空間分布を測定するとともに、18 地点 (IKR1~18) で表層海水を採取し (図 1)、実験室で溶存態ケイ素 (DSi) を含む栄養塩類の分析を行った。 ^{222}Rn 濃度の測定には、半導体検出器静電捕集型ラドンモニタ (RAD7, Durrige Company Inc.) を、DSi の分析には栄養塩オートアナライザー (swAAt, ビーエルテック株式会社) を用いた。

島全体での SGD の空間分布を評価するため、本研究では、海水の ^{222}Rn 濃度と DSi 濃度の空間分布に基づく収支計算を行った。Zhu et al. (2019)⁴⁾の方法にしたがい、生口島の周囲を 18 の区画 (A~R) に分割し (図 2)、それぞれの区画について Hwang et

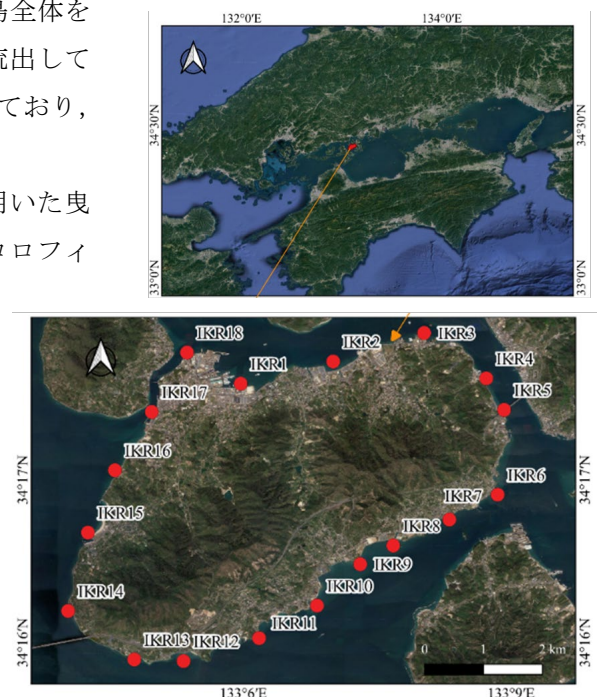


図-1 対象地域および海水試料採取地点。

al. (2005)⁵⁾による ^{222}Rn および DSI の収支式を適用し、SGD を推定した。 ^{222}Rn 収支については、インプットとして SGD および河川による流入、堆積物からの拡散を考慮し、アウトプットとして大気への散逸、放射壊変による減衰、沖合の海水との交換による流出を考慮した。DSi 収支については、インプットとして、同じく SGD および河川による流入、堆積物からの拡散を考慮し、アウトプットとしては沖合の海水との交換による流出を考慮した。なお、河川からの ^{222}Rn および DSI 流入量については、島内の主な河川について測定した値を用いた。

3. 結果と考察

対象地域における地下水の DSI 濃度は、海水と比べて高濃度を示すことが確認された。また、2021 年 8 月における沿岸海水中の ^{222}Rn 濃度は $21\sim 54\text{ Bq/m}^3$ (平均 34 Bq/m^3)、DSi 濃度は $0.5\sim 0.9\text{ mg/L}$ (平均 0.6 mg/L) の範囲でそれぞれ空間分布がみられ、どちらも全体的に島の南側において北側と比較して高い傾向がみられた。その結果、 ^{222}Rn 濃度に基づく収支から推定された SGD は $7.6\sim 24.3\text{ cm/d}$ (平均 14.2 cm/d)、DSi 濃度に基づく SGD は $7.3\sim 26.5\text{ cm/d}$ (平均 16.1 cm/d) となり、濃度分布の傾向にしたがい、全体的に島の南側において北側と比較して高い値を示すとともに、双方による推定値がおおむね近い値を示した。島の南側において北側よりも SGD が大きい理由としては、より地形勾配が急で河川が発達しておらず、水収支における SGD の割合が高いことが考えられる。また、以上の結果から、花崗岩を基盤とする対象地域においては DSI についても ^{222}Rn と同様に地下水のトレーサーとして有用であることが示された。

【謝辞】

本研究は科学研究費補助金 (20KK0262, 21H03650, 22K19869, 代表: 齋藤光代) の支援により行われました。以上を記して深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) Burnett, W. C., et al. Quantifying submarine groundwater discharge in the coastal zone via multiple methods. *Science of the Total Environment*. 367, 498-543, 2006, DOI 10.1016/j.scitotenv.2006.05.009.
- 2) Burnett, W. C. and Dulaiova, H. Estimating the dynamics of groundwater input into the coastal zone via continuous radon-222 measurements. *Journal of Environmental Radioactivity*. 69, 21-35, 2003, DOI 10.1016/S0265-931X(03)00084-5.
- 3) Oehler, T., et al. DSI as a tracer for submarine groundwater discharge. *Frontiers in Marine Science*. 6:563, 2019, DOI 10.3389/fmars.2019.00563.
- 4) Zhu, A., et al. Evaluation of the spatial distribution of submarine groundwater discharge in a small island scale using the ^{222}Rn tracer method and comparative modeling. *Marine Chemistry*. 209, 25-35, 2019, DOI 10.1016/j.marchem.2018.12.003.
- 5) Hwang, D.W., et al. Large submarine groundwater discharge and benthic eutrophication in Bangdu Bay on volcanic Jeju Island, Korea. *Limnology and Oceanography*. 50, 5, 1393-1403, 2005, DOI 10.4319/lo.2005.50.5.1393.

キーワード: Submarine Groundwater Discharge (SGD), Spatial variation, Natural tracer, ^{222}Rn , DSI

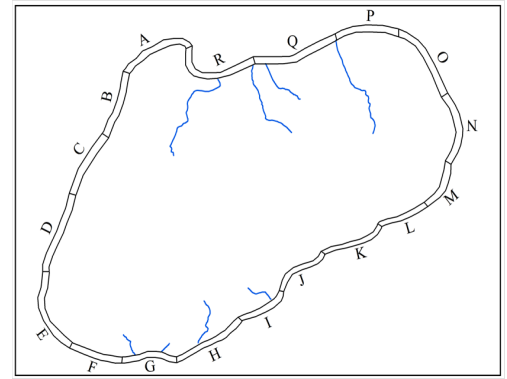


図-2 ^{222}Rn , DSI 収支計算区画の分割⁴⁾.

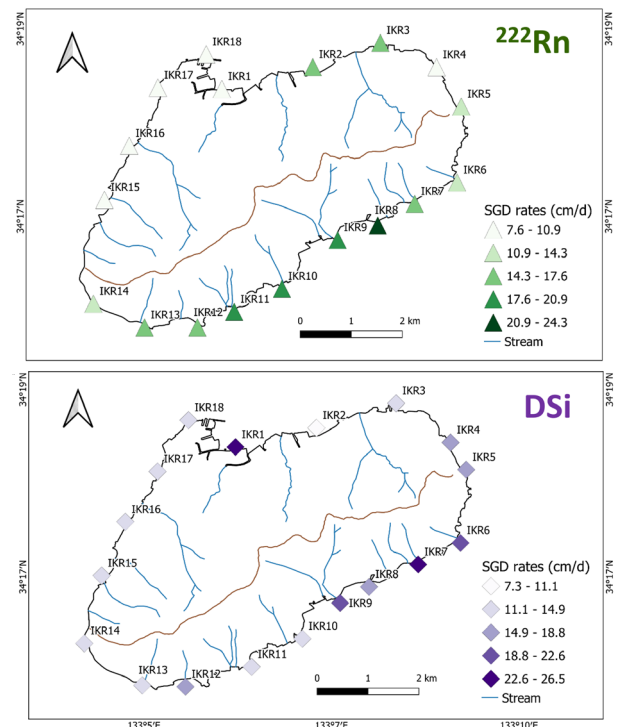


図-3 ^{222}Rn 濃度 (上) および DSI 濃度 (下) から推定された SGD の空間分布.

水温を指標とした流出過程可視化の可能性

岐阜大学応用生物科学部 ○大西健夫

株式会社 ユニオン 千家正照

岐阜大学環境社会共生体研究センター 原田守啓

岐阜大学応用生物科学部 平松 研

1. はじめに

河川水温は河川生態系を支配する重要な要因であるが、温暖化の影響が多数報告されるようになってきており、河川水温の挙動を精度よく理解し予測することが求められる。河川水温は河道中を流下する水体の熱収支により変動するため、一般には平野部より下流の低平地においては、大気との直接的な熱交換が支配的要因となる。ただし、扇状地における伏流水等による局所的な地下水流入による影響は無視できない。他方、上流の急峻な山地流域においては、植生による被覆とともに、流出過程の影響、すなわち地表流出から深部の基底流出にまでいたる流出経路の情報がシグナルとして水温に反映される。特に、気温の影響が平準化され年平均気温に漸近した地下水流出成分が全流出成分中で卓越するとき、河川水温は顕著に変動する。また、逆に地表面から一時的に地表水が浸透した場合には、地下水温自体が変動することもある。この20年ほどの間に比較的安価な水圧・水温ロガーが登場したことで、高い時間解像度で水温データが得られるようになったことにより、流出過程可視化の一指標として水温も使用できるようになってきた。そこで本報告では、水温を指標とした流出過程可視化の可能性を探索する。

2. データと解析方法

岐阜大学応用生物科学部フィールド科学教育研究センター位山演習林において、対象流域法により、スギ・ヒノキの人工林流域（面積 0.60km^2 、以下人工林流域）と落葉広葉樹天然生林流域（面積 0.72km^2 、以下広葉樹流域）の比較研究を実施している。両流域は $909\sim 1278\text{m}$ の標高帯に位置し、 $2009\sim 2018$ 年の期間における年平均降水量は $2,600\text{mm}$ （うち降雪は 10% 程度）、基岩は濃飛流紋岩、土壌は褐色森林土に分類される。流域末端には直角三角堰が設置されており、水圧センサー（HOBO U20-001-04, Onset）にて水位とともに水温を $3\sim 10$ 分間隔で経時的に観測している。また、流域内に斜面プロットを設けて深度別（ $5, 15, 30, 50\text{cm}$ ）に地温を計測した。なお、使用したデータの観測期間は、 $2011\sim 2018$ 年の8年間である。

3. 結果

両流域における気温、河川水温、地温とを比較したのが図1である。地温、水温ともに、広葉樹流域のほうが人工林流域と比較して変動の振幅幅が顕著に大きいことがわかる。両流域における流況曲線にも明瞭な相違が見られ、この特性とあわせて考えると、広葉樹林流域のほうが基底流出の全流出に占める割合が高いことが示唆される。次に、降雨イベント時の水温変動を検討すると、特に春季～夏季においては降雨時に水温が顕著に低下することが観察される。そこで、深度ごとの地温の平均地温、および地下水温を2つのエンドメンバーとする簡易な河川水温の完全混合モデルが成立することを仮定して、降雨イベントごとに地

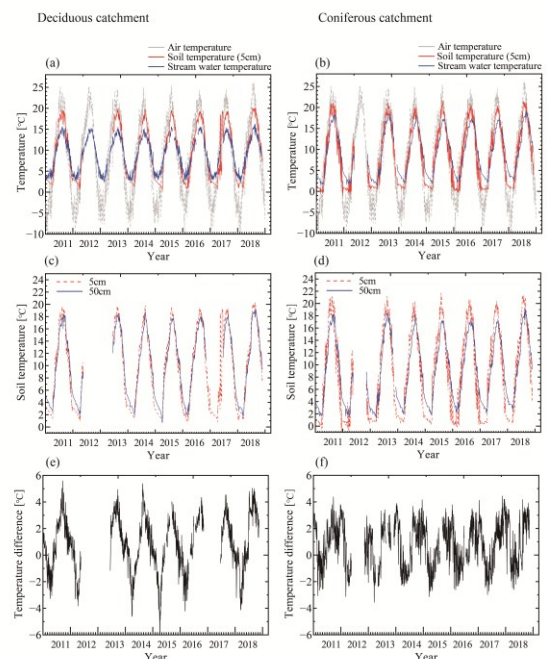


図1 水温・地温の季節的変動 (Onishi et al., 2025)

表流出率（地下水流出率）を算定し、確率的な分布として流出率をプロットした（図2）。なお、解析に使用した降雨イベント数は、人工林流域：166、広葉樹流域：142である。降雨イベントごとに地表流出率は大きく変動することがわかり、流域のイベントに先立つ水文条件の相違により変化しうることが示唆される。また、人工林流域のほうが地表流出率が高くなるほうに分布が偏っていることがわかる。地表流出率の平均値は、人工林流域：57.6%、広葉樹流域：52.6%である。別途、同流域を対象にしてハイドログラフの成分分離法により求めた地表流出率は、人工林流域：56.7%、広葉樹流域：46.9%であり（久田，2011）、広葉樹流域における評価値に乖離があるものの比較的近い推定値が得られていることを確認している。

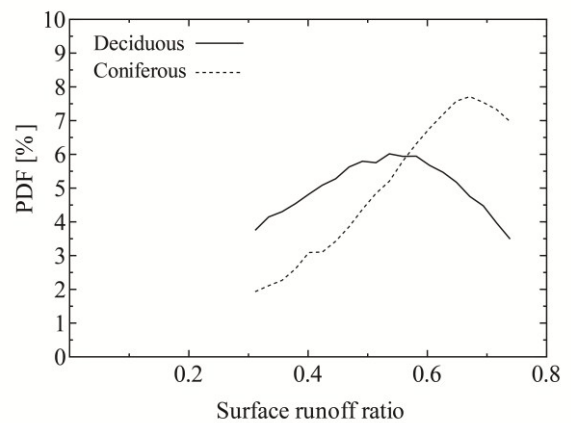


図2 算定された地表流出率の比較（Onishi et al., 2025）

同様に、長良川の支流 16 河川を対象として降雨イベント時の河川水温の変動幅を評価した結果を図3に示す。降雨イベント時には、水温が大きく低下する場合と、上昇する場合とがあり、特に低下幅が大きい。本解析ではこれ以上の考察は得られていないが、水文流出過程を反映して水温が顕著に変化しうること示していることが示唆される。

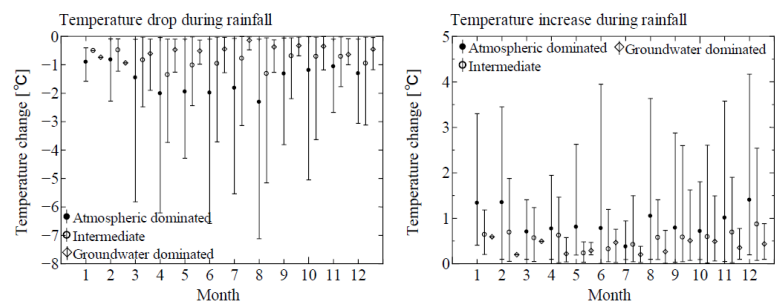


図3 降雨イベント時の水温変化（Mousumi et al, 2025）

4. 考察

水質トレーサーによる流出過程の可視化と同様に、流域末端の河川水温と流域内の地温の測定値を用いることにより、流出過程可視化のためのトレーサーとして利用しうることが示された。河川水温は観測が容易であるのに対して、水質トレーサーと同様、流域内の地温を代表すると考えられるデータを得ることには観測上の難点が残る。他方、土壌水の水質とは異なり、地温に関しては、ある程度までは物理的に妥当な推定値を算定することができるかもしれない。比較的容易に入手可能な気象データを用いて地温を精度よく推定することができれば、水温は流出過程を可視化するための有効な指標になりうると考える。また、EMMA の一項目に水温と地温を含むことで解析の制約条件として活用することができる可能性も考えられる。

参考文献

- 1) Onishi T., Yanagihara M., Senge M., Hiramatsu K., Noda K. 2025: How the hydrothermal regime differs between artificially planted coniferous and secondary deciduous forests. *Journal of Hydrology*, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2025.134651>.
- 2) Mousumi K. A., Onishi T., Sueyoshi M., Harada M., Hiramatsu K. 2025: River water temperature variability: classification, diurnal change, and precipitation impacts in Nagara River tributaries. *Hydrological Research Letters*, DOI: 10.3178/hrl.25-00031
- 3) 久田重太, 千家正照, 伊藤健吾, 丸山利輔 2011: 落葉広葉樹林流域と常緑針葉樹林流域における水収支特性の比較, 農業農村工学論文集, No.271, 1-7.

キーワード: Temperature, Tracer, Coniferous, Deciduous, Rainfall event