

令和 3 年 6 月 28 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18H01569

研究課題名（和文）リモートセンシング技術を用いた水域植生分類手法の開発

研究課題名（英文）Development of SAV Classification Method using Satellite Remote Sensing

研究代表者

山敷 庸亮（YAMASHIKI, YOSUKE）

京都大学・総合生存学館・教授

研究者番号：20335201

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,400,000円

研究成果の概要（和文）：本研究において、従来研究において浅水深の琵琶湖南湖のみにおいて適用したGCOM-Cを用いた沈水植物の分布状況の解析を、水深の深い北湖にまで適用し、全湖における判別が可能なアルゴリズムの作成を行い、本アルゴリズムを北米タホ湖等への適用を行なった。また田辺湾海底における軟体サンゴであるオオトゲトサカ類の、深層強化学習を用いた判別アルゴリズムを作成し、水中画像による判別実験を行なった。リモートセンシング技術の適用限界をあらかじめ判定し水中画像を追加することにより、双方画像データによる水域植生分類と水中生物の判別アルゴリズムの統合的活用方法を提案した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究においては、水中の実測においてのみ調査可能であった沈水植物SAVのバイオマスを気候変動観測衛星（GCOM-C）画像を用いて判別可能とし、従来の適用範囲を琵琶湖全湖に広げたことの意義は大きく、今後の湖や貯水池管理に資する。同時に、深層強化学習を用いた水中画像判別による水中生物の判別は、リモートセンシングの適用限界を超えた場所とスケールでの湖や貯水池における生物相モニタリングの新しい手法を示し、これらを統合することにより、淡水域や沿岸域でのモニタリング技術開発に大いに貢献できる可能性を秘めている。

研究成果の概要（英文）：In this research, we applied the analyses of the distribution of submerged aquatic vegetarians (SAVs) using GCOM-C, which was applied only to the shallow basin (Lake Biwa south basin) in the previous research, to the deep basin (Lake Biwa North Basin), and developed an algorithm that can discriminate in all lakes. This algorithm was also applied to Lake Tahoe in North America. In addition, we created a discrimination algorithm using deep reinforcement learning for the soft coral, *Dendronephthya gigantea*, on the seafloor of Tanabe Bay, and conducted a discrimination experiment using underwater images. By determining the application limit of remote sensing technology in advance and adding underwater images, we proposed an integrated application method of aquatic vegetation classification and aquatic organism discrimination algorithm combining both images.

研究分野：水環境工学

キーワード：リモートセンシング GCOM-C 深層強化学習 沈水植物 軟体サンゴ

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

本研究は、琵琶湖におけるリモートセンシングを用いた水質推定のアルゴリズムを、JST の A-STEP プロジェクトにて開発を始めた段階において、クロロフィル a 濃度の推定を当初行なっていた段階で、着想に至った。大きなきっかけは、2013 年から琵琶湖南湖の現地調査を行なった際、従来は一面アオコを含む植物プランクトンに覆われていた時期に、水の透明度が非常に高く、代わりに SAV が広く繁茂しており、船舶航行に重大な影響を与えるほどの状況を確認してからであった。また、これらの観測結果を用いて湖のクロロフィル a 濃度を推定しようとしても、クロロフィル a 濃度が低すぎてキャリブレーションできず、代わりに人工衛星画像が SAV の反射スペクトルを拾って、大きな誤差が生じることを直感的に把握し、それ以降、SAV の正確な分類を行うことができるアルゴリズム策定を目指した。当初は、自分たちの観測データがなく、国土交通省や水資源機構による水草調査結果を利用させていただき、被覆率と輝度値との相関を求めたが、より高度な解析手法の確立が急務であり、かつ他の研究機関により充分になされていない分野であることを確認した。その後、リモートセンシング専門家と共に、本研究をさらに発展させ、分光放射計測と、Bio-Optical モデル導入へと発展していった。

琵琶湖、特に水深の浅い南湖においては、近年優勢種の植物プランクトンの変化とともに、アオコを含む植物プランクトンの異常繁殖が抑えられる反面、湖下の沈水植物の異常繁殖が問題になっていた。特に SAV が異常繁茂している際には、水中のクロロフィル a 濃度は比較的低いことがあり、沈水植物が栄養塩を吸収し、かつ光学的な競合に競り勝ったと言えるが、当初のアルゴリズムにおいては、水中の緑色の反射光をほとんどクロロフィル a 由来と解析し、SAV の判別はできなかった。その時点で、琵琶湖南湖における沈水植物の分布状況を観測し、当初は LANDSAT の多波長センサーの輝度値との相関をとることで類似性を見出し、判別可能かどうかを検討した。2015 年より、分光放射計 ASD FieldSpec Pro を用いた沈水植物のスペクトル観測を順に実施し、かつ Bio Optical Model を用いて、様々な湖の条件を加味して、沈水植物をどの条件であれば、人工衛星の光学センサーを用いて判別可能かについて解析を行なった。その結果、南湖で、沈水植物がある一定の深度より浅い位置にある場合など、判別可能であることが解明された。さらにこれらを元に、琵琶湖における 2012, 2014 年の結果と、2016 年 9 月におこなった現地観測結果を統合し、解析すると、人工衛星データを用いた沈水植物の判別と同時に、水深の推定や、クロロフィル a 濃度の推定が可能になったことが明らかになり、Shweta et al.2017 に発表した。この研究では Landsat-8 画像を用いて、琵琶湖南湖において沈水植物(SAV)の繁茂領域とバイオマス量を、SAV の最大成長期間(2013-2016 年においては 9 月-10 月)において評価し、線形回帰アプローチを用いて人工衛星による水透明度補正アルゴリズムを開発し検証し(相関係数 $R^2=0.77$)、水の透明度を推定し、SAV の判別とバイオマス量の推定を行なった。SAV の分類には混合スペクトル解析(SMA)、スペクトル角マップパー(SAM)、二分決定木を用いて、現地観測と比較して全体の同定精度 86.5%、SAV 分類精度 76.5% (SAV 係数 0.74 - ほぼ一致)となった。

当時用いていた LANDSAT データは空間解像度は比較的高いが、例えば琵琶湖においては半月に 1 枚程度の頻度、雲の影響を考えると数ヶ月に一度しか解析可能な画像が得られず、琵琶湖全域の解析には不向きであった。また、波長分解能が低く、可視光近赤外領域において十分な判別を行うことができなかった。気候変動観測衛星しきさい(GCOM-C)は空間解像度は粗いが、撮影頻度が高く、琵琶湖全域や海外の湖への適用は比較的容易であり、同時に沿岸域の生態系判別に適していた。また、Bio Optical Model は複雑ではあったが、水中での吸収・散乱を経て水面における反射強度を推定する上で非常に強力であり、このモデルの応用が求められた。

2. 研究の目的

本研究の目的は、気候変動観測衛星 GCOM-C および LANDSAT8.9 を用いて、湖沼の沈水植物(SAV)とその流域周辺の植生分布を分類し、陸域の淡水資源の質的な管理を地球規模で行うことができるリモートセンシング技術およびそれを元にしたモデリング技術を開発することである。本研究では特に、温帯淡水域に繁茂するオオカナダモ・コカナダモ・センニンモなどの、異なる種類の沈水植物の反射スペクトルを計測し、Bio-optical model を用いて、SGLI-VNR に搭載されている各波長毎のセンサーによる検出される輝度値比率を計算し、様々な水質条件で SAV が衛星画像で分類される期待値を算定する。また三次元富栄養化モデル Biwa-3D に SAV モジュールを構築、これらの繁茂状況のモデル化を行う。全球湖貯水池レポジトリ(GLR)とアルゴリズムを組み合わせて世界各国の湖沼への適用を試みる。

上記の目的に従って研究遂行を行なって行ったが、特に研究 1 年目・2 年目にあたる 2018 年度・2019 年度には、琵琶湖における沈水植物繁茂が極端に少なく、本研究内容のみでは 3 年間の期間において課題達成が困難になる可能性があったため、初年度に研究計画に沿った上で、以下のとおり対象内容の拡張を行なった。すなわち(1)沿岸域における軟体サンゴの判別も研究対象とした(2)琵琶湖における異なる植物プランクトンの分別についても対象とした(3)Bio Optical Model を、他の領域(例えば宇宙分野)への適用も行なった。

3. 研究の方法

2018年度は、衛星データの確定と、琵琶湖全域でのクロロフィル a および SAV 観測、そして海外(北米・インドネシア・ブラジル)でのデータ収集・観測への準備を行った。衛星データの確保に関して、2017年12月に打ち上げられた気候変動観測衛星 GCOM-C(しきさい)および2019年度からの運用が予定されている LANDSAT-9 の光学センサを用いることにより、それまでに用いている LANDSAT-8 を用いた解析の問題点が解決される見込みがあり、琵琶湖での現地観測と合わせたアルゴリズム改良を行った。そのため LANDSAT-9 運用主体の NASA/GSFC への訪問と短期滞在により、今後の LANDSAT や MODIS/Terra Aqua データ利用の連携を図った。琵琶湖全域でのクロロフィル a および SAV 観測であるが、琵琶湖環境科学研究センターと協力し、7月31-8月2日、観測船でのクロロフィル a 測定、水域の SAV 繁茂状況に応じた分光放射計での反射率測定とマッピングを実施した。同時にダイバーを用いた湖底での SAV 定量化を行う。現地観測においては、衛星データとの野外調査による比較を行うため、琵琶湖の沿岸における水草群落を群落タイプ(種類)、水深別の、水草量を測定した。また、各調査地点の植物プランクトン量は、多波長蛍光光度計を用いて、ラン藻類、緑藻類、珪藻類、クリプト藻類のクロロフィル a 量および多項目水質計による水質(水温、DO、pH、濁度等)のプロファイルを測定した。またこのアルゴリズムの世界各国湖沼への適用を想定し、地球規模の淡水資源管理アルゴリズムの策定を行う。GCOM-C の多波長光学放射計(SGLI)の、主に可視・近赤外放射計部(SGLI-VNR)を利用して、異なる種類の沈水植物の同定を行うためのアルゴリズム開発と、海外湖沼(北米タホ湖)への適用を行った。

2019年度は、琵琶湖調査(9, 10月)、田辺湾調査(9, 10月)、日本海調査(6月)などを行なった。また、UNESCO-IHP と合同で、ストックホルム水シンポにて研究成果の公開を行なった。2019年度も2018年度同様、琵琶湖での沈水植物の分布が十分ではなく、研究対象として田辺湾の軟体サンゴであるオオトゲトサカ・キイロトサカなどの分類についてもフィールドでの研究対象とした。全球湖沼水池レポジトリ(GLR)において2018年度は、2層モデルを中心に計算を進めた。2020年度は、引き続き田辺湾での軟体サンゴ分類手法について調査を進め、琵琶湖調査も引き続き行った。GCOM-C の SGLI-VNR を用いたクロロフィル a マップの適用湖を増やす。その中で、(1)RGB 可視光画像情報も利用し深層学習を用いた軟体サンゴ分類手法の運用を GPU 搭載計算機で行う(2)田辺湾・琵琶湖調査において、沈水植物と同時に異なる種類の植物プランクトンの分布データを引き続き観測する(3)三次元富栄養化モデルを用いた解析と昨年度行なった2層モデルによる解析とを融合し、各国の湖への展開を行なった。

これらに沿って研究の遂行を行なったが、最終的な手法は以下のとおりである。まず、当初の研究計画における最大の沈水植物分布状況の推定とマッピングであるが、琵琶湖環境科学研究センターの単独もしくは共同観測結果において、それぞれの地点でダイバーを用いた沈水植物の実測と、分光放射計 ASD HandHeld 2(本科学研究費にて購入)を用いた反射スペクトル測定と、GCOM-C の SGLI-VNR のそれぞれの輝度値を利用した推定アルゴリズムの作成を並行して行い、これらを最終的に合致させることとした。

また、拡張目的(1)沿岸域における軟体サンゴの判別については、現地海域での潜水調査、HandHeld 2 を用いた反射スペクトル測定と、水質の調査を組み合わせることとした。このプロセスにおいて、海域において特に赤色波長の吸収が大きいことと、水深がある程度深くないと繁茂していないこと、GCOM/C の空間解像度が粗いことなどから、潜水調査で直接撮影した画像の深層学習を用いた判別手法の開発を並行して行なった。

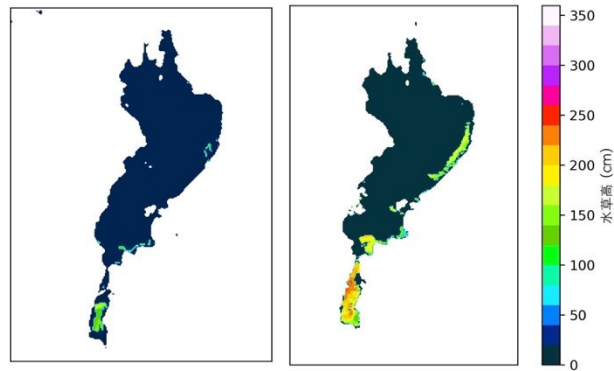
拡張目的(2)琵琶湖における異なる植物プランクトンの分別については、琵琶湖における共同観測において、主な植物プランクトン(藍藻類、珪藻類、緑藻類)を対象として、琵琶湖環境科学研究センターで培養した純粋株を用いて ASD Field Spec Pro を用いた反射スペクトル測定を行なうと同時に、琵琶湖全域調査において、多波長蛍光光度計を用いた簡易分類を行い、これらと GCOM-C における輝度値を利用した推定アルゴリズムの作成を並行して行なった。

拡張目的(3)Bio Optical Model を、他の領域(例えば宇宙分野)への適用 について、実際にさまざまな恒星から惑星への電磁波スペクトルの推定モジュール作成において、本手法の応用を行なった。具体的には、は調整分特性が異なり、実測値が無い恒星からのスペクトルの推定において、新たに Bio-Optical Model を応用したモデルを作成し、太陽系内惑星および太陽系外惑星のハビタビリティ研究における応用を行なった。

4. 研究成果

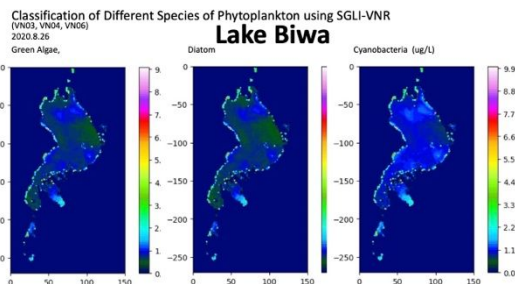
本研究において、従来研究において浅水深琵琶湖南湖のみにおいて適用した GCOM-C を用いた沈水植物の分布状況の把握を、水深の深い北湖にまで適用し、全湖における判別が可能なアルゴリズムの作成を行い、同時に本アルゴリズムを北米タホ湖等への適用を行なった。具体的には、沈水植物の高さ実測値データとのキャリブレーションにより、沈水植物の水中での高さを推定するモジュールを作成した。

一つの例を右に示す。右図は、2019.9.25日と2020.9.21の SAV 高を GCOM-C の SGLI-VNS の輝度値から推定したものである。2020.9 の琵琶湖南湖における SAV 高観測結果を利用して、それぞれの地点において係数を決定したのち、琵琶湖北湖も含む全湖に適用したものである。2019.9.25 は実測結果はないが、同じモデルで推定を行った。この際、湖の深さを推定するパラメータを設定することにより、深い部分において間違った SAV 高の値が計算されないように補正を行なっている。

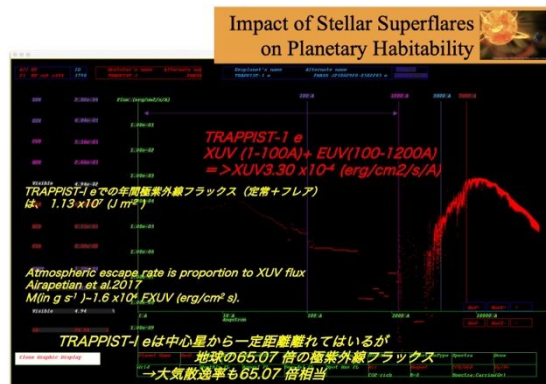


拡張目的(1)については、田辺湾海底における軟体サンゴであるオオトゲトサカ類の、深層学習を用いた判別アルゴリズムを作成し、水中画像による判別実験を行なった。具体的には畳み込みニューラルネットワーク CNN と、深層強化学習アルゴリズム DQN を用いた画像判別精度向上アルゴリズムの作成を行なった。リモートセンシング技術の適用限界をあらかじめ判定し水中画像を追加することにより、双方画像データによる水域植生分類と水中生物の判別アルゴリズムの統合的活用方法を提案した。

拡張目的(2)については、琵琶湖における代表的な植物プランクトン GCOM-C を用いた琵琶湖における異なる種類の植物プランクトン分布状況の分類を行なった。右図は、異なる植物プランクトンコロニーの反射率測定結果を応用して、GCOM-C SGLI VNR 輝度値を用いた琵琶湖における代表的な植物プランクトンの分布状況推定図である。本成果については、まだ論文文化は行われていないが、現在このアルゴリズムが他の時期にどの程度適用可能かについての検証を行なっている。

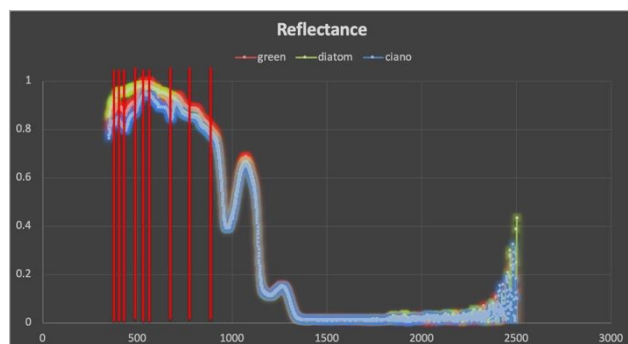


拡張目的(3)については、太陽系内・系外惑星のハビタビリティ判定において、さまざまな恒星から惑星への電磁波スペクトルの推定モジュール作成において、本手法の応用を行ない、それを太陽系外惑星データベース ExoKyoto モジュールに実装した。具体的には、調整分特性が異なり、実測値が無い恒星からのスペクトルの推定において、新たに Bio-Optical Model を応用したモデルを作成し、これらの恒星からの大気散逸の推定を行い、放射線による被ばく評価を世界で初めて行い、アメリカ天文学会誌 (Yamashiki et al.2019 ApJ) に発表した。具体的な適用は、右図で示す通り、例えばハビタブルな系外惑星 TRAPPIST-1e のスペクトルは観測で明らかになっていなかったが、Bio Optical Model を応用したスペクトル作成を行い、TRAPPIST-1e での XUV 成分の推定を行い、大気散逸率の計算を行った。結果、論文の結論の重要部分である TRAPPIST-1e においては地球に比べて低くなっている可能性がある、という部分を導き出している。



各年度の研究成果は以下のとおりである。

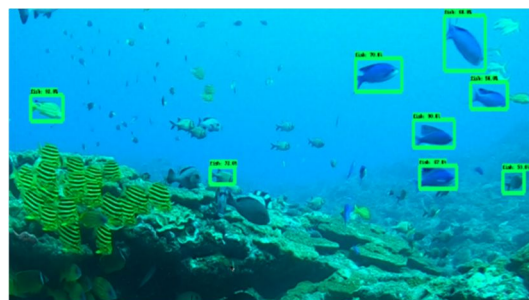
2018年度は、琵琶湖における沈水植物調査、アメリカにおける調査(タホ湖および周辺)、沿岸域における本手法の応用にあたる沈水植物の調査(田辺湾)を行なった。琵琶湖における調査においては、2018年度は非常に沈水植物が少なく、代わりに植物プランクトンが卓越している状況であった。そのため、予定していた沈水植物関連のデータの取得は十分にできなかったが、ちょうど競合にあたる植物プランクトンの空間分布と、それぞれの純粋コロニーの反射率の測定を実施した。結果、緑藻・珪藻・藍藻類それぞれの反射率の差異は、GCOM-C の SGLI における可視光・近赤外領域の明確な差異として確認可能であることがわかった(右図)。アメリカ・タホ湖においては反射率測定を行なったが、湖の透明度は非常に高いが、沈水植物の繁茂状況が不十分であり、一部地域を除いて適切でないことがわかった。また、湖全般のリモートセンシング調査結果を開示する場合、冬



季の氷結に関するデータが不十分であったため、北海道の氷結水域(大沼および周辺)での氷結表面での反射率測定を行なった。結果、氷結湖における反射率の差異が、可視光領域に明確に現れることがわかり、特に GCOM-C の SGLI で判別するのに適したスペクトル特性が把握できた。また、地球全体の湖領域における衛星画像切り出しのアルゴリズムを MODIS を題材に作成し、現在 GCOM-C データを利用した適用を準備している。また、琵琶湖およびインドネシアの湖に対して、クロロフィル a 濃度のリモートセンシングデータによる推定と結果の公開を開始した。

2019 年度は、琵琶湖南湖における船舶・ダイバーによる沈水植物および反射率観測および、北湖における大型観測船による植物プランクトン空間分布および反射率観測を引き続き行ったが、沈水植物の繁茂状況は 2018 年度同様、その前の二年間に比して十分ではなかった。そのため、以下のとおりの研究課題に注力した (1)琵琶湖においては、クロロフィル a 濃度、異なる植物プランクトンの分布状況の観測とそれぞれの反射率特性の実験室における実測結果を基に構築した空間分布の再現と、海外の湖のクロロフィル a 分布状況の再現を同様に行った。結果、琵琶湖、北米五大湖におけるクロロフィル a 濃度の分布状況の空間分布出力アルゴリズムを GCOM-C SGLI (しきさい衛星多波長光学放射計) の出力結果からの回帰式を同定し、琵琶湖における特徴的な三種類(珪藻・藍藻・緑藻)の植物プランクトンの空間分布状況を用いた推定モジュールの枠組みの構築を行った。(2)2018 年度以降まとまった十分な分布状況が観測できない琵琶湖における沈水植物に代わり若狭湾の藻場や田辺湾における軟体サンゴ(オオトゲトサカ・キイロトサカ)の分布状況の調査を継続し、深層学習を用いた水中における判別手法を開発した。同時に調査水域での反射率測定等を継続し、人工衛星データからどれくらいこれらの分布状況を把握できるかについての理論的考察を行った。(3)全球湖貯水池レポジトリ(GLR)とリモートセンシングによる沈水植物判別技術について UNESCO-IHP とともに世界水週間(WWW)での共同セッションを行い ESA などと共同で研究成果の発表を行った。(4)本研究における大気中における非電離放射線および電離放射線の透過吸収解析技術を応用し、さらに JAEA や NASA/GSFC との協力を通じて地球や他の惑星における電離放射線強度の推定を行い論文発表および記者発表を行った。

2020 年度は、琵琶湖における 2 回の調査、田辺湾における潜水調査のほか、屋久島や八重山諸島での調査も行った。琵琶湖においては、水草の成長状況は例年よりは少ないが初年度に比較して確認することができ、これを利用しての、GCOM-C を用いた予想モデルの作成を行った。同時に、昨年度から開始した、田辺湾海底における軟体サンゴであるオオトゲトサカ類の、深層学習を用いた判別アルゴリズムを作成し、水中画像による判別実験を開始し、その成果を日本海洋学会などで発表した。結果、GCOM-C を用いた沈水植物の分布量評価においては、琵琶湖環境科学研究センターによる観測結果をある程度反映したものとなった。ただし、沈水植物の判別に重要な近赤外成分が、GCOM-C の公開データにおいて十分にその判別が困難であることが判明し、その他の SGLI センサの波長を利用した。また深層強化学習を用いた水中画像の判別においては、これは人工衛星観測では無理な特に赤系の沈水植生や水中生物の判別に威力を発揮することがわかり、特に空からの判別においてどれだけ項目が確認可能であるかを検証し、補間的に観測を行ってゆくための一つの大きな方向性となった。また、沿岸域において、湖底・海底の底質の色によって判別効率が大きく異なることが分かったが、今回の研究においては、底質の分類までは至らなかった。深層強化学習による画像判別は沈水植物だけではなく水中生物に応用可能なため、魚類を含む水中生物の判別や海域の特性把握において威力を発揮する可能性があり、現在そのデータベース化を進めている。右図は、CNN を用いた魚類判別アルゴリズムの適用例(屋久島・一湊)である。ただし、これらの調査において、ある程度の調査を行うことができたものの、コロナ禍によって中止となった観測も多く、本研究目的の達成のためにさらなる追加調査と追加解析が必要で、別財源を用いた研究を含めた継続を行っている。



5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 9件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 Yosuke A. Yamashiki , Hiroyuki Maehara , Vladimir Airapetian et al.	4. 巻 881:114
2. 論文標題 Impact of Stellar Superflares on Planetary Habitability	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 24pp
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3847/1538-4357/ab2a71	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 Yosuke A. Yamashiki, Moe Fujita, Tatsuhiko Sato, Hiroyuki Maehara, Yuta Notsu, Kazunari Shibata	4. 巻 163
2. 論文標題 Cost estimation for alternative aviation plans against potential radiation exposure associated with solar proton events for the airline industry	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Evolutionary and Institutional Economics Review	6. 最初と最後の頁 13pp
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s40844-020-00163-4	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 Fujiwara, M., M. Koyama, S. Akizuki, K. Watanabe, K. Ishikawa, S. Ban, T. Toda	4. 巻 10082
2. 論文標題 Seasonal changes in the chemical composition and anaerobic digestibility of harvested submerged macrophytes	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 BioEnergy Research	6. 最初と最後の頁 10pp
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s12155-019-10082-x	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 Mizuguchi, H., S. Fujii, S. Fujii, R. Higa, K. Ishikawa, T. Okamoto, K. Hayakawa, Y. Fuse, E. Yamada	4. 巻 7
2. 論文標題 Monitoring of Phytoplankton Species in Lake Biwa Using a Real-Time PCR Assay with DNA Extraction from Cells Trapped by Filtering a Lake-Water Sample	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Limnological Study (陸水研究)	6. 最初と最後の頁 29-38
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 Kanako Ishikawa, Hiroki Haga, Eiso Inoue, Syuhei Ban	4. 巻 20
2. 論文標題 Determining suitable submerged macrophyte biomass in terms of dissolved oxygen concentration and biodiversity in the South Basin of Lake Biwa, Japan. <i>Limnology</i> , 20: 69-82	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 <i>Limnology</i>	6. 最初と最後の頁 69-82
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10201-018-0566-y	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 須崎純一・宮垣亮汰・栗木周	4. 巻 58
2. 論文標題 斜面の影響を考慮したBRDFモデルの開発と陸域 アルベドの推定	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 写真測量とリモートセンシング	6. 最初と最後の頁 14-23
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 Junichi Susaki, Ryota Miyagaki, Amane Kuriki, Shengye Jin	4. 巻 IV-3/W1
2. 論文標題 Examination of terrain effect for terrestrial albedo estimation via BRDF model parameter, <i>ISPRS Annals of the Photogrammetry</i>	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 <i>ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences</i>	6. 最初と最後の頁 49-56
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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 S. Yadav, Y. Yamashiki, J. Susaki, Y. Yamashita, and K. Ishikawa	4. 巻 XLII-3/W7
2. 論文標題 Chlorophyll estimation of lake water and coastal water using LANDSAT-8 and SENTINEL-2A satellite	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 <i>International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences</i>	6. 最初と最後の頁 77-82
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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 James A. Dunne, Peter G. Martin, Yosuke Yamashiki, Ian X. Y. Ang, Tom B. Scott & David A. Richards	4. 巻 8
2. 論文標題 Spatial pattern of plutonium and radiocaesium contamination released during the Fukushima Daiichi nuclear power plant disaster	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 1-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-018-34302-0	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 -

[学会発表] 計5件(うち招待講演 3件/うち国際学会 1件)

1. 発表者名 Yosuke Yamashiki
2. 発表標題 Application of remote sensing techniques in the classification of aquatic vegetation and phytoplankton in Lakes and Reservoirs
3. 学会等名 E0-based and other innovative water quality monitoring tools, World Water Forum (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石川可奈子・酒井陽一郎・焦春萌・中井克樹
2. 発表標題 侵略的外来植物ウスゲオオバナミズキンバイ群落の発達に伴う溶存酸素濃度の低下と生物相に関する野外調査研究
3. 学会等名 日本陸水学会第84回大会(金沢)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石川可奈子
2. 発表標題 琵琶湖南湖における水草管理に関する研究
3. 学会等名 第300回生態研セミナー、京大大学生態学研究センター(大津市)(2018年10月19日)(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 石川可奈子
2. 発表標題 琵琶湖の水草大量繁茂、刈取り除去による管理と有効利用の現状と課題
3. 学会等名 日本水処理学会第55回大会公開シンポジウム、日本水処理学会、日本大学工学部キャンパス（郡山市）（2018年11月2日）（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 石川可奈子
2. 発表標題 藍藻類がもたらす新たな問題 ～琵琶湖南湖で見られる底生糸状藻類の増加について～
3. 学会等名 日本藻類学会第43回京都大会公開シンポジウム、日本藻類学会、京都大学（京都）（招待講演）
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 石川可奈子（2020）	4. 発行年 2020年
2. 出版社 サンライズ出版	5. 総ページ数 pp94-99, 121p
3. 書名 琵琶湖の水生植物 ～関わりあう暮らし～ 琵琶湖の科学 みずのこと・いきものごと（琵琶湖環境科学研究センターブックレット）	

〔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	辰己 賢一 (TATSUMI KENICHI) (40505781)	東京農工大学・(連合)農学研究科(研究院)・准教授 (12605)	

6. 研究組織（つづき）

	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	石川 可奈子 (ISHIKAWA KANAKO) (80393180)	滋賀県琵琶湖環境科学研究センター・総合解析部門・専門研究員 (84201)	
研究分担者	須崎 純一 (SUSAKI JUNICHI) (90327221)	京都大学・工学研究科・准教授 (14301)	

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1件

国際研究集会 E0-based and other innovative water quality monitoring tools, World Water Week 2019	開催年 2019年～2019年
--	--------------------

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