

令和 4 年 6 月 8 日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2021

課題番号：17H01850

研究課題名(和文) 新リモートセンシング手法による全球湖沼一次生産量の推定

研究課題名(英文) Estimating global lake primary production by a new remote sensing method

研究代表者

松下 文経 (Matsushita, Bunkei)

筑波大学・生命環境系・准教授

研究者番号：80361319

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、リモートセンシングデータを活用することによって、全球水域の一次生産量を見積もったものである。このため、まず3種類の水域一次生産量の推定アルゴリズムを比較し、最も有望な手法はクロロフィルa濃度をベースにした理論方式のモデル(TPM)であることを明らかにした。次に、TPMモデルの実行に必須の2つ入力パラメーター(最大光量子使用量 P_{maxB} と光飽和係数 E_k)を衛星データから高精度で推定するための機械学習アルゴリズムを提案し、その有用性を示した。最後に、本研究で開発したモデルを用いて、全球水域の一次生産量(2010-2019の年平均)を推定した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で開発したモデルを用いて全球水域一次生産量の推定結果は 35.4Pg C/yr (2010-2019の年平均)である。この推定値は、一般的に使用されているVGPMモデルの推定値(47.1Pg C/yr)の約75%となっている。現地データによるモデルの評価結果は、本研究で提案したモデルの方がより合理的な一次生産量の空間分布(特に極地、沿岸及び内陸水域)を示している。従って、今までの全球水域一次生産量に対する見積もりは25%の過大推定と考えられる。本研究による得た成果は水資源の持続可能な利用や全球水域による有機炭素貯蔵量の見積もり、気候変動に対する水域生態系のレスポンスの研究などに期待できる。

研究成果の概要(英文)：In this research, we aimed to estimate the primary production of global waters by utilizing remote sensing technique. For this purpose, we first compared three types of water body primary production estimation algorithms and found that the most promising method is the Theory-based primary Production Model (TPM), which requires the concentration of chlorophyll-a, the photosynthetically available radiation, the assimilation number (P_{maxB}), and the light saturation parameter (E_k) as its inputs. We then proposed a machine learning algorithm (ERFR), to retrieve P_{maxB} and E_k from satellite observations. Evaluations with independent in situ data and matchup data showed that the ERFR outperformed conventional empirical and semi-analytical algorithms, and could well capture the variability of P_{maxB} and E_k . Finally, we integrated the ERFR with the TPM as well as other climatological satellite products (2010-2019) to estimate global daily depth-integrated primary production.

研究分野：リモートセンシング(地理学)

キーワード：一次生産量 全球水域 機械学習 吸収係数 クロロフィルa濃度 半理論方式

1. 研究開始当初の背景

水域の一次生産量は、有機物循環の始まりとして生物の相や量を左右するとともに、水環境を決定する要因の一つである。また、地球炭素循環の一過程として地球温暖化とも強く関係している。先行研究によれば、水域の一次生産量は陸域の一次生産量とほぼ同程度の量である(水域 46.2% vs 陸域 53.8%、Field et al., 1998)。しかも、湖沼における有機炭素の貯蔵量は、海洋のほぼ半分であるとも言われている(Dean & Gorham, 1998)。従って、全球湖沼一次生産量の推定は、グローバルな炭素循環の見積もりに、無視できない存在である。さらに、湖沼、内湾、沿岸海域などは人類社会との直接的インタフェースを持っているため、人類の活動に強く影響されている。すなわち、湖沼の炭素固定量を適切管理することは、そうした水域の健全な水利用、生態系保全をもたらすことにつながり、地球規模で重要な課題である。

物質動態の時空間的な分布変化が激しい水域を対象とする研究には、衛星画像の活用が有効である。リモートセンシング技術をベースにした水域一次生産量の推定には水中の植物プランクトンの量を表す指標であるクロロフィル a の濃度(以下 Chl-a)が一般的に用いられている(以下 Chl-based 手法、Behrenfeld et al., 1997)。しかし、衛星データから推定した Chl-a には湖水の生物特性のみを含み、湖水の一次生産量を推定するために、湖水の光学特性を表す単位 Chl-a あたりの植物プランクトンの吸収係数(a^*_{ph})が必要となる。この a^*_{ph} は時空間的に大きく変化するため、湖水一次生産量の推定には大きな不確定性をもたらす(Marra et al., 2007)。

一方、2000 年以降の海色センサー技術の飛躍的な進展により衛星データから水中植物プランクトン吸収係数(以下 a_{ph})の推定が可能となりつつある(Lee et al., 2002, Shang et al., 2011)。この進歩に基づいて、ここ最近では a_{ph} をベースにした水域一次生産量の推定手法が提唱されている(以下 a_{ph} -based 手法、Lee et al., 2015)。この a_{ph} は植物プランクトンの光学と生物両方の特性を持つため、水域一次生産量との関係がより強くなる。さらに、 a_{ph} は水塊からの分光反射特性(反射率として衛星センサーで直接計測できる物理量)と一対一関係(生物光学モデルで表せる)を持つため、衛星データから高精度での推定も可能となる。すなわち、Chl-based 手法よりも、 a_{ph} -based 手法の方がより精度の高い一次生産量の推定につながると考えられる。

2. 研究の目的

本研究では、上述の背景(湖沼一次生産量推定の重要性、現存手法の不確定性、新しい理念の提唱)を踏まえ、最新理念に基づいたリモートセンシングによる湖沼の一次生産量を高精度で推定できる手法(すなわち、 a_{ph} -based 手法)の確立を目指す。更にこの新手法を利用して全球湖沼一次生産量を推定し、湖沼の地球上有機炭素貯蔵量への寄与率および人類活動・気候変動が湖沼一次生産量に及ぼす影響を明らかにする。

3. 研究の方法

(1) 現地調査、共同研究および文献検索によって、様々な生物光学特性を持つ水域(湖沼、沿岸水域、外洋など)からアルゴリズムを開発・検証するための現地データを収集した。あわせて、利用可能な衛星データ(MERIS、OLCI、MODIS、MSI など)の収集と前処理も同時に行った。

(2) 蓄積しつつある各種のデータを用いて、最新理念に基づいた湖沼一次生産量(すなわち、植物プランクトンの生物特性と光学特性を合わせて考慮した手法)および関連する各パラメータ(Chl-a、光合成有効放射照度 PAR、光合成放射照度曲線の同化数 P_{max}^B 、光合成放射照度曲線の光飽和係数 E_k)の推定アルゴリズムの開発・改良・検証を行った。

(3) 確立した新リモートセンシング手法を用いて、全球の水域を対象に、一次生産量の見積もり(プロダクト)と空間分布の解析を行った。

4. 研究成果

(1) 水域分類アルゴリズムの開発

本研究は、様々な水域における水塊の固有光学特性(すなわち、水塊の総吸収係数 a と総後方散乱係数 b_b)を高精度で推定するために、まず全球の水域を 4 つのタイプ(すなわち、低濁度水域、中濁度水域、高濁度水域、及び極めて高濁度水域)に分類するアルゴリズムを提案した(主な発表論文 1)。この水域分類アルゴリズムは、91,287 個シミュレーションしたリモートセンシング反射スペクトル(R_{rs})の形状分析に基づいて開発したものであり、既存のアルゴリズムより高い汎用性を持つと考えられる。分類アルゴリズムの実行には 4 つの波長(490nm、560nm、620nm、754nm)における反射率が必要である。分類アルゴリズムのフローチャートを図 1 に、分類結果の例を図 2 に示す。

(2) 水域固有光学特性推定アルゴリズムの開発

衛星データによる水域固有光学特性の推定には、純水の吸収係数が総吸収係数を支配しているという仮定ができる参考波長の選定がカギとなる。上述した水域分類アルゴリズムはこの適切な参考波長の選定に役立つ。例えば、タイプ I とタイプ II 水域の場合波長 560nm、タイプ III

水域の場合波長 754nm、タイプ IV 水域の場合波長 865nm を参考波長として選べば、上記の仮定はより合理的になる。また、水域のタイプによって、既存の水域固有光学特性推定アルゴリズムから最も適切なものを選ぶことも可能になる（主な発表論文 5）。例えば、タイプ I 水域の場合は QAA_v5、タイプ II 水域の場合は QAA_TM、タイプ III 水域の場合は QAA_Turbid、タイプ IV の場合は QAA_T865 が使用される（主な発表論文 5）。提案した水域固有光学特性推定アルゴリズムと別途で開発した透明度の推定アルゴリズム（主な発表論文 16）を併用して推定した透明度の推定値と透明度の実測値との比較した結果を図 3 に示す。この結果は、あらゆる水域の固有光学特性をリモートセンシングデータから精度良く推定できる可能性を示唆している。

(3) 水域一次生産量推定アルゴリズムの開発

本研究は、植物プランクトンの生長理論に基づく一次生産モデル(TPM: Theory-based primary Production Model)と新しい機械学習アルゴリズム(ERFR: Enhanced Random Forest Regression)を統合して、様々な水域の一次生産量を衛星データから推定できるアルゴリズムを開発した(以降 TPM_{ERFR} モデルと呼ぶ)。TPM_{ERFR} モデルに必要な入力パラメータは Chl-a、PAR、 P_{max}^B 、および E_k であり、全て衛星データから推定できる。特に P_{max}^B と E_k の推定には、従来の水温 (T) に加え、Chla、下向きの PAR の拡散減衰係数 K_d (PAR)、と下向きの PAR の光透過率 r_{PAR} を考慮したことによって、ERFR の推定精度と適用範囲(低濁度水域~高濁度水域)は既存手法より大幅に向上してきた。以上によって、TPM_{ERFR} モデルは、水域の生物特性(Chla)、水域の光学特性(K_d (PAR)と r_{PAR})、及び水域の熱環境(T)を全て考慮した手法となり、他のベンチマークモデル(RMSD が 0.27~0.62)と比較して最も高い推定精度(RMSD \leq 0.27)を示した(図 4、図 5)。詳細は、主な発表論文 7 に参照されたい。

(4) 全球水域一次生産量の見積もり(2010 - 2019)

本研究で開発した TPM_{ERFR} モデルを用いて全球水域の一次生産量の見積もりを行った。その結果、全球水域の年間一次生産量は $35.4 \text{ Pg C yr}^{-1}$ (2010 - 2019 の平均値)であった。この値は、先行研究が報告された数値 ($36.5 \sim 60 \text{ Pg C yr}^{-1}$) の下限にほぼ同じであるが、独立した現地データおよび先行研究の知見によるモデルの評価結果は、本研究で提案した TPM_{ERFR} モデルの方がより合理的な一次生産量の空間分布を示している(図 6)。従って、これまでの全球水域一次生産量に対する見積もりは過大の推定と考えられる。例えば、これまで広く使用されている VGPM モデル(Behrenfeld et al., 1997)の推定値は $47.1 \text{ Pg C yr}^{-1}$ であり、本研究の推定値より約 25%の過大推定となっている(主に極地水域や沿岸水域及び内陸水域での過大推定が見られた)。将来、さまざまな水域から、統一されたプロトコルに基づいて高品質の現地データを収集し、TPM_{ERFR} モデルのさらなる検証と改善を行うことが期待される。また、当初は水域の生物特性と光学特性の両方が考慮された aph-based 手法の開発に目指したが、水域の総吸収係数までの推定は実現できたものの(主な発表論文 1 と 5)、植物プランクトンの吸収係数(aph)を総吸収係数からの分離については、依然課題として残されている。その代わりに、同じく水域の生物特性と光学特性の両方を考慮できる TPM_{ERFR} モデルを提案し、当初の目的をほぼ達成している。

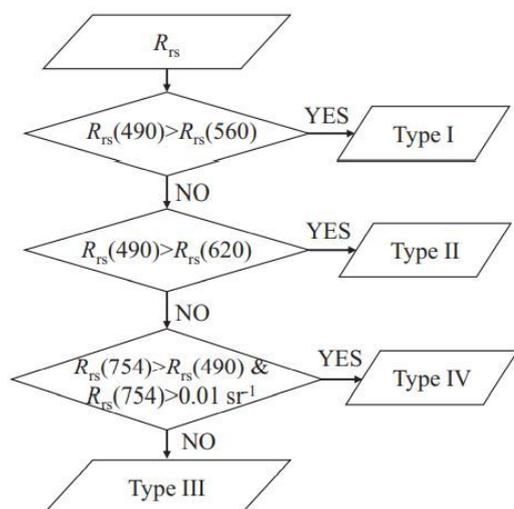


図 1 水域分類アルゴリズムのフローチャート

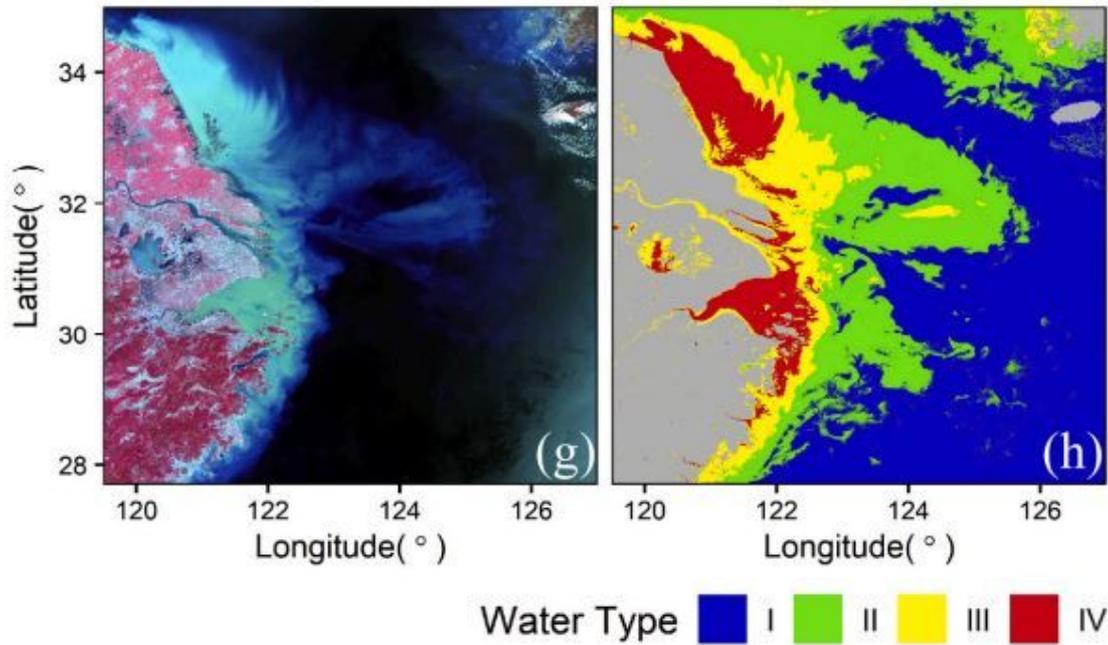


図2. 水域分類の結果（揚子江河口を例として、撮影日：2018年4月8日）

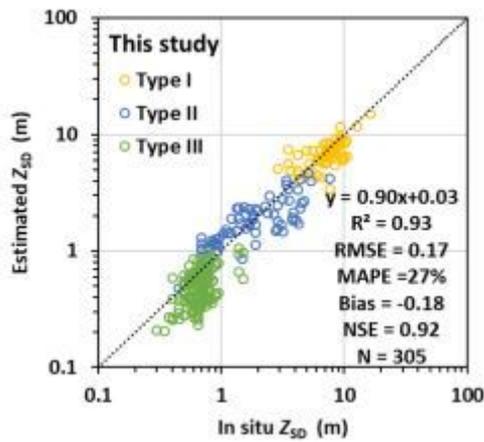


図3. 透明度の推定値と実測値の比較

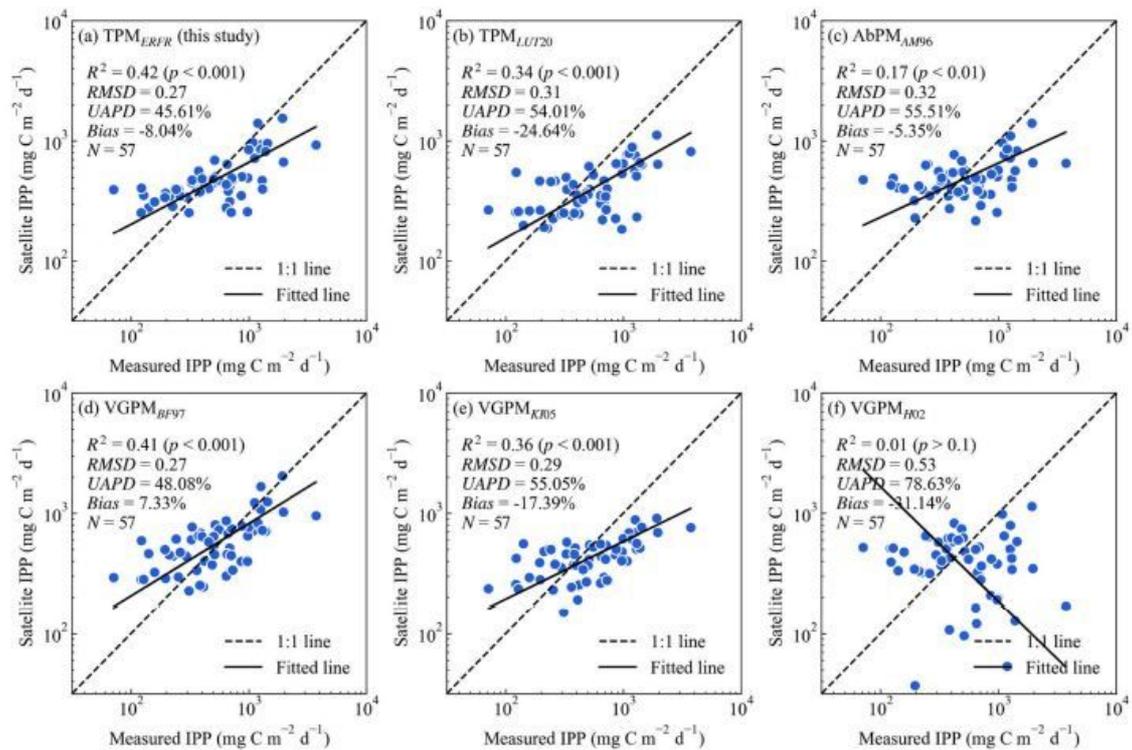


図4. 低濁度水域における各水域一次生産量推定モデルの比較

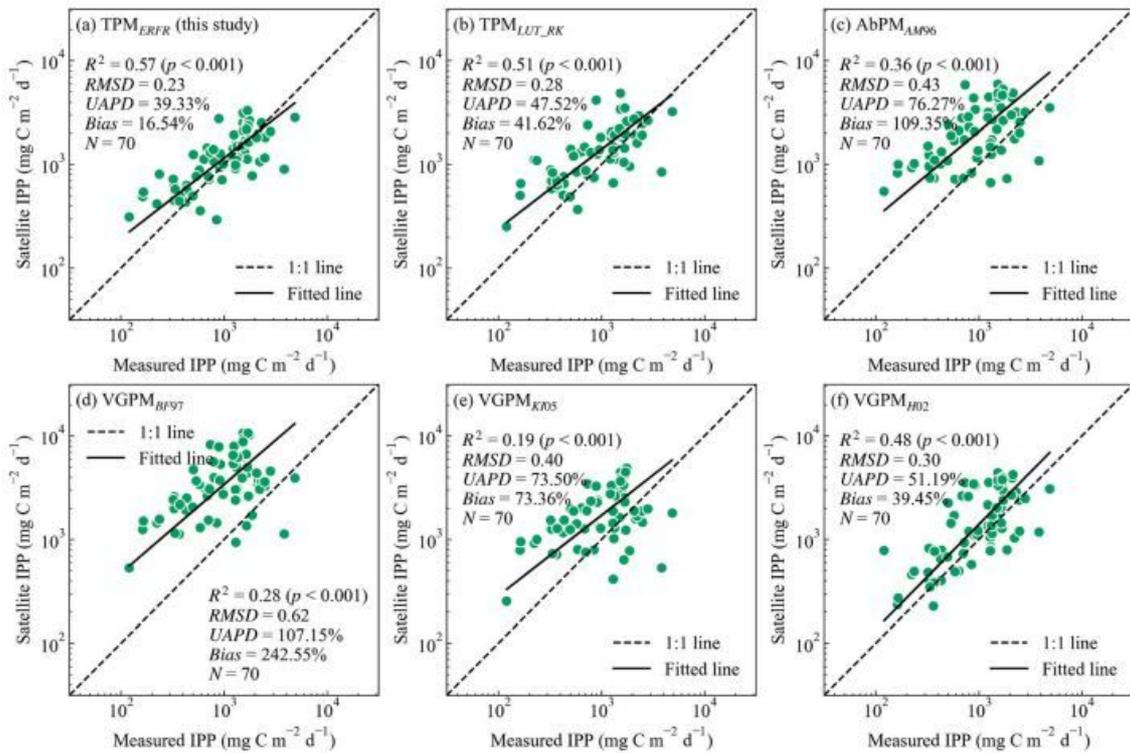


図 5 . 高濁度水域における各水域一次生産量推定モデルの比較

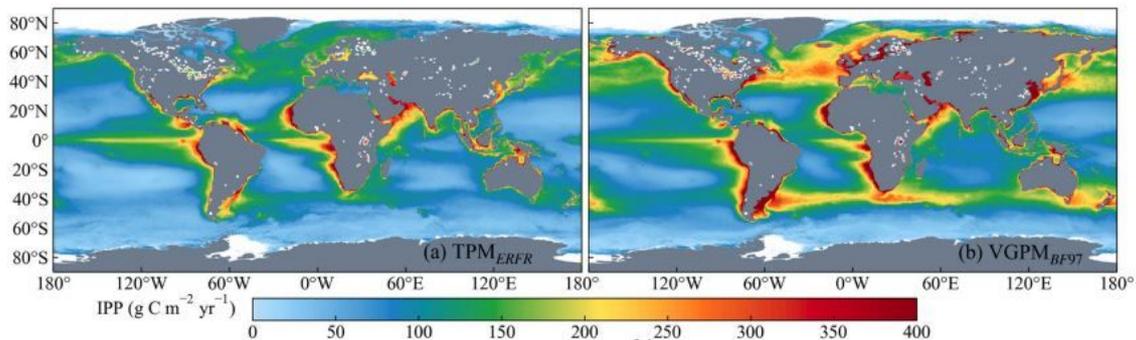


図 6 . TPM_{ERFR} および VGPM_{BF97} モデルによる全球水域の年間一次生産量の空間分布 (2010 - 2019 の平均値)

< 引用文献 >

- Behrenfeld and Falkowski, A consumer's guide to phytoplankton primary productivity models. *Limnol. Oceanogr.* 42, 1479-1491, 1997.
- Dean and Gorham, Magnitude and Significance of Carbon Burial in Lakes, Reservoirs, and Peatlands. *Geology*, 26, 535-538, 1998.
- Field et al., Primary Production of the Biosphere: Integrating Terrestrial and Oceanic Components. *Science*, 281, 237-240, 1998.
- Lee et al., Deriving inherent optical properties from water color: A multiband quasi-analytical algorithm for optically deep waters. *Appl. Opt.*, 41, 5755-5772, 2002.
- Lee et al., Estimating oceanic primary productivity from ocean color remote sensing : a strategic assessment. *J. Mar. Syst.* 149, 50-59, 2015.
- Marra et al., Phytoplankton pigment absorption: a strong predictor of primary productivity in the surface ocean. *Deep-Sea Research* 154, 155-163, 2007.
- Shang et al., Characterization of MODIS-derived euphotic zone depth: Results for the China Sea, *Remote Sensing of Environment*, 180-186, 2011.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計18件（うち査読付論文 18件／うち国際共著 7件／うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 D. Jiang, B. Matsushita, N. Pahlevan, D. Gurlin, M. K. Lehmann, C. G. Fichot, J. Schalles, H. Loisel, C. Binding, Y. Zhang, K. Alikas, K. Kangro, M. Uusoue, M. Ondrusek, S. Greb, W. J. Moses, S. Lohrenz, D. O'Donnell	4. 巻 258
2. 論文標題 Remotely estimating total suspended solids concentration in clear to extremely turbid waters using a novel semi-analytical method	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Remote Sensing of Environment	6. 最初と最後の頁 112386
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.rse.2021.112386	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 T. Fukushima, B. Matsushita	4. 巻 848
2. 論文標題 Limiting nutrient and its use efficiency of phytoplankton in a shallow eutrophic lake, Lake Kasumigaura	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Hydrobiologia	6. 最初と最後の頁 3469-3487
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s10750-021-04593-y	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 T. Fukushima, T. Kitamura, B. Matsushita	4. 巻 3
2. 論文標題 Lake water quality observed after extreme rainfall events: implications for water quality affected by stormy runoff	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 SN Applied Sciences	6. 最初と最後の頁 841
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s42452-021-04823-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 -
1. 著者名 T. Fukushima, F. Setiawan, L. Subehi, M. Fakhruddin, E. Triwisesa, A. Dianto, B. Matsushita	4. 巻 23
2. 論文標題 Convection of waters in Lakes Maninjau and Singkarak, tropical oligomictic lakes	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Limnology	6. 最初と最後の頁 375-383
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s10201-021-00686-8	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 A.D. Msusa, D. Jiang, B. Matsushita	4. 巻 14
2. 論文標題 A Semianalytical Algorithm for Estimating Water Transparency in Different Optical Water Types from MERIS Data	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Remote Sensing	6. 最初と最後の頁 868
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/rs14040	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 N. Pahlevan, B. Smith, K. Alikas, J. Anstee, C. Barbosa, C. Binding, M. Bresciani, B. Cremella, C. Giardino, D. Gurlin, V. Fernandez, C. Jamet, K. Kangro, M. K. Lehmann, H. Loisel, B. Matsushita, N. Ha`, L. Olmanson, G. Potvin, S. G.H. Simis, A. VanderWoude, V. Vantrepotte, A. Ruiz-Verd;	4. 巻 270
2. 論文標題 Simultaneous retrieval of selected optical water quality indicators from Landsat-8, Sentinel-2, and Sentinel-3	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Remote Sensing of Environment	6. 最初と最後の頁 112860
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.rse.2021.112860	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 Z. Li, W. Yang, B. Matsushita, A. Kondoh	4. 巻 275
2. 論文標題 Remote estimation of phytoplankton primary production in clear to turbid waters by integrating a semi-analytical model with a machine learning algorithm	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Remote Sensing of Environment	6. 最初と最後の頁 113027
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.rse.2022.113027	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 尾山洋一・山田浩之・松下文経・福島武彦	4. 巻 10
2. 論文標題 SAVMA 法を利用した WorldView-2 画像による阿寒湖の沈水植物分布の推定	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 湿地研究	6. 最初と最後の頁 53-66
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.24785/wetlandresearch.WR010008	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 N. Pahlevan, B. Smith, J. Schalles, C. Binding, Z. Cao, R. Ma, K. Alikas, K. Kangro, D. Gurlin, N. H, B. Matsushita, W. Moses, S. Greb, M. K. Lehmann, M. Ondrusek, N. Oppelt, R. Stumpf	4. 巻 240
2. 論文標題 Seamless retrievals of chlorophyll-a from Sentinel-2 (MSI) and Sentinel-3 (OLCI) in inland and coastal waters: A machine-learning approach	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Remote Sensing of Environment	6. 最初と最後の頁 111604
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.rse.2019.111604	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 D. Jiang, B. Matsushita & W. Yang	4. 巻 165
2. 論文標題 A simple and effective method for removing residual reflected skylight in above-water remote sensing reflectance measurements	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing	6. 最初と最後の頁 16-27
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.isprsjprs.2020.05.003	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 T. Fukushima, S. Komuro, T. Kitamura, Y. Nagahama & B. Matsushita	4. 巻 2
2. 論文標題 Long-term changes in water mineral concentrations and their influence on sediment water content in a shallow lake	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 SN Applied Sciences	6. 最初と最後の頁 1319
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s42452-020-3119-z	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 S. V. Balasubramaniana, N. Pahlevana, B. Smitha, C. Binding, J. Schalles, H. Loisel, D. Gurlin, S. Greb, K. Alikas, M. Randla, B. Matsushita, W. Moses, H. Nguy, M. K. Lehmann, D. O'Donnell, M. Ondrusek, T. Han, C. G. Fichot, T. Moore E. Boss	4. 巻 246
2. 論文標題 Robust algorithm for estimating total suspended solids (TSS) in inland and nearshore coastal waters	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Remote Sensing of Environment	6. 最初と最後の頁 111768
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.rse.2020.111768	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 .F. Setiawan, B. Matsushita, R. Hamzah, D. Jiang & T. Fukushima	4. 巻 11, 2875
2. 論文標題 Long-Term Change of the Secchi Disk Depth in Lake Maninjau, Indonesia Shown by Landsat TM and ETM+ Data	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Remote Sensing	6. 最初と最後の頁 1-20
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/rs11232875	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 T. Fukushima, T. Kitamura, S. Komuro, K. Nakagawa, Y. Nagahama, S. Matsumoto, B. Matsushita	4. 巻 24
2. 論文標題 Characteristics of D0 decline in Lakes Kasumigaura and Kitaura, shallow polymictic eutrophic lakes in Japan	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Lakes & Reservoirs: Science, Policy and Management for Sustainable Use	6. 最初と最後の頁 314-323
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/lre.12294	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 T. Fukushima, S. Komuro, T. Kitamura, Y. Nagahama, B. Matsushita	4. 巻 1
2. 論文標題 Decadal change in tripton concentration in a shallow lake	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 SN Applied Sciences	6. 最初と最後の頁 1637
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s42452-019-1668-9	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 D. Jiang, B. Matsushita, F. Setiawan & A. Vundo	4. 巻 152
2. 論文標題 An Improved Algorithm for Estimating the Secchi Disk Depth from Remote Sensing Data Based on the New Underwater Visibility Theory.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing	6. 最初と最後の頁 13-23
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.isprsjprs.201904.002	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 A. Vundo, B. Matsushita, D. Jiang, M. Gondwe, R. Hamzah, F. Setiawan & Takehiko Fukushima	4. 巻 11
2. 論文標題 An Overall Evaluation of Water Transparency in Lake Malawi from MERIS Data	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Remote Sensing	6. 最初と最後の頁 1-18
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/rs11030279	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 T. Fukushima, T. Inomata, E. Komatsu & B. Matsushita	4. 巻 9:298
2. 論文標題 Factors explaining the yearly changes in minimum bottom dissolved oxygen concentrations in Lake Biwa, a warm monomictic lake	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 1-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-018-36533-7	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23件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 16件)

1. 発表者名 長濱祐美, 福島武彦
2. 発表標題 牛久沼における近年の水質変動要因
3. 学会等名 第56回日本水環境学会年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Zhaoxin Li, Wei Yang, Bunkei Matsushita, Akihiko Kondoh
2. 発表標題 A Machine-learning Algorithm for Remotely Retrieving Phytoplankton Photosynthetic Parameters and Its Applications on the Modeling of Gross Primary Production in Various Aquatic Ecosystems
3. 学会等名 American Geophysical Union Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Zhaoxin Li, Wei Yang, Bunkei Matsushita, Akihiko Kondoh
2. 発表標題 Remote Estimation Of Phytoplankton Primary Production In Clear To Turbid Waters By Incorporating A Semi-Analytical Model With A Machine-Learning Algorithm
3. 学会等名 Ocean Carbon from Space 2022 Workshop (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Wei Yang, Bunkei Matsushita, Dalin Jiang
2. 発表標題 Removal of residual reflected skylight for accurate measurement of water-leaving reflectance
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Zhaoxin Li, Zhongfeng Qiu, Wei Yang
2. 発表標題 Remote sensing of floating macroalgae in the coastal areas based on machine learning
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 木村夏紀、古川真莉子、湯沢美由紀、福島武彦
2. 発表標題 牛久沼流入河川における汚濁負荷と流域の土地利用特性
3. 学会等名 第55回日本水環境学会年会
4. 発表年 2021年

1 . 発表者名 T. Fukushima, S. Komuro, T. Kitamura, Y. Nagahama, B. Matsushita
2 . 発表標題 A conceptual model for explaining the decadal change in tripton and its influences on limnological processes in a shallow lake
3 . 学会等名 ISEM Global Conference 2019 (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 W. Yang, B. Matsushita, A. Kondoh
2 . 発表標題 Remote estimation of chlorophyll-a concentration across different trophic states in inland lakes by a hybrid algorithm
3 . 学会等名 Asia Oceania Geosciences Society 2019 (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 W. Yang, B. Matsushita
2 . 発表標題 Application of Satellite Remote Sensing to Monitor Eutrophication Status of Inland Lakes
3 . 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting 2019
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 D. Jiang, B. Matsushita, T. Fukushima
2 . 発表標題 Estimation of Secchi depth in Lake Kasumigaura from MERIS.
3 . 学会等名 17th World Lake Conference (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1. 発表者名 R. Hamzah, B. Matsushita, T. Fukushima
2. 発表標題 Long-term monitoring of lake surface area change in Indonesian from global surface water data
3. 学会等名 17th World Lake Conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 F. Setiawan, B. Matsushita, T. Fukushima, Luki Subehi
2. 発表標題 Development a model for estimating Secchi disk depth using Landsat TM and ETM+ in Indonesian lakes.
3. 学会等名 17th World Lake Conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 川村志満子、福島武彦、松下文経
2. 発表標題 NHKテレビ番組で放映された霞ヶ浦の環境問題
3. 学会等名 17th World Lake Conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 A. Vundo, B. Matsushita, T. Fukushima
2. 発表標題 Spatio-temporal variability of chlorophyll-a concentration in Lake Malawi using MERIS data
3. 学会等名 17th World Lake Conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Wei Yang, Bunkei Matsushita, Takehiko Fukushima, Akihiko Kondoh
2. 発表標題 Satellite Monitoring of Eutrophication in Inland Lakes: Algorithm Development and Applications
3. 学会等名 Asia Oceania Geosciences Society 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Wei Yang, Bunkei Matsushita, Akihiko Kondoh
2. 発表標題 On Operational Monitoring of Water Quality Parameters by Satellite Remote Sensing in a Turbid Inland Lake of Japan
3. 学会等名 Asia Oceania Geosciences Society 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Wei Yang, Bunkei Matsushita, Akihiko Kondoh
2. 発表標題 Long-term Satellite Monitoring of Water Quality Parameters in Lake Kasumigaura, Japan
3. 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting 2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Fajar Setiawan, Bunkei Matsushita, Takehiko Fukushima
2. 発表標題 Developing A General Algorithm for Estimating Secchi Disk Depth from Landsat 5 TM and 7 ETM+ data in Indonesian Lakes
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Wei Yang
2. 発表標題 Monitoring water quality of inland lakes by remotely sensed observations
3. 学会等名 International Conference on Natural Hazards and Disaster Management (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Wei Yang, Bunkei Matsushita, Meylin Terrel, Takehiko Fukushima
2. 発表標題 A quasi-analytical model for estimating Secchi depth (SD) in clear and turbid water bodies based on MERIS data
3. 学会等名 第三回中国定量リモートセンシング学術フォーラム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Sophak Pok, Bunkei Matsushita, Takehiko Fukushima
2. 発表標題 Impervious cover changes in the Lower Mekong countries from 2001 to 2013
3. 学会等名 International Symposium on Remote Sensing 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 松崎 慎一郎、高津文人、今藤夏子、渡邊未来、角谷拓、大澤剛士、山口晴代、安藤温子、小松一弘、霜鳥孝一、中川恵、中嶋信美、吉岡明良、佐々井崇博、三枝信子、松下文経、高村典子
2. 発表標題 霞ヶ浦流域で生じる生態系サービス間のトレードオフとそれを緩和する保全策の検討
3. 学会等名 第65回日本生態学会大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Augusto Vundo, Bunkei Matsushita, Takehiko Fukushima
2. 発表標題 REMOTE SENSING OF CHLOROPHYLL-A CONCENTRATION AND SECCHI DISK DEPTH IN LAKE MALAWI FROM MERIS DATA
3. 学会等名 The 3rd International Conference of Indonesia Society for Remote Sensing (ICOIRS) 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>松下業績 https://trios.tsukuba.ac.jp/researcher/0000001215</p>
--

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	楊 偉 (Yang Wei) (80725044)	千葉大学・環境リモートセンシング研究センター・助教 (12501)	
研究分担者	福島 武彦 (Fukushima Takehiko) (90124354)	茨城県霞ヶ浦環境科学センター(湖沼環境研究室、大気・化学物質研究室)・湖沼環境研究室・センター長 (82124)	

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