

諏訪湖流入河川水中ケイ素濃度の分布

横内雅大¹, 内藤秋歩², 宮原裕一³

¹信州大学大学院総合理工学研究科, ²信州大学理学部, ³信州大学山岳科学研究所

Distribution of silicon concentration in influent river water into Lake Suwa

M. Yokouchi¹, A. Naitou² & Y. Miyabara³

¹Graduate School of Science and Technology, Shinshu University,

²Faculty of Science, Shinshu University,

³Institute of Mountain Science, Shinshu University

キーワード：諏訪湖，水質，植物プランクトン，流入河川，ケイ素濃度

Keywords: Lake Suwa, water quality, phytoplankton, influent river, silicon concentration

1. はじめに

珪藻は水生生態系での重要な一次生産者であり、食物連鎖を通じて高次消費者を支えている。地球上に存在する珪藻の生産量は有機物に換算すると陸上植物全体の生産量に匹敵する年間 360 トンであり、地球上の一次生産の 20-25%を担っている（真山，HP）。一般に、藻類は増殖の際、水温の影響を受けるが、栄養塩濃度の影響も受ける。珪藻はガラス質の殻を有しており、その増殖において窒素・リンとともにケイ素を必要とする。一般に、富栄養化が進み水中の窒素・リン濃度が増加すると溶存態ケイ素が不足し、非珪藻類が優占しやすくなると言われている。

長野県中央部に位置する富栄養湖の諏訪湖では下水道の整備が進み、現在水中の窒素・リン濃度は減少傾向にある（宮原，2013，2018）。しかし，1971-2年（倉沢，1973）と1977-8年（沖野・山本，1978）以外，諏訪湖湖水中でのケイ素濃度は通年で測定されていないため，現在の諏訪湖湖水中のケイ素濃度やその季節変動は不明である。

さらに，湖水中の栄養塩濃度の変動を解析するためには，その流入源である流入河川水中の栄養塩濃度の把握や供給源も推定する必要がある。

本研究では，諏訪湖における植物プランクト

ン量の変動要因を明らかにするため，諏訪湖および流入河川水中の栄養塩（窒素，リン，ケイ素）濃度の季節変動と，集水域からのそれら栄養塩の供給について解析を試みた。

2. 方法

2.1 試料採取

諏訪湖および主要な流入河川の現況を図1に示した。諏訪湖では，湖面積 13.3 km² に対し，流域面積が 531 km² と広く，その大部分を諏訪湖の南側から流入する上川の流域が占めている。また，主要な4河川の流域は全体の8割以上を占めている。



図1 試料採取地点(諏訪湖および主要な流入河川)

2015年11月から2017年11月にかけて、隔週で諏訪湖湖心（36° 02′ 50″ N, 138° 05′ 14″ E；図1）において、表層（0 m）および底層（5 m）の湖水をバンドーン採水器を用いて採水した。同期間において、月一度、諏訪湖の流入河川（横河川、砥川、上川、宮川）において河川水を採取した。さらに、2017年10月から11月にかけて砥川や上川の上流域にあたる霧ヶ峰高原の溪流でも採水を行った。

これら試水は、いずれもポリエチレン製ビンに入れ持ち帰り、0.45 μmのメンブレンフィルター（メルクミリポア社製 JAWP04700）でろ過した後、ポリエチレン製ビンに入れ、分析時まで暗所で保存した。

2.2 分析方法

植物プランクトンの現存量の指標であるクロロフィル a 濃度は、試水をガラス繊維ろ紙（Whatman 社製 GF/C）で吸引ろ過し、ろ紙をエタノールで一昼夜抽出したのち、遠心分離し、分光光度計（日立製作所製 U-2000）を用いて上澄み液の吸光度を測定し、ユネスコ法で算出した。

湖水中の硝酸態窒素、亜硝酸態窒素およびアンモニア態窒素は、それぞれろ液をイオンクロマトグラフ法、BR法、インドフェノール法で測定し、その合計値を溶存態無機窒素（DIN）と表記した。河川水については、イオンクロマトグラフ（DIONEX 社製 ICS-1500）を用いて測定した。なお、河川水からは亜硝酸態窒素およびアンモニア態窒素は検出されなかったため、本文中では硝酸態窒素と表記した。

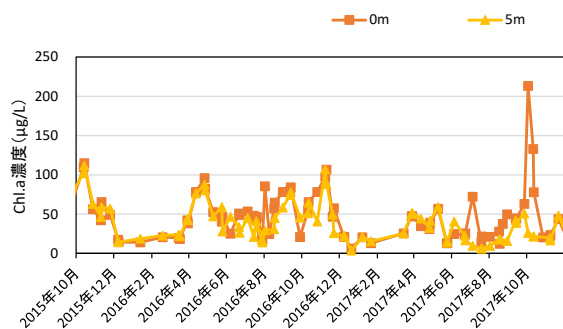


図2 諏訪湖における植物プランクトン現存量の変動

水中のリン酸態リンは、ろ液についてアスコルビン酸還元モリブデンブルー法で測定した。

水中の溶存態ケイ素（DSi）はモリブデンイエロー法で測定した。

3. 結果

3.1 諏訪湖における植物プランクトン量の変動

諏訪湖の植物プランクトン現存量の変動を、その指標であるクロロフィル a 濃度の変動として図2に示した。2016年、2017年とも、4月から6月と9月から10月にクロロフィル a 濃度の上昇が見られ、諏訪湖では春と秋に植物プランクトン量が増大することが示された。一方、2016年、2017年とも12月から3月の冬期と、6月から8月の夏期にクロロフィル a 濃度が低く、冬と夏に植物プランクトン量が低く維持されることも示された。さらに、2016年と2017年を比較すると、2017年10月の表層を除き、2016年の方が2017年よりもクロロフィル a 濃度が高く、植物プランクトン現存量が多かった。

3.2 諏訪湖および流入河川の水質の季節変動 植物プランクトンの増殖に関わる諏訪湖お

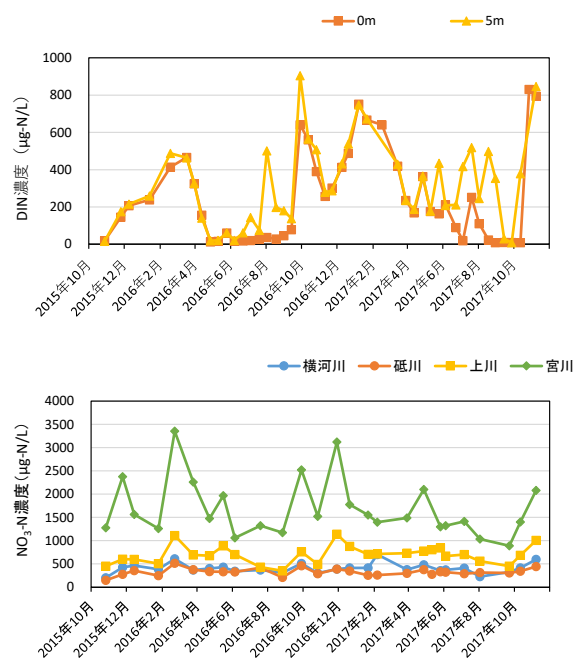


図3 諏訪湖および流入河川における溶存態窒素濃度の変動
上：諏訪湖湖心 下：流入河川

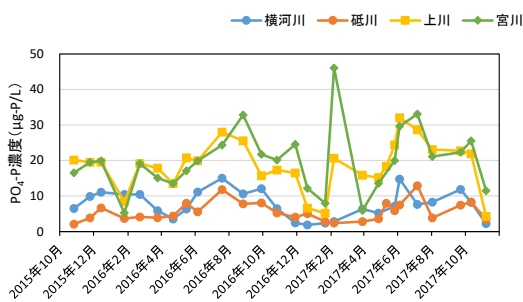
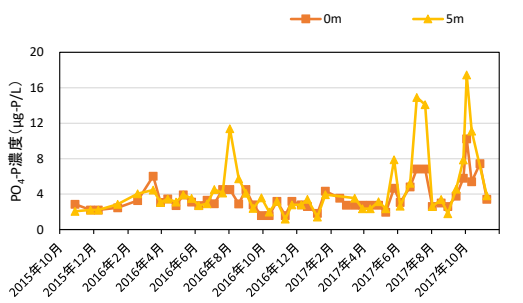


図4 諏訪湖および流入河川におけるリン酸態リン濃度の変動
上:諏訪湖湖心 下:流入河川

よびその流入河川水中の溶存態無機窒素，リン酸態リンおよび溶存態ケイ素濃度の変動を，図3から図5に示した。

諏訪湖の溶存態無機窒素濃度は，秋から冬にかけて上昇し，冬から春にかけて下降し，表層では夏から秋にかけて極めて低い濃度で推移していた。この表層での低い窒素濃度は2016年の方が2017年よりも長く継続していた。底層では夏から秋にかけて表層よりも濃度が高くなっていた。一方，河川では明瞭な季節変動は見られなかったが，水中の硝酸態窒素濃度は，宮川>上川>砥川・横河川の順であった。また，湖水に比べ河川水中の溶存態窒素濃度が高かった(図3)。

諏訪湖のリン酸態リン濃度は，季節変動が小さく，表層では，ほぼ4µg-P/L以下で推移していた。底層では2016年・2017年の7月下旬と2017年10月上旬に濃度上昇が見られた。一方，河川では明瞭な季節変動は見られなかったが，水中のリン濃度は，宮川・上川>砥川・横河川の順であった。また，湖水に比べ河川水中濃度が高かった(図4)。

諏訪湖の溶存態ケイ素濃度は，秋から冬にかけて上昇し，冬から春にかけて下降し，5月から7月に極小値を示した。底層では夏から秋にかけ

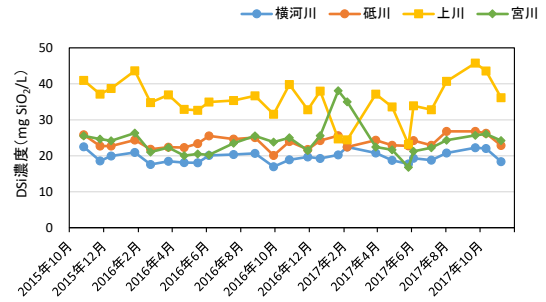
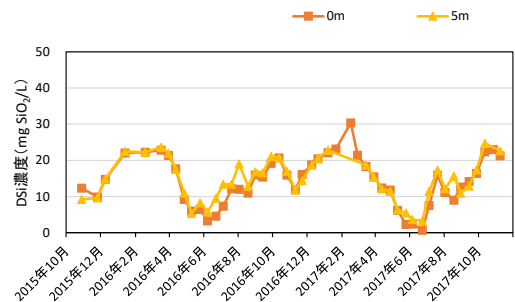


図5 諏訪湖および流入河川における溶存態ケイ素濃度の変動
上:諏訪湖湖心 下:流入河川

て表層よりもケイ素濃度が高くなっていた。一方，河川では明瞭な季節変動は見られなかったが，水中のケイ素濃度は，上川>宮川・砥川>横河川の順であった。また，河川水中ケイ素濃度は，上川では湖水中濃度よりも高く，宮川・砥川では湖水の極大値と同程度であった(図5)。

3.3 諏訪湖の水温および諏訪地域の降水量

諏訪湖の水温変動を図6に示した。諏訪湖では12月から3月にかけて水温は5℃前後で維持され，6月から10月は水温が20℃を超えていた。また，7月・8月には，表層で25℃を超える極大値が観察された。6月から8月にかけて，表層と底層の水温差が見られ，湖水の鉛直混合が抑制されていることが示唆された。

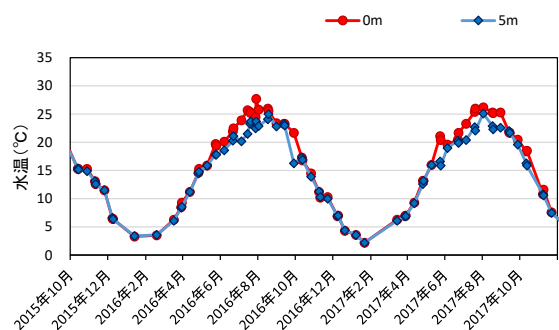


図6 諏訪湖における水深別水温の変動

諏訪特別気象観測所（諏訪市）における，月別降水量（気象庁，HP）の変動を図7に示した．この地域の6月から9月の降水量の平年値は677 mm であるのに対し，2016年の降水量は844.5 mm，2017年は410 mmであった．

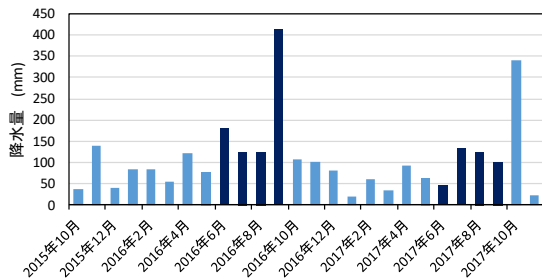


図7 諏訪特別地域気象観測所における月別降水量の変動
濃青色は夏期，薄青色はそれ以外の時期の降水量を表す。

3.4 諏訪湖流入河川および霧ヶ峰高原溪流での窒素・リン・ケイ素の分布

諏訪湖流入河川水中の硝酸態窒素，リン酸態リンおよび溶存態ケイ素濃度を図8に示した．硝酸態窒素は宮川と古川（下諏訪町）で比較的濃度が高かった．リンは，諏訪湖の東側からの流入河川で比較的濃度が高い傾向が見られた．ケイ素は河川による差はそれほど大きくはなかったが，リンと同様に諏訪湖の東側からの流入河川で比較的濃度が高い傾向が見られた．上述の主要4河川の水質の季節変動においても，上川でリンとケイ素濃度が高く，同様な傾向となっていた．

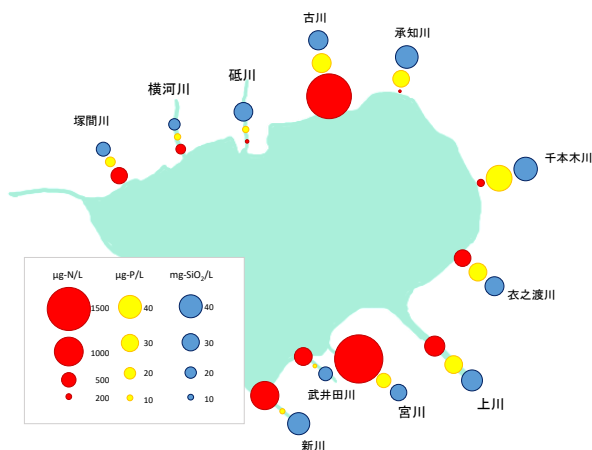


図8 諏訪湖流入河川水中の栄養塩濃度(2016年6月5日)

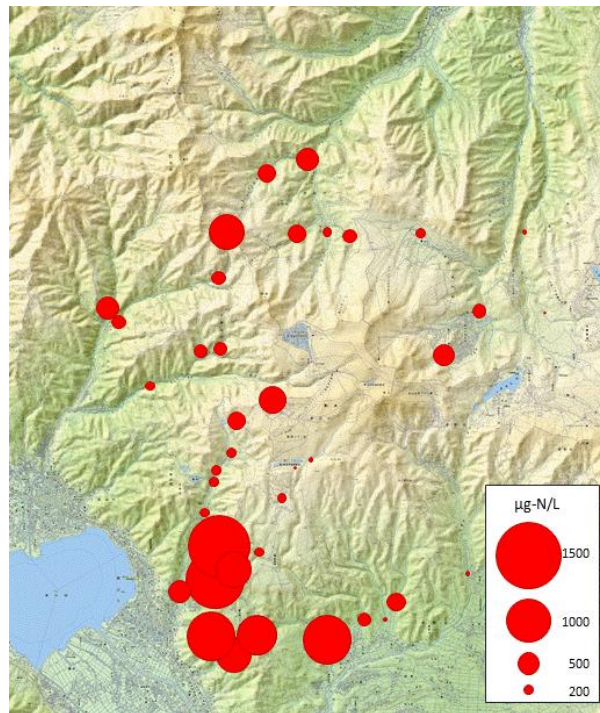


図9 諏訪湖集水域東部における河川水中硝酸態窒素濃度の分布

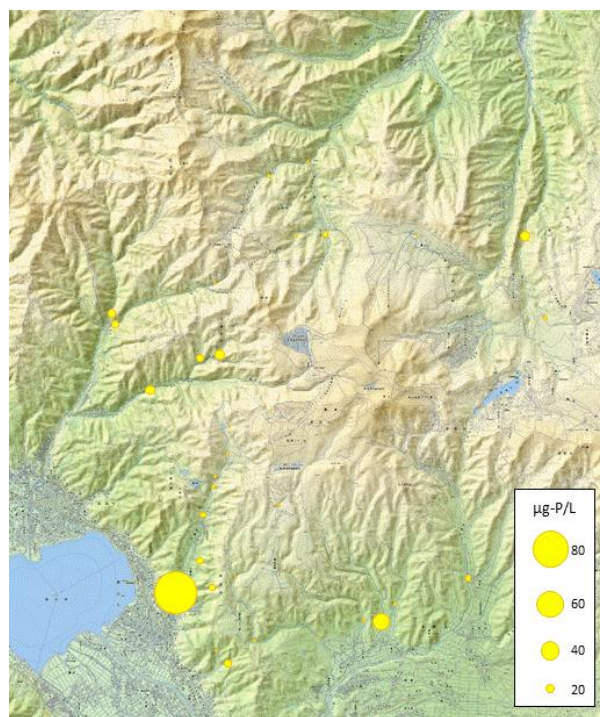


図10 諏訪湖集水域東部における河川水中リン酸態リン濃度の分布

諏訪湖の東側に位置する霧ヶ峰高原の渓流水中での硝酸態窒素濃度の分布を図9に示した．霧ヶ峰高原南部の河川下流で比較的高濃度の硝酸態窒素が検出された．

霧ヶ峰高原の渓流水中でのリン酸態リン濃度の分布を図10に示した．この地域の河川水

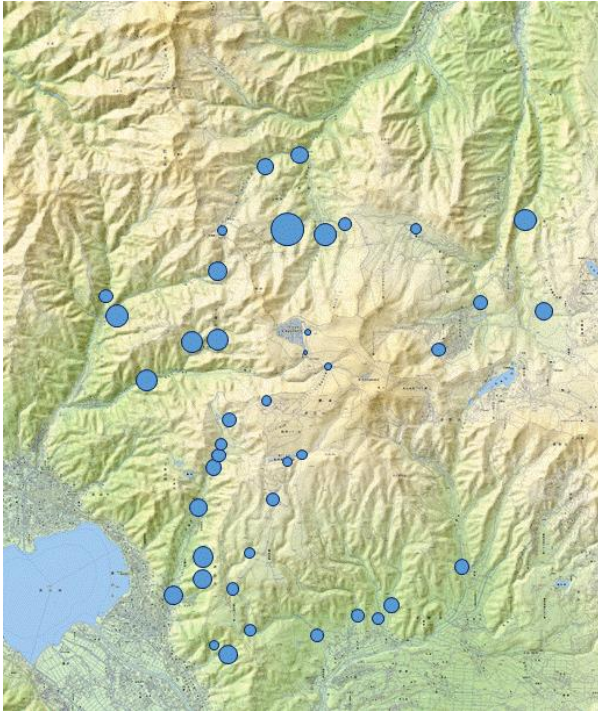


図11 諏訪湖集水域東部における河川水中溶存態ケイ素濃度の分布
中のリン酸態リン濃度は極めて低く、市街地に位置する角間川下流でのみ比較的高濃度となっていた。

霧ヶ峰高原の渓流水中の溶存態ケイ素濃度の分布を図11に示した。河川水中の溶存態ケイ素濃度の地域差はそれほど大きくなかったが、標高が高い地点ではケイ素濃度が低かった。また、霧ヶ峰高原北部で比較的高濃度のケイ素が検出される傾向が見られた。

4. 考察

4.1 諏訪湖における植物プランクトンの制限因子

本研究で対象とした2016年から2017年だけでなく、近年の諏訪湖では、冬期と夏期に植物プランクトン量が低下することが示されている(宮原, 2013, 2018)。冬期については水温が低下し生物の活性が低下したことで説明ができる。一方、夏期については、溶存態の窒素やケイ素濃度が低下しており、これらが植物プランクトン増殖の制限因子となっていると考えられた。2017年10月には、諏訪湖で窒素固定型の藍藻を主体としたアオコが発生したが、これは、諏訪湖が窒素やケイ素制限下にあった

ためと言える。

また、諏訪湖での溶存態窒素、リンおよびケイ素濃度は、いずれも河川水中濃度よりも低く、河川から流入したこれら栄養塩は湖水中の植物プランクトンによって利用されていると言える。2016年に比べ2017年夏期のクロロフィルa濃度は低かったが、2017年夏期の降水量は2016年の半分程度であり、河川からの上記栄養塩の供給が少なく、湖水中で利用可能な栄養塩が不足したことが原因と考えられた。すなわち、諏訪湖の植物プランクトンをはじめとする生態系は、集水域からの栄養塩供給に大きな影響を受けていると言える。

4.2 諏訪湖集水域からの栄養塩の供給

諏訪湖流入河川の水質を見ると、農耕地や市街地の影響を強く受けている宮川や古川で硝酸態窒素濃度が高かった。霧ヶ峰高原の渓流においても、農耕地の近くでは硝酸態窒素濃度が高く、諏訪湖への窒素の供給には人為的な影響が強いと考えられた。また、渓流水に比べ流入河川の河口付近ではリン濃度が高かったことから、リンの供給も諏訪湖に近い市街地や農地の影響を強く受けていると考えられた。一方、霧ヶ峰高原上部の渓流水ではケイ素濃度は低いものの、標高が低下するとケイ素濃度が高くなることから、その濃度には河川水として流出するまでの地下水の土壌や岩石との接触時間が関与していると考えられた。また、火成岩地帯ではケイ素が溶け出しやすいことから(熊谷ほか, 2010)、火成岩から成る霧ヶ峰高原が諏訪湖へのケイ素の供給源となっていると考えられた。

2017年秋には窒素とケイ素不足により、窒素固定型の藍藻によるアオコが発生したと考えられ、諏訪湖の水質管理のためには、窒素やリンに加えケイ素濃度のモニタリングと、それら栄養塩の組成を把握する必要があると言える。

5. まとめ

諏訪湖における植物プランクトン量の変動要因を明らかにするため、諏訪湖および流入河

川水中の栄養塩（窒素，リン，ケイ素）濃度の季節変動と，集水域からのそれら栄養塩の供給について解析を行った．

水温で説明がつかなかった夏期の植物プランクトン量の減少は溶存態のケイ素と窒素の低下で説明できた．

河川による溶存態ケイ素濃度の差はそれほど大きくはなかったが，リンと同様に諏訪湖の東側からの流入河川で比較的濃度が高く，供給量も多いと考えられた．

諏訪湖の植物プランクトンをはじめとする生態系は，集水域から河川を通じて供給される栄養塩の影響を強く受けていると考えられた．

6. 参考文献

真山茂樹，生態，珪藻の生物学，

<http://www.u-gakugei.ac.jp/~mayama/diatoms/ecology.htm>，

2018年3月11日閲覧．

宮原裕一，2013，諏訪湖定期調査（2007～2011）の結果，信州大学山地水環境教育研究センター研究報告，9，1-214．

宮原裕一，2018，諏訪湖定期調査（2012～2016）の結果，信州大学山地水環境教育研究センター研究報告，11，1-236．

倉沢秀夫，1973，諏訪湖小坂沖定点における基礎生産，二次生産，分解，栄養塩類の季節変化に関する研究，諏訪湖生物群集の生産力に関する研究，5，20-40．

沖野外輝夫・山本雅道，1978，1977－1978年の諏訪湖の水質（電気伝導度， SiO_2 ， Cl^- ， Ca^{++} ， Mg^{++} ， $\text{NH}_4\text{-N}$ ，COD），諏訪湖定期観測資料集 No.1，27-36．

気象庁，過去の気象データ検索，

<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>

2018年3月11日閲覧．

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，33，17-23．

（原稿受付 2018. 3. 12）