

2. 水文・水質・気象**■** 2026年8月27日(木) 13:40～15:20 | **■** 第7会場(501教室)**[7-7] 水文・水質・気象⑦**

座長:尾崎 彰則(九州大学熱帯農学研究センター)

水質・栄養塩・同位体

13:40～13:55

[7-39] Linking Dietary Shifts and Feed Production to Nutrient Pollution of the Kasumigaura Watershed*NINA HODALOVA¹, KOSHI YOSHIDA¹ (1. The University of Tokyo)

13:55～14:10

[7-40] 週次水質データを用いたラオス・ビエンチャンにおける栄養塩負荷の推定*落合 康¹、木村 匡臣²、乃田 啓吾¹、松野 裕²、濱田 浩正、ソンパシット ドゥアンサワン³ (1. 東京大学大学院農学生命科学研究科、2. 近畿大学農学部、3. 国際水管理研究所)

14:10～14:25

[7-41] 水田流域の窒素動態推定にむけたSWAT-PADDYの改良 (第2報)*荻野 亮介¹、当真 要² (1. 北海道大学大学院農学院、2. 北海道大学大学院農学研究院)

14:25～14:40

[7-42] 秋田県横手盆地における地下水を水源とする水道水中のネオニコチノイド系殺虫剤濃度*近藤 正¹、後藤 圭輝¹、近藤 尚子² (1. 秋田県立大学 生物資源科学部、2. 秋田県立大大学院生物資源科学研究科)

14:40～14:55

[7-43] 降雨－流出モデルを用いた山林溪流水の酸素・水素安定同位体比の再現性*前川 洋貴^{1,2}、中桐 貴生¹、堀野 治彦³、櫻井 伸治¹ (1. 大阪公立大学大学院農学研究科、2. 株式会社三祐コンサルティング、3. 大阪公立大学名誉教授)

14:55～15:20

セッション総括

食生活の変化および飼料生産と霞ヶ浦流域における栄養塩汚染との関連 Linking Dietary Shifts and Feed Production to Nutrient Pollution of the Kasumigaura Watershed

○ニナ・ホダーロバー*, 吉田貢士*
○NINA HODALOVA*, KOSHI YOSHIDA*

INTRODUCTION

Nitrogen and phosphorus nutrient pollution from agriculture is causing negative effects on the water quality. One of the newly proposed approaches to reduce nutrient pollution is a change of eating habits. This is because the production of animal-based protein requires increased fertilizer input due to need for feed crops and releases manure rich in nutrients. Therefore, consumption of animal protein leads to higher nutrient pollution, compared to plant-based alternatives.

Even national-scale studies are abundant, assessing dietary impacts at the watershed scale is absent, despite the localized nature of nutrient pollution. The aim of this study is to estimate the impact of dietary and feed self-sufficiency production changes on nitrogen and phosphorus loads and their effects on water quality in the target area, Kasumigaura watershed, for the year 2020 (Fig.1). Simultaneously, it will focus on limiting relationship between the two nutrients.

METHODS

The Kasumigaura watershed is situated in Ibaraki Prefecture, with an area of 2,157 km² and a population of 937,300 residents (2020). Its land-use is dominated by agricultural fields, since it is one of the largest food producers in Japan (Fig. 1). Therefore, non-point nutrient pollution from agriculture contributes to degraded water quality, which is above the environmental standards. Firstly, the study assesses current nitrogen and phosphorus loading, with a main focus on food production (consisting of farmland and livestock). This was accomplished through a balance of nitrogen and phosphorus based on fertilizer input, with farmland area determined through land-use analysis. Livestock loading was based on the number of various kinds of livestock and their corresponding manure leaching. To validate the nutrient loading estimations, expected water quality was compared with observed water quality. Expected nutrient concentrations were estimated through the division of estimated nutrient loads by runoff water (1.5×10^9 m³/year). The method for runoff water calculation is shown in Equation 1.

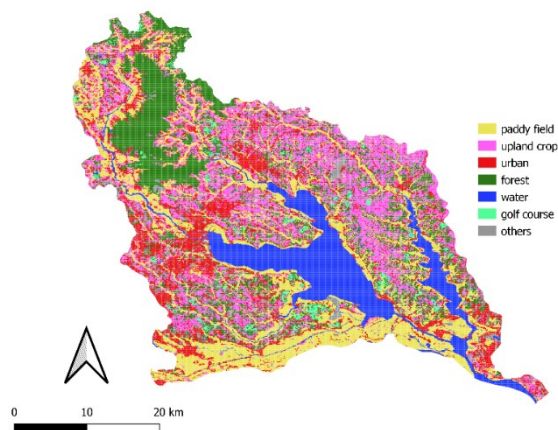


Fig.1 Land-use of the watershed (2016)

$$Q = a(h - h_0)^b \quad (1)$$

where Q is discharge (m³), h is stage (m), h_0 is reference stage (m) and a, b are constants.

Observed water quality was based on monthly TN and TP concentrations provided by Ibaraki Government (2020). To conduct the dietary analysis, number of consumers of various food groups was assessed through food production data and average yearly protein intake of Japanese population (MAFF 2020). Feed self-sufficiency was assessed through livestock feed production data. Then, a dietary scenario where the livestock protein produced in the watershed is replaced by the same amount of legume protein was explored at various degrees (30, 50, 70, 100%). In the feed self-sufficiency scenario, different levels (30, 50, 70, 100%) of the watershed's livestock feed self-sufficiency were assessed. Lastly, nutrient changes were calculated according to each scenario, through division of scenario-related nutrient loads and runoff water. The limiting relationship of the nutrients (N:P molar ratio) was based on their load contributions.

RESULTS

The estimation of nitrogen load (Fig. 2) correlated with the reported value of 4,343.5 ton/year by Ibaraki Government (2022). The load was dominated by food production, with 1,668 tons-N. The assessment of phosphorus load (Fig. 3) was

【所属】*東京大学, * The University of Tokyo

【Keywords】Eutrophication, eating habits, alternative proteins

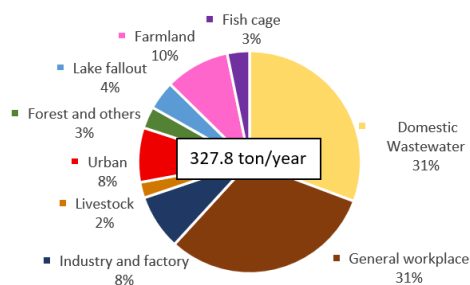


Fig.2 Estimated nitrogen load

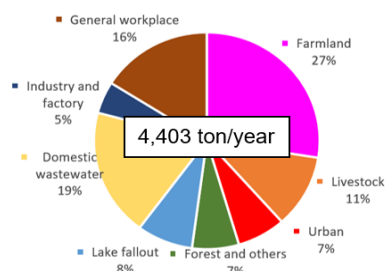


Fig.3 Estimated phosphorus load

also closely aligned with the governmental value of 324.9 tons-P (Ibaraki Government, 2022). In contrast to the nitrogen load, contribution of food production was much less significant, with 49.6 tons-P. The largest inputs were from point-sources. Expected water quality for nitrogen and phosphorus was 2.85 mg N/L (TN) and 0.212 mg P/L (TP), respectively. The monitored water quality was closely aligned, with nitrogen and phosphorus values being 2.88 mg N/L and 0.202 mg P/L, respectively. Analysis of the dietary scenario revealed a decrease in both nitrogen and phosphorus load (Fig. 4). In the case of nitrogen, the water quality can improve up to 2.58 mg N/L and phosphorus up to 0.202 mg P/L.

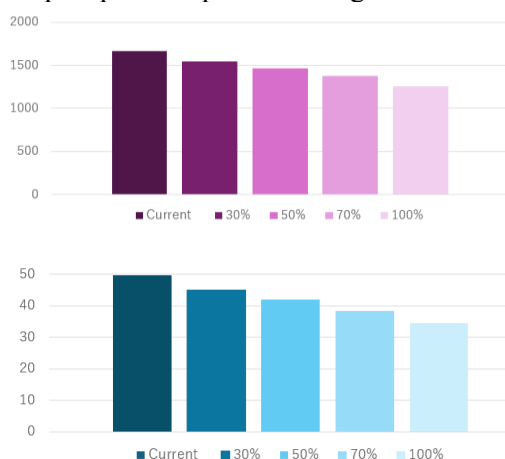


Fig.4 Effects of dietary change on nitrogen (purple) load (tons N) and phosphorus (blue) load (tons P)

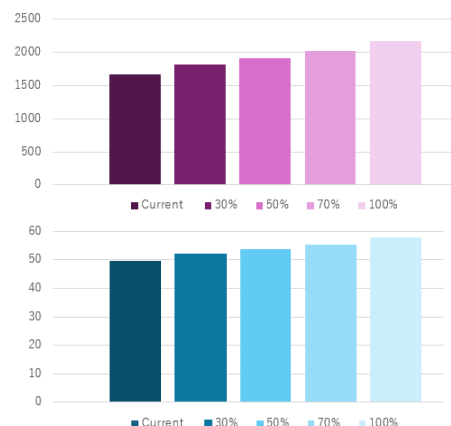


Fig.5 Effects of feed self-sufficiency change on nitrogen (purple) load (tons N) and phosphorus (blue) load (tons P)

In contrast, feed self-sufficiency changes led to an increase in both loads (Fig. 5). For nitrogen, the load increased to 2,160 tons-N, with concentration increase up to 3.17 mg N/L. For phosphorus, the load could rise up to 57.9 tons-P and the concentration up to 0.218 mg P/L. Moreover, the watershed is estimated to be phosphorus limited, since the N:P molar ratio is 29 (>16: P-limited; <16: N-limited). The limiting relationship did not change with scenario analyses. This suggests that dietary change alone is not enough to prevent algal blooms, however, nitrogen reduction can help reduce their intensity or growth of harmful species.

CONCLUSIONS

The replacement of animal-based protein with legume one led to a significant decrease of nitrogen load and TN concentrations. On the other hand, phosphorus inputs were mainly from point sources. Therefore, although the scenarios showed some improvement in phosphorus loads, they did not have a drastic impact as observed for nitrogen. That is why, feed self-sufficiency had a stronger effect on nitrogen compared to phosphorus. Despite focus on point-sources being crucial, shift towards sustainable eating habits should be still encouraged. It can be accomplished through focus on alternative protein education, incentives, accessibility improvements, and subsidies.

REFERENCES

- Ibaraki Government. (2020): Water quality measurement results for public water bodies.
- Ibaraki Government. (2022): 8th period Kasumigaura lake water quality conservation plan.
- MAFF (2020): The 96th Statistical Yearbook of Ministry of Agriculture, Forestry, and Fisheries.

週次水質データを用いたラオス・ビエンチャンにおける栄養塩負荷の推定 Estimating the Nutrient Load Using Weekly Water Quality Data in Vientiane, Laos

○落合康*・木村匡臣**・乃田啓吾*・松野裕**・濱田浩正・ソンパシット・ドゥアンサワン***

Koh Ochiai*, Masaomi Kimura**, Keigo Noda*, Yutaka Matsuno**, Hiromasa Hamada,

Somphasith Douangsavanh***

＜背景と目的＞ SDGsの目標2（飢餓をゼロに）の達成には、農業生産性を支える適切な窒素管理が必要不可欠である。窒素管理は単なる農地への施肥最適化にとどまらず、流域全体における窒素の排出と循環を制御する包括的な視点が求められている。一方で、近年急速に都市化しているラオスの首都ビエンチャンでは、都市域からの排水による水環境の富栄養化と水質汚染が深刻な課題となっている。また、この地域特有の熱帯モンスーン気候による極端な乾季・雨季のサイクルは、栄養塩の流出挙動を複雑化させており、実効的な管理指針の策定を阻む大きな要因となっている。Kimura et al. (2026) による先行研究では、ビエンチャン市内の河川や排水路にいくつかの観測地点を設け、年に数回の水質調査および流量観測を行い、階層ベイズモデルの利用によりデータの不足を補った。この研究により、栄養塩負荷量のおおまかな季節変動や自然湿地の浄化機能を推定することができたが、より詳細に栄養塩動態を把握するためにはより頻度高く現地観測を行い推定値の精度を高める必要があると考えた。そこで本研究では、現地カウンターパート協力のもといくつかの観測地点で水質調査と水位計測を毎週行い、各観測地点の毎週の流量を推定することで、栄養塩負荷量を精緻に推定することを目的とした。

＜研究手法＞ 対象地域は、メコン川の支流であるマクヒアオ川流域とした。本流域には首都ビエンチャンや自然湿地が含まれ、都市排水や農業排水が流れ込んでいる。熱帯モンスーン気候により5月から10月頃に雨季、11月から4月頃に乾季となる。対象流域内に22の観測地点を設け、定期的な水質調査・流量観測を行った。分析に用いるため、各観測地点を都市部・河川地域・農業地域に分類した。加えて、現地のカウンターパートの協力を得て、このうちいくつかの観測地点で水質調査と水位計測を毎週行った。水質調査では、水温・電気伝導度・濁度・溶存酸素濃度・アンモニア態窒素濃度・硝酸態窒素濃度・リン酸態リン濃度を計測した。水質の分析に加え、22地点での週次の流量を推定するために、水位計測を行っている6地点について、現地観測データを用いてHQ式（水位と流量の関係式）を立式した。次に、このHQ式に毎週の水位データを代入し、6地点の毎週の流量を推定した。そし

*東京大学大学院農学生命科学研究科 Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo

近畿大学農学部 Faculty of Agriculture, Kindai University, *国際水管理研究所 International Water

Management Institute

キーワード：水質・水環境・負荷量・窒素

て、土地利用区分の同じ地域の比流量を用いたり、Fig.1 に示す地点間の水収支を考慮したりすることで、22 地点の毎週の流量を推定した。このようにして得られた流量と週次の水質データを乗じることで、栄養塩負荷量を推定した。

＜結果と考察＞ 都市部（地点 1）・農業地域（地点 22）・河川地域（地点 11）の流量推定値と無機態窒素濃度（アンモニア態窒素濃度と硝酸態窒素濃度の和）の推移は Fig.2~4 に示す通りである。都市部では、乾季の極端に流量が少ない時期に、濃度が急激に上昇する傾向があり、これは生活排水など季節変化のない負荷がかかり続けているためと考えられる。一方で、雨季が始まり流量が急増すると同時に濃度が急激に下がり、希釈効果が働いていることが示唆された。都市部よりも上流の農業地域では、都市部よりも全体的に窒素濃度が低く、雨季の初期に流量が急増すると同時に窒素濃度も増加する挙動が観察された。これは、乾季には地表に留まっていた窒素が、雨によって流出するため、流量と濃度が正の相関をもつと考えられる。マクヒアオ川下流の河川地域では、都市部と同様に、乾季に濃度が高く雨季に低い傾向が見られた。一方で、2025 年の雨季初期には、流量と濃度が同時に上昇する傾向が見られた。これは、地点 11 の上流にある自然湿地（Na Khay 湿地）で滞留している窒素が雨により流出した可能性を示唆している。

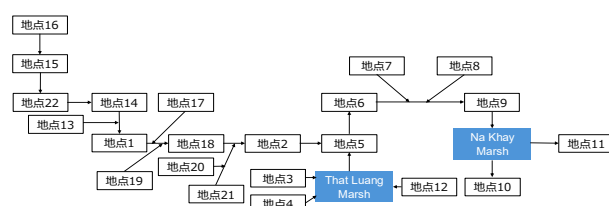


Fig.1 22 の観測地点の関係図
Relationship diagram of 22 monitoring stations

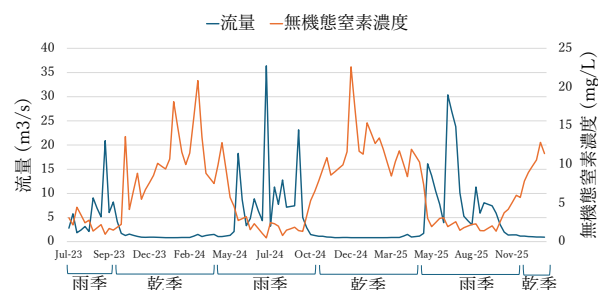


Fig.2 都市部（地点 1）の流量と窒素濃度
Discharge and concentration of urban area (St.1)

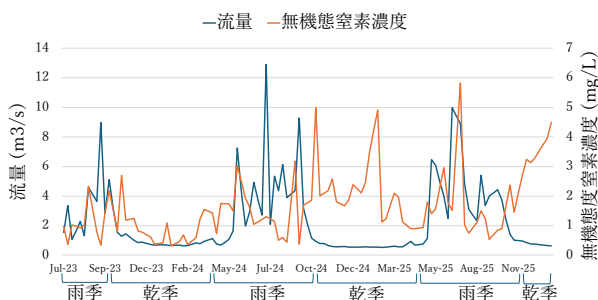


Fig.3 農業地域（地点 22）の流量と窒素濃度
Discharge and concentration of agricultural area (St.22)

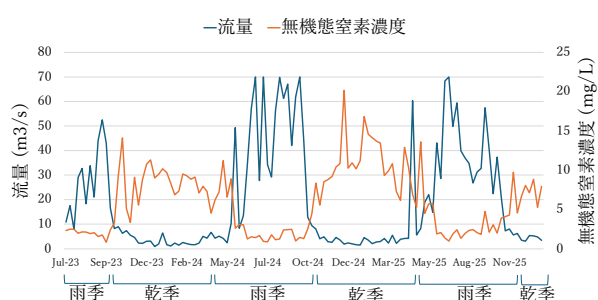


Fig.4 河川地域（地点 11）の流量と窒素濃度
Discharge and concentration of river area (St.11)

水田流域の窒素動態推定にむけた SWAT-PADDY の改良 (第 2 報) Improved SWAT-PADDY for estimating nitrogen dynamics in rice paddy watershed (part 2)

○荻野亮介*・当真要**

○Ryosuke Ogino*・Yo Toma**

1. はじめに

河川流域は生産・意思決定といった人間活動の場であるとともに、水・窒素の移動を捉えるのに適している。Soil and Water Assessment Tool (SWAT) は農業流域での水管理の検討に世界的に使用されている水文モデルだが、水田流域における再現性の低さが指摘されている。この課題に対応するため、日本では SWAT-PADDY が開発され、水管理の再現が試みられてきた。しかし、水田特有の高水分土壌において、①硝化速度が抑制されず土壌中の硝酸態窒素量が過大評価されている、②脱窒速度が閾値以上・以下の 2 値であるため、土壌水分による脱窒量変化が再現されない、など課題がある。本研究では、水田土壌の窒素動態に着目して SWAT-PADDY を改良し、推定値を検証した。

2. 方法

(1) SWAT 概要 SWAT は流域水文モデルであり、気象・営農データから日単位で河川流域の物質動態を予測できる。本研究では、SWAT2012 rev692 に SWAT-FSP (Mihara et al., 2024) と SWAT-PADDY (Tsuchiya et al., 2018) を導入して、2000～2022 年の北海道三笠市の幾春別川流域の水・窒素動態を推定した。

(2) SWAT-PADDY の改良(図 1)

a. 水田環境・水環境・土壌水分：隣接水田や用水路との水位差による畦畔浸透の再現のため、新たに日減水深をパラメータとして設定し、畦畔浸透を側方流として加算した。その他は前報同様である。

b. 窒素動態：高水分状態 (WFPS>0.6) の場合に硝化・無機化速度が低下するように修正した。脱窒速度が土壌水分状態に応じて上昇するように、脱窒速度計算に土壌水分係数を導入した。日本の酸性土壌での NH_3 揮散量が過大評価されていたため、 NH_3 揮散係数を 0.15 から 0.033 に変更した。稲の生理特性を再現するため、稲が土壌中のアンモニア態窒素を利用するよう変更した。

(3) 精度評価：改良版 SWAT-PADDY で最下流地点の実測値との精度評価値(R^2 ・NSE・PBIAS)が校正期間・検証期間で Moriasi et al. (2015) の基準を満たすパラメータセットを 100 個作成した。これらをオリジナルと改良版 SWAT-PADDY に適用し、流域・水田スケールで水および窒素動態を比較した。

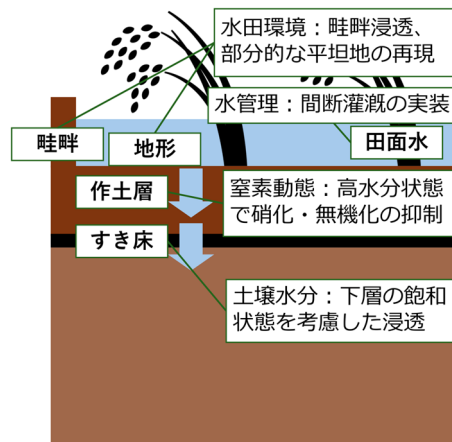


図 1 SWAT-PADDY の改良点
Fig 1 Improvements in SWAT-PADDY

* 北海道大学大学院農学院 Graduate School of Agriculture, Hokkaido University

** 北海道大学大学院農学研究院 Research Faculty of Agriculture, Hokkaido University

キーワード：水田、SWAT-PADDY、土壌

3. 結果と考察

(1) 流域評価 (図 2)

改良版において Moriasi et al. (2015)の基準を満たすモデルを構築でき、オリジナル・改良版ともに流域最下流地点における河川流量・土砂負荷量・全窒素負荷量のいずれも観測値と良好な一致を示した。流域の水田面積割合が 3%と小さいため、今回の改良が流域評価に与える影響は小さいと考えられた。

(2) 水田の水収支 (図 3)

オリジナルモデルでは、収支におけるインプットの大部分が浸透水量として処理され、表面排水量や側方流量はほぼゼロと評価されていた。一方で改良版では、中干しや落水に伴う表面排水のピーク、および湛水期間中の継続的な側方流が算出された。また、浸透水量は改良版ではオリジナル版よりも小さい値を示した。本流域で水田は主に排水不良土壌（疑似グライ土）に分布する。宇土ら(2000)や北村ら(2010)は排水不良土壌で表面排水が地下浸透水量を上回る傾向を報告しており、本改良版モデルでは流出経路が物理的により適切に記述されたと考えられた。

(3) 水田の窒素収支 (図 4)

オリジナルモデルでは湛水条件を考慮しないため、改良版と比較して脱窒量が大きく、窒素河川流出量が小さく、植物吸収が小さく推定されていた。改良版モデルでは、脱窒量は Katayanagi et al. (2013)や Takakai et al. (2017)の報告値に近づき、アンモニア揮散量は Hayashi et al. (2006)が示す日本の水田における施肥窒素比と整合した。植物吸収量は同流域を対象とした測定値と同程度となった。したがって、改良版モデルでは地下浸透と表面排水への適切な水分配により、窒素の地下浸透と河川流出の窒素輸送プロセスが適切に改善され、水田の窒素動態を物理的・生理的に妥当に再現していると判断できる。

4. 今後の展望

水田における水・窒素収支については再現性が向上したが、流域では水田の占有率が低く影響が限定的であったため、今後は水田が多い流域での適用検証が必要である。

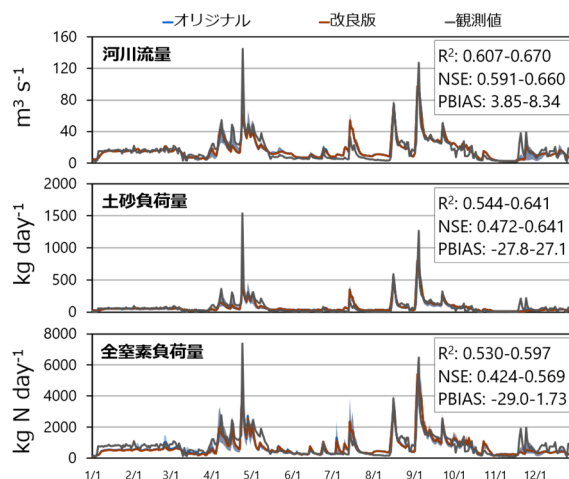


図 2 2011 年における流域最下流地点の河川流量・土砂・全窒素の比較

Fig 2 Comparison of streamflow, Sediment, and Total Nitrogen at the most downstream in 2011

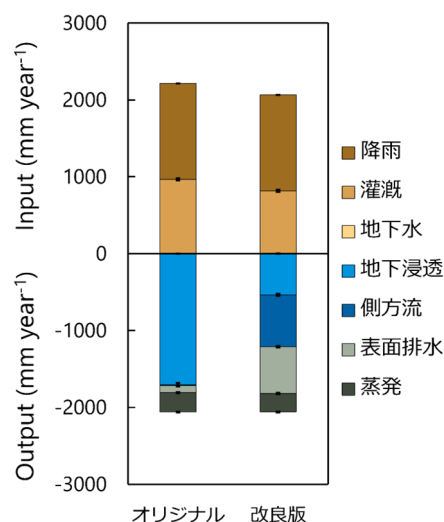


図 3 水田の年間水収支

Fig 3 Annual water budget in paddy

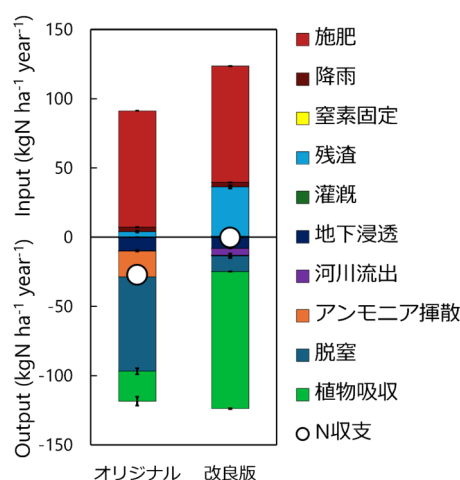


図 4 水田の年間窒素収支

Fig 4 Annual nitrogen budget in paddy

秋田県横手盆地における地下水を水源とする水道水中のネオニコチノイド系殺虫剤濃度 Concentrations of Neonicotinoid Insecticides in Tap Water Sourced from Groundwater in the Yokote Basin, at Akita Prefecture

○ 近藤 正*, 後藤圭輝*, 近藤 尚子**
Tadashi KONDOH, Yoshiki GOTOH, Naoko KONDOH

1. 背景と目的

水田灌漑の重要な公益的機能の一つとして地下水涵養機能があり、多面的機能交付金などでその機能の維持継承が図られている。しかし水田に使用された化学合成物質で難分解性有機物の農薬類などが浸透する場合、地下水が汚染する可能性がある。涵養機能とともに水質保全の観点からも、地下水中の農薬濃度を確認する必要がある。

近年水田稲作は、社会・経済的条件の中で営農の大規模経営化とコスト削減の追求による圃場規模の大区画化、防除管理の効率化が進められ、使用される薬剤は薬効の強い成分が積極的に推奨されている。特に殺虫剤では、虫害発生前の予防的使用で広域に複数回散布し薬効の持続性を高めるよう指導・推奨されている。水田における開花期から登熟期にかけてのカメムシ斑点米予防として使われるネオニコチノイド系農薬は水溶性、浸透性が高く構造も安定で長期的な効果があるとされ多用されている。

本報では東北有数の水田地帯で果樹栽培も盛んな秋田県の雄物川流域の横手盆地において、地下水を水源とする水道水中のネオニコチノイド系殺虫剤濃度を測定した結果について報告する。前報¹⁾では、雄物川下流域で河川水を水源とする秋田市の水道水中のネオニコチノイド系殺虫剤濃度を調べた結果を紹介した。イネ開花後の散布時期に 3,000ppt レベルの高濃度のジノテフランが検出されたが、非散布期でも 50ppt レベルという高い濃度で推移していたため、地下水への混入が疑われた。

ネオニコチノイド系農薬の生態系への影響や、生体や人体への影響についても低濃度でも影響を及ぼすことが明らかにされてきており、地下水への混入実態を明らかにする意義は、流域の水資源の安全な利用と社会活動や自然環境への影響抑制、農業の持続性の面からも大きい。

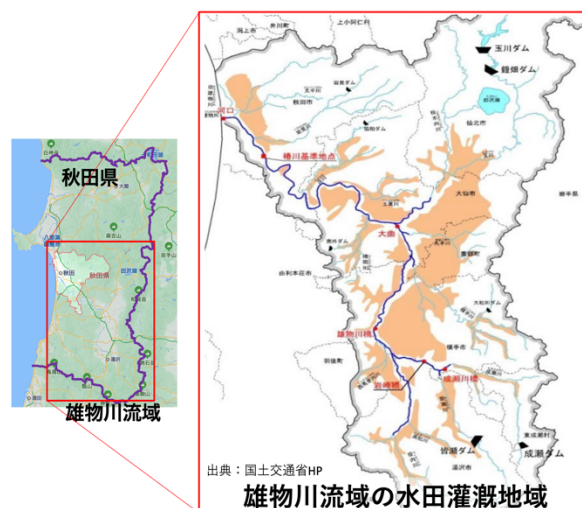


図1 調査流域の概要

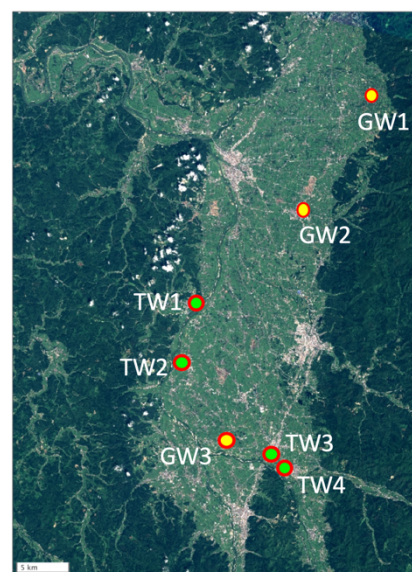


図2 横手盆地での地下水調査地点

* 秋田県立大学 生物資源科学部 Faculty of Bioresource Science, Akita Prefectural University

** 秋田県立大学大学院生物資源科学研究科 The Graduate school of Bioresource Sciences, Akita Prefectural University
[キーワード] ネオニコチノイド系殺虫剤、地下水、水田流域、横手盆地

2. 調査対象地区と調査方法。

雄物川流域の概要を図1に示す。水田面積率は約17%と高い。特に中流域の横手盆地が水田地帯となっている。地下水の調査地点を図2に示す。地下水を水源とする水道水4地点および個人宅の地下水2、扇状地湧水1地点を調べた。試料水は採取後、冷暗条件で保管、保冷便にて分析所へ送り測定した。ネオニコチノイド系殺虫剤濃度の測定はLC/MS/MS法

(測定装置：島津製作所、超高速トリプル四重極型質量分析計 LCMS-8050、分析カラム Kinetex Biphenyl100×2.1mm、2.6μm)により、農産品分析センターにて分析した。

3. 結果及び考察

秋田県におけるネオニコチノイド系農薬の出荷量²⁾(図3)は現在も増加傾向にあり、高齢化と担い手減少を理由に大規模化を進め、農薬依存度を高めている。ネオニコチノイド系農薬の使用量は大規模化に伴い増加している(図4)。

地下水水源の水道水中のネオニコチノイド系殺虫剤濃度および浅層地下水、扇状地湧水の測点情報と測定結果を表1に示した。標高は35から96m、井戸の深さは複数井戸がある場合も含め、5.8mから40mであった。主に検出されたネオニコチノイド系農薬はクロチアニジン、ジノテフラン、チアメトキサムの3種類で、その内ジノテフランは全地点、全20検体で検出され、最高値は456 ng/L(≒ppt)、20件中18件が100 ng/L以上であった。またTW1ではチアメトキサムで288 ng/Lが検出された。TW1は浅井戸主体で深井戸のブレンドの場合もあるとのことで、濃度も大きく異なる傾向があった。深井戸を水源とする水道水TW3とTW4では、ジノテフランのみ検出されたが、いずれもEUの基準値100ng/Lを超えた。浅井戸、深井戸水源ともEUの水道水基準値を超える無視できない濃度で検出された。地下水に農薬が到達し水源が汚染されているといえる。雄物川の下流域で観測された非散布期においても50ng/Lという高濃度は、複列扇状地帯で水田地帯である横手盆地の地下水中の高濃度が要因と推定された。

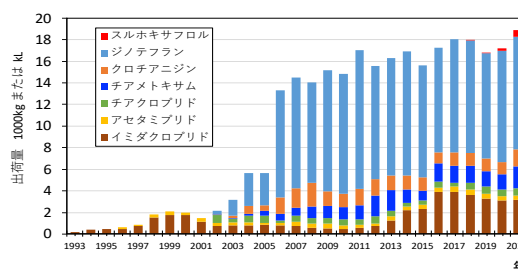
表1 ネオニコチノイド系殺虫剤濃度測定結果

測点No.	TW1	TW2	TW3	TW4	GW1	GW2	GW3
試料種類	水道浅井戸主	水道浅井戸	水道深井戸	水道深井戸	個人浅井戸	扇状地湧水	個人浅井戸
標高 m	35.0	43.3	85.8	95.0	96.7	43.8	70.5
井戸深さ m	8, 30, 40	5.8	40	30, 35	約7	0	約8
サンプル回数	2	4	2	1	2	5	4
検出されたネオニコチノイド系農薬			ng/L(ppt)				
クロチアニジン	3~7	4~12	検出せず	検出せず	3	5~8	2~3
ジノテフラン	76~211	104~456	132~159	134	226~280	96~155	202~310
チアメトキサム	8~288	4~12	検出せず	検出せず	限界以下	限界以下~4	検出せず

【謝辞】本研究はアクト・ビヨンド・トラスト2025年度研究助成を受けた研究成果を含む。記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 2025年度農業農村工学会大会：要旨集 5-18
- 2) 国立環境研究所：化学情報データベース Webkis-Plus <https://www.nies.go.jp/kisplus/dtl/chem/>



ネオニコチノイド系農薬 年出荷量 (秋田県)
図3 ネオニコ系農薬秋田県出荷量

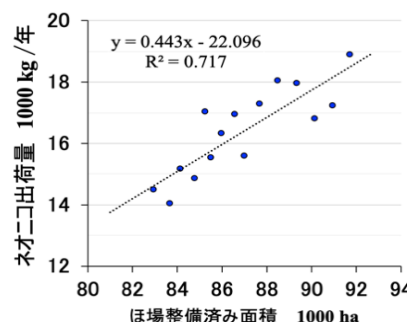


図4 秋田県における圃場整備の進捗とネオニコチノイド系殺虫剤の出荷量

降雨一流出モデルを用いた山林渓流水の酸素・水素安定同位体比の再現性 Reproducibility of Oxygen and Hydrogen Isotope Ratios in Mountain Stream Water Using a Rainfall-Runoff Model

○前川洋貴^{*,**} 中桐貴生^{*} 堀野治彦^{***} 櫻井伸治^{*}

○Hiroki MAEKAWA^{*,**} Takao NAKAGIRI^{*}, Haruhiko HORINO^{***}, Shinji SAKURAI^{*}

1. はじめに 複数のパラメータをもつ降雨一流出モデルでは異なるパラメータセットでも類似した流量推定結果となる等結果性の問題が指摘されており, 同位体トレーサのモデルへの融合がその解決策の1つとして期待される. 本研究では筆者らがこれまでに開発してきた分布型降雨一流出モデルに水の酸素・水素安定同位体比(以下, 同位体比)追跡モジュールを組み込み山林渓流水における実測同位体比の再現を試みた.

2. モデル概要

(1) 降雨一流出モデル Fig.1 に示す3層構造の分布型降雨流出モデル¹⁾を応用した. 地表層はメッシュ単位で各地目が割り当てられ, 地目によって異なる流出計算がなされる. 中間層と地下水層はタンク構造となっており, 地表層よりも粗く分割されたサブ流域単位で計算され, 河道流は Kinematic Wave 法で追跡計算される. 本研究では流域内の地目が山林と水田および河道のみとみなせる兵庫県千種川水系の上流域を対象にモデルを適用した.

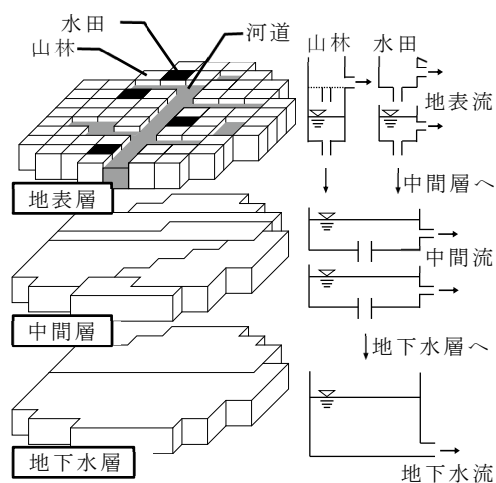


Fig.1 Schematic of rainfall-runoff model.

(2) 同位体比追跡モジュール 上記モデルにおいて, 水量だけでなく酸素および水素の同位体収支も考慮できるようにした. 降水量と同時に降水の同位体比も入力し, また蒸発散による水量変化と同時に同位体の動的分別による変化も生じさせることで各タンク内における同位体比を変化させた. 蒸発散に伴う同位体比分別は地表層で生じ, 式(1)に示す Gonfiantini 式に従うものとした.

$$\left. \begin{aligned} \delta_l &= \left[\left(10^{-3}\delta_{l0} - \frac{A}{B} \right) f_l^B + \frac{A}{B} \right] \times 10^3 \\ A &= \frac{h \cdot 10^{-3}\delta_a + 10^{-3}\varepsilon}{1 - h + 10^{-3}\Delta\varepsilon} \\ B &= \frac{h - 10^{-3}\varepsilon}{1 - h + 10^{-3}\Delta\varepsilon} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

δ_l : 液相の δ 値
 δ_{l0} : 液相の初期 δ 値
 f_l : 液相残存率
 h : 相対湿度
 δ_a : 大気水蒸気の δ 値
 ε : 有効同位体濃縮係数
 $\Delta\varepsilon$: 動的同位体濃縮係数

3. 入力データ 計算対象期間は現地調査を行った 2019 年～2024 年とした. 降水量は解析雨量データを用い, 降水量の同位体比については, 実測降水の同位体比は時間によるばらつきと

標高に応じた変化 (Fig.2) を示すことから, 観測値から推定される一様分布から代表標高の $\delta^{18}\text{O}$ を定め, 各メッシュの $\delta^{18}\text{O}$ は代表地点との標高差と実測値から算出した高度遞減率から定めた. $\delta^2\text{H}$ は $\delta^{18}\text{O}$ から季別のローカル天水線 (対象地域における降水の $\delta^{18}\text{O}$ と $\delta^2\text{H}$ の回帰直線) を用いて定めた. 実蒸発散量は Penman 式より求めた蒸発散位に分配係数を乗じて推

* 大阪公立大学大学院農学研究科 Graduate School of Agriculture, Osaka Metropolitan University

** 株式会社三祐コンサルタンツ Sanyu Consultants Inc.

*** 大阪公立大学名誉教授 Professor Emeritus, Osaka Metropolitan University

キーワード: 水の酸素・水素安定同位体比, 降雨流出モデル, 山林渓流水

定した. また, 式(1)において必要となる大気水蒸気の δ 値は蒸発実験による推定値 ($\delta^{18}\text{O}=-19.00\text{‰}$, $\delta^2\text{H}=-123.00\text{‰}$)²⁾を用いた. 気温, 湿度については近傍のアメダス観測値を用いた. 水田の水管理は現地で推奨される時期別維持湛水深を維持するように取水管理がなされるものとした.

4.モデルの同定 本研究では, 対象流域内の山林溪流水(地目が山林のみのサブ流域からの流出水)における同位体比(調査頻度は月 1 回程度)の再現精度について検証を行うこととした. ただし, 流量データについては 2006 年～2011 年における水田地目も含む流域地点のものしか得られなかったため, ここではその期間における流量の推定誤差が最小となるようにしながら, 計算対象期間における実測の山林溪流水の同位体比の推定誤差が最小となるようにパラメータの最適同定を行うことにした.

5. 結果および考察 **Table 1** は現地で採取した降水および山林溪流水の同位体比(実測値)と, モデルで計算した山林溪流水の同位体比における平均値と標準偏差を示したものである. 降水の $\delta^{18}\text{O}$ および $\delta^2\text{H}$ はいずれも季節によって明確に異なり, 季節内での変動も比較的大きいのに対し, 山林溪流水の同位体比は降水の平均値よりもやや重く, 降水に比べて明らかに変動が小さい. モデル計算の際, 降水の同位体比には実際の降水と同程度の平均値とばらつきを与えて入力させたが, $\delta^{18}\text{O}$ および $\delta^2\text{H}$ とも実際の山林溪流水における平均値に近く変動も小さい妥当な出力結果が得られた. ただし, 個々のデータでみると (**Fig.3**), 実測値と計算値にはズレが生じており, パラメータ値やモデル構造に更なる修正の余地があると思われた.

6. おわりに 分布型降雨流出モデルに水の同位体追跡モジュールを組み込み, 流量と同位体比を同時に計算できるモデルを開発した. 今後, 推定精度をさらに向上させ, 水田地目を含む流域でも検討していきたい.

本研究は人間文化研究機構基幹研究プロジェクト「人新世に至る, モノを通した自然と人間の相互作用に関する研究」の成果である. 引用:1) Nakagiri et al: PAWEES2022 Intl. Conf. ,2)中桐ら:2022 年度 NN 学会大会講演会要旨集, 351-352

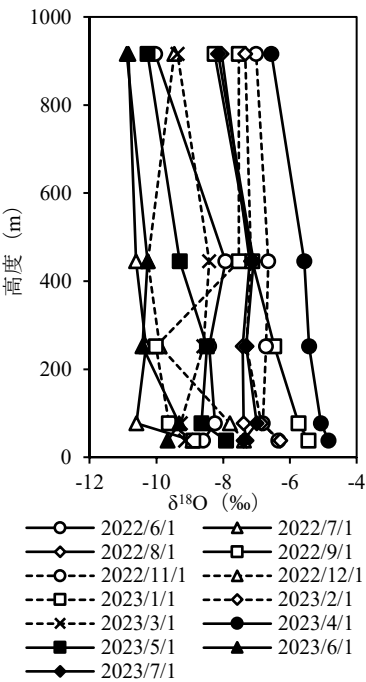


Fig.2 Relationships between elevation and $\delta^{18}\text{O}$ of the precipitation in the Chikusa River Watershed.

Table 1 Means and standard deviations of water isotope ratios in precipitation and stream water.

項目	種別	季節	平均 総雨量 (mm)	平均値 (‰)		標準偏差 (‰)	
				$\delta^{18}\text{O}$	$\delta^2\text{H}$	$\delta^{18}\text{O}$	$\delta^2\text{H}$
降水	実測値	温暖期 (3月～10月)	1597.7	-9.05	-60.0	1.49	13.5
		寒冷期 (11月～2月)	557.9	-10.96	-56.7	2.26	17.6
		通年	2155.6	-9.54	-59.1	—	—
山林 溪流水	実測値	通年	—	-9.07	-53.7	0.34	1.7
	計算値	通年	—	-8.95	-55.8	0.14	0.5

平均総雨量 : 2019 年～2024 年の平均値
降水における通年の同位体比 : 降水量の重み付け平均値

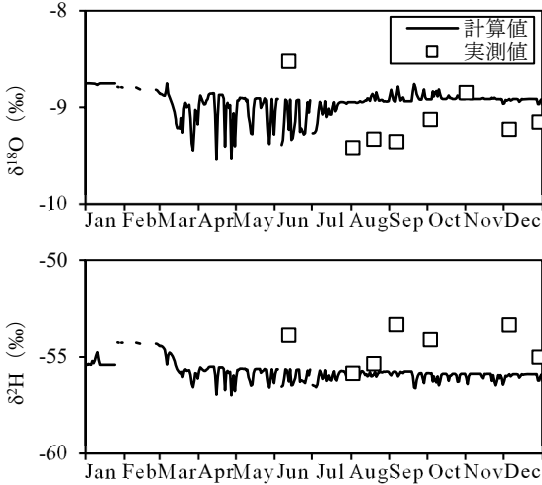


Fig.3 Comparison of measured and calculated values in 2022. (upper low: $\delta^{18}\text{O}$, lower low: $\delta^2\text{H}$).