

## 矢作川河口域における海底直上の流動特性とアサリ着底稚貝の加入

日比野学・岡本俊治・齊藤 肇・日向野純也・桑原久実

(2025 年 11 月 11 日受付, 2026 年 1 月 27 日受理)

### Recruitment of newly settled Manila (Asari) clam *Ruditapes philippinarum* related to the near-bottom hydrodynamic condition at the mouth of Yahagi River, Japan.

HIBINO Manabu<sup>\*1,2</sup>, OKAMOTO Shunji<sup>\*1,2</sup>, SAITO Hajime<sup>\*3</sup>,  
HIGANO Junya<sup>\*4</sup>, and KUWAHARA Hisami<sup>\*5</sup>

**Abstract :** To clarify the environmental factors that contribute to the recruitment and accumulation of newly settled juvenile clams, continuous observations of near-bottom seawater flow and chlorophyll-*a* concentrations were conducted on the left bank tidal flat at the mouth of the Yahagi River in Mikawa Bay, where the emergence of juvenile clam is consistently observed. We also examined the relationship between these environmental conditions and the recruitment and accumulation process. Among the near-bottom, wave-induced oscillatory currents and amplitude peaks were observed around low tide, and the shear stress generated by these currents frequently exceeded the movement thresholds of bottom sediments and benthic juvenile clams. The mean residual flow was characterized by stronger upstream flow at downstream sampling sites. The cumulative transport intensity calculated from the mean residual flow was negatively correlated with the density of newly settled juveniles, suggesting that newly settled juveniles and/or fully grown larvae are transported to the estuarine tidal flat by disturbance and upstream residual flows, which commonly occurs from low tide to flood tide. These findings further imply that juveniles are recruited and accumulate in upstream areas where residual flow is weakened or stagnates. Chlorophyll-*a* concentrations peaked during flood tide, when oscillatory currents were dominant, indicating that suspended benthic and planktonic diatoms produced at the estuary front were supplied to the juvenile distribution area. Overall, these results suggest that the recruitment of juvenile clams and the food supply driven by near-bottom hydrodynamic conditions in the estuary contribute to the formation of suitable juvenile clam habitat.

キーワード: アサリ, 着底稚貝, 海水流動, クロロフィル, 三河湾, 矢作川河口

---

\*1 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)

\*2 (現所属) 愛知県農業水産局水産課 (Fisheries Administration Division, Department of Agriculture, Forestry and Fisheries, Aichi Prefectural Government, Naka-ku, Nagoya, Aichi 460-8501, Japan)

\*3 国立研究開発法人水産研究・教育機構水産技術研究所神栖庁舎 (Kamisu Branch, Fisheries Technology Institute, Japan Fisheries Research and Education Agency, 7620-7 Hasaki, Kamisu, Ibaraki 314-0408, Japan)

\*4 一般社団法人マリノフォーラム21 (Marino-Forum21, Hagoromo Building 5F, 1-5-2 Hatcho-bori, Chuo-ku, Tokyo 104-0032, Japan)

\*5 株式会社東京久栄技術センター (Engineering Center, Tokyo Kyuei Co., Ltd, 6906-10 Shiba, Kawaguchi, Saitama 333-0866, Japan)

アサリ (*Ruditapes philippinarum*) は沿岸漁業における重要な対象種であるが、1980年代から1990年代にかけて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, 2)</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が、<sup>3)</sup> 近年著しい減少傾向がみられている。<sup>4)</sup> 三河湾ではアサリの資源増大策として従来から様々な取り組みがなされてきており、その中でも稚貝場と呼ばれるアサリ稚貝の高密度分布域から漁場へ移殖する稚貝移殖が漁業者によって行われていることが特徴的である。<sup>5)</sup> 特に、三河湾東部湾奥に流入する豊川河口の干潟ではアサリ稚貝が大量に自然発生し、その稚貝を各地先漁場へと年間数千トン規模で移殖することで漁業資源の増大と安定に寄与することが広く認識されてきた。<sup>3, 5)</sup> また、稚貝が三河湾各地先に移殖されることで、親貝資源の拡大やそれらに由来する高い浮遊幼生密度に貢献し、<sup>6, 7)</sup> メタ個体群の生物的ネットワークの強化につながるといった側面もあるなど、<sup>3)</sup> 稚貝場は三河湾のアサリ漁業生産において重要な場所と言える。

三河湾においてアサリ稚貝は、河口域の干潟に分布する傾向が認められ、<sup>8)</sup> さらに河口域の中でも毎年安定して高密度に発生する稚貝場がある。<sup>9)</sup> 三河湾西部海域(知多湾)に流入する一級河川の矢作川では、その河口左岸干潟において毎年安定して平米あたり数千個から数万個レベルの個体数密度でアサリ稚貝の発生が確認される。<sup>9)</sup> このような稚貝場の形成につながる稚貝発生には、幼生や着底稚貝の安定した河口域への加入機構が存在すると推定される。<sup>10-13)</sup> 例えば、黒田<sup>11)</sup> は、アサリ浮遊幼生の発育に伴い後期(着底期)に幼生が底層に多く分布することを明らかにし、浮遊幼生が底層のエスチュアリー循環流を介して河口域へと輸送されることを示唆している。同じく三河湾の豊川河口域(六条潟)においても、高密度のアサリ稚貝が毎年発生しており、高い幼生密度と干潟上への供給を促す流動特性が、稚貝の高密度分布に関与していることが示唆されている。<sup>13, 14)</sup> このように、着底稚貝の加入と環境特性を関連付けて検討することは、河口域に形成される稚貝場の形成機構を考える上で非常に重要なアプローチであり、知見の集積が求められる。

着底稚貝には能動的な付着や匍匐行動が見られる一方、<sup>15)</sup> 微小であり水中比重も低いため、周辺の流動環境によって受動的に輸送されやすく、加入や定位において、海底直上の波・流れといった物理的要因が関与しているとされる。<sup>16)</sup> 例えば、波の強さなどから求めたシール

ズ数は、二枚貝の定位における安定性を評価する指標とされ、<sup>17)</sup> 漁場では碎石覆砂、<sup>18)</sup> 被覆網<sup>19)</sup> 及びホタテガイ貝殻散布<sup>20)</sup> など、基質変化によって人為的にシールズ数を低下させることで、底質の安定により稚貝発生を促進する取り組みもなされている。一方で、天然海域の高密度で稚貝が発生する稚貝場において、アサリ稚貝の加入・集積に寄与する環境要因を明らかにすることは、河口域の環境保全とともに漁場での稚貝発生を促進する方策を検討するためにも重要である。

本論文では、河口域において高密度に稚貝が発生するメカニズムの一端を明らかにするため、矢作川河口において流動やクロロフィル濃度等の連続観測を行い、その特徴とアサリ着底稚貝の加入・集積状況との関連を検討した。

## 材料及び方法

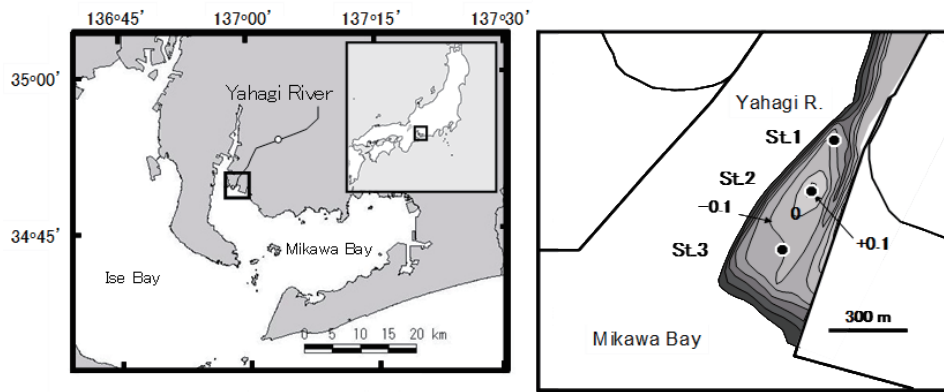
### 調査場所と概況

調査は、三河湾西部(知多湾)に流入する矢作川の河口において、2007年6~8月に行った。矢作川河口域では、特に左岸においてアサリ稚貝が高密度で発生することが知られており、<sup>9)</sup> 河口左岸の干潟上に流軸と平行に調査定点を3点設け、上流の定点からSt.1~St.3の順とした(Fig. 1)。調査年において、国土交通省(以下、国交省)豊橋河川事務所が実施した深淺測量によると、この干潟は左岸堤に沿って河口から上流約1km程度にわたり長円のマウンド状に形成されており、St.2の地盤高が最も高くDL+15cmであった(Fig. 1)。

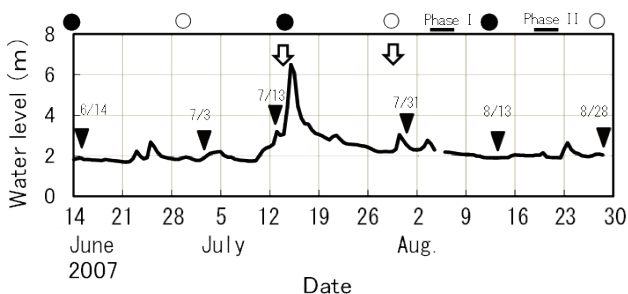
調査期間の水位について、国交省水文水質データベースにより、河口から約10km上流にある米津観測所(愛知県西尾市米津町)における水位流量時間情報(<http://www1.river.go.jp/cgi-bin/SiteInfo.exe?ID=305071285512050>, 2025年11月7日)を引用した(Fig. 2)。調査期間中の2007年7月15~16日には、台風第0704号が東海地方に接近し、非常に激しい降雨により水位は7m以上となっており、以降数日間は河口の流況に影響していたと推測された(Fig. 2)。それ以外の調査期間における水位は、3mを超えることはほとんどなく、ほぼ平常水位(2m程度)であった(Fig. 2)。

### アサリ調査と分析

アサリ稚貝の採集調査は、大潮日(2007年6月14日、7月3日、7月13日、7月31日、8月13日、8月28日)の干潮時に計6回、3定点において大型稚貝を対象としたコドラート採取と、着底稚貝を含む小型稚貝を対象としたコア採取を行った。コドラート採取では、定面積(10cm×10cm; 100cm<sup>2</sup>)を10cmの深さまで各定点で4回



**Fig. 1** Map of the Yahagi estuary (left) and the sampling stations on the tidal flat (right). The white dot in left figure indicates the location of the Yonezu water-level observation point by the Toyohashi River Office, Ministry of Land, Infrastructure and Transport. In the right figure, the schematic diagram of the tidal flat is color-coded by 0.1 m intervals above the datum level.



**Fig. 2** Water level in the lower reach of the Yahagi River in the Yonezu observation point, located at approximately 10 km upstream from the river mouth. Solid triangles indicate each sampling date, and open allows indicate days when typhoons approached central Japan. Black and white circles above the graph indicate the dates of the new and full moon, respectively. Phase I and phase II correspond to the periods referenced in the text and in Fig. 12.

ずつ採取した。得られた試料は、クーラーボックス中に冷蔵して研究室へ持ち帰り、 $-24^{\circ}\text{C}$ で冷凍保存した。コドラート採取による試料は、目開き 1 mm のステンレスふるいをを用いサイズ選別し、残った試料中から二枚貝を選別し、アサリの殻長を計測した。コア採取では、内径 3.7 cm のコアで 2 cm 深までの底泥を 3 回採取し、ふるい等では選別せず全量を混合したものを 1 試料とし、各定点で 6 試料ずつ位置を意図的に選択せずに採取した。コア採取の試料は、試料中からアサリを実体顕微鏡下で選別・査定し、殻長を計測した。試料中のアサリの個体数を計数し、採泥面積から  $1\text{ m}^2$  当たりの個体数密度を算出した。出現コホートの分離は、殻長組成におけるモードより行った。なお、本研究では、コアで採取された小型稚貝のうち殻長 0.3 mm 以下の個体を着底稚貝、1 mm のふるい

に残った個体を大型稚貝と呼称することとした。

底質分析用の試料採取は、コドラート採取場所の周辺で、シリンジ先端を切除して作成したコア（内径 17 mm）を用い、深さ約 5 mm まで底泥を 10 回採取し混合したものを 1 試料とし、各定点で 4 試料ずつ採取し、クーラーボックス中に冷蔵して研究室へ持ち帰った。これらの試料を用い、底質表層の中央粒径値、含水率、強熱減量及び底泥の植物色素含有量を分析した。中央粒径値は、レーザー回折式粒度分布測定装置（SALD-3100；島津製作所）により、超音波で粉碎した直後に堆積物の粒度分布を測定し、中央粒径値を計算した。含水率と強熱減量は、 $110^{\circ}\text{C}$ で 2 時間加熱後または  $600^{\circ}\text{C}$ で 2 時間燃焼後の堆積物の重量をそれぞれ測定し算出した。植物色素含有量の分析では、研究室に到着後速やかに試料から約 1 g（湿重量）を取り出し、DMF（*nm*-ジメチルホルムアミド）で色素抽出を行い、測定まで冷凍暗庫内に保存した。クロロフィル *a* 及びフェオ色素の量の測定にはクロロフィル測定装置 10-AU（ターナーデザイン社）を用い、Holm-Hansen 法<sup>21)</sup>により測定した。

個体数密度はデータの分散を考慮し常用対数に変換して解析に用いた。個体数密度及び底質分析の定点間の差の検討には、Tukey HSD 法により多重比較検定を行った。全ての測定項目に関する統計解析及び検定には、EZR<sup>22)</sup>を使用した。EZR は R 及び R コマンドの機能を拡張したソフトウェアである。

#### 海水流動及びクロロフィルの連続観測と解析

海底直上の海水流動を明らかにするために、2007 年 7 月 30 日から 8 月 28 日までの約 1 か月間にわたり、3 定点で流向流速を連続観測した。観測には自記式電磁流向

流速計 (Compact-EM; JFE-Alec) を用い、センサー部球体の下端が海底から約 10 cm 上に位置するように干潟中に本体部を埋設した。観測の設定は、測定間隔を 0.5 秒とし、1 バーストあたりの測定を 600 回、バースト間隔を 90 分とした。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 ver. 4.6.5 及び TS-Master ver. 6.6 (<https://www.vector.co.jp/soft/dl/win95/business/se193021.html>, 2025 年 11 月 7 日; 現参考 URL: <http://www.s-tech.jp/tsm/tsm.html>) を使用し解析した。本研究では、生嶋ほか<sup>18)</sup> 及び櫻井ほか<sup>20)</sup> を参考に、流向流速データを移流成分と変動成分の 2 つの成分に分離して解析に用いた。移流成分は、各観測時刻での周期的な変動成分を除いた一方向の流れであり、本研究では平均流 (residual flow) と呼称した。平均流は各バーストにおける北方平均流速及び東方平均流速の合成ベクトルで示し、その大きさは絶対値で示した。また、波の作用に由来する変動成分は周期性を持つ振動流を表し、その大きさについて変動成分の二乗平均平方根 (以下、振動流; Oscillated flow:  $V_{rms}$ ) と流速振幅 (Wave amplitude:  $U_s$ ) によって示した。また、任意の場所に分布する着底間近の殻長期幼生や着底稚貝が移流によって異なる場所へ運ばれる確率は、任意期間における移流ベクトルの合成ベクトルの大きさに比例すると推定されるため、北方及び東方成分の合成ベクトルの絶対値を累積移送強度として、着底稚貝密度との検討を行った。また、直近の流況が着底期を迎えた浮遊幼生の着底や調査 (干出) 時の着底稚貝の分布に影響を及ぼしたと考え、Tezuka et al.<sup>23)</sup> の着底の評価日数を参考に、累積移送強度の算出には稚貝試料採取の直前 48 時間の平均流 (33 回の測定) における観測結果を用いた。累積移送強度と着底稚貝密度の関係は、Kendall の順位相関により検討した。

着底稚貝の定位や底質の安定性を評価するために、8 月 14~28 日までの 1 潮汐周期分の観測データを用い、桑原<sup>16)</sup> の解析手法により平均流及び振動流から算出されるせん断応力と、アサリと底質の粒径及び比重から計算される移動限界を計算した。なお、桑原<sup>16)</sup> では移動限界の評価に底面摩擦速度を用いているが、本研究では底面摩擦速度の二乗に海水の密度を乗じて算出したせん断応力を使用したアサリ稚貝の移動限界判定エクセルファイル Ver. 3.1<sup>24)</sup> を用い、底質及びアサリ稚貝が流動によって移動させられる可能性を判定した。せん断応力の計算に用いる振動流の数値には、生嶋ほか<sup>18)</sup> を参考に TS-master ver. 6.6 を用い、流速振幅の上位 1/3 値 ( $U_{s1/3}$ ) を算出し使用した。また、移動限界の計算におけるアサ

リの殻長は着底稚貝を想定した 0.3 mm、比重 (密度) は  $1.5 \text{ g/cm}^3$  とし、底質の中央粒径は調査結果を参考に 0.4 mm、比重 (密度) は  $2.65 \text{ g/cm}^3$  とした。なお、本解析手法では、着底稚貝の潜砂行動による影響は考慮していない。

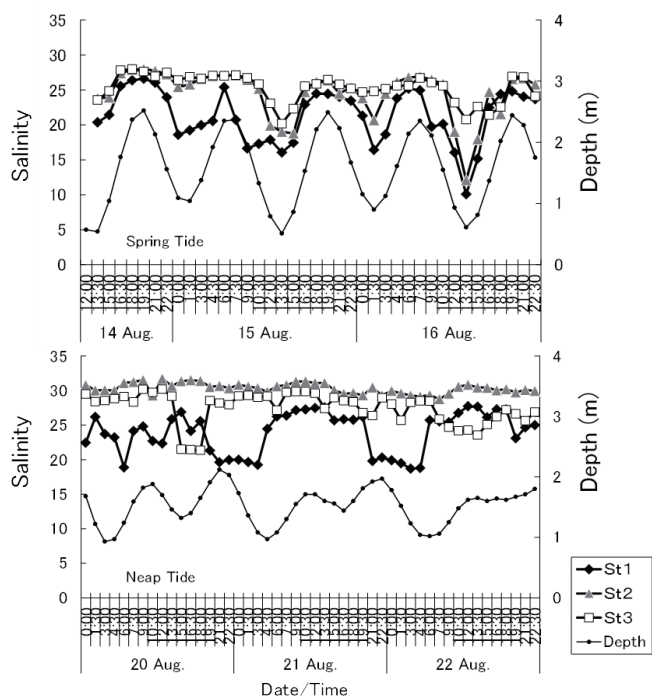
流向流速の観測と並行して、自記式の水深計 (Compact-TD, JFE-Alec; St. 3 のみに設置)、水温塩分計 (Compact-CT; JFE-Alec) 及びクロロフィル・濁度計 (Compact-CLW, JFE-Alec) を用い 10 分毎に水深、海底直上水の水温、塩分、クロロフィル蛍光値及び濁度をそれぞれ測定した。なお、クロロフィル蛍光値及び濁度の観測の設定は、測定間隔を 1 秒とし、1 バーストあたりの測定を 10 回、バースト間隔を 10 分とし、得られた観測値をバーストごとに平均して用いた。これらの 3 種類の自記式観測器は、各定点に打設したノリ養殖用支柱 (グラスファイバー製) に固着させたステンレス板に、センサー部が海底から約 15 cm 上となるよう固定した。クロロフィル・濁度計で得られた蛍光観測値は、クロロフィル  $a$  濃度の既知の水をそれぞれのクロロフィル・濁度計で測定した結果から、線形補正によりクロロフィル  $a$  濃度に補正した。クロロフィル  $a$  濃度を濁度値で除した値 (以下、Chl/Turb 値という) は、懸濁物中におけるアサリが利用可能な餌料割合を示しており、摂餌効率の面から餌料環境の質的指標とされる。<sup>25)</sup> このことから、本研究においてもクロロフィル・濁度計での各時刻の測定値から Chl/Turb 値を算出した。各データは観測時刻及び前後 30 分における計 7 データにより移動平均を算出した。ただし、St. 3 の濁度値については、観測期間中の一部で単調増加していたため、正常な観測ができなかったと判断し、その期間では解析には用いなかった。

以上の観測データのうち、平常水位における河口環境を把握することを目的に、8 月 14 日 12:00 から 8 月 16 日 22:30 までの観測データを大潮時、8 月 20 日 0:00 から 8 月 22 日 22:30 までの観測データを小潮時の時系列データとしてそれぞれ抽出し、大潮時及び小潮時における流動及び餌料環境の特徴を比較した。

## 結 果

### 大潮時と小潮時における塩分の変化

大潮時における St. 1 と St. 2 の塩分は、潮位変動に伴う水深の増減とともに変動する傾向がみられ、満潮付近では 25 であったが、干潮時には 15 を下回ることがあった (Fig. 3)。最下流の St. 3 の塩分は、干潮時を中心に低下する傾向がみられ、概ね 20 から 30 の間で推移した。小潮時には、潮位に関わらず、塩分は St. 2 と St. 3 では



**Fig. 3** Diel fluctuations in the moving average (7 samples before and after each time point) of salinity and tidal water level during a spring tide (top; 12:00 Aug. 14 - 22:30 Aug. 16) and a neap tide (bottom; 0:00 Aug. 20 - 23:50 Aug. 22). Solid squares, grey triangles and open squares show values in St. 1, St. 2, and St. 3, respectively. The curve indicates fluctuations in water depth at St.3.

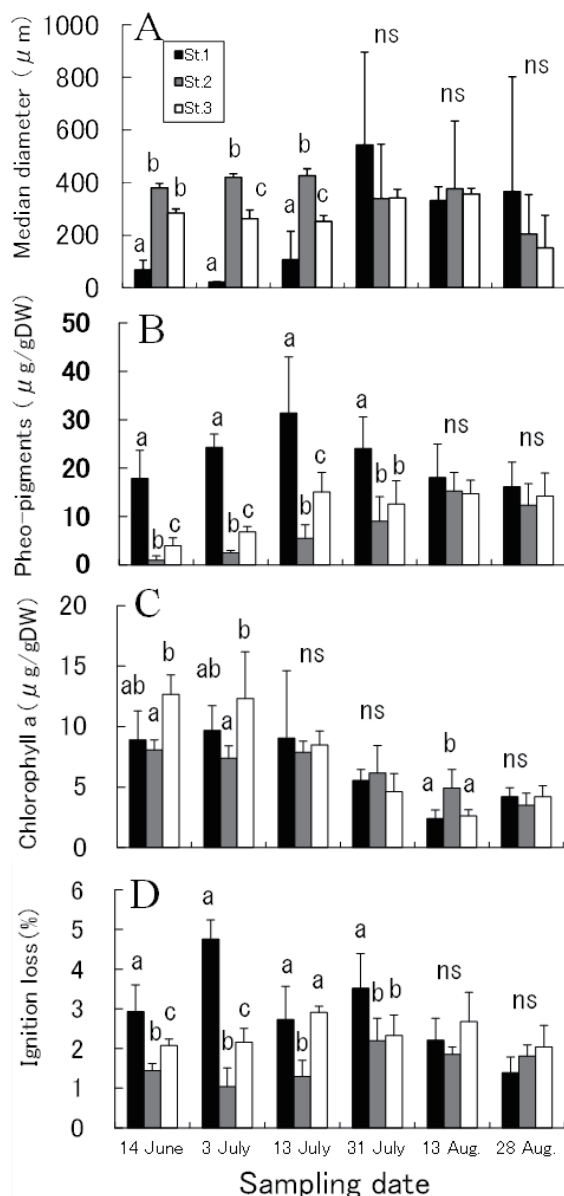
25 から 30 の間で推移したが、St. 3 では潮位に関わらずやや低下することがあった。小潮時の St. 1 の塩分は、満潮から下げ潮時に 20 近くまで低下し、上げ潮に転じると塩分の上昇がみられた。

#### 底質の状態

底質の中央粒径値は (Fig. 4-A), 6 月 14 日から 7 月 13 日までの間においては、定点間で有意差が認められ、St. 1 で最も小さく約 100  $\mu\text{m}$  であり、St. 2 で最も大きく約 400  $\mu\text{m}$  であった (Tukey HSD,  $p < 0.05$ )。台風による出水後の 7 月 31 日以降には、すべての定点で中央粒径値は 400~500  $\mu\text{m}$  となり、定点間の差はなくなった。底質中のフェオ色素量は (Fig. 4-B), 7 月 31 日までは St. 1 で有意に高く (Tukey HSD,  $p < 0.05$ )、その後定点間の差は小さくなった。底質中のクロロフィル含量は (Fig. 4-C), 6 月には St. 3 で高かったが、その後定点間の差は小さくなった。強熱減量は (Fig. 4-D), 6 月から 7 月まで St. 1 で高い傾向がみられた。

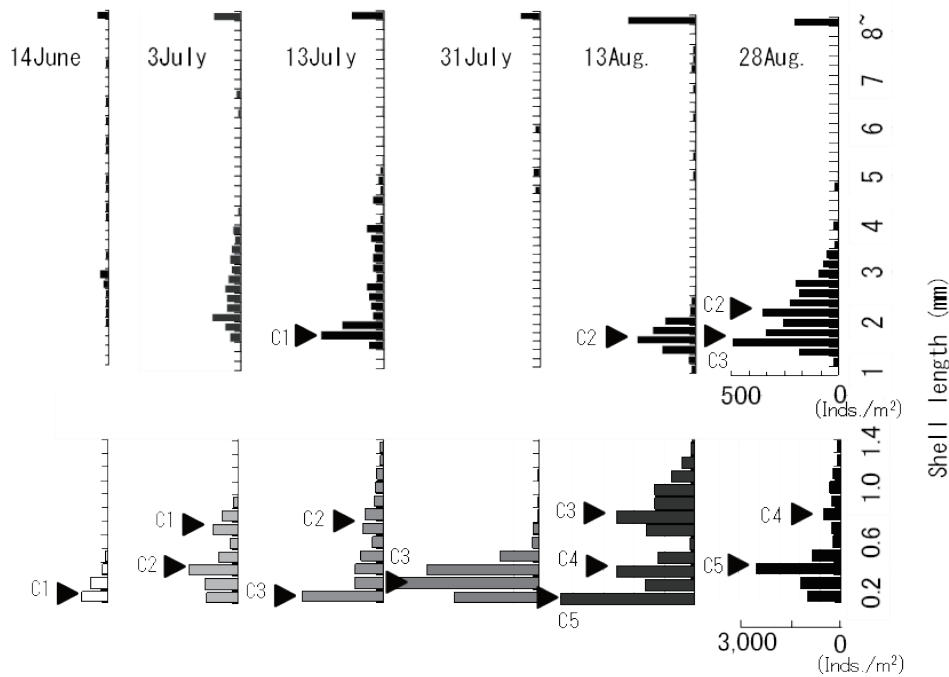
#### アサリ稚貝の殻長組成と個体数密度

採取されたアサリ稚貝の殻長組成には定点間で差は認められなかったため、3 定点で合計した殻長組成を採取



**Fig. 4** Comparison of bottom sediment parameters among stations: median particle diameter (A); pheo-pigment content (B) and chlorophyll-a content (C) in the sediments; ignition loss (D). Different small capitals above the bars indicate statistically significant differences according to Tukey's HSD test ( $p < 0.05$ ).

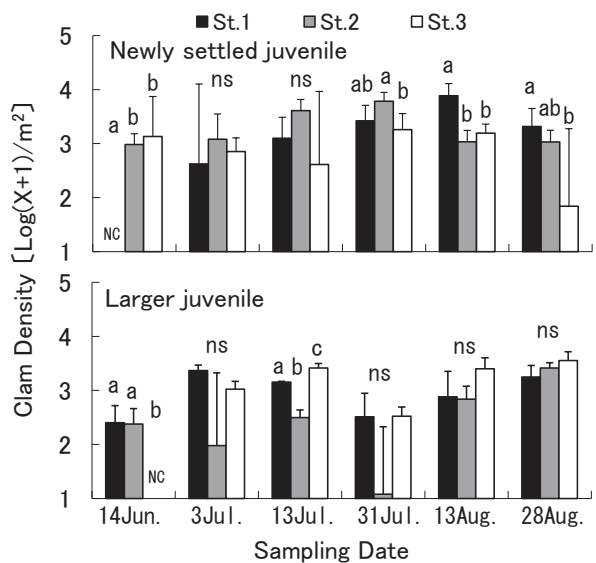
方法ごとに大型稚貝と小型稚貝に区分し、それぞれ Fig. 5 に示した。全ての調査日において殻長 0.3 mm 以下の着底稚貝が出現し、この間に合計 5 つのコホート (C1~C5) を確認した。6 月 14 日に出現したコホート C1 のモードは、7 月 3 日に殻長 0.7 mm に成長し、7 月 13 日には 1.6 mm となった。コホート C2 のモードは、7 月 3 日には殻長 0.4 mm であったが、7 月 13 日に 0.7 mm となった。コホート C1 及び C2 を含め、7 月 31 日には大型稚貝はほとんど確認されなかったが、8 月 13 日には再び殻長 1.6 mm 程度の稚貝が確認された。7 月 13 日に着底した新たなコホート C3 のモードは、7 月 31 日に殻長 0.3 mm, 8 月 13 日



**Fig. 5** Shell-length distribution of Manila clams on each sampling date. Histograms below show core samples, and those above show frame samples. A total of five cohorts were identified.

に 0.8 mm に成長し、8 月 28 日に 1.5 mm となった。コホート C4 のモードは 8 月 13 日に殻長 0.4 mm で、8 月 28 日に約 0.9 mm となった。8 月 13 日に出現した新たなコホート C5 のモードは、8 月 28 日に殻長 0.4 mm となった。8 月 28 日の大型稚貝では、C2 及び C3 に加え、より大型の 3 mm 前後の個体も見られた。

着底稚貝と大型稚貝の個体数密度の経時変化を Fig. 6 に示した。着底稚貝は 6 月 14 日の St.1 では採取されなかったが (Fig. 6), 7 月 3 日及び 13 日の St.2 における個体数密度は 1,208 個体/m<sup>2</sup> と 4,073 個体/m<sup>2</sup> であり、有意ではないが他定点の密度 (St.1: 421 個体/m<sup>2</sup>, St.3: 712 個体/m<sup>2</sup>; 7 月 3 日, St.1: 1,256 個体/m<sup>2</sup>, St.3: 408 個体/m<sup>2</sup>; 7 月 13 日) より高かった。7 月 31 日の個体数密度は定点間で異なり、St.2 の個体数密度 (6,114 個体/m<sup>2</sup>) は、St.3 (1,816 個体/m<sup>2</sup>) よりも有意に高く (Tukey HSD,  $p < 0.05$ ), St.1 (2,632 個体/m<sup>2</sup>) に対しても有意ではない ( $p = 0.06$ ) ものの高い傾向が見られた。また、8 月 13 日には、St.1 の個体数密度 (7,671 個体/m<sup>2</sup>) が他の 2 定点 (1,081 個体/m<sup>2</sup>: St.2, 1,558 個体/m<sup>2</sup>: St.3) より高く、8 月 28 日にも St.1 での密度 (2,078 個体/m<sup>2</sup>) が高く (Fig. 6, Tukey HSD,  $p < 0.05$ ), 定点ごとの個体数密度の傾向は 7 月とは異なった。大型稚貝では、6 月には St.1 (252 個体/m<sup>2</sup>) と St.2 (238 個体/m<sup>2</sup>) で出現が認められ、7 月にはばらつきが大きくなり、St.1 (2,325 個体/m<sup>2</sup>: 7 月 3 日, 1,424 個体/m<sup>2</sup>: 7 月 13 日) と St.3



**Fig. 6** Logarithmic clam densities of newly settled juveniles (< 0.3mm in shell length; top) and larger juveniles (bottom) on each sampling date. Different small capitals above the bars indicate statistically significant differences according to Tukey's HSD test ( $p < 0.05$ ).

(1,057 個体/m<sup>2</sup>: 7 月 3 日, 2,587 個体/m<sup>2</sup>: 7 月 13 日) で個体数密度が高い傾向がみられた。7 月 31 日の個体数密度は減少 (11~333 個体/m<sup>2</sup>) し、3 定点平均で 7 月 13 日 (1,442 個体/m<sup>2</sup>) の約 15% の 222 個体/m<sup>2</sup> まで減少した。8 月 13 日には 3 定点の個体数密度の平均は 1,322 個体/m<sup>2</sup> と増加しており、減少前の 7 月 13 日の個体数密度

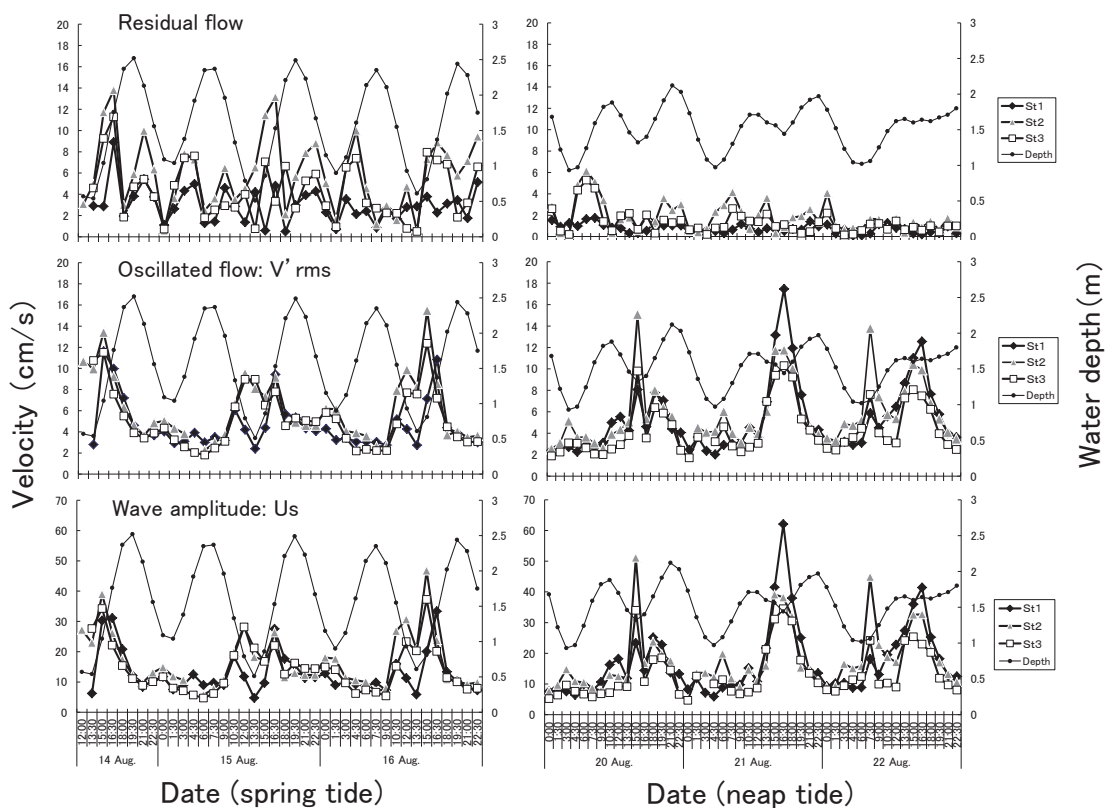
の水準まで回復した。7月31日以降には、定点間で稚貝密度に有意差は認められなかった。

### 海水流動の特徴

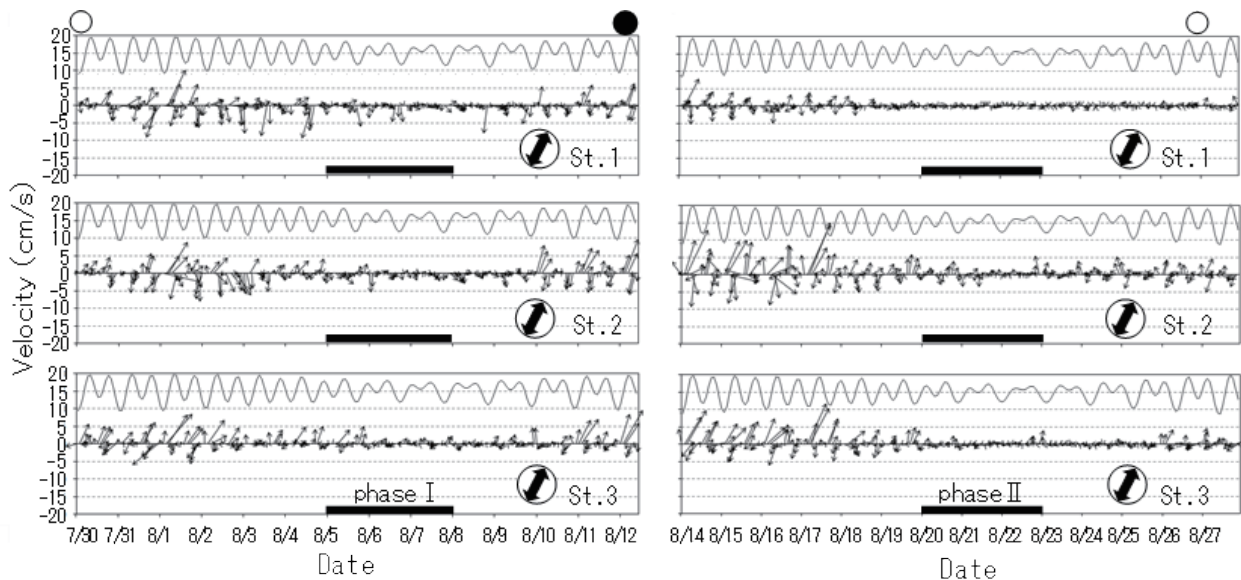
大潮時と小潮時の海底直上の海水流動の時系列変化について、Fig. 7に示した。平均流の最大流速は、大潮時には10~14 cm/sであるのに対し、小潮時には約6 cm/sであり、小潮時は大潮時の1/2程度であった。平均流のピークは大潮や小潮ともに上げ潮時及び下げ潮時に観測されたが、特に大潮の上げ潮時に大きかった。観測期間中における平均流の平均流速は定点間で異なり、大潮時にはSt.1で3.0 cm/s, St.2で6.0 cm/s, St.3で4.4 cm/s, 小潮時にはSt.1で0.8 cm/s, St.2で1.8 cm/s, St.3で1.3 cm/sと、いずれもSt.1で最も小さく、小潮時でより小さかった。大潮時の振動流 ( $V'$  rms) の3地点における最大値は10~16 cm/s、波の流速振幅 ( $U_s$ ) は30~50 cm/sであり、干潮前後にピークを示した。小潮時の振動流と流速振幅の最大値は、振動流で10~18 cm/s、流速振幅で30~60 cm/sで、ピークはより水深の深い午後の潮時にかけて出現する点で大潮時と異なった。観測期間中における各定点の振動流の平均値は、大潮時にはSt.1で4.6 cm/s, St.2で6.0 cm/s, St.3で5.2 cm/s, 小潮

時にはSt.1で5.3 cm/s, St.2で5.7 cm/s, St.3で4.3 cm/sであった。観測期間中における各定点の流速振幅の平均値は、大潮時にはSt.1で13.0 cm/s, St.2で16.7 cm/s, St.3で14.5 cm/s, 小潮時にはSt.1で17.0 cm/s, St.2で17.8 cm/s, St.3で13.4 cm/sであった。振動流と流速振幅の平均値には、潮汐及び定点間で明瞭な差はみられなかった。

各定点における平均流ベクトルの経時変化について、Fig. 8に示した。平均流の流向は、主に潮汐に伴い河川流軸に沿う方向で変化がみられた。特に7月30日から8月5日までの大潮から中潮時の平均流には、St.1では潮時間問わず下流方向に大きくなる傾向がみられたのに対し、St.2では上げ潮と下げ潮に対応して上下流両方向に同程度の大きさであり、St.3では上げ潮時を中心に上流方向に大きくなった。8月5日から8月7日には、潮位差が小さく各定点とも流速は小さくなったが、St.1では下流方向にやや卓越する傾向が継続した。また、潮位差が再び大きくなった8月11日から8月18日には、St.2とSt.3においては上げ潮時を中心に上流方向に流速が大きくなったが、St.1の流速は他の定点より小さくかつ上下流方向に同程度の流速であった。8月20日から8月22



**Fig. 7** Temporal fluctuations in water flow velocity components: residual flow and oscillatory flow ( $V'$ rms), and amplitude of oscillatory flow ( $U_s$ ). Results during a spring tide (14–16 Aug.: left) and a neap tide (20–22 Aug.: right) are shown. Water-depth data at St.3 are also included.



**Fig. 8** Temporal changes in residual-flow vectors during the observation period at each station. The arrow within circle indicates the direction of the geographical river axis. Black and white circles above the graph indicate the dates of new and full moon, respectively. The gray curve is shown for reference to indicate the tidal fluctuations at that time.

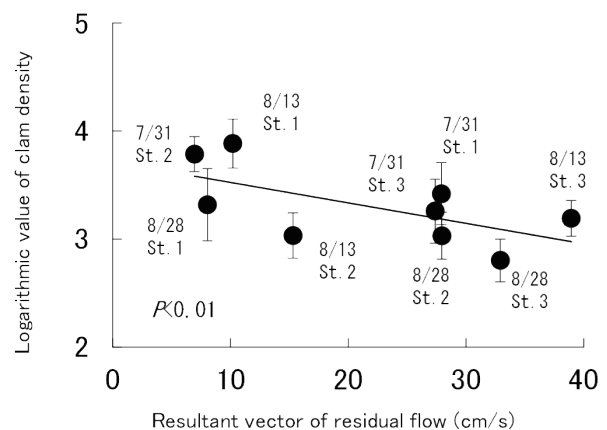
日の小潮時には、各定点とも流速は小さくなった。8月26日以降には大きな流速は観測されなかったものの、St. 1の流速が他定点より小さく、St. 2及びSt. 3では上げ潮時を中心に上流方向への流速がやや大きくなっており、前2回の大潮時と同様の傾向であった。

アサリ稚貝試料採取の直前48時間の平均流から算出した累積移送強度は、調査日及び定点間で異なり、それぞれの着底稚貝の個体数密度と有意な負の相関を示した (Fig. 9: Kendallの順位相関係数,  $\tau = -0.401$ ,  $p < 0.01$ )。期間中に観測された波・流れのせん断応力、及び底質と着底稚貝の移動限界を Fig. 10 に示した。せん断応力の内訳としては低潮時を中心に優勢となる振動流による力が卓越しており、どの定点においても底質と着底稚貝の移動限界を超える観測値が確認された。底質の移動限界を超えた頻度は、St. 1では全224回の観測中23回で10.3%、St. 2では全216回の観測中42回で19.4%、St. 3では全217回の観測中22回で10.1%となった。同様に、着底稚貝の移動限界を超えた頻度は、St. 1では全224回の観測中44回で19.7%、St. 2では全216回の観測中74回で34.3%、St. 3では全217回の観測中57回26.3%であった。一方、平均流によるせん断応力は、常に底質と稚貝の移動限界の範囲内であった。

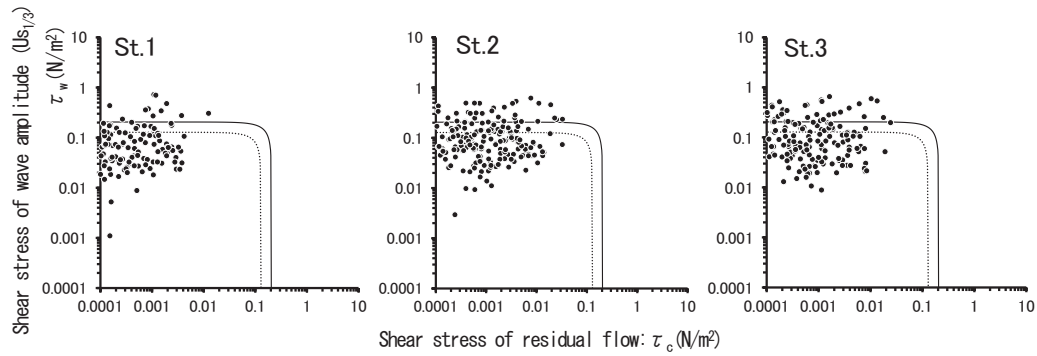
#### クロロフィル a 濃度と濁度の変化

大潮及び小潮時のクロロフィル a 濃度と濁度の経時変化を Fig. 11 に示した。クロロフィル a 濃度は、大潮時には干潮時から上げ潮にかけて  $5 \mu\text{g/L}$  から  $20 \mu\text{g/L}$  へと顕著に上昇し、St. 3でのピーク値が他の定点より高い傾向が認められた。小潮時には午後の干潮時を中心にクロ

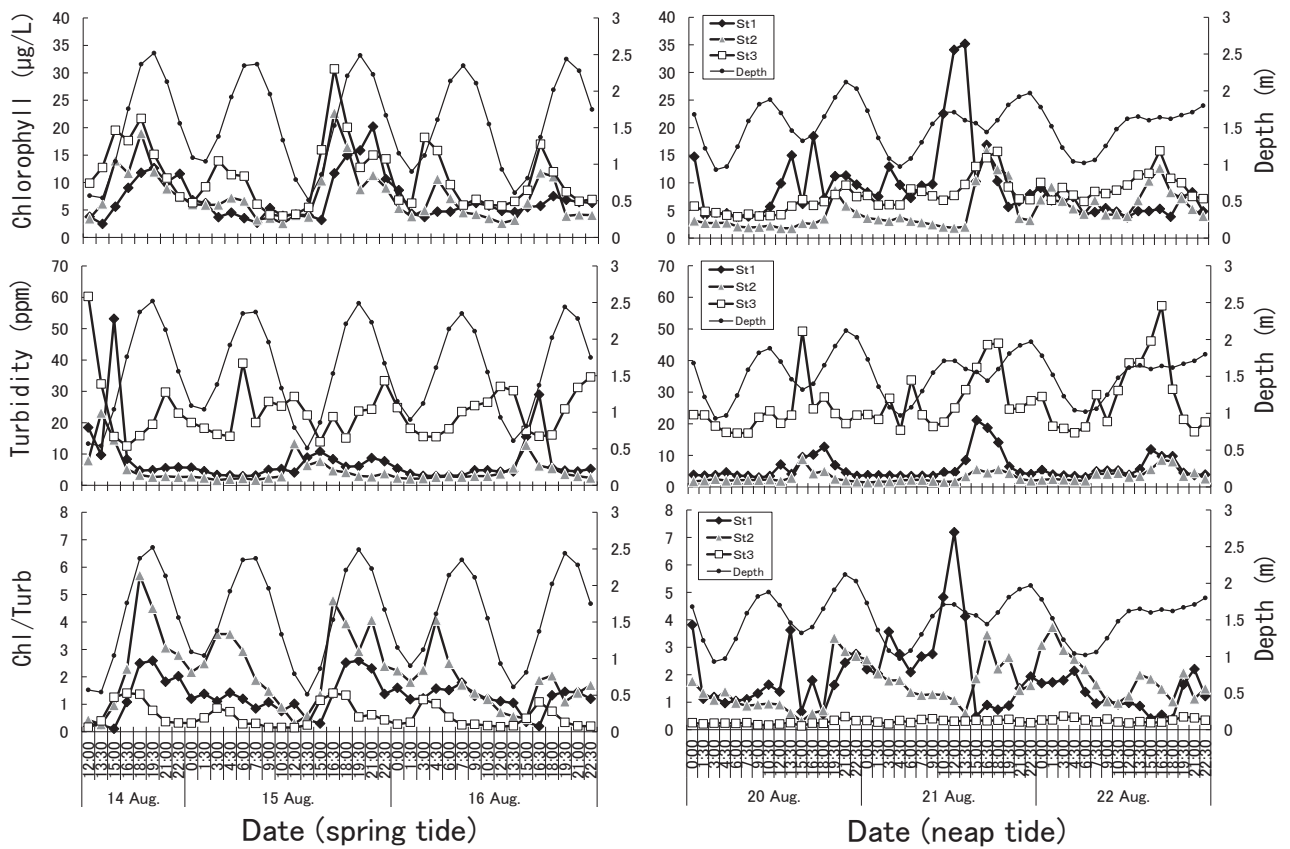
ロフィル a 濃度のピークが観測された。クロロフィル a 濃度は St. 2 で  $3 \sim 5 \mu\text{g/L}$  と若干低い傾向はみられたものの、ピーク時には他の2定点とほぼ同水準の  $10 \sim 15 \mu\text{g/L}$  であった。濁度は St. 3 が他定点に比べて高く、大潮では干潮前後に  $20 \sim 50 \text{ ppm}$  の値が観測された。ただし、小潮時の濁度のピークは、潮位に関わらず午後の干潮時に観察された。St. 2における濁度は、St. 1よりも低く推移することが多かった。Chl/Turb 値は、大潮時には上げ潮時に高くなった。また、大潮時の St. 2 の Chl/Turb 値は、他の2定点に比べ高い傾向がみられた。小潮時には大潮時ほど変動様式は明瞭ではないが、St. 1 と St. 2 に比べて St. 3 で低い傾向は共通した。



**Fig. 9** Relationship between cumulative transfer intensity (resultant vector of residual flow over the 48 hours of preceding each sampling) and the logarithmic density of newly settled juveniles.



**Fig. 10** Comparison of shear stress of wave amplitude ( $U_{s1/3}$ ) and residual flow components with the critical shear limits for sediment stability (solid line) and for newly settle juvenile shells (dotted line). Each dots represents observations from each sampling burst conducted between 14 to 28 August.



**Fig. 11** Diel fluctuations in chlorophyll fluorescence, turbidity, and their relative values (chlorophyll/turbidity) at each station, together with tidal water levels measured at St.3, during the spring tide (14-16 Aug.: left) and the neap tide (20-22 Aug.: right).

## 考 察

### 海水流動及び底質と関連した稚貝密度

矢作川河口左岸は毎年アサリ稚貝が高密度に発生する場所であり、<sup>9)</sup> 調査期間中にも継続的な着底稚貝の出現が見られたが、その出現密度には定点及び時期により差が認められた。また、本研究では短期間の調査ではあるが、複数の加入コホートについて成長を確認した。気象・環境・餌料条件等の年変動がある中で、特定の場所での安定した稚貝の発生には、浮遊幼生の加入や稚貝の集積

等に一定のメカニズムがあると推測される。

本研究の結果では、振動流のピークは各定点とも干潮前後に観測され、それらによって生じるせん断応力は台風等の気象イベントが無くても底質や着底稚貝の移動限界を超えることが確認された (Fig. 10)。この特徴はいずれの定点でも確認され、河口域では着底期前後の幼生や着底稚貝が、移動させられるための掃流状態となる状況が恒常的に発生していることを示している。<sup>13, 16)</sup> また、平均流、振動流及び流速振幅の平均値には、いず

れにおいても最も地盤高の高い St. 2 で大きくなる傾向が認められた (Fig. 7)。波による水粒子の運動は水深方向に指数関数的に減衰することから、同じ潮位であっても水深の浅い地盤高の高い St. 2 において流速値が相対的に高くなった可能性が考えられる。

本研究の調査域での最下流の定点である St. 3 は、河口干潟の海側に位置し地盤高は最も低く、底質の中央粒径値はやや小さい傾向があるものの、その他の条件は他定点と大きな差はなかった。一方で着底稚貝の個体数密度は 3 定点の中では低い傾向にあった (Fig. 6)。St. 3 における平均流の流速は上流方向へ卓越しており (Fig. 8)、振動流で掃流状態となった着底稚貝が、海底付近の平均流によって上流方向、つまり河口内の干潟へと移送されたことが個体数密度の低い理由の一つと考えられた。

調査範囲において最も上流の St. 1 では、台風接近前には着底稚貝の個体数密度は低い傾向であったが、平水位に戻った 8 月 13 日や 28 日には個体数密度は高くなった (Fig. 6)。8 月 13 日に近い 8 月 14~16 日までの流況を見ると (Fig. 8)、St. 1 の平均流は St. 2 や St. 3 に比べ流速が小さく、潮汐に応じて上下流方向にほぼ均等に入れ替わっており、それ以外の期間においても、St. 1 での流速は小さい傾向が見られた。St. 1 は干潟の上流側縁辺に位置し若干地盤が低いことや、台風前には有機沈降物であるフェオ色素量や強熱減量が高かったことから (Fig. 4)、平均流が小さく流れが停滞しやすい定点であったことが伺える。また、台風前の底質の中央粒径値は非常に小さかったが、台風後には顕著に大きくなるとともに (Fig. 4A)、底泥のフェオ色素量も定点間の差が小さくなったことから (Fig. 4B)、調査範囲において出水による底質のリセットが起きていたと考えられた。アサリ稚貝の着底量は底質粒径が大きいほど多くなるとされている。<sup>26)</sup>したがって、振動流による攪乱を受けても流れが停滞し再着底しやすいことに加え、底質の粒径の粗化や有機浮泥の減少による底質環境の改善によって、8 月の St. 1 への着底量が増加した可能性が考えられる (Fig. 6)。

両点の中間に位置する St. 2 における着底稚貝の個体数密度は、有意ではないものの台風接近前において高い傾向が見られ、7 月 31 日の調査でも高い傾向が見られた。St. 2 における 7 月 30~31 日の平均流の方向は上下流どちらかに卓越する傾向はなく、潮汐に応じて均等となっていた (Fig. 8)。また、St. 2 の地盤高は 3 定点で最も高く、中央粒径値が大きく有機物が少ない特徴があった (Fig. 4)。地盤高によって流速は大きくなる傾向があるものの、平均流ベクトルは上下流方向で相殺される

ことで、結果として St. 1 と同様に元位置に定位しやすい流況であったことに加え、粒径の粗い底質の遮蔽効果によって着底しやすいため、<sup>16)</sup> 個体数密度が高くなったと考えられた。

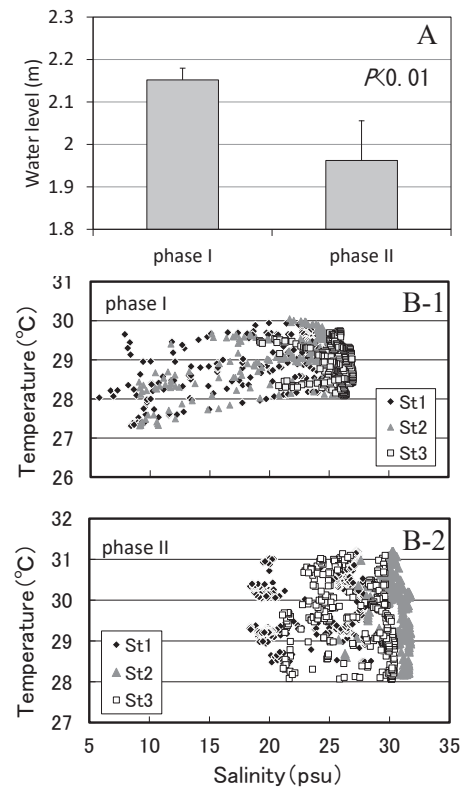
本研究では、着底期の幼生や着底稚貝といった粒子が流動場を移動する過程をラグランジュ的に捉え、それらが一定期間に経験する移流の累積効果を累積移送強度として示した (Fig. 9)。累積移送強度は粒子の移動ベクトル (移流) の時間積分から得られる合成ベクトルの大きさであり、方向性は考慮せず移動量ポテンシャルを指標化したものとして捉えられる。この累積移送強度と着底稚貝の個体数密度には有意な負の相関が見られた (Fig. 9)。累積移送強度が小さいことは、方向に関わらず任意の地点からの粒子の移動量が小さいことを示すことから、平均流が小さいことや一定方向に卓越せず結果的に流れの停滞する条件によって着底稚貝が集積しやすくなると考えられた。以上のことから、振動流には定点間で顕著な差はみられなかったが、定点間や時期で異なる平均流の特性が (Fig. 8)、底質条件とともに着底稚貝の個体数密度へ影響したと考えられた。さらに、波の振動流の攪乱により比重の軽い着底稚貝が掃流状態になっても、河口域においては平均流が停滞する条件の発生により散逸することなく再着底する確率が高くなることが示唆され、このことが浮遊幼生や着底稚貝の安定した加入や集積に関わる要因の一つとして考えられた。

台風通過後の 7 月 31 日には、7 月 13 日に見られた大型稚貝がほとんど確認されなかった (Fig. 5)。この間に台風接近による極めて高い観測水位が記録されていたことから、出水によって海底付近にも下流方向への強い流れが発生し、調査域外へ大型稚貝が流出した可能性が考えられる。しかしながら、台風通過の約 1 か月後の 8 月 13 日には、7 月 31 日時点で見られなかった新たな大型稚貝が認められ、個体数密度も台風前の水準に回復した。この新たな稚貝は、前後に認められているコホートの成長割合から判断すると、コホート C3 とするにはサイズが過大であり、7 月 31 日に消失したコホート C2 である可能性が考えられる。つまり、コホート C2 は出水により一旦は下流の調査域外へ流出したものの、水位低下に伴い上流向きに卓越する平均流により再移送され、調査域に再び集積した可能性が考えられる。一方で、着底稚貝の C3 は同じ期間に出現し続けていたが、フルグロウン期幼生は足の繊毛で基質に付着することに加え、<sup>15)</sup> 殻長 300  $\mu\text{m}$  程度の着底稚貝になると足糸を分泌するようになり<sup>27)</sup> 殻長に比して粒径の大きな砂粒に付着することができるため、着底稚貝は相対的に攪乱の影響を受けにくい

ことや、出水後の流れにより大型個体よりも速やかにコホートを復元した可能性も推測される。大型稚貝の分布は、攪乱-散逸-集積を繰り返して標準化された結果であるので、本研究の調査範囲の限りでは、個体数密度に一定の傾向や顕著な差が見られなかったと考えられる。波・流れによる底質の攪乱は、一般的にはアサリ稚貝が減少する要因と考えられてきたが、<sup>28)</sup> 本研究の結果のように河口域の平均流の特性によってはアサリ稚貝が集積される可能性を示唆しており、河口にアサリ稚貝の高密度分布域が形成される要因の一つと考えられた。

### 河川水位及び塩分環境と着底場所の変動

大潮時の塩分は、満潮時には27前後であったが干潮時には15を下回るまで低下し、特に上流定点ほど塩分の低下が顕著であった (Fig. 3)。これらのことは、塩分フロントが潮位変動とともに調査範囲を通過していたことを示すと考えられる。河口域に形成される塩分フロントでは、アサリの浮遊幼生の個体数密度も高いことが報告されている。<sup>29)</sup> また、飼育実験ではアサリ着底稚貝の着底率は塩分15前後で高く、<sup>23)</sup> 他の二枚貝でも物理的及び化学的変化の刺激が浮遊幼生の着底行動を促すことが指摘されている。<sup>30)</sup> これらの点は、河口干潟では着底が促進されやすいことを示唆している。一方、降水によって河川水位が2.9~3.2mと高かった7月13日や31日においては、着底稚貝の個体数密度はSt.2で高くなる傾向が認められた (Fig. 6) のに対し、平常の水位 (Fig. 2; 水位1.9~2.2m) であった8月13日や28日には、着底稚貝の個体数密度は上流定点であるSt.1で高い傾向が見られた。このことは、出水の影響でSt.1の底質粒径が増大した影響も考えられるが、既にSt.1の底質粒径が粗くなっていた7月31日時点でもSt.2の個体数密度は高い傾向が継続しており、St.2からSt.1への個体数密度のシフトは必ずしも底質の変化のみでは説明できない可能性もある。そこで、着底場所に影響しうる河川水位と河口域の塩分環境の関連を検討するため、連続観測データのある同じ小潮期間 (phase I: 8月5日~8月7日; phase II: 8月20日~8月22日) を対象に、河川 (米津) の平均水位及び各定点の水温・塩分ダイアグラムを Fig. 12 に示した。2つの小潮期間 (phase I と phase II) のうち phase I に観測された平均水位は有意に高く (Welch's *t*-test,  $p < 0.01$ )、水位の高い phase I での塩分変動は特にSt.1とSt.2で10以下まで大きく変動するのに対し、水位の低い phase II では各定点とも約20までしか低下しなかった。これらの結果は、同じ小潮でも河川水位によって河口の塩分フロントの遡上位置が変化することを示しており、河川の低水位時には、流軸方向で平均流の



**Fig. 12** Average water levels during the phase I (Aug. 5-7) and phase II (Aug. 20-22) (A). Fluctuations in water temperature and salinity during the neap tide in phase I under high river-water levels (B-1) and phase II under low levels (B-2). Solid squares, grey triangles, and open squares show values at St. 1, St. 2, and St. 3, respectively.

滞留する位置が上流方向へとシフトし、その結果として着底稚貝の個体数密度もSt.2からより上流のSt.1で高くなった可能性が考えられた。実際に、同期間の平均流を見ると (Fig. 8), phase IにおいてはSt.1で下流向きの流れが見られたのに対し、St.2で滞留している傾向が見られており、phase IIにおいてはSt.1での滞留傾向が見られた。加えて前述のとおり、出水による底質の粒径の粗化や有機浮泥の減少による底質環境の改善は、直後でなく8月以降の着底量の増加に寄与した可能性もある (Fig. 6)。以上から、着底稚貝が加入・集積する場所は、着底のタイミングにおける好適な底質条件とともに、気象等による河川の水位変化によって変動する塩分フロントや平均流の滞留域の位置に左右されると考えられた。また、滞留域は塩水遡上に影響する潮位偏差や潮位差によっても変動すると推測される。

### 潮汐に伴う稚貝場への餌料供給

稚貝場の形成においては、着底稚貝の加入成否だけでなく着底後の生残率は重要な要素の一つであり、特に摂餌条件は成長・生残に影響を与える。<sup>31)</sup> 本研究では塩分フロントが潮位変動とともに河口干潟を通過している

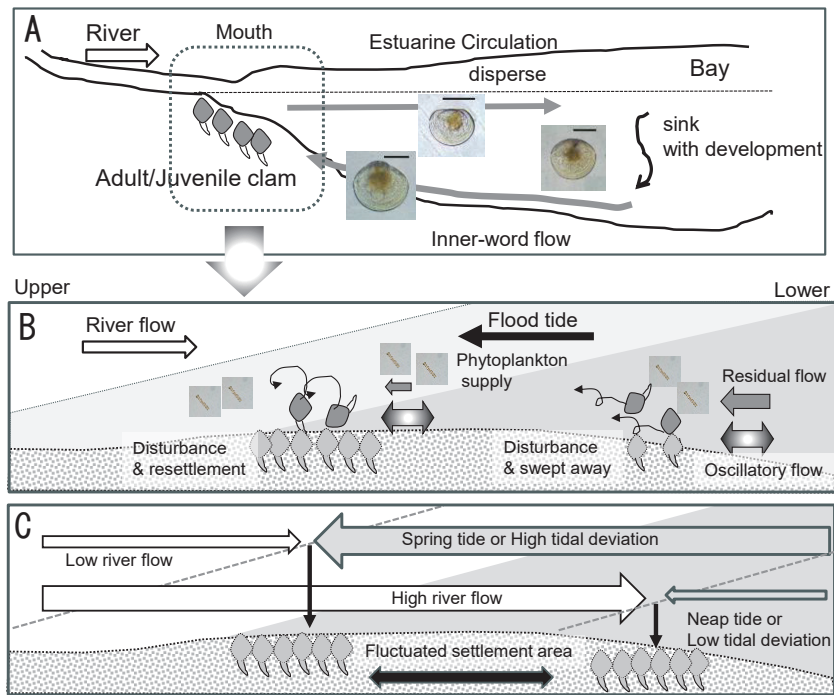
と考えられたが、河口の塩分フロントは栄養塩類も豊富であり、海域で生産された植物プランクトンや懸濁したデトリタス等で構成される濁度の高い水塊が形成され、高い基礎生産力を持つとされる。<sup>32)</sup> 本研究では、特に大潮時の上げ潮時にクロロフィル *a* 濃度の増加を観測し (Fig. 11), 摂食圧があることを考慮しても St. 2 や St. 3 におけるピーク時の濃度は 10~20 µg/L とアサリにとって必要とされる十分量が供給され、<sup>33)</sup> そのピークは経時的に下流の St. 3 から上流の St. 1 の順に見られた。本研究では、クロロフィル *a* を構成する植物プランクトン種については検討していないが、海域で生産された植物プランクトンが上げ潮により河口内へ供給されている可能性が考えられる。さらに、ほぼ同期して見られる振動流 (Fig. 7) や濁度のピークにも対応していることから (Fig. 11), 振動流によるせん断応力で剥離・懸濁した底生微細藻類も含まれていると推測される。一方、下げ潮時にはクロロフィル *a* 濃度の低下が観測された (Fig. 11)。上げ潮時と下げ潮時に同じ水塊を捉えているわけではないが、閉塞された河口内に供給されたと考えれば、河口内に分布するアサリ稚貝により満潮時に餌として植物プランクトンが消費されたことも可能性の一つとして考えられる。<sup>34)</sup> また、小潮時には潮位が低くない日中の午後にクロロフィル *a* 濃度のピークが見られた (Fig. 11)。この点については、日照によって海中で活発な基礎生産が行われたことや、同期して振動流や流速振幅のピークも観測されたことから (Fig. 7), 夏の午後に卓越する海陸風により振動流の卓越が生じることによって底生微細藻類が剥離・懸濁した可能性が推測される。小潮時のクロロフィル *a* 濃度は大潮時より若干低い傾向ではあるが、共通して海底直上の流動特性によって、河口外で生産された植物プランクトンや基質から剥離した底生微細藻類が餌料として供給されていると考えられた。

大潮時には濁度のピークは下げ潮や干潮に同期する傾向が見られた一方で、クロロフィル *a* 濃度や Chl/Turb 値のピークは上げ潮時を中心に観測された (Fig. 11)。このことは、低潮時にかけて優勢となる振動流のせん断応力が底質の移動限界を超えることで (Figs. 7, 10), 底生微細藻類が付着した海底土砂が攪乱され、その一部が土砂粒子から剥離した後、比重の重い底質が先に沈降し、上げ潮時に微細藻類が懸濁している様子を捉えていると考えられる。アサリは、水中の懸濁態有機物のうち、浮遊性や底生性に関わらず海産由来の珪藻を選択的に摂餌している可能性が示唆されている。<sup>35, 36)</sup> 本河口域における塩分変動に伴う種組成の時間的変化は、アサリの餌料の質を検討する上での今後の課題であるが、塩分は

約 15 以上と高く、上げ潮時にピークがあることから海産系の種が主体である可能性は高い。盤洲干潟においても同様に満潮前において Phy/SPM 値 (本研究の Chl/Turb 値と同義) が上昇し、アサリの安定同位体比との関連から、満潮時に餌料価値の高い懸濁態有機物が存在する可能性が示されている。<sup>36)</sup> 本研究での Chl/Turb 値は St. 3 より St. 1 や St. 2 で高いことから、河口干潟でも波当たりが強く攪乱により砂泥が懸濁しやすい海側の場所よりも河口内のほうが餌料条件は良く、加えて上げ潮時の平均流は上流方向に卓越するため、餌料価値が高い懸濁態有機物はアサリ稚貝の着底場へ供給されると推測される。このような河口域の流動特性による餌料供給のプロセスは、着底後のアサリ稚貝の摂餌効率とともに加入成功率を高めていると考えられる。

#### 河口干潟への加入機構

本研究の結果及び考察をもとに考えられた海底直上の流動特性から見た河口干潟への加入機構の模式図について Fig. 13 に示した。黒田<sup>11)</sup> が示したように、アサリ浮遊幼生は発育に伴い分布層が変化し、後期 (着底期) 幼生は底層に多く分布することから、底層から湾奥方向へと向かうエスチュアリー循環流を介して河口域へ輸送される (Fig. 13A)。この際、河口左岸側での個体数密度が高くなるのは、<sup>9)</sup> 矢作川河口域東側 (左岸側) での堆積物中において西側 (右岸側) に比べ顕著に海起源有機物の寄与率が高いことから、<sup>37)</sup> 幼生が分布する底層の補償流は河口の左岸側から進入しやすいためと考えられる。一方、河口付近まで輸送され幼生は着底期を迎えるが、河口では恒常的に移動限界を超える振動流が生じており底質を攪乱していた (Fig. 13B)。この時、下流では掃流状態の着底稚貝は卓越する上流向きの平均流によって河口内へと移送されるため、着底稚貝の個体数密度は比較的少なかった。河口内では河川流と潮汐流が拮抗して平均流が滞留する場所が発生し、その場所まで移送された着底稚貝は振動流による攪乱は受けるものの、平均流の停滞により累積移送強度は小さくなるためその場への再着底が可能となる結果、個体数密度が高くなると考えられた。また、このメカニズムによって、出水によって一旦下流域 (河口外) へと散逸した稚貝個体群が、平水時に河口干潟に復元された可能性も示唆された。加えて、振動流によって底生微細藻類が基質から剥離され海水中に懸濁するとともに、上流向きの平均流によって海域の植物プランクトンとともに餌料価値の高い餌料として河口内に形成されているアサリ稚貝場へ供給されている。河川水位と着底位置には関係性が示唆され (Fig. 13C), 河川水位が低い時、すなわち河川流が劣勢な場合



**Fig. 13** Schematic diagram showing transportation of planktonic larvae to the river mouth area based on Kuroda <sup>11)</sup> (A), transportation and settlement of settled juvenile clams caused by near-bottom water flow characteristics along the estuary with phytoplankton supply (B), and changes in settlement areas of juveniles at different river water levels and tidal fluctuations (C).

には平均流の滞留域がより上流に位置するのに対して、河川水位が高く河川流が優勢な場合にはそれが下流へシフトし、それぞれの滞留域に着底すると推測された。当初、大型稚貝でも着底稚貝の個体数密度によって個体数密度の差が生じると予想されたが、本研究の調査範囲の中では定点間での顕著な差は見られなかった。これは、着底稚貝の着底域の変動や着底後の散逸・集積などによって個体数密度が一定の範囲で平準化されることや、本研究の調査点が既報<sup>9)</sup>に基づき高密度で稚貝が出現する河口干潟上に設定されたためと考えられる。以上から、河口干潟への加入機構には、海底直上の流動特性が深く関与しており、今後もさらに事例を検討することで、河口域における稚貝場形成の理解が深まると考えられる。

#### おわりに

本研究は2007年に実施した。2007年当時のアサリの年間漁獲量は13,638トンと、2024年の10倍以上であった。現在の矢作川河口域では、かつて見られたようなアサリ稚貝の高密度発生<sup>9)</sup>は認められず、代わってハマグリ稚貝の発生が見られている。<sup>38)</sup> 加えて、ハマグリ稚貝の高密度分布域は、本研究で調査を行った左岸干潟に一致していることから、ハマグリ稚貝の加入においても着底期の流動環境が関与していることが示唆されている。<sup>38)</sup> アサリ稚貝の高密度発生には、浮遊幼生が河口周辺に長期間にわたり高密度で供給されることが重要とされ

るが、<sup>13, 14)</sup> アサリの浮遊幼生密度は近年減少していることから、<sup>39)</sup> このような優占種の変化は、河口域に供給される幼生量に起因していると考えられる。一方で、河口域の流動環境にみられる特徴は、浮遊幼生や着底稚貝の輸送・集積、さらに餌料供給に関与する可能性が示唆され、アサリ・ハマグリを問わず河口域の稚貝場形成に重要な要因の一つとなっている可能性が考えられた。漁場での天然稚貝の発生が少なくなった現状においても、河口域は依然としてアサリの分布域となっており、漁獲の主体となる移殖稚貝の供給元として重要であるとともに、<sup>40)</sup> 親貝場としての機能も果たすと考えられる。流動環境にも影響を与える埋立てや人工構造物の設置のような河口周辺の人為的改変は、場の喪失だけでなく間接的にリスクを引き起こす可能性があると考えられる。<sup>41)</sup> その保全及び改善のために場の生態学的な特性の理解に努めていくことが必要である。

#### 要約

アサリ稚貝の加入・集積に寄与する河口干潟の環境要因を明らかにするため、安定した稚貝発生が見られる三河湾矢作川河口の左岸干潟において、海底付近の海水流動やクロロフィルa濃度等の連続観測を行った。海底直上の海水流動のうち、波による振動流及び振幅のピークは干潮時刻前後にみられ、その際に生じたせん断応力は

底質や着底稚貝の移動限界を超えた。また、平均流には、下流の定点ほど上流方向への流れが大きくなる特徴がみられた。平均流から算出した累積移送強度と着底稚貝の個体数密度には負の相関がみられ、流れの停滞する条件によって着底稚貝が集積しやすくなると考えられた。着底稚貝の加入・集積は、粒径等の底質条件とともに低潮時を中心に起こる振動流による攪乱と平均流による河口干潟の上流方向へと移送、及び平均流が滞る場所に達することで生じていると考えられた。また、この滞留する位置は、河川の水位等の影響によっても左右される可能性がある。さらに、クロロフィル *a* 濃度には、振動流が優勢する上げ潮時にピークがみられたことから、懸濁した底生微細藻類や河口フロントで生産された浮遊珪藻が稚貝の分布域へ供給されると考えられた。以上から、河口域の海底直上における流動環境に起因する稚貝の加入及び集積と餌料供給が、アサリ稚貝場の形成に寄与すると考えられた。

## 謝 辞

本研究の実施及び取り纏めに際し、東京海洋大学の鳥羽光晴客員教授、東海大学生物学部の櫻井泉教授、千葉県水産総合研究センターの小林豊氏、北海道立総合研究機構の福田裕毅氏、熊本県水産技術センターの生嶋登氏、国立研究開発法人水産研究・教育機構の児玉真史氏、南部亮元氏、愛知県水産試験場の宮脇大氏及び故黒田伸郎氏に多くのご助言ご指摘をいただいた。また、L. S. Allen 氏には英文について助言いただいた。各氏に心よりお礼申し上げる。なお本研究のうち、稚貝及び海底直上の海水流動の調査については、平成 19 年度水産庁水産基盤整備調査委託事業「アサリ稚貝の定着を促進する海底境界層の物理環境の解明」により実施されたことを記し、水産庁関係部局各位に謝意を表す。

## 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) 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.
- 3) 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. 26-35.
- 4) 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.
- 5) 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.
- 6) 松村貴晴・岡本俊治・黒田伸郎・浜口昌巳 (2001) 三河湾におけるアサリ浮遊幼生の時空間分布—間接蛍光抗体法を用いた解析の試み—. 日本ベントス学会誌, 56, 1-8.
- 7) 黒田伸郎・岡本俊治・松村貴晴 (2017) 三河湾のアサリ漁場周辺における浮遊幼生の出現密度. 愛知県水産試験場研究報告, 22, 14-21.
- 8) 西沢 正・日向野純也・田口浩一, 伊藤 覚 (1995) 三河湾におけるアサリ稚貝の分布量と底質および流れとの関係. 日本水産工学会誌, 32, 137-143.
- 9) 岡本俊治・日比野 学・荒川純平・黒田伸郎 (2011) 矢作川河口におけるアサリ稚貝資源の動向. 愛知県水産試験場研究報告, 16, 1-8.
- 10) Miyawaki D, Sekiguchi H (1999) Interannual Variation of Bivalve Populations on Temperate Tidal Flats. Fisheries Science, 65, 817-829.
- 11) 黒田伸郎 (2005) アサリ幼生の干潟への侵入機構. 水産総合研究センター研究報告, 別冊 3, 63-73.
- 12) 南部亮元・水野知巳・川上貴史・久保田 薫・関口秀夫 (2006) 木曾三川感潮域における二枚貝浮遊幼生の着底場所および着底時期. 日本水産学会誌, 72, 681-694.
- 13) 蒲原 聡・山田 智・和久光靖・曾根亮太・岩田靖宏 (2013) 三河湾六条潟におけるアサリ着底稚貝の動態. 愛知県水産試験場研究報告, 18, 13-20.
- 14) 石田俊朗・曾根亮太・和久光靖・山田 智・蒲原 聡 (2021) 三河湾六条潟におけるアサリ *Ruditapes philippinarum* 浮遊幼生の出現と流況. 愛知県水産試験場研究報告, 26, 31-44.
- 15) 蒲原 聡・山田 智・和久光靖・曾根亮太・堀口敏宏・大東正巳・小嶋光浩 (2013) アサリ着底期幼生の行動特性と足の形状. 愛知県水産試験場研究報告, 18, 39-40.
- 16) 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.
- 17) 柿野 純 (2006) アサリの減耗に及ぼす物理化学的環境の影響に関する研究. 日本水産工学会誌, 43, 117-130.
- 18) 生嶋 登・斎藤 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碎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.
- 19) 柴田輝和・土屋 仁 (2002) 被覆網によるアサリ稚貝の高密度分布域の形成. 千葉県水産研究センター研究報告, 1, 71-76.
- 20) 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.
- 21) Holm-Hansen O, Lorenzen CJ, Holmes RW, Strickland JDH (1965) Fluorometric determination of chlorophyll. J. Cons. Cons. Int. Explor. Mer. 30, 3-15.
- 22) Kanda Y (2013) Investigation of the freely available easy-to-use software 'EZR' for medical statistics. Bone Marrow Transplant, 48, 452-458.
- 23) Tezuka N, Kanematsu M, Asami K, Sakiyama K, Hamaguchi M, Usuki H (2013) Effect of salinity and substrate grain size on larval settlement of the asari clam (Manila clam, *Ruditapes philippinarum*). Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 439, 108-112.
- 24) 独立行政法人水産総合研究センター水産工学研究所 (2009) 敷設材によるアサリ稚貝の定着促進に関する評価方法について. 37pp.
- 25) Tabata A, Morinaga T, Arakawa H (2000) Influences of concentration, particle-size and kind of inorganic suspended matter on feed caught by Manila clam, *Ruditapes philippinarum*. La mer, 37, 163-171.
- 26) 柳橋茂昭 (1992) アサリ幼生の着底場選択と三河湾における分布量. 水産工学, 29, 55-59.
- 27) 水産庁 (2008) 干潟生産力のガイドライン, pp. 45-46.
- 28) Kakino J (2001) Dispersal of Japanese littleneck clam *Ruditapes philippinarum* (ADAMS and REEVE) in relation to change of bottom level due to wave action on Banzu tidal flats, Tokyo Bay. Fisheries Engineering, 37, 115-128.
- 29) Ishii R, Sekiguchi H, Jinnai Y (2005) Vertical distribution of larvae of the clam *Ruditapes philippinarum* and the striped horse mussel *Musculista senhousia* in eastern Ariake Bay, southern Japan. J Oceanography 61, 973-978.
- 30) 日向野純也・安永義暢 (1990) チョウセンハマグリ浮遊幼生の遊泳行動に関する基礎的研究. 水産工学研究報告, 11, 43-51.
- 31) Yang F, Yao T, Huo Z, Zhang Y, Yan X, Zhang G (2010) Effects of starvation on growth, survival, and body biochemical composition among different sizes of Manila clam *Ruditapes philippinarum*. Acta Ecologica Sinica, 30, 135-140.
- 32) 鈴木啓太・杉本 亮・笠井亮秀・中山耕至・田中 克 (2009) 夏季の有明海筑後川の高濁度汽水域における粒状有機物の動態-河川流量の変動にともなう変化. 水産海洋研究, 73, 149-160.
- 33) 日比野 学・進藤 蒼・曾根亮太・柘植朝太郎・平井 玲 (2025) 三河湾におけるアサリ漁業が成り立つために必要な栄養塩類と餌料の濃度水準の検討. 水産海洋研究, 89, 28-40.
- 34) 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.
- 35) Kasai A, Horie H, Sakamoto W (2004) Selection of food sources by *Ruditapes philippinarum* and *Macra veneriformis* (Bivalva: Mollusca) determined from stable isotope analysis. Fisheries Science, 70, 11-20.
- 36) 児玉真史・渡部諭史・鳥羽光晴・片山知史・中田 薫 (2008) 盤洲干潟における懸濁物質組成とアサリの餌料環境. 海岸工学論文集, 55, 1146-1150.
- 37) 三戸勇吾・山田佳裕・山本敏哉・中島沙知・白金晶子・堤 裕昭・多田邦尚 (2007) 知多湾における堆積物中の有機物の起源. 日本水産学会誌, 73, 1-7.
- 38) 日比野 学・長谷川拓也・村田将之・進藤 蒼・中島広人・市原聡人・荒川純平・鈴木貴志・澤田知希 (2026) 三河湾の河口干潟におけるハマグリ資源生態と分布の特徴. 水産海洋研究, 印刷中.
- 39) 村田将之・日比野 学・長谷川拓也・宮川泰輝・松村貴晴・岡本俊治・黒田伸郎 (2023) 三河湾におけるアサリ資源の減少に伴う浮遊幼生の出現状況の変化. 愛知県水産試験場研究報告, 28, 20-31.
- 40) 日比野 学・進藤 蒼・村田将之・平井 玲・鈴木勝海・濱崎真美・市川哲也 (2024) 三河湾一色干潟におけるアサリ資源状況と資源管理. 黒潮の資源海洋研究, 25, 147-158.
- 41) Higano J (2004) Influence of environmental changes in the tidal flats on the filtration and respiration of bivalve mollusks. Bull Fish Res Agen Suppl 1, 33-40.