

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

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

(2022年5月24日受付, 2023年1月31日受理)

Changes in the occurrence of planktonic larvae of the asari clam *Ruditapes philippinarum* due to the decrease of asari clam resources in Mikawa Bay

MURATA Masayuki^{*1,2}, HIBINO Manabu^{*1}, HASEGAWA Takuya^{*3}, MIYAGAWA Taiki^{*3}, MATSUMURA Takaharu^{*3}, OKAMOTO Syunji^{*3} and KURODA Nobuo^{*3}

Abstract: Asari clams *Ruditapes philippinarum* catches have decreased significantly in recent years. We set four survey points in Mikawa Bay, Aichi Prefecture, and investigated the occurrence density of planktonic larvae in the asari clam from 2014 to 2021. The peak of larval density was observed twice a year, around July and November, and the density during the survey period changed in the range of 0 to 10,563 inds./m³. This study compares the occurrence densities of larvae with the results from 2000 to 2008 when fisheries catch level was high, the density was decreased and the occurrence pattern tended to be sporadic and shorter. We also compared the number of larvae from September to November with the number of catches of the same cohort after a few years using data since 2000. There was a positive correlation between the fluctuations. From this relational expression, it was estimated that more than 3,000 inds./m³ autumn larvae would be required to achieve a catch of 10,000 tons level, which suggests that the increase of larvae is one of the important factors for the recovery of the stock. The number of larvae of whole bivalves was also on the decrease, suggesting that bivalve abundance and basic production in the bay area may also be declining recently.

キーワード: アサリ, 三河湾, 浮遊幼生, 漁獲量水準, 再生産関係

愛知県は全国1位のアサリ漁獲量を誇り,¹⁾ アサリは本県の漁業者にとって重要な漁獲対象種となっている。しかし, 2014年頃から本県におけるアサリ漁獲量は大きく減少しており, 2017年には直近のピークである2008年の漁獲量の1割以下にまで落ち込んだ。²⁾ このことから, 漁獲量減少の原因究明及び資源回復への取り組みが強く求められている。

アサリは幼生期に2~3週間程度の浮遊生活を行う。³⁾ この浮遊期間を含めた生活史初期における生残率が極めて低いことから, 地先での資源形成には浮遊幼生が絶え

ず大量に供給される必要がある。⁴⁾ 伊勢湾西部においては, 高密度で浮遊幼生が出現することが初期着底稚貝の加入に貢献していることが明らかになっており,⁵⁾ 有明海においても浮遊幼生の供給量が直接的に初期着底稚貝の加入量を規定しているとされる。⁶⁾ このように, 浮遊幼生の出現量はアサリの資源形成に深く関係しているため, アサリの資源変動を把握するためには浮遊幼生の出現状況を長期的に追跡することが重要である。本県では, 三河湾において, 概ね同じ地点で同じ方法により2000年から継続的にアサリ浮遊幼生分布調査が実施され

*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) 知多農林水産事務所水産課 (Fisheries Division, Chita Office, Aichi Prefectural Government, Handa, Aichi 475-0903, Japan)

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

ている（2005年，2009年から2013年を除く）。黒田ら⁷⁾は，アサリ資源が豊富であった2000年から2008年までの浮遊幼生の出現状況について報告している。三河湾において約7千～1万8千トンと，豊富にアサリが漁獲されていたこの期間には，アサリ浮遊幼生についても数千～数万個/m³と，他の海域と比較しても高水準，かつ5月から11月にかけての長期間にわたって出現が確認されていた。^{7, 8)} その一方で，2014年頃からはアサリ漁獲量の減少が始まり，三河湾において2014年は約1万1千トン，2015年は約8千トン，それ以降の2016年から2020年にかけては，約2千～4千トンと，アサリ漁獲量は著しく低迷している。

本研究では，三河湾においてアサリ漁獲量が顕著に減少した2014年以降について，アサリ浮遊幼生の出現状況を調査して把握するとともに，漁獲量の水準が異なる2期間において浮遊幼生の出現状況を詳細に比較し，資源状況と浮遊幼生との関連について考察した。

材料及び方法

(1) 2014年以降におけるアサリ浮遊幼生の出現状況

三河湾におけるアサリ浮遊幼生の調査は，2014年から2021年にかけて実施した。調査地点は福江湾口 (St. 1)，豊川河口 (St. 2)，一色干潟沖 (St. 3) 及び矢作川河口 (St. 4) である (図1)。福江湾は渥美半島の西端に位置する三河湾の支湾である。東三河地区の主漁場で，2000年から現在に至るまで毎年安定して1千～4千トン規模のアサリの漁獲があり，2017年以降では県合計漁獲量の8～9割を占める漁場となっている。豊川河口は三河湾奥に位置し，毎年高密度に稚貝が出現することが知られている。ここで出現した稚貝は特別採捕許可に基づき漁業者により採捕され，県内の各漁場へ移植放流されている。⁹⁾ 一色干潟は2014年頃まで年間1万トン程度のアサリ

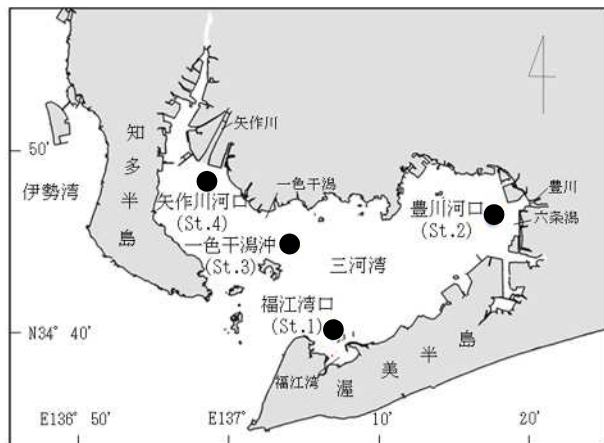


図1 調査地点図

が漁獲されていた西三河地区の主漁場である。矢作川河口は西三河地区に位置しており，稚貝が高密度で出現することが知られている。¹⁰⁾

各地点の水深は，St. 1 で約16m，St. 2 で約7m，St. 3 で約11m，St. 4 で約8m (2014年～2016年) 及び約5m (2017年～) であった。調査回次毎に若干の調査地点の変更及びそれに伴う水深の差異が生じたため，調査毎に水深を計測して浮遊幼生密度の算出には実測値を用いた。2014年と2015年は9月から11月にかけて月1回，2016年は8月から11月にかけて月2回，2017年は4月から12月にかけて原則月1回 (4月はSt. 2, 4のみ実施，6月は未実施，12月は2回実施)，2018年は4月から12月にかけて月2回，2019年，2020年及び2021年は4月から12月にかけて月1回調査を実施した。試料採集は黒田ら⁷⁾と同様の方法とし，開口部面積0.04m²，目合い50μmのプランクトンネットを海底上1mから表層まで鉛直に曳網した。ネット開口部面積と水深-1mの積を水柱の体積とし，浮遊幼生密度の算出に用いた。

試料は氷冷して運搬し，分析まで-20℃で保存した。実体顕微鏡 (ニコン社，SMZ-U) 下で二枚貝浮遊幼生を選別した後，松村ら⁸⁾に従い，間接蛍光抗体法によりアサリ浮遊幼生を染色し，落射蛍光顕微鏡 (オリンパス社，VANOX AHBS3) 下で同定及び発育段階ごとに計数を行った。発育段階は外部形態によりD状期幼生 (主として殻長130μm以下¹¹⁾)，アンボ期幼生 (主として殻長130μmより大きく，殻長180μm未満) 及びフルグロウン期幼生 (主として殻長180μm以上¹¹⁾) に区分した。なお，2019年，2020年及び2021年については，アサリを含む二枚貝類全体の浮遊幼生についても計数した。

(2) 異なる漁獲量水準間における比較

浮遊幼生の出現様式の経年的な比較として，既報⁷⁾による2000年から2008年までのデータを前期間，本調査で取得した2014年から2021年までのデータを後期間とし，これらのデータを用いて以下の項目について検討を行った。浮遊幼生量の検討には，春季と並びアサリの産卵の盛期であり，³⁾ 本調査での各年のデータセット数が多い，秋季 (9月～11月) に出現した浮遊幼生の密度の平均値を用いた (ただし，以下の項目のうち，春季発生群のみ5月～7月の密度の平均値)。なお，2002年及び2003年についてはSt. 1及びSt. 2で調査を実施していないため，それらを除く2地点の数値を用いた。また，2004年は9月～10月，2005年は周年調査が未実施であったため，データ欠損とした。2006年はSt. 1で9月に調査を実施していないため，St. 1を除く3地点のデータを用いた。

① 春季発生群及び秋季発生群

アサリ浮遊幼生を出現時期から春季発生群及び秋季発生群に区分し、それぞれの出現状況について検討を行った。アサリ浮遊幼生の密度のピークが見られることが多く、かつ各年のデータセット数が多いことから、春季発生群については2000年～2004年、2006年～2008年及び2018年～2021年の5月から7月にかけての平均値（ただし2002年及び2003年はSt. 3, 4のみ、2004年はSt. 3のみ）、秋季発生群については前述のとおり、2000年～2003年、2006年～2008年及び2014年～2021年の9月から11月にかけての平均値を用いた。

② 発育段階ごとの密度と残存率

発育段階ごと（D 状態幼生及びフルグロウン期幼生）の密度について検討を行った。D 状態幼生、フルグロウン期幼生のいずれの密度についても9月～11月の平均値を用い、4地点（前述の通り、年によっては2地点あるいは3地点）平均を算出した。また、黒田ら⁷⁾に準じ、一定の期間中（本研究においては9月～11月）に、D 状態幼生からフルグロウン期幼生にかけて平均的にどれだけ残存したか（残存率）について検討を行った。既報⁷⁾に従い、残存率はフルグロウン期幼生の密度をD 状態幼生の密度で除した値とし、D 状態幼生密度との関係について検討を行った。

③ 浮遊幼生と漁獲量との関係

アサリ浮遊幼生密度とアサリ漁獲量との関係を検討した。各年のアサリ浮遊幼生密度には、前述の②と同様に、9月～11月の2～4地点平均を用いた。三河湾におけるアサリ漁獲量の数値には、2000年～2020年のデータを用い、東海農林水産統計（農林水産省東海農政局）及び漁業実態調査（県調べ）の漁業地区別の漁獲量のうち、三河湾に面する知多東浜地区、西三河地区、東三河地区に属する客体の各年の漁獲量を抜粋し、それらを合計したものを使用した。親-仔の関係及び仔-親の関係について検討するため、前者（親-仔関係）については同一年のアサリ漁獲量とアサリ浮遊幼生密度との比較を行い、後者（仔-親関係）についてはアサリが2年程度で愛知県漁業調整規則に則した漁獲サイズ（殻長2.5cmを超えるもの）に達することを考慮し、¹⁾²⁾ t 年のアサリ浮遊幼生密度と、 $t+2$ 年及び $t+3$ 年の漁獲量の平均値との比較を行った。浮遊幼生密度と漁獲量との関係性の検討には、相関分析を用いた。なお、結果で詳述するが、仔-親関係には有意な相関が見られたため、その関係についてさらに直線回帰及び対数回帰のほか、再生産関係の解析にしばしば用いられるベバートン・ホルト（以下、BH）型及びリッカー型の各関数との適合を行った。最適関数

の選択には赤池情報量基準（以下、AIC）を用いた。

④ 二枚貝類全体の浮遊幼生密度

二枚貝類全体の浮遊幼生密度の変化を把握するため、2006年から2008年にはアサリ浮遊幼生の幼生数及び検鏡下での全二枚貝幼生に対するアサリ浮遊幼生のおおよその割合から全二枚貝幼生数を推定した値、2019年から2021年には選別後に全二枚貝幼生数を直接計数した値をそれぞれ用い、曳網水柱体積からそれぞれ個体密度に換算した。

結 果

(1) 2014年以降におけるアサリ浮遊幼生の出現状況

2014年以降の各年のアサリ浮遊幼生（D 状態幼生、アンボ期幼生及びフルグロウン期幼生の合計）、D 状態幼生及びフルグロウン期幼生の密度の推移を図2に示した。また、各年における各地点のアサリ浮遊幼生及び各発育段階の密度の最高値とその調査日を表1に示した。なお、本研究では、産卵量の変化を見るため発生初期段階のD 状態幼生と、着底量に影響する幼生数を把握するため発生後期のフルグロウン期幼生を取り上げた。

アサリ浮遊幼生は、St. 1では全67回の調査のうち56回、St. 2では全68回の調査のうち51回、St. 3では全67回の調査のうち56回、St. 4では全68回の調査のうち50回の調査で出現が確認され、幼生出現時の密度は3～10,563個/m³の範囲で推移した（図2A）。各年の浮遊幼生密度が最高となった月とその密度を見ると（表1A）、2014年では11月に密度が最高値となった地点が多く、その時の密度はSt. 1, 2及び4でそれぞれ2,350個/m³、5,085個/m³及び34個/m³であった。2015年では10月及び11月に各地点で密度は最高値を示し、1,658～5,114個/m³であった。2016年では密度は概ね1,000個/m³を下回る水準で推移した。2017年では10月のみ753～6,722個/m³と比較的高密度であったが、それ以外の月では1,000個/m³を下回る水準で推移した。2018年から2020年にかけては、密度はピーク時には数千個/m³程度の水準に達したものの、それ以外では概ね10～1,000個/m³の範囲で推移した。2021年ではピーク時であってもいずれの地点も密度は1,000個/m³に達しなかった。なお、2014年以降で密度が10,000個/m³を超えたのは、2019年7月にSt. 4で10,563個/m³を記録した1回のみであった。出現のピークは、2016年以降のいずれの年も主に春夏季と秋季の2回見られた。春夏季のピークは、概ね6月～8月に見られたが、2020年のみ5月に見られた。秋季のピークは、概ね10月～11月に見られた。

D 状態幼生の出現は、St. 1では全67回の調査のうち

46回、St.2では全68回の調査のうち43回、St.3では全67回の調査のうち49回、St.4では全68回の調査のうち44回の調査で確認され、幼生出現時の密度は3~8,575個/m³の範囲で推移した(図2B)。各年のD状期幼生密度が最高となった月とその密度を見ると(表1B)、2014年のD状期幼生密度の最高値は、9月から11月に見られ、その時の各地点の密度は8~2,769個/m³であった。2015年では10月及び11月に最高値となり、その時の各地点の密度は1,114~4,838個/m³であった。2016年では全期間を通して1,000個/m³未満で推移した。2017年では10月のみ753~6,257個/m³と比較的高密度であったことを除き、概ね100個/m³を下回る水準で推移した。2018年から2020年にかけては、出現ピーク時には数千個/m³程度の水準に達したものの、それ以外は概ね10~1,000個/m³の範囲で推移した。2021年ではピーク時であってもいずれの地点も密度は1,000個/m³に達しなかった。なお、2014年以降にD状期幼生密度が10,000個/m³を超えたことはなかった。全調査点で4月から12月の期間中に欠測がなかった2018年から2021年の調査におけるD状期幼生密度の月別平均(常用対数値の平均)を見ると(図3A)、D状期幼生は4月から12月の期間で出現しており、7月及び11月における出現密度が他の月と比較して高かった。

フルグロウン期幼生の出現は、St.1では全67回の調査のうち28回、St.2では全68回の調査のうち27回、St.3では全67回の調査のうち35回、St.4では全68回の調査のうち26回の調査で確認され、幼生出現時の密度は2~1,226個/m³の範囲で推移した(図2C)。各年のフルグロウン期幼生密度が最高となった月とその密度を見ると(表1C)、2014年ではSt.1で10月、St.2で11月、St.3で9月に300個/m³程度の出現が見られた。2015年ではピーク時でも各地点8~79個/m³と低い水準であった。2016年では概ね100個/m³未満の水準で推移した。2017年では4月、8月及び12月を除き、いずれの地点でも10個/m³未満で推移した。2018年から2020年にかけては、フルグロウン期幼生密度は概ね数十~数百個/m³の水準であった。2018年の7月にはSt.4で1,000個/m³を上回ったが、それ以外は低い水準であった。2021年ではピーク時でも10個/m³未満で、周年低い水準で推移した。2018年から2021年の調査におけるフルグロウン期幼生密度の月別平均(常用対数値の平均)を見ると(図3B)、フルグロウン期幼生は7月を出現のピークとし、6月~8月及び10月~12月における出現密度が高かった。

年によって多少前後するものの、D状期幼生及びフル

グロウン期幼生のいずれについても出現のピークが見られる時期はほぼ同様で、概ね7月頃と11月頃の年2回ピークが確認された(図3)。また、D状期幼生及びフルグロウン期幼生のいずれについても調査期間中の地点別の出現傾向はほぼ同様であった(図2)。St.2及びSt.4では、出現ピーク時に他の2地点と比較して高密度で出現しており(図2)、調査期間全体の平均密度はそれぞれ508個/m³、612個/m³で、St.1;233個/m³、St.3;461個/m³と比較して高い水準であった。

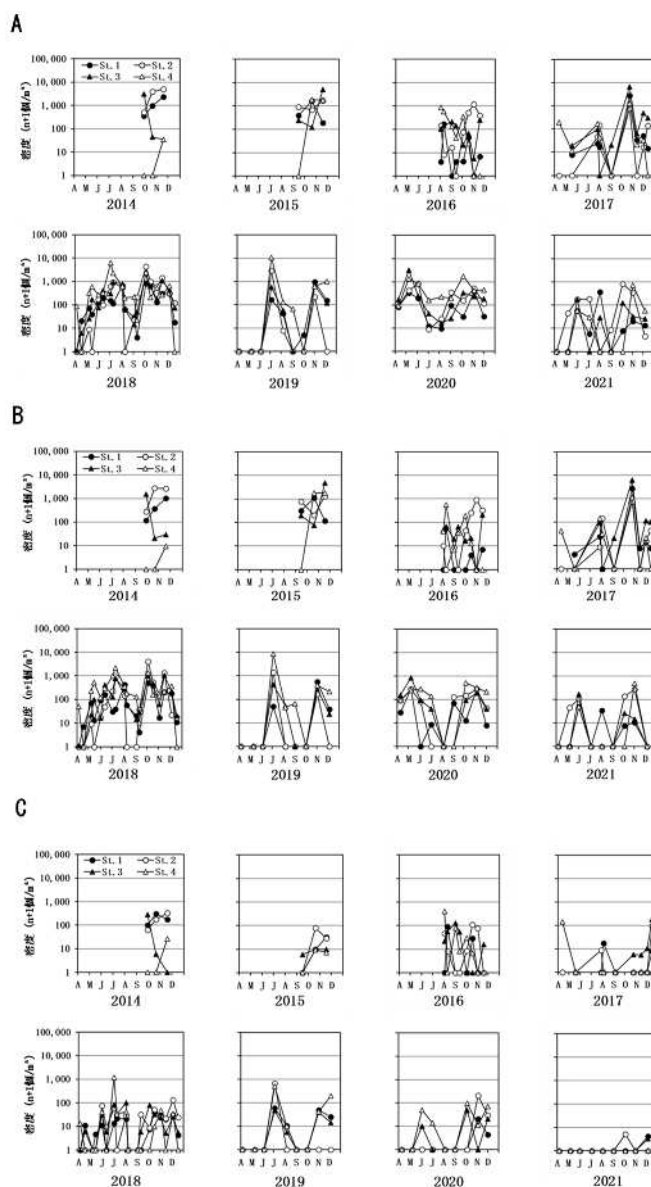


図2 各年のアサリ浮遊幼生(D状期幼生、アンボ期幼生及びフルグロウン期幼生の合計)(A)、D状期幼生(B)及びフルグロウン期幼生(C)の地点別密度の推移

表 1 各地点におけるアサリ浮遊幼生 (A), D 状期幼生 (B) 及びフルグロウン期幼生 (C) 密度 (個/m³) の最高値とその調査日

	St. 1		St. 2		St. 3		St. 4	
	調査日	密度	調査日	密度	調査日	密度	調査日	密度
2014	11/19	2,350	11/19	5,085	9/29	3,039	11/19	34
2015	10/20	1,658	11/18	1,708	11/18	5,114	10/20	1,873
2016	8/10	169	11/2	1,201	11/18	248	8/3	858
2017	10/24	2,764	10/24	753	10/24	6,722	10/24	1,266
2018	10/4	809	10/4	4,408	10/4	2,172	7/3	6,167
2019	11/2	946	7/4	3,000	11/2	705	7/4	10,563
2020	11/4	379	6/3	827	5/8	3,203	10/5	1,727
2021	8/4	362	10/5	821	6/2	174	11/2	716

	St. 1		St. 2		St. 3		St. 4	
	調査日	密度	調査日	密度	調査日	密度	調査日	密度
2014	11/19	1,006	10/21	2,769	9/29	1,505	11/19	8
2015	10/20	1,114	11/18	1,306	11/18	4,838	10/20	1,788
2016	8/10	55	11/2	903	11/18	208	8/10	558
2017	10/24	2,737	10/24	753	10/24	6,257	10/24	1,165
2018	10/4	493	10/4	3,977	11/15	1,044	7/10	2,143
2019	11/2	561	7/4	1,394	7/4	418	7/4	8,575
2020	5/8	280	11/4	269	5/8	843	10/5	499
2021	6/2	49	11/2	274	6/2	167	11/2	501

	St. 1		St. 2		St. 3		St. 4	
	調査日	密度	調査日	密度	調査日	密度	調査日	密度
2014	10/21	309	11/19	331	9/29	282	11/19	25
2015	11/18	31	10/20	79	10/20	9	10/20	8
2016	8/10	91	10/18	110	9/2	129	8/3	408
2017	8/3	16	12/14	93	12/14	176	4/13	139
2018	10/16	38	12/4	133	8/3	101	7/3	1,226
2019	7/4	59	7/4	667	7/4	46	7/4	513
2020	11/4	20	11/4	209	10/5	46	10/5	97
2021	12/6	3	10/5	4	12/6	2		確認されず

(2) 異なる漁獲量水準間における比較

アサリ漁獲量の水準の異なる前期間と後期間のアサリ浮遊幼生の密度の推移を図 4 に示した。前期間のアサリ浮遊幼生の密度は数十～数万個/m³の範囲内を推移したのに対し、後期間の密度は概ね0～数千個/m³の範囲内を推移していた。また、アサリ浮遊幼生の出現が全ての調査で確認されていた前期間と比較して、後期間では幼生の出現を確認できた調査日が全体の調査日数の 74% (St. 4) から 84% (St. 1, 3) と少なく、幼生の出現自体も単発的である傾向が見られた。

① 春季発生群及び秋季発生群

アサリ浮遊幼生の春季発生群 (各年の 5～7 月の密度の平均) 及び秋季発生群 (各年の 9～11 月の密度の平均) の密度推移を図 5 に示した。春季発生群の密度は (図 5A), 前期間では St. 1 で 2,030～12,011 個/m³, St. 2 で 1,645～8,171 個/m³, St. 3 で 1,518～13,663 個/m³, St. 4 で 2,097～9,188 個/m³ の範囲で推移したのに対して、後期間では St. 1 で 20～182 個/m³, St. 2 で 135～1,000 個

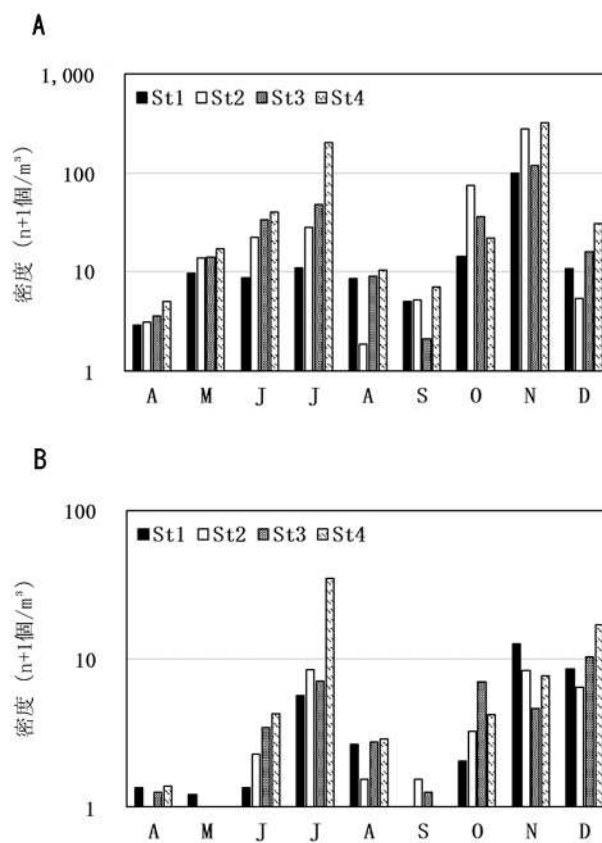


図 3 各地点におけるアサリ D 状期幼生 (A) 及びフルグロウン期幼生 (B) の密度の月別平均 (2018 年～2021 年)

/m³, St. 3 で 58～1,161 個/m³, St. 4 で 28～3,521 個/m³ の範囲で推移した。秋季発生群の密度は (図 5B), 前期間では St. 1 で 891～4,024 個/m³, St. 2 で 427～4,758 個/m³, St. 3 で 1,270～7,413 個/m³, St. 4 で 906～16,390 個/m³ の範囲で推移したのに対して、後期間では St. 1 で 9～1,220 個/m³, St. 2 で 73～3,182 個/m³, St. 3 で 51～2,268 個/m³, St. 4 で 11～1,224 個/m³ の範囲で推移した。各発生群の各年の密度を常用対数に変換し、前期間と後期間とで比較したところ (図 6), いずれの発生群及び地点についても前期間と後期間との間には有意差が認められ (Welch *t*-test, *p*<0.01), 後期間の密度が低かった。

② 发育段階ごとの密度と残存率

アサリ D 状期幼生とフルグロウン期幼生の密度 (いずれも各地点の 9 月から 11 月にかけての平均を 2～4 地点で平均した数値) 及び残存率の推移を図 7 に示した。D 状期幼生の密度は、前期間では 759～6,452 個/m³ の範囲で推移したのに対して、後期間では 81～1,039 個/m³ の範囲で推移した。フルグロウン期幼生の密度は、前期間

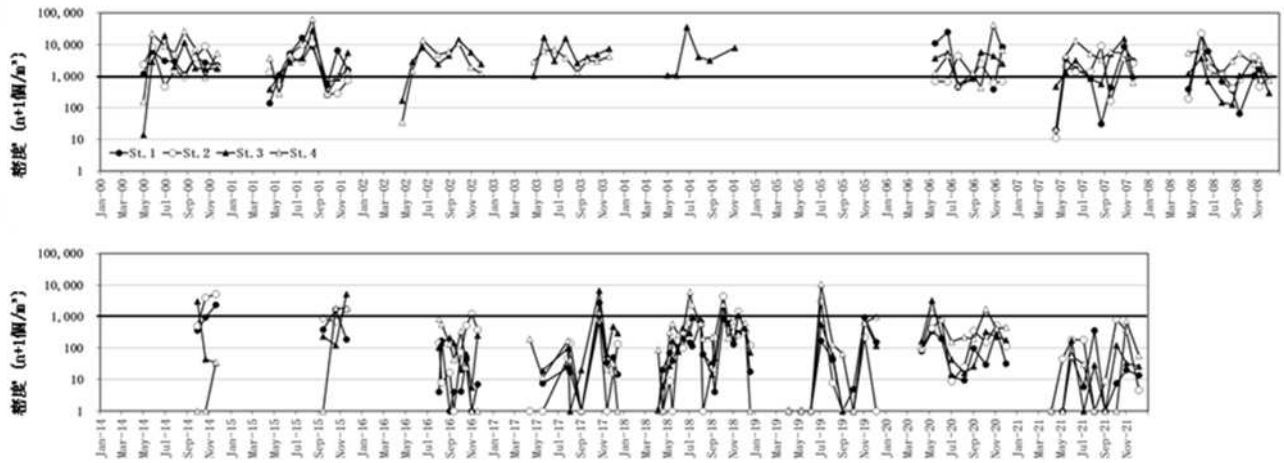


図4 2000年～2008年（上段）及び2014年～2021年（下段）のアサリ浮遊幼生の地点別密度の推移（図中の太線は1,000個/m³水準を示す）

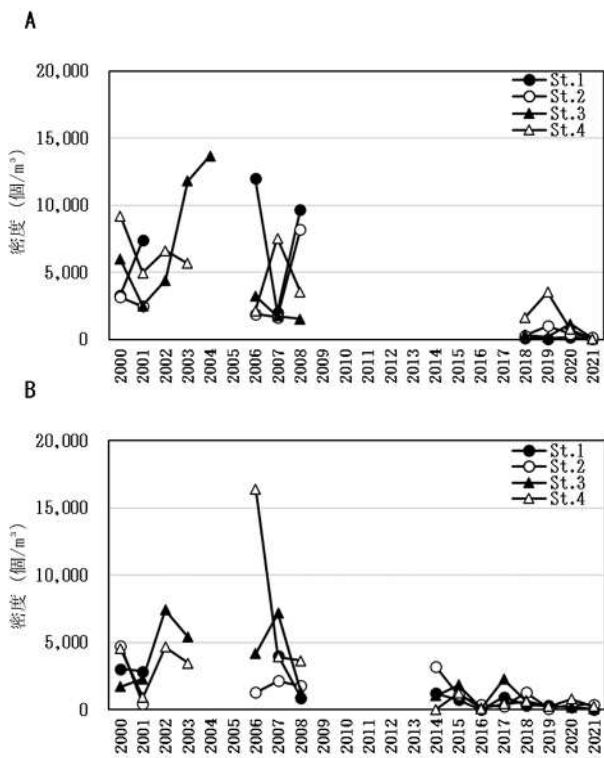


図5 アサリ浮遊幼生の春季発生群（5～7月；A）及び秋季発生群（9～11月；B）の地点別平均密度の推移

では 59～460 個/m³の範囲で推移したのに対して、後期間では 0.3～122 個/m³の範囲で推移した。いずれの发育段階においても、密度は前期間より後期間の方が低かった。残存率は、2001年のみ例外的に高かったものの、それ以外の年では概ね 0.2 までの範囲で長期的には横ばいに推移した。また、幼生密度の水準に差があるため、全

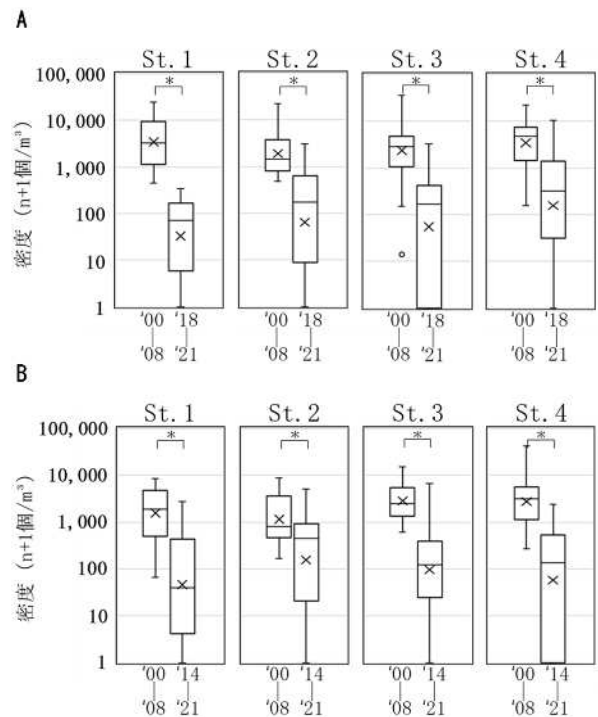


図6 2000年～2008年及び2014年（春季発生群については2018年）～2021年における春季発生群（A）及び秋季発生群（B）の地点別密度の比較（図中の×は平均値、箱は四分位範囲、箱中の横線は中央値、ひげは外れ値を除く最大値及び最小値、白点は外れ値、*は有意差がある（ $p < 0.01$ ）ことをそれぞれ示す）

期間で見ると統計的に有意ではないものの（相関分析， $r = -0.16$ ， $p = 0.56$ ），期間別に見ると，特異な1点はあるが前期間ではD状態幼生密度（対数値）と残存率との間に有意な負の相関が見られ（相関分析， $r = -0.85$ ， $p = 0.014$ ），後期間についても，有意ではないが負の相関が見られた（相関分析， $r = -0.40$ ， $p = 0.33$ ）（図8）。

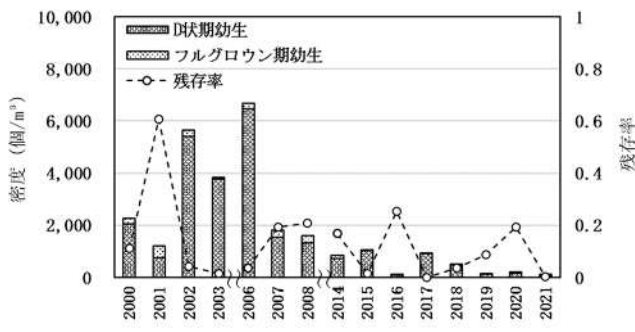


図7 アサリ D 状期幼生とフルグロウン期幼生の密度及び残存率の推移

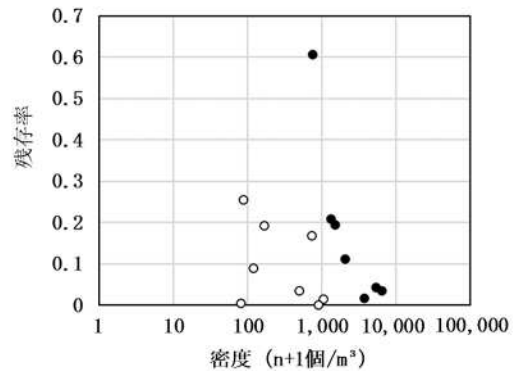


図8 アサリ D 状期幼生の密度と残存率との関係 (黒点は2000年～2008年, 白点は2014年～2021年)

③ 浮遊幼生と漁獲量との関係

各年における三河湾のアサリ漁獲量(知多東浜地区, 西三河地区及び東三河地区の合計)とアサリ浮遊幼生の密度(各年の9月から11月にかけての平均を2~4地点で平均したもの)の推移を図9に示した。アサリ漁獲量は、2000年から2008年にかけて増加し、それ以降は2013年まで横ばいで推移した。しかし、2014年以降は減少傾向に転じ、2017年には2008年の1/10以下にまで減少した。約1万トンの漁獲があった2014年及び2015年における浮遊幼生密度は、同等の漁獲量水準であった2000年代前半と比べて極めて低く、それ以降も浮遊幼生密度は低い水準で推移した。また、それらの親-仔関係には有意な相関は見られなかった(図10A)。一方、アサリ浮遊幼生密度と、2、3年後の三河湾のアサリ漁獲量との関係(仔-親関係)を見ると(図10B)、両者の間には有意な正の相関が見られた(相関分析, $r = 0.72$, $p = 0.013$)。両者の関係を推定する関数をAICに

より検討したところ、AICは直線回帰で221.32、対数回帰で222.17、BH型で218.36、リッカー型で218.43となり、BH型関数が最小となった。得られたBH型関数式 $[Y=6.68*X/(1+0.00029*X)]$ (X;浮遊幼生の密度(t 年), Y; t 年級群の漁獲量($t+2$ 年と $t+3$ 年の平均))からは、低い幼生密度水準での漁獲量の立ち上がりが大きく、幼生密度が3,000個/ m^3 程度で漁獲量は約1万トンの水準となるが、それ以上の密度ではアサリ漁獲量の増加は鈍化することが推定された。

④ 二枚貝類全体の浮遊幼生密度

二枚貝類全体の浮遊幼生密度の推移を図11に示した。2006年から2008年にかけての平均密度はSt.1で79,716個/ m^3 , St.2で56,952個/ m^3 , St.3で60,264個/ m^3 , St.4で120,440個/ m^3 で、密度は208~553,000個/ m^3 の範囲で推移した。2019年から2021年にかけての平均密度はSt.1で7,382個/ m^3 , St.2で7,708個/ m^3 , St.3で7,031個/ m^3 , St.4で23,492個/ m^3 で、密度は85~

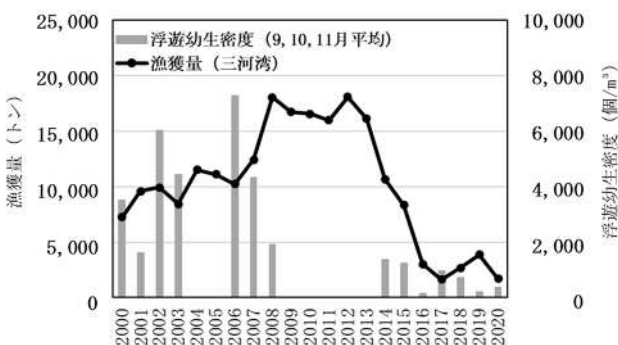


図9 各年におけるアサリ漁獲量と浮遊幼生の密度の推移

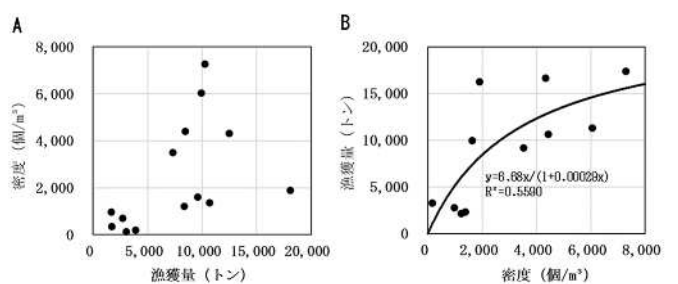


図10 同年の漁獲量と浮遊幼生密度との関係(親-仔関係;A),及び浮遊幼生密度(t 年)と t 年級群の漁獲量($t+2$ 年と $t+3$ 年の平均)との関係(仔-親関係;B)

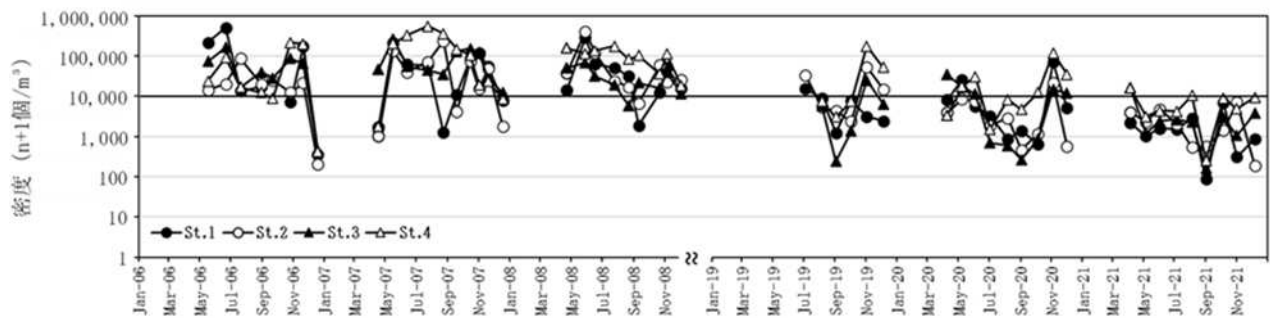


図 11 二枚貝浮遊幼生の地点別密度の推移 (図中の太線は 10,000 個/m³水準を示す)

175,000 個/m³の範囲で推移した。2006 年から 2008 年にかけての調査では概ね数千～数十万個/m³の範囲内で推移していたのに対し、2019 年から 2021 年にかけての調査では概ね数百～数万個/m³の範囲内で推移しており、前期間と比較して後期間は 1 桁程度低い水準であった。出現のピークは 5～7 月頃と 9～11 月頃に見られ、アサリ浮遊幼生の年間の密度推移とほぼ同様の傾向を示した。各年の二枚貝浮遊幼生の密度データを抜粋し、常用対数に変換して前期間と後期間との比較を行った (図 12)。前期間と後期間の間にはいずれの地点でも有意差があり (Welch *t*-test, $p < 0.01$)、二枚貝類全体の浮遊幼生密度は低下していることが確認された。

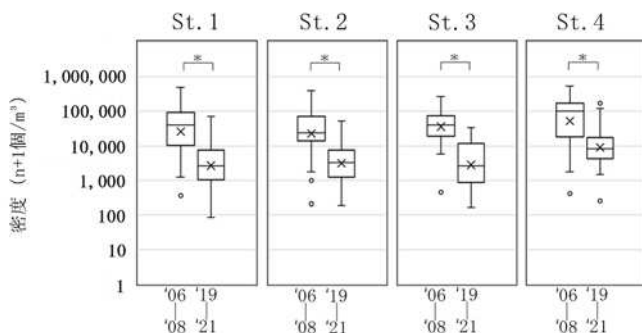


図 12 2006 年～2008 年及び 2019 年～2021 年の二枚貝浮遊幼生の密度比較 (図中の×は平均値、箱は四分位範囲、箱中の横線は中央値、ひげは外れ値を除く最大値及び最小値、白点は外れ値、*は有意差がある ($p < 0.01$) ことをそれぞれ示す)

考 察

ここまで示したような長期にわたる同質の調査によって、同一海域の異なる漁獲量水準におけるアサリ浮遊幼生密度を詳細に比較した研究事例はほとんどなく、資源形成における浮遊幼生期の重要性を検証する上で有用な知見を与えるものと考えられる。

アサリ浮遊幼生の出現状況に見られる近年の特徴

三河湾では、前期間はアサリ漁獲量が年間 1～2 万トン程度の水準であり、アサリ浮遊幼生密度は数十～数万個/m³の範囲で推移していた (図 4)。一方、アサリ資源が減少した後期間では、アサリ浮遊幼生密度は概ね 0～数千個/m³の範囲で推移しており、前期間と比較して 1 オーダー程度の減少が確認された (図 4)。三河湾と同様にアサリ漁獲量の低迷が著しい¹³⁾ 有明海¹⁴⁾、東京湾¹⁵⁾、伊勢湾¹⁶⁾ 及び瀬戸内海¹⁷⁾ におけるアサリ浮遊幼生の密度は、それぞれ 100～15,000 個/m³、0～5,390 個/m³ (D 状期幼生のみ、層別採取)、0～数百個/m³、0～3,190 個/m³である。後期間での三河湾の水準はこれらと同程度であり、資源形成と浮遊幼生密度との関連が示唆された。

河口近傍の St.2 及び St.4 においては、浮遊幼生の確認頻度は少ないものの、他地点と比較して高密度な浮遊幼生の出現が確認されるケースがしばしば見られた (図 2, 図 3)。河口域における浮遊幼生の高密度出現については、三河湾においては夏季に発達するエスチュアリー循環による集積との関連が示唆されており、^{18, 19)} 全湾的に浮遊幼生密度の水準が低くなった近年においても、エスチュアリー循環によって河口付近に浮遊幼生が集積される傾向は変わらないものと推察される。

近年におけるアサリ浮遊幼生密度のピークが見られる時期は、これまでの知見^{7, 8)}と同様に、春夏季及び秋季であった。その一方で、前期間と比較して、後期間ではアサリ浮遊幼生が高密度で出現する期間が短く、単発的な出現であるという傾向も明らかになった (図 4)。これらの点について年代別の傾向を詳細に考察するため、月別に幼生密度 (常用対数値の平均) を比較した (図 13)。2000 年～2003 年では 5 月から 11 月にかけて浮遊幼生が継続して高密度に出現していたが、2006 年～2008 年では 5 月と 10 月にピークを持つ二峰型に近い出現様式となっており、2000 年代でも前後期でやや様相が異なった。2018 年～2021 年では全体的に密度が低下すると

ともに、より明瞭な二峰型となっており、かつ春夏季及び秋季のピークは 2006 年～2008 年に比べ遅れているように見えるが、これらについては各年のピークに対する水温等の環境要因や肥満度との関連等を今後詳細に検討する必要がある。アサリは生活史初期における生残率が極めて低いため、地先での資源形成には浮遊幼生が絶えず大量に供給される必要があることが指摘されている。⁴⁾ 本研究の結果から、近年の三河湾においてはアサリの再生産ネットワークが弱まり、加入量の減少等、資源形成が成功しにくい状況にある可能性が示唆された。

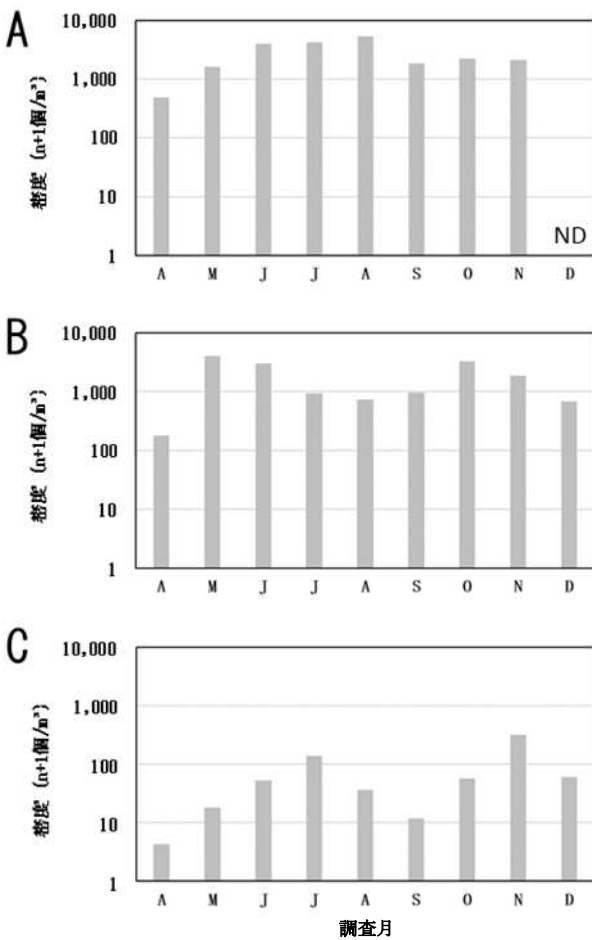


図13 2000年～2003年 (A; 12月は欠測。2000年は4月が欠測。2002年及び2003年はSt. 3, 4のみ。), 2006年～2008年 (B; 2006年は4, 12月, St. 1の9月が欠測。2007年は12月が欠測。) 及び2018年～2021年 (C) の各期間におけるアサリ浮遊幼生 (全発育段階) 密度の全地点平均の月別推移

アサリ浮遊幼生の減少要因

本研究では、春季と秋季の各発生群及びD状態幼生とフルグロウン期幼生の各発育段階のいずれについても、アサリの浮遊幼生は前期間と比較して後期間では減少していることが明らかになった (図5～7)。アサリ浮遊幼生の減少要因としては、親貝の減少及び個体あたりの産卵量の減少や、浮遊幼生期における自然死亡率の上昇等が一般的に考えられる。本海域においては、漁獲量の急激な減少から親貝資源量が減少していることは明らかであるが、その原因としては、餌料不足に起因する活力の低下²⁾ や風浪による散逸²⁰⁾、食害²¹⁾ 及びカイヤドリウミグモの寄生²²⁾ 等が指摘されている。アサリは浮遊幼生期も含めて植物プランクトンを主な餌料とする濾過食性であり、クロロフィルaが餌料環境の指標として用いられる。三河湾においては、クロロフィルa濃度が近年大きく減少傾向にあることが明らかになっており、²³⁾ 経年的にアサリの餌料環境は悪化しつつある。²⁴⁾ また、餌料環境の悪化に伴い、三河湾一色干潟のアサリにおいて、活力の指標として用いられる平均肥満度が経年的に減少傾向にあることも分かっている。²⁾ 餌料不足は成熟の鈍化²⁵⁾ や産卵数の減少²⁶⁾ を引き起こすことが明らかにされており、親貝の量のみならず、産卵の量や質の低下も浮遊幼生の減少に影響を及ぼしていると推察される。

本研究では、アサリ浮遊幼生について、D状態からフルグロウン期にかけての残存率には経年的な傾向の変化は認められなかった。その一方で、全体では統計的に有意ではないものの、期間別に見た場合には前期間でD状態幼生密度と残存率との間に有意な負の相関が見られた (図8)。経年的にD状態幼生が減少している一方で、残存率に上昇傾向が見られないことについては、先述のクロロフィルa濃度の減少²³⁾ から想起される環境収容力の低下等との関連が推察される。また、D状態幼生密度と残存率との関係 (図8) について、前期間と後期間とを比較すると、後期間のデータは、前期間のデータと比較して原点側に偏在した。すなわち、2014年以降はD状態幼生密度が前期間と比較して少ないのにも関わらず残存率も上昇せず、資源加入につながりにくい状況にあることが示唆された。このことは、浮遊幼生を大量に供給することにより資源を維持するアサリの生態的特徴から乖離しつつあることを示し、近年アサリ資源の低迷が続く要因の一つである可能性がある。生活史初期における生残に関する報告として、伯耆²⁷⁾ により、餌料不足は飢餓耐性の低い浮遊幼生期や着底初期といった生活史初期において特に影響の大きいことが示唆されている。ま

た、Phillips^{28, 29)} はムラサキガイについて、浮遊幼生期の餌料環境が悪いと着底以降の稚貝の生残や成長が低下することを指摘している。アサリについても、飢餓を経験した幼生は、変態率の低下や変態期間の長期化、さらに殻長の小型化を生じることが指摘されている。

³⁰⁾ 本海域においても、植物プランクトンの指標となるクロロフィル *a* 濃度は、2017 年までの 20 年間で約半分に低下しており、²³⁾ 幼生期の餌料環境の悪化が幼生期の生残率を低下させるとともに、着底期以降の生残や成長にも間接的に影響を与えている可能性が推測される。

以上のことから、餌料環境の悪化した現在の三河湾においては、再生産に関連する生活史の様々な段階における自然死亡リスクの増加をはじめ、親貝資源量の減少、産卵の量や質の低下が発生しており、それらに起因して浮遊幼生量の減少や着底期以降の資源加入の失敗にもつながっている可能性が考えられた。

アサリ資源回復に向けた方向性

2014 年、2015 年と 2000 年代前半とを比較すると、ほぼ同じ水準の漁獲量であるにも関わらず、2014 年、2015 年のアサリ浮遊幼生密度は 2000 年代前半と比べて顕著に低かった (図 9)。このことから、漁獲量は見かけ上維持されていたものの、2014 年頃にはすでにアサリ資源や産卵量の減少が生じていた可能性が示唆される。例えば、蒲原ら²⁴⁾ は成長モデルを用いた試算により、2007 年以降のアサリの餌料不足とそれに伴う産卵量の低下を示唆している。親-仔の関係の検討では (図 10A)、当年のアサリ漁獲量とアサリ浮遊幼生密度との間には有意な相関は得られなかったものの、漁獲量が少なく浮遊幼生密度も少ないという傾向は見られている。その一方で、仔-親の関係の検討では (図 10B)、アサリ浮遊幼生密度と 2、3 年後のアサリ漁獲量との間に有意な正の相関が見られ、BH 型関数の適合が最適であると判断された。この関係式 (図 10B) は、アサリ浮遊幼生密度をある程度水準に維持することで、漁獲量を回復できる可能性を示唆しており、1 万トン以上の漁獲量には 3,000 個/m³ 以上の幼生密度が目安となる。これらの結果から、アサリ浮遊幼生密度やコホートの増加等の再生産ネットワークの強化により、着底に適した底質等への遭遇率を高め、また、集中的な食害を回避することによって加入成功率を高めていくことが重要であると考えられた。

愛知県ではアサリ資源回復に向けて、現状の漁場環境でアサリの生残率を上げる施策 (例えば、豊川河口の稚貝移植⁹⁾、碎石覆砂³¹⁾、被覆網及び袋網等による保護管理策) に加え、広域流域下水道のリン緩和運転³²⁾ 等の内湾環境の改善を目的とした施策が併行して実施され

ている。前者は即効性に優れ、親貝場の形成、保護等に有用であるものの、豊川河口の稚貝生産は苦潮等の影響により不安定な場合があり³³⁾、また、保護管理策を実施するには多大な費用と手間を要するため漁場全域への展開が困難である。後者については、豊川河口域において、リン緩和運転で放流したリンによる植物プランクトンの発生、及びそれを基にした稚貝の着底と成育が確認されている³⁴⁾ もの、周辺海域への効果の波及や湾内の環境改善には長期間を要するものと推察される。しかし、これらの施策は資源加入の成功率を上げるための親貝資源量の確保やその質の向上、及び再生産ネットワークの強化に係る浮遊幼生密度の維持という視点において、極めて重要な取組になると考えられる。また、本研究では、アサリのみならず二枚貝類幼生全体の密度も近年低下していることが明らかになった (図 11, 12)。このことから、アサリと同様に、海域全体の基礎生産量の低下²³⁾ 等により二枚貝類全体の現存量も減少していることが推測される。浅海域における二枚貝類の減少は、水産業有用種への食害圧を相対的に高め、²¹⁾ また、内湾の物質循環にも影響を与えうる。このような点からも、岡本⁴⁾ が指摘したように、内湾の二枚貝類の再生産ネットワークを維持できる基礎生産量の提示や環境管理を行うことが特に重要である。近年では、蒲原ら²⁴⁾ が 1998 年から 2006 年頃の海域のリン及び窒素の濃度水準がアサリの成育には必要であるとし、また、Uchida *et al.*³⁵⁾ では栄養塩やクロロフィル *a* 濃度と単位面積あたりのアサリ漁獲量との間に正の相関があることが示されている。

2022 年度からは、三河湾では、従来のリン緩和運転に窒素も加え、また、これまでの 2 倍の濃度 (国の排水基準の範囲内) を上限とした社会実験が始まった。今後も内湾環境の改善に取り組みつつ、アサリについては稚貝移植や碎石覆砂等により親貝資源量の確保や浮遊幼生供給量の増加に取り組んでいくことが望ましい。これらの施策の継続が資源形成の成功率を高め、資源回復への足掛かりになると考えられる。

要 約

愛知県においてアサリは重要な漁獲対象種であるが、近年その漁獲量は大きく減少しており、原因究明及び資源回復への取り組みが求められている。アサリの資源形成には浮遊幼生の出現量が深く関わることから、愛知県の三河湾に調査点を 4 地点設定し、アサリ浮遊幼生の出現密度を 2014 年から 2021 年にかけて長期的に調査した。幼生の出現ピークは概ね 7 月頃と 11 月頃の年 2 回見ら

れ、調査期間中の密度は 0~10,563 個/m³の範囲で推移した。同じ海域で 2000 年から 2008 年にかけて実施された調査とアサリ浮遊幼生の出現密度を比較したところ、経年的に出現密度が減少傾向にあることが示唆され、出現時期も短くなっている傾向が見られた。2000 年以降のデータを用いて、三河湾におけるアサリ浮遊幼生密度とアサリ漁獲量との比較を行ったところ、概ね正の関係で対応していた。親-仔関係から、親貝量の減少や産卵量の低下等が浮遊幼生密度の減少要因として考えられた。また、仔-親関係には有意な正の相関が見られ、9 月から 11 月にかけての平均浮遊幼生密度がおよそ 3,000 個/m³以下になると漁獲量の落ち込みが著しくなることから、資源回復には浮遊幼生量の増加が重要であると考えられた。二枚貝類全体の浮遊幼生量も減少傾向であり、湾域の二枚貝類現存量が低下している可能性が示唆され、アサリの資源回復には保護管理策の展開に加え、栄養塩の増加等の湾内環境の改善が必要であると考えられた。

謝 辞

長年にわたる試料分析や資料整理などに従事された愛知県水産試験場漁業生産研究所の歴代の研究員の皆様に心から敬意を表す。また、愛知県水産試験場の調査船「しらなみ」、「はつかぜ」及び兼用船「へいわ」の乗組員の皆様、及び漁場保全グループの皆様には試料の採集にご協力いただいた。有限会社生物生態研究社の颯田美幸氏には試料の分析にご協力いただいた。各位に心よりお礼申し上げます。

文 献

- 1) 農林水産省 (2022) 第 95 次農林水産省統計表, 566.
- 2) 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.
- 3) 関口秀夫 (2009) 幼生加入過程: アサリ資源研究の新しい視点. 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・辻本哲郎編), 水産学シリーズ 161, 恒星社厚生閣, 東京, 36-60.
- 4) 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・辻本哲郎編), 水産学シリーズ 161, 恒星社厚生閣, 東京, 26-35.
- 5) Miyawaki D, Sekiguchi H (1999) Interannual variation of bivalve populations on temperate

tidal flats. Fisheries science, 65, 817-829.

- 6) Ishii R, Sekiguchi H, Nakahara Y, Jinnai Y (2001) Larval recruitment of the manila clam *Ruditapes philippinarum* in Ariake Sound, southern Japan. Fisheries science, 67, 579-591.
- 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. 愛知水試研報, 22, 14-21.
- 8) 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.
- 9) 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.
- 10) 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.
- 11) 社団法人全国沿岸漁業振興開発協会 (1997) 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. 増殖場造成計画指針編集委員会, 東京.
- 12) 愛知県 (1983) 大規模増殖場開発事業調査総合報告書. 水産庁編. 昭和 57 年度版, 14 福江地区, 55.
- 13) 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 巻 6 号, 914-941.
- 14) 農林水産省農村振興局 (2019) アサリに関する 4 県協調の取組. 有明海・八代海等総合調査評価委員会水産資源再生方策検討作業小委員会 (第 4 回) 資料, 環境省 <https://www.env.go.jp/press/107429.html> (2019-11-19)
- 15) 粕谷智之・浜口昌巳・古川恵太・日向博文 (2003) 秋季東京湾におけるアサリ (*Ruditapes philippinarum*) 浮遊幼生の出現密度の時空間変動. 国土技術政策総合研究所研究報告, 第 12 号.
- 16) 水野知巳・丸山拓也・日向野純也 (2009) 三重県における伊勢湾のアサリ漁業の変遷と展望. 三重県水産研究所研究報告, 17 号, 1-21.
- 17) 俵積田貴彦・中川浩一・長本篤 (2010) 豊前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, 第 20 号, 31-35.
- 18) 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.
- 19) 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. 愛知水試研報,

- 26, 31-44.
- 20) 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.
- 21) 日比野学・村田将之・山田穂高 (2022) タイムラプスカメラを用いた潮下帯に移植されたアサリ稚貝を捕食する魚類の観察. 愛知水試研報, 27, 1-9.
- 22) 宮川泰輝・松村貴晴・服部宏勇 (2020) カイヤドリウミグモの寄生がアサリの潜砂行動及び肥満度に及ぼす影響. 愛知水試研報, 25, 27-29.
- 23) 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.
- 24) 蒲原聡・芝修一・鶴島大樹・鈴木輝明 (2021) 三河湾のアサリ *Ruditapes philippinarum* の成育と全窒素・全リン濃度の経年変化との関連. 水産海洋研究, 85 (2), 69-78.
- 25) 鳥羽光晴 (1988) 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 巻 1 号, 63-69.
- 26) 松野進・多賀茂・和西昭仁・河村和寛 (2005) 異なる量の餌料を投与したアサリの産卵と摂餌. 山口県水産研究センター研究報告, 3 号, 105-109.
- 27) 伯耆匠二 (2021) 消化管内容物の走査型電子顕微鏡観察に基づく二枚貝浮遊幼生の食性解析. 日本水産学会誌, 87 (4), 424-426.
- 28) Phillips NE (2002) Effects of nutrition-mediated larval condition on juvenile performance in a marine mussel. Ecology, 83 (9), 2562-2574.
- 29) Phillips NE (2004) Variable timing of larval food has consequences for early juvenile performance in a marine mussel. Ecology, 85 (8), 2341-2346.
- 30) Yan X, Zhang Y, Huo Z, Yang F, Zhang G (2009) Effect of starvation on larval growth, survival, and metamorphosis of Manila clam *Ruditapes philippinarum*. Acta Ecologica Sinica, 29 (6), 327-334.
- 31) 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 (2021) 三河湾におけるアサリの漁場造成手段としての碎石覆砂の効果と環境要因との関連. 愛知水試研報, 26, 17-30.
- 32) 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.
- 33) 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.
- 34) 蒲原聡・湯口真実・栗田貴代・鈴木輝明 (2022) 三河湾豊川河口域におけるアサリ *Ruditapes philippinarum* の発生から見た流域下水道の栄養塩供給効果. 水環境学会誌, 45(4), 181-191.
- 35) Uchida M, Ishihi Y, Watanabe S, Tsujino M, Tezuka N, Takada Y, Niwa K (2023) Trophic state-dependent distribution of asari clam *Ruditapes philippinarum* in Japanese coastal waters: possible utilization of asari stable isotope ratios as a production indicator. Fisheries Science, 89, 203-214.