

下流涸沼川におけるヤマトシジミ浮遊幼生の挙動特性

桑 原 久 実*・齊 藤 肇**

ヤマトシジミのような発育初期に浮遊期間を有する貝類の場合、浮遊幼生の輸送の成否によって稚貝の発生量が著しく変動する。また、幼生の塩分に対する選択性は、汽水域における輸送に大きな影響を与えることが予想される。本研究では、涸沼川を対象に、流動モデルを作成すると共に実験に基づくシジミ浮遊幼生の塩分選択行動を考慮した輸送モデルを作成し、感潮河川におけるシジミ浮遊幼生の輸送特性を検討した。滞留・遡上・一時的着底・再浮上などの興味深い挙動が示され、また、高塩分が遡上した場合、着底状態にあるシジミ幼生は再浮上し数多く上流側に輸送されることがわかった。

1. はじめに

ヤマトシジミ（以下シジミ）は、貝塚から多量の殻が出土することから容易に想像されるように、日本人の食生活を古代から支えてきた。河口付近の浅い砂底に生息し、鋤簾などの簡素な漁法で採捕できるため、非常に優れた漁業資源であるといえる。また、人気のある水産物として比較的高値で取引され、主要汽水域の周辺では、ブランド商品として地域経済を支えている。しかし、利水や治水を目的とした開発や水質悪化により、他の貝類と共に減少傾向が危惧されており、好漁場の形成要因を明らかにして、流域管理に応用することが求められる。

茨城県水戸市の東に位置する涸沼（図-1）は、周囲約 20 km の小さな汽水湖であるが、年間 1,000 トン以上の

シジミが漁獲され、漁場研究のモデル水域として、好適な条件を備えている。那珂川の河口から約 1 km 上流で涸沼川が分岐し、約 8 km の感潮河道を経て涸沼とつながっているが、このような水理構造を持つことによって、涸沼の水質は、潮汐や那珂川流量の影響を受けて変動する（三村ら, 2002）。涸沼川の感潮河道部におけるシジミ資源量は安定しているのに対し、涸沼では年によって著しく変動する（図-3；根本 2002）。極端な低塩分や高塩分が胚の発生を阻害するなど（朝比奈 1941）、諸説が提起されているが、資源変動の原因は特定されていない。

発育初期にプランクトン幼生として浮遊生活を送るシジミのような底生動物は、浮遊期間における生残率が稚貝など幼稚体の発生量とその後の資源量を大きく左右する。浮遊期間におけるシジミの生残率を決定する要因として、水質や捕食者などと共に、生息に適さない水域へ流失する幼生の割合が重要である。特にシジミのように河口域に生息する底生動物の場合、海へ流失する浮遊幼

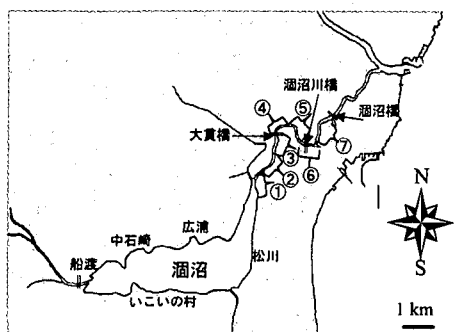


図-1 涸沼流域の概要（①～⑦は水域の区分領域を示す）

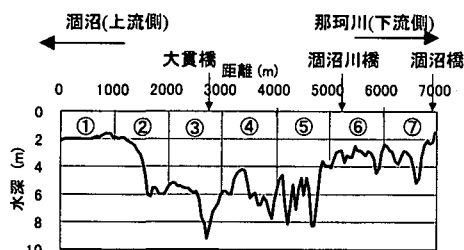


図-2 下流涸沼川（涸沼～涸沼橋）の河床地形

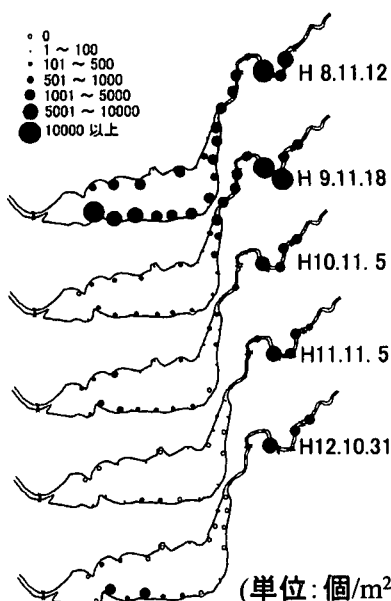


図-3 採泥器によるヤマトシジミ採集量（根本, 2002）

* 正会員 農博（独法）水産総合研究センター 水産工学研究所
** 農修（独法）水産総合研究センター 水産工学研究所

生の割合と水理構造との関係を明らかにする手法を開発し、現状や漁場整備計画の良否について評価することが望まれる。酒沼川（図-2）では、安定生息地である感潮河道において発生したシジミ浮遊幼生は上流の酒沼に供給されるか、下流の外海に流失するか、あるいは感潮河道内に着底すると考えられるが、その数は水理条件によって著しく変動するであろう。

本研究は、酒沼川の感潮河道部においてシジミ稚貝を毎年発生させる仕組みを特定し、それを維持・活用しながら、より大きな漁場面積を有する酒沼において、安定した稚貝の発生を図ることを目的としている。その第一段階として、河床地形と水理に関する現地調査と数値モデルによって酒沼川の特性を明らかにし、さらにシジミ浮遊幼生の塩分選択行動を考慮した粒子モデルを用いて、現状の感潮河道における浮遊幼生の輸送パターンについて検討する。

2. 現地調査の概要

シジミの繁殖期に相当する夏季における酒沼川感潮河道の水理条件を記録するため、自記式測器による観測を2002年7月23日～8月27日に実施した。感潮河道下流域の酒沼橋下流では流速計（COMPACT-EM：アレック電子株式会社）と水温・塩分計（COMPACT-CT：同社製）各1台（河床から0.5 m層に装着）、感潮河道上流端の酒沼湖口では水位計（DIVER：Van Essen Instruments社）を1台（河床から0.5 m）と水温・塩分計3台（河床から0.5、2.0 m及び水面から0.5 m）、さらに感潮河道中流域の大貫橋上流では水位計1台（河床から0.5

m）と水温・塩分計3台（河床から0.5、1.5 m及び水面から0.5 m）をロープに装着した。

酒沼橋から上流の感潮河道における河床の地形を詳細に明らかにするため、DGPS 魚群探知機（本多電子株式会社）を装備した調査船を低速で航行させ、流軸方向の5側線に沿って連続的に測深した。測深データは地理情報システム（ArcGIS：ESRI社製）を用いて編集し、河床地形の立体画像と流軸方向の断面図を作成した。

3. 数値モデルの概要

（1）流動モデル

流動の計算は、マルチレベルモデルを用いて行った。上述の現地観測で得られた河床地形をもとに酒沼川感潮河道を上下流方向に50 m、鉛直方向に1 m間隔で分割した。酒沼橋及び酒沼湖口で観測された時系列データと河床地形を境界条件として与え、流速と水温・塩分を計算した。水平渦動粘性係数は $1.0 \text{ m}^2/\text{s}$ 、水平・鉛直拡散係数はそれぞれ1.0、 $0.001 \text{ m}^2/\text{s}$ 、底面摩擦係数は0.0026として計算を行った。

（2）浮遊幼生モデル

シジミ浮遊幼生の塩分選択行動に関する実験結果（齊藤ら2002）をもとに浮遊幼生の周辺塩分に対する反応的行動をモデル化した。この実験に用いられたシジミは、受精後24時間程度まで遊泳器官を持たない胞胚であったが、その後、面盤（遊泳器官）が発達したD型幼生となり、殻頂の膨出した後期幼生を経て、受精後13日程度で着底した。塩分勾配を与えたシリンドラ（Coombs, 1981）にこれらの供試体を入れ、その後の分布パターン

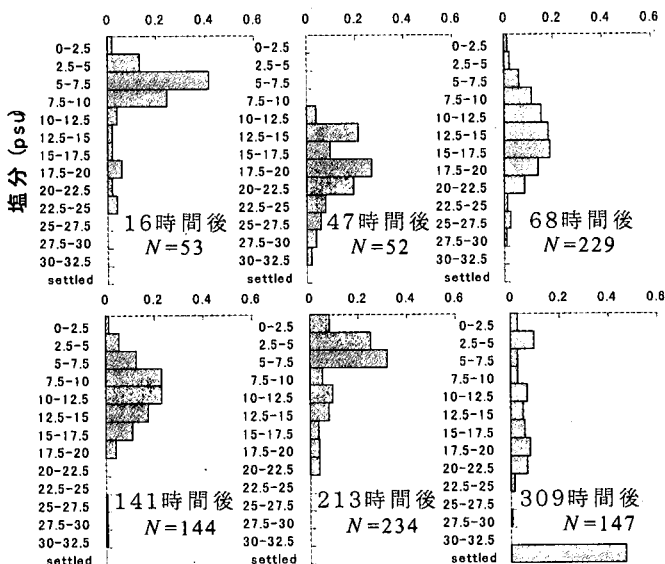


図-4 ヤマトシジミ幼生の塩分選択性（齊藤ら，2002）

から浮遊幼生などによる塩分選択行動について明らかにされた(図-4)。なお、実験の開始に当たり、浮遊幼生などは飼育水と同じ5 psuの層に注入されたので、5 psu前後への供試体の集中は、能動的な選択行動によるのか、受動的に漂っているだけなのか、この実験結果から判断することはできない。本論では実験結果を参考にしながら、浮遊幼生などの塩分選択行動について下記のように類型化した。すなわち受精後20時間までは、面盤を持たない胚であったので、塩分選択性を持たない中性浮遊子とみなし、受精後20~50時間の初期D型幼生は 20 ± 5 psu、50~100時間後のD型幼生は 15 ± 5 psu、100~180時間後の後期幼生は 10 ± 5 psuを好適塩分とした。その後、塩分に対する選択性を失い、260時間後に着底して稚貝になるとした。シジミ幼生は、近傍の塩分しか感知できないとみなして、周囲の塩分が上述したような発生段階別の好適塩分範囲より高い場合は鉛直上向き、低い場合は下向きに移動するものとした。この際、二枚貝幼生の遊泳速度に関する総説を参考に、平均的な遊泳速度である0.3 mm/secを採用した(Wang・Xu, 1997)。

流動モデルで計算された鉛直流速に、シジミ幼生の移動速度を加えて、Euler-Lagrange法による粒子モデルにより4時間毎に移動位置を求めた。河床からの胚の放出(孵化)は、マルチレベルモデルの格子(50 m間隔)に沿って、河床全体から2時間に1個体ずつ放出させた。

4. 結果及び考察

(1) 流動計算の妥当性

図-5と図-6は、それぞれ大貫橋における水温と塩分の計算値と観測値を示す。潮汐の影響を受け、水温と塩分は約25時間周期で大きく変動するが、8月10日~8月15日にかけて塩分の最低値が上昇し、その後、5 psu以下に急激に低下し、再び塩分が8月20日頃から上昇する現象がみられる。その間、塩分・水温の変動幅は共に小さくなっている。このような変動は、那珂川の水が水位の上昇によって涸沼川を逆流し、涸沼まで流入したものと考えられる。本解析では、水温・塩分の観測値と計算値が良く一致しており、涸沼川感潮河道における流動環境について、妥当な解を与えたと考えられる。

(2) 浮遊幼生の移動特性

まず、計算で得られたシジミ浮遊幼生の挙動特性について述べる。受精から20時間後までは、塩分選択性を持たないため、河川流動に受動的な移動を示すが、20~50時間後になると 20 ± 5 psuの範囲を選択するようになる。通常、当水域の塩分はこれより低いので、シジミ幼生は下向きに移動し、河床付近に分布するようになる。しかし、上げ潮時に好適塩分範囲よりも高い塩分の水が感潮河道を遡上すると、浮遊幼生は浮上し、流れに乗っ

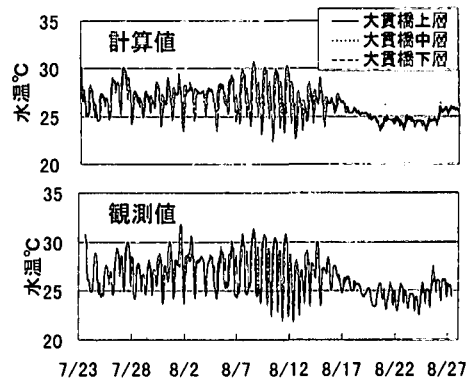


図-5 大貫橋の水温変動に関する計算値と観測値

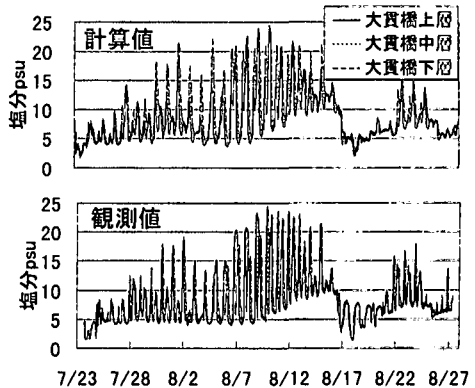


図-6 大貫橋の塩分変動に関する計算値と観測値

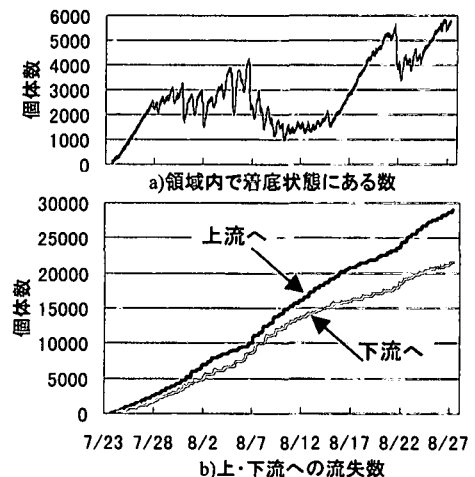


図-7 涸沼湖口~涸沼橋におけるシジミ幼生及び稚貝数の変化

て上流側に運ばれる。このとき上流に移動するに従って周囲の塩分が低くなるので、好適範囲よりも塩分が低くなったところで再び河床付近に移動する。下げ潮時は、涸沼から低塩分水が下流に向かって流れるが、このとき

塩分の低下に反応した浮遊幼生は下向きに遊泳し、河床付近に移動するため、下流に流されることは少ない。このように、浮遊幼生は、上下への遊泳を繰り返しながら、上流の涸沼に向かって運ばれると考えられる。浮遊幼生は、発育が進むに従って、より低い塩分を選択するようになるが、このことは、わずかな塩分の上昇にも反応して浮上するため、一部の浮遊幼生はさらに塩分の低い上流に向かって移動していくが、同時に低塩分の水の中でも浮遊し続けることで、下流方向への分散も促進される。すなわち、発育後期の浮遊幼生は、高い塩分への選択性を示した発育初期の浮遊幼生よりも、より広い範囲に分散する傾向があると考えられる。

図-7 は、涸沼湖口～涸沼橋における浮遊幼生数の合計値 (a 図) 及び上流側と下流側に流出した幼生数の積算 (b 図) を示す。浮遊幼生は、塩分選択行動を示すことによって、高い塩分の水が感潮河道を遡上するときに浮上し、反対に低塩分水が感潮河道を流れるときは下方に泳いで河床近くに着底状態で集中する。このため、上げ潮時にあまり大きくは塩分が上昇しなかった 8 月初頭まで、浮遊幼生の個体数は、潮位に伴って変動しながら、増加傾向を示した。しかし、上げ潮時に塩分が大きく上昇し、それに伴って塩分の最低値が徐々に上昇した 8 月 10～15 日には、涸沼湖口～涸沼橋において着底状態にあった幼生数の増加はみられず、逆に流出する幼生数が増加しており、特に上流側の涸沼への流出が多くみられる。涸沼の塩分が上昇すると、下げ潮のときに感潮河道を流下する水の塩分もあり低くならないため、浮遊幼生は河床付近に集中せず中層や表層を浮遊する。このとき、浮遊幼生は水平方向の流れの影響を受けて分散しやすい状態にあるので、高い塩分の水が感潮河道を遡上するのに合わせて、多くの幼生が涸沼に輸送されと考えられる。このことは、夏のあいだに涸沼の塩分が高く推移した年には、涸沼の中において多数のシジミ稚貝が発生し、翌年の資源量が著しく高くなるという根本 (2002) の指摘と符合している。比較的低塩分で推移した 8 月初頭以前と 8 月後半において、感潮河道の底層で着底状態にあった幼生の数が著しく増加したことは、夏季に涸沼が低い塩分で推移する年でも、感潮河道では浮遊幼生の流失が抑制されて、多くの稚貝が発生する可能性を示唆している。このことは、例えば涸沼の中においてシジミ稚貝があまり発生しなくても、感潮河道では稚貝が確保され、涸沼川全体におけるシジミの再生産機構が維持される可能性を示唆しており、図-3 に示されたように、感潮河道におけるシジミ発生の安定性を説明できるかもしれない。

図-8 は、涸沼湖口～涸沼橋の感潮河道を 1 km 間隔で 7 区間に分割し、それぞれの領域の河床付近において着

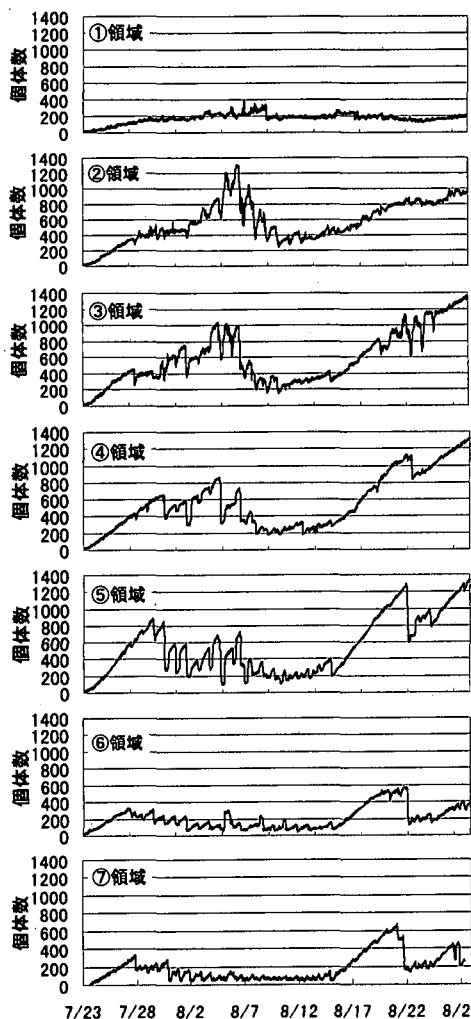


図-8 涸沼湖口～涸沼橋における各領域で着底状態にあった浮遊幼生及び稚貝の積算数

底状態にあった浮遊幼生 (及び稚貝) の積算数を示す。領域①～⑦は感潮河道の上流から下流の 7 区間に対応している。地形の凸凹、高塩分が遡上する程度によって、各領域において着底状態にあった幼生の積算値は、大きく異なっていることがわかる。涸沼湖口付近の領域①では、計算を開始した当初は着底状態にあった浮遊幼生の数が緩やかに増加したものの、8 月以降の増加はみられなかった。河床の起伏に富んだ領域②～④では、8 月初頭までに着底状態にあった幼生の数が著しく増加したが、8 月 10 日までに大きく減少した後、塩分が低下した 8 が中旬以降、再び速やかに回復した。領域⑤において着底状態にあった幼生の数の変動は、領域②～④に類似するが、7 月下旬には減少が始まっていた点で、他の 3 領域とは異なっている。最も下流側の領域⑥及び⑦では、領域①と同様に計算開始直後における幼生数の著しい増

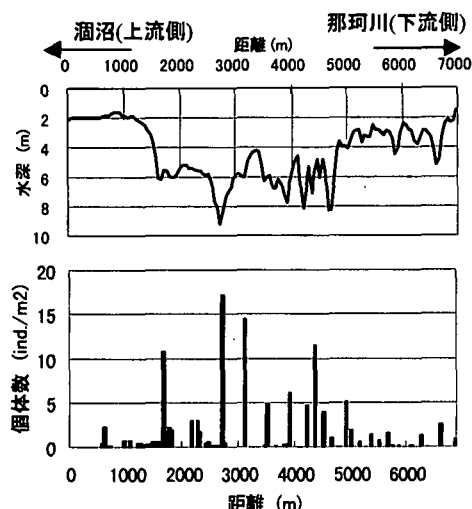


図-9 河床形状と着底状態にある浮遊幼生及び稚貝の関係

加はみられなかったが、8月中旬以降に著しい増加がみられた点で共通していた。

図-9は、計算終了時の8月28日において着底状態にあった浮遊幼生（及び稚貝）の個体数を河床形状と対応させて示している。河床地形が激しい起伏を示す区間の特に深部において、多くの稚貝が集積することが示唆されている。濁沼川の感潮河道は、S字型に蛇行しているが、蛇行の曲がり角において水深が著しく大きくなっており、10m近い水深を示すところもある。これは蛇行する河川に特徴的な、瀬と淵の繰り返しに相当する地形構造であり、淵に相当する部分においてシジミ稚貝が集積すると予測されたことは、感潮河川における蛇行構造の生態学的重要性を示唆している。蛇行する感潮河川では、瀬と淵の形成によって河床が多くの起伏を持つようになり、シジミのように浮遊幼生期を持つ生物の浮遊幼生を効果的に捕捉することによって、浮遊幼生の海への流失が抑えられ、汽水域における生物生産が高められているのかもしれない。しかしながら、これは数値モデルから得られた推測であり、現場での実証的な調査によって裏付けられる必要がある。

5. ま と め

浮遊幼生を中性浮遊子とみなした輸送モデルは、各種の底生動物において提案されてきた(Hill, 1990; Mann and Evans, 1998; 鶴田ら 2002)。それらのモデルは浮遊幼生の輸送に対する流れのはたらきについての示唆は得られるものの、浮遊幼生による環境の刺激への反応と選

択的行動を見逃している点では、現実的であるとはいえない。本研究では、実験結果に基づいて浮遊幼生による塩分選択行動を取り入れ、感潮河川におけるヤマトシジミ浮遊幼生の輸送にみられる特性について検討したところ、滞留・遡上・一時的着底・再浮上などの興味深い挙動が示された。また、稚貝の安定的な発生をもたらす着底状態にある幼生や稚貝の集積は、感潮河川の蛇行に伴う河床の起伏によって支えられている可能性が示唆された。本手法は、浮遊幼生の輸送の観点から漁場整備を提案するのに有用であると考えられるが、計算結果から予測される生態学的諸現象については、現地調査などによる実証が必要である。

謝辞：現地調査では、大沼漁業協同組合に協力頂いた。本研究は、(独)水産工学研究所、茨城県内水面試験場及び茨城大学の共同研究の一部であり、また、農林水産省委託プロジェクト研究「自然共生：流域圏における水循環・農林水産生態系の自然共生型管理技術の開発」に基づいて実施したものである。関係諸氏に謝意を表す。

参 考 文 献

- 朝比奈英三 (1941): 北海道におけるシジミの生態学的研究, 日水誌, 10巻3号, pp. 146-152.
- 齊藤 肇・中山和子・渡辺 淳・村上知里・小山利郎・中村義治 (2002): ヤマトシジミ *Corbicula japonica* 幼生の個体発生に伴う塩分選択性の変化に関する室内実験, 第16回日本ベントス学会大会要旨集, p. 17.
- 根本隆夫 (2001): 濁沼におけるヤマトシジミの繁殖に及ぼす環境条件, 第3回全国シジミ・シンポジウム in 天塩—シジミを取り巻く環境を考える—シンポジウム資料集, 全国シジミ・シンポジウム実行委員会, pp. 35-39.
- 三村信男・信岡尚道・三日市圭史・布目彰一・横木裕宗・根本隆夫 (2002): 水質改善に向けた感潮河川支川・湖沼の塩分動態の解析—濁沼川・濁沼を対象として—, 海岸工学論文集, 第49巻, pp. 336-340.
- Coombs, S. H. (1981): A density-gradient column for determining the specific gravity of fish eggs, with particular reference to eggs of the mackerel *Scomber scombrus*, Mar. Biol., Vol. 63, pp. 101-106.
- Hill, A. E. (1990): Pelagic dispersal of Norway lobster *Nephrops norvegicus* larvae examined using an advection-diffusion-mortality model, Mar. Ecol. Prog. Ser., Vol. 64, pp. 217-226.
- Mann, R. and D. Evans (1998): Estimation of oyster, *Crassostrea virginica*, standing stock, larval production and advective loss in relation to observed recruitment in the James River, Virginia, J. Shellfish. Res., Vol. 17, No. 1, pp. 239-253.
- Wen-Xiong W. and Z. Z. Xu (1997): Larval swimming and postlarval drifting behavior in the bivalve *Sinonovacula constricta*, Mar. Ecol. Prog. Ser., Vol. 148, pp. 71-81.