

## 諏訪湖流入河川による栄養塩負荷の変動

輿石庸行<sup>1</sup>, 鍋田佳奈<sup>2</sup>, 澤井大地<sup>2</sup>, 小海晃博<sup>2</sup>, 宮原裕一<sup>2</sup>

<sup>1</sup>信州大学大学院, <sup>2</sup>信州大学理学部

Fluctuations of nutrient loads from inflow rivers in Lake Suwa

Y. Koshiishi<sup>1</sup>, K. Nabeta<sup>2</sup>, D. Sawai<sup>2</sup>, A. Kokai<sup>2</sup> & Y. Miyabara<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Graduate School, <sup>2</sup>Faculty of Science, Shinshu University

### 要旨

諏訪湖の主要流入河川において水質測定と流量観測を行い、栄養塩の負荷量の把握を試みた。諏訪湖最大の流入河川である上川において、河川水位から流量を推定できることが示された。また、河川流量の増加にともない溶存態無機窒素濃度は増加傾向、溶存態ケイ素濃度は低下傾向がみられた。一方、流量とリン酸態リン濃度には関係が認められなかった。これらの関係から、日ごとの諏訪湖への窒素負荷量の推定が可能となった。

キーワード：諏訪湖, 栄養塩負荷, 河川流量

Keywords: Lake Suwa, nutrient load, river flow rate

### 1. はじめに

窒素・リンをはじめとした栄養塩類は、湖の主な一次生産者である植物プランクトンの増殖を制限するため、それらの負荷量や動態は、植物プランクトンの増殖を制御し、湖沼生態系の大きさや構造を決定する重要な要因となる (Smith et al. 1999)。

近年の諏訪湖における窒素・リン循環の研究は、堆積過程での脱窒 (Fukushima et al., 2010) や、底質からのリン回帰 (Ichikawa et al., 2024) など、特定の現象に限られており、諏訪湖全体の窒素・リン循環を対象とした研究はない。また、諏訪湖では、窒素・リン濃度をはじめとした水質データの蓄積が長年にわたって行われているが (e.g., 宮原・笠原, 2023; 長野県, 2022), それらを使用した窒素・リン収支の調査は近年行われておらず、諏訪湖が依然として過栄養-富栄養湖であった頃の研究 (沖野, 1990) にまで遡る。沖野 (1990) では、諏訪湖における窒素・リン流入量 (沖野, 1982) や脱窒量 (小山, 1978) などから、窒素・リンの収支を算出し、諏訪湖の窒素・リン負荷では河川からの外部負荷が支配的と報告している。しかし、近年の諏訪湖は当時と比べ水質浄化が進んでいることから (長野県, 2023; 二木ら, 2018), 外部負荷の減少や、水草の繁茂に伴う窒素・リンの内部負荷の変化が生じている可能性があり、現在の諏訪湖における窒素・リン収支を把握す

る必要があると言える。

諏訪湖において、各流入河川からの栄養塩負荷量が不明な理由は、各流入河川の流量の把握ができていないことにある。各河川で水位観測は行われているものの、現在の水位と流量の関係は不明である。

そこで、本研究では、諏訪湖における栄養塩の外部負荷の大部分を占める河川からの栄養塩負荷量の変動を明らかにすることを目指し、主要な流入河川において水質調査と流量観測を行った。

### 2. 方法

2025年1月から12月まで、月1-2回の頻度で諏訪湖の主な流入河川 (横河川, 砥川, 上川, 宮川) において調査を行った (図1)。各調査地点の緯度・経度は次の通りである。横河川 (N 36° 03' 40.3", E 138° 04' 1.6"), 砥川 (N 36° 03' 55.5", E 138° 04' 36.3"), 上川 (N 36° 00' 38.2", E 138° 08' 0.68"), 宮川 (N 36° 01' 33.4", E 138° 06' 22.4")

河川では、ロープ付きバケツを用い橋の上から採水を行った。多項目水質計 (TOA-DKK 社製 MM-420P) を用いて、河川水の水温, pH, 電気伝導度を測定した。また、同地点において、6月から10月にかけて流量観測を行った。

流速・流量計測システム (株式会社ハイドロ総合技術研究所製 Hydro-STIV) を用い、各河川で3回ず

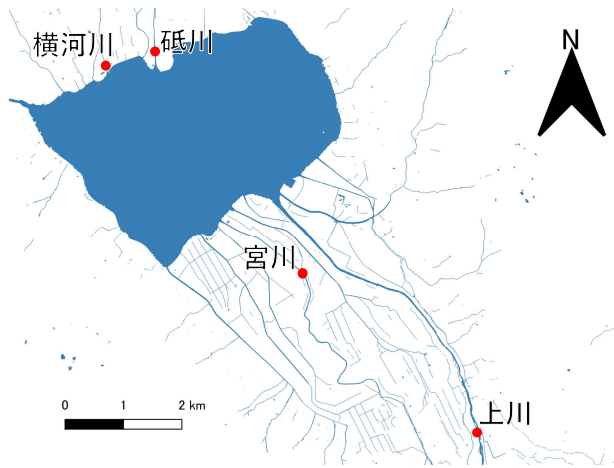


図1 諏訪湖流入河川の調査地点  
国土地理院基盤地図情報より作成

つ表面流速を測定した。現場の河川断面は、信州大学工学部豊田研究室の協力のもと、トータルステーション (TOPCON 社製 GPT-2003) を用いて測量を行った。これら河川流速と河川断面から、上記の流速・流量計測システムによって河川流量を算出した。この際、長野県諏訪建設事務所および河川課より提供していただいた河川水位を参照した。横河川は長地 (長野県諏訪建設事務所)、砥川は医王渡橋 (長野県諏訪建設事務所)、上川は江川橋 (長野県河川課)、宮川は中州 (長野県河川課) の水位を参照した。

ポリエチレン製容器に入れ持ち帰った河川水をガラス繊維ろ紙 (Cytiva 社製 GF/C) でろ過した。ろ液は分析までポリエチレン製容器に入れ、冷蔵保存した。栄養塩として、ろ液中の硝酸態窒素、アンモニア態窒素、リン酸態リン、溶存態ケイ素を測定した。

アンモニア態窒素 ( $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ) と硝酸態窒素 ( $\text{NO}_3^-\text{-N}$ ) は、ろ液をメンブレンフィルター (孔径  $0.2 \mu\text{m}$ ) でろ過したのち、イオンクロマトグラフ (DIONEX 社製 ICS-1500) を用いて測定した。陽イオン分析 ( $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ) は、ガードカラムに DIONEX 社製 CG12A, 分析カラムに同社製 CS12A, 溶離液に  $20 \text{ mmol/L}$  メタンサルホン酸溶液 (流速  $1 \text{ mL/min}$ ), サプレッサーに DIONEX 社製 CSRS-300 (電流  $60 \text{ mA}$ ) を用いて行った。陰イオン ( $\text{NO}_3^-\text{-N}$ ) 分析は、ガードカラムに DIONEX 社製 AG12A, 分析カラムに同社製 AS12A, 溶離液に  $2.7 \text{ mmol/L}$  炭酸水素ナトリウム溶液 (流速  $1.3 \text{ mL/min}$ ), サプレッサーに DIONEX 社製 ASRS-300 (電流  $20 \text{ mA}$ ) を用いて行った。いずれも標準液には、イオンクロマトグラフ用混合標準液 (関東化学製) を用いた。

リン酸態リン ( $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ ) はモリブデン青アスコルビン酸還元法で分析した。オートピペットを用いて試水  $20 \text{ ml}$  を試験管に分注し、そこにマルチピペットを用いて発色液  $2 \text{ ml}$  添加したのち、ボルテックスミキサーを用いて混合し、約  $30$  分間静置して発色させたのち、ガラスセル (光路長  $5 \text{ cm}$ ) と吸光光度計 (日立製作所製 U-2000) を用いて  $710 \text{ nm}$  の吸光度を測定した。標準液には、リン酸二水素カリウム溶液を用いた。

溶存態ケイ素 ( $\text{SiO}_2$ ) はモリブデン黄法で分析した。分析を通じて、ガラス容器からのケイ素の混入を防ぐため、全ての工程においてプラスチック製の実験器具を使用した。オートピペットを用いて試料  $20 \text{ ml}$  を遠沈管に分注し、そこにマルチピペットを用いてモリブデン酸アンモニウム溶液と、 $2.4 \text{ N}$  塩酸を  $1 \text{ ml}$  ずつ順番に添加したのち、手作業で良く混合した。約  $15$  分間静置した後、プラスチックセル (光路長  $1 \text{ cm}$ ) と吸光光度計 (日立製作所製 U-2000) を用いて  $430 \text{ nm}$  の吸光度を測定した。標準液には、ヘキサフルオロケイ酸ナトリウム溶液を用いた。

これら栄養塩濃度と河川流量を掛け合わせ、採水時の各栄養塩の負荷量を算出した。また、上川江川橋における水位の連続データ (長野県河川課) と自身で測定した上川江川橋の流量から、水位と流量の関係式を求め、 $2025$  年  $1$  月から  $12$  月の上川の流量を推定した。さらに、本研究での上川における流量観測日の流量と溶存態無機窒素 ( $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3^-\text{-N}$ ) 濃度の関係から、非観測時の溶存態無機窒素濃度を推定し、年間の窒素負荷量の変動を推定した。

### 3. 結果

諏訪湖流入河川の流量を図2に示す。流入河川のうち、最も流量が多かったのは上川で、次いで砥川、宮川、横河川の順であった。

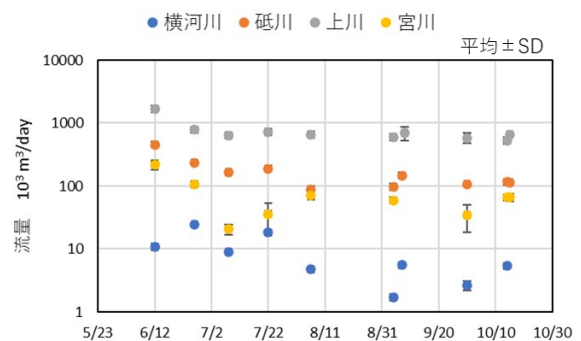


図2 諏訪湖流入河川の流量の変動 (2025年)

2025 年の上川の水位と諏訪の降水量の変動を図 3 に示す。6 月 11 日に最も大きな日降水量が観測されており、その際、上川の水位も最大となっていた。図 2 に示した 6 月 12 日の流量は、各河川の 2025 年の最大流量に近いことが判明した。

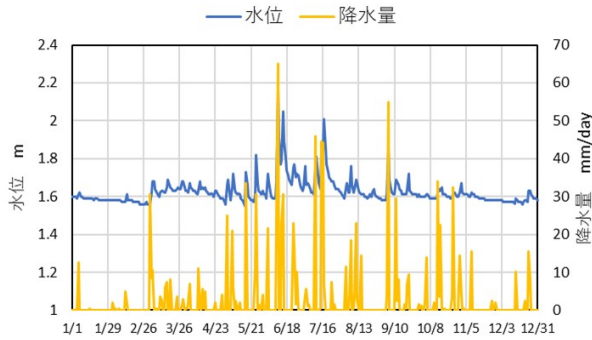


図 3 上川（江川橋）の水位と諏訪（諏訪特別地域気象観測所）の降水量の変動（2025 年）

諏訪湖主要流入河川の溶存態無機窒素 ( $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3^-\text{-N}$ ) 濃度の変動を図 4 に示す。諏訪湖南側と北側の流入河川を比較すると、一年間を通じて諏訪湖南側の流入河川（宮川・上川）の方が、北側の流入河川（砥川・横河川）よりも濃度が高かった。

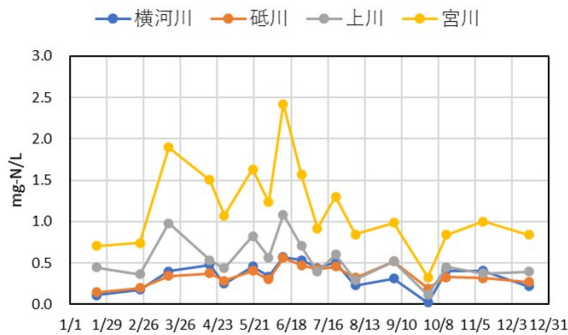


図 4 諏訪湖流入河川水中の無機溶存態窒素 ( $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3^-\text{-N}$ ) 濃度の変動（2025 年）

諏訪湖主要流入河川のリン酸態リン ( $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ ) 濃度の変動を図 5 に示す。諏訪湖南側と北側の流入河川を比較すると、無機溶存態窒素と同様、一年間を通じて諏訪湖南側の流入河川（宮川・上川）の方が、北側の流入河川（砥川・横河川）よりもリン濃度が高かった。また、いずれの河川においても、夏季に濃度が上昇し、冬季に濃度が減少する傾向が見られた。

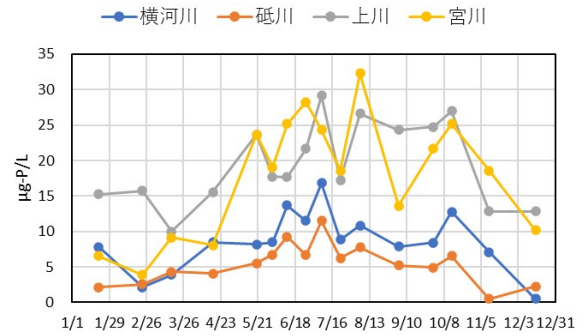


図 5 諏訪湖流入河川水中のリン酸態リン ( $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ ) 濃度の変動（2025 年）

諏訪湖主要流入河川の溶存態ケイ素 ( $\text{SiO}_2$ ) 濃度の変動を図 6 に示す。流入河川のうち、最も濃度が高かったのは上川で、次いで砥川、宮川、横河川の順であった。また、いずれの河川も 6 月から 7 月にかけて濃度低下が見られた。

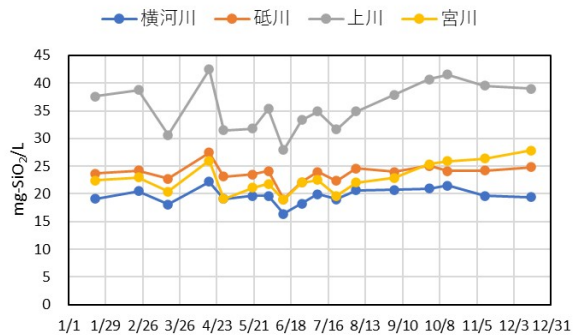


図 6 諏訪湖流入河川水中の溶存態ケイ素 ( $\text{SiO}_2$ ) 濃度の変動（2025 年）

河川流量と水中濃度から算出した主要 4 河川による無機溶存態窒素の諏訪湖への負荷量を図 7 に示す。生物利用可能な無機溶存態窒素の諏訪湖への負荷量は上川の寄与が最も高く、降雨後に流量が増した 6 月 12 日の負荷量が突出していた。

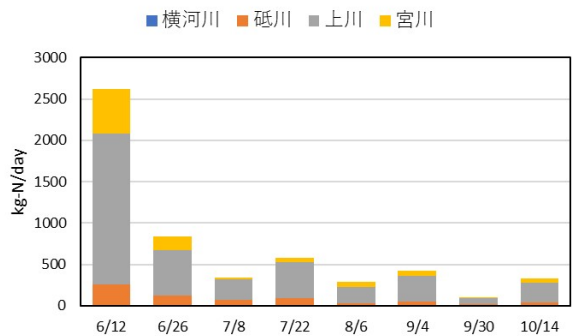


図 7 諏訪湖流入河川による無機溶存態窒素負荷量の変動（2025 年）

河川流量と水中濃度から算出した主要 4 河川によるリン酸態リンの諏訪湖への負荷量を図 8 に示す。生物利用可能なリン酸態リンの諏訪湖への負荷量は上川の寄与が最も高く、降雨後に流量が増した 6 月 12 日の負荷量は他の観測日の約 2 倍程度であった。6 月 28 日以降の負荷量に大きな差は見られなかった。

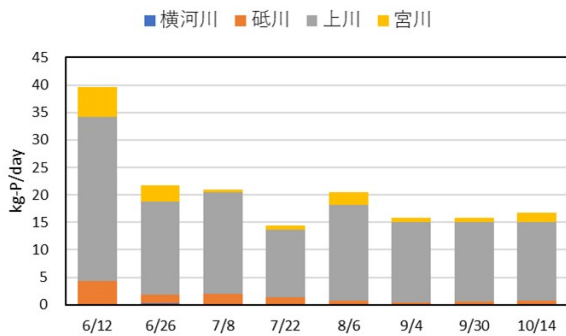


図 8 諏訪湖流入河川によるリン酸態リン負荷量の変動 (2025 年)

河川流量と水中濃度から算出した主要 4 河川による溶存態ケイ素の諏訪湖への負荷量を図 9 に示す。生物利用可能な溶存態ケイ素の諏訪湖への負荷量も上川の寄与が最も高く、降雨後に流量が増した 6 月 12 日の負荷量は他の観測日の約 2 倍程度であった。リンと同様に溶存態ケイ素も 6 月 28 日以降の負荷量に大きな差は見られなかった。

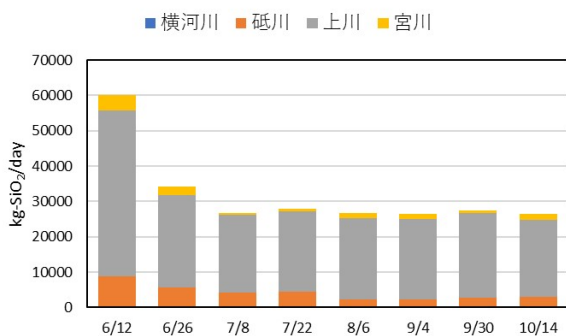


図 9 諏訪湖流入河川による溶存態ケイ素負荷量の変動 (2025 年)

長野県河川課から提供された上川江川橋での水位と、本研究で観測された同地点での河川流量の関係を図 10 に示す。上川 (江川橋) では水位上昇にともない指数関数的に流量が増加することが確認された。本研究で流量が最も多かった 6 月 12 日の水位を超える日がほとんどなかったことから、この関係式から年間を通じて同地点の流量を推定することが可能となった。

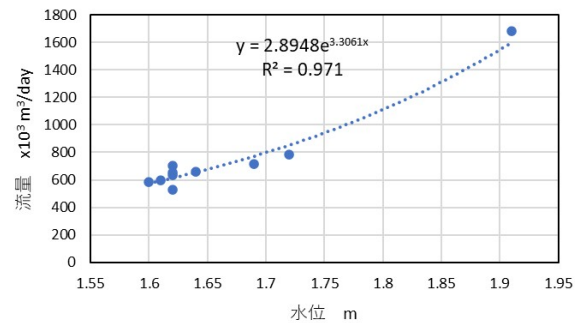


図 10 上川 (江川橋) における河川水位と河川流量の関係 (2025 年)

河川流量と河川水中の溶存態無機窒素濃度との関係を図 11 に示す。いずれの河川においても、流量増加にともない溶存態無機窒素濃度は増加する傾向がみられた。

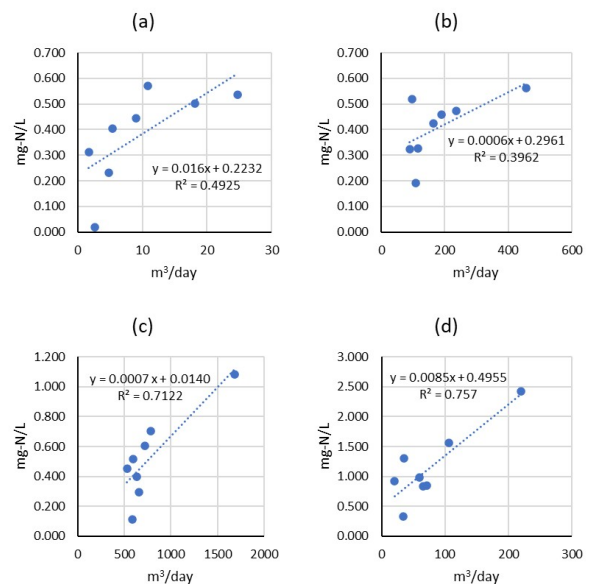


図 11 河川流量と溶存態無機窒素濃度の関係 (a) 横河川, (b) 砥川, (c) 上川, (d) 宮川

河川流量と河川水中のリン酸態リン濃度には関係がみられなかった。河川流量と溶存態無機窒素濃度との関係を図 12 に示す。いずれの河川においても、流量増加にともない溶存態窒素濃度が増加する傾向がみられた。

上川 (江川橋) における河川水位と河川流量の関係 (図 10) から、水位の連続データから河川流量の変動が推定可能となった。また、河川流量から日ごとの溶存態無機窒素濃度も推定可能 (図 11) とすると、上川からの窒素負荷量が試算可能となる。その結果を図 13 に示す。

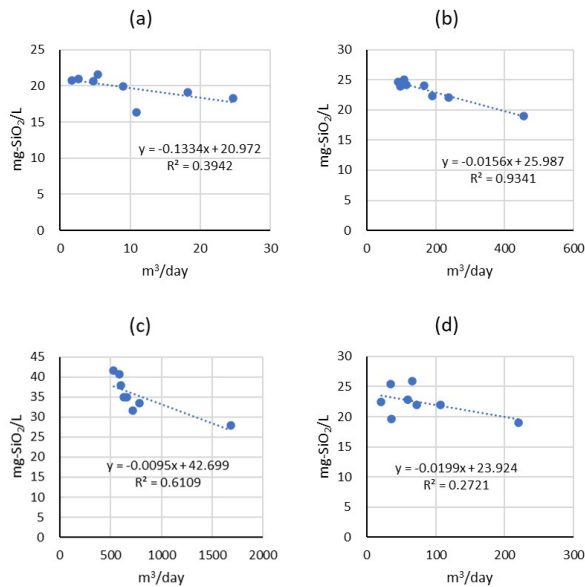


図 12 河川流量と溶存態ケイ素濃度の関係  
(a) 横河川, (b) 砥川, (c) 上川, (d) 宮川

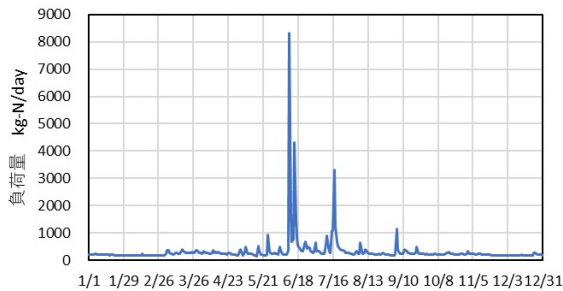


図 13 上川からの窒素負荷量 (試算) (2025 年)

#### 4. 考察

本研究から、最近の諏訪湖における栄養塩の外部負荷の実態が明らかとなった。特に、諏訪湖の南側に流入する上川は河川流量・栄養塩濃度ともに高く、負荷の大部分を占めていた。このうち流量の多さは、上川の流域面積が流入河川のうち最も広いだけでなく、主要な流入河川の宮川の水が取翻（とりこぼし）川を介し上川に流入していることも関係している。また、諏訪湖の南側には、畑地や水田が広がり、農耕地由来の窒素やリンの負荷が多いことや、横河川や砥川流域と比べ流域の人口が多いことが、上川や宮川の河川水中の窒素やリン濃度を高めていると考えられる。一方、ケイ素は人為起源ではなく、流域の地質を反映したものと考えられる（熊谷ら, 2010）。

上川が諏訪湖の栄養塩負荷の大部分を占めていたことから、その窒素負荷量（無機溶存態）を試算したところ、年間で 118,921kg（326kg/日）となった。

これは原単位法で推算された諏訪湖の全窒素負荷量（1,213kg/日）の 27%に相当した（長野県, 2023）。

また、図 13 に示した試算では、2025 年の 6 月 11 日から 17 日の 1 週間の窒素負荷量は、試算した年間負荷量の約 15%を占めており、河川による窒素負荷は出水時に急増すると考えられた。一方、リンやケイ素は出水時と平水時の負荷量の差が窒素よりも小さく（図 8, 図 9）、リンやケイ素の出水時の挙動は窒素とは異なっていた。今後、より多くの観測を行うことで、栄養塩ごとの挙動の相違やその機構が明らかになると、河川からの栄養塩負荷量の推定が高精度で可能になる。

#### 謝辞

本研究での流入河川の流量測定は、大阪大学入江政安先生、信州大学豊田政史先生のご協力により可能となりました。

また、長野県河川課並びに諏訪建設事務所からは流入河川の水位データを提供いただき、流量観測の検証と、非観測時の河川流量の推定が可能となりました。

この研究にご協力いただいた皆様に、この場を借りて厚く御礼申し上げます。

#### 引用文献

- Fukushima, T., K. Kamiya, Y. Onda, A. Imai, K. Matsushige (2010). Long-term changes in lake sediments and their influences on lake water quality in Japanese shallow lakes. *Fundamental and Applied Limnology*, 177(3), 177-188.
- 二木功子, 宮原裕一, 斎藤保典, 花里孝幸, 朴虎東 (2018). 諏訪湖における夏季に優先する植物プランクトン種と富栄養化指数の変遷. *水環境学会誌*, 41 (3), 43-54.
- Ichikawa, Y., T. Kunito, Y. Miyabara (2024). Temporal Phosphorus Dynamics in Shallow Eutrophic Lake Suwa, Japan. *Water*, 16(10), 1340.
- 気象庁：過去の気象データ（諏訪）. 気象庁ホームページ：  
[https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php?pr ec\\_no=48&block\\_no=47620&year=2024&month=&day=&view=](https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php?pr ec_no=48&block_no=47620&year=2024&month=&day=&view=)（2026 年 3 月 2 日に利用）
- 熊谷博史, 田中義人, 白川ゆかり, 松尾宏, 金並和重 (2010). 有明海北東部流入河川の溶存態ケイ素濃度の予測. *水環境学会誌*, 33 (3), 17-23.

- 小山忠四郎 (1978). 諏訪湖における有機物の代謝.  
日本地球科学会編, 水汚染の機構と分析, 産業図  
書
- 宮原裕一, 笠原里恵 (2023). 諏訪湖定期観測 (2017  
~2021) の結果. 信州大学湖沼高地教育研究セン  
ター諏訪臨湖実験所研究報告, 11, 1-225.
- 長野県 (2022). 令和3年度諏訪湖創成ビジョン事業  
調査結果報告書
- 長野県 (2023). 諏訪湖に係る第8期湖沼水質保全計  
画
- 沖野外輝夫 (1982). 諏訪湖における炭素・窒素およ  
び磷の収支と湖内での循環の現状. 国立公害研究  
所調査報告, 22, 35-42.
- 沖野外輝夫 (1990). 諏訪湖 ミクロコスモスの生物.  
八坂書房
- Smith, V. H., G. D. Tilman, J. C. Nekola. (1999).  
Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on  
freshwater, marine, and terrestrial ecosystems.  
Environmental Pollution, 100, 179-196.
- (原稿受付 2026.3.9)