

令和 3 年 6 月 24 日現在

機関番号：24201

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H03961

研究課題名(和文) 栄養塩負荷量と漁業生産の関係：水質総量規制は漁業生産の減少要因か？

研究課題名(英文) Relationship between nutrient loading and fisheries yield: Does water quality control cause fisheries yield to deteriorate?

研究代表者

伴 修平 (Ban, Syuhei)

滋賀県立大学・環境科学部・教授

研究者番号：50238234

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 31,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究によって、琵琶湖におけるリン酸濃度の時空間分布、そして植物プランクトン成長の閾値が15 nmol/Lであることを明らかにした。河川から流入するリンの主な供給源は農地であり、田植え期以降にみられた植物プランクトンブルームが沿岸からの栄養塩供給に依存する可能性を強く示唆した。琵琶湖への流入量として深層地下水が浅層に匹敵することを明らかにし、地下水中のリン酸濃度が湖水中より数桁高く、主要なリン負荷源であることを示した。水温とTPと個体数密度から動物プランクトン生産量を見積もる経験式を作成し、湖での二次生産が7.6-58.6 gC/m²/yであり、一次生産の<10%であることを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究によって、これまで測定不可能だった琵琶湖の正リン酸濃度を精度高く測定できるようになり、リン酸酸素安定同位体比によってリン酸の負荷源を明らかできる可能性を示すことができた。また、深層地下水の湖内への流入を確かめ、ここからのリン負荷が無視できないことを示した。これらの知見はいずれも今後の水質管理に大きく貢献する。過去40年間におよぶ動物プランクトン生産量を推定し、これが水質規制による貧栄養化による減少傾向を示さないことを明らかにした。これは、近年の漁獲量減少がボトムアップに制御されているのではなく、栄養塩低下以外の要因、例えば産卵・仔魚期の環境劣化等について精査する必要性を示唆する。

研究成果の概要(英文)：We determined spatio-temporal distribution of phosphate concentration in Lake Biwa, and clarified that threshold concentration for in situ phytoplankton growth was 15 nmol/L. An inflow-source of phosphorus from watershed was farm land, and the intermittent inputs of nutrients from littoral slope to the offshore might induce phytoplankton bloom in May and June. Amount of deep groundwater inflowing to the lake basin estimated with a radon-tracer method was almost equal to that of the shallow one. Phosphate concentrations in the groundwater showed several orders higher than those in the lake water, suggesting that this was the one of the main source of phosphorus loading to the lake. Empirical equations for estimating zooplankton production from water temperature, TP and individual density were made, and the annual productions estimated from the equations were 7.6-58.6 gC/m²/y, being <10% of phytoplankton primary production.

研究分野：水圏生態学

キーワード：漁業生産 貧栄養化 栄養塩負荷量 リン酸酸素安定同位体比 リン酸ナノモル測定 動物プランクトン生産量 琵琶湖北湖

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、様々な水域において、漁獲量の減少が問題となっている。漁獲量減少の原因については、浅瀬の埋め立て、藻場の消失、乱獲などいくつか考えられているが、最近では窒素・リンの排出規制による栄養塩負荷の低下に対する懸念が大きい。1980年以降、窒素・リンの総量規制が始まり、止水域への栄養塩(特に、リン)の供給量は低下傾向にある。このリン負荷量の減少が近年にみられる漁獲量の減少をもたらしているとの懸念がもたれている。播磨灘や大阪湾などいくつかの水域では漁獲量と栄養塩濃度の間に正の相関関係が認められているが、定量的な研究はほとんど存在せず、栄養塩負荷と漁獲量の間に存在する間接効果を考慮した研究はない。リン負荷の増加が植物プランクトン一次生産を促進することは明らかである。しかし、一段上の栄養段階である動物プランクトン生産にどれ程影響を与えるかは、栄養段階間のエネルギー転送効率(生態転換効率と呼ぶ)を計算しないと判断できない。もし生態転換効率が常に安定的であれば、リン負荷量と動物プランクトン生産は正の相関関係を示すと予測でき、動物プランクトン生産の変動はリン負荷量で説明できるかもしれない。しかし、これが変動するとき、このような予測は全く不可能となる。また、もし生態転換効率が増加傾向にあれば、リン負荷量の減少に伴う一次生産の低下は動物プランクトン生産に反映され難く、逆に、これが減少傾向ならば、一次生産の低下は動物プランクトン生産を大きく減少させることになるだろう。前者はプランクトン食魚類の生産に影響を与えそうにないが、後者は大きな影響を与える可能性がある。

一方で、栄養塩の総量規制によって、植物プランクトン生産が低下する程充分に、止水域の栄養塩濃度が低下したのかについて、より詳細な検証が必要である。総量規制によって点源汚濁負荷は減少した。しかし、面源汚濁負荷はなかなか抑えられていない現状がある。面源汚濁負荷源には農地や山林が含まれる。水田から排出されるリンのほとんどは懸濁態であり、そもそも河川から湖沼あるいは海洋沿岸へ流入するリンの大部分が懸濁態である。これら懸濁態リンは、比較的速やかに沿岸域に沈殿するため、プランクトン生産の場合である沖帯へはほとんど輸送されない。沈殿した懸濁態リンは堆積物中で無機化され間隙水中に蓄えられた後に、水柱へ溶出するが、この過程、そしてこれが沖帯へ輸送されるメカニズムも良く理解されていない。また、止水域への地下水の流入量を定量化した研究は少なく、そのため地下水からのリン供給量も不明のままである。従って、植物プランクトンが利用可能な湖内での潜在的なリン負荷量を定量化するには、1) 河川から供給された懸濁態リンの動態、そして2) 地下水からのリン供給量を明らかにする必要がある。これらに加えて、3) 嫌氣的な湖底堆積物から溶出する無機態リンが系内でのもう一つのリン供給源(内部負荷と呼ばれる)であるが、すでにいくつかの推定値が存在するため、それらを参照することができる。

植物プランクトン一次生産は、無機態リンである正リン酸(PO_4^{3-})の供給量に依存する。しかし、今日、最もよく使われる無機リン酸測定方法であるモリブデン青法は、試料を発色させる際に強酸を加えることによって PO_4^{3-} 濃度を過大評価してしまうため、これを正確に測定できない欠点を有する。また植物プランクトンは、細胞外酵素を分泌することによって、ある種の有機態リンを利用することが知られているが、これを正確に定量化する方法は確立されていない。従って、モリブデン青法で測定されているリン酸塩(SRPと呼ぶ)濃度だけでは、植物プランクトンが利用可能なリンの濃度を正確に定量化できないのが現状である。

このように止水域に負荷された各種リン源がどのように植物プランクトンに利用され、二次(動物プランクトン)生産、そして高次(魚類)生産につながるのか知るためには、各栄養段階間の生態転換効率を求める必要がある。植物プランクトン一次生産は、一般的に ^{14}C 法や酸素法で測定されるが、動物プランクトン生産を測定した研究はそれほど多くはなく、従って、生態転換効率を計算した研究例もほとんどない。

2. 研究の目的

本研究では、琵琶湖で近年にみられる漁獲量の減少が人為的貧栄養化に起因するのか詳細に検討するため、植物プランクトンが利用可能な PO_4^{3-} 濃度の湖内における時空間分布を明らかにし、その湖への負荷源を推定した。そして、これが食物連鎖を介して、魚類生産(ここではプランクトン食魚類)に与える影響を評価するため、動物プランクトン生産量を推定し、一次生産からの生態転換効率を計算した。

3. 研究の方法

本研究では、「生物利用可能なリン現存量の推定」と「動物プランクトン二次生産の算出」のため、以下の5つのサブテーマ毎に研究を行った。

- 1) 河川から流入するリンの動態および湖内での一次生産の連続測定
- 2) 琵琶湖への地下水流入量および地下水からのリン負荷量の推定
- 3) ナノモル測定による湖内のリン酸濃度の時空間分布とその生物利用性
- 4) リン酸酸素安定同位体測定技術を用いたリン負荷源の推定
- 5) 動物プランクトン二次生産の推定および一次生産との生態転換効率の算出

4. 研究成果

1) 河川から流入するリンの動態および湖内での一次生産の連続測定

本研究では2019年から2020年に琵琶湖流入20河川において、降雨時、平水時含め計20回の採水を行い各種リン化合物濃度の測定を行った。これより、集水域から琵琶湖に流入する各種リン化合物濃度と集水域の土地利用の関係に対する水文条件の影響について検討した。採水日を5段階の水文条件に分類し、各土地利用パラメータと各種リン化合物濃度の関係について解析した(表1)。その結果、溶存態リン濃度は全ての水文条件で農地面積割合の高い集水域から多く流出した。一方で、粒子態リン濃度は、田植え期には農地面積割合との相関が高かったが、面積割合よりも実際に面積が大きい集水域で濃度が高かった。特に、琵琶湖へのリン負荷量が大きくなる大規模な降雨時には、森林面積が粒子態リン濃度および全リン濃度と最も高い相関係数を示した。これらのことは、集水域から琵琶湖へのリン流入に関して、溶存態リンは農地からの流出の影響が大きく、粒子態リンは、田植え期を除いて、農地以外、特に森林からの流出が重要である可能性を示唆した。

表1.異なる水文条件における琵琶湖流入20河川のリン化合物濃度と集水域の土地利用の相関係数

	Basin area km ²	Population density /km ²	Agricultural land %	Paddy %	Forest %	Residential %	Agricultural land km ²	Paddy km ²	Forest km ²	Residential km ²
Baseflow in Puddling season (1)										
DP	-0.25	0.34	0.61	0.61	-0.56	0.44	0.16	0.16	-0.32	0.07
PP	-0.33	0.58	0.84	0.84	-0.80	0.68	0.17	0.17	-0.42	0.05
TP	-0.32	0.55	0.82	0.82	-0.78	0.65	0.18	0.18	-0.41	0.05
Baseflow in non-Puddling season (7)										
DP	-0.27	0.51	0.68	0.67	-0.67	0.59	0.23	0.23	-0.39	0.18
PP	0.01	0.41	0.33	0.32	-0.41	0.42	0.33	0.33	-0.11	0.32
TP	-0.16	0.57	0.63	0.62	-0.67	0.63	0.35	0.35	-0.31	0.31
Small and Middle Rainfall Events (7)										
DP	-0.27	0.68	0.92	0.91	-0.91	0.80	0.31	0.31	-0.41	0.22
PP	0.33	0.08	0.18	0.17	-0.22	0.15	0.71	0.71	0.12	0.69
TP	0.20	0.27	0.43	0.41	-0.46	0.37	0.70	0.70	-0.01	0.66
Large Rainfall Events (4)										
DP	-0.28	0.55	0.81	0.80	-0.80	0.70	0.30	0.30	-0.42	0.19
PP	0.62	0.06	0.07	0.06	-0.10	0.07	0.64	0.64	0.49	0.67
TP	0.56	0.14	0.19	0.18	-0.22	0.18	0.67	0.67	0.41	0.68
Largest Rainfall Events (1)										
DP	-0.18	0.56	0.88	0.88	-0.85	0.70	0.36	0.36	-0.31	0.24
PP	0.56	-0.34	-0.34	-0.35	0.38	-0.34	0.10	0.10	0.65	0.11
TP	0.56	-0.33	-0.31	-0.32	0.35	-0.32	0.11	0.11	0.65	0.12

2018年3~10月には琵琶湖北湖の定点1(35°18.94'N, 136°11.45'E)において、また2020年4~12月には定点2(35°18.74'N, 136°08.86'E)にて、係留系を設置し植物プランクトン一次生産を測定した。また、計画当初は予定していなかった気候変動観測衛星(GCOM-C/SGLI)のデータを利用した、琵琶湖北湖全域におけるクロロフィルa濃度の時空間的分布の観測も行った。

2018年の植物プランクトン一次生産速度は0.06~3.92(平均1.53)gC/m²/dの範囲を変動し、3月中旬から6月下旬にかけて一次生産速度は大きく増加し、6月26日には観測期間最大値となる3.92gC/m²/dに達した。2020年の一次生産は2018年より低く、0.04~3.56(平均0.87)gC/m²/dを変動し、5~6月において比較的高く、栄養塩供給が減少する8月以降は著しく低い値で推移した。

衛星画像からは、北湖東岸域で増殖した植物プランクトンが湖流によって沖帯へと運ばれる様子や、成層期に発達する環流によって、植物プランクトンが湖心部に集積する様子を明瞭に捉えることができた(図1)。2019年5月8日と11日のクロロフィルa濃度分布は、東沿岸域で濃度が局所的に高く、また、その高濃度域が東岸に沿って北方へと帯状に延びている様子を詳細に示している。これは、4月下旬から5月上旬の代掻きによる陸域からの栄養塩供給に起因した植物プランクトンブルームと湖流の影響によるものと考えられた。

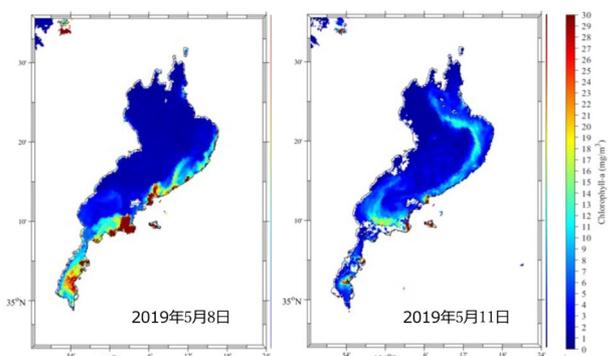


図1.2019年5月8日と11日の琵琶湖における衛星画像によるクロロフィルa濃度分布。

2) 琵琶湖への地下水流入量および地下水からのリン負荷量の推定

琵琶湖への地下水流出およびそれとともなうリンの供給を定量的に評価するため、ラドン(²²²Rn)トレーサー法、観測井における地下水位・水質モニタリング、および水文水質モデル(Soil and Water Assessment Tool: SWAT)による評価を実施した。

琵琶湖湖岸沿いの²²²Rn濃度分布から見積もった琵琶湖への浅層地下水湧出量は、従来の観測に基づく推定結果とほぼ一致した。さらに、水深10m以深の湖底で比較的高い²²²Rn濃度が検出され、沖側の湖底からの深層地下水の湧出を示唆し、湖底堆積物から抽出された間隙水の酸素安定同位体比($\delta^{18}O$)からも、深層地下水の寄与が明らかになった。また、それらの結果から、

深層地下水の流出量は浅層地下水のそれに匹敵すると推定され、陸域における観測井での地下水位分布・変動や、野洲川流域を対象とした SWAT による水収支解析結果もそれを支持した。加えて、地下水中のリン酸濃度は湖水や河川水と比較して明瞭に高いことが確認され、琵琶湖への地下水経由のリン負荷量は、河川経由とほぼ同程度かそれ以上に相当すると推定された。

3) ナノモル測定による湖内のリン酸濃度の時空間分布とその生物利用性

2018年5月～2019年12月の期間、クロロフィル *a* 量および各種栄養塩類と共に、イオンクロマトグラフィーを用いて PO_4^{3-} 濃度をナノモルレベルで測定した。これによって、それまで測定不可能であった琵琶湖における PO_4^{3-} 濃度は、40 m 以浅では常に $< 0.02 \mu\text{mol/L}$ であり、50 m 以深で $0.15 \mu\text{mol/L}$ まで増加することが分かった。また、現場湖水の培養実験より、植物プランクトン群集の成長は PO_4^{3-} 濃度が $0.05 \mu\text{mol/L}$ 以下でリン不足となり、 $0.015 \mu\text{mol/L}$ 以下では植物プランクトンは成長できないことが分かった(図2)。

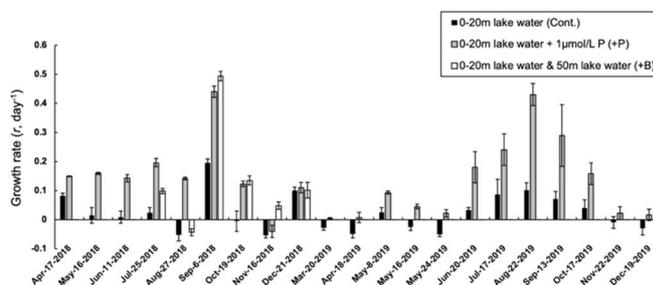


図2. 2018年4月から2019年12月における植物プランクトン群集の現場成長速度。黒：未処理区、グレー：リン添加区、白：湖底近傍湖水添加区

2020年には、4月下旬から6月下旬にかけて毎日連続採水し、表層におけるリン酸濃度の変動をモニタリングし、5月上旬には6～7日周期が認められ、内部波の影響による沿岸からの水平輸送の可能性が示唆された。

これまでに、溶存態リンについては、モリブデンブルー法による SRP と、イオンクロマトグラフィーによる PO_4^{3-} の定量値に相違があることが分かっている。琵琶湖では、周年に渡って見た場合、深度 30～40 m では SRP 濃度が PO_4^{3-} 濃度よりもかなり高いが、深水層では両者の値が近づく傾向にあり、4月から12月へ季節の進行に従い、より近づく傾向がみられた。一方、表水層においては、測定限界以下であるため、これまでに SRP 濃度は得られていなかった(セル長 50 mm の場合、70 nmol/L 程度で検出限界となる)。そこで、光路長 1000 mm の長光路セル (Liquid Waveguide Capillary Cell) を用い、さらに測定毎に履歴のほとんど残らないセル洗浄方法を開発することで再現性の高い測定法を実現することができた。この方法を用いることで、琵琶湖北湖の水深 90 m の観測点で 2020年12月に採取した試料について測定し、表水層において PO_4^{3-} 濃度が 1 nmol/L 程度であったのに対して、SRP 濃度はその5倍以上の値で測定された。即ち、SRP 濃度は PO_4^{3-} 濃度を過大評価しており、SRP 濃度と PO_4^{3-} 濃度の差を検討することで、今後はリンの形態とその生物利用性について議論することが可能となる。

また、リン酸欠乏時の代替化合物としてシアノバクテリア (*Synechococcus* など) による利用が示唆されているメチルホスホン酸について、水酸化鉄共沈濃縮法を利用して定量を行ったところ、琵琶湖において溶存態として $0.1 \sim 0.2 \text{ nmol/L}$ と、わずかであるが溶存していることを初めて明らかにすることができた。今後は、メチルホスホン酸の生物利用性、そして好氣的メタン極大層形成への貢献について研究を進展させることができる。

4) リン酸酸素安定同位体測定技術を用いたリン負荷源の推定

地下水を介した琵琶湖へのリン供給を評価することを目的に、湖水・湖底堆積物、地下水、湖底堆積物、ボーリングコア試料の化学・同位体分析を行った。

湖水の SRP が検出限界 ($0.07 \mu\text{mol/L}$) 以下であるのに対し、地下水のそれは $0.69 \sim 28.0 \mu\text{mol/L}$ と数桁高い値を示し、地下水が琵琶湖への重要なリン酸供給源となっている可能性が示唆された。地下水中の高いリン酸濃度は低い酸化還元電位を伴っており、堆積物に含まれる鉄と結合していたリン酸が鉄酸化物の還元・溶解とともに地下水へ溶出することで形成されていると考えられる。

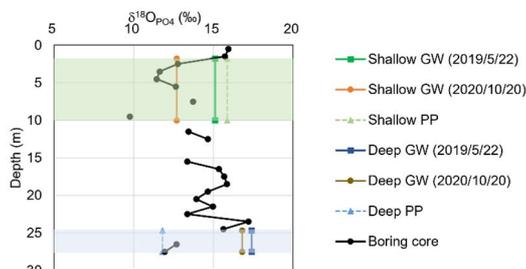


図3. 地下水とボーリングコア試料のリン酸酸素安定同位体比の深度分布。堆積物は全無機態リン画分を塩酸によって抽出し、リン酸酸素安定同位体比を求めた。

供給源や生物によるリン代謝を評価できるリン酸酸素安定同位体比を用いて地下水中のリン酸形成機構について評価した。地下水中のリン酸酸素安定同位体比は浅層で季節変化が認められ、深層ではほぼ一定の値を示した(図3)。浅層地下水におけるリン酸酸素安定同位体比の季節変化は生物による再循環(吸収と溶出)によって説明できることが明らかとなった(図4)。再循環に伴う同位体分別値(生物平衡値と呼ぶ)は水温と水-酸素安定同位体比によって決まる。浅層地下水では地表水の影響を受け、水-酸素安定同位体比が季節変化したことに伴いリン酸酸素安定同位体比も変化しと考えられる。これは、浅層地下水ではリンの早い再循環が起きており、リン酸酸素安定同位体比を生物平衡値によって予測できる可能性を示している。

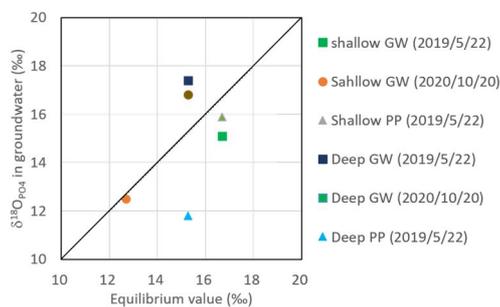


図4. 地下水中のリン酸と粒子態リン(PP)のリン酸酸素安定同位体比と生物平衡値との関係。

深層地下水中のリン酸酸素安定同位体比に季節変化はなく、また生物平衡値とも異なっ

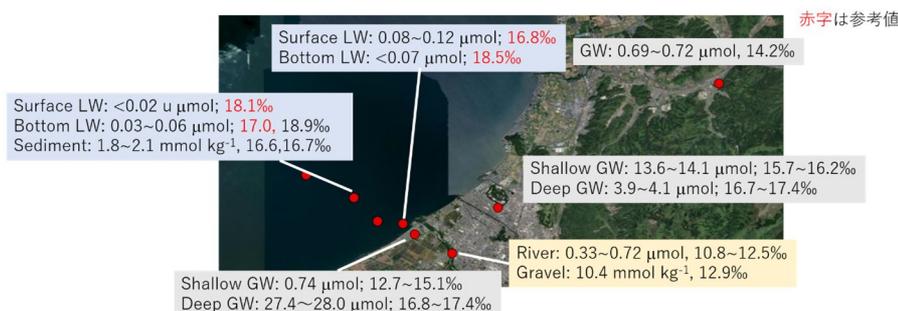


図5. 琵琶湖水、湖底堆積物、地下水、河川水、川底堆積物のリン酸酸素安定同位体比とリン濃度。

ていた。これは深層地下水ではリンの供給源がリン酸酸素安定同位体比に反映されていることを示唆している。ボーリングコア試料と深層地下水のリン酸酸素安定同位体比を深度別に比較したところ、深層地下水のリン酸酸素安定同位体比は深層の帯水層の堆積物ではなく、直上の不帯水層(23~24 m)の堆積物のリン酸酸素安定同位体比と一致した。これは、不帯水層を構成している堆積物からリン酸が供給されていることを示唆する。

琵琶湖に対する地下水からのリン供給の寄与を評価するため、琵琶湖水、湖底堆積物、地下水のリン酸酸素安定同位体比を比較した。湖水中のリン酸濃度が著しく低く、試料処理に問題があったことから、湖水におけるリン酸酸素安定同位体比は参考値に留めた。湖水と湖底堆積物のリン酸酸素安定同位体比は16.6‰以上の高い値を示し、深層地下水と同様の値であった(図5)。しかし、今回の限られたリン酸酸素安定同位体比データからは、関係する他の要因(他の供給源や生物代謝)と分けて評価することはできなかった。一方、浅層地下水のリン酸酸素安定同位体比は季節的に変化し、低い値をとることから、湖水と浅層地下水のリン酸酸素安定同位体比の季節変化を調べることで、定性的に浅層地下水の寄与を評価できる可能性が示唆された。

5) 動物プランクトン二次生産の推定および一次生産との生態転換効率の算出

琵琶湖沖帯にて採取した動物プランクトン3種(*Daphnia* spp., *E. japonicus*, Cyclopoids)について、現場湖水での培養によって、これらの成長速度と水温、全リン(TP)、個体数密度との関係を調べた。実験の結果、*Daphnia* spp.についてのみこれらを用いた経験式を得た。*Daphnia* spp.と*E. japonicus*で琵琶湖における動物プランクトン生物量の8割を説明するため、別途方法ですでに求めてある*E. japonicus*の生産量を用い、これら2種の合計を動物プランクトン生物量とした。そして、過去40年間におよびこれらの個体数密度と生物量のデータベースを用いて、生産量を計算した。

琵琶湖における動物プランクトン生産量は、これら2種で7.6~58.6 gC/m²/y(平均、23.8 gC/m²/y)と計算できた。1970年代以降に測定された植物プランクトン一次生産量(200~300 gC/m²/y)と比較すると、植物プランクトンから動物プランクトンへの栄養段階間転換効率は、5~10%程度で安定的であることが明らかになった。

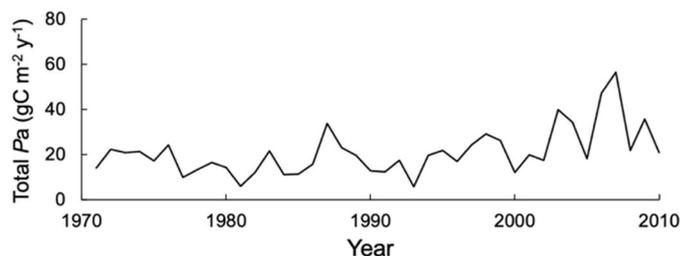


図6. 琵琶湖北湖における過去40年間の動物プランクトン個体群生産量。*Daphnia* spp.と*E. japonicus*のそれぞれ生産量の合計で示した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 12件／うち国際共著 9件／うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Liu Xin, Dur Gael, Ban Syuhei, Sakai Yoichiro, Ohmae Shinsuke, Morita Takashi	4. 巻 65
2. 論文標題 Planktivorous fish predation masks anthropogenic disturbances on decadal trends in zooplankton biomass and body size structure in Lake Biwa, Japan	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Limnology and Oceanography	6. 最初と最後の頁 667 ~ 682
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/lno.11336	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Liu Xin, Ban Syuhei, Beyrend Delphine, Dur Gael, Kuwae Michinobu, Makino Wataru, Urabe Jotaro	4. 巻 10
2. 論文標題 Resting eggs of the perennial copepod Eodiaptomus japonicus in Lake Biwa (Japan)	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Inland Waters	6. 最初と最後の頁 89 ~ 100
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/20442041.2019.1671766	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 塚本浩貴, 後藤直成, 吉原亜悠, 高木裕太, 新井那莉, 林正能, 石坂丞二	4. 巻 39
2. 論文標題 衛星リモートセンシングを用いた琵琶湖におけるクロロフィルa濃度の推定	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 リモートセンシング学会誌	6. 最初と最後の頁 103-111
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11440/rssj.39.103	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Yi, R., P. Song, X. Liu, M. Maruo and S. Ban	4. 巻 -
2. 論文標題 Differences in dissolved phosphate in shallow-lake waters as determined by spectrophotometry and ion chromatography	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Limnology	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10201-019-00574-2	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Ishida, T., Y. Uehara, T. Iwata, A. P. Cid-Andres, S. Asano, T. Ikeya, K. Osaka, J. Ide, O. L. A. Privaldos, I. B. B. De Jesus, E. M. Peralta, E. M. C. Trino, C.-Y. Ko, A. Paytan, I. Tayasu & N. Okuda	4. 巻 -
2. 論文標題 Identification of phosphorus sources in a watershed using a phosphate oxygen isoscape approach	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Environmental Science & Technology	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.est.8b05837	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 辻一真・丸尾雅啓・小畑元	4. 巻 68
2. 論文標題 イオンクロマトグラフィーを用いる天然水中微量メチルホスホン酸の定量	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 分析化学	6. 最初と最後の頁 275-278
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 早川和秀, 佐藤祐一, 岡本高弘, 永田貴丸, 後藤直成, 富岡典子, 中野伸一	4. 巻 25
2. 論文標題 琵琶湖における水質管理のあり方に関する研究と課題	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 地球環境	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Onodera, S.-i., N. Okuda, S. Ban, M. Saito, A. Paytan and T. Iwata	4. 巻 21
2. 論文標題 Phosphorus cycling in watersheds: from limnology to environmental science	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Limnology	6. 最初と最後の頁 327-328
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10201-020-00631-1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Liu, X. and S. Ban	4. 巻 42
2. 論文標題 Size-mediated temperature effect on embryonic development in Eodiaptomus japonicus (Copepoda, Calanoida) in Lake Biwa, Japan.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Plankton Research	6. 最初と最後の頁 779-782
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/plankt/fbaa045	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Song, P., R. Yi, S. Tanabe, N. Goto, K. Seto, M. Kagami and S. Ban	4. 巻 87
2. 論文標題 Temporal variation in community structure of zoosporic fungi in Lake Biwa, Japan	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Aquatic Microbial Ecology	6. 最初と最後の頁 17-28
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3354/ame01970	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Ishida, T., U. Yoshitoshi, T. Ikeya, T. Haraguchi, S. Asano, Y. Ogino and N. Okuda	4. 巻 21
2. 論文標題 Effects of Winter Flooding on Phosphorus Dynamics in Rice Fields	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Limnology	6. 最初と最後の頁 403-413
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Saito, M., N. Okuda and S.-i. Onodera	4. 巻 21
2. 論文標題 Material transport and cycle in watersheds: toward the interdisciplinary collaboration between limnology and the other research disciplines.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Limnology	6. 最初と最後の頁 427-428
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計44件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 13件）

1. 発表者名 Liu, X., R. Yi, M. Maruo and S. Ban
2. 発表標題 Spatio-temporal dynamics of orthophosphate with implications for limitation of phytoplankton growth in north basin of Lake Biwa, Japan
3. 学会等名 JpGU 2019 meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ban, S., R. Yi, X. Liu, M. Maruo, M. Sudo, N. Goto, J. Murase
2. 発表標題 Possibility of nutrient from littoral slope for enhancement of phytoplankton growth in north basin of Lake Biwa
3. 学会等名 JpGU 2019 meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shin-ichi Onodera , Mitsuyo Saito , Guangzhe Jin , Anna Fadliah Rusydi , Yusuke Tomozawa , Kunyang Wang , Syuhei Ban, and Noboru Okuda
2. 発表標題 Phosphorus discharge via groundwater into the lake, based on lacustrine groundwater discharge (LGD) and alluvial plain sediment
3. 学会等名 JpGU 2019 meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Mitsuyo Saito , Shin-ichi Onodera , Yusuke Tomozawa , Kunyang Wang , Syuhei Ban, and Noboru Okuda
2. 発表標題 Evaluation for temporal variation in groundwater inflow to the lagoons connected to Lake Biwa by radon (^{222}Rn) tracer analysis
3. 学会等名 JpGU 2019 meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yusuke Tomozawa, Kunyang Wang , Mitsuyo Saito , Syuhei Ban, Noboru Okuda , and Shin-ichi Onodera
2. 発表標題 Altitude effect of water stable isotopic ratio of ravine water and its contribution to groundwater in alluvial plains - Comparison in east and west side catchments of Lake Biwa
3. 学会等名 JpGU 2019 meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kunyang Wang, Shin-ichi Onodera , Mitsuyo Saito , Noboru Okuda, and Takuya Okubo
2. 発表標題 Estimation of groundwater recharge and phosphorus transport under different precipitation conditions in a suburban catchment, using SWAT model
3. 学会等名 JpGU 2019 meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Liu Xin・伴修平
2. 発表標題 琵琶湖の動物プランクトンにおける成長速度と水温、餌条件、個体数密度の関係
3. 学会等名 2019年度日本ベントス学会日本プランクトン学会合同大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Liu Xin・易容・丸尾雅啓・伴修平
2. 発表標題 琵琶湖北湖における正リン酸濃度と植物プランクトン成長の関係
3. 学会等名 第83回日本陸水学会金沢大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 塚本浩貴, 林正能, 石坂丞二, 後藤直成
2. 発表標題 高解像度光学観測衛星「しきさい(SGLI)」を用いた湖沼における水質モニタリングの可能性
3. 学会等名 海洋理工学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大賀雄介, 後藤直成, 石坂丞二
2. 発表標題 琵琶湖北湖におけるSGLIのリモートセンシング反射率データの検証
3. 学会等名 日本リモートセンシング学会 海洋・湖沼リモートセンシング研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大賀雄介, 後藤直成, 石坂丞二
2. 発表標題 衛星データを用いた琵琶湖北湖におけるクロロフィルa濃度分布
3. 学会等名 日本陸水学会近畿支部会第31回研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kunyang Wang, Shin-ichi Onodera, Mitsuyo Saito, and Takuya Okubo
2. 発表標題 Estimation of lacustrine groundwater discharge into Lake Biwa from Yasu river Basin
3. 学会等名 公益社団法人日本地下水学会2019年秋季講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小野寺真一、齋藤光代、王 崑陽、友澤裕介、伴 修平、奥田 昇
2. 発表標題 琵琶湖における地下水-地表水流入の役割
3. 学会等名 陸水物理学会 第41回
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kunyang Wang, Shin-ichi Onodera, Mitsuyo Saito, and Noboru Okuda
2. 発表標題 Estimation of Phosphorus Discharge into Lake Biwa Under Different Precipitation Conditions from a Rural Catchment
3. 学会等名 2019年度 日本水文科学会 学術大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yi, R., P. Song, M. Maruo and S. Ban
2. 発表標題 What is difference between orthophosphate and SRP in lake waters?
3. 学会等名 JpGU meeting 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Onodera, S.-i., M. Saito, S. Ban, G. Jin, Y. Tomozawa and N. Okuda
2. 発表標題 Estimation of Lacustrine Groundwater Discharge (LGD) via two paths in Lake Biwa, Japan
3. 学会等名 JpGU meeting 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Saito, M., S.-i. Onodera, Y. Tomozawa, K. Wang, S. Ban and N. Okuda
2. 発表標題 Observation for the groundwater inflow to the lagoons connected to Lake Biwa
3. 学会等名 JpGU meeting 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Wang, K., M. Saito, S.-i. Onodera, F. Tri Admajaya, S. Ban, N. Okuda and Y. Shimizu
2. 発表標題 Estimation of lacustrine groundwater discharge into Biwa Lake
3. 学会等名 JpGU meeting 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ban, S., R. Yi, X. Liu, M. Maruo, M. Sudo, N. Goto and J. Murase
2. 発表標題 Horizontal transportation of nutrients from littoral slope and enhancement of phytoplankton growth in north basin of Lake Biwa
3. 学会等名 34th SIL (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 奥田昇・小野寺真一・伴修平
2. 発表標題 琵琶湖流域の栄養循環：統合的理解を目指して
3. 学会等名 第83回日本陸水学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 池谷透・易容・伴修平・丸尾雅啓・石田卓也・奥田昇
2. 発表標題 室内実験による湖水の可分解性溶存有機態リンの存在量と回転率推定
3. 学会等名 第83回日本陸水学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yi, R., S. Ban, T. Ishida, T. Ikeya and N. Okuda
2. 発表標題 Phosphorus dynamics in Lagoon lakes Yanagihira-ko and Hira-ko using oxygen isotopic composition of phosphate
3. 学会等名 第83回日本陸水学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 リュウキン・易容・丸尾雅啓・伴修平
2. 発表標題 琵琶湖北湖における正リン酸の時空間分布
3. 学会等名 第83回日本陸水学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 齋藤光代・小野寺真一・友澤裕介・王崑陽・伴修平
2. 発表標題 琵琶湖東岸に立地する内湖における物質循環に及ぼす地下水の影響
3. 学会等名 第83回日本陸水学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小野寺真一・齋藤光代・友澤裕介・伴修平・奥田昇
2. 発表標題 琵琶湖へのリンおよび水の供給に対する地下水の役割の再評価
3. 学会等名 第83回日本陸水学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 友澤裕介・小野寺真一・齋藤光代・伴修平
2. 発表標題 琵琶湖東岸地下水における涵養域からの主要イオン成分寄与の推定
3. 学会等名 第83回日本陸水学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 後藤直成・塚本浩貴・岩木真穂
2. 発表標題 琵琶湖北湖における一次生産の季節変動
3. 学会等名 第83回日本陸水学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Liu, X., R. Yi, M. Maruo and S. Ban
2. 発表標題 Spatio-temporal dynamics of orthophosphate with implications for limitation of phytoplankton growth in north basin of Lake Biwa, Japan
3. 学会等名 JpGU 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ban, S., R. Yi, X. Liu, M. Maruo, M. Sudo, N. Goto and J. Murase
2. 発表標題 Possibility of nutrient from littoral slope for enhancement of phytoplankton growth in north basin of Lake Biwa
3. 学会等名 JpGU 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 早川和秀, 後藤直成, 他9名
2. 発表標題 微生物食物網を考慮した琵琶湖の物質循環の課題について
3. 学会等名 第83回日本陸水学会大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 後藤直成
2. 発表標題 衛星リモートセンシングを用いた琵琶湖におけるクロロフィルa濃度の推定
3. 学会等名 日本リモートセンシング学会 海洋・湖沼リモートセンシング研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Goto Naoshige, Maho Iwaki, Syuhei Ban and Kazuhide Hayakawa
2. 発表標題 Effects of disturbance events on primary production in the northern basin of Lake Biwa
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint meeting 2020
4. 発表年 2020年

1 . 発表者名 Iwaki Maho, Kazuhide Hayakawa and Naoshige Goto
2 . 発表標題 How the precipitation to the catchment effect on the lake water level using depth meter moored in north Lake Biwa
3 . 学会等名 JpGU-AGU Joint meeting 2020
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 Liu, X., R. Yi, M. Maruo, S. Ban
2 . 発表標題 Phosphorus dynamics related to phytoplankton growth with newly sensitive measurement of orthophosphate and growth experiments in north basin of Lake Biwa
3 . 学会等名 JpGU-AGU Joint meeting 2020
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 Ishida, T., Y. Tomozawa, X. Liu, J. Qian, M. Saito, S.-i. Onodera, N. Okuda, S. Ban
2 . 発表標題 Distribution of phosphate oxygen isotope in boring core samples for evaluation of phosphorus cycling in groundwater
3 . 学会等名 JpGU-AGU Joint meeting 2020
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 Ban, S., X. Liu, M. Maruo, N. Goto, K. Osaka, S. Onodera, M. Saito, T. Ishida, N. Okuda
2 . 発表標題 Did artificial re-oligotrophication induce a reduction of fish catch in Lake Biwa?
3 . 学会等名 JpGU-AGU Joint meeting 2020
4 . 発表年 2020年

1. 発表者名 Saito, M., S.-i. Onodera, Y. Tomozawa, K. Wang, S. Ban and N.Okuda
2. 発表標題 Observation for the spatial variation of lacustrine groundwater discharge (LGD) in the northern basin of Lake Biwa by multi-layer measurement of radon (²²² Rn)
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint meeting 2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Onodera, S.i., M. Saito, K. Wang, S. Ban, N. Okuda and Y. Tomozawa
2. 発表標題 Role of groundwater and river discharge on phosphorus supply into the lake
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint meeting 2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Goto, N., M. Iwaki, S. Ban and K. Hayakawa
2. 発表標題 Effects of disturbance events on primary production in the northern basin of Lake Biwa
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint meeting 2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 リュウ キン・Gael Dur・土井絵美・酒井陽一郎・大前信輔・森田尚・伴修平
2. 発表標題 琵琶湖におけるEodiaptomus japonicusの成長および生産量の準10年周期：北極振動との関連
3. 学会等名 本プランクトン学会・日本ベントス学会合同大会
4. 発表年 2020年

1 . 発表者名 Ban, S., X. Liu, K. Osaka, N. Goto and J.C. Wells
2 . 発表標題 High resolution monitoring for subsidiary nutrient loadings and phytoplankton production in north basin of Lake Biwa
3 . 学会等名 JpGU meeting 2021
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 Liu, X., N. Goto and S. Ban
2 . 発表標題 Long-term trends in zooplankton production and ecological transfer efficiency over 4 decades in Lake Biwa, Japan
3 . 学会等名 JpGU meeting 2021
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 Osaka, K., H. Tanabe, S. Ban
2 . 発表標題 Hydrological controls on phosphorus export from diffuse source in Lake Biwa basin, central Japan
3 . 学会等名 JpGU meeting 2021
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 Ishida,T., Y. Tomozawa, X. Liu, M. Saito, S. Onodera, N. Okuda and S. Ban
2 . 発表標題 Identification of enriched phosphate in groundwater: insights from distribution of phosphate oxygen isotope ratio in aquifer sediments
3 . 学会等名 JpGU meeting 2021
4 . 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	丸尾 雅啓 (Maruo Masahiro) (80275156)	滋賀県立大学・環境科学部・教授 (24201)	
研究分担者	後藤 直成 (Goto Naoshige) (40336722)	滋賀県立大学・環境科学部・准教授 (24201)	
研究分担者	尾坂 兼一 (Osaka Ken'ichi) (30455266)	滋賀県立大学・環境科学部・講師 (24201)	
研究分担者	齋藤 光代 (Saito Mitsuyo) (20512718)	岡山大学・環境生命科学研究科・准教授 (15301)	
研究分担者	小野寺 真一 (Onodera Shin-ichi) (50304366)	広島大学・先進理工系科学研究科(総)・教授 (15401)	
研究分担者	奥田 昇 (Okuda Noboru) (30380281)	神戸大学・神戸大学内海域環境教育研究センター・教授 (14501)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------