

令和 4 年 5 月 15 日現在

機関番号：24201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K12311

研究課題名(和文) 光学的測定法による植物プランクトン群集動態の新現象解明を目指したモニタリング観測

研究課題名(英文) Monitoring observation aimed at elucidating of a new phenomena in the phytoplankton community dynamics using the optical measurement methods

研究代表者

後藤 直成 (GOTO, Naoshige)

滋賀県立大学・環境科学部・教授

研究者番号：40336722

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)：3年間の係留・船舶・衛星観測により、琵琶湖北湖における植物プランクトン群集動態(現存量、種組成、一次生産速度)は気象によって大きく影響されることが明らかとなった。特に、近年の温暖化に起因する成層の強化・長期化は、深層から表層への栄養塩供給を減少させ、植物プランクトン秋季ブルームの小規模化を引き起こした。また、成層の強化・長期化に降水量低下が加わると、湖内・湖外からの栄養塩供給が絶たれるため、植物プランクトンサイズの小型化と秋季ブルームの消失につながることも本研究により示された。時空間的に高解像観測が可能な光学的測定法は、今後も琵琶湖における植物プランクトン群集の新たな動態像を示すと期待される。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、温暖化に起因する水循環の停滞が、栄養塩動態の変化を介して、琵琶湖北湖の植物プランクトン群集に大きく影響することを示した。温暖化の進行は、琵琶湖における大型植物プランクトンの秋季ブルームを消失させ、一次生産力の低下を引き起こす可能性がある。これらの研究成果は、今後の温暖化に対する湖沼生態系の応答や保全・修復を考える上で重要な知見である。

研究成果の概要(英文)：It is clarified by mooring, ship and satellite observation that community dynamics of phytoplankton (biomass, species composition, primary production) was greatly affected by a meteorological phenomena each year in the north basin of Lake Biwa. In particularly, strengthening and lengthening in the stratification, which is thought to be caused by global warming, decreases the supply of nutrients from deep layer to surface layer, resulting the fall phytoplankton bloom has become smaller compared with other year. In addition, the supply of nutrients from the inside and outside of Lake Biwa is almost cut off when the strengthened and lengthened stratification together with a decrease in precipitation. These phenomena caused the dominance of smaller-celled phytoplankton in Lake Biwa. Optical measurement methods that enable high-resolution spatiotemporal observation are expected to continue to show a new community dynamics of phytoplankton in Lake Biwa.

研究分野：環境動態解析、陸水学、生物地球化学

キーワード：植物プランクトン 一次生産 栄養塩 琵琶湖

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、本研究の対象水域である琵琶湖では、従来からの富栄養化等の環境問題に代わって、温暖化と内部生産に起因すると考えられる大規模貧酸素水塊の発生や、植物プランクトン種の多様性の低下などが大きな問題になってきている。そのため、植物プランクトン群集動態を把握するための3因子(現存量、種組成、一次生産速度)を測定・監視することは、琵琶湖の水資源保全や水産資源管理を行う上で欠かせないものとなっている。従来、これら3因子の測定には生物・化学的手法が用いられてきたが、これらの手法は、精度は高いが、操作が煩雑で多くの時間を要するため、測定数が限られてきた。また、船舶を用いて試料を採取する必要があるため、測定できる範囲が一部の水域に限定されてきた。つまり、これらの方法では、時々刻々と変化する植物プランクトン群集の動態を詳細に把握することができない。このため、植物プランクトン群集動態に関する諸々の現象がこれまで数多く見過ごされてきたと推測できる。そこで本研究代表者は、時空間的により高解像度の測定が可能である光学的測定法の改良・高精度化をこれまで行ってきた。そして、この研究の中で、従来の測定法では捉えることができなかった現象をいくつか明らかにすることに成功した。これは、光学的測定法が植物プランクトン群集動態の把握において大変有効であることを示しており、この測定法を用いて現存量、種組成、一次生産速度を測定することにより、琵琶湖における植物プランクトン群集の新たな動態像を示すことができると期待される。

2. 研究の目的

本研究の目的は、高精度化した複数の光学的測定法を用いて、琵琶湖における植物プランクトン群集の現存量、種組成、一次生産速度を時空間的に高解像度でモニタリング観測し、植物プランクトン群集の新たな動態像を示すことである。この目的を達成するため、本研究では、琵琶湖北湖において光学測器を用いた係留観測(鉛直分布の動態を捉える)、船舶観測・室内実験(種組成および一次生産速度の変動を捉える)、衛星リモートセンシング観測(水平分布の動態を捉える)を行い、植物プランクトン群集の上記3因子の詳細なデータを収集し、解析を行う。

3. 研究の方法

2019年

初年度は、琵琶湖北湖湖心部(水深50m)において、船舶観測と衛星観測を実施した。船舶観測では、植物プランクトン群集を大型(20 μm 以上)・中型(5-20 μm)・小型(5 μm 以下)にサイズ分けした後、各サイズのクロロフィル a 濃度、種組成、光合成活性を測定した。種組成は検鏡および多波長励起蛍光計を用いて、光合成活性(Fv/Fm)はクロロフィル励起蛍光計を用いて測定した。衛星観測では、一昨年打ち上げられた気候変動観測衛星(GCOM-C/SGLI, JAXA)のデータを利用して、琵琶湖北湖全域における植物プランクトン現存量(クロロフィル a 濃度を指標)の時空間的分布を調査した。

2020・2021年

次年度および最終年度は、北湖湖心部において、係留・船舶観測を実施するとともに、衛星観測を実施した。係留観測では、4月から12月にかけて、湖心部に係留系を設置し、クロロフィル a 濃度と光量子量を連続的に測定した。これらのデータと光合成-光曲線から一次生産速度を算出した。また、船舶観測により、植物プランクトン種組成およびサイズ別(大型:>20 μm , 中型:5-20 μm , 小型:<5 μm)のクロロフィル a 濃度と光合成活性(Fv/Fm)を測定した。衛星観測では、気候変動観測衛星(GCOM-C)から得られたリモートセンシング反射率を用いて琵琶湖全域におけるクロロフィル a 濃度分布を推定した。

4. 研究成果

2019年

琵琶湖北湖において、春期(5-6月)と秋期(10-12月)に大型緑藻2種(*Micrasterias hardyi*と*Staurastrum dorsidentiferum*)が大規模に増殖(ブルーム)する過程を各環境因子の変動とともに捉えることができた。この両時期における大型緑藻のブルームは、陸域と湖内深層からの栄養塩供給および台風による湖水の鉛直攪乱が要因になったと推察された。また、大型種が持つ特徴(低捕食圧、高親和性、饑餓耐性など)もブルームを支える一因になったと考えられる。

衛星観測では、北湖全域における植物プランクトン現存量の水平分布が高解像度で示され、これまで捉えることができなかった植物プランクトン群集の分布動態が明らかとなった(図1)。

例えば、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域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。

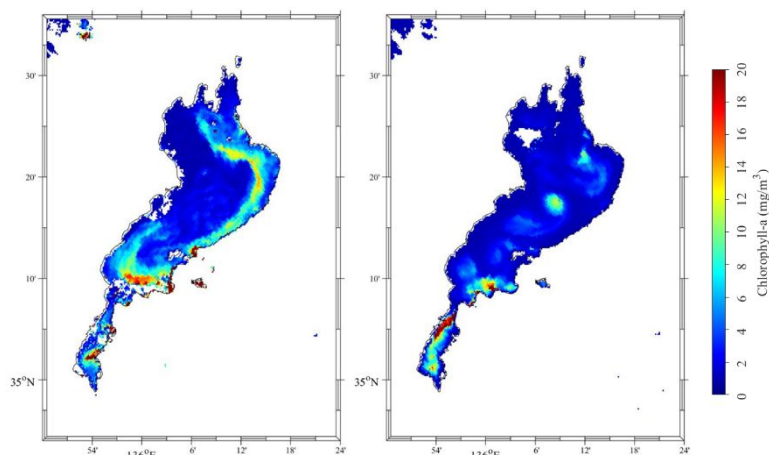


図1 衛星観測によるクロロフィル *a* 濃度分布(左:2019年5月19日,右:2019年9月8日)

2020年

植物プランクトンの一次生産速度は、 $0.04 \sim 3.56$ (平均 0.87) $\text{gC m}^{-2} \text{d}^{-1}$ の範囲を変動しており、5月から6月において比較的高く、8月以降は低い一次生産速度で推移した(図2)。本研究における一次生産速度は、全循環停止前2018年に測定された一次生産速度(平均 $1.69 \text{ gC m}^{-2} \text{d}^{-1}$)と比較して低い傾向にあり、特に、8月から11月の一次生産速度が著しく低下していた。この時期(8月~11月)の平均最大風速(彦根)は、2018年と比較しておよそ半減しており、また、湖水を混合させる擾乱イベントである台風の接近もなかった。このような静穏な環境は、琵琶湖の水温成層の強化・長期化を引き起こし、結果として、深層から表層への栄養塩供給量を減少させる。このような一連の現象が、2020年8月以降の一次生産速度の低下を引き起こしたと考えられる。また本研究では、秋季(10月~12月)における植物プランクトンサイズの小型化および現存量低下(秋季ブルームの小規模化)を確認した。これらの現象もまた、水温成層の強化・長期化に起因する栄養塩供給量減少が要因になっていると推察できる。2020年の本研究結果は、温暖化の進行が琵琶湖の有機物生産力の低下を引き起こすことを強く示唆している。

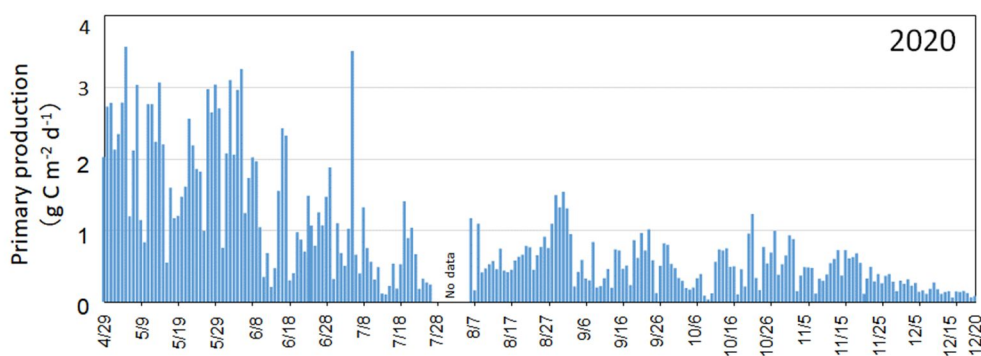


図2 2020年の琵琶湖北湖湖心部における一次生産速度

2021年

クロロフィル *a* 濃度は、観測期間を通じて $1.82 \sim 13.19$ (平均 4.52) $\mu\text{g L}^{-1}$ の範囲を変動した(図3)。春期(4月~6月)におけるクロロフィル *a* 濃度は、 $1.8 \sim 13$ (平均 6.8) $\mu\text{g L}^{-1}$ の比較的高濃度の範囲にあった。この時期は、循環期に深層から表層に回帰した栄養塩と代掻きに伴う陸域からの栄養塩供給があるため、例年、大型の植物プランクトンがブルームを起こす。本研究において、全植物プランクトンに対する大型植物プランクトンの割合は $77 \sim 87$ (平均 81) % にあったことから、2021年春季も大型植物プランクトンを優占種(緑藻: *Staurastrum dorsidentiferum*)とする春季ブルームが発生したと考えられる。

つづく、夏期(7月~9月)には、クロロフィル *a* 濃度は大きく減少し、 $2.1 \sim 3.3$ (平均 2.9) $\mu\text{g L}^{-1}$ の範囲にあった。この時期は、小型植物プランクトンであるシアノバクテリアの現存量が相対的に増加した。これは、夏季の成層構造の強化に伴い、深層から表層への栄養塩の供給量が減少したことが大きな要因と考えられる。

秋期（10～12月）におけるクロロフィル *a* 濃度は 3.1～4.7（平均 3.9） $\mu\text{g L}^{-1}$ の範囲にあり、夏季とほぼ同じ濃度範囲であった。また、この時期は中型植物プランクトン（珪藻：*Stephanodiscus suzukii*）が優占した。例年、この時期は大型植物プランクトンを優占種とする秋季ブルームが発生するが、本研究を実施した 2021 年はブルームを確認できなかった。2021 年夏季から秋季は、琵琶湖に接近した台風がなく、また、秋季における降水量が例年と比較して非常に少ない年であった。これらの気象現象が要因となり、2021 年秋季は湖内からも、陸域からも栄養塩供給がほぼ絶たれた状態に陥り、表層は夏季から続いて貧栄養状態であったと推察される。このような貧栄養環境が 2021 年秋季のブルームを消失させたと考えられる。この秋季ブルームの消失は衛星観測からも確認できた（図 4）。

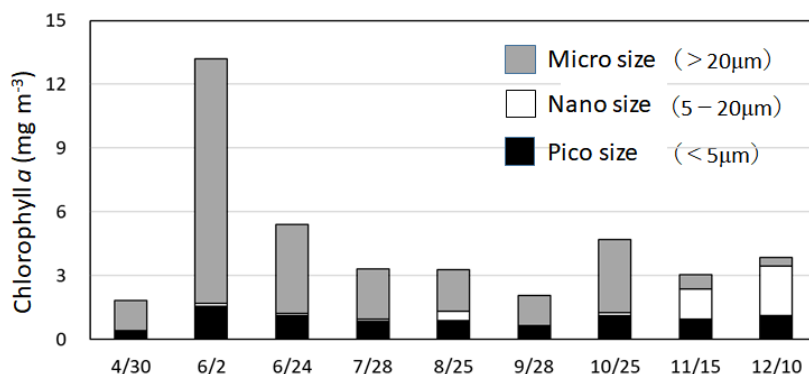


図 3 2021 年の琵琶湖北湖湖心部におけるサイズ別クロロフィル *a* 濃度
Micro size：大型，Nano size：中型，Pico size：小型

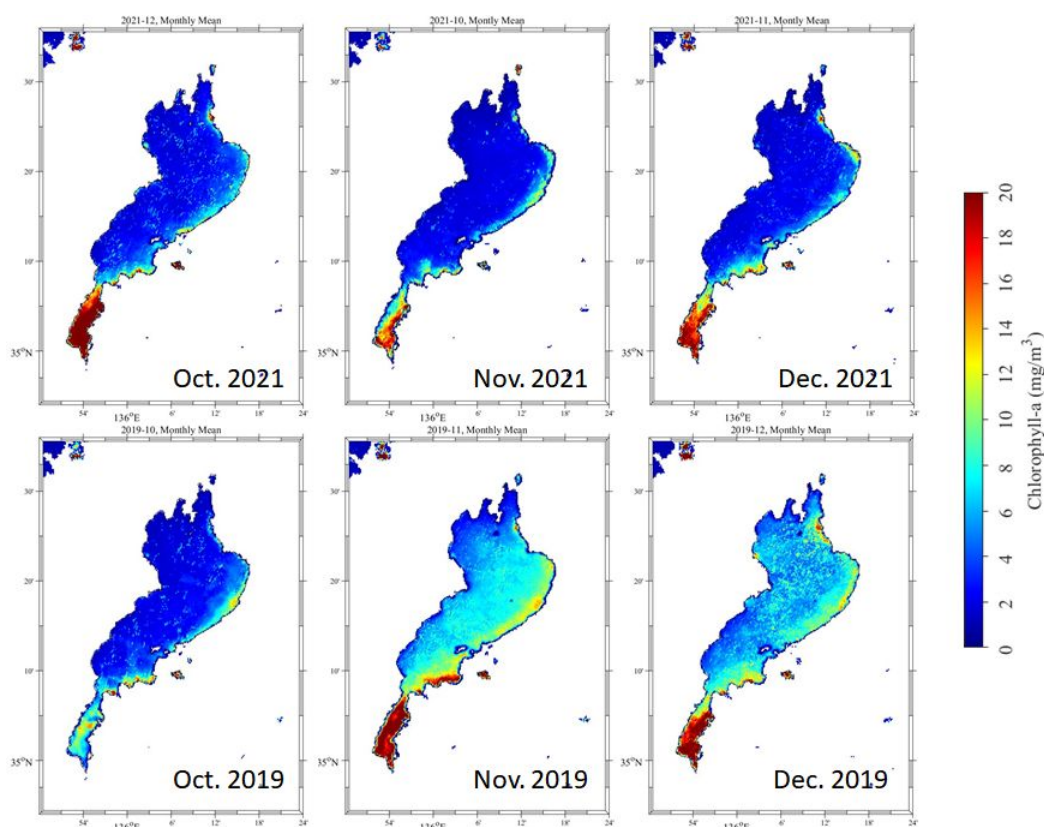


図 4 2021 年（上）と 2019 年（下）の秋期（10 月～12 月）におけるクロロフィル *a* 濃度分布

本研究では、船舶・衛星・係留観測に光学的測定法を導入することによって、琵琶湖における植物プランクトン群集動態を従来にない時空間的高解像度で観測し、いくつかの新たな群集動態像を得た。特に、2021 年における植物プランクトン群集の秋季ブルームの消失および細胞サイズの小型化は、温暖化の影響が顕在化してきている琵琶湖生態系の今後を考える上で重要な知見である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Osaka Ken'ichi, Yokoyama Rei, Ishibashi Takaaki, Goto Naoshige	4. 巻 20
2. 論文標題 Effect of dissolved oxygen on nitrogen and phosphorus fluxes from lake sediments and their thresholds based on incubation using a simple and stable dissolved oxygen control method	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Limnology and Oceanography: Methods	6. 最初と最後の頁 1~14
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/lom3.10466	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 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 -

〔学会発表〕 計9件（うち招待講演 0件/うち国際学会 2件）

1. 発表者名 後藤直成, 伴修平
2. 発表標題 琵琶湖北湖における植物プランクトン群集動態
3. 学会等名 日本陸水学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 石川俊之, 合田幸子, 赤塚徹志, 後藤直成
2. 発表標題 冬期全循環停止がおきた琵琶湖における貧酸素水塊の広域観測
3. 学会等名 日本陸水学会
4. 発表年 2021年

1 . 発表者名 Wells John, Syuhei Ban, Xin Liu, Ken'ichi Osaka, Naoshige Goto
2 . 発表標題 Monitoring and particle-tracking simulation to clarify littoral-to-pelagic nutrient export in Lake Biwa, Japan, during the spring rice-planting season
3 . 学会等名 35th Congress of the International Society of Limnology (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 Syuhei Ban, Xin Liu, Ken-ichi Osaka, Naoshige Goto, John 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 Japan Geoscience Union Meeting 2021 (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 Goto, N., M. Iwaki, S. Ban, 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
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
4 . 発表年 2020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 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
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

〔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

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
---------	---------