

福岡県有明海域において養殖ノリが二枚貝類から受ける効果

安河内 雄介・長本 篤^a
(有明海研究所)

福岡県有明海域でノリ養殖期間中に発生する大量の珪藻プランクトンは、漁場の栄養塩類を低下させ、色落ちによるノリの品質低下や漁期の短縮による生産量減少の要因となっている。本試験では、二枚貝による珪藻プランクトンの除去効果や、その排泄物による栄養塩類の添加効果を検証するために、室内と漁場でアサリを使った試験を行った。アサリの飼育試験とアサリとノリ葉状体の混養試験では、アサリの排泄物による $\text{NH}_4\text{-N}$ を主とした栄養塩類の添加と、それに起因するノリ葉状体の色調回復が認められた。また、漁場で行った試験では、アサリを入れた試験区で、直上水のクロロフィル a の減少、無機三態窒素の増加が認められ、実際の漁場での、ろ水による珪藻プランクトン除去と、排泄物による栄養塩類の添加効果が示された。福岡県有明海域のノリ養殖漁場で、小潮時 1 日あたりの海水交流量をろ水するために必要なアサリ、サルボウ資源量は、2008 年でのアサリ、サルボウの推定資源量の割合で試算すると、外挿値で合計 25,739t であったが、福岡県有明海域にはその他の二枚貝類が多数生息していることから、これよりも少ない資源量でろ水できると試算された。

キーワード：二枚貝類，養殖ノリ，栄養塩類，ろ水

福岡県有明海区のノリ養殖は、2016 年度から 2020 年度の過去 5 年平均で生産枚数 12.7 億枚、生産金額 167 億円にのぼり、本県漁業生産金額の約 6 割を占める重要な基幹漁業である。当海区のノリ養殖は 10 月から開始され、1 月下旬以降に珪藻プランクトンの増殖による海水中の栄養塩類不足により養殖ノリは色落ちし、その後、生産は河口域に限定され、終漁となる。

一方、福岡県有明海地先は、広大な干潟を有し、採貝漁業も盛んで、アサリやサルボウ等の二枚貝は、覆砂や移植等積極的な増産の取り組みがなされ、全国でも有数の生産量を上げている。二枚貝類は、デトリタス等、底質中の有機物を取り込み、底質浄化するだけでなく、入水管等で海水中の珪藻プランクトン等を鰓でこし取ること¹⁾で、海水中の珪藻プランクトン濃度を減少させる。さらに、こうした二枚貝類の排泄物は、ノリに有用な窒素、リン等の栄養塩類を含んでいるため、栄養塩類の添加効果も期待できる¹⁾。このため、アサリ等の二枚貝類がノリ養殖漁場及びその周辺に多く生息していれば、珪藻プランクトン除去と栄養塩類添加の二つの効果からノリの色落ちの軽減が期待できる。

本研究では、アサリの排泄物による栄養塩類の添加効果で、色落ちしたノリ葉状体に与える影響を検討するとともに、実際に漁場で試験を行い、アサリのろ水によ

る珪藻プランクトン除去効果と排泄物による栄養塩類の添加効果を検証した。また、2008 年～2021 年の福岡県有明海域のノリ養殖漁場のアサリ、サルボウの推定資源量から二枚貝のろ水量を試算し、養殖ノリに効果を与えるために必要な二枚貝類の資源量を推定した。

方 法

1. アサリ飼育下の環境水中の栄養塩類の変化

アサリの排泄物による栄養塩類の添加量を測定するため、ノリ養殖漁期を想定した、水温 5℃、8℃、11℃、14℃、17℃の 5 試験区で、アサリ 3 個体ずつをフラスコ内で飼育し、3 日後と 6 日後にアサリ飼育下の環境水（以下、飼育水）を 10ml ずつ採水し、栄養塩類を測定した。

試験に供したアサリは、試験開始前日に、福岡県有明海柳川市沖で採集し、現場でバラツキの無いよう選別した。アサリの平均殻長は 32.2 ± 1.4 (標準偏差) mm、殻付重量は 6.7 ± 0.7 g で各試験区のアサリの殻長、殻付重量に有意な差はなかった ($p \geq 0.05$, t 検定)。

飼育水は人工海水 MARINE ART SF-1 (富田製薬株式会社製) (塩分 34, pH8.33, 無機三態窒素 $4.35 \mu\text{mol/L}$, $\text{PO}_4\text{-P3}$ $20 \mu\text{mol/L}$) を各試験区 1.2L 使用し、飼育水が均

^a現所属：水産海洋技術センター

一になるよう、試験期間を通じて弱く通気した。照度は1,000lux、明暗周期は11L13Dとし、試験期間中は無給餌とした。

栄養塩類は海水をシリンジフィルター（Millipore製、Millex-HA、φ25mm、孔径0.45μm）で適量濾過後、オートアナライザー（BLTEC製、swAAt又はQuAAtro39）で分析を行った。なお、NO₃-Nは銅カドミカラム還元法を、NO₂-Nはナフチルエチレンジアミン吸光光度法を、NH₄-Nはインドフェノール青吸光光度法を、PO₄-Pはモリブデン青-アスコルビン酸還元吸光光度法を用いた。

2. アサリ飼育下でのノリ葉状体の色調変化

水温5℃、8℃、11℃、14℃、17℃の5試験区で、アサリ3個体と色調が低下したノリ葉状体（L*値（明度）73以上）²⁾をフラスコ内で混養し、3日後と6日後にノリ葉状体のL*値を測定した。また、秋芽網生産期の水温である17℃で、ノリ葉状体のみを培養した対照区を設けた。

供試葉状体は、2016年度の冷凍網生産期に福岡県有明海地先で養殖された色調が低下したノリ葉状体を、直径1cmのパンチで打ち抜き、各試験区に5枚ずつ投入した。アサリは1と同様に採集し、試験に供したアサリの殻長は31.9±1.2mm、殻付重量は6.6±0.6gであり、各試験区のアサリの殻長、殻付重量に有意な差はなかった（ $p \geq 0.05$, t 検定）。

飼育水などの試験条件は1に準じて行った。L*値は、分光測色計（CM-700d、コニカミノルタジャパン株式会社製）を用いてL*a*b*表色系³⁾で測定し、ノリ葉状体5枚の平均値とした。

3. 漁場に垂下したアサリによるろ水効果と栄養塩類の添加効果

河川水の影響が少なく、海区内で比較的静穏な海域の三池港内（図1）の浮棧橋に、野菜カゴ（外寸495×355×167mm）に目合い526μmのナイロンメッシュを取り付け、5cmに砂を敷設し、アサリを6kg/m²の密度で潜砂させたアサリ収容区と、砂のみを入れた対照区を設定し、それぞれワイパー式メモリークロロフィル濁度計（INFINITY-CLW、JFEアドバンテック株式会社製）を固定してクロロフィルを連続測定した。両試験区は光がクロロフィルの計測に影響を与えないよう、遮光ネットを上部に取り付けた（図2）。また、換水など環境条件が出来るだけ同じになるように隣接させ、底層からの浮泥の巻き上がりや、波浪の影響を受けないよう水深2m（海底から約6m）に垂下した。試験期間は、2018年2月16日～19日の大潮時の珪藻プランクトンが多く発生

していた時期に実施した⁴⁾。ワイパー式メモリークロロフィル濁度計はバースト時間5分、測定インターバル1秒、10データ/バーストに設定した。

また、あらかじめ浮棧橋から垂下した採水チューブの先端を、野菜カゴ中央に、敷設した砂の表面から3cmになるよう固定しておき、試験開始3日後、定量型チューブポンプ（EASY LOAD、メルク株式会社）を用いて、アサリ収容区及び対照区それぞれの野菜カゴ内で、砂の直上水を採取し、1と同様に栄養塩類を分析した。

結 果

1. アサリ飼育下の環境水中の栄養塩類の変化

各試験区の試験開始前、3日後及び6日後の無機三態

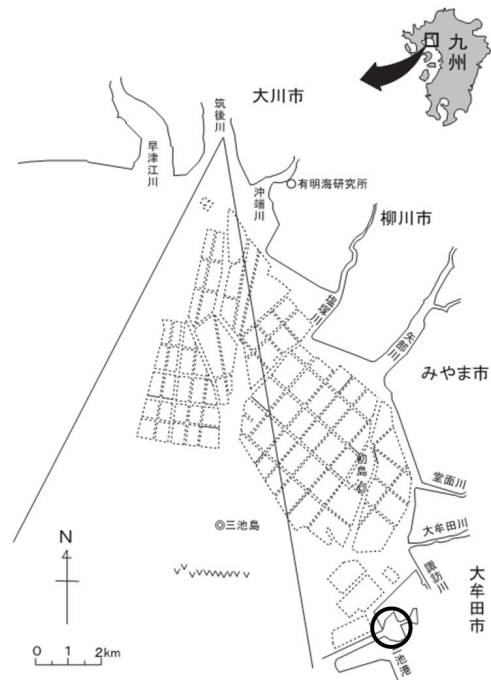


図1 試験漁場（黒丸部）

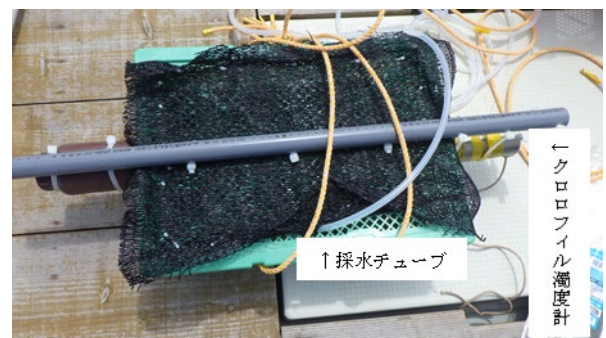


図2 試験施設

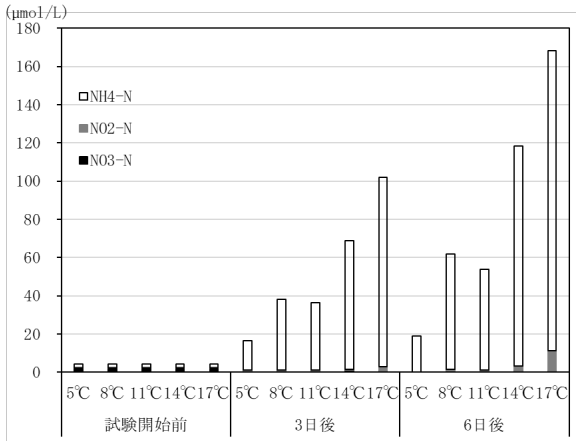


図3 培地中の無機三態窒素の推移

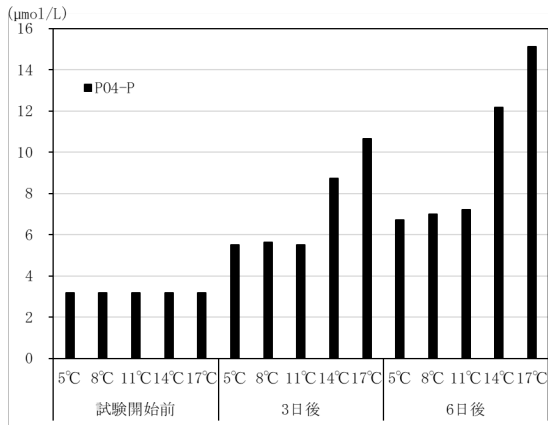


図4 培地中のPO₄-Pの推移

窒素の推移を図3に示す。

無機三態窒素は、試験開始前は 4.35μmol/L であったが、3 日後は、5°C区、8°C区、11°C区、14°C区、17°C区 の順に、16.56μmol/L、38.13μmol/L、36.40μmol/L、68.97μmol/L、101.91μmol/L、6 日後は、19.14μmol/L、61.77μmol/L、53.73μmol/L、118.35μmol/L、168.36μmol/L となり、全ての試験区で試験開始前より増加した。

各試験区の試験開始前、3 日後及び 6 日後の PO₄-P の推移を図4に示す。PO₄-P は、試験開始前は 3.20μmol/L であったが、3 日後は、5°C区、8°C区、11°C区、14°C区、17°C区 の順に、5.53μmol/L、5.64μmol/L、5.53μmol/L、8.73μmol/L、10.68μmol/L、6 日後は、6.72μmol/L、7.02μmol/L、7.23μmol/L、12.18μmol/L、15.12μmol/L となり、全ての試験区で増加した。

飼育水温が高くなるほど、無機三態窒素及び PO₄-P は 多くなる傾向にあった。無機三態窒素では、NH₄-N の割合が、試験開始前は 51%であったが、3 日後及び 6 日後は 90%以上を占めた。

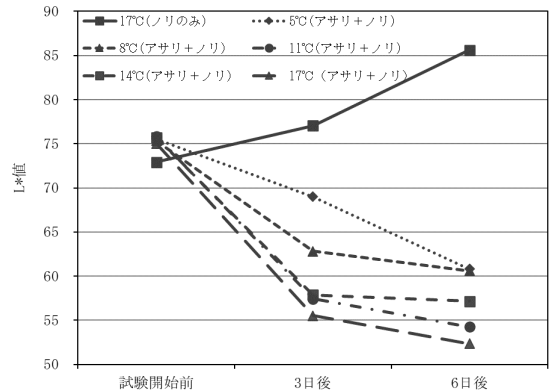


図5 ノリ葉状体のL*値の推移

2. アサリ飼育下でのノリ葉状体の色調変化

各試験区の試験開始前、3 日後及び 6 日後のノリ葉状体の L*値の推移を図5に示す。

L*値は色の明度を示す値で、ノリ葉状体の色調が回復するに従い、小さくなる²⁾。試験開始前は、全ての試験区のノリ葉状体の L*値は、色落ちの判断基準である 73 以上²⁾であったが、アサリとノリを收容した試験区の 3 日後の L*値は、全ての試験区で小さくなり、11°C区、14°C区、17°C区で色落ちの初期的兆候である L*値 60²⁾を下回った。6 日後の L*値は、色落ちの初期的兆候を下回るかそのレベルまでに小さくなり、色調改善がみられた。対照区の L*値は、3 日後及び 6 日後とも大きくなり、色調低下が進行した。

3. 漁場に垂下したアサリによるろ水効果及び栄養塩類の添加効果

試験期間中の水温及びクロロフィル a の推移を図6に示す。試験期間中、水温は 9°C台～12°C台で推移し、海域では *Skeletonema* spp. を主とした赤潮が発生し、クロロフィル a は 15.6μg/L と高かった。クロロフィル a は野菜カゴを設置した数分後にはアサリ收容区が対照区より低い値を示し、約 2 時間後にはアサリ收容区が対照区の半分以下の値を示した。その後もアサリ收容区は対照区よりも常に低い値を示した。

設置 3 日後の直上水の無機三態窒素及び PO₄-P の濃度を図7,8に示す。アサリ收容区、対照区の無機三態窒素はそれぞれ 0.81μmol/L、0.29μmol/L、アサリ收容区及び対照区の PO₄-P は 0.04μmol/L であった。

考 察

飼育水中の栄養塩類は、3 日後及び 6 日後に NH₄-N と

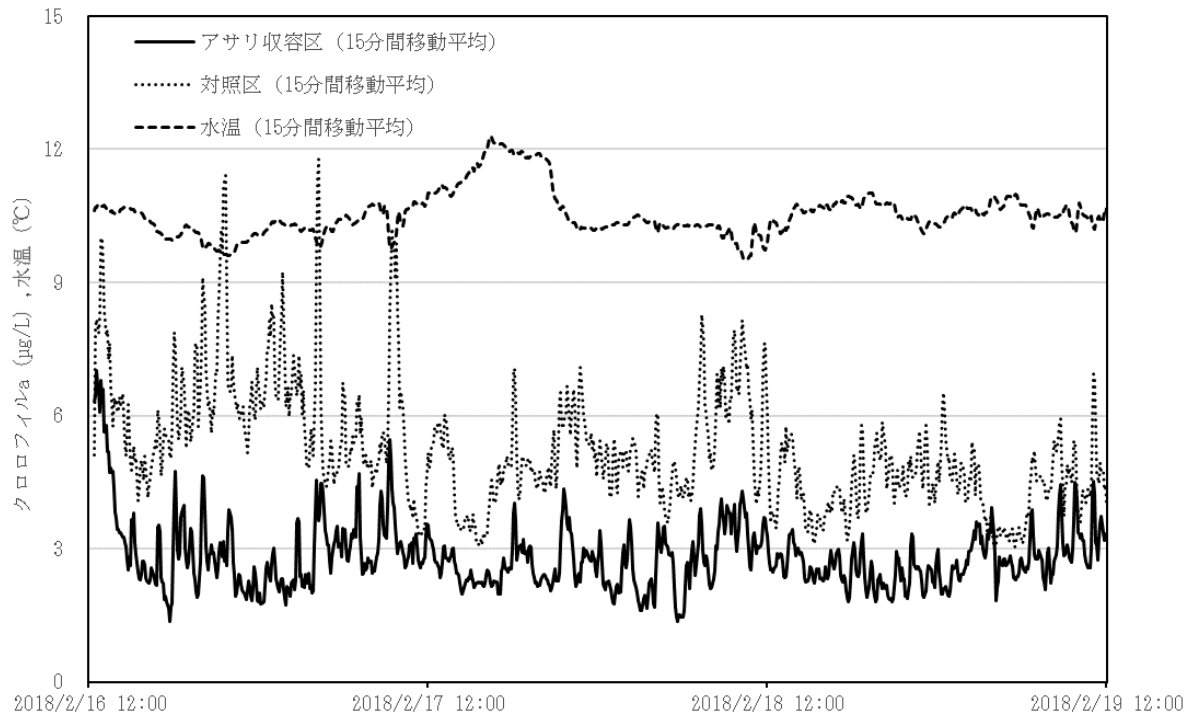


図6 クロロフィルaの推移

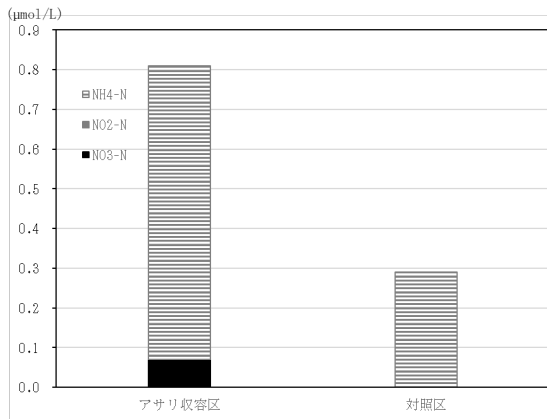


図7 直上水の無機三態窒素

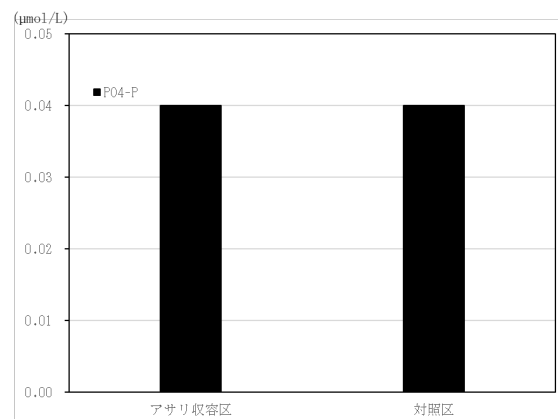


図8 直上水のPO₄-P

PO₄-P の増加が見られ、アサリの排泄物による栄養塩類の添加が示唆された。どの試験区も NH₄-N と PO₄-P の割合は、おおよそ 10:1 で、飼育水温が高いほど、栄養塩類が多くなる傾向にあった。一方、11℃区の3日後と6日後の無機三態窒素は、8℃区を下回り、11℃区の3日後の PO₄-P は、8℃区と差が認められなかった。これは、アサリのろ水率の個体によるバラツキや、アサリのろ水率が水温 10℃以下では著しく低下すること⁵⁾が要因と考えられた。また、わずかに NO₂-N の量が増えた理由は、試験期間中にアサリの排泄物によって添加された NH₄-N が硝化作用で NO₂-N に変化したものと推察された。

アサリとノリを混養した試験では、いずれの試験区もノリ葉状体の色調回復がみられ、アサリの排泄物によ

て添加された栄養塩類を利用したと考えられる。5℃区や8℃区の L*値の回復が遅かった要因は、アサリのろ水率が低下するため、5℃区や8℃区で1,2日目に、アサリの排泄物によって添加された NH₄-N が少なかったことに加えて、ノリ葉状体の NH₄-N の取り込み速度が、温度の低下に伴って減少し、4℃で最も低くなる性質があること⁶⁾が影響していると考えられる。白石⁷⁾が人工海水を基に NO₃-N を高濃度 (20µmol/L) に添加した培地で、色落ちしたノリ葉状体 (L*値 74) を培養した試験では、4日目に L*値が 62 となり、5日目に L*値が 58 に回復したと報告している。今回の試験では、3日後には 11℃区、14℃区、17℃区で L*値が 60 を下回り、白石の報告より回復が早い結果となった。これは、山本ら⁶⁾が報告し

ているように、ノリの NH₄-N 取り込み速度が NO₃-N の 6 倍以上に当たり、今回の試験でアサリの排出物の NH₄-N を直接取り込んだためと推察された。

漁場でアサリを垂下し、ろ水効果及び排泄物による栄養塩類の添加効果を検証した試験では、試験を行った海域で 2 月 15 日に *Skeletonema* spp の赤潮が発生しており、プランクトン沈殿量が 10.7mL/100L⁴⁾ と非常に多かったこともあり、試験期間中は大潮時で干満による水塊の移動が激しいにもかかわらず、アサリ収容区では対照区と比較して、クロロフィル a 値が半分以下の期間が継続し、アサリによるろ水効果が認められた。

直上水の栄養塩類は、無機三態窒素は、差が認められたが、PO₄-P は、有意な差が認められなかった。要因として、NH₄-N と比較して、PO₄-P の濃度が極少量であることから、排出された PO₄-P が水塊の移動により拡散したため明確な差が観察されなかったと考えられた。

今回の試験で示唆されるように、二枚貝類による養殖ノリの色落ち軽減効果は、ろ水による珪藻プランクトンを減少させる効果と、排泄物による栄養塩類添加効果の 2 つが挙げられる。

アサリ、サルボウの資源量が、珪藻プランクトンの発生に及ぼす影響をみるために、2008 年～2021 年までのアサリ、サルボウの推定資源量（以下、資源量）⁸⁾ とノリ色落ち発生状況について検討する。赤潮が発生し、ノリ色落ち発生の指標としてのプランクトン沈殿量 1.0mL/100L が報告されている⁹⁾が、ここでは、ノリ色落ちに影響を与えない沈殿量を 0.5mL/100L 未満と仮定して、ノリ養殖漁期中の 10 月 21 日～2 月 28 日（12 月は除く）の 0.5mL/100L 未満の日数¹⁰⁾ と、資源量の相関を求めた（図 9）。プランクトン沈殿量は、週 1～3 回実施している海況調査の結果を用い、プランクトン沈殿量が 0.5mL/100L 以上の場合であっても、その日の主なプランクトンが珪藻プランクトンでない場合は 0.5mL/100L 未満としてカウントした。資源量が多くなるにつれ、プランクトン沈殿量が 0.5mL/100L 未満である日が多くなり、資源量とプランクトン沈殿量 0.5mL/100L 未満の日数に正の相関関係が認められた ($r=0.64, p<0.05$)。アサリ、サルボウが珪藻プランクトンの増殖を妨げていることが示唆された。これに加えて、今回の試験結果からアサリ、サルボウ等の二枚貝は、栄養塩類の環境水への添加効果も期待できることから、二枚貝資源を増殖させることは、ノリ色落ち発生を軽減する効果があると考えられた。

二枚貝のろ水効果に着目し、珪藻プランクトンの増殖が促進されやすい¹¹⁾小潮時の 1 日あたりの海水交換量とアサリ、サルボウによるろ水量を試算し比較検討した。

ろ水量は、ノリ色落ち対策に寄与する二枚貝増養殖技術ガイドライン¹⁾からアサリ、サルボウの 1 個体 1 時間あたりのろ水速度のアロメトリー式（表 1）を用いて 2008 年～2021 年までの資源量から試算した。アロメトリー式は、珪藻プランクトンが増殖しやすい 1 月下旬以降の水温に近い 10°C（アサリ）、12°C（サルボウ）の式を使い、この時のアサリ 1 個体の殻付重量は 10g、乾燥軟体部重量(W)は 0.28g、サルボウの殻付重量は 10g、乾燥軟体部重量(W)は 0.5g であった。

試算ではあるが、ノリ養殖漁場への海水交換量は、福岡県有明海域のノリ養殖漁場が 39.3km² であり¹²⁾、三池港の小潮時の潮差が 1.80m¹³⁾ であることから日向野¹⁴⁾ が用いた式を元に計算すると 6,791×10⁴kL と算定された。

小潮時の海水交換量と 2008 年～2021 年の資源量から試算したろ水量との比を図 10 に示す。

2008 年～2021 年の資源量は 459t～23,222t と大きく

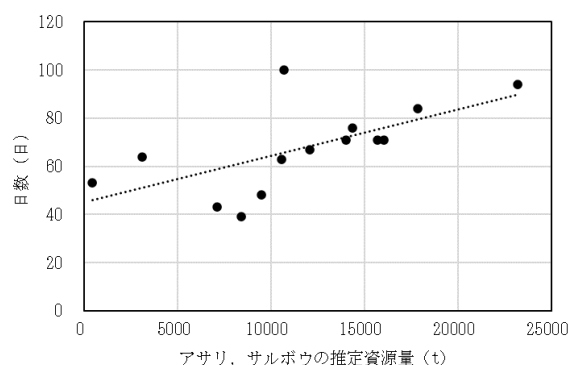


図9 アサリ、サルボウの推定資源量とプランクトン沈殿量0.5mL/100L未満の日数の関係

表1 アサリ、サルボウのろ水速度

	ろ水速度	単位
アサリ (10°C)	$R_c = 1490.3W^{0.7472}$	ml/ind/hr
サルボウ (12°C)	$R_c = 1886.9W^{0.5957}$	ml/ind/hr

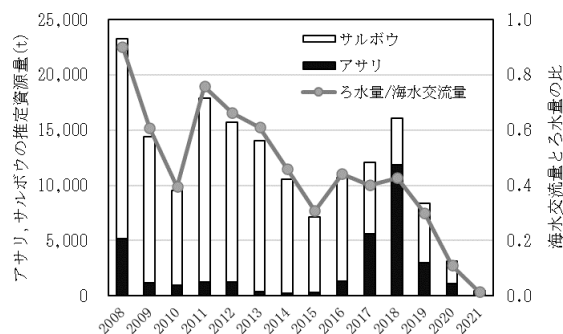


図10 海水交換量とろ水量の比

変化し、1日あたりのろ水量は $98 \times 10^4 \text{kl} \sim 6,127 \times 10^4 \text{kl}$ で推移した。資源量が最も多い2008年のアサリ、サルボウによるろ水量は小潮時の海水交流量の約90%の割合であったが、2021年は約1%程度と低く落ち込んでいた。外挿値になるが、小潮時の1日あたりの海水交流量を全てろすために必要な資源量を試算すると、2008年の資源量の割合では、25,739tとなり、2008年以降の最大値である23,222tを上回る値になる。しかし、福岡県有明海地先には、山田（未発表、2021年）が調査したところ、シオフキの資源量が13,000t存在することや伊藤¹⁵⁾の報告によると、マガキ、シカメガキ、スミノエガキが生息していることが確認されており、アサリ・サルボウ以外の二枚貝類のろ水も考えられることから、それよりも低く見積もることができる。珪藻プランクトンの発生は気象や海況によって大きく左右されるが、ノリ養殖の生産安定と採貝漁業者の所得安定のために、漁業権管理者である福岡有明海漁業協同組合連合会は、上記の資源量を一つの目標として、資源管理に取り組んでいく必要がある。

文 献

- 1) 独立行政法人水産総合研究センター増養殖研究所.
ノリ色落ち対策に寄与する二枚貝増養殖技術ガイドライン平成24年3月:13.
- 2) 小谷正幸. ノリ葉体の色落ちの数値化. 福岡県水産海洋技術センター研究報告2000;10:49-50.
- 3) 色を読む話; コニカミノルタ株式会社
- 4) 小谷正幸, 井手浩美ら. 有明海漁場再生対策事業
(6)ノリ漁場利用高度化開発試験2017;201-209.
- 5) 社団法人全国沿岸漁業振興開発協会, 沿岸漁場整備開発事業増殖場造成計画指針ヒラメ・アサリ編平成8年度版
- 6) 山本民次, 高尾允英. スサビノリ *Porphyra yezoensis* 葉体のアンモニア態および硝酸態窒素の取り込みに及ぼす温度の影響, 藻類;36:37-42.
- 7) 白石 日出人. ノリ葉体の色調変化に関する研究. 福岡県水産海洋技術センター研究報告2010;20:131-134.
- 8) 平成19年度~令和2年度福岡県水産海洋技術センター事業報告:アサリおよびサルボウ資源量調査(2007~2020)
- 9) 熊谷香, 内藤剛. 有明海福岡県地先への栄養塩供給量の動向. 福岡県水産海洋技術センター研究報告2007;17:73-80.
- 10) 平成19年度~令和2年度福岡県水産海洋技術センター事業報告:ノリ養殖の高度化に関する調査(2007~2020)
- 11) 田中勝久, 児玉真史ら. 有明海筑後川河口域における冬季のクロロフィル蛍光と濁度変動. 海の研究;13(2):163-172.
- 12) 福岡県水産海洋技術センター有明海研究所要覧
- 13) 気象庁. 有明海・八代海海象調査報告書1974.
- 14) 日向野純也, 徳田雅治. 有明海における二枚貝漁獲量の変化と二枚貝による海水濾過量の推定. 2002年度日本水産工学会学術講演会論文集
- 15) 伊藤輝昭, 松本昌大. 有明海における有用カキ3種の分布と採苗に関する研究. 福岡県水産海洋技術センター研究報告2013;23:47-52.