

〈研究発表〉

滋賀県西の湖流域を対象にした水質モニタリングによる 汚濁負荷構成の特徴と季節変動の分析

檜田 健生¹⁾, 佐藤 圭輔²⁾, 川上 奈津子³⁾

¹⁾立命館大学大学院 理工学研究科 修士1年生
(〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1 トリシア5F 流域環境情報研究室 E-mail: ce0019xp@ed.ritsumei.ac.jp)

²⁾立命館大学 理工学部 准教授
(〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1 トリシア5F 流域環境情報研究室 E-mail: k-sato@fc.ritsumei.ac.jp)

³⁾(株)日吉 分析検査部 課長代理
(〒523-8555 滋賀県近江八幡市北之庄町908 E-mail: n.mine@hiyoshi-es.co.jp)

概要

本研究では琵琶湖東岸地域に位置する西の湖を対象とし、流入河川の特徴と比較することで、湖内における栄養塩類の季節的变化や変動要因を分析し、物質収支の推定や汚濁源の特定を試みた。調査は夏季(8月)、冬季(1月)および春季(4~5月)のそれぞれにおいて実施された。その結果、夏季においては内部生産の影響(窒素形態の変化)、底泥由来のリン酸の排出などが推察された。春季においては琵琶湖に対する西の湖の濁水・栄養塩流出緩和能が示され、特に全リンの変動は代掻き由来の懸濁物質濃度に大きく依存していること、また、内部負荷と合わせて琵琶湖に流出していることが示唆された。

キーワード：内湖、水質汚濁、物質収支、水質モニタリング、現地調査
原稿受付 2023.8.3

EICA: 28(2・3) 132-135

1. はじめに

西の湖(面積約2.8 km², 平均水深約1.5 m, 滞留時間約19日間の淡水湖)は滋賀県近江八幡市に位置する琵琶湖内湖の一つであり、現存する内湖の中で最大規模の水域である。公共用水域には環境基準が適用されているが、内湖などの小さな水域は対象外であり、結果として水質汚濁が長期化する原因となっている。集水域に水田域が広がっている西の湖でも富栄養化(TN: 約1.6 mg/L, TP: 約0.15 mg/L, 2018)¹⁾が進み、アオコの発生や貝類の減少¹⁾が確認されている。このような水質汚濁に対処すべく、汚濁の特徴や原因を把握することは効果的な改善方法²⁾の提案につながり重要である。

以上のような背景を踏まえて、本研究では西の湖流域の水質形成の特徴を捉えることを目的として研究を行った。流入河川の調査や湖内の船上調査など現地調査に加え、汚濁の主因となっている窒素・リンの測定を行い、得られた結果をもとに形態別の構成割合や物質収支を算出し、西の湖内部での形態変化や琵琶湖に流出する汚濁負荷の季節変動について考察した。また、季節変動を分析する上で、西の湖に対する負荷が大きくなると予想される春季には、代掻き濁水の流出を捉えるために、連続観測機器を利用した水質モニタリングを行った。

2. 方法

2.1 西の湖流域概要と現地調査

西の湖およびその流入河川と本研究の調査地点²⁾をFig. 1に示した。流入河川は北から時計回りに小中排水路、安土川、山本川、蛇砂川および黒橋川の5河川であり、東側より長命寺川を通して琵琶湖へと流出する。琵琶湖との接続部には、堰が設置されており西の湖の低水位が制御されている。

調査は夏季(2022年8月30日)、冬季(2023年1月10日)、春季(2023年4月19日〈代掻き前〉, 5月2日〈代掻き中〉, 5月16日〈代掻き後〉)に行った。河川ではそれぞれに架かる橋から、湖沼では船上から

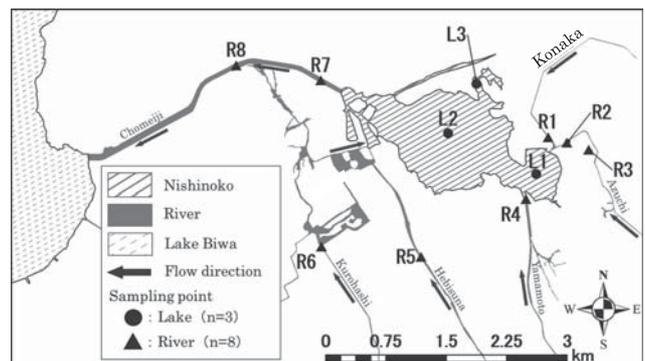


Fig. 1 Distribution of sampling points in lake and river water, Nishinoko Basin

表層の採水を行い、現地にて水質（水温、濁度、EC、pH、DO、ORP）および流量（流速、断面積）の計測を行った。春季には水田の代掻きによる影響を考察するため、西の湖湖心（L2）で濁度の連続計測（4/19～5/14）、流出河川（R8）での連続自動採水（4/19～5/14、6時間間隔）、水田排水（R3）の採取も追加で実施した。

2.2 水質測定方法

採水した水試料の水質測定は河川水質試験方法（案）を参照し行った。測定項目は浮遊懸濁物質（SS）、全窒素（TN）、全リン（TP）、硝酸態窒素（NO₃-N）およびリン酸態リン（PO₄-P）である。測定方法は、SSは孔径1μmのガラス繊維ろ紙を用いた吸引ろ過、TNはペルオキシ二硫酸カリウム分解-紫外線吸光光度法、TPはペルオキシ二硫酸カリウム分解-モリブデン青吸光光度法、NO₃-Nはオートアナライザー（QuAAtro2-HR、BLTEC）を用いた銅・カドミウムカラム還元-ナフチルエチレンジアミン吸光光度法、PO₄-Pはモリブデン青吸光光度法を用いた。なお、NO₃-Nの測定値をDTNとして、PO₄-Pを溶存態全リン（DTP）として用い、TNからDTNを引いて懸濁態全窒素（PTN）、TPからDTPを引いて懸濁態全リン（PTP）を算出した。しかし、DTNに関して亜硝酸態窒素やアンモニア態窒素は低濃度であることを確認したが、溶存有機態窒素を測定できていないために、DTNの値がやや過小評価されている点に注意されたい。

3. 結果及び考察

3.1 西の湖の水質特性

(1) 流出入河川における窒素・リン負荷量

春季と夏季の西の湖流出入河川における流量の測定結果を **Table 1** に、窒素・リン負荷量の推定結果を **Fig. 2** に示した。これらの結果から、夏季 TP、DTP

Table 1 Observed river flow rate in inflow and outflow rivers

ID	River	Flow Volume (m ³ /sec)			
		Summer		Spring	
		30th Aug'22	19th Apr'23	2nd May	16th May
Inflow					
R1	Konaka	0.25	0.25	0.22	0.14
R2	Azuchi	1.01	—	—	—
R4	Yamamoto	1.04	1.10	1.73	1.43
R5	Hebisuna	1.91	1.34	1.59	0.71
R6	Kurohashi	0.94	0.09	0.85	0.77
Outflow (Σ Inflow)					
R8	Chomeiji	5.15	2.77	4.39	3.05

— : No flow rate

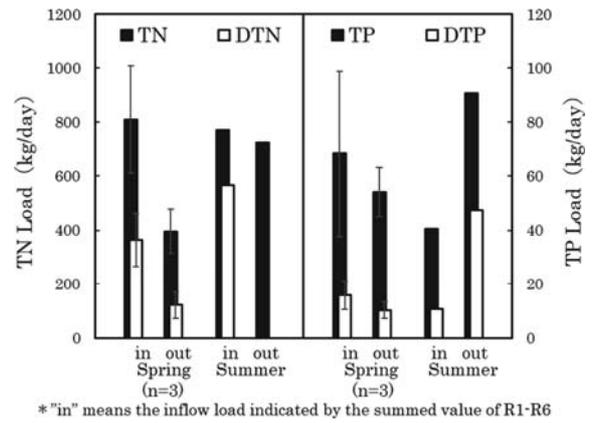


Fig. 2 Estimated TN and TP loads in inflow and outflow rivers

を除いて、流入よりも流出河川の負荷量の方が小さい結果が得られた。その差について、特に春季の TN と DTN および夏季の DTN で大きく、6～10 割減となっていた。これは、西の湖における沈砂効果に加えて、活発な内部生産活動によって DTN が消費して粒状有機物（POM）などに変化していること³⁾が影響していると考えられた。一方、夏季の TP で流出負荷量が多くなった理由については、DTP の増加が主因となっており、底泥からの PO₄-P 溶出の影響が考えられる。

(2) 春季における西の湖と流出入河川との関連性

春季・西の湖表層と流出入河川（R2 を除く）の水質特徴を **Fig. 3** にまとめた。数値は環境基準値（湖沼 B-V 類型）に対する基準超過率（倍数）で表している。この時期の SS、TN、TP はいずれの地点においても基準値を大きく超過（SS で約 2.5～5 倍、TN と TP で約 3 倍）しており、SS と TP では平常時における西の湖中央部の年間平均値 [SS : 27 mg/L、TP : 0.13 mg/L (n=10)]⁴⁾ を上回ることが確認された。また、水質構成比については、西の湖と流入河川との比較では TN と TP で半減、流出河川と西の湖との比較では SS で半減となり、琵琶湖に対する集中的な

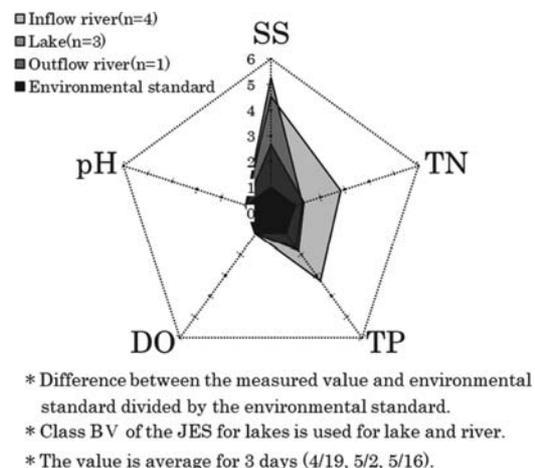


Fig. 3 Comparison of water quality between lake and river waters

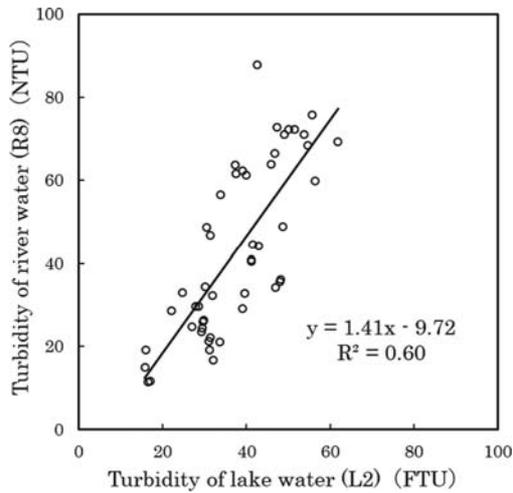


Fig. 4 Relationship between turbidity in lakes and outflow river
影響を緩衝する効果が確認された。一方、中長期的には西の湖そのものの悪化、琵琶湖への負荷源となりうる可能性にも留意が必要である。

次に春季・西の湖湖心 (L2) と流出河川 (R8) の濁度の関係を **Fig. 4** に示した。2 地点の濁度に相関が確認されたことから、湖心の濁度は流出河川のそれに影響していると考えられた。なお、流出河川の方が高い理由については、懸濁成分の粒径分布の違い、西の湖以外からの流入影響などが考えられる。

3.2 水質指標間の連動性・影響度

春季・流出河川 (R8) で実施された連続自動採水の測定結果に基づき、TN、TP と SS の関係を **Fig. 5** に、TN、TP と PTN、PTP との関係を **Fig. 6** にそれぞれ示した。いずれの値も 12 時間中央移動平均値を用いて示している。**Fig. 5** より、TN に比べて TP の方が SS との間に強い相関が確認され、変動に対する懸濁態の寄与がより大きいことが示唆された。次に **Fig. 6** には、全量に占める懸濁態の割合が分かりやすいよう 10 割の場合 ($y=x$) と 5 割の場合 ($y=2x$) の補助線を追加した。この結果から、TN の場合は平

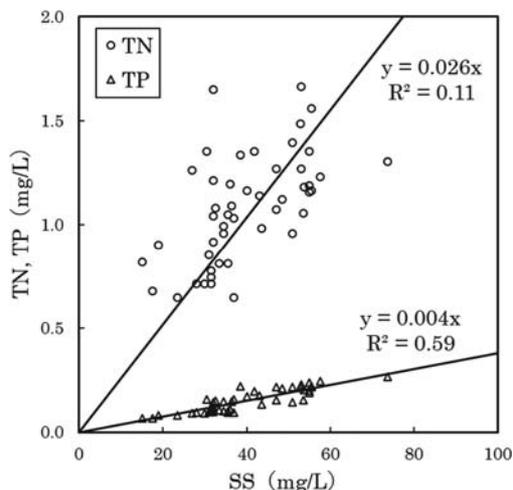


Fig. 5 Relationship between TN, TP and SS in outflow river

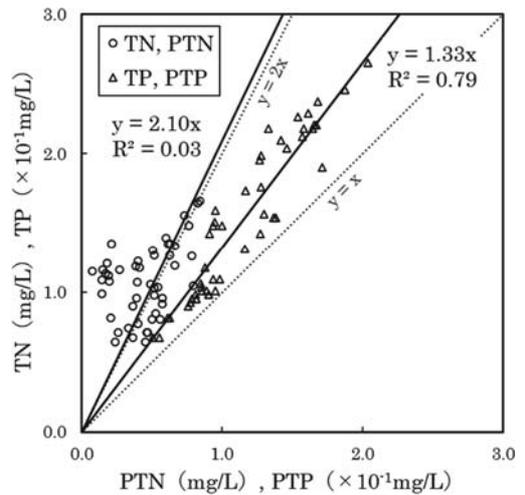


Fig. 6 Relationship between TN, TP and PTN, PTP in outflow river

均的には約 5 割が PTN で構成されているが試料による変動が大きいこと、TP の場合は約 7~8 割が PTP で構成される結果となり、懸濁態寄与の大きさが裏付けられた。懸濁物内の窒素・リン含有率を算定したところ、PTN/SS および PTP/SS で、それぞれの含有率は $1.21 \pm 0.60\%$ 、 $0.29 \pm 0.04\%$ であり、N/P 比ベースでは 2~6 程度の値で変動している結果となった。

3.3 代掻き期間における西の湖の水質

代掻き期間における西の湖の TN、TP の時間変化を **Fig. 7** に示した。期間中の濃度は代掻き中 (5/2) のみで SS 増加に伴って TP が 1.4 倍ほどに上昇し、懸濁態が 9 割を占める結果となったが、全体としては各形態とも大幅には変動しなかった。次に計測された TN と TP の濃度関係を **Fig. 8** に示した。**Fig. 8** には代掻き排水そのものの値 (R3) と内部負荷の植物プランクトンの代表値 ($N/P \div 7$)⁵⁾ も併記した。なお、近年の西の湖では毎年のようにアオコの発生が確認されている¹⁾。いずれの湖沼地点においても春季・代掻き前 (4/19) から代掻き中 (5/2) にかけて N/P 比が 1~4 程度一旦低下し、その後、代掻き後 (5/16) に

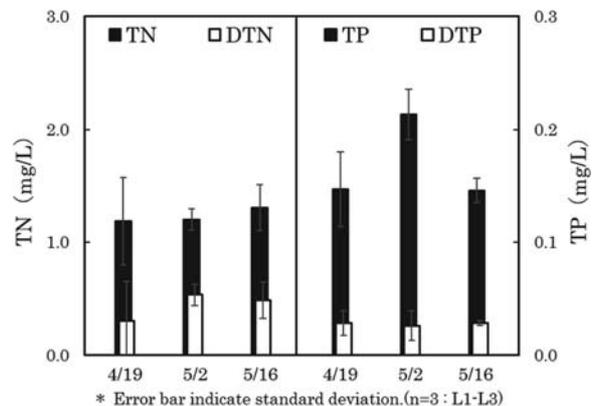


Fig. 7 Temporal changes of TN and TP form in lake water during the plowing period

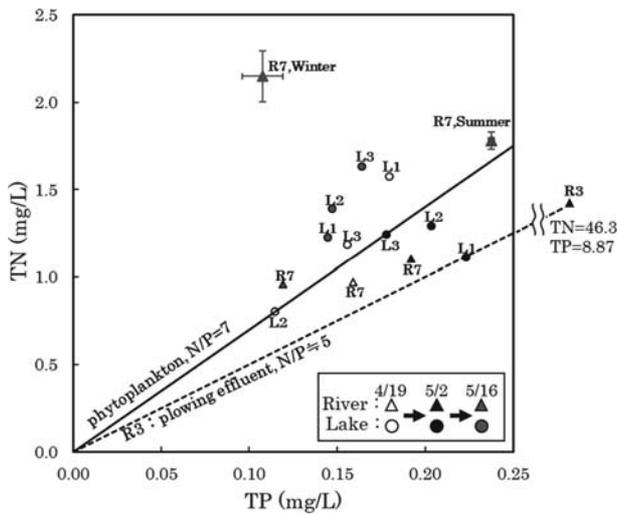


Fig. 8 N/P ratio in lake and river waters during the plowing period

向けて元の水準に戻る傾向が見られた。夏季や冬期においても N/P 比は比較的高い水準を示していたことから、N/P 比の低下は代掻き流出による一時的な影響であると推察された。そのことが流出河川 (R7)

にも一定反映されているが、3.2 で記述したように連続自動採水 (R8, Fig. 5 と Fig. 6) に基づく結果も踏まえると、西の湖を経由することで、外部負荷の代掻き流出 (N/P≒5) と内部負荷の植物プランクトン (N/P≒7) の影響が混在するものと考えられた。

参考文献

- 1) 滋賀県：西の湖の水環境改善対策, pp.11-27 (2022)
- 2) 谷田清史, 藤井健嗣, 松野 裕, 八丁信正, 越智士郎：西の湖の窒素・リン収支および人工湿地における水質浄化機能の解明, 近畿大学資源再生研究所報告, No. 8, pp.39-45 (2010)
- 3) 築山直弘, 阪井俊夫, 吉田和弘, 横山幹朗, 一瀬 諭：西の湖における植物プランクトンと栄養塩類等の関係性, 日本水処理生物学会誌別巻, No. 41, p. 23 (2021)
- 4) 滋賀県：令和 4 年度版環境白書, p. 149 (2022)
- 5) 築田 愛, 天野佳正, 相川正美, 町田 基：窒素, リンの絶対量および N/P 比によって変化する藍藻類 *Microcystis aeruginosa* と珪藻類 *Cyclotella* sp. の優占化特性, 日本水処理生物学会誌, Vol. 41, No. 2, pp.47-54 (2013)