

## 三河湾におけるアサリの漁場造成手段としての砕石覆砂の効果と環境要因との関連

日比野学・松村貴晴・服部宏勇・長谷川拓也・阿知波英明・石樋由香・三輪正毅

(2020年12月7日受付, 2021年2月4日受理)

### Effects of scattering crushed stone for building fishing grounds of Asari clam *Ruditapes philippinarum*, corresponding to environmental factors, in Mikawa Bay, Japan.

HIBINO Manabu\*<sup>1</sup>, MATSUMURA Takaharu\*<sup>2</sup>, HATTORI Hirotake\*<sup>3</sup>,  
HASEGAWA Takuya\*<sup>1</sup>, ACHIHA Hideaki\*<sup>1</sup>, ISHIHI Yuka\*<sup>4</sup> and MIWA Masaki\*<sup>5</sup>

**Abstract :** The effects of scattering crushed stone ground were surveyed as for larval settlement and survival of juveniles of Asari clam which transplanted from the local high density distribution area as well as environmental factors, at Isshiki tidal flat in Mikawa Bay, where resources decreased drastically, and also discussed its limit of effects. The amounts of juveniles and fisheries stock of Asari clam in scattering crushed stone ground were clearly larger than that in control station with fine sand flat. And the condition factor and the population maturation rate in scattering crushed stone ground was constantly higher than that in the control station. It was revealed that there is a clear effect on the increase and reproduction of clam resources. On the other hand, the amounts fell conspicuously from autumn to winter. The condition factor of the Asari clam also had low with being seawater chlorophyll concentration of that time low, which suggested becoming easy to die caused by the worse environmental condition. According to the results of the questionnaire for fishermen who participated in the experimental fishing, it was also suggested that the abundance of clam stocks in the intertidal scattering crushed stone ground did not reach a sufficient level for the fishery. It is necessary to create a habitat using a highly stable substrate such as scattering artificial gravels, with selection of a place to reduce the limiting factors, for starting to recover the resource.

**キーワード:** アサリ, 砕石覆砂, 生残, 肥満度, 餌料環境, 底面波浪流速

アサリ *Ruditapes philippinarum* は, 日本沿岸の潮間帯から水深 20m の砂泥底に広く生息する潜砂性二枚貝であり, 重要な漁獲対象種となってきた。1980 年代から 1990 年代にかけてアサリの漁獲量は全国的に減少し, 2000 年

代初めから低水準となっている。<sup>1)</sup> 愛知県のアサリ漁業は伊勢・三河湾の沿岸部で盛んに行われ, その漁獲量は年間約 15,000 トン程度と安定し, 国内供給量の中で主要なシェアを維持してきた<sup>2)</sup> が, 2014 年以降に急減し, 2017

\*<sup>1</sup> 愛知県水産試験場漁業生産研究所 (Marine Resources Research Center, Aichi Fisheries Research Institute, Toyohama, Minamichita, Aichi 470-3412, Japan)

\*<sup>2</sup> 愛知県水産試験場本場 (Aichi Fisheries Research Institute, Miya, Gamagori, Aichi 443-0021, Japan)

\*<sup>3</sup> 公益財団法人愛知県水産振興基金栽培漁業部 (Aichi Prefectural Sea Farming Center, Konakayama, Tahara, Aichi 441-3618, Japan)

\*<sup>4</sup> 国立研究開発法人水産研究・教育機構水産技術研究所 (Fisheries Technology Institute, Japan Fisheries Research and Education Agency, 422-1 Nakatsu-hamaura, Minami-ise, Watarai, Mie 516-0193, Japan)

\*<sup>5</sup> 海洋エンジニアリング株式会社 (Kaiyo Engineering CO., LTD., 4-28-11 Taito, Taito-ku, Tokyo 110-0016, Japan)

年には1,635トンと直近のピークである2008年の19,278トンのわずか8.5%となっている。<sup>3)</sup>全国各地のアサリ漁獲量の減少については、乱獲や貧酸素水塊、食害等に加え、短期出水や急速に発達する低気圧など気象に関するイベントが資源形成に対する悪条件を引き起こすことも指摘されるようになった。<sup>1, 4, 5)</sup>他方、近年では漁場や稚貝の発生場である河口干潟でも秋冬季の顕著なアサリ減耗がみられ、<sup>6-9)</sup>餌不足やアサリ肥満度の低下が減少に関わる要因との見方もされつつあり、<sup>6-9)</sup>栄養塩等の生産性指標においても顕著な減少が見られる<sup>10)</sup>など、アサリ資源が豊富であった頃の伊勢・三河湾の環境とは異なってきている。アサリ資源の急激な減少に伴い、本県アサリ漁業は逼迫しており、地区によってはほぼ休漁状態である。本県アサリ漁業には、内湾の生産性との関連を明らかにし、それを改善するための方策を画策しながら、現状の内湾環境においてアサリ個体群を維持し、生産を確保するための人為的管理策をはじめとする技術開発の重要性が増している。<sup>11)</sup>他海域では、アサリの生産力を高めるため、碎石覆砂及び支柱柵の設置、<sup>12)</sup>ホタテ貝殻<sup>13)</sup>や被覆網<sup>14)</sup>の敷設など、人為的な管理・保護策を講じる取り組みもなされてきている。本県のアサリ資源の現状においては、漁場の特性を考慮した上でこれらを導入・促進していくことが重要かつ不可避になってきているが、既存の漁具の障害にならない規格の碎石を利用した碎石覆砂は比較的大規模に展開することができ、アサリ漁業の復活において有効な施策の一つになると考えられる。

そこで本研究では、アサリ資源の減少が特に著しい愛知県西三河地区の三河湾一色干潟を対象として碎石覆砂

漁場の試験造成を行い、環境要因とともにアサリの生残等について秋冬季を中心に追跡することで、碎石覆砂によるアサリ保護効果を明らかにするとともに、その課題について検討した。

## 材料及び方法

### 試験区の設定

調査は三河湾の北西部にある一色干潟のうち、共同漁業権第84号内の衣崎地先漁場で行った (Fig. 1)。一色干潟は2000年代には毎年1万数千トン(全国のアサリ漁獲量の約1/2)のアサリが漁獲された海域であるが、2014年以降漁獲量が顕著に減少している。試験区は潮干狩り場に設定し、2018年8月に7号碎石(粒径2.5mm-5mm)を用いて造成された碎石覆砂区をSt.1とした。試験区は20m×20mの400m<sup>2</sup>であり、覆砂厚は20cmとした。施工方法は、「平成30年度水産基盤整備調査委託事業成果報告書」([https://www.mf21.or.jp/houkoku/data/0452/15\\_アサリ漁業復活.pdf](https://www.mf21.or.jp/houkoku/data/0452/15_アサリ漁業復活.pdf), 2020年8月1日)に詳しいが、圧送ポンプと連結するパイプライン及び小型台船によって浅海域での施工が可能となる方法によって散布・敷設した。その対照として隣接する同面積の原地盤のままの原地盤区をSt.2とした。地盤高は原地盤区(St.2)においてD.L.+20cmであり、碎石覆砂区では施工直後は起伏が見られたが、10日後のGPS測量の結果、地盤高が上昇しD.L.+40cm程度に均されたことを確認している。それぞれの試験区はノリ養殖用の支柱で位置がわかるように区画した。両試験区には2018年及び2019年の夏または秋に、三河(渥美)湾の湾奥に位置する豊川河口で採捕されたアサリ稚貝を移植した。移植は、2018年には9月初旬から10

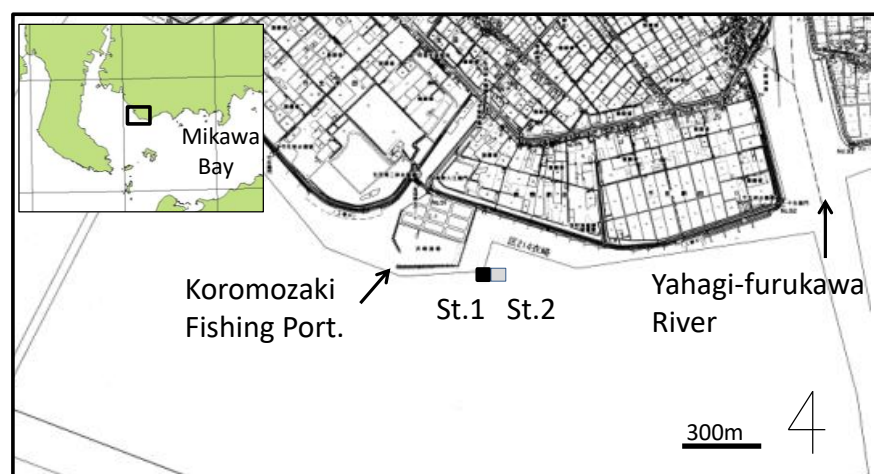


Fig.1 The experimental stations at Isshiki tidal flat in Mikawa Bay. The station 1 (St.1) and 2 (St.2) indicate the scattering crushed stone ground and fine sand flat as a control, respectively.

月上旬に漁業者により行われ（移植密度及び平均殻長不明）、2019年には8月1日に平均殻長12.8mmの稚貝を両区に約268,000個体ずつ、約670個/m<sup>2</sup>の密度となるよう放流した。なお、原地盤区の底質は、中央粒径値は約150µmの細砂を主体としており、調査期間中に著しい底質の変化は見られなかった。

### 試料採取及び分析

調査は2018年9月7日から開始し、おおむね毎月1回の頻度で実施し、特にアサリの減耗が報告される10月と11月（2019年は11月のみ）には月2回実施した。

調査方法は、潜水士が簡易グラブ採泥器（特開2015-099059；採取面積0.05m<sup>2</sup>；採泥深さ約15cm）により各区5回ずつ底質を採取した。採取物を現場で目開き2mmのふるいにかけたものを試料とし、研究室でアサリを選別した。選別されたアサリは、個体数を計数した後、殻長を計測し、殻長10mm以上の個体について無作為に抽出し、50個体を上限に殻長、殻高、殻幅、殻付き重量、軟体部湿重量を計測し、目視により成熟状態<sup>15)</sup>を判定した。調査日ごとのアサリの平均密度に平均殻付き重量を乗じてアサリ現存量を求めた。個体ごとの肥満度(CF)は鳥羽・深山<sup>16)</sup>に基づき以下の式により算出した。

$$CF = SBWW / (SL \times SH \times SB) \times 10^3$$

ここで、SBWWは軟体部湿重量(g)、SLは殻長(mm)、SHは殻高(mm)、SBは殻幅(mm)である。

アサリの成熟状態の推移を把握するため、群成熟度を求めた。個体ごとの成熟状態は、安田ら<sup>15)</sup>を参考に、生殖巣の外観観察から成熟状態を次の3段階とした。

- A: 生殖巣は著しく発達し、斧足部全体にわたり乳白色で膨潤している。
- B: 生殖巣は乳白色を呈するものの、斧足部の全体には至らない、もしくは中程度であるもの。
- C: 乳白色の生殖巣が視認できない、または視認できたとしても斧足部の半分以下。中腸線が皮膜を通して視認できる状態。

群成熟度はこれら3段階(A, B, C)にそれぞれ1, 0.5, 0の数値を与え、加算したものを供試数で除した平均値とした。

殻長3mm以下の着底稚貝及び初期稚貝を対象に、内径76mmのコアサンプラーを用いて底質表面を2回採取し、アサリを計数した。ただし、試料は2回分を1試料として計測した。

砕石覆砂の効果を定量するために、砕石覆砂区(St. 1)及び原地盤区(St. 2)におけるアサリ現存量を比較し、原地盤区(St. 2)に対する砕石覆砂区(St. 1)の現存量の差

分を増加量とし、その増加量の原地盤区に対する割合を増加率として評価した。

### 環境観測

餌料環境を把握するため、2019年7月から試験区内での採水による海水クロロフィルa量の測定、底泥クロロフィルa量の測定、及び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)による連続観測を行った。海水クロロフィル測定用の試料は、両区の境界付近の海底上30cm程度で採水し、採水された海水500mLをガラス繊維ろ紙(Whatman, GF/Fフィルター)でろ過したのち、ろ紙をDMF(ジメチルホルムアミド)に浸漬しクロロフィルを抽出した。底泥クロロフィルの試料は、内径15mmまたは23mmのコアサンプラーを用いて、各区5回ずつ底泥を深さ1cmまで採取した。採取物はDMFに浸漬し、クロロフィルを抽出した。クロロフィルa量の測定は、水産総合研究センター東北水産研究所(現水産研究教育機構)による「日本周辺海域における低次生態系モニタリングにおける蛍光法によるクロロフィルa分析マニュアル」に基づきHolm-Hansen法<sup>17)</sup>によった。海水及び底泥のクロロフィルa量の測定には、蛍光光度計10-AU(ターナーデザイン社)を用いた。

クロロフィル濁度計はSt. 1とSt. 2の境界に敷設したグラスファイバー製のポールに固定したステンレス板にセンサー部が海底上約30cmとなるよう設置した。測定間隔は20分毎とし、各測定時には1秒の測定時間で10回測定し、その平均値を算出した。

波浪環境を把握するため、小型メモリー電磁流向流速計(INFINITY-EM; JFEアドバンテック)をSt. 1とSt. 2の境界の海底に埋設し、センサー部が海底上約15cmになるよう設置した。測定間隔は120分毎とし、各測定時には0.5秒の測定時間で600回測定した。取得した観測データは、オープンソースソフトウェアであるTS-editor ver4.21及びTS-master ver6.6(川俣茂, 2007; <https://www.vector.co.jp/soft/dl/win95/business/se193021.html>, 2020年5月20日)を使用し解析した。本研究では波浪によるアサリの影響を評価するため、TS-masterにより算出された変動流速の2乗平均平方根(V<sub>rms</sub>)の2倍値を底面波浪流速値として算出した。

### 漁業者による試験操業

砕石覆砂区の漁獲資源を定量するために、2020年5月19日に、実際の漁業に使用する漁具である腰マンガ(スリット幅10.5mm)を用いて、砕石覆砂区において6名の漁業者により75分間の試験操業をおこなった。

**Table 1** Questionnaire form for fishermen who participated in the experimental fishing by Koshi-Manga in the scattering crushed stone ground.

	Q1	Q2	Q3	Q4
Choices 選択肢	Did you think that the crashed stones ground was more effective than the surrounding area? 周辺漁場に比べて、碎石の効果はあると思うか？	Was it easy to operate the Koshi manga fishing gear at crashed stones ground? 腰マンガは碎石漁場で曳きやすいか？	In order to run the Asari clam fishery in the current fishing ground environment, how many times do you need today's catch? 現状においてアサリ漁業をするためには、今日の何倍の漁獲量があれば良いか？	How did you feel about the crushed stone fishing grounds overall? 碎石漁場について全体的にどう感じましたか？
1	Yes はい	No problem 問題ない	Good with today's amount 今日の量で十分	Should be widely created 広く造成すべき
2	I think there is, but not enough あると思うが、不十分	Acceptable 許容範囲	About 2 to 3 times 2~3倍程度	There seems to be a possibility of increasing clams アサリを増やせる可能性はある
3	Rare ほとんどない	Possible if you overdo it 無理をすれば可能	About 5 to 6 times 5~6倍程度	I don't need it or I should think about other methods 必要ない、他の方法を検討すべき
4	Not at all 全くない	Impossible 不可能	10 times or more 10倍以上	Others その他

碎石覆砂区内を各漁業者が平行に操業することで、極力均一な漁獲努力が生じるよう配慮した。採捕されたアサリは全重量を定量し、一部を抽出し殻長を測定した。殻長組成におけるコホートの分離は、相澤・滝口の方法<sup>18)</sup>により行った。また、試験操業に参加した6名の漁業者に、碎石覆砂及び腰マンガ漁具の使用感に関して、アンケート調査を実施した。アンケートの設問及び選択肢はTable1の通りとした。また、試験操業後の残存する漁獲資源を定量するために、5月22日の干出時にSt.1において方形枠(20cm×20cm)及びスコップを用いた採泥により密度及び現存量を調査した。採泥は4回ずつ底質を採取し、現場で目開き2mmのふるいで選別し、研究室でアサリを選別した後、殻長25mm以上を漁獲資源とし、採捕個体数及び湿重量から密度及び現存量を算出した。

## 結 果

### アサリ密度等の推移

調査期間におけるアサリ密度、肥満度、群成熟度及び殻長の平均値をFig.2に示した。アサリの平均密度(Fig.2-A)は、両区とも稚貝移植により約1,000個体/m<sup>2</sup>程度に上昇したあと、11月以降に低下する傾向が見られた。ただし、原地盤区(St.2)では春から夏にも密度低下がみられ、密度は数10個体/m<sup>2</sup>程度に達するのに対し、碎石覆砂区(St.1)ではこの間においては横ばいで推移し、100

個体/m<sup>2</sup>程度を維持し、常に高い傾向が見られた。2019年においては、原地盤区(St.2)では9月下旬に顕著な密度の減少が認められたのに対し、碎石覆砂区(St.1)では、11月上旬まで移植時の密度を維持した。しかし11月上旬以降には、碎石覆砂区(St.1)アサリ密度は顕著に低下した。調査期間の通期平均でみると、アサリ密度はSt.1の445個体/m<sup>2</sup>に対しSt.2では183個体/m<sup>2</sup>と約2.4倍の差がみられた。

アサリの平均肥満度(Fig.2-B)は、両試験区とも春から夏に高く、秋に低下し冬季以降に上昇する傾向が見られた。特に2018年の11月から1月、2019年の9月から12月においては、肥満度が10以下と低い値となった。またSt.2については、2019年6月から7月においても低い値となった。平均肥満度は、密度と同様に碎石覆砂区(St.1)で常に高い傾向が見られ、調査期間の通期平均には、St.1の12.2に対しSt.2では11.3と約1.1倍の差がみられた。

群成熟度(Fig.2-C)は、両区とも春と秋に上昇した。ただし、碎石覆砂区(St.1)で常に高い傾向が見られ、特にピーク値に顕著な差が見られた。調査期間の通期平均でも、群成熟度はSt.1の0.26に対しSt.2では0.17と約1.6倍の差がみられた。

平均殻長の推移についてFig.2-Dに示した。なお、後述するように、本試験区では天然稚貝の着底は認められ

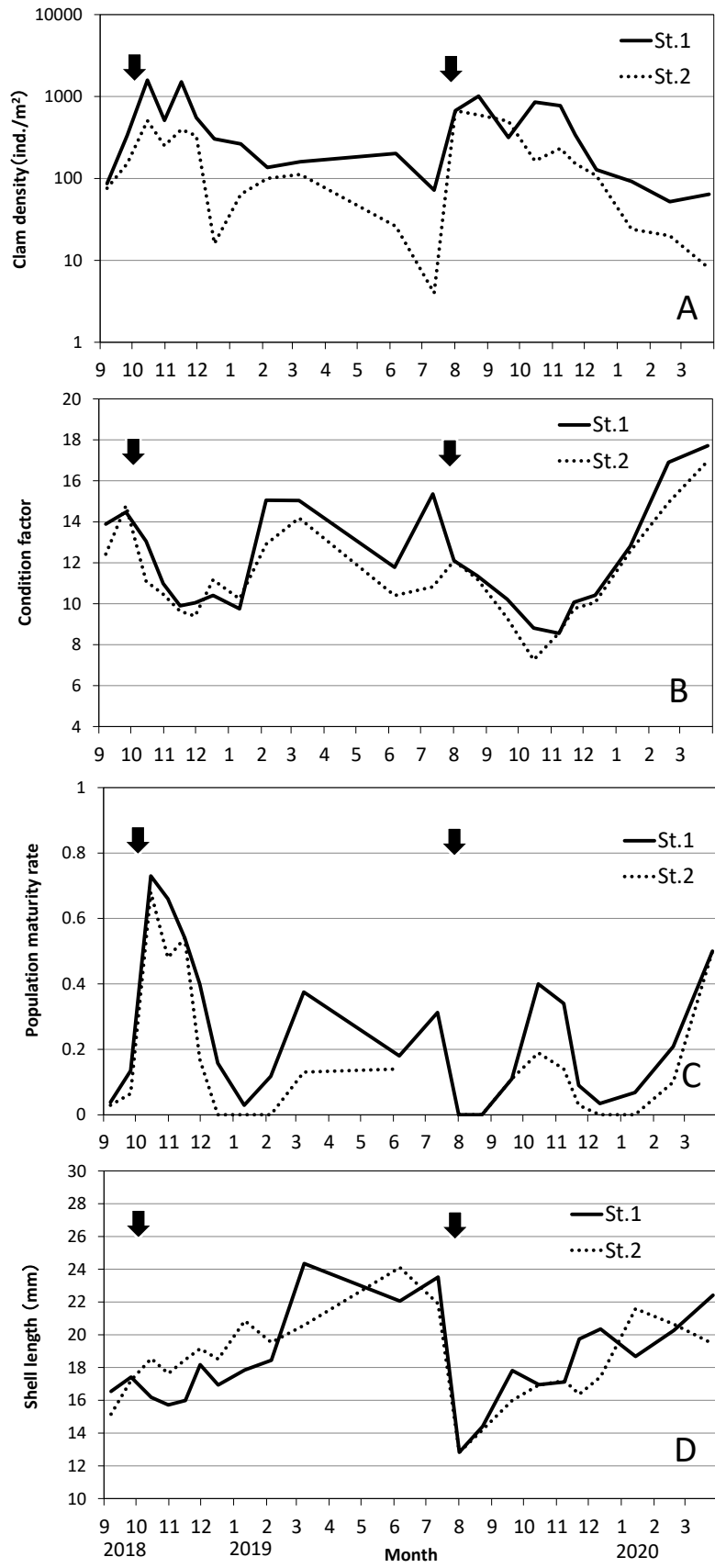


Fig.2 Time series fluctuations of average value in Asari clam density (A), condition factor (B), population maturation rate (C) and shell length (D), in both experimental stations. The solid arrows indicate the timing that juvenile clams were transplanted into the experimental stations.

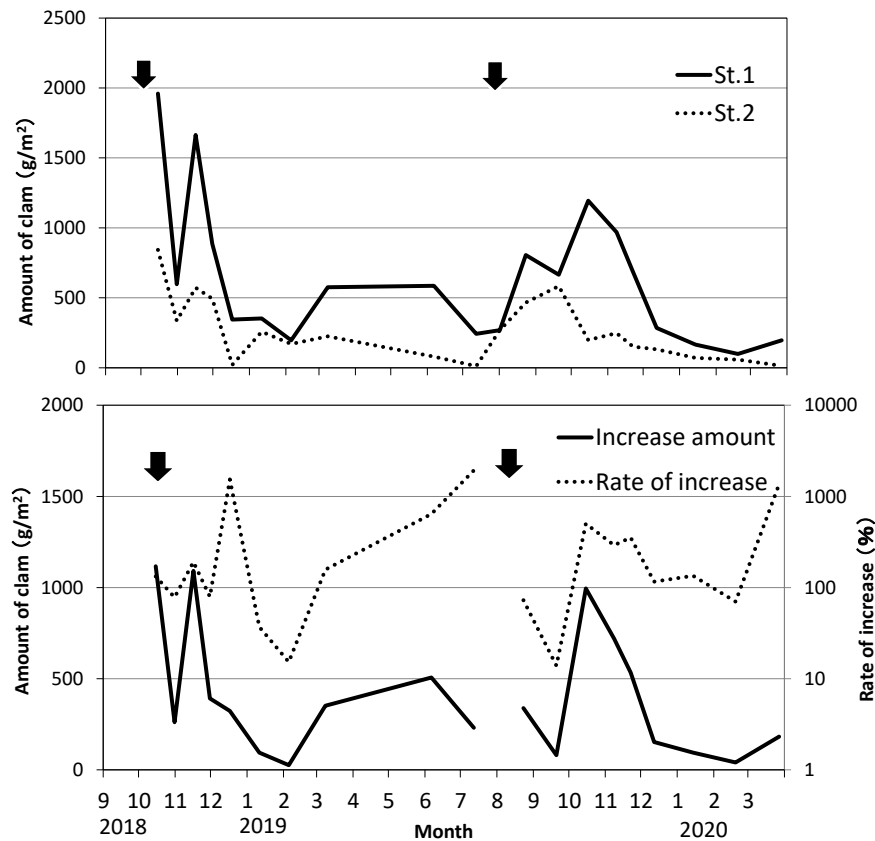


Fig.3 Time series fluctuations of average value in amount of clam (above), and the increased amount and the rate of increase in St.1 against the control (St.2) (below). The solid allows indicate the timing that juvenile clams were transplanted into the experimental stations.

たが密度は低く、また採泥調査による前年度の移植稚貝の出現頻度もわずかであり、殻長組成としては当該年の移植稚貝が主体となる一峰型であったため、平均殻長のみを示すこととした。平均殻長は、両区間で一定の差は認められなかった。2018年には、移植時に17mm前後であったものが翌春には22-24mm程度に成長した。2019年には移植時に12.8mmであったものが、2月までに20mm程度に成長した。

砕石覆砂区 (St. 1) 及び原地盤区 (St. 2) におけるアサリ現存量の推移と、原地盤区に対する砕石覆砂区の現存量の増加量および増加率について Fig. 3 に示した。アサリの現存量 (Fig. 3 上) は、砕石覆砂区 (St. 1) で常に高い傾向が見られた。砕石覆砂区 (St. 1) における現存量は、稚貝移植後に上昇ないし横ばいとなり概ね 1,000-1,500g/m<sup>2</sup> であったが、11 月以降に低下が顕著になり 500g/m<sup>2</sup> 以下となった。原地盤区 (St. 2) における現存量は、9 月下旬から減少し低い水準となり期間中 500g/m<sup>2</sup> 以上となる期間はほとんどなかった。

原地盤区に対する砕石覆砂区の現存量の増加量は

(Fig. 3 下)、12 月までは 500g/m<sup>2</sup> 以上あったが、その後減少し、春以降に再度増加する傾向がみられた。増加率は 2019 年の 1 月、2 月を除きほぼ 100% 以上で推移した。調査期間中の St. 1 の現存量は 682g/m<sup>2</sup> (期間平均) であり St. 2 の 272g/m<sup>2</sup> (期間平均) を常に上回った。また、調査期間中の増加量は 26-1,117 g/m<sup>2</sup> の範囲で変動し、砕石覆砂による平均増加率は 353% であった。

調査日ごとの着底稚貝及び初期稚貝 (殻長 3mm 以下) の密度について、Fig. 4 に示した。アサリ着底稚貝及び初期稚貝は、St. 1 では 7-9 月及び 11-1 月に、St. 2 では 7 月、8 月及び 11 月にそれぞれ出現し、St. 1 では比較的長期間にわたり出現が確認された。密度は最大でも約 800 個/m<sup>2</sup> であり高くはないが、St. 1 では 11 月以降に St. 2 よりも高い密度がみられた。

#### 海水及び底泥中のクロロフィルの推移

調査期間中のクロロフィル濁度計によるクロロフィル蛍光値の日平均値の推移と、調査日ごとに採水して得られた海水クロロフィル a 量を Fig. 5 に示した。クロロフ

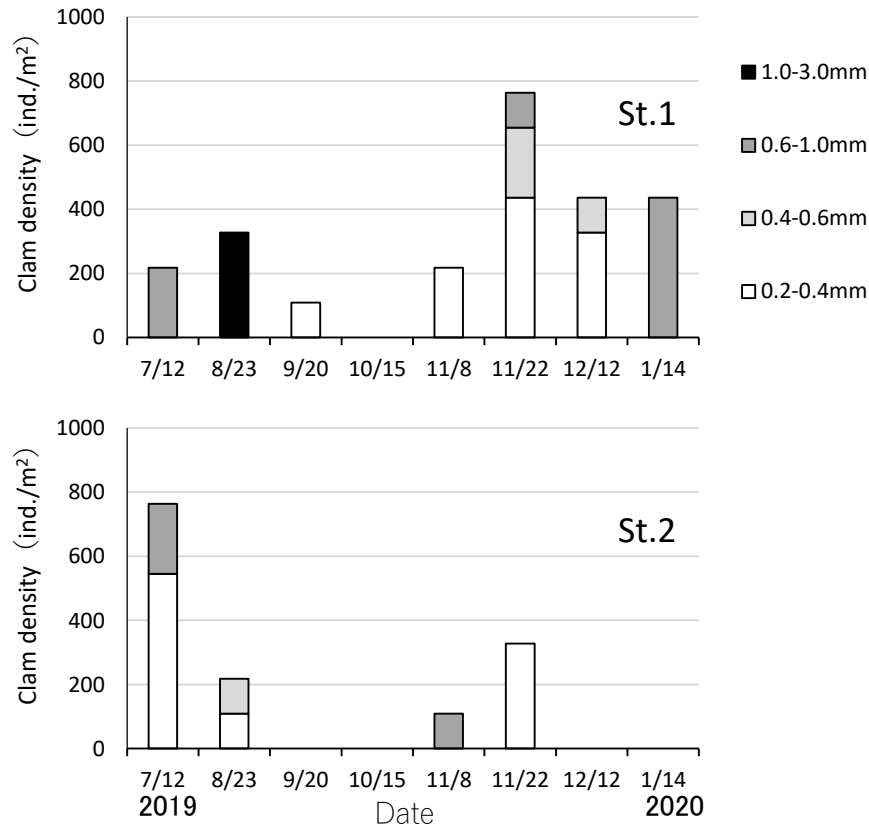


Fig. 4 The individual density of newly settled and small juveniles (<3.0mm in shell length) on each sampling date in 2019–2020.

イル蛍光値は、7月中旬以降に低下して低い水準で推移し、11月上～中旬に $5\mu\text{g/L}$ を超える日もみられたが、12月以降は再度極めて低い水準で推移した。採水による海水クロロフィル $a$ 量は、概ねクロロフィル濁度計による蛍光値と同様に変動した。7月には $27\mu\text{g/L}$ であったが、8月23日の調査以降では、9月20日及び11月22日の $3.7\mu\text{g/L}$ 以外の調査日では $3\mu\text{g/L}$ 以下と低く推移した。

採泥による底泥クロロフィル $a$ 量の推移を Fig. 6 に示した。底泥クロロフィル $a$ 量は、7月に最低であったが、11月上旬までは $5\mu\text{g/cm}^2$ 程度で横ばいに推移し、11月下旬以降やや増加し、2月に最大となった。試験区間及び季節変化による違いを検討するため、二元配置分散分析を行ったところ、底泥クロロフィル $a$ 量の季節的な変化

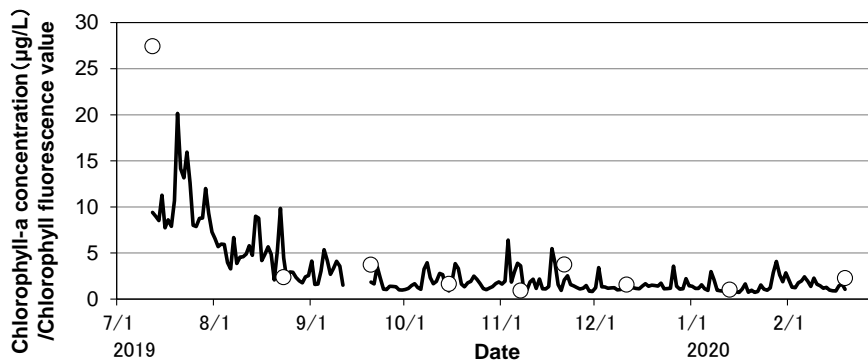


Fig. 5 Time series fluctuations in chlorophyll-a concentration (white dots) and the chlorophyll fluorescence value (Line graph) of seawater sampled from about 30cm above the bottom at the experimental station during 2019–2020.

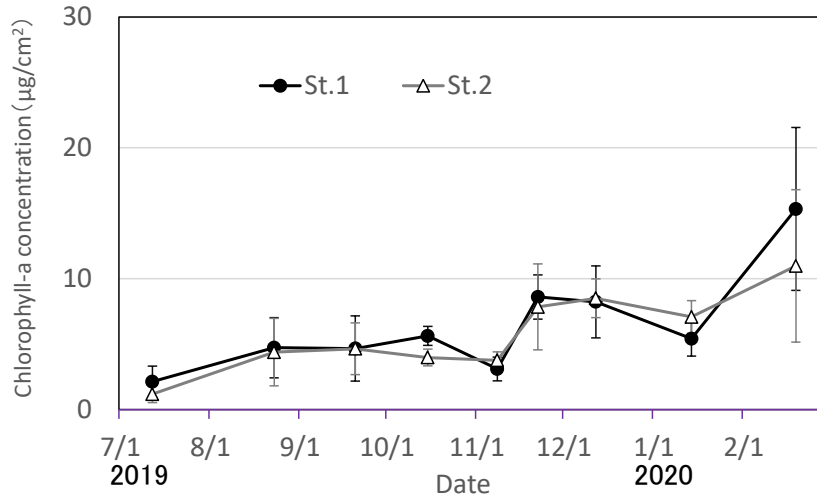


Fig. 6 Time series fluctuations in the averages of chlorophyll-*a* concentration on the bottom sediments at both experimental stations during 2019–2020. Vertical bars indicate the standard deviation of each data.

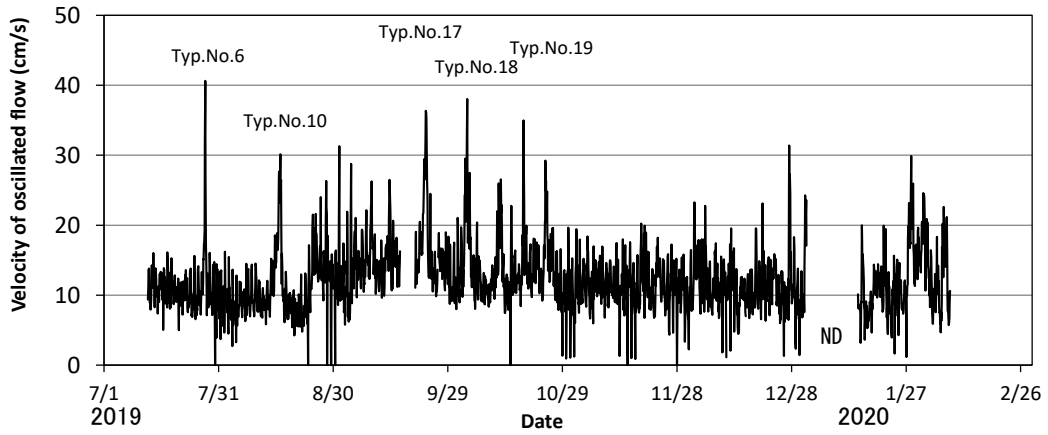


Fig. 7 Time series fluctuations in the velocity of oscillating flow ( $V'$  rms) on the bottom at the experimental station during 2019–2020.

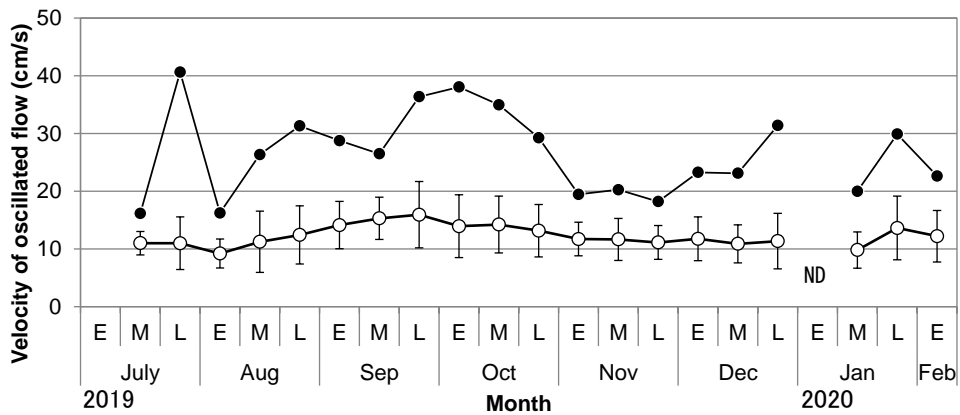


Fig. 8 Monthly and seasonal averages ( $\pm$ SD) (white dot) and maximum values (black dot) of the velocity of oscillating flow ( $V'$  rms) on the bottom observed during 2019–2020. Vertical bars indicate the standard deviation of each data.



には有意差がみられたが (two-way ANOVA,  $P < 0.01$ ), St. 1 と St. 2 の試験区間には有意差は認められなかった (two-way ANOVA,  $P > 0.05$ )。底泥クロロフィル  $a$  量は、秋から冬にかけて横ばいからやや増加する傾向が認められた。

### 底面波浪流速の推移

試験区で観測された底面波浪流速値の推移を Fig. 7 に示した。2019 年は台風通過に伴い、しばしば底面波浪流速のピークがみられ、特に 7 月から 10 月にかけて 30cm/s 程度のやや強い底面波浪流速が複数回観測された。11 月以降には 10~20 cm/s 程度の比較的小さい底面波浪流速が断続的に観測され、また 12 月下旬から 1 月にかけては再び 30cm/s を超えるやや強い波浪が観測された。これらの時系列データについて、旬別に最大値と平均値を Fig. 8 に示した。2019 年における底面波浪流速の最大値は、稚貝移植後の 8 月中下旬にかけて大きくなり、9 月下旬から 10 月中旬にかけて期間中の極大値がみられた。その後 11 月上旬から 12 月中旬にかけては小さかった。平均値については、季節的に大きな差はみられないものの、最大値と同様に 9 月から 10 月に大きくなる傾向がみられた。

### 漁業者による試験操業

漁業者による試験操業の結果、アサリが 21,600g 及びハマグリ *Meretrix lusoria* が 42,000g 採捕された (Table 2)。また、アカニシ *Rapana venosa* やサキグロタマツメタ *Euspira fortunei* も低密度ながら採捕された。採捕されたアサリの殻長組成を Fig. 9 に示した。殻長組成は、コホート解析により平均殻長 33.9mm (C1)、30.6mm (C2) 及び 26.2mm (C3) からなる 3 つのコホートに分離された。試験操業から得られた現存量及び分布密度と、調査 3 日後における枠取り調査による結果を合計すると、砕石覆砂区における漁獲資源 (殻長 25mm 以上; 愛知県漁業調整規則) は現存量で 100.7g/m<sup>2</sup>、分布密度で 17.36 個体/m<sup>2</sup> と推定された (Table 2)。

調査後のアンケートの結果 (Table 3)、「砕石の効果はあるか」との設問に対し、全員が「はい」と回答した。また、砕石覆砂漁場における腰マンガ漁具による操業について「曳きやすいか」との設問に対し、4 名が「問題ない」または「許容範囲」であり、2 名が「無理をすれば可能」との回答であった。さらに、「アサリ漁業に必要な資源量

Table 2 Result of catch yield on each species produced from within the scattering crushed stone ground, calculated from the catch by the experimental fishing by Koshi-Manga and the remaining survey.

Japanese name	Scientific name	Catch (g)	Amount (g/m <sup>2</sup> )	Ind. density (ind./m <sup>2</sup> )
アサリ Asari	<i>Ruditapes philippinarum</i>	21,600	54.0	9.36
ハマグリ Hamaguri	<i>Meretrix lusoria</i>	42,000	105.0	5.05
シオフキ Shiofuki	<i>Macra veneriformis</i>	2,974	7.4	1.22
カガミガイ Kagamigai	<i>Dosinia japonica</i>	720	1.8	0.11
アカニシ Akanishi	<i>Rapana venosa</i>	503	1.3	0.04
サルボウガイ Sarubou-gai	<i>Scapharca kagoshimensis</i>	160	0.4	0.02
サキグロタマツメタ Sakiguro-tamatsumeta	<i>Euspira fortunei</i>	138	0.3	0.04
Remaining after experimental fishing operation				
アサリ Asari	<i>Ruditapes philippinarum</i>		46.7	8.00
Total of Asari fisheries stock			100.7	17.36

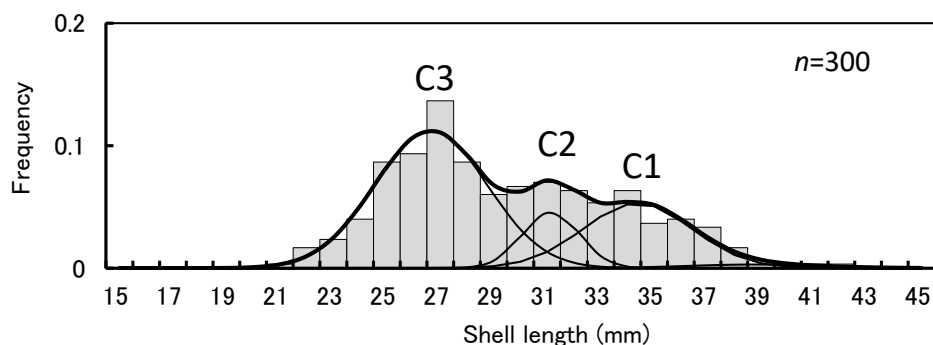


Fig. 9 The histogram of shell length on the Asari clam collected by experimental fishing by Koshi-Manga in the scattering crushed stone ground (St.1) on 19 May in 2020.

**Table 3** Results of a questionnaire to fishermen who participated in the experimental fishing by Koshi-Manga in the scattering crushed stone ground.

Fisherman	Q1	Q2	Q3	Q4
1	Yes	No problem	Good with today's amount	There seems to be a possibility of increasing clams
2	Yes	possible if you overdo it	10 times or more	Should be widely created
3	Yes	possible if you overdo it	10 times or more	Should be widely created
4	Yes	Acceptable	10 times or more	There seems to be a possibility of increasing clams
5	Yes	Acceptable	10 times or more	There seems to be a possibility of increasing clams
6	Yes	Acceptable	10 times or more	There seems to be a possibility of increasing clams

は、今日の何倍必要か」との設問に対し、6名中1名が「今日の量で十分」とする一方で5名が「10倍以上必要」と回答した。また、碎石に対しては、アサリを増やせる可能性を感じる、広く造成すべきという感想であった。

## 考 察

### 碎石覆砂によるアサリ資源への効果

約2年間にわたる追跡調査において、碎石覆砂区におけるアサリ密度及び現存量は、隣接する対照区を常に上回った (Figs. 2, 3)。北海道のサロマ湖に造成されたホタテガイ貝殻を散布した造成漁場では、分布密度において対照区の1.9倍のアサリが得られている。<sup>13)</sup> また、豊前海の吉富干潟に設置されたこぶし大の投石区では、アサリ稚貝の密度は対照区の約2.1倍であったことが報告されている。<sup>19)</sup> 一方で、大分県中津干潟における人工転石帯では、初期着底稚貝の密度は周辺の砂質帯より高いものの、より大型の稚貝については採集密度が少なく、<sup>20)</sup> 有明海においても、漂砂の影響などにより碎石覆砂によるアサリ分布密度等に対する有意な効果は見られなかったとの報告もある。<sup>12)</sup> 本研究で得られた碎石覆砂におけるアサリ分布密度は、対照とした原地盤区の2.4倍であり、他海域での漁場改善事例と同等以上のアサリ密度増加の効果が確認されるとともに、三河湾において碎石覆砂によるアサリ増産効果を明らかにした初の事例と考えられる。

肥満度はエネルギーであるグリコーゲンと相関があるとされ、<sup>21)</sup> アサリが波浪等の攪乱に対応するための活力指標と考えられている。<sup>22)</sup> その肥満度においても、本研究の結果では、通期平均で碎石覆砂区の12.2は、原地盤区の11.3を上回り、約1.1倍の差が生じた。季節ごとに見ると、特に肥満度が最低水準となり、密度の減少が見られた秋季において、相対的に碎石覆砂区で高い傾向が見られた。柴田ほか<sup>23)</sup> は、摂餌量が一定ならアサリの運動量が小さいほど肥満度が高くなることを報告している。碎石の基質安定性により、アサリの波浪等の攪乱に対するエネルギー消費が軽減され<sup>23)</sup> 肥満度が高く推移する

ことは、特に肥満度が低下する中で産卵が行われる秋季の生残<sup>23)</sup> に関して有利になると考えられた。

群成熟度についても、碎石覆砂区で常に高い傾向が見られた。三河湾におけるアサリの産卵期は春季と秋季にピークがあり、<sup>24)</sup> 本研究においてもこれらの時期に群成熟度のピークがみられ、そのピーク値には碎石覆砂区と原地盤区の間で差が見られた。肥満度と同様に定位にかかるエネルギー消費が軽減され、<sup>23)</sup> 成熟産卵へのエネルギーが蓄えられた可能性が考えられる。アサリの最小成熟サイズは殻長20mm程度とされ、<sup>24)</sup> 本研究においてもそれらのサイズの個体(便宜的に稚貝という)が成熟していた。データには示していないが、これら稚貝の一部の生殖線を切開し検鏡したところ、成熟卵が確認されており(長谷川・日比野, 未発表), 2018年の10月に豊川河口で採捕された移植稚貝を研究所内で畜養した際に、平均殻長20mm以下の稚貝が放精・放卵したことも確認されている(松村・服部, 私信)。群成熟度が高く、個体群中の成熟度が一致することで、アサリのような二枚貝の体外受精においては、受精率が高まることが予想される。以上の点は、移植稚貝が産卵に寄与する点においても、碎石覆砂は有効に働くことを示唆している。

碎石覆砂区 (St.1) では、原地盤区 (St.2) よりも着底・初期稚貝が多く確認され、その出現期間も長かった。粒径の粗い基質で着底密度が増加する例は、豊前海の転石帯<sup>20)</sup> でも報告されている。理論的には、基質の間隙に小型貝が隠れる遮蔽効果により、波浪による稚貝の攪乱が軽減され定着が促進されるメカニズムが提案されている。<sup>25)</sup> 本研究においても、碎石という粗粒径の遮蔽効果により着底稚貝の着底又は集積が促進され、初期生残に有利に働いたと考えられる。以上のことから、成貝が少なくなっている三河湾個体群の現況においては、アサリの再生産成功率を高める場としても碎石覆砂は有効であると考えられた。

アサリは様々な捕食者から食害を受けることが報告されており、資源減少や回復を阻害する要因として考えられている。<sup>1)</sup> 一方で、転石や碎石の散布がイシガニ

*Charybdis japonica* やツメタガイの捕食を抑制することも報告されている。<sup>26, 27)</sup> 本調査では食害生物への効果は検討していないが、漁業者による試験操業においてアカニシやサキグロタマツメタといったアサリの食害生物が同時に採捕されており、碎石の捕食軽減効果についても、今後検証していく必要がある。

### アサリ現存量が低下する要因

碎石覆砂区におけるアサリ密度及び現存量は、隣接する対照区を常に上回ったものの、特に11月以降には、両区において顕著に低下する状況が確認された。

秋冬季のアサリの減耗要因として、波浪による洗掘等による死亡が全国に共通する問題であると報告されてきた。<sup>11)</sup> 三河湾においても、秋冬季の波浪による減耗が、アサリの資源減少につながっている可能性が指摘されている。<sup>28)</sup> 本研究においても、2019年の9月下旬から10月上旬に台風接近に伴う底面波浪流速のピークが観測され、その期間にみられた原地盤区(St. 2)の現存量の低下は、波浪による減耗として説明ができる。他方、同時期の碎石覆砂区(St. 1)では現存量は増加しており、底面波浪流速の増大に対しても碎石によりアサリは保護され成長したと考えられる。一方で、碎石覆砂区で現存量の顕著な低下が見られた11月については、底面波浪流速の顕著なピークは確認されておらず、波浪そのものによる減耗とは考えにくい。この減耗に先行して、碎石覆砂区及び原地盤区ともに、2019年の10月または11月に肥満度が最小値を示した。一般的には、群成熟度と肥満度の増減は相関すると考えられる<sup>29)</sup>が、本研究においては2カ年とも群成熟度のピーク時にも肥満度は低下し、11月以降の群成熟度の低下とともに現存量が減少した点は、服部ほか<sup>9)</sup>で示された減耗過程の共通した特徴と一致していた。肥満度の増減には、餌料密度の多寡の影響が大きいことが飼育試験において確認されている。<sup>30)</sup> 本研究においては、底泥中のクロロフィル *a* 量は夏から秋にかけて相対的に低く、また現場採水による海水中のクロロフィル *a* 量も、8月23日の調査以降、長期にわたり、 $3\mu\text{g/L}$  以下と低く推移した。三河湾で安定的にアサリが漁獲されていた1994年において、本調査地点と同じ一色干潟衣崎地先で調査を行った青山・鈴木<sup>31)</sup>に示されている底生付着珪藻の推定現存量から逆算される10月の底泥クロロフィル *a* 量は約 $33.6\mu\text{g}/\text{cm}^2$ となり、本研究の10月の結果( $4.0\text{--}5.6\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )の6-8倍の量であった。また、アサリの育成に必要な海水中のクロロフィル *a* 量の下限値は厳密には不明であるが、柿野ほかの調査例<sup>32)</sup>をもとに $3\mu\text{g/L}$ を目安とされる場合が多く、本研究の結果

でも、長期間 $3\mu\text{g/L}$ 以下のクロロフィルが継続した後にアサリ現存量の低下がみられた。アサリの餌料としては底生性珪藻が重要とする知見もある<sup>33)</sup>が、アサリは基質に付着している珪藻をそのまま摂餌できないので、餌料として機能するには波浪等で剥離され水中に懸濁される必要がある。また、珪藻類が餌料として効率よく磨砕され消化されるためには、アサリの消化管内に珪藻類が充満していることが重要であるとされる。<sup>34)</sup> 本研究では、海水中クロロフィル *a* を構成する植物プランクトンの種組成は確認していないが、懸濁した底生性珪藻を加味しても、アサリが利用できる餌料の量は非常に低い水準であったと考えられ、消化効率も低下していた可能性も推定される。

三河湾における海水中のクロロフィル *a* 濃度は、アサリ漁獲量が最初のピークを迎えた1990年代から経年的に減少しており、<sup>9)</sup> 近年では、豊川河口(六条潟)の稚貝においても、餌量が制限要因となり、秋に減耗していることが示唆されている。<sup>7)</sup> 底泥クロロフィル *a* 量についても1990年代と比較して減少している可能性が示唆され、これらは湾域全体の栄養塩の低下<sup>10)</sup>に起因している可能性も想起される。また、アサリ軟体部の個体成長モデル<sup>8)</sup>による評価によれば、2014年以降の三河湾の秋冬季には生存限界を下回る秋季の餌不足が発生していることが示唆されている。<sup>6)</sup> さらに、三河湾の一色干潟漁場における近年のアサリの肥満度は減少傾向にあり、<sup>9)</sup> 資源が潤沢であった90年代後半や2000年代に比べ、特に夏から秋にかけて長期間10以下と極めて低い水準となっている。<sup>3)</sup> 肥満度は12以下になると、波浪等に対する減耗リスクが高くなるとされ、<sup>22)</sup> 肥満度が低下するとアサリが潜砂を放棄する「這い出し」が起り、<sup>35)</sup> 東京湾では肥満度低下による「大量へい死」も報告されている。<sup>36)</sup> 本研究において碎石覆砂及び原地盤ともに11~12月にみられたアサリ現存量の急減は、餌不足に起因する活力低下と秋季の産卵と相まった自然死亡率の上昇による可能性が考えられた。

### 漁業からみた碎石覆砂の有効性と課題

調査期間中における碎石覆砂区(St. 1)のアサリ平均現存量は $682\text{g}/\text{m}^2$ であり、原地盤区(St. 2)の $272\text{g}/\text{m}^2$ を大きく上回った。季節的には、稚貝移植後11月までは現存量には増加傾向が見られ、増加量においても11月以降に同期して減少する傾向が見られた。生存個体の殻長は増加していたことから、現存量の低下は密度の低下に由来している。一方で、平均殻長の推移をみると、碎石覆砂区と原地盤区に差はなく、St. 1では移植時に13mm程

度であったものが、翌年 4 月には 22mm 程度であった。1980 年代の三河湾の支湾である福江湾では、7 月において前年夏秋産まれ平均殻長 10 mm のアサリが、翌年 4 月 (1+齢) には平均殻長 30 mm に達しており、<sup>37)</sup> 本研究で得られた成長と比較して速い。本試験区においては、操業は一切行われておらず、漁獲による見かけの成長の停滞ではなく、純成長の停滞または大型個体の自然死亡の可能性が考えられ、漁獲加入が阻害されている実態が浮き彫りとなった。

2020 年 5 月における腰マンガ漁業者の試験操業、及び事後の枠取り調査もあわせると、アサリ漁獲資源 (殻長 25mm 以上; 愛知県漁業調整規則) の現存量は 100.7g/m<sup>2</sup>、分布密度で 17.4 個体/m<sup>2</sup> と推定された。2018 年 8 月に碎石覆砂区が新規造成され、その 1~2 カ月後に稚貝移植が行われたことを考慮すると、構成するコホートのうち C1 は 2018 年の移植稚貝であると考えられる。また、平均殻長の推移から、C3 は 2019 年の移植稚貝、C2 は 2018 年の造成以降の天然発生に由来する群である可能性が考えられた。これらの結果は、移植稚貝及び天然発生ともに碎石覆砂により一定の漁獲加入を果たしたことを示すと考えられた。さらに、試験操業ではハマグリもアサリ以上に採捕された。これらのハマグリ由来については不明であるが、近年三河湾ではハマグリ資源の増大傾向が見られており、今後は碎石覆砂のハマグリに対する効果についても検証していく必要がある。また、アンケート結果から腰マンガの操業において、7 号サイズの碎石は概ね操業の支障にはならないことが明らかとなった。対照区を含む周辺の砂泥干潟漁場では、2020 年 5 月現在においてアサリ漁獲資源はほとんどみられず、アサリを対象とした操業は行われていない。アンケート調査からも、碎石覆砂がアサリ漁獲資源の増大に効果があると漁業者に認識されたことが伺える。一方で、6 名中 5 名がアサリ漁業を生業とするために必要な資源を現状の「10 倍以上必要」と回答した。アサリを年間 1 万トン以上漁獲していた 2009 年から 2011 年に、本研究の調査区域を含む一色干潟で漁獲サイズ (30 mm 以上) 資源の現存量が推定されている。<sup>38)</sup> それらの結果と、同調査時のアサリ現存量全体に対する漁獲サイズ現存量比から、当時の漁獲資源の現存量は 822~1,328g/m<sup>2</sup> と推定され、本研究の結果の 8.2~13.2 倍となった。これらのことは、試験操業を行った漁業者が必要と感じる資源量が、アサリ漁業が盛んであった状況における漁獲資源の現存量とほぼ一致していたと同時に、碎石覆砂によっても、漁業に必要な資源量への増産には至らない場合もあることを示唆している。この課題を解決するには、秋冬急減を抑制すること

や漁獲サイズへの加入を促進することが必要である。本研究において試験造成した碎石覆砂区は、潮間帯に位置しており、潮位変動に伴う干出によってさらに餌条件が悪かったとも考えられる。これらの制限要因を緩和するためには、餌料環境を勘案した整備や現在三河湾で試行されている下水道管理運転等による生産性向上の取り組み<sup>39)</sup> と併せて検討すべき課題と言える。また、造成後漂砂が堆積し碎石が埋没することでアサリ保護機能が減退することも報告されており、<sup>11)</sup> 漂砂による影響の少ない造成規模や碎石覆砂漁場の維持管理手法についても併せて検討していく必要がある。

本研究において碎石覆砂は、アサリ現存量の増大に明瞭な効果があり、肥満度や群成熟度等、再生産に関わる指標においても原地盤より高くなる傾向がみられた。一方で、漁獲資源の増産効果は漁業に十分な水準に達しない場合も生じるという課題も残された。三河湾における各漁業現場への聞き取りにおいても、礫場や岩場はアサリが残っているという情報が多い。餌料が制限要因となる現状でアサリ個体群を維持増大するためには、海域の生産性改善の取り組みと並行して、碎石のような安定性の高い基質を用いた生息場の活用を端緒とし、食害対策や稚貝移植等の漁場管理を併用しつつ、現状の資源縮小を解消していくことが必要である。

## 要 約

資源が大幅に減少した三河湾の一色干潟において、豊川河口から移植したアサリ稚貝の定着と現存量の推移について、碎石覆砂の効果と環境要因との関連を調査した。碎石覆砂区におけるアサリ現存量と漁業資源量は、細砂主体の原地盤区よりも明らかに多かった。また、碎石覆砂区のアサリ肥満度と群成熟度は原地盤区よりも常に高く、再生産に対しても有効であると考えられた。一方、11 月から 12 月にかけて現存量は著しく減少した。この期間においては、海水クロロフィル濃度が低く、アサリの肥満度も低く推移したことから、餌料環境の悪化が関係したと考えられた。試験操業に参加した腰マンガ漁業者へのアンケート結果によると、7 号碎石は概ね操業には支障にならないものの、アサリ漁獲資源量は漁業にとって十分な水準に達していないことも示唆された。餌料環境等を考慮した適地選定の課題はあるが、アサリ資源の維持増大には、海域の生産性改善の取り組みと並行して、碎石のような安定性の高い基質を用いた造成場の活用を端緒とし、現状の資源縮小を解消していくことが必要であると考えられた。

## 謝 辞

漁場での試験区の設置及び腰マンガの試験操業においては、衣崎漁業協同組合の黒田勝春代表理事組合長、下村太氏はじめ漁業者及び職員の皆様に御協力いただいた。試験区の造成には、水産研究・教育機構水産工学研究所（現国際農林水産業研究センター）の南部亮元氏、株式会社東京久栄の中林孝之氏に御協力いただいた。また、底泥試料採取には有限会社鈴木ダイビングサービスの鈴木勝海氏、試料選別及び測定には愛知県水産試験場の二ノ方圭介氏、石井亮氏（現新潟県内水面試験場）、村田将之氏に多大なる御協力をいただいた。各氏に心より御礼申し上げる。

本研究は、平成30年度、平成31年度及び令和2年度水産庁委託調査事業「アサリ漁業復活のための大規模整備技術・維持管理手法の開発」により実施されたことを記し、水産庁関係部局各位及び検討委員各位、ならびに共同研究機関各位に謝意を表す。

## 文 献

- 1) 松川康夫・張成年・片山知史・神尾光一郎 (2008) 我が国のアサリ漁獲量激減の要因について. 日水誌, 74, 137-143.
- 2) 岡本俊治 (2009) 三河湾のアサリ資源の現状と課題. アサリと流域圏環境 - 伊勢湾・三河湾での事例を中心として (生田ほか編), 水産学シリーズ 161, 恒星社厚生閣, 東京, pp. 26-35.
- 3) 日比野学・下村友季 (2020) 水産系モニタリングデータの収集と利活用. 海洋と生物, 42, 49-55.
- 4) 鳥羽光晴 (2017) アサリ資源の減少に関する議論への再訪. 日本水産学会誌, 83, 914-941.
- 5) 松村貴晴 (2019) 三河湾のアサリ, ノリ生産量と水質の変動. 水産海洋研究, 83, 107-109.
- 6) 蒲原聡・芝修一・市川哲也・鈴木輝明 (2018) 伊勢・三河湾のアサリ増殖環境. 月刊海洋, 50, 406-420.
- 7) 曾根亮太・和久光靖・石田俊朗・宮脇大・山田智 (2019) 六条潟におけるアサリ *Ruditapes philippinarum* の秋季減耗要因について. 水産海洋研究, 83, 252-259.
- 8) 芝修一・姫野天領・吉田司・蒲原聡・田中義人・鈴木輝明 (2020) 個体成長モデルを用いた伊勢湾東部沿岸域におけるアサリ *Ruditapes philippinarum* 資源の減耗要因の検討. 水産海洋研究, 84, 11-26.
- 9) 服部宏勇・松村貴晴・長谷川拓也・鈴木智博・黒田拓男・和久光靖・田中健太郎・岩田靖宏・日比野学 (2021) 愛知県内アサリ漁場における秋冬季のアサリ肥満度の変動と減耗. 愛知水試研報, 26, 1-16.
- 10) 蒲原聡・高須雄二・湯口真実・美馬紀子・天野禎也 (2018) 三河湾における栄養塩の低下. 愛知水試研報, 23, 30-32.
- 11) 鳥羽光晴 (2015) アサリの資源回復をめぐるこれまでとこれから - アサリ資源の減少に対する危機感や, 回復への熱意を失わずに - . 豊かな海, 36, 57-63.
- 12) 生嶋登・齊藤肇・那須博史 (2012) アサリ稚貝の着底と生残を促進するための砕石散布と支柱柵設置の水力学的効果に関する干潟での野外実験. 水産技術, 5, 75-86.
- 13) 櫻井泉・福田裕毅・前川公彦・山田俊郎・齊藤肇 (2012) ホタテガイ貝殻を活用したアサリ増殖場造成試験. 水産技術, 5, 87-95.
- 14) 小林豊・鳥羽光晴・川島時英 (2012) 被覆網を用いた春から夏季におけるアサリ人工稚貝干潟育成試験. 水産技術, 5, 67-74.
- 15) 鳥羽光晴・深山義文 (1991) 飼育アサリの性成熟過程と産卵誘発. 日水誌, 57, 1269-1275.
- 16) 安田治三郎・浜井生三・堀田秀之 (1954) アサリの産卵期について. 日水誌, 20, 277-299.
- 17) 相澤康・滝口直之 (1999) MS-Excel を用いたサイズ度数分布から年齢組成を推定する方法の検討. 水産海洋研究, 63, 205-214.
- 18) Holm-Hansen O, Lorenzen CJ, Holmes RW, Strickland JDH (1965) Fluorometric determination of chlorophyll. J. Cons. Cons. Int. Explor. Mer. 30, 3-15.
- 19) 中川浩一・長本篤・江藤拓也・佐藤利幸 (2007) 吉富干潟における杭打ち・投石によるアサリ稚貝減耗防止効果. 福岡水技セ研報, 17, 51-59.
- 20) 三代和樹・福田祐一・齊藤肇・秋山吉寛 (2011) アサリ資源回復にむけての人工転石帯の有効性. 大分県農林水研セ研報, 1, 23-28.
- 21) 山地幹成 (2011) 広島県尾道市浦崎地先と広島県江田島湾のアサリグリコーゲン含量の季節変化. 広総研水技セ研報, 4, 21-24.
- 22) 水産庁 (2008) 4章 干潟及び二枚貝状態診断指針 4-3-6 波浪による斃死. 干潟生産力改善ためのガイドライン (水産庁編), 東京, pp. 97.
- 23) 柴田輝和・柿野純・村上亜希子 (1997) 冬期の浅場における砂の流動に対するアサリの定位性ならびに餌料量・運動量とアサリの活力との関係. 日本水産工学会誌, 33, 231-235.
- 24) 松本才絵・淡路雅彦・日向野純也・長谷川夏樹・山本敏博・柴田玲奈・秦安史・櫻井泉・宮脇大・平井玲・程

- 川和宏・羽生和弘・生嶋登・内川純一・張成年 (2014) 日本国内 6 地点におけるアサリの生殖周期. 日水誌, 80, 548-560.
- 25) 桑原久実 (2009) 底質の安定性からみた好適アサリ生息場環境. 「アサリと流域圏環境—伊勢湾・三河湾での事例を中心として」(生田和正・日向野純也・桑原久実・辻本哲朗編). 恒星社厚生閣, 東京, pp. 61-70.
- 26) 高橋宏司・澤田英樹・益田玲爾 (2016) イシガニによるアサリ捕食のメカニズムとその対策. 日水誌, 82, 706-711.
- 27) 竹山佳奈・佐々真志・梁順普・渡辺啓太・齋藤輝彦 (2016) 地盤環境を考慮したアサリ成育場の新たな維持・管理手法の開発と現地試験による実証. 土木学会論文集 B3 (海洋開発), 72, I\_1093-I\_1098.
- 28) 松村貴晴 (2019) 三河湾のアサリ, ノリ生産量と水質の変動. 水産海洋研究, 83, 107-109.
- 29) 鳥羽光晴・夏目洋・山川紘 (1993) 東京湾船橋地先におけるアサリの生殖周期. 日水誌, 59, 15-22.
- 30) 鳥羽光晴 (1989) アサリの水槽飼育での性成熟過程における摂餌量の重要性. 水産増殖, 37, 63-69.
- 31) 青山裕晃・鈴木輝明 (1996) 干潟の水質浄化機能の定量的評価. 愛知水試研報, 3, 17-28.
- 32) 柿野純・古畑和哉・長谷川健一 (1995) 東京湾盤洲干潟における冬季のアサリのへい死要因について. 日本水産工学会誌, 32, 23-32.
- 33) 小池裕子・齋藤徹・小杉正人・柿野純 (1992) 東京湾小櫃川河口干潟におけるアサリの食性と貝殻成長, 水産工学, 29, 105-112.
- 34) Houki S, Kawamura T, Ogawa N, Watanabe Y (2018) Efficient crushing of hard benthic diatoms in the gut of the Manila clam *Ruditapes philippinarum* - Experimental and observational evidence. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 505, 35-44.
- 35) 慶野英生・杉山清泉・西沢正・鈴木輝明 (2005) 冬季波浪時におけるアサリの潜砂行動とエネルギー消費過程に関する実験的研究. 日本水産工学会誌, 42, 1-7.
- 36) 柿野純・鳥羽光晴・兼子昭夫・深山義文 (1992) 東京湾木更津地先における冬季のアサリへい死の特徴. 千葉県水産試験場研究報告, 50, 21-30.
- 37) 水産庁 (1983) 大規模増殖場開発事業調査総合報告書. 昭和 57 年度版, 14 福江地区, 55.
- 38) 山田智 (2016) 三河湾一色干潟におけるアサリ資源管理—広大な漁場におけるアサリ資源管理の成功例—. 豊かな海, 38, 1-4.
- 39) 蒲原聡・高須雄二・湯口真実・美馬紀子・天野禎也・石田俊朗・宮脇大・鈴木智博 (2019) 2017 年から 2018 年の三河湾における 2 ヶ所の広域流域下水道の冬季リン管理運転が湾奥部の水質に与えた影響. 愛知水試研報, 24, 1-13.