

内湾・内海域におけるベントス幼生の分散・回帰

東京湾におけるアサリを例に

誌名	日本プランクトン学会報
ISSN	03878961
著者名	浜口,昌巳 粕谷,智之 日向,博文 古川,恵太
発行元	日本プランクトン学会
巻/号	51巻2号
巻号補足	
掲載ページ	p. 120-125
発行年月	2004年8月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター

Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



内湾・内海域におけるベントス幼生の分散・回帰： 東京湾におけるアサリを例に

浜口昌巳¹⁾・粕谷智之²⁾・日向博文²⁾・古川恵太²⁾

¹⁾ 独立行政法人水産総合研究センター瀬戸内海区水産研究所 〒739-0452 広島県佐伯郡大野町丸石2-17-5

²⁾ 国土交通省国土技術政策総合研究所 〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1

Dispersal and recurrence of planktonic larvae of benthos in bay and inland sea waters: the short necked clam, *Ruditapes philippinarum*, in Tokyo Bay as an example

MASAMI HAMAGUCHI¹⁾, TOMOYUKI KASUYA²⁾, HIROFUMI HINATA²⁾ AND KEITA FURUKAWA²⁾

¹⁾ National Research Institute of Fisheries and Environment of Inland Sea, Fisheries Research Agency, 2-17-5 Maruishi, Saeki-gun, Hiroshima 739-0452, Japan, E-mail: masami@fra.affrc.go.jp

²⁾ National Institute for Land and Infrastructure Management, Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Japan, Nagase 3-1-1 Yokosuka, Kanagawa 239-0826, Japan

Abstract The majority of the benthos are pelagic in their larval stages. The short-necked clam, *Ruditapes philippinarum*, which is widely distributed on sandy tidal flats across Japan and is a commercially important shellfish, has a planktonic larval stage, which lasts 2 to 3 weeks after hatching. In this stage, most clam larvae are able to disperse over wide areas with the currents and then settle on new habitats on other shores. In the case of Tokyo Bay, reclamation of the tidal flats and shallows has brought a marked decrease in the harvest of the clam. To recover the clam populations on the shores of Tokyo Bay, the creation of suitable habitats for the clam and the preservation of their environment are very important. We also need to understand how local populations of the clam are maintained through wide dispersal ranges over tidal flats during the larval stages. In this paper, we show the dynamics of larval dispersal of the clam in Tokyo Bay introducing the results of field plankton surveys conducted by the National Institute for Land and Infrastructure Management Ministry of Land and the National Research Institute of Fisheries and Environment of Inland Sea in 2001. The spatial distribution of the larval abundance of the clam was investigated at 65 stations along the entire range of Tokyo Bay on August 2, 6, 10 and October 15, 19, 23, in 2001. Identification of the larvae of the clam was performed using the monoclonal antibody technique. A large number of small D-shaped larvae were found shortly after hatching in the sea waters around the Banzu, Futtu, and Sanmaizu-Haneda in August and the Sanbanze, Sanmaizu-Haneda, and Kanazawa areas in October indicating that spawning populations in these areas probably contributed greatly to the larval supply in the bay. Moreover, the smallest size larvae also occurred abundantly around the Yokohama and Chiba port areas, suggesting that these port regions may play an important role in the transport of larvae into Tokyo Bay.

Key words: dispersal, plankton larvae, recurrent, *Ruditapes philippinarum*, Tokyo Bay

1. はじめに

小学校の理科の授業で初めて顕微鏡を使って近所の池の水を調べてみたとき、ミジンコ類が元気よく泳ぎ回っているのを見ていたく感動したものである。というのも、たった1滴の水の中にもたくさんの生き物が満ちあふれていて、それぞれが懸命に生きているということを知ったからである。このような経験をされた方は多いと思うが、海水中にもたくさんのミジンコ類に混じって、ときにはホヤ類、ウニ類、エビ類、カニ類、巻貝類といった日本人にとってなじみの深い水産対象生物の幼生もプランクトンの中に認められる。これらの生物は、親のときには海底に生活することでベントスと総称されるが、その多くの種が発生直後の幼生期にプランクトンとして海水中を遊泳し、やがてベントスとしての生活に適した海底に着底し、成長して普段私たちが見かけられるような姿になる。したがって、このような生物の生態を調べるためには、プランクトンとベントスの両方の生活様式にまたがる調査手法が必要となる。

また、最近の水産増殖研究の動向を見ると、これまでのようにベントス生活期に適した環境に沿岸環境を改変して人工的に大量生産した種苗を放流するだけでなく、増殖対象種の生態や再生産機構を生活史全体にわたって詳細に調査し、それによって適切な放流サイズ、場所、量を決定するという試みがなされている（例えば、堀井 2002）。なかでも、マガキ *Crassostrea gigas*、ホタテガイ *Patinopecten yessoensis*、アサリ *Ruditapes philippinarum*、アワビ類 *Haliotis discus discus*、*H. madaka*、*H. gigantea*、リシケタイラギ *Atrina lischkeana*、トリガイ *Fulvia mutica* といった重要な産業対象種では、発生初期段階でのプランクトン幼生の種判別技術の開発を機に、生活史中の初期生態に関する研究が重点化されている。

このような現状において、今回実現したプランクトンとベントスの両学会での学会大会の共同開催は、水産研究に従事する筆者としては極めて意義深いことと思う。そしてこのシンポジウムの最初の話題提供者として、以下に内湾・内海域のベントス幼生の分散・回帰に関する調査研究の目的と意義を説明し、東京湾のアサリを例にして実際の調査結果について述べる。

2. ベントス幼生の分散・回帰機構解明の意味

内湾や内海域に生息し、プランクトン幼生による分散期を持つベントスの局所個体群は、局所個体群間でプランクトン幼生を受け渡しすることによって互いに関連しながら維持されると考えられる。もちろん、局所個体群の維持機構には幼生の分散供給過程以外にベントス期の成長や生残などもさまざまな要因が考えられ、それらについては本稿の主役となるアサリにおいても多くの総説や研究がある（たとえば、関口・木村 1999、宮脇・関 2000、堤ほか 2000、2002、石井・関口 2002、関口・石井 2003 ほか多数）。しかし本稿では、これまで実証的

研究がほとんどなかったアサリのプランクトン幼生期の分散と回帰に焦点を絞って議論を進める。

風呂田 (2000, 2001) は内湾域において、浮遊幼生を介したベントス各個体群の関係を局所個体群の連続として捉えるメタ個体群理論に基づき“幼生移送ネットワーク”と表現し、それによる内湾域の生物ならびに環境保全の方策を提唱している。この幼生移送ネットワークの有効範囲は、プランクトン幼生期間、幼生の行動特性、さらには生息海域の流況等によって異なる。アサリを例にとってみると、飼育環境下では2~3週間の浮遊幼生期を持ち（鳥羽 1987, 1992）、発生初期には水面近くに浮上し表層離岸流に乗って広域に分散するが、その後成長するとともに中層、底層へと分布深度を移行させながら接岸流に乗って干潟域へと回帰して着底すると考えられている（浜口 未発表）。したがって、ある干潟で産出された卵から発生したアサリ幼生は、必ずしも産出された干潟に帰ってくるとは限らない。そこで、特定の干潟のアサリ局所個体群を維持するためには、その干潟の存在する湾や灘など水域単位で幼生の分散・回帰等の動態を解明し、関連する他の局所個体群を含めた系として維持・管理施策を施す必要がある。

しかし、これまでの干潟の保全や特定の漁場での増殖目的の調査・研究は、対象となる干潟や漁場内の調査にとどまり、調査する生物のプランクトン幼生期間や幼生の行動特性、周辺海域の流況を考慮した調査地周辺の局所個体群との関係については配慮されてこなかった。そのため、干潟や漁場に生息する生物種を保護・増殖する目的で特定の干潟の環境保全策や漁場整備等を実施しても、当初の目的が達成されない場合が多かった。

いっぽう、水産生物に限らず、海岸生態系保全の面では例えばオニヒトデ *Acanthaster planci* によるサンゴの食害のように、大型動物の大増殖による過剰な捕食圧が海岸生態系に重大な影響を与えることもしばしば生じる。このような動物の大増殖の要因としての幼生供給源の特定のために、プランクトン幼生の動態を解明する必要がある。このように、ベントスの広域分散期にあたるプランクトン幼生の動態を調査することは、生態系保全や持続的漁業の継続の上で極めて重要である。

3. 個体群間の交流の評価

プランクトン幼生の分散・回帰を調べるためには、幼生の移送手段となる流れ等の海洋物理環境の調査と、局所個体群間の関係の強度を評価する生物学的研究が必要である。物理的調査においては、近年、HF (high frequency) レーザー等の使用による広範囲にわたる流れの同時的調査が可能であり、さらにはベントスの産卵やプランクトン幼生の発育速度に影響する水温、幼生の集積や移送に関与する塩分や密度等の調査も必要である。

いっぽう、局所個体群間の関連性を評価するための生物学的研究では、調査対象となる局所あるいは地域個体群間の距離によって採用する手法が異なってくる。最近の例では、独立行政法人・水産総合研究センター内の複数の研究所と東京大学、石巻専修大学、宮城県等が参加して実施している農林水産業技術高度化事業「近縁魚介類の原産地判別技術の開発」(来春刊行予定)がある。ここでは、約 2 週間のプランクトン幼生期を持つマガキの日本国内の局所個体群の関係についてミトコンドリア等の特定遺伝子領域のハプロタイプやマイクロサテライト解析を行い、それぞれの手法の特徴を有効に活かして個体群間の遺伝的関係を調べている。マイクロサテライト解析の結果では、現時点では国内のマガキは全国的には各地の局地個体群が大別すると 2~3 の遺伝的集団に分かれるということが解明されつつある(関野ほか 未発表)。しかし、例えばマガキ養殖が盛んな広島湾内の局所個体群間では、今のところいかなる遺伝子解析手法によっても、湾内の局所個体群間の遺伝的差異を認識することができず、プランクトン幼生の分散を通じた個体群間の交流が盛んに行われていると考えられている。アサリにおいては、プランクトン幼生期間は 2~3 週間とマガキより少し長く、局所個体群間の交流はマガキよりさらに広範囲にわたることが予想されている。

ベントス種によってプランクトン幼生期間や成体の移動能力に差があるので一概には言えないものの、局所個体群間にある程度の地理的距離がある場合、上記の遺伝子解析技術を用いて個体群間の交流の程度を推測することは可能となる。しかし、先の広島湾内のマガキの例のように近接する局所個体群間では交流の強度が増し、遺伝子解析によってその関係を調べることは困難になる。例えば後述する東京湾内のアサリを考える場合、局所個体群間はプランクトン幼生の分散による盛んな遺伝的交流があり、遺伝的変異によって各局所個体群間の交流を識別することは困難であることが予想される。したがってこのような場合は、プランクトン幼生の分散と回帰過程を現場で直接調査するしかない。この場合、幼生の産出源の特定が求められるが、そのためにはアサリのプランクトン幼生の成長と分布とともに流れ等の海況調査を綿密に行ない、成長をさかのぼりながら幼生の分布位置を逆推定することで、幼生の分散・移動動態とともに産卵母集団を特定することにより、各局所個体群間の関係を間接的に調べなければならない。しかし、このような広範囲かつ時系列的な野外調査では多数のプランクトンサンプルが必要となり、さらに得られたサンプルの中からアサリのプランクトン幼生を検出するにあたっては、経済的な理由のほかには幼生同定の困難さが大きな障害となる。

一般に、ベントスのプランクトン幼生は小さく(アサリの幼生では 100~230 μm)、かつ形態的特徴が成貝ほど明瞭でないため、従来の顕微鏡下での形態による同定を行うには極めて高い

熟練度が要求され、多数のサンプル中の幼生を同定して計数するには多大な労力が必要とされる。そのためこのような調査研究の実行にあたっては、高い熟練度を要さず、短期間で大量の試料の処理を可能とする簡便な幼生同定手法の開発が不可欠である。また前述のように、逆推定によって時間をさかのぼって母貝集団を特定するには、産卵後の経過時間が短いほど推定の精度は上がる。形態法では孵化後 1 週間以上経過したアンボ(Umbo)期以降でないと同定は困難で逆推定の精度は低い。したがって、発育の初期でも同定できる簡便で精度の高い幼生同定方法の確立が切望されていた。

わが国では上記の形態による幼生同定の問題点を改良するために、野外で採取したイトマキヒトデ *Asterina pectinifera* 幼生をモノクローナル抗体で同定する試みがなされた(Ikegami et al. 1991, 池上 1993)など、ベントス幼生同定のための生化学的手法の開発が世界に先立ち進められている。またこの生化学的幼生同定法は、モノクローナル抗体以外にも遺伝子解析法の利用等様々な試みがなされており、それらについては代表的なベントスである二枚貝類を例にした総説があり(浜口ほか 1997, Garland & Zimmer 2002, 浜口 2004)、それぞれの同定手法の詳細についてはこれらの総説もしくはその引用文献を参考にしていただきたい。なお、アサリ幼生の遺伝子解析およびモノクローナル抗体による同定手法は平成 7~9 年度にかけて実施された農林水産省農林水産技術会議計上の特別研究「魚貝類の初期生態解明のための種判別技術の開発」で開発され、その後広範囲な実証実験が行われた後、実用化されている。

4. 東京湾におけるアサリ幼生の分散・回帰

東京湾は長期的に大規模な海洋開発が進められており、それに伴う沿岸環境の変動が各種ベントスの局所個体群維持機構に及ぼす影響の一端が明らかにされている(例えば、風呂田 2000, 2001)。東京湾における沿岸開発は今後も計画されており、東京湾における主要な漁獲対象種であるアサリにおいても局所個体群の消失による幼生ネットワークの崩壊等、再生産機構に及ぼす影響が懸念されている。そこで、2001 年国土交通省国土政策総合研究所、運輸施設整備事業団、独立行政法人水産総合研究センター瀬戸内海区水産研究所は共同で東京湾のアサリ浮遊幼生の動態を解明するために、「東京湾広域アサリ浮遊幼生調査」を実施した。以下にその調査結果(粕谷ほか 2003 a, b, Kasuya et al. 2004)をもとに東京湾におけるアサリのプランクトン幼生の主要産出場所と産出された幼生の分散過程を説明する。

東京湾のアサリ浮遊幼生の大規模な動態調査は、HF レーダーによる広範囲にわたる流れの観測期間中の 2001 年 8 月 2, 6, 10 日および 10 月 15, 19, 23 日に、東京湾内に約 3.5 km 間隔で設定した 65 測点(Fig. 1)で実施した。調査は 8 隻の調査

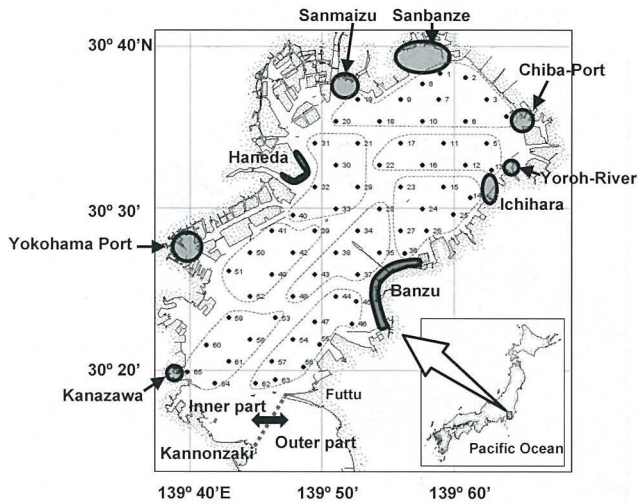


Fig. 1. Tokyo Bay and locations of sampling stations (solid circles), where stations surrounded by a dashed line were investigated with one boat. The main habitats of benthic *Ruditapes philippinarum* in the bay are shaded and the dotted line at the mouth of Tokyo Bay (Kasuya et al. 2003a).

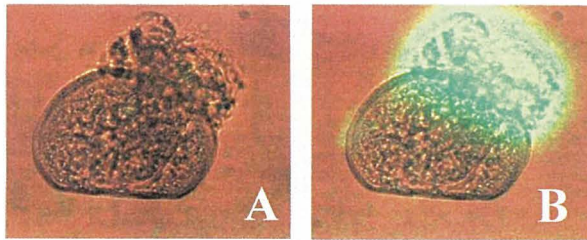


Fig. 2. *Ruditapes philippinarum* D-shape larvae (A) and the larvae stained using FITC-labeled monoclonal antibodies (B; Hamaguchi 2004).

船を用い、水温、塩分等の計測と、表、中、底層の3層から海水200 Lをポンプで揚水し、目合い50 μm と100 μm のプランクトンネットでプランクトン幼生を採取した。採集したアサリのプランクトン幼生の同定は、形態とモノクローナル抗体 (Fig. 2) の併用により、従来法では同定不可能であった発生初期のD型幼生から着底期までのプランクトン期のすべての発育段階を対象とした。

2001年8月2, 6, 10日では、海水1 m^3 あたりのアサリ幼生の最大出現密度はD型幼生で2510個体、アンボ期幼生で2725個体であった。殻長の頻度分布の経時的変化から、この期間の東京湾におけるアサリプランクトン幼生の成長速度は1日あたり15~18 μm 、プランクトン期間は約10日間と推定された。孵化後間もないと考えられる殻長100 μm 以下のD型幼生は、Fig. 1に示した東京湾内の主要なアサリ生息場所のうち、盤洲、富津、三枚州~羽田、横浜、そして市原周辺の海域に多く分布していたことから、これらの周辺海域がアサリ幼生

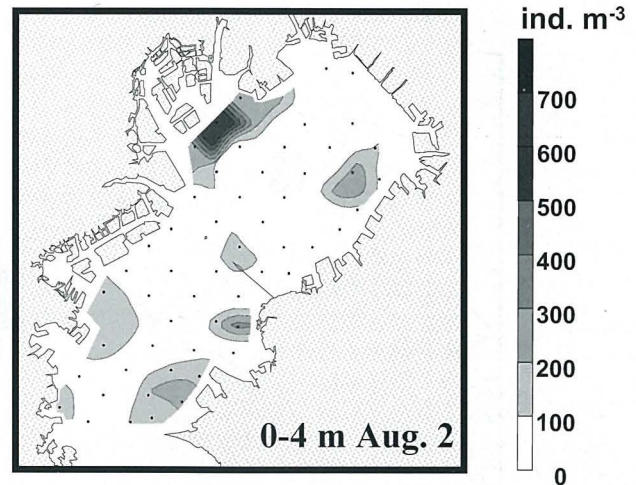


Fig. 3. Horizontal density distributions of *Ruditapes philippinarum* D-shaped larvae from 0~4 m depth layers on August 2, 2001 (Kasuya et al. 2003a).

の発生源と考えられた。8月2日の調査時のD型幼生のうち0~4 m層の主要な5つのパッチについて (Fig. 3), この期間の幼生の成長速度とHFレーダーによる流れの観測データから逆推定を行った結果、横浜港沖のパッチは主に羽田から三枚州にかけての東京側に広く分布する局所個体群と一部は千葉側の局所個体群に由来し、三枚州沖のパッチは三番瀬等の東京湾奥部の局所個体群に由来するものと推定された (Fig. 4)。千葉側の市原周辺のパッチについてはその大部分が千葉港、一部が養老川河口の局所個体群に由来するのではないかと考えられた。養老川河口ではアサリの生息する河口干潟が存在しているが、千葉港周辺海域では大部分は港湾域であり、海岸は垂直護岸で覆われている。しかし、そのような場所でも船舶による波浪等によって砂が集められ、アサリが高密度で生息しており、今回の調査結果から、このような人工的な改変を受けた場所の局所個体群も東京湾内の極地個体群への幼生供給場所として機能している可能性が示された。

いっぽう、10月15, 19, 23日では、海水1 m^3 あたりのアサリ幼生の最大密度はD型幼生で5390個体、アンボ期幼生で2670個体であった。殻長の頻度分布の経時的変化から、この期間の東京湾におけるアサリ浮遊幼生の成長速度は1日あたり8~9 μm 、プランクトン幼生期間は夏より長い約15日間と推定された。殻長100 μm 以下のD型幼生の主な分布域は三番瀬、三枚州~羽田、そして金沢湾周辺であり、8月の調査時に多かった盤洲や富津周辺では少なかった。測定された水温では、アサリがこのサイズに達するのに約3日を要することから、逆推定によってこれらの幼生が観測された日から3日前にさかのぼると、この時期のアサリ幼生は市原周辺や川崎~横浜周辺海域で産卵された可能性が高いと推測された。この海域で

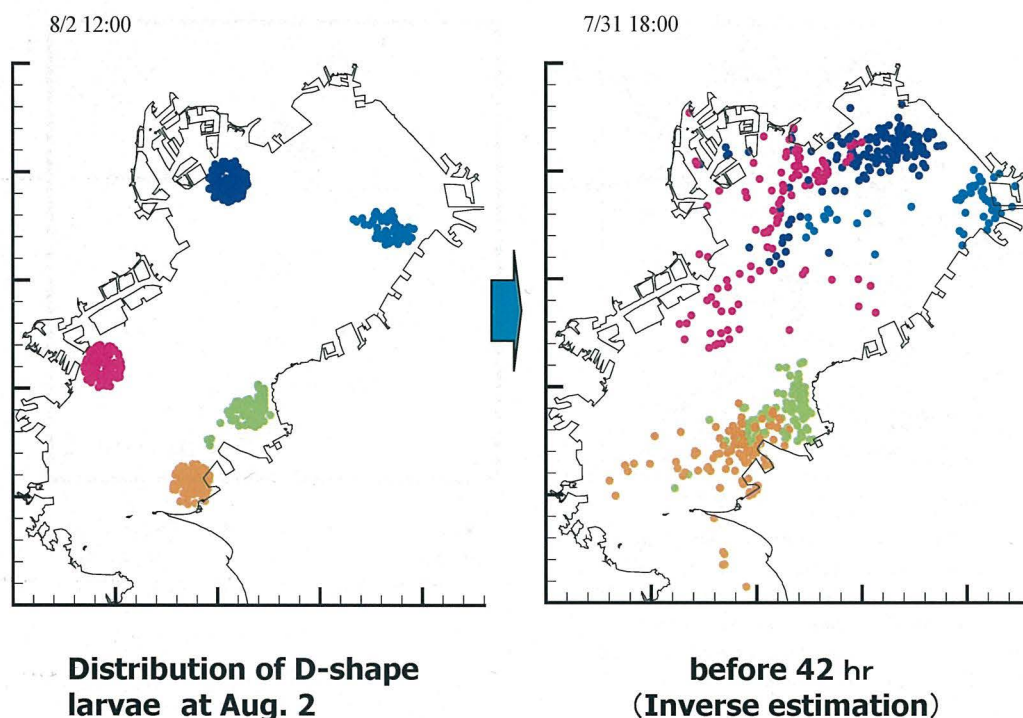


Fig. 4. The inverse estimation of spawning ground of the *Ruditapes philippinarum* D-shaped larvae observed on August 2, 2001 estimated by the simulation analysis (Hinata et al. unpublished data).

は開発が進み垂直護岸が多いが、8月の調査時と同様このような場所でもアサリが生息し、産卵母集団として機能している可能性があることがうかがえる。また、8月および10月の調査時ともに東京湾内の広範囲にわたって同時に産卵されたとみなされ、アサリの産卵は何らかの原因によって同一水域内の局所個体群間で同調すると推測される。また、今回の調査結果をすべて導入したモデルにより、10月の調査時には湾内で産出されたアサリ幼生の湾外への流出率は24%となり、8月の調査時の16%より高く、特に、10月17~18日に台風21号通過後の吹き返しの北偏風により、約72%の幼生が湾外に流出したと見積もられた。このように、東京湾のアサリ幼生は、北偏風による表層水の湾外吹送とともに湾外に流出されやすいと推測された。

さらに、羽田空港周辺の局所個体群は8月および10月の調査時ともに産卵母集団として機能しており、東京湾のアサリの再生産を考える上で、極めて重要な役割を果たすものと推測された。一方、アサリの主要漁場である東京湾奥部の三番瀬周辺海域では、発生初期の幼生の出現は8月には認められなかったが、10月では比較的豊富に認められ、8月を中心とした夏期に湾奥海域で発達する底層の貧酸素水塊が幼生の発生あるいは分散・回帰を阻害していることが懸念された。

このように今回の調査から、プランクトン幼生の分布・動態とともに、分散海域での流れを詳細に調べることによって、そ

の分散・回帰過程が推定でき、特定の海域内の各局所個体群の再生産に及ぼす個体群間の相互関係を推測することが可能ながことが示された。

5. おわりに

これまでに筆者らは、マガキ、アサリ、トリガイ、リシケタイラギ、ミルクイガイ *Tresus keenae*、アワビ類(浜口・佐々木2002)、オニヒトデや各種サンゴ類のプランクトン幼生の種同定法を開発しており、それらを利用して国、都道府県および大学等の研究機関と共同で流れ等の海洋環境ならびに幼生の動態調査を実施している。それらの中には、大分・福岡・山口県と瀬戸内海区水産研究所の「周防灘アサリ浮遊幼生動態調査」や、西海区水産研究所が主体となって実施している「有明海リシケタイラギ幼生動態調査」など湾・灘の水域単位での大規模な調査がある。これらの調査の目的は、まずは特定の海域での幼生の分散・回帰を解明し、幼生の輸送経路(幼生ネットワーク)や幼生供給の鍵となる局所個体群(母貝集団)を特定し、それらを保護するための施策を講じることである。次いで、局所個体群が存在している干潟や漁場ではプランクトン幼生の来遊や着底後の稚貝ならびに成貝の動態を定量的に調べ、各局所個体群の形成・維持機構を解明し、それらを阻害する要因等を明らかにするとともに、それらを防ぐ手立てを考案することである。このように、対象生物のプランクトン生活期間や移動分散

能力に応じた海域単位での幼生移送ネットワークを視野に入れた生活史全般にわたる調査や研究を行うことによって、現在問題となっているアサリ等の資源減少要因の解明等が進み、その結果に基づく新たな水産振興や沿岸環境ならびに生態系保全策の立案が可能になると期待される。

引用文献

- 風呂田利夫 2000. 内湾の貝類，絶滅と保全，東京湾のウミナ類衰退からの考察. 月刊海洋号外 **20**: 74-82.
- 風呂田利夫 2001. 東京湾における人為的影響による底生動物の変化. 月刊海洋 **33**: 437-444.
- Garland, E. D. and Zimmer, C. A. 2002. Techniques for the identification of bivalve larvae. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **225**: 299-310.
- 浜口昌巳・薄 浩則・石岡宏子 1997. アサリ漁場内の生物の相互作用. 水産工学, **33**: 201-211.
- 浜口昌巳・佐々木美穂 2002. 発生初期のアワビ類を判別する技術の開発. 月刊海洋 **34**: 517-521.
- 浜口昌巳 2004. 底生生物調査における最新の技術，二枚貝幼生の同定を中心に. 海洋調査 **75**: 9-15.
- 堀井豊充 2002. 水産総合研究センターにおけるアワビ類の資源生態研究，プロジェクト研究「生態系保全型増養殖システム確立のための種苗生産・放流技術の開発」. 月刊海洋 **34**: 500-503.
- Ikegami, S., Mitsuno, T., Kataoka, M., Yajima, S., and Komatsu, M. 1991. Immunological survey of planktonic embryos and larvae of the starfish *Asterina pectinifera*, obtained from the sea, using a monoclonal antibody directed against egg polypeptides. *Biol. Bull.* **181**: 93-103.
- 池上 晋 1993. この子は誰の子か？—モノクローナル抗体を用いたイトマキヒトデ・プランクトン幼生の検出. 月刊海洋 **25**: 290-294.
- 石井 亮・関口秀夫 2002. 有明海のアサリの幼生加入過程と漁場形成. 日本ベントス学会誌 **57**: 151-157.
- 粕谷智之・浜口昌巳・古川恵太・日向博文 2003a. 夏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 **8**: 1-13.
- 粕谷智之・浜口昌巳・古川恵太・日向博文 2003b. 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 **9**: 1-12.
- Kasuya, T., Hamaguchi, M., and Furukawa, K. 2004. Detailed observation of spatial abundance of clam larvae *Ruditapes philippinarum* in Tokyo Bay, central Japan. *J. Ocean.* **60**: (In press).
- 宮脇 大・関口秀夫 2000. 河口干潟におけるベントスの個体群動態，幼生の加入過程の視点から. 月刊海洋 **32**: 647-653.
- 関口秀夫・木村妙子 1999. 初期生活史二枚貝類，軟体動物学概説下巻. 波部忠重・奥谷喬司・西脇三郎編)，48-64，サイエンス社，東京.
- 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.
- 鳥羽光晴 1987. アサリ種苗生産試験-1, 人工種苗生産したアサリの成長. 千葉県水産試験場研究報告 **45**: 41-48.
- 鳥羽光晴 1992. アサリ幼生の成長速度と水温との関係. 千葉県水産試験場研究報告 **50**: 17-20.
- 堤 裕昭・竹口知江・丸山 渉・中原康智 2000. アサリ生産量が激減した後の緑川河口干潟に生息する底生生物群集の季節変動. 日本ベントス学会誌 **55**: 1-8.
- 堤 裕昭・石澤紅子・富重美穂・森山みどり・坂元香織・門谷茂 2002. 緑川河口干潟における盛砂後のアサリ (*Ruditapes philippinarum*) の個体群動態. 日本ベントス学会誌 **57**: 177-187.

2004年3月30日受付，2004年6月24日受理