

港湾空港技術研究所 資料

TECHNICAL NOTE
OF
THE PORT AND AIRPORT RESEARCH INSTITUTE

No.1355 August 2019

鹿島灘におけるチョウセンハマグリが生残に関する物理環境

柳嶋 慎一・中村 聡志・伴野 雅之・山崎 幸夫・半澤 浩美・宇田川 徹
杉松 宏一・南部 亮元・澤田 英樹・武若 聡

国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所

National Institute of Maritime,
Port and Aviation Technology, Japan

目 次

要 旨	3
1. はじめに	4
2. 既往の研究	4
3. 観測場所と方法	11
3.1 観測施設および観測方法の概要	11
3.2 検討上の仮定	12
4. 鹿島灘におけるチョウセンハマグリの実態	13
5. チョウセンハマグリの資源加入のための条件検討	14
5.1 産卵	14
5.2 浮遊幼生の沿岸方向移動	16
5.3 浮遊幼生の岸沖方向移動および沈着	18
5.4 稚貝の汀線近傍への移動	22
5.5 幼・成貝の沖向き移動	29
5.6 大量な資源加入のための条件検討	30
5.7 今後の課題	31
6. おわりに	32
謝辞	32
参考文献	32
付録	34

Physical Environment Concerning Hard Clam's(*Meretrix lamarckii*) Survival at Kashima-nada Open Sea

Shin-ichi YANAGISHIMA* · Satoshi NAKAMURA** · Masayuki BANNO*** ·
Yukio YAMAZAKI**** · Hiromi HANZAWA***** ·
Toru UDAGAWA***** · Koichi SUGIMATSU***** · Ryogen NAMBU***** · Hideki SAWADA***** ·
Satoshi TAKEWAKA*****

Synopsis

Hard clam(*Meretrix lamarckii*) is one of the environmentally and economically valuable species at the Kashima-nada coast, which faces the Pacific Ocean. For survival of the clam, the key issues are assumed to be spawning, larva's landing on the bottom in the shallow water area, shoreward movement of young shell, and seaward movement of adult shell although the importance of the shoreward shell movement is not confirmed. The importance of the shoreward shell movement and the physical environments for the other key issues were studied on the basis of the field data of waves, currents, water temperature, sediment size and bathymetry from 1987 to 2016 obtained at the Hazaki Oceanographical Research Station located at the Kashima-nada coast.

The appropriate water temperature for the spawning ranged between 1.0 to 2.3 degrees below and between 0 and 1.0 degree above the 30-year mean water temperature. Furthermore, the sudden increase in water temperature following a water temperature decrease induced by an upwelling is assumed to be a trigger for the spawning. One of the conditions for the larva's landing on the bottom in the shallow water area is that the larvae are not to be transported out of the Kashima-nada coast. For that, a unidirectional longshore current is required not to last long. Other condition is likely to be that the developments of internal waves, which move the larvae offshore, are suppressed. The importance of the shoreward movement of young shell toward the shoreline was confirmed by comparing the number of the shell observed near the shoreline and a morphological parameter representing the shoreward sediment movement.

Key Words: kashima-nada, hard clam, survival, spawning, floating larvae, juvenile, water temperature, coastal upwelling, longshore current, internal wave, topographic change, longshore bar

* Ex-researcher, Coastal and Estuarine Sediment Dynamics Group
** Head of group, Coastal and Estuarine Sediment Dynamics Group
*** Senior Researcher, Coastal and Estuarine Sediment Dynamics Group
**** Ibaraki Prefectural Fisheries Research Institute
***** Fisheries Promotion Division, Ibaraki Prefecture
***** Senior Researcher, Aquatic Life and Environment Research Group, Aquaculture and Fishing Port Engineering Department, National Research Institute of Fisheries Engineering
***** Senior Researcher, Research Center for Fisheries and Environment in the Ariake and Yatsushiro bays, Seikai National Fisheries Research Institute
***** Program-specific assistant professor, Maizuru Fisheries Research Station, Field Science Education and Research Center, Kyoto University
***** Professor, Faculty of Engineering, Information, and Systems, University of Tsukuba
3-1-1 Nagase, Yokosuka, 239-0826 Japan
Phone : +81-046-844-5051 Fax : +81-046-844-1274 e-mail: hors@p.mpat.go.jp

鹿島灘におけるチョウセンハマグリの生残に関する物理環境

柳嶋 慎一*・中村聡志**・伴野雅之***・
山崎幸夫****・半澤浩美*****・
宇田川徹*****・杉松宏一*****・南部亮元*****・澤田英樹*****・
武若 聡*****

要 旨

チョウセンハマグリ (*Meretrix lamarckii*) は、太平洋に面した鹿島灘海岸における重要な水産資源である。チョウセンハマグリの生き残りにおいて、産卵、浅海域における浮遊幼生の沈着、稚貝の汀線移行、成貝の沖合移行が重要と考えられる。本資料は、鹿島灘海岸にある波崎海洋研究施設他で1987年から2016年までに観測された物理環境（波、流れ、水温、地形変化、底質粒径）と、産卵、浮遊幼生、沈着、汀線移行、沖合移行のチョウセンハマグリの生活史を考慮した生残との関係を検討した。

チョウセンハマグリの産卵には最適水温があり、30年平均水温に比べ平均1℃以上高くならない方が良く、沿岸湧昇による水温の低下が平均-1～-2.3℃の範囲が最適水温と考えられる。沿岸湧昇による水温低下後の急激な水温上昇をきっかけに、チョウセンハマグリは産卵していると考えられる。チョウセンハマグリの浮遊幼生が沈着するための条件の一つは、浮遊幼生が鹿島灘海域外に運ばれない事であり、そのためには、一方向の沿岸流が長く続かない事が必要である。浮遊幼生は、内部波によって沖向きに運ばれるので内部波は発生しない事が望ましいと考えられる。汀線付近で観察された稚貝の数と底質の岸向き移動を表すパラメータを比較することによって、稚貝の汀線への移動の重要性が確認された。チョウセンハマグリ幼・成貝は、沖のバーの沖向き移動に伴って主たる棲息水深である6m付近に移動すると考えられる。

キーワード：鹿島灘，チョウセンハマグリ，生残，産卵，浮遊幼生，稚貝，水温，沿岸湧昇，沿岸流，内部波，地形変化，バー

* 元沿岸環境研究領域沿岸土砂管理研究グループ特別事務員
** 沿岸環境研究領域沿岸土砂管理研究グループ長
*** 沿岸環境研究領域沿岸土砂管理研究グループ主任研究官
**** 茨城県水産試験場
***** 茨城県水産振興課
***** (国研)水産研究・教育機構水産工学研究所水産土木部生物環境グループ主任研究員
***** (国研)水産研究・教育機構西海区水産研究所有明海・八代海漁場環境研究センター主任研究員
***** 京都大学フィールド科学教育研究センター舞鶴水産実験所特定助教
***** 筑波大学システム情報系教授

〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1 港湾空港技術研究所
電話：046-844-5051 Fax：046-844-1274 e-mail: hors@p.mpat.go.jp

1. はじめに

鹿島灘はまぐり（チョウセンハマグリ *Meretrix lamarckii*）は、鹿島灘における重要な水産資源である。

図-1.1は、1905年から2001年までの、鹿島灘におけるチョウセンハマグリ漁獲量の変動を示している（二平ら、2004）。この図から、漁獲量は一定ではなく、多い時には10,000トンを超すのに対し、少ない時には数トンまで減少するとともに最近では、少ない漁獲量が継続していることがわかる。

茨城県水産試験場（以後、茨城水試と呼ぶ）は、チョウセンハマグリ資源状況の把握するため、鹿島灘の操業海域全域に106の定点を設け、調査用小型貝桁網による採集調査を毎年実施している。

図-1.2は、2015年の採集調査結果で、チョウセンハマグリが生まれた年（以後年級と呼ぶ）毎のチョウセンハマグリ資源量（操業海域におけるチョウセンハマグリ推定棲息個数）の変化を示している。年齢の推定は、半澤ら(2017)の方法による。チョウセンハマグリ資源量は1993年以前および2008年以降生まれが多いのに対し、1999年から2004年の間はほとんど資源に加わっていない。

二平ら（2004）は、「著しいチョウセンハマグリ漁獲量の変動は卓越年級群の出現に依存しており、稚貝の発生量変動が大きいことを示している」と述べている。

図-1.3は、二平ら（2004）が説明した、チョウセンハマ

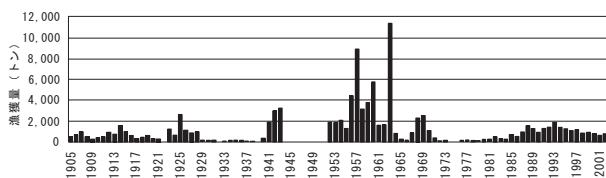


図-1.1 鹿島灘におけるチョウセンハマグリ漁獲量変動（二平ら2004）

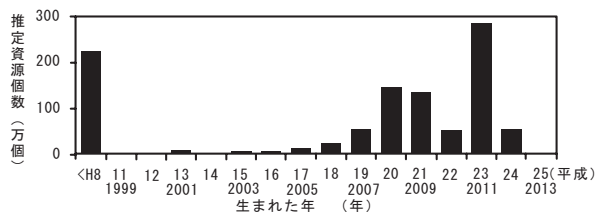


図-1.2 生まれた年毎のチョウセンハマグリ資源量（2015年調査）

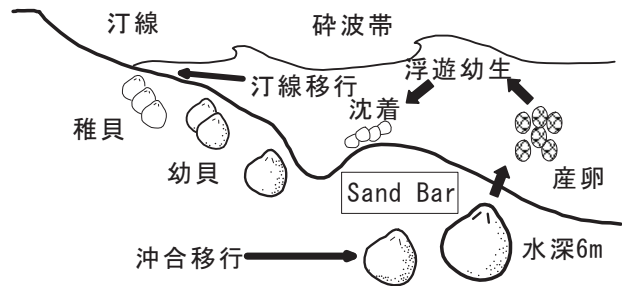


図-1.3 チョウセンハマグリ生活史概要（二平ら2004）

グリ生活史を示している。チョウセンハマグリは生活史の中で碎波帯の様々な場所を利用しており、漁獲対象となるチョウセンハマグリ成貝の量を考える上で、産卵、浮遊幼生、沈着、汀線移行、沖合移行の各ステージにおける鹿島灘の物理環境が重要と考えられる。

二平ら（1998）は、海岸線の連続距離と稚貝の生残について検討し、浮遊幼生が沈着可能な連続的な海岸距離の必要性を指摘している。しかしながら、浮遊幼生ステージを含め、各ステージにおけるチョウセンハマグリ生残と物理環境との関係は明らかになっていない。

そこで、チョウセンハマグリ生残機構を明らかにするために、1987年から2016年までの間に、波崎海洋研究施設（以後HORSと呼ぶ）他で観測した物理環境（水温、波、流れ、海底地形変化、底質）と茨城水試で毎年実施している汀線付近の稚貝調査の結果、沖合での資源量調査結果、漁獲量調査結果および水産工学研究所（以後、水工研と呼ぶ）が実施した浮遊幼生調査結果との関係を検討した。具体的には、チョウセンハマグリ生活史における汀線移行の重要性については十分把握されていないので、本研究で検討するとともに、産卵、浮遊幼生、沈着についてはその物理条件を検討した。

2. 既往の研究

チョウセンハマグリ産卵に関する研究は、茨城水試によって数多く行われている。

高島（2001）によると、那珂湊定置水温（水産試験場前海岸の水温で10時に測定）を用い、1月から産卵日までの、'79、'80、'91、'92、'93、'94年の積算温度を計算すると2000度で、成熟有効積算温度（11℃以上の10時水温の積算値）を計算すると、300度であり（ここで、11℃＝生物学的零度）、鹿島灘におけるチョウセンハマグリ産卵の盛期は、7月、8月であると述べている。

真岡（1967）は、誘発刺激（昇温）によるチョウセンハマグリ放精・産卵状況を試験したところ、図-2.1に示すと

り、誘発刺激前の水温が高い時（赤線で示す昭和42年；約23度）には、放精・産卵が起きず、成員を誘発刺激前に、20～21℃の低水温に保っておくことが放精・産卵に有効（緑線で示す昭和41年、青線で示す昭和42年2回目）であると述べている。

相良ら（1967）は、産卵前の初期水温を5℃きざみで変化させ、産卵状況を試験した。その結果を図-2.2にまとめたが、産卵には20℃から約30分間に28～29℃まで昇温させる温度刺激が有効で、水温は20℃が適しそれよりも高くても低くても産卵が起きないことを確認している。

産卵には直接関係しないものの、山田・藤本（1962）は、旬別水温とチョウセンハマグリ発生量との関係を調べている。その結果を図-2.3に示すが、チョウセンハマグリが大発生した年の8月の平均水温は21～22℃であるのに対し、発生が少なかった年の平均水温は23～24℃であり、8月の低水温が発生に対し好影響を与えていると結論している。

真岡（1967）は水槽内の観察から、幼生の浮遊期間は10～12日、沈着時の大きさは約200μmであると述べている。日向野・安永（1990）は、水槽内での浮遊幼生の遊泳行動の観察から、ふ化後3日間程度で浮遊幼生は表中層から底

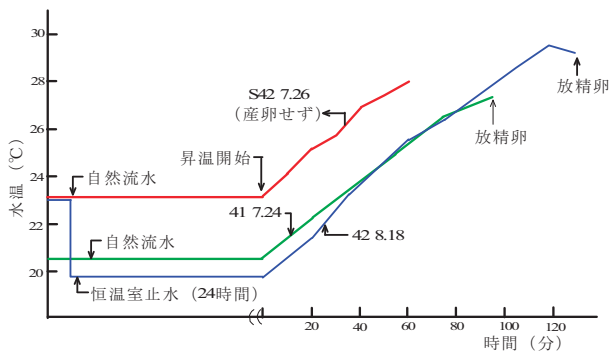


図-2.1 温度刺激による放精、産卵の状況
(真岡 1967)

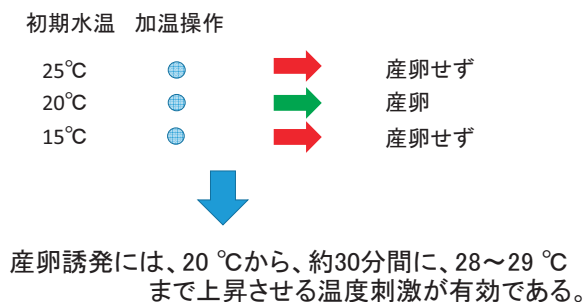


図-2.2 初期水温と産卵の関係
(相良ら 1967 を元に作成)

層に移行すると推察される、と述べている。

児玉・市毛（1980）は水槽内で浮遊幼生の成長と水温の関係を調べ、高水温（25～30℃）で幼生の成長が早くなることを報告している。

鹿島灘におけるチョウセンハマグリ浮遊幼生の調査は澤田ら（2011）によって HORS において 2003 年から 2005 年まで継続的に高頻度で実施されたけれど、確認された浮遊幼生は少なかった。

茨城水試は 2012 年より、鹿島灘における空間的な浮遊幼生調査を開始した。図-2.4 は、鹿島港から北側の海岸において、2012 年 7 月～9 月に沖合 500m の地点で、北原式定量プランクトンネットによる海底 1m からの鉛直曳き採取方法でサンプリングを行い、リアルタイム PCR 法で分析した

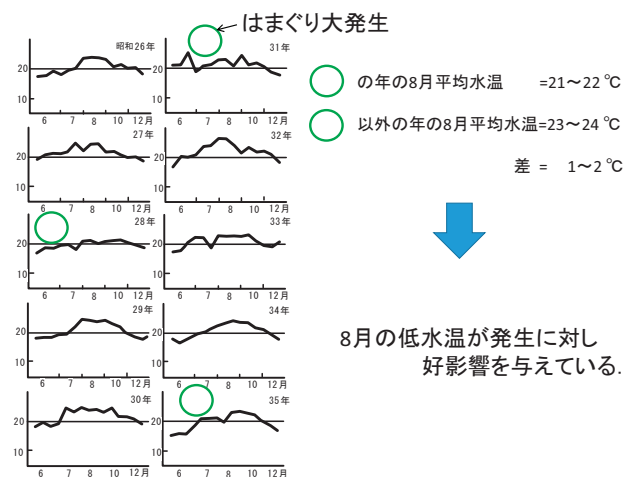


図-2.3 旬別水温とはまぐり発生年
(山田・藤本 1962 に加筆)

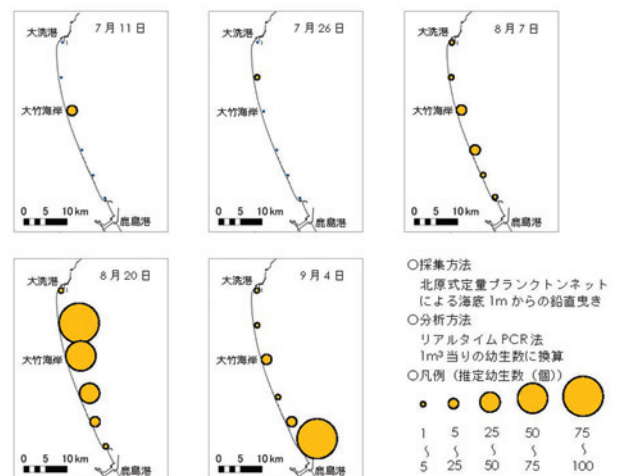


図-2.4 2012 年の浮遊幼生の調査結果（茨城水試 2014）

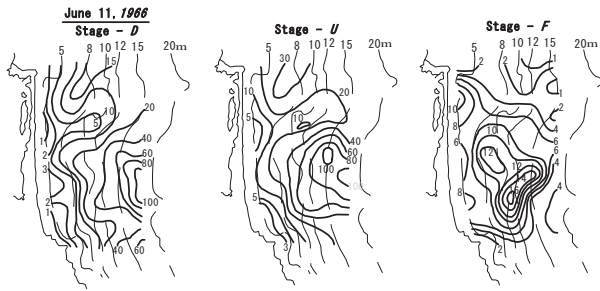


図-2.5 発育段階別の浮遊幼生の密度分布
(佐々木 1991)

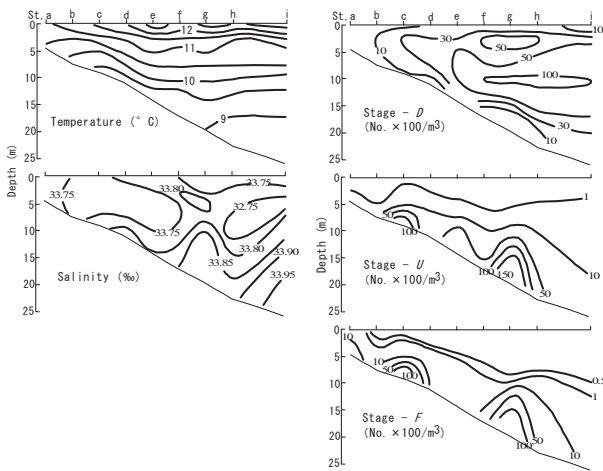


図-2.6 水温、塩分、および発育段階別浮遊幼生の鉛直分布 (佐々木 1991)

浮遊幼生の調査結果を示している(茨城水試 2014)。浮遊幼生は、8~9月に多く、7月は少ない傾向がうかがえる。

浮遊幼生の沿岸方向移動に関しては、日向野ら(1994)が1992年にHORSで採取したチョウセンハマグリ稚貝の個数と前年7~8月の沿岸流との検討から、浮遊期の流れが弱い年に、チョウセンハマグリ稚貝の発生が多いように思われる、と述べている。また、1993年にHORSで採取したホッキガイ稚貝の個数とその年の3~4月の沿岸流の検討から、流去方向が反転する時期に生まれた浮遊幼生が一定方向に流されないで留まった結果が、稚貝の大量発生に現れたと推測される、と述べている。

浮遊幼生の移動を検討する上で参考になりそうなウバガイ(ホッキガイ)に関する研究を以下に示す。

佐々木(1991)は、福島県の磯部海岸において、ウバガイ浮遊幼生の発育段階別密度に関する調査を行い(図-2.5、図-2.6)、ウバガイの浮遊幼生は、沖合に一旦運ばれた後、一部が沿岸流の分岐に乗って漁場域に輸送、集積される。と述べ

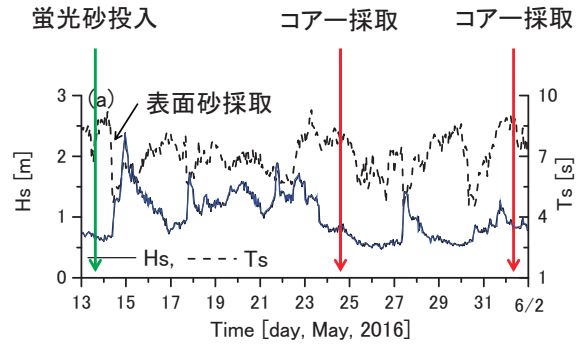


図-2.7 蛍光砂を用いた底質移動調査時の波浪変化および調査日(2016年、鈴木ら 2017b に加筆)

ている。

中村(1991)は、福島県の磯部海岸においてウバガイの大量発生と沿岸流による浮遊幼生の沿岸輸送について検討を行い、流速変動の均衡が沿岸方向に保たれ浮遊幼生が漁場から遠く離れた海域に輸送されないことが大量発生の水理学的な必要条件であると、述べている。

はまぐり浮遊幼生沈着時の大きさは、真岡(1967)によって200 μ mであることが分かっているが、浮遊幼生の着底時期、着底場所に関する論文は見当たらない。

浮遊幼生の沈着に関連すると考えられる蛍光砂を用いた底質の移動に関する研究を鈴木ら(2017a, 2017b, 2018)はHORSにおいて、沖のバーが存在するケースと存在しないケースについて行っている(調査方法の詳細は、文献参照)。

図-2.7は、2016年調査時の棧橋先端における有義波高と有義波周期の変化を示している。調査期間中、有義波高は0.60 mから2.39 mまで変動し、14日23時(蛍光砂投入から33時間後)に最大値を観測した。有義波周期は4.7 sから9.2 sまで変動し、14日高波浪となる直前に急激に周期が短くなっていた。期間を通じて、南寄りの波(大洗方向への流れ)が多く、比較的波高が高い時は北寄りの波であった。

図-2.8は、調査時の断面地形と蛍光砂投入地点を上段に、蛍光砂の調査結果を下段に示す。この時は、岸沖方向距離200m付近にバーが、70m付近にインナーバーが存在した。バーよりも沖側において、赤色蛍光砂はゆっくり岸側に移動し、6日を経過した後も表面に残っている。トラフよりも岸側の蛍光砂(ピンク、黄色)は、開始1時間後に拡散しトラフまで到達するけれど、バーを超えて沖には移動していない。つまり、バーが存在する場合、表面の砂はバーを超えて岸沖方向に移動しないことが分かる。

図-2.9は、コアサンプルに含まれる蛍光砂の分布結果から判断した、砂の岸沖方向移動に関する模式図を示している。表面砂の移動と同様に、バーが存在するとバーよりも

沖側の蛍光砂はトラフを超えて陸側に移動せず、バーより陸側の蛍光砂はバーを超えて沖側に移動しない事が分かる。

図-2.10 は、2017 年調査時の栈橋先端における有義波高と有義波周期の変化を示している。観測当初は波高 1m 以下の低波浪が続いていたが、5 月 13 日から 15 日にかけて波高 2m 程度の波が来襲し、その後 18 日まで 1.5m 程度の波

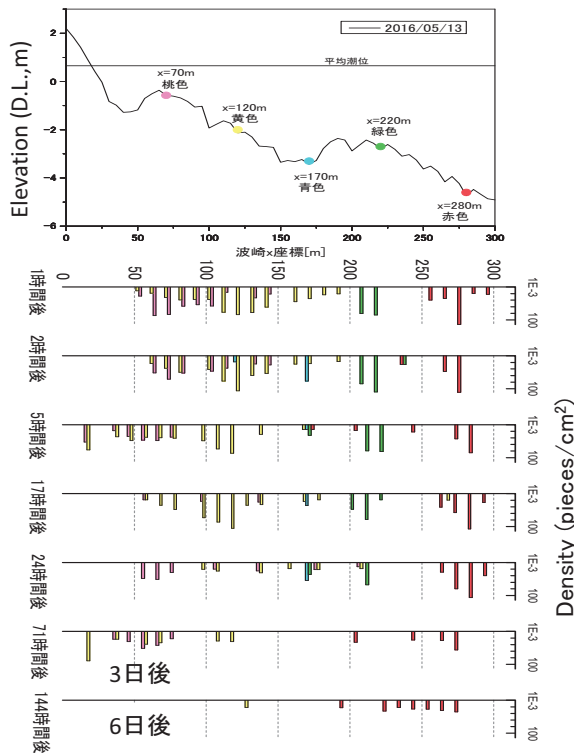


図-2.8 調査時の断面地形と蛍光砂投入地点（上段）と表面砂に含まれる蛍光砂調査結果（下段，2016 年，鈴木ら 2017a に加筆）

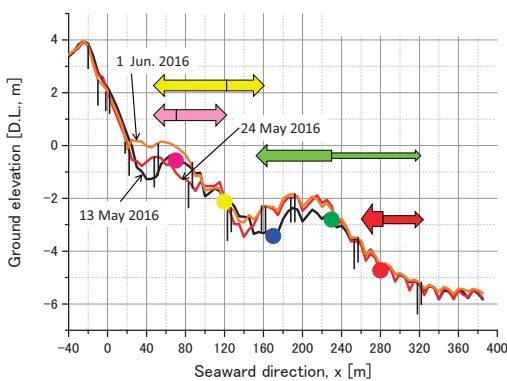


図-2.9 コアサンプル採取位置（黒線）と各色蛍光砂移動の模式図（2016 年，矢印は移動範囲を示す）

浪が継続した。波向きは、低波浪時には南寄り、高波浪時にはほぼ海岸線に直角方向であった。

図-2.11 は、調査時の断面地形と蛍光砂の投入位置を上段に、蛍光砂の岸沖分布を下段に示している。この時の断面地形はほぼ一様勾配で、バーは存在しない。

最も陸側に投入した緑色蛍光砂は、カウント数は少ないものの沖側まで分布している。一方、最も沖に投入した赤色蛍光砂は、汀線付近まで分布している。中間の位置に投入した黄色蛍光砂も全域に分布している。つまり、バーが存在しない断面地形の場合には、沖の砂は汀線付近まで移動する事が分かる。以上の結果から、比較的静穏な条件においては、バーの有無によって砂の岸沖移動状況は異なることが明らかになった。

茨城水試では、1960 年代から鹿島灘の汀線付近において、稚貝の分布密度調査を実施している。

図-2.12 は、鹿島港が建設される前の 1962 年から 1971 年

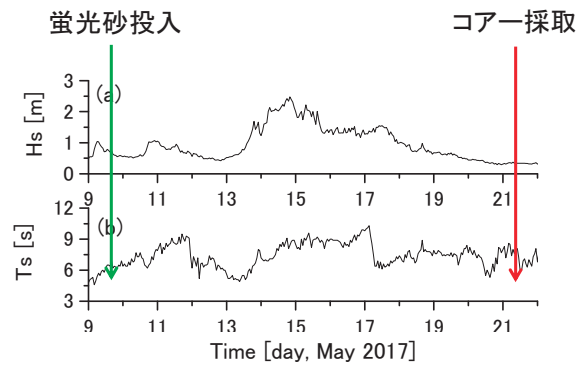


図-2.10 蛍光砂を用いた底質移動調査時の波浪変化および調査日（2017 年，鈴木ら 2018 に加筆）

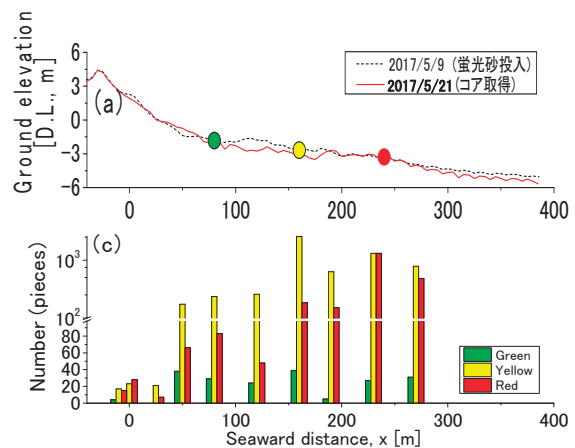


図-2.11 2017 年調査時の断面地形と蛍光砂投入地点（上段）とコアに含まれる蛍光砂の岸沖分布（下段）

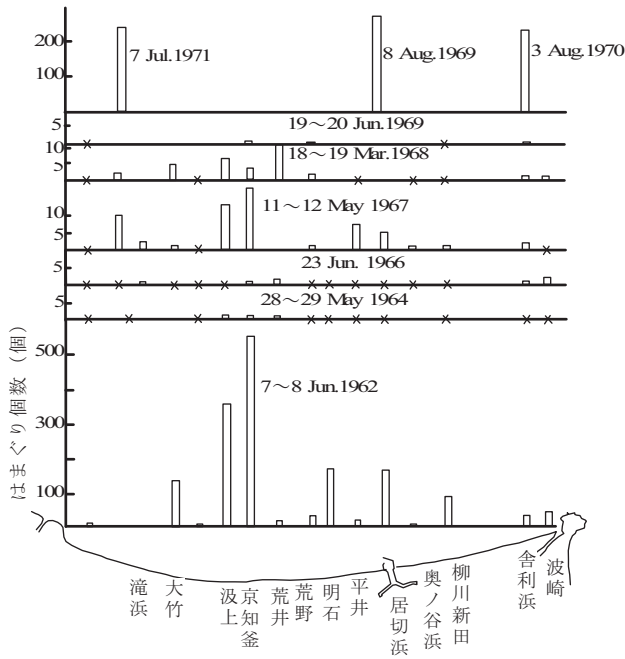


図-2.12 はまぐり稚貝の分布 (福田 1976)

の調査結果 (福田, 1976) を示している. 1962年には, チョウセンハマグリ稚貝は鹿島灘全域に分布し, 特に鹿島灘中央よりもやや北側の海岸で稚貝の数が多くなっている. と
ころが2年後の1964年, 4年後の1966年には, チョウセンハマグリ稚貝は非常に少なくなっている.

根本ら (2009) は, 1974年生まれ (1974年級と呼ぶ) から2004年級までの汀線におけるチョウセンハマグリ稚貝の分布密度調査結果を, 半澤 (2017) は, 2005年級から2014年級までの汀線におけるチョウセンハマグリ稚貝の分布密度を報告している. その結果によると, 汀線付近のチョウセンハマグリ稚貝の生息密度は年毎に激しく変化し, 1989, 1993, 2012, 2014年級は多かった. 一方, 1995~2000年級, 2002~2003年級, 2011年級の稚貝は非常に少なくなっていた.

汀線付近の稚貝の分布域に関する調査は, 福田 (1976), 半澤・山崎 (2011) によって行われている.

図-2.13は, 福田 (1976) の調査結果を示し, 砂嘴状地形の発達状況と稚貝分布の等密度線は良く適合しており, またこの地形は餌料条件等の点から稚貝が生育するために適した環境にあるだろうと述べている.

図-2.14は, 半澤・山崎 (2011) がヘッドランドに挟まれた3海岸で調査を行った結果を示している. 図中の●印は, 稚貝がいた地点, ○印は稚貝がいなかった地点を示す. 稚貝はインナーバーと砂嘴状地形がみられた砂浜に分布し, 玉田海岸の南側のように反射的な砂浜には分布しないと述べている.

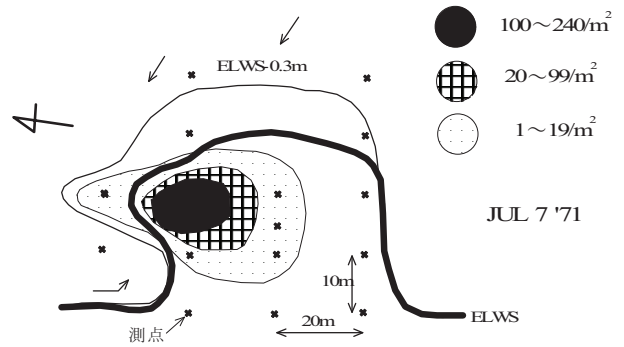


図-2.13 上釜地先汀線におけるチョウセンハマグリ稚貝の分布様式と海岸地形, *印調査地点 (福田 1976)

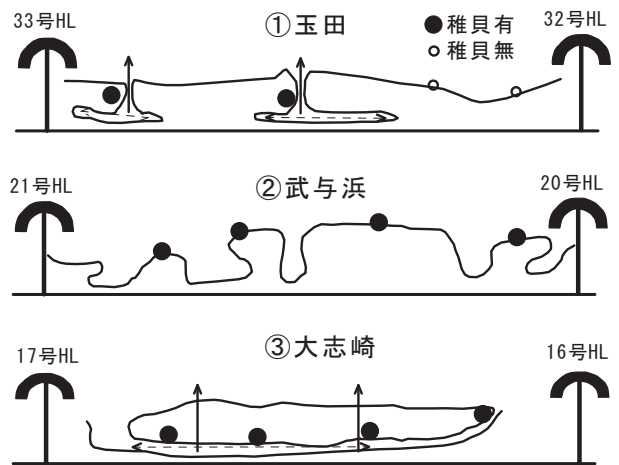


図-2.14 調査対象としたヘッドランドに挟まれた砂浜海岸の地形の模式図 (半澤・山崎 2011 に加筆)

稚貝の汀線域付近における岸沖移動に関する調査は, 茨城水試により大洗サンビーチ海岸で行われている. 大洗サンビーチ海岸におけるチョウセンハマグリ稚貝の空間分布 (茨城水試, 2005) を付録図-A.1に示している. 2002年10月7日に汀線にいた稚貝は, 翌2003年2月25日には汀線からいなくなると共に, 沖合で確認されるようになる. そして, 5月19日になると稚貝は沖合にはいなくなり, 再び汀線付近で稚貝は確認されるようになる. このように, 春季~秋季に汀線付近にいたチョウセンハマグリ稚貝は, 冬季になると水深1~2mに移動する. そして, 春季になると, チョウセンハマグリ稚貝は再び汀線付近に戻ってくる. ただし, 2003年秋季から2004年冬季のように, チョウセンハマグリ稚貝が沖に移動しない場合もある.

汀線付近の地形変化については, HORS における加藤・柳嶋 (1992) の研究があり, 図-2.15は, 台風通過に伴う汀線付近の断面地形変化を示している. 9月12日から14日

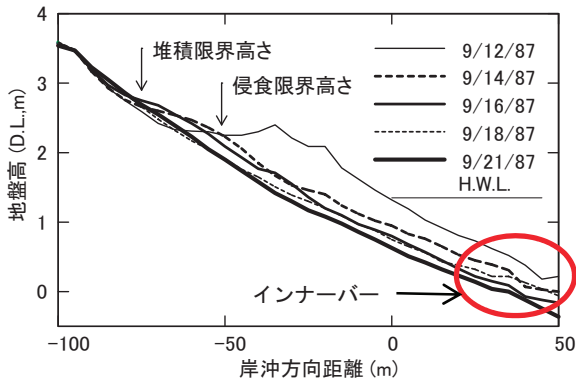


図-2.15 台風8713号来襲時のバームの侵食 (加藤・柳嶋 1992 に加筆)

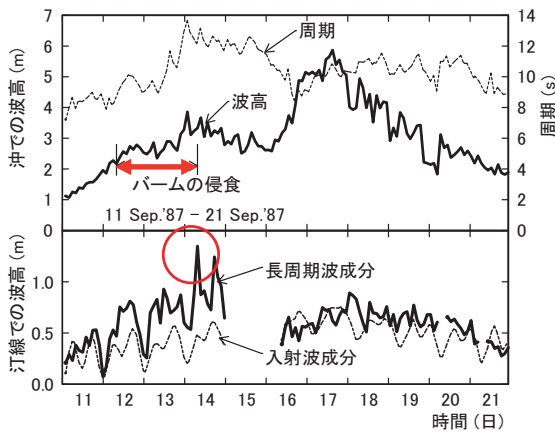


図-2.16 台風8713号来襲時の波浪 (加藤・柳嶋1992)

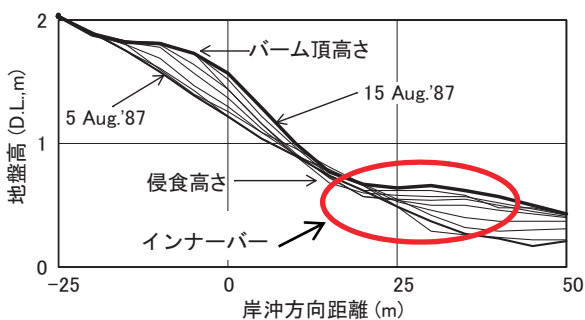


図-2.17 バームの形成例 (加藤・柳嶋 1992 に加筆)

の間に、バーム付近はほとんど侵食され、チョウセンハマグリ稚貝が分布する干潮時汀線 (D.L.,0.0m, 赤丸囲み) 付近も侵食されている。

図-2.16は、図-2.15に示す侵食が生じた時の鹿島港波浪を上段に、汀線付近での長周期波成分 (周期30s以上) およ

び入射波成分 (周期30s未満) の波高を下段に示している。バームが侵食されたのは鹿島港の沖波が極大になる時より3日早く (図中の赤矢印)、下段に示す汀線付近の長周期波が極大になった時 (図中赤丸) である。つまり、荒天時のバーム侵食の直接的外力は、長周期波であると、加藤・柳嶋は結論している。

図-2.17は、鹿島港の沖波波高が1m以下の穏やかな状態が継続し、バームが形成された事例 (加藤・柳嶋, 1992) を示している。バームの形成とともに、稚貝が分布するインナーバー (図中赤丸囲み) も形成される事が分かる。

柳嶋 (2016) の研究により汀線付近の空間的な地形および底質粒径の変化に関し以下の事が分かっている。

- (I) 長周期波の遡上によって、汀線付近は沿岸方向に一樣に侵食される。
- (II) 長周期波による侵食後、底質粒径は、波の遡上端で細かく (0.18mm)、沖に向かうほど粒径は大きくなり、干潮時汀線付近で中粒径 (0.3mm) となる。
- (III) 穏やかになると砂の岸方向への移動に伴って地形は三次元的になり、巻き波砕波が生じる範囲の底質は中粒径に、崩れ波砕波する範囲は小粒径になる (付録図-B.1 参照)。

福田 (1976) は、チョウセンハマグリ成貝はバー頂部およびその沖側斜面にかけて密な棲み場所を形成し、成貝が棲む水深に幼・稚貝はほとんどいないと述べている。

藤本 (1959) は、空間的なチョウセンハマグリ分布調査から、チョウセンハマグリが生長に伴って沖合へ移動することを示している。

図-2.18は、日向野 (2004) がHORSにおいて調査した海底地形変化とチョウセンハマグリ分布様式の変化を示している。調査結果を基に、日向野は、チョウセンハマグリは、細かい砂の移動に近い挙動を示して移動し、侵食によって生じた新たな瀬 (バー) を棲み場所とする (瀬の沖への移動に伴い、チョウセンハマグリも沖に移動し分布する)、と述べている。

バーの岸沖方向への移動に関しては HORS における栗山 (2001) の研究があり、図-2.19は、バー頂部の移動と底質移動との関係を示す模式図である。上段は、鹿島灘における波の強さの季節変化を示している。中段は上段で(a)で示した期間のバーの移動を、下段は(b)で示した期間のバーの移動を示している。波の強い1月~4月の間、バー部分の砂は沖向きに移動するので、バーは発達しつつ沖へ移動する。波の弱い夏場にバーは変化しない。そして、台風の通過などで波が強くなる9月~12月に、バーは更に沖に移動するものの規模は減少する。ただし、トラフ部分の砂は岸向きに移動しているため、断面地形は下段の細実線から中段の破線へ

と復活する．と栗山は述べている．

根本ら(2009)は、チョウセンハマグリ稚貝の分布密度

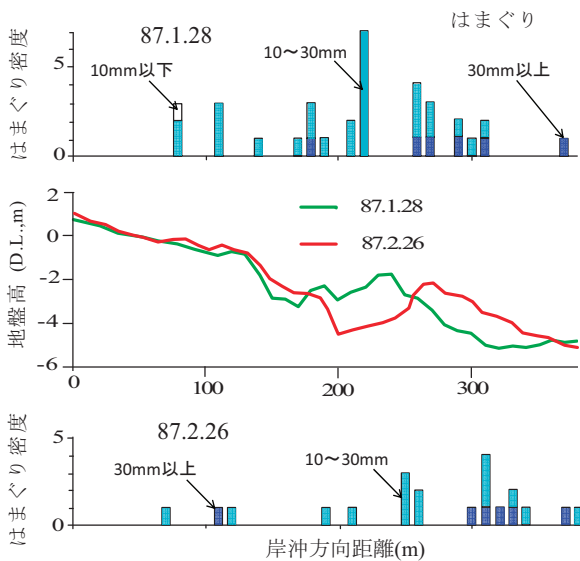


図-2.18 大規模な海底地形変化とチョウセンハマグリ分布様式の変化(日向野 2004 をもとに作成)

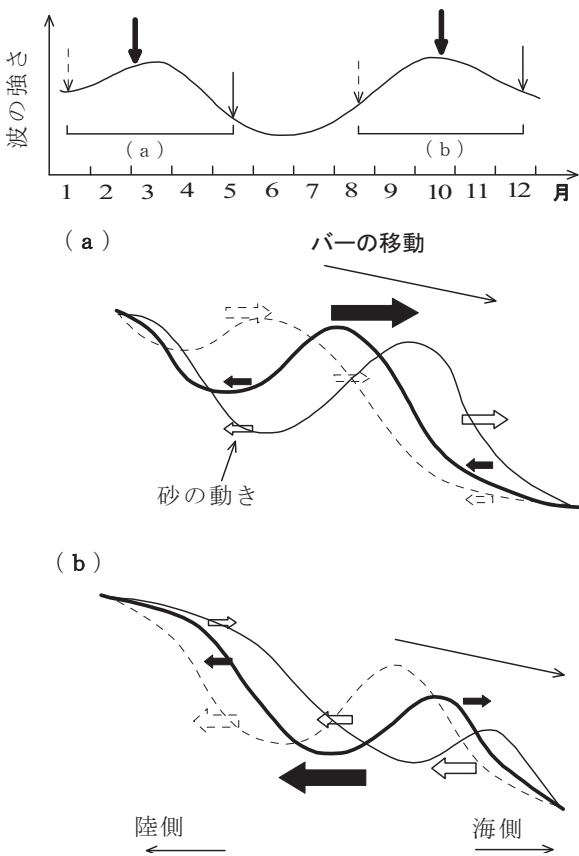


図-2.19 バー頂部の移動と底質移動との関係を示す模式図(栗山 2001)

の変化と地形変化との関係について検討を行い、汀線付近や外浜帯での海岸変形が稚貝の汀線への分布に影響を及ぼしていると指摘している。

図-2.20は、根本らが示した鹿島港北側の断面地形の一例で、1994年まで存在したバーが2004年には消滅しており、バーの消失がチョウセンハマグリ稚貝の分布に悪影響を及ぼした可能性を指摘している。

図-2.21は、鹿島灘におけるチョウセンハマグリ漁獲量の年別、地先別変化(福田, 1976)を示し、この図は鹿島灘における成貝の空間分布を現すと考えられる。福田は1966年以降の鹿島港の南側海域における漁獲量の減少(=成貝の減少)は、鹿島港の建設による影響と指摘している。

図-2.22, 2.23は、沖合における2016, 2017年の成貝の資源量(平均分布密度, 茨城水試 2016, 2017)を示している。2016年のチョウセンハマグリ成貝は、そのほとんどが鹿島港の北側に分布するけれど、2017年は鹿島港の南側の波崎海岸にも分布が現れ、且つ殻長70mm未満の若い貝が多くなっている。これらの若い貝は、殻長から2014年級と判断される。

半澤ら(2017)は、チョウセンハマグリの貝殻断面の成長線および殻表のリングを計測することにより、年齢を推定する方法を確立した。図-2.24は、2015年1月に鹿島漁場で漁獲されたチョウセンハマグリの殻長と、半澤ら(2017)の手法により推定した生まれた年との関係(茨城水試, 2016)を示している。殻長の大きな貝は1993年以前に生まれているが、殻長100mm以下の貝は、2003年以降生まれが多くなっていることが分かる。更に注目すべきは、1996~2003年に生まれた貝は1個体しかいない(図中赤色網掛)。つまり、1996~2003年に生まれた貝はほとんど資源に加入していないという事である。

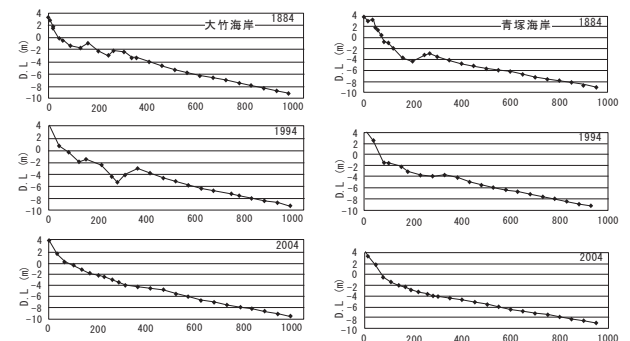


図-2.20 断面地形(根本ら 2009)

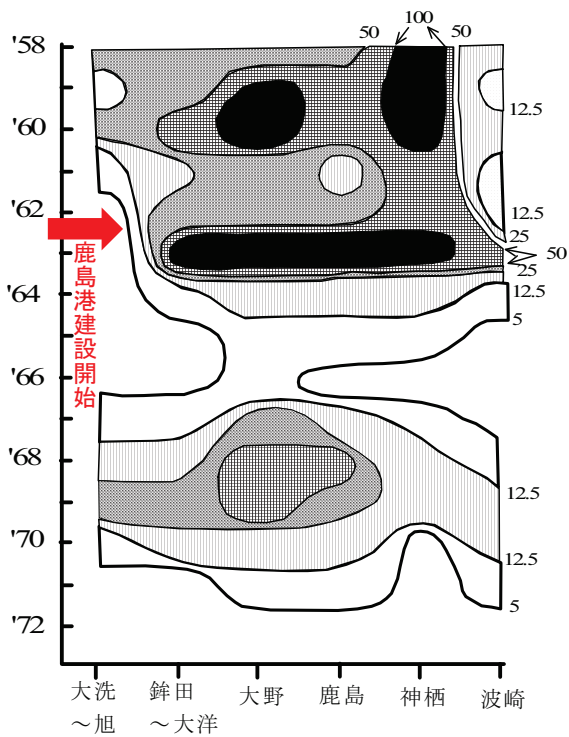


図-2.21 はまぐり漁獲量の年別、地先別変化 (福田 1976 に加筆, 図中の単位: トン)

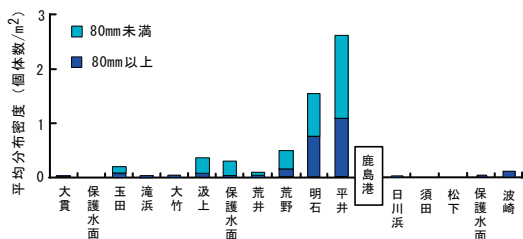


図-2.22 はまぐり成員の推定分布密度 (茨城水試 2016 年)

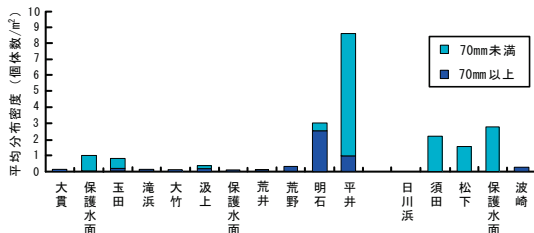


図-2.23 はまぐり成員の推定分布密度 (茨城水試 2017 年)

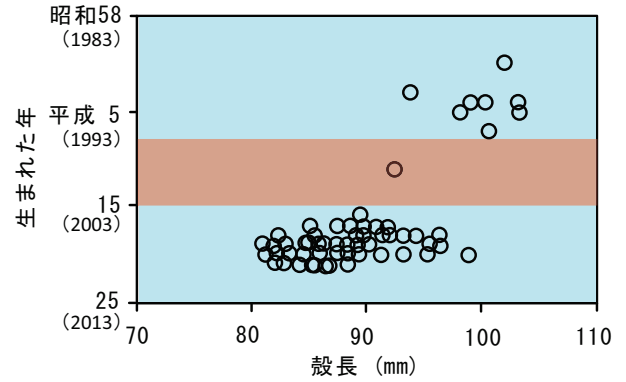


図-2.24 鹿島灘はまぐりの殻長と生まれた年の関係 (茨城水試 2016)

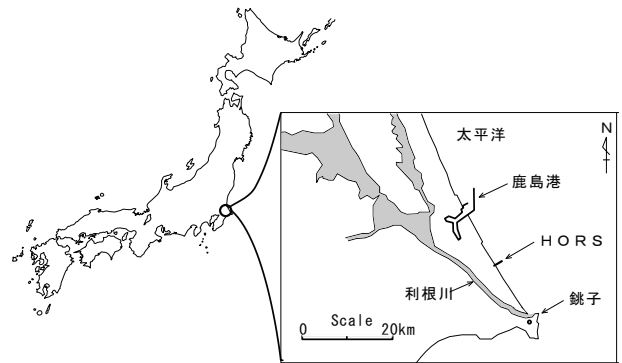


図-3.1 波崎海洋研究施設 (HORS) の位置

3. 観測場所と方法

3.1 観測施設および観測方法の概要

各ステージに共通する物理環境の調査は、茨城県の波崎海岸に位置する波崎海洋研究施設(図-3.1)で実施した。

HORS は、写真-3.1 に示すとおり、長さ 427m の観測棧橋で、先端水深は、5~6m である。地盤高の基準 (D.L.) は波崎港工事基準面 (T.P. -0.687 m) とした。

水温は、汀線から 175m 沖合の干潮面下約 1m の位置 (写真-3.1 参照) に取り付けられたサーミスタ型水温計によって正時をはさむ 20 分間測定し、計算により平均値を求めた。

観測棧橋に沿う地形断面測量は、1986 年 3 月から 2011 年 3 月まで、休日を除く毎日 1 回、2011 年 4 月以降は、週に 1 回、岸沖方向間隔 5m で実施した。陸上部はスタッフとレベルを用いて測量し、海域部は質量 3 kg のレッドを海底面まで降ろして測量を行っている。



写真-3.1 観測栈橋の概観および水温観測位置（○印）

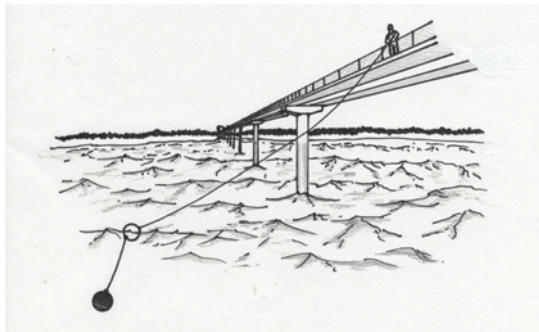


図-3.2 流れの観測状況

流れは、断面地形測量と同様の頻度で、栈橋上から 30m のロープに繋がった浮きを投入し、ロープが張るまでの時間と流れ去る方向を測り（図-3.2 参照）、平均流速および平均流向を計算から求めた。流れの測定は、岸沖方向約 50m 間隔の 10 地点で行っている。

波浪データは、栈橋先端付近に設置された超音波式波高計によって得られたデータのうち、毎正時をはさむ 20 分間を用いて算出された有義波高、有義波周期を使用した。

風向・風速は、HORS 観測栈橋先端の D.L.+10m の位置に取り付けた風車型風向風速計により、1 時間毎に正時の 10 分間平均値を収録した。

HORS における浮遊幼生の調査は、2012 年 7 月から 9 月に、1 週間毎に実施した。海水は、午前 11 時頃から栈橋先端のプラットフォーム上からホースを海中に降ろし、水面下 2m の深さからポンプにより 1000l 汲み上げた。汲み上げた海水を目開き 100 μ m のプランクトンネットで濾過し、残った浮遊幼生を含む懸濁物を回収した。チョウセンハマグリ浮遊幼生の同定は、リアルタイム PCR 法（例えば浜口 2009、福澄ら 2013）を用いた。

水工研では、2011年から所属する調査船「たか丸」を使用して鹿島灘～九十九里海岸の水深10m帯に定点を設



写真-3.2 濁沢海岸の航空写真（2014 年 3 月 22 日撮影、白矢印は測線を、黄色ピンは茨城水試汀線調査の調査地点を示す）

けサンプル調査を行っている。各調査点では、船側かホースを垂下し、海面下 3～4m からポンプで 500l の海水を汲み上げ、目開き 100 μ m のプランクトンネットで濾過し、ネット上に残った懸濁粒子をサンプルとして回収した。チョウセンハマグリ浮遊幼生の同定は、リアルタイム PCR 法を用いた。

茨城水試による 2015 年度のチョウセンハマグリ稚貝の汀線調査において、濁沢海岸の調査点で 448 個のチョウセンハマグリ稚貝が確認された。そこで、濁沢海岸においてチョウセンハマグリ稚貝と海岸地形、底質粒径の集中的な調査を行う事とした。

写真-3.2 は、濁沢海岸の航空写真で、両端のヘッドランドに囲まれた約 1km の海岸に沿岸方向 100m 間隔で測線を設けた（図中白矢印）。茨城水試の濁沢調査点（黄色ピンで示す）は、今回設置した測線 No.5 に近い。

各測線毎に、GPS 測量器を用いて地盤高を測定するとともに、バーム肩を基点に岸沖方向 10m 間隔で 1m² の砂を深さ 5cm 程度スコップで採取した（写真-3.3 参照）。採取した砂は 0.7mm メッシュのネットで篩い、砂に含まれる殻長 10mm に達しない個体を稚貝として計数した。底質分析用の砂は、稚貝用の砂の採取と同時に、表層から 3cm 程度の深さまで約 100cm³ 採取した。底質粒径の分析は、連続全自動乾式音波ふるい分け測定器（ロボットシフター RPS-205、セイシン企業製）によって行った。

3.2 検討上の仮定

各ステージにおける物理環境を検討する際に、HORS において観測されたデータを主として用いる事から、以下を仮定する。

- (1) 波浪は鹿島灘全域（大洗港から波崎漁港間）でほぼ一様である。



写真-3.3 集中調査時における生物資料採取状況

- (2) 沿岸流は鹿島灘全域でほぼ一様である。
- (3) 夏季の水温は鹿島灘全域でほぼ一様である。
- (4) 地形変化は鹿島灘全域でほぼ一様である。

ただし、2006年の異常波浪を契機として2007年以降、鹿島港から南側の波崎海岸の汀線付近は粗粒化するとともに前浜勾配が急になっている（柳嶋，2016）。そのため、2007年以降、鹿島港北側の海岸の地形変化とHORSにおける地形変化は必ずしも同様とは限らない可能性がある。

4. 鹿島灘におけるチョウセンハマグリの実態

鹿島灘において、チョウセンハマグリ（ハマグリ）の産卵期は、7月～9月であることが分かっている。浮遊幼生に関する調査は、2011年から始まり、時間的、空間的な分布が存在することが明らかになったけれど（茨城水試2014，宇田川ら2013，宇田川ら2015），産卵特性を解明するまでには至っていない。

汀線付近における稚貝の調査は、茨城水試によって1975年から現在まで毎年1回、鹿島灘の沿岸方向に1km間隔で定点を設け、5月の干潮時に実施されている。

図-4.1 右上段は、茨城水試が調査した鹿島港の北側海岸における1986年生級（汀線における稚貝の調査は1987年実施）から2015年生級までのチョウセンハマグリ稚貝の汀線における分布密度の変化を示している。下段は、図中左側に示す区域分けによってそれぞれの年毎に、大洗（赤色丸，赤棒），平井（青色丸，青棒），その他の中間区域（緑色矢印，緑棒）の3つに区分けした分布密度の変化を示している。稚貝の分布密度は1990年，1994年，2013年，2015年に多く，1991年，2006年，2008年，2009年，2014年，2016年は中程度である。一方，稚貝は1996～2004年

の間にほとんど確認されていない。

区分けした分布密度のパターンは時間の経過と共に変化している。1986～1994年生級は中間区域に多く，1986年から1994年に向かって，大洗は増大してゆくのに対し，平井は減少する傾向がうかがえる。2001年生級から2009年生級の稚貝は，ほとんど大洗のみで確認された（付録C参照）。2012年生級から2015年生級の稚貝は，再び中間域で確認されるようになり，特に2014年生級は多くなっている。大量に資源に加わったことが確認されている2011年生級の稚貝は，2012年の汀線調査では確認されなかった。

成貝に関する調査は，茨城水試によって毎年1回，鹿島灘全域に調査測線を設定し，測線上の離岸距離200m～1600mの範囲の定点で実施されている。成貝は，かつて図-2.21に示したとおり鹿島灘全域に分布していたが，最近では図-2.22，-2.23に示すとおり，鹿島港北側の港に近い測線のみで成貝が多く確認されている。そして，2016年の調査から殻長の小さな貝が多く含まれるようになり，2017年の調査では，鹿島港の南側海岸でも成貝が多く確認されるようになった。これらは，2007年以降に生まれたチョウセンハマグリが新たに資源加入したことを示している。ただし，図-2.24に示したとおり1996年～2004年生まれ（1996年～2004年）のチョウセンハマグリはほとんど資源に加わっていない。この事は，図-4.1に示した汀線における稚貝の分布密度が1996年～2004年にほとんど確認されなかった事と関連していると考えられる。そして，最近の鹿島灘におけるチョウセンハマグリ（ハマグリ）の漁獲量が減少した状態が継続しているのは，1996年～2004年生まれ（1996年～2004年）の貝が資源にほとんど加わっていない事が影響していると考えられる。

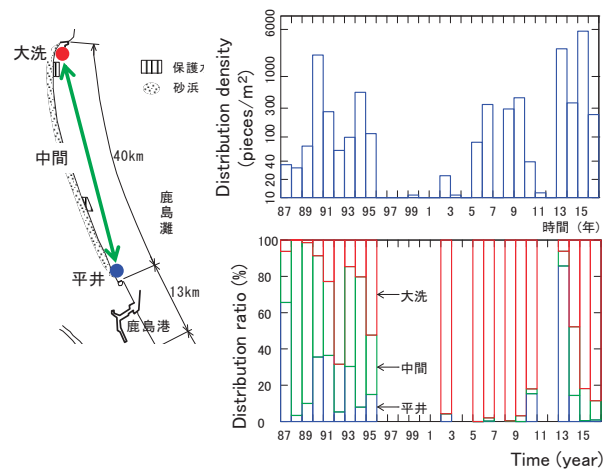


図-4.1 稚貝分布密度の変化（区域分け：左図，分布密度：右上段，区域別分布密度：右下段）

5. チョウセンハマグリ資源加入のための条件検討

各ステージにおける物理環境の善し悪しを判定する指標であるチョウセンハマグリ大量発生年は以下のように決定した。

- 1) 汀線での稚貝が多く茨城県の資源量調査によって大量発生が確認された1989年級, 1993年級.
- 2) 汀線での稚貝は少なかったが, 図-1.2に示すとおり資源に大量に加わった2011年級.
- 3) 図-4.1に示すとおり汀線の稚貝が多く図-2.23, 2.24に示すとおり大量に資源に加わりつつある2014年級.

5.1 産卵

HORSにおける10時水温の平均値(1987~2016年の平均, 以後30年平均水温と呼ぶ)のうち, 1月~6月の水温は付録図-D.1に示すとおり那珂湊定置水温平均値に比べ高い. 高島(2001)に習って1月から積算水温を計算すると, 2000°Cに達する産卵開始日は5月頃となり, 産卵実態に合致しなかった. そこで, HORSにおける積算水温の計算は各年とも水温が最低になる2月末~3月始を開始とした.

図-5.1は, 積算水温の計算から推定した産卵開始日(以後推定産卵開始日と呼ぶ)の経年変化を示している. 図中には, チョウセンハマグリが大量発生した1989, 1993, 2011, 2014年のデータを●印で示している. 推定産卵開始日は6月中旬~8月始頃であり, チョウセンハマグリが大量に資源として加わるのは, 推定産卵開始日が7月中旬以降の場合で, 推定産卵開始日の早い年(=産卵開始までの水温が高い年)は, チョウセンハマグリが資源として大量に加わらない事も分かる.

山田・藤本(1962)にならい, 10時の水温を用い, 毎年8月の平均水温を計算し結果を図-5.2に示す. 調査期間中において, チョウセンハマグリ大量発生年である1989, 1993, 2011, 2014年のデータを●印で示し, これらのデータで囲まれる水温範囲を薄水色網掛で示している. 黄色網掛で示す山田・藤本(1962)の最適水温帯(21~22°C)に比べ, 本調査で得られた最適水温帯(20.8~22.6°C)の方がやや広がっている. 水温が最適水温帯よりも高かった年(●印)は14回あり, 逆に低かった年(●印)も4回存在する, つまり, 8月平均水温から判断すると, チョウセンハマグリ稚貝が大量発生する可能性があったのは, 調査期間の約半分であることが分かる.

図-5.3は, チョウセンハマグリ稚貝が大発生した1989年の7月から9月までの水温変化(10時の水温)を下段に, 観測棧橋先端で観測した風データから抽出した南寄りの風の風速ベクトルを上段に示している. 水温(青線)は2日

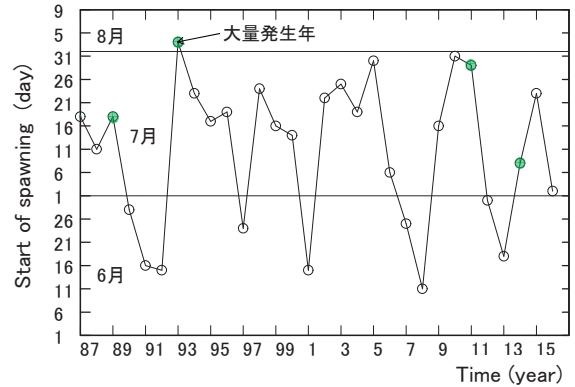


図-5.1 推定産卵開始日の経年変化

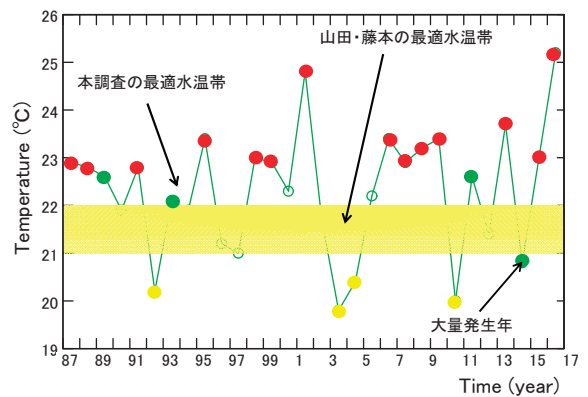


図-5.2 8月平均水温の変化(●印はチョウセンハマグリ大量発生年, 黄色網掛は山田・藤本1962による最適水温帯, 水色網掛は本調査による最適水温帯を示す)

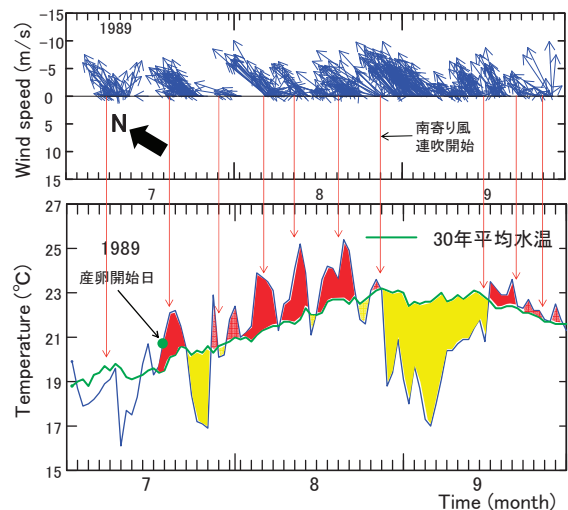


図-5.3 1989年7~9月の南寄りの風の風速ベクトル図(上段, 2時間毎, 黒矢印は方位を示す)と水温の変化(下段, 10時の水温)

以上連続的に低くなっている時が複数回あり、これらは上段に示す南風の連吹に対応していることから、沿岸湧昇による水温低下であることが分かる。沿岸湧昇により緑線で示す30年平均水温よりも低くなる場合も何回もあり（黄色で示す）、8月下旬から9月中旬までの間に連続して南寄りの強い風が吹いたため、水温低下の期間が長いとともに水温は17°Cまで低下している。一方、赤色で示す30年平均水温よりも高くなる範囲も数多く存在する。相良ら（1967）らは、産卵前の水温が高過ぎても低く過ぎても産卵につながらないと述べており、図-5.3に示すとおり、30年平均水温に比べ水温が低い状態あるいは高い状態が継続するとチョウセンハマグリ産卵に影響を及ぼす可能性がある。

そこで、推定産卵開始日から9月末までの期間について30年平均水温との水温差を、年次毎にかつ（+）、（-）側毎に積算し、積算した水温差を所要日数で除した年次毎の平均水温変化を水温上昇（上段）、水温低下（下段）に分け、図-5.4に示す。両図とも大量発生年である1989、1993、2011、2014年を●印で示し、これらの年の平均水温差の最大値と最小値で挟まれる範囲を緑色網掛で示し、最適水温帯と呼ぶ事にする。

水温上昇の最適水温帯は、水温上昇0°Cから1°Cの間に分布している。つまり、水温は30年平均水温よりも極力高くない方が良い事が分かる。水温低下の最適水温帯は、0°Cよりも少し離れ、-1.0°C～-2.3°Cの範囲に分布しており、30年平均水温に比べ低くなっている状態が好ましい事を示している。この事は山田・藤本（1962）が述べた、「8月の低水温が発生に対し好影響を与えている」の一部を説明していると考えられる。

図-5.5は、図-5.3中に黄色で示すような沿岸湧昇による水温低下イベントの発生回数の経年変化を示している。チョウセンハマグリが大量発生した年の水温低下イベントは、年に7～10回発生しており、大量発生しなかった年のほとんどは、発生回数が6回以下になっている。

既往研究から、水槽内における産卵の誘発は、昇温による温度刺激が有効であることが分かっている。しかし、自然の海域で人工的に温度刺激を与えることは不可能であるが、鹿島灘においては6～8月に、南風の連吹に伴い生じる沿岸湧昇による水温低下およびその後の急激な水温上昇がほぼ毎年生じる。

そこで、産卵のタイミングについて検討する。図-5.6は、2012年にHORSにおいて実施した浮遊幼生調査時の観測栈橋先端で観測した風データから抽出した南寄りの風の風速ベクトルを上段に、毎時の水温変化を中段に示している。調査期間中、毎時の水温は上昇傾向を示すとともに、

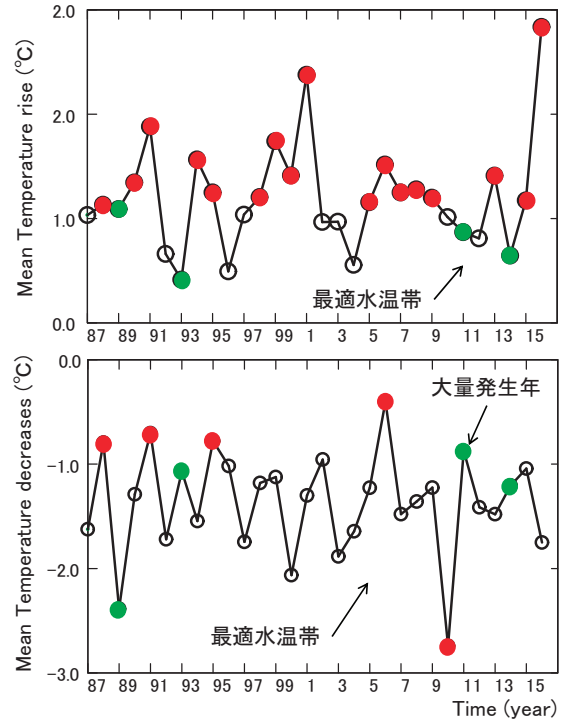


図-5.4 平均水温差の経年変化（上段：水温上昇，下段：水温低下，●印はチョウセンハマグリ大量発生年）

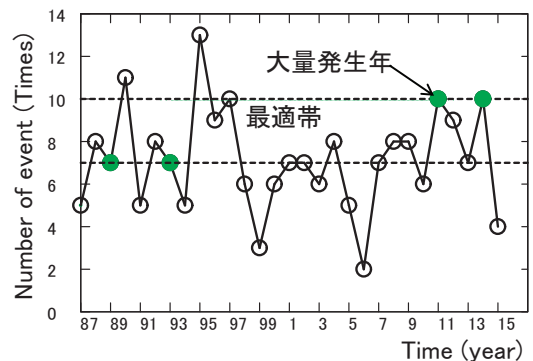


図-5.5 水温低下イベントの発生回数の経年変化（●印はチョウセンハマグリ大量発生年）

上段に示す南寄りの風の連吹（連吹開始を赤矢印で示す）に伴う沿岸湧昇による水温低下およびその後の急激な水温上昇が頻繁に生じている。沿岸湧昇に伴う水温低下は南寄りの風速が速いほど大きく、南寄りの風の連吹が継続するほど水温低下の期間も長くなっている。沿岸湧昇に加え、日周期的な水温変動も現れている。

図-5.7は、浮遊幼生調査時の毎時の水温変化を上段に、HORSにおける浮遊幼生分布密度を●印で下段に示している。また、上段図中には真岡(1976)が述べている産卵前の最適水温帯 20～21°Cの範囲を水色網掛で示し、下段に

は図-2.4 に示した茨城水試の浮遊幼生調査結果のうち浮遊幼生分布密度が最も高い地点の値を●印で示している。

HORS における浮遊幼生調査は合計 13 日実施し、チョウセンハマグリ浮遊幼生はそのうちの 6 日確認することができた。つまり、チョウセンハマグリ産卵は、成貝が少ない鹿島港の南側海岸においても行われている事が分かる。ただし、HORS における浮遊幼生密度は、茨城水試の調査結果と比較すると 1 地点を除き低くなっている。

図-5.7 下段に示す浮遊幼生密度が極大になる直前に、沿岸湧昇による水温低下後の急激な水温上昇(図中b, e, fで示す時)が生じている。また、次に浮遊幼生密度が高い時の直前には、沿岸湧昇に日周期的な水温上昇が重なった変化(図中a, c, dで示す時)が生じている。図中にgで示す時は、沿岸湧昇に日周期的な水温上昇が重なった変化をしているにもかかわらず、浮遊幼生はHORSでは全く確認されなかったが、茨城水試の結果では浮遊幼生が確認されている。つまり、沿岸湧昇後の急激な水温上昇が産卵のきっかけになっている可能性がある。一方、図中に両矢印1で示す期間の水温は最適水温帯よりも低く、図中に両矢印3, 4で示す期間の水温は、最適水温帯よりも高くなっているため、チョウセンハマグリ産卵は生じなかったと推察される。図中に両矢印2で示す期間は最適水温帯から水温が日周期的に上昇する変動が卓越しているが、その後で浮遊幼生は確認されていない。このような日周期変動は1回だけなので断定は出来ないが、日周期的な水温変動は、産卵のきっかけになり難いかもしれない。

日向野(1987)によれば、「沿岸湧昇による水温低下後の急激な水温上昇は、鹿島灘全域でほぼ同時に発生するので、チョウセンハマグリが一斉に産卵するための温度刺激になっている可能性がある」との事。図-5.7に認められる浮遊幼生密度の増大は、日向野の上記指摘を表すものと考えられる(a~gの時)。そして、チョウセンハマグリは一斉に産卵することにより、受精率を高め、生残確率をも高めていると考えられる。一方、日周期的な水温変動における水温上昇は、産卵のきっかけにならない可能性がある(両矢印2の時)。

5.2 浮遊幼生の沿岸方向移動

浮遊幼生は、産卵後その場の流れによって移動するはずである。そこで、チョウセンハマグリ成貝が棲息する水深に近いHORS先端で観測された流れの沿岸方向成分を用い、浮遊期間中の浮遊幼生の移動距離を計算し、対象海域内に沈着出来るかどうかを判定した。ここで、浮遊期間は既往研究結果を基に10日とし、汀線付近に稚貝が多い鹿島港から北側の海域(図-5.8参照、延長40km)で発生

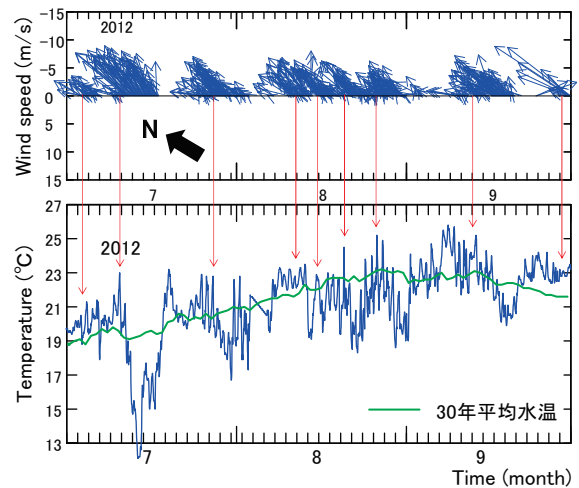


図-5.6 南寄りの風の風速ベクトル図(上段, 2時間間隔, 黒矢印は方位)と水温(下段, 1時間間隔)の変化(2012年)

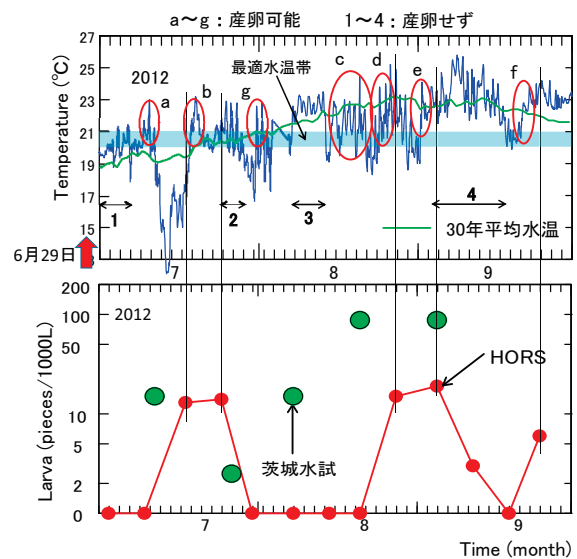


図-5.7 水温(上段, 1時間間隔)および浮遊幼生密度(下段)の変化(2012年, 赤太矢印は推定産卵開始日を示す)

した浮遊幼生が沿岸流に乗って移動し、北側海域内に留まるか、域外に流出するかを検討した。休日および欠測時の流れのデータは、前後の観測データを内挿補間して求めた。

観測された流速・流向は1日変化しないと仮定し、推定産卵開始日から9月末までの期間を対象とした。具体的には、推定産卵開始日から1日ごとに移動距離計算をスタートさせるとともに浮遊期間分(10日)積算して、それぞれの移動距離を求めた。

図-5.9 は、大量に資源加入のあった1993年の7月から10月始までの沿岸流速の変化を示している。なお、図中赤棒グラフは、推定産卵開始日（8月3日）以降のデータであることを示す。赤棒グラフの範囲に注目すると、8月末の台風9311号と10月始の9320号による時化の際に南寄りの波が来襲したために大洗方向に速い流れが生じて

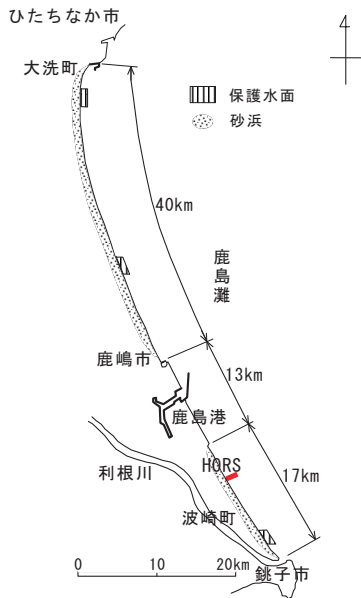


図-5.8 鹿島灘海岸の区分け

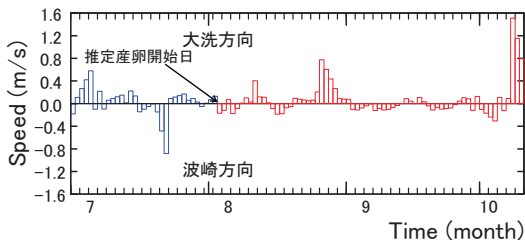


図-5.9 沿岸方向流速変化（1993年）

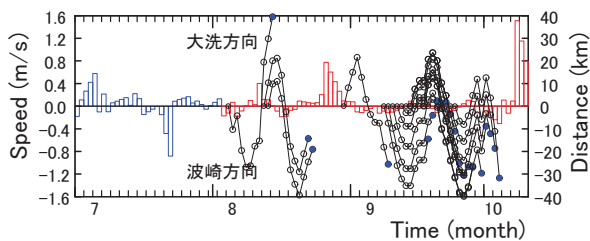


図-5.10 沿岸方向流速変化と移動距離（1993年、発生域内に沈着可能と判断されたものを○と折れ線で示す）

いる。それ以外の期間は、流速が遅く、流れの向きが大洗方向、波崎方向へと頻りに反転している。

図-5.10 は、1993年の計算結果の内、移動距離が40km以内であったデータを○印の着いた折れ線で示している。この年は、流速が遅く流れの向きが反転していた8月中旬と9月に移動距離40km以内のデータが多くプロットされている。計算スタート地点から浮遊幼生が大洗方向に移動したケースは4回、波崎方向に移動したケースは16回、合計20回が域内発生域内沈着可能と計算された。

流れの観測が休日を除く毎日であった1987年～2010年について同様に域内発生域内沈着回数を計算しその変化を、図-5.11に示す。ここで、チョウセンハマグリが大量に資源加入した年を緑色棒グラフで示すとともに、計算スタート地点よりも波崎方向に浮遊幼生が移動したケースを赤棒グラフで、大洗方向に移動したケースを黒棒グラフで示す。

域内発生域内沈着回数は、最低の1回（1988年）から最高の41回（1997年）とバラツキが大きい。大量に資源加入が確認された1989年の域内発生域内沈着回数は16回であるので、これよりも多ければ浮遊幼生が資源となる可能性があることを示している（最適沈着回数、緑色網掛で示す）。この仮定に従えば、資源加入した1989年、1993年以外に浮遊幼生期の沿岸流環境的には、1991、1992、1995、1997、1998年も資源加入の可能性のある年であったと考えられる（資源加入の可能性のある年数は7年）。

次に、鹿島港の南側海域（延長17km）について同様な域内発生域内沈着回数の検討を行い、結果を図5.12に示す。大量に資源加入のあった1989、1993年とも域内発生域内沈着回数は1回だけで、図-5.11に示す鹿島港北側の延長40kmの結果に比べ激減している。

児玉・市毛（1980）は、高水温（25～30℃）で幼生の成長が早くなると述べているので、浮遊期間も短くなると考えられる。そこで、浮遊期間を7日と短くし、延長17kmの場合について再度計算を行い、結果を図-5.13に示す。大量に資源加入した1989年の域内発生域内沈着回数は4回に、1993年は7回に増加し、域内沈着可能であろう年（緑色網掛）は、14年に増加している。つまり、海岸延長の短い鹿島港南側の海域においても、浮遊期間中の水温が高くなればチョウセンハマグリが資源に加わる可能性は高くなると考えられる。

最後に、鹿島港が建設される前の状態（鹿島灘全域、延長70km）で、浮遊期間10日の条件における域内発生域内沈着回数を計算し、結果を図-5.14に示す。資源加入した1989年の域内発生域内沈着回数は30回で、緑色網掛で示す範囲に含まれる域内発生域内沈着可能な年数も13

年となり、いずれの値も鹿島港の北側海岸（40km）を対象にした計算結果（図-5.11）の約倍に増えている。

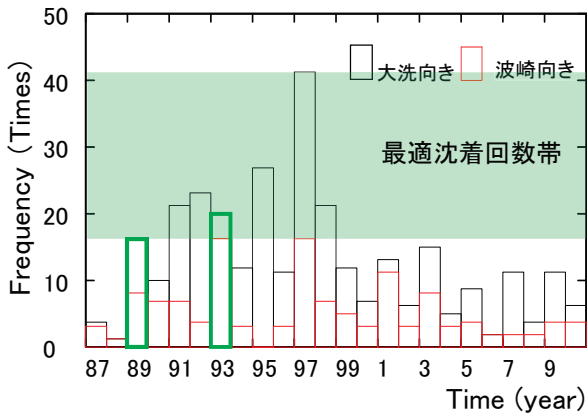


図-5.11 域内発生域内沈着回数の変化(移動距離 40km)

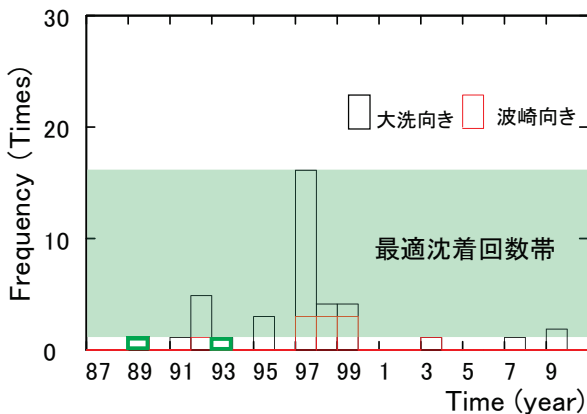


図-5.12 域内発生域内沈着回数の変化(移動距離 17km)

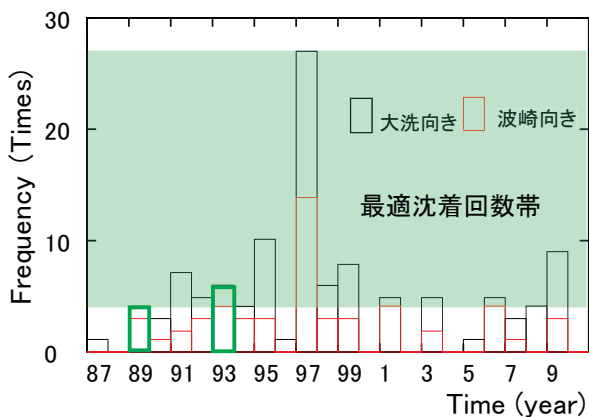


図-5.13 域内発生域内沈着回数の変化(移動距離 17km, 浮遊期間 7日)

5.3 浮遊幼生の岸沖方向移動および沈着

図-5.15は、水工研が2015年に鹿島灘および九十九里海岸沖合水深10mで調査した、チョウセンハマグリ浮遊幼生の空間分布を示している。浮遊幼生は時期的、空間的にばらついて分布している。

図-5.16は、2012年から2016年までの鹿島灘沖合の浮遊幼生数出現傾向を標準化して示している。浮遊幼生は、2012～2014年まで少なく、2015年に極大になり、2016年も2012～2014年に比べ多くなっている。

チョウセンハマグリ成貝の主たる分布域は水深6mであり、水深10mにはほとんど棲息しない。そうすると、水深10m付近の浮遊幼生は成貝の棲む6m付近から沖向きに運ばれたことになる。更に、チョウセンハマグリが生き残るために、沖の浮遊幼生は再度浅い海域に運ばれる必要がある。そこで、浮遊幼生を岸沖方向に運ぶ外力を検討する事にした。

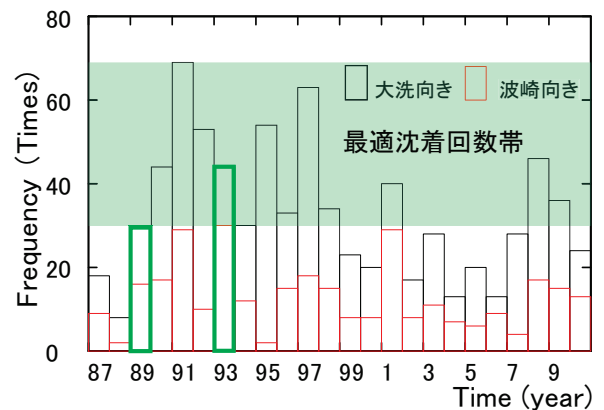


図-5.14 域内発生域内沈着回数の変化(移動距離 70km)

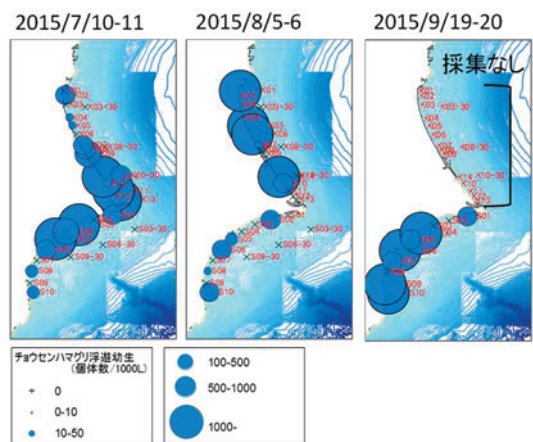


図-5.15 沖合における浮遊幼生調査結果(水深 10m)

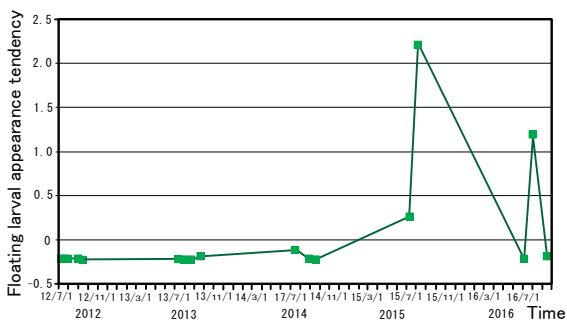


図-5.16 浮遊幼生の出現傾向
(鹿島灘, 2012~2016年)

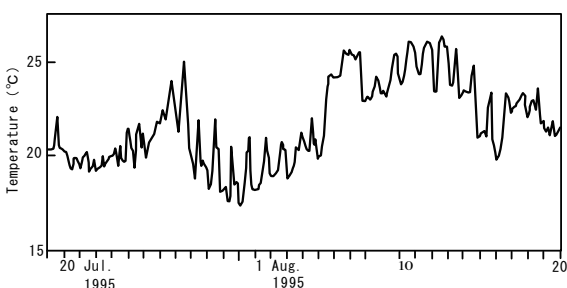


図-5.17 日周変動する海岸域水温の観測例(八木ら 2000)

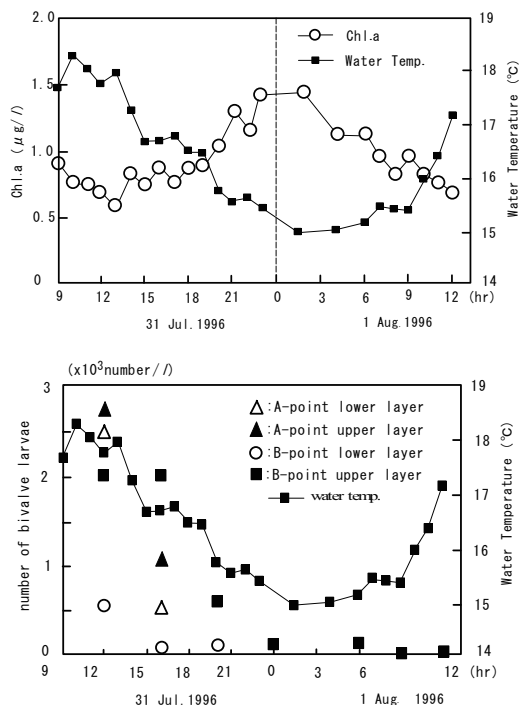


図-5.18 クロロフィル a 濃度と水温の変化(上段)と海岸域における二枚貝浮遊幼生数の経時変化(下段, 八木ら 2000, いずれも棧橋先端付近で調査)

八木ら(2000)は、1995年にHORSにおいて水温他の調査を長期間行い、水温変動にはいくつかの特徴的な変動が存在することを示し(図-5.17)、水温の時空間変動特性、水温と流速の対応関係、傾圧性を有した流速分布の特徴から、鹿島灘海域に水温日周変動を引き起こしているのは日周期の内部波であると述べている。一方、風向と海岸水温の対応関係から日スケール以上の水温変動は海上風による沿岸湧昇及び沿岸沈降の結果であると述べている。

図-5.18は、八木ら(2000)が1996年に行った集中観測時の水温とクロロフィルaの変化を上段に、水温と二枚貝浮遊幼生数の変化を下段に示している。下段中のAは岸沖方向距離300m、Bは先端付近の380m地点での浮遊幼生調査の結果を示している。日周期内部波の陸への遡上に伴い水温は低下し、クロロフィルa濃度は増加している。この際、二枚貝浮遊幼生数は沖側のB地点底層から減少し始め次いで岸寄りの底層が減少し、最終的には沖側地点の表層にわずかに残るだけとなる。一方、内部波が沖へ戻る際には、水温は上昇、クロロフィルa濃度は減少しているものの、二枚貝浮遊幼生数は増加していない。

図-5.19は、1996年に八木ら(2000)が観測した5日前から観測日までのHORSにおける風速ベクトルを上段に、水温の変化を下段に示している。7月26日4時頃から5m/sを越える南寄りの風が吹き始め、観測終了日の8月1日20時頃まで南寄りの風の状態が継続している。このため、水温は26日夜から1日に向かって日周期変化を伴い低下している。つまり、図-5.19に示す水温の変化には、沿岸湧昇に日周期内部波が重なっていた事が分かる。

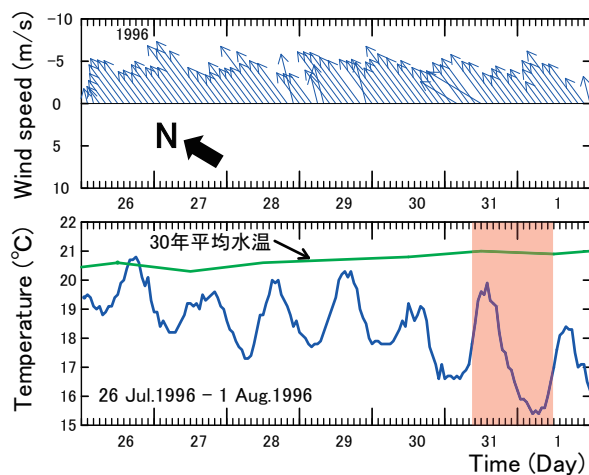


図-5.19 八木らの調査時を含むHORSにおける2時間毎風速ベクトル(上段)と毎時水温(下段)の変化(1996年, 上段黒矢印は方位を, 下段赤色網掛は図-5.18の調査時間帯を示す)

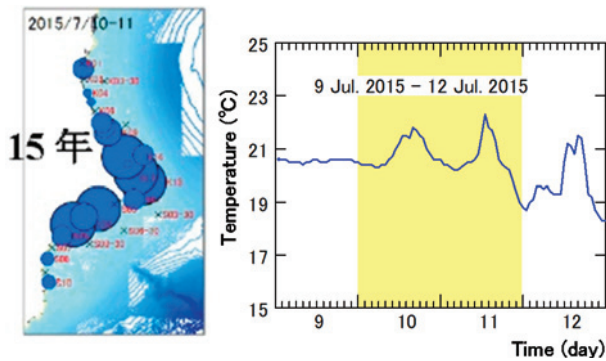


図-5.20 沖合における浮遊幼生空間分布（左）と調査時のHORSにおける水温変化（右，2015年7月10-11日）

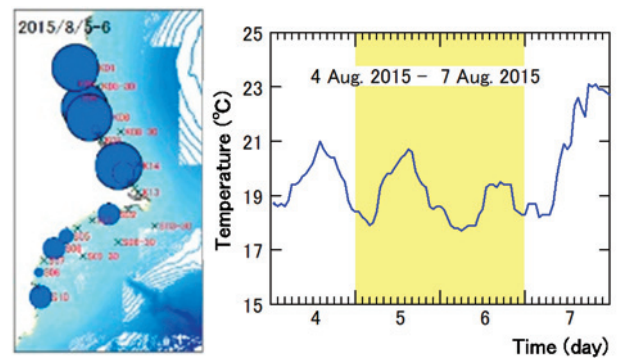


図-5.21 沖合における浮遊幼生空間分布（左）と調査時のHORSにおける水温変化（右，2015年8月5-6日）

図-5.18において、日周期内部波の遡上に伴って二枚貝浮遊幼生が減少しているのは、海底面に沿って冷たい沖合水が岸に向かって遡上し、二枚貝浮遊幼生を含む全層の海水のほとんどが沖に運ばれるためと考えられる。そこで、沖合での浮遊幼生数が極大であった2015年の内部波の状況を確認することにする。

図-5.20、-5.21、-5.22は、2015年の3回の沖合調査時の浮遊幼生分布（左側）と各調査時のHORS水温の変化（右側）を示している。沖合において浮遊幼生が多かった7月10-11日および8月5-6日の水温変化には明確な日周期変動すなわち日周期内部波の存在が確認できる。一方、浮遊幼生が少なかった9月19-20日の水温の変化は少ない。つまり、内部波は、9月19-20日には発生していなかったと考えられる。更に、2012年から2016年までの沖合での浮遊幼生調査時の水温変化を確認したところ、図-5.20～図-5.22と同様に沖合での浮遊幼生数が多い時の水温には明確な内部波の存在を示唆するような傾向が確認された。

次に、内部波の発生の程度の違いを把握するために、水温のFFT解析を行った。

図-5.23は、FFT解析に使用した、チョウセンハマグリが大量に資源に加わった1993年の産卵開始日から1時間間隔で2048個の水温データを示し、図-5.24は、1993年の水温データのFFT解析結果を示している。長周期帯にあるスペクトルのピークは、図-5.23にも現れている水温の季節変化に対応し、次いで、沿岸湧昇に対応する5.8日周期のピークがあり、さらに高周波領域に内部波を表す日周期および半日周期に対応する周期帯で小さなスペクトルピークが現れている。

図-5.25は、1987年から2015年までの沿岸湧昇のスペクトル密度（上段）と沿岸湧昇の発生周期（下段）の経年変化を示している。図中の●印は、チョウセンハマグリが大量に資源に加わった年を示している。

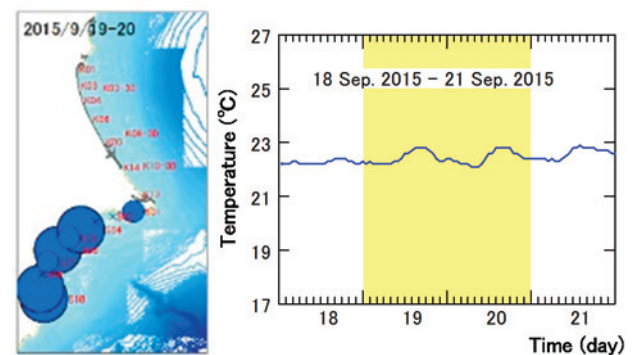


図-5.22 沖合における浮遊幼生空間分布（左）と調査時のHORSにおける水温変化（右，2015年9月19-20日）

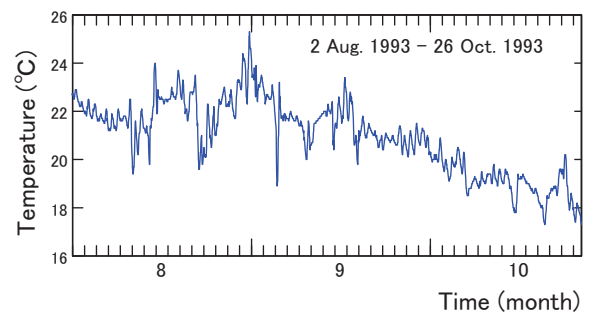


図-5.23 FFT解析に用いた水温データ（1993年）

チョウセンハマグリが大量に資源に加わった年の沿岸湧昇のスペクトル密度は、小さめの範囲に分布しているが明確な違いは見られない。一方、沿岸湧昇の発生周期は4～10日の間に分布し、チョウセンハマグリが大量に資源に加わった年の沿岸湧昇の発生周期は4～7日であり、短い間隔が望ましいと考えられる。

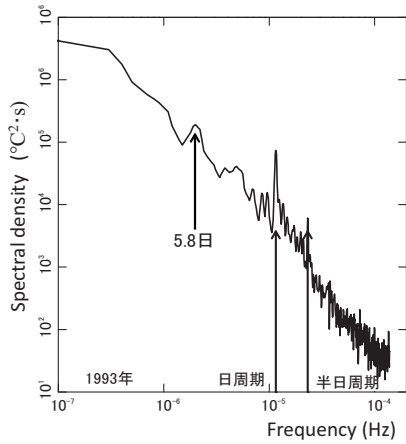


図-5.24 FFT 解析結果 (1993年)

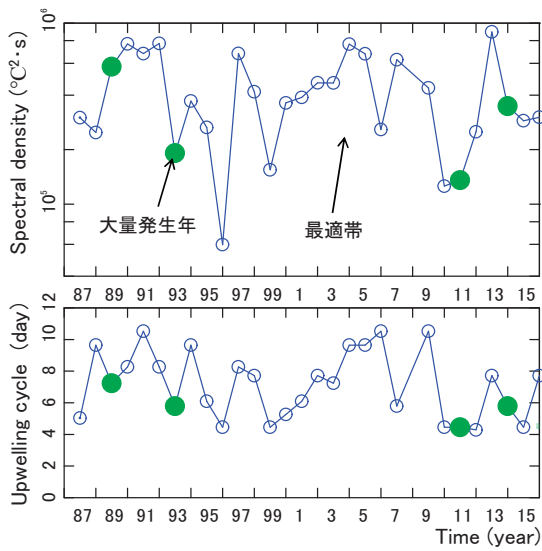


図-5.25 沿岸湧昇のスペクトル密度 (上段) および沿岸湧昇の発生周期 (下段) の経年変化

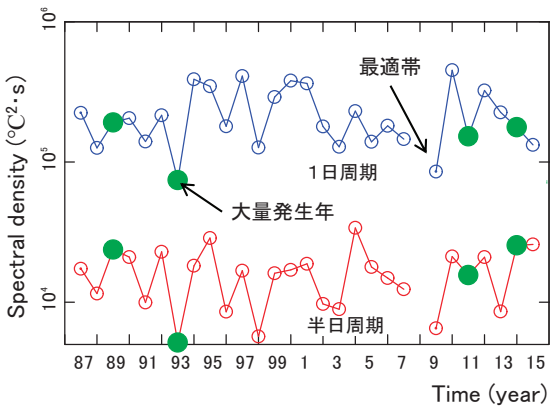


図-5.26 1日および半日周期成分のスペクトル密度の経年変化

図-5.26 は、1987年から2015年までの日周期および半日周期のスペクトル密度の変化を示している。図中の●印は、チョウセンハマグリが大量に資源に加わった年を示している。半日周期の内部波は、日周期の内部波に比べいずれの年も、1オーダー小さくなっている。1日周期の内部波のスペクトル密度は、図-5.23に示した1993年が最も小さく、チョウセンハマグリが大量に資源に加わった1989、2011、2014年のスペクトル密度も小さくなっている。一方、1994、1995、1997、1999、2000、2001、2010、2012年のスペクトル密度は大きくなっている。

沖合の浮遊幼生調査の際に内部波が顕著であった2015年(図-5.20等)も産卵可能期間全体としては、内部波は顕著でなかったことが分かる。

行川・武若(2014)はHORSにおいて、棧橋背後に取り付けたXバンドレーダーと棧橋先端に設置したサーミスタチェーンによる水温観測を同時に実施し、Xバンドレーダーによる内部波観測の可能性を示している。

図-5.27は、観測期間中の底面付近(青線)および表面付近(黒線)の水温変化を上段に、鹿島港波浪の変化を下段に示している。水温は、7月30日～8月1日、8月6日～8月7日に、明確な半日および日周期の変動(内部波)が現れており、表面付近に比べ底面付近の方が水温変化は大きくなっている。一方、8月2日～8月5日(図中赤色網掛)の水温は、表面付近、底面付近とも日変化が少なく、この時

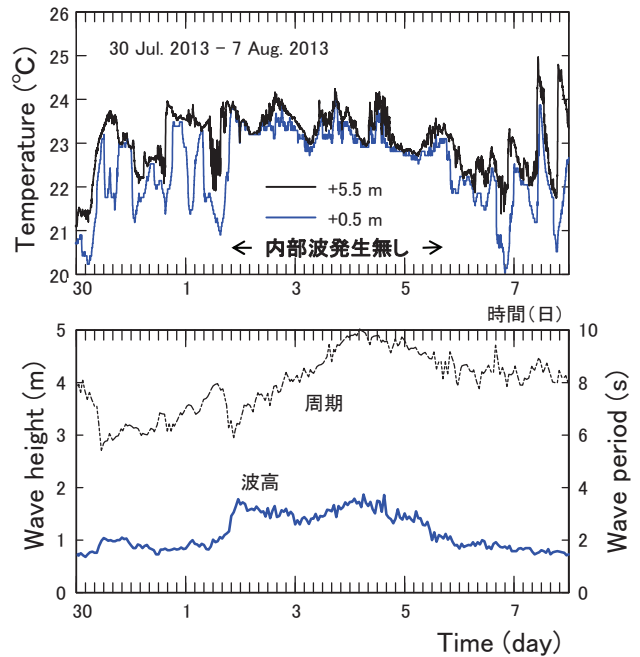


図-5.27 底面および表面付近水温(上段)および波浪(下段、鹿島港)の変化(2013年7月30-8月7日)

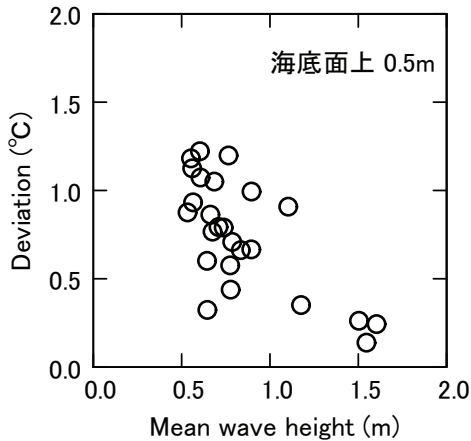


図-5.28 日平均波高と日水温偏差との関係 (2013年7月30日~8月24日)

の日水温変化は、日射(八木ら, 2000)によって生じたものと考えられる。上記観測期間の波浪状況を確認すると、内部波が生じていないだろう期間の波高は1m以上(図中赤色網掛)になっている様子が見える。

図-5.28は、7月30日~8月24日までの間の、日平均波高と水温の1日毎の偏差との関係を示している。両者の関係から、半日および日周期内部波は波高が1m以下の時に発生し、波高が1mを超えると消滅すると考えられる。そうすると、内部波は鹿島灘において波の小さい6~7月(図-2.19の上段参照)に発生し易いが、産卵期である8、9月でも静穏な状態であれば発生するはずである。

鹿島灘において、南寄りの風は沖から来襲する波と対向するので逆風となり、波高を減衰させるように作用する(例えば鶴谷ら 1985)。波高が小さくなる事により内部波が生じやすくなるので、沿岸湧昇に内部波が重なる状態が図-5.6、-5.19のように多くなると考えられる。

佐々木(1991)が述べたウバガイ浮遊幼生の沖方向移動は、風および水温の日変化に関する情報が無いので断定はできないが、水温、塩分濃度の鉛直的な構造から判断して、内部波(もしくは沿岸湧昇)の遡上によるものと考えられる。また、佐々木(1991)は、ウバガイ浮遊幼生は成長と共に海底面近く(塩分濃度の高い)に移動する特性があるようだとしている。佐々木(1991)が述べた、沖に運ばれた浮遊幼生の一部が漁場域に輸送・集積されるのは、内部波(もしくは沿岸湧昇)の遡上によって海底面近くに分布する成長した浮遊幼生が沖から岸向きに再び運ばれるためと考えられる。

図-5.18 下段に示した二枚貝浮遊幼生数の変化で、内部波の流下時に、浮遊幼生数が内部波遡上の前の状態まで戻らないのは以下の原因と考えられる。

- 1) 沿岸湧昇、内部波(あるいは沿岸湧昇に内部波が重なった)は往復流なので、チョウセンハマグリ浮遊幼生は、沿岸湧昇、内部波が遡上する時に沖に運ばれるけれど、そのまま中・表層に留まれば、流下時に浅海域に戻ると考えられる。しかし、沖に運ばれた浮遊幼生が中・表層から鉛直下方に底層まで移動すると、流下時に浅海域に戻らないと考えられる。
- 2) 図-5.19 に示したとおり、7月26日から生じた沿岸湧昇に内部波が重なっていたため、浮遊幼生のほとんどが沖に運ばれ、7月30日の時点で浮遊幼生数がすでに少なくなっていた可能性がある。

チョウセンハマグリ大量発生年の日周期内部波の最適帯スペクトル密度が小さい範囲に分布している(図-5.26)のは、浮遊幼生が沖に運ばれない方がよい事を示しており、チョウセンハマグリ成貝の主たる棲息域の水深6m付近で発生した浮遊幼生は、内部波が小さい場合には沖にそれほど運び去られることが無く、6m付近に留まっていると考えられる。

浮遊幼生は、沿岸流、内部波(あるいは沿岸湧昇)によって運ばれるため、岸沖方向の広範囲に沈着する可能性がある。2章で述べたとおり、バーの有無によって砂の移動は異なり、バーが存在する場合、バーよりも沖側の砂はトラフを超えて陸側に移動しない。一方、汀線付近の底質粒径は、2章で述べたとおり、長周期波による侵食、入射波による堆積に伴って、付録図-B.1に示す空間的な分布を示す事が分かっている。沈着したチョウセンハマグリ稚貝は、バー・トラフ付近、汀線付近とも細かな砂と同様な振る舞いをすると考えられる。

福田(1976)の研究によれば、成貝の棲むバー頂部およびその沖側斜面に稚貝はほとんど棲息しない事が分かっている。沖合に稚貝が棲息しない原因の一つは、浮遊幼生は、拡散や沿岸流の蛇行によって浅海域に運ばれ、沈着するためと考えられる。

5.4 稚貝の汀線近傍への移動

図-5.29 は、2015年の濁沢海岸における集中調査時の鹿島港有義波高と有義波周期の変化を示している。図中には茨城水試による稚貝調査時期を緑色網掛で、2回の集中調査(7月2日、7月15日)を緑線で示している。稚貝調査前の2週間の波高は、1.8m以下で静穏な状態が継続していた。汀線付近が堆積状態にあったため、稚貝調査においてたくさんの稚貝が確認されたと考えられる。その後、何回か時化があり、1回目の集中調査の3日前に、波高は3mを超えている。そのため、1回目の集中調査での稚貝個数は少なかったと考えられる。そして、1回目から

2回目の集中調査までの間、静穏な状態が継続したことから2回目の集中調査では、たくさんの稚貝を確認することができたと考えられる。

図-5.30は、7月2日の平面地形を示している。沿岸方向距離200~500mの間（赤線で囲んだ範囲）の等深線は海岸とほぼ平行になり、長周期波による侵食後の地形（柳嶋, 2016）に良く似ている。一方、沿岸方向距離600~900mの間の等深線は陸側に凹むとともに、等深線の間隔が狭くなり勾配は急になっていることが分かる。

図-5.31は、7月2日の底質中央粒径の分布を示している。沿岸方向距離100~500mまでの範囲の粒径は、沖側ほど粗くなっており、長周期波による侵食後の底質分布（柳嶋, 2016）に似ているが、沿岸方向距離600~900mの範囲は、細かな砂、粗い砂が空間的にばらついて存在している。

地形および底質粒径の空間分布から、7月2日は、長周期波による侵食を受けた影響が明らかな範囲（沿岸方向距離200~500m）と入射波による堆積が始まっている範囲（沿岸方向距離600~900m）とが混在していると考えられる。

図-5.32は、7月2日の平面地形に稚貝の分布を重ね示している。稚貝は、図-5.30において等深線が海岸に平行になっており（赤線で囲んだ範囲）、図-5.31において砂の粒径が細かい範囲および南側のヘッドランドに近い測線に分布している。稚貝個数が10個を越える地点は、2地点のみであり、稚貝の総個数は54個であった。

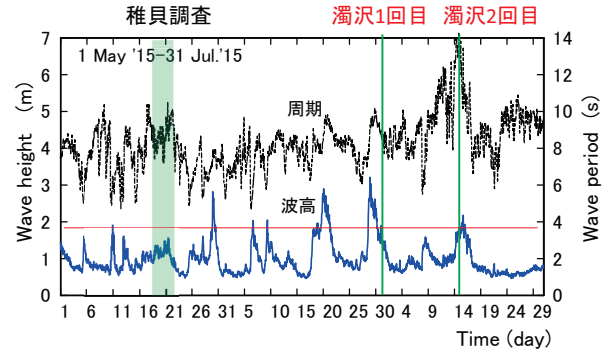


図-5.29 調査時の波浪条件（緑網掛は稚貝調査，緑線は集中調査，赤横線は波高1.8mを示す）

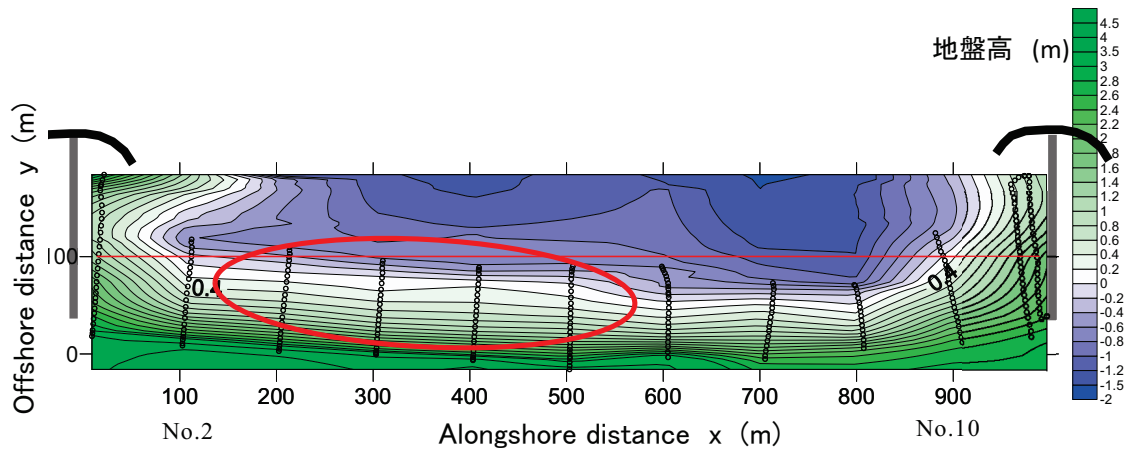


図-5.30 7月2日の地形（○印は測点）

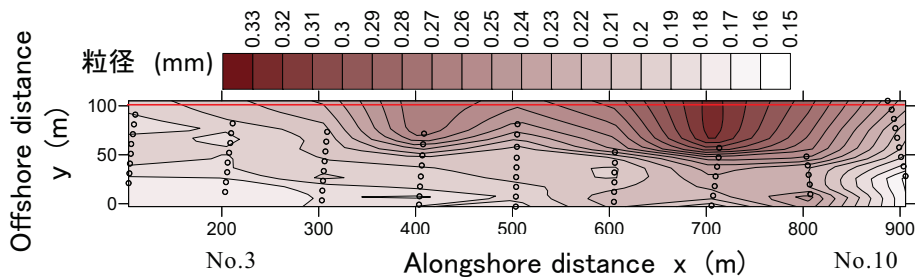


図-5.31 7月2日の表面砂の中央粒径分布（○印は試料採取点）

図-5.33 は、7月15日の地形を示している。等深線は海側に凸になったり、陸側に凹になったりするとともに、沿岸方向距離350m付近には、7月2日には無かった、大洗方向に伸びる砂嘴（赤破線囲み）が確認された。

図-5.34 は、7月15日の底質中央粒径の分布を示している。粗い砂、細かい砂が空間的にばらついて分布しているが、海岸両サイドのヘッドランド近くは、細かな砂で構成されている。沿岸方向に伸びる砂嘴周辺の砂は、細砂(0.18~0.2mm)であった。地形および底質粒径の空間分布から、7月15日は、柳嶋(2016)が示した入射波による堆積が進行した状態と考えられる。

図-5.35 は、7月15日の平面地形に稚貝の分布を重ね

示している。稚貝は、ほぼ全ての測線で確認され、海岸中央の $x=500\text{m}$ 測線（最大 227 個）および $x=700\text{m}$ 測線（106 個）で多くなっており、稚貝の総個数は 813 個であった。稚貝の個数は、汀線調査時の 448 個/1 地点に比べると多いとまでは言えないけれど、7月2日に比べると大幅に増えており、稚貝は再び汀線付近に運ばれてきた事が分かる。

図-5.36 は、7月2日から15日までの間の地盤高変化量（緑色は堆積を、赤色は侵食を示す）の分布および稚貝の分布を重ねて示している。全体的に堆積の範囲が多く、特に沿岸方向距離600~800mの陸寄りと北側ヘッドランド近くで堆積量が多くなっている。チョウセンハマ

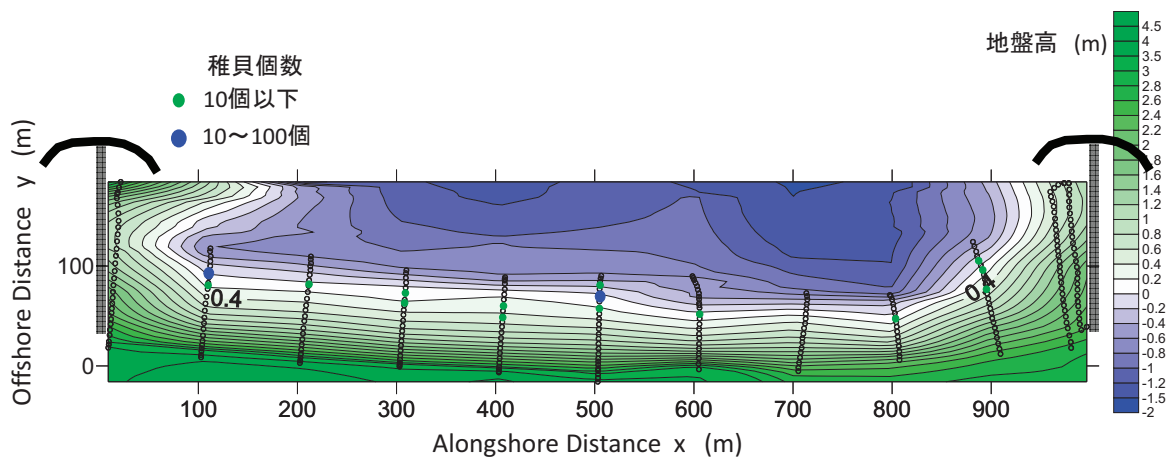


図-5.32 7月2日の稚貝の分布

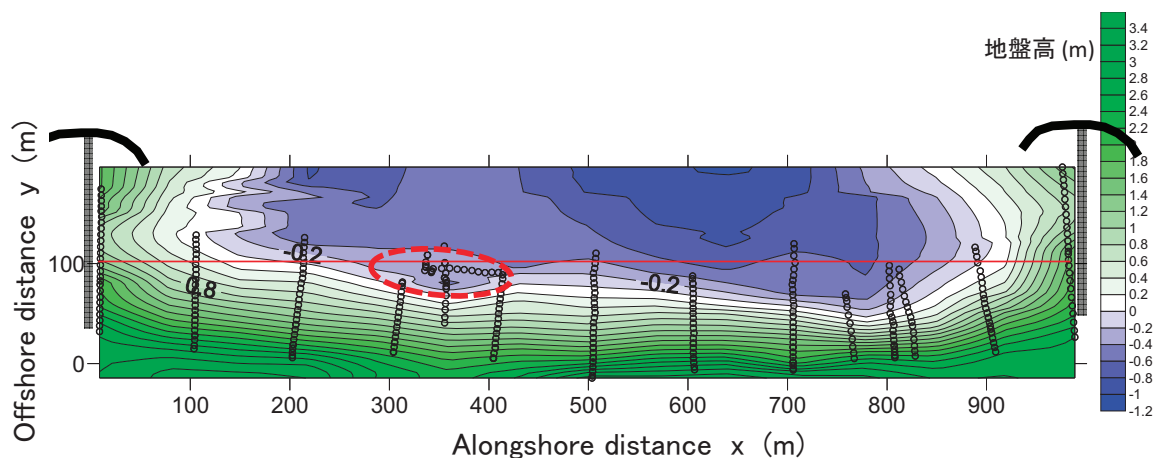


図-5.33 7月15日の地形（赤破線囲みは沿岸方向に伸びる砂嘴の位置）

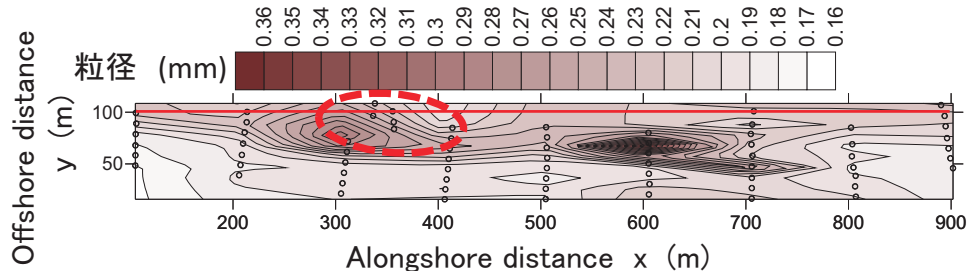


図-5.34 7月15日の表面砂の中央粒径分布（赤破線囲みは沿岸方向に伸びる砂嘴の位置）

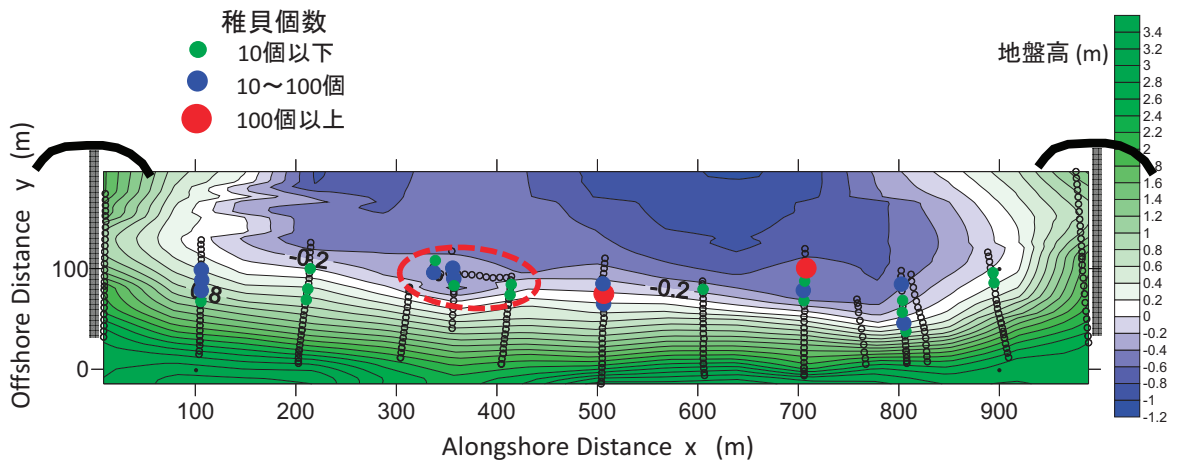


図-5.35 7月15日の稚貝の分布（赤破線囲みは沿岸方向に伸びる砂嘴の位置）

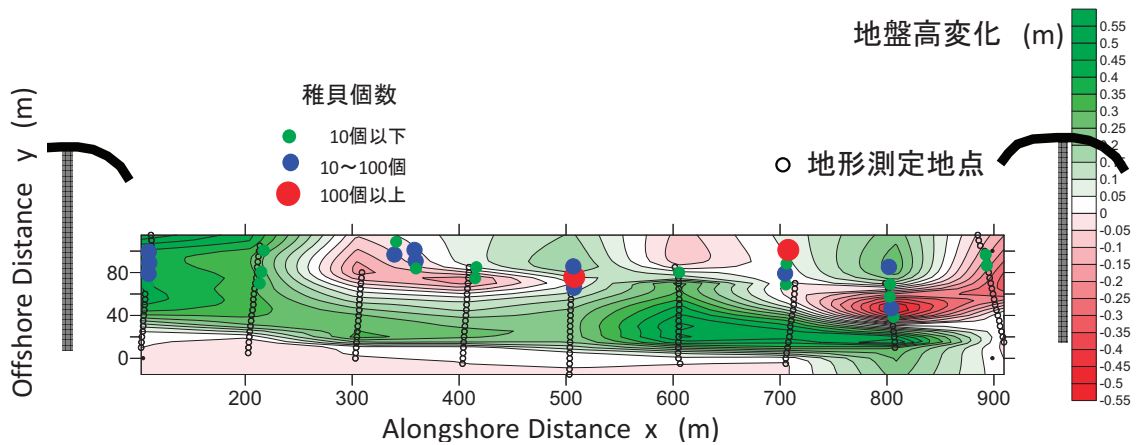


図-5.36 7月2日から15日までの地盤高変化量および15日の稚貝分布

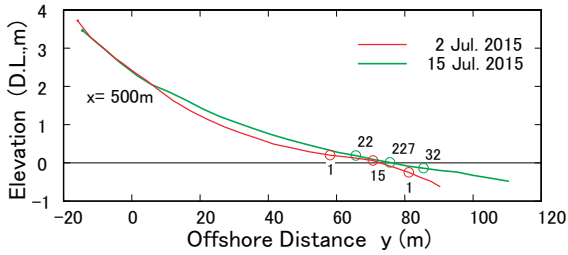


図-5.37 断面地形と稚貝の分布（沿岸距離 500m, 数字は稚貝個数を示す）

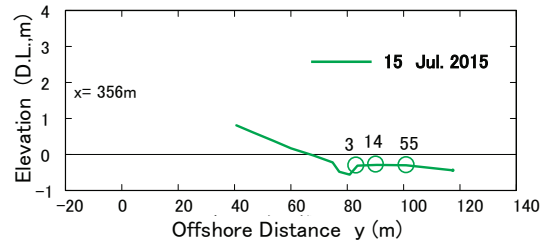


図-5.39 砂嘴が形成された断面地形と稚貝の分布（沿岸距離 356m, 数字は稚貝個数を示す）

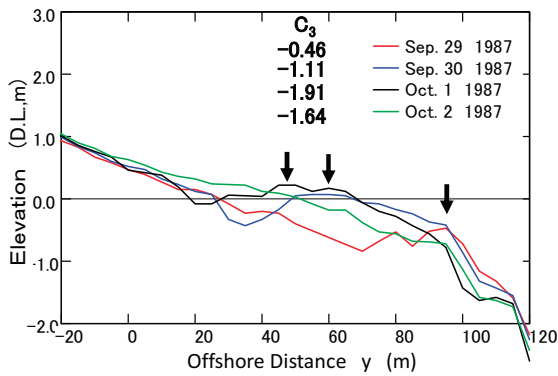


図-5.38 インナーバーの形成事例（1987年9月～10月, 図中矢印はインナーバー頂部位置を, 数字は時間係数 C_3 の値を示す）

グリ稚貝は, 主として7月2日に比べ堆積した範囲と砂嘴が形成された範囲に分布している。

図-5.37は, 稚貝が最も多く確認された $x=500\text{m}$ 測線の断面地形と稚貝の分布を示している。7月2日, 15日とも断面形状に明確なインナーバーは存在しない。この測線では7月2日にも稚貝が確認されており, 稚貝は2日, 15日ともD.L.0mで最も多くなる分布をしている。

図-5.38は, インナーバーが形成された例として1987年9月29日から10月2日までの断面地形を示している。インナーバーは, 9月29日(赤線)に出来初め, 日毎に図中に矢印で示すインナーバー頂部(その岸側は凹んだ地形)は, 岸側に移動するとともに, 頂部の高さも高くなっている。しかし, 10月2日になると断面形状(緑線)は, なだらかな形状で, 凹んだ部分は消滅している。図-5.37に示した濁沢海岸の断面形状は, 両日ともインナーバー形成の最終過程にあったと考えられる。

砂嘴が形成された沿岸方向距離 356m の断面地形および稚貝の分布を図-5.39に示すが, 稚貝は形成されたイン

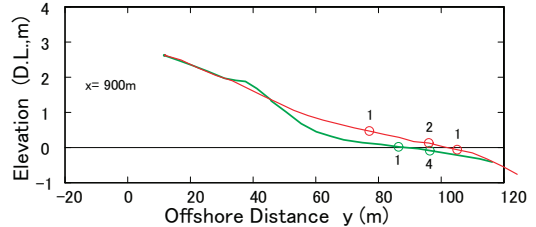
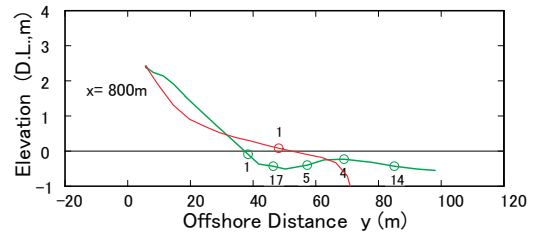
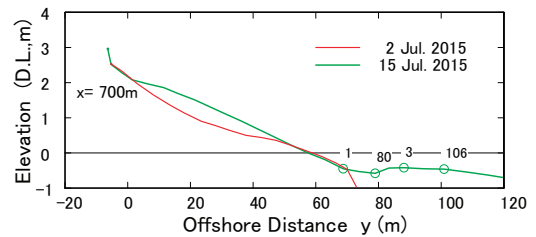


図-5.40 インナーバーの形成された断面地形と稚貝の分布（上段は沿岸距離 700m, 下段は沿岸距離 800m, 数字は稚貝個数を示す）

ナーバー頂部付近に分布している。一方, 図-5.36の $x=700\text{m}\sim 900\text{m}$ の測線において, 稚貝は侵食された範囲に分布している。これらの測線の断面地形を図-5.40に示すが, 稚貝は沖から運ばれた砂によって新たに形成されたインナーバー頂部からその陸側の凹んだ部分に集中して分布している事が分かる。

図-5.41は, 7月2日および15日の生物採取地点の底質の中央粒径と稚貝個数の関係を示している。稚貝は, 砂の中央粒径が 0.25mm 以下の地点に分布しており, この事は稚貝が細かい砂と同様な振る舞いをしている事を裏付けていると考えられる。

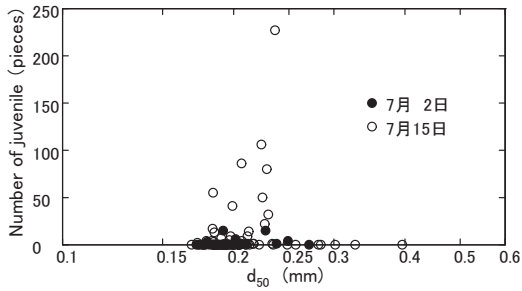


図-5.41 稚貝採取地点の d_{50} と稚貝個数の関係

濁沢海岸における集中調査から、静穏時に汀線付近に分布する稚貝は、長周期波の遡上に伴う侵食により、砂と一緒に沖に運ばれると推測される。その後、波が穏やかになると、稚貝は入射波によって沖から岸に向かう砂（インナーバーの形成）に伴い汀線付近に運ばれると考えられる。そうすると、汀線における稚貝調査の直前に長周期波による侵食が生じた場合、汀線において稚貝を確認出来なくなると推察される（付録E参照）。

次に、インナーバーの形成が年毎にどのように変化しているかを検討する事にする。

図-5.42 は、2005年8月5日の断面地形を示している。この時、インナーバーは $y=40\text{m}$ 付近に形成されている。1986年3月から2016年4月までの断面地形データを確認したところ、インナーバーは図中に矢印で示す $y=-20\sim 120\text{m}$ の範囲に形成されていた。そこで、この範囲の地形データを抽出し検討する。

解析には、経験的固有関数（例えば加藤・吉松，1984）を用いた。経験的固有関数を用いると、地盤高は次式で表される。

$$h(y,t) = \sum_n c_n(t) \cdot e_n(y) \quad (1)$$

ここで、 $h(y,t)$ は、測点毎の平均地盤高からの変化量であり、平均地盤高よりも高い場合を正としている。 y は岸沖方向距離、 t は時間、 $c_n(t)$ は、モード n の時間係数、 $e_n(y)$ は、モード n の固有関数である。

計算された固有関数の岸沖分布および時間係数の経年変化から、各モードは以下の要因を示すと考えられる。

- 1) モード1（寄与率55%）は、汀線の前進・後退
- 2) モード2（寄与率24%）は、汀線付近の勾配の変化
- 3) モード3（寄与率9%）は、インナーバーの形成

図-5.43、5.44 は、インナーバーの形成を表すモード3の固有関数の岸沖分布および時間係数の変化を示している。固有関数は、 $y=10\sim 80\text{m}$ の範囲で負の値であり、 $y=50\text{m}$ 付近でピークを有している。時間係数は0を中心として

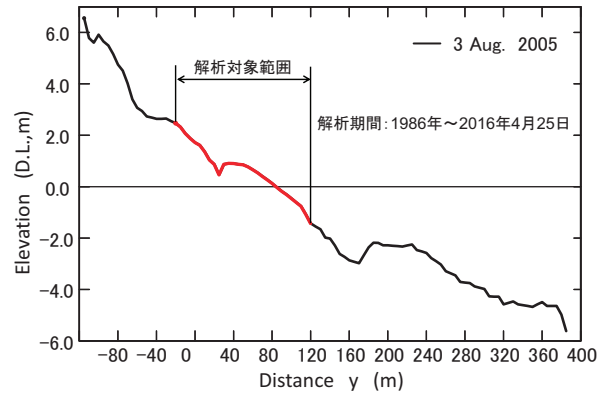


図-5.42 インナーバーの検討範囲（地形は2005年8月5日）

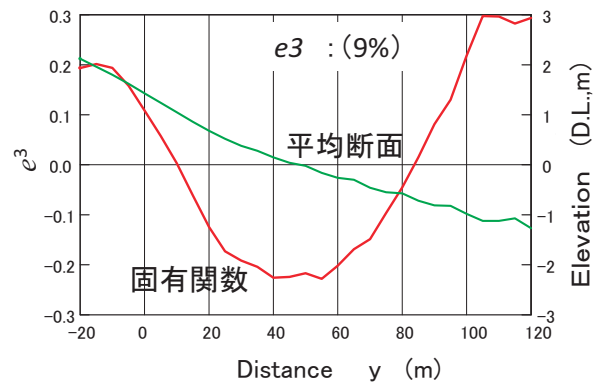


図-5.43 モード3の固有関数 (e_3) の分布（寄与率：9%）

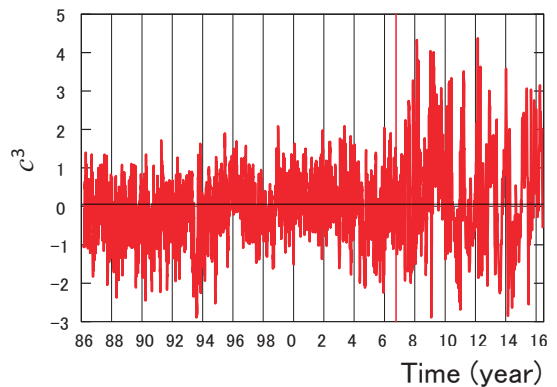


図-5.44 モード3の時間係数 (c_3) の経年変化

変動し、その変動幅は2007年以降大きくなっている。また、1995年から2004年までの負の時間係数値は、小さめになっている様子が見える。式(1)の関係から、固有関数が負の $y=10\sim 80\text{m}$ 範囲で、時間係数が負の時に、

インナーバーは形成されることが分かる。

インナーバーの形成例を示した図-5.38にはモード3の時間係数値も示してあり、時間係数 (c_3) はインナーバーが形成し始めた9月29日(赤線)の-0.46から変化し10月1日(黒線)に-1.91で最小になり、2日(緑線)には少し大きくなっている。そこで、時間係数値 c_3 が-1.0よりも小さい時に、インナーバーは明確に形成されていると判断した。

図-5.45 下段は、チョウセンハマグリ稚貝が沈着するであろう7月から汀線における稚貝調査が行われる翌年5月までの間に、モード3の時間係数値 c_3 が-1.0よりも小さくなった回数の変化(=インナーバーの出来やすさ)を、上段は汀線における稚貝の分布密度の変化を示している。波崎海岸では、前述のとおり2007年以降汀線付近が粗粒化しているため、ここでは1987年から2006年までの間のデータについて検討する。

インナーバーは、1987~1995年、2005~2006年に出来やすく、1996~2004年(黄色網掛)に出来難くなっている。4章で述べたチョウセンハマグリが資源にほとんど加入していない期間は、図-5.45に示したインナーバーが出来難い期間にほぼ一致している。稚貝は、インナーバーの出来難かった1996~2004年に非常に少なく(黄色網掛)、出来やすかった1987~1995年、2005~2006年に多くなっている。つまり、インナーバーが出来難い時、稚貝は汀線

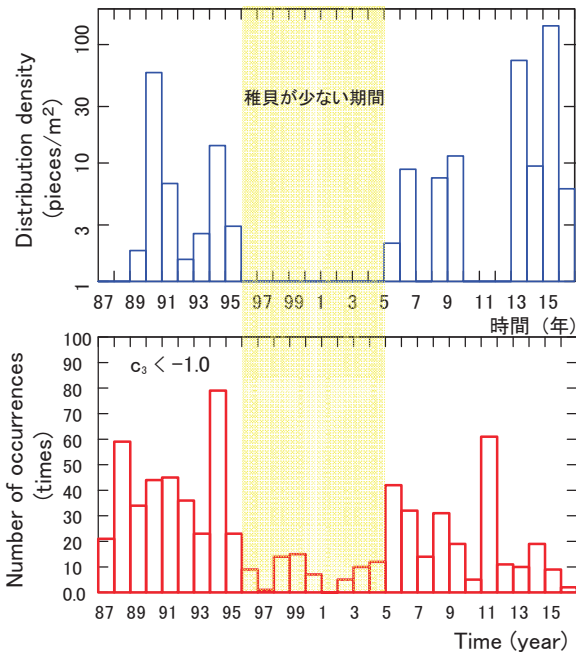


図-5.45 汀線付近における稚貝分布密度(上段)とインナーバーの出来やすさ(下段)

付近に運ばれ難いと考えられる。

チョウセンハマグリの生まれた年齢、インナーバーの出来やすさ、汀線における稚貝分布密度結果から、チョウセンハマグリにとって汀線付近での生活が重要であることが示唆された。つまり、汀線移行ステージが存在しないと図-5.46に示すとおり、その後の沖合移行ステージ、産卵ステージへと繋がっていかないものと考えられる。

次に、1996~2004年にインナーバーが出来難かった要因を検討する。

図-5.47は、モード1の固有関数の岸沖分布(青線)と平均断面地形(緑線)を示している。前述したとおり、固有関数の分布が、 $y=20\text{m}$ よりも沖側はほぼ同様な負の値になっていることから、モード1は、平均断面地形が岸沖方向に平行移動、言い換えると汀線の前進・後退を表していると考えられる。

図-5.48は、モード1の時間係数の変化を示している。時間係数は、1986~1994年、2003年~2006年の間、0を中心に変動している。一方、1995~2002年の間の時間係数は、そのほとんどがマイナス側で変動し、逆に2007~2016年の間は、プラス側で変動している。インナーバー

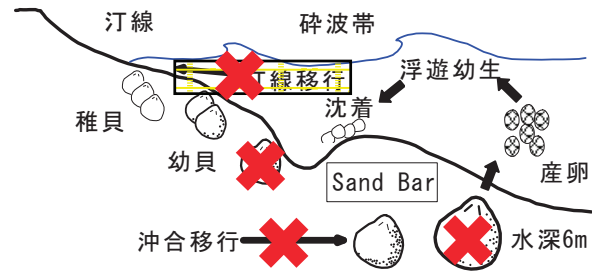


図-5.46 汀線移行が生じない場合のチョウセンハマグリ生活史の変化

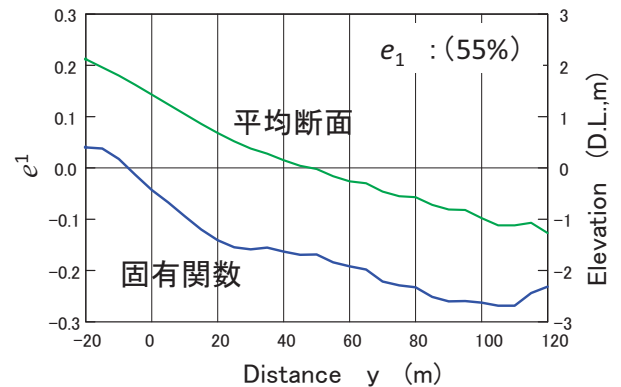


図-5.47 平均断面地形(緑線)とモード1の固有関数 (e_1) の分布(寄与率: 55%, 青線)

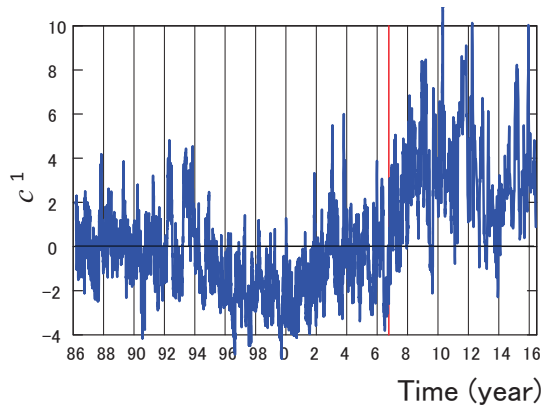


図-5.48 モード1の時間係数 (c_1) の変化

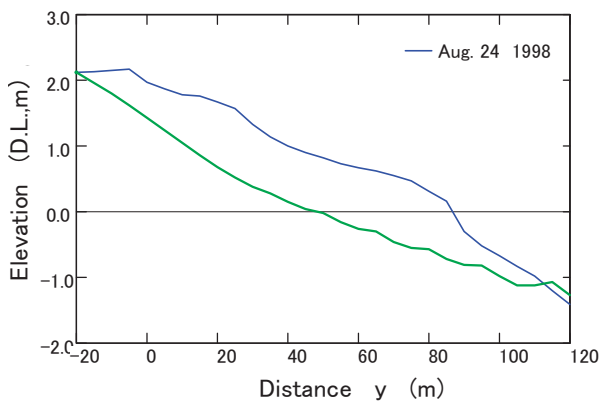


図-5.49 断面地形例

(1998年8月24日, 緑線は平均断面地形)

が出来難かった1996~2004年頃の時間係数はほとんどがマイナス側にある事から、地形は平均断面地形よりも高く(例えば図-5.49参照)、堆積状態が継続していた事が分かる。

EOF解析の各モードは独立であるので、基本的には各モードは無関係であるが、限られた期間においては汀線の前進(モード1)とインナーバーが形成されない(モード3)とが関係しているかもしれない。

5.5 幼・成員の沖向き移動

チョウセンハマグリは汀線付近から沖合(水深6m)まで連続的に移動するのではなく、汀線付近から沖のバー付近までへの移動と沖のバー付近から沖合までへの移動の2つのステップから成っていると考えられる。

汀線付近から沖のバー付近への移動は、5.5節で述べた長周期波による侵食の際の稚貝の沖向き移動の延長と考えられる。

図-5.50は、図-2.16に示した台風8713号来襲時の断

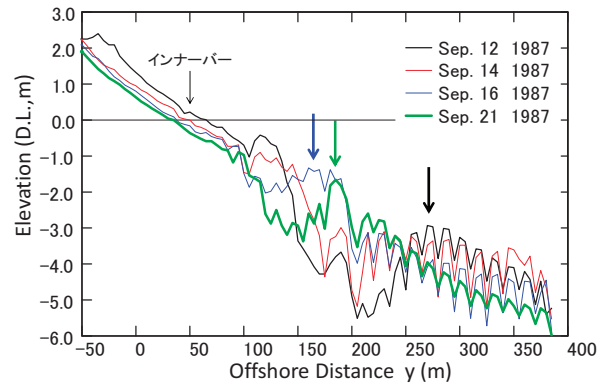


図-5.50 長周期波による侵食前後の断面地形変化(1987年9月, 太矢印はバーの位置を示す)

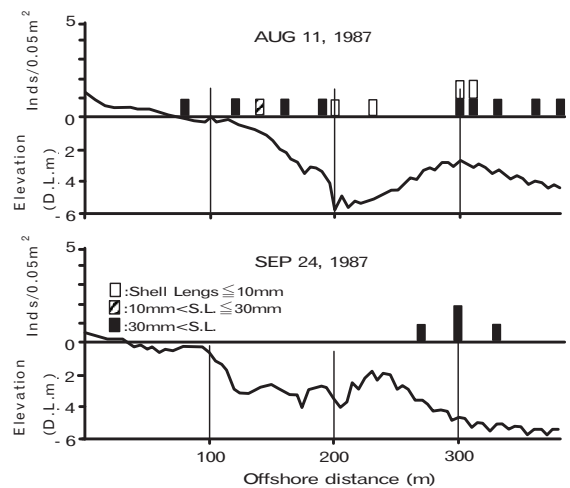


図-5.51 海底断面とチョウセンハマグリ分布(日向野2004)

面地形変化を示し、図中の太矢印はバーの位置を示している。非常に発達した長周期波(波高1.35m)によって汀線付近が侵食されるとともに $y=270\text{m}$ 付近に存在したバーも14日には消滅し断面地形は一様勾配に近くなっている。なお、14日の断面地形に現れている $y=175\text{m}$ および $y=210\text{m}$ 付近の深掘れは、栈橋を支える鋼管杭がそれぞれ2本、4本と他の場所に比べ多いためである。16日になると青矢印で示すバーは $y=170\text{m}$ に、トラフは $y=130\text{m}$ 付近に形成され始めている。その後トラフは少しずつ深くなるとともにバーの位置は少しずつ沖に移動した。

日向野(2004)は、図-5.50とほぼ同時期にHORSにおいてチョウセンハマグリの分布調査を行っており、その結果を図-5.51に示す。幼貝は、8月11日には、干潮時汀線付近から220mの範囲およびバーの沖側に分布している。台

風通過後の9月24日には、汀線付近から220mの範囲に幼貝はいなくなり、バー沖側地点の幼貝が増加している。

日向野が調査した8月11日から台風による大規模な地形変化が生ずる直前の9月12日までの間に、波高が2mを越えたのは、9月8日頃（有義波高3.05m，有義波周期7.2s）の荒天だけであり，その時の長周期波の波高は0.3mであった。この間，バーム・インナーバーの消滅および形成は複数回生じたが，沿岸方向距離100mよりも沖側の断面地形はほとんど変化しなかった。従って，8月11日から9月12日までの幼貝の分布域は大きく変化していなかったと考えられる。

台風来襲前にインナーバー付近にいた幼貝（1985年級以前の貝）は，非常に発達した長周期波によって砂とともにバー・トラフの形成される沖（ $y=150\sim 200\text{m}$ ）まで運ばれ，バー・トラフ付近を生活の場とするようになるものと考えられる。一方，汀線付近の砂がバー・トラフ形成位置まで運ばれない波高の小さな長周期波が来襲した時には，幼貝は5.4節で述べた岸沖方向の移動を繰り返すものと考えられる。そうすると，幼貝が主たる棲息水深である水深6mの沖合へ移動してゆくために，図-2.16に示したような荒天は，年に1回以上発生することが望ましいと考えられる。

沖のバー付近からさらに沖への移動に関しては，荒天時のバーの沖への移動に伴い，チョウセンハマグリが活動が少なく，海水温が最低になる1月から2月でも，チョウセンハマグリは分布域は，沖へ移動することが日向野(2004)の研究によって明らかとなった。そして，バーは，季節的に岸沖方向に移動する事が栗山(2001)の研究によって明らかになっている。

チョウセンハマグリは，日向野(2004)が示したとおり，主としてバー周辺に分布しているので，バーが沖へ移動することにより，チョウセンハマグリも沖へと移動してゆくと考えられる。その結果，チョウセンハマグリ成貝が主として分布する水深は，HORSにおいてバーが消滅する先端付近の水深である6mとなるものと考えられる。

図-5.52は，1986～2016年までのHORSにおけるバー頂部の岸沖位置の変化を示している。なお，図中の○印は沖側のバーを示し，岸側にもバーがあった場合には○印で示す。また，バーの移動状況を赤色矢印で示している。バーは，栗山(2001)が示したとおり1年の間に，沖に向かって移動することが多い。しかし，1995年以降，バーの位置が12月になっても棧橋の途中でストップする，あるいは，バーの沖方向への移動に数年を要するケースも生じている。また，黄色網掛で示す1999年，2005年のようにバーがほとんど移動しない年も存在する。

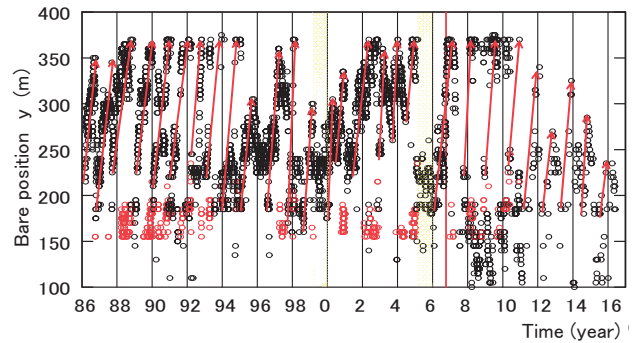


図-5.52 HORSにおけるバー頂部位置の変化（○は沖側のバー，●は岸側のバー，赤矢印はバーの移動を示す）

バーの沖向き移動が一時的にストップすることはあっても，その状態が長期間にわたって継続していない事から，チョウセンハマグリ成貝の主たる生息域である水深6mへの沖向き移動は，継続していると考えられる。

5.6 大量な資源加入のための条件検討

表-5.1の(a)欄は，図-5.4において産卵期の水温が最適水温帯に含まれる年を○印で，外れる年を×印で評価した結果を示している。緑塗は，大量に資源加入した年を示している。水温上昇時，水温低下時の条件がともに適しておりチョウセンハマグリが大量に資源に加わる可能性のある年は12回で，全期間(1987～2015年までの29回)の40%である。水温上昇・水温低下とも適さないと評価される年は3回(1988，1991，2006年)あり，このような年は，産卵そのものが少なかった可能性がある。

表-5.1の(b)欄は，図-5.11において定義したチョウセンハマグリ最適沈着回数帯の最小値16回(1989の沈着回数)で各年の沈着回数を除した値を示している。チョウセンハマグリが大量に資源に加わる可能性のある年(数値が1.0以上)は7回で，全期間(1987～2010年までの24回)の30%であり，浮遊幼生が沈着可能であろう流動環境の年は少ない。

表-5.1の(c)欄は，図-5.25において内部波の最適帯に含まれる年を○印で，外れる年を×印で評価した結果を示している。また，(d)欄は，稚貝の汀線調査時直前の波浪状況(付録E参照)が堆積傾向の時を○印で，侵食直後を×印で，堆積が進行していない時を△印で示した。図-5.53は，汀線における稚貝の分布密度を再度示している。

この表および図から，全ての環境要因が○印で，汀線調査時の波浪状況も○印もしくは△印の時(1989，1993，2011，2014年)に，チョウセンハマグリは大量に資源に加入している。しかし，いずれかのステージの物理環境が

表-5.1 汀線移行までの環境要因の評価（緑枠塗はチョウセンハマグリ的大量発生年を、○印は大量に資源に加わる可能性があることを、沈着回数の値は、数値が1.0よりも大きい場合、大量に資源に加わる可能性を示す）

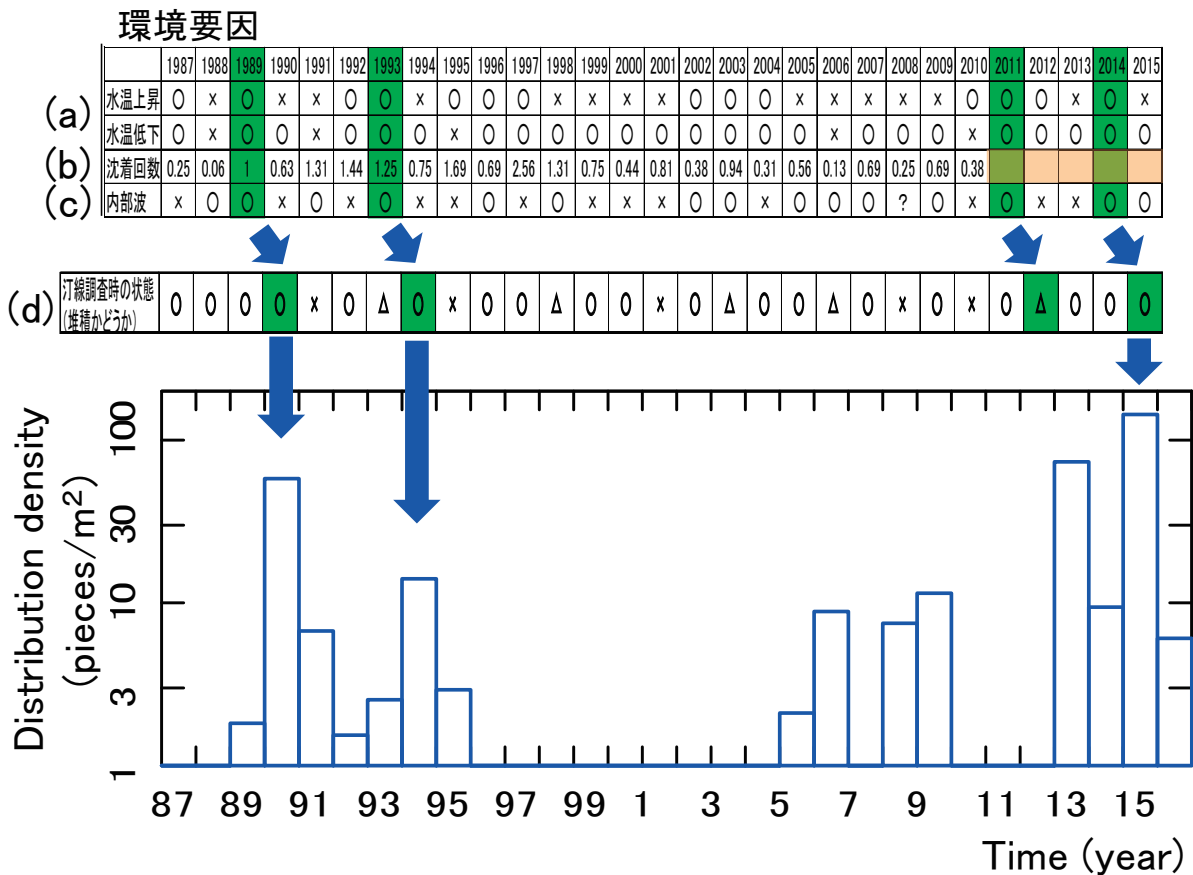


図-5.53 汀線における稚貝の分布密度

適さないと、生き残りは少なくなる。

産卵はその後に続く浮遊期と関連するため、2ステージともに好適な機会は少ないと考えられる。一方、沿岸湧昇による水温低下後の急激な水温上昇の際に、鹿島灘のチョウセンハマグリが一斉に産卵する事により生き残っていると考えられる。

浮遊幼生ステージにおいては、福田(1976)、二平(1998)が指摘したように、海岸の連続性が重要であり、鹿島港の建設によるチョウセンハマグリの棲息域の分断は、チョウセンハマグリの生き残りが悪くなった原因の一つと考えられる。最近の漁獲量が連続して減少しているのは、1999年から2010年まで連続して、大量の資源加入につながるであろう沈着可能な流れ環境になかったためと考えられる。内部波は、浮遊幼生をチョウセンハマグリの主たる棲息水深である6mよりも沖に運んでしまうので、発生しない事が望ましいと考えられる。

チョウセンハマグリが、資源加入しなかった1996～

2003年に、汀線付近のインナーバーが形成され難いとともに汀線付近に稚貝が運ばれ難かったと考えられることから、チョウセンハマグリの生活史の中で、汀線域で生活する事の重要性が示唆された。

チョウセンハマグリは、沿岸湧昇、汀線付近での砂の岸沖移動、バーの冲向移動など、鹿島灘の物理環境をうまく利用して生残を図っていると考えられる。

5.7 今後の課題

チョウセンハマグリの各ステージにおける物理環境と生き残りとの関係は今まで述べたとおり明らかになってきているが、以下のような課題も残されている。

- (1) 産卵はどのようなタイミングで行われるか？
- (2) 浮遊幼生は、何処に、どのように沈着するのか？
- (3) 稚貝が汀線付近で生活するメリットは何か？
- (4) 鹿島灘における物理環境は黒潮等の大きな時間スケールの変動と関係があるか？

6. おわりに

チョウセンハマグリ産卵、浮遊幼生、沈着、汀線移行、沖合移行の各ステージの物理環境と生残との関係について検討した。得られた主要な結論は、以下のとおりである。

6.1 産卵

- (1) 大量発生につながる産卵のための最適水温があり、30年平均水温に比べ平均1°C以上高くならない方が良く、沿岸湧昇により水温が下がっても平均-1~2.3°Cの範囲が最適水温と考えられる。
- (2) 沿岸湧昇による水温低下後の急激な水温上昇をきっかけに、チョウセンハマグリは産卵していると考えられる。

6.2 浮遊幼生の沿岸方向移動

- (1) 浮遊幼生が沈着可能な最適な沿岸流環境があり、沿岸流の向きが頻繁に大洗方向、波崎方向へと変わる状態が望ましい。

6.3 浮遊幼生の岸沖方向移動および沈着

- (1) 浮遊幼生は、内部波によって沖向きに運ばれるので内部波は発生しない事が望ましいと考えられる。
- (2) 沖にバーがある場合、トラフを境として砂の動きが異なるので、トラフよりも岸側に沈着した方がチョウセンハマグリの生残は良くなると考えられる。

6.4 稚貝の汀線近傍への移動

- (1) チョウセンハマグリは、波が穏やかになり沖に運ばれていた砂が入射波により岸向きに戻る（インナーバーの形成）際に、砂と一緒に汀線付近に運ばれる。
- (2) 汀線付近での生活がチョウセンハマグリにとって重要であることが示唆された。

6.5 幼・成貝の沖への移動

- (1) チョウセンハマグリ幼貝は、非常に発達した長周期波によって通常沖のバーが存在する位置まで運ばれると考えられる。
- (2) チョウセンハマグリ幼・成貝は、沖のバーの沖向き移動に伴って主たる棲息水深である6m付近に移動する。

(2019年1月31日受付)

謝辞

本論文のとりまとめにあたって、水産工学研究所長日向野純也氏、港湾空港技術研究所長栗山善昭氏、沿岸環境研究グループ長桑江朝比呂氏、津波高潮研究グループ長高川智博氏から有益な助言をいただいた。HORSにおける蛍光砂を用いた砂移動に関する図面は、横浜国立大学大学院都市イノベーション研究院鈴木崇之准教授、国立研究開発法

人土木研究所寒地土木研究所伊波友生研究員、横浜国立大学大学院川越あすみさんから提供していただいた。鹿島港の沖波データは、国土交通省港湾局から提供していただいた。解析に用いた観測栈橋に沿う断面データ、平面地形データは、(株)エコー、(株)プライア・コンサルタント、国際気象海洋(株)の観測補助員の皆様および沿岸土砂管理研究グループのメンバーによって観測されたものである。ここに記し、深謝の意を表す。

本研究は、茨城県水産試験場、国立大学法人筑波大学、国立研究開発法人水産研究・教育機構水産工学研究所と当所で、1986年から実施している「鹿島灘海岸における物理環境と生物動態に関する共同研究」の一環として実施したものである。今までの調査に参加された共同研究メンバーの皆様にも、謝意を表す。

参考文献

- 茨城県水産試験場(2005): 茨城県水産試験場事業報告, 平成15年度
- 茨城県水産試験場(2014): 水産の窓, 25-No.47.
- 茨城県水産試験場(2016): 水産の窓, 28-No.6.
- 茨城県水産試験場(2016): 水産の窓, 28-No.27.
- 茨城県水産試験場(2017): 水産の窓, 29-No.27.
- 宇田川徹・澤田英樹・南部亮元・齊藤肇・杉松宏一・西敬浩・八木宏・浜口昌巳・中山哲巖(2013): 鹿島灘〜九十九里沿岸におけるチョウセンハマグリ浮遊幼生分布モニタリング, 日本ベントス学会・日本プランクトン学会合同大会講演要旨集, pp.143.
- 宇田川徹・南部亮元・杉松宏一・中山哲巖(2015): チョウセンハマグリ浮遊幼生モニタリング, 水産工学研究所, 研究成果情報等リーフレット, 2015-06.
- 加藤一正・柳嶋慎一(1992): 長周期波によるバームの侵食, 土木学会論文集, No.452/II-20, pp.41-50.
- 加藤一正・吉松 晃(1984): 三次元の経験的固有関数による深淺図解析法, 港湾技術研究所報告, Vol. 23, No. 2, pp.27-47.
- 栗山善昭(2001): 沿岸砂州の長期変動特性と底質移動特性, 土木学会論文集, No.677/II-55, pp.115~128.
- 児玉正碩・市毛清紀(1980): チョウセンハマグリの種苗生産研究-II 浮遊幼生および稚貝の飼育適正水温について, 茨城県水産試験場報, 23号, pp.5-10.
- 佐々木浩一(1991): ウバガイの生活史初期における分布様式と減耗過程, 月刊海洋, Vol.23, No.10, pp.666-671.
- 鈴木崇之・川越あすみ・柳嶋慎一・比嘉紘士(2017a): 蛍光砂を用いた表層底質の移動特性解析の試み, 土木学会論文集 B3, Vol. 73, No. 2, p.I_5941-I_5999.
- 鈴木崇之・伊波友生・崎濱秀平・比嘉紘士・中村由行・柳嶋慎一(2017b): 蛍光砂を用いた堆積性波浪来襲時における底質移動動態に関する一考察, 土木学会論文集 B2, Vol. 73, No. 2, p.I_667-I_672.
- 鈴木崇之・田島貴一・比嘉紘士・中村由行・柳嶋慎一(2018): 蛍光砂を用いた岸沖底質移動および表層底質混合厚に

- 関する現地観測, 土木学会論文集 B2, Vol. 74, No. 2, p.I_763-I_768.
- 高島葉二 (2001): 鹿島灘はまぐりの産卵期-II 卵巣の季節変化と産卵期の変動, 茨城水試報, 第 39 号, pp.7-14.
- 鶴谷広一・柳嶋慎一・松延嘉國(1985): 逆風による波の減衰について, 海岸工学講演会論文集, 第32回, pp.209-2013.
- 中村義治(1991): 沿岸域の水理環境とウバガイの漁場形成機構に関する研究, 東京水産大学学位論文, 118p.
- 二平章・青木雅志・児玉正碩・谷村俊明・安川隆宏 (1998): 鹿島灘ハマグリ発生量変動, 茨城水試研報, 第 36 号, pp.15-21.
- 二平章・安藤隆二・根本孝 (2004): 鹿島灘の貝桁網漁業と海浜環境保全, 北日本漁業, 第 32 号, pp.51-61.
- 根本孝・松浦健郎・二平章・岡安章夫 (2009): 鹿島灘砂浜域の地形と底質粒径の経年変化およびそれらがチョウセンハマグリ稚貝の分布に及ぼす影響について, 水産工学論文集, Vol.46, No.1, pp.51-64.
- 浜口昌巳(2009): アサリ等海産ベントスの初期生態研究推進のための技術開発, 日本水産学会誌, 75 巻, 4 号, pp.771-774.
- 半澤浩美(2017): 茨城県鹿島灘の汀線域におけるチョウセンハマグリ稚貝分布と底質粒径値の年次変化, 茨城水試研報, 第 46 巻, pp.1-7.
- 半澤浩美・杉原奈央子・山崎幸夫・白井厚太郎(2017): 茨城県鹿島灘産チョウセンハマグリ年齢形質と年齢推定法, 日本水産学会誌, 83(2), pp.191-198.
- 半澤浩美・山崎幸夫(2011): ヘッドランドに挟まれた砂浜海岸における鹿島灘はまぐりの分布と地形の特徴, 茨城水試研報, 第 42 巻, pp.31-35.
- 日向野純也(1987): 私信
- 日向野純也 (2003): 砂浜性二枚貝の分布生態に関する研究, 東京大学学位論文, 145p.
- 日向野純也・足立久美子・木元克則 (1994): 砂浜性二枚貝の発生と浮遊期における流れの関係について, 平成 6 年度日本水産工学会学術講演会講演論文集, pp.45-46.
- 日向野純也・安永義暢 (1990): チョウセンハマグリ浮遊幼生の遊泳行動に関する基礎研究, 水工研報告, 第 11 号, pp.43-51.
- 福澄賢二・浜口昌巳・小池美紀・吉岡武志(2013): モノクローナル抗体法及びリアルタイム PCR 法によるアコヤガイ浮遊幼生の同定, 福岡水海技セ研報, 第 23 号, pp.27-32.
- 福田英雄 (1976): 鹿島灘産チョウセンハマグリ生態について-1 分布要因を規定する諸要因について, 茨城水試研報, 第 20 号, pp.9-16.
- 藤本武 (1959): 鹿島灘有用貝類の増殖に関する基礎研究-VI チョウセンハマグリ (*Meretrix Lamarckii Deshayes*) 稚貝の成長について (第 1 報), 茨城水試試験報告, 昭和 31 年度, pp.128-134.
- 山田静男・藤本武 (1962): 鹿島灘有用貝類の増殖に関する基礎研究-VII チョウセンハマグリ棲息量について (第 1 報), 茨城水試試験報告, 昭和 37 年度, pp.21-32.
- 相良順一郎・田中彌太郎・浜田サツ子・二宮直尚 (1967): チョウセンハマグリ発生におよぼす環境要因の影響に関する研究-I チョウセンハマグリ発生初期における適温, 適比重, とくに低温, 低比重の影響について, 茨城水試試験報告, 昭和 42 年度, pp.117-123.
- 真岡東雄 (1967): チョウセンハマグリ幼生の飼育, 茨城水試試験報告, 昭和 42 年度, pp.131-136.
- 八木宏・日向博文・足立久美子・日向野純也・灘岡和夫 (2000): 鹿島灘海岸域における日スケールの水温変動と物質輸送特性, 土木学会論文集, No.642/II-50, pp.87-98.
- 柳嶋慎一(2016): 波崎海岸における底質粒径の変動特性, 港湾空港技術研究所資料, No.1317, 42p.
- 行川修平・武若 聡(2014): 夏季の鹿島灘海域で観測された水温変動とフロントの伝播に関する研究, 土木学会論文集 B2, Vol.70, No.2, p.I441-I445.
- Hideki Sawada・Hajime Saito・Kumiko Adachi・Haruhiko Toyohara(2011): Seasonal variation of bivalve larvae on an exposed sandy beach on Kashima-nada: Tips for the sandy beach recruitment process, Journal of Sea Research, Volume 65, Issue 2, pp.275-283.

付録A 大洗海岸における稚貝の分布調査結果

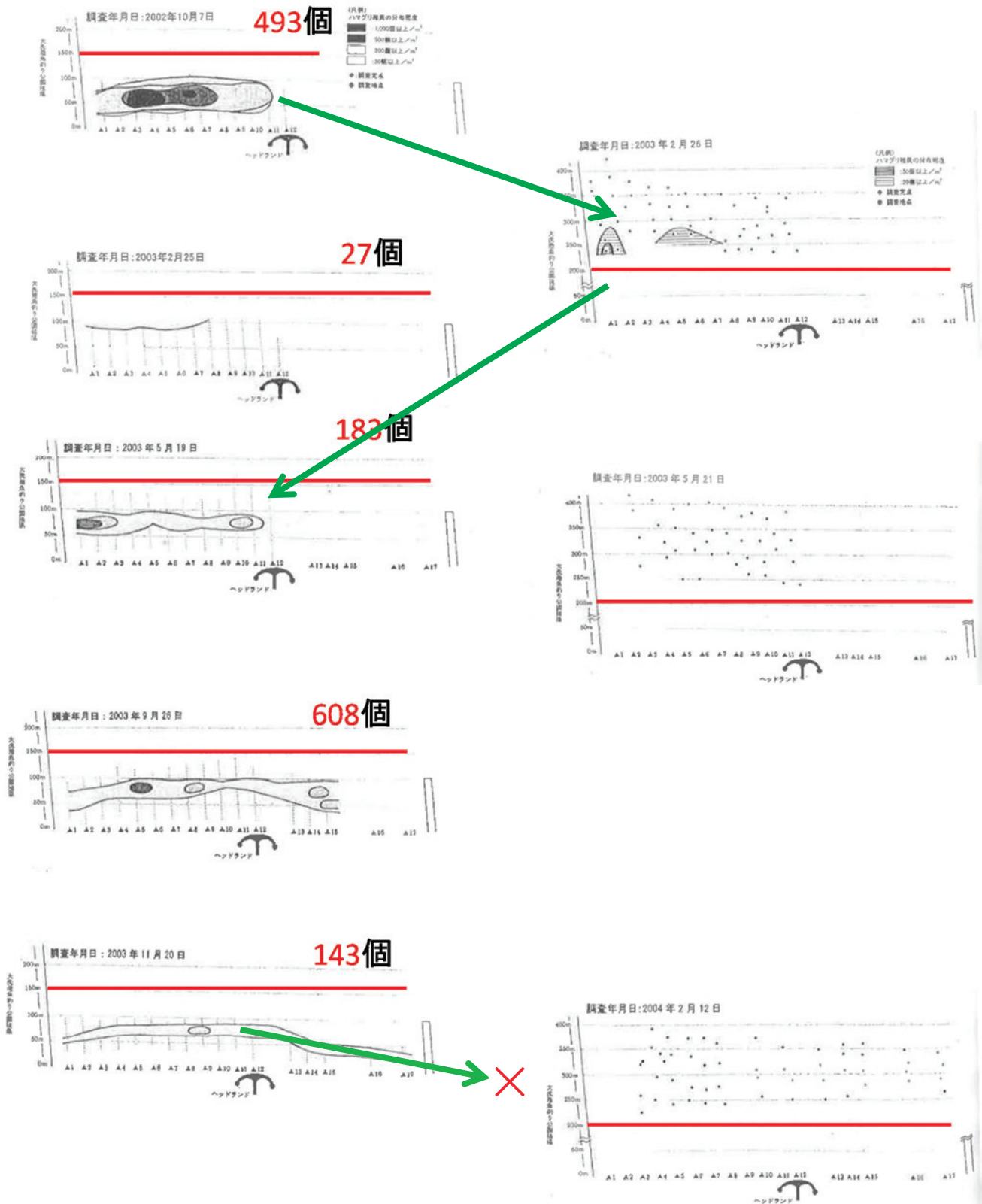


図-A.1 大洗サンビーチにおける稚貝の分布（茨城水試 2005 をもとに作成，左側は汀線における調査結果，右側は沖合における調査結果，赤線は岸沖方向の同距離位置，赤数字は汀線付近の稚貝総個数，緑矢印は想定される稚貝の動きを示す）

付録B 汀線付近における底質粒径の空間的変動特性

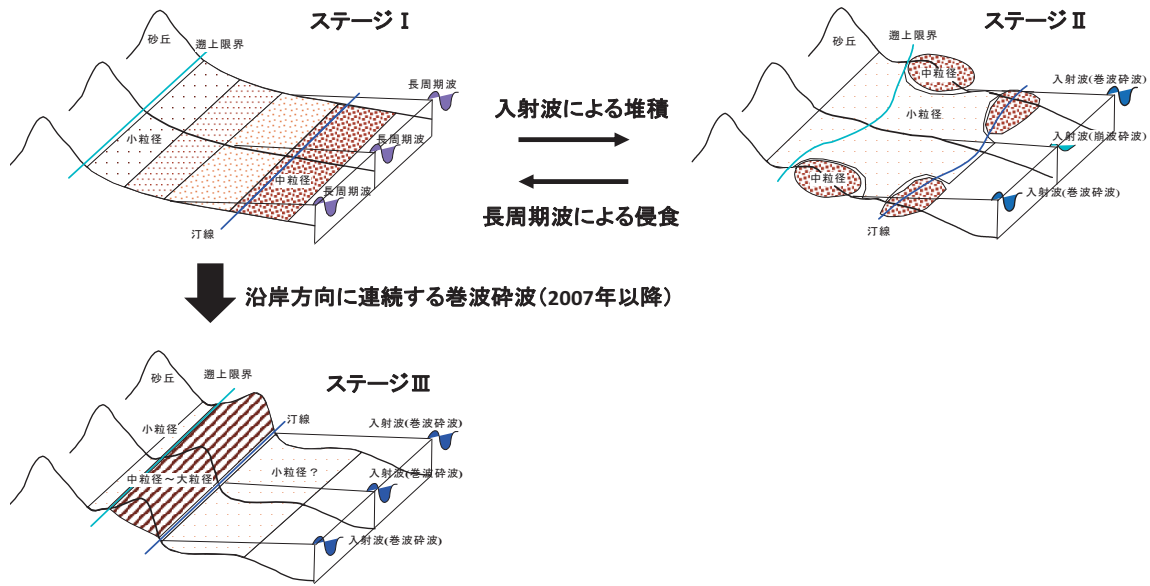


図-B.1 汀線付近における底質粒径の空間的変動模式図（柳嶋 2016）

付録-C 区域別チョウセンハマグリ分布密度が変化する要因

1986～1994年級の稚貝は中間区域で多いのに対し、2001～2009年級の稚貝はほとんど大洗のみで確認された事を、4章で述べた。そこで、稚貝の分布域が2001～2009年に変化した要因を検討する。

図-C.1は、稚貝が大洗のみで確認された2007年の推定産卵開始日から9月末までの累積移動距離を示している。ここで、観測された沿岸流速は1日変化しないとし、推定産卵開始日から1日ごとの移動距離を累積した。2007年の沿岸流は鹿島方向への流れが卓越するため、累積移動距離は、青線で示す最小自乗法によって求めた近似直線に沿って、ほぼ直線的に変化し、9月末には800km移動する結果となっている。

そこで、全ての年について累積移動距離を求め、近似直線の累積移動勾配の変化を、図-C.2に示す。鹿島灘におけるチョウセンハマグリ産卵・浮遊期の沿岸流は、1994年、2000年、2003年を除き大洗方向に向かうことが分かる。稚貝のほとんどが大洗で確認された2004、2006年の累積移動勾配は、2007年以上に大きくなっている。つまり、浮遊期の沿岸流が大洗方向に卓越する場合、浮遊幼生は大洗方向に運ばれるものの、大洗港の防波堤（写真-C.1参照）が流れを堰き止める働きをし、浮遊幼生の一部は大洗港付近

の海岸にトラップされ沈着するのではないかと考えられる。しかし、1989年の累積移動勾配は、2004年以降よりも大きいが、1989年級の稚貝は中間域で多く確認されたので、大洗方向への流れだけでは、稚貝の分布域の変化を説明できない。

図-C.3は、1989年の累積総移動距離を示している。沿岸流は、8月中旬まで大洗方向への速い流れが連続するため、移動勾配は直線近似した累積移動勾配よりも大きくなっている。しかし、その後青矢印で示す期間は移動が少なく、赤矢印で示す期間は流れの向きが頻繁に変わるとともに、波崎方向への緩やかな移動が連続している。そうすると、浮遊幼生は8月中旬まで大洗港付近でトラップされた可能性があるが、図-C.3にも示したとおり、青矢印および赤矢印で示す期間に広範囲に分散したのではないかと考えられる。その結果として、1989年の稚貝は中間域で多くなったと考えられる。

次いで累積総移動勾配が大きい1987年および1988年は1989年と同様、解析期間中に累積移動勾配に比べ短期的に移動勾配が緩くなる期間が存在した。従って、稚貝が大洗のみに分布するのは、浮遊幼生ステージの沿岸流が連続して大洗方向へ流れるためと考えられる。

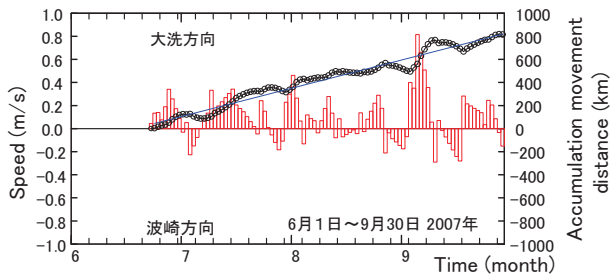


図-C.1 累積移動距離

(2007年, 青線は最小自乗法で求めた近似直線)

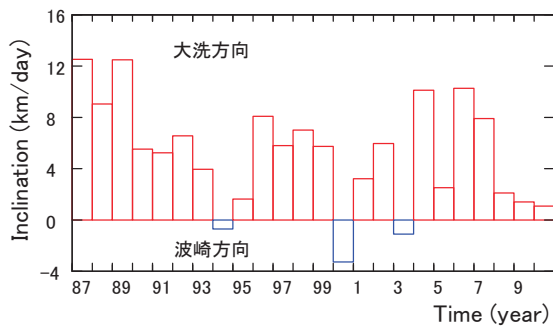


図-C.2 累積移動勾配の変化

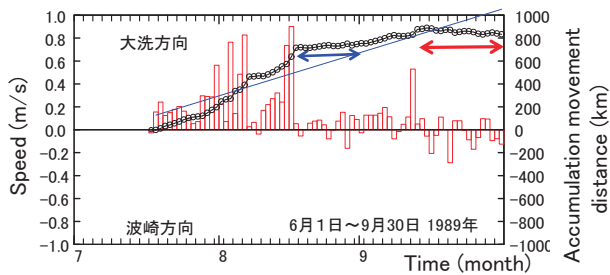


図-C.3 累積移動距離 (1989年, 青矢印は短期移動勾配が緩い期間を, 赤矢印は短期移動勾配が緩く流れが波崎方向に向かう期間を示す)

付録D HORSにおける水温特性

図-D.1は, HORSにおける10時の水温の平均値 (1987～2016年の平均, 以後30年平均水温と呼ぶ) の季節変化を緑線で示している. なお, 図中には那珂湊定置水温の平均値 (1981～2010年の平均) を青線で示してある. 両地点共, 水温は3月始に最低になり, 8月末に最高となる季節変化を示している. HORSの水温は, 那珂湊定置水温と比べ, 1月～7月中旬および10月～12月に高くなっているけれど, チョウセンハマグリの産卵適期である7月中旬～9月の水温 (図

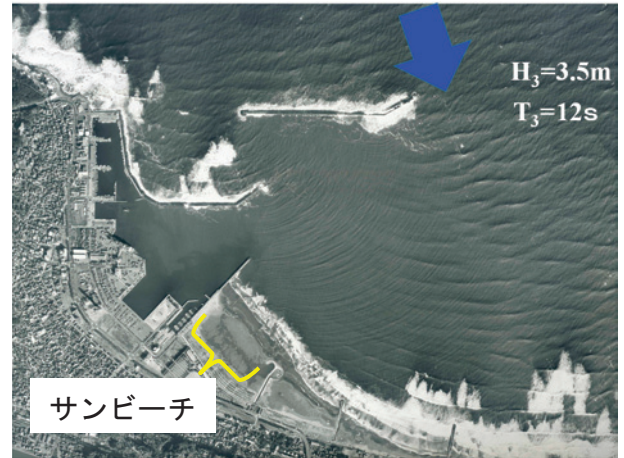


写真-C.1 大洗港の航空写真 (2003年12月3日撮影, 矢印は波向きを, 数字は波高・周期を示す)

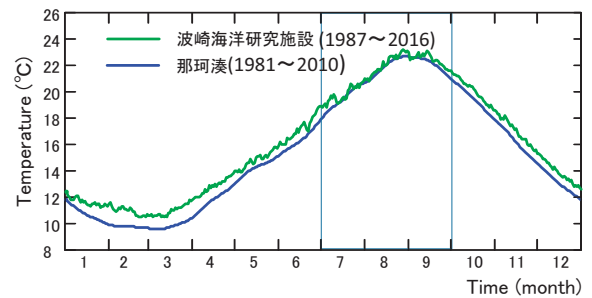


図-D.1 HORS および那珂湊定置水温平均値の季節変化 (緑色網掛はチョウセンハマグリの産卵が多い期間)

中緑色網掛の範囲) は, 那珂湊定置水温と同様である.

付録E 汀線付近における稚貝調査時の堆積状況

汀線調査日前の海象条件によっては, 稚貝調査直前に侵食があった場合, 沖に稚貝がいても汀線付近に稚貝がないという結果になる可能性のあることが濁沢海岸の調査から分かった. そこで, 資源に大量に加入はしたものの, 汀線調査で稚貝が確認されなかった 2011 年級チョウセンハマグリの稚貝調査時の波浪状況を確認した.

図-E.1は, 2012年稚貝調査前後の鹿島港の有義波高, 有義波周期の変化を示している. 稚貝調査を行う4日前に, 有義波高4m, 周期11s程度の波が来襲している. この際に, 長周期波による汀線付近の侵食が生じたと推察される. その後, 波高は急激に減少するものの周期は長い状態が継続しているので, 沖から岸に向かう砂の移動が生じ難かった可能性がある. そのため, 2011年級稚貝は2012年の汀線調査において確認されなかったと考えられる.

茨城水試の稚貝調査直前の波浪状況を 1987～2016 年について確認したところ、調査日の数日前に高い波が観測され、侵食直後と判定されたのは 1991, 2001, 2010 年の 3 回であった。また、図-E.1 と同様に侵食直後ではないものの沖から岸への砂の堆積が十分でない、あるいは時化直前に一部調査が行われたと判定されたのは、1993, 1995, 1998, 2003, 2006, 2008, 2012 年の 7 回であった。

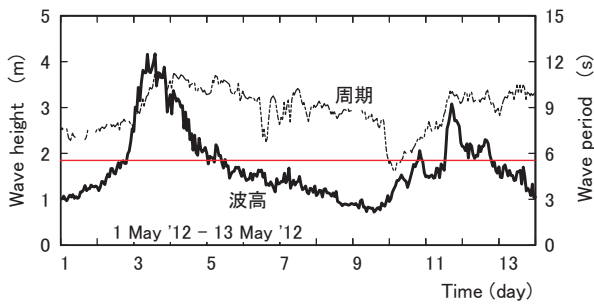


図-E.1 稚貝調査時の波浪状況（2012年、赤色網掛は稚貝調査時を、赤横線は波高 1.8m を示す）

港湾空港技術研究所資料 No.1355

2019. 8

編集兼発行人 国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所

発行所 港湾空港技術研究所
横須賀市長瀬3丁目1番1号
TEL. 046(844)5040 URL. <http://www.pari.go.jp/>

印刷所 株式会社シーケン

Copyright © (2019) by MPAT

All rights reserved. No part of this book must be reproduced by any means without the written permission of the President of MPAT

この資料は、海上・港湾・航空技術研究所理事長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部または一部の転載、複写は海上・港湾・航空技術研究所理事長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。



古紙配合率70%再生紙を使用しています