

令和 4 年 5 月 6 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(B) (海外学術調査)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H04625

研究課題名(和文)水柱の基礎生産に果たすマングローブ林の新たな役割：インドネシアでの検証

研究課題名(英文)A new insight of the role of mangrove swamps in Indonesia

研究代表者

小池 一彦 (Koike, Kazuhiko)

広島大学・統合生命科学研究科(生)・教授

研究者番号：30265722

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,300,000円

研究成果の概要(和文)：世界各地で減少しつつあるマングローブ林の新たな役割を見出すために、マングローブ減少率の高いインドネシアのジャワ島沿岸で、マングローブ底泥上の微細藻の調査を行った。マングローブ人工林、自然林、エビ養殖地隣接林の3箇所を比較したところ、自然林が残るSitubondoで最も底生微細藻の多様性と存在量が大きく、エビ養殖地隣接林で最も低くなった。このような傾向は、東岸に国立公園の原生マングローブ林、西岸にエビ養殖地が隣接するPang Pang湾でも認められ、東岸の微細藻バイオマスが顕著に大きかった。これら底生微細藻は上げ潮時に水柱に懸濁し、それが湾全体の基礎生産にも貢献していることが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

世界各地で貴重なマングローブ林が失われつつある。アジアでも最も高いマングローブ林減少率が報告されているインドネシアでは、水産業の振興のためにエビ養殖池が建設され、それに伴ってマングローブ林が失われている。この研究は、マングローブ林が豊かであるほど、底泥上の底生微細藻が豊かで、高密度であることを示し、さらにその底生微細藻が沿岸域全体に広がることによって、海域全体の食物連鎖を支えている可能性について言及したものである。この、今まで知られていなかったマングローブ林の役割を社会に発信することで、マングローブ林が海域全体の水産業を支えていることを強調し、マングローブ林の保護につなげたい。

研究成果の概要(英文)：To know a cryptic contribution of mangrove forest, microphytobenthos (MPB) florae were investigated at the coast of Java, Indonesia, where deforestation rate has been notable. The flora and its biomass were richest at Situbondo where native forest was conserved, while they were lowest at the site (Banyuwangi) adjacent to shrimp culture ponds. Similar trend was observed at Pang Pang Bay whose east coast was facing to the native forest within the national park, and the west coast was to numerous shrimp ponds. On the east coast, highest and richest MPB biomasses were found which was contrary to those of the west coasts, and such rich MPB was confirmed to be suspended to the water column also, which might contribute overall biological production at the bay.

研究分野：水産学

キーワード：マングローブ 水産 インドネシア 食物連鎖

1. 研究開始当初の背景

マングローブ林とそこに広がるクリーク(水路)は、高い生物生産性を有する、熱帯を代表する沿岸環境である。インドネシアは世界の 23%にあたる 300 万 ha のマングローブ林を有するが(Giri et al, 2011. Glob Ecol Biogeo), エビ養殖池等の開発により近年 30 年の間に 40%が消失し(FAO 2007), 今や、世界最大のマングローブ林伐採国である(Campbell & Brown, 2015. The Conservation)。マングローブ林はインドネシアの経済にとって、水産にとって役に立たないものなのだろうか? 研究代表者はこれまでミャンマー沿岸で調査を進め、マングローブ林の底泥上には巨大な底生微細藻のバイオマスが存在し、それが懸濁することによって、沿岸域全体の基礎生産を担っていることについて報告してきた。このような実態は、未だ調査はされていないものの、広大なマングローブ林を有するインドネシアでもあり得ることで、その評価を正しく行えば、マングローブ林の沿岸生態に与える付加価値ともなる。

2. 研究の目的

世界有数のマングローブ林面積を誇るインドネシアにおいて、マングローブ林の保護状況別にサイトを設定し、底生微細藻類の構成、バイオマス、生産量、さらにそれらが水柱に懸濁して沿岸全体に与える基礎生産への貢献を定量化する。また、マングローブ林の開発と共に懸念される沿岸域の濁質化についてリモートセンシング手法を用いた長期広域モニタリングを行う。このような新たな視点に基づくマングローブ林の生態系サービスを客観的・科学的に比較検証することは、インドネシアのみならず、激減しつつある世界のマングローブ林の重要性を更に高める成果となり、その保全への応援材料となる。水産業新興のためマングローブ林を伐採して広大なエビ養殖池が作られている。このことが本当に持続的な水産業のあり方なのか、あらためて考える材料を提供する。

3. 研究の方法

(1) マングローブ林の保全状況別の底生微細藻フローラ

2016 年 9 月にジャワ島東部の Probolinggo, Situbondo, Banyuwangi において現場調査を行った。Probolinggo (図 1B) は人工的に植樹されたマングローブ林, Situbondo (図 1C) は村落から離れた自然のマングローブ林, Banyuwangi (図 1D) はエビ養殖池に近い破壊が進んだマングローブ林である。これらの地点でそれぞれ 5 地点、各地点で 3 箇所底泥を採集した。また栄養塩濃度や塩分等は底泥上の水たまりで行った(図 1A)。底泥試料に対しては顕微鏡観察を主体とした底生微細藻類フローラの観察を行った

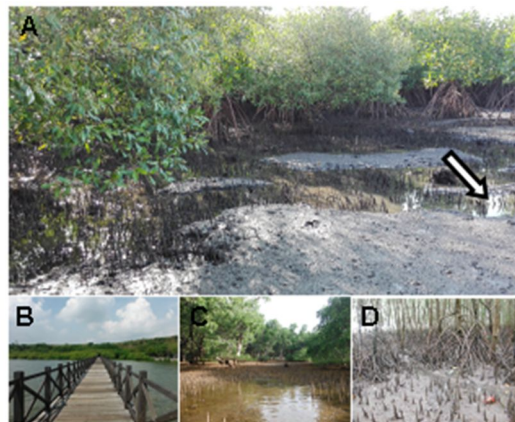


図 1. ジャワ島東部のサンプリングポイント。A; 底泥上の水たまり。B; Probolinggo, C; Situbondo, D; Banyuwangi

(2) Banyuwangi Pang Pang 湾での調査

2019 年 3 月にジャワ島東部の Pang Pang 湾に置いて更なる調査を行った。この湾は東部は国立公園のマングローブ原生林に接する一方、西部は大型のエビ養殖地に接し、ひとつの湾で対照的な環境を比較できると期待された。まず干潮時に海岸に上陸し、湾を囲む 5 地点で底泥を採集し(図 2, St 1-5), (1) 同様の解析に供した。翌日の満潮時には湾奥から湾港までを直線で結ぶ 5 地点を設定し(図 2, St A~E), それぞれで CTD 測定, 採水による底生微細藻類の懸濁状況, パルス変調蛍光法による基礎生産速度を調べた。リモートセンシング解析用の濁度推定アルゴリズムを開発するために、マングローブ林周辺海域において船舶からの分光反射率計測および水質(クロロフィル/濁度など)の計測を行った。さらにマングローブリターそのものが生態系に取り込まれているかの推定のために、海岸において様々な底生生物を採集し、消化管内のセルラーゼ活性を測定した。

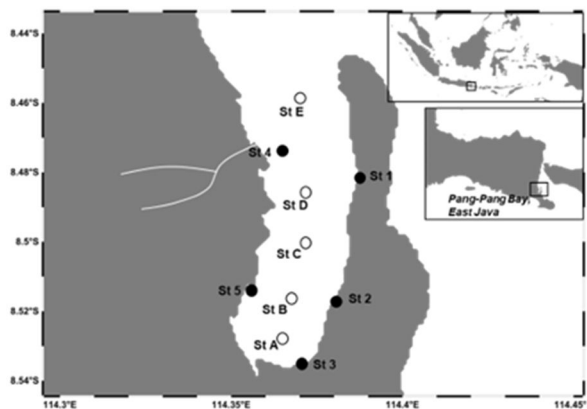


図 2. Pang Pang 湾の調査点

4. 研究成果

(1) マングローブ林の保全状況別の底生微細藻フローラ

図3に三地点別の底泥上のクロロフィルa量と、その光合成活性(F_v/F_m)を示す。クロロフィルa量はマングローブ林がもっとも保全されているSitubondoが他2地点と比べて有意に高かった。光合成活性はBanyuwangiが他2地点と比べて有意に低く、図示はしなかったが、エビ養殖地から流れ込んだと思われる高濃度のアンモニウム塩による光合成阻害が疑われた。

底泥上の微細藻類の観察結果によると(図4)、合計で27種の底生珪藻が見出された。うち、Probolinggoでは16種、Situbondoでは11種、Banyuwangiでは7種から構成されていた。*Thalassiosira decipiens*は全ての地点で発見された。特に注目すべきマングローブ自然林のSitubondoでは*Amphora crenulata*, *A. angusta* var. *orientalis*, *Cylindrotheca closterium*, *Nitzschia dissipata* var. *borneensis*, *Surirella fastuosa*, *Thalassionema nitzschioides*が特異的に出現した。Situbondoでは細胞体積換算のバイオマスが最も高く($183,495 \times 10^3 \pm 66,965 \times 10^3 \mu\text{m}^3 \text{cm}^{-3}$)、次にバイオマスの高いProbolinggoの2倍近かった。*N. gregaria*はProbolinggoとSitubondoを通じて細胞密度の視点では優占種であったが、細胞体積の観点では*S. fastuosa*が優占種となった。

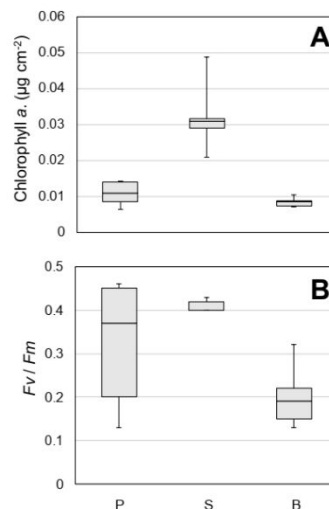


図3. Probolinggo (P), Situbondo (S), Banyuwangi (B)の底泥上のクロロフィルa(上)と F_v/F_m (下)

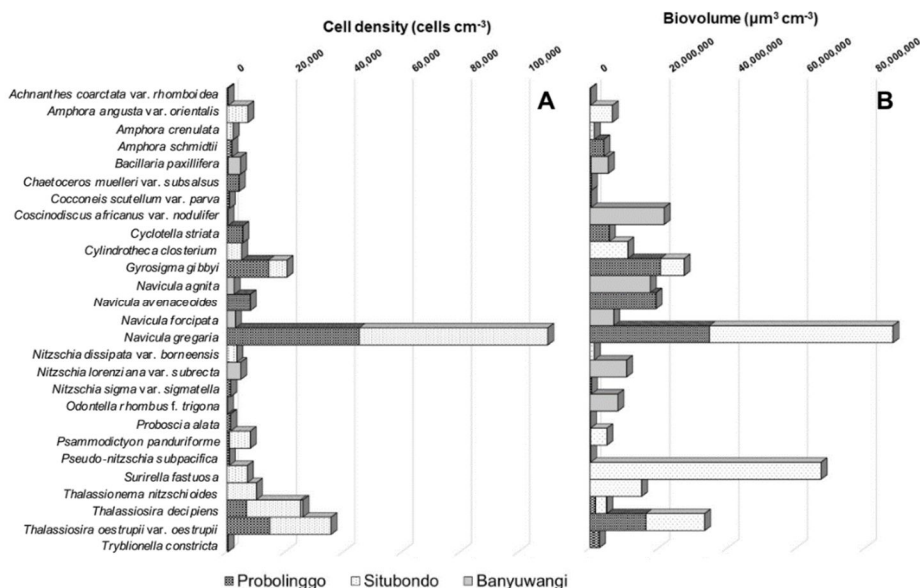


図4. Probolinggo (P), Situbondo (S), Banyuwangi (B)の底泥上の微細藻種組成

以上の、底生微細藻類の種構成および細胞密度を入力し、3地点各5箇所のクラスター分析を行った(図5)。その結果、同じ地点の複数箇所は、同じクラスターに位置し、Situbondo (S)の5地点と、Probolinggoの5地点は、同じ系統のクラスターに含有され、Banyuwangiのクラスターとは離れた。

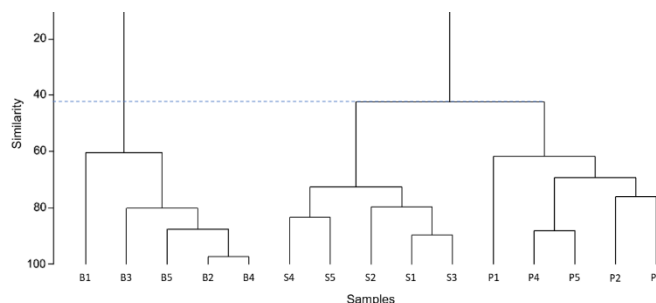


図5. 底生微細藻の構成種、細胞密度をもとにした Probolinggo (P), Situbondo (S), Banyuwangi (B)の各5箇所のクラスター分析結果

以上の結果は、マングローブ林の保全状態によって底生微細藻群集の構成、バイオマスが異なることを示し、もしそうであれば、自然林がよく残る Situbondo は特徴的な種と、大きなバイオマスを有し、それらが豊かな生物生産性に寄与していると想像された。その一方、エビ養殖地に隣接する Bayuwangi は底生微細藻のバイオマスも小さく、光合成活性も低く、生物生産性全体が低いことが示唆された。

(2) Banuwangi Pang Pang 湾での調査

図 6 に同湾での海岸の底泥上の微細藻バイオマス等の分布状況を示す。国立公園の原生マングローブ林が隣接する東部沿岸において、底泥上の微細藻バイオマスは有意に高く (図 6A), その活性によってか、底泥が酸化状態にあり、ORP (図 6E) の高さによって示された。一方、西岸は村落及びエビ養殖池に隣接することから亜硝酸、アンモニウム塩が有意に高く (図 6H, I), 排水が流入していることが示唆された。

これら底泥上には 56 種の底生微細藻類が認められた (図 7)。クロロフィル a 量でも示されたように、もっとも細胞密度が高かったのは St 1 であり、 $448,380 \text{ cells cm}^{-3}$, $1,666 \times 10^6 \mu\text{m}^3 \text{ cm}^{-3}$ を示した。湾全域を通じてもっとも普遍的に出現したのは *Diploneis litoral* ($120,509 \text{ cells cm}^{-3}$) で、次いで *Navicula agnita* ($110,738 \text{ cells cm}^{-3}$) であった。ただしこれらの種は細胞サイズが小さく、バイオマスへは大きく貢献しなかった。その一方、*Surirella* sp. 1 ($64,597 \text{ cells cm}^{-3}$) と *Tryblionella granulata*, ($47,769 \text{ cells cm}^{-3}$) は細胞密度は低いものの、大きな細胞サイズからバイオマスへの貢献は大きく、それぞれ 688×10^6 and 890×10^6

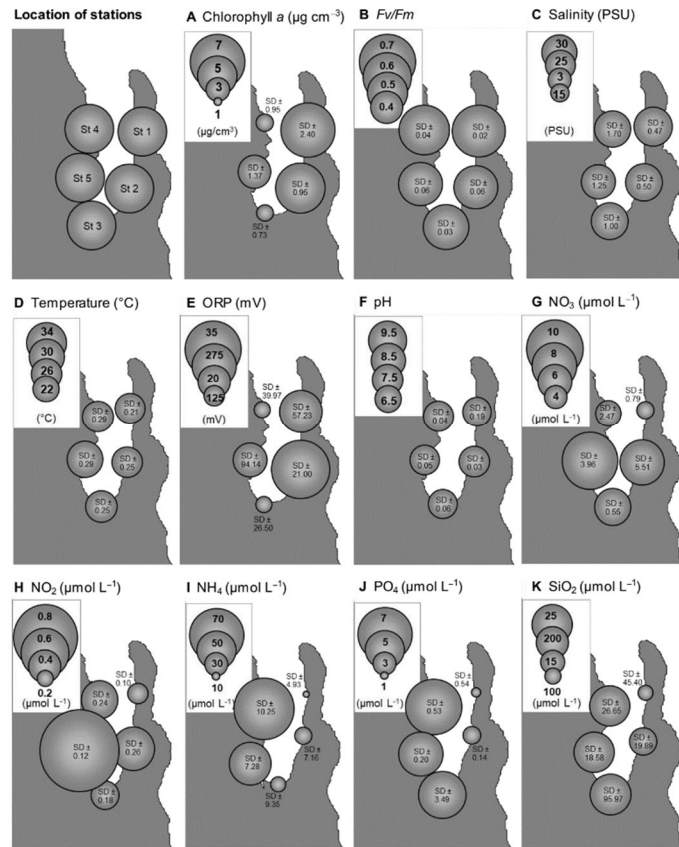


図 6. Pang Pang 湾の海岸地点でのサンプリング結果

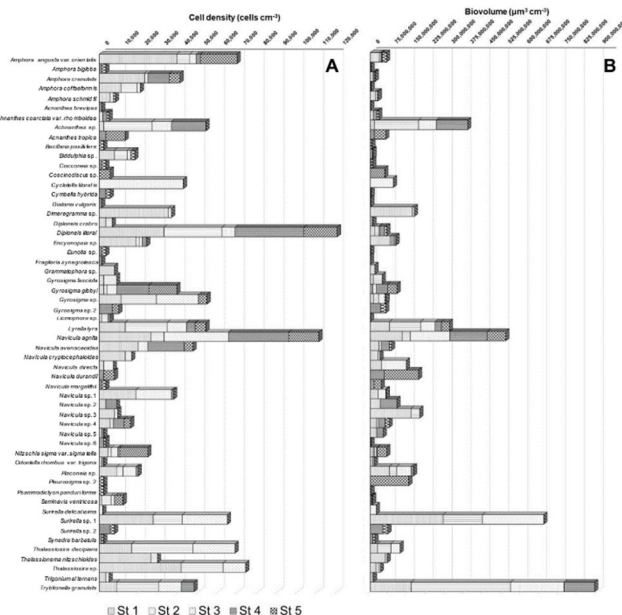


図 7. Pang Pang 湾の海岸地点での底生微細藻の出現

$\mu\text{m}^3 \text{ cm}^{-3}$ となった。*Cyclotella litoralis*はもっとも湾奥の St 3 のみに出現した。

翌日の満潮時に湾奥から湾口に向けた直線のトランセクトライン上で水柱の物理・化学パラメーター及びクロロフィル a の懸濁状態を調べた(図 8)。その結果,もっとも湾奥から高濃度のクロロフィル a が底層伝いに湾全域に広がる様子が確認され,底生微細藻は水柱への基礎生産にも貢献している様子がうかがえた。ただし,クロロフィル a の懸濁と共に濁質も水柱に懸濁し,その濁度によって水柱の基礎生産速度は湾奥で最も低くなった。

リモートセンシングの結果,現場データセットから衛星 Sentinel-2(解像度 10m,10 日周期)使用を念頭とした場合,Band 3 (560 nm) と Band 2 (490 nm)の比が濁度と高い相関があることがわかり,実際の衛星データセットでその有効性を確かめるとともに現地の濁度分布を把握し,本成果の一部を ISRS2019 の Proceedings で公表した。また,Pang Pang 湾では取得した衛星画像から,湾内の水温分布,推定クロロフィル濃度を可視化した。その結果,湾に注ぎ込む二つのクリークからのクロロフィル流入量が高いものの,湾奥の底泥上から流出してきたと思われる高クロロフィル帯も認められ,やはり湾内全体の生産性に底生珪藻が寄与していることが示唆された。

底生動物のセルラーゼ分析の結果,以前の研究ではセルラーゼ活性を有することが報告されていなかった軟体動物(*Tegillarca nodifera*, *Gafrarium pectinatum*, *Paratapes undulata*, *Saccostrea malabonensis*, *Cerithium coralium*, *Murex trapa*, *Pirenella nipponica*, *Supplanaxis niger*) 節足動物(*Uca chlorophthalmus*) および腔腸動物(*Zoanthus aff. kuroshio*) に属する無脊椎動物にセルラーゼ活性が広く分布することを明らかにした。さらに,セルラーゼ活性は,マングローブ干潟の落ち葉や堆積物,また湾内の海底堆積物にも検出され,バクテリアやメイオセントスなどの関与が示唆された。また,これまで堆積物中の有機物はタンパク質やデンプンなどの易分解性とセルロースやリグニンなどの難分解性に区分されてきたが,セルロースはヘミセルロースなどと共に生物分解を受けることから,食物連鎖の視点では準難分解性有機物として取り扱うことが適切であると考えた。更に,湿地に生息する無脊椎動物が保持しているセルラーゼが食物連鎖で果たす役割を理解するために,既報告の研究成果をレビューし,水生無脊椎動物のセルラーゼに関する情報を更新した。この研究からは上述した様々な無脊椎動物が有するセルラーゼ活性が内源性であるかどうかの確実な判断を下すことができなかったが,多種多様な底生性生物がセルラーゼ活性を有していることは陸域から運搬されてくる有機物分解に様々な無脊椎動物が持っているセルラーゼが大きく寄与していることが推察されている。

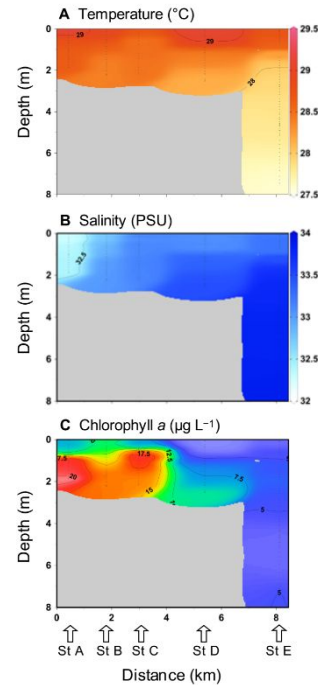


図 8. Pang Pang 湾の湾奥から湾口までの各種パラメーターの分布

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Liu, W., Ayu-Lana-Nafisyah, Koike, K., Matsuoka K	4. 巻 75
2. 論文標題 Reappraisal of cellulase activities in mangrove wetlands resulting from preliminary investigations in East Java, Indonesia.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Bulletin of the Osaka Museum of Natural History	6. 最初と最後の頁 15-27
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 該当する
1. 著者名 Ayu Lana Nafisyah, Endang Dewi Masithah, Kazumi Matsuoka, Mirni Lamid, Mochammad Amin Alamsjah, Shizuka Ohara, Kazuhiko Koike	4. 巻 84
2. 論文標題 Cryptic occurrence of <i>Chattonella marina</i> var. <i>marina</i> in mangrove sediments in Probolinggo, East Java Province, Indonesia	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Fisheries Science	6. 最初と最後の頁 877-887
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s12562-018-1219-0	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 該当する
1. 著者名 SAKUNO Yuji, MORIMOTO Masato	4. 巻 74
2. 論文標題 NEAR INFRARED SPECTRAL REFLECTANCE CHARACTERISTICS FOR DETECTING PLASTIC GARBAGE ON THE COAST AND THE FEASIBILITY OF ITS DETECTION FROM SATELLITE	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B2 (Coastal Engineering)	6. 最初と最後の頁 I_1471 ~ I_1476
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2208/kaigan.74.I_1471	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 SAKUNO Yuji	4. 巻 75
2. 論文標題 CHARACTERISTICS OF TRANSPARENCY DISTRIBUTION OFF HIROSHIMA PREFECTURE BEFORE AND AFTER IN THE WEST JAPAN HEAVY RAIN DISASTER USING FIELD SURVEY AND SATELLITE DATA	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B2 (Coastal Engineering)	6. 最初と最後の頁 I_1045 ~ I_1050
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2208/kaigan.75.I_1045	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 Sakuno Yuji, Yajima Hiroshi, Yoshioka Yumi, Sugahara Shogo, Abd Elbasit Mohamed, Adam Elhadi, Chirima Johannes	4. 巻 10
2. 論文標題 Evaluation of Unified Algorithms for Remote Sensing of Chlorophyll-a and Turbidity in Lake Shinji and Lake Nakaumi of Japan and the Vaal Dam Reservoir of South Africa under Eutrophic and Ultra-Turbid Conditions	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Water	6. 最初と最後の頁 618 ~ 618
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/w10050618	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 Sakuno Yuji, Yajima Hiroshi, Yoshioka Yumi, Sugahara Shogo, Abd Elbasit Mohamed, Adam Elhadi, Chirima Johannes	4. 巻 10
2. 論文標題 Evaluation of Unified Algorithms for Remote Sensing of Chlorophyll-a and Turbidity in Lake Shinji and Lake Nakaumi of Japan and the Vaal Dam Reservoir of South Africa under Eutrophic and Ultra-Turbid Conditions	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Water	6. 最初と最後の頁 618 ~ 618
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/w10050618	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7件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 6件)

1. 発表者名 Ayu-Lana-Nafishyah, Koike K
2. 発表標題 Diversity of benthic diatoms inhabiting on/in the sediment of mangroves in Indonesia
3. 学会等名 Ocean Science Meeting, San Diego, USA (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hagiwara A, Ayu-Lana-Nafisyah, Tanaka D, Koike K
2. 発表標題 Diversity and environmental tolerance of benthic diatoms
3. 学会等名 Ocean Science Meeting, San Diego, USA (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Ayu Lana Nafisyah, Endang Dewi Masithah, Kazuhiko Koike
2. 発表標題 The unique microalgae supporting mangrove swamps: Case of Indonesia
3. 学会等名 Association for Tropical Biology and Conservation 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kazuhiko Koike
2. 発表標題 Zooxanthellae as the foundations of coral reef communities
3. 学会等名 The 1st International Conference on Fisheries and Marine (InCoFIMS) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yoshihiro Nakajima, Sou Hirae, Toshifumi Yamatogi, Kazuhiko Koike
2. 発表標題 Karenia mikimotoi 's inability adapting to fluctuating light may control their migration to mid-deep layer
3. 学会等名 The 18th International Conference on Harmful Algae (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ryoko Yano, Shizuka Ohara, Kazuhiko Koike
2. 発表標題 Rapid analysis of nutrient deficiency in red tide forming diatoms, based on a principal of nutrient-induced fluorescence transients (NIFTs)
3. 学会等名 The 18th International Conference on Harmful Algae (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ayu Lana Nafisyah, Endang Dewi Masithah, Annur Ahadi Abdillah, Kazuhiko Koike
2. 発表標題 Microphytobenthos florae as the "secret garden" covering mangrove sediment
3. 学会等名 日本プランクトン学会・日本ベントス学会合同大会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 三本木 至宏、上田 晃弘、杉野 利久、鈴木 卓弥、富山 毅、船戸 耕一	4. 発行年 2021年
2. 出版社 共立出版	5. 総ページ数 256
3. 書名 SDGsに向けた生物生産学入門	

〔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	作野 裕司 (Sakuno Yuji) (20332801)	広島大学・工学研究科・准教授 (15401)	

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		
インドネシア	Airlangga University		