

貧栄養化が進行する琵琶湖における生態系変化と漁業への影響把握

大久保卓也¹⁾・後藤直成²⁾・山口晟司³⁾・王俊函³⁾・小林太地⁴⁾

1)環境科学部生物資源管理学科, 2)環境科学部環境生態学科,

3)大学院環境科学研究科環境動態学専攻博士前期課程, 4)環境科学部生物資源管理学科 4 年生

本研究では、これまでの富栄養化対策によって琵琶湖で進行している「貧栄養化」が水域生態系および漁業に及ぼす影響を把握することを目的として、①漁網への付着物増加に対する栄養塩濃度の影響把握実験、および、②文献調査による「貧栄養化」の湖沼生態系・漁業への影響のレビュー、知見のとりまとめを行った。

1. 漁網への付着物増加に対する栄養塩濃度の影響把握実験

1.1 目的

森田・大前(2010)によると、琵琶湖では1997年頃から北湖の一部水域でエリ網の汚れが増加して問題になり、1998年には北湖全域に広がったとされている。エリ網付着物の現状を図1～4に示した。エリ網の汚れは網の表面に付着する藻類が主な原因と考えられる。この問題を解決するためには、まず、エリ網付着物量の増加速度に関係する影響因子を明らかにする必要がある。そこで、本研究では、エリ網付着物量の増加速度に対する栄養塩濃度の影響を把握することとした。



図1 エリ網付着物の現状 (大浦湾のエリ網、2020年2月10日撮影)



図2 エリ網付着物の現状（百瀬漁港沖のエリ網、2020年3月7日撮影）



図3 エリ網付着物の現状（比良沖のエリ網、2020年3月24日撮影）



図4 エリ網付着物の現状（中主沖のエリ網、2020年3月26日撮影）

1.2 方法

(1) 湖沼環境実験施設での屋外実験

図5に示す実験スキームで、湖沼環境実験施設の屋外に設置したポリエチレン製水槽（70L）（図6、図7）に漁網の断片（10cm×10cm）（図8）を必要枚数入れ、栄養塩の設定条件として、1) 栄養塩無添加（湖水のみ）の系、2) 硝酸態窒素を0.5mgN/Lとなるように添加した系、3) リン酸態リンを0.01mgP/Lとなるように添加した系、4) 硝酸態窒素とリン酸態リンがそれぞれ0.5mgN/L、0.01mgP/Lとなるように添加した系、の4条件を設けて比較した。各条件とも2つの水槽を設けた。水槽への湖水の流入は、回分式とし、毎日1回、水槽の水をすべて入れ替える方式とした。栄養条件の異なるそれぞれの水槽に入れた漁網断片（10cm×10cm）をおよそ1週間間隔で回収し、付着生物の種類・同定、付着物量（乾重、強熱減量、灰分量）、クロロフィルa量を測定した。また、水槽の水を毎日サンプリングし、全窒素(T-N)、溶存態窒素(D-N)、全リン(T-P)、溶存態リン(D-P)、リン酸態リン(PO₄-P)濃度を測定した。この実験を四季に実施し、漁網への付着物の量・質が、栄養条件、季節（水温）によってどのように影響を受けるのか把握した。

(2) 琵琶湖のエリ網現場での付着物調査

琵琶湖北湖の大浦湾にあるエリ網の近傍に試験用の網を設置し、栄養塩条件の違いによる付着物の変化を調査した。試験用の網は、1) 窒素肥料（コーティングされた硝酸アンモニウム、30g）を不織布に包んで網の近傍に設置した場合、2) リン肥料（骨リン酸粒状品30g、溶解リン酸36%）を不織布に包んで網の近傍に設置した場合、3) 肥料は設置しない場合、の3通りの条件を設けた。それぞれの条件のエリ網は30cm×60cmの金属メッシュに貼り付け、それぞれの網の中央に肥料が入った不織布、または不織布のみを設置した（図9）。それぞれの条件の網を2枚ずつ作成し設置した。

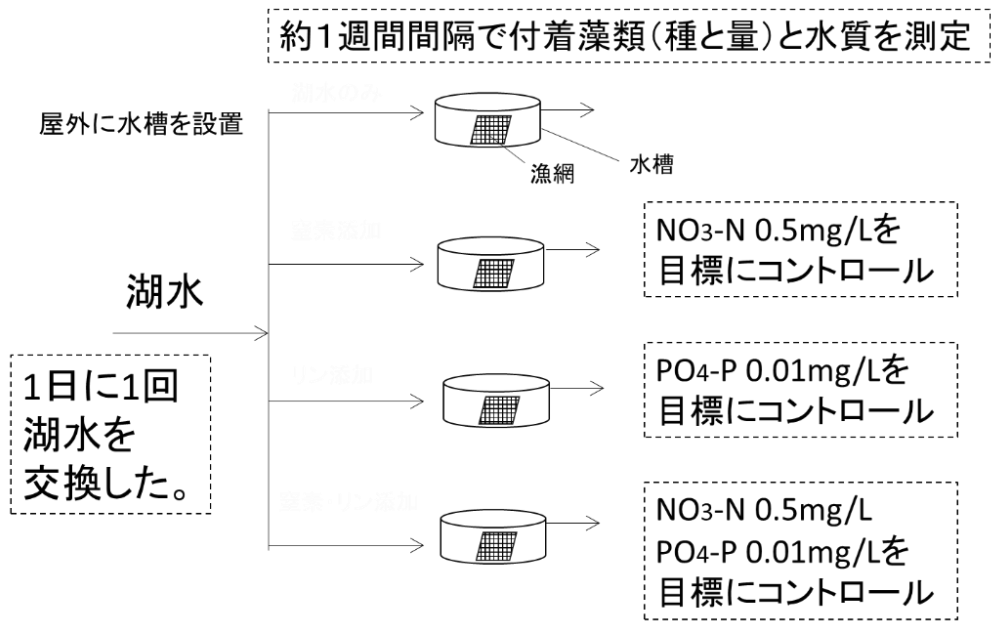


図5 実験スキーム

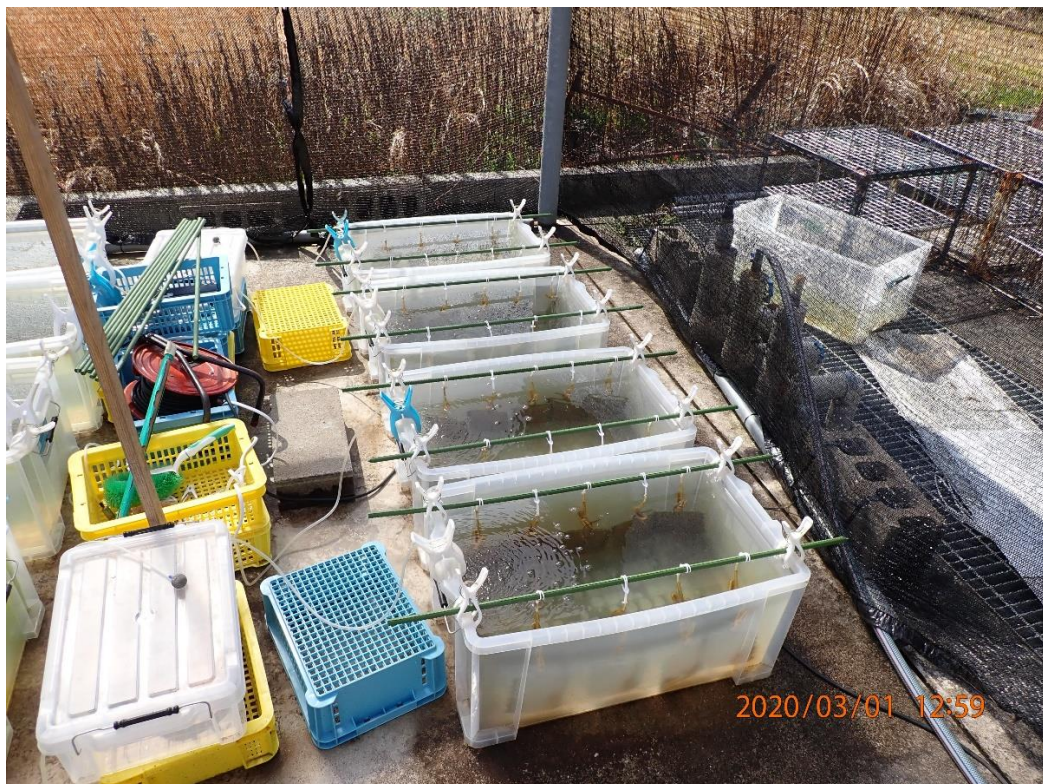


図6 湖沼環境実験施設に設置した実験用水槽 (各濃度系列2個ずつ)



図 7 湖沼環境実験施設に設置した実験用水槽とエリ網



図 8 実験に用いたエリ網 (10cm×10cm)

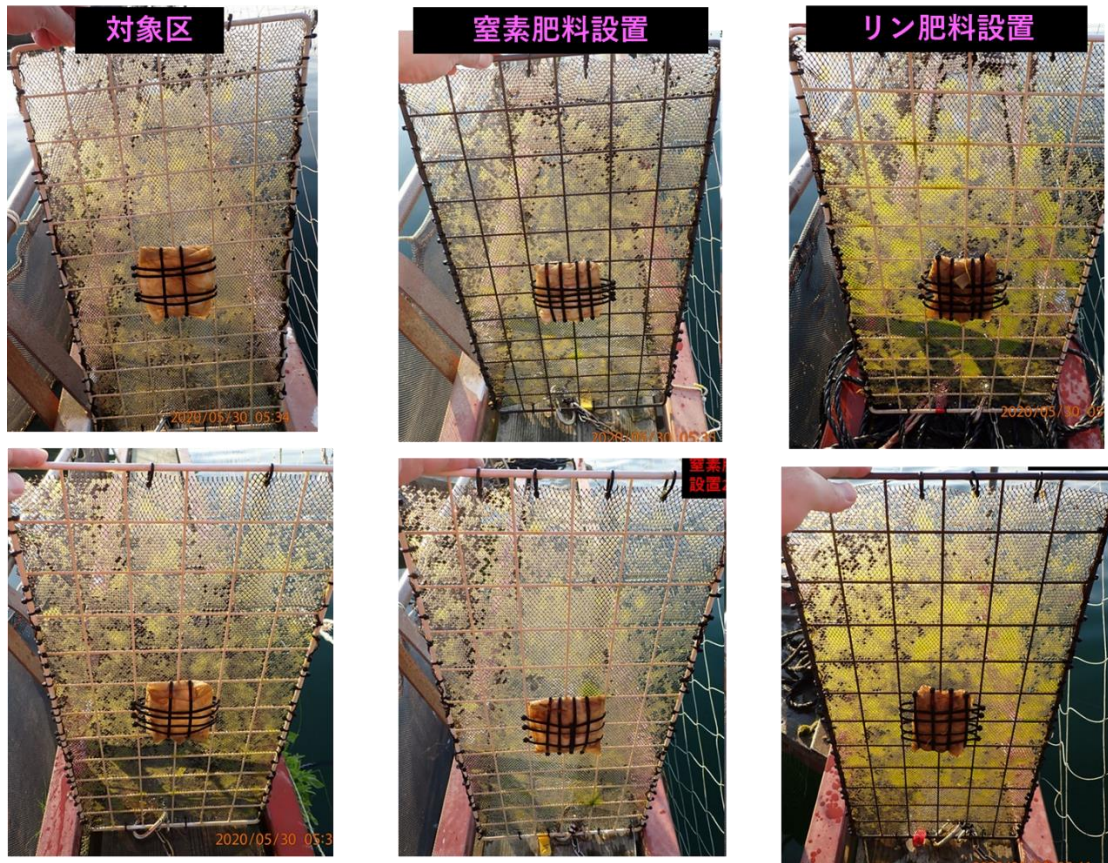


図9 琵琶湖のエリ近傍に設置した実験用網 (30cm×60cm)

1.3 結果

(1)湖沼環境実験施設での屋外実験

2019年度の4回(四季)行った実験結果に基づき乾燥重量の変化を図10に、強熱減量の変化を図11に、灰分量の変化を図12に示す。付着物の増加速度は、夏季は窒素律速、春季はリン律速になっている傾向がみられた。一方、秋季は付着物の増加が栄養塩律速にはなっていない結果となった。

クロロフィルaの変化を図13に示す。この図から夏季には付着藻類の増加が窒素律速になっていることが明らかである。一方、秋季には17日目まではリン律速になっていたが、その後は栄養塩を添加しない系でもクロロフィルaが増加していた。この結果から、秋季には付着藻類の増殖に必要な栄養塩が湖水中に含まれていたと考えられる。

強熱減量/クロロフィルa比の変化を図14に示す。強熱減量は有機物量を示し、クロロフィルa量は新鮮な付着藻類量を示すと考えられる。したがって、強熱減量/クロロフィルa比は、付着藻類が産出したポリマー等の多糖類を含む総有機物量と新鮮な付着藻類の比を示すと考えられる。この比は、夏季には湖水のみの系がもっと高く、経過日数とともに増加傾向にあった。この比は秋季も湖水のみの系が最も高かったが、経過日数とともに減少していた。この結果から栄養が不足した環境では、付着藻類あたりの有機物生成量が多くなる可能性がある。

現在、漁網付着物の特徴であるネバネバした多糖類ポリマーの定量方法を検討中である。貧栄養になる

と細胞外多糖類ポリマーが多く出されるとの報告が海外の文献 (Sundareshwar, et al., 2011 など) でみられるため、この現象を検証中である。

(2)琵琶湖のエリ網の現場での付着物調査

琵琶湖のエリ網の現場でも調査を行い、1)栄養塩無添加、2)窒素添加、3)リン添加の3条件で付着物の付き方を比較してきた。その結果、現場では、**図 15** および**図 16** に示すように、リン肥料設置の系で付着藻類が多くなる傾向がみられた。この傾向は、湖沼環境実験施設の屋外実験の春季と同様であった。したがって、春季には付着藻類の増殖はリン制限になっている可能性が高い。クロロフィル a や多糖類の分析は現在進めているところである。

(3)琵琶湖のエリ網に付着する付着藻類の同定結果

2020年2月から3月にかけて琵琶湖北湖の**図 17** に示す5カ所(大浦湾、百瀬沖、和邇沖、堅田沖、中主沖)で採取したエリ網付着物に含まれる付着藻類を同定した結果を**図 18**、**図 19** に示す。和邇沖地点の沈殿量が多いのは、細胞が大きく糸状で立体的になるホシミドロ目のアオミドロ属が他の地点に比べて多いためである。また、和邇沖地点と中主沖地点では、柄のある珪藻類(クチビルケイソウ目のクチビルケイソウ属など)の比率が高いことも沈殿量を多くしていた。中主地点は総細胞数が多いものの、第1優占種が針状のオビケイソウ目オビケイソウ属 *Fragilaria rumpens* であり容積の値を大きくすることに寄与しないため、沈殿量の値は小さくなっていった。

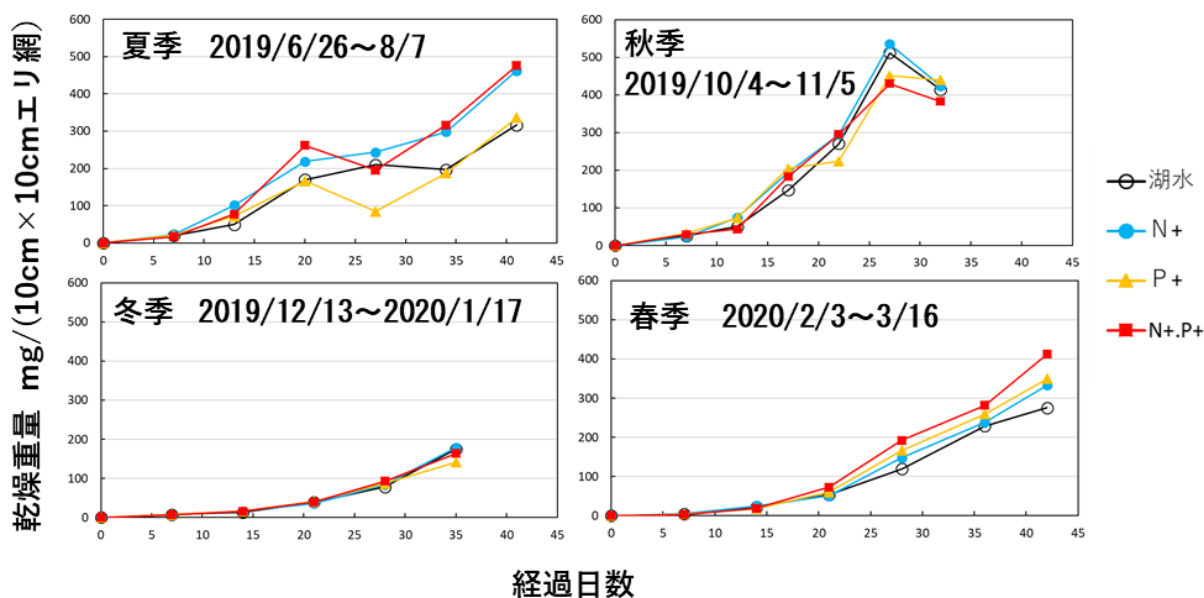


図 10 栄養塩濃度を変えた場合のエリ網付着物量(乾燥重量)の変化

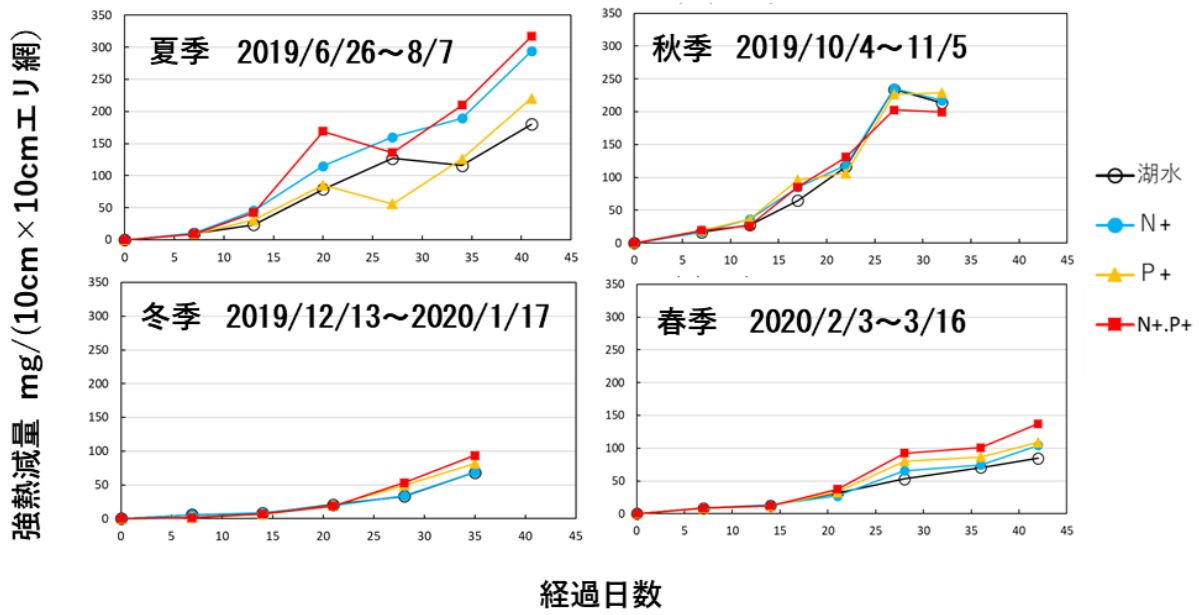


図 11 栄養塩濃度を変えた場合のエリ網付着物量（強熱減量）の変化

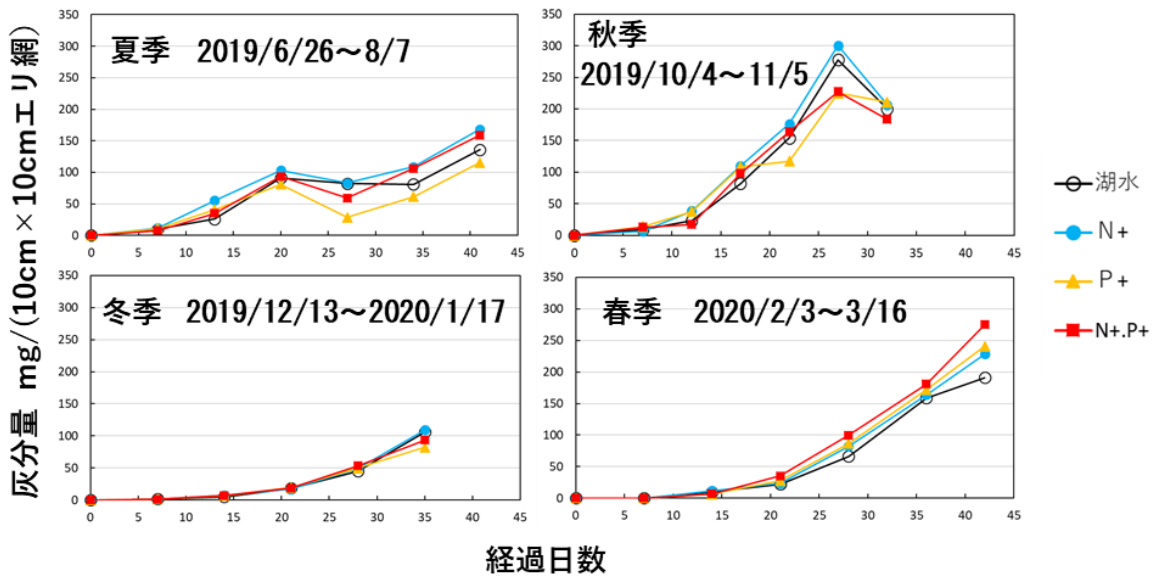


図 12 栄養塩濃度を変えた場合のエリ網付着物量（灰分量）の変化

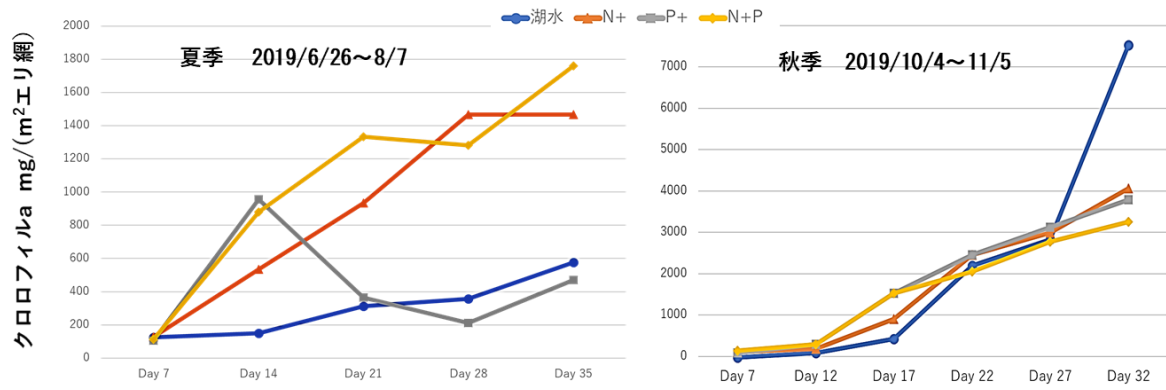


図 13 栄養塩濃度を変えた場合のエリ網のクロロフィル a 量の変化

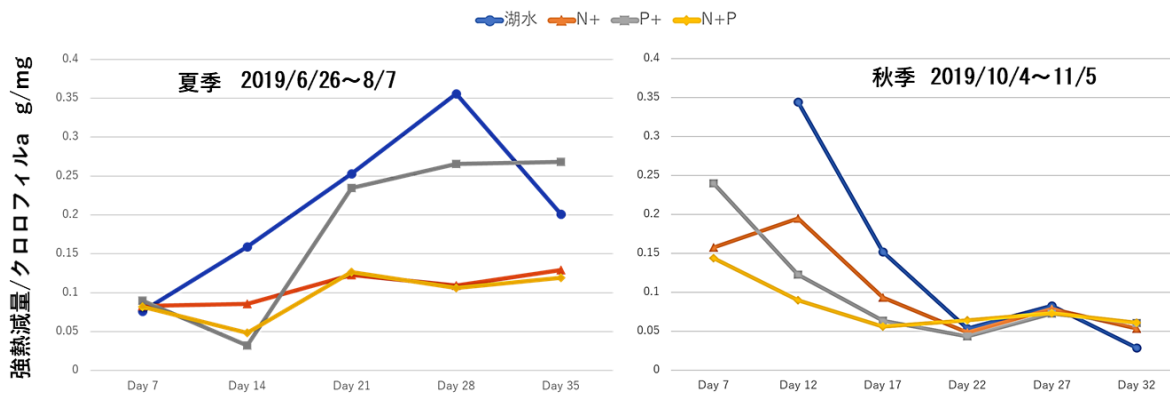


図 14 栄養塩濃度を変えた場合のエリ網の強熱減量/クロロフィル a 量比の変化

設置後45日のエリ網附着物の状況 (5/1~6/15)

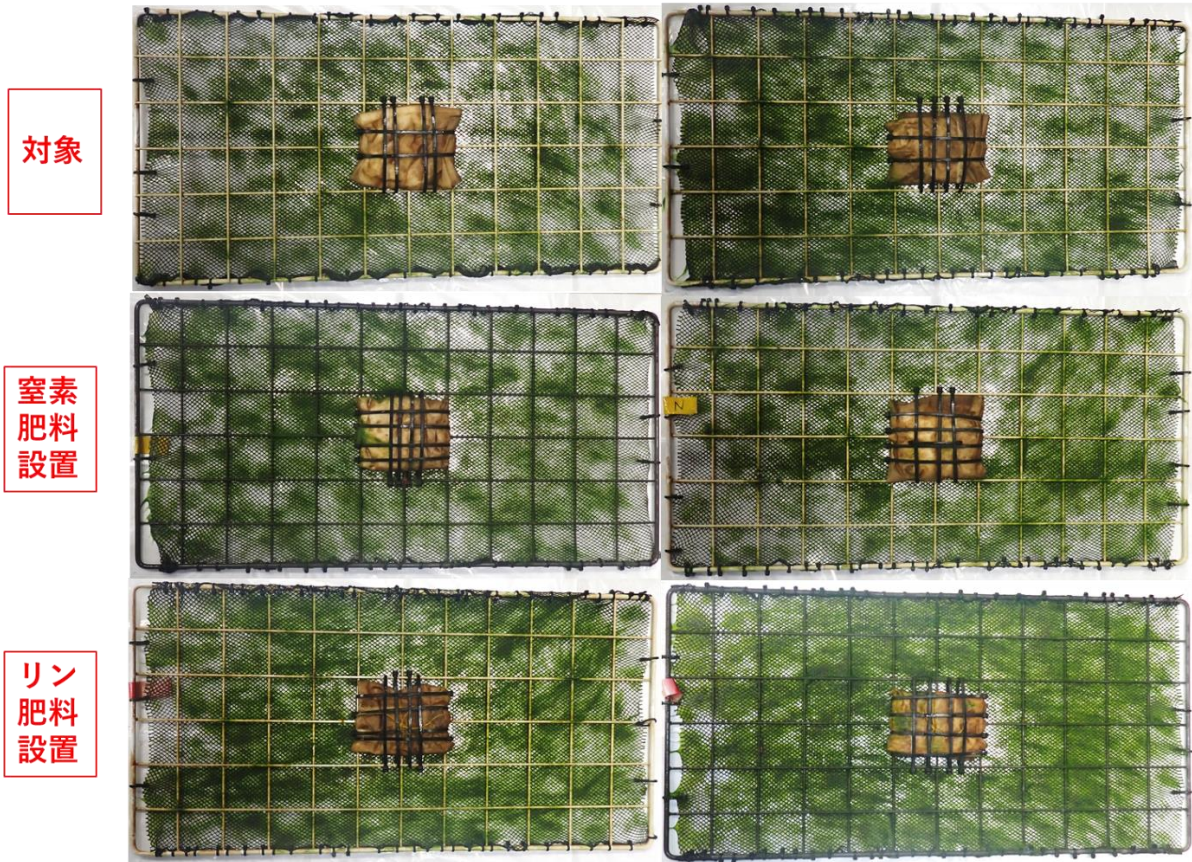


図 15 大浦湾のエリ網近傍に設置した実験用エリ網の 45 日目の状況

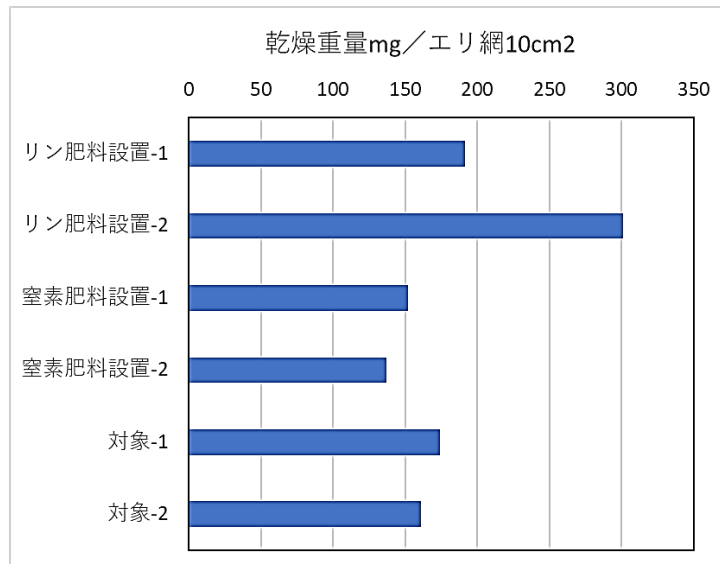


図 16 大浦湾のエリ網近傍に設置した実験用エリ網の 45 日目の乾燥重量

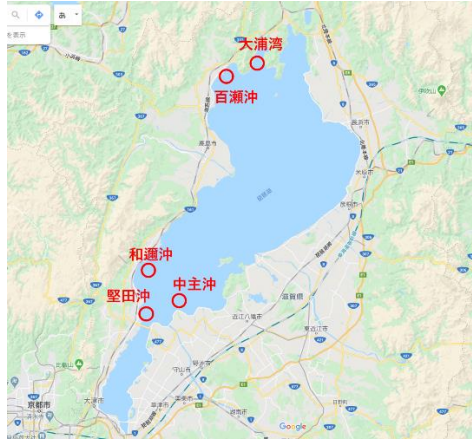


図 17 エリ網付着物調査地点

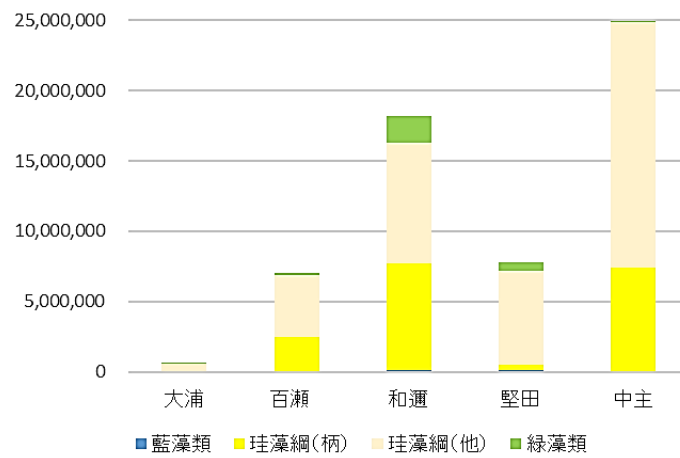


図 18 各地点の付着藻類細胞数 (細胞/サンプル 1ml) の比較

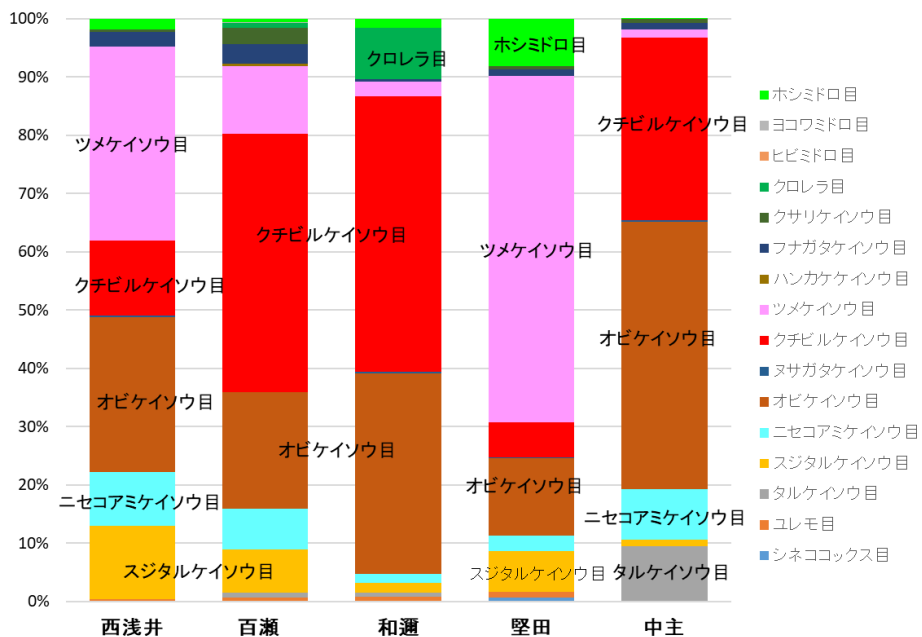


図 19 各地点の付着藻類同定結果 (目別組成)

(Barbiero ら,2018)。

日本では、諏訪湖でのワカサギの漁獲量の減少は、貧栄養化が原因であることを花里(2012)が指摘している。栄養状態と魚種別収穫量との関係について、米国 EPA はサケ類漁業では栄養レベルがやや低め ($T-P \leq 0.024 \text{mg/L}$) がよいが、総漁獲量は栄養レベルが高いほど多くなることを示している。カナダの Kootenay 湖では、漁獲量を増やすために湖にリンを投入する大規模実験が行われている(Bassett ら,2018)。しかし、湖が大きいと、栄養塩濃度や魚類資源量への影響ははっきりしていない。

Sundareshwar ら(2011)は、図 21 に示すように付着藻類のマット (生物膜) の厚みが増していくと、生物膜の内部が嫌氣的になり、生物膜に付着したリン酸鉄 (FeP) が還元され、内部の付着藻類の利用されやすいリン酸になるというメカニズムを提案している。近年の琵琶湖でエリ網付着物が増えているのは、貧栄養化に伴いリンが不足する状態になり、懸濁態のリンを生物膜に付着させ、それを還元して利用しようとしているためかもしれない。さらに関連文献を収集し、まとめて論文投稿する予定である。

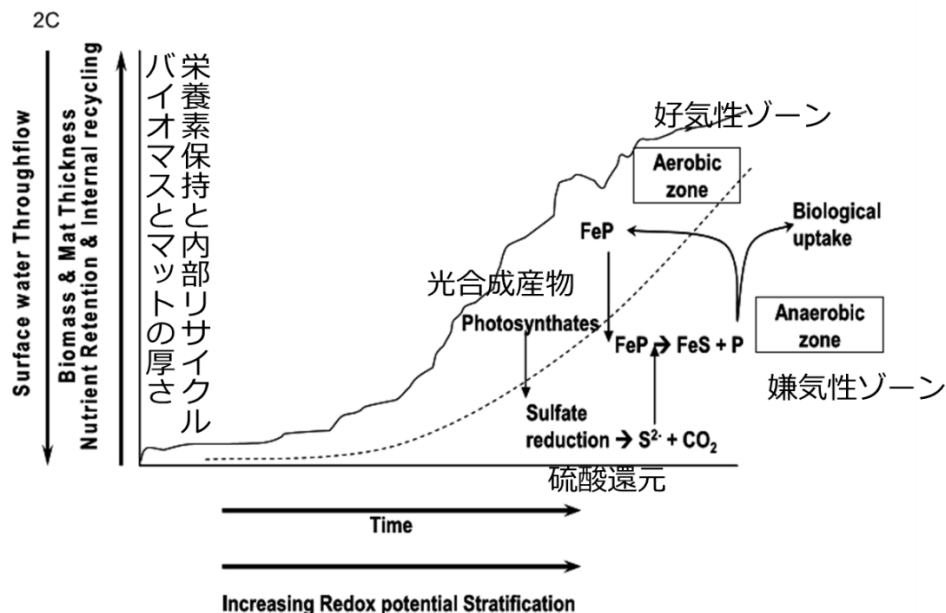


図 21 生物膜が成長するに従いリンを生物膜に取り込むようになるメカニズム (Sundareshwar ら, 2011)

<引用文献>

Gerdeaux, D., Anneville, O., & Hefti, D. (2006). Fishery changes during re-oligotrophication in 11 peri-alpine Swiss and French lakes over the past 30 years. *Acta oecologica*, 30(2), 161-167.

Barbiero, R. P., Lesht, B. M., Warren, G. J., Rudstam, L. G., Watkins, J. M., Reavie, E. D., ... & Karatayev, A. Y. (2018). A comparative examination of recent changes in nutrients and lower food web structure in Lake Michigan and Lake Huron. *Journal of Great Lakes Research*, 44(4), 573-589.

Bassett, M.C., et al. (2018) Fisheries Project Report No. RD 152 [online], Province of British Columbia, Vancouver, British Columbia, Canada.

- Gerdeaux, D., Anneville, O., & Hefti, D. (2006). Fishery changes during re-oligotrophication in 11 peri-alpine Swiss and French lakes over the past 30 years. *Acta oecologica*, 30(2), 161-167.
- Jeppesen, E., Søndergaard, M., Jensen, J. P., Havens, K. E., Anneville, O., Carvalho, L., ... & Gerdeaux, D. (2005). Lake responses to reduced nutrient loading—an analysis of contemporary long - term data from 35 case studies. *Freshwater Biology*, 50(10), 1747-1771.
- Sundareshwar, P. V., Upadhyay, S., Abessa, M., Honomichl, S., Berdanier, B., Spaulding, S. A., ... & Trennepohl, A. (2011). *Didymosphenia geminata*: Algal blooms in oligotrophic streams and rivers. *Geophysical Research Letters*, 38(10).
- 森田尚・大前信輔(2010) 漁網の汚れの増加について, 水産試験場だより, 滋賀県水産試験場, 第9号,.
- 花里孝幸(2012) ミジンコ先生の諏訪湖学, 地人書館, 221pp.