

# エゾアワビの加入機構に関する生態学的研究\*

佐々木 良\*\*

Ecological studies on the recruitment structure in abalone *Haliotis discus hannai* INO

Ryo SASAKI \*\*

## 目 次

第1章 序 論 .....	2
第2章 エゾアワビの産卵特性 .....	6
1 エゾアワビと産卵が同調する種の浮遊幼生の査定 .....	7
2 産卵期、性比および抱卵量 .....	9
3 エゾアワビ浮遊幼生の出現特性 .....	10
第3章 エゾアワビ浮遊幼生の分布動態 .....	23
1 エゾアワビなど浮遊幼生の水平的分布 .....	24
2 エゾアワビ浮遊幼生の分布の規則性 .....	27
3 エゾアワビその他産卵が同調する種の幼生鉛直分布 .....	30
第4章 エゾアワビ着底稚仔の分布動態 .....	35
1 エゾアワビ着底稚仔の水平的分布 .....	36
2 エゾアワビ着底稚仔の鉛直的分布 .....	39
3 エゾアワビ着底稚仔の成長と減耗 .....	42
第5章 エゾアワビ稚貝, 若齢貝の分布動態 .....	49
1 エゾアワビ稚貝の分布特性 .....	49
2 エゾアワビ若齢貝の分布特性 .....	59
3 アラメなど餌料海藻類の分布特性 .....	61
第6章 エゾアワビ漁獲資源, 産卵母貝の動態 .....	65
1 漁獲実態 .....	67
2 資源特性値の推定 .....	69
3 資源診断 .....	70
第7章 総合考察 .....	74
要 約 .....	76
謝 辞 .....	78
Summary .....	78
文 献 .....	80

\* 本論文は東北大学審査学位論文(1999年)である。

\*\*栽培漁業センター

## 第1章 序 論

### 1 研究の背景

古来、わが国の磯根に産するアワビは味なる食材、祭祀の鬘斗、輸出品の乾鮑、工芸品の貝殻など多面的で利用価値の高い水産資源として重視され、現代に至っている。

日本周辺にはアワビ属として10種が分布しており、産業的に重要なのは北方系のエゾアワビ *Haliotis discus hannai* INO と暖流系のクロアワビ *H. discus* REEVE, マダカアワビ *H. gigantea* GMELIN, メガイアワビ *H. sieboldii* REEVE の計4種である。エゾアワビはクロアワビの地方的変種とされ、その分布域は茨城県以北の太平洋沿岸域から北海道日本海沿岸域、さらに朝鮮半島沿岸域に及んでいる(猪野1952, 1971)。アワビ類の全国生産量は1970年代には6,000 tを超えていたが、1980年代以降はエゾアワビ漁獲量が長期低落状態に陥ったことから減少に転じ、さらに1990年代に入ってからからはクロアワビ、マダカアワビ、メガイアワビなど暖流系3種についても急激な減少となり、最近では2,000 tを下回る状態を呈している(水産庁1965-1995, 図1-1)。

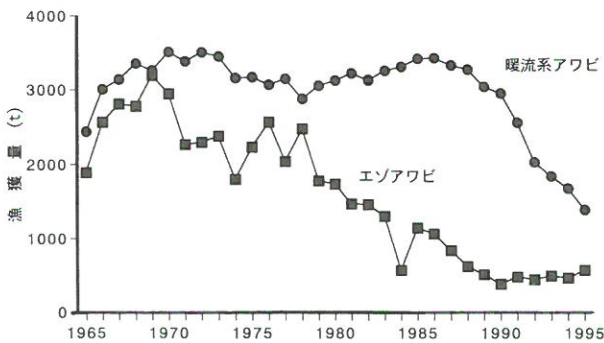


図1-1 エゾアワビと暖流系アワビ(マダカ, メガイ, クロ) 漁獲量の推移

アワビ類の漁獲量増大をはかるためこれまで漁期規制、殻長制限などの資源保護対策はもとより、近年は増殖手段として、餌料海藻の増殖や漁場造成のための築磯事業、天然産・人工産種苗の移植・放流事業など多大な生産努力が全国各地で展開されてきた(井上1977)。そして、近年は沿岸漁場整備開発法に基づき、各種海中構造物の設置による餌料・育成などの生産基盤となる漁場環境造成指針も示されている(全国沿岸漁業振興開発協会1983)。特に、エゾアワビの種苗量産技術の発展に支えられた集中的な種苗放流は人為的加入量の増大を可能とする増殖技術として三陸沿岸各地に普及され、湾・地先の

局所単位で着実な成果を上げてきた(武市1984, 1988, 佐々木ら1987, 井ノ口1993, 内田1994, 伊藤1995, 西洞1997, 煙山ら1997)。しかし、広域的な海域・県単位におけるエゾアワビ漁獲量はこれら種苗放流や漁場造成とは動向を異にし、むしろ低落傾向を示し続けていることから、漁獲量の変動要因に対して多角的な視点から検証が必要になっている。

ところで、目を海外に転じるとアワビの種類は世界中で約100種に及び、産業上重要種とされているのは日本の他、韓国、北米太平洋岸(カナダ, アメリカ合衆国, メキシコ), オーストラリア, ニュージーランド, 南アフリカなどである(猪野1971)。海外におけるアワビ漁獲量は1970年代まではオーストラリア, メキシコ, 米国を中心に年間2万トン余を示していたが、以後漸減し、1990年代に入って1万トン前後まで低落した(FAO1965-1995, 図1-2)。これら世界的なアワビ資源に対する関心の高まりを背景とし「アワビの生物学・漁業と増養殖に関する国際シンポジウム」が1989年以降4年毎に開催され、各国における研究の現状として資源管理方策、特に資源動向を決定すると考えられる再生産過程に議論が集中している。(Shepherd *et al.* 1992, Guzman del Proo *et al.* 1992, Day and Shepherd 1995)。

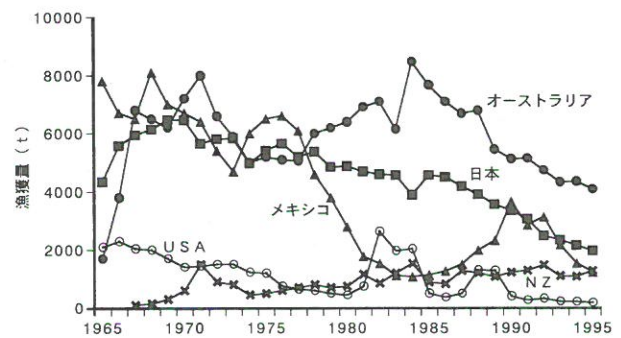


図1-2 アワビ生産主要5カ国における漁獲量の推移

これまでアワビ類の再生産過程については、生活領域が波浪の高い外海岩礁域であり、採集について潜水作業などの制約があること、および浮遊幼生、着底稚仔期における種査定など研究手法上の困難性により国内外ともに非常に知見が乏しい現状にある。さらに、アワビの生産に影響を与える加入量変動の問題に関しては幼生分散、着底、初期減耗などの生態学的理解がようやく緒についたばかりであり、なお検証すべき仮説の多いことが共通認識として定着している。

したがって、天然漁場におけるアワビ資源の持続的な管理方策や増殖技術を樹立するためには産卵～着底～加

入に至る一連の再生産過程における動態把握が基本的要件となることから、加入機構に関する生態学的基礎研究の必要性は今後より一層顕在化していくと考えられる。

## 2 研究史

アワビ類の再生産機構に関する近年の研究成果を国内のエゾアワビと暖流系アワビ、さらに海外のアワビについて生活史や年代順に沿って整理した。

アワビ属の産卵期は生殖巣の組織学的観察、生殖巣の量的変化、浮遊幼生の出現時期などによって把握される。その産卵期は一般に地先の最高水温期あるいは水温が下降を始める時期に当たり、エゾアワビでは北海道の8月から福島県の10月まで、暖流系アワビでは9月～翌1月まで認められている（全国沿岸漁業振興開発協会1983）。

天然漁場におけるアワビ類の浮遊幼生と着底稚仔の出現およびその環境条件に関する研究は富田ら(1977)により礼文島のエゾアワビについて初めて報告された。それによれば、エゾアワビの浮遊幼生は8月～9月の水温約20℃の時に出現したが、その採集数は非常に少ない特徴が認められた。その後、富田・磯貝(1979)は北海道天売島の水深12m地点で出現プランクトンの昼夜観測を実施し、エゾアワビが昼夜とも6m以深に出現していることを報告した。さらに、富田ら(1980)は礼文島、天売島でエゾアワビの浮遊幼生の出現・水平分布と底生初期稚貝の水深別出現数を観察し、浮遊幼生が距岸200m以内に多く、底生初期稚貝が水深1.5m～3mに多いことを報告した。

宮本・斉藤(1983)はエゾアワビ浮遊幼生の調査に関連して腹足類浮遊幼生の形態的特徴の概要、アワビ型幼生の幼殻表面の彫刻模様、外形等の特徴による他種との識別点を記載している。

暖流系アワビの幼生調査は、水産庁委託による沿岸漁場整備開発事業の補助調査として千葉県南部沿岸の事例が報告されている（田中ら1979, 田中・石田1983, 田中ら1986a, 田中ら1986b）。それらによると、アワビ浮遊幼生は渦動域周辺において9～翌1月に出現し、海水1m<sup>3</sup>あたりの最大出現数として11月採集時の1,431個体が記録されている。

しかし、林(1983)はアワビ属の4種・1亜種のベリジャー幼生の形態を比較し、幼生段階における種間識別の困難性を指摘しており、暖流系アワビとして産卵期が重複するクロアワビ、マダカ、メガイ、トコブシが共に分布する海域では出現幼生や着底稚仔の種レベルでの査

定に大きな問題が残されている。

エゾアワビ天然稚貝の生態学的研究は北海道礼文島においてその端緒が開かれた。すなわち、斉藤・富田(1965)は礼文島において1～3歳の若齢貝は水深0.5～1m層に多く出現し、高齢貝は水深4m付近に主に分布していることを報告した。以後各地の調査事例として、北海道奥尻島ではエゾアワビは水面下1mから5m位までの岩盤上、海底から突出した岩盤の上に集中分布すること(斉藤1965)、礼文島では0～1歳貝は水深1m以浅の場で渦流が生じている浅所の岩盤の亀裂中や玉石の下に多数分布すること(富田1969)、奥尻島では水深2～4mにおいて0歳貝の出現を認め、その後の成長を追跡した結果、1年で16.8mmに達したこと(Saito1981)、後志支庁沿岸では水深1～5mにおいて0歳貝の成長は1年で14.8mmであったこと(宮本ら1984)等が報告された。また、礼文島におけるエゾアワビ若齢貝の胃内容物として0歳貝では砂粒、珪藻類、1歳貝では岩面に生息するクロガシラ *Sphacelaria* sp., イワノカワ *Peyssonnelia* sp. などの小型藻類、2歳貝ではアミジグサ *Dictyota dichotoma*, イソガワラ *Ralfsia fungiformis* などの海藻類が主な餌料として認められた(富田・田沢1971)。

一方、暖流系アワビとしてクロアワビの初期生活史について、小島(1974)は0歳貝のすみ場が春～夏は遮蔽された外洋に面しない小型転石下面に形成されるとともに、満1歳に達した後大きく移動して外海方向の2歳貝のすみ場へと拡大することを明らかにした。市来ら(1977)、山下ら(1977)は天然稚貝発生域が潮流の強い地形的突出部や張り出した岩礁等の先端からやや基部の潮流が収斂渦動し、常時磯波で水が攪拌される潮間帯と潮下帯上部を中心に形成されること、武田・伊丹(1979)は砕波帯で潮通しが良く前面に岩礁が沖からの強い波浪を制御する水深0～0.4mの潮間帯下部に認められることを明らかにした。さらに、田中ら(1982)は0～1歳貝がシマ（潮間帯下部～潮下帯上部の台状岩礁）のウニの生息する穴や岩礁下部の棚状溝部に多いことを報告している。

暖流域であってもマダカアワビについては、クロアワビと異なって比較的深い水深6m付近の静穏な水域に出現することが観察されている(伊丹ほか1978)。フクトコブシ *Sulculus diversicolor diversicolor* については岩礁が沖に張り出した複雑な海底地形を呈した遠浅の磯の水深2m付近の砕波帯に多いことが報告されている(Itosu and Miki1983, 三木・糸淵1985)。

ところで、アワビ資源管理については沿岸各浜で以前

から多くの事例として取り組まれてきたが(井上ら1972), 漁獲規制や漁場管理に伴う生産効果の検討は長期間の記録が必要となるため具体的な解析事例は限定されている(洪井1982, 野中1983, 1987b, 小島1985)。その内、徳島県のクロアワビについては先駆的に資源解析に必要な全減少係数など資源特性値が求められ、加入あたり漁獲量と漁獲開始年齢、漁獲係数の関係から資源管理効果をあげるには、漁獲開始年齢の引き上げが望ましいことが指摘されている(小島ら1978, 石橋・小島1979)。

アワビ漁獲量の変動現象について、野中(1987a)は1894年以降の全国アワビ漁獲統計資料を地域別に比較し、その変動係数から北方系と南方系の変動型や海況の影響について言及している。また、岩手県(1984)はエゾアワビ生産量の変動は基本的には個体数の増減にもとづき、その変動要因としては母貝集団の大小、低水温や時化による減耗、漁獲努力の大小による影響などを挙げている。

以上、1980年代までのアワビ類の研究は初期生活史に関する生態学的観察が主であり、資源管理や漁獲量変動を意識した再生産機構に関する研究は少ない。

1991年から1995年にかけてアワビ資源の変動要因を明らかにするため水産庁の水産業関係特定研究開発等促進事業として「アワビの再生産機構の解明に関する研究」が北海道、青森県、岩手県、秋田県により実施され、親貝、浮遊幼生、着底稚貝に関する各地区の野外調査結果が報告されている(水産庁1996)。それによると、産卵時の環境条件、浮遊幼生・着底稚貝の出現状況、稚貝発生量と水温との関連など一定の成果が得られているが、依然として再生産機構の解明に必要な浮遊幼生期の動態や着底稚貝期における初期減耗など重要な問題点が数多く残されている。これとは別に、エゾアワビの加入初期過程に関する研究として宮城県沿岸域における浮遊幼生や着底稚貝の分布動態が報告されている(佐々木1994, Sasaki and Shepherd1995)。

次に、海外における近年のアワビ再生産過程や資源の変動要因に関する主な研究動向について述べる。

アワビの初期生活史の研究を推進するためにはまず浮遊幼生や着底稚貝の採集方法の検討が必要である。McShane *et al.* (1988) はオーストラリア産アワビ *Haliotis rubra* の浮遊幼生について漁場の流速を測定し、吹送流や波浪も考慮し幼生の輸送方向をコンピューターでシミュレーションしたが、実際の幼生調査では15地点計45m<sup>3</sup>の海水採集サンプルから1個体のアワビ属幼生が得られたのみであった。

着底稚貝の採集方法については付着表面基質からの吸引や麻酔などが検討されている(Prince and Ford1985, McShane and Smith1988)。そして、McShane and Smith (1991)は幼生出現は未確認であるが、無節サンゴモ基盤上でサクション法により着底直後稚貝を数百個体/m<sup>2</sup>の密度で採集することに成功した。さらに、着底後のアワビ稚貝の減耗状況は密度依存性であり、着底から半年間の生残率は1%以下になったことが推定された(McShane1991)。

これまで、天然漁場におけるアワビ浮遊幼生の着底基質として無節サンゴモ *Crustose coralline algae* に対する選択性が報告されているが(Shepherd and Turner 1985)、さらに着底後の生き残りに関連して無節サンゴモの種類別生活型やその表面構造が着目されている(Shepherd and Daume 1996, McShane 1996)。

アワビの再生産関係や資源管理方策を論及する上で母貝の分布に対応した浮遊幼生の分散範囲に関する知見はきわめて重要である。

Prince *et al.*(1987, 1988a)は実験的に母貝を漁場から除去し、その後の稚貝の分布量から浮遊幼生の分散範囲を間接的に検討した結果、数十m規模に過ぎないことを推定した。また、McShane (1992)はそれまでのアワビ類の初期生活史に関する断片的な知見をレビューし、偶発的に出現するアワビ幼生のモニタリングは困難であること、着底稚貝は地形的に海水流動の減衰した場に多いことから、アワビ類の産卵～幼生分散が狭い範囲内で完結し、隣接する個体群の間でも加入が不連続であることを類推している。

これら海外の研究結果はアワビの産卵放出の開始時期がどのような機構で決定しているかが不明のため、浮遊幼生の採集事例も見当たらず、その分布動態に関する観察資料が不十分であることを示している。アワビ資源に関する資源評価や管理モデルについて、Stock-recruitment relationship(親子関係)の解明が資源管理の戦略確立に必要なであるが、経験的には産卵集団と加入量との関係が不明確であり、その存在について明確な事例は認められていない(Breen 1992)。

これまで、産卵母貝集団とその後の発生加入貝との量的関係は主として *H. laevigata* について研究されている。当初、Shepherd(1990)は未利用状態の個体群について再生産関係を検討したが、明らかな関係は見出せなかった。その後、Shepherd and Partington (1995)は1.5 km四方の小湾で *H. laevigata* 個体群の変動を追跡調査した結果、リッカー型の再生産曲線が想定され、母貝集団

の密度が一定量以下に減少すると資源への加入水準が低下する再生産関係を示唆した。

資源解析を進める上で天然漁場における自然死亡など減耗実態の把握は不可欠である。世界各地のアワビ漁場における自然死亡係数 $M$ や初期減耗に関するレビューが Shepherd and Breen (1992) によってなされた。 $M$ と年齢を対応させると1歳以下では2以上(年生残率15%以下)の報告事例が多く、2歳を経た後、3歳以上では0.5以下(年生残率60%以上)の一定値へと収束する傾向が認められた。そして、天然漁場におけるアワビの自然死亡要因として害敵による捕食、環境変化(エルニーニョ、嵐、飢餓など)、病害などが挙げられた。

その他、アワビ資源の診断・管理により生産性向上をはかる方策として、成長速度、殻長組成データなどを基にした全減少係数 $Z$ 、漁獲係数 $F$ などが推定されており、これまでの具体的な資源解析の取り組みとして南オーストラリアの *H. laevigata* (Sluczanowski 1984)、メキシコの *H. fulgens* (Shepherd et al. 1991)、ニュージーランドの *H. iris* (Schiel and Breen. 1991)、タスマニアの *H. rubra* (Nash 1992)、オマーンの *H. mariae* (Shepherd et al. 1995) などについて加入あたり漁獲量モデル(YPR)、加入あたり産卵量モデル(EPR)の解析事例が提示されている。

総論として McShane (1995) は各国の重要アワビ類12種について各ステージ(産卵期、受精、幼生、着底、稚貝、若齢貝、成熟)別に知見をレビューし、漁獲量の減少原因として無秩序な漁獲過多、再生産加入量の不足、エルニーニョなど環境変化にともなう減耗を列挙している。そして、アワビの資源管理を検討するには再生産過程における浮遊幼生や着底稚仔の分布動態に関する知見が不可欠であるが、その初期生活史など再生産機構に関する調査研究が海外においてもきわめて少ないことを指摘している。

### 3 研究の目的

豊富な栄養塩と海藻生産に支えられた三陸沿岸の岩礁生態系においてエゾアワビの増殖や資源管理を推進していくには多様な漁場環境に対応し種が本来保持する再生産特性を活用していく方向が望ましい。アワビ人工種苗放流、漁場造成などの増殖事業を推進するにはその生態学的種特性に応じた方策が基本となるが、これまでは経験的な面が強調されアワビ類の生活史と岩礁域の環境条件とを対応させた研究成果は乏しい現状にある。これらのことから、具体的にはアワビ類の産卵～浮遊～着底と

いう一連の再生産初期過程における加入、減耗の動態を量的に把握することは、種苗放流・漁場造成とその後の資源管理をはかる上でもっとも重要な課題と考える。

上述した研究の背景や研究史を総括すると、日本においては種苗放流や漁場造成を基調としてアワビ資源の増大に取り組み、そのための放流種苗の追跡調査や造成漁場による成貝の成育調査に力点が置かれてきた。一方、海外においては資源管理を意図した再生産関係の研究が中心であり、種の再生産能力を重視した取り組みに特徴がある。いずれの視点においてもアワビ個体群の形成と維持機構を解明するためには初期生活史にあたる浮遊幼生期の分散、着底期から稚貝期の減耗そして漁獲資源への加入まで一連の再生産過程における個体群の動態を明らかにする必要がある。

著者は日本でもっとも重要なアワビ資源であるエゾアワビを対象に、しかも同種が単一で分布する東北地方太平洋三陸沿岸において産卵から浮遊期を経て着底し、資源として加入する過程を調査し、その機構を推定することに努めた。

本研究では第1章の課題設定に続く第2章において、宮城県沿岸におけるエゾアワビ産卵期を調べるとともに、浮遊幼生の種査定方法を検討した。また、経年的な浮遊幼生の観測結果にもとづいて各種環境条件との関連で本種の産卵特性を明らかにした。

次に第3章においては、エゾアワビ浮遊幼生と同時に出現する他種幼生の出現数や分布との比較を行い、エゾアワビ幼生の水平的、鉛直的分布動態の特性を明らかにした。

さらに第4章においては、エゾアワビ着底稚仔の分布動態を海底性状や海藻群落などの環境条件との関係で検討し、これまで未解明であった天然漁場における着底直後稚仔の減耗過程を明らかにした。

続いて第5章においては、着底直後の初期減耗期を経た0～1歳貝やその後に続く若齢貝の分布動態を環境条件の異なる場においてそれぞれ比較し、稚貝発生場の条件と漁場形成過程を明らかにした。

第6章においては沿岸域におけるエゾアワビ漁獲実態や資源特性値から加入量あたり漁獲量や加入あたり産卵母貝量を試算し資源管理の具体的内容を明らかにした。

以上、エゾアワビの繁殖特性や加入様式の知見に基づき再生産を保障する母貝集団の育成を基本とした資源管理方策について考察を加えた。

#### 4 研究実施海域

エゾアワビは三陸沿岸の波浪が高い外海からそれが低い湾内までそれぞれ異なった環境条件に対応して広範に分布していることから、本研究ではその加入機構を正しく把握するため多数の漁場環境下において浮遊幼生、着底稚仔、稚幼貝等の分布動態を比較・検討するよう努めた。以下に研究を実施した各海域の概要を記す(図1-3)。

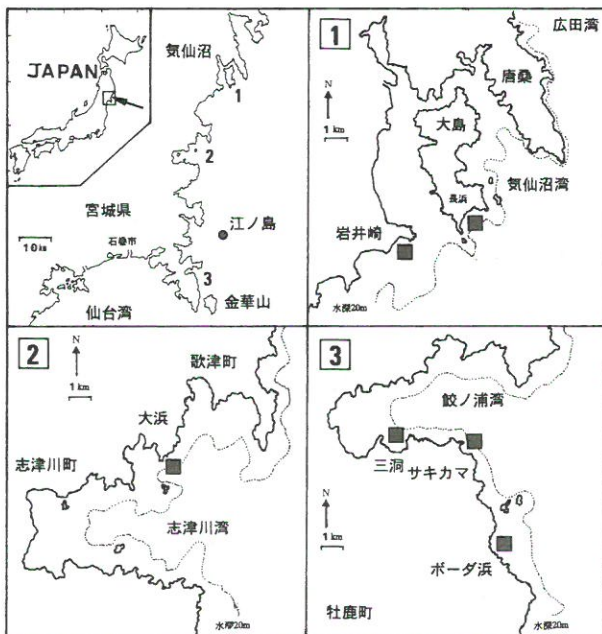


図1-3 調査位置図

(1: 気仙沼湾周辺, 2: 志津川湾大浜, 3: 鮫の浦湾周辺)

##### 1) 気仙沼湾周辺

唐桑町～本吉町沿岸は屈曲した岩礁海岸が続くアワビ、ウニなど磯根資源の良好な漁場が形成されている。唐桑半島東岸先端域は急深で水深20m線が迫っているが、西岸側の気仙沼湾は各種養殖漁場として利用されている。大島は気仙沼湾内に位置し、その外海域は岩礁・転石が沖合まで発達し、湾入した長浜地先は、緩やかな海底勾配域で距岸100mで水深5m、急な勾配域では距岸100mで水深10mであり、いずれも海底は岩礁である。岩井崎は気仙沼湾口部南端に位置し1983年～1985年、1990年～1993年における浮遊幼生の追跡調査地点である。

##### 2) 志津川湾大浜

志津川湾は養殖の盛んな南三陸沿岸の典型的な湾であり、その湾口域には岩盤・転石の発達した磯根資源の優良な漁場が多数存在する。大浜は志津川湾中央部に位置する小湾で湾口の巾200m、奥行き200mの湾入域は緩やかな海底勾配で距岸100mで水深5m、200mで12mを示す。底質と海藻群落は岸側水深0～2mではホンダワラ類の優占する岩盤と玉石があり、続いて水深2～4mの

転石帯にはアラム群落が形成されている。さらにその沖側水深6m以深は無節サンゴモが優占し転石帯から砂地へと移行している。

##### 3) 鮫の浦湾周辺

鮫の浦湾は牡鹿半島東側海岸に位置し湾口部の水深45m、巾2km、奥行き4kmの典型的な三陸リアス式湾の形態を呈している。ボーダ浜は鮫の浦湾口の南2kmの外海に面した波浪の影響が大きい湾入域であり、距岸100mで水深3m、距岸200mで水深8mの比較的緩やかな海底勾配を示す。主要な海藻群落としてアラムが水深4m以浅、それ以深に無節サンゴモがそれぞれ分布している。サキカマ崎は鮫の浦湾口部南側に位置しその先端には巾100m、奥行き80mの湾入域を有する。海底勾配は距岸100mで水深6mと比較的急な海底勾配を示す。主要な海藻群落はアラムが水深2m以浅、それ以深に無節サンゴモがそれぞれ分布している。当地点は1986年～1989年、1994年～1997年における浮遊幼生調査の追跡調査地点である。三洞は鮫の浦湾南側中央に位置する巾150m、奥行き100mの静穏な湾入域で海底勾配は距岸100mで水深6mを示す。主要な海藻群落はアラムが水深1m以浅、それ以深に無節サンゴモがそれぞれ分布している。

##### 4) 江ノ島

宮城県女川港の東15kmに位置する面積0.4km<sup>2</sup>の島である。当地先では仙台管区気象台による自動波高記録計が設置されている。また、宮城県水産研究開発センター(旧、宮城県水産試験場)により1911年以降定置水温観測が実施されている。

## 第2章 エゾアワビの産卵特性

### 目的

産卵に関与する環境要因として海産腹足類では水温、光、潮汐、地盤高、雌雄の分泌する化学的物質(網尾1963)、また腹足類と類縁関係の深い二枚貝類では水温、塩分、月齢など(宮崎1957)がそれぞれ報告されている。

アワビ属の産卵時期は生殖巣の組織学的観察、生殖巣の量的変化などによって推定されてきた。エゾアワビについては、北海道における富田(1967, 1968)、宮城県における菅原・小畑(1992)などがそれぞれ採集地先における水温・餌料条件等との関連で性成熟過程を観察している。また、各種の漁場造成調査においてアワビ成貝の成熟度係数、生殖腺指数など生殖腺の季節的な発達状態

の測定事例が多数記録されている（全国沿岸漁業振興開発協会1983）。

しかし、天然漁場におけるエゾアワビの産卵過程やそれに関与する環境要因については未だ不明であり、また幼生の浮遊期間は数日間と短いことから季節・月単位の生殖腺観察では産卵開始時期の特定が困難である。このため、浮遊幼生・着底稚仔の動態を日単位による浮遊幼生の採集によって把握し、産卵開始時期やそれに関与する環境要因を明らかにする必要がある。

本章では、先ず宮城県沿岸域におけるエゾアワビ産卵期を概観し、その期間中に採集された浮遊幼生の種の同定方法を確立し、さらに経年的な浮遊幼生出現の観測結果を基に本種の産卵特性を各種環境条件との関連で考察した。

## 材料と方法

宮城県気仙沼湾周辺においてエゾアワビの産卵期である7月～10月の期間中に潮間帯と潮下帯に分布する原始腹足類を採集し、成熟個体については種別に干出、加温刺激などによる産卵誘発を行った。そして、水温20℃の条件下で浮遊幼生を飼育して発生初期の形態的、生態的特性を観察することにより幼生段階における種査定の可否を検討した。初期発生を観察できた種はエゾアワビ *Haliotis discus hannai*、ニシキエビスガイ *Tristichotrochus multiliratus*、アコヤシタダミ *Minolia iridescens*、エゾチグサガイ *Cantharidus jessoensis*、イシダタミ *Monodonta labio*、バテイラ *Tegula pfeifferi*、コシタカガンガラ *Tegula rustica*、クボガイ *Tegula lischkei*、ヤマザンショウガイ *Homalopoma sangarense*、サルアワビ *Tugali gigas*、キサゴ *Umbonium costatum* であり、それら幼生標本の原殻については種間の形態比較のため写真撮影を行った。

なお、原始腹足類の学名は吉良（1959）に従った。

エゾアワビの産卵状況を把握するため、気仙沼湾周辺域で1982年～1984年の各年7月～12月に採集した殻長90mm以上の雌個体について定期的に軟体部の角状突起中央の卵巣径と肝臓径の比による成熟度係数を求めた（猪野・原田1961）。また、志津川湾において1982年産卵盛期である9月に採集した455個体については生殖腺の色調（卵巣：青緑色、精巣：白黄色）により雌雄の性相を判別した後、雌の104個体についてはホルマリン固定後卵巣を肝臓から解剖分離して秤量した。さらに雌の19個体については卵巣1g当たりの熟卵数を測定した。

浮遊幼生の出現調査は1983年～1997年の8月～10月期

間中、気仙沼湾口の岩井崎または鮫の浦湾口サキカマ崎をモニタリング定点として北原式プランクトンネット（NXX13）による3回連続10m鉛直曳網により採集した。

採集プランクトンの内、査定計数対象種はエゾアワビの他、産卵様式が類似すると考えられる原始腹足類のバテイラ、コシタカガンガラ、クボガイ、岩礁固着二枚貝のムラサキインコガイ、ウニ類のキタムラサキウニ、エゾバフンウニとした。

なお、*Tegula* 属のバテイラ、コシタカガンガラ、クボガイ3種間の幼生の査定識別は困難なので、一括して *Tegula* spp. として計数した。同様にキタムラサキウニ、エゾバフンウニについてもピラミッド期、4腕初期ブルテウス幼生の査定識別は困難なので、*Strongylocentrotus* spp. として計数した。

浮遊幼生の出現に関与する環境条件として沿岸波浪の資料は1989年までは目視により風浪階級4以上の波浪発生を時化として記録したが、1990年以降は江ノ島の自動波浪観測記録（仙台管区气象台）から日別最大有義波高値を抽出した。

水温資料として気仙沼湾口岩井崎については気仙沼水産試験場、江ノ島については宮城県水産研究開発センター観測の記録値を使用した。また、これらの水温記録を用いてエゾアワビの成熟に関する生物学的零度すなわち生殖巣の発達に関与する下限水温7.6℃と環境水温との差の積算値を成熟有効積算水温（菊池・浮1974a）として求めた。

## 結 果

### 1 エゾアワビと産卵が同調する種の浮遊幼生の査定

#### 1) 原始腹足類

産卵期の重複したエゾアワビ他10種の発生過程における主要な形態学的、生態学的特性を表2-1に示した。また、8種については幼生原殻の輪郭、殻の向頂、反頂両側面の彫刻模様を図2-1に示した。

発生過程を観察した種は、卵からの孵出型により以下の3型に分類され、それぞれ共通した発生特性を示した。

トロコフォア型：この型に属するエゾアワビ、バテイラ、コシタカガンガラ、クボガイ、キサゴ、イシダタミ各種の発生はトロコフォア幼生で孵出遊泳し、受精1日後にベリジャー幼生、3日以後に眼点が形成され着底基質への匍匐行動を示した。

ベリジャー型：この型に属するサルアワビ、ニシキエビスガイの卵はゼラチン層でかすかな粘着状態を呈した。受精1日後にトロコフォア期となり、卵内で原殻形

成が開始され2日後にベリジャー幼生として卵から孵出した。

稚貝型：この型に属するアコヤシタダミ、エゾチグサガイ、ヤマザンショウガイは5~10mmの盤状固着または球状粘着卵塊を排卵した。受精2日後に卵内でベリジャー幼生となり、4日後に眼点が形成され卵膜内で足部繊毛により回転運動を示した。その後、ヤマザンショウガイは孵出するが、アコヤシタダミとエゾチグサガイはさらに卵膜内で後成殻を形成し続け受精6~8日後に孵出した。

## 2) 二枚貝類

外海岩礁域に生息しエゾアワビと産卵が同調する二枚貝ムラサキインコガイ *Septifer virgatus* の発生特性は次のとおりである。母貝は8月中旬以降タンク内でその足糸切断をとまなうような激しい攪拌など外的な物理的衝撃を与えることにより産卵を開始した。産卵に際しては暗褐色の卵粒が径1mm、長さ2~8mmのヒモ状の卵塊となって母貝の周辺に間欠的に放出されることが観察された。放出卵の卵径は120 $\mu$ mであり、水温20 $^{\circ}$ Cの条件下では受精後18時間でトロコフォア期幼生となり、34時間でベ

表2-1 エゾアワビ産卵期に出現する原始腹足類各種幼生の発生諸特性(飼育水温20 $^{\circ}$ C)

種名	Species	排卵型	孵出型	卵色調	卵黄径	幼生殻長	浮遊日数
エゾアワビ	<i>Haliotis discus hannai</i>	分離	トロコフォア	青緑	180	275	4
バテイラ	<i>Tegula pfeifferi</i>	分離	トロコフォア	青緑	150	235	4
コシタカガンガラ	<i>Tegula rusticas</i>	分離	トロコフォア	青緑	150	235	4
クボガイ	<i>Tegula lischkei</i>	分離	トロコフォア	青緑	150	235	4
キサゴ	<i>Umbonium costatum</i>	分離	トロコフォア	灰褐	140	200	4
イシダタミ	<i>Monodonta labio</i>	分離	トロコフォア	紺青	130	205	3
サルアワビ	<i>Tugalina gigas</i>	粘性	ベリジャー	暗褐	160	240	3
ニシキエビスガイ	<i>Tristichotrochus multiliratus</i>	粘性	ベリジャー	淡緑	255	390	3
アコヤシタダミ	<i>Minolia iridescens</i>	卵塊	稚貝	淡黄	180	265	0
エゾチグサガイ	<i>Cantharidus jessoensis</i>	卵塊	稚貝	黄土	170	265	0
ヤマザンショウガイ	<i>Homalopoma sangarensense</i>	卵塊	稚貝	灰褐	170	270	0

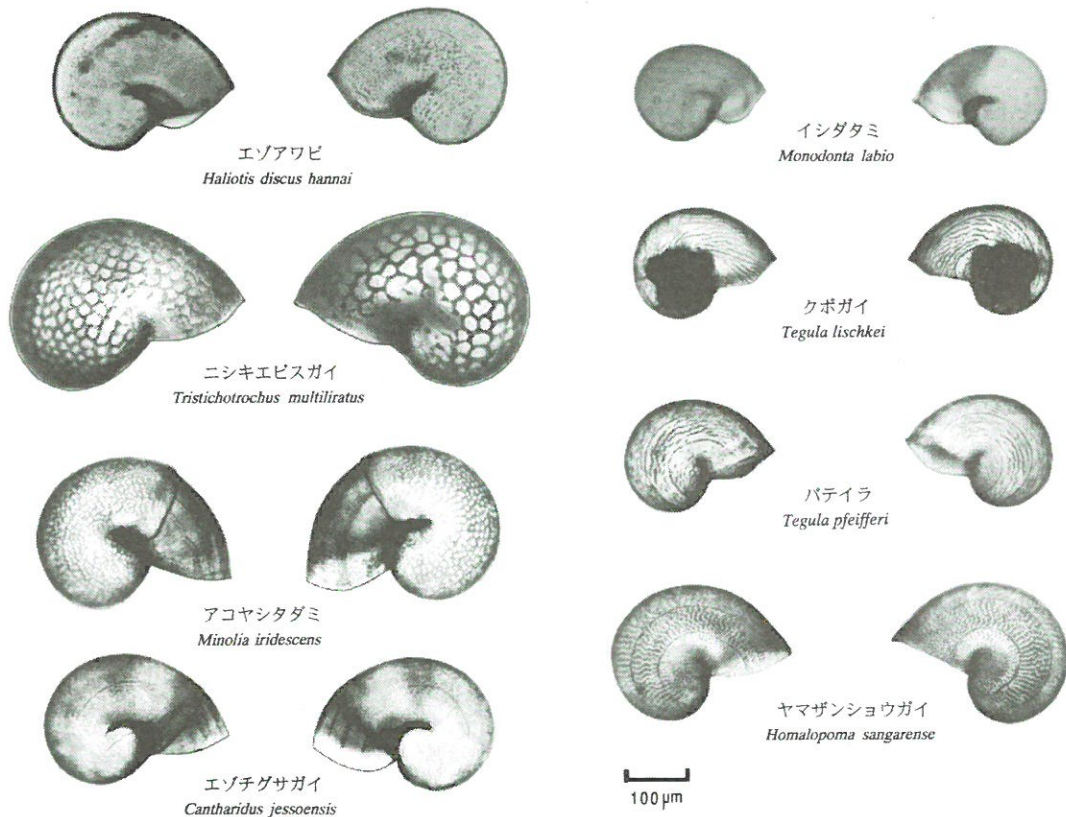


図2-1 エゾアワビ産卵期に出現する原始腹足類各種幼生の幼殻輪郭と彫刻模様



リジャー期D型幼生, さらに72時間で眼点が出現し, 96時間で匍匐と浮遊を繰り返す付着変態期幼生になった。

ベリジャー期浮遊幼生の殻長は180~190 $\mu\text{m}$ で浮遊期間中の原殻増大は認められず, 付着変態後に鰓などが形成され受精後10日で平均殻長210 $\mu\text{m}$  (190~230 $\mu\text{m}$ ) に達した(図2-2)。

本種はエゾアワビや *Tegula* spp. 同様に浮遊期間中は餌料となる微細藻類を与えなくとも卵黄栄養により付着稚仔期まで成育することから, 浮遊幼生調査においてはエゾアワビと共に出現経過を観察した。

なお, Bayne(1964)がムラサキイガイで報告した Plantigrade stage (再浮遊稚仔期)は本種でも認められ, 着底後2週間位の間は殻長200~500 $\mu\text{m}$ の再浮遊稚仔がプランクトンネットで採集された。

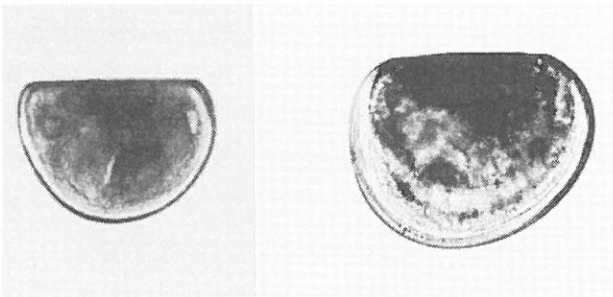


図2-2 ムラサキイガイの浮遊幼生(殻長190 $\mu\text{m}$ )と再浮遊稚仔(殻長220 $\mu\text{m}$ )

### 3) ウニ類

三陸沿岸においてエゾアワビと同様に夏~秋季に産卵期をむかえるウニ類は, キタムラサキウニ *Strongylocentrotus nudus* とエゾバフンウニ *Strongylocentrotus intermedius* であり, キタムラサキウニは現存量が高く主要な漁獲対象種である。両種の幼生は, 台風など大波浪の後にピラミッド期幼生またはプルテウス4腕初期幼生として大量に認められた。両種の幼生は形態的には背走桿の有無で差異が認められるが(川村1970), エゾアワビ幼生との出現の同調性を明らかにするという本研究の目的と大量に出現することから特に両種の識別はせず, *Strongylocentrotus* spp. としてとりまとめた。

### 2 産卵期, 性比および抱卵量

1982年におけるエゾアワビの成熟度係数は8月から9月にかけて上昇し, 9月9日の測定群で最大値70 $\pm$ 21(平均値 $\pm$ 標準偏差), 以後9月17日50 $\pm$ 34, 10月14日5 $\pm$ 2と低下し(図2-3), 目視観察によっても角状突起部の卵巣が萎縮しその放出は明らかであった。1984年の成熟度係数についても同様の変化が認められ, 一般的に

三陸沿岸域のエゾアワビ産卵期が9月であるとする既往の知見(菅原・小畑1992)と一致した。

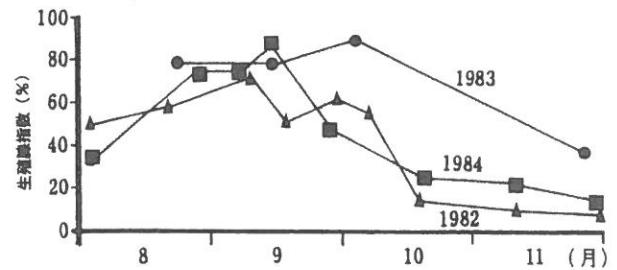


図2-3 エゾアワビ生殖腺指数の年別変化

一方, 1983年の成熟度係数は例年よりピークが遅れ8月25日には75 $\pm$ 37, 9月14日には77 $\pm$ 31となお上昇傾向を示し, 10月4日に至って90 $\pm$ 36の最大値となり, 以後11月29日には36 $\pm$ 22と減少した。翌年1月11日においても39 $\pm$ 32であり, 明らかに生殖巣が残存して雌雄判別が可能な状態であった。

雌雄の性相については生殖腺の目視観察より雄では殻長50mm, 雌では60mm以上で識別できるようになり, 殻長90mmでは全個体の雌雄判別が可能となった。性比は観察数の多い殻長130mmまでの個体では1:1であったが, それ以上の老成個体については雄の出現頻度が高い傾向を示した(図2-4)。

卵巣の色調は, 熟卵の多い暗緑褐色系と未熟卵の多い鮮青緑色系に区分された。また, 卵巣1gあたりの成熟卵粒数は, 158,000 $\pm$ 45,000(平均値 $\pm$ 標準偏差)と算出され, 卵巣が大きい個体ほど増加する傾向を示した(図2-5)。

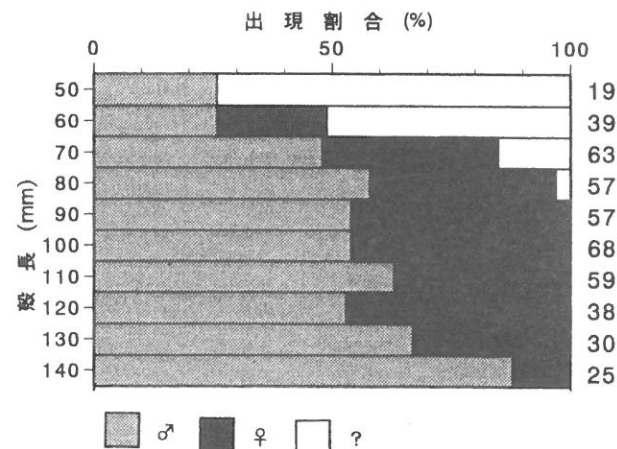


図2-4 エゾアワビの殻長別雌雄性相の出現割合(右端数字は観察個体数を示す)

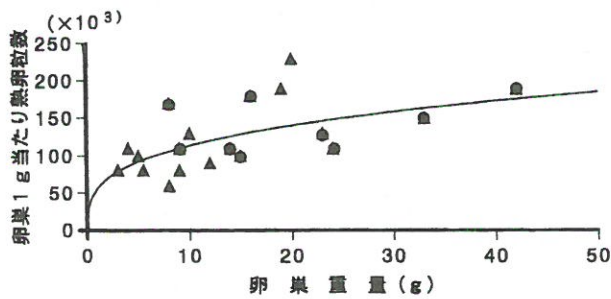


図2-5 エゾアワビの卵巣重量と1gあたり熟卵粒数の関係 (▲: 鮮青緑色系, ●: 暗緑褐色系)

卵巣重量 (GW: g) と殻長 ( $x$ : mm) には,  $GW = 0.026e^{0.058x}$  ( $n=45, r^2=0.77, p<0.001$ ) の関係があり (図2-6), また1gあたりの平均成熟卵数が158,000粒であることから抱卵数 ( $E$ ) と殻長 ( $x$ : mm) との関係は,  $E = 4108e^{0.058x}$  で示された。また, 体重 ( $BW$ : g) と殻長 ( $x$ : mm) には,  $BW = 9.218e^{0.025x}$  ( $n=45, r^2=0.88, p<0.001$ ) の回帰関係が認められた。

後述する宮城県沿岸域におけるエゾアワビの成長については年齢  $t$  における殻長を  $L_t$  とすると  $L_t = 137(1 - \exp^{-0.29(t-0.31)})$  で示される。よって, 上記の殻長と卵巣重量の関係から各年齢別抱卵量を試算すると, 3歳: 30万粒, 4歳: 76万粒, 5歳: 152万粒, 6歳: 242万粒, 7歳: 363万粒, 8歳: 487万粒と推定された (図2-7)。

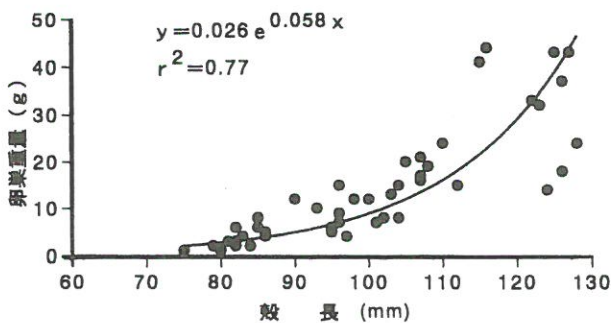


図2-6 エゾアワビの殻長と卵巣重量の関係

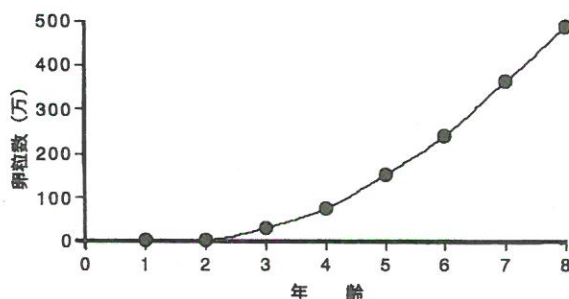


図2-7 エゾアワビの年齢別推定抱卵量

### 3 エゾアワビ浮遊幼生の出現特性

#### 1) 1983年~1989年モニタリング調査

1983年~1989年の8月~10月におけるエゾアワビと *Tegula* spp., ムラサキインコガイ幼生の出現状況を, 旬別水温と風浪階級4以上の時化の発生経過と併せて図2-8に示した。

エゾアワビと *Tegula* spp., ムラサキインコガイ幼生の出現は明確に同調し, しかも時化の発生日と密接に対応していた。このような時化と対応して浮遊幼生が出現する傾向は8月より9月により明確に認められた。また, エゾアワビ幼生の出現量は *Tegula* spp. やムラサキインコガイ幼生に比べると著しく少なかった。これら浮遊幼生の出現傾向は年によって異なり, ここでは幼生出現が複峰型で推移した1985年と単峰型で推移した1988年の状況について述べる。

1985年のエゾアワビ幼生出現は8月6日から10月23日まで確認された。この間, エゾアワビの他, 産卵が同調する *Tegula* spp., ムラサキインコガイ幼生の最多出現は8月31日に台風14号が接近通過した後の9月2日に認められた。この日の表面水温は23.4℃であった。これら第1回目の幼生出現盛期は9月14日まで断続的に続いた。その後, 10月上旬にも時化日が連続したことからエゾアワビ, ムラサキインコガイ幼生の第2回目の出現盛期が認められた。

幼生出現と時化との具体的な対応事例は1988年9月15日の台風18号の接近通過時 (波浪警報が東北地方太平洋沿岸に発令) において顕著に認められた。すなわち, 台風通過直前9月15日午前に行った採集時においては種の同定はできなかったが多種の受精卵が認められ, 台風通過後の9月17日午前の採集時では眼点形成期以前のエゾアワビ, *Tegula* spp., ムラサキインコガイの他, ウニ類の4腕初期の浮遊幼生が大量に認められた。この日の表面水温は19.2℃であった。さらに9月19日採集時においてはエゾアワビ幼生はすべて眼点形成後の着底変態期にまで成長しているのが確認された。これらのことから, エゾアワビの産卵は台風通過時の9月15日に開始されたことは明らかである。

なお, 1988年は9月15日に至るまで台風等による時化の発生は認められていなかったため, エゾアワビ幼生など調査対象種の産卵放出が9月15日の時点で一斉かつ大量に起こったと考えられる。

#### 2) 1990年~1997年モニタリング調査

1990年~1997年については江ノ島の日別有義波高記録が得られたので各旬別水温とともにエゾアワビ幼生と

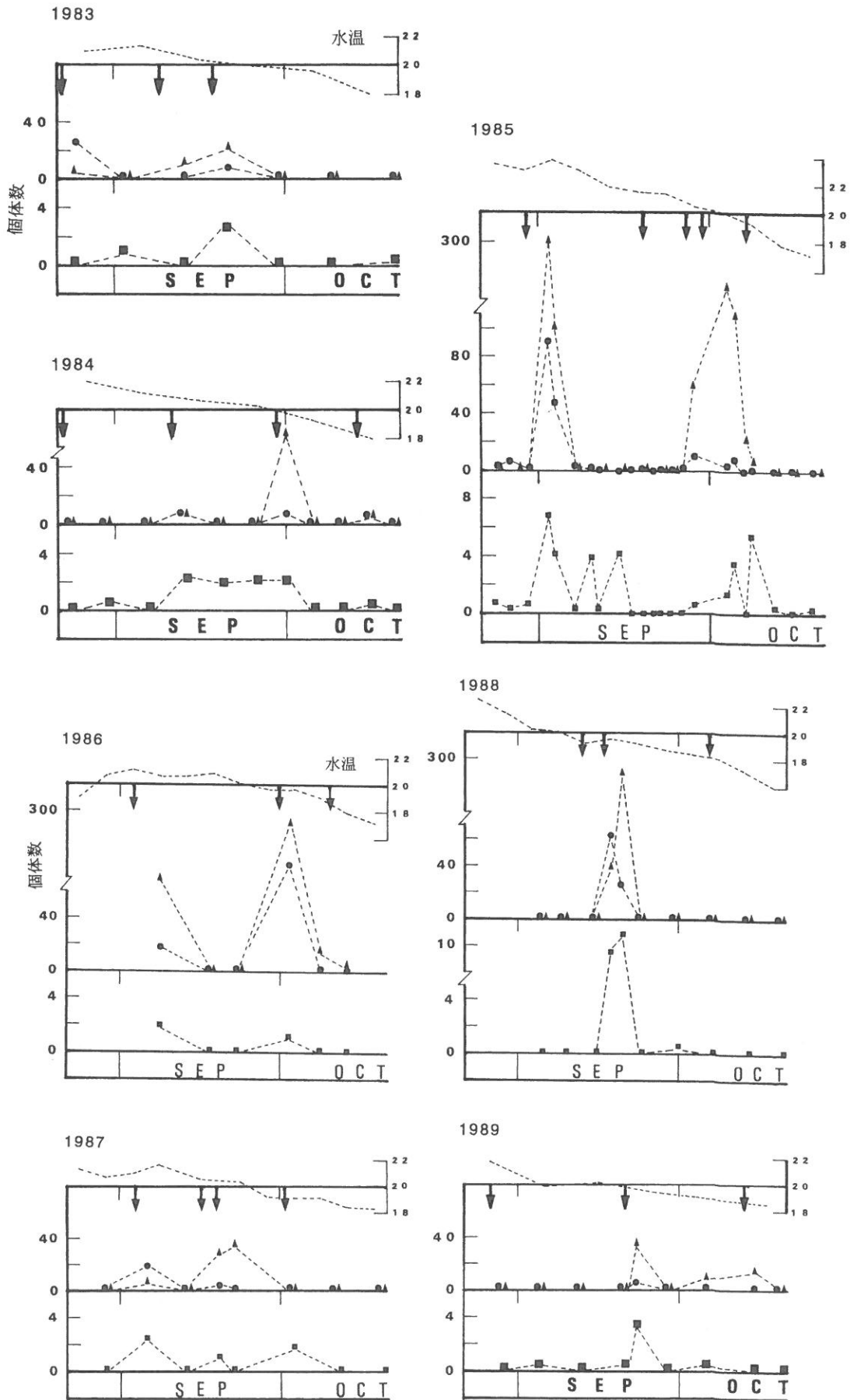


図2-8 1983年～1989年におけるエゾアワビ (■), *Tegula* spp. (●), ムラサキインコガイ (▲) 浮遊幼生の10m鉛直曳き1回あたり出現個体数, 風浪階級4以上の時化日 (↓) および表面水温 (破線) の推移

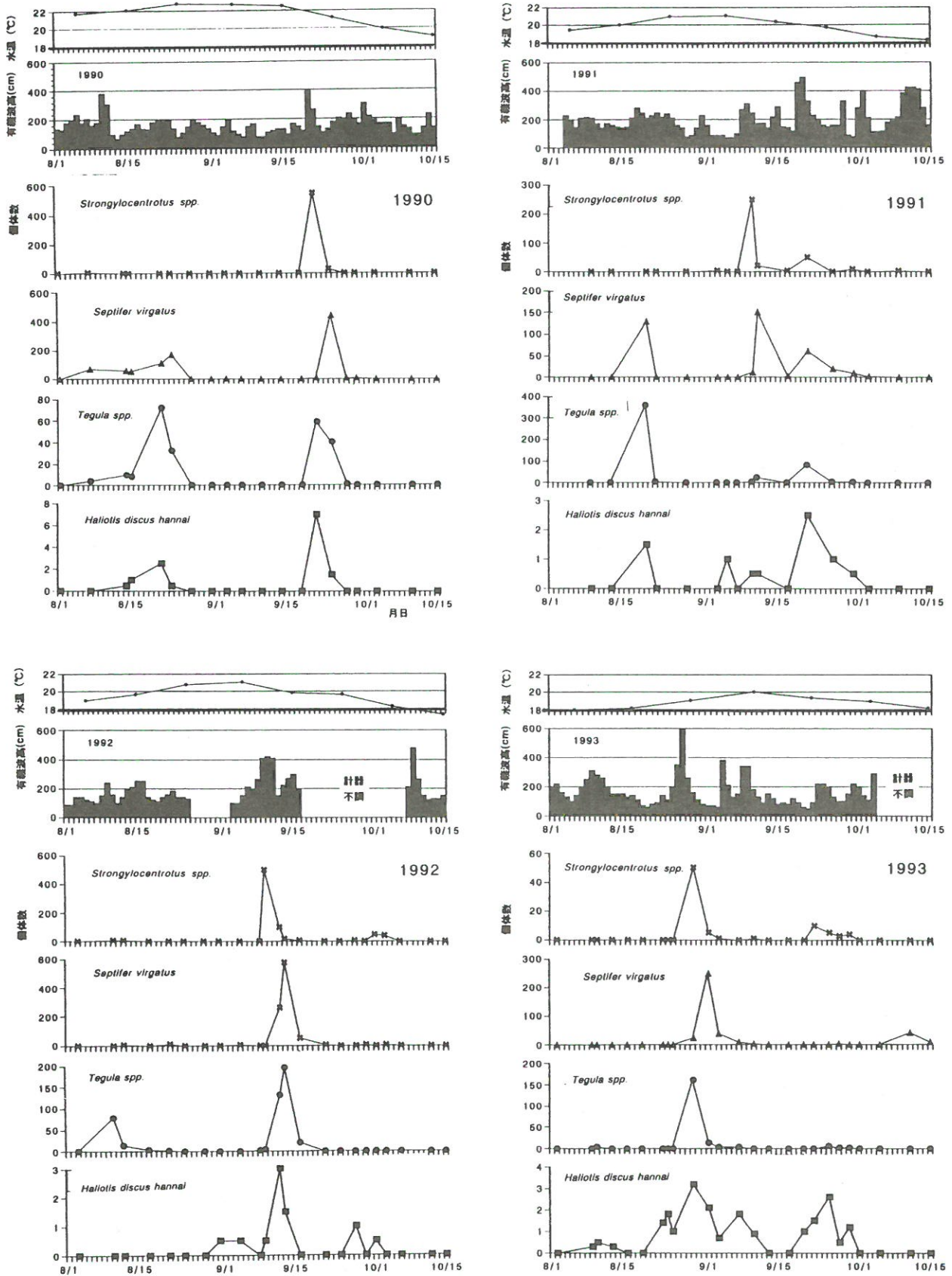


図2-9 1990年～1997年におけるエゾアワビ (■: *Haliotis discus hannai*), *Tegula* spp. (●) ムラサキインコガイ (▲: *Septifer virgatus*), *Strongylocentrotus* spp. (×) 浮遊幼生の10m鉛直曳き1回あたり出現個体数, 有義波高値および表面水温の推移

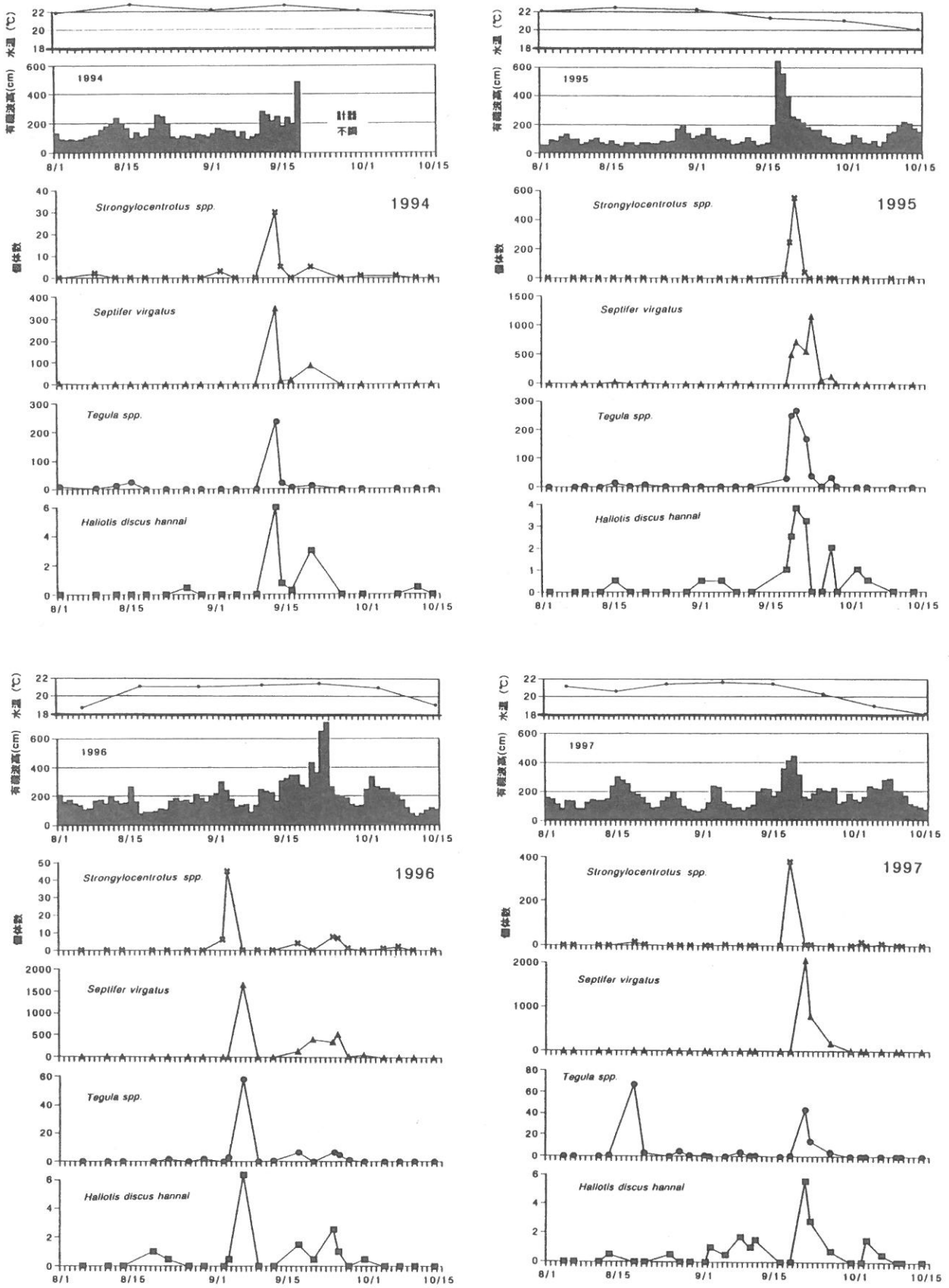


図2-9 1990年～1997年におけるエゾアワビ (■: *Haliotis discus hannai*), *Tegula* spp. (●) ムラサキインコガイ (▲: *Septifer virgatus*), *Strongylocentrotus* spp. (×) 浮遊幼生の10m鉛直曳き1回あたり出現個体数, 有義波高値および表面水温の推移

*Tegula* spp., ムラサキインコガイ, *Strongylocentrotus* spp. の各幼生の出現について時系列的に図2-9に示した。

各年の概略的な幼生出現経過については次のとおりである。

1990年：前半は水温が22℃台と高めに推移し、8月中には数回の小規模な時化に対応したエゾアワビ, *Tegula* spp., ムラサキインコガイ浮遊幼生の出現が認められた。その後、9月20日に三陸沿岸に接近した台風19号(最大有義波高396cm)によりエゾアワビを始め調査対象種すべてで大規模な産卵が観察された。

1991年：8月中旬の時化によりエゾアワビ, *Tegula* spp., ムラサキインコガイの出現が認められた後、9月20日に三陸沿岸に接近した台風18号(最大有義波高491cm)によってエゾアワビほか各種浮遊幼生が大量出現するという1990年と類似した推移をたどった。

1992年：8月上旬に小規模な時化に対応した *Tegula* spp. の出現が認められ、その後9月10日に接近した台風10号(最大有義波高426cm)によりエゾアワビ, *Tegula* spp., ムラサキインコガイ, *Strongylocentrotus* spp. の大量出現が認められた。

1993年：水温は低めに推移したが、8月27日に接近した台風11号により最大有義波高607cmとなり、8月29日採集時にエゾアワビを始め調査対象種すべてで大規模な産卵が認められた。さらに、エゾアワビについてはその後9月22日の比較的高い波浪に同調して2回目の産卵が認められた。

1994年：第1回目の主産卵は最大有義波高が284cmと比較的低かった9月11日の台風21号の影響でエゾアワビ, *Tegula* spp., ムラサキインコガイの大量出現が認められた。その後、9月19日の台風24号の接近で最大有義波高が508cmとなり第2回目の主産卵が認められた。

1995年：8月、9月前半については大きな時化もなく推移し、9月17日の台風12号通過にともない最大有義波高645cmとなり、9月20日調査時にはエゾアワビ他各種とも一斉の大量出現が認められた。

1996年：9月2日の低気圧通過にともない、最大有義波高は303cmと比較的低かったがエゾアワビ, *Tegula* spp., ムラサキインコガイ, *Strongylocentrotus* spp. で大量出現が認められた。その後、9月21日の台風17号通過時にも第2回目の産卵が認められた。

1997年：8月中旬の低気圧通過時に *Tegula* spp. の最初の出現が認められた。その後9月19日の台風20号接近にともない最大有義波高444cmとなり、9月21日調査時にはエゾアワビ, *Tegula* spp., ムラサキインコガイ, *Strongylocentrotus* spp. の大量出現が認められた。

各年の8月~10月産卵期間中における江ノ島の日別最大有義波高をみるとエゾアワビの大量産卵は概略的には各年とも最大有義波高4m以上を記録した日と一致しており、その前後に見られる小規模産卵は最大有義波高2~4m範囲に対応していた。

その他、エゾアワビと産卵が同調する *Tegula* spp., ムラサキインコガイ, *Strongylocentrotus* spp. 幼生においても同様の対応関係が認められた。*Tegula* spp. 幼

表2-2 1983年~1997年のエゾアワビ浮遊幼生最多出現時における密度(プランクトンネット10m鉛直曳き1回あたり個体数) 台風通過日、表面水温および成熟積算有効水温

調査海域：K 気仙沼湾, S 鮫の浦湾

年	台 風 月 日	エゾアワビ 浮遊幼生	<i>Tegula</i> spp. 浮遊幼生	水温 (℃)	成熟積算有効 水温(℃・日)	調査 海域
1983年	9月17日	2.6	12	20.1	1296	K
1984年	9月9日	1.2	14	20.8	1058	K
1985年	8月31日	6.7	103	23.4	1033	K
1986年	9月3日	2.0	20	20.8	977	S
1987年	8月31日	2.3	21	21.4	1155	S
1988年	9月15日	12.5	65	19.2	1276	S
1989年	9月20日	3.5	11	20.1	1194	S
1990年	9月20日	7.0	59	23.0	1557	K
1991年	9月20日	2.5	81	19.6	1465	K
1992年	9月10日	3.0	131	20.4	1243	K
1993年	8月27日	3.2	162	20.6	1020	K
1994年	9月11日	6.0	236	22.4	1376	S
1995年	9月17日	3.8	263	21.3	1570	S
1996年	9月2日	6.3	58	21.2	1126	S
1997年	9月19日	5.6	44	21.4	1307	S
平均	9月10日	4.5	85	21.0	1244	-

生については、9月より8月に多く出現する年（1990, 1991, 1997年）が認められ、その成熟時期はエゾアワビより幾分早いと考えられる。

1983年～1997年の15年間に於けるエゾアワビと *Tegula* spp. 浮遊幼生の最多出現日とその出現密度、表層水温、成熟有効積算水温、調査海域を表2-2に示した。エゾアワビ幼生の最多出現をもたらした台風の接近月日は平均値で9月10日（範囲：8月29日～9月22日）であった。エゾアワビ幼生の最多出現時におけるプランクトンネット10m鉛直1曳網あたりの平均個体数は4.5±2.9個体（範囲：1.2～12.5個体）であった。同様に *Tegula* spp. 幼生の平均個体数は85±80個体（範囲：11～263個体）であった。

3) 浮遊幼生数と水温との関係

1983年～1997年のエゾアワビ浮遊幼生の最多出現時における表面水温の平均値と標準偏差は21.0±1.2℃（範囲：19.2～23.4℃）であった。各年の最多出現時におけるエゾアワビ幼生数(y)と各年の表面水温値(x)との関係は図2-10のとおり  $y = 0.215 e^{0.138x}$  で示されたが、両者間に有意な相関関係は認められなかった (n=15,  $r^2=0.07$ ,  $p>0.05$ )。

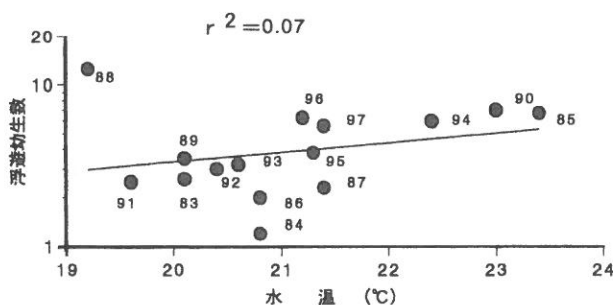


図2-10 1983年～1997年のエゾアワビ浮遊幼生の最多出現時における表面水温  
(図中数字は調査年、幼生数は10m鉛直曳き1回あたりを示す)

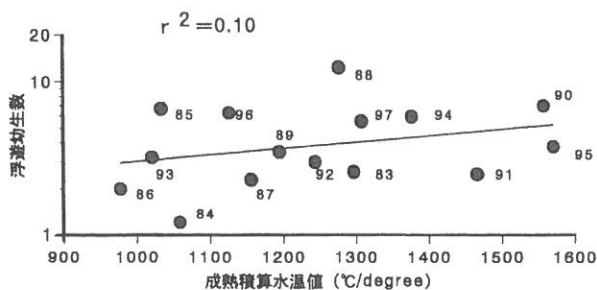


図2-11 1983年～1997年のエゾアワビ浮遊幼生の最多出現時における成熟積算有効水温  
(℃・日、図中数字は調査年、幼生数は10m鉛直曳き1回あたりを示す)

同様にエゾアワビ浮遊幼生の最多出現時における成熟有効積算水温の平均値と標準偏差は1,244±190℃・日（範囲：977～1,570℃・日）であった。各年の最多出現時におけるエゾアワビ幼生数(y)と成熟有効積算水温値(x)との関係は図2-11のとおり  $y = 1.138 e^{0.001x}$  で示されたが、両者間に有意な相関関係は認められなかった (n=15,  $r^2=0.10$ ,  $p>0.05$ )。

4) 浮遊幼生数と波高との関係

1990年～1997年の江ノ島波高記録を用いて各年ごとにエゾアワビ, *Tegula* spp., ムラサキインコガイ幼生の出現量と各調査時から3日以内の最大有義波高値との相関関係について検討した(図2-12)。各年によりそれぞれ幼生出現状況と最大有義波高値との相関の度合は異なるが、両者間の関係を決定係数  $r^2$  でみるとエゾアワビでは平均0.54±0.13(範囲：0.35～0.73), *Tegula* spp. では平均0.46±0.14(範囲：0.29～0.71), ムラサキインコガイでは平均0.47±0.23(範囲：0.32～0.82)となり、各種幼生出現と最大有義波高値の間にはそれぞれ有意な相関関係が認められた(表2-3)。

次に、1990年～1997年の調査期間を一括してエゾアワビ, *Tegula* spp., ムラサキインコガイ, *Strongylocentrotus* spp. 各種幼生ごとの出現量(y)と最大有義波高値(x)との相関関係を示した(図2-13)。この場合、各観測年により相関度合が異なることから両者間の変動が大きくなるが、エゾアワビでは  $y = e^{-7.43} x^{1.36}$  (n=22,  $r^2=0.40$ ,  $p<0.001$ ), *Tegula* spp. では  $y = e^{-7.91} x^{1.85}$  (n=48,  $r^2=0.40$ ,  $p<0.001$ ), ムラサキインコガイでは  $y = e^{-10.94} x^{2.56}$  (n=48,  $r^2=0.44$ ,  $p<0.001$ ) *Strongylocentrotus* spp. では  $y = e^{-12.04} x^{2.67}$  (n=22,  $r^2=0.46$ ,  $p<0.001$ ) となり、それぞれ幼生出現数と最大有義波高値の間に有意な相関関係が認められた。

8月9月10月の各月別におけるエゾアワビその他各種浮遊幼生の出現数(y)と最大有義波高(x)との関係を図2-14に示した。エゾアワビについて8月、10月は有意な相関関係は認められなかったが (n=27,  $r^2<0.10$ ,  $p>0.05$ ), 9月は  $y = e^{-17.26} x^{2.98}$  (n=62,  $r^2=0.62$ ,  $p<0.001$ ) と明らかに有意な相関関係が認められた。 *Tegula* spp. について8月は  $y = e^{-8.38} x^{2.00}$  (n=28,  $r^2=0.30$ ,  $p<0.01$ ), 9月は  $y = e^{-8.44} x^{1.92}$  (n=52,  $r^2=0.45$ ,  $p<0.001$ ), ムラサキインコガイについて8月は  $y = e^{-9.53} x^{2.21}$  (n=20,  $r^2=0.26$ ,  $p<0.05$ ), 9月は  $y = e^{-10.51} x^{2.51}$  (n=52,  $r^2=0.46$ ,  $p<0.001$ ) とそれぞれ有意な相関関係が認められた。 *Strongylocentrotus* spp. については8月は有意な相関関係は認められなかったが (n

=5,  $r^2=0.18, p > 0.05$ ), 9月は  $y = e^{-11.43x^{2.61}}$  ( $n = 21, r^2=0.50, p < 0.001$ ) となった。各種とも産卵前期の8月と産卵末期の10月に比べ産卵盛期である9月において明らかに有意な相関関係が認められた。

5) 種間の出現同調性について

1990年~1993年気仙沼湾岩井崎, 1994年~1997年鮫の浦湾サキカマ崎で実施した浮遊幼生出現調査においてエゾアワビ浮遊幼生が多く出現した9月の採集結果からエゾアワビと *Tegula* spp., ムラサキインコガイ,

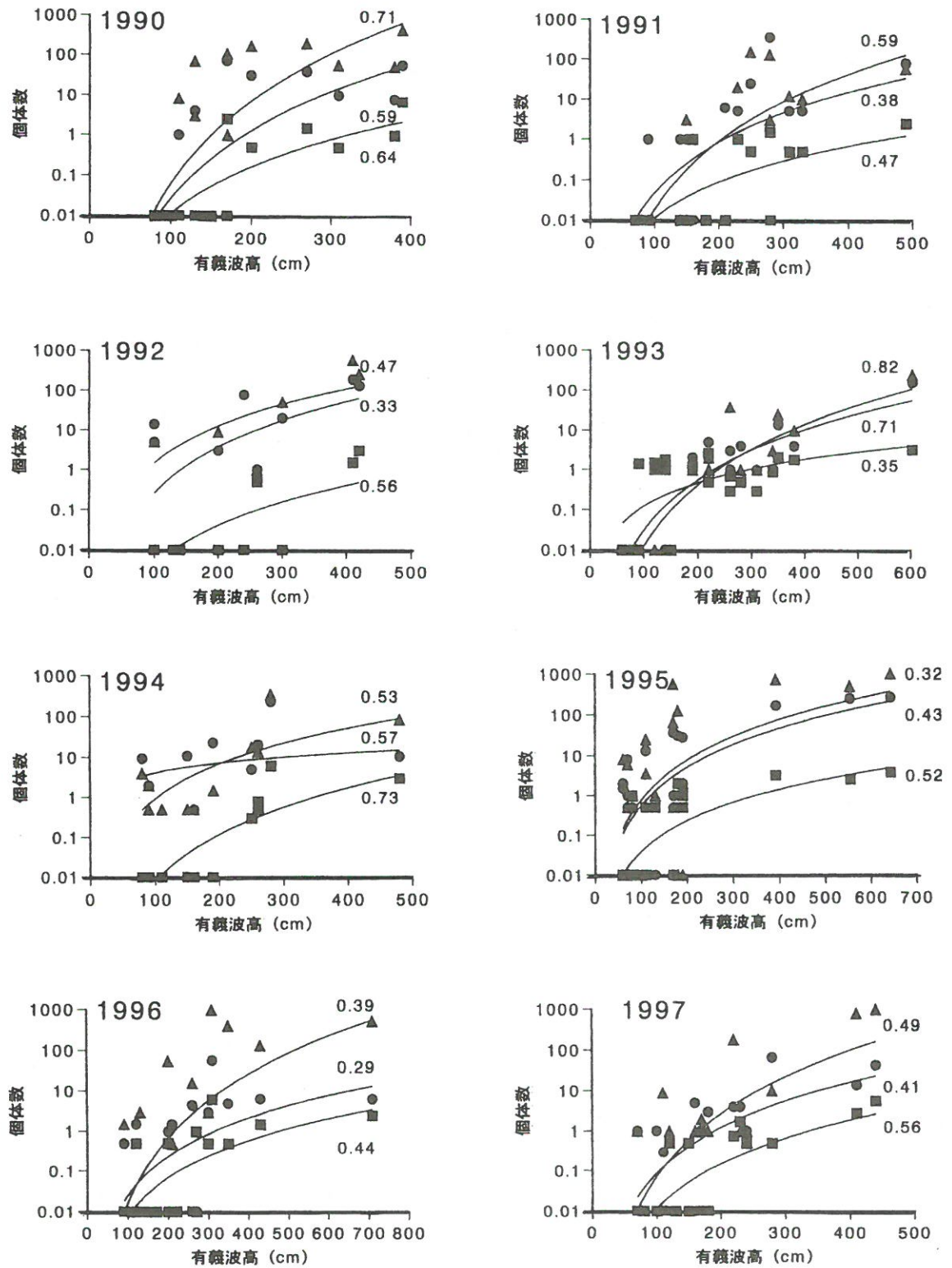


図2-12 1990年~1997年における年別エゾアワビ (■), *Tegula* spp. (●), ムラサキインコガイ (▲) 浮遊幼生の10m鉛直曳き1回あたり出現個体数と有義波高との関係



表2-3 エゾアワビその他各種浮遊幼生 (y) と有義波高 (x) との回帰関係式  $y = ax^b$  における観測数 (N), 係数(a), 指数 (b), 決定係数 ( $r^2$ ), 有意水準 (L)

年	種	N	a	b	$r^2$	L
1990	エゾアワビ	21	$e^{-22.42}$	3.89	0.71	$p < 0.001$
	<i>Tegula</i> spp.	19	$e^{-29.39}$	5.60	0.59	$p < 0.001$
	ムラサキインコガイ	19	$e^{-34.15}$	6.81	0.64	$p < 0.001$
1991	エゾアワビ	16	$e^{-18.05}$	2.95	0.47	$p < 0.01$
	<i>Tegula</i> spp.	16	$e^{-22.20}$	4.15	0.38	$p < 0.05$
	ムラサキインコガイ	19	$e^{-29.66}$	5.57	0.59	$p < 0.001$
1992	エゾアワビ	10	$e^{-20.80}$	3.32	0.56	$p < 0.05$
	<i>Tegula</i> spp.	6	$e^{-18.85}$	3.80	0.33	$p < 0.05$
	ムラサキインコガイ	6	$e^{-13.95}$	3.11	0.47	$p < 0.05$
1993	エゾアワビ	20	$e^{-11.08}$	1.95	0.35	$p < 0.01$
	<i>Tegula</i> spp.	20	$e^{-22.79}$	4.19	0.75	$p < 0.001$
	ムラサキインコガイ	20	$e^{-27.80}$	5.08	0.82	$p < 0.001$
1994	エゾアワビ	15	$e^{-22.72}$	3.88	0.73	$p < 0.001$
	<i>Tegula</i> spp.	15	$e^{-23.44}$	8.16	0.57	$p < 0.01$
	ムラサキインコガイ	19	$e^{-13.47}$	2.91	0.53	$p < 0.01$
1995	エゾアワビ	23	$e^{-15.22}$	2.60	0.52	$p < 0.001$
	<i>Tegula</i> spp.	23	$e^{-15.27}$	3.19	0.43	$p < 0.001$
	ムラサキインコガイ	19	$e^{-15.46}$	3.30	0.32	$p < 0.01$
1996	エゾアワビ	21	$e^{-19.06}$	3.10	0.44	$p < 0.01$
	<i>Tegula</i> spp.	17	$e^{-18.35}$	3.19	0.29	$p < 0.05$
	ムラサキインコガイ	17	$e^{-28.50}$	5.30	0.39	$p < 0.01$
1997	エゾアワビ	20	$e^{-21.29}$	3.66	0.56	$p < 0.001$
	<i>Tegula</i> spp.	20	$e^{-19.90}$	3.79	0.41	$p < 0.01$
	ムラサキインコガイ	20	$e^{-26.76}$	5.24	0.49	$p < 0.001$

表2-4 1990年~1997年8月, 9月の有義波高第1位~第3位観測時におけるエゾアワビ *Tegula* spp. ムラサキインコガイ浮遊幼生の10m 1回曳きあたり出現個体数

年	有義波高 順位	月 日	有義波高 (cm)	エゾ アワビ	<i>Tegula</i> spp.	ムラサキ インコガイ
1990	第1位	9月20日	396	7.0	59	447
	第2位	8月10日	384	1.0	8	53
	第3位	8月5日	248	0.0	4	70
1991	第1位	9月20日	491	2.5	81	60
	第2位	8月18日	288	1.5	360	130
	第3位	9月9日	246	0.5	25	150
1992	第1位	9月10日	426	3.0	131	580
	第2位	9月15日	302	0.0	20	50
	第3位	8月15日	254	0.0	5	0
1993	第1位	8月27日	607	3.2	162	250
	第2位	9月4日	388	1.8	4	10
	第3位	8月9日	344	0.3	0	0
1994	第1位	9月19日	508	3.0	11	84
	第2位	9月11日	284	6.0	236	349
	第3位	8月21日	261	0.0	1	1
1995	第1位	9月17日	645	3.8	267	720
	第2位	8月29日	191	0.5	2	2
	第3位	9月3日	175	0.0	1	8
1996	第1位	9月23日	713	2.5	7	347
	第2位	9月2日	303	6.3	58	1650
	第3位	8月15日	266	1.0	0	0
1997	第1位	9月19日	444	5.6	44	1880
	第2位	8月15日	302	0.0	67	10
	第3位	9月3日	237	0.5	0	0
平均	第1位	9月16日	529	3.8	95	546
	第2位	8月28日	305	2.1	94	282
	第3位	8月22日	254	0.3	5	28

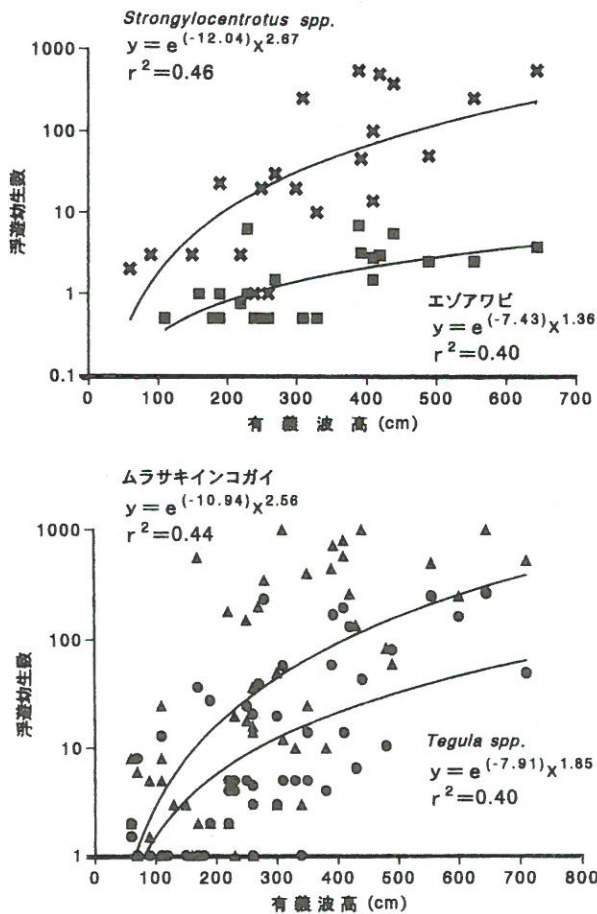


図2-13 エゾアワビ(■), *Tegula* spp.(●), ムラサキインコガイ(▲), *Strongylocentrotus* spp.(×)浮遊幼生の10m鉛直曳き1回あたり出現個体数と有義波高との関係

*Strongylocentrotus* spp. の出現量の相関を図2-15に示した。エゾアワビ(y)と *Tegula* spp.(x)は  $y = 0.97 e^{-0.0065x}$  ( $n=30, r^2=0.32, p < 0.01$ ), エゾアワビ(y)とムラサキインコガイ(x)は  $y = 0.89 e^{0.0018x}$  ( $n=30, r^2=0.43, p < 0.001$ ), エゾアワビ(y)と *Strongylocentrotus* spp.(x)は  $y = 0.95 e^{0.0028x}$  ( $n=18, r^2=0.36, p < 0.01$ ), *Tegula* spp.(y)とムラサキインコガイ(x)は  $y = 3.42 e^{0.0045x}$  ( $n=36, r^2=0.48, p < 0.001$ ), *Strongylocentrotus* spp.(y)とムラサキインコガイ(x)は  $y = 9.54 e^{0.037x}$  ( $n=19, r^2=0.37, p < 0.01$ ), *Strongylocentrotus* spp.(y)と *Tegula* spp.(x)は  $y = 9.86 e^{0.0161x}$  ( $n=19, r^2=0.42, p < 0.01$ ) であり、それぞれ出現時期について有意な相関関係が認められた。したがって、9月に発生する一定値以上の最大有義波高に対してエゾアワビ, *Tegula* spp., ムラサキインコガイ, *Strongylocentrotus* spp. の産卵が同調し、それら浮遊幼生は同時に出現する現象が明らかとなった。

## 6) 波浪刺激のタイミング

1990年~1997年の各年8月, 9月において第1位から第3位までの有義波高値の発生時におけるエゾアワビ, *Tegula* spp., ムラサキインコガイ幼生の出現状況を表2-4に示した。エゾアワビその他幼生の出現量は各年とも台風や小型低気圧の接近に起因する有義波高値の順位に対応していた。すなわち、第1位から第3位までの有義波高は平均的には9月中旬, 8月下旬, 8月中旬にそれぞれ認められ、第1位, 第2位の有義波高発生時にはエゾアワビとその他産卵が同期する *Tegula* spp., ムラサキインコガイ幼生の大量出現が認められるが、第3位の有義波高では幼生出現はほとんど認められない。

1994年と1996年におけるエゾアワビ幼生の出現状況は第1位より第2位の有義波高観測時で最多出現となった。1994年については8月中旬から9月上旬まで静穏な海況が続いたため、9月11日の第2位有義波高値284cmで大量産卵の放出刺激となったが、その後9月19日の第1位有義波高値508cmでは産卵直後のため放出刺激の感受性が相対的に低下したと考えられる。1996年についても8月中は風状態が続き9月2日の第2位有義波高303cmで大量産卵が認められたことから、その後9月23日の観測期間中第1位となった有義波高713cm(最大瞬間波高1,335cm)では結果的に残存卵の放出にとどまった。

このように1994年, 1996年とも8月中は比較的静穏な状態が続き、その後9月上旬までに一定値以上の有義波高があると大量産卵になる可能性が高く、そのような場合はその後9月中下旬に第1位となる有義波高が発生しても少量産卵しか認められていない。

## 7) 産卵時刻の特定

關(1997)のエゾアワビ初期発生形態変化と発生速度の関係に従い、1990年, 1992年, 1993年の幼生出現経過からエゾアワビの産卵時刻を以下のように推定した。

1990年には9月19日に東北地方へ台風19号の接近があった。台風通過後、9月21日午前10時に採集した際のエゾアワビ幼生は幼殻完成期直後の発生段階にあった。エゾアワビ受精卵は水温20℃下では受精後約30時間で幼殻完成期になることから、産卵時刻は9月20日未明と推定された。

1992年には9月9日に台風10号の接近が認められ、当日の午後に行った採集標本では種名が不明の受精卵が多数観察された。そして、9月12日午前7時に採集した際にはエゾアワビ幼生は受精50時間後の眼点形成期であった。これらのことから、産卵時刻は発生速度から逆算して9月10日未明と推定された。

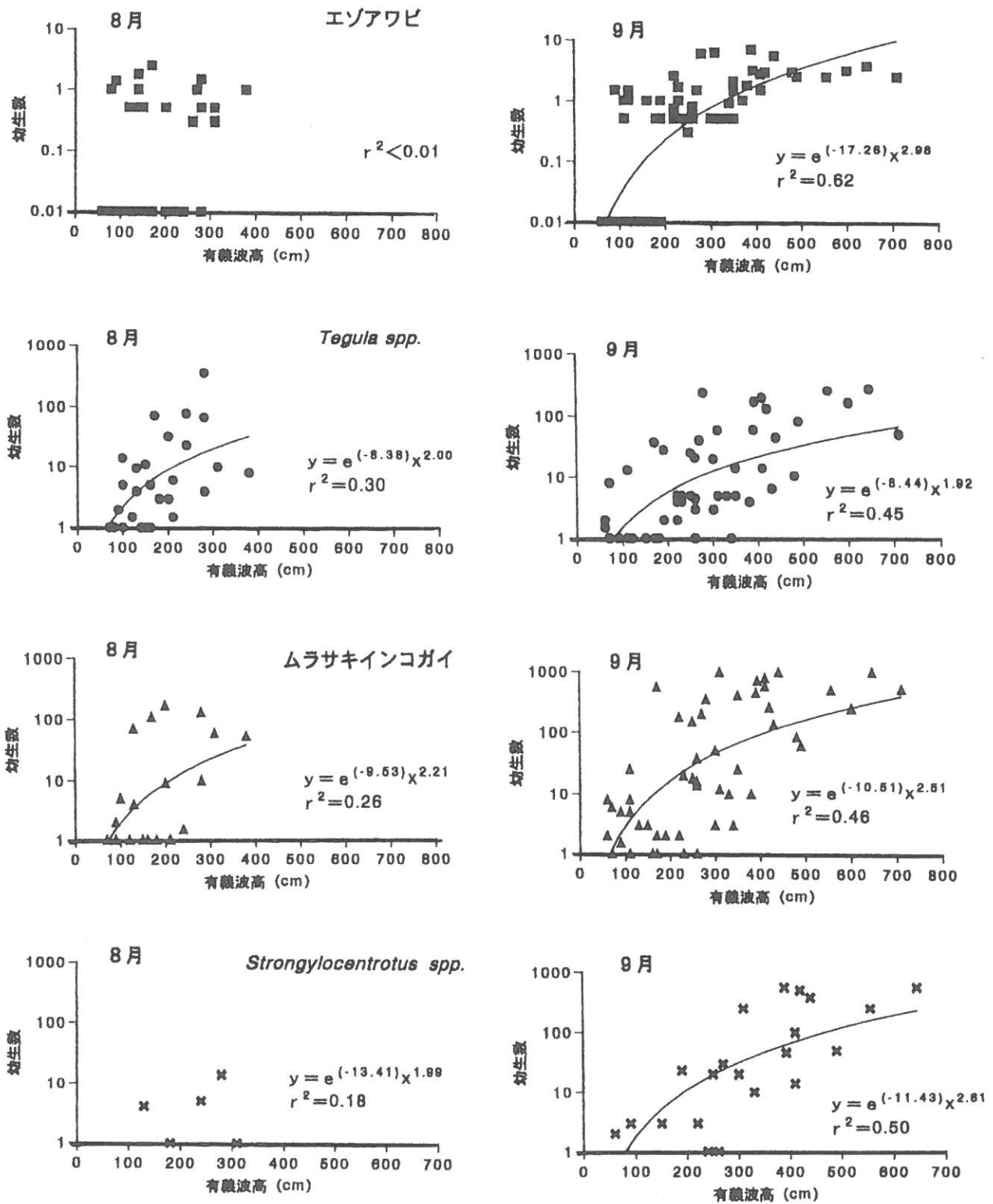


図2-14 1990年～1997年の8月、9月におけるエゾアワビ (■), Tegula spp. (●), ムラサキインコガイ (▲), Strongylocentrotus spp. (×) 浮遊幼生の10m鉛直曳き1回あたり出現個体数と有義波高との関係

1993年には8月27日に台風11号の接近があり、8月29日午前8時に採集した際のエゾアワビ幼生は受精30時間後の幼殻完成期直後であったことから、産卵時刻は同様に逆算して8月28日深夜と推定された。

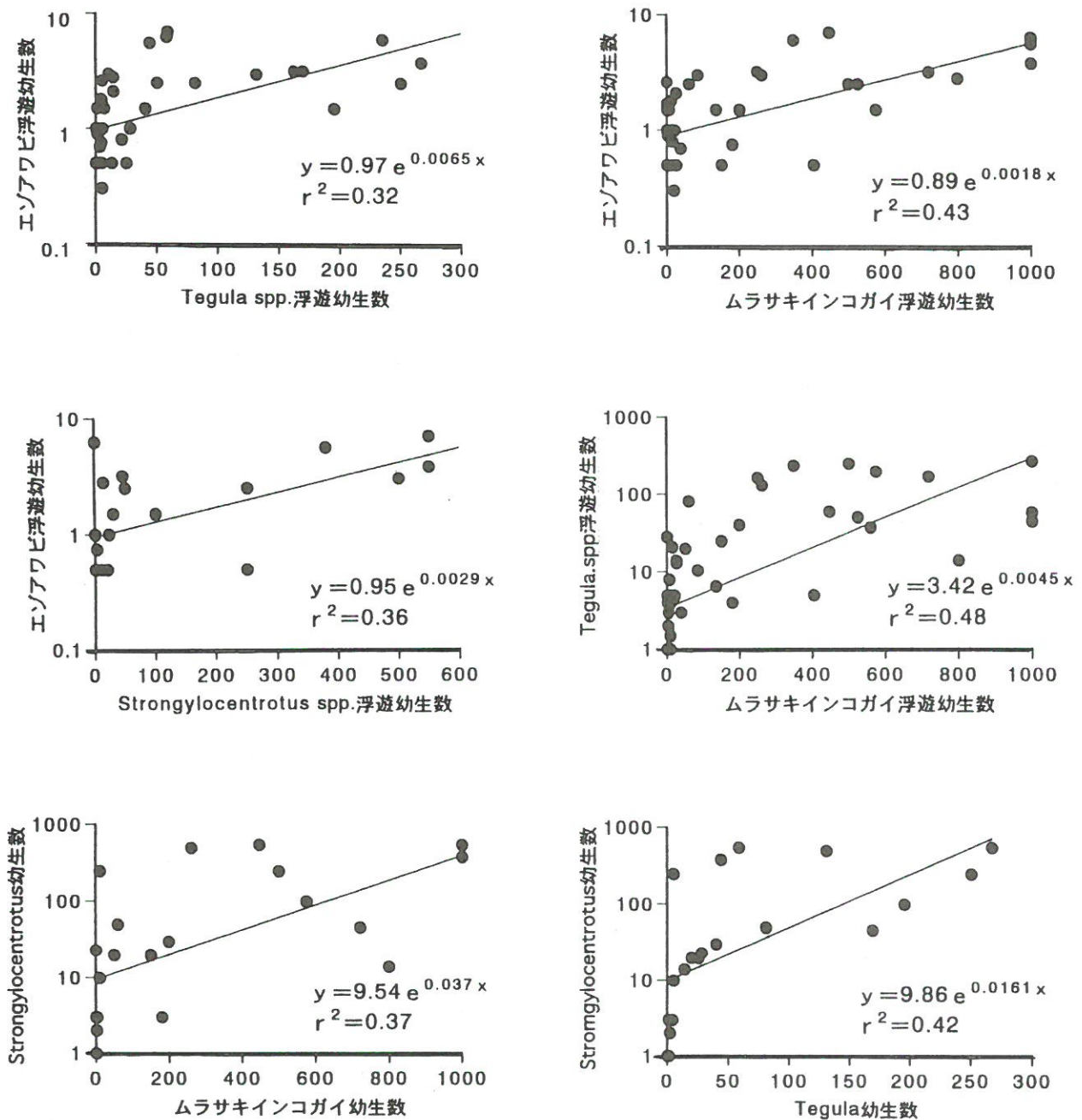


図2-15 1990年～1997年の9月観測時におけるエゾアワビ, *Tegula* spp., ムラサキインコガイ, *Strongylocentrotus* spp. 浮遊幼生の出現時期に関する相互関係

## 考 察

### 1 エゾアワビ幼生の発生型

網尾(1963)は原始腹足類の発生様式は、本邦産種ではエゾアワビ, *Tegula* spp. などのようにトロコフォア型に属すると報告しているが、今回観察し得たサルアワビ, ニシキエビスガイはベリジャー型, アコヤシタダミ, エゾチグサガイ, ヤマザンショウガイは卵内でベリジャー期を経る稚貝型で孵出した。これまで本邦産種以外のユキノカサガイ科, ニシキウズガイ科のある種では

ベリジャー型や稚貝型の存在が認められていることから(Jablonski and Lutz 1980, 1983), 一般的に原始腹足類幼稚仔の発生様式はトロコフォア型とベリジャー型を併せた幼生遊泳型と稚貝匍匐型の2形態に区分される。

網尾(1963)は腹足類の科, 属単位における浮遊幼生の識別形質として幼殻の輪郭, 軟体部の色調, 幼殻表面の彫刻模様等を挙げている。

先ず, 本研究の調査海域においてはツタノハガイ科 *Patellidae*, ウノアシ科 *Acmaeidae* の分布が多く認められた。しかし, これら出現種の幼殻の輪郭はコップ状で

波紋型の彫刻模様があることから今回観察したミミガイ科 *Haliotidae*, ニシキウズガイ科 *Trochidae*, リュウテンサザエ科 *Turbinidae* とは明らかに異なっていた。幼生原殻の殻長でエゾアワビと近似するのはアコヤシタダミ, エゾチグサガイ, ヤマザンショウガイであったが, 後成殻の有無や原殻周口部の輪郭により区別された。

次に, 幼殻の彫刻模様 (微粒とら条の複合型) がエゾアワビと類似するのはエゾチグサガイであるが, 両種は後成殻の有無と軟体部色調で明らかに区別できた。さらに, 軟体部色調がエゾアワビと同じ色調を呈するのはバテイラ, コシタカガンガラ, クボガイであるが, エゾアワビとこれらは幼殻原殻の殻長, 彫刻模様により明確に識別できた。これら3種は分類学的に *Tegula* 属として扱われることから, 幼殻原殻の殻長, 彫刻模様, 軟体部色調などの形態的特性は極めて類似した。

これら飼育標本の観察結果にもとづいて7月~10月に海域で採集した浮遊幼生の標本を顕鏡し, 実際に査定が可能であるか否かを検討した結果, 出現した腹足類幼生は多種に及んだが, エゾアワビ幼生を迅速かつ正確に識別する手順としては原殻輪郭と幼生の軟体部色調に着目するのが最も実用であった。この時期に出現した各種幼生の中で, 幼生軟体部が青緑色を呈したのはエゾアワビと *Tegula* spp. のみであり, これらは前述したとおり原殻の殻長や彫刻模様で明確に識別できた。堀川・山川 (1982) は房総半島外海の水深3~6m帯のバテイラの産卵期は初夏から秋と報告しているが, *Tegula* spp. の浮遊幼生等に関する知見はない。

なお, エゾアワビ浮遊幼生に近似した殻長で軟体部色調が暗褐色系を呈する未査定の腹足類幼生が例年一種類出現するが, その識別は原殻輪郭と向頂位置に着目することで可能であった。

幼生遊泳型の発生様式をとるエゾアワビ, *Tegula* spp. など原始腹足類の幼生は浮遊期間が数日間の *Lecithotrophic* (卵黄栄養型発生) であるのに対し, タマガイ科 *Naticidae* など中腹足類は3~4週間の浮遊期間を持ち, *Planktotrophic* (プランクトン栄養型発生) である (網尾1963, 菊池1981, Strathmann1986)。同様に多くの二枚貝類については数週間の浮遊期間で *Planktotrophic* であるのに対し (宮崎1957, 1962), ムラサキインコガイは浮遊期間が数日間の *Lecithotrophic* である点はエゾアワビ, *Tegula* spp. と共通する。

これら *Lecithotrophic* に属するエゾアワビ, *Tegula* spp., ムラサキインコガイは *Planktotrophic* である他の腹足類, 二枚貝類の種と比較した場合, それぞれ相対的に浮

遊期間が短いことから幼生の分散範囲が限定され, 母貝と着底稚仔との量的関係が生じやすいと考えられる。

## 2 性成熟と水温環境

菊池・浮 (1974 a) は産卵前のエゾアワビの性成熟過程では水温が外部環境要因として重要であり, その産卵誘発率は成熟有効積算温度 ( $^{\circ}\text{C}\cdot\text{日}$ ) の増大に対応し雄では  $1,000^{\circ}\text{C}\cdot\text{日}$ , 雌では  $1,500^{\circ}\text{C}\cdot\text{日}$  で産卵誘発率が100%に達することを室内実験で明らかにしている。

1983年~1997年の野外調査ではエゾアワビ浮遊幼生の最多出現時における成熟積算水温の最低値は1986年の  $977^{\circ}\text{C}\cdot\text{日}$  であることから,  $1,000^{\circ}\text{C}\cdot\text{日}$  に到達すれば大量産卵が起こりうることを示している。江ノ島の30年間平均水温記録によると最低水温の3月 (月平均水温  $7.36^{\circ}\text{C}$ ) から起算して積算水温  $1,000^{\circ}\text{C}\cdot\text{日}$  に到達するのは8月28日と算出された。したがって, 水温条件からは例年8月下旬に大量産卵が可能な成熟状態となり, この時期以降の一定値以上の波浪に対応して大量産卵が起こることになる。しかし, エゾアワビ幼生の最多出現時における積算水温値は最低  $977^{\circ}\text{C}\cdot\text{日}$  ~ 最大  $1,570^{\circ}\text{C}\cdot\text{日}$  と広い範囲にわたることから, 水温の増大自体は性成熟の進行に大きく関与するが, 卵, 精子の放出刺激としては別の要因が存在することを示唆している。

## 3 放出刺激となる外部環境要因

これまでアワビ類の天然産卵時の水温環境については, エゾアワビの産卵盛期は北海道では8月下旬~9月下旬, 三陸沿岸では9月上旬~10月中旬であり水温はいずれも  $20^{\circ}\text{C}$  前後とされている (猪野1971)。エゾアワビについて, 富田ら (1977, 1980), 富田・磯貝 (1979) は北海道北部日本海沿岸において産卵開始~終了時期の水温を  $20^{\circ}\text{C}$  として, その期間中の幼生出現との関連性を論じている。房総半島沿岸では田中ら (1979, 1980, 1986 b), 石田・田中 (1983), 田中 (1988) が10月以降アワビ卵・幼生の出現した数日前に  $2\sim 5^{\circ}\text{C}$  の急激な水温変化を認めており, その他土屋 (1979) の日本海粟島での観察など水温変化と産卵との関係についての報告事例は多い。

アワビと近縁なサザエについて, 阿井ら (1964) は伊豆半島の天然漁場での産卵行動を観察し沿岸水温の  $20^{\circ}\text{C}$  ~  $25^{\circ}\text{C}$  への急上昇期と産卵時が一致すること, また山田 (1998) は島根県沿岸におけるサザエ幼生出現と水温, 波浪変化の観察から水温  $21^{\circ}\text{C}$  以上の時期で数日間の急激な水温変動が配偶子放出に関係することを報告している。

天然条件下における産卵機構については台風などによる海水環境の攪拌が海域全体のアワビ個体群への共通刺激として大きな意義を持つと考えられる。本研究において、1983年以降の経年的なプランクトン採集結果からエゾアワビ, *Tegula* spp., ムラサキインコガイ, *Strongylocentrotus* spp. は台風通過時の波浪変化という物理的刺激に対応して産卵を開始することが認められた。このことは、水温以外の環境要因として海水環境の攪乱にともなって卵、精子の放出が行われることを示唆している。

類例として、アワビ類については低気圧の接近通過と産卵との関連性が想定されること(田中・石田1983)、タスマニアにおいて *Haliotis rubra* の自然産卵が向岸的な大きなウネリの中で観察されたことが述べられている(Nash *et al.* 1995)。その他の腹足類については、ニシキウズガイ科2種とヤコウガイ科1種では室内実験で海水の激しい攪拌刺激で産卵反応すること、そして荒天時のプランクトン採集でそれらの卵、幼生が出現すること(Grange1976)、ヤコウガイ *Turbo marmoratus*, チョウセンサザエ *Turbo argyrostomus* については室内で飼育海水の攪拌交換で産卵誘発されることなどが報告されている(山口1987)。

二枚貝類においてはモガイ *Anadara subcrenata* の幼生出現が台風通過後に多数認められたこと(畑1948)、アサリ *Tapes japonica* が降雨前の激浪により突発的に産卵したこと(宮崎1957)、亜熱帯海域ではヒメジャコ *Tridacna crocea* が台風通過により配偶子を一齐放出すること(村越・川口1986a, b)などが報告されている。このように、水温変化と同様に海水環境の攪拌についても放出刺激となる報告は少なくない。

また、Shepherd and Daume(1996)は着底稚貝の出現状態から *Haliotis scalaris* は満月、*Haliotis laevigata* は新月に対応して産卵するとし、放出刺激として月齢に付随する水温変化や周期的な潮汐流の増大を想定している。

その他の環境要因としてフジツボ類 *Balanus balanoides*, *Semibalanus cariosus* の幼生孵化が春季の珪藻大増殖期に同調して起こること(Crisp1956, 加戸1990)、マボヤ *Halocynthia roretzi* の産卵が冬季植物プランクトンの増殖時期と一致することから(佐々木1997)、海水中の餌料環境の変化が放出刺激として関与することが報告されている。

以上のように、各種海産物の卵・精子の放出刺激として水温、波浪、潮流、餌料などの外部環境要因が認められたが、これらにすべて共通するのは浮遊幼生の拡散

につながるであろう環境水の変化と考えられる。そして、エゾアワビにおいては環境水の季節的な変化の過程で性成熟が進行し、その後台風など低気圧通過にともなう海水の物理的一齐攪拌作用が広域的な産卵の引き金になると考えられる。

#### 4 産卵に関する種の属性

エゾアワビなど産卵が同調する各種の幼生はその年の第1位か第2位の有義波高観測時に大量出現が認められた。これら波浪による放出刺激の時期、規模などは各年の気象、海況条件によって変動することから、年によって時化が長期間発生しなければ性成熟の進行にともないより低い有義波高でも相対的に大量産卵の放出刺激になると考えられる。したがって、エゾアワビなど産卵が同調する各種幼生の産卵時期、産卵量はその年の海況条件、台風の接近時期、頻度等の組み合わせにより変化し、産卵と有義波高との対応は相対的な関係と考えられる。

エゾアワビにおける配偶子の受精能力の持続時間は水温23℃下では3時間後に消失することから(菊池・浮1974c)、海水攪拌にともなう産卵は一齐放出と受精率向上をはかる上で重要である。また、天然条件下で産卵を同調させる要因として、アリー効果と考えられる産卵期間中の成熟個体の蝟集行動も認められている(Shepherd 1986, 宇野1973)。アワビの産卵時刻については夜間から未明にかけての暗期に多い傾向が認められたが、アワビ類は夜行性であり、酸素消費量や摂食行動の日周変化にみられるように暗期の始まる前後から夜半にかけて生理的活性が亢進する性質が認められている(浮・菊池1975, 1982)。

なお、アワビの生殖物質の放出機構は実験的には推測されているが、天然下での波浪と放出の関係(体内メカニズム)については不明である。室内の産卵誘発実験においては紫外線照射海水による産卵誘発効果が明らかにされている(菊池・浮1974b)。生殖巣の成熟、放出にはホルモン様物質プロスタグランジンが関与しており、紫外線照射や過酸化水素添加により水中に生じた活性酸素は体内におけるプロスタグランジンの生成回路を刺激して配偶子の放出を促すと考えられている(Morse *et al.* 1976)。

#### 5 台風の通過コースとその年変動

エゾアワビの産卵に大きな影響を与える台風の月別平均経路を清水(1971)、和田(1980)に従って図2-16に示した。台風の経路は太平洋高気圧の消長にともない西