

2003年から2005年までの有明海におけるたいらぎ類の 浮遊幼生および稚貝の分布

鈴木健吾^{1†}, 塚本達也¹, 渡辺康憲², 輿石裕一³, 木元克則¹, 吉田幹英⁴,
藤崎 博⁵, 藤井明彦⁶, 那須博史^{7*}, 前野幸男¹

Distribution of planktonic larvae and spats of the pen shell *Atrina* spp. in Ariake Bay, southern Japan for years 2003–2005

Kengo SUZUKI^{1†}, Tatsuya YURIMOTO¹, Yasunori WATANABE², Yuichi KOSHIISHI³, Katsunori KIMOTO¹,
Mikihide YOSHIDA⁴, Hiroshi FUJISAKI⁵, Akihiko FUJII⁶, Hiroshi NASU^{7*} and Yukio MAENO¹

The spatial distribution and abundance of planktonic larvae and spats of pen shells (*Atrina lischikeana* and *Atrina pectinata*) were investigated in Ariake Bay, southern Japan, from 2003 to 2005, to determine the recruitment stage of spats in relation to larval supply and spat survival after settlement. The distribution type was an aggregated distribution for both the larval and spat stages. However, spatial patterns of occurrence for larvae and spats were different. The planktonic larvae were broadly distributed in Ariake Bay, particularly in the middle of the bay during high summer. The spats were observed from the northern part to the eastern coast of Ariake Bay. In particular, spats over 25 mm in shell length were mainly obtained from the eastern coast of the bay. The umbo-stage larvae were frequently observed at the middle or the bottom layer of the water column in depths of more than 5 m, and full-grown larvae were obtained only from the bottom layer. The survival of spats was related to several parameters concerning sediment, especially concerning low values of acid volatile sulfide (AVS). The broad distribution of larvae in Ariake Bay was due to dispersion with a tidal residual current and a long planktonic period of more than one month. On the contrary, the narrow distribution of spats along the eastern coast of Ariake Bay may be affected by the bottom sediment conditions. These results suggest that spat recruitment is definitive in the post settlement stage, at 25 mm in shell length, and recruitment also depends on the ambient sea floor environment rather than larval supply in Ariake Bay.

Key words: pen shell, *Atrina* spp., larvae, spats, spatial distribution, sediment conditions

2008年9月24日受付, 2009年6月14日受理

¹ (独) 水産総合研究センター西海区水産研究所

Seikai National Fisheries Research Institute, Fisheries Research Agency, 1551–8 Taira, Nagasaki, Nagasaki 851–2213, Japan

² (独) 水産総合研究センター瀬戸内海区水産研究所

National Fisheries Research Institute of Fisheries and Environment of Inland Sea, Fisheries Research Agency, 2–17–5 Maruishi, Hatsukaichi, Hiroshima 739–0452, Japan

³ (独) 水産総合研究センター中央水産研究所

National Research Institute of Fisheries Science, Fisheries Research Agency, Fukuura, Kanazawa, Yokohama, Kanagawa 236–8648, Japan

⁴ 福岡県水産海洋技術センター有明海研究所

Ariake-Sea Laboratory, Fukuoka Prefectural Fisheries and Marine Technology Research Center, Yoshitomi, Yanagawa, Fukuoka 832–0055, Japan

⁵ 佐賀県有明水産振興センター

Saga Prefectural Ariake Fisheries Research and Development Center, Nagata, Ashikari, Ogi, Saga 849–0313, Japan

⁶ 長崎県総合水産試験場

Nagasaki Prefectural Institute of Fisheries, 1551–4 Taira, Nagasaki, Nagasaki 851–2213, Japan

⁷ 熊本県水産研究センター

Kumamoto Prefectural Fisheries Research Center, 2450–2 Oyanonaka, Kamiamakusa, Kumamoto 869–3603, Japan

* 現所属: 熊本県東京事務所 (Kumamoto Prefectural Government, Tokyo Office)

† skengo@affrc.go.jp

はじめに

有明海にはリシケタイラギ *Atrina lischikeana* およびタイラギ *A. pectinata* のタイラギ属2種 (黒住, 2000) が分布しており, いずれもたいらぎ漁業の対象となっている. 近年, 有明海ではアサリ *Ruditapes philippinarum*, たいらぎ類を含め二枚貝の生産量が減少しているが, 極端な不漁の年は種によって異なり, 漁場の分布も種によって異なっている (関口・石井, 2003). その中で, たいらぎ類の漁獲量は1960年に3万数千トンあったものが2000年には十数トンまで激減しており (川原・伊藤, 2003; Yurimoto et al., 2003), 産業的に深刻な問題となっている. たいらぎ漁獲量の減少要因として, 有明海のたいらぎ漁場は諫早湾以北の有明海中央部に分布していた (関口・石井, 2003) が, 近年では有明海北東部に限定され漁場が縮小していること (伊藤, 2004), ナルトビエイ等による食害 (川原ほか, 2004a), 水質環境の悪化 (松井, 2002) が挙げられている. また, 2000年以降に「立ち枯れ死」と称される大量死が観測されており (川原・伊藤, 2003), この大量死の原因として貧酸素水塊の影響 (筑紫・松井, 2003), ウイルス感染 (Maeno et al., 2006) の可能性が指摘されている. 漁場の縮小については, 底質の細粒化との関連が指摘されている (大隈ほか, 2001; Yoshino et al., 2007).

二枚貝漁場の形成には, 浮遊幼生の供給と好適な着底場所が必要であり, 両者がどのように加入量に影響しているかを検討するためには浮遊幼生と稚貝の分布を同時期に調べることが必要である. しかしながら, 有明海のたいらぎ類を対象とした調査では, 未成貝以上の個体の分布状況は有明海沿岸の各県で個別に報告されているものの (立石ほか, 1972; 入江, 1975; 入江ほか, 1988), 佐賀県によって行われた調査 (島崎ほか, 1983, 1984; 古賀・中武, 1991) 以外には浮遊幼生と稚貝を関連づけた調査は行われていない. 現在の主な漁場である有明海北東部では浮遊幼生と稚貝の関係について過去の知見は得られておらず, たいらぎ漁場の縮小が認識された1990年代後半以降には有明海奥部のいずれの海域においてもたいらぎ類浮遊幼生と稚貝の分布を関連づけた調査は行われていない. このため近年の漁場が有明海北東部にのみ集中して形成される理由は明らかとなっていない.

そこで, 本研究では有明海奥部全域におけるたいらぎ類の浮遊幼生および稚貝の分布実態を把握することにより, 浮遊幼生から稚貝に至る過程で現在のたいらぎ漁場の分布を決定づけている成長段階を明らかにすることを目的とした. 同時に調査地点の水温, 塩分, 堆積物の粒径, 強熱減量, 硫化物を調べ, 浮遊幼生および稚貝の分布との関連について検討した.

材料と方法

1990年代前半まではタイラギとリシケタイラギを同種と

する意見 (奥谷, 1994) があり, 過去に行われた研究ではこれらを別種としない場合が多い (濱本・高木, 1985). この両種間には自然交雑個体の存在が指摘されており (横川, 1996), 両種の繁殖期は共通していると考えられる. 有明海においては両種の比率はリシケタイラギが卓越する (古賀, 1992) とされる. 両種の幼生および稚貝については形態からの判別が困難なため, 本研究ではこれら2種を区別せずたいらぎ類としたが, 近年の資源状況 (伊藤, 2006) から採集した標本のほとんどはリシケタイラギとみられる.

調査地点および期間

有明海におけるたいらぎ類浮遊幼生の出現期間に関する過去の知見 (三井所, 1962; 島崎ほか, 1984; 古賀・山下, 1986; 古賀・中武, 1991) を参考として調査は夏季に行った. 浮遊幼生の水平分布調査は2003年8月に2回, 2004年7月から9月に4回, 2005年7月から8月に4回, 主に小潮の満潮時に有明海奥部から中央部にかけての48地点 (Fig. 1) において実施した. 1回の調査に要した期間は1週間以内であり, 多くの場合1日で調査を完了した. なお, 幼生の出現状況を把握するために, 2004年は3回, 2005年は1回の補完的な予備調査を行った. また, 鉛直分布調査を2003年の8月および2004年の7月から9月に, Fig. 1に示す諫早湾奥部から大牟田市沖の8地点 (Sts. 30, 31, 32, 33, 34, 35, 22, 12) において実施した.

たいらぎ類稚貝の分布調査は, 先行した浮遊幼生調査で幼生の出現を確認した後に1回目を, さらにその約1カ月後に2回目をそれぞれ1週間の間に46地点 (2003年のみ45地点) において実施した.

採集方法

浮遊幼生の水平分布調査では, 北原式ネット (目合100 μ m) による海底上1mから水面までの1回の鉛直曳により殻頂期前期から変態期のたいらぎ類浮遊幼生 (殻長110–700 μ m) を採集した. 鉛直分布調査では水中ポンプにより表層 (海面~0.5m), 中層 (水深の中間点: 2.7–11m) および底層 (海底上1m: 4.4–20m) の各層から200lを採水し, 目合100 μ mのプランクトンネットで海水を濾過しネットに残ったものを試料とした. 水温および塩分の測定は, 鉛直分布の調査地点において投入式の水温・塩分計 (Compact-CTDおよびAAQ1183, アレック電子; Quanta, Hydrolab) により行った. 採集した試料は観察に供するまで–30°Cで凍結保存した. 光学顕微鏡下で, 田中 (1979) に従ってたいらぎ類幼生を同定し, 個体数の計数と10 μ m単位での殻長測定を行った. 調査地点における幼生の量は1曳網あたりの採集個体数で表したが, 既往研究との比較のため濾水容積をネットの開口面積に曳網距離をかけた値と仮定して密度への換算も行った.

稚貝の採集は, 2003年にはFig. 2に示す潜水スレッジとコドラート法による採集を併用し, 2004年以降は潜水ス

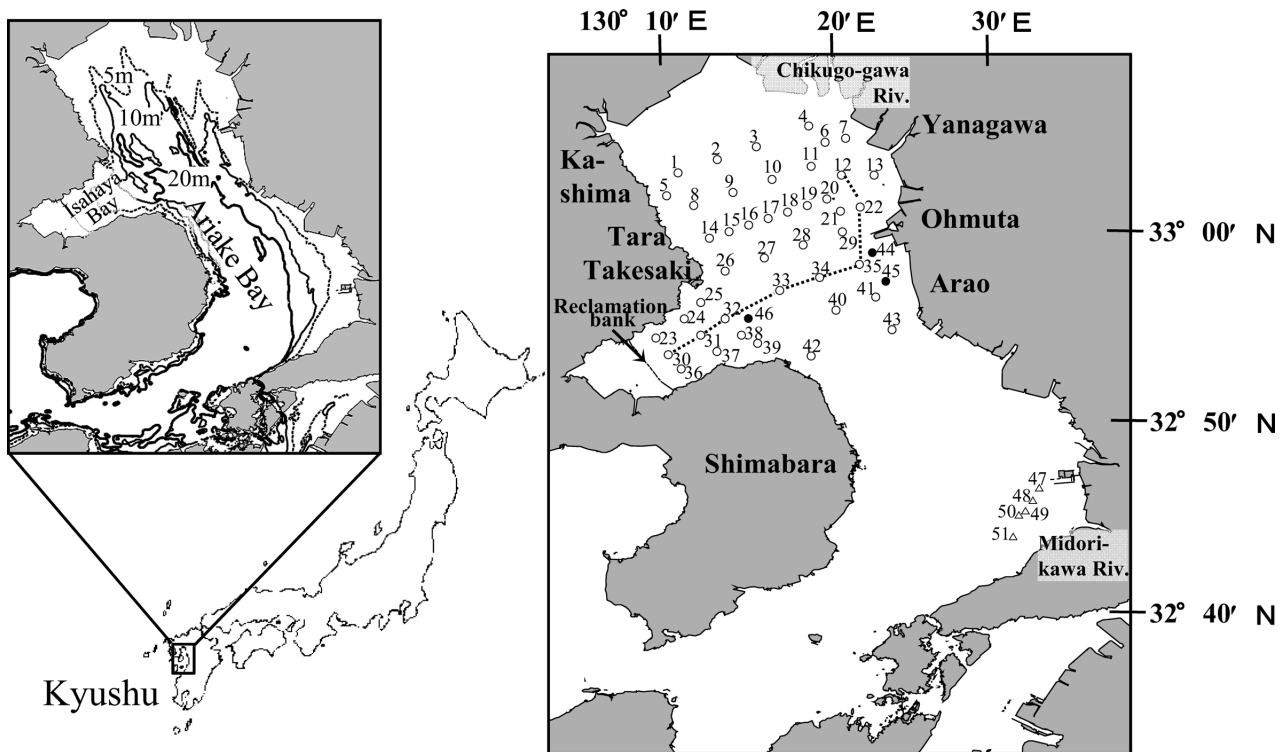


Figure 1. Sites used for sampling planktonic larvae and spats of the pen shell *Atrina* spp. in Ariake Bay, Kyushu, southern Japan. Symbols indicate survey types. Open circle (○): both planktonic larvae and spats collected; solid circle (●): spats collected only; open triangle (△): planktonic larvae collected only. The sites connected with the dotted line show vertical distribution survey sites.

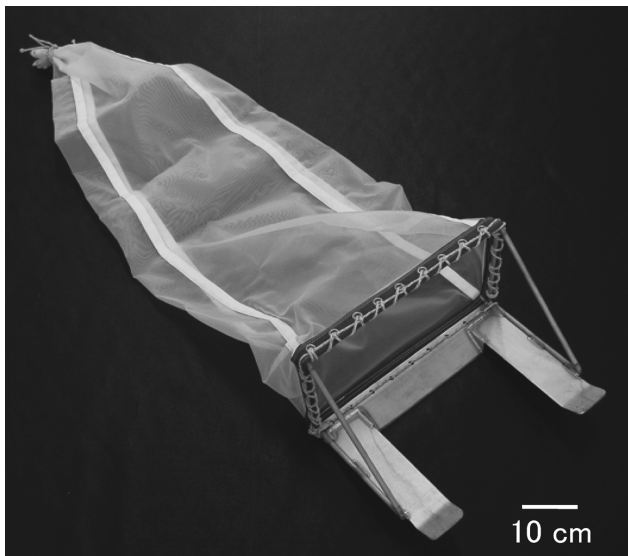


Figure 2. A diver-operated sledge net used for spat sampling.

レッジのみを用いた。潜水スレッジの袋網には目合0.5 mmのナイロン網 (NYTAL 38GG) を用いた。2003年の調査では、底質表面を掻き取る潜水スレッジの刃の長さを5 cm、採集面積を0.25 m²としたが、2004年と2005年はより広い

面積の堆積物を採集する目的で、潜水スレッジの刃の長さを2.5 cm、採集面積を0.5 m²とした。採集した堆積物は、地点ごとに目合約1.2 mmのもじ網製の袋1枚にまとめた。これを水中でふるい、袋に残ったものを5%中性ホルマリン液で固定し観察に供した。実体顕微鏡下で、吉田・井上 (1954) および田中 (1979) に従ってたいらぎ類稚貝を同定し、個体数計数と0.1 mm単位での殻長測定を行った。飼育実験による知見 (川原ほか, 2004b; 大橋ほか, 2008) から、稚貝は着底後3日で殻長2 mm程度に成長すると推定される。本研究では殻長2.1 mm以上の大きさの稚貝が採集されたので、着底後3日以降の稚貝の状況を反映しているものと考えられる。

底質分析

稚貝の分布調査に併せて底質分析用の試料を採取した。直径40 mmの亚克力パイプあるいは箱型のコアサンプラー (縦×横×高さ: 100×100×65 mm) を用いて海底表面の5 cm層を採取し、密閉容器に収容して速やかにドライアイスで凍結した。これを研究室に持ち帰り、-40°Cで凍結保存した。凍結試料は、温水 (約60°C) あるいは電子レンジで速やかに解凍後、4 mm目の篩で貝殻や大型生物を除去したのち、均一に混合して分析に供した。酸揮発性硫化物態硫黄量 (AVS)、強熱減量および粒径組成を分析した。

AVSはヘドロテック検知管法(門谷, 2003)により測定し, 強熱減量は乾燥試料を550°Cで6時間加熱した後の重量変化から算出した(佐藤ほか, 1987). 粒径組成は, 試料を過酸化水素水により前処理した後, 湿式篩い分け, レーザー回折式粒度分析装置(SALD3100, 島津製作所)および比重計法を併用して測定した. 比重計法による測定は, 松本(1986)に拠った. 粒径に関する特性値として中央粒径値(Md ϕ)および泥分率を算出した. 分析結果はGISソフトArcMap8.3(ESRI Inc., 2002)を用いて地図上に等値線として表した.

統計解析

各調査地点で採集された浮遊幼生および稚貝の個体数について, 調査ごとに森下の I_0 指数(森下, 1961)を求め, 分布型を調べた. 予備調査を除く10回の浮遊幼生調査と6回の稚貝調査について, 地点間で採集個体数および密度の分布に差があるかどうかをFriedman検定(市原, 1990)によって検定した. また, 浮遊幼生調査と稚貝調査の両方を行った地点について, 浮遊幼生と稚貝の採集個体数を年ごとに集計し, 両者の相関を計算した. さらに, 稚貝の密度と底質環境の関係を対数線形モデルに当てはめて, 統計ソフトR version 2.7.0 beta(R Development Core Team, 2008)

を用い, 重回帰分析を行った.

結 果

浮遊幼生の分布

2003年は8月に行った2回の調査で48地点中42地点において浮遊幼生が出現し, 有明海奥部から緑川河口付近まで広範に浮遊幼生が分布していた(Fig. 3). とくに諫早湾湾口付近の地点(Sts. 26, 32, 33)で多数の幼生が採集された. 2004年は7月から9月にかけて行った4回の調査で浮遊幼生が出現した地点が48地点中25地点となり, 採集個体数は2003年に比べて大きく減少した. 浮遊幼生は主に諫早湾湾口部から対岸の荒尾沖に至る有明海中央部に分布していたが, 7月末の調査では緑川河口付近にも浮遊幼生がみられた. 2005年は6月から8月にかけて行った4回の調査で浮遊幼生が出現した地点は48地点中27地点となり, 有明海中央部から佐賀県寄りの有明海奥部にかけて広範に分布していたが, 2003年のような顕著な高密度域は認められなかった.

森下の I_0 指数は, 9例中6例が有意に1より大きく(F 検定, $p < 0.001$), 集中分布の傾向が見られた(Table 1). 2003年から2005年までの各年における全地点から算出した浮遊

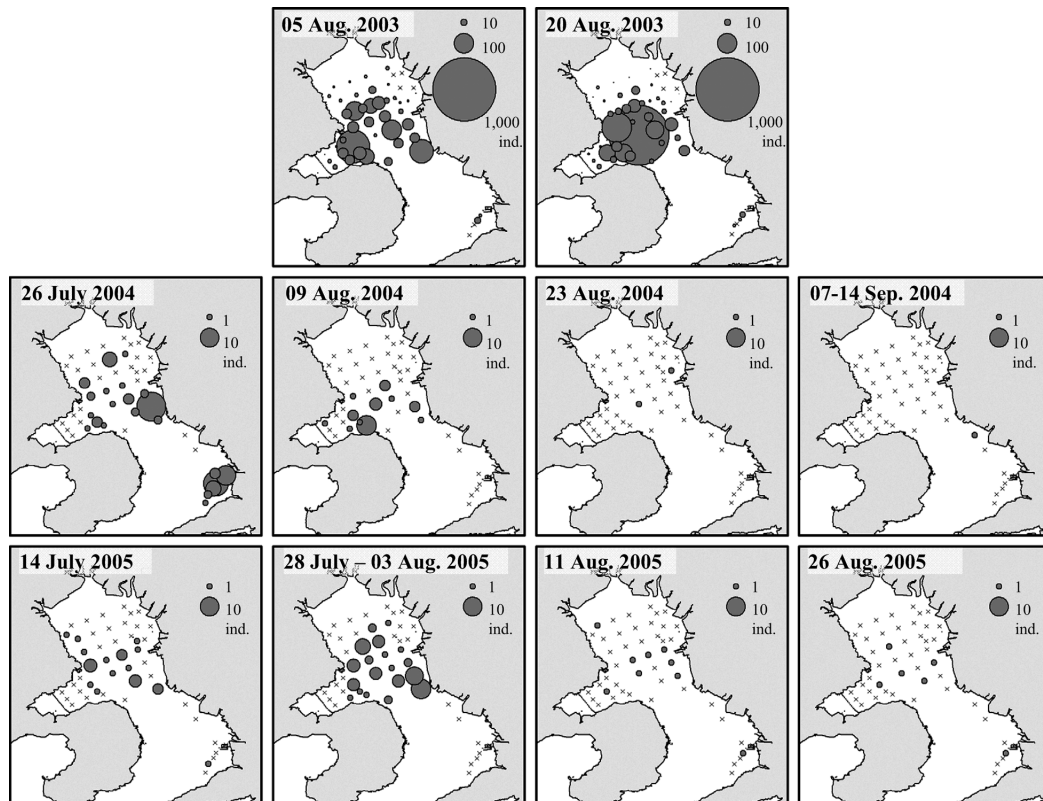


Figure 3. Horizontal distributions of planktonic larvae of the pen shell *Atrina* spp. from 2003 to 2005. Area of each circle represents number of larvae caught by one vertical haul of Kitahara net. Crosses show stations where no larvae were collected.

Table 1. Statistics of larvae survey data and Morisita's I_{δ} -index. F -test is used to test the null hypothesis that a Morisita's I_{δ} -index value is 1. Morisita's I_{δ} -index is equal to 1 when distribution type is random, and is larger than 1 when distribution type is an aggregated distribution.

Sampling date	Number of samples	Mean number of larvae per net	Sample variance	I_{δ}	F -value
05 Aug. 2003	48	24.17	2,215.2	4.7	91.7***
20 Aug. 2003	48	35.21	17,723.3	15.0	503.4***
26 July 2004	48	1.96	19.2	5.5	9.8***
09 Aug. 2004	48	0.63	3.2	7.7	5.1***
23 Aug. 2004	48	0.04	0.0	0.0	1.0 ^{ns}
7–14 Sep. 2004	48	0.02	0.0	—	—
14 July 2005	48	0.54	1.2	3.2	2.2***
28 July–03 Aug. 2005	47	1.34	6.1	3.6	4.5***
11 Aug. 2005	48	0.19	0.2	0.0	0.8 ^{ns}
26 Aug. 2005	48	0.13	0.1	0.0	0.9 ^{ns}

—: I_{δ} is unavailable
 ns: not significant ($p>0.05$)
 ***: $p<0.001$

幼生の平均出現密度 ($\text{ind.}\cdot\text{m}^{-3}$) の最大値は、2003年が約38、2004年が7および2005年が2であった (Fig. 4).

3カ年の調査で浮遊幼生の平均密度が最も高かった2003年8月調査時の幼生の鉛直分布をサイズ別にみた (Fig. 5) その結果、(1) 幼生の密度は表層 (0.5 m) では低く、底層 (海底上1 m: 4.4–20 m) で高かった (個体数全体の70%以上) こと、(2) 殻長200 μm 未満の幼生の密度は中層 (2.7–11 m) で高かったこと、(3) 200以上500 μm 未満の幼生は全層に出現したものの、底層に向かうほど高密度になったこと、(4) 500 μm 以上の大型幼生は2回の調査を通して底層にのみ出現したことを見出した。幼生がより多く見られた8月20日の水温は、表層では28.5から30.0°Cであったのに対し、水深5 m以深では26°C以下であった。また、塩分は諫早湾内 (Sts. 30, 31, 32) では、ほぼ全層で28以下であったが、有明海東岸の大牟田市沖 (Sts. 34, 35) の中底層では30以上と高かった。

稚貝の分布

8月と9月に稚貝が出現した調査地点数は、2003年にはそれぞれ45地点中16および13地点であったが、2004年は46地点中9および1地点、2005年は46地点中12および6地点と減少した。稚貝の分布密度 ($\text{ind.}\cdot\text{m}^{-2}$) は3年の間で大きく変動し、2003年の8月には最大で80となる地点が出現したが、2004年および2005年ではいずれも最大で20であった。

稚貝の殻長分布 (Fig. 6) は8月、9月のいずれも3年間で有意に異なっており (Kruskal-Wallis検定, $p<0.01$)、多重比較の結果、8月の殻長では2003年と2004および2005年の間、9月の殻長では2003年と2005年の間の差が有意となり、いずれも2003年の平均殻長が小さかった。また、稚

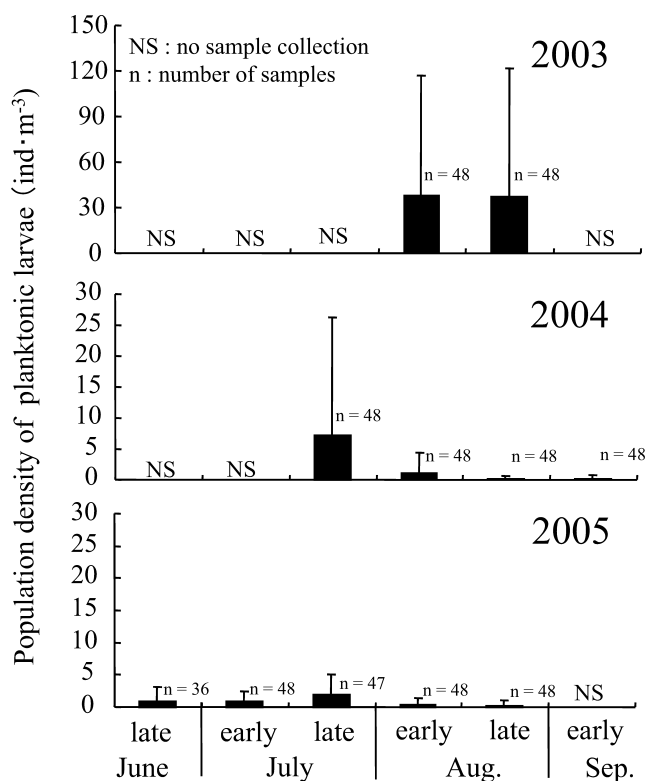


Figure 4. Average population densities of planktonic larvae of the pen shell *Atrina* spp. from 2003 to 2005. Vertical lines on each column indicate standard deviations. The data from late June in 2005 was obtained by a preliminary survey. NS: no sample collection; n: number of samples.

貝の最大殻長を2003年の調査と2004年および2005年の調査の間で比較すると、9月の調査時の52.7 mm, 52.1 mmとなり最大殻長はそれほど変わらなかった。2003年の調査と2004年から2005年の調査の間で潜水スレッジの刃の長さは短くなったが、採集された稚貝の殻長はむしろ大きくなっていった。このため本調査で採集された稚貝の殻長範囲では、潜水スレッジの刃の長さが短くなったことによる採集個体のサイズへの影響は現れていないと考えた。

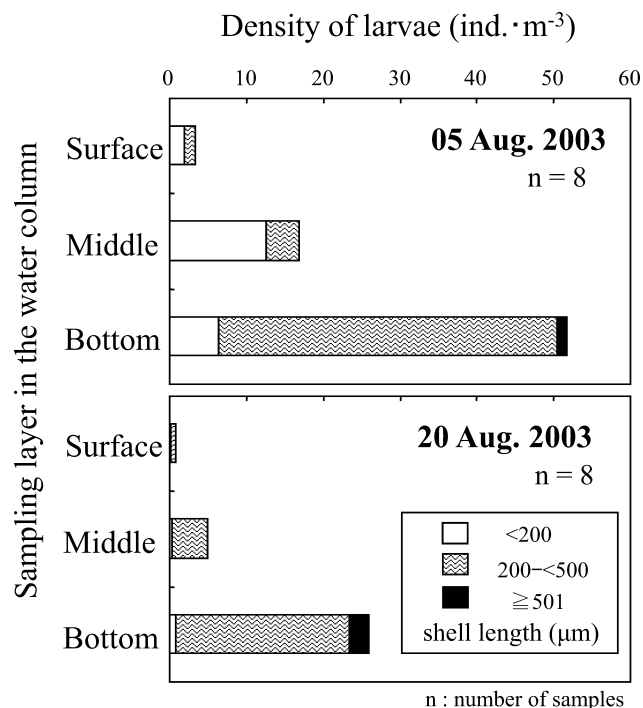


Figure 5. Vertical distribution of planktonic larvae of the pen shell *Atrina* spp. by size in three layers of the water column on 5 and 20 August 2003. The levels of the middle and bottom layers varied with water depth at stations (surface: 0.5 m, middle: 2.7–11 m, bottom: 4.4–20 m). *n*: number of samples.

I_{δ} 指数は6回の調査結果すべてにおいて有意に1より大きくなり、稚貝の分布には集中分布の傾向が見られた (Table 2).

便宜的に稚貝の殻長を25 mm未満と25 mm以上に区分し、着底から加入に至る生残過程と稚貝の大きさの関係を検討した (Fig. 7)。いずれの年においても採集された稚貝の全個体数に占める殻長25 mm以上の個体の出現割合は8月より9月の方が高くなり、着底後の稚貝の成長を反映していた。稚貝の分布は6回の調査を通じて調査海域の東部に多く西部に少ない傾向を示した。この傾向は殻長25 mm以上の稚貝の分布に顕著であった。とくに、2003年8月には、有明海奥部の Sts. 2, 3で殻長25 mm未満の稚貝がそれ

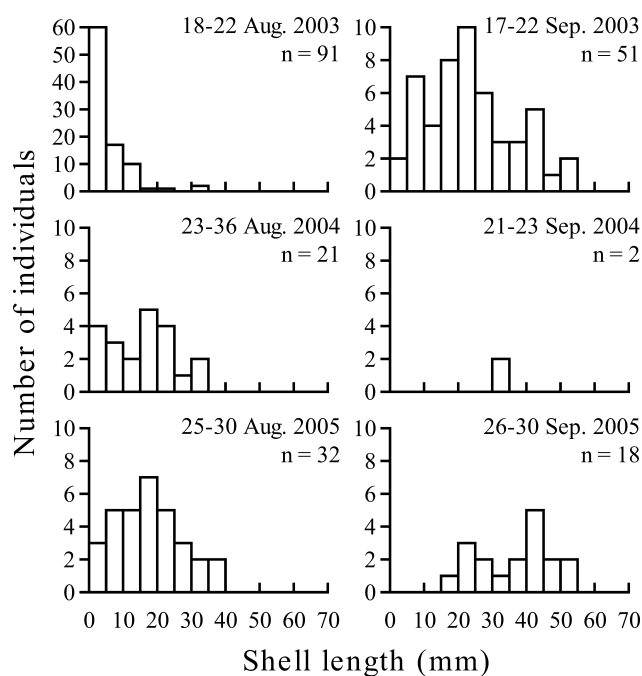


Figure 6. Shell-length frequency distribution of spats of the pen shell *Atrina* spp. *n*: number of individuals.

Table 2. Statistics of spat survey data and Morisita's I_{δ} -index. *F*-test is used to test the null hypothesis that a Morisita's I_{δ} -index value is 1. Morisita's I_{δ} -index is equal to 1 when distribution type is random, and is larger than 1 when distribution type is an aggregated distribution.

Sampling date	Number of samples	Mean density of spat (ind. m ⁻²)	Sample variance	I_{δ}	<i>F</i> -value
18–22 Aug. 2003	45	8.09	341.4	6.0	42.2***
17–22 Sep. 2003	45	4.53	92.1	5.2	20.3***
23–26 Aug. 2004	46	0.91	9.5	11.4	10.5***
21–23 Sep. 2004	46	0.13	0.8	46.0	6.0***
25–30 Aug. 2005	46	1.65	14.6	5.7	8.9***
26–30 Sep. 2005	46	1.39	18.3	9.7	13.1***

***: $p < 0.001$

ぞれ36, 52 ind.・m⁻²の密度で出現したが、9月には両地点の稚貝密度は低下し、殻長25 mm以上の稚貝も採集されなかった。一方、大牟田沖では9月に殻長25 mm以上の稚貝が確認された。

調査期間を通じて、地点間における浮遊幼生採集個体数および稚貝密度の分布に差があるかどうかをFriedman検定によって検定した結果、浮遊幼生採集個体数では0.1%、

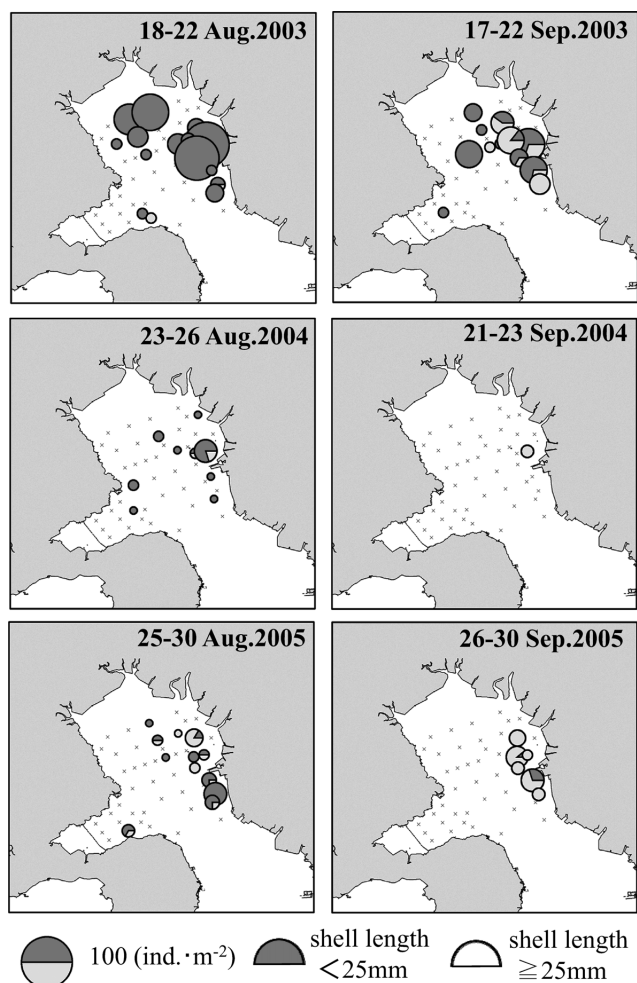


Figure 7. Horizontal distribution of the pen shell *Atrina* spp. spat from 2003 to 2005. Area of each circle represents population density of spat (ind.・m⁻²). Crosses show stations where no spats were captured.

稚貝密度では5%の危険率で地点間の差が有意となった (Table 3). 幼生の採集個体数順の平均順位上位5地点は、浮遊幼生調査ではSts. 33, 32, 43, 26, 28となり、その多くが諫早湾口からやや沖合にわたる海域にあったのに対し、稚貝の密度については、Sts. 22, 44, 21, 29, 45となり、大牟田沖に集中していた。さらに、浮遊幼生調査と稚貝調査の両方を行った地点について、浮遊幼生と稚貝の採集個体数を年ごとに集計し、両者の相関を計算した結果、相関係数は2003, 2004, 2005年でそれぞれ-0.171, 0.034, -0.094となり、いずれの年も相関関係は認められなかった。

底質分析

各年の8月と9月の2回の調査結果の平均値を、調査項目ごとに等値線図として示した (Fig. 8). 3年間の調査を通じて有明海東岸では、堆積物中の硫化物および強熱減量が少なく、粒径が大きい、西岸では、堆積物中の硫化物および強熱減量が多く、粒径が小さい傾向がみられた。AVSは<0.001-1.0 mg・g⁻¹乾泥の範囲にあり、佐賀県鹿島沖、諫早湾内で高い傾向を示した。稚貝が出現したAVSの範囲は、殻長25 mm未満の稚貝で0.60 mg・g⁻¹乾泥以下、殻長25 mm以上では0.23 mg・g⁻¹乾泥以下となった (Fig. 9A). 強熱減量は1.8-15.9%の範囲にあり、佐賀県鹿島沖、諫早湾内および筑後川河口付近に高い値が分布していた。稚貝が出現した強熱減量の範囲は、殻長25 mm未満、殻長25 mm以上とも2.7-13.0%乾泥であった (Fig. 9B). 中央粒径値の範囲は0.55-9.29、泥分率の範囲は1.3-99.6%となり、いずれも佐賀県鹿島沖および諫早湾内で泥分が多い傾向にあることを示した。稚貝が出現した中央粒径値の範囲は、殻長25 mm未満の稚貝で1.1-7.9、殻長25 mm以上では1.5-8.0 (Fig. 9C), 同じく泥分率の範囲は、殻長25 mm未満の稚貝で1.6-99.6%、殻長25 mm以上では1.9-91.0%となった (Fig. 9D).

これらの底質条件と稚貝の生息密度との関係を整理するため、対数線型モデルへの当てはめによる重回帰分析を行った (Table 4). 偏回帰係数はいずれの条件においても有意に0とは異なっていた。とくにAVSでは殻長25 mm未満の生息密度に当てはめた場合の偏回帰係数が-2.680であったのに対し、殻長25 mm以上の生息密度に当てはめた場合の偏回帰係数は-7.915と絶対値が大きくなり、AVSの密度への寄与が稚貝の成長とともに大きくなっているこ

Table 3. Result of Friedman test for homogeneity of larvae number and spat population density among stations. The data sets containing unavailable data are omitted.

Variables	Number of stations	Number of surveys	χ^2	d.f.	p-value
Larvae number	44	10	92.49	43	<0.001
Spat population density	45	6	61.84	44	0.039

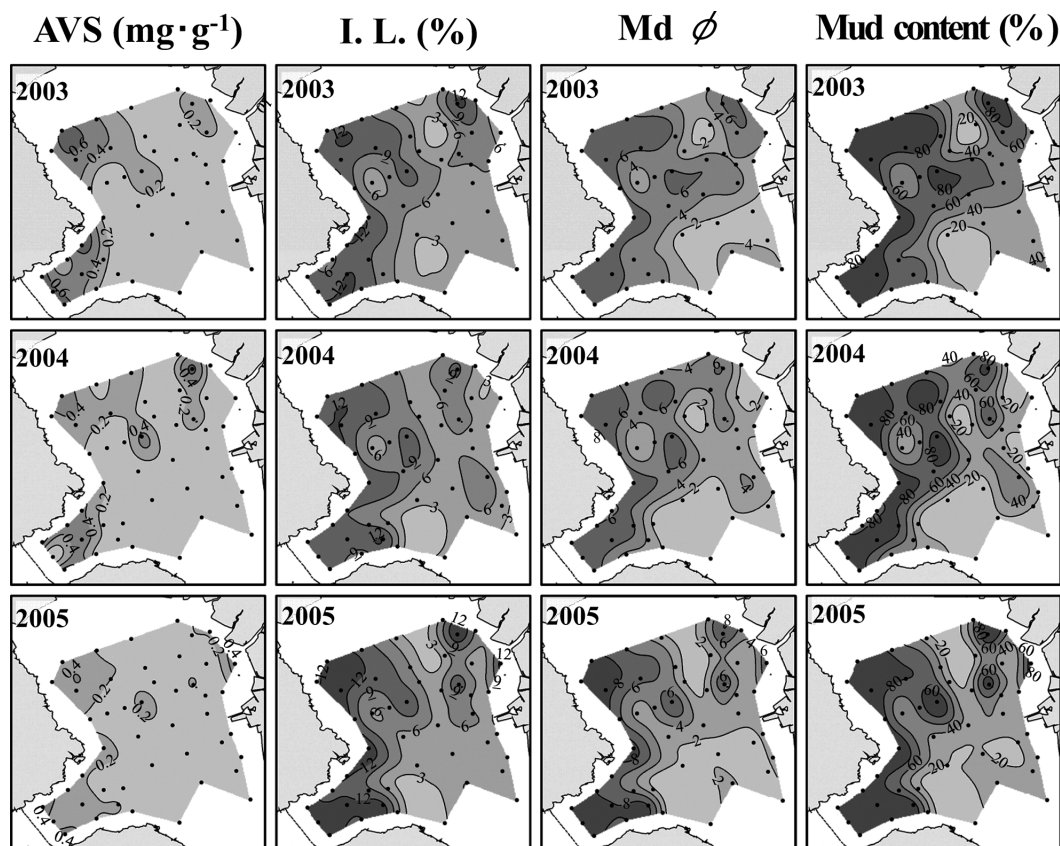


Figure 8. Horizontal distribution of AVS ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ dry sediment), ignition loss (% dry sediment), median particle diameter (phi scale, $\text{Md}\phi$) and mud content (% dry sediment) of sediment from 2003 to 2005. Values are average of two measurements obtained in August and September.

Table 4. Estimated partial regression of sediment parameters from a multiple regression analysis in a log-linear model for spat population density. A p -value is the provability level for the z -test to test the null hypothesis that partial regression is 0.

Variables	≤ 25 mm in shell length		> 25 mm in shell length	
	Partial regression	p -value	Partial regression	p -value
AVS ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ dry sediment)	-2.680	<0.001	-7.915	<0.001
Ignition loss (%)	-0.362	<0.001	-0.158	0.025
$\text{Md}\phi$	-0.239	0.004	0.642	<0.001
Mud content (%)	0.055	<0.001	-0.037	0.001

とが示された。

考 察

浮遊幼生の出現時期と密度

浮遊幼生の出現状況 (Fig. 3), 稚貝のサイズ組成 (Fig. 6) から川原ほか (2004b) の知見を基に調査期間におけるたいらぎ類の産卵期および着底期を推測すると, 2003年は8月下旬に稚貝の着底盛期があり, 産卵盛期はそれより約1カ月

前の7月下旬頃であったと考えられる。2004年および2005年では2003年よりやや早く, 7月中旬から8月上旬にかけて稚貝が着底しており, 産卵は6月中旬から7月上旬にかけて行われたと推測される。坂本ほか (2005) は, 大牟田沖のリシケタイラギの生殖腺の組織学的調査を周年行い, 放卵放精の盛期を7月から8月と報告している。本調査で推定されたたいらぎ類の産卵期は6月から8月の間で, 年により1カ月程度の変動があるものの, 坂本ほか (2005) の

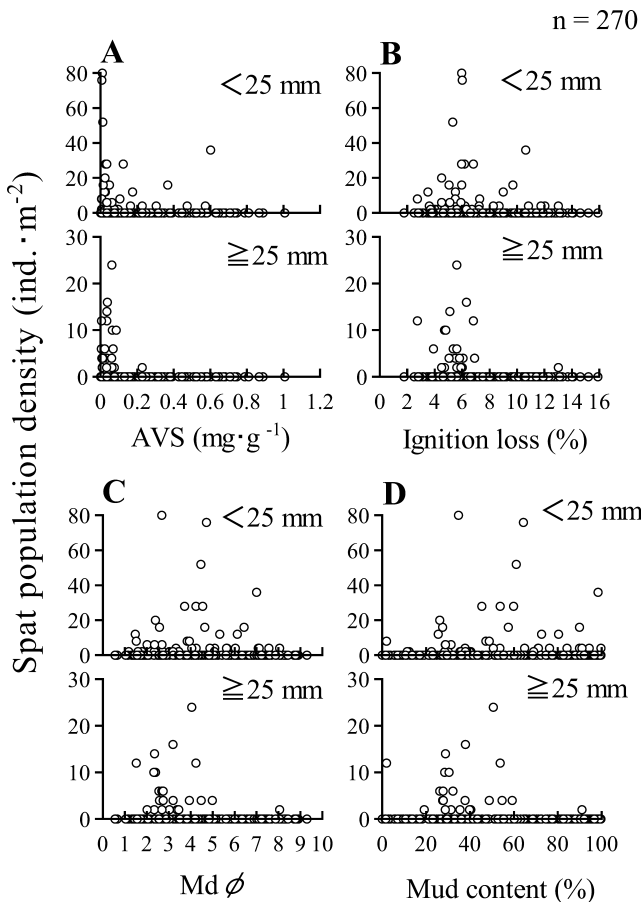


Figure 9. Relationship between pen shell spat population density and (A) AVS concentration in sediment, (B) ignition loss of sediment, (C) median particle diameter of sediment, and (D) sediment mud content. *n*: number of samples.

報告とほぼ一致していた。

古賀・中武 (1991) の報告によると、太良沖から有明海中央部では、1986–1988年の7月から8月にかけて浮遊幼生の平均密度 (ind. · m⁻³) は21.2–46.9、1989年は8.4となっている。一方、今回の調査では、2003年の8月上旬および下旬の浮遊幼生の平均密度はそれぞれ37.9と37.1、2004年および2005年にはいずれも7月の後半の調査で平均密度 (ind. · m⁻³) が最大となり、それぞれ7.8および1.8であった。いずれの調査でも、たいらぎ類浮遊幼生の出現時期に大きな違いはみられなかったが、その密度は年によって大きく変動していた。古賀・中武 (1991) が調査を行った1980年代後半の浮遊幼生の密度は、平均値では今回の調査に比して高かったが、範囲は今回の調査と重なっていた。1980年代後半の有明海におけるたいらぎ類の年間漁獲量は3,355–5,278t (Yurimoto, 2003) で、2003年の年間漁獲量358t (九州農政局, 2004–2005) よりかなり多い。この漁獲量の違いは近年のたいらぎ類資源量の減少を反映していると考えられる。しかし、2003年の浮遊幼生の密度が1986–1988

年当時と同程度の範囲にあることから、資源量の減少が幼生供給量の減少に必ずしも結びついてはいないことが示された。

浮遊幼生の分布

浮遊幼生は1980年代後半までは太良沖から竹崎沖および諫早湾湾口部に至る海域に多く分布していた (三井所, 1962; 島崎ほか, 1984; 古賀・山下, 1986)。今回の調査により、たいらぎ類の浮遊幼生は諫早湾内、有明海中央部および緑川沿岸にも出現し、浮遊幼生が有明海の広範囲に分布していることが確認され、1980年代後半の浮遊幼生分布の布状況によく一致する結果となった。リシケタイラギの浮遊幼生期間が1カ月以上 (川原ほか, 2004b; 大橋ほか, 2008) であり、近年漁場が形成されている有明海東岸の個体群が主な母貝集団とすると、有明海奥部の反時計回りの残差流 (小田巻ほか, 2003) によって浮遊幼生が諫早湾湾口部および有明海中央部に輸送される可能性は十分に考えられる。

島崎ほか (1984) は、有明海奥部の水深8mの海域における浮遊幼生が昼間は主に底層に、夜間は海面から海底に至る広い層に分布することを報告している。今回の昼間の調査では、水深5m以深の海域における浮遊幼生の密度が中層から底層において高い傾向が確認され、島崎ほか (1984) とよく一致した結果が得られた。また、今回の調査時には海面下5m以浅に水温躍層が形成されており、大牟田市沖の中底層には湾外由来と考えられる高塩分海水 (塩分30以上) が分布していた。しかし、たいらぎ類の浮遊幼生が主に分布していた諫早湾口から有明海中央部の中底層の塩分は28–30とやや低く、浮遊幼生は有明海の湾奥由来の水塊中に多く分布していることが示唆された。

稚貝の分布

たいらぎ類の稚貝は3年間を通じて有明海奥部の東側に多く分布していた。とくに殻長25mm以上に成長した稚貝の分布域は、現在のたいらぎ漁場である有明海北東部漁場の位置 (伊藤, 2004) とほぼ重なっており、たいらぎ類の漁場形成がこの段階で決定されることを示唆している。過去のたいらぎ漁場の推移をみると、1970年代には諫早湾湾口部から大牟田沖の広範囲にたいらぎ類の成貝が分布し (青山, 1977)、1982–83年には太良沖で稚貝および成貝の分布が認められていた (島崎ほか, 1983)。有明海北東部では豊凶の程度の差はあるものの、1975年以降継続的にタイラギの生息が認められている (入江, 1975; 入江ほか, 1988; 松井, 2002)。しかし、太良沖では1992年以降たいらぎ類の生息量が減少し、1995年以降ほとんどたいらぎ類が見られなくなり (伊藤, 2006)、諫早湾湾口部でも1994年以降はたいらぎ類の漁獲がなくなっている (藤井・山本, 2003)。近年たいらぎ類の成貝が見られない上記の海域では、今回の調査でも稚貝がほとんど採集されていない。これらの結果から、有明海西部の漁場の縮小、消

失はかつての漁場にたいらぎ類の稚貝が十分に加入していないことによると推測される。

底質環境

2003年の調査結果では、地点間で稚貝の生残状況が異なることが示唆された。稚貝の大きさと底質との関連をみると、殻長25mm以上の稚貝が出現した底質条件の範囲は25mm以下の稚貝より狭まる傾向があり、とくに、稚貝密度とAVSおよび強熱減量との関係においてこの傾向が顕著であった (Fig. 9)。この結果から、硫化物や有機物の多い底質環境に着底した稚貝は着底後大きく減耗することが示唆された。川原ほか (2004b) は飼育実験の結果からタイラギ浮遊幼生の着底時に基質選択性が見られないこと、着底後の生残には底質環境が影響する可能性があることを報告している。本調査の結果は、漁場においてもこれらの知見を支持するものであり、比較的広範囲の底質環境において浮遊幼生が着底するものの、着底後の稚貝の生残に底質環境が影響を及ぼしていると考えられる。有明海北西部および諫早湾では底質環境の悪化が稚貝の加入量減少の原因になっていると推測される。しかし、有明海中央部の比較的好適な底質環境の海域に稚貝の分布が見られないことは、底質環境のみでは稚貝密度の変化を説明するには不十分であることを示している。

浮遊幼生の分布と稚貝の分布の関係

今回の調査では浮遊幼生は3年間を通じて有明海奥部に広範囲に分布し、とくに2003年には諫早湾湾口部に多く見られた (Fig. 3)。しかし、稚貝は、いずれの年も有明海東岸に分布し、諫早湾湾口部には3年間稚貝がほとんど見られなかった (Fig. 7)。これらの事実は、現在の有明海奥部ではたいらぎ類浮遊幼生の現存量と、稚貝の着底量は必ずしも関連していないことを示している。これまでの結果から、浮遊幼生の現存量や着底後の稚貝の生残とは別に稚貝の着底量に影響する要因が存在する可能性が指摘される。このような環境要因として潮流の流速と貧酸素水塊の影響が考えられる。小田巻ほか (2003) の観測結果では、上げ潮時、下げ潮時ともに有明海奥部東岸における潮流の流速が西岸より最大2倍程度速くなることが示されている。このため、浮遊幼生の来遊数は東岸と西岸で異なる可能性がある。しかし、有明海東岸と西岸の稚貝密度の差は非常に大きく、稚貝密度の差を潮流流速の差による浮遊幼生供給量の違いだけで説明することは難しいと思われる。

一方、水産総合研究センターによる貧酸素水塊の観測結果 (水産総合研究センター, 2005, 2006) では、2004, 2005年の両年とも、8月中旬に有明海最奥部西岸から諫早湾湾口にかけて酸素飽和度が40%以下の貧酸素水塊が発生していることが報告されている。同年にたいらぎ類稚貝の着底が見られた有明海東岸の大牟田沖以南では、同時期の酸素飽和度はほぼ40%以上であった。この貧酸素水塊の発生期間は、たいらぎ類稚貝の着底期と重なっており、有明海西

岸では着底期前後の幼生および稚貝が海底付近で貧酸素水塊の影響を受けた可能性も推測される。バージニアガキ *Crassostrea virginica* では、浮遊幼生や着底直後の若い稚貝ほど貧酸素の影響を受けやすいことが報告されている (Widdows et al., 1989; Baker and Mann, 1994)。たいらぎ類についても浮遊幼生から着底稚貝への変態過程で貧酸素の影響を受けやすくなることが考えられ、今後飼育実験により検証する必要がある。

謝 辞

本研究を行うにあたり、西海区水産研究所の藤吉栄次氏、西濱士郎博士、清本節夫氏、福岡県水産海洋技術センターの相島 昇氏、筑紫康博氏、佐々木和之氏、内藤 剛氏、佐賀県庁の伊藤史郎博士、川原逸朗氏、有吉敏和氏、佐賀県有明水産振興センターの森勇一郎氏、長崎県対馬地方局農林水産部水産課の山本憲一氏、長崎県総合水産試験場の松田正彦博士および熊本県水産研究センターの生嶋 登氏には現場観測に際して多大なご協力をいただいた。瀬戸内海区水産研究所の濱口昌巳博士には、浮遊幼生の調査方法についてご指導いただいた。また、西海区水産研究所の皆川 恵博士と小谷祐一博士には本稿のとりまとめに有意義な助言をいただいた。記して厚くお礼申し上げます。本研究は水産庁委託漁場生産力変動・予測調査事業の一部として行われた。当該事業の予算確保と調査の推進に当たられた方々に感謝いたします。

引用文献

- 青山恒雄 (1977) 漁業振興の立場からみた湾内水の流動と問題点。沿岸海洋研究ノート, **14**, 36-41.
- Baker, S. M. and R. Mann (1994) Feeding ability during settlement and metamorphosis in the oyster *Crassostrea virginica* (Gmelin, 1791) and the effects of hypoxia on post-settlement ingestion rates. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, **181**, 239-253.
- 筑紫康博・松井繁明 (2003) 有明海における貧酸素水塊の分布と発生要因。福岡水技研報, **13**, 103-110.
- ESRI, Inc. (2002) ESRI ArcMap 8.3, 380 New York Street, Redlands, CA 92373-8100, USA.
- 藤井明彦・山本憲一 (2003) 諫早湾におけるタイラギ・アサリの現状と問題点。月刊海洋, **35**, 235-240.
- 濱本俊策・高木俊祐 (1985) 備讃瀬戸海域に生息するタイラギ *Atrina (Servatrina) pectinata* (LINNAEUS) およびミルクイガイ *Tresus keenae* (KURODA et HABE) の形態的特長。香川水試研報, **1**, 25-36.
- 市原清志 (1990) バイオサイエンスの統計学。南江堂, 東京, 184-191.
- 入江 章 (1975) 有明海湾奥部におけるタイラギ生息分布調査。福岡県有明水試研究業務報告, 昭和50年度, 139-140.
- 入江 章・相島 昇・切田正憲・今給黎 悟 (1988) 有明海湾奥部におけるタイラギ生息分布調査。福岡県有明水試研究業務報告, 昭和61年度, 59-60.
- 伊藤史郎 (2004) 有明海における水産資源の現状と再生。佐賀水試研報, **22**, 69-80.
- 伊藤史郎 (2006) 「有明海異変」, 特にタイラギ資源の減少と今後。海洋と生物, **28**, 625-635.

- 川原逸朗・伊藤史郎 (2003) 2000, 2001 年夏季に有明海北東部漁場で発生したタイラギの斃死—I 発生状況. 佐賀有水研報, **21**, 7-13.
- 川原逸朗・伊藤史郎・山口敦子 (2004a) 有明海のタイラギ資源に及ぼすナルトピエイの影響. 佐賀有水研報, **22**, 29-33.
- 川原逸朗・山口忠則・大隈 齊・伊藤史郎 (2004b) タイラギ浮遊幼生の飼育と着底・変態. 佐賀有水研報, **22**, 41-46.
- 古賀秀昭 (1992) 有明海産タイラギに関する研究—VI 一貝殻殻表の類別による形態の相違とその分布—. 佐賀有水研報, **14**, 9-24.
- 古賀秀昭・中武敬一 (1991) 有明海産タイラギに関する研究—V タイラギの天然採苗に関する試み (2). 佐賀有水研報, **13**, 11-19.
- 古賀秀昭・山下康夫 (1986) 有明海産タイラギに関する研究—IV タイラギの天然採苗に関する試み (1). 佐賀有水研報, **10**, 1-8.
- 黒住耐二 (2000) ハボウキガイ科. 日本近海産貝類図鑑 (奥谷喬司編), 東海大学出版会, 東京, 886-889.
- 九州農政局福岡農林統計・情報センター (2004) 第51次福岡農林水産統計年報 (水産編), 273.
- 九州農政局熊本農林統計・情報センター (2005) 第51次熊本農林水産統計年報 (水産編), 30.
- 九州農政局佐賀農林統計・情報センター (2005) 第51次佐賀農林水産統計年報 (水産編), 57.
- Maeno, Y., T. Yurimoto, H. Nasu, S. Ito, N. Aishima, T. Matsuyama, T. Kamaishi, N. Oseko and Y. Watanabe (2006) Virus-like particles associated with mass mortalities of the pen shell *Atrina pectinata* in Japan. *Dis. Aquat. Org.*, **71**, 169-173.
- 松井繁明 (2002) 有明海北東部漁場におけるタイラギの資源変動. 福岡水技セ研報, **12**, 29-35.
- 松本英二 (1986) 沿岸環境調査マニュアル 底質・生物篇 (日本海洋学会編). 恒星社厚生閣, 266 pp.
- 三井所正英 (1962) タイラギの浮遊仔貝および初期稚貝について. 佐賀県養殖試験事業報告, **1**, 31-37.
- 門谷 茂 (2003) 地球環境調査計測辞典 第3巻沿岸域編 (竹内 均監修). フジ・テクノシステム, 東京, 233-236.
- 森下正明 (1961) 動物の個体群. 動物生態学 (宮地伝三郎編), 朝倉書店, 東京, 185-186.
- 小田巻実・大場幸広・柴田宣昭 (2003) 有明海の潮流新旧比較観測結果について. 海洋情報部研究報告, **39**, 33-61.
- 奥谷喬司 (1994) タイラギ *Atrina (Servatrina) pectinata*. 水産無脊椎動物Ⅱ 有用・有害種各論 (奥谷喬司編), 新水産学全集6, 恒星社厚生閣, 東京, 120-121.
- 大橋智志・藤井明彦・鬼木 浩・大迫一史・前野幸男・吉越一馬 (2008) タイラギ浮遊幼生および着底稚貝の飼育 (予報). 水産増殖, **56**, 181-191.
- 大隈 齊・江口泰蔵・川原逸朗・伊藤史郎 (2001) 有明海奥部の底質およびマクロベントス. 佐賀有水研報, **20**, 55-62.
- R Development Core Team (2008). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>.
- 佐藤善徳・捧 一夫・木全裕昭 (1987) 浅海の底質の強熱減量測定法の改善. 東海区水研報, **123**, 1-13.
- 関口秀夫・石井 亮 (2003) 有明海の環境異変 —有明海のアサリ漁獲量激減の原因について—. 海の研究, **12**, 21-36.
- 島崎大昭・杉原雄二・山下康夫 (1983) タイラギ漁場の形成条件・特に付着基質に関する研究. 昭和57年指定調査研究総合助成事業報告書 (佐賀県有明水産試験場発行), 1-24.
- 島崎大昭・杉原雄二・山下康夫 (1984) タイラギ漁場の形成条件・特に付着基質に関する研究 (昭和56-58年度総括). 昭和58年指定調査研究総合助成事業報告書 (佐賀県有明水産試験場発行), 1-24.
- 水産総合研究センター (2005) 平成16年度環境省請負業務調査報告書 有明海貧酸素水塊発生機構解明調査, 71-78.
- 水産総合研究センター (2006) 平成17年度環境省請負業務調査報告書 有明海貧酸素水塊発生機構解明調査, 99-112.
- 田中彌太郎 (1979) 二枚貝類幼生の同定—4. 海洋と生物, **5**, 56-59.
- 立石 賢・藤木哲夫・山本博敬 (1972) III タイラギ. 長崎産有用貝類の調査研究—IV, 長崎県水産試験場, 63-89.
- 横川浩治 (1996) タイラギ2型の遺伝的分化. 貝類学雑誌 VENUS, **55**, 25-39.
- 吉田 裕・井上 泰 (1954) タイラギの生物学的研究 (概報). 山口県内海水産試験場研究業績, **6**, 31-36.
- Yoshino, K., K. Yamamoto, Y. Hayami, T. Hamada, T. Kasagi, D. Ueno and K. Ohgushi (2007) Benthic fauna of the inner part of Ariake Bay: long-term changes in several ecological parameters. *Plankton Benthos Res.*, **2**, 198-212.
- 坂本達也・前野幸男・松井繁明・吉岡直樹・渡辺康憲 (2005) タイラギの性成熟と各種組織におけるグリコーゲン量との関係. 水産増殖, **53**, 397-404.
- Yurimoto, T., Y. Watanabe, H. Nasu, N. Tobase, S. Matsui and N. Yoshioka (2003) Relationship between environmental food and glycogen contents in pen shells. Proceeding 32nd U.S. Japan Symposium on Aquaculture, Santa Barbara, California USA, 120-129.
- Widdows, J., R. I. E. Newell and R. Mann (1989) Effects of hypoxia on survival, energy metabolism, and feeding of oyster larvae (*Crassostrea virginica*, Gmelin). *Biol. Bull.*, **177**, 154-166.