

令和 5 年 6 月 3 日現在

機関番号：82627

研究種目：基盤研究(A)（一般）

研究期間：2018～2022

課題番号：18H04156

研究課題名（和文）食物網構造とCO₂ガス交換のカップリングによる浅海域における炭素循環の統一的理解研究課題名（英文）Unified understanding of carbon cycling by coupled CO₂ gas exchanges and food web structures in shallow coastal ecosystems

研究代表者

桑江 朝比呂（Kuwaie, Tomohiro）

国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所・港湾空港技術研究所・領域長

研究者番号：40359229

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 33,900,000円

研究成果の概要（和文）：浅海生態系では、水温、栄養塩濃度、光量などの外部環境が海草藻類や植物プランクトンといった一次生産者の現存量や生産速度を決定するとともに（ボトムアップ効果）、植食動物による植食（トップダウン効果）にも強く影響を受ける。すなわち、大気-浅海生態系間のCO₂ガス交換は、ボトムアップ効果とともに植食者を鍵とする食物網構造によっても決定づけられると考えられる。したがって本研究では、一次生産者の現存量と生産速度、そしてそれぞれに影響を与える因子として植食動物に焦点を当て、現地調査と操作実験により食物網構造とCO₂ガス交換過程の関連性を検討した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

学術的には、食物網構造という生態学の中心的課題と、大気-生態系間CO₂ガス交換という気候科学あるいは生物地球化学分野の重要プロセスとのリンクを「炭素のストックとフロー」という共通のプロセスから見直し、統一的理解につなげる新たな学術分野の創出が期待される。社会的には、「CO₂吸収や炭素貯留機能が高い生態系は、生産された有機物が難分解・難利用性で、上位栄養段階の動物消費者へのエネルギーや炭素フローが少なくなるのではないか」といった生態系サービスのトレードオフ効果や、「植食者の調整（磯焼け対策）による漁業生産の改善がCO₂吸収にもつながる」といったシナジー効果についての展開が期待される。

研究成果の概要（英文）：In shallow coastal ecosystems, the abundance and productivity of primary producers such as macrophytes and phytoplankton (bottom-up effects) are strongly influenced by environmental factors such as water temperature, nutrients, and light intensity, as well as by herbivores (top-down effects). Therefore, CO₂ gas exchange between the atmosphere and shallow coastal ecosystems is also likely to be determined by the the food web structure, which is mainly shaped by the top-down effect, in addition to the bottom-up effect. In this study, we focused on herbivory as a factor influencing the abundance and productivity of primary producers, and investigated the relationship between food web structure and the CO₂ gas exchange process through field surveys and manipulative experiments.

研究分野：沿岸における生態学，物質循環，環境工学

キーワード：二酸化炭素 一次生産者 植食動物 生態系サービス トップダウン効果

1. 研究開始当初の背景

海洋が大気中の CO₂ を正味で吸収していることはよく知られているが、この事実は外洋や陸棚のみが対象範囲であり、IPCC AR5 (2013) の推計に河口・浅海(以降浅海域と略す)は含まれていない。これは、浅海域が複雑な場であり、多くの要因により状態が時空間的に大きく変化し解析が困難で、計測技術も制約され、外洋や陸棚と比較して知見が乏しいためである。数少ない研究例によると、浅海域は陸域からの負荷の影響を受けるため、有機物の分解や呼吸が卓越する CO₂ の排出源であるとされていた(例えば Regnier et al. 2013)。

しかしながら、応募者は「浅海域でも条件次第で CO₂ を正味で吸収する場となり得る」という通説とは異なる仮説を立て、その検証をすすめてきた。その結果、海草場が年間収支で大気中 CO₂ の吸収源となり得ることを、世界で初めて実証した(Tokoro et al. *Glob. Change Biol.* 2014)。そして、吸収源の条件として、生態系全体の光合成量から呼吸分解量を差し引くことで求められる生態系純生産量(NEP)が正の値であることを提示した。

以上の研究から、新たな研究課題がみえてきた。すなわち、NEP が大きく大気中 CO₂ の吸収源になりやすいシステムの特徴は、(1)一次生産者の現存量が多い、(2)現存量当たりの生産速度が速い、そして(3)生産された有機物もしくは流入有機物の呼吸分解による CO₂ への再帰が少ない(消費者や分解者による利用性が低い)と一般的に理解できる。浅海生態系では、水温、栄養塩濃度、光量などの外部環境が大型植生や植物プランクトンといった一次生産者の現存量や生産速度を決定するとともに(ボトムアップ効果)、植食動物による植食(トップダウン効果)といった栄養カスケードによっても、一次生産者の現存量や生産速度は強く影響を受ける。したがって、大気-浅海生態系間の CO₂ ガス交換は、ボトムアップ効果とともに植食者を鍵とする食物網構造によっても決定づけられることを予見させる。しかしながら、学術分野が大きく異なることがギャップとなっているためか、CO₂ 交換過程と食物網構造とを結びつけた既往研究は見当たらず、生態系内の炭素貯留量と食物網構造との関係を論じた研究が数例あるのみにとどまっている(Wilmers et al. 2012; Atwood et al. 2015)。

2. 研究の目的

一連の研究で得られた結果と課題をふまえると、「浅海生態系における大気との CO₂ ガス交換を規定する要因として、食物網構造が鍵となりうる」という仮説は妥当であると考えられる。したがって本研究では、一次生産者の現存量と生産速度に影響を与える因子として植食動物(トップダウン効果)に焦点を当て、現地調査と操作実験により食物網構造と CO₂ ガス交換過程の関連性を実証する。そして、浅海域における望ましい炭素循環像に迫るため、「炭素のストックとフロー」という共通の過程から食物網構造と CO₂ ガス交換過程を統合的に理解する新たな環境学分野の基盤創出を目的とする。

3. 研究の方法

大型海藻藻場における炭素循環の実測と植食動物の影響

大型海藻藻場の CO₂ ガス交換とそれに寄与する水中の炭素フローの関係性について、山口県平郡島のガラモ場において現地調査を実施した。対象となるガラモ場とその周辺海域で表層海水を採取し、炭酸系成分(溶存無機炭素, DIC; アルカリ度, TA), 溶存有機炭素(DOC)の分析を行った。大型海藻の DIC, TA, DOC の代謝速度はフィールドバッグ法(図1)によって計測し、これらパラメータの時間変化から光合成速度、呼吸速度、群集純生産速度(NCP)、石灰化速度、DOC 放出速度を計算した。大型海藻の代謝パラメータと現場の各態炭素濃度変化を用いてマスバランスモデルにより、対象藻場の炭素収支と CO₂ ガス交換量を定量化した。また、大型海藻から採取した DOC を生物分解実験に供することで、難分解性 DOC を推定した。

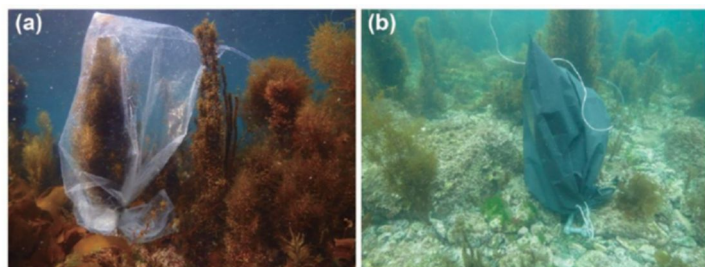


図1 大型海藻の代謝を計測するためのフィールドバッグ実験の様子。明暗両条件の代謝を計測するために透明バッグ(a)と黒色バッグ(b)を設置した。

植食動物が大型海藻藻場の炭素循環に与える影響について検証するために、2019年9月から2020年1月にかけて現場操作実験を実施した。植食動物として全国的に認知されているアイゴを用いて実験した。天然のガラモ場にケージを設置し、(A)アイゴ無区、(B)天然アイゴ加入区、(C)アイゴ放流区、(D)コントロール区の4実験区を設けた(図2)。天然環境のアイゴの活動が低下する12月にアイゴをケージから取り出した。9月、10月、12月、1月に各ケージ



図2 アイゴ食害操作実験の様子

内の海藻の被度、バイオマス、株数、平均藻長の計測を実施し、アイゴによる食害が海藻に与える影響をモニターした。また、12月、1月には各ケージにプラスチックバッグを被せ、内部の藻場の炭素代謝を計測した(図2)。実験開始時と12月にアイゴを捕獲し、体長・体重を計測するとともに、筋肉の安定同位体分析を実施して、実験中の餌料の推定を行った。

植食動物が海草藻場の有機炭素貯留機能へ及ぼす影響

典型的な植食動物には、大型海洋脊椎動物(哺乳類、爬虫類)も存在する。中でも、気候変動と保護活動の影響によりアオウミガメの個体数が近年増加に転じ、海草藻場への植食圧が高まっていることが各地

で報告されている(Okuyama et al. 2020)。亜熱帯海草藻場においてCO₂吸収能が高いウミシヨウブはアオウミガメに選択的に摂食され、分布北限となる石垣島においても2018年以降に植食圧が増大している(環境省2023)。そこで、アオウミガメの植食圧によるウミシヨウブCO₂吸収量の変化を定量化するために、植食圧により地上部が消失した吹通川河口のウミシヨウブ藻場にアオウミガメの侵入を防ぐ1.2 m×1.2 m(高さ1 m)の防護ケージ2基を2022年3月に設置し、ケージ内とケージ外対照区(食害区)でのウミシヨウブの成長速度と現存量の変化を観測した。

忌避物質の蓄積特性と被食・分解に与える影響

陸上高等植物の環境応答について多くの先行研究が報告されており、窒素負荷に対する植物の応答として成長(窒素含量およびクロロフィル含量)と防御(構造物物質およびフェノール性忌避物質等)にトレードオフがはたらくことが広く知られている。本実験では海草類アマモ(*Zostera marina*)の成長や防御が窒素負荷の影響を受けることで、最終的な分解速度(アマモ場による炭素貯留量)も変化すると仮説を立て、以下の一連の実験を通じて検証した。

実験I: 窒素供給環境が異なると予想される北海道厚岸湾(AK)および厚岸湖(CL・CK)のアマモを実験対象として、窒素供給量等の環境の違いが上記に述べた成長と防御に関わるアマモの体内成分に与える影響について実測による評価を行った。

実験II: 藻場から流出した藻体が辿り着く代表的な海洋環境条件として、堆積物中(嫌氣的・高栄養・攪乱なし)、外洋表層(好氣的・貧栄養・攪乱あり)、中深層(好氣的・高栄養・攪乱あり)が想定される。これらの現場環境を再現したボトル内にて60日間培養することにより、アマモの生育する環境条件の違いがもたらしたアマモの体内成分の違いが、微生物による草体の分解特性に与える影響について考察した。

4. 研究成果

大型海藻藻場における炭素循環の実測と植食動物の影響

大型海藻の炭素代謝と海水交換による横方向の炭素輸送が藻場内外のCO₂ガス交換に寄与していることが示された(Watanabe et al., 2020)。大型海藻の高いNCPとDOC放出によって、藻場表層水は低CO₂分圧かつ高DOC濃度の水となる。これが海水交換によって効率的に藻場から沖合へと輸送されていた(図3)。藻場から輸送された表層水は沖合水のCO₂分圧を下げ、CO₂吸収域が藻場から外へと拡大していくことを示している。

平郡島ガラモ場のNCP(302–1378 mmol C m⁻² d⁻¹)に対して、6%–35%の炭素はDOC(96–125 mmol C m⁻² d⁻¹)として沖合域に輸送されていた。DOCの生物分解実験の結果からは56–78%が年スケールで分解されない難分解性DOCであると計算され、ここからガラモ場NCPのうち5%–20%が難分解性DOCとして系外に輸送されると推定された(図3)。

大型海藻藻場は比較的波当たりが良い場所を好むというその立地条件から、海水交換によってCO₂吸収源が藻場の周辺に拡大していくことが分かった。また、CNPのうちかなりの割合を難分解性DOCとして沖合域に輸送している可能性が示唆された。こうしたプロセスが大型海藻による炭素貯留において重要であると考えられる。

実験に供した飼育アイゴの肥満度は実験区へ導入した9月時点では平均10.9と低かったが、12月時点では平均14.4と増加し、天然アイゴと同水準になった。このことからアイゴはケージ内で十分に摂餌を行っていると考えられた。一方、被度やバイオマス、株数などに対する植食者の明瞭な影響は見られなかった。海藻バイオマスを顕著に減少させるほどの摂餌圧にはなっ

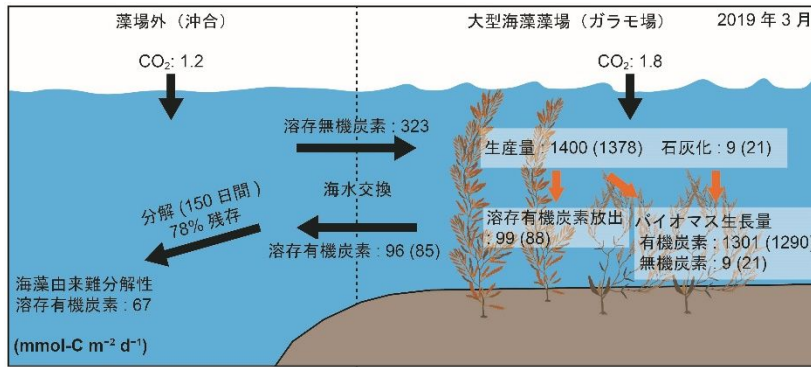


図3 現場観測とマスバランスモデルによって推定された平郡島ガラモ場における炭素収支。

いなかった可能性がある。

各実験区内の海藻重量当たりNCPについて12月と1月で逆の傾向が見られた。12月は天然アイゴ区、アイゴ有区でNCPが小さい傾向が見られたが、1月では逆に若干高かった。12月まではアイゴがケージ内にいたため、食害による影響でNCPが下がっていた可能性がある。一方、1月は食害の影響がない時期であるため、これまでの食害から解放され補償成長によりNCPがアイゴ無し区と同程度になっていた可能性がある。こうした食物網-海藻炭素動態の複雑な関係についてより詳細な検証が今後必要である。

植食動物が海草藻場の有機炭素貯留機能へ及ぼす影響

ケージを設置した2022年3月以降アオウミガメの植食は恒常的に生じているらしく、植食を受けた後、地上部が再成長して伸長したとたんに再度植食されており、ウミショウブ草丈 (cm) は常に短い状態に維持されていた (図4)。ケージ区の個体はアオウミガメの植食を回避して順調に成長を続け、3か月後にはケージ区と対照区で明瞭な草丈の差が生まれ、最大草丈に達する9月 (6か月後) にはケージ区内は食害を受けていないウミショウブと同じ草丈に達した。ところが、2023年3月 (12か月後) の観測時にはケージ区内のウミショウブも植食を受けており、ケージ内の草丈もケージ外と同等の長さになっていた。おそらくアオウミガメがケージに慣れてしまい、特に小型の個体がケージ内へ侵入し植食したと考えられた。

単位面積当たりのウミショウブ現存量 (地上部 + 地下部) はケージ設置により6か月でアオウミガメの植食圧を受ける以前の2010年の状態にまで回復し、時には2010年を超える現存量となったことが明らかになった。アオウミガメの植食圧により減少したウミショウブ現存量を平均値で単純算定した場合、約1,300 gDW/m²の損失となる。ケージ区と対照区それぞれの最大値間での差では約2,200 gDW/m²、最小値間での差では約450 gDW/m²と見積もられた。これらの現存量差をCO₂貯留量として換算すると、平均値間の差では4.89 tCO₂/ha、最大値間の差では8.28 tCO₂/ha、最小値間の差では1.69 tCO₂/haと算定される。2010年時の最大現存量では平均値で1,200 gDW/m²であるため、植食されない場合のCO₂貯留量は4.52 tCO₂/haと算定される。つまり、アオウミガメの植食によりウミショウブの常時のCO₂貯留量以上のCO₂排出を引き起こす可能性を示していると考えられる。

海草類のCO₂貯留プロセスのうち地上部草体からのDOC放出について、ケージ外のアオウミガメに地上部を植食されたウミショウブ個体とケージ内の植食から逃れた個体間で比較した。その結果、ケージ内個体では光合成量が増加しDOC放出が少ない一方、ケージ外個体では光合成量が減少しDOC放出が増えていた。ケージ内個体では有機炭素を草体に取り込む傾向にシフトし、ケージ外個体は草体の有機炭素を放出する傾向にシフトしたことを意味する。このようなDOC放出は地下部の

貯留成分を減少させるなどさらなるCO₂貯留の消失を引き起こす要素となりうる。つまり現存量変化だけでなく、各貯留プロセスの残存率も変化する可能性がある。アオウミガメの植食によるウミショウブCO₂貯留への影響の解明には、このようなCO₂貯留プロセス別の影響を把握することも必要である。

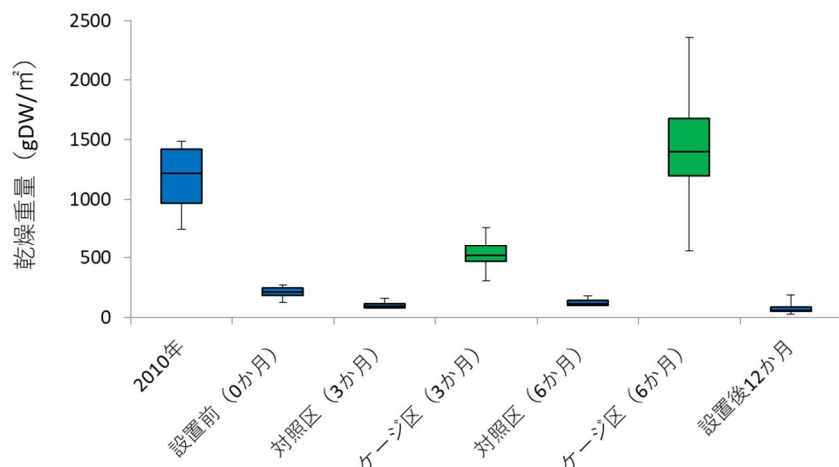


図4 ウミショウブ現存量 (地上部 + 地下部) の時空間変異

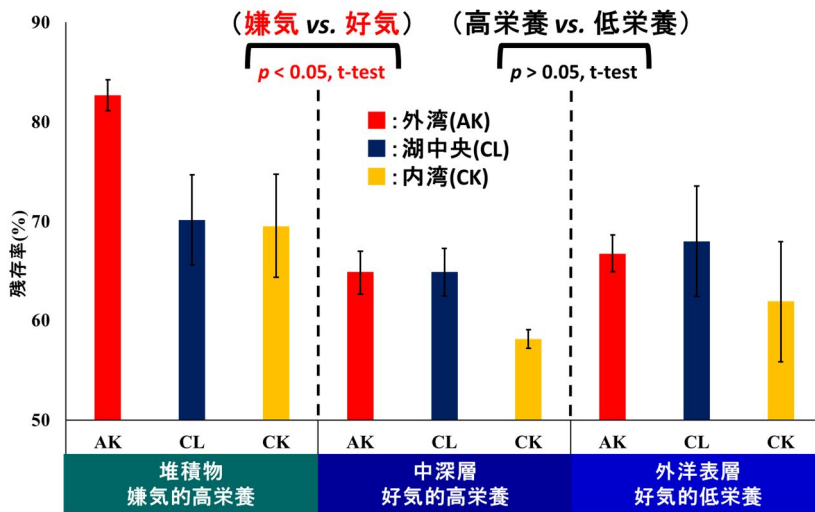


図5 窒素負荷の異なる地点毎に採取したアマモの環境条件別の残存率

忌避物質の蓄積特性と被食・分解に与える影響

実験 I: 窒素負荷が大きい場所ではアマモ葉中の総フェノールおよび縮合タンニンの含有量は少なくなる関係を示す事例が確認された。セルロースに関しては窒素負荷による影響は見られず、物理攪乱や生活史の違いが影響する可能性が考えられる。

実験 II: 60 日の培養におけるアマモの残存率は窒素負荷の強い地点の試料ほど低下し、環境条件は嫌気的条件下よりも好気的条件下において、低栄養条件より

も高栄養条件にて残存率は低下した。他の実験結果から、窒素負荷の違いはアマモの窒素含量やフェノール性忌避物質等の難分解性有機物の含有量に影響し、窒素負荷の強い場所ではアマモの分解量が大きくなる傾向にあるため、炭素貯留効果は小さくなると考えられる。

上述した実験 ~ II より 陸上高等植物と同様にアマモは窒素負荷に対して環境応答を示し、窒素供給環境の違いは葉中の窒素含有率および難分解性有機物量に反映されることで、分解特性にも影響を及ぼすことが明らかとなった。日本の内湾海域は、平均海水温、集水域からの栄養塩負荷量、海域地形に起因する海水交換量が大きく異なる。本研究の結果より、海草類・海藻類の分解特性は個々の海域ごとに大きく異なることが想定され、さらには沿岸域の海流や海底地形の違いから、流出した藻体が湾内部の海底下に蓄積されやすいか、外洋域の中深層域に速やかに移行されるかによっても異なると考えられる。今後ブルーカーボンの活用が本格化していく中で、一定面積当たりの炭素貯留機能を最大限まで引き上げた藻場を造成することは 1 つの観点であるが、その造成地点の選定に際して検討される環境条件として窒素供給環境は重要な要素の 1 つであり、本研究の成果はその評価基準に寄与する知見であると考えられる。

以下に本研究成果を簡潔にまとめる。

- (1) 海藻藻場 (ガラモ場) の存在により、大気中 CO_2 吸収源としての機能が強化された。そのメカニズムとして、海藻が生産した DOC の一部が難分解化あるいは藻場外に輸送されることにより、海洋中での炭素貯留量が増加することが明らかとなった。
- (2) ガラモ場における植食動物 (アイゴ) の囲い込み実験からは、植食動物により NCP が抑制されるが、植食の影響から解放されるとむしろ補償成長により NCP が高まる可能性が示された。
- (3) 植食動物 (アオウミガメ) の排除実験からは、植食動物により海草内への炭素貯留量が減少し、吸収源から排出源になってしまうほどの効果をもたらす可能性が示された。
- (4) アマモの分解実験からは、窒素負荷の弱い地点、嫌気条件、低栄養条件ほど有機炭素の残存率 (炭素貯留効果) 高まった。このことから、炭素貯留効果を高める環境条件として窒素供給環境が重要な要素の 1 つであることが示された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計31件（うち査読付論文 31件／うち国際共著 15件／うちオープンアクセス 25件）

1. 著者名 Kuwae, T., J. Hosoya, K. Ichimi, K. Watanabe, T. Moriya, R. W. Elner, M. C. Drever, and K. A. Hobson	4. 巻 200
2. 論文標題 Using stable isotope (^{13}C , ^{15}N) values from feces and breath to infer shorebird diets	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Oecologia	6. 最初と最後の頁 23-35
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00442-022-05257-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 Hobson, K. A., T. Kuwae, M. C. Drever, W. Easton, and R. W. Elner	4. 巻 10
2. 論文標題 Biofilm and invertebrate consumption by western sandpipers (<i>Calidris mauri</i>) and dunlin (<i>Calidris alpina</i>) during spring migratory stopover: insights from tissue and breath CO_2 isotopic (^{13}C , ^{15}N) analyses	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Conservation Physiology	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) 10.1093/conphys/coac006	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 Sugimura, Y, T. Okada, T. Kuwae, Y. Mito, R. Naito, Y. Nakagawa	4. 巻 141
2. 論文標題 New possibilities for climate change countermeasures in ports: The creation of blue carbon ecosystems and dredged soil containment countermeasures through port development projects in Japan	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Marine Policy	6. 最初と最後の頁 105072-105072
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.marpol.2022.105072	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 Tokoro, T. and T. Kuwae	4. 巻 9
2. 論文標題 Air-water CO_2 and water-sediment O_2 exchanges over a tidal flat in Tokyo Bay	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Frontiers in Marine Science	6. 最初と最後の頁 989270-989270
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fmars.2022.989270	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 Akhand, A., A. Chanda, K. Watanabe, S. Das, T. Tokoro, S. Hazra, T. Kuwae	4. 巻 67
2. 論文標題 Drivers of inorganic carbon dynamics and air-water CO2 fluxes in two large tropical estuaries: insights from coupled radon (222Rn) and pCO2 surveys	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Limnology and Oceanography	6. 最初と最後の頁 S118-S132
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/lno.12075	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 Kennedy, H., Pages, J. F., Lagomasino, D., Arias-Ortiz, A., Colarusso, P., Fourqurean, J. W., et al.	4. 巻 36
2. 論文標題 Species traits and geomorphic setting as drivers of global soil carbon stocks in seagrass meadows	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Global Biogeochemical Cycles	6. 最初と最後の頁 1-15
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2022GB007481	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 Kuwae, T., Watanabe, A., Yoshihara, S., Suehiro F., and Sugimura, Y.	4. 巻 138
2. 論文標題 Implementation of blue carbon offset crediting for seagrass meadows, macroalgal beds, and macroalgae farming in Japan	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Marine Policy	6. 最初と最後の頁 104996-104996
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.marpol.2022.104996	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 Kuwae T., Elner, R. W., Amano, T., and Drever, M.C.	4. 巻 2
2. 論文標題 Seven ecological and technical attributes for biofilm-based recovery of shorebird populations in intertidal flat ecosystems	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Ecological Solutions and Evidence	6. 最初と最後の頁 e12114-e12114
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/2688-8319.12114	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 Kuwae, T. and S. Crooks	4. 巻 63
2. 論文標題 Linking climate change mitigation and adaptation through coastal green?gray infrastructure: a perspective	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Coastal Engineering Journal	6. 最初と最後の頁 188-199
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/21664250.2021.1935581	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 Akhand, A., A. Chanda, K. Watanabe, S. Das, T. Tokoro, S. Hazra, T. Kuwae	4. 巻 126
2. 論文標題 Reduction in riverine freshwater supply changes inorganic and organic carbon dynamics, and air-water CO2 fluxes in a tropical mangrove dominated estuary	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research Biogeosciences	6. 最初と最後の頁 e2020JG006144
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2020JG006144	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 Watanabe, K., and T. Kuwae	4. 巻 58
2. 論文標題 An unintended ecological benefit from human intervention: The enhancement of carbon storage in seagrass meadows	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Ecology	6. 最初と最後の頁 2441-2452
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/1365-2664.13977	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 Van Dam, B., P. Polsenaere, A. Barreras-Apodaca, C. Lopes, Z. Sanchez-Mejia, T. Tokoro, T. Kuwae, L. G. Loza, A. Rutgersson, J. Fourqurean, and H. Thomas	4. 巻 35
2. 論文標題 Global trends in air-water CO2 exchange over seagrass meadows revealed by atmospheric Eddy Covariance	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Global Biogeochemical Cycles	6. 最初と最後の頁 e2020GB006848
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2020GB006848	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 Okada, T., Y. Mito, Y. B. Akiyama, K. Tokunaga, H. Sugino, T. Kubo, T. Endo, S. Otani, S. Yamochi, T. Kozuki, T. Kusakabe, K. Otsuka, R. Yamanaka, T. Shigematsu, and T. Kuwae	4. 巻 212
2. 論文標題 A comparative method for evaluating ecosystem services from the viewpoint of public works	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Ocean and Coastal Management	6. 最初と最後の頁 105848
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ocecoaman.2021.105848	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 Okada T, Y. Mito, Y. B. Akiyama, K. Tokunaga, H. Sugino, T. Kubo, T. Endo, S. Otani, S. Yamochi, Y. Kozuki, T. Kusakabe, K. Otsuka, R. Yamanaka, T. Shigematsu, T. Kuwae	4. 巻 63
2. 論文標題 Green port structures and their ecosystem services in highly urbanized Japanese bays	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Coastal Engineering Journal	6. 最初と最後の頁 310-322
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/21664250.2021.1911194	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 Akhand A., A. Chanda, K. Watanabe, S. Das, T. Tokoro, K. Chakraborty, S. Hazra, and T. Kuwae	4. 巻 153
2. 論文標題 Low CO2 evasion rate from the mangrove surrounding waters of Sundarban	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Biogeochemistry	6. 最初と最後の頁 95-114
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10533-021-00769-9	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 Akhand A., K. Watanabe, A. Chanda, T. Tokoro, K. Chakraborty, H. Moki, T. Tanaya, J. Ghosh, and T. Kuwae	4. 巻 752
2. 論文標題 Lateral carbon fluxes and CO2 evasion from a subtropical mangrove-seagrass-coral continuum	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Science of Total Environment	6. 最初と最後の頁 142190-142190
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.scitotenv.2020.142190	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 Watanabe, K., G. Yoshida, M. Hori, Y. Umezawa, H. Moki, and T. Kuwae	4. 巻 17
2. 論文標題 Macroalgal metabolism and lateral carbon flows can create significant carbon sinks	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Biogeosciences	6. 最初と最後の頁 2425-2440
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5194/bg-17-2425-2020	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 Hall, L. A., S. E. W. De La Cruz, I. Woo, T. Kuwae, J. Y. Takekawa	4. 巻 11
2. 論文標題 Age- and sex-related dietary specialization drives seasonal resource partitioning in a migratory shorebird	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Ecology and Evolution	6. 最初と最後の頁 1866-1876
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/ece3.7175	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 Macreadie, P. I., ..., T. Kuwae, ..., K. Watanabe, ..., and C. M. Duarte	4. 巻 10
2. 論文標題 The future of Blue Carbon science	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 1-13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-019-11693-w	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 桑江朝比呂・吉田吾郎・堀正和・渡辺謙太・棚谷灯子・岡田知也・梅澤有・佐々木淳	4. 巻 75
2. 論文標題 浅海生態系における年間二酸化炭素吸収量の全国推計	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 土木学会論文集B2 (海岸工学) (通常号)	6. 最初と最後の頁 10-20
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 堀正和	4. 巻 56(3)
2. 論文標題 ブルーカーボンを利用した気候変動の緩和適応策の実践-海藻草場を利用した増養殖の展開-	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 水産工学	6. 最初と最後の頁 197-200
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 Saderne V. et al.	4. 巻 10
2. 論文標題 Role of carbonate burial in Blue Carbon budgets	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nature Communications	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/s41467-019-08842-6	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 Watanabe Kenta, Seike Koji, Kajihara Rumiko, Montani Shigeru, Kuwae Tomohiro	4. 巻 25
2. 論文標題 Relative sea-level change regulates organic carbon accumulation in coastal habitats	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Global Change Biology	6. 最初と最後の頁 1063 ~ 1077
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/gcb.14558	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 Okada Tomonari, Mito Yugo, Iseri Erina, Takahashi Toshiyuki, Sugano Takanori, Akiyama Yoshihiro B., Watanabe Kenta, Tanaya Toko, Sugino Hiroaki, Tokunaga Kanae, Kubo Takahiro, Kuwae Tomohiro	4. 巻 6
2. 論文標題 Method for the quantitative evaluation of ecosystem services in coastal regions	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 PeerJ	6. 最初と最後の頁 e6234 ~ e6234
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7717/peerj.6234	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 Tokoro Tatsuki, Kuwae Tomohiro	4. 巻 5
2. 論文標題 Improved Post-processing of Eddy-Covariance Data to Quantify Atmosphere-Aquatic Ecosystem CO2 Exchanges	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Frontiers in Marine Science	6. 最初と最後の頁 1-11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fmars.2018.00286	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 Sohma Akio, Shibuki Hisashi, Nakajima Fumiyuki, Kubo Atsushi, Kuwae Tomohiro	4. 巻 384
2. 論文標題 Modeling a coastal ecosystem to estimate climate change mitigation and a model demonstration in Tokyo Bay	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Ecological Modelling	6. 最初と最後の頁 261 ~ 289
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ecolmodel.2018.04.019	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 Tanaya Toko, Watanabe Kenta, Yamamoto Shoji, Hongo Chuki, Kayanne Hajime, Kuwae Tomohiro	4. 巻 15
2. 論文標題 Contributions of the direct supply of belowground seagrass detritus and trapping of suspended organic matter to the sedimentary organic carbon stock in seagrass meadows	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Biogeosciences	6. 最初と最後の頁 4033 ~ 4045
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5194/bg-15-4033-2018	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 中西佑太郎・中山恵介・中川康之・茂木博匡・田多一史・Matthew Hipsey・桑江 朝比呂	4. 巻 B2-74
2. 論文標題 波・流れ場とアマモ場の相互干渉解析	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 土木学会論文集 (海岸工学)	6. 最初と最後の頁 I_1237 I_1242
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 田多一史・中山恵介・桑江朝比呂	4. 巻 B2-74
2. 論文標題 アマモ場におけるCO2分圧モデルの開発	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 土木学会論文集(海岸工学)	6. 最初と最後の頁 I_1237 I_1242
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 相馬明郎・中居瑞貴・久保篤史・桑江朝比呂	4. 巻 B2-74
2. 論文標題 東京湾河口域における大気-海洋間CO2フラックスの通年変化とその要因～炭酸化学理論を組込んだ生態系モデルによる解析～	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 土木学会論文集(海岸工学)	6. 最初と最後の頁 I_1267 I_1272
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 田多一史・中山恵介・駒井克昭・Jeng-Wei TSAI・佐藤之信・桑江朝比呂	4. 巻 B3-74
2. 論文標題 成層を考慮したアマモ場における溶存無機炭素の変動解析	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 土木学会論文集(海洋開発)	6. 最初と最後の頁 I_144-I_149
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

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計8件

1. 著者名 Hori M., Bayne C.J., Kuwae T.	4. 発行年 2019年
2. 出版社 Springer, Singapore	5. 総ページ数 373
3. 書名 Blue Carbon: Characteristics of the Ocean's Sequestration and Storage Ability of Carbon Dioxide. In: Kuwae T., Hori M. (eds) Blue Carbon in Shallow Coastal Ecosystems.	

1. 著者名 Yoshida G. et al.	4. 発行年 2019年
2. 出版社 Springer, Singapore	5. 総ページ数 373
3. 書名 Carbon Sequestration by Seagrass and Macroalgae in Japan: Estimates and Future Needs. In: Kuwae T., Hori M. (eds) Blue Carbon in Shallow Coastal Ecosystems	

1. 著者名 Tokoro T., Watanabe K., Tada K., Kuwae T.	4. 発行年 2019年
2. 出版社 Springer, Singapore	5. 総ページ数 373
3. 書名 Air-Water CO ₂ Flux in Shallow Coastal Waters: Theory, Methods, and Empirical Studies. In: Kuwae T., Hori M. (eds) Blue Carbon in Shallow Coastal Ecosystems	

1. 著者名 Akhand A., Chanda A., Das S., Hazra S., Kuwae T.	4. 発行年 2019年
2. 出版社 Springer, Singapore	5. 総ページ数 373
3. 書名 CO ₂ Fluxes in Mangrove Ecosystems. In: Kuwae T., Hori M. (eds) Blue Carbon in Shallow Coastal Ecosystems	

1. 著者名 Abo K. et al.	4. 発行年 2019年
2. 出版社 Springer, Singapore	5. 総ページ数 373
3. 書名 Quantifying the Fate of Captured Carbon: From Seagrass Meadows to the Deep Sea. In: Kuwae T., Hori M. (eds) Blue Carbon in Shallow Coastal Ecosystems	

1. 著者名 Kuwae T. et al.	4. 発行年 2019年
2. 出版社 Springer, Singapore	5. 総ページ数 373
3. 書名 CO2 Uptake in the Shallow Coastal Ecosystems Affected by Anthropogenic Impacts. In: Kuwae T., Hori M. (eds) Blue Carbon in Shallow Coastal Ecosystems	

1. 著者名 Nobutoki M., Yoshihara S., Kuwae T.	4. 発行年 2019年
2. 出版社 Springer, Singapore	5. 総ページ数 373
3. 書名 Carbon Offset Utilizing Coastal Waters: Yokohama Blue Carbon Project. In: Kuwae T., Hori M. (eds) Blue Carbon in Shallow Coastal Ecosystems	

1. 著者名 Kuwae T., Hori M.	4. 発行年 2019年
2. 出版社 Springer, Singapore	5. 総ページ数 373
3. 書名 The Future of Blue Carbon: Addressing Global Environmental Issues. In: Kuwae T., Hori M. (eds) Blue Carbon in Shallow Coastal Ecosystems	

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>沿岸環境研究グループ https://www.pari.go.jp/unit/ekanky/member/kuwae/ Coastal and Estuarine Environment Research Group https://www.pari.go.jp/unit/ekanky/en/member/kuwae/</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	渡辺 謙太 (Watanabe Kenta) (20725618)	国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所・港湾空港技術研究所・主任研究官 (82627)	
研究分担者	梅澤 有 (Umezawa Yu) (50442538)	東京農工大学・(連合)農学研究科(研究院)・准教授 (12605)	
研究分担者	堀 正和 (Hori Masakazu) (50443370)	国立研究開発法人水産研究・教育機構・水産資源研究所(横浜)・グループ長 (82708)	
研究分担者	所 立樹 (Tokoro Tatsuki) (70543859)	国立研究開発法人国立環境研究所・地球システム領域・特別研究員 (82101)	
研究分担者	吉田 吾郎 (Yoshida Goro) (40371968)	国立研究開発法人水産研究・教育機構・水産技術研究所(長崎)・副部長 (82708)	削除：2021年5月20日

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