

令和 6 年 6 月 5 日現在

機関番号：27401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2021～2023

課題番号：21K12211

研究課題名(和文) 干潟で大增殖するホトトギスガイ(二枚貝・イガイ科)を支える餌供給過程の解明

研究課題名(英文) Food resources for the dense-patches of Asian mussel, *Arcuatula senhousia*, population on a sandy tidal flat

研究代表者

小森田 智大 (Komorita, Tomohiro)

熊本県立大学・環境共生学部・准教授

研究者番号：10554470

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、基礎生産の室内培養実験と係留系観測により、河口干潟の水柱と堆積物の基礎生産量を統一的な方法で高解像度かつ長期間(1年)で定量し、その変動要因を考察した。堆積物の基礎生産は水柱の基礎生産の減少後に卓越しており、水柱の基礎生産が堆積物の基礎生産を制限することが示唆された。

また、河口干潟で水柱と堆積物の基礎生産量、アサリの二次生産量および安定同位体比を用いて底生微細藻類と植物プランクトンへの摂餌圧の季節変動を評価した。アサリによる摂餌圧は植物プランクトンで0.8-3.8倍、底生微細藻類で5.0-26.5倍を示し、この干潟ではアサリの高密度な個体群が年間を通して摂餌圧が高いことが示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、河口干潟における基礎生産量は潮汐変動に依存すること、そしてそれを利用する高密度なアサリの個体群は想像以上に高い摂餌圧を示すことを明らかにした。この成果は、これまで謎であった干潟生態系の豊かさを解き明かす鍵になり得る。また、従来は動物が生息していない空間は埋め立ての対象となる可能性が高かった。しかし、本研究で得られた成果から、「一見すると無生物である空間でも光合成が行われており、その空間があさりなどの二枚貝の生産を支える」という知見が得られた。この知見は、今後の沿岸域の開発を進める上で必須の知見である。

研究成果の概要(英文)：In this study, we quantified the water column and sediment primary production of estuarine tidal flats at high resolution and over a long period of time (~1 year) using laboratory culture experiments of primary production and mooring system observations. The sediment primary production was predominant after the decrease in the water column primary production, suggesting that the water column primary production limits the sediment primary production.

Seasonal variations in feeding pressure on benthic microalgae and phytoplankton were evaluated using water column and sediment primary production, secondary production of clams, and stable isotope ratios on estuarine tidal flats. Feeding pressure by clams ranged from 0.8- to 3.8-fold for phytoplankton and 5.0- to 26.5-fold for benthic microalgae, indicating that dense populations of clams have high feeding pressure throughout the year on this tidal flat.

研究分野：海洋生態学

キーワード：干潟 アサリ 基礎生産 二枚貝 物質循環

1. 研究開始当初の背景

日本最大の干潟の海，有明海では，その恵みを活かしたアサリ漁が盛んだったが，1990年頃から漁獲量が激減し，2010年以降1000トン未満に低迷した。その打開策の1つ，覆砂事業でアサリの資源量は一旦回復したが，競合種であるホトトギスガイも増加し，新たな生物種間の問題となっている。ホトトギスガイは，日本の砂質干潟の在来種だが，今では欧米まで分布を広げている。ホトトギスガイは，糞を主体とする排泄物を地下にため，砂の干潟に有機物が豊富な泥主体の構造物（マット）を作る。有機物が豊富な糞は従属栄養性の微生物（バクテリア）に利用され，マットの下は酸素が欠乏し，好氣的な砂質環境を好むアサリはホトトギスガイによって駆逐される。

代表者の調査フィールドである緑川河口干潟は日本最大の干潟であり，ホトトギスガイが広範な生息域を形成し，干潟の約3割がマットで占められている。生息域では，ホトトギスガイの主な餌と考えられている植物プランクトンと底生微細藻類（以下，基礎生産者）の基礎生産量が，ホトトギスガイの餌要求量のわずか5%に満たない。

2. 研究の目的

- (1) 干潟の基礎生産量推定方法の確立と長期変動の解明
- (2) 二枚貝（アサリ）による摂餌が基礎生産に与える影響の解明

3. 研究の方法

(1) 熊本県を横断する緑川は流域面積約1,100 km²，流路延長約76 kmの一級河川であり，河口は熊本市と宇土市の境界に位置し，有明海に面している。緑川河口干潟は，緑川河口に広がる面積約2,200 haの日本最大の広大な砂質干潟である。調査地は緑川の河口域において，砂質干潟である中洲とカメ洲の2定点を含む河口域の広い範囲で実施した。

2021年10月から2022年11月にかけて，1ヶ月に1回基礎生産の室内培養実験と水試料・堆積物試料のサンプリングを実施した。水質調査については，多項目水質系（AAQ, JFE Advantech）で水温，塩分，Chlorophyll a（Chl-a）蛍光，濁度，PARを0.1 mごとに測定した。次に水試料は各調査定点において事前に1 N塩酸で洗浄した2 Lポリ瓶に，大型の動物プランクトンを除去するために目合い250 μmのメッシュで濾過して表層水を採取し，Chl-a濃度と粒子状有機炭素（POC）の定量用サンプル，基礎生産の室内培養実験の水試料とした。堆積物試料について，冠水時には堆積物表層を乱さないようにKK式柱状採泥器（内径：4.3cm）を，干出時には円形コアサンプラー（内径：3.0cm）を用いて表層1 cmを採取し，含水率，Chl-a含量，全有機炭素・窒素含量（TOC・TON），炭素・窒素安定同位体比用サンプルとし，一部を分取して後述の基礎生産の室内培養実験用試料とした。

係留系では，緑川河口干潟上の中洲とカメ洲の2地点で海底直上における水温，絶対圧力，塩分，Chl-a蛍光，PARを測定した。PARは光量子計（DEFI2-L, JFE Advantech），絶対圧力と水温は水中水位計測データロガー（HOBO U20, Onset），Chl-a蛍光は小型メモリー濁度・クロロフィル計（INFINITY CLW; ACLW-CMP, JFE Advantech），塩分は小型メモリー水温塩分計（INFINITY CT, JFE Advantech）により，10分間隔で測定した。付着物によるノイズを軽減するため，係留系の機器メンテナンスを1ヶ月に2回から4回行った（計38回）。メンテナンスおよび採水調査の際に係留系の測定時刻に合わせてAAQによる観測を行い，機差補正をした。

基礎生産の室内培養実験については，2021年11月から2022年11月にかけて1ヶ月に一度の頻度で実施した。まず，水柱の基礎生産は250 μmでろ過した現場海水を容量約175

ml ポリ瓶に満たした。一方、堆積物の基礎生産は約 1 - 2 g の堆積物試料を秤量し、容量約 60 ml のガラス製ネジ口遠沈管に添加し、ガラス繊維製濾紙 (GF/F) で濾過した海水で満たして堆積物を懸濁させた。その後、約 200 mM に調整した $\text{NaH}^{13}\text{CO}_3$ 溶液を、培養瓶中の最終濃度が約 0.2 mM となるように添加した。そして、夏期の昼間の日射量と同程度の PAR (約 $2,000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) を人工光源から照射し、現場水温に調整した実験装置で約 3 時間培養を行った。培養終了後に、ポリ瓶は直径 25 mm の強熱処理したガラス繊維製濾紙 (GF/F) 上に全量濾過した。また、ガラス製遠沈管は遠心処理し (3,000 rpm, 10 min)、堆積物を流出させないように上澄みを除去してから凍結保存した。なお、培養に用いた現場海水および濾過海水は高塩分 (26.7 - 32.4)、中塩分 (17.5 - 21.7)、低塩分 (5.19 - 16.0) の 3 段階とし、光は 5 段階 (100%, 50%, 10%, 1%, 0%) で培養実験を実施した。

(2) 調査地点において底層の水温を多項目水質計 (AAQ, JFE Advantec) で測定した。水試料は塩分が約 10、20、30 となる場所で表層水を 2L 採取し、クロロフィル a (Chl-a) 濃度、POM の炭素・窒素安定同位体比用サンプルとした。堆積物試料については、堆積物表層 1 cm を採取し、含水率、クロロフィル a 量、炭素・窒素安定同位体比用サンプルとした。アサリの定量用サンプルは、方形コアで堆積物を無作為に 5 回採取し 1mm の篩上に残った残渣物をサンプルとして持ち帰った。また、各調査時においてアサリを無作為に 5 個体採取し、その閉殻筋と斧足を炭素・窒素安定同位体比用サンプルとした。

4. 研究成果

(1) 培養実験と係留系を用いた河口干潟における時間解像度の高い底生微細藻類と植物プランクトンの基礎生産量の定量 (参考: 尾崎ら 2023, 2024)

本研究は干潟を対象に 2021 年 11 月から 2022 年 11 月にかけて 1 カ月に 1 回の頻度で基礎生産の室内培養実験を実施し、係留系による環境要因の測定を行い、世界ではじめて 1 年間にわたって時間解像度の高い水柱と堆積物の基礎生産量の測定に成功した。Kwon et al. (2018) も室内実験法と係留系を組み合わせた手法で 3 年間の干潟の基礎生産量を連続的に定量したが、その報告は堆積物の基礎生産量に限定されていることに加えて、係留系では PAR と水温を測定しているが、基礎生産量を評価する上で重要な環境要因である塩分についても未評価である (Kromkamp et al., 1995)。本研究ではランダムフォレスト回帰モデルにより、塩分の変動を反映して基礎生産量を推定したことから、より正確に物理環境を反映した定量方法であると言える。また、水柱と堆積物の基礎生産量の両方を見積もったこれまでの研究は、干潟に特徴的な物理環境の変動を反映できない定量方法であり、調査期間もほとんどが 1 年未満であることから、本研究で見積もった基礎生産量はこれまでにない解像度で定量した値であると考えられる。

(2) 緑川河口干潟における安定同位体比を用いたアサリの摂餌圧の季節変動の解明 (参考: 山下ら 2024)

小森田ら (2018) は緑川河口干潟におけるホトトギスガイの摂餌量が $8.4 \text{ g C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ と、基礎生産量の約 23 倍に相当することから、ホトトギスガイは生息面積の 23 倍以上の範囲に生息する基礎生産者を消費していると推定した。この方法に則ると、本研究では底生微細藻類と植物プランクトンに対するアサリの摂餌圧は合計で 5.82-29.5 であり、アサリの個体群が生息域の約 6 ~ 30 倍の範囲に生息する基礎生産者を摂餌していたと解釈できる。すな

わち、アサリの生産を支えるのはその生息地だけではなく、底生動物の生息量が少ない部分もまた基礎生産の場として重要である可能性が高い。本研究では、基礎生産量とアサリの摂餌量の季節変動を合わせて比較することで高密度なアサリの個体群が1年を通して干潟の基礎生産者に大きな影響を与えていることを評価できた。さらに、餌資源の寄与率の季節変動を合わせることで底生微細藻類に対して特に強い摂餌圧を与えており、この干潟の高密度なアサリの個体群は底生微細藻類による生産で支えられていることが明らかになった。

参考文献

- 本田陸斗, 山北剛久, 山田勝雅, 山下奈々, 小森田智大. (2023). 有明海に面する緑川河口干潟においてエイ類による捕食がアサリ個体群に及ぼす影響の定量的評価. *日本ベントス学会誌*, 78(1), 22-27.
- 尾崎竜也, 小森田智大, 山田勝雅, 田井明. (2022). 係留系による高頻度観測とタンク法を併用した底生微細藻類の基礎生産量の定量と現場法の検証. *土木学会論文集 B3 (海洋開発)*, 78(2), I_655-I_660.
- 尾崎竜也, 小森田智大, 中津伸彬, 馬込拓海, 山下奈々, 本田陸斗, 田井明, 山田勝雅. (2024) 培養実験と係留系を用いた河口干潟における時間解像度の高い底生微細藻類と植物プランクトンの基礎生産量の定量. *月刊海洋* 56, 156-165.
- Takasu, H., Okamura, T., Komorita, T., Shiragaki, T., Uchino, K. (2023). Contribution of riverine dissolved organic carbon to organic carbon decomposition in the Ariake Sea, Japan, a coastal area suffering from summer hypoxia. *Aquatic Sciences*, 85(1), 17.
- 山下奈々, 小森田智大, 尾崎竜也, 本田陸斗. (2024) 緑川河口干潟における安定同位体比を用いたアサリの摂餌圧の季節変動の解明. *月刊海洋* 56, 165-173.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 3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 尾崎竜也, 小森田智大, 中津伸彬, 馬込拓海, 山下奈々, 本田陸斗, 田井明, 山田勝雅	4. 巻 56
2. 論文標題 培養実験と係留系を用いた河口干潟における時間解像度の高い底生微細藻類と植物プランクトンの基礎生産量の定量	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 月刊海洋	6. 最初と最後の頁 156-164
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 無
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 本田 陸斗, 小森田 智大, 尾崎 竜也, 山下 奈々, 佐藤 哲, 山北 剛久	4. 巻 56
2. 論文標題 干潟に飛来するカモ類がアサリに与える影響: カモ類の水深への応答による検討	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 月刊海洋	6. 最初と最後の頁 173-179
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 無
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 山下奈々・小森田智大・尾崎竜也・本田陸斗	4. 巻 56
2. 論文標題 緑川河口干潟における安定同位体比を用いたアサリの摂餌圧の季節変動の解明	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 月刊海洋	6. 最初と最後の頁 165-172
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 無
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 本田陸斗・山北剛久・山田勝雅・山下奈々・小森田智大	4. 巻 78
2. 論文標題 有明海に面する緑川河口干潟においてエイ類による捕食がアサリ個体群に及ぼす影響の定量的評価	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 日本ベントス学会誌	6. 最初と最後の頁 22~27
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5179/benthos.78.22	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 H Takasu, T Okamura, T Komorita, T Shiragaki, K Uchino	4. 巻 85
2. 論文標題 Contribution of riverine dissolved organic carbon to organic carbon decomposition in the Ariake Sea, Japan, a coastal area suffering from summer hypoxia	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Aquatic Sciences	6. 最初と最後の頁 17
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00027-022-00920-0	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 尾崎 竜也, 小森田 智大, 山田 勝雅, 田井 明	4. 巻 78
2. 論文標題 係留系による高頻度観測とタンク法を併用した底生微細藻類の基礎生産量の定量と現場法の検証	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 土木学会論文集B3 (海洋開発)	6. 最初と最後の頁 655-660
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejoe.78.2_1_655	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5件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 尾崎竜也, 小森田智大, 中津伸彬, 馬込拓海, 山田勝雅, 田井明, 比嘉紘士
2. 発表標題 昼潮期と夜潮期で底生微細藻類と植物プランクトンの基礎生産の量比は異なるのか?
3. 学会等名 日本ベントス学会・日本プランクトン学会合同大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 山下奈々・小森田智大・尾崎竜也・本田陸斗
2. 発表標題 緑川河口干潟における安定同位体比と二次生産量を用いたアサリの摂餌量の季節変動
3. 学会等名 日本ベントス学会・日本プランクトン学会合同大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 尾崎 竜也、小森田 智大、山田 勝雅、田井 明
2. 発表標題 係留系による高頻度観測とタンク法を併用した底生微細藻類の基礎生産量の定量と現場法の検証
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小森田 智大
2. 発表標題 水産有用二枚貝類の粒状排泄物に含まれる生元素含量の特徴：メタデータ解析によるアプローチ.
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 尾崎 竜也、小森田 智大、山田 勝雅、田井 明.
2. 発表標題 係留系による高頻度観測とタンク法を併用した底生微細藻類の基礎生産量の定量と現場法の検証.
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 2022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
研究 分 担 者	土屋 健司 (Tsuchiya Kenji) (70739276)	国立研究開発法人国立環境研究所・地域環境研究センター・ 特別研究員 (82101)	

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