

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

石田俊朗・曾根亮太・和久光靖・山田智・蒲原聡

(2020年12月23日受付, 2021年2月5日受理)

Appearance of planktonic larvae of Japanese littleneck clam, *Ruditapes philippinarum* and flow conditions in Rokujo tidal flat in Mikawa Bay

ISHIDA Toshiro*¹, SONE Ryota*², WAKU Mitsuyasu*³,
YAMADA Satoshi*⁴ and KAMOHARA Satoru*⁵

Abstract : To elucidate some of the mechanisms by which a large number of Japanese littleneck clam, *Ruditapes philippinarum* juveniles appear in Rokujo tidal flat, we surveyed the appearance of planktonic larvae in the inner part of Atsumi Bay and Rokujo tidal flat during the fall of 2014 and 2015, and analyzed the flow conditions of the sea around Rokujo tidal flat. As a result, it was suspected that there are spawning grounds around Rokujo tidal flat that supply planktonic larvae, and the flow conditions in the sea around Rokujo tidal flat enables the accumulation of planktonic larvae. The densities of planktonic larvae in the northern part of Rokujo tidal flat were always high compared with the southern part. The reason for this is that the tidal current in the northern part of Rokujo tidal flat tilts in offshore direction with a high flow velocity, providing ample opportunities for offshore planktonic larvae to be carried to the tidal flat. Estuarine circulation was also notable, transporting and widely distributing full-grown larvae in the bottom layer to the tidal flat. In order to maintain the supply of planktonic larvae in Rokujo tidal flat, the source of planktonic larvae, the tidal flat, and shallow areas in the surrounding sea must be protected, and the flow conditions around Rokujo tidal flat must be maintained. To create tidal flats where a large number of juveniles can grow, the adult population that provides planktonic larvae must be secured in the surrounding sea, and locations must be selected where the flow conditions functions to accumulate planktonic larvae at the mouth of a river, such as tidal currents and estuarine circulation.

キーワード: 六条潟, アサリ浮遊幼生, 流況

三河湾東部海域である渥美湾には、全国有数のアサリ稚貝発生場所である「六条潟」と呼ばれる干潟域(面積: 3.06km²)¹⁾が存在している(図1)。漁業者は、ここで

毎年大量に発生するアサリ稚貝をアサリ漁場へ移植して資源の増大を図っている。^{2), 3)} 全国のアサリ漁獲量が2000年以降減少傾向であったのに対して、愛知県では

*¹ 公益財団法人愛知県水産業振興基金栽培漁業部 (Department of sea-farming, Aichi Prefectural Foundation of Fisheries Promotion, Tahara, Aichi 441-3618, Japan)

*² 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)

*³ 愛知県農業水産局水産課 (Fisheries Division, Aichi Prefectural Government, Nagoya, Aichi 460-8501, Japan)

*⁴ 一般社団法人全国水産技術協会東海・北陸支部 (Tokai-Hokuriku Regionai Office of Japan Fisheries Science and Technology Association, Nagoya, Aichi 460-0002, Japan)

*⁵ 愛知県水産試験場 (Aichi Fisheries Research Institute, Miya, Gamagori, Aichi 443-0021, Japan)

2000～2014年のアサリ漁獲量は8,890～19,278トンで、概ね増加傾向を示していた。これには、アサリ漁場での大規模な干潟・浅場の造成やアサリの資源管理が積極的に行われたことに加え、1999年から始まった六条潟からのアサリ稚貝の移植が大きく寄与したと考えられ、^{2, 4)} 六条潟に発生するアサリ稚貝は、愛知県のアサリ漁業にとって欠かせない重要な資源となっている。ところが六条潟では、苦潮によってアサリ稚貝が大量へい死する被害がしばしば発生し、移植用の稚貝の確保に大きな影響を及ぼしている。六条潟は、渥美湾奥部由来の苦潮に加え、沿岸開発によって周辺海域に出現した浚渫窪地、航路および泊地由来の苦潮による生物被害のリスクにもさらされている。⁵⁾ このように、三河湾内では六条潟が移植用稚貝を大量に確保することができる唯一の種場であるにも関わらず、稚貝の確保は非常に不安定な状況となっており、さらに近年では愛知県のアサリ漁獲量は著しく減少していることから、⁶⁾ 六条潟の保全是極めて重要な課題である。一方で、県内のアサリ稚貝の安定確保のため、六条潟以外の海域においても、アサリ稚貝が大量に発生し種場となるような干潟・浅場を造成することが求められており、そのためには、六条潟でアサリ稚貝が大量に発生するメカニズムを明らかにする必要がある。六条潟では毎年多くの稚貝の発生がみられることから、大量の浮遊幼生の供給が安定して行われていると推測されるが、三河湾におけるアサリ浮遊幼生の出現動向についてはこれまでに多くの報告があるものの、⁷⁻¹⁶⁾ 六条潟周辺海域における情報は限られている。そこで本研究では、六条潟で発生するアサリ稚貝の主群となっている秋季発生群^{4, 8, 17)}を対象とし、六条潟および周辺海域

において浮遊幼生の出現動向を調査するとともに、浮遊幼生の干潟上への侵入および着底に関する流動環境についても調査・解析を行い、六条潟への幼生供給機構について考察した。

材料及び方法

(1) 渥美湾奥部浮遊幼生調査

渥美湾奥部海域におけるアサリ浮遊幼生の出現動向を調べるため、2014年10月2日、7日、10日、15日、21日および30日に、渥美湾奥部海域に設定したSt. 1～5(基本水準面(以下、CDL) -4.3～-11.4m)の5地点(図1)で、口径45cm、目合い50 μ mのノルバックネットを用いて海底直上から水面までの鉛直びきを行って幼生を採取した。ネット開口部にはろ水計を取り付け、ろ水量を計算した。採取した試料を愛知県水産試験場(愛知県蒲郡市三谷町)に搬入し、分析に供するまで-20 $^{\circ}$ Cで冷凍保存した。分析にあたっては、解凍した試料を蛍光抗体法⁹⁾を用いて顕微鏡観察により幼生個体数を計数した後、1m³当たりの密度に換算した。また、無作為に100個体を抽出して殻長を測定し、相澤ら¹⁸⁾の方法によりコホートを分離したほか、成長段階に区分した。成長段階は、殻長が130 μ mより小さい幼生をD状期幼生、130～180 μ mの幼生をアンボ期幼生、180 μ mより大きい幼生をフルグロウン期幼生とした。^{19, 20)}

(2) 六条潟浮遊幼生調査および干潟上流況観測

六条潟上における幼生の出現動向を調べるため、2015年10月23日(長潮)、10月30日(大潮)、11月5日(小潮)および11月11日(大潮)の上げ潮時および下げ潮時に、六条潟沖合のSt. 1および六条潟上のSt. 6～8の計

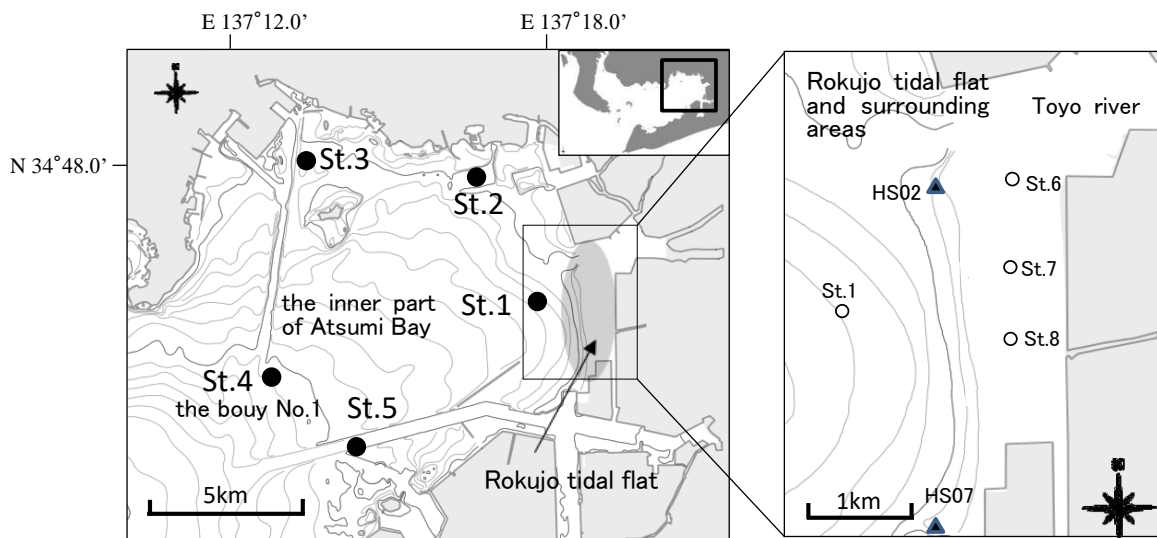


Fig. 1 *R. philippinarum* planktonic larvae survey points (2014: St. 1～5, 2015: St. 1 and St. 6～8) and flow observation points (2015: St. 6 and St. 8, 2016: HS02 and HS07)

4地点(図1)で、(1)の調査と同じノルパックネットを用い、図2に示した方法により各採取層で3mの水平びきを行って幼生を採取した。採取層については、干潟上となるSt.6~8では表層と底層(海底直上)の2層とし、採取時の水深が0.9m以浅となり採取層を2層に区分できない場合は表層1層のみとした。またSt.1については、表層、深度4m層および底層(海底直上)とした。なおSt.6~St.7およびSt.7~St.8の調査地点間の距離は約800mとした。各地点の地盤高は、St.1ではCDL-7.0m、St.6ではCDL-0.3m、St.7ではCDL-0.1m、St.8ではCDL-0.9mであった。採取した試料の保存と幼生個体数の計数については(1)の調査と同様に行ったが、幼生密度については、水平びきのためろ水計からろ水量を正確に求められなかったことから、ノルパックネットの開口部面積と曳網距離との積からろ水量を求めて幼生密度を計算した。また、無作為に100個体を抽出して殻長を測定したが、1試料当たりの幼生数が100個体未満の場合には全個体を測定した。幼生の成長段階の区分は(1)の調査と同様に行った。^{19, 20)}

St.6およびSt.8では、2015年10月23日~11月11日に海底直上に流向流速計(JFEアドバンテック社製Infinity-EM)を設置し、10分間隔で流向流速の連続観測を行った。潮流調和解析については、村上²¹⁾に準じて15日間(2015年10月24日~11月7日)のデータを解析に供し、最小自乗法により調和定数を推定し、潮汐変動に最も影響する主要4分潮(M_2 , S_2 , O_1 , K_1)に分解した。なお表層の流れについては、吹送流を想定し、愛知県水産試験場が設置している三河湾海況自動観測ブイのうち六条潟に最も近い1号機(以下、水試1号ブイ)の風向風速観測データ(<http://suisanshiken-buoy.jp/top/buoy01/wtop.html>, 2020年12月23日)を用いた。

(3) 六条潟沖合流況観測

六条潟沖合の流況についてはデータを得られていなか

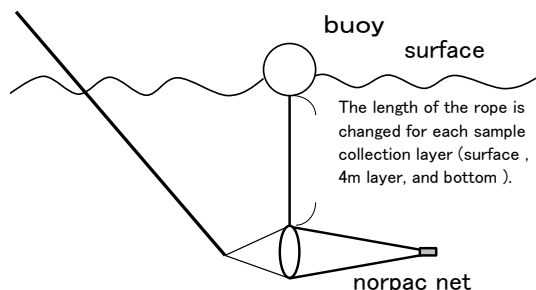


Fig.2 Rokujo tidal flat planktonic larvae survey (2015) sampling method

ったため、2016年夏季に愛知県水産試験場が六条潟周辺海域で行った流況観測の結果²²⁾について潮流調和解析を行った。夏季の流動構造と本研究で調査を行った秋季の流動構造は多少異なる可能性はあるが、潮汐流及び河川水の影響によるエスチュアリー循環流などの基本構造は恒常的であると仮定して解析に供した。使用したデータは、図1に示した六条潟北部沖合観測地点のHS02(CDL-4.8m)および南部沖合観測地点HS07(CDL-4.5m)の海底に設置した超音波多層流向流速計(Nortek社製Aquadopp Profiler)により海底より0.9m上方から1m間隔で10分おきに取得された連続観測結果であり、2016年8月16日~30日の15日間のデータを解析に供した。なお、表層のデータについては、潮汐による水面変動に応じて最表層で得られた観測値とした。潮流調和解析については、(2)の干潟上流況観測の解析と同様に最小自乗法²¹⁾により調和定数を推定し、主要4分潮(M_2 , S_2 , O_1 , K_1)に分解した。

結 果

(1) 渥美湾奥部浮遊幼生調査

2014年10月調査における調査日および地点ごとの成長段階別の幼生密度の推移を図3に示した。また、浮遊幼生の殻長組成については、各地点間で大きな差がみられなかったため、調査日ごとの5地点の平均密度およびその殻長組成を図4に示した。10月2日には、各地点の全成長段階の幼生密度は129~1,084個体/ m^3 (5地点の平均密度:617個体/ m^3)で他の調査日よりやや低かった。殻長組成については、平均殻長が107 μm でD状期幼生が主体のコホートおよび平均殻長が169 μm でアンボ期・フルグロウン期幼生混在のコホートに分離された。10月7日には各地点の密度は1,318~7,525個体/ m^3 (5地点の平均密度:3,321個体/ m^3)で、10月2日より高くなった。各地点のD状期幼生が占める割合は86.0~98.0%と高い傾向であった。殻長組成については、平均殻長が106 μm でD状期幼生が主体のコホートが優占した。10月10日には各地点の密度は908~6,518個体/ m^3 (5地点平均密度:3,282個体/ m^3)であった。殻長組成については、平均殻長が121 μm でD状期幼生・アンボ期幼生混在のコホートおよび平均殻長が159 μm でアンボ期幼生が主体のコホートに分離された。10月15日には各地点の密度は432~6,718個体/ m^3 (5地点の平均密度:1,951個体/ m^3)で、各地点において全成長段階の幼生に占めるフルグロウン期幼生の割合は11.0~37.9%とやや高かった。

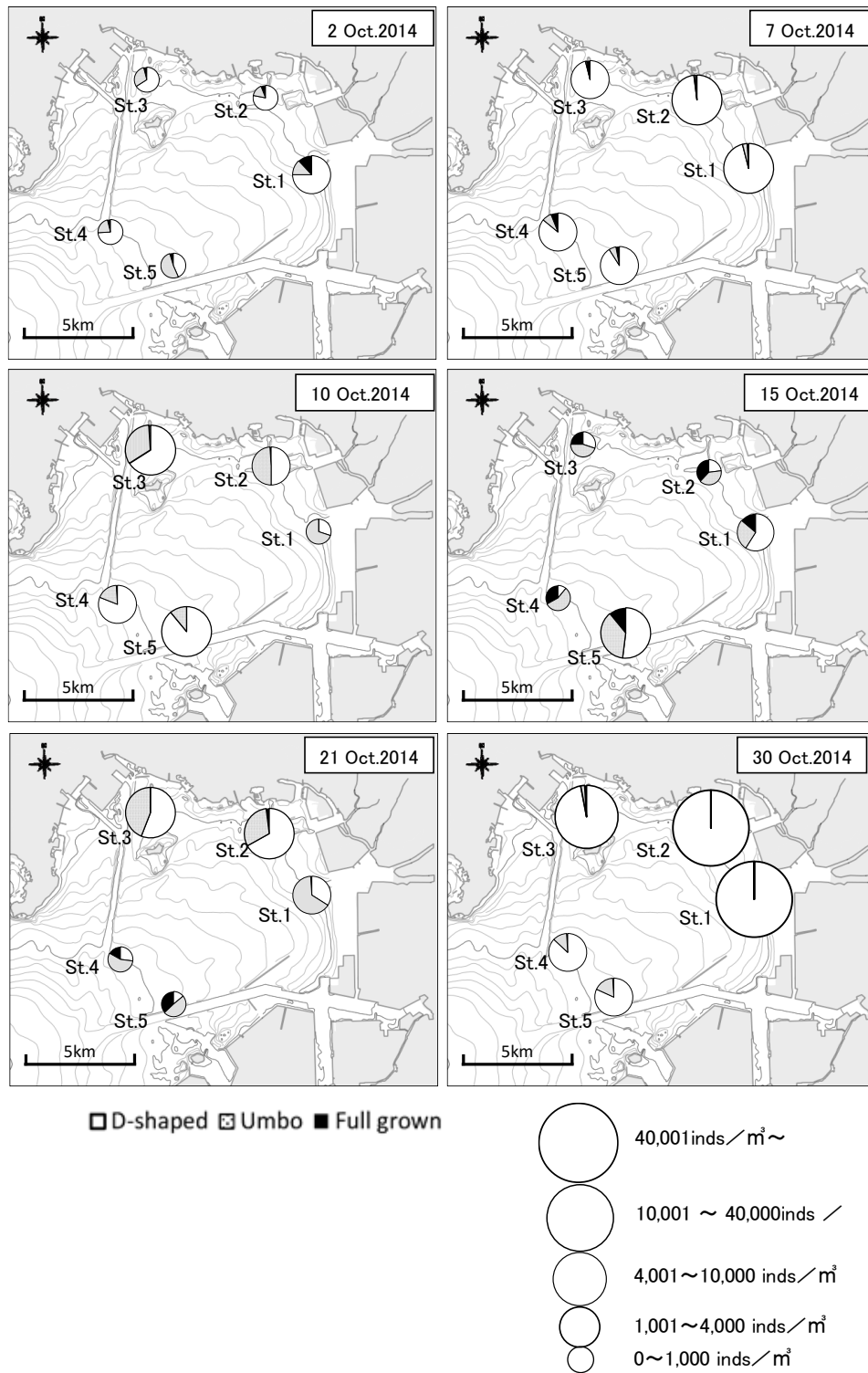


Fig. 3 Changes in larval density based on the growth stage from a planktonic larvae survey in the inner part of Atsumi Bay (2014)

密度が最も高かった St. 5 (6,718 個体/m³) では、フルグロウン期幼生の密度も 739 個体/m³ と他の地点 (108~275 個体/m³) よりも高かった。殻長組成については、平均殻長が 97 μm で D 状期幼生が主体

のコホートおよび平均殻長が 170 μm でアンボ期幼生・フルグロウン期幼生混在のコホートに分離された。10月21日には各地点の密度は 678~7,837 個体/m³ (5 地点の平均密度: 3,634 個体/m³) であった。

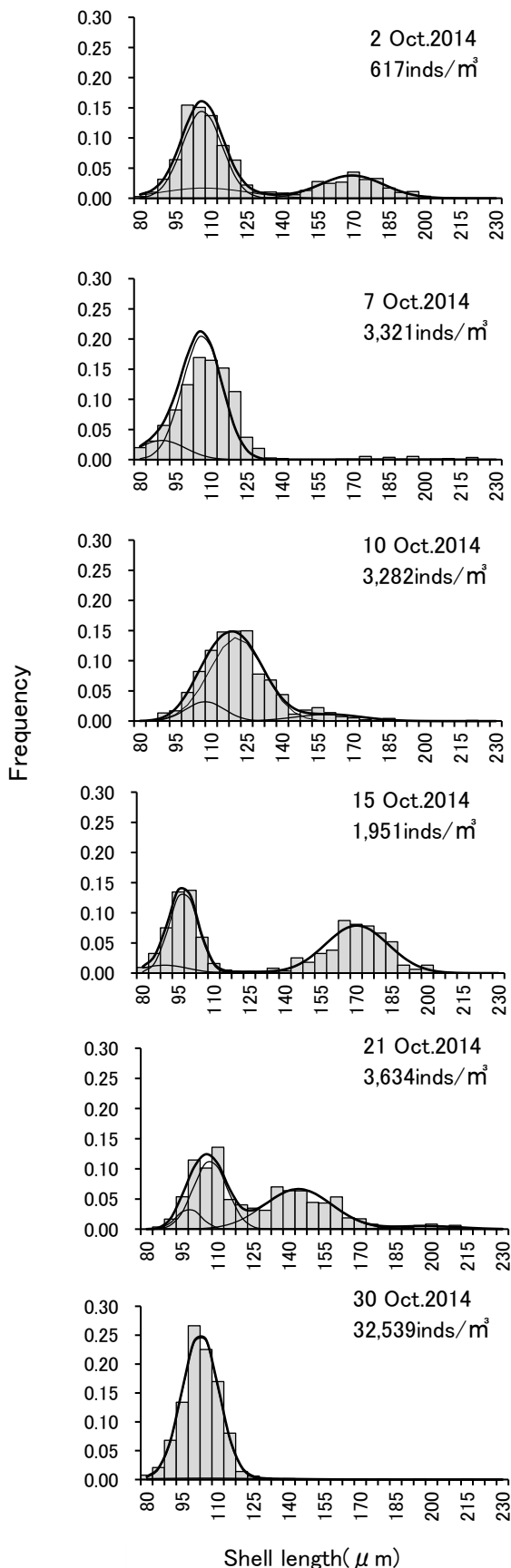


Fig. 4 Average density and shell length of five points for each survey day in the planktonic larvae survey of the inner part of Atsumi Bay (2014)

生が主体のコホート、平均殻長が $144\mu\text{m}$ でアンボ期幼生が主体のコホートおよび平均殻長が $198\mu\text{m}$ でフルグロウン期が主体のコホートに分離された。10月30日には各地点の密度は $2,312\sim 86,310$ 個体/ m^3 で、St. 1~3 ではそれぞれ、 $86,310$ 個体/ m^3 、 $55,619$ 個体/ m^3 、 $16,109$ 個体/ m^3 と特に高い傾向であった。5地点の平均密度は $32,539$ 個体/ m^3 と高く、殻長組成については、平均殻長が $103\mu\text{m}$ でD状期幼生が主体のコホートが優占した。

このように、全成長段階の幼生密度は、10月2日を除く5回の調査時には、いずれかの地点で $4,000$ 個体/ m^3 を超える高い密度で出現していた。5地点平均の殻長組成では、すべての調査日に平均殻長が $130\mu\text{m}$ 以下でD状期幼生が主体と考えられるコホートが出現しており、特に10月7日および10月30日にはD状期幼生が主体のコホートのみが出現していた。一方、アンボ期幼生またはフルグロウン期幼生が主体のコホートも、10月10日、15日および21日に出現していた。

(2) 六条潟浮遊幼生調査および干潟上流況観測

2015年10月23日~11月11日の上げ潮時および下げ潮時の採取層別密度を平均した幼生密度を図5に示した。調査期間を通じて、沖合の調査地点であるSt. 1では $120\sim 1,643$ 個体/ m^3 、干潟上のSt. 6では $6\sim 9,808$ 個体/ m^3 、St. 7では $0\sim 129$ 個体/ m^3 、St. 8では $0\sim 365$ 個体/ m^3 であり、沖合のSt. 1の密度と干潟上のSt. 6~8の密度との間に相関性はみられなかった。また、調査日ごとの上げ潮時と下げ潮時の比較では、全地点においてどちらかの潮時に幼生密度が偏る傾向はみられなかった。干潟上の地点では、すべての調査日でSt. 6の幼生密度はSt. 7およびSt. 8よりも高い結果であった。

調査日ごとの上げ潮時および下げ潮時における採取層別および成長段階別の幼生密度を図6に示した。St. 1では、すべての調査日で上げ潮時および下げ潮時の全層で幼生が採取され、10月23日の上げ潮時および下げ潮時、11月5日の上げ潮時および11月11日の上げ潮時および下げ潮時には、底層での密度が最も高い結果であった。また、上げ潮時および下げ潮時を合わせた8回の調査において、幼生の成長段階ごとに層別の密度をみると、D状期幼生では8回中4回で底層での密度が最も高く、アンボ期幼生では8回中7回で底層での密度が最も高かった。フルグロウン期幼生では、10月23日および11月11日の上げ潮時および下げ潮時の計4回の調査で幼生が採取され、4回中4回とも底層での密度が最も高かった。このようにいずれの成長段階の幼生も、底層

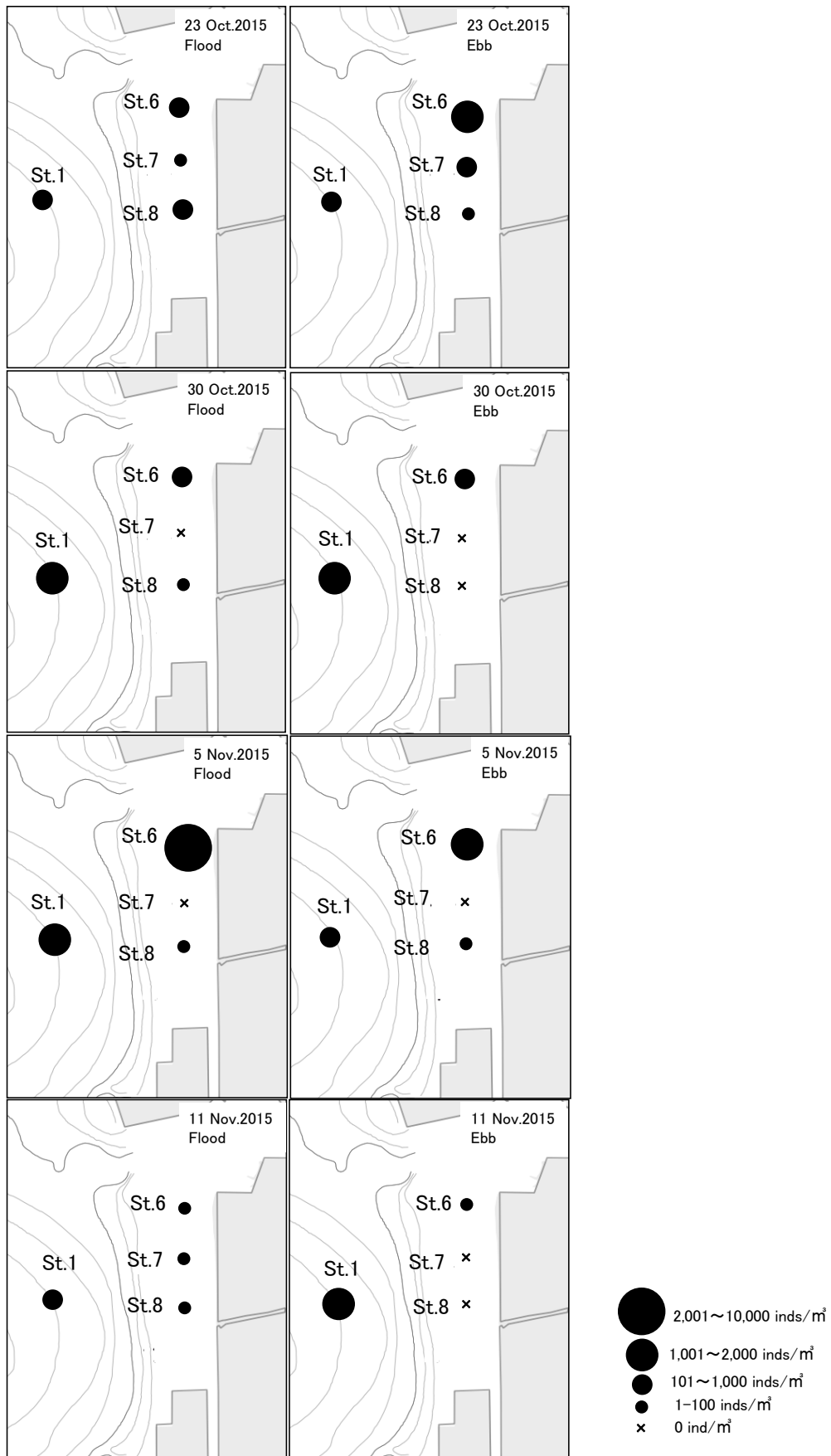


Fig. 5 Changes in the larval density where density per sampling layer was averaged for the rising tide and ebbing tide in the planktonic larvae survey of Rokujo tidal flat (2015)

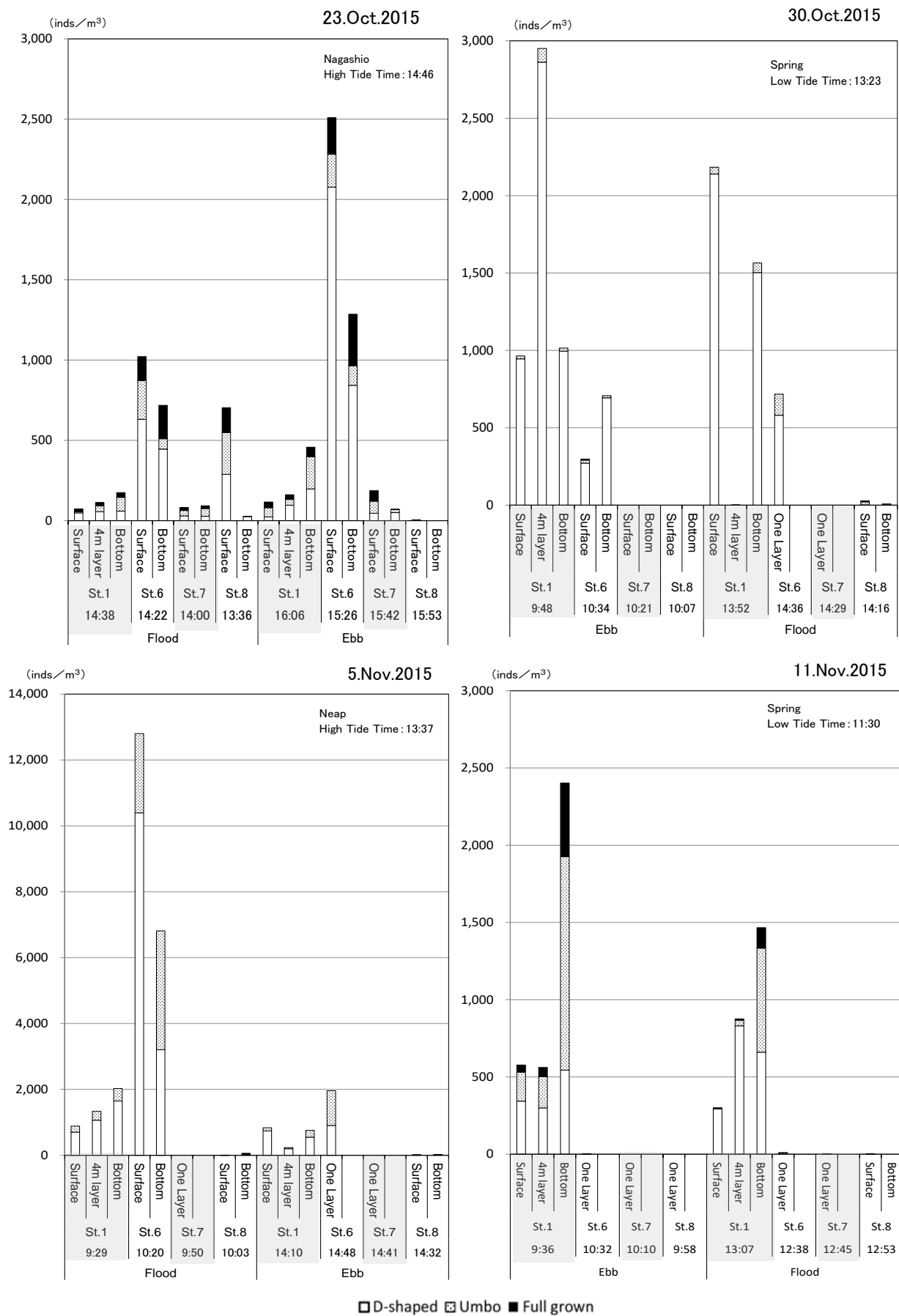


Fig. 6 Larval density for each sampling layer and each growth stage in the planktonic larvae survey of Rokujo tidal flat (2015) (The time noted under each survey point is the starting time for larvae sampling at each survey point.)

で幼生密度が高い傾向がみられた。St. 6~8のうちSt. 6では、すべての調査日の上げ潮時および下げ潮時に幼生が採取され、表層と底層を平均した幼生密度または1層のみの採取となった場合の密度は2~9,808 個体/m³で、11月5日の上げ潮時には9,808 個体/m³ (表層で12,802 個体/m³, 底層で6,813 個体/m³) と調査期間中の最高であった。表層と底層を区分して幼生を採取できたケースの幼生密度を比較すると、該当する4回のうち3回で

表層の方が密度は高かったが、幼生の成長段階別の出現については明らかな傾向はみられなかった。St. 7およびSt. 8では、10月23日を除いて幼生がほとんど採取されなかったため、幼生の出現傾向を確認することはできなかった。

幼生採取日の流向流速・風向風速観測結果を、最も北の調査地点であるSt. 6については図7に、最も南の地点であるSt. 8については図8にそれぞれ示した。観測期間

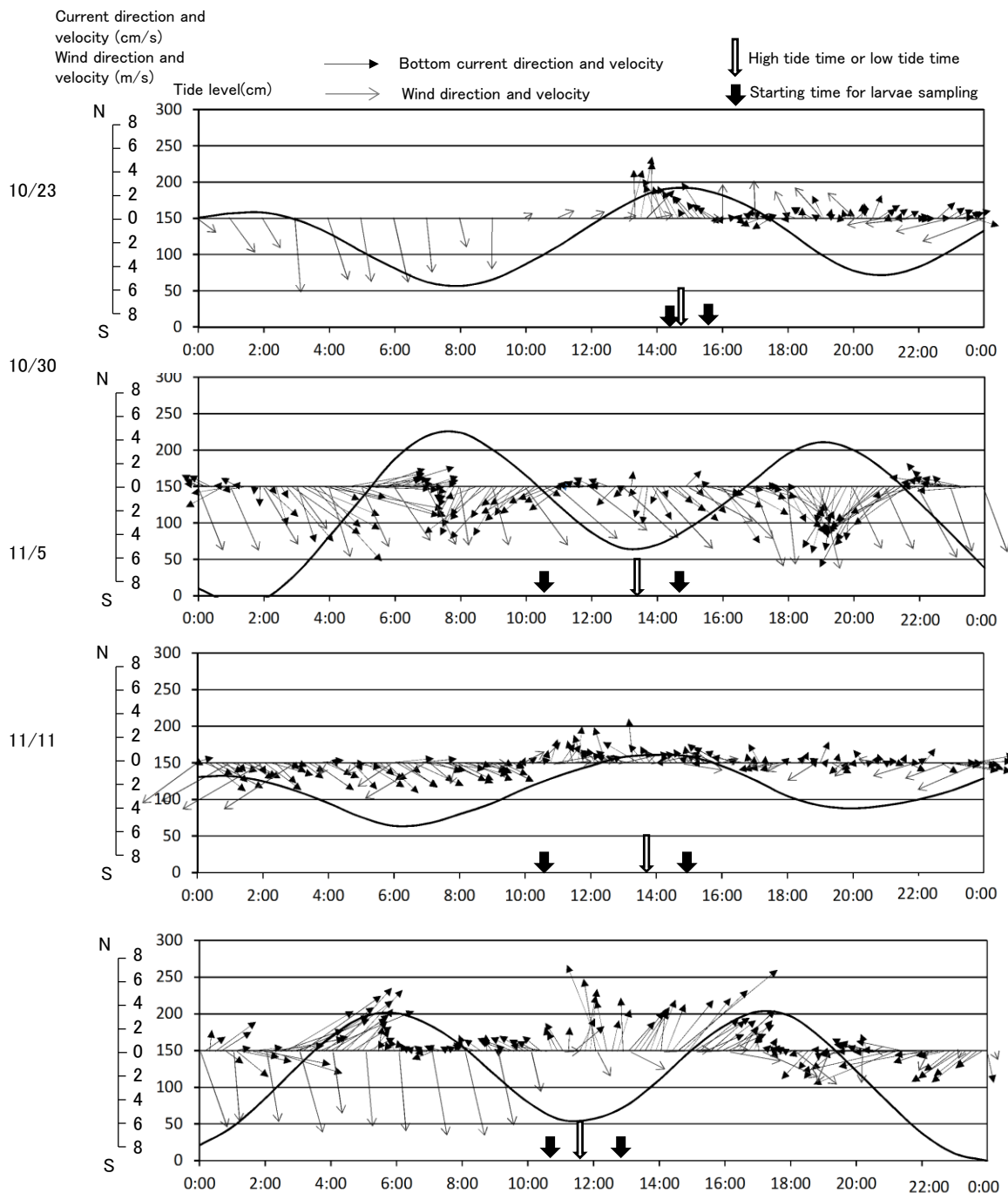


Fig. 7 Current direction and velocity, tidal fluctuations, and wind direction and velocity at St. 6 (northern part of the tidal flat) (2015). The wind direction and velocity represent data from the Aichi Fisheries Research Institute buoy No. 1

中の流向は、St. 6 と St. 8 とで概ね同調していたが、流速は St. 6 で大きい傾向にあった。ただし 11 月 5 日には、上げ潮時の幼生採取時までの約 10 時間は、St. 6 で南東向き、St. 8 では北東向きの流れが継続し、上げ潮時の幼生採取時から下げ潮時の採取時までの約 3 時間も、St. 6 と St. 8 では流向が全く異なっていた。なお、水試 1 号ブイによる風向風速結果については、底層の流向流速データとの間に明瞭な関連性はみられなかった。図 9 に、潮

流調和分解の結果、St. 6 および St. 8 において最も卓越していることが確認された M_2 分潮の潮流楕円および観測期間中の残差流を示した。St. 6 および St. 8 とともに M_2 分潮の長軸方向は東北東・西南西となっており、その最大振幅は St. 6 では 2.8cm/s、St. 8 では 1.4cm/s と St. 6 では St. 8 よりも流速が 2 倍大きかった。また残差流は、St. 6 では南南東に 0.7cm/s であり、St. 8 で西南西に 1.5cm/s であった。

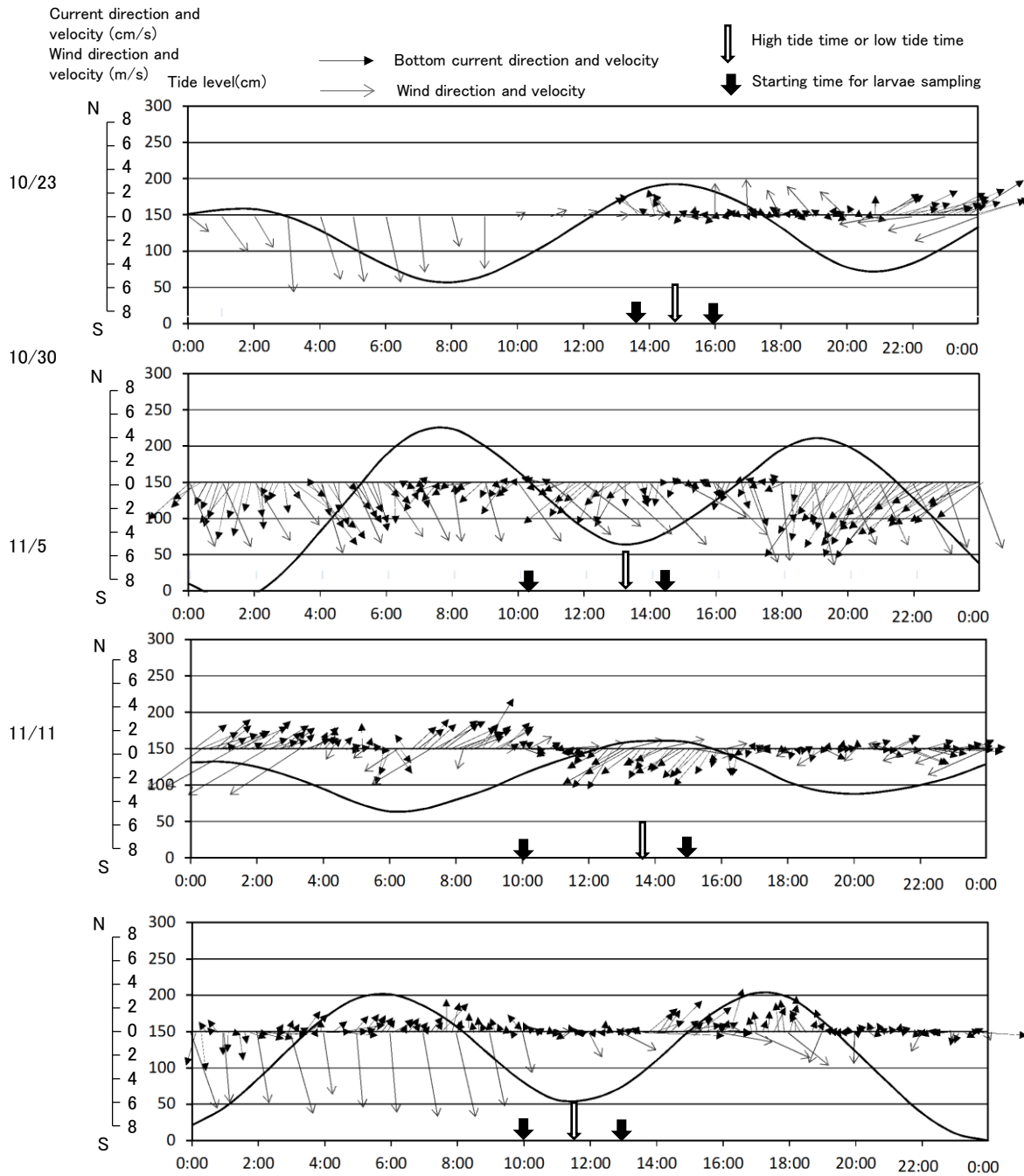


Fig. 8 Current direction and velocity, tidal fluctuations, and wind direction and velocity at St. 8 (southern part of the tidal flat) (2015). The wind direction and velocity represent data from the Aichi Fisheries Research Institute buoy No. 1

(3) 六条潟沖合流況観測

2016年夏季に愛知県水産試験場が行った流況観測の結果²²⁾について潮流調和分解を行い、最も卓越してい

ることが確認された M_2 分潮の潮流楕円および観測期間中の残差流を図 10 に示した。六条潟北部沖合観測地点の HS02 における M_2 分潮の長軸方向は表層で北東・南西、底

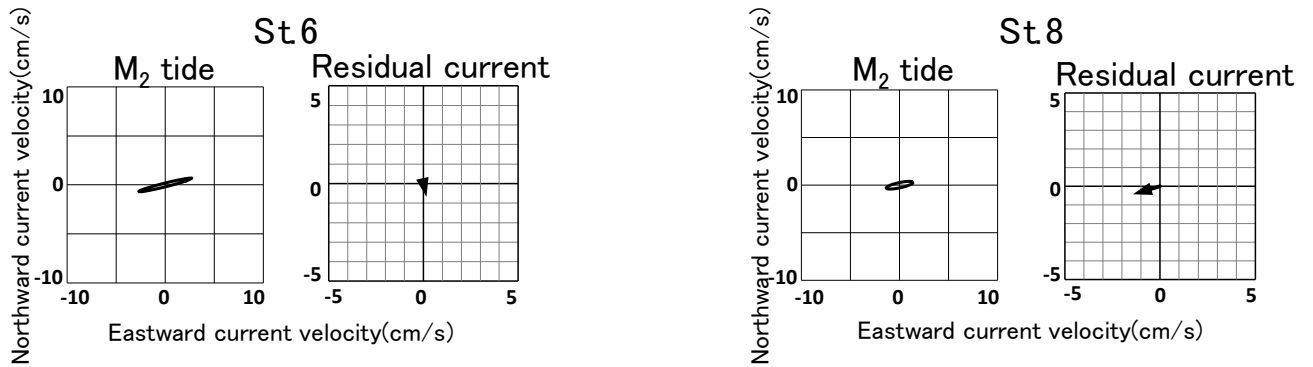


Fig. 9 M_2 tide and residual current at observation points St. 6 and St. 8 on Rokujo tidal flat (2015)

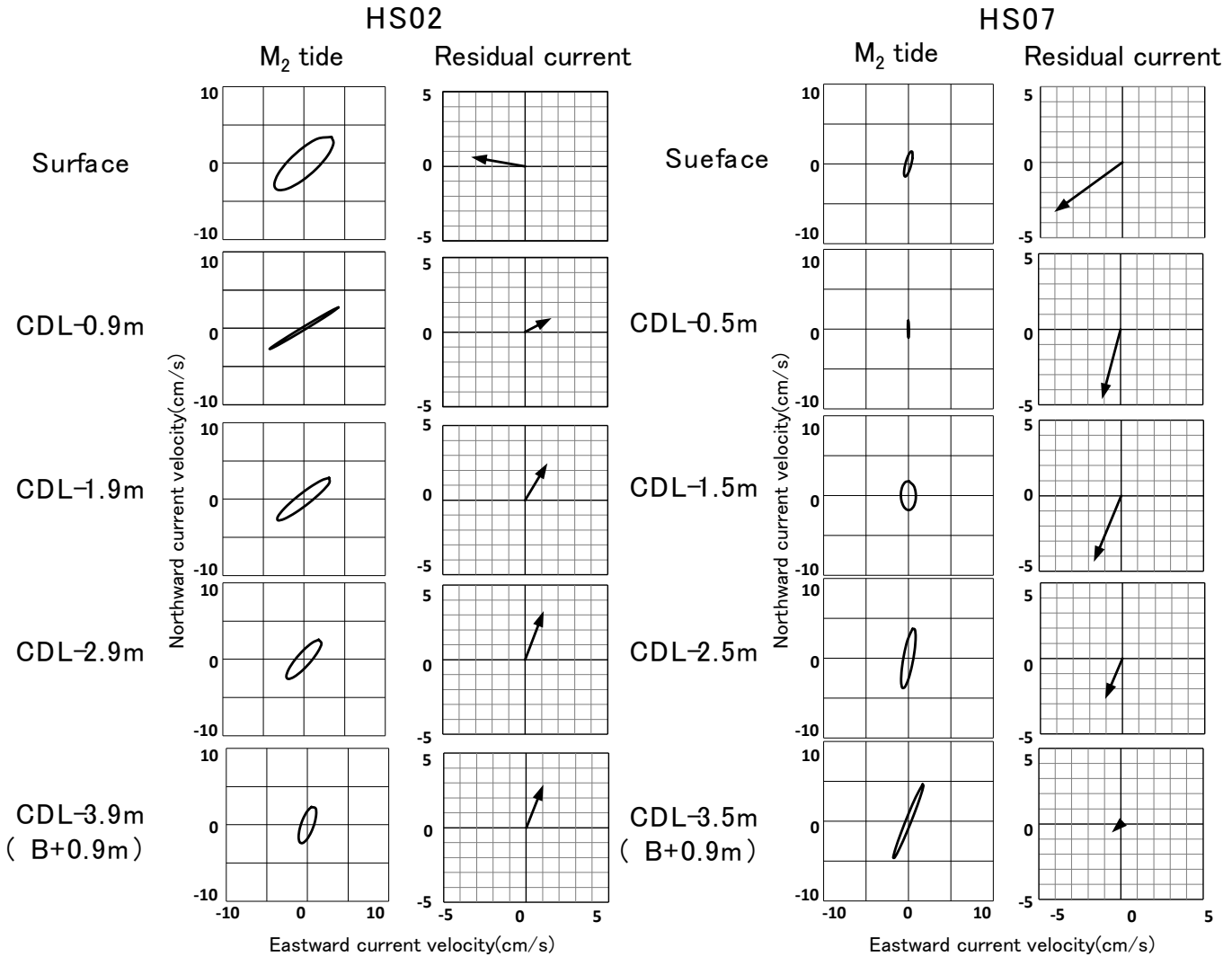


Fig. 10 Vertical distribution of M_2 tide and residual current at offshore observation points HS02 and HS07 for Rokujo tidal flat (2016)

層で北北東・南南西となっており、底層に向かうにつれて南北方向に近づいていた。残差流の向きは表層で西北西であったが、それより深い層では反対方向の東北東から北北東の流向となっていた。一方、六条潟南部沖合観測地点のHS07のM₂分潮の長軸は各層北北東・南南西または南北方向であり、表層からCDL-1.5m層まではHS02と比較して流速が小さかった。また残差流の向きは、すべての層において南南西から南西であった。

考 察

渥美湾奥部において、アサリ浮遊幼生は5~11月に出現し、5~6月に春季の、10~11月に秋季の出現ピークがみられる。¹⁴⁾ 2014年10月に6回行った渥美湾奥部浮遊幼生調査では、10月2日を除く5回の調査において、いずれかの地点で4,000 個体/m³を超える浮遊幼生の出現がみられ、特に10月30日には最高で86,310 個体/m³の出現がみられたことから(図3)、本調査では秋季の出現ピークを捉えたと考えられた。また、本研究で確認された幼生密度は近年の他海域の事例²³⁻²⁵⁾と比べると1~2桁大きく、三河湾における浮遊幼生の既往研究⁷⁻¹⁶⁾の密度とほぼ同程度であり、渥美湾奥部では過去と比べても依然として高い水準で浮遊幼生が出現していることが確認された。出現した浮遊幼生の成長段階に着目してみると、10月7日以降、沿岸寄りのいずれかの調査地点(St.1~3またはSt.5)において産卵後2~6日程度と考えられるD状期幼生¹³⁾が比較的高密度で採取された(図3および図4)。特に高い密度で幼生が出現した10月30日にはトロコフォラ幼生から変態したばかりと思われる平均殻長が103μm前後のD状期幼生が、六条潟に近いSt.1およびSt.2において高密度で出現していた(図3)。六条潟における前年の秋季発生稚貝(殻長約15mm)はこの時期に成熟することが確認されており、¹⁷⁾ 10月30日に平均殻長が103μmのD状期幼生がSt.1およびSt.2で大量に採取されたことは、六条潟を含む渥美湾奥部で産卵が行われた直後を捉えた可能性が考えられた。一方、発育の進んだアンボ期幼生およびフルグロウン期幼生についても、ほとんどの調査日、調査地点で出現しており、アンボ期幼生については10月21日のSt.3で2,945 個体/m³と調査期間中の最高密度が確認され、フルグロウン期幼生については10月15日のSt.5で739 個体/m³と調査期間中の最高密度が確認された。また、各調査日におけるフルグロウン期幼生の5地点の平均密度としては18~299 個体/m³で、10月15日に最も高い密度であった。アサリ幼生は産卵後、

2~6日程度はD状期幼生として成育し、¹³⁾ 着底するまでに産卵後2~3週間を要する。²⁰⁾ これを踏まえ、図4のコホートの推移から、10月7日に平均殻長が106μmでD状期幼生が主体のコホートが、10月15日には平均殻長が170μmでアンボ期幼生・フルグロウン期幼生が混在したコホートに成長したものと仮定し、幼生密度を基に残存率を計算したところ、10月7日では3,321 個体/m³であったものが、10月15日では1,015 個体/m³となり、残存率は30.6%であった。黒田ら¹⁰⁾は浮遊幼生の長期データから三河湾ではD状期幼生からフルグロウン期幼生までの平均的な残存率が10%であることを報告している一方で、山田ら¹⁴⁾は秋季の渥美湾におけるD状期幼生からフルグロウン期幼生までの生残率は平均20.96%であると示しており、本研究においても渥美湾奥部では高い残存率である可能性が示された。三河湾各地への幼生供給をシミュレーションで明らかにした市川ら²⁶⁾の報告によると、六条潟への幼生供給は三河湾内各地から産卵された幼生がたどり着くが、特に渥美湾内の寄与が大きいことが示されている。また、本田ら²⁷⁾の報告では、渥美湾奥部の測点では渥美湾の西部の測点や知多湾の測点よりも有意にクロロフィルa濃度が高いことが示されている。本研究では渥美湾奥部において高い密度で幼生が出現することが確認されたが、六条潟周辺海域に産卵場がある可能性、幼生の残存率が高い可能性および餌料環境が良好である可能性が考えられ、浮遊幼生を高密度に保持するための流動環境についても好適である可能性が伺われた。今後は、渥美湾奥部での詳細な環境要因についても検討していく必要がある。

2015年10月23日~11月11日に行った六条潟周辺におけるアサリ浮遊幼生調査(図5および図6)では、沖合の調査地点であるSt.1においては、すべての調査日の上げ潮時および下げ潮時に全採取層で幼生が採取され、また、10月23日および11月11日にはすべての成長段階の幼生が出現しており、2014年に行った渥美湾奥部浮遊幼生調査と同様に、六条潟の沖合では、成長が進んだ幼生も含め、浮遊幼生が安定して出現していることが確認された。採取層別では、10月23日の上げ潮時および下げ潮時、11月5日の上げ潮時、11日の上げ潮時および下げ潮時には、底層での全成長段階の幼生密度が高い傾向であった。山田ら¹⁴⁾は幼生の日周鉛直分布では昼間に底層に分布することを報告しており、昼間に行った本研究においても同様の傾向が確認された。各調査日(4回)の上げ潮時および下げ潮時、計8回行った調査において、幼生が成長段階ごとにどの採取層に

多かったかをみたところ、D 状期幼生では 8 回中 4 回で底層での密度が最も高く、アンボ期幼生では 8 回中 7 回で底層での密度が最も高く、フルグロウン期幼生では計 4 回の調査において 4 回とも底層での密度が最も高く、いずれの成長段階の幼生も底層での密度が高い傾向であった (図 6)。三河湾での幼生の成長段階別の鉛直分布について黒田^{1,2)} は、発生初期の幼生は表中層に集積し、成長が進むにつれ底層へ集積する傾向があること、干潟付近の着底期幼生は底層に集積することなどを報告している。本研究では、発生初期の段階である D 状期幼生の表中層への集積ははっきりとしなかったが、成長が進んだ段階であるアンボ期幼生およびフルグロウン期幼生については底層に集積する傾向が確認された。六条潟沖合や近傍の海域では、2014 年の渥美湾奥部浮遊幼生調査で高い水準の浮遊幼生が安定して出現することが確認されたが、そのうちの成長段階が進んだフルグロウン期幼生は、底層に集積し、六条潟へ輸送された幼生が着底して稚貝の大量発生につながっている可能性が伺われたが、さらにデータを蓄積して明らかにする必要がある。

干潟上の調査では、上げ潮時または下げ潮時のどちらかの潮流時に幼生密度が偏ったり、上げ潮時から下げ潮時にかけてフルグロウン期幼生密度が減少するというような、干潟上への幼生供給から着底の実態を直接的に捉えることはできなかった。このことについては、幼生採取が満潮および干潮の直前、直後に行われた場合もあり、潮流があまり流れておらず、幼生の輸送を十分に捉えられなかった可能性が考えられた。一方で、干潟上の南北において浮遊幼生の出現状況は異なっており、豊川に近い北部の St. 6 では、毎回幼生が採取されたのに対し、それより南部の St. 7 および St. 8 では幼生が採取されない調査日もあり、幼生が採取された場合でもその密度は St. 6 よりも低かった (図 5 および図 6)。六条潟のアサリ着底稚貝の密度については、北部で高い報告があり、²⁸⁾ 毎年行うアサリ稚貝の資源量調査においては、例年、北部でアサリ稚貝の密度が高い結果である (愛知県農業水産局水産課、未発表)。本研究において、St. 6 で常に幼生密度が高かったことから、北部では南部よりも着底する幼生量が多く、着底稚貝の密度も高くなっていることが推察される。このことに関連して、幼生密度が最も高かった 11 月 5 日の St. 6 および St. 8 における流向流速の連続観測結果 (図 7 および図 8) をみると、上げ潮時の幼生採取時にはその 10 時間前から、St. 6 では南東向きの 1~4cm/s 程度 (平均 2.4cm/s) の流れが、St. 8 ではほぼ北東向きの 2~5cm/s 程度 (平均 2.7cm/s) の流

れが継続し、両地点の流向は 10 時間以上、90° 程度異なっていた。この時の表層および底層の平均密度は、St. 6 で 9,808 個体/m³であったのに対し、St. 8 では 35 個体/m³と大きく異なっていた (図 5 および図 6)。なお、河口域の流れに影響する豊川の流量については、調査日は概ね平水であり、急激な変化はなかった (国土交通省水文水質データベース豊川・当古観測所のデータ ; <http://www1.river.go.jp/cgi-bin/SrchWaterData.exe?ID=305061285512070&KIND=5&PAGE=0>, 2020 年 12 月 23 日)。このことから、平水時の干潟上の北部と南部では短期的に流況が大きく異なることが確認されたものの、長時間にわたって流向が大きく異なるケースは 1 回だけであったため、南東向きまたは北東向きの流れが出現する幼生量にどう影響するのかなど、干潟上の流向と出現する幼生量との関連は不明であった。また、11 月 5 日の上げ潮時の沖合での浮遊幼生密度は南北で大きく異なっていたと考えられるが、沖合調査地点は St. 1 の 1 点のみであったため、本調査では六条潟沖合の南北間での浮遊幼生の出現状況を明らかにすることはできなかった。

一方で、11 月 5 日の上げ潮時を除いて両地点では概ね同様の流況となるが多かったが、それらの場合でも St. 6 では幼生量が多い傾向にあった。このことから、六条潟北部ではその沖合において幼生密度が高く、常に幼生供給が大きくなるメカニズムが存在する可能性が考えられた。そこで、St. 6 および St. 8 の干潟上南北間における平均的な流動特性について比較を行ったところ、最も卓越していた M₂ 分潮については、St. 6 および St. 8 の長軸方向はともに東北東・西南西となっており、潮流流が岸沖方向となる東西方向に傾いていた (図 9)。一方で、その最大振幅は St. 6 では St. 8 よりも 2 倍大きいことから、St. 8 と比較して St. 6 では沖合の浮遊幼生を干潟上に取り込む能力がより大きいと考えられた。また、浮遊幼生等の粒子の輸送に関わる残差流については、St. 6 では 0.7cm/s と小さく、干潟上に取り込んだ浮遊幼生を散逸させない流動構造となっていることが示唆された。さらに、六条潟沖合を含めた六条潟周辺の流動構造を把握するため、2016 年に愛知県水産試験場が行った流況観測結果²²⁾ について潮流調和解析を行ったところ、北部沖合 HS02 の M₂ 分潮の流軸の方向は 2015 年に行った干潟上北部 St. 6 の結果と同様である一方、南部沖合 HS07 とは M₂ 分潮の流軸の方向および表層付近でのその強さが異なっていた (図 10)。残差流については、北部では表層は西北西であったもののそれより深い層ではほぼ反対の北東寄りの流向であったのに対し、南部ではすべての層で一様に南西寄りの流向であった。これらの観測結

果から、干潟上において常に幼生密度が高かった北部の沖合の流動構造は、卓越する潮汐流が岸沖方向となる東西方向に傾いていること、また、その流速が南部よりも強いことにより沖合の浮遊幼生を干潟上に輸送する機会に優れているものと考えられた。残差流については、北部沖合では、表層とそれより深い層の流向をみると典型的なエスチュアリー循環の流動構造を示しており、浮遊幼生が多く分布するとされている水深 3m 付近²⁾⁹⁾や着底間近のフルグロウン期幼生が分布しやすい底層¹⁾²⁾の流向が豊川に向いている³⁾⁰⁾ことにより、六条潟北部への輸送量が大きくなっていると考えられた。このような北部と南部の流動構造の違いは、豊川の存在が大きく関与していると考えられる。潮汐流については地形に依存すると考えられ、北部の潮汐流は豊川の流軸に沿った河川内への入退潮流を示していると推察された。また残差流については、主に河川水や風応力などによって生じるが、北部と南部との近傍する二地点間で風況が大きく異なることがないと推測すると、北部では豊川からの河川水により駆動する水平・鉛直循環流が強く働いていることが推察され、これにより底層における豊川へ向かう流れが顕著となっているものと考えられた。

本研究により、六条潟における浮遊幼生の供給を維持していくためには、浮遊幼生の供給源となる六条潟を含めた周辺海域での干潟・浅場を保全することや六条潟周辺の流動環境を維持することが重要であることを改めて認識することができた。特に流動環境を維持することに関しては、沿岸開発による地形の変化や河川開発による河川流量の変化は六条潟周辺の流動構造を改変し、浮遊幼生の供給に大きな影響を与える可能性も考えられるため、慎重に検討する必要がある。また、アサリ稚貝が多く発生し、種場となるような干潟・浅場を造成する場合には、浮遊幼生の供給という観点から、少なくとも親貝資源が存在する産卵場が周辺海域にあることや浮遊幼生の着底を促す地形や流動環境が備わっている河川の河口部に近い位置であることが必要になると考えられた。今後は、本研究では明らかにできなかった六条潟上や沖合部における上げ潮時と下げ潮時の幼生の分布や密度の違い、変動を明らかにし、本件研究で得られた知見とともにアサリ初期着底稚貝に関する知見も合わせ、六条潟でアサリ稚貝が大量に発生するメカニズムを明らかにする必要がある。

要 約

六条潟に大量にアサリ稚貝が発生するメカニズムの一端を解明するため、2014年および2015年の秋季に渥美

湾奥部海域および六条潟上において浮遊幼生の出現状況調査とともに六条潟周辺海域における流況観測および流動構造の解析を行ったところ、次のようなことが考えられた。

- ・ 秋季の渥美湾奥部海域においてD状期幼生が安定して大量に出現することから、六条潟周辺には浮遊幼生の供給源となる親貝の産卵場が存在することが示唆された。また、成長が進んだ段階であるアンボ期幼生やフルグロウン期幼生についても比較的高い密度で出現していたことから、六条潟周辺海域は浮遊幼生を高密度に保持するための流動環境となっている可能性が考えられた。
- ・ 六条潟の北部では南部と比較して常に浮遊幼生密度が高く、この理由として、六条潟北部の潮汐流が東西方向（岸沖方向）に傾いており南部よりもその流速が大きいこと、沖合の浮遊幼生が干潟上へ運ばれる機会が多いこと、また北部では、河川水により駆動するエスチュアリー循環が顕著であり、底層に多く分布するフルグロウン期幼生が干潟上へ輸送されやすいことが考えられた。このような干潟上への幼生供給メカニズムは豊川の存在による影響が強いものと考えられ、豊川に近い六条潟北部海域では浮遊幼生の供給条件が好適となっている可能性が考えられた。

謝 辞

この研究は三井物産環境基金研究助成「アサリ漁獲量を回復し、健全な里海を確保するための稚貝大量発生干潟のメカニズムの解明」により実施された。アサリ浮遊幼生の採集では愛知県漁業取締・水質調査兼用船へいわの大澤前船長始め乗組員の方々にご協力いただいた。また、浮遊幼生分析にあたっては、愛知県水産試験場漁業生産研究所栽培漁業グループに協力いただいた。ここに記して感謝の意を表する。

文 献

- 1) 環境庁自然保護局 (1994) 第4回自然環境保全基礎調査 海域生物 環境調査報告書 (干潟, 藻場, サンゴ礁調査) 第1巻, 干潟. 環境庁自然保護局, 東京, 291 pp.
- 2) 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, 57-60.
- 3) 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, 愛知水試研報, 16, 1-8.
- 4) 蒲原聡・山田智・曾根亮太・青木伸一 (2014) 三河湾六

- 条潟におけるアサリ稚貝の生産機構, 愛知水試研報, 19, 1-9.
- 5) 和久光靖・金子健司・鈴木輝明・高倍昭洋(2012)沿岸域におけるデッドゾーンの分布—三河湾の事例—, 水産海洋研究, 76(4), 187-196.
- 6) 愛知県(2019)動向調査資料 No. 174 水産業の動き 2019, pp. 51.
- 7) 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初期稚貝の動態, 愛知水試研報, 18, 13-20.
- 8) 蒲原聡(2014)愛知県豊川河口域に発生するアサリ稚貝の移植, 豊かな海, 33, 44-51.
- 9) 松村貴晴・岡本俊治・黒田伸郎・浜田昌巳(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.
- 10) 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, 愛知水試研報, 22, 14-21.
- 11) 柳橋茂昭(1992)アサリ幼生の着底場選択性と三河湾における分布量, 水産工学, 29(1), 55-59.
- 12) 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), 67-77.
- 13) 黒田伸郎・落合真哉(2002)三河湾におけるアサリD型幼生の分布, 愛知水試研報, 9, 19-26.
- 14) 山田智・岩田靖宏・堀口敏宏・鈴木輝明(2015)三河湾におけるアサリ浮遊幼生の鉛直分布に与える貧酸素水塊の影響, 水産海洋研究, 79(1), 1-11.
- 15) 愛知県(2012)干潟・浅場造成地の検討について, 第8回伊勢湾再生海域検討会三河湾部会資料.
- 16) 山田智・岩田靖宏・柳澤豊重(1996)三河湾におけるアサリ浮遊幼生の分布—移流拡散, 加入過程. 月刊 海洋, 28(2), 150-156.
- 17) 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(4), 252-259.
- 18) 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(4), 205-214.
- 19) 俵積田貴彦・中川浩一・長本篤(2010)豊明海におけるアサリ浮遊幼生の出現・分布・着底について, 福岡水海技セ研報, 20, 31-35.
- 20) 水産庁増殖推進部(2013)有明海漁場造成技術開発事業 二枚貝漁場環境改善技術導入のためのガイドライン. 5-6.
- 21) 村上和男(1981)最小自乗法による潮汐・潮流の調分解とその精度. 港湾技研資料, 369, 38pp.
- 22) 愛知県水産試験場(2017)人工構造物に囲まれた内湾の干潟・藻場生態系に対する貧酸素・青潮影響の軽減策の提案(5-1404). 平成26年度～平成28年度環境省環境研究総合推進費終了研究等成果報告書, 環境省, 27-46.
- 23) 泉川晃一・元谷剛・村山史康・石黒貴裕・萱野泰久(2014)浅口市寄島町地先人工干潟におけるアサリ生息調査. 岡山県農林水産総合センター水産研究所資料(平成26年度)1-4.
- 24) 梨木大輔・日高研人・内藤剛(2014)福岡湾におけるアサリの浮遊幼生の出現, 成熟期について. 福岡水海技セ研報, 24, 49-53.
- 25) 西濱士郎・塚本達也・内藤剛・森勇一郎・藤井明彦・那須博史・木元克則・前野幸男(2011)有明海におけるアサリ浮遊幼生の出現傾向と殻長組成. 水産増殖, 59(2), 255-264.
- 26) 市川哲也・桃井幹夫・鈴木輝明・石田基雄(2010)リセプターモードモデルを利用した造成適地選定手法. 水産工学, 46(3), 217-222.
- 27) 本田是人・戸田有泉・二ノ方圭介・中嶋康生・鈴木輝明(2015)三河湾における水質環境と貧酸素水塊の変動. 水産海洋研究, 79(1), 19-30.
- 28) 愛知県(2014)干潟・浅場造成地の検討について, 第12回伊勢湾再生海域検討会三河湾部会資料.
- 29) 鈴木輝明・市川哲也・桃井幹夫(2002)リセプターモードモデルを利用した干潟域に加入する二枚貝浮遊幼生の供給源予測に関する試み—三河湾における事例研究—. 水産海洋研究, 66(2), 88-101.
- 30) 陸真姫・青木伸一・井上隆信・杉山佳幸(2010)エスチュアリー循環による河口浅海域への物質輸送に関する研究. 土木学会論文集 B2 (海岸工学), 66(1), 361-36.