

令和元年6月14日現在

機関番号：14201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15K00623

研究課題名(和文)湖底の光環境は生産性を通じて生物多様性に影響するか？

研究課題名(英文)Is light environment on a lake bottom affect productivity and biodiversity?

研究代表者

石川 俊之(Ishikawa, Toshiyuki)

滋賀大学・教育学部・准教授

研究者番号：50396313

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：透明度の増加がみられ湖底の光量が増加していると考えられる琵琶湖において、光量と底泥上の藻類量、底生動物の現存量との関係を現地調査によって解析した。光量と底泥上の藻類量のそれぞれの季節変化の間には正の相関関係がみられ、光量の増加が藻類量を増加する可能性が示唆された。底生動物の現存量は分類群ごとに相関のある要因が異なり、カワナナ類において現存量と底泥上の藻類量との正の相関がみられた。大型甲殻類(エビ類、ヨコエビ類)について、分布の変化やその要因、種間関係についての野外調査を行い、特にヨコエビ類の外来種による影響を示すことができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

湖沼における透明度の増加は、浮遊生態系において生物の現存量の低下を示すことが指摘されてきたが、本研究により底生生態系において生物の現存量の増加につながる可能性と、分類ごとに反応が異なることを示すことができた。このことは、湖沼の水質改善の波及効果の議論を深化させうるものである。また、漁獲対象種や漁獲対象種の餌として重要な大型甲殻類の分布や分布の検出方法の開発、外来種の影響について示すことができ、生物多様性の保全に資する知見を集積することができた。

研究成果の概要(英文)：Relationships between light intensity and mass of periphyton on sediment (epipelon) and between masses of epipelon and of benthic invertebrates were examined in Lake Biwa, where transparency has been improved. There were positive correlation between light intensity and epipelon mass, which suggests improvement of transparency leads increase of epipelon mass. There were positive correlation between masses of epipelon and of some benthic invertebrates (Pleuroceridae), which indicates effect of epipelon differ according to taxon and/or feeding ecology.

Also, knowledge of large benthic crustacean (Decapoda, Amphipoda) in Lake Biwa has been updated, especially, in terms of their distribution, movement and species interactions.

研究分野：湖沼生態学

キーワード：透明度 湖底 底生藻類 底生動物 エビ類 ヨコエビ類 外来種

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

湖沼沿岸部の湖底では、生産性や生物多様に光量が影響していると予測され、湖底に光がよくあたる貧栄養な湖沼では、溶存有機物濃度による光環境の変化が報告されている。このような現象は一般的な湖沼で成立するのか解明することは、湖底の生態系の理解を大きく深めると予想される。

### 2. 研究の目的

湖沼の比較的浅い水域を対象に、光環境と底生藻類、底生動物の量や種数との関係を解明する。

### 3. 研究の方法

#### (1) 光環境と底生藻類の関係

琵琶湖の野洲川河口に広がる水深 10m前後の湖岸段丘地形の水域において、広域的な調査とライトランセクトによる季節変化の調査を実施した。調査では、光量子計を備えた鉛直プロファイラーによる水柱環境のセンサーによる測定、採泥器によって採取した底泥中のクロロフィル量の分析 (Welshmeyer 法)、パルス変調蛍光による光合成活性の測定、強熱減量の測定による有機物量の評価を行った。

#### (2) 光環境と底生動物の関係

光環境と底生藻類の関係のうち、琵琶湖の野洲川河口に広がる水深 10m前後の湖岸段丘地形の水域における広域的な調査において底生動物の調査を実施した。

さらに、底生甲殻類に注目し、十脚類のスジエビの分布 (琵琶湖北湖)、ヨコエビ類の3種 (ナリタヨコエビ、ビワカマカ、フロリダマミズヨコエビ) の分布 (おもに琵琶湖南湖) を調査した。

### 4. 研究成果

#### (1) 光環境と底生藻類の関係

広域的な調査においては、湖岸段丘地形の大半が有光層と判断される表面光の1%以上が湖底においてみられ、光量と底生藻類の明快な関係は検出できなかった。一方、底生藻類量は場所によって大きく異なり、岸からの距離、河口域からの距離など栄養塩の供給が底生藻類量に関わっている可能性が浮かび上がった。つまり、光が十分ある湖底では従来の知見のように栄養塩量の重要性に注目すべきと思われる。

このことは、季節的なランセクト調査によって裏付けることができた。ランセクト調査では、水深 10m、15m、20m、30mの4地点で4月~11月の計8回の調査を行ったが、10m~20mの3地点では底泥のクロロフィル量と光量子の間に正の相関がみられ、最も相関が強かったのは、水深 20mの地点であった。この水深はちょうど有光層の下限に近い光環境であり、もっとも光制限が起きやすい水深と判断された。

また、関連する過去の研究について文献調査を進めたところ、Hansson (1988) や Hansson (1992) が Karlsson (2009) よりも 10 年以上前に底生藻類の生産性を議論していたことが明らかになった。しかし、Hansson は一連の研究において epiphyton つまり、大型水生植物の表面の付着藻類を測定していた。epiphyton の場合は、基質となる大型水生植物そのものが光制限を受ける可能性があり、光量と微細藻類の関係を強く議論することが困難であったと考えられた。

以上をまとめると、堆積物表面上の藻類と光環境の関係について実測を行うことができたこと、底生藻類の季節的な変化が光量で説明できることを示したことが、底生藻類に関する本研究の成果である。

#### (2) 光環境と底生動物の関係

琵琶湖北湖における広域的な調査においては光量と底生動物の量や種数との間に直接的な関係を見出すことはできなかった。一方、個々の分類群について注目すると例えばカワナ類では堆積物表面上のクロロフィル量と個体数、生物量に有意な相関関係がみられた。また、堆積物中の有機物量と正の相関を示す分類群 (貧網類) と、負の相関を示す分類群 (二枚貝) が検出されるなど、光量のほかに底生動物の量に影響を与える要因として、湖底の溶存酸素濃度、底泥中の有機物量が検出され、分類群ごとに検出される要因が異なることが明らかとなった。特に、本研究で注目した底泥表面上の底生藻類量が影響を与えたのがカワナ類であったが、これは底泥表面上の堆積物を摂餌していることと合致している。

琵琶湖北湖に生息するスジエビは、種としては固有ではないが、行動や繁殖生態において特徴をもった地域個体群であることが過去の研究でわかっている。本研究では、特に季節による深浅移動について着目し、明るく生産性の高い沿岸と暗く生産性の限られる沖帯の移動の検出方法と移動の理由について体組成から検討を進めた。

従来、夏季に沿岸で繁殖し、冬季に深底部で休眠に近い状態で過ごすと考えられていたが、総脂肪量、RNA/DNA 比、窒素炭素安定同位体比の分析を行ったところ、冬季には深底部で餌を摂取し、成長は低下していないことが明らかになった。窒素安定同位体比からは堆積物中の有

機物のみを利用しているとは考えにくく、アナンデルヨコエビあるいは貧網類を摂食している可能性を示すことができた。

また、環境中のDNA断片から生息する生物を特定する環境DNA手法を用いて、夏季の琵琶湖北湖表層、底層、冬季の琵琶湖北湖表層、底層の採水試料からスジエビの有無を推定したところ、主に冬季に底層の深い場所に生息し、夏季には大半が浅い水域に生息するものの一部は深い水域に出現することが解明された。また、沿岸部に生息するスジエビには沿岸の景観による違いがみられないことが示された。これらの発見は既存の研究では解明できなかった琵琶湖のスジエビの生態に迫ることができたものである。

さらに、琵琶湖南湖において、ヌマエビ類の分布の調査を実施した。残念ながら在来種であるヌマエビと思われる個体は採集できず、カワリヌマエビ属のエビがほとんどであった。これは既報のとおりであり、ヌマエビが琵琶湖南湖では絶滅した可能性を再確認した結果となった。

びわ湖では、ヨコエビ類（端脚類）の在来種（琵琶湖固有種）が3種（アナンデルヨコエビ、ナリタヨコエビ、ビワカマカ）と北米原産の外来種1種（フロリダミズヨコエビ）が現存する。このうち、アナンデルヨコエビは北湖の深底部に生息し、分布が水温によって制限されていることが、これまでの研究でわかっている。一方、ナリタヨコエビ、ビワカマカ、フロリダミズヨコエビの3種は沿岸部の湖底に出現することがわかっているが、その分布と光環境などの環境要因との関連、種間の分布の重複については十分なことがわかっていない。

そこで、アナンデルヨコエビ以外の3種について分布調査を行うこととした。

琵琶湖北湖を含めた沿岸の広域調査によって、フロリダミズヨコエビが主に琵琶湖南湖に分布し、琵琶湖北湖においても一部の場所で分布が確認された。この結果は既存の報告のとおりであるが、さらに解析をすすめ、フロリダミズヨコエビとナリタヨコエビが同所的に分布する場所において、ナリタヨコエビの体長当たりの抱卵数が低下することを発見した。

また、琵琶湖南湖において湖底の全域調査を行った結果、水草の繁茂がヨコエビの分布を制限する可能性が発見できた。現在、水草の現存量とヨコエビの分布の比較についてさらに検討をすすめている。水草の存在が光環境を通じた湖底の餌環境を示しているか、湖底の水の停滞による貧酸素環境を示しているか、十分な検討が必要である。

フロリダミズヨコエビとナリタヨコエビの2種の関係については、捕食者からの選択性に差があることも明らかとなった。琵琶湖南湖で優占魚種となっているブルーギルの胃内容物からは、ナリタヨコエビが高い割合で検出された。また、現場にいる2種のヨコエビの体サイズ分布と比較すると、体長の大きなナリタヨコエビが捕食されていると推測され、サイズ選択や生息微空間の違いがナリタヨコエビに対する捕食圧の高さを説明する可能性が考えられた。

さらに、局所的に出現するビワカマカの分布について、旧草津川河口域のトランセクト調査を行い、フロリダミズヨコエビとの分布があまり重ならないこと、両種の分布の境界が底質と水草の有無によって影響を受けている可能性を示すことができた。この可能性については、室内実験によって確認する予定である。

以上をまとめると、本研究課題によって次のことが明らかになった。

- ・琵琶湖において、湖底の底泥上の藻類と光環境の間に正の相関関係を検出した。今後琵琶湖の透明度が増加すれば、底泥上の藻類の増加につながる可能性がある。
- ・底泥上の藻類量と底生動物の現存量の関係においては、特定の分類群において正の相関がみられた。このことは、光環境を通じて底生動物の生物多様性に与える影響を考えるためには、河川生態学で試みられているような摂食機能群の概念を取り入れる必要性を示唆している。
- ・明るい湖底と暗い湖底を移動するスジエビについて、環境DNAを用いた分布の検出方法を確立した。さらに、移動の理由を示唆するデータを得ることができた。また、従来の若齢個体が水草帯に潜んでいるという説は必ずしも成り立たないことを示すことができた。
- ・ヨコエビ類について外来種と在来種の分布の重複の有無や、重複による影響について検討するためのデータを得られた。在来種のナリタヨコエビが外来種フロリダミズヨコエビから負の影響を受けている可能性、捕食者ブルーギルがナリタヨコエビを選択的に捕食している可能性、在来種ビワカマカとフロリダミズヨコエビは分布の重複がほとんど見られず、水草の有無が影響している可能性を示すことができた。

今後は、野外で得られたデータを裏付けるための室内実験や、底生動物の摂食生態についての詳細な研究をすすめ、本研究で得られた知見の深化を図りたい。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 3件)

Wu, Q., Kawano, K., Ishikawa, T., Sakata, M. K., Nakao, R., Hiraiwa, M. K., Tsuji, S., Yamanaka, H., Minamoto, T. (accepted) Habitat selection and migration of the common shrimp, *Palaemon paucidens* in Lake Biwa, Japan - an eDNA-based study. Environmental DNA. 査読有 DOI: 10.1002/edn3.6

Wu, Q., Takami, Y., Minamoto, T., Ishikawa, T. (2019) The life history with seasonal

migration of the lacustrine shrimp *Palaemon paucidens* in an ancient lake in Japan. *Ecosphere* 10, 4, e02628 査読有 DOI:10.1002/ecs2.2628

石川俊之・木下智晴、山本賢樹(2017) 琵琶湖において同所的に生息するナリタヨコエビ(*Jesogammarus naritai*)とフロリダマミズヨコエビ(*Crangonyx floridanus*)に対するブルーギル(*Lepomis macrochirus*)による捕食圧の違い 査読なし 滋賀大学環境総合研究センター研究年報 14(1), 51-55

〔学会発表〕(計 9件)

石川俊之・青谷早希・穴田雄大 植物プランクトンの鉛直分布は強光阻害の影響を受けているか? : 2014年琵琶湖北湖での検証 日本陸水学会第80回大会(函館)2015

石川俊之・佐々木紀瑛・齋藤可奈子 琵琶湖ヨシ帯におけるpHと溶存酸素濃度の関係 日本陸水学会第80回大会(函館)2015

石川俊之・鵜倩倩 琵琶湖産スジエビの体組成の季節変化と季節移動の関連について 日本生態学会第63回大会(仙台)2016

山本賢樹, 木下智晴, 藤野勇馬, 饗庭優香, 藤岡沙知子, 石川俊之 びわ湖に侵入した外来種フロリダマミズヨコエビと在来種ナリタヨコエビの現状について 日本生態学会第64回大会(東京)2017

鵜倩倩・石川俊之・辻冨月・山中裕樹・高見泰興・源利文 eDNA分析で明らかになった琵琶湖産スジエビの時空間的分布 日本生態学会第64回大会(東京)2017

石川俊之・山本賢樹・木下智晴 琵琶湖に侵入した外来種フロリダマミズヨコエビと在来種ナリタヨコエビの分布 2017年日本プランクトン学会・日本ベントス学会合同大会(彦根)2017

鵜倩倩・河野健・石川俊之・辻冨月・山中裕樹・源利文 琵琶湖産スジエビの時空間分布および移動タイミングの推定 第1回環境DNA学会東京大会2018

石川俊之・饗庭優香 底生生物群集の生産性を決める環境要因は? 日本陸水学会第83回大会(岡山)2018

藤野勇馬・石川俊之 旧草津川河口域における底生生物の群集構造とその季節変化 日本陸水学会第83回大会(岡山)2018

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
出願年:  
国内外の別:

取得状況(計 0件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
取得年:  
国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名: 石川 俊之

ローマ字氏名: (ISHIKAWA, Toshiyuki)

所属研究機関名: 滋賀大学

部局名：教育学部

職名：准教授

研究者番号（8桁）：50396313

(2)研究協力者

研究協力者氏名：鄔倩倩

ローマ字氏名：(Wu, Qianqian)

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、研究者個人に帰属されます。