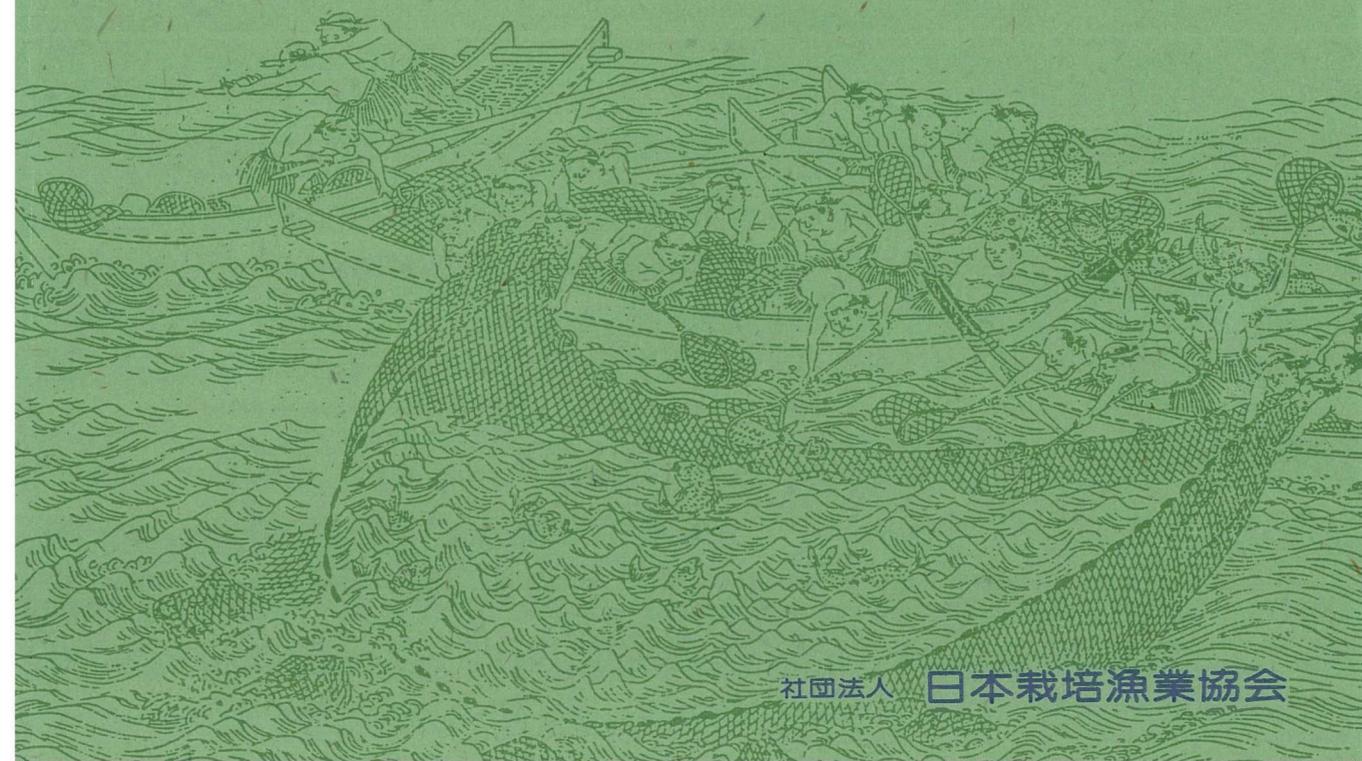


栽培漁業技術シリーズ

# アワビ類の種苗生産技術



## 「栽培漁業技術シリーズ」の刊行について

種苗生産技術をはじめ、中間育成、放流等の技術、並びに放流効果を把握するための調査手法等は、過去30余年の間に、当初の予想を上回る速さで開発されてきた。瀬戸内海をモデル海域として始まった栽培漁業への取り組みは、昭和50年代半ばに全国域に展開され、今日では国や都道府県の栽培漁業センターばかりでなく、市町村や漁業協同組合でも種苗生産施設が整備されるようになっている。

現在、我が国で栽培漁業の対象となっている魚介類は、技術開発の初期段階のものまで含めれば約90種類にのぼっている。そのうちのいくつかの種類については、種苗の量産化・資源添加の技術が確立しつつあり、その中で疾病対策を含む種苗生産の安定化、生産コストの低減、放流効果を高めるための種苗性の強化、放流技術の向上等、栽培漁業の事業化に必要な新しい技術課題についても取り組みが行われている。

このような状況の下で、栽培漁業の実践をより一層促進するために、技術の体系化、マニュアル化が強くと求められるようになり、平成5年度には、水産庁の栽培漁業技術体系化事業が開始された。

(社)日本栽培漁業協会では、この事業の委託を受け、栽培漁業に関する技術を体系的に整理し、種苗生産をはじめ中間育成、放流等に現場で携わっている方々のための実践的マニュアルを作ることを目指して、「栽培漁業技術シリーズ」を刊行することとなった。

平成5年度には、シリーズ No. 1 太平洋北区栽培漁業協議会技術部会ヒラメ作業部会編著による「太平洋北区におけるヒラメ種苗生産技術集」を刊行した。二年目にあたる本年度は、水産庁養殖研究所の浮 永久繁殖生理部長が中心となり、エゾアワビ並びにクロアワビの種苗生産技術に精通した岩手県と愛知県の研究者によって「アワビ類の種苗生産技術」が取りまとめられ、ここにシリーズ No. 2 として刊行する次第である。本書では、アワビ類の成熟・産卵のメカニズムから栽培漁業センターにおける種苗生産の実際にいたるまで、基礎的な知見とともに、ハードウェア、ソフトウェアの両面から具体的な方法が詳述されている。

アワビ類は栽培漁業対象種の中でも技術開発が進んでいるとはいえ、部分的には不安定な要素も含まれており、今後に残された課題も少なくない。このため、種苗生産の現場においては、それぞれの条件に応じて、柔軟に技術を応用することが必要と思われる。本書が、各地の特性を活かしたアワビ類種苗生産技術の発展・定着の一助となれば幸いである。

おわりに、本書のとりまとめにあたって多大なご苦勞をおかけした編著者各位に、心より感謝申しあげる。

平成7年3月

社団法人 日本栽培漁業協会  
理事長 今村 弘 二

## まえがき

栽培漁業の先駆けとしてアワビ類の種苗生産と放流技術が開発に着手されてから30年余が経過した。この間、関係者の努力によって、種苗生産と放流技術、およびそれらを支える関連科学について多くの研究業績が上げられてきた。そしてそれらを基礎として種苗の量産体制が全国的に整備され、放流事業が進められている。

栽培漁業では、開発段階を終了した後、種苗生産や放流についてその受益者が経費を負担する方向が求められている。種苗を播いて回収する仕組みの栽培漁業の経済的サイクルがうまく機能するために、種苗の生産から、放流、回収に至る一連の各局面で、経済効果を向上させる努力が不断に必要であることは言うまでもない。このため、種苗生産においても生産効率の向上や生産コストの低減を進め、しかも、より種苗価値の高い稚貝を生産する仕組みが求められており、技術的改良の余地はなお残されていると考えられる。そこで、今後のよりよい技術的な展開を探る一助として、現時点における種苗生産技術を取りまとめた。

本書は3章からなり、第1章は、(社)日本栽培漁業協会発行の「巻貝類の成熟、産卵と種苗の育成」(平成2年度栽培漁業技術研修事業テキスト)をベースとして、アワビ類の繁殖生理に関わる研究業績を整理し、種苗生産の組立てについて基礎的事項を述べた。第2章は、寒流域における事例として、岩手県水産技術センター種苗開発部 大森正明部長および河原郁恵専門研究員ならびに(社)岩手県栽培漁業協会 石田享一あわび科長に、エゾアワビの大量種苗生産技術の考え方とその実際について執筆頂いた。第3章は、暖流域における事例として、愛知県水産試験場漁業生産研究所 柳澤豊重主任研究員にクロアワビ種苗生産技術の考え方と実際について執筆頂いた。

アワビ類の種苗生産技術については、日本の北から南まで、それぞれの対象とする種や環境の特性に対応して様々な創意、工夫が成されてきた。これら全てを網羅するのは至難のことで、本書の盛り込みは限られたものである。また、地域による技術の多様性や改良・進歩を反映して、章間で基準や方法等で一致を見ない点がある。これは本書の意図が、地域の技術の一つのものに収斂させようとするものではないことによる。このため、第2章と第3章では、とりまとめのスタイルも多少異なっている。

本書は、種苗生産の基本的な考え方とその背景となっている生物学的知見を含む、現時点での技術情報をまとめたものである。とりあえずのマニュアルとして大いに活用して頂く一方で、技術的改良の余地はないか、さらに技術革新の方向探索のために、批判的にも読んで頂きたい。本書が種苗性の確かな稚貝生産の一助となり、アワビ類の栽培漁業が沿岸漁業振興の有効な方策として定着することを期待したい。

なお、短い期間の中に貴重な情報を盛り込んで執筆頂いた共著者の方々および本書刊行の機会を与えられた(社)日本栽培漁業協会並びに関係県の各位に対し、篤くお礼申し上げる。

平成7年3月

養殖研究所

繁殖生理部長 浮 永 久

## 「アワビ類の種苗生産技術」編著者一覧

### 第 1 章

浮 永 久            水産庁養殖研究所

### 第 2 章

大 森 正 明            岩手県水産技術センター  
河 原 郁 恵            岩手県水産技術センター  
石 田 享 一            (社) 岩手県栽培漁業協会

### 第 3 章

柳 澤 豊 重            愛知県水産試験場漁業生産研究所

# 目 次

第1章 アワビ類の繁殖生理と	
種苗生産の組立て	1
はじめに	1
1. アワビ類と漁業	1
2. アワビ類の繁殖生理	2
(1) 生殖巣の構造と配偶子形成	2
1) 生殖巣の構造	2
2) 卵形成	4
3) 精子形成	4
4) 産出卵の形態	5
①卵の形状	5
②卵の大きさと色彩	5
(2) 生殖周期	5
(3) 成熟・産卵の内分泌支配	8
1) 生殖腺の発達とホルモン	8
2) 産卵とホルモン	9
(4) 受精, 発生と孵化	10
1) 受精の過程	10
2) 発生の過程	10
①初期発生	10
②幼生の発生様式	11
③後期発生	11
④着底と変態	11
3) エゾアワビの初期発生	13
①卵からトロコフォラまで	13
②トロコフォラからヴェリ	
ジャーの振れまで	14
③ヴェリジャーの振れから形態	
変化の完了まで	15
4) エゾアワビ幼生の着底と変態	15
(5) 成長	17
1) 成長の促進因子と遺伝的支配	17
2) 品種の育成	18
3) 成長曲線	18
4) 相対成長	19
5) エネルギー収支	19
3. 種苗生産のソフトウェア	21
(1) 種苗生産技術の組立て	21
(2) 種類の選択と種苗性	22
(3) 成熟の制御	25
1) 温度	25
2) 光周期	28
3) 餌料	28
(4) 産卵の制御	28
1) 産卵の誘起	28
2) 産卵時刻の設定	30
(5) 受精と配偶子の管理	30
1) 人工受精	30
2) 配偶子の保存	32
(6) 幼生の管理	33
1) 発生速度と水温	33
2) 幼生の飼育	37
3) 採苗適期	38
(7) 初期稚貝の育成	39
1) 底生期幼稚体	39
2) 摂餌圧下の付着性藻類の遷移	40
3) 採苗用藻類の培養	42
①足蹠分泌粘液物質	42
②アワビモ <i>Ulvela</i>	44
③ <i>Myrionema</i>	46
④ <i>Cocconeis</i>	46
⑤ <i>Navicula</i>	47
4) 採苗密度	50
5) 施肥基準	51
6) 培養板上の動・植物の駆除	52
7) 培養板の材質と採苗成績	52
(8) 後期稚貝の育成用餌料	52
1) 付着性微小藻類	52
2) 海藻類	53
(9) 海藻類の化学組成と摂餌	55
1) 一般化学組成	55
2) 摂餌刺激物質	56

3) 貝殻の色彩と餌料	59	⑥ 摂餌率	88
(10) 栄養と飼料	60	⑦ 摂餌量	89
1) 栄養要求	60	⑧ 巡流水槽の稚貝育成能力	89
2) 配合飼料	63	⑨ 水槽内の稚貝の行動と成長	90
(11) 代謝	64	(5) その他の施設, 機材	90
1) 摂餌量	64	1) 珪藻流水培養器	90
2) 酸素消費量	66	2) 稚貝選別機	91
3) アンモニア排泄量	69	3) 中間育成, 養殖施設	92
(12) 飼育基準	69	おわりに	92
1) 成長速度	69		
2) 飼育密度	72	<b>第2章 エゾアワビ種苗生産技術の実際</b>	93
3) 給水基準	75	はじめに	93
(13) 疾病	77	1. 施設の概要	93
(14) 選別, 出荷	78	(1) 水槽数および使用水量	93
1) 剝離, 選別	78	(2) 年間の作業スケジュール	93
2) 出荷, 輸送	78	2. 掛け流し水槽によるエゾアワビの	
<b>4. 種苗生産のハードウェア</b>	79	種苗生産	94
(1) 立地場所の選択	79	(1) 親貝の養成	94
(2) 給水設備	79	1) 親貝の入手	94
1) 揚水, 濾過装置	79	① 大きさ	94
2) 給水量調節装置	80	② 個数	94
3) 施肥装置	81	③ 標識の装着	94
4) pH 制御装置	81	2) 飼育装置	94
(3) 海水処理設備	81	① 飼育水槽	94
1) 調温施設	81	② 収容基準	95
2) 紫外線流水殺菌装置	82	③ 使用海水, 調温および給水量	95
(4) 飼育設備	82	④ 成熟の進行と飼育水温	95
1) 母貝養成水槽	82	3) 餌料海藻	96
2) 幼生流水飼育装置	83	① 餌料海藻の種類	96
3) 採苗水槽	84	② 成熟の進行と摂餌率の変化	96
4) 育成水槽	84	4) 光周期	96
① 従来 of 水槽	84	5) 日常の管理	97
② 水槽の改良	84	① 観測項目	97
5) 巡流水槽	86	② 残餌量測定, 清掃, 給餌	97
① 巡流システムの構成	86	(2) 採卵と孵化	97
② 巡流システムの特徴	87	1) 採卵, 採精に供する親貝の選別	97
③ 巡流水槽の規格および諸元	87	2) 産卵誘発刺激	98
④ 流速	88	3) 採卵, 精子濃度の測定と媒精	98
⑤ 珪藻培養器の稚貝飼育能力	88	4) 洗卵	99

5) 受精率の測定と卵数の計測	99	4) 梱包・輸送の方法	111
6) 水温調節による発生速度の制御	99	3. 巡流水槽によるエゾアワビの	
7) 浮上幼生の採取	99	種苗生産	111
8) 幼生の流水飼育方法	99	(1) 親貝の養成	111
(3) 採苗	100	(2) 採卵と孵化	111
1) 採苗板の作成	100	(3) 採苗	111
①材質等	100	1) 採苗水槽の構造と使用方法	111
②採苗用適餌料と採苗板の作成	100	2) 採苗板の作成	112
2) 採苗水槽, 給水量	101	3) 採苗数と水槽の管理	112
3) 採苗密度と幼生の計数	101	(4) 初期稚貝の管理	
①採苗密度	101	－呼水孔形成まで－	112
②幼生の計数	102	1) 採苗板の屋外搬出	112
(4) 初期稚貝の管理		2) 施肥および炭酸ガス通気	113
－呼水孔形成まで－	102	3) 水槽の管理	113
1) 水槽の構造	102	(5) 稚貝の管理	
2) 給水量	103	－微小藻が主餌料の期間－	114
3) 遮光幕による珪藻生産量の制御	103	1) 稚貝の分散	114
4) 施肥	104	2) 珪藻(餌板)培養	115
(5) 稚貝の管理		3) 水槽の管理	115
－微小藻が主餌料の期間－	104	4) 稚貝数調整水槽	115
1) 給水量	104	(6) 後期稚貝の管理	
2) 分散	104	－配合飼料給与期－	116
3) 剥離, 選別	104	1) 稚貝の成長	116
4) 珪藻培養	106	2) 配合飼料給餌量と給餌方法	117
5) 生残率	106	3) 水槽の管理	117
6) 成長速度	107	4) 剥離・選別	118
(6) 後期稚貝の管理		①剥離方法	118
－配合飼料給与期－	107	②選別方法	118
1) 飼育カゴの構造	107	③巡流水槽生産稚貝数	118
2) 飼育密度と生残率	108	④稚貝の特徴と出荷率	118
3) 給水量	108	(7) 巡流水槽飼育の改良	121
4) 配合飼料	109	1) 飼育設備	121
5) 水槽の管理	109	2) 飼育技術	121
(7) 出荷	109	①平板飼育による	
1) 選別法	109	小型稚貝の救済	121
①篩の孔径と選別稚貝のサイズ	110	②平板剥離の時期	122
②稚貝選別機	110	③巡流水槽のシェルター飼育	122
2) 出荷までの飼育	110	4. 中間育成	123
3) 計数	110	(1) 中間育成施設の種類	123

(2) 飼育基準と管理	123
1) 収容密度	123
2) 給餌	123
(3) 生産コスト	124
おわりに	124

### 第3章 クロアワビ種苗生産技術の実際

はじめに 125

#### 1. 親貝の養成

(1) 親貝の大きさ	125
(2) 親貝の数	126
(3) 親貝の飼育	126
(4) 親貝仕立て	127

#### 2. 採卵と孵化

(1) 産卵誘発	127
1) 紫外線照射海水法	127
2) 過酸化水素水法	127
①濃度の調整	127
②配偶子放出までの所要時間と換水	127
③誘発刺激後の親貝の管理	128
④利点	128
(2) 受精	128
(3) 洗卵	129

#### 3. 浮遊幼生の飼育と採苗

(1) 大型水槽での浮遊幼生の飼育	129
1) 受精卵の大型水槽への収容方法	129
2) 浮遊幼生の飼育	130
(2) 採苗	130
1) 採苗開始のタイミング	130
2) 採苗とその後の管理	130
3) 幼生の着底密度	131
(3) 採苗板への珪藻付け	131
1) 珪藻付けに用いる付着珪藻	131
①珪藻の種類	131
②珪藻種の採取	131
③珪藻培養のスケールアップ	132
2) 採苗板への珪藻付け	132

①珪藻密度と幼生付着数	132
②珪藻の増殖速度	132
③珪藻付け開始時期の実際	132
④採苗直前の採苗板の調整	132

#### 4. 初期稚貝の飼育

    —採苗板上での飼育期間— 133

(1) 初期稚貝の摂餌	133
1) 稚貝の摂餌量	133
2) 稚貝の殻長と摂餌する珪藻の大きさ	135
(2) 初期稚貝の成長と採苗板上の生息限界量	135
1) 稚貝の成長と水温	135
2) 稚貝の成長と餌料	136
3) 採苗板上の稚貝生息量の限界	136
(3) 珪藻の増殖	137
1) 珪藻の増殖条件	137
2) 珪藻の自然剝離	139
3) 採苗板上の珪藻生産量	139
4) 採苗板上の生物群集の遷移	139
(4) 採苗板上の稚貝飼育の実際	140
1) 照度, 注水率, 水温の調節	141
2) 採苗板の洗浄	141
3) 珪藻散布	141
①珪藻散布の方法	141
②珪藻の大量培養法	143
4) 採苗板の展開	143
5) その他の管理	144

#### 5. 後期稚貝の飼育

    —生簀内での飼育期間— 144

(1) 採苗板からの稚貝の剝離と選別	144
1) 採苗板からの剝離	144
①麻酔剤	144
②剝離時の大小選別	145
③剝離直後の餌料	145
④剝離直後の稚貝の収容密度	145
2) 大小稚貝の選別	145
(2) 後期稚貝の摂餌	145
1) 海藻類	145

①日間摂餌率 .....	145	おわりに .....	153
②餌料転換効率 .....	145		
③実際の飼育での摂餌量の変化 ..	145	文 献 .....	154
2) 配合飼料 .....	146		
(3) 稚貝の収容密度と成長 .....	147	索 引 .....	169
1) 収容密度と成長 .....	147	付表 1. エゾアワビの酸素消費量	
2) 貝殻による成長の簡易モニター ..	149	(mlO <sub>2</sub> /kg·h) .....	173
(4) 飼育環境の改良 .....	149	付表 2-1. エゾアワビの基準給水量	
1) 稚貝の排泄物量 .....	149	(ℓ/kg·h) (DO80%) ....	174
2) 生簀内の海水交換 .....	149	付表 2-2. エゾアワビの基準給水量	
①注水率と稚貝の成長 .....	149	(ℓ/kg·h) (DO70%) ....	174
②注水方法と海水交換 .....	150	付表 2-3. エゾアワビの基準給水量	
6. 単純化した関係式と数値 .....	151	(ℓ/kg·h) (DO60%) ....	175
(1) 採苗板上の飼育期間 .....	152	付表 2-4. エゾアワビの基準給水量	
(2) 生簀飼育期間 .....	152	(ℓ/kg·h) (DO50%) ....	175

# 第1章 アワビ類の繁殖生理と種苗生産の組立て

## はじめに

わが国の藻食性巻貝（原始腹足類に属する）で、種苗生産と放流が手掛けられている種類には、アワビ類の他、ニシキウズガイ科のサラサバテイラ（タカセガイ）*Tectus niloticus*（久保，1988），ギンタカハマガイ *Tectus pyramis*（工藤ら，1994），サザエ科のサザエ *Batillus cornutus*，ヤコウガイ *Lunatia marmorata*（Murakoshi *et al.*，1993）等があるが、種苗生産の方法は基本的には同じである。本書では、アワビ類を対象として述べ、必要に応じてサザエ等に関する知見も織り込んだ。第1章では、初めにアワビ類の種苗生産技術を支えている成熟、産卵、発生、成長に関する既往の知見を整理して示した。次いで、種苗生産技術をソフトとハードに分け、ハードでは、種苗生産に使用する様々な機器材を、ソフトではそれらを使用して種苗を生産する実際について記した。

種苗の生産を、対象種の成熟や代謝等の生理学的特徴を踏まえた上で、計測できるもの（例えば、水温）を依りどころに、出来るだけ計量的に、高い再現性をもって行い得ると言う点では、アワビ類は、魚類等に比べても決して遜色のない知見を備えており、技術もそのような展開方向にある。例えば、エゾアワビの産卵期は、天然では秋季であるが、より効率のよい技術の組立てを検討した結果、今や早春に設定され、しかも同調的に産卵・発生を行うことが出来る。とはいえ、より放流効果の高い種苗の生産が目標であり、そのためには、放流技術との連携を図りながら、全体のシステムの組立てと各要素技術の検証を、絶えず実験的に行い、取捨選択を続けていく必要がある。

## 1. アワビ類と漁業

腹足類前鰓亜綱原始腹足目ミミガイ科 *Haliotidae* に属する貝を広くアワビ類 *Haliotis* spp. とすると、世界中では約70種が生息する。多くは小型（最大殻長は5cm位まで）で、熱帯から亜熱帯域に多い。産業上重要な大型種には20余種があり、その分布域は、大型褐藻類のコンブ目 *Laminariales* のそれと一致し、北半球ではアジア大陸東岸、北米太平洋岸およびヨーロッパ大陸南西岸、南半球ではオーストラリア大陸南岸とニュージーランド周辺、アフリカ大陸南端などである。

わが国のミミガイ科の主要な漁獲対象種は6種で、これらはアワビ類 *Nordotis* spp. とトコブシ類 *Sulculus* spp. に分けられる。アワビ類は、一般に殻の表面の彫刻が粗く、呼水孔（呼吸孔）は大きく、突起状に立ち上がり、4～5個が開孔する。最大殻長18～28cmに成長する。これに対して、トコブシ類は、貝殻表面が比較的滑らかで、小さい呼水孔は7～9個開孔し、突起していないので容易に区別できる。最大殻長は8～12cmで、アワビ類に比べ小さい。アワビ類には、暖流域のマダカアワビ *N. madaka*，メガイアワビ *N. gigantea*，クロアワビ *N. discus* と、寒流域のエゾアワビ *N. discus hannai*（クロアワビの寒冷地方型とされる）がある。トコブシ類には、上記暖流種と分布域が重なるトコブシ *S. aquatilis* と、亜熱帯域に生息するフクトコブシ *S. diversicolor* がある。この他、わが国の暖流域からさらに南方の亜熱帯・熱帯域にかけて分布する小型の種に、チリメンアナゴ *Sulculus crebrisculpta*，ミミガイ *Haliotis asinina*，イボアナゴ *Sanhaliotis varia*，コビトアワビ *Sanhaliotis jacnensis*，マアナゴ *Ovinotis ovina* 等がある。なお、世界的にみると、トコブシ類の形態（呼水孔の形状と数）をした種にも殻長20cm近くの大型になるものがある。

「FAO漁業統計年報（1990年）」に記載の世界のアワビ類の総漁獲量は16,875トンで、主要生産

国は、オーストラリア (6,996トン)、メキシコ (3,655トン)、日本 (3,353トン)、ニュージーランド (1,228トン) である。

## 2. アワビ類の繁殖生理

腹足類の生殖形式は有性生殖で、雌雄同体型と雌雄異体型の2型がある。前鰓類では雌雄異体型が、後鰓類および有肺類では雄性先熟の雌雄同体型がそれぞれ大部分を占める。前鰓類の下等な類(原始腹足目)では、体外受精である。高等な類(中腹足目、新腹足目)と後鰓類、有肺類では交尾して、体内受精を行う。このように巻貝類の成熟、産卵、発生などの繁殖様式は極めて多様なので、詳しくは成書(網尾, 1963; Giese and Pearse, 1977; 波部ら, 1994; 梶川, 1976; 菊池, 1981a, 1985; Purchon, 1977; 椎野, 1969; Tompa *et al.*, 1984; 浮, 1989; 和田, 1957; 和田・荒川, 1983; Wilbur and Yonge, 1964; 吉田, 1964など)を参照されたい。

### (1) 生殖巣の構造と配偶子形成

#### 1) 生殖巣の構造

前鰓類の生殖器官の構造は、種類により変化に富んでいる。しかし、海中に直接配偶子を放出する原始腹足目の生殖器官は、雌雄とも構造が類似しており、単純である。生殖器官は、右腎臓に開口する生殖輸管 genital duct (輸卵管 oviduct または輸精管 testicular duct) と生殖巣 gonad からなる。配偶子は右腎臓を経て、右腎開口部から外套腔中に放出される。前鰓類の軟体部の模式図(椎野, 1969)を図1-1に、アワビ類(猪野, 1952)およびサザエ(猪野, 1953)の解剖図をそれぞれ図1-2および図1-3に示す。

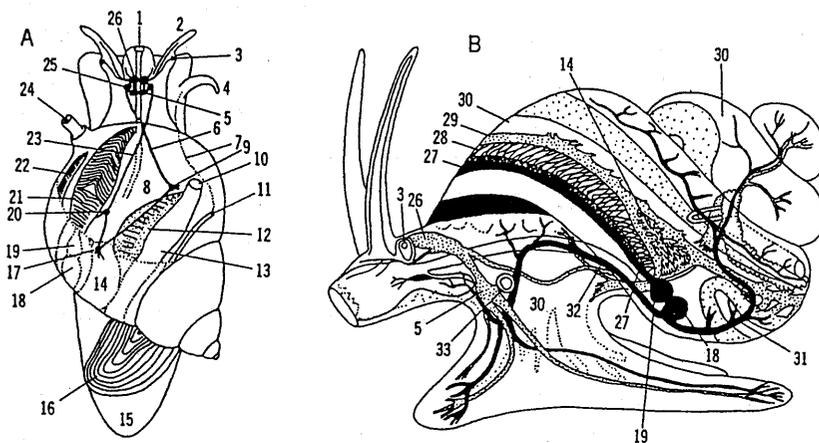


図1-1 前鰓亜綱軟体部形態模式図

A: 背面, B: 側面 (*Paludina vivipara*), 血管系走行, 1: 口, 2: 触角, 3: 眼, 4: 陰茎, 5: 足神経節, 6: 食道下内臓神経, 7: 輸精溝, 8: 外套溝, 9: 左側内臓神経節, 10: 肛門, 11: 雄性生殖門, 12: 鰓下腺 (hypobranchial gland), 13: 直腸, 14: 腎臓, 15: 足, 16: 蓋, 17: 腹部神経節, 18: 心室, 19: 心房, 20: 右側内臓神経節, 21: 鰓, 22: 嗅検器, 23: 食道上内臓神経, 24: 水管, 25: 側神経節, 26: 脳神経節, 27: 出鰓血管 (鰓静脈), 28: 鰓, 29: 入鰓血管, 30: 静脈竇, 31: 後行大動脈, 32: 前行大動脈, 33: 平衡胞  
(椎野, 1969)

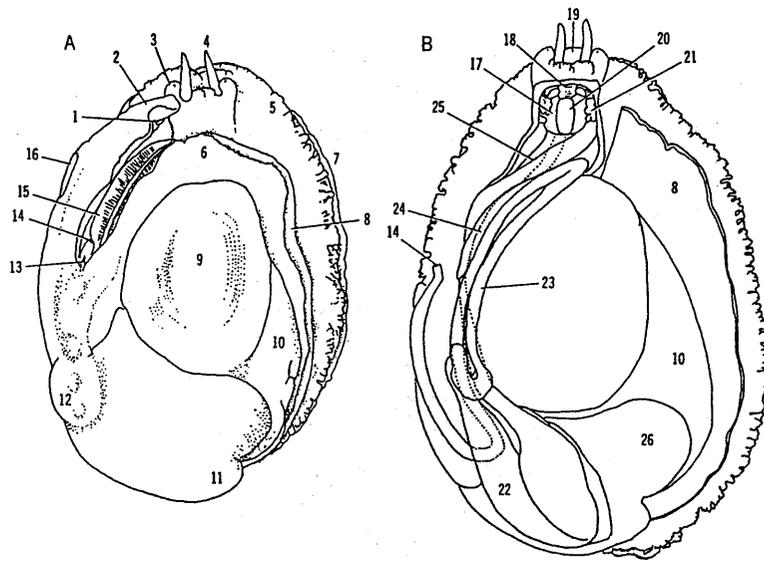


図1-2 クロアワビの内部形態

A : 殻を除いた軟体, B : 左側外套膜を切除し, 消化系を示す, 1 : 左側外套触角, 2 : 左側外套前葉, 3 : 眼, 4 : 頭部触角, 5 : 上足 (epipodium), 6 : 右側外套前葉, 7 : 足部背縁部, 8 : 外套膜, 9 : 右側貝殻筋, 10 : 肝臓, 11 : 内臓塊らせん部, 12 : 囲心腔, 13 : 中央外套触角, 14 : 肛門, 15 : 本鰓, 16 : 右側貝殻筋, 17 : 主唾腺, 18 : 歯舌, 19 : 吻, 20 : 上唾腺, 21 : 側唾腺, 22 : 胃, 23 : 腸, 24 : 歯舌囊, 25 : 食道, 26 : 内臓塊 (猪野, 1952)

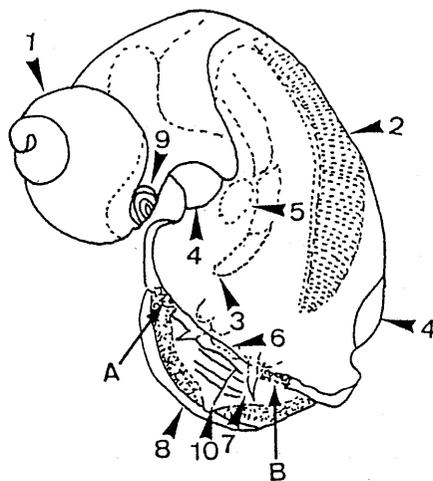


図1-3 サザエの内部形態

1 : 肝臓 (liver), 2 : 鰓 (gill), 3 : 肛門 (anus), 4 : 殻軸筋 (columellar muscle), 5 : 嗅検器 (osphradium), 6 : 吻 (snout), 7 : 頭部触角 (cephalic tentacle), 8 : 蓋 (operculum), 9 : 胃盲囊 (stomachal caecum), 10 : 足 (pedal sole)  
A : 上棘, B : 下棘の位置をそれぞれ示す。 (猪野, 1953; 葭矢・桑原, 1987)

## 2) 卵形成

卵原細胞 oogonium から成熟卵が形成される過程を卵形成 oogenesis という。卵原細胞は、卵巣内で有糸分裂を重ねて増殖する（増殖期）が、やがて分裂を止めて成長期に入り、核および細胞質の容積を著しく増加する。成長期に入った卵原細胞は、卵母細胞 oocyte と呼ばれる。卵母細胞と密接する濾胞細胞 follicle cell は、細い原形質連絡を通じて卵黄素材などの供給を行い、卵母細胞の成長を助ける（図1-4）。

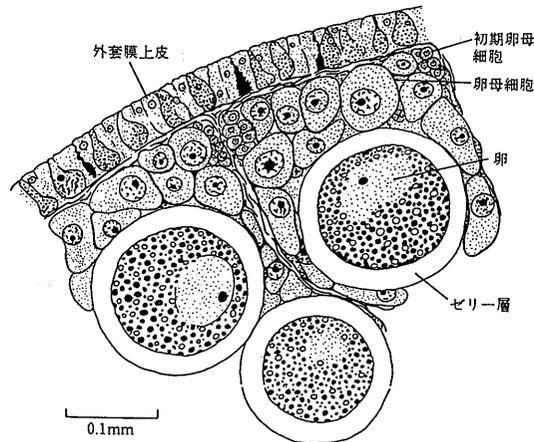


図1-4 イシダタミガイの一種 *Monodonta lineata* の卵形成における卵細胞の各ステージ  
(Fretter & Gragam, 1962)

エゾアワビでは、卵形成の過程が、油球 oil globule と卵黄顆粒 yolk granule (卵黄球) の蓄積、ゼリー層の発達などを指標に、卵原細胞期、染色仁期、無卵黄期、油球期、第1次卵黄球期、第2次卵黄球期、成熟期の7つに区分された(富田, 1967)。フクトコブシでは、油球や卵黄の出現状況、卵膜の形状、核相などの諸特徴に基づいて、卵母細胞期が8期に区分されている(隆島ら, 1978)。すなわち、第1成熟分裂開始 (Phase I)、油球蓄積開始 (Phase II)、卵黄蓄積開始 (Phase III)、ゼリー層形成 (Phase IV)、卵黄蓄積の活発化 (Phase V, VI)、卵母細胞の卵巣腔への遊離 (Phase VII)、輸卵管から右腎管を経て泌尿生殖突起前庭へ運ばれるまで (Phase VIII) である。Phase VIII では、この間に核形が不整となり、核小体が消失して、第1成熟分裂中期への進行が示唆されている。

## 3) 精子形成

精原細胞 spermatogonium から精子 spermatozoon が形成される過程を精子形成 spermatogenesis という。精原細胞は、有糸分裂を繰り返して数を増やし (増殖期)、第1次精母細胞 primary spermatocyte となる。第1次精母細胞は、減数分裂により第2次精母細胞 secondary spermatocyte を経て、4つの精細胞 spermatid となる。この間に、減数分裂により染色体数が半減し、細胞の容積が著しく縮小する。精細胞は、一連の複雑な構造変化を起し、細胞質のかんりの部分を放出して、精子に分化する (図1-5)。この過程を精子変態 spermiogenesis という。

エゾアワビで精子形成の過程が、精原細胞期、精母細胞期、精細胞期の3期に区分された(富

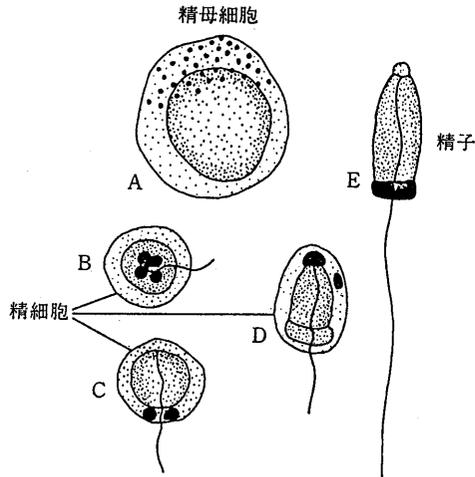


図1-5 ニシキウズガイ類の一種 *Trochus turbinatus* の精子形成における精細胞の各ステージ  
(Tuzet, 1930)

田, 1968)。フクトコブシでは、精原細胞期がさらに第1次と第2次に区分されている(隆島ら, 1978)。

#### 4) 産出卵の形態

##### ①卵の形状

腹足類の卵を被覆する卵膜や付属物には、原始的な貝から高等な貝へと、かなり規則的な段階的変化が認められる(網尾, 1963)。いずれの卵も、卵黄顆粒はまず、極く薄くて透明な卵黄膜 vitelline membrane で覆われる。これは卵細胞自身に由来する1次卵膜である。アワビ類やサザエでは、卵黄膜は卵殻 chorion あるいは卵囊 egg capsule と呼ばれる濾胞上皮から分泌される2次卵膜で覆われ、外側をゼリー状物質が包む。これらの卵は、個々に分散して産出される。

##### ②卵の大きさや色彩

一般に腹足類の産卵量は大形のものほど多いが、卵の大きさは親貝の大小とは無関係で(網尾, 1963)、むしろ幼生の発生様式との関連が深い。調べられた範囲(網尾 1963)では、卵径の変異は原始腹足目が最も小さく(0.11~0.23mm)、新腹足目は大きい。後鰓類、有肺類などでは、0.1mm前後(範囲0.06~0.26mm)で一般に小さい。アワビ類とサザエの受精卵の卵径は、0.26mm前後、ゼリー層を含めると0.4mm位である。

卵の色彩は、原始腹足目では深緑色のものが多い。中腹足目、新腹足目では淡黄色ないし黄褐色のものが大部分を占める。後鰓類では赤褐色ないし黄色系統のものが多い。色彩は卵黄に含まれるカロチノイド色素に由来する。アワビ類の卵の色は深緑色、褐色、灰色等の変異があるが、発生が進むといずれも固有の緑色に収斂していく。

#### (2) 生殖周期

成熟年齢に達した温帯や亜寒帯地方に生息する腹足類の生殖活動は、一般に年周期性を示すことが多く、産卵期は特定の季節に限られている。

産卵期は、配偶子形成 gametogenesis の組織学的観察、卵巢卵の卵径や生殖巣指数（生殖巣の体重、軟体部重量などに対する割合。生殖巣の分離が困難な場合は、生殖巣断面の面積比などが用いられる）の測定、幼生の出現時期の調査などの方法によって把握できる。中腹足目、新腹足目などでは、卵囊中の卵の発生段階が5区分され、その組成の変化から産卵盛期が判定されている（網尾, 1963）。

エゾアワビでは、卵形成及び精子形成の過程に基づいて、生殖周期が放卵（精）終期、回復期、前成熟期、成熟期及び放卵（精）期の5期に区分されている（富田, 1967, 1968）（図1-6）。放卵（精）期の卵（精）巣は8月下旬より9月上旬の間と観察された。

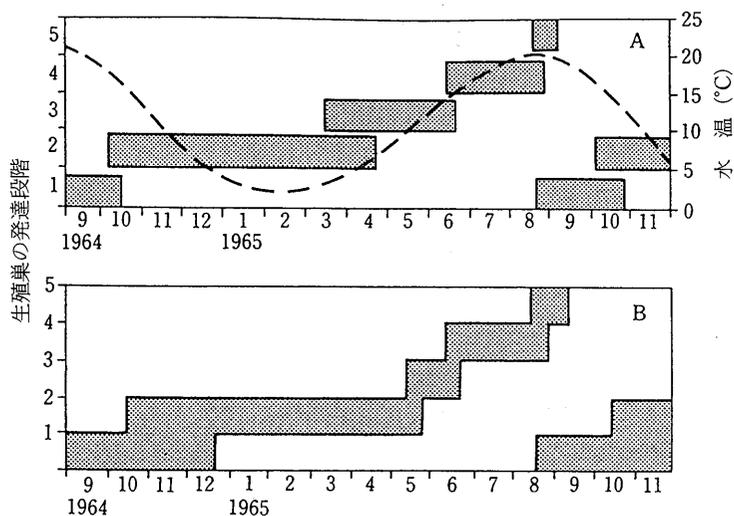


図1-6 エゾアワビにおける配偶子形成

A：卵巢，B：精巢．1：放卵（精）終期，2：回復期，3：前成熟期，4：成熟期，5：放卵（精）期．破線は水温経過を示す．

（富田1967, 1968）

海産腹足類の産卵期を四季に従って整理した網尾（1963）によれば、前鰓類の産卵期は春夏に集中している。後鰓類の産卵期は傾向が異なり、春季に産卵するものが半数以上を占め、夏季がこれに次いだ。アワビ類の産卵盛期は寒暖両水域とも水温が20℃前後の時期である。エゾアワビの産卵盛期は北海道で8月下旬、三陸沿岸で9月～10月中旬である。暖流域のアワビ類の産卵期は秋季で、産卵盛期はクロアワビが10月から11月、メガイアワビとマダカアワビが11月とする報告が多く、クロアワビの産卵期は、南に向かうほどやや早くなる傾向がある（図1-7）。暖流域のアワビ類の生殖巣は、秋季に入って急速に発達する（図1-8）。暖流域の水温条件下で、新たに入手し4ヵ月間予備飼育したエゾアワビ（短期養成と略）の生殖巣の発達が、3～4世代継代飼育したエゾアワビ、それに在来のクロアワビと併せて観察されている（図1-8）。エゾアワビの生殖巣の発達はクロアワビよりも早く、継代エゾアワビの生殖巣の発達は、短期養成のそれより遅れるものの周年のパターンは短期養成に似ていた。天然でエゾアワビとクロアワビの産卵期が重なるかどうかは不明である。

伊豆大島産のフトコブシの産卵盛期は、生殖巣指数と卵母細胞の発達過程および精子の出現頻度に基づいて9月から10月の間と推察された(隆島ら, 1978)。トコブシの産卵盛期は、千葉県では9~10月(奥野ら, 1978)で、大分県では7~10月であった(鳥島・福崎, 1990)。

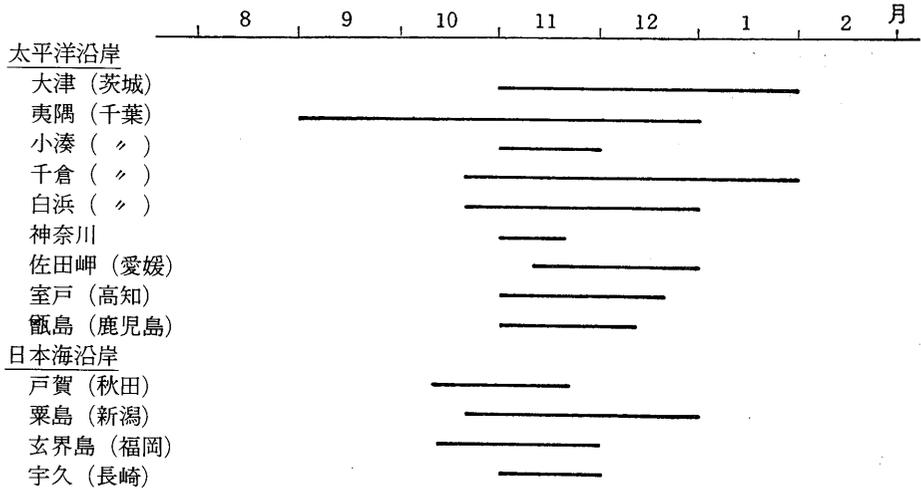


図1-7 各地におけるクロアワビの産卵盛期 (浮ら, 1982)

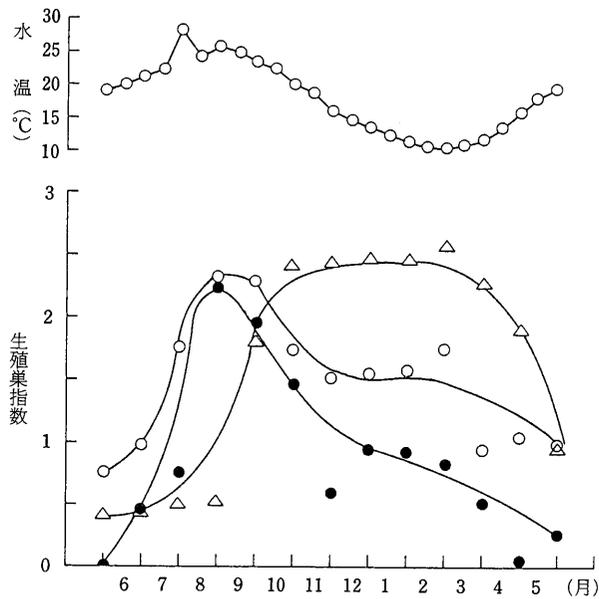


図1-8 短期養成エゾアワビ, 継代飼育エゾアワビおよびクロアワビの生殖巣指数の推移  
○: 短期養成エゾアワビ, ●: 継代飼育エゾアワビ, △: クロアワビ (野田ら, 1987)

サザエの産卵盛期は水温が25℃付近にある7～8月である（岡部ら, 1989a; 角田ら, 1986; 山田・勢村, 1993; 山本・山川, 1985）。産卵誘発の結果からは, 夏季と秋季の2回に産卵盛期があると考えられるが, 種苗生産では早期採卵が成長, 生残の向上に有効である（岡部・藤田, 1985; 角田ら, 1986）。

### (3) 成熟・産卵の内分泌支配

腹足類の神経系は頭部に集中し, 基本的には対をなす脳神経節 cerebral ganglion, 側神経節 pleural g., 足神経節 pedal g., 鰓神経節 branchial g. および内臓神経節 visceral g. から成り立っているが, 実際の配置は体軸の捩れ torsion により複雑になっている。

腹足類では, ほとんどすべての神経節に, 神経分泌細胞の存在が組織学的に確かめられており, 分泌物質がホルモンとしての役割を果たしている。しかし, その機能については明らかでないものが多い。神経節以外に内分泌の性格をもつ器官として, 軟体動物では頭足類の眼腺 (Wells and Wells, 1959) がよく知られたところであるが, 腹足類では視触角 optic tentacle や, 前鰓類の傍神経節器官 juxtaganglionic organ, あるいはこれと相同の器官と考えられている有肺類の背脳体 dosal body などが判っている。

#### 1) 生殖腺の発達とホルモン

アワビ類の配偶子形成は, その他の無脊椎動物同様, 温度, 餌料条件, 光周期, 塩分などの

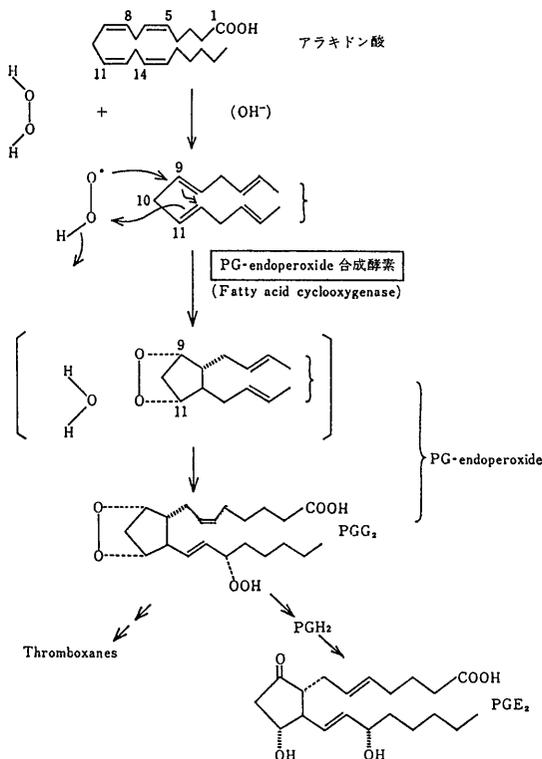


図1-9 PG-endoperoxide 合成における H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> の作用  
(Morse *et al.*, 1976; 野村, 1979)

外部環境要因によって支配されていると考えられており (浮, 1989), これら外部情報が, 内分泌系によって内部に伝達される。腹足類の一部では, 性成熟が, 中枢神経系を中心に支配されていることが明らかにされつつあるが, 神経ホルモンの構造などは判っていない。

## 2) 産卵とホルモン

腹足類では神経節に神経分泌細胞があり, 分泌物質がホルモンとしての役割を果たしている。エゾアワビでは, 神経節 (側足神経節と内臓神経節) の抽出物を注射すると放卵を誘起することが確かめられ, 産卵機構に神経分泌ホルモンの介在が示された (八幡, 1973)。アカネアワビ *H. rufescens* では, 傍神経節器官の組織化学的活性が春から夏の成熟期に高く, 放卵後の秋に低下する (Miller *et al.*, 1973)。

エゾアワビで紫外線照射 (UV-) 海水が産卵誘発に顕著な効果があることが見出された (菊地・浮, 1974b)。Morse *et al.*, (1976) は, アワビ類の産卵は過酸化水素 ( $H_2O_2$ ) 水やプロスタグランジン (PG) を添加した海水でもたらされ,  $H_2O_2$  添加海水の産卵誘発効果は PG 生合成阻害剤の添加により消失したことから, 産卵機構における PG の関与を主張した。UV-海水や  $H_2O_2$  添加海水の産卵誘発効果は, 海水中に生じた活性酸素が有機性過酸化物の生成をもたらす, それらが生殖系において PG 合成酵素の活性を高め, その結果 PG 量が増加するためと推察されている (Morse *et al.*, 1976) (図 1-9)。PG は体内で必須脂肪酸から合成され, その機能の一つとして, 生殖系や循環系などの平滑筋に対する収縮や弛緩の作用が知られている (野村, 1981)。先述のように, 神経節の抽出物がアワビの産卵を誘発することと考え併せると, 環境中の何らかの刺激が, 神経系を經由して生殖組織における PG の生成を促して放卵を誘起するものと思われ, 神経節中の活性因子はおそらくペプチドと考えられる (松谷・尾定, 1994)。なお, 天然のエゾアワビは, その浮遊幼生の出現態様から, 海水温の変化よりも低気圧通過に伴う時化が引金になり同調的な産卵を行うものと考えられている (佐々木, 1994)。時化により岩礁上に生じた裸地にはアワビ類幼生の誘引・着底に効果のある珪藻類が生育する (河村, 1993)。

UV-海水の産卵誘発効果は, 腹足類ではサザエ (岡部, 1982a; 市川, 1983; 石田ら, 1991), 二枚貝類ではイタヤガイ科のホタテガイ *Patinopecten yessoensis* (浮・菊地, 1974), ヒオウギガイ *Chlamys senatoria nobilis* (椎原・武田, 1978), イタヤガイ *Pecten albicans* (西広, 1981), ザルガイ科のトリガイ *Fulvia mutica* (西広, 1980) などで認められている。 $H_2O_2$  添加海水は, 腹足類のヨメガカサガイ属 *Cellana* (ツタノハガイ科), ニシキウズガイ属 *Trochus* (ニシキウズガイ科), 二枚貝類のマガキ属 *Crassostrea* (イタボガキ科), イガイ属 *Mytilus* (イガイ科), シャコガイ属 *Tridacna* (シャコガイ科) などで効果があったという (Morse, 1984)。

近年, ホタテガイで神経伝達物質のセロトニン 5-hydroxytryptamine: (5HT) の産卵, 放精誘発作用が見出された (Matsutani and Nomura, 1982) のをはじめに, 数種の二枚貝類で同様の効果が報告されている (Gibbons and Castagna, 1984)。ホタテガイでは, UV-海水の産卵誘発作用は, 5HT や同じく神経伝達物質のドーパミンの阻害剤で抑制されたことから, UV-海水や PG の作用も 5HT やドーパミンの作動機構を介しているらしい (Matsutani and Nomura, 1986)。

(4) 受精, 発生と孵化

1) 受精の過程

受精は, 狭義には卵細胞の核と精子の核の融合を指すが, 広義には卵の表面から精子が侵入することも含める。狭義の受精は, いずれの動物でも, 卵の減数分裂 (成熟分裂) 完了後行われるが, 広義の受精時の卵のステージは動物によって違い, 一様ではない (岩田, 1974) (図 1-10)。産卵時の卵のステージも種類によって異なる。軟体動物の卵巣卵の成熟過程は, 卵核胞 germinal vesicle の崩壊前の状態 (第 1 減数分裂前期) まで進み, 休止している。受精は, 卵核胞の消失後, 第 1 極体の放出前 (第 1 減数分裂中期) で行われるので, 一般に生殖巣を切り出して得られる卵では受精しない。体外受精をする原始腹足目では, 受精卵を得るには, 前節で述べた刺激を与えて減数分裂を再開させ, 放出された卵を用いる。中腹足目以上の前鰓類, 後鰓類, 有肺類では, 交尾などが刺激となって減数分裂が再開し体内受精を行うので, 産出卵はすでに受精しており, 未分割の卵を得るのは困難な場合が多い。

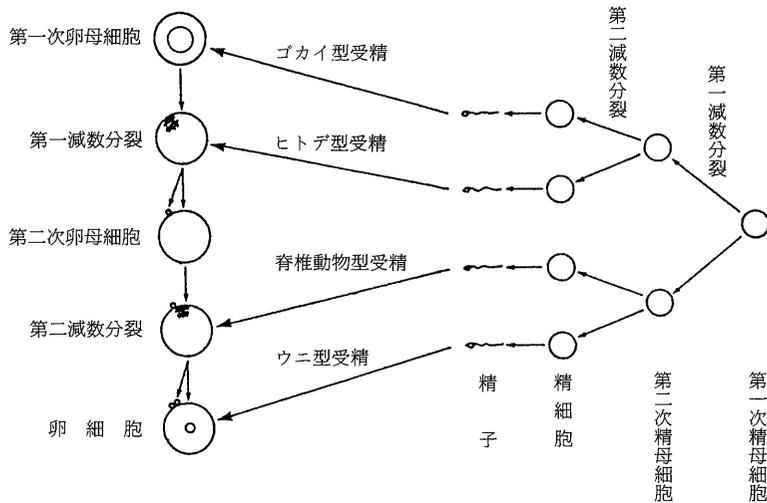


図 1-10 卵と精子の形成と受精の各型

(岩田, 1974)

精子は卵表面に到達すると先体反応 acrosome reaction を起す。先体に突起を生じ, その先端が卵の被層や被膜を貫入して原形質膜と接触し, 両配偶子の原形質膜がその部分で融合する。精子の侵入の一定時間後, 動物極に第 1 極体, 第 2 極体が放出される。精核は, 第 2 極体放出までは卵内の表層近くにあり, あまり移動しない。卵の減数分裂が終わると, 卵核と精核が融合し, 第 1 卵割が始まる。

2) 発生の過程

①初期発生

腹足類の初期発生に関しては多数の研究があるが, 分裂の様式はよく一致する。初期の卵割に関しては, 和田(1957), 和田・荒川(1983) に詳しい。腹足類の卵はモザイク卵 mosaic egg で, 卵割型は不等全割の特別な様式であるらせん卵割 spiral cleavage をとる。

卵割が進み、胞胚 blastula, 囊胚 (原腸胚) gastrula を経て、頭足類を除く軟体動物ではトロコフォラ (担輪子幼生) trochophora となる。トロコフォラは頂繊毛束, 口前繊毛環を有し, 繊毛の運動により水中を遊泳するか, あるいは卵囊中で運動を始める。軟体動物のトロコフォラは, 貝殻を分泌する貝殻腺 shell gland の発生, 足の発達, 歯舌 radula を新生する歯舌囊 radular sac の形成 (二枚貝類にはない) などの点で, 環形動物のそれと異なる。歯舌は軟体動物特有の摂餌器官で, 分類の指標に用いられている (中村, 1983)。トロコフォラの口前繊毛環の上方の部分が左右相称的に翼状の薄い膜状の面盤 velum と呼ばれる運動器官となり, 貝殻が発達してヴェリジャー (被面子幼生) veliger に移行する。ヴェリジャーは面盤表面の繊毛により水中を遊泳する。面盤は遊泳時間の長い種類ほどよく発達する。トロコフォラからヴェリジャーへの移行では, 体制上大きな変化はない。

#### ②幼生の発生様式

海産無脊椎動物の幼生の発生様式と, 産卵数, 緯度, 深度などとの関係が, 繁殖戦略 reproductive strategy の観点から一般則を求めて論じられている (Thorson, 1950; 菊池, 1981a)。大きな分類群内の目または科について通覧すると, 原始的なものでは水中放卵放精型の繁殖様式がみられ, やや進歩したものでは体内受精, 卵の保護, 大卵小産への移行, 浮遊幼生期短縮への傾向がみられる (菊池, 1981b)。例えば, 腹足類の場合, 前鰓類の原始腹足目に属するミミガイ科, ツタノハガイ科, ユキノカサガイ科, ニシキウズガイ科, リュウテンサザエ科などはみな小卵多産で, 水中で受精し幼生期を経て, 海底に定着, 変態し仔貝となる。ところが, 中腹足目や新腹足目では, 雌雄が交尾して体内受精し, 受精卵はゼリー状基質に包まれた卵塊として, あるいは革質の卵囊に包まれて産出される。卵の大きさ, 数は種類によって異なるが, 全体として原始腹足目より大卵小産の傾向にある。トロコフォラ期は卵内で過ごし, ヴェリジャーで孵出して浮遊生活を送るのが一般的であるが, 直接発生や卵胎生をとるものもある。

#### ③後期発生

ヴェリジャー期から成体に至るまでの後期発生で, 腹足類が軟体動物の他の類と異なる主な点は, 頭囊 head vesicle (面盤の繊毛環から前方の部分) の感覚器官の発達, 体の後背部  $180^\circ$  の振れ torsion (図 1-11), 内臓塊および貝殻のらせん状の成長, 足の後背部に分泌される貝ぶた operculum の形成などが挙げられる。成体で貝殻や貝ぶたを欠く種類でも, 幼生時代には貝殻が分泌され (幼殻), 貝ぶたをもつ。特に, 体の振れは特異な現象で, 発生の比較的初期に起る。腹足類の神経系は, 他の類に比べて発達しているが, 振れの結果, 成体では肛門が頭の背面に移り, 神経は 8 の字を描いて交叉 (神経交叉) chiasmoneury する。

ヴェリジャー期には, 頭部に触角および眼, 足の基部に平衡胞 statocyst などの感覚器官が発達する。貝殻の成長とともに面盤は退化し, 海底に沈んで変態 metamorphosis し, 成体 adult となる。幼生が変態して生じる成体型の初期を幼稚体 juvenile と呼ぶ。幼稚体はなお体の各部分が未発達で, 外型は成体と同一ではないが, 基本的な体制, 栄養摂取の様式, すみ場所などは同じである。

#### ④着底と変態

海産の底生無脊椎動物の多くは, 浮遊幼生期を経て適当な基質に着底し, 続いて変態する。浮遊幼生の着底・変態誘起因子の検索が進められており, 種苗生産ではこれらの因子の活用

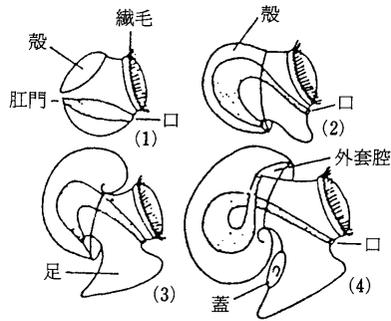


図1-11 腹足類の発生初期における振れの進行 (1~4)

(岩波生物学辞典, 1983)

により、採苗率の向上を図る応用面が期待される。

カリフォルニア沿岸にすむアカネアワビ *H. rufescens* の浮遊幼生は、無節石灰藻の *Lithothamnium* や *Lithophyllum* に特異的に着底、変態する (Morse *et al.*, 1979)。この幼生はまた、神経伝達物質 neurotransmitter の  $\gamma$ -アミノ酪酸  $\gamma$ -aminobutyric acid (GABA) や、GABA を構造の一部にもつ光合成色素のフィコエリトロブリンと、そのタンパク質結合体のフィコエリトリンなどによっても着底、変態が促される。このことから、上記紅藻の誘引効果は、藻体中に代謝産物として生じるこれら物質によるものと考えられている (Morse *et al.*, 1979, 1980, Morse and Morse, 1984)。これらはごく微量が表面から拡散しているらしく、幼生は接触によってのみ認識できるという。幼生の感覚触毛にある化学受容器の GABA 様受容体が、着底・変態誘起因子を認識し、関連する神経系が活性化されて着底、変態が誘起され、その過程は lysin 作動性の経路によって調節されている (Morse, 1990)。幼生の着底、変態は、海水中のカリウムイオン ( $K^+$ ) の濃度と関係があり、 $K^+$  濃度を高めた海中では幼生の着底率が高まるのも、この受容体-神経系の興奮と関連している (Baloun and Morse, 1984, Yool *et al.*, 1986) と考えられており、受容器の膜におけるイオン透過性との関連が論じられている。エゾアワビ幼生では、GABA は面盤の繊毛運動を抑制して浮遊を阻害し幼生を落下させるが、変態は誘起しない (赤繁ら, 1981)。しかし、無菌的な条件下では着底、変態を誘起するという報告 (Morse, 1990) もある。サザエで GABA による着底・変態の促進効果が認められ (二島・伊藤, 1986)、タカセガイにおいても GABA や石灰藻のメタノール抽出物の変態誘導効果が確認された (Tamashiro *et al.*, 1993)。

アワビ類の足蹠分泌粘液物質 mucous trail が、属特異的に浮遊幼生の着底を誘導する (関・菅野, 1981b) ことが判り ((7)3) 採苗用藻類の培養参照)、採苗率の向上に大いに貢献した。浮遊幼生の着底・変態はまた、緑藻の一種の *Ulvelia lens* (Takahashi and Koganezawa, 1988) や、付着性珪藻類の *Cocconeis* sp. 等 (大貝ら, 1991; 河村・菊地, 1992) によっても誘起される。足蹠粘液や、*Cocconeis scutellum* や *Carteria* sp. に含まれる着底・変態誘起因子は、90℃30分の熱処理や種々のタンパク質分解酵素処理では完全には失活しない。また、足蹠粘液やこれら付着性藻類は、海水中に D(+)-グルコースや D(+)-マンノースを添加す

ると着底はするが変態（周口殻の形成）は誘起されないことから，着底基質の認識や変態の過程に，基質上に存在するこれら糖類を産物として含む因子の関与が示唆されている（森下ら，1992）。

### 3) エゾアワビの初期発生

幼生の発生段階を把握する上で，その特徴的な外部形態の変化を捉えておくことが大切である。受精からヴェリジャーに至る初期発生の過程を，精緻な観察がなされたエゾアワビ（関・菅野，1977）に例をとりみてみよう（図1-12）。

#### ①卵からトロコフォラまで

受精卵（図1-12-1，1）は，第1極体（同図2），第2極体（3）を放出した後，第1卵割

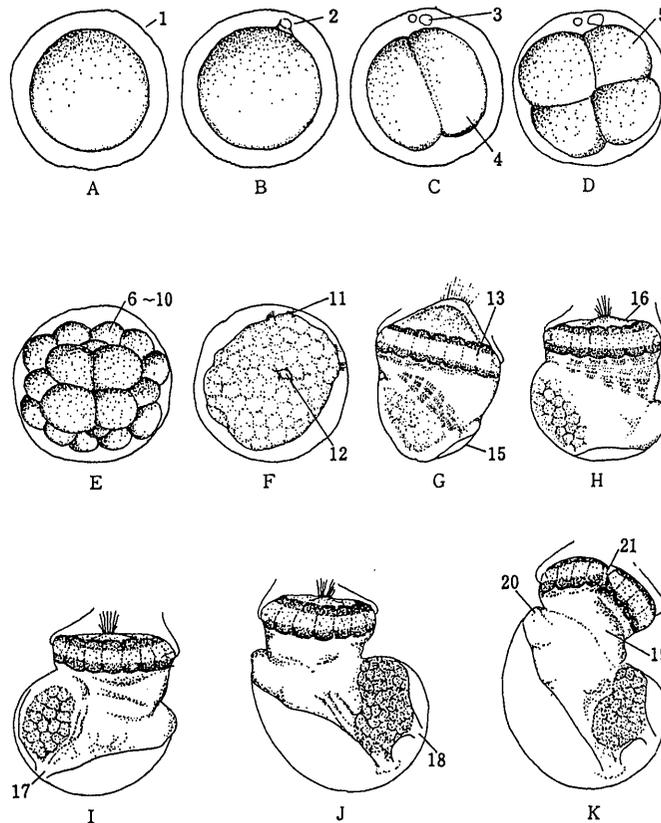


図1-12-1 エゾアワビの発生

- |                    |                       |
|--------------------|-----------------------|
| A : 1. 受精          | G : 13. 口前繊毛環の形成      |
| B : 2. 第1極体放出      | 14. 卵膜の破れ             |
| C : 3. 第2極体放出      | 15. 幼殻の分泌開始           |
| 4. 第1卵割            | H : 16. 面盤の完成         |
| D : 5. 第2卵割        | I : 17. 幼生牽引筋の出現      |
| E : 6~10. 第3卵割~原腸胚 | J : 18. 内臓外被の幼殻付着部の形成 |
| F : 11. 口前繊毛の出現    | K : 19. 足塊の隆起         |
| 12. 原口陥の形成         | 20. 幼殻の完成             |
|                    | 21. 体の振れ，頭足部90°の回転    |

(4), 第2卵割(5)と卵割 cleavage を繰り返す(6~10)。胞胚を経て囊胚(11)となり, 動物極の軸方向に長い楕円球状を呈するようになる。やがて頂冠に繊毛 cilia(11)が生じ, これが口前繊毛, 頂毛となる。口前繊毛は伸長につれて運動を初め, この運動により胚は卵膜の中で断続的に回転するようになる。続いて原口 blastopore が認められるようになり, 原口陥 stomodaem(12)が形成され, 長い繊毛をもった24個の口前繊毛細胞が並んで, 口前繊毛環 prototrocal girldle (または preoral ciliary band) (13)を形成し, トロコフォラ trochophora (担輪子幼生) となる。

②トロコフォラからヴェリジャーの捩れまで

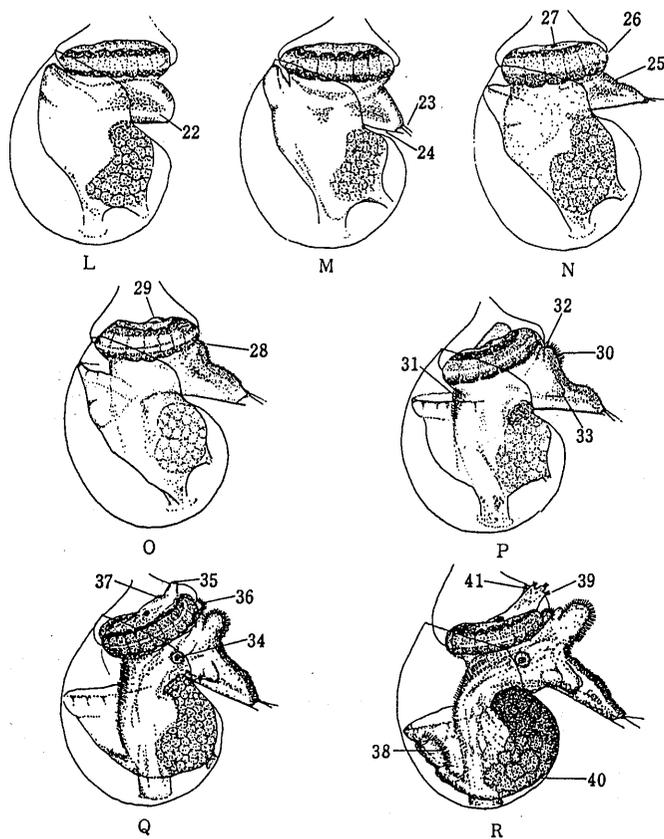


図1-12-2 エゾアワビの発生

- |                    |                               |
|--------------------|-------------------------------|
| L : 22. 足部180°の回転  | 32. 前足部に突起形成                  |
| M : 23. 足部後端部剛毛の出現 | 33. 第1上足触角形成                  |
| 24. 蓋の形成           | Q : 34. 平衡胞の出現                |
| N : 25. 足蹠上に繊毛の出現  | 35. 頭部触角上に剛毛出現                |
| 26. 面盤の二分開始        | 36. 吻の突出                      |
| 27. 眼点の出現          | 37. 頭部触角上に2つの小突起出現            |
| O : 28. 前足部の形成     | R : 38. 繊毛隆起の形成               |
| 29. 頭部触角の出現        | 39. 頭部触角に第3小突起出現              |
| P : 30. 前足部繊毛の伸長   | 40. 外套腔の拡張により幼生牽引筋が軟体部に引き込まれる |
| 31. 外套腔内に繊毛出現      | 41. 頭部触角に第4小突起出現              |

(関・菅野, 1977)

トロコフォラは卵膜の中で回転を続けるが、やがて卵膜は膨潤して薄くなり、頂毛の接している部分の卵膜が破れて孵化(14)する。孵化した幼生は回転しながら浮上する。体の背方に幼殻 larval shell (15)の分泌が始まり、頂冠部が平坦になると、長大な繊毛をもつ面盤 velum が完成してヴェリジャー(被面子幼生) veliger (16)となる。幼殻はやがて腹方に向かって拡がり、下方の体を包み込むようになる。幼生牽引筋 larval retractor muscle (17)が現れ、続いて内臓囊の外被が幼殻に付着している部分(18)が明らかになる。足部筋肉塊(19)が殻の先端部に隆起してくると、幼殻 larval shell (20)が完成する。続いて頭足部が90° 振れて(21)、外套膜 mantle の先端が幼殻の先端部から離れる。

### ③ヴェリジャーの振れから形態変化の完了まで

体軸の振れ torsion は、面盤と頭足部塊が、幼殻によって包まれている体下方とくびれている部分で振れることによって始まる。将来、口になる部分と足部(図1-12-2, 22)が元の位置から180° 回転すると、足部の後端に長い剛毛 spine (23)が生じ始め、貝ぶた(24)が認められるようになる。この時期には、頭足部塊を殻の中に引き込むことが可能になる。続いて、足部の将来、足蹠になる部分に繊毛(25)が生じ始め、運動するようになる。面盤(26)が二分し始め、眼点 eye spot (27)が認められるようになり、前足部(28)が形成される。面盤上に頭部触角 cephalic tentacle (29)が膨出して、前足部を覆う繊毛(30)が長くなる。面盤後背部に続く外套腔に繊毛(31)が生じ、運動を始め、前足部が横にくびれて突起(32)を生じる。足部の両側、貝ぶたの下方に一對の上足触角 epipodial tentacle (33)が突出してくると、足蹠を基物に接して匍匐できるようになる。この時期から後は、足部を活発に動かし匍匐行動を示すが、着底に好適な基質がないと浮遊を続ける。やがて平衡胞 otolith (34)が明らかに認められるようになり、頭部触角に2つの小突起 tubule (37)が形成され、鰓の第1葉になる繊毛を密生した隆起(38)が外套腔内側に生じる。頭部触角に第3の小突起(39)が生じ、幼生牽引筋の幼殻との付着部が、外套腔の体後方への拡張によって、軟体部に包み込まれてくる(40)。そして頭部触角に第4の小突起(41)を生じるのを最後に形態変化を完了する。

### 4) エゾアワビ幼生の着底と変態

匍匐能力を備えたヴェリジャーを特に匍匐被面子幼生 pediveliger という。ヴェリジャーから底生期幼稚体 plantigrade juvenile への変態過程をエゾアワビ(関・菅野, 1981a)でみてみよう。

匍匐被面子幼生(図1-13, A~D)は、ヴェリジャーの機能は失わず遊泳と匍匐の両能力を備え、形態変化は行わない。この前期を遊泳匍匐幼生期 swimming and crawling larval stage という。幼生は遊泳と基質上を一時的に匍匐する行動を反復し、最初広い面積を往復するが、次第に行動範囲は狭くなる。この時期の行動は着底 settlement の場の探索(同図, A, B)にあたる。次いで、幼生は面盤の繊毛を断続的に動かし、基質上を連続的に匍匐する着底行動(同図, C)を示す。幼生の匍匐速度は速く、約200 $\mu$ mの距離を3秒程度で通過するが、次第に匍匐速度が遅くなり、終には停止する。やがて幼殻部を持ち上げ、体前方の幼殻殻縁と頭部触角先端部を基質に接し、定位する(同図, D)。定位した幼生は足蹠面から粘液を分布し、基質に強く密着しており、ピペットで海水を吹きつける程度の流水では剥されない。幼生は変態開始後、次のような12項目の形態形成を経て、底生期幼稚体としての形態を備えるようになる。

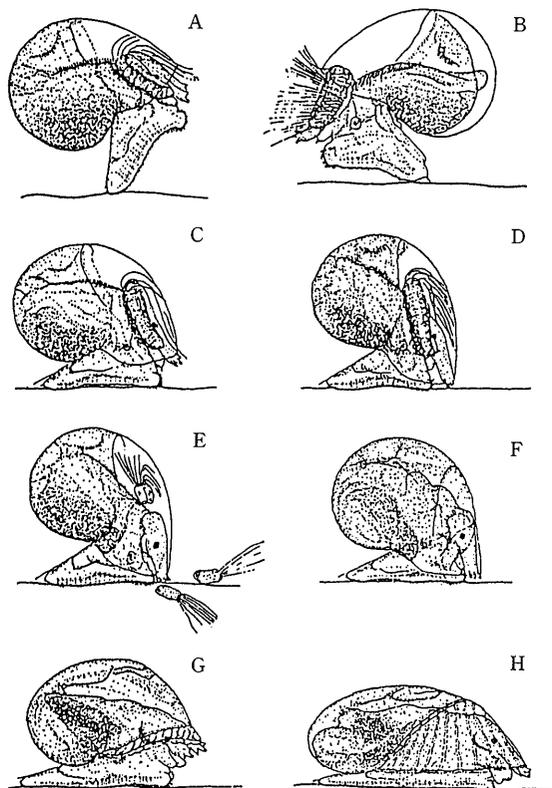


図1-13 エゾアワビの着底と変態

- A：探索行動，足蹠後端部を基質に接触して一時的匍匐を開始
- B：探索行動，基質から離れ再び遊泳
- C：着底行動，面盤の繊毛を断続的に動かし連続的に匍匐
- D：定位行動，幼殻後部を持ち上げ頭部触角先端部を基質に接して静止
- E：変態開始，静止した状態で面盤細胞を脱離
- F：変態，外套膜が幼殻縁に伸長
- G：匍匐再開，周口殻が分泌され匍匐を再開
- H：索餌行動，殻長350 $\mu$ m珪藻類を活発に摂取

(関・菅野，1981)

(1) 定位した幼生は24個の面盤細胞と付属する繊毛を脱離し，遊泳機能を失う（同図，E）。面盤細胞の脱離開始から終了までは20分以内である。(2) 面盤細胞が脱離した部分の右頭部触角基部に繊毛葉が出現し，幼生は匍匐を開始する。(3) 殻縁部から離れていた外套膜が伸長し（同図，F），(4) 周口殻 peristomal shell の分泌が始まる（同図，G）。周口殻は殻の開口部左方から右方に向かって幅広く形成され，殻の成長に伴って幼殻の体軸が基質面に対して左方に傾斜するようになる。この時期の幼生の口器は未発達で，基質に接することはない。(5) 後の吻 proboscis の一部となる一対の突起の前方に，口孔を囲むように隆起を生じ，(6) 歯舌の初期形態が形成される。(7) 頭部触角が伸長して，触角上に第5小突起が形成され，(8) 消化管が伸長し，(9) 外套腔背壁に粘液腺 mucous gland が認められるようになる。(10) 心臓の鼓動が開始し，鰓動脈に血流が生じるようになると，(11) 口孔の左右の突起が前方の隆起とともに筒状に合体

して、吻を形成する。口器を基質に接することができるようになり、歯舌で基質の表面をかき取る行動が認められる。このとき、口孔の直径は $10\mu\text{m}$ 以下であり、珪藻類の摂取はできないが、バクテリア類は摂取されている可能性がある。このように変態開始後24時間以内に、口器、消化器官、循環器官、感覚器官等の成体器官が発達する。珪藻類の摂取は、(12)幼殻を含む周口殻の最大長が $350\mu\text{m}$ となり、口孔の直径が $30\mu\text{m}$ 前後に成長する変態開始後2日目から行われる(同図、H)。この時期のアワビは生体にはない繊毛葉 ciliary lobe や貝ぶたを持ち、成体に特徴的な呼水孔 respiratory pore は形成されていない。

アワビ類の浮遊幼生は卵黄をエネルギー源として発生を進める。クロアワビにおける観察では、着底後の開口した底生期幼稚体(殻長 $280\mu\text{m}$ )は原殻後端部にお卵黄を持っており、発生に伴い卵黄量が減少するが、完全に卵黄が吸収されるのは、着底6日後、殻長 $530\mu\text{m}$ の頃であった。着底2日目には消化管内に珪藻類が確認された。このことから、幼稚体はこの間、卵黄と餌料の双方から栄養を補給しているものと考えられる(大橋, 1993)。

## (5) 成長

### 1) 成長の促進因子と遺伝的支配

アカネアワビ *H. rufescens* 幼生の成長が、哺乳類由来の成長ホルモンとインスリンによって促進される(Morse, 1981)。成長現象は、基本的には遺伝的支配を受けている。エゾアワビで種苗群間に生じる成長速度の差異が親个体のもつ遺伝的差異によることが示された(原, 1990)。

近年、貝類の系統解析に、DNA量、アイソザイム(イソ酵素)、染色体(形質および数)などが有力な手段として用いられ始めている(中村, 1983)。本邦のアワビ属 *Haliotis* の染色体数はアワビ類が $2n=36$ 、トコブシ類 $2n=32$ であった(Arai *et al.*, 1988)。電気泳動法によるアイソザイムの検出は、近縁種間や種内のタンパク質レベルにおける遺伝的変異の解析に有効である。アワビ類では、複数のアイソザイム遺伝子座における同型接合過剰現象の分析の結果、自然状態下における近親交配が明らかにされ、近交係数は $0.25\sim 0.27$ 程度と推定されている。漁獲物中に $1\sim 2\%$ 前後出現する極端なやせ貝(癆貝)は、近交に伴う劣性、有害遺伝子の顕在化(近交弱勢現象 inbreeding depression)による遺伝病であるという(Fujino, 1978)。エゾアワビで、酵素の耐熱性に遺伝学的な変異が存在し、この変異が温度適応性と密接に関与することが示された(Okumura *et al.*, 1981; Fujino *et al.*, 1987)。

エゾアワビ、クロアワビ、マダカアワビ、メガイアワビ、トコブシは、6つの酵素支配遺伝子座の存否を指標にすると種間差異が見られた(Sasaki *et al.*, 1980)が、Neiの遺伝的距離を指標にすると、上記5種の遺伝的分化の程度は、エゾアワビ、クロアワビ、マダカアワビの関係が地方品種レベル、これら3種とメガイアワビの関係が亜種レベル、トコブシとこれら4種の関係が属間レベルであるという(原・藤尾, 1992)。エゾアワビとクロアワビの間で染色体数と核型 karyotype の差異は見出されていない(Arai *et al.*, 1982)。

漁業生産が対象としている野性集団の遺伝的多様性の保全への配慮が重視されつつある。種苗生産過程における変異の減退や適応値(ある遺伝子型が次代の遺伝子給源としてどれだけ残るかを示す相対値)の低下が及ぼす在来集団への影響の評価をしておく必要がある。種苗生産過程で健苗性や種苗の適応値に影響をもたらす遺伝的要因として、以下が挙げられている(谷

口, 1993; 谷口・青木, 1994)。

- ・親魚数：少数の親から多数の種苗を生産すると、抽出誤差により、遺伝子頻度が変化したり（遺伝子浮動）、出現頻度の低い遺伝子が消失する（ビン首効果）。
- ・親魚の系統：在来系統と遺伝的特性の異なる系統を採用すると、環境条件との不適合を招くおそれがある。
- ・近親交配：少数の親を用いて継代的に採卵を繰り返すと、近交係数が上昇し、遺伝変異の減退と劣性有害遺伝子の顕在化が起り、種苗の適応値の低下を招く。
- ・無意識的選択：種苗生産過程でその人為的環境に適応できる個体のみ生き残る。
- ・育種の選択：遺伝子構成の変化や変異の減退は形質の改良や均質性の獲得といった育種目標と裏腹の関係にある。種苗の用途（放流、養殖）により求められる遺伝的特性は異なり、養殖用は品種として分化して行くであろう。

以上のことから、種苗生産では、有効な親魚数の確保、適正系統の選定、近親交配や無意識的選択の防止に関する配慮が求められている。近年は、生態系・種・遺伝子の各レベルで多様性の保全とその持続的利用を図ることを目的とした「生物の多様性に関する条約」が発効（1993年12月）し、水産庁においても「生態系保全型種苗生産技術開発事業」（平成7年度から5年間）により、有効親魚数、早期性判別手法等を検討する。

## 2) 品種の育成

成長の速い養殖用品種の作出を目的に、選抜による育種が試みられている（原, 1989, 1990; Hara and Kikuchi, 1992）。また、成長、耐寒性などの有用形質を発現させる方法の確立を目的として、エゾアワビ、クロアワビ、カムチャッカアワビ *H. kamtschataka* を用いて、親子間の遺伝的関連が調べられている（門間 1988, 1989）。エゾアワビ、クロアワビおよび両種の交雑アワビを、高水温条件下で飼育したときの成長は北方種のエゾアワビが最も良く、交雑アワビは成長はクロアワビと、斃死率はエゾアワビとそれぞれ類似した傾向を示した（井上ら, 1986）。アワビ類の種間雑種は、ヘテロシス効果を期待してマダカアワビ×メガイアワビ（小池ら, 1988）や、エゾアワビ×メガイアワビ（原・菊地, 1992）等で作られ、成長の改善効果があったという。

育種技術の一環として、染色体工学分野で、受精卵の温度処理による3倍体作出がエゾアワビ（Arai *et al.*, 1986; 林崎, 1989; 青戸ら, 1994）やフクトコブシ（工藤ら, 1994）で行われ、また、雌性発生半数体の誘導（Arai *et al.*, 1984）などの技術開発が進められている。生体に大きなストレスを与えることなく染色体標本を作成する便法として上足触手の組織が用いられ（Okumura, 1991）、倍数性の判定は顕微蛍光測定法（青戸, 1994）で行う。

## 3) 成長曲線

水産生物の成長曲線では Robertson (logistic 曲線ともいう)、Gompertz, Bertalanffy などの成長曲線がよく用いられる（鐵ら, 1974）。実際の測定値にこれらの式を当てはめてみると、例えばアワビ類では、初期の成長あるいは最大殻長の値で上記3式の間で差がみられるが、漁獲対象のサイズ範囲内ではよく一致している（図1-14）。一般に巻貝類には、成長速度（体重の変化）は物質代謝の面から、体表面積に比例する同化と、体重に比例する異化の速度の差であるとして導かれた Bertalanffy の成長式がよく適合する。

$$\text{Bertalanffy の成長式 } L_t = L_\infty (1 - e^{-k(t-t_0)})$$

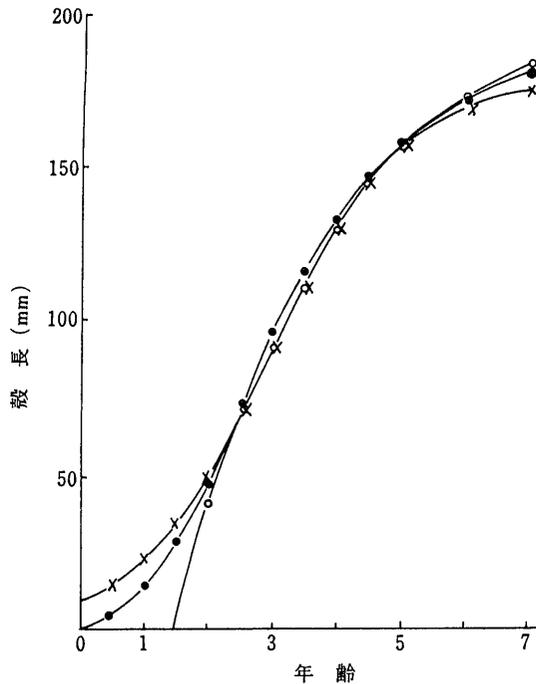


図1-14 マダカアワビにおける3成長式による推定成長曲線

○：Bertalanffy, ●：Gompertz, ×：Robertson, Bertalanffy の成長式におけるパラメータの推定値：  
 $L_{\infty}=204.9$ ,  $k=0.41$ ,  $t_0=1.46$ . 材料は神奈川県真鶴地先採集 (鐵ら, 1974)

ここで、 $L_t$ ：年齢  $t$  における殻長、 $k$ ：成長係数、 $L_{\infty}$ ：最大殻長、 $t_0$ ：殻長 0 のときの計算年齢。

貝殻をもつ腹足類は、らせん的な成長を示すが、大きさは殻長または殻高を用いてさしつかえない。年齢形質として、貝殻表面に生じる輪紋が用いられている。

#### 4) 相対成長

殻長 ( $l$ ) と体重 ( $w$ ) の関係は、一般に次の相対成長 relative growth (allometry) 式が適用される。

$$w = \alpha l^{\beta}$$

ここで、 $\alpha$ ：原始成長係数、 $\beta$ ：相対成長係数。 $\beta$  は 3 に近い値をとることが多いので、 $\beta = 3$  とした 3 乗則が成立するとして、 $w$  を  $l^3$  で割った肥満度が殻長、体重関係の一測度として用いられることも多い。殻長と体重の関係を示す両対数グラフ上の直線の屈折点から、成長の様相の変化 (初成熟年齢など) を知ることができる。肥満度は成熟、産卵、餌料条件などの影響を受け、季節的に変動し、また地域間で異なることも多い。

#### 5) エネルギー収支

アオサの一種 *Ulva lactuca* を餌料として飼育したときのセイヨウトコブシ *Haliotis tuberculata* (ミミガイ科) で、エネルギー収支が調べられている (Peck *et al.*, 1987)。エネルギー収支は、次式で表される。

$$I = E + P_g + P_r + R + U + M$$

ここで、I：摂餌量 ingestion (C：consumption を用いる人もいる)、消化器官内に取り込まれた量、E：不消化排出量 egesta (ちなみに、 $I - E = A$ ：総同化量 assimilation、消化器官から吸収された量である)、 $P_g$ ：成長量 growth、 $P_r$ ：配偶子排出量 reproduction、R：呼吸量 respiration、U：代謝終産物量 excretion、M：粘液生産量 mucus production。成長段階の異なる4群のエネルギー収支の結果は、図1-15に示すとおりである。Iは1.94~997.2cal/個/日(体重0.01~50g(乾重))の範囲であった。トコブシが大きくなるにつれて、エネルギーの $P_g$ への振り向けは37.5%から12.9%へと大きく(66%)減少するが、他の要素はいずれも増加している。特にRの増加率が44%(21.6%から31.1%へ)と大きい。エネルギー収支における主要素は、加齢に伴い $P_g$ からRへ変わることが判る。足蹠分泌粘液の生産量は、測定の困難さもあって省かれることも多いが、23~29%の割合を示し、無視できない値である。

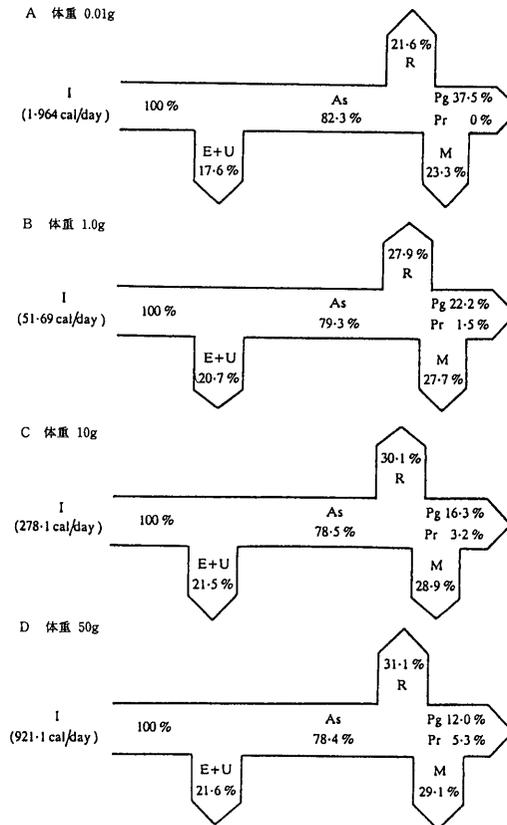


図1-15 セイヨウトコブシ *Haliotis tuberculata* における実験個体群のエネルギー収支  
As：同化量、R：呼吸量、Pg：成長量、Pr：配偶子の放出量、M：粘液生産量。  
摂食量(I)は各パラメータの合計値で、実測値ではない。体重は乾重で示されている。

(Peck et al., 1987)

本実験における、*U. lactuca* の消化吸収率 food absorption (生態学では同化効率 assimilation efficiency ともいう)  $(I - E)/I$  は、乾重ベースで78~81%の範囲であった。エゾアワビとクロアワビの同化効率は周年75~85%の範囲にあり、季節による違いは認められなかった(山崎, 1991)。

さきの実験におけるエネルギーベースの粗成長効率 gross growth efficiency  $(P_g + P_r + M/I)$  と純成長効率 net growth efficiency  $(P_g + P_r + M)/(I - E)$  は、いずれも体重に対し対数関数状に減少を示し、最高値はいずれも殻長3 mm, 体重0.05g(乾重)群でそれぞれ0.34と0.56が、また、最低値は殻長104mm, 体重82g(乾重)群でそれぞれ0.08と0.12が得られた。

### 3. 種苗生産のソフトウェア

#### (1) 種苗生産技術の組立て

種苗生産技術は取水、海水処理、飼育水槽等の飼育設備(ハードウェア)の設計とその運用法の飼育技術(ソフトウェア)とからなる。巻貝類の種苗生産におけるハードとソフトのそれぞれの要素を図1-16に示す。種苗生産と放流事業は経済的行為であり、今後、漁業者自らが行うという方向が益々求められて来る。そのためには、安定して種苗価値のある稚貝を簡単に生産できる仕組み(施設とマニュアル)を整える必要がある。

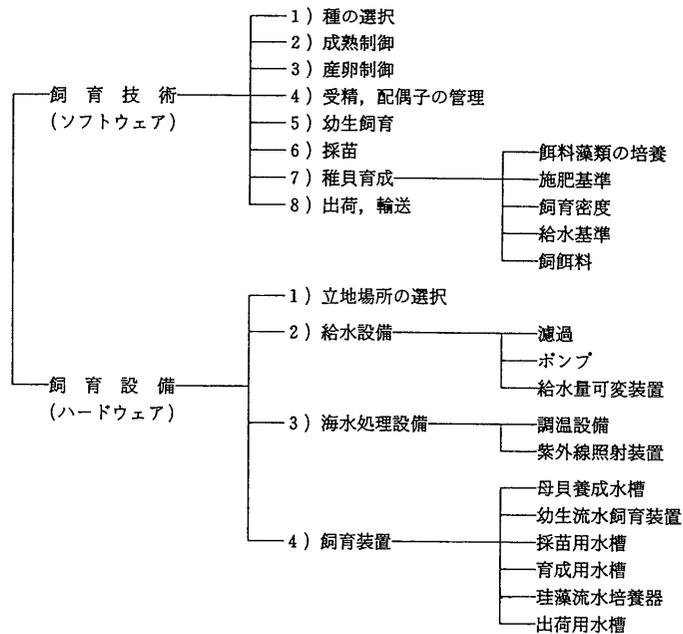


図1-16 巻貝類の種苗生産システムの組立て

アワビ類の種苗生産は海面をもつ全ての地域で行われており、地域の特性を反映した独自の技術として発達して来た。しかし、新しい技術の伝播速度は諸外国に比べても速くなく、その理由の1つにハードがソフトをしばり、ソフトの発展を制約している面がある。装置の規模、構造、機能とその運用法は不可分な関係にある。システムの設計に際しては、ハードとソフトのそれぞれの要素と、相互の連携について、生産効率の向上を十分に意識して行う。また、対象動物の生理的、生態的特性に基づいて、目的の形質を最大限引き出すように配慮する。

例えば、対象動物に最速の成長を求めようとするれば、天然の産卵期や水温経過が必ずしも良い結果を生むとは限らない。この場合、貝類の発育段階と成長・温度の関係を把握し、それに基づいて最速の成長が得られると予想される時期に採卵期を設定する。そのためには、目的の時期に産卵期を移動できる成熟、産卵の制御技術が整えられていることが前提条件である。ハード面ではコンパクトな母貝養成槽、幼生流水飼育装置、稚貝育成槽などや、効率的な給水システム、調温海水の製造などの諸設備が必要となる。生産施設の規模は、生産目標と稚貝相互の干渉による成長劣化をきたさない臨界密度とにより求め、給水量は動物の呼吸量と排泄物の流去に必要な最小流速の2要素から求める。近年はパソコンやデジタル機器の進歩が著しく、これらによって制御される新しい機器材も多く、積極的な活用が望まれる。水槽の利用状況の把握や作業計画の策定等、飼育管理にパソコンが利用され始め(高橋・松橋, 1989)、一部にソフトも市販されている。

このように施設設計やその運用法、飼育プログラムの作成は、アワビ類の生理学的、生態学的特徴、それもできるだけ再現性のある数値化された諸法則に基づいて行う。関(1993)は、エゾアワビの種苗生産における稚貝の発育過程と行動生態学・発生学的特徴を対比させて整理し、工程の要点を示している(図1-17)。

種苗生産技術を、どのようにして①大量の②健苗を③安定して④効率的に生産するかという観点から、使用された幼生数( $n_1$ )、生産種苗数( $n_2$ )とその平均の大きさ( $l$ )の3項目を用い、減耗数( $n_1 - n_2$ )と積 $n_2 \cdot l$ の比( $n_2 \cdot l / n_1 - n_2$ )を種苗生産指数( $I$ )として、種苗生産機関の評価が試みられている(野中・柳瀬, 1986)。

## (2) 種類の選択と種苗性

生産対象種の選択と、種苗生産の目標(数量、サイズ、出荷時期など)は、地域の生物的、物理的環境条件に対応した放流技術(放流適地、時期、方法など)や、回収率と密接に関連する。生産目標の規模(数量とサイズ)は、生産コストと放流後の回収率の両側面から最大の経済効果を得るように決められる。サザエも含めた藻食性巻貝類では、種間で天然における餌料・生息場所の選択などの生態的特徴が異なる(井上ら, 1985)ので、放流場の地形(田中ら, 1986a,b)や餌料(葭矢ら, 1986, 1987)の条件も考慮に入れる。アワビ類の主要な漁場はコンブ類(コンブ、アラメ、カジメ)の藻場周辺に形成される。テングサ類、ホンダワラ類などの優占する水域では、アワビよりもより雑食性でこれらの藻類をよく利用するサザエ(藤井ら, 1988)が適している。

種苗のサイズと生残率の関係がマダカアワビで示されている(井上, 1987)。それによると、生残率は種苗の大きさに対し、比例的に増大するのではなく、あるサイズで急上昇するシグモイド状曲線を示した(図1-18)。この関係は、種苗の生産コストと放流効果の経済を考える上で重要な内容を示唆している。「種苗性」という言葉が用いられている。「健苗性」は「形態・生理・

時間	发育過程	行動生態	発生学的特徴	餌料, 栄養	生産技術の評価	生育条件	備考
0	卵, 精子 受精卵 2細胞期 4細胞期	放卵, 放精	受精, 極体放出 卵割		個別 累計		三倍体
12時間	初期発生期 桑実胚 胞胚 原腸胚		原口陥形成	卵黄 + 溶存有機物		外敵生物除去 細菌 原生動物 動物卵等	
	担輪子幼生	卵膜内での回転 浮上	原担輪帯形成 孵化			良好水質保持 重金属イオン アンモニア除去	
	被面子幼生		幼殻分泌開始 面盤形成		>90% >90%		
	浮遊期		幼殻完成 体の捩れ 蓋形成 眼点形成				
7日	匍匐(隠行) 被面子幼生	探索 定位 養底 変態	頭部触角形成 第1上足触角形成 平衡胞形成 頭部触角第3突起	粘液状物質	>90% >80%	着底基質 変態誘起物質	海藻 粘液, GABA 石灰藻
	底棲期幼稚体		面盤細胞脱離 纖毛葉形成 周口殻分泌 心臓鼓動開始 吻形成			附着藻類供給 競合生物防除	
9日	初期稚貝	索餌		附着藻類 + 附着有機物	30-60% 20-50%	ネグリオパス エノチグサガイ	
1ヵ月	稚貝	夜行性	第1呼吸孔形成			不適藻類防除	
10ヵ月	幼貝	大型海藻の摂取			>60% 10-30%	コシノデイスカス	捕食生物除去 魚類 甲殻類
2年	(若小貝)		生殖腺形成	大型海藻			
	底棲期	放卵・放精			>70% 5-20%		
4年~5年	成貝						

図1-17 エゾアワビの发育段階と基礎的知見

(関, 1994)

生態学的健全性」であり、「種苗性」は、さらに「行動・生態学的特性」を備えるものと定義されている(中野, 1993)。ここでは種苗性の概念に、稚仔が経済的に見合う効果を上げるために備えるべき要件(サイズ(回収率と関係)×コスト)も加えたい。この意味で、マダカアワビの備

えるべき種苗性のうち、サイズとしての要件は、図1-18から殻長4 cm前後であることが示された。種苗性には成長速度や活力として顕在化するポテンシャルも含まれると思われ、それらは遺伝的な内因や、また飼育環境などの外因によって支配を受けている。例えば、絶食下のクロアワビ生体内の生化学的変化と死亡率・行動能力の関連が検討された(高見ら, 1993)。絶食開始から、グリコーゲン、トリグリセライドの含有率が急速に低下し、40日目でタンパク質の減少が認められ、アワビの反転(起上がり)率が著しく低下し、50日目以降、斃死率が急増した。この方面の解析は多くはないが、漁場への効果的な種苗の導入を図る上で、今後の取り組みが待たれる。

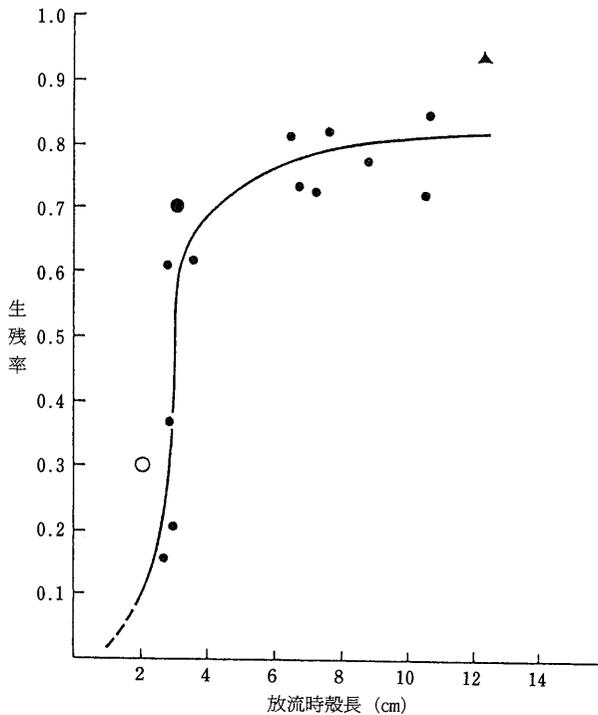


図1-18 アワビ放流時の殻長と1年後の生残率  
 白丸, 黒小丸: マダカアワビ, 黒丸: クロアワビ, 黒三角: メガイアワビ  
 (井上, 1987)

最近、暖流域の種苗生産対象種に寒流種のエゾアワビを取り上げる事例が増えている。エゾアワビは、種苗生産段階でクロアワビよりも成長、生残率が良く、放流後の成長もクロアワビと同等の結果を示している(野田ら, 1987)ためであるが、在来種との交雑が起ると、遺伝子資源保全の観点から論議のあるところであろう。放流後の再生産過程について追跡調査が必要である。これらの問題について調査の結果、危惧がなくなり高い回収率が得られるのであれば、放流事業は経済行為であり、一代回収型の放流種として積極的に取り上げたい。複数種のアワビ類が生息する米国のカリフォルニア沿岸では0.2%前後の種間雑種が認められている(Owen *et al.*, 1971)。

### (3) 成熟の制御

一般に動物の繁殖にはその動物にとって都合のよい一年のある一定の季節に限られた生殖の年周期がみられる。このような成熟の周期性を支配する外部環境要因として、海産脊椎動物では、温度、光周期、餌料条件、塩分などがあげられている (Giese, 1959)。一方、種苗生産では成長や放流時期などの経済的な側面から最適の採苗時期が決められる。この場合、産卵期を任意に移動できる成熟の制御技術が必要になって来る。

#### 1) 温度

成熟の制御方法は目的によって2つに分けられる。1つは産卵時期を予め決めておき、母貝養成を開始して、目的の時期に個体を揃えて同調的に産卵させる場合である。1つは実験材料に卵や幼生を使用したいというように、周年にわたって産卵させる必要がある場合である。

秋季の天然産卵期を春季に移したいという目的のために、エゾアワビでは温度と成熟の進行速度の関係を数量化し、積算温度の法則に基づいて産卵期を移し、同調的な産卵を行わせることに成功した (菊地・浮, 1974a)。

エゾアワビの生殖巣の外観的な膨らみの程度を数値化 (最小0～最大3の4段階) した生殖巣指数 GI と飼育水温  $T$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) との関係は次式で表される。

$$Y = 0.00597 (T - 7.58)$$

ここで、 $Y$ : 生殖巣肥大速度 (1日当りのGIの増加量)

上式で表される直線とX軸との交点 ( $7.6^{\circ}\text{C}$ ) は、本種の成熟に関する生物学的零度 biological zero ( $\theta$ ) で、図1-19からGIは $T$ と $\theta$ との差の積算値に比例することが判る。そこで、次式で求められる $Y_n$ の値を $n$ 日までの成熟有効積算温度 Effective accumulative temperature for gonad development (EAT,  $^{\circ}\text{C}\cdot\text{日}$ ) とする。

$$Y_n = \sum_{i=1}^n (t_i - \theta)$$

ここで、 $t_i$ : 日々の飼育温度 ( $t_i < \theta$  の場合は加算しない)。

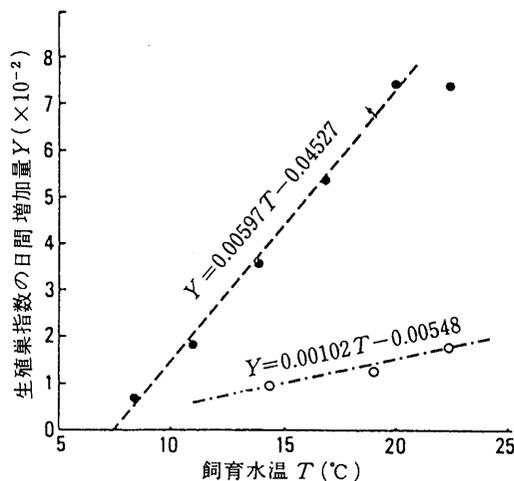


図1-19 アワビ類における生殖巣の発達と飼育水温の関係  
黒丸: エゾアワビ, 白丸: クロアワビ

(菊地・浮, 1974 a, c)

最低水温期から飼育を開始するときの EAT は 0 とする。1～3 月の天然における EAT の積算値は小さいので、この間はいつ開始しても 0 としてさしつかえない。

異なる定水温下で育成した各群の産卵誘発率、配偶子の放出量等を EAT を基準に整理し(図 1-20)、成熟過程を次のように区分することができた(図 1-21)。

未熟期 (0～500℃・日)：生殖巣の肥大が進行し、GI は 3 付近に増大するが、配偶子の放出はみられない。

成熟期 (500～1,500℃・日)：産卵誘発率が上昇し、配偶子の放出量が増大する。1,000℃・日を超える後半は実用的な採卵ができる。

完熟期 (1,500℃・日以降)：産卵誘発刺激に高率で反応し、確実に産卵できる。1 個体当りの産卵量は 300 万粒 (体重 90～100g)、放精時間は 4 時間に及ぶ。

材料採集地の三陸沿岸の水温経過をもとに、1 月中旬を起点に EAT を試算すると、産卵期 (9 月上旬～10 月上旬) の EAT は 1,300～1,700℃・日となる (図 1-22)。養成母貝の産卵盛期は 1,500℃・日以降の完熟期と考えられるので、天然と人工環境下の産卵盛期の EAT はほぼ

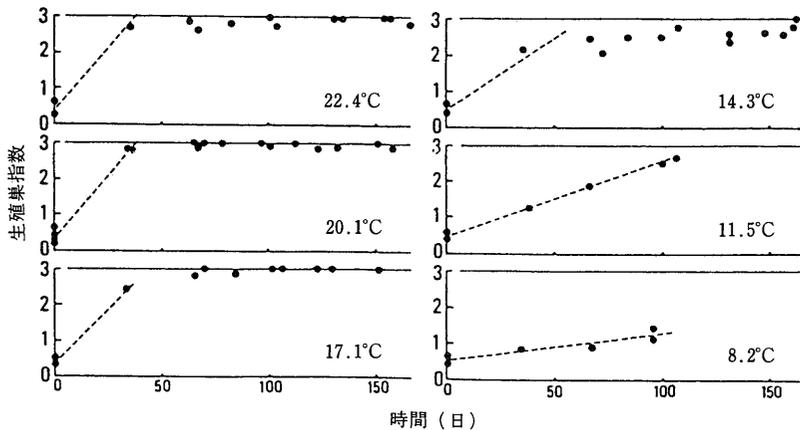


図 1-20 6 段階の異なる定水温下で飼育したエゾアワビの生殖巣指数の経過  
各点は 10～40 個体の平均値、図中の数字は飼育水温の平均値。(菊地・浮, 1974a)

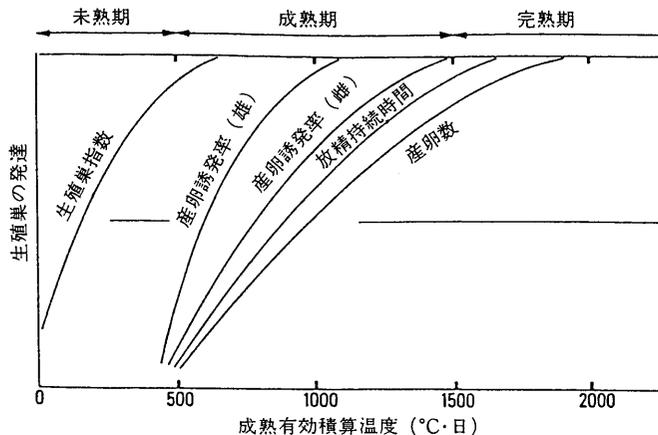


図 1-21 エゾアワビにおける生殖巣の発達段階と成熟有効積算温度

(菊地・浮, 1974 a)

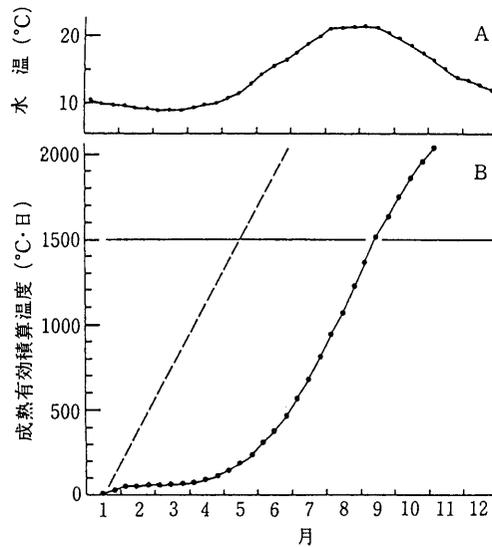


図1-22 エゾアワビにおける天然と人工環境下の成熟有効積算温度EAT (°C・日)の経過  
 A: 材料採集地の宮城県女川町地先の水温経過, B: 直線は20°C定水温下におけるEAT, 曲線はAから求めたEATのそれぞれの経過.  
 (Uki and Kikuchi, 1984)

一致する。このことから本種の成熟を支配する環境要因は温度条件が主要なものと考えられる。

任意の時期から成熟の促進を図る場合は、すでに材料が保有している EAT を起点にすれば、同一の基準により成熟過程の管理が可能である。EAT が2,000°C・日を超えると、養成水槽内でも軽微な刺激で配偶子を放出するようになるので、産卵を制御できる実用的な産卵期は1,000~2,000°C・日の間であり、20°C下では80日間に相当する。産卵させた母貝群をさらに続けて定水温下におくと、20°C下では40日 (EAT 500°C・日) 経過後に再び採卵が可能になる。

定水温下の飼育を継続し、産卵誘発を加えないと母貝は水槽内で産卵を繰り返し、群としての成熟の同調性は次第に失われ、誘発率は低くなって行くが、いつでも多少の採卵は可能である。実験材料として周年にわたって卵、幼生を入手したい場合は非同調的であるが、このような方法をとる。

暖流種のクロアワビでは、同一の成熟水準に達する EAT はエゾアワビの2.5倍を要し (図1-19), EAT による所要期間の短縮効果は大きくない。フクトコブシでは、低温飼育によって生殖巣を退行させ、退行後高温(25°C)飼育によって成熟を促進し、天然の産卵期(10月)より4ヵ月早く採卵できた (奥崎ら, 1985)。成熟の開始と促進には生殖巣の十分な退行が必要条件であると考えられている。フクトコブシにおけるYとTの関係は次式で表される。

$$Y = 0.001894T - 0.02503$$

$\theta$  を13.6°Cとして計算した EAT では、1,500°C・日以上で産卵誘発率が安定した (有馬, 1994)。

サザエの成熟は4月頃から急速に進み、地先水温の上昇パターンと似ており、成熟に水温の関与が指摘された (葭矢・桑原, 1988)。生殖巣の発達にはサザエでは、加温飼育により4~5月の早期採卵が可能で、成熟に関する生物学的零度を6.9°Cとして計算した EAT では

1,500℃・日以降で産卵誘発率が安定した(松井, 1991)。

## 2) 光周期

暖流種の場合, 天然では夏季の高水温後, 急速に生殖巣が発達する(図1-8)。夏季には成長が停滞するところから摂餌量も多くないと推察され, 高水温が摂餌量を介し成熟に影響を与えていると考えられる。この時期は日長が短日に向かうので, 光周期の成熟への関与を疑って種々検討されたが明瞭な関係は得られなかった(菊地・浮, 1987)。しかし, 光周期の関与は否定できず, 養成期間を短縮したいという技術的要請は残されているので今後の検討が待たれる。

暖流域のアワビ類やサザエでは天然の産卵期より1~3ヵ月早めた早期採卵を行うのが望ましく(3(11)4成長速度の項参照), このためには採卵前4~6ヵ月から養成を始める。養成は摂餌活動の活発な温度帯で行う。秋季の採卵後, 11月から20℃定水温で越冬飼育したクロアワビでは3月末に採卵できた(菊地・浮, 1987)ので, 暖流種の春季採卵には当面この方法で対応したい。フクトコブシの性成熟と光周期の関係を検討した結果では, 短日処理区の成長と生殖腺の発達がよく, 産卵誘発率も高かった(有馬, 1994)。サザエでは, 春季に長日処理した群の産卵誘発率が高く, 成熟への光周期の関与が指摘された(角田ら, 1986)。

## 3) 餌料

アワビ類, サザエなどでは, 母貝の養成に海藻類を餌料として用いる。ワカメ, ホソメコンブ, アラメなどを単独で与えたアワビ類は, 人工環境下でも漁場と同等の成長を示し, 受精卵は正常な発生を行うので, 単食の弊害はないものと思われる。もっとも, 冷凍ワカメを単用したエゾアワビ母貝は, 殻の伸長部位が茶褐色に病変し, 殻の欠ける個体が現われて一部は斃死した(石川, 1985)ので, 冷凍品, 塩蔵品を使用する際は注意が必要である。

摂餌量は生殖巣の量的発達ばかりでなく, 産卵誘発刺激に対する反応度にも影響を与え, しかも雄より雌の影響を受ける度合いが大きい(Uki and Kikuchi, 1982)(図1-23)。この結果はEATを基準として適用する前提条件として, 一定の摂餌水準の保障が必要であることを示している。Feare(1970)は, ヨーロッパチヂミボラ *Nucella lapillus* (アケキガイ科)の生殖腺の発達は主として食物同化量により規制されており, 水温は物質代謝率を調節する副次的な要因であるとしている。サザエにおいては, 成熟への餌料環境の影響がいくつかの事例で指摘されている。アラメ群落よりもホンダワラ類と小型海藻の混成群落(ガラモ場)から採取した個体が早い時期に成熟し, 早期(7月)の採卵率に優れ(金澤, 1992), 外海域よりテングサ類やホンダワラ類の豊富な内湾域の方が成熟の進行が速い(葭矢・桑原, 1988)。付着珪藻を主餌料として養成したサザエにおける成熟の進行と産卵誘発刺激に対する反応率は, 乾燥コンブ単餌料によるものより高い(太刀山・的場, 1994)などである。

## (4) 産卵の制御

### 1) 産卵の誘起

体外受精を行う型の巻貝では人為的に刺激を与えて配偶子を放出させる。紫外線(主波長2537Å)を照射した海水(UV-海水)(菊地・浮, 1974b)や, 過酸化水素(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)(Morse *et al.*, 1976)を添加した海水が, 巻貝類や二枚貝類の配偶子放出を誘起する現象が発見され, 産卵誘発法として使用されている。

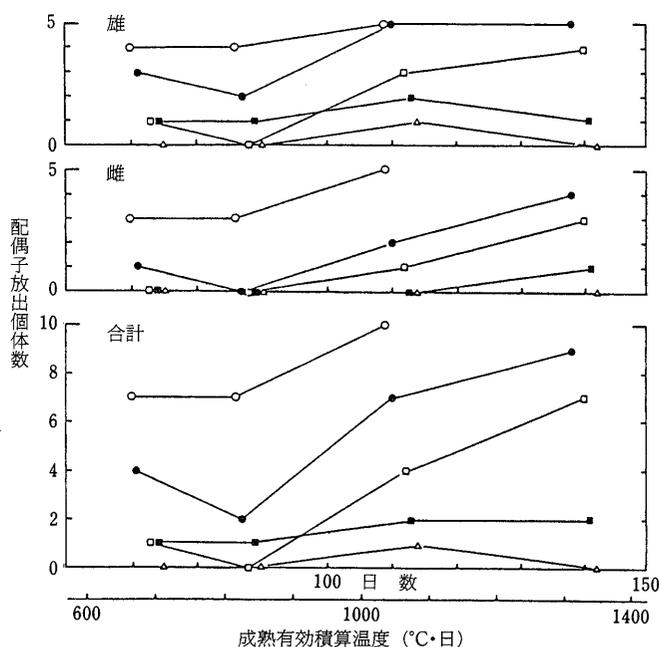


図1-23 エゾアワビにおける摂餌水準と産卵誘発率の関係

白丸, 黒丸, 白四角, 黒四角および三角は, それぞれ平均日間摂餌率 7.1, 4.6, 2.8, 1.8および1.2%の各群の結果を示す。母貝養成水温: 17°C。各点は雌雄各5個体の平均値。(Uki and kikuchi, 1982)

産卵誘発刺激の投与から産卵までに最短でもアワビ類では90分(浮, 1987), サザエでは70分弱を要する(石田ら, 1993)。この時間は第1減数分裂前期の状態待機している卵巣卵の成熟分裂を再開させ, 分裂中期まで進める最終成熟に用いられる。分裂中期で産卵された後, 精子の侵入をまって, さらに減数分裂が進行する。産卵期の雄では精巣に完成した精子が貯えられているが, 刺激の投与から放精までには一定の時間を要することから, 雌と配偶子放出を同調させる機構があるらしい。平均的には放精が放卵より15分前後先行する。

UV-海水の産卵誘発効果(誘発率および配偶子放出までの所要時間)は, UV照射量と対応関係がある。UV照射量を海水が受けた電力量を単位として示すと, 効果的な誘発には800mWh/lが必要である。この照射量は一般に紫外線流水殺菌器の定めている通水量を約1/10に絞り込むことで得られる。誘発には20l水槽を用い, 各水槽に1個体ずつを収容し, 20l/hの給水を行う。アワビ類の場合, 昇温など他の刺激を併用する必要はない。フクトコブシではUV-海水と干出・温度刺激(有馬, 1994), サザエではUV-海水と夜間止水(岡部, 1982a; 角田ら, 1986; 翠川, 1986; 石田ら, 1993)の併用によって産卵誘発効果を高めている。従来, 採卵用の母貝は半年以上の飼育が必要と考えられていたが, 採集直後のサザエでも, 上記誘発を4~6日間, 毎日繰り返すことで採卵が可能である(大橋, 1991)。

産卵誘発をH<sub>2</sub>O<sub>2</sub>(Morse et al., 1976; 田中, 1978; 二島, 1981)により行う場合(濃度5μM)は, 産卵後ただちに通常海水で洗卵しないと, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>の残留により幼生の発生に異常をきたす。ギンタカハマガイでは, 産卵開始後に通常の海水に戻して得られた生殖素を使用している(工

藤ら, 1994)。

## 2) 産卵時刻の設定

アワビ類は夜行性で、酸素消費量 (浮・菊地, 1975) や摂餌行動の日周性 (浮, 1987) にみられるように、生理的活性は暗期開始前後に高まる。予め、人工光周期を付与して母貝を養成し、産卵誘発を暗期開始1~2時間前から開始すると、同調的な産卵の誘起に効果的である (図1-24)。産卵後の洗卵作業を夕刻までに済ませるために、暗期開始時刻は日中 (通常、午後1時) にセットする。エゾアワビでは母貝に付与する光周期は通常12L-12Dを用いる。光周期を変更すると1週間位で新しい暗期開始時刻へ産卵時刻が移動する (西川, 1976) ので、産卵時刻の制御のためには、長期にわたって人工光周期を付与する必要はない。

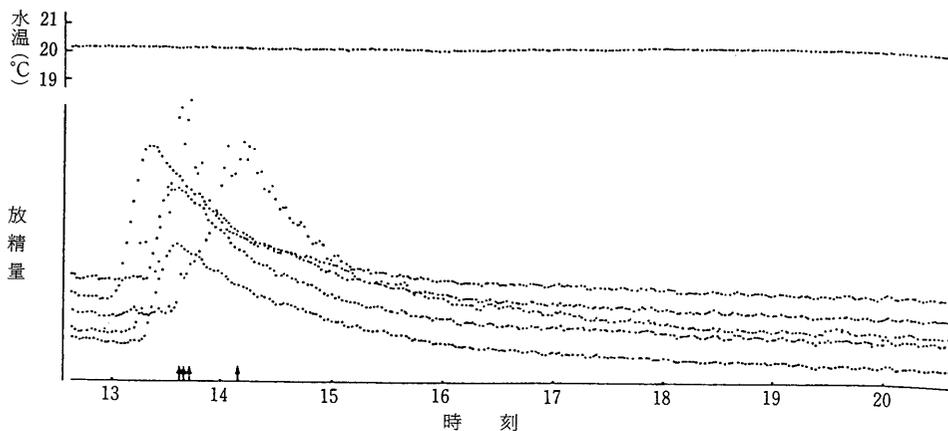


図1-24 エゾアワビにおける配偶子放出時刻の分布

母貝は12L-12D (暗期開始13:00) の光周期条件下で養成。紫外線照射海水の給与は11:50から開始。放精量は海水の透光度の変化を電圧に変換して記録した。1線は1個体に対応。X軸上の矢印は肉眼観察による放卵時刻を示す。(浮・菊地, 1982)

自然水温条件下で養成したクロアワビでは、干出刺激とUV-海水の併用で同調的に放卵・放精を行っている (石田ら, 1991)。UV-刺激の付与から産卵までの所要時間は、水温が高いほど短く、1℃の差が15分程度のずれを生じさせる。

## (5) 受精と配偶子の管理

### 1) 人工受精

体外受精を行う種類では採卵後、媒精を行う。その際、高濃度の精子懸濁海水を用いると卵膜が溶解し、正常な発生が阻害されるので、濃度を定めて媒精する。適正濃度はアワビ類で20万個/ml (菊地・浮, 1974c), 30万個/ml (西川, 1978) (図1-25), サザエで3~15万個/ml (鳥羽, 1984) である。フクトコブシは1~2万個/mlが適正濃度で、15万個/ml以上では卵膜の溶解が観察された (有馬, 1994)。アワビ類の卵の周りには透明な寒天様物質 (ゼリー層) があり、精子は一旦このゼリー層に突当り、この中を蛇行しながら卵膜に達する。この間はわずかに3~5秒である (西川, 1978) (図1-26)。精子の計数は光電比色計を用いると簡便に行える。

媒精後、過剰な残留精子や不良卵を除くため、5~10回程度の洗卵 egg decantation を行う。

洗卵に際し、16細胞期以上の発生卵では、海水補充の衝撃で崩壊するものが現れる。洗卵は8細胞期（受精後約2時間）までに終了する必要がある（西川，1978）。卵周囲の残留精子数は媒精時の精子濃度に対応している（図1-27）。洗卵をネットを用い流水中に行って時間の短縮を図る方法も用いられているが、不良卵の分離のために水替えによる洗卵も1～2回、併用した方がよい。ネットの目合は卵径に対し十分小さいもの（通常40 $\mu$ m）を用いる。

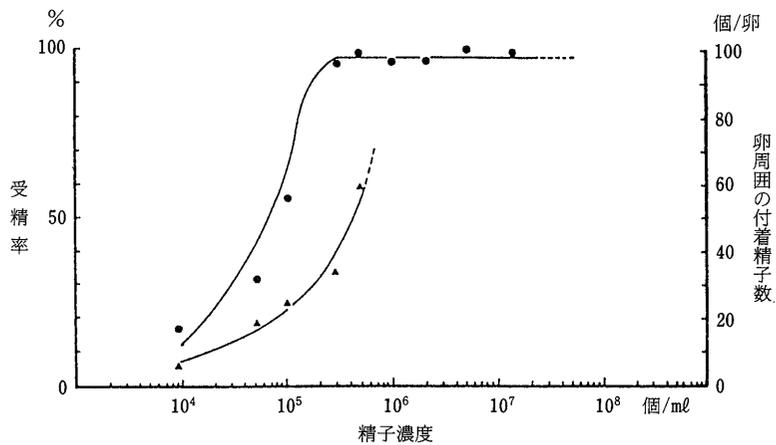


図1-25 エゾアワビ卵における精子濃度と受精率（黒丸）および卵周囲の付着精子数（三角）  
（西川，1978）

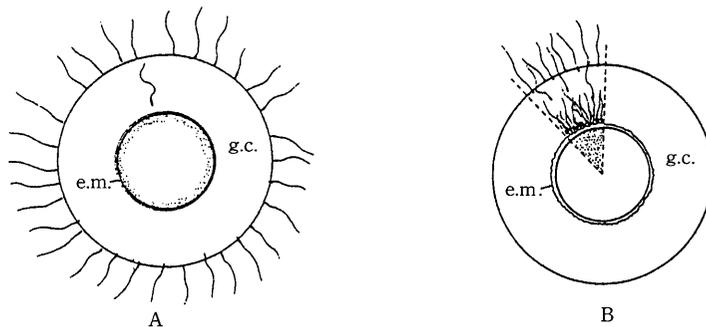


図1-26 エゾアワビ卵の受精  
A：適正精子濃度（30万個/ml）による受精（受精直前）  
B：高精子濃度（500万個/ml）による受精（受精後25分）  
e.m.：卵膜，g.c.：ゼリー層  
（西川，1978）

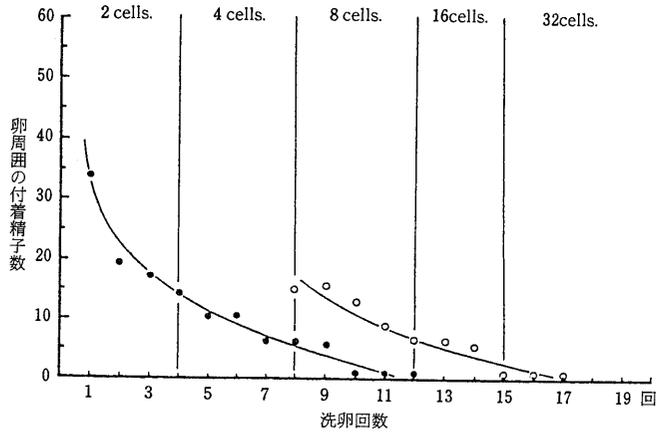


図1-27 洗卵回数と卵周囲の付着精子数の減少  
 精子濃度：50万個/ml (黒丸)，100万個/ml (白丸)  
 図中の数字は卵の割球数 (西川，1978)

## 2) 配偶子の保存

雌雄の産卵のタイミングが合わない場合、卵または精子を一時的に保存することになる。同時に放出された卵と精子を保存し、受精率の経過をみた結果では、配偶子の受精能力持続時

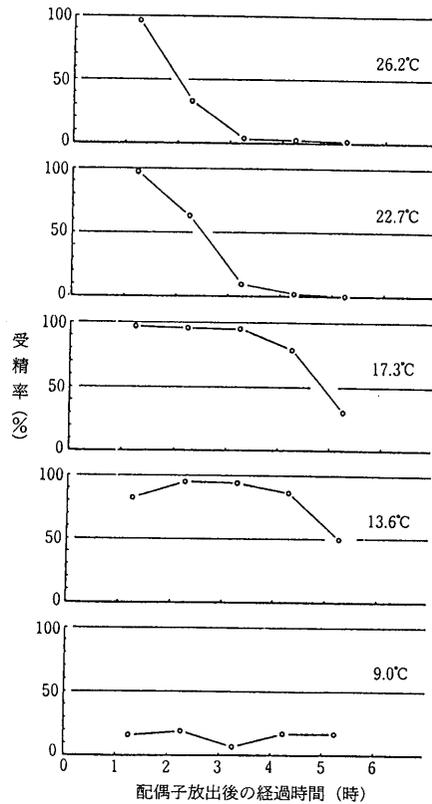


図1-28 エゾアワビにおける配偶子の受精能力の持続時間と水温との関係  
 図中に示す各定水温下で保存した精子と卵を一定時間毎に23℃の水温に戻して媒精.

間は一定の温度の範囲外では急速に低下する。エゾアワビにおける保存適温は17~20℃で、実用に支障のない保存時間は180分内外である(菊地, 浮 1974d)(図1-28)。サザエ配偶子の保存適温は22℃前後で、保存可能時間は200分程度であった(鳥羽 1984)。受精能の低下は卵より精子の方が早いものと推察されている(Ebert and Hamilton, 1983)。

## (6) 幼生の管理

### 1) 発生速度と水温

アワビ類の採苗過程では、幼生を定水温下で飼育し、幼生の発生速度と水温の関係から求められた発生有効積算温度(関・菅野, 1977)に基づいて、採苗時期を正確に予測し、発生段階に合わせた幼生の管理技法が確立されている。

発生過程における外部形態の変化時期は、水温条件によって著しく異なる。エゾアワビの初期発生における特徴的な4つの形態変化を示すまでの、受精後経過時間と水温の関係(図1-29)は次式で表すことができる。

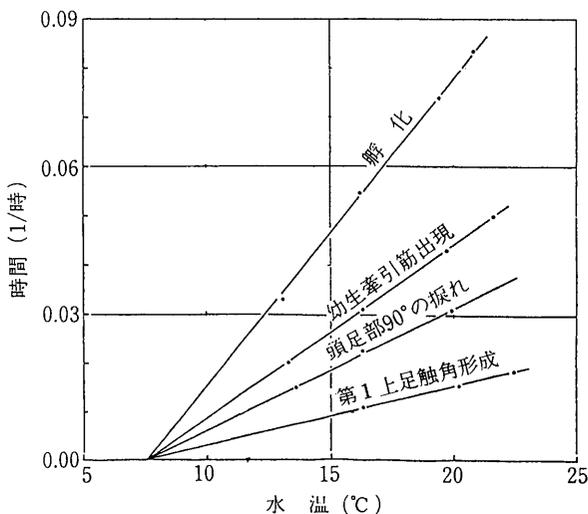


図1-29 エゾアワビの発生速度と水温の関係  
(関・菅野, 1977)

孵化まで	$1/t=0.00640T-0.0502$
幼生牽引筋の出現まで	$1/t=0.00361T-0.0278$
頭足部90°の振れまで	$1/t=0.00252T-0.0187$
第1上足触角の形成まで	$1/t=0.00124T-0.0093$

ここで、 $t$ :時間(hour),  $T$ :水温(°C).

これらの関係式から、本種の発生に関する生物学的零度( $\theta$ )は7.6℃と求められた。この $\theta$ を基点にして求めた履歴水温の時間的な積算値(発生有効積算温度) effective accumulative temperature for larval development (EATD, °C・時)と、幼生の外部形態の変化との対応は図1-30のように示される。例えば、水温20℃の場合、孵化(図1-12-1の14)、頭足部90°

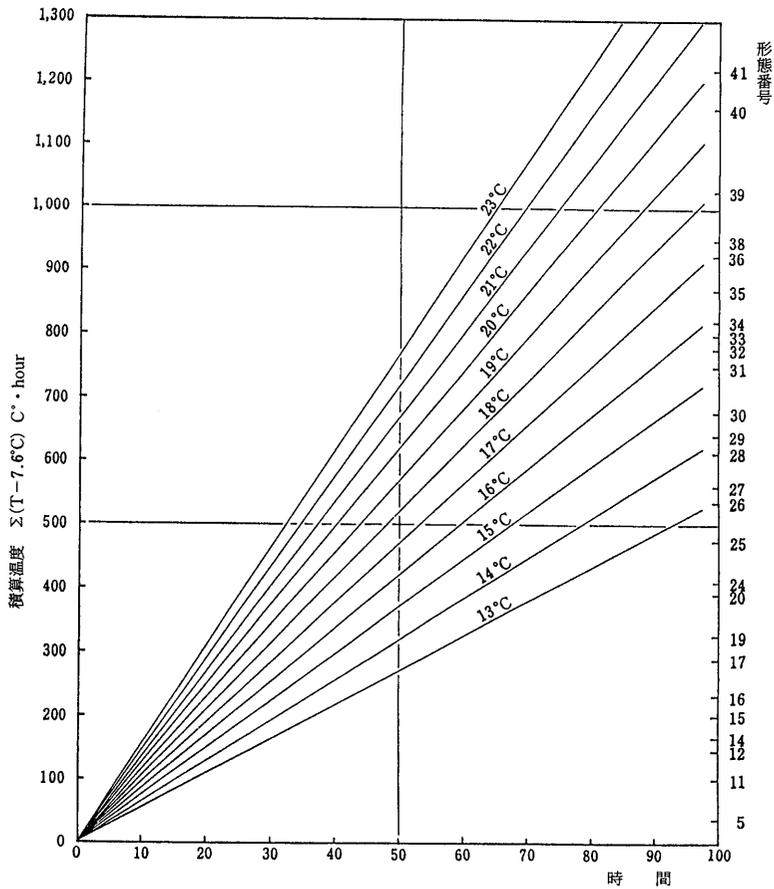


図1-30 エゾアワビの発生段階と積算温度  
 図中の数字は飼育水温 (関・菅野, 1977)

の振れ(21), 第1上足触角の形成(33), 第4小突起の出現(41)の各発生時間の実測値と, EATDは, それぞれ(14):12.6時間, 156°C・時, (21):32.1時間, 398°C・時, (33):64.9時間, 805°C・時, (41):99.0時間, 1,228°C・時である。

その他のアワビ類の $\theta$ として, クロアワビ8.5°C, マダカアワビ9.0°C, (関・菅野, 1977), メガイアワビ9.0°C (道津・木下, 1985) が得られている。発生速度を受精から眼点の出現までの所要時間で比較してみると, 飼育水温20°Cの場合, エゾアワビ45時間, クロアワビ47時間, マダカアワビ47.5時間である。 $\theta$ は計算上の値であり, 実際に正常な発生をする水温は, メガイアワビで15°C台以上 (道津・木下, 1985), フクトコブシで20°C以上 (有馬, 1994) である。

サザエの受精から第1上足触角の形成までの所要時間は, 水温21.7°C下で73.0時間, 25.2°C下で52時間 (戸田, 1988), 22.4°C下で71.0時間 (山本, 1984) であった。これらのデータから受精から第1上足触角形成までの $t-T$ の関係式は次のように求められた。

$$1/t = 0.00164T - 0.0223$$

本式からサザエの $\theta$ として13.6°Cが得られる。角田ら (1986) の求めたサザエの受精から各

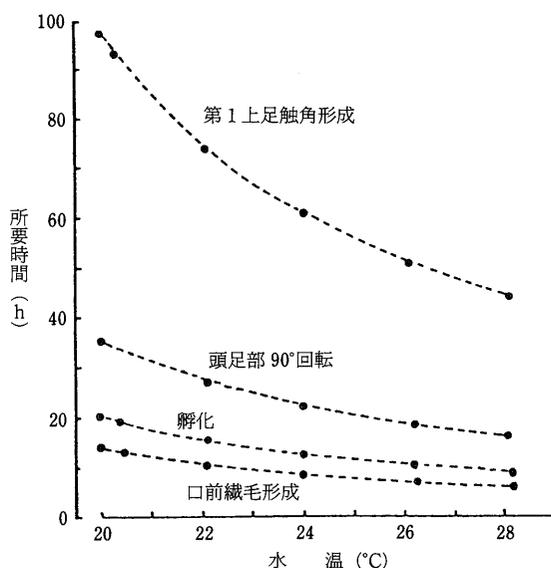


図1-31 サザエにおける各発生段階に至るまでの水温別の所要時間 (角田ら, 1986)

発生段階に至る所要時間と水温の関係は以下で示される (図1-31)。

$$\text{口前繊毛環の形成まで} \quad 1/t = 0.0109T - 0.1474$$

$$\text{孵化まで} \quad 1/t = 0.0073T - 0.0968$$

$$\text{頭足部 } 90^\circ \text{の捩れまで} \quad 1/t = 0.0041T - 0.0537$$

$$\text{第1上足触角の形成まで} \quad 1/t = 0.0015T - 0.0196$$

これらの関係式では、 $\theta$  はいずれも  $13.3^\circ\text{C}$  が得られた。

サザエ幼生の形態変化の発生時間をエゾアワビと対比して図1-32 (山本, 1984) に示す。同一水温下におけるサザエの発生速度はエゾアワビに比べ、孵化まで1.4倍、第1上足触角の形成まで1.3倍の時間を要す。幼殻完成までの所要時間はほぼ同じであるが、孵化から幼殻の完成までの時間はサザエの方が短い。また、幼殻完成から面盤の2分開始や、眼点の出現までの時間は長くかかっており、両種間の発生パターンの相違が指摘されている。サザエでは前足部の形成が眼点の出現に先立っており、アワビ類と異なった (山本, 1984)。

ギンタカハマガイの3つの形態変化における  $t-T$  の関係は次式で表された (工藤ら, 1994)。

$$\text{孵化まで} \quad 1/t = 0.007797T - 0.09914$$

$$\text{幼殻完成まで} \quad 1/t = 0.003688T - 0.04370$$

$$\text{匍匐開始まで} \quad 1/t = 0.001751T - 0.02376$$

これらの式から  $\theta$  は  $12.7^\circ\text{C}$  と求められたが、発生適温は  $23^\circ\text{C}$  以上にあり、水温  $21^\circ\text{C}$  以下では、正常な幼殻の形成不良、未孵化等、発生は不調であった。

アワビ類の種苗生産を秋季に開始する場合、できるだけ9月~10月初旬の早期に採苗を行うことが望ましい (3 (11) 4 成長速度参照)。暖流域ではこの時期の天然水温は  $25^\circ\text{C}$  を超えている。海水を冷却して採卵、幼生の孵化を行うことになるが、このために幼生の発生、採苗に支障の

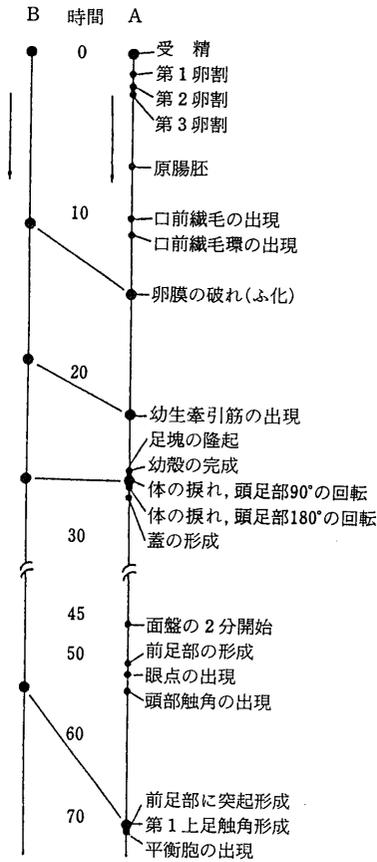


図1-32 飼育水温22.4℃における発生段階の時間的経過  
A: サザエ, B: エゾアワビ (山本, 1984)

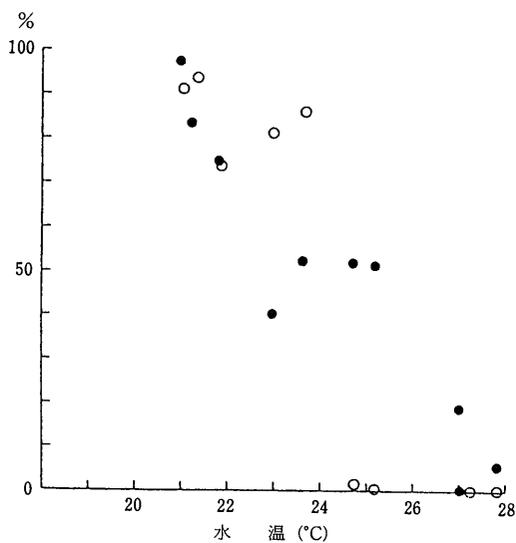


図1-33 エゾアワビ幼生の孵化率(黒丸)および生残率(白丸)と水温との関係  
(有吉・野田, 1987a)

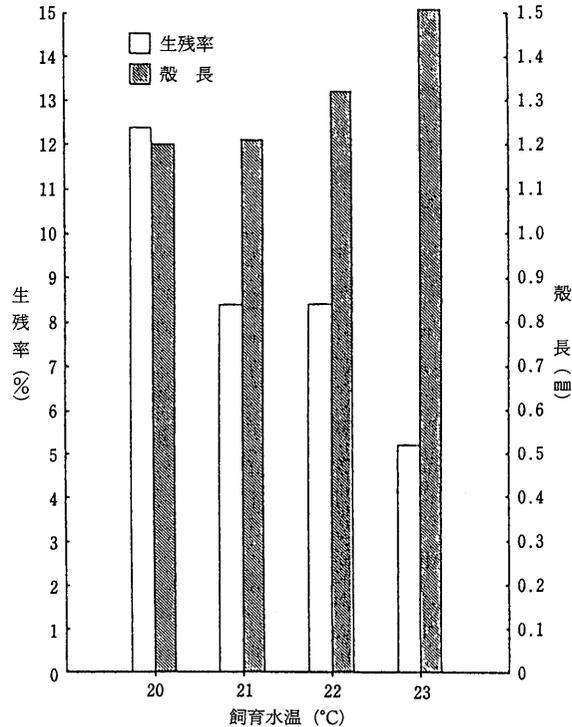


図1-34 エゾアワビ付着初期稚貝の生残率および殻長（付着30日後）  
（伊藤ら，1987）

ない水温の臨界点をおさえておく必要がある。エゾアワビの受精卵の孵化および幼生の生残率（第1上足触角の形成段階で計数）と飼育水温との関係は、それぞれ図1-33のとおりであった（有吉・野田，1987a）。別の実験（伊藤ら，1987）では、エゾアワビの浮遊幼生と付着稚貝の生残率（図1-34）は22℃と23℃の間で大きな差があり、23℃で低下した。これらのことから、エゾアワビ幼生の飼育と採苗は、水温が23℃を超えず20℃に近い条件下で行うのが望ましいと言えよう。

## 2) 幼生の飼育

受精卵は20℃付近の水温下で、止水または流水中におく、幼生の孵出後、浮上幼生を流水飼育容器に收容する。このとき、トロコフォラ幼生の分離にネットを用いると奇形を生じるので注意が必要である。

飼育水の交換のために、目合90 $\mu$ mのネットを用いて、水中で幼生の分離を行った例（西川，1978）では、幼殻の分泌を開始し振れが発生した段階の幼生で、8～15%が幼殻に損傷を受けた（図1-35）。幼生牽引筋に異常がみられた幼生は、軟体部を幼殻中に引き込められない奇形となった。幼殻完成後のネット使用による奇形出現率は5～6%であった。流水飼育器の出現（4(4)2)幼生流水飼育装置参照）で、幼生の状態が悪い時のほかはネットによる分離の必要はなくなっている。以前は、幼生を收容した水槽を恒温室に置き、1日2～3回の換水を行った。恒温室は不要になったが、調温海水（17～20℃）の製造設備が必要である。

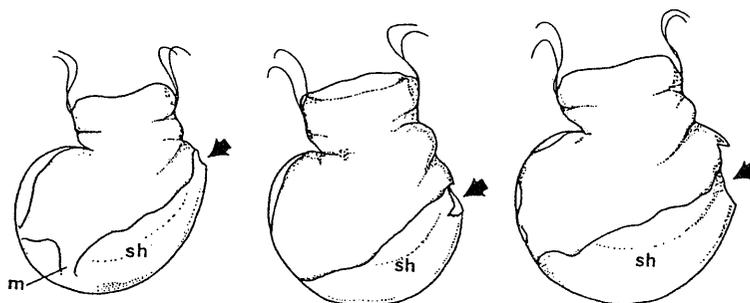


図1-35 エゾアワビ幼生のネットによる幼殻の損傷 (矢印)  
sh: 幼殻, m: 筋肉 (西川, 1978)

### 3) 採苗適期

着底, 変態個体の出現時間は, 採苗適期を把握する上で重要である。足部筋肉が発達して着底能力が備わり, 着底個体が出現するのは吻の一部となる突起が形成(図1-12-2の36)される925℃・時以降である。この時期の幼生は, 足部を振るよう回転することができ, この能力によって基質上に落下して, 横転した状態から正位し, 匍匐することができる。変態開始個体が出現するのは, 頭部触角上に第3小突起(39)が形成される1,030℃・時(20℃下で85.5時間)以降である。定位に際して基質に接触する第3小突起は, 同じく着底から定位に至る間, 基質と接触している足蹠先端部とともに, 着底条件を選択する際の化学的受容器として重要な役割を果たしているらしい(関・菅野, 1977)。

関・菅野(1981a)に基づいて, エゾアワビの特徴的な形態変化とその所要時間をまとめ表1-1に示す。採苗に供することができる幼生の特徴は, 1.平衡胞(34)が明瞭になる, 2.繊毛(30)が足部に密生してくる, 3.頭部触角に第3小突起(39)が出現する, 4.幼生牽引筋が発達し, 幼殻付着部が明瞭になる, 5.口前繊毛環中央部のくびれが明瞭になり, 面盤の2分割が完成する

表1-1 エゾアワビ幼生の発生段階と処理

形態形成	孵化後の経過時間		幼生の特徴と 飼育管理上の処理
	20℃下(時)	発生有効積算 温度(℃・時)	
孵化 (14)	12.6	156	孵化幼生を分離する。
頭足部90°の振れ (21)	32.1	398	幼殻完成直後のヴェリジャー幼生。これ以降, 篩を用いた飼育水の交換ができる。
第1上足触角の形成 (33)	64.9	805	匍匐個体が現れる。
吻の一部となる突起の出現 (36)	74.6	925	着底能力が備わる。採苗に供することができる。
頭部触角第3小突起の出現 (39)	85.5	1030	変態開始個体が現れる。
頭部触角第4小突起の出現 (41)	99.0	1228	形態変化が終了。着底条件が整わない場合は, 変態延期を行う。

( ) 内の数字は図1-12の形態形成番号を示す。

(関・菅野 (1977) より作成)

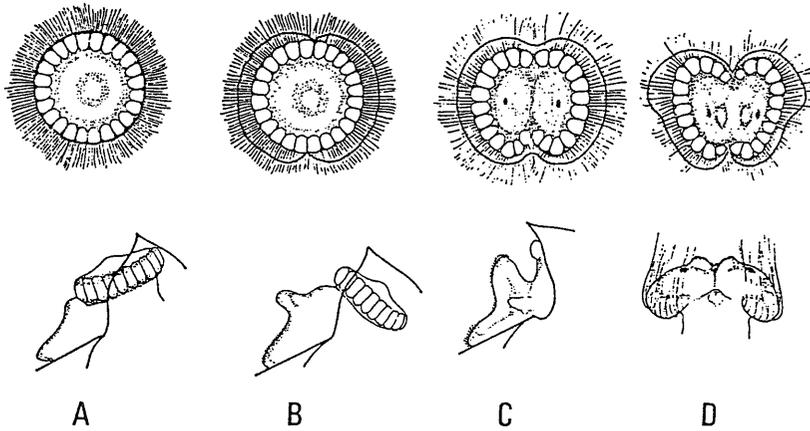


図1-36 エゾアワビのヴェリジャー幼生の付着変態に伴う面盤，足の形態変化  
A, B: 浮遊生活 C: 浮遊-匍匐生活 D: 付着生活初期 (小山, 1982)

(図1-36) などである。EATD  $925^{\circ}\text{C} \cdot \text{時}$ 以降で採苗に使用できる。 $1,400^{\circ}\text{C} \cdot \text{時}$ をすぎると飼育容器の壁に着底する個体が出現し、取扱いが面倒になるので、実際には $1,000 \sim 1,200^{\circ}\text{C} \cdot \text{時}$ 、 $20^{\circ}\text{C}$ 下では受精後80~100時間の範囲で採苗水槽に収容する。EATDに基づいて採苗適期が予測できるので、幼生の飼育水温を操作し、採苗時間を人間の労働時間に合わせて設定することが可能になった。飼育適水温はアワビ類では $17 \sim 20^{\circ}\text{C}$ 、ギンタカハマガイでは $23^{\circ}\text{C}$ 以上(工藤ら, 1994)である。

## (7) 初期稚貝の育成

### 1) 底生期幼稚体

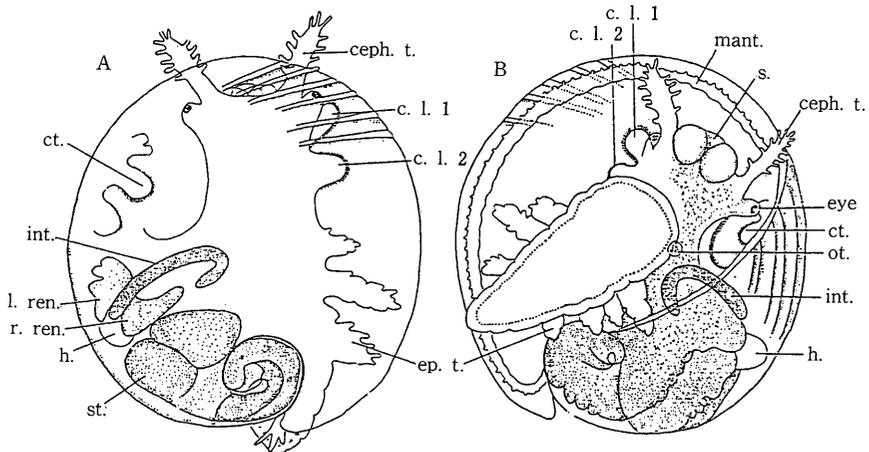


図1-37 上足の分化が進んだクロアワビ幼稚体の形態 (殻長 $0.88\text{mm}$ )

ceph. t. : cephalic tentacles 頭部触角, c.l.1 : first ciliary robe 第1繊毛葉, c.l.2 : second ciliary robe 第2繊毛葉, ct. : ctenidium 本鰓, ep. t. : epipodial tentacle 上足触角, eye : 眼, h. : heart 心臓, int. : intestine 腸, l. ren. : left renal organ 左腎臓, ot. : otolith 平衡器, r. ren. : right renal organ 右腎臓, s. : snout 吻, st. : stomach 胃

(猪野, 1952)

アワビ類（猪野，1952）の幼貝の形態を（図1-37）に示す。アワビ類の呼水孔列形成の観察（高橋・小畑，1986）（図1-38）によれば，第1呼水孔の形成は殻長1.7~1.9mmの範囲で始まる。第4呼水孔は殻長3.4~3.8mmで完成し成貝と同数になると共に，第1呼水孔の閉塞が始まる。呼水孔列の形成後，成長速度はそれまでの50 $\mu$ m/日前後から150~200 $\mu$ m/日へ急速に上昇する。サザエでは，殻高2mm前後に成長すると摂餌量が急速に増大する（岡部ら，1989b）。

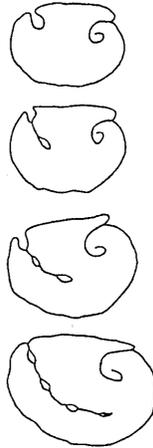


図1-38 エゾアワビ幼貝の呼水孔列の形成

（高橋・小畑，1986）

## 2) 摂餌圧下の付着性珪藻類の遷移

付着性藻類を培養しながら稚貝の育成を図る技術の確立には，藻類の遷移や藻食動物との関わり，その法則性を把握しておくことが必要である。最近，この分野で興味深い研究（河村，1991，1993，1994；河村・菊地，1992）が進んでおり，以下に概要を紹介する。

珪藻は酸性多糖類を主成分とする粘液物質を分泌して基質に付着したり群体を形成したりする。付着珪藻の付着形態 growth form（陸上植物では成長型という）が，群体形成の有無と群体の形状，粘液の分泌様式，運動性，付着力の4つの性状からA~Hの8型に分類されている（河村，1994）（図1-39）。A~Gは羽状類，Hは円心類である。

A型：単体。蓋殻の全面で基質に付着。活発な滑走運動を行う。付着力は弱い。*Navicula* 属，*Nitzschia* 属。

B型：単体。蓋殻の全面で基質に付着。縦溝を持ち運動するが活発ではない。付着力は極めて強い。*Cocconeis* 属。

C型：単体または付着部位を共有する小群体。粘液で基質から立ち上がるように付着。運動性はなく，付着力は弱い。*Asterionella* 属，*Bacillaria* 属，*Fragillaria* 属，*Grammatophora* 属。

D型：多細胞が連結して群体を形成。運動性をもつ種類もあるが基質との付着部位が移動することはない。付着力は弱い。*Synedra* 属の多く。

E型：単体または小群体。細胞の一端から分泌される粘液物質が付着柄を形成し基質に付着。付着力は強い。*Achnanthes* 属。

F型：多細胞が付着柄で連結した樹枝状群体を形成。運動性をもたず付着力は強い。*Licmophora* 属。

G型：多細胞が粘液質のチューブに入った群体を形成。細胞自体はチューブ内で活発な滑走運動を行うものもあるが、群体は移動せず付着力は強い。*Berkeleya* 属, *Navicula* 属, *Nitzschia*

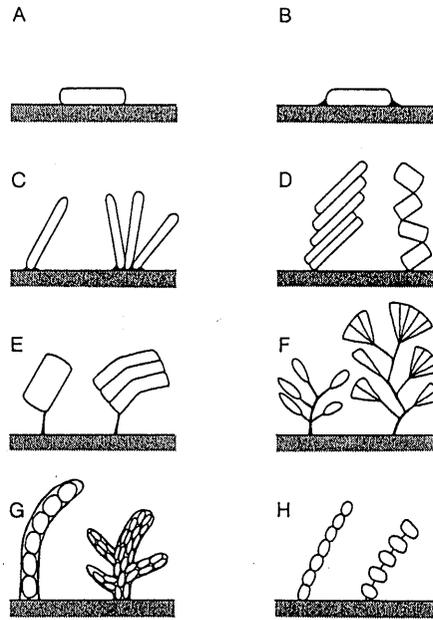


図1-39 珪藻の付着形態  
(河村, 1994)

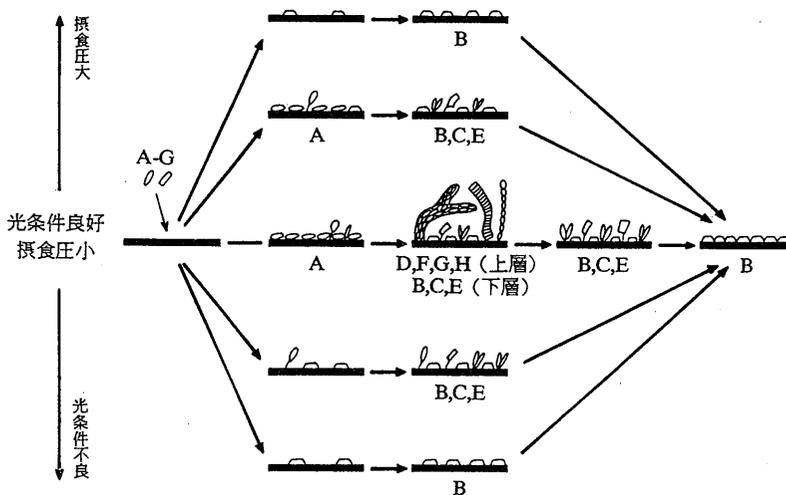


図1-40 付着珪藻群落の遷移過程の模式図  
(河村, 1994)

属の一部。

H型：多細胞が連結した糸状群体を形成。末端細胞で基質に付着。運動性はなく付着力は弱い。*Melosira* 属。

滑走運動（毎秒1～25 $\mu\text{m}$ ）は、蓋殻上に縦溝を持つ種類だけが、そこから粘液を分泌して行い、基質上に粘液物質の軌跡を残す。基盤上の付着珪藻群落の観察から、珪藻はまずA型が優占し、次いでD型・E型・G型の珪藻が増加し、最終的にはB型の珪藻が優占する遷移系列が見られた（河村，1994）。各付着形態によって増殖速度や光の要求性、藻食性巻貝による摂食され易さ等が異なり、そのため時間の経過に伴って遷移が起るものと考えられている。光条件が悪い場合や摂餌圧が強い場合は大きな群体を形成するD, F, G, Hは減少した。巻貝がいるとB型の種が常に極相を形成する（図1-40）。アワビ幼生の着底と変態の観察では、幼生が速やかに高率で着底し、最終的な変態率、周口殻形成率の高かったのは、主に平面的な群落を形成するA型とB型に対してで、特にB型に対しては安定して高かった。一方、A, B型以外の珪藻からなる立体的な群落に対しては着底しても変態せず死亡する個体が多かった（河村・菊地，1992）。

着底・変態したアワビはすぐに摂餌を開始する。殻長350 $\mu\text{m}$ 前後より珪藻細胞も摂取し始めるが、B型では摂餌効率が悪く、殻長500 $\mu\text{m}$ でも粘液をなめるだけの場合も多い。A型の珪藻を餌料とした場合、ほぼ一定の速度（30～50 $\mu\text{m}$ ）で成長した。殻長1mm程度までは珪藻の細胞質を栄養源としているのではなく、主に粘液を摂餌していると考えられ、A型の珪藻のように粘液を多く生産するもので成長が速く、粘液をあまり生産しないB型では遅いと考えられている。殻長1～3mmの稚貝では、一般にA型やC型の珪藻で成長が遅い。A型やC型の珪藻は付着力が弱く、珪藻細胞は壊れることなく稚貝に摂取される。しかし、稚貝は消化管内で珪藻細胞を分解できないので、これらの型の珪藻は栄養源と出来ない。殻長1mm以上の稚貝は、極相を形成する付着力の強い珪藻を主な餌料とすることが示唆されている（河村，1993）。珪藻の主な分類形質は蓋殻の微細構造であり、酸で処理（高野・南雲，1987）して電顕により観察する。日本沿岸の36種が記載されている（河村・平野，1989）。

### 3) 採苗用藻類の培養

採苗器（餌料藻類培養器）に付着性微小藻類を培養し、幼生を採苗する。採苗器の仕立て方は、場所により様々で現在までのところ統一的なモデルはない。代表的ないくつかについて述べる。

アワビ稚貝の摂食圧下で増殖してくる藻類（2次藻類：*Ulvela*, *Myrionema*, *Cocconeis*等）は、幼生の着底を誘起する作用をもち、採苗用に用いられている。この場合、これらの餌料のみでは殻長400 $\mu\text{m}$ 以降の成長は緩慢で、むしろ着底以降の稚貝の成長を抑制する作用を示し、良好な成長には*Navicula*, *Nitzschia*等の小型の珪藻類の増殖が必要である（関，1993）。

#### ①足蹠分泌粘液物質

アワビ類で、稚貝の摂餌していた培養板を採苗に使うと、幼生の付着率が著しく高くなる現象が知られていた（井岡，1975）。これはその後、幼生が稚貝の足蹠から分泌される粘液物質 mucous trail に属特異的に付着する現象（関・菅野，1981b）であることが判った。エゾアワビの幼生は稚貝を匍匐させたプラスチック板に着底するが、未処理の板には着底しない（表1-2）。着底率は珪藻類の存在でさらに高まる。

付着性珪藻類 *Licmophora*, *Achnanthes*, *Navicula*, *Nitzschia* などが立体的な群集（1次藻類）を形成している板を、アワビ稚貝の摂餌活動（放養密度227個体（殻長9~13mm）/m<sup>2</sup>板面積）にさらすと、これらは20日前後で珪藻類の *Cocconeis* や褐藻類の *Myrionema*（ナガマツモ目）の優占する群集（板上に密着した2次藻類）に遷移していく（庵谷・鈴木, 1987, Suzuki *et al.*, 1987）（図1-41, 42）。この動物と植物の相互関係を利用し、2次藻類を培養しながら mucous trail を付着させた板（なめ板）を採苗に使用する。採苗水槽に投入する幼生数は2次藻類を使用した場合、珪藻類単用に比べて1/4~1/2である（石川, 1985）。

表1-2 エゾアワビ足跡分泌粘液物質 mucous trail による  
ヴェリジャー幼生の着底誘起効果

足跡粘液物質 の性状	着底幼生数			
	3時間後		22時間後	
	実験区	対照区	実験区	対照区
Grazed* <sup>1</sup>	292	4	420* <sup>5</sup>	1
Grawled* <sup>2</sup>	176	8	66	6
Adhered* <sup>3</sup>	12	1	9	1
Rubbed* <sup>4</sup>	2	0	5	6

\* 1 : 稚貝が珪藻類を摂餌する間に分泌されたもの

\* 2 : 稚貝が匍匐する間に分泌されたもの

\* 3 : 稚貝を板上に軽く押しあて得られたもの

\* 4 : 稚貝の足跡面を板にこすりつけて得られたもの

\* 5 : 供試幼生全数

供試幼生の発生有効積算温度：1,030℃・h

（関・菅野, 1981 b）

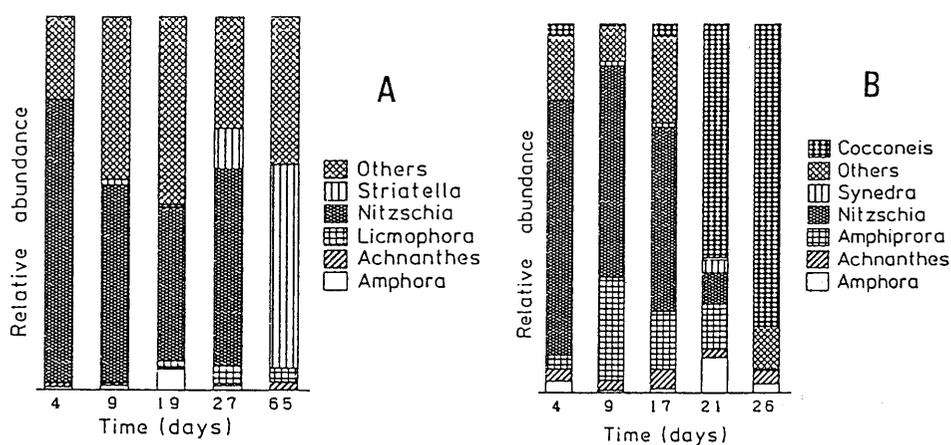


図1-41 クロアワビ稚貝飼育波板上の主な出現藻類の相対的な消長  
横軸は実験開始からの日数。

A : 稚貝を付着させなかった板（コントロール）

B : 稚貝を付着させた板

（庵谷・鈴木, 1987）

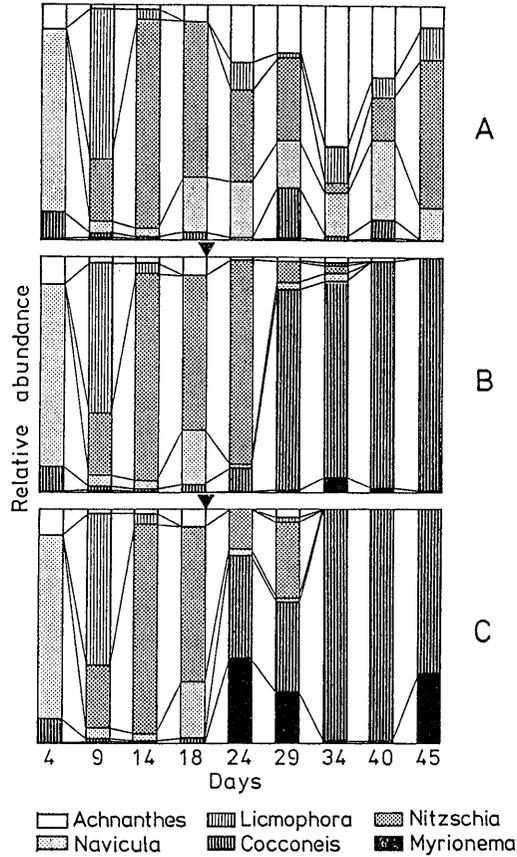


図1-42 波板上に出現した付着性藻類の相対的な消長

A：巻貝を付着させなかった板， B：エゾアワビを付着させた板， C：イシダタミガイを付着させた板， 18日目までは同一の板， 矢印の18日に巻貝を投入

*Achnanthes* : *A. javanica* f. *subconstricta*, *A. Kuwaitensis*,

*Licmophora* : *L. abbreviata*, *Nitzschia* : *N. closterium*, *N. acicularis*,

*Navicula* : *N. ramosissima*, *Cocconeis* : *C. costata*, *C. scutellum* and *C. sublittoralis*,

*Myrionema* : → *Myrionema* sp.

(Suzuki et al., 1987)

## ②アワビモ *Ulvella*

アワビ稚貝の育成水槽中で春季にウルベラ *Ulvella lens* (緑藻綱カエトフォラ目カエトフォラ科アワビモ属) (標準名としてアワビモ (能登谷, 1983) が与えられた) が優占する板を取り出して母藻とし培養して，アワビの春採苗 (高橋, 1986; Takahashi and Koganezawa, 1988) やウニ類 (名畑, 1993) の採苗に用いられている。アワビモには有性世代がなく，無性世代だけを繰り返す (図1-43)。西洋梨型の遊走子 (図1-43, A) は赤色の眼点と4本の等長な鞭毛をもち走光性がある。基質に着生後4~5分以内で鞭毛を消失し，4~5  $\mu$ mの大きさの着生孢子 (B) になる。孢子は発芽して盤状体 thallus (C, D) に成長する。盤状体の成長は日数に対し直線的で，成長速度は4~6  $\mu$ m/日 (西浜, 1981) である。盤状体の直径が20~30  $\mu$ mで遊走子始原細胞が，50  $\mu$ m位で遊走子嚢がそれぞれ分化する。成熟，

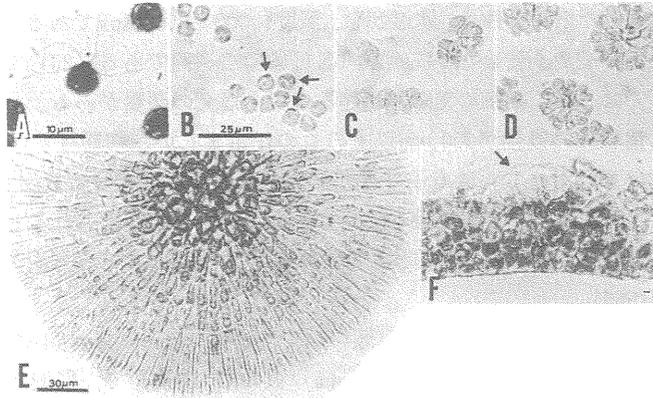
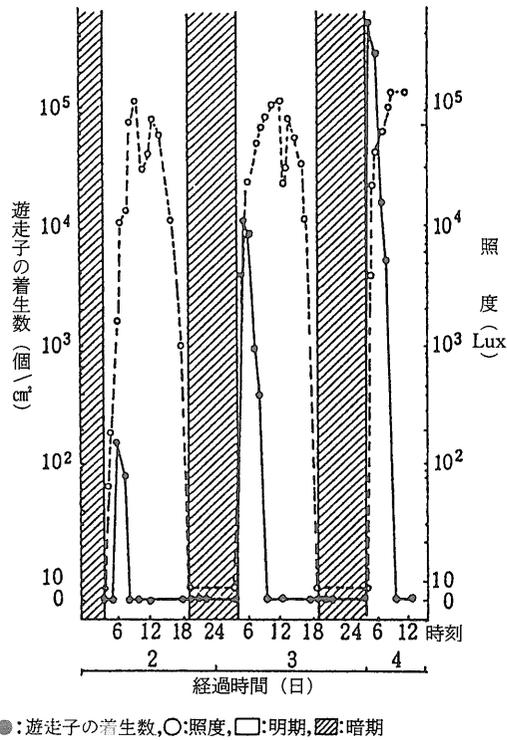


図1-43 アワビモ *Ulvella lens* の生活史

- A 4本の鞭毛を持つ遊走子
- B 着生した遊走子
- C 着生後1日
- D 着生後6日
- E 成熟体
- F Eの垂直断面, 矢印は遊走子が出たあとの細胞  
(能登谷, 1983)



●: 遊走子の着生数, ○: 照度, □: 明期, ▨: 暗期  
図1-44 自然光周期下におけるアワビモ *Ulvella lens* の遊走子の放出  
(高橋, 1986)

成長に最も適した培養条件は、水温20℃、照度1,000~8,000luxである(能登谷, 1983)。20℃下では着生から遊走子嚢をもつ成熟体(E)まで2週間である。25℃では小型で成熟する。直射日光下では、縁辺細胞に光障害が起るので、遮光の必要がある。

採苗には盤状体の直径が200 μm以上のものが望ましい。初期稚貝は着生孢子から4細胞期までの幼体を利用する。遊走子は夜間形成され、明期開始時に放出される(図1-44)。遊走子の放出は水温15~20℃で最も活発である。遊走子が放出されると餌料価値が下がるので、幼生の着底、変態と遊走子の放出を光周期により同調させる方法が詳しく検討されている(高橋, 1986)。

アワビモ単用では幼生の着底率が低いので、稚貝の mucous trail の効果を併用する。その際の稚貝の放養密度は、10個(殻長15mm)/板(25×75cm)で、期間は4日で十分である。遊走子の放出誘発から採苗に供するまでに40日を要する。

初期餌料としてアワビモと珪藻を附着させた採苗板で、80%の遮光を行いよい結果を得ている(川嶋・磯野, 1991)。採苗が夏に行われるフクトコブシにおいても採苗にアワビモが用いられている(有馬, 1994)。

### ③ *Myrionema*

*Myrionema* sp. (褐藻ナガマツモ目)の発芽体の出現盛期である6,7月に海水中にポリエチレンフィルムを垂下することで、容易に発芽体が得られる(四井, 1978a)。この小片を新しいフィルムを収容した水槽内へ垂下すると、フィルム上に1~2ヵ月後、多数の母藻が確保できる。培養板への展開は母藻を用いて同様の方法で行う。*Myrionema*の餌料価値は珪藻類と比較して、殻長1~2mmの稚貝ではやや劣ったが、3mm以上の稚貝では同等であった。着生量は100cm<sup>2</sup>当り160mg(乾重)が上限で多くはなく、殻長数mmまでの過渡的な餌料藻とするのが妥当と考えられた(四井, 1978b)。

### ④ *Cocconeis*

*Cocconeis* sp. は止水では単種株の長期保存が困難である。*Cocconeis* sp. を稚貝飼育槽で夏季まで保存して種板を作り、種板をもとに培養板に短期に大量に展開する方法が試みられている(山本ら, 1984)。

クロアワビを飼育中の *Cocconeis* sp. の着生している培養板30枚を枠に入れて、6月に水槽(5×1.5×0.8Hm)に収容する。これに稚貝(殻長3~8mm)1,000個体を放し、遮光(60%)して、流水とし、順次新たな培養板を加える。板は7月下旬より2~3日毎に取り上げ、激しく海水洗浄し、固着力の強い *Cocconeis* sp. の優占的な生育を促す。15日後に濃色の種板ができる。8月中旬より培養板に大規模に展開する。初めの10~15日間は栄養塩(KNO<sub>3</sub> 4g, Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> 5.6g, Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> · 12H<sub>2</sub>O 3.4g)を加えて止水とする。次いで、遮光(60%)し、流水培養を行う。*Cocconeis* sp. は止水期間中に板面に張り、流水にすると急速に増殖して、流水移行後1週間で採苗に十分な量に達する。板上には流水移行後2週間頃から他種の混生が始まるので、流水移行後数日の板を使用するようにタイミングを合わせる必要がある(山本ら, 1984)。

*Cocconeis* sp. の培養条件が検討されている(大貝ら, 1992)。増殖が最も活発であったのは水温25℃、pH 8.5、塩分29.4%であった。光質は青色光がよく、光量は100 μE/m<sup>2</sup>/sが好適であり、栄養塩類では無機態窒素と微量金属が必要と認められた。培養した *Cocconeis* sp.,

*Navicula ramosissima*, *Nitzschia closterium* を用いた採苗では, *Cocconeis* の着底率が優れ, 次いで *Navicula* であった。変態後17日まで観察を続けたが, この間の成長も *Cocconeis* が最も良かった (大貝ら, 1991)。

⑤ *Navicula*

摂餌開始時の稚貝の口径は $30\mu\text{m}$ 以下, 1週間後 $70\mu\text{m}$ 程度 (関, 1978) なので, 着底初期の餌料の要件の1つは大きさである。普通にみられる珪藻類の大きさ (被殻 frustule の長さ) は *Navicula*  $15\sim 50\mu\text{m}$ , *Cocconeis*  $20\sim 60\mu\text{m}$ , *Nitzschia*  $5\sim 40\mu\text{m}$ , *Grammatophora*  $80\sim 100\mu\text{m}$  位である。運動性のある *Nitzschia* sp. は小型であっても採苗には不適のようなのである (金沢ら, 1984)。

大きさ $15\sim 20\mu\text{m}$ 以下の *Navicula* sp., *Amphora* sp. を分離, 保存し, 必要に応じて中間培養して, 採苗水槽に展開する方法がとられている (柳橋ら, 1986)。採苗板への珪藻付けは産卵を確認してから行う。採苗板の珪藻密度と幼生の着生数の関係は,  $5,000\sim 7,000\text{ cells/mm}^2$  で斑状群落が発達する状態が良く,  $20,000\text{ cells/mm}^2$  以上の濃い板や,  $500\text{ cells/mm}^2$  以下の板への付着は少ない (柳橋ら, 1986)。幼生の着定率は珪藻の付着量と明瞭な関係がある (柳瀬, 1982)。培養板のクロロフィルa量は $0.1\mu\text{g/cm}^2$ でもっともアワビ幼生の着底率と生残率がよかった (門間, 1982)。

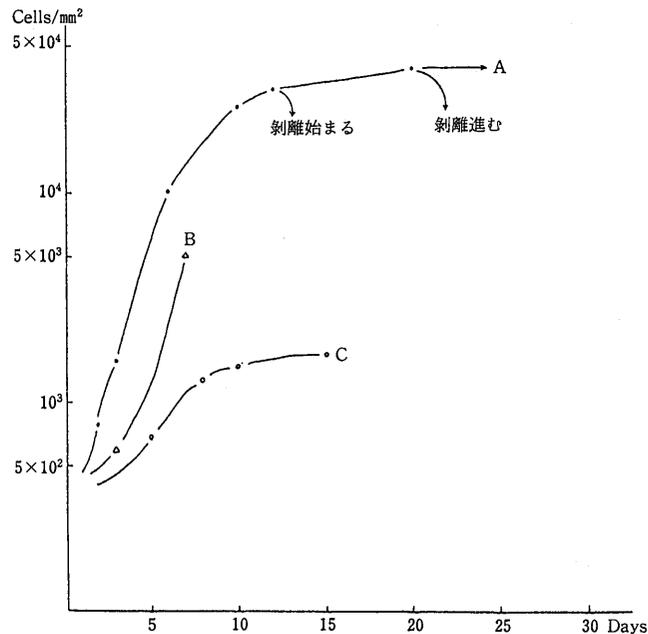


図1-45 波板上の *Navicula* sp. (長さ $40\sim 50\mu\text{m}$ ) の増殖

A : 200 億細胞投入,  $60,000\text{Lux}$

B : 50 億細胞投入, “

C : 200 億細胞投入,  $2,500\text{Lux}$  (遮光区)

屋外10トン水槽 (波板 $30 \times 60\text{cm}$ , 800枚収容), 給水4トン/h, 水温 $18\sim 19^\circ\text{C}$ ,  
1982.11.6培養開始

(柳橋ら, 1986)

*Licmophora* sp., *Synedra* sp., *Grammatophora* sp., *Melosira* sp. などが優占し、フワフワ状態、あるいは、ケバだった状態のもの、また ciliata の繁殖が著しい板へはほとんど付着しない。採苗直前に、板は海水を強く吹きつけて洗浄する。培養後 8 日以上を経た板を使用する際は、スポンジで珪藻をすりおとし、洗浄してから使用する (柳橋ら, 1986)。

珪藻の増殖は誘導期、対数増殖期、定常期、衰退期に分けられる。増殖速度は種類、日照、栄養塩濃度、水温によって様々である。一例を図 1-45 (柳橋ら, 1986) に示す。図中の培養板 (波板 30×60cm) 1 枚当りの珪藻の現存量 (湿重) は、12 日目 17g, 20 日 26g で、5~53g の範囲にあり、普通 20~30g である。板 1 枚当りの生産量は、12 日目までは 1.42g/日, 20 日目までは 1.30g/日で、定常期の生産量は 0.3g/日/板以下に低下する。稚貝のいない板の生産量は 0.3~1.7g/日である。

付着珪藻の群集は定常期に至ると剥離が始まる。下層の細胞は光が当らなくなり斃死し、その上の個体とも基質から脱落する。

培養板上の珪藻は、始めは投入した種が優占するが、次第に他の種類に置き変わっていく (図 1-46)。 *Navicula* spp. の小型 (15~18 μm) のものと、大型 (40~50 μm) のものとの

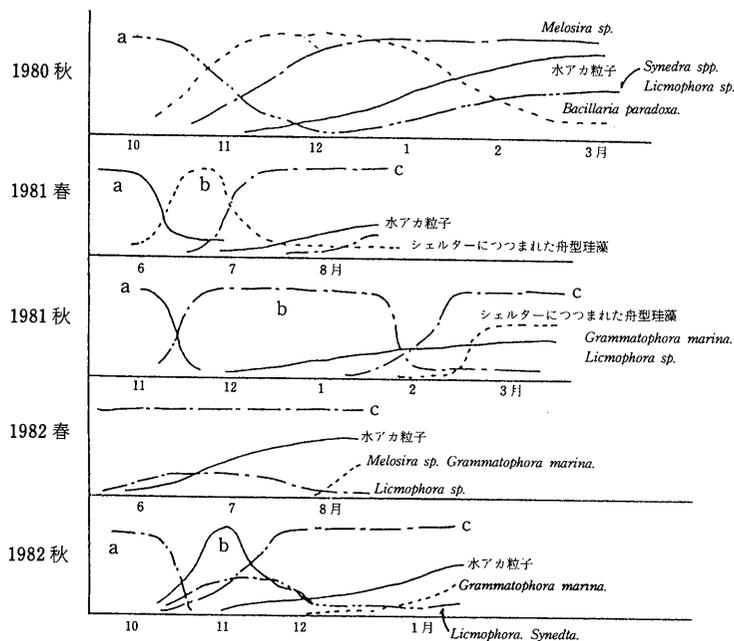


図 1-46 クロアワビ稚貝を飼育中の波板上の付着性珪藻群落の遷移

1980年秋 a : *Amphora* sp., *Navicula* sp.

1981年春 a : *Amphora* sp.,

*Navicula* sp. (10-15 μm), b : *Navicula* sp. (40-60 μm), *Nitzschia closterium*, *Achnanthes* sp., *Synedra* sp., *Melosira* sp.,

1981年秋 a : *Navicula* sp. (10-15 μm), b : *Nitzschia* sp. を中心とした魚種混合フローラ

1982年春 *Cocconeis* sp. を接種

1982年秋 a : *Navicula* sp. (15-18 μm), b : *Navicula* sp. (40-50 μm), c はいずれも *Cocconeis* sp.,

縦軸は優占度.

(柳橋ら, 1986)

は、前者の増殖速度が大きい<sup>3</sup>が、剥離が始まる時期も早い。投入珪藻は3週間程度で消え、大きさ40 $\mu$ m前後の多種の珪藻が優占する。最後は *Cocconeis* sp. が優占し、*Grammatophora marina* や、シェルターに包まれた舟型珪藻が出現する。これら優占種交代の主因はアワビ稚貝の摂食活動にあると考えられている(柳橋ら, 1986)。

以上のように、採苗板の仕立てと初期の植物相 flora の維持には様々の方法が用いられており、それぞれ一長一短がある。培養した珪藻類を用いる方法は短期間で採苗板の準備ができ、珪藻自体の餌料価が高く稚貝の成長がよい。やりなおしが簡単で、動物などによる汚染が少ないなどの長所があるが、基質(プラスチック板)への固着力が弱く、剥離の心配がある。*Ulvela*, *Myrionema*, *Cocconeis* などを用いる方法は、これらの固着力が強いので、上層に珪藻類を増殖させることで群落の安定を得ているものと思われる。mucous trail の利用は幼生の着定率を向上させ、採苗率の安定に貢献した。しかし、これらの方法は採苗板の仕立てに時間を要し、この間、稚貝に由来する管棲多毛類 *Serpula* など付着動物による板の汚染が進行することがあるなどの短所がある。また、これら微小藻類自体の餌料価値は高くはないものと思われ、そのままでは稚貝の成長はよくない。

培養板上の植物相は、地域の海水性状や季節、気象、貝類の飼育密度、飼育方法などの影響を受けるので、モデル的な方法の適用が難しい。地域毎に最適の方法を確立する必要がある。特に採苗から呼水孔形成期の種苗の成長と生残は、植物相や動物に大きく左右されるので、この間の減耗防止が、種苗生産の工程上で、なお最も重要な解決すべき課題である。

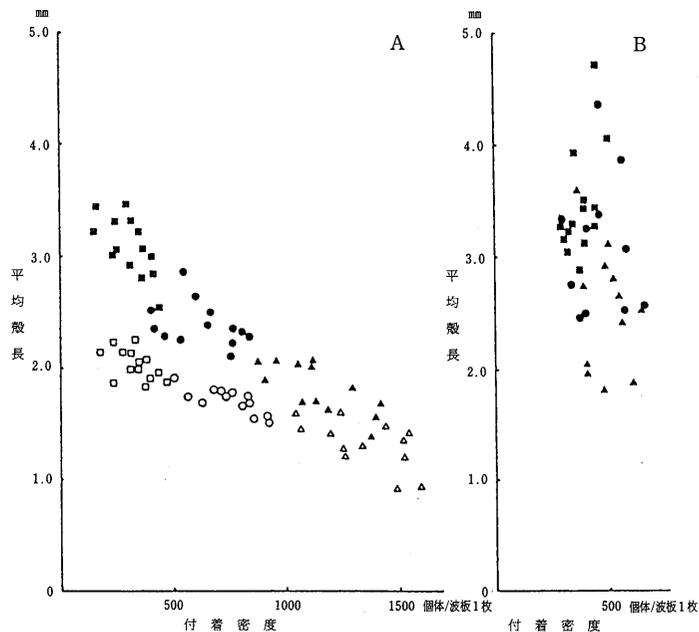


図1-47 クロアワビ稚貝の附着密度と平均殻長

A: 採苗29日後(白抜き)と50日後(黒印)

B: 採苗71日後

四角, 丸, 三角印は, 採苗29日後の附着数によって類別した波板群のそれぞれ  
a(1枚当り附着数500個未満), b(同500~599個), c(同1,000個以上)を指す。

(山本ら, 1985)

採苗率を高位安定させるために、幼生の着底率に優れた固着性の強い種類（単種または複数種の併用）の検索と、培養法の確立が望まれる。また、着底効果をもつ化学的刺激を併用する方法が検討されてよい。稚貝の付着力が発達する呼水孔形成期以降は *Navicula* 等の餌料価に優れた珪藻類を優占的に維持する技術が必要である。*Navicula ramosissima* は調べた9種の中で最も増殖特性、群集の安定性に優れており、稚ウニ用餌料として使用されている(伊東ら, 1987a,b)。付着性珪藻類の分離保存法が検討されている(伊東・中尾, 1987)。

#### 4) 採苗密度

採苗初期のクロアビの培養板(50×40cm)上の付着密度と殻長の関係は図1-47のとおり、採苗29日目まで(区間平均水温19.4℃)の日間成長速度(μm/日)はa群(付着数500未満)63, b群(500~999)53, c群(1,000以上)38であった。この間、cでは採苗後2週間で *Navicula* の厚い群落が摂餌と剝離により消失し、餌料不足となった。採苗後30日から50日の間(平均水温17.3℃)の日間成長速度(μm/日)はa51, b36, c25で、aとcの差が顕著である。50日後にはいずれの板上でも *Navicula* は消失し、*Cocconeis* が繁茂した。55日ころから大型の *Grammatophora marina* が急速に増殖し、板の全面を覆った。このため半数以上の稚貝

表1-3 海水の栄養塩含量

(単位: ppb)

海 域	NH <sub>4</sub> -N	硝酸態 N	磷酸態 P	珪酸態 Si
オホーツク海	3~20	40~200	6~60	200~700
宗谷暖流水	4~20	6	6	100
三陸沿岸	—	60~200	30~50	300
対馬海峡	10~100	—	3~20	—
日向灘	10	10~200	30~60	—
五ヶ所湾	1~80	1~80	0~100	80~1400

参考資料: 「日本全国沿岸海洋誌」(日本海洋学会沿岸海洋研究部会編), 1,106pp. 東海大学出版会(1985)

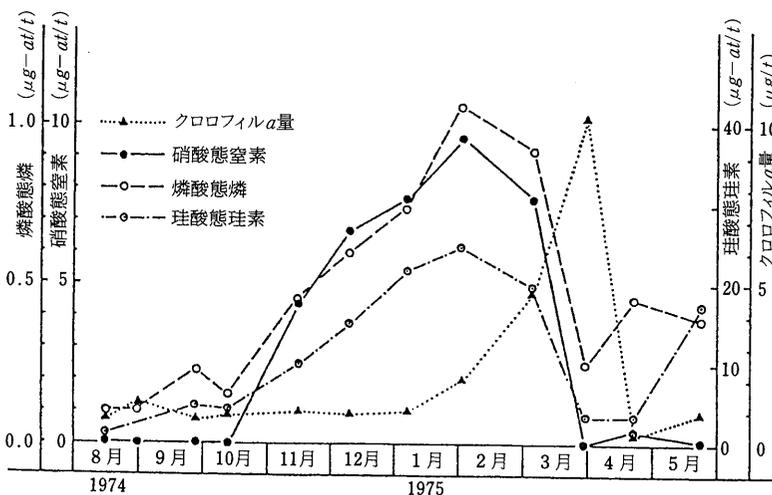


図1-48 海水中の栄養塩含量とクロロフィル a 量の季節変化  
北海道鹿部沖1.7km, 表層, 5m層, 15m層の平均

(西浜, 1975)

が脱落し斃死した。a, bでは *G. marina* の増殖は多くなく、大型稚貝は他の板や水槽壁へ移動するものが多かった。採苗71日後の付着数と殻長の間にはもはや明確な相関が認められなくなった。付着数の範囲が縮小し、cでは脱落により個体数の減少が著しい。このように高密度では成長、生残が悪く、不良珪藻の増殖をまねくので、適正な付着密度 (300~400個/枚) の維持が重要である (山本ら, 1985)。

### 5) 施肥基準

餌料価値に優れた珪藻類の優占的な培養には、天然海水の栄養塩含量 (表1-3) では不十分で、施肥を行う必要がある。

北海道の噴火湾岸の栄養塩の季節変化は図1-48のようなものである。この海水を用いて流手下で、付着珪藻の増殖速度と栄養塩濃度の関係を実験した例では、効果的な施肥濃度は、N:0.14ppm, P:0.031ppmで (西浜・岩崎, 1974), これらの量は沖合水の栄養塩量の最大値に相当した。珪藻の増殖曲線を比較するのに用いられる生育速度定数K (齊藤, 1974) は、窒素源単独または燐源との併用添加により、1.5~3.0倍に高められた。次式で示されるK値は1日間に現存量が倍化する回数を示す。

$$K_g = \frac{\log N_2/N_1}{t_2 - t_1} \quad K = \frac{2.30}{0.69} K_g$$

ここで、培養日数  $t_1$  および  $t_2$  のときのクロロフィル量をそれぞれ  $N_1$  および  $N_2$  とする。生海水区の生育速度定数  $K_o$  に対する、栄養塩添加区の生育速度定数  $K_n$  の比 ( $K_n/K_o$ ) を増殖促進率として図1-49に示した。

主な施肥原料を表1-4に示す。施肥基準は海水の栄養塩含量や給水量とも関係して複雑であるが、施肥効果は生育速度や増殖量ばかりでなく、出現する種、藻体の栄養価値などの化学組成にも及ぶ。採苗と初期餌料に適した珪藻の培養、維持技術の確立は重要であり、各地先で施肥基準を求めておく必要がある。

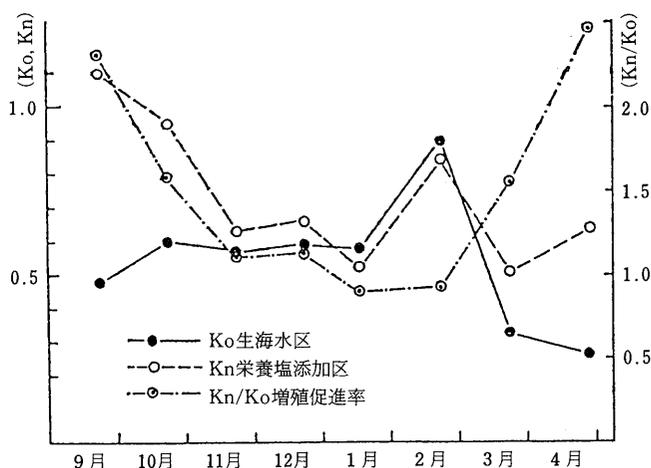


図1-49 付着珪藻の生育速度定数 (K) と栄養塩添加による増殖促進率 ( $K_n/K_o$ ) の月別変化 (西浜, 1975)

表1-4 施肥用原料の種類と価格

種 類	分 子 式	成分含有率(%)	単 価 (20kg詰)	目的成分1kg 当りの価格	
N 肥	硫酸アンモニウム	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	N : 28/132=21.2%	710	167
	尿素	(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> CO	N : 28/60=46.6%	1,380	148
	硝酸カリ	KNO <sub>3</sub>	N : 14/101=13.8%	32,000	11,594
P 肥	第2 燐酸ソーダ・12水塩	Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> ・12H <sub>2</sub> O	P : 31/358=8.6%	24,000	13,953
	過燐酸石灰	(P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 17%)	P : 7.4%	780	527
	熔成燐肥	(P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 20%)	P : 8.7%	1,130	647
Si 肥	メタ珪酸ソーダ・9水塩	Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> ・9H <sub>2</sub> O	Si : 28/284=9.8%	32,000	16,327
	水ガラス	Na <sub>2</sub> O, SiO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O : 1 mol,	28,000	≒16,000
	(珪酸ナトリウム溶液)		SiO <sub>2</sub> : 2~4mol		

栄養塩を添加した海水（施肥量 ppm：N21, P1.1, Si 8.8）で止水培養した珪藻を使用し  
たときの稚ウニの採苗率は極端に低いが、栄養塩濃度を1/10に下げて止水培養に切り替えて使  
用すると採苗率が向上した。細胞の活力や色素体の大きさと関係があるらしい（伊東ら、  
1987b）。アワビ類で同様のことが起るかどうかが点検する必要がある。

#### 6) 培養板上の動・植物の駆除

餌料として不適な藻類が生育した場合の駆除法として、プラシノ藻類の *Prasinocladus mari-*  
*mus* の増殖防止には遮光で（高橋，1986），大型珪藻類の *Grammatophora* sp. の駆除には培養板  
の淡水への浸漬（梶川，1985）で，それぞれ対応した。

培養板上には剝離に前後して，原生動物の繊毛虫類 ciliata，袋形動物の線虫類 nematoda，匍  
匐性の橈脚類 copepoda (*Tigriopus*, *Tisbe*) などの繁殖が始まる。これらは餌料を競合し，繊  
毛虫類や線虫類は稚貝にもとりついて減耗の要因となる。珪藻群集の劣化とこれらの増殖を抑  
えるために，培養板を定期的に海水を吹き付けて洗い，過剰な珪藻を落して増殖期の状態を維  
持するように努める。稚貝の殻長0.7mm位では，洗い流しによる稚貝の脱落は少なく（1個/  
枚以下），ネットで回収し再付着させることもできる（柳橋ら，1986）。コペポーダは培養板を  
水道水に約10秒浸すことにより除去でき，稚貝（殻長1mm）の斃死もなかった（石川，1985）。  
マラカイトグリーンを用いて橈脚類と繊毛虫類の駆除を試みた例（天神，1978）がある。種苗  
生産過程で出現する原生動物は，前田（1987）に詳しい。

#### 7) 培養板の材質と採苗成績

培養板上に形成される植物相の種類や生産性は，板の材質や厚さと関係があるが詳しく検討  
されていない。珪藻の培養開始後1週間目の藻類の培養速度（クロロフィルa量で比較）は，  
ポリカーボネイト製平板培養基が塩ビ製に比べ2倍であった（有馬，1994）。塩ビ製波板とポ  
リカーボネイト製波板では，前者の剝離時生産稚貝数が後者のほぼ2倍であった（山本ら，  
1983）。材質により微小藻の種類が異なり，稚貝の生残，成長に影響を与えたものと思われる。

#### (8) 後期稚貝の育成用餌料

呼水孔形成以降の稚貝の育成に用いられる餌料に関する知見を整理した。

##### 1) 付着性微小藻類

一般に，*Navicula* や *Nitzschia* の餌料価値（成長効果）は高く，殻長10mm前後の稚貝では，

これらの摂食により日間成長速度 $200\mu\text{m}$  (20℃下) 以上を示す (浮・菊地, 1979)。Navicula と プラシノ藻 prasinophyceae の Prasinocladus marinus の混在している培養板では, エゾアワビは前者を選択的に摂食する。

海藻の発芽体や藍藻のクロアワビ稚貝に対する餌料価値 (前迫ら, 1984) を調べた結果では, アオノリ類 Enteromorpha sp., ハバノリ Endarachne の初期発芽体や藍藻の一種 Entophysalis などが優れていた。藍藻の Aphanocapsa litoralis では, 稚貝は嫌忌行動を示し, 全く成長せず, 斃死率も高かった。

## 2) 海藻類

海藻類のアワビ類に対する餌料価値 (藤井ら, 1986; 佐藤・能登谷, 1988; 浮ら, 1982; Uki et

表1-5 エゾアワビにおける海藻類の餌料価値

種類 ランク	褐	藻	緑	藻	紅	藻												
A	マ	コ	ン	ブ	ア	オ	ノ	リ	属	ダ	ル	ス						
	ド	テ	メ		ア	ナ	ア	オ	サ	ユ		ナ						
	ホ	ソ	メ	コ	ン	ク	ロ	ミ	ル	ス	サ	ビ	ノ	リ				
	ナ	ガ	コ	ン	ブ													
	オ	ニ	コ	ン	ブ													
	ワ	カ	メ															
	チ	ガ	イ	ソ														
B	ス	ジ	メ															
	ア	ラ	メ															
	ウ	ル	シ	グ	サ													
	ト	ロ	ロ	コ	ン	ミ			ル	フ	ク	ロ	フ	ノ	リ			
	カ	ヤ	モ	ノ	リ					ム	カ	デ	ノ	リ				
	ケ	ウ	ル	シ	グ					ヒ	ラム	カ	デ	ノ	リ			
	ア	カ	モ	ク						シ	ョウ	ジ	ョウ	ケ	ノ	リ		
C										ウ	ミ	ヅ	ウ	メ	ン			
										ミ	ツ	デ	ソ	ソ				
										イ	ギ	ス						
	ヒ	ジ	キ							マ	ク	サ						
	マ	ヨ	ロ	モ	ク					ア	カ	ハ	ダ					
D	イ	ロ	モ							オ	ゴ	ノ	リ					
	イ	シ	ゲ							オ	オ	バ	ツ	ノ	マ	タ		
	コ	モ	ン	グ	サ					マ	タ	ボ	ウ					
	ハ	ハ	キ	モ	ク	シ	オ	グ	サ	ア	ミ	ク	サ					
	オ	オ	バ	モ	ク	オ	オ	ハ	ネ	ベ	ニ	ス	ナ	ゴ				
D	ウ	ミ	ト	ラ	ノ	フ	ト	ジ	ユ	ズ	モ	バ						
	エ	ゾ	ノ	ネ	ジ	ス	ガ	モ*	ハ	リ	ガ	ネ						
	フ	シ	ス	ジ	モ	ク			イ	ソ	ム	ラ	サ	キ				
	フ	ク	ロ	ノ	リ				マ	ツ	ノ	リ						
	エ	ゾ	ヤ	ハ	ズ				カ	ギ	ウ	ス	バ	ノ	リ			
	サ	ナ	ダ	グ	サ				タ	ン	バ	ノ	リ					
	イ	ワ	ヒ	ゲ					ユ	カ	リ							
									ミ	チ	ガ	エ	ソ	ウ				
									ウ	ス	バ	ノ	リ	属				
									サ	ン	ゴ	モ	類					
									ヒ	ロ	ハ	ノ	ト	サ	カ	モ	ド	キ

\* 顕花植物

(浮ら, 1982)

al., 1986; 四井ら, 1984) や選択性 (富田, 1972; 浮, 1987) が調べられている。殻長25mm前後のエゾアワビ稚貝では、褐藻類では、ワカメ *Undaria*, コンブ類 *Laminaria* spp., アラメ *Eisenia*, スジメ *Costaria*, チガイソ *Alaria*, 紅藻類では、アマノリ類 *Porphyra*, ダルス *Palmaria*, ユナ *Chondia*, 緑藻類では、アオノリ類 *Enteromorpha*, アナアオサ *Ulva*, ミル類 *Codium* spp. などの餌料価値が高い (表1-5)。これらはいずれもヒトの食用に供されている点で興味深い。唯一の例外は、硫酸塩を含む褐藻のウルシグサ類 *Desmarestia* spp. もよく摂餌し成長することである。アワビ類では一般にコンブ目海藻の餌料価値が高く、巨視的にみてもアワビ漁場はコンブ目海藻の群落とその周辺に形成され、これらが主餌料であることは間違いない。海藻類の藻食動物に対する餌料価値は、生物的因子 (藻体の生活形・形状などの摂餌しやすさに関わる)、物理的因子 (藻体の硬さ)、化学的因子 (摂餌促進・忌避などの摂餌刺激物質の多寡) の総合された結果であるが、動物側の種や発育段階で変化する物理的な摂餌能力・選好性などと、植物側の季節や成長に伴って変化する因子との相対的な関係で変化する。一般に、ホンダワラ類 *Sargassum* spp. の餌料価値が低いのは、捕食し難く、かつ硬いため摂餌量が少ないことによる。同じ藻食動物のサザエがホンダワラ類でもよく成長し、また、ウニ類が強力な口器でもってさらに広範な海藻類を利用するのに対し、アワビ類は狭食的である。フクトコブシは、その生息域に多い紅藻のテングサ類 *Gelidium* spp. を主餌料とするが、コンブ目のアントクメ *Eckloniopsis*, 紅藻のトサカノリ *Meristotheca*, 緑藻のミル類等の分布するところではこれらも餌料とするものと思われる。セイヨウトコブシの稚貝はアオノリ類, アオサ類を好み, ダルス, アオサ類による成長が良い (Koike et al., 1979), ことから, その食性はアワビ類と大きくは変わらないようである。台湾ではオゴノリ類 *Grasilaria* やアオサ類 *Ulva* などを餌料として, トコブシの大規模な (年産数百トン) 養殖が行われている (境, 1990a)。殻長3mmのクロアワビ稚貝が塩蔵ワカメで飼育され, 日間成長量72 $\mu$ mが得られた (藤井・四井, 1989)。クロアワビ稚貝では, アナアオサ, ネバリモ *Leathesia*, イロロ *Ishige* などの餌料価値が高く, 餌料価値をもつ海藻は稚貝が大きくなると増加する (藤井, 1986)。クロアワビ稚貝の越夏飼育用餌料としてアナアオサや食べ易いように葉体に傷をつけたクロメ *Ecklonia kurome* 等が検討された (前迫ら, 1989)。

サザエに対する餌料価値 (西岡・大橋, 1977; 葭矢ら, 1987) が調べられ, 全般に紅藻類が優れ, 中でもテングサ類が良い (藤井ら, 1988, 1989) が, ホンダワラ類も利用する (藤井ら, 1989)。殻径2mm前後の餌料は成長, 量的な確保などから不稔性アナアオサが実用的である (藤井ら, 1989)。サザエ稚貝では付着珪藻の餌料効果が高いが, 殻径2mmから4mmの間ではアナアオサが同程度の効果を示し, 殻径4mmから10mmでは配合飼料と海藻を併用する方がより効果的である (真崎・伊東, 1987)。別の試験 (遠山 1980) では, 珪藻類, ツノマタ *Chondrus*, ハバノリによる成長がアナアオサよりも優れた。殻長15mmのサザエではイバラノリ, トゲイギス, テングサ類の摂餌率が高い (Fujita et al., 1990)。

育成餌料としては餌料価値に優れている上, 安定して量的に入手できるものに限られてくる。大量に餌料を必要とする養殖の場合はさらに価格が問題になる。アワビ類ではコンブ類 *Laminaria*, ワカメ *Undaria*, アラメ *Eisenia bicyclis*, カジメ *Ecklonia cava*, クロメ *E. kurome* などが用いられている。これらの海藻もワカメを除いては殻長3cm以下では歯舌の発達が不十分で摂餌率は低く, 餌料としては適当でない。

アナアオサの培養試験では、増殖率は水温25℃以下では高水温ほど高く、必要以上の施肥よりも培養密度、日照量、藻体の攪拌等の影響が大きい(難波, 1986)。不稔性アナアオサの培養条件が検討された(前迫ら, 1985; 水津・国近, 1992)。流水で施肥を行い、1日当り100~200 g/m<sup>2</sup>の収量が得られている。

ミル *Codium* の養殖技術ができている(四井・右田, 1989)。野菜のキャベツを食べさせたエゾアワビの成長はアナアオサのそれを上回った(Rho and Yoo, 1984)。

ニュージーランドではオゴノリ類 *Grasilaria* を培養してヘリトリアアワビ *H. iris* 稚貝を飼育している(浮, 1985)。台湾でオゴノリ類やアオサ類などを餌料とする、トコブシの養殖が行われていることは前述した。

海藻類の餌料転換効率(増重量/摂餌量、逆数は増肉係数)は海藻の種類により、また巻貝の成長段階により幅がある。アワビ稚貝に対する平均的な値は、褐藻類5.4%、紅藻類5.6%、緑藻類4.9%であった(Uki *et al.*, 1986)。

## (9) 海藻類の化学組成と摂餌

### 1) 一般化学組成

海藻類の巻貝類に対する餌料価値と関連が深い化学成分が調べられている。褐藻類、紅類、緑藻類の一般化学成分の各平均値は表1-6のようである(浮, 1987)。水分含量が高い種類はミル類94%、ウミゾウメン *Nemalion* 91%などで、低い種類はハリガネ *Ahnfeltia* 62%、イシゲ *Ishige* 67%などである。

粗タンパク質含量は、一般的には紅藻類が高く(19%弱)、種類別には、ケウルシグサ *Desmarestia*、スサビノリ *Porphyra*、アオノリ類などで高く、ヒジキ *Hizikia* や シオグサ *Chadophora* では低い。

脂質含量は全般に数%レベルで低いが、分類群別では緑藻類(3.9%)や褐藻類(3.2%)で高く、紅藻類(1.7%)で低い。種類別にはアミジグサ科 Dictyotaceae で高く、ツノマタ属 *Chondrus* で低いのが特徴である。

粗灰分の含量は炭水化物に次ぐ割合を占め、15%(イシゲ、マツノリ *Carpopeltis* など)から49%(フクロノリ *Colpomenia*)と種類による含量の差も大きい。全般には緑藻類(平均32%)の含量が高い。

炭水化物は海藻に含まれる栄養素群中では最大の割合を占め、平均の含量は褐藻類(58%)、紅藻類(54%)では5割を超え、緑藻類(49%)でも5割に近い。種類別にはアラメ、ホンダワラ類、ツノマタ、アナアオサなどで高く、オオハネモ *Bryopsis*、フクロノリなどで低かった。

海藻類の脂肪酸は炭素数12~24の飽和酸、モノエン酸および二重結合数2~6のポリエン酸から構成される。海藻の分類群と構成脂肪酸の特徴を概観すると(浮 1987)(表1-7)、脂肪酸の炭素数は褐藻類、紅藻類、緑藻類のいずれもC-16酸が最も多く、次いでC-18酸、C-20酸の順である。緑藻類はC-16酸が特に多く、全脂肪酸の47%を占める。これは共通して多いパルミチン酸(16:0)に加えて、緑藻類ではヘキサデカテトラエン酸(16:4 $\omega$ 3)を多く含む種類があることによる。全般に、炭素数16以下では飽和酸が多く、18以上では、陸上植物には少ないC-13、C-15などの奇数酸を含む種類があり、紅藻類にはC13:0酸を10%以上含有する種類が調べた21種中5種を数えた。飽和脂肪酸は紅藻類(41%)が最も多く、次いで褐藻類

表1-6 海藻類の一般化学組成 (% , 平均値±SD)

分類群	種数	水分	タンパク質*	脂質*	灰分*	炭水化物*
褐藻類	23	82.8±6.0	11.2±3.5	3.2±2.2	27.9±8.8	57.8±8.9
紅藻類	21	82.4±6.9	18.8±5.2	1.7±1.6	25.3±7.2	54.2±7.9
緑藻類	7	87.9±5.3	15.4±7.9	3.9±1.7	32.0±8.8	48.7±11.9

\* 乾物中 (浮, 1987)

表1-7 海藻類の脂肪酸の特徴 (% , 平均値±SD)

分類群	種類	炭素数									
		12	13	14	15	16	17	18	20	22	24
褐藻類	17	0.1±0.1	3.1±3.2	10.2±5.0	0.6±0.2	32.8±9.0	0.3±0.5	30.5±10.5	19.4±5.0	2.4±2.1	0.1±0.2
紅藻類	15	0.2±0.2	9.6±7.5	7.1±4.2	1.3±0.9	37.8±8.4	0.3±0.7	18.7±7.4	17.4±6.7	2.8±1.8	0.3±0.4
緑藻類	6	1.5±3.5	2.8±2.1	5.7±4.1	0.5±0.4	47.1±6.1	0.2±0.3	27.3±8.2	9.6±4.2	4.9±5.7	
被子植物類*	1		1.5	1.3	0.4	28.2	0.9	47.5	6.4	14.8	

分類群	種類	2重結合の数						ω系列の合計			
		12	13	14	15	16	17	18	20	22	24
		0	1	2	3	4	5	6	ω3	ω6	ω9
褐藻類	17	36.3±7.2	20.7±6.8	8.9±7.3	8.2±4.8	15.1±6.2	9.5±3.6	0.8±0.8	23.3±10.9	17.5±10.5	9.8±3.9
紅藻類	15	40.8±8.9	26.3±6.8	3.3±1.4	6.1±2.3	7.7±7.1	12.6±6.7	1.1±1.4	18.6±9.3	9.1±3.3	9.4±3.9
緑藻類	6	29.1±9.3	23.1±7.8	7.1±2.3	16.2±7.1	16.6±1.6	6.1±2.4	1.1±1.1	30.9±18.9	7.7±2.4	10.5±5.0
被子植物類*	1	34.4	17.6	8.9	36.0		0.8	2.4	36.4	9.7	15.0

\* スガモ *Phyllospadix iwatensis* (浮, 1987)

(36%), 紅藻類 (29%) の順である。不飽和脂肪酸は、モノエン酸が最も多く、次いで紅藻類ではトリエン酸とテトラエン酸がほぼ等量含まれ、褐藻類ではテトラエン酸、紅藻類ではペンタエン酸が多い。不飽和脂肪酸のω系列をみると、緑藻類ではω3(23%)に次いでω6酸(18%)の含量が高く、主要な成分はエイコサペンタエン酸 (20:5ω3) やアラキドン酸 (20:4ω6) である。紅藻類の総不飽和脂肪酸の含量は、緑藻類や褐藻類に比べて少なく、ω系列間の差も少ないが、最も多い成分はω3酸 (19%) であり、全般に20:5ω3の含量が高いのが特徴的である。

## 2) 摂餌刺激物質

餌料価値に関わる化学的因子の検索が進められている。クロアワビの摂餌誘因物質の検索では、粗タンパク質 (Harada and Hirano, 1983; Harada *et al.*, 1984), 人アルブミン, オルニチン, フォスファチジルイノシトールなどのリン脂質, モノメチルアミン等 (Harada and Akishima, 1985), シトシン, キサンチン等の核酸関連化合物 (Harada, 1986), グリシンのジペプチド (Harada, 1989), 六炭糖・糖アルコール・配糖体等の糖質 (原田・宮崎, 1994), 香辛料 (原田, 1990), 生薬のシユクシャ (Harada, 1991), 果物 (桜桃, イチゴ, メロンなど) (Harada and Miyasaki, 1994) で強い活性が認められた。各種複合脂質の藻食性巻貝に対する摂餌刺激活性がまとめられている (表1-8)。

表1-8 各種複合脂質の藻食性巻貝に対する摂餌刺激活性

	クロアワビ <i>Nordotis discus</i>		サザエ <i>Turbo cornutus</i> <sup>a</sup>		バテイラ <i>Omphalium pfeifferi</i>	
	+ <sup>b</sup>	++ <sup>c</sup>	+	++	+	++
DGDG <sup>d</sup>	5	30	10-5	30	10-5	30
DGTH <sup>d</sup>	10	30	20	80	20-10	50
SQDG <sup>d</sup>	50	>300	20-10	40	10	50
PC <sup>e</sup>	5	40	10	50	20	80
PE <sup>e</sup>	>200	>200	20-10	50	20	40

a : 殻高10mmの稚貝を用いたためサンプルゾーンの面積は他の場合の約半分にした。

b : 10回のテストで80%以上の確率で+の活性を示す各サンプルゾーン (径23mm) 当たりの最少サンプル量

c : 同上条件で++の活性を示す最少サンプル量 d : アナアオサから単離

e : フォスファチジルエタノールアミン (大豆レシチンから単離)

(Sakata *et al.*, 1991)

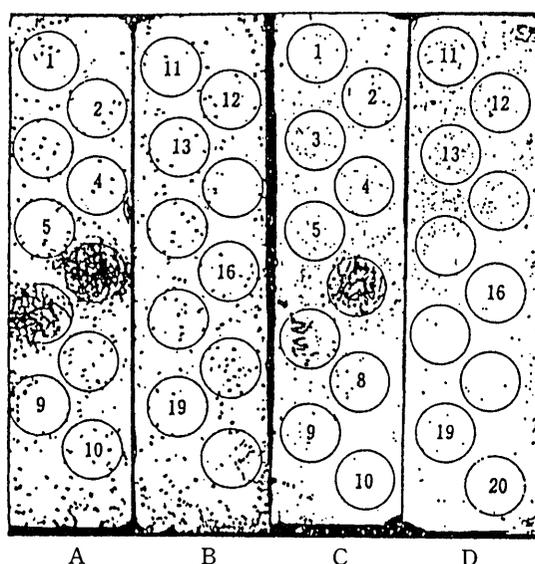


図1-50 アビセル板法によるアワビ稚貝の摂餌刺激物質試験の例

ワカメのメタノール抽出物を Sephadex LH-20カラムクロマトグラフィーにて分画した画分 (1~20) それぞれを乾燥ワカメ100mg相当量吸着させた。AとB,CとDをそれぞれ別の試験水槽に日没後沈め、翌朝とりだした。AとBを沈めた水槽ではアワビの索餌行動が大変活発で、試験板上至る所にアワビ特有の食み跡が認められるが、活性物質が含まれる画分6,7には食み跡が集中している。CとDを沈めたほうでも、食み跡は画分6,7に集中しており、活性の判定は明白であり、再現性が良いことがよくわかる。

(坂田, 1988)

アワビ類に対し高い餌料価値をもつワカメから、C14~C22の飽和および不飽和脂肪酸を構成脂肪酸とする複合脂質の digalactosyldiacylglycerol (DGDG) や phosphatidyl-choline (PC) が摂餌刺激物質として同定された (Sakata *et al.*, 1984, 1988a; Sakata and Ina 1985; 坂田, 1985)

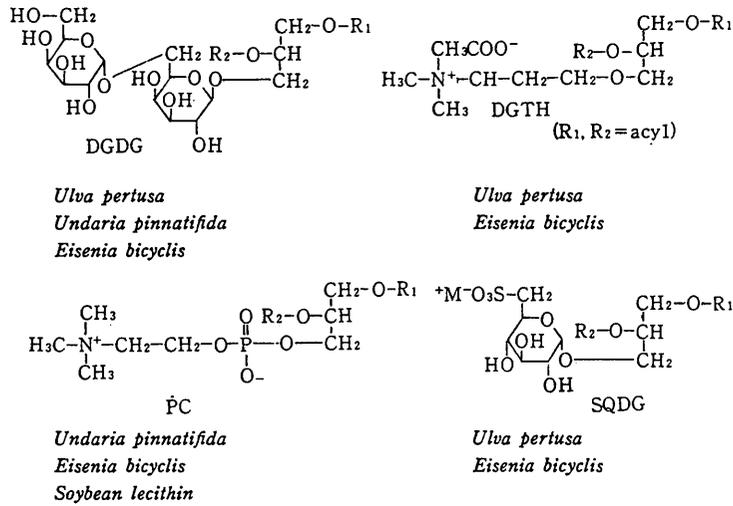


図 1-51 藻類から単離された藻食性巻貝類およびウニ類の摂餌刺激物質  $R_1, R_2: C_{16-22}$  の飽和あるいは不飽和脂肪酸 (坂田, 1994)

DGDG, digalactosyldiacylglycerol; DGTH, 1,2-diacylglycerol-4'-O-(N, N, N-trimethyl)-homoserine; PC, phosphatidylcholine; SQDG, 6-sulphoquinovosyldiacylglycerol

(図 1-50, 1-51)。DGDG, PC はグリセロ脂質の 1,2-diacylglycerol-4'-O-(N, N, N-trimethyl)-homoserine (DGTH) とともに、バテイラ、サザエ、アワビ、アmaksアメラシ *Aplysia juliana* 等に活性を示すが、スルフォリピドの 6-sulphoquinovosyldiacylglycerol (SQDG) は前者には活性を示すものの、後 2 者には活性を示さず、種により選択性が示された (坂田, 1988; Sakata *et al.*, 1988b)。後 2 者はより雑食的であるが、このような食性が化学的にも示されたものと言えよう。DGDG の含有は紅藻のイバラノリ、マクサからも確認されている (Fujita *et al.*, 1990)。無節サンゴモはアワビ類に対し餌料価値はもたないが、DGDG や SQDG などの摂餌刺激物質の含有が示された (Fujita *et al.*, 1992)。ヤコウガイ稚貝に対して餌料価値の高いムラサキコケイバラ、カタメンキリンサイには DGDG, SQDG が含有されている (坂田, 1994)。

海藻類の餌料価値の検索では、アワビ類がよく摂餌し成長をとげる種類は 70 種中 21% に過ぎず、33% の種類では成長が見られなかった (浮, 1987)。葉体が柔らかいにもかかわらず摂餌量の少ないベニスナゴ *Schizymenia*、アカバ *Neodilsea* などの海藻には、摂餌阻害物質の存在が想定され、ベニスナゴには摂餌促進的に働くフォスファチジン酸、糖脂質と、阻害的に働くステロールエステルが含まれていることが判った。高餌料価値をもつコナ *Chondria* の脂溶性成分には摂餌促進効果がある (難波, 1989)。フクリンアミジ *Dilophus*、エゾヤハズ *Dictyopteris*、シワヤハズ *Dictyopteris* などのアミジグサ科 Dictyotaceae の海藻には摂餌阻害物質としてテルペン類を含む (谷口ら, 1989, 1993; 白石ら, 1991; 坂田, 1993; 伊奈, 1994)。アワビ、サザエが殆ど食べないホソユカリから摂餌阻害物質として aplysiaterpenoid A が同定された (Sakata *et al.*, 1990)。DGDG を用いた摂餌阻害物質検索用の試験法が開発されている (Sakata *et al.*, 1991)。

アワビ類では一般にコンブ目海藻の餌料価値が高いが、その中では、コンブ類 *Laminaria* spp. の価値が最も優れ、アラメはやや劣る。コンブ科カジメ属のツルアラメの価値は低いとされる。最近、摂餌阻害物質としてフロロタンニン類の活性が、ジャイアントケルブ (坂田, 1993) や、多年生のアラメ、ツルアラメ (谷口ら, 1991)、カジメ、クロメ (谷口ら, 1992) で認められている。特にツルアラメの含有量が高く、摂餌阻害活性はアラメの13倍と計算された。阻害活性は1~2年生のコンブ属やアントクメからは検出されなかった (谷口ら, 1991, 1992)。フロロタンニンは、アラメを陸上に上げて陰干しする際に出る褐色の分泌物にも含まれ、陰干し後のアラメでは阻害活性は著しく低下した (谷口ら, 1992)。これらのことから、多年生のアラメ属、カジメ属等はフロロタンニン類を群落周辺に放出し植食動物からの捕食を防ぐ化学的防御機構を持つと結論された。アワビ類は天然でアラメやカジメが餌料の場合、主として流れ藻を利用するということや、アワビ類の餌料としてアラメを用いる場合、陰干しをするなどと言う点も説明がつく。コンブ類が分布しない青森県日本海沿岸ではツルアラメがアワビ、ウニ等の有効な餌料藻と考えられており (佐藤・能登谷, 1988)、摂餌阻害活性の低くなった古い葉体や流れ藻が利用されているものと推察される。

これらの知見は、配合飼料の作成に際し、摂餌刺激物質を加えたり、飼料原料から摂餌阻害因子を排除して、より摂餌を促進させる技術への応用が期待される。

ホソジュズモ *Chaetomorpha*, サナダグサ *Pachydictyon*, ウミウチワ *Padina*, マクサ *G. amansii* などはクロアワビ稚貝に対し高い誘引効果を示した (Harada and Kawasaki, 1982) が、これらの中にはエゾアワビにおける海藻の餌料価値の検索結果 (Uki *et al.*, 1986) と重ならない部分もあり、アワビ類の一連の摂餌行動の過程では、誘引 (い集) 因子、促進 (なめ採り、飲み込み) 因子など役割の異なる化学因子が同一の海藻中にあることを推測させる。

### 3) 貝殻の色彩と餌料

巻貝の貝殻の色彩は餌料海藻の影響を受けるものが多い。アラメを給与したアワビ類の貝殻は緑色に、サザエでは白色に着色することはよく知られているところである。ヤコウガイはアナアオサの単用では貝殻が白色になり、オゴノリ類を給与すると緑色になるという (玉城, 1990)。アワビの貝殻や各器官に含まれる色素が調べられている (田島, 1980a, b)。アナアオサを摂餌させたエゾアワビの貝殻からは、アナアオサに含まれている色素の chlorophyll a, b,  $\beta$ -carotene, lutein などが分離された。また、アナアオサにはない pheophytin a 他の、色素類の分解産物あるいは起源不明の色素も分離された。色素の移行蓄積の経路や生合成の解明はこれからである。貝類の着色は実用的には天然の貝殻と同色にしたり、標識として帯状に筋を入れたりする技術として有用である。原料に phycoerythrin などの紅色色素を含むアマノリ類 *Porphyra* を添加し、貝殻に茶色を発現させる標識用飼料が市販されている (佐藤, 1986)。

殻長10mm以上のサザエでは、ラッカー塗布、ダイナモテープやナイロンテグス装着による従来の標識よりも、殻の縁に切れ込みを入れ、その後、マクサと給与して欠殻部分に褐色の殻を形成させる殻再生力を利用した標識方法が、稚貝の成長、生残、標識の作業性、有効期間などで優れていた (真崎ら, 1987)。

(10) 栄養と飼料

1) 栄養要求

効率的なアワビ用配合飼料の開発に必要な栄養要求がエゾアワビで検討された。アルギン酸をバインダーとする（荻野・太田，1963）方法を改変した試験飼料の基本組成を表1-9，表1-10および表1-11に示す。本飼料を用いて栄養素の量的要求性を，成長や飼料効率に基づき検討した結果，飼料中の至適含量は，タンパク質30%（図1-52），脂質5%（図1-53），ミネラル4%で，セルロースは必要ないことが判った（浮ら，1985a，1986a）。藻食性巻貝類はア

表1-9 栄養試験用基本飼料の組成（%）

原 料	A *4	B *5
カゼイン	30	34
デキストリン	34	24
セルロース	5	0
ミネラル混合物*1	4	4
ビタミン混合物*2	1.5	2.3
塩化コリン	0.5	0.7
脂質*3	5	5
アルギン酸ナトリウム	20	30
粗タンパク質	28.5	30.0
粗脂質	5.0	5.0

\* 1 表1-10参照

\* 2 表1-11参照

\* 3 大豆油：タラ肝油 = 3 : 2，ビタミンE  
1%を含む

\* 4 浮ら（1985）

\* 5 浮・渡辺（1986）

表1-10 ミネラル混合物の組成

ミネラル混合物		微量元素混合物*	
NaCl	1.0 g	ZnSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O	35.3 g
MgSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O	15.0	MnSO <sub>4</sub> · 4H <sub>2</sub> O	16.2
NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> · 2H <sub>2</sub> O	25.0	CuSO <sub>4</sub> · 5H <sub>2</sub> O	3.1
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	32.0	CoCl <sub>2</sub> · 6H <sub>2</sub> O	0.1
Ca (H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> · H <sub>2</sub> O	20.0	KIO <sub>3</sub>	0.3
Fe-citrate	2.5	Cellulose	45.0
微量元素混合物*	1.0	合 計	100.0
Ca-lactate	3.5		
合 計	100.0		

（浮ら，1985）

表 1-11 ビタミン混合物の組成

Thiamine HCl	6mg	Folic acid	1.5mg
Riboflavin	5	PABA	20
Pyridoxine HCl	2	Menadione	4
Niacin	40	B <sub>12</sub>	0.009
Ca pantothenate	10	Ascorbic acid	200
Inositol	200	Vitamin A	5000I. U.
Biotin	0.6	Vitamin D	100I. U.

(浮ら, 1985)

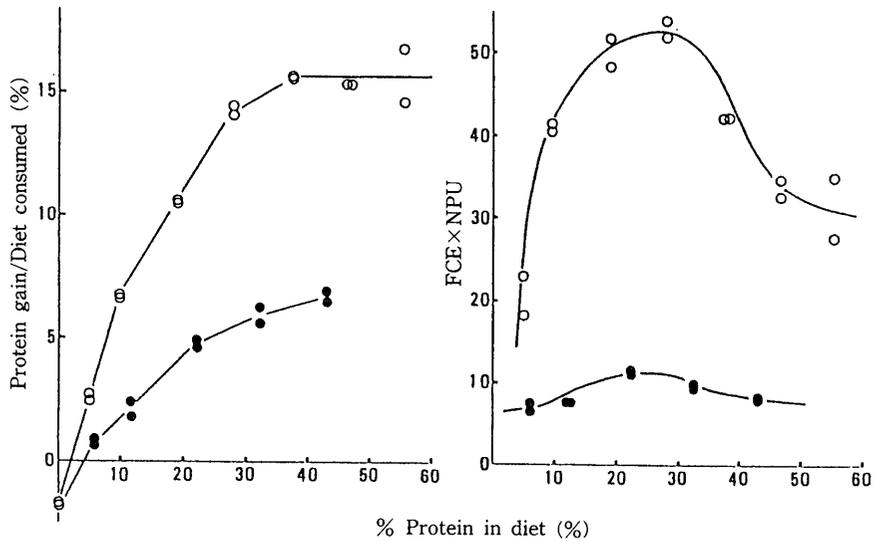


図 1-52 飼料中のタンパク質含量とエゾアワビのタンパク質蓄積率 (体タンパク質増加量/タンパク質摂取量) およびFCE (飼料効率) とNPU (正タンパク質利用価) の積の関係 (浮ら, 1986)

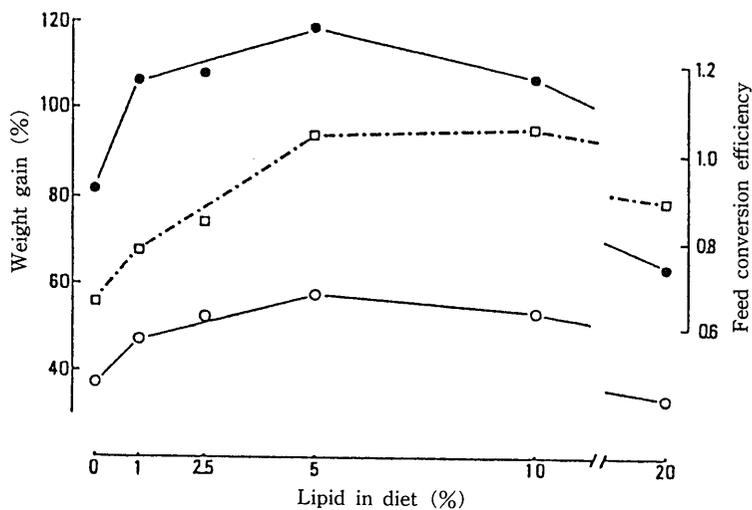


図 1-53 飼料中の脂質含量とエゾアワビの増重率 (白丸: 飼育開始40日後, 黒丸: 同80日後) と飼料効率 (四角: 80日間) (浮, 1987)

ルギナーゼ alginase (poly- $\beta$ -1,4-mannuronide glycanohydrolase) をもつので、アルギン酸をエネルギーとして利用する。バインダーとしての添加量は20~30%で十分である。

タンパク質含量を30%に設定した飼料を用いて、7種類のタンパク質源の栄養価が調べられた。カゼイン飼料による増重量を100として比較した各飼料の成長指数とタンパク質効率 PER は、それぞれ、カゼイン100, 4.2, 大豆粕ミール63, 2.6, 緑葉タンパク質44, 1.6, 北洋魚粉35, 1.7, コーングルテンミール23, 1.2で、大豆粕ミールの有効性が示された(浮ら, 1985b)。タンパク質源に北洋魚粉, 海洋酵母, クロレラをそれぞれ用いた飼料を給与したクロアワビ稚貝の成長と飼料効率は、クロレラが最も優れ、北洋魚粉は極めて劣った(酒井, 1974)。

必須脂肪酸(EFA)の要求性を検討した結果、EFA力価はリノール酸やリノレン酸よりも、 $\omega$ 3と $\omega$ 6系列の高度不飽和脂肪酸(HUFA)の方が高かった。 $\omega$ 3 HUFAの要求量は飼料中約1%である。内臓脂質の脂肪酸組成の分析から、エゾアワビの脂肪酸代謝では、22:4 $\omega$ 6から22:5 $\omega$ 6および22:5 $\omega$ 3から22:6 $\omega$ 3への多不飽和化能は極めて弱いという特徴が指摘された(浮ら, 1986b)。なお、脂質の添加量20%の飼料による成長は、脂質無添加飼料区のそれよりも劣った(浮, 1987)。

カゼイン飼料と比べた北洋魚粉飼料による成長低下は、アワビの成長段階が進むほど顕著であった。加熱処理したカゼインと魚粉をタンパク質源とした各飼料による成長は、未加熱タンパク質源による飼料に比べて、いずれも劣り(図1-54)成長段階が進むほど影響が大きかった。加熱タンパク質源を摂餌した稚貝の貝殻形成は不良で、欠損や亀裂がみられるのが特徴である。貝殻にはタンパク質が3%前後含まれており、貝殻の形成にはタンパク質の補給が必要

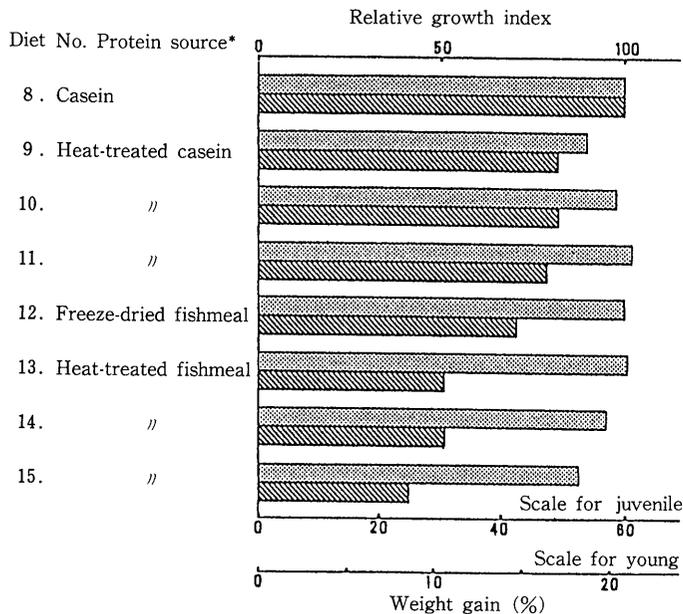


図1-54 飼料タンパク質の加熱がエゾアワビの成長に及ぼす影響  
 加熱条件：飼料番号8,12：非加熱，9,13：80℃，2時間，10,14：100℃，2時間，  
 11,15：120℃，2時間。上は殻長17mm，下は殻長56mmの結果をそれぞれ示す。

(浮・渡辺, 1986)

らしい。これらのことから、北洋魚粉飼料による成長低下は魚粉製造工程における加熱処理により、魚粉タンパク質の消化吸収性が低下するためと推察された（浮・渡辺，1986）。アワビ類のプロテアーゼ活性は甲殻類に比べ極端に弱く、しかも細胞内消化 intracellular digestion（渡辺，1985）も行うらしい。消化率は飼料原料の物性と消化能の相対的問題であり、配合飼料の作成に際し配慮が必要である。サザエにおけるタンパク質の消化率は、カゼイン（94%）が最も高く、大豆粕（73%）、乾燥ワカメ（58%）が比較的高かったが、魚粉は低く、ホワイトフィッシュミール（47～50%）よりもブラウンミール（22%）で特に低かった。炭水化物の消化率はデキストリン、アルギン酸およびラミナリンでは高かったが、生のでん粉は低かった。（荻野・加藤，1964）。アワビ類をはじめ巻貝の消化酵素は試薬として市販され海藻類のプロトプラストを作成するのに使用されているが、酵素の消化力等生理面からの検討はなされておらず、配合飼料の作成、給与法の確立のために解明が必要である。藻食性巻貝のメガイアワビ、トコブシ、サザエ、バテイラの消化管内細菌相を調べたところ、多くの個体で *Vibrio*、*Pseudomonas* が優占した（杉田ら，1991）。分離菌のビタミン B<sub>12</sub> 産生能はティラピアなどの淡水魚類の消化管内細菌より著しく低いことが示唆された。

## 2) 配合飼料

初期餌料である珪藻の単位面積当りの生産性は限られているので、稚貝の成長に伴い、順次他の飼餌料の併用あるいは単用に切り替えざるを得ない。海藻類は立地場所によるが、周年を通して入手が困難な場合が多く、付着生物による水槽の汚染も心配される。配合飼料の開発研究（酒井，1974；我妻・中村，1977；真岡・中村，1977）が進められ、配合飼料の有用性がアワビ類（井岡，1977）やサザエ（岡部・藤田，1984）で実証された。アワビ類では、一般に配合飼料による成長が海藻類よりも優れている（有吉・野田，1987b；佐藤，1986）。クロアワビ稚貝が、タンパク質源としてビール酵母を用いた飼料、同じくカゼイン・ビール酵母を併用した飼料、それに養殖ワカメをそれぞれ給与した（石田・石河，1992）ところ、いずれも良好な成長を示したが、特に殻長6および8mm群では、カゼイン・酵母飼料がワカメよりも優れていた。ビール酵母を使用するとカゼイン単用より保形性が強まる効果がある。ワカメおよび配合飼料で有効に飼育できる殻長は8mm以上と考えられた。

表1-12 アワビ稚貝用飼料組成

原料	組成 (%)
カゼイン	35
デキストリン	25
アルギン酸ナトリウム* <sup>1</sup>	30
フィードオイル* <sup>2</sup>	5
ワカメ粉末* <sup>3</sup>	5

\* 1 粗製品

\* 2 タラ肝油

\* 3 粉末度100μm以下 (福井裁漁セ，1989)

暖流域のクロアワビを生産している場所で春先の大量斃死が問題になっている。斃死状況は、水温上昇期の5月から8月まで続き、付着力の低下や貝殻の欠損を伴う。斃死が配合飼育貝だけにみられ、腹部の膨満などの症状があるときは、消化不良や飼料脂質の酸敗など栄養的な履歴が不適切であることが疑われる。

さきのカゼインをタンパク質源とした試験飼料を現場用に改変した飼料（表1-12）をクロアワビ稚貝（殻長10mm）に給与したところ、市販飼料給与区の生残率70%に対し、生残率は90%であった（高垣，1989）というが、さらに検討が望まれる。本飼料は保形性に優れ、高温での腐敗が遅い特徴がある。スキムミルク、小麦粉、アルギン酸の粗製品、フィードオイルなどを原料とした飼料を自家調製し、応急的に使用することも一方法である。アルギン酸をバインダーとする飼料はウェットペレットであるが、冷凍保存できるので、1ヵ月分位を一括製造しておけばよい。ニュージーランドでは、食用に向かない2級品のカゼインを利用して配合飼料を作成しアワビを養殖している。試験用カゼイン飼料の調製法は小西・浮（1991）に詳しい。

## (11) 代謝

### 1) 摂餌量

エネルギー代謝における同化速度の一つである摂餌量の温度との関係がエゾアワビで調べられた（浮，1987）。大きさの異なる数群のアワビのアラメ *Eisenia bicyclis* の日間摂餌量  $F$  (g) と水温  $T$  (°C) の関係は、図1-55のとおりであった。同一サイズのアワビでは、 $F$  と  $T$  は直線的な対応関係にある。すなわち、

$$F = AT + B$$

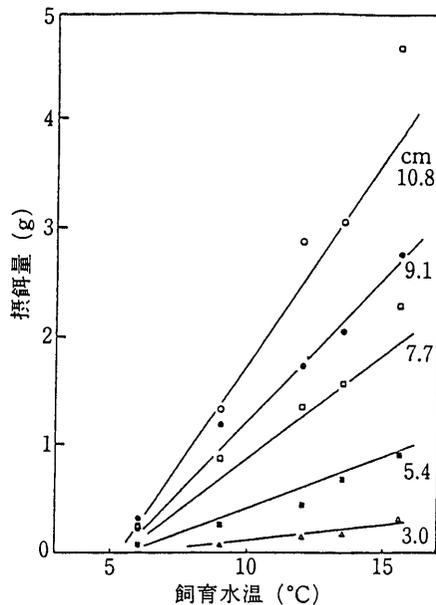


図1-55 エゾアワビにおける摂餌量と飼育水温の関係  
 餌料にはアラメを給与。図中の数字は供試個体群の平均殻長を示す。白丸，黒丸，白四角，黒四角および三角は、それぞれ平均殻長10.8，9.1，7.7，5.4および3.0cmの各群の結果を示す。（浮，1987）

ここでA, B:定数。いずれの大きさの群でも, X軸の切片(-B/A)は5℃前後に収束している。Bertalanffy(1957)にならない, 同化速度は体表面積に比例するとして,

$$F = \alpha L^2$$

上の2式をまとめて,

$$F = (aT+b) L^2 \\ = a(T-\delta) L^2$$

ここで, a, b,  $\delta$  (= -b/a):定数。定数aは動物の種類や餌料海藻の種類によって定まる係数,  $\delta$ は動物の種に固有な摂餌行動の停止下限水温に相当する。エゾアワビでは, 実測値から,  $a=3.262 \times 10^{-3}$ ,  $\delta=5.51$ が得られている。同様にして, パテイラでは  $a=1.455 \times 10^{-2}$ ,  $\delta=4.83$ が, クボガイでは  $a=1.413 \times 10^{-2}$ ,  $\delta=3.75$ が得られた(浮, 1987)。これらは, 漁場管理技術の一環として, 岩礁上に生息する植物の摂餌量を一元的に捕捉しようとする目的で調べたものである。

上式をさらに  $F/L^2 = (T-\delta)$

とすると, 同一水温では一定値となって実用上便利である。

給餌の基準としてよく用いられる日間摂餌率Fd(%)は, 体重をW(g)とすると,

$$F_d = F \times 100/W \\ = 100 a (T-\delta) L^2/W$$

となる。相対成長式  $W = \alpha L^3$  において,  $\alpha = 0.135$ としたときの日間摂餌率(アラメ, 湿重)を計算し, 図1-56に示す。

クロアワビ初期稚貝の1日の珪藻摂餌量(細胞数I(単位:1万細胞)または湿重F(mg))と, 殻長L(mm)の関係は, 以下の式で表された(柳橋ら, 1986)。

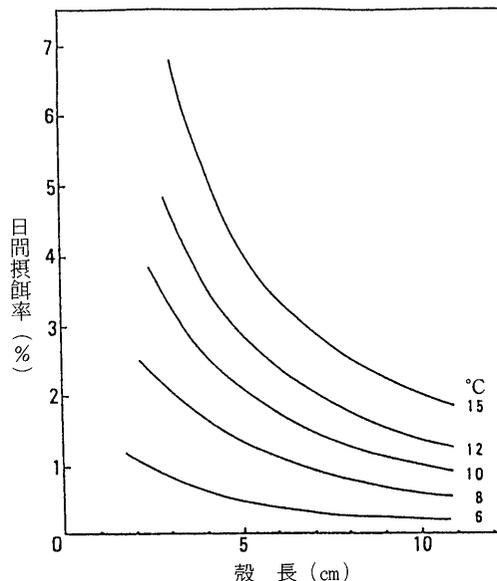


図1-56 アラメを餌料としたときのエゾアワビの日間摂餌率  
 図中の数字は飼育水温(℃) (浮, 1987)

殻長 1 mm前後  $I = 0.217 L^{1.958}$  または  $F = 3.185 L^{1.863}$

殻長 5 mm前後  $I = 0.191 L^{1.787}$  または  $F = 5.634 L^{1.787}$

珪藻の付着密度を平均的な  $10,000 \text{ cells/mm}^2$  として、上式から摂餌面積が概算できる。殻長 1 mm と 5 mm の稚貝の 1 日の摂餌面積は殻表の面積 ( $= 0.7 L^2$ ) のそれぞれ、8 倍 ( $5.6 \text{ mm}^2$ ) と 3.6 倍 ( $64 \text{ mm}^2$ ) であった。5 mm 稚貝の餌料転換効率は 8 % 前後と見積られている (柳橋ら, 1986)。

数社の市販配合飼料をフクトコブシに給餌して成長を比較した試験では、メーカーにより成長に大きな開きがあった。殻長 9.0 mm のフクトコブシを網生簀に收容し、市販配合飼料を 6 カ月間給餌して、日間給餌率と成長の関係を検討した試験 (図 1-57) から、適正な日間給餌率は 2.0~2.5% と考えられた (有馬, 1994)。

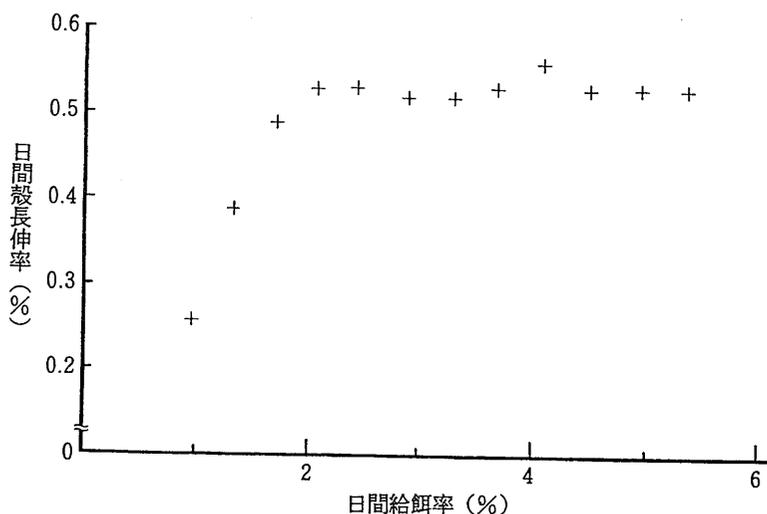


図 1-57 フクトコブシ稚貝飼育における成長と配合飼料の日間給餌率の関係 (有馬, 1994)

## 2) 酸素消費量

異化速度の一つである酸素消費量はエネルギー代謝の基準として有用であり、実用的には給水基準の一つとして役立てられる。エゾアワビの酸素消費量  $R$  ( $\text{mlO}_2/\text{個}\cdot\text{h}$ ) は、水温  $T$  ( $^\circ\text{C}$ ) に対し指数関数的に増加する (浮・菊地, 1975)。すなわち、

$$R = A^T \cdot B$$

ここで、 $A$ ,  $B$ : 定数。測定値を  $R$  と体重  $W$  ( $\text{g}$ ) の関係として整理すると、図 1-58 のように、それぞれの対数値が直線的な関係にあった。すなわち

$$R = k \cdot W^b$$

ここで、 $k, b$ : 定数。以上の 2 式をまとめて、

$$R = M \cdot W^b \cdot A^T$$

ここで、 $M$ : 定数。

体重の合計 1 kg 当りの酸素消費量  $R'$  ( $\text{mlO}_2/\text{kg}\cdot\text{h}$ ) は、

$$\begin{aligned} R' &= 1000/W \times R \\ &= 1000M \cdot W^{b-1} \cdot A^T \end{aligned}$$

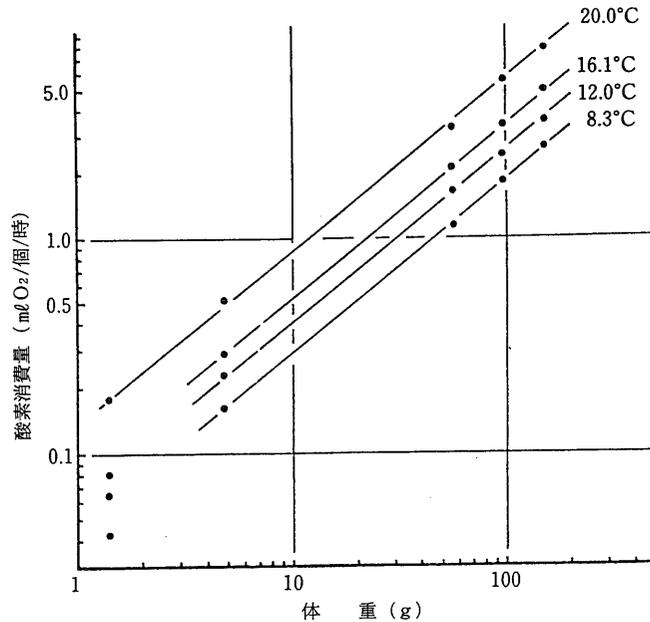


図1-58 異なる水温条件下におけるエゾアワビの酸素消費量と体重の関係  
 体重は殻付湿重 (浮・菊地, 1975)

水温8~20℃の範囲で求められた実測値から、 $M=0.0210$ 、 $b=0.8025$ 、 $A=1.0963$ が得られている。同様に、フクトコブシでは、 $M=0.0382$ 、 $b=0.7666$ 、 $A=1.0441$ が得られた(有馬, 1994)。

RとWとの量的関係を示す実験式は、動物一般で成立することが知られており、b値について論議されている。その多くは、Rが体表面積に比例するとする0.67 (Bertalanffy, 1957) から、体重に比例するとする1.00の範囲の値であり、中でも0.8前後の値が多い。

酸素消費量と温度との関係を示す特性値として、しばしば $Q_{10}$ 値が用いられてきた。 $Q_{10}$ 値は上式から、

$$\begin{aligned} Q_{10} &= R_{T+10} / R_T \\ &= M \cdot W^b \cdot A^{T+10} / M \cdot W^b \cdot A^T \\ &= A^{10} \end{aligned}$$

で、ここでは、温度および体重に関係なく一定値となり、測定値から2.508が求められた。一般に、生物反応では $Q_{10}$ は2~3の範囲にある。エゾアワビの酸素消費量は無給餌下では日没前後から夜半にかけて、約20%増加する日周変化を示した(図1-59)。フクトコブシの酸素消費量は、給餌条件下では無給餌条件下の約2倍を示し、また夜間の酸素消費量は日中の約5割増を示した(東京都水試, 1992)。

酸素消費量と温度の関係から、エゾアワビの代謝機能の生理的屈曲点は、20~24℃の範囲にあり、24~28℃の範囲では酸素消費量は増加しなかった(浮・菊地, 1975)。

クロアワビ(殻長12.3~17.0cm, 体重250~630g: 体重の平均382g)の酸素消費量( $\text{ml O}_2/\text{kg} \cdot \text{h}$ )は、水温15.4~16.0℃では5.62~12.8で、平均8.14、水温24.8℃では14.8であった(石

田ら, 1974)。

エゾアワビ稚貝(殻長4~5cm)の酸素消費量はCl 14‰以下の海水で急激に低下した(佐野・馬庭, 1962)。低酸素の海水中ではエゾアワビは水槽上面へ移動する。心拍数は酸素飽和度65%までは変化はないが、それ以下では増加した(中西, 1978)。トコブシ(殻長7cm, 体重40~60g)の酸素消費量( $O_2/kg \cdot h$ )は、水温25℃, Cl 18‰下で標準27, 活動時52以上であった(図1-60)。初期窒息濃度は約 $1.5 ml O_2/l$ , 心拍数は毎分61位で、 $2.8 ml O_2/l$ 以下では漸減した(Nimura and Yamakawa, 1989)。

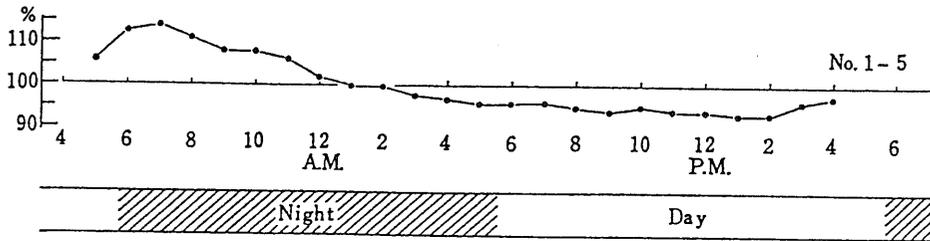


図1-59 エゾアワビの酸素消費量の日周変化

(浮・菊地, 1975)

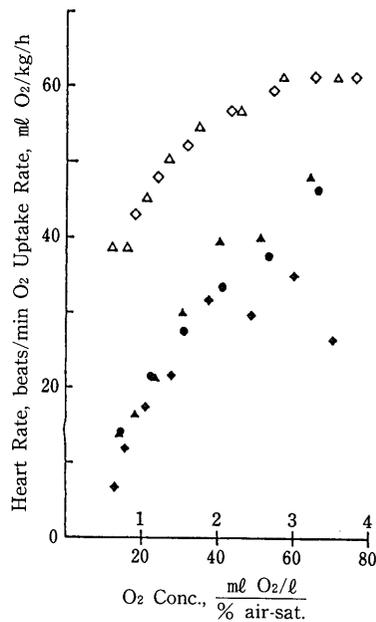


図1-60 トコブシの酸素消費量と心拍数に及ぼす溶存酸素量の影響

縦軸：酸素消費量 ( $ml O_2/kg/h$ ) または心拍数 (回/分), 横軸：海水中の溶存酸素量 ( $ml O_2/l$ ) と飽和度 (%)

白抜きは心拍数, 黒印は酸素消費量を示す。

丸, 四角, 三角はそれぞれ体重50g (測定時刻14:10~16:11), 51g (同21:21~0:15), 42g (同10:31~14:11) の値 (Nimura and Yamakawa, 1989)

サザエの酸素消費量 (ml/kg·h) は平均体重105gと223gで、それぞれ21~44 (水温20~24℃), 19~32 (同21~25℃) であった (静岡水試伊豆分場, 1964)。酸素消費量は日没前後から急上昇し、日没後2時間で最大となる (宇野, 1962)。

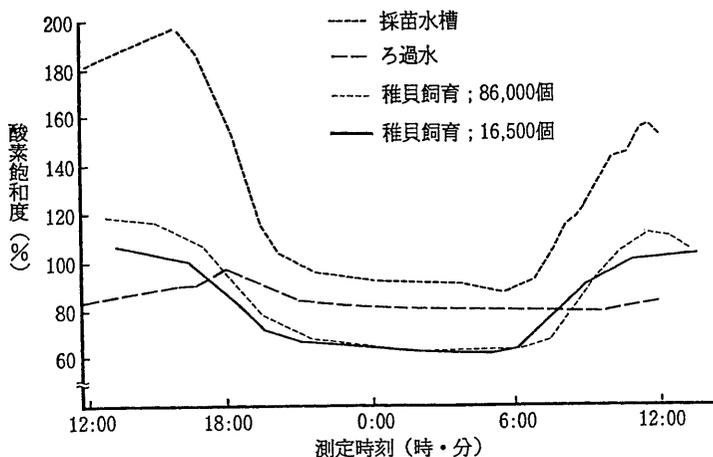


図1-61 水槽内の溶存酸素飽和度の日周変化 (有馬, 1994)

実際にアワビ類 (ここではフクトコブシ) を飼育中の水槽内の溶存酸素量の動態 (図1-61) を見てみると海水の酸素飽和度は、濾過水では80~100%で大きな変動はない。アワビモを使用し採苗した水槽中の飽和度は、日中150%以上に達する大きな変動をする。殻長15mmのトコブシを収容し、餌料培養板を入れ配合飼料を給餌して、給水量20トン/時 (水温17.5℃, 水槽容量23トン) のとき、酸素飽和度は藻類の光合成がなく稚貝の摂餌活動が活発化する夜間60%台に低下した。トコブシの酸素消費量から給水中の酸素は、低密度区 (16,500個) で18%, 高密度区 (86,000個) で32%が稚貝に消費され、残りは付着藻類, チグサガイ, バクテリア等によって消費されていると推察された (有馬, 1994)。

### 3) アンモニア排泄量

クロアワビ (殻長12.3~17.0cm, 体重250~630g, 平均382g) のアンモニア態窒素の生成量 ( $\mu\text{g-at/kg}\cdot\text{時}$ ) は、水温16, 19, 25℃のとき、それぞれ13~21, 55, 40であった。海水のpHが7.6以下では、アンモニア態窒素の濃度が $20\mu\text{g-at/l}$ でも危険である (石田ら, 1974)。

## (12) 飼育基準

### 1) 成長速度

成長速度 growth rate は、種苗生産を計画的に進めて行く際の重要な指標であり、成長速度を律する要因との関係を十分把握しておく必要がある。成長に影響を与える要因には、加齢や遺伝などの内因的なものと、水温、餌料、水質、飼育密度 (場や餌をめぐる相互の干渉) などの外部環境要因がある。成長の予測が行えるよう、これらのファクターを組み入れた実用式を作成しておくといよい。

Bertalanffy の成長曲線はシグモイド状を呈するが、稚貝期の成長はほぼ直線とみなして扱っ

でも大きな間違いはない。例えば、付着性微小藻類を餌料としたエゾアワビ稚貝の成長速度  $Y$  ( $\mu\text{m}/\text{日}$ ) と水温  $T$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) の関係は、次のような実用式で表される (浮, 1987)。

$$Y = a(T - b)$$

ここで、 $a$  : 成長速度係数、 $b$  : 成長停止下限水温 ( $^{\circ}\text{C}$ )。実験結果から、殻長5mm群では  $a = 14.75$ 、 $b = 7.60$  が得られている。係数  $a$  は主に餌料条件に左右されると考えられる。これまでに得られた本種の成長速度の最大値は  $270 \mu\text{m}/\text{日}$  (殻長9.5, 水温  $20.1^{\circ}\text{C}$ ) で、仮に  $b = 7.60$  とすると  $a = 21.6$  となる。殻長18~22mmのエゾアワビ稚貝に配合飼料を給与したとき、 $a = 9.64$ 、 $b = 4.31$  が得られている (井岡, 1977)。

式に殻長  $L$  (cm) を含ませたい場合は、

$$Y = \alpha(1 - cL)(T - b)$$

ここで、 $\alpha$ 、 $c$  : 定数。上式には時間の関数が入っていないが、殻長が大きくなるほど成長速度が小さくなる加齢を加味した曲線が得られる。仮に、最大殻長 ( $=1/c$ ) を14cmとすると、 $c = 0.071$  を得る。 $b = 6(^{\circ}\text{C})$ 、 $\alpha = 11.85$  とすると、水温  $20^{\circ}\text{C}$  下の成長速度  $Y$  ( $\mu\text{m}/\text{日}$ ) は、殻長5mm : 160, 20mm : 142, 30mm : 130, 40mm : 119で、大規模な飼育では現実的な値であろう。呼水孔列形成期 (殻長3.5mm) 以前は、成長は遅いので、例えば、水温  $20^{\circ}\text{C}$  下では  $Y = 60$  ( $\mu\text{m}/\text{日}$ ) などの一定値を用いる。飼育方法や餌料の種類により最大殻長や  $\alpha$  は変わるので、現実合う値を設定する。

採苗初期の珪藻を主餌料としたクロアワビの、成長速度と水温の関係が調べられた (柳橋ら, 1986)。それによると日間成長速度 ( $\mu\text{m}/\text{日}$ ) は稚貝の成長とともに増加した。例えば、水温  $18 \sim 20^{\circ}\text{C}$  では、殻長0.5mm未満 : 25, 0.5~1.0mm : 46~50, 1~2mm : 67, 2~3mm : 111, 3~4mm : 125であった。日間成長速度と水温の関係は、(図1-62) のような直線関係にあり、成長停止下限水温は殻長1mm未満 :  $8 \sim 10^{\circ}\text{C}$ 、1mm以上 :  $4 \sim 5^{\circ}\text{C}$  である。同様の傾向はエゾアワビ稚貝においても観察されている (Kikuchi, 1965)。

この図は種苗生産のプログラム作成の上で重要な内容を示唆している。すなわち、初期の稚貝では成長に伴い成長速度が上昇するばかりでなく、成長停止下限水温が下降するのである。成長速度は殻長1~3mmの範囲で、殻長に対応して増加するのか、ある点で急増するのかはつきりしないが、呼水孔列の形成は殻長2~3.5mmの間で行われるところから、呼水孔列の完成とともに代謝活動が活発化し、成長速度も急増するのかもしれない。いずれにしても、呼水孔の形成期間は15日前後と短いので、実用上成長速度と水温の関係は図1-63のように簡略化して考える。

秋採苗で採苗期を早めたり、採苗期を春季に移したりする目的は、できるだけ早く呼水孔列形成前の  $a$  の関係から呼水孔列形成後の  $b$  の関係に乗り換えて、稚貝の成長を促進するためである。直線  $a$ 、 $b$  の傾きや、 $X$  軸との交点の成長停止下限水温は、同一の外的環境条件下では種により固有のものであり、それぞれの種について調べておく必要がある。例えば、アワビ類では、柳橋ら (1986) の結果を参考として、 $a$ 、 $b$  の  $X$  軸との交点をそれぞれ  $6^{\circ}\text{C}$  および  $10^{\circ}\text{C}$  とし、また、呼水孔列形成前および殻長5mmの稚貝の  $20^{\circ}\text{C}$  の時の日間成長速度 ( $\mu\text{m}/\text{日}$ ) をそれぞれ60および160として、直線の傾きを求め、採苗場の地先水温をもとに成長を試算 (図1-64) して、1年間という生産期間で最大の殻長が得られる飼育開始時期 (採苗期) を求めてみる。その際、採苗初期2ヵ月間は稚貝は小さく、必要給水量も少ないので、調温海水を使用できる

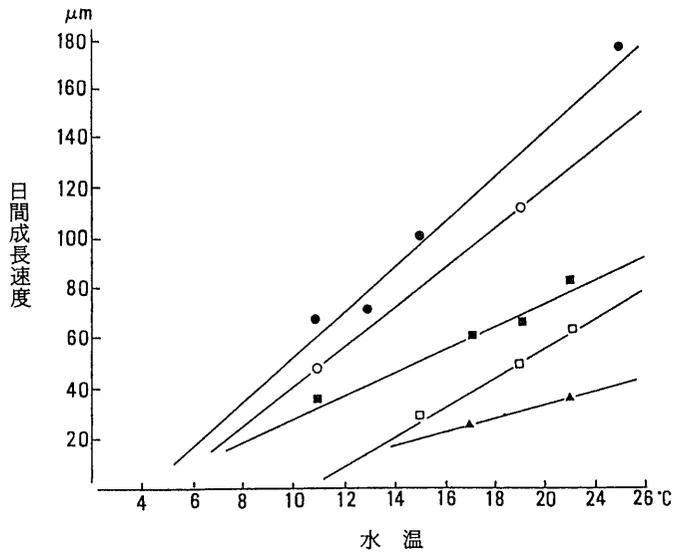


図1-62 クロアワビ稚貝の成長速度と水温の関係

黒丸：殻長5～6mm，白丸：2～3mm，黒角：1～2mm，白角0.5～1mm，三角：0.4～0.5mm

(柳橋ら，1986)

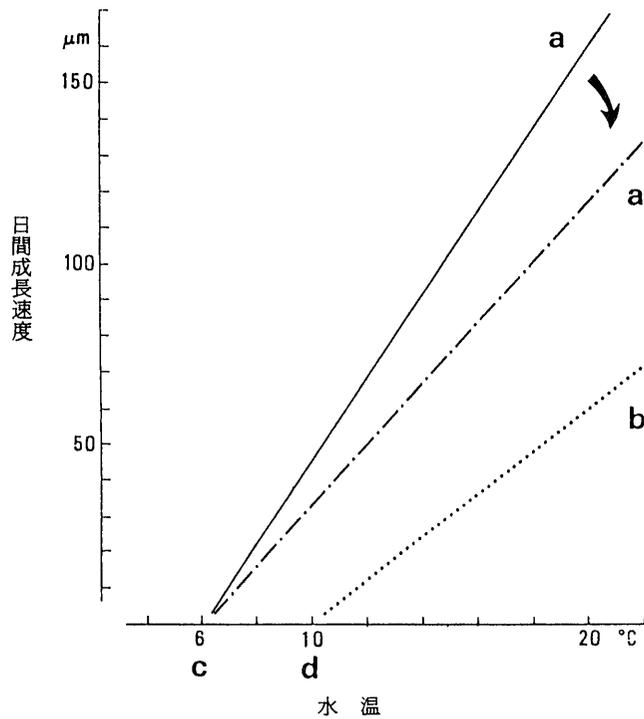


図1-63 アワビ類の成長速度と水温の関係

a：殻長5mm稚貝，a'：殻長40mm稚貝，加齢に伴いaはa'の方向に傾斜する。

b：呼水孔列形成（殻長3mm）前の稚貝，c，d：成長停止下限水温

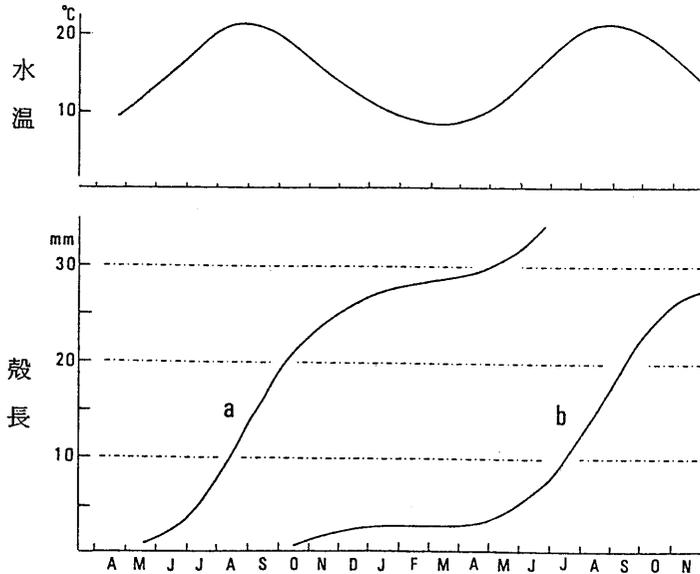


図1-64 採苗時期が異なるエゾアワビ稚貝の成長過程

- a : 春採苗 (5月初旬採苗, 採苗後2ヵ月間は水温を20℃に維持)  
 b : 秋採苗 (10月初旬採苗, 水温経過は天然と同様)  
 試算基礎: 日間成長速度 (20℃下); 殻長5mm: 160 $\mu$ m, 呼水孔列形成前: 60 $\mu$ m,  
 成長停止下限水温: 6℃, 最大殻長: 14cm, 水温は宮城県女川町江ノ島地先.

という前提を加えた場合も試算してみると, その効果がよく判る。

## 2) 飼育密度

海藻または配合飼料を給与して飼育する際の適正な収容密度は, 採苗場により水槽の構造や飼育方法が異なるので, 基準化が難しい。最適密度を判断する指標にも, 生産効率や成長速度などいくつかの方法がとられている。

採苗後40日を経過した第1呼水孔形成前のクロアワビ (体重1.0mg乾重) を, *Nitzschia* sp. cf. *longissima* の優占する培養板 (30×30cm) に個数を変えて付着させ, 摂餌量が計測された (岡部, 1982b)。摂餌量はクロロフィルa量から推定された。飽食水準の稚貝の摂餌量は0.12mg乾重/個・日であった。対照区の珪藻付着量は66.2mg/枚であったことから, 同量が毎日再生産されると仮定すると, 適正密度は生産量/摂餌量から, 500個/枚と考えられた。

屋内に設置された水槽 (180×155×65H cm) のモジ網枠 (約2m<sup>2</sup>) 内に波板 (29×58cm×29枚, 延面積10m<sup>2</sup>) を入れ, 珪藻のみを餌料として12月から7ヵ月間にわたり4段階の収容密度でエゾアワビ (開始時の殻長10.43mm) が飼育された (本間, 1977)。成長は収容密度の低いほど良く, 終了時の殻長は収容密度 800, 1,000, 1,200, 1,500個でそれぞれ23.1, 21.5, 20.6, 20.0mm であった。期間中の斃死率は最高3%であった。本施設は日本海側にあり, 冬季の照度は低く推移し, 日中1,000~5,000 Lux である。

サラサバテイラでは培養板 (40×33cm) 上の飼育密度と摂餌量 (クロロフィルaから求めた珪藻の付着量の差から推定) の関係 (図1-65) から, 適正収容密度は摂餌量の減少する点, すなわち, 殻長5.5mm: 130個体, 殻長17mm: 15個体と考えられた (玉城・勝俣, 1989)。日

間摂餌量は殻長17mm (体重 0.9g) : 7.5mg (乾重) /個・日 (水温 21.5 °C), 殻長5.5mm (同 0.04g) : 0.6~0.7mg/個・日 (水温 22.7°C) であった。

殻長5mmから10mmまでモジ網(1×1×0.5Hm)中で、生ワカメと配合飼料を餌にエゾアワビを飼育した例では、成長と肥満度を指標とした適正密度は5,000個/m<sup>2</sup>を求められた(有吉・野田, 1987c)。トリカルネット製の網(85×55×20Hcm)を用いて、配合飼料を給与し飼育した例では、網籠当りの成長量(殻長の伸び×収容個数×生残率)は殻長6~8mmでは5,000個、8~10mmでは4,000個、10~12mmでは3,000個/籠の収容密度で、それぞれ12.8, 9.8, 6.7mの最大値を示した(松平ら, 1988)。

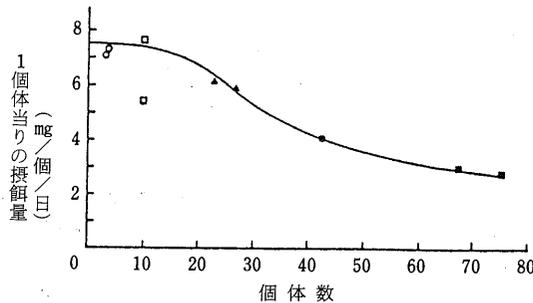


図1-65 サラサバテイラの摂餌量と付着個体数の関係

(玉城・勝俣, 1989)

トリカルネットの生簀(90×90cm)にシェルター(45×90cm, 有効面積(片面)5,347cm<sup>2</sup>)を入れ、ワカメとアラメを給与してクロアワビが飼育された(石井, 1988)。飼育密度の評価の基準としてシェルター面積と付着しているアワビの殻面積との比(シェルター面積比)が用いられている。殻長L(mm)と殻面積S(cm<sup>2</sup>)の関係は次式で表される。

$$S = 0.005979 \times L^{1.9483}$$

結果は図1-66に示すように面積比が小さいほど成長速度が大きくなり、70μm/日の成長速度を維持するためには面積比60~70%で飼育することが妥当と考えられた。この関係に基づき海水の必要量とも併せ考えると、殻長10mmから20mmまでの期間では、1生簀当たり7,000~8,000個で開始し、途中で一度分散を行い、20mm時点で3,000~4,000個とするのが最も効率的である。

コンクリート水槽内部を二重底とし、玉石を敷いてアワビの付着面(約3m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>底面積)を作り、クロアワビ(開始時の殻長5~13mm)を収容して、塩蔵ワカメを餌料として飼育された(里ら, 1981)。収容密度に対する生産力指数(生残率×日間増長率)は図1-67のとおりで、収容密度7,500個/m<sup>2</sup>で最高を示した。

殻長5, 10, 15mmのクロアワビ剥離稚貝に、アラメ、カジメなどを給与して6ヵ月間飼育したときの、収容密度と成長の関係は図1-68(遠山ら, 1975)のとおりで、生残率は4,000個/m<sup>2</sup>以上で低下した。成長率はアワビの占有率(占有面積は0.7L<sup>2</sup>)0~50%の間で、占有率に対応して減少した。これらの結果から、適正収容密度は間引きを行わない場合、3,000個/m<sup>2</sup>前後と考えられた。

巡流水槽(菊地・浮, 1980)におけるエゾアワビの生産効率、付着性微小藻類を餌料とし

たとき、 $2,367\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{年}$ で、殻長 $15\text{mm}$ 稚貝に換算して、 $5,010\text{個}/\text{m}^2 \cdot \text{年}$ であった。巡流水槽で5月中旬に採苗したエゾアワビ稚貝を、6月上旬から翌年6月まで、珪藻と配合飼料により育成したときの、飼育密度と平均殻長は図1-69（菊地ら, 1989a）のとおりであった。殻長の変動係数は飼育密度に対応して増加した。単位収量は図1-70のように、飼育密度 $3,000 \sim 5,000\text{個}/\text{m}^2$ の範囲では $4.5\text{kg}/\text{m}^2$ とほぼ一定であった。殻長の標準成長速度 $L$  ( $\mu\text{m}/\text{℃} \cdot \text{日}$ )は、収容密度 $N$  ( $\text{個}/\text{m}^2$ )との間に次の関係がある。

$$L = 9.0 - 0.0006N$$

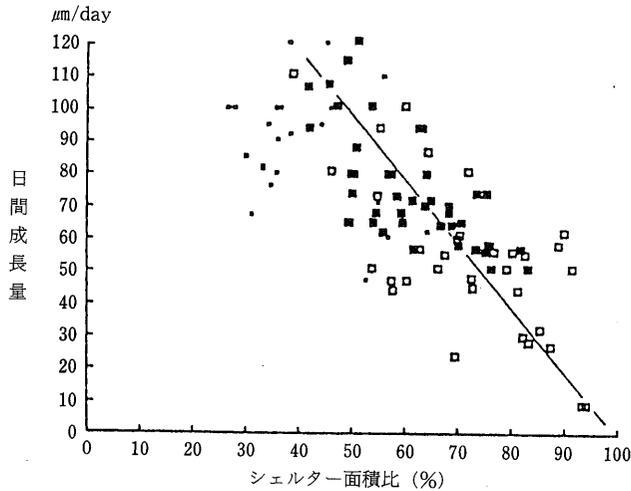


図1-66 クロアワビにおけるシェルター面積比と日間成長量の関係  
 白抜き四角：水温 $22 \sim 26\text{℃}$ 区，黒四角： $17 \sim 21\text{℃}$ 区，小さい四角： $10 \sim 16\text{℃}$ 区。  
 (石井, 1988)

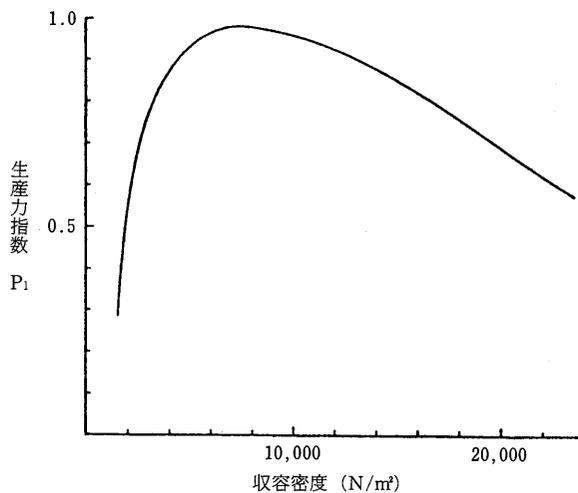


図1-67 クロアワビの収容密度と生産力指数の関係  
 (里ら, 1981)

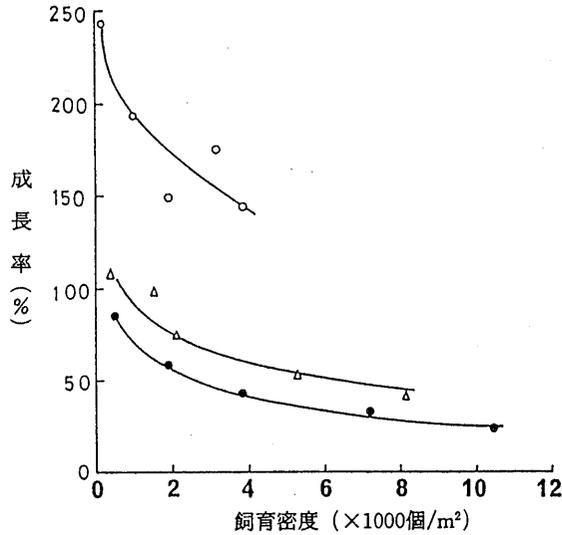


図1-68 クロアワビ稚貝の平均飼育密度と殻長成長率の関係  
白丸：殻長5mm，三角：10mm，黒丸15mm (遠山ら，1975)

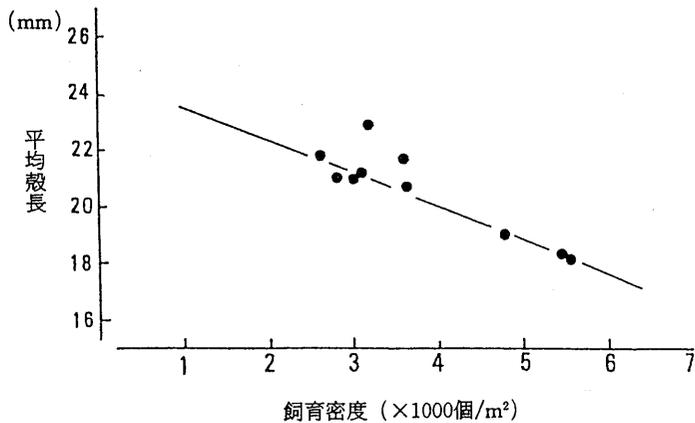


図1-69 巡流水槽におけるエゾアワビの飼育密度と平均殻長の関係  
(菊地ら，1989 a)

本式からは水温20℃下の日間成長速度 ( $\mu\text{m}/\text{日}$ ) は，収容密度 ( $\text{個}/\text{m}^2$ ) 3,000のとき144，5,000のとき120を得る。

### 3) 給水基準

動物を収容した水槽に一定速度で給排水が行われ，収容動物の酸素消費が一定の速度で行われているとする。また，水面や壁面で酸素の供給や消費がないものとする，水槽内の酸素飽和度はある水準で一定となり均衡する。このときの酸素飽和度を $\alpha\%$ とすると，動物による消費は $(1-\alpha)\%$ である。給水の酸素飽和度を100%とすると，給水量は巻貝の収容量と水温との関係式として次式で表される。

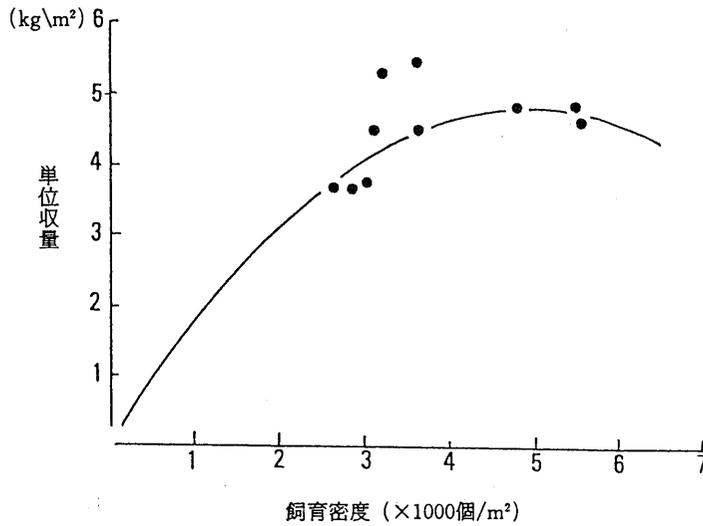


図1-70 巡流水槽におけるエゾアワビの飼育密度と単位収量の関係  
(菊地ら, 1989 a)

$$Q = B R_{WT} / S_T (1 - \alpha / 100)$$

ここで、 $Q$ ：給水量 ( $\ell/h$ )、 $B$ ：体重 $W(g)$ の巻貝の収容量(kg)、 $R_{WT}$ ：水温 $T^\circ C$ における体重 $W(g)$ の巻貝の酸素消費量 ( $m\ell O_2/kg \cdot h$ )、 $\alpha$ ：計算上の水槽中の酸素飽和度(%),  $S_T$ ：水温 $T^\circ C$ における海水の溶存酸素飽和量 ( $m\ell O_2/\ell$  海水)。成長に支障のない $\alpha$ の臨界点については判っていないので検討しておく必要がある。

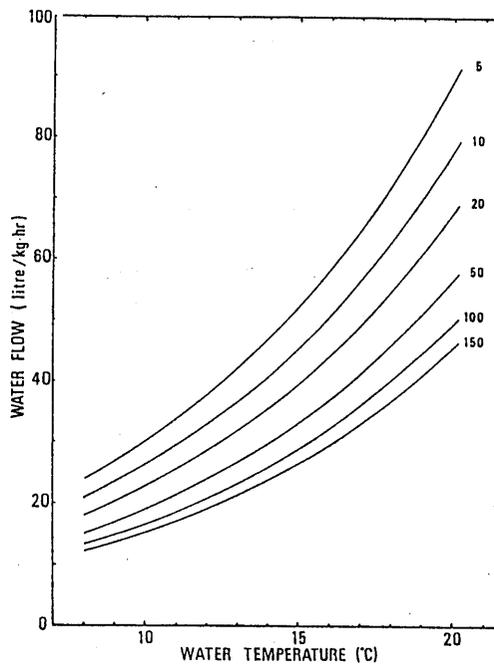


図1-71 エゾアワビ飼育水槽の給水量 ( $\alpha = 80\%$ のとき)  
図中の数字はアワビの体重 (g) (浮, 1987)

エゾアワビにおける  $\alpha = 80\%$  のときの給水量を図 1-71 に、また  $\alpha = 50 \sim 80\%$  のときの給水量を付表 2 に示した。

実際の水槽内の酸素飽和度は植物の光合成、エアレーションなどによる補給、水槽壁面や滞留排泄物中の細菌による消費などがあり、計算値とは一致しない。水槽中の巻貝の酸素消費量以外の酸素の補給や消費を捕捉しておけば、排水の溶存酸素量から水槽中の飼育数量を推定することもできる。給水量の計算に必要な海水の溶存酸素飽和量を表 1-13 に示す。

表 1-13 海水の溶存酸素飽和量

水温 (°C)	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
(ml/ℓ 海水)	7.17	7.01	6.85	6.71	6.57	6.44	6.31	6.19	6.08	5.97	5.86	5.76	5.65
(mg/ℓ 海水)	9.87	9.64	9.40	9.18	8.97	8.77	8.58	8.40	8.21	8.05	7.80	7.73	7.58
水温 (°C)	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
(ml/ℓ 海水)	5.56	5.47	5.38	5.29	5.20	5.11	5.03	4.95	4.86	4.78	4.69	4.61	4.52
(mg/ℓ 海水)	7.45	7.31	7.19	7.06	6.93	6.82	6.73	6.60	6.50	6.40	6.30	6.20	6.11

条件 Cl: 19: 0 (%), 1 気圧下 (参考: JIS K0102)

### (13) 疾 病

エゾアワビのヴェリジャー幼生が大量に斃死し、分離菌による病原性試験から、原因菌は *Vibrio* 属と考えられた (河原ら, 1990)。 *H. rufescens* 稚貝に発生するビブリオ病の原因菌は、 *V. alginolyticus* であった (Elston and Lockwood, 1983)。

カナダの *H. kamtschakana* や *H. rufescens* で、採苗後 6 ヶ月、殻長 4 mm 未満の種苗に発生した大量斃死は、組織内部に寄生する原生動物ラビリントラ類 *Labyrinthulea* の一種によるものと特定され、 *Labyrinthuloides haliotidis* と命名された (Bower, 1986a, b)。この類はアメーバ期、孢子期、鞭毛虫期よりなる生活環をもつ。鞭毛虫期はオゾン添加海水に対する耐性が極めて強い (Bower ら, 1989)。塩素 (25mg/ℓ) による施設の消毒や、病貝の cycloheximide による繰返し処理が有効であった (Bower, 1989)。種苗生産過程に出現する原生動物については、前田 (1987) に詳しい。

近年、暖流域のアワビ類の種苗生産および中間育成で、剥離・選別した稚貝に 4 月下旬～7 月の水温上昇期に高率の斃死を伴う疾病が発生している。羅病個体には、摂餌率の低下、貝殻縁辺部の欠刻や着色 (褐色)、外套膜・足筋肉の萎縮が見られるのが特徴で、上足の付着力の低下により附着板から脱落する。病理組織学的観察では、足筋肉の神経幹と足側神経横連鎖に結節状構造物 (腫瘍) が多数認められる (中津川ら, 1988)。羅病個体の磨砕濾液 (220nm フィルターにより濾過) や飼育水による攻撃試験で容易に感染するところから濾過性病原体 (ウイルス) による感染症と考えられた (中津川, 1990)。攻撃試験では処理 20 日後に病変が現れ、鰓上皮細胞、上足内抹消神経細胞の増殖に始まり、中枢、抹消神経系、さらには結合組織や消化器官に拡大する。鰓が感染の門戸となっている可能性が高く、貝殻の欠刻は外套膜抹消神経の病変により外套膜の貝殻分泌細胞が正常に機能しなくなるため生じると推察された (中津川, 1991a)。斃死は水温が 23℃ を超えると終息するところから、26℃ に昇温し飼育したところ生残率は対象区を上回り、加

温処理による死亡抑制効果があった(中津川,1991b)。防疫対策として,①保菌貝を含むと考えられる貝の除去(親貝の入替え,越年貝の処分)②水槽の洗浄,風乾,排水路の清掃,③飼育水の紫外線照射処理,④注水,通気方法の変更等,飼育方法の見直し,⑤稚貝の隔離飼育,⑥餌料を配合主体から海藻との併用に,⑦使用器具の区別,⑧人の出入り制限等がとられ,発生が抑えられた(水津,1992)。親貝の産地の稚貝により耐病性に差があるという(西村ら,1993)。

長崎県で発生した大量斃死事例の異常貝では,栄養摂取に関する中腸腺の空胞系の崩壊が著しく,核の濃縮と崩壊,ミトコンドリアの濃縮,細胞基質の疎構化など中腸腺細胞の変性・壊死が広範囲に観察された。神経組織障害は極く一部でのみ見られたことからウイルス感染症ではないと考えられた(大橋・吉越,1992)。

大量斃死については,未だ病原体の確認がなされていない。疾病発生の背景には生産施設の老朽化等があるものと思われる。飼育水槽を年間通して使用せざるを得ないところが多いが,乾燥期間をおくために,ゆとりをもった施設設計が望まれる。剝離を伴う生産方法,飼育方法とストレス,栄養の履歴等,発症に関係すると考えられる要因を実験的に検討し,取捨選択していくことが大切である。比較的大型の稚貝の斃死率が低いことから,早期採苗による対処が考えられるが,そのためには母貝の養成,高水温期の採苗等を可能にするため海水の冷却設備が必要である。

環形動物多毛類スピオ科の *Polydora* spp. は,天然のエゾアワビ(秋元ら,1989)やトコブシ(小島・今島,1982)の貝殻に穿孔し,孔道を作って寄生する。寄生種には *P. websteri* とその日本産亜種, *P. concharum*, *P. convexa* の4種がある。寄生(1個当たり数十尾)が進むと,穿孔孔のため貝殻表面の殻皮が剝離し,真珠層には円型または長楕円形の数mmの黄褐色有機物質の異常分泌が見られ,貝柱付着部位では内表面がでこぼこ状になる。アワビの軟体部重量が減少し,みずがい状となり,斃死に至る。*Polydora* の寄生率の増加と水域の汚染との関係が指摘され,資源への悪影響が懸念され(野内ら,1995)ている。

## (14) 選別,出荷

### 1) 剝離,選別

飼育密度の調整に稚貝を剝離する場合がある。稚貝の剝離に,アワビ類ではパラアミノ安息香酸エチル(小畑・高橋,1981;河西ら,1987a),エチルアルコール(柳沢ら,1985),2-フェノキシエタノール(河西ら,1987b)などが用いられている。2-フェノキシエタノールの適正濃度(ppm)はクロアワビ200,メガアワビ350,フクトコブシ250である(有馬,1994)。サザエではパラアミノ安息香酸エチルと水道水併用(岡部・小倉,1988)がとられている。サラサバテイラでは淡水へ浸漬する方法で行われた(玉城・勝俣,1989)。浸漬1時間以内であれば支障がないという。淡水利用では,(1)甲殻類,多毛類,原生動物などを死滅できる。(2)物理的な力のみでの剝離に比べて貝の損傷が少ない,などの利点がある。

選別作業については,稚貝を大,小の群に分けて飼育しても,選別しない群との間に成長(殻長組成)に差がなかったことから,飼育途中における選別は飼育技術としての必然性がない(柳瀬ら,1987)という見解と,個体の大きさに差が広がると,小型個体の成長が鈍り,時には斃死するので必要である(柳橋ら,1986)とする見解がある。

### 2) 出荷,輸送

夏季は水温,気温とも高いので,剝離や輸送は避けたい。長時間にわたって輸送しなければ

ならない場合は、貝類を冷水に収容し体温を10℃近くまで下げてから梱包する。発泡スチロールの箱を用い、スポンジ等の保湿材を同梱するが、容器の底に海水が溜らないよう、水気をよく切って用いる。保冷材には作用のやわらかなアイスノンなどを用いて、箱の中の温度を10℃前後に保つ。保冷材は貝類に直接当たらないようにする。

バケツ等の海水に多量の種苗を入れて放置すると、すぐに酸欠に陥るので注意する。アワビ類の場合、種苗はカキ殻、母貝は塩ビ板等に付着させると落ち着きがよく、梱包に便利である。

#### 4. 種苗生産のハードウェア

##### (1) 立地場所の選択

採苗場の立地場所は巨視的には水温条件によって選択する。アワビ類に例をとれば、本邦沿岸の水温条件は寒暖両水域とも、種苗を経済的に育成するには必ずしも適していない。北は冬季が寒冷に過ぎ、南は夏季が暑熱に過ぎる。このような中で、年間の水温がアワビ類の成長適水温である20℃にできるだけ近く推移する場所を選ぶ。採苗初期の数か月間は使用水量も少ないので、太陽熱や産業廃熱を利用した加温も考慮に入れる。地下浸透水は年間を通して水温が比較的安定しており、特に夏季における低水温の利用が期待されるが、塩分濃度が低くや重金属イオンが混入する場合もあり、良好な条件を備えている例は少ない。低塩分（25‰）で、二酸化炭素の含有量が高く、従ってpHが低い（7.5前後）地下海水を使用して養殖したアワビでは、貝殻表面が溶ける現象が起き、対策としてエアレーションを十分に行うことで二酸化炭素が減少し改善効果があった（香川ら、1991）。アワビの成長経過から塩分濃度25～26‰以下の海水は飼育に不適（山賀、1990）で、15‰の海水中では約1日で斃死する（山賀、1992）。

##### (2) 給水設備

###### 1) 揚水、濾過装置

採苗場の給水は濾過して使用するのが原則であり、給水設備は濾過設備と一体のものである。濾過の方式にはいくつかがあり、それぞれに得失がある（表1-14）。通常は陸上に濾過器を設置する重力濾過や加圧（急速）濾過をとるのが一般的である。これらの方式では、濾面の再生に逆洗を行う必要がある。逆洗には一定時間を要し、逆洗後の濾過水量の2～5%の水量が必要である。また、取水管内面に付着生物が着生し、濾過水量が低下する。このため、付着生物の除去作業が必要となる。濾過材は摩耗が速く数年で更新する必要がある。海水は濾過器の

表1-14 濾過方式の得失

方式	重力濾過	加圧濾過	浸透濾過	海底濾過
立地条件	選ばず	選ばず	限られる	やや限られる
揚水エネルギー	大	大	小	小
給水管路の生物汚損	あり	あり	なし	なし
逆洗	必要	必要	不可能	必要
濾材の摩耗、交換	数年毎	2年毎	不要	10年毎?
濾過性能	40μm前後	100μm前後	立地条件による	40μm前後

\* 小規模では目詰りのおそれ

上部に揚げて落差で給水するか、またはポンプで圧力をかけて給水するので、いずれの場合でも電力の使用量が大きい。

浸透濾過方式は通常天然の砂浜や砂礫を濾過材とするが、立地場所が限られ、小規模のものでは目詰りを起しやすい難点がある。

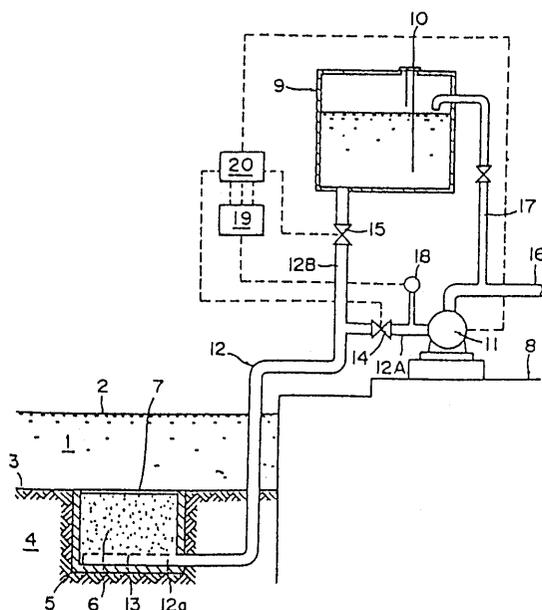


図1-72 海底濾過取水装置の構造

1. 原水, 2. 海面, 3. 水底, 4. 水底地層, 5. 濾過槽, 6. 濾過材, 7. 濾面,  
8. 地上, 9. 貯水槽, 10. 電極, 11. ポンプ, 12. 取水管, 13. 集水管, 14, 15.  
バルブ, 16. 給水管, 17. 貯水槽給水管, 18. 圧力スイッチ, 19, 20. 制御盤  
(菊地, 1987)

近年、水中に濾過器を置く取水システムが開発、運用されている(菊地, 1987)(図1-72)。この方式では、濾過槽は水底地層に埋設し、ポンプの吸引力によって濾過槽に海水を通過させて、濾過水を得る。地上には逆洗用貯水槽を設置し、濾過槽に逆流させて洗浄する。従来法に比べ、濾過槽の洗浄に要する時間と水量を1/10に短縮し、濾過材の耐久性が大幅に向上した。また、付着生物の着生がないので給水管路の保守は必要がなくなった。洗浄水の使用水量が少なく、給水のほとんどは水槽上面までの揚水でよいので、電力の使用量も少なくなる。濾過槽は工法上の制約から通常 $5 \times 5 \times 1 \text{Hm} = 25 \text{m}^3$ の函を用いる。濾過能力は濾面当り $3 \text{トン}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ で、1基の濾水量は $25 \times 3 = 75 \text{m}^3/\text{h}$ である。逆洗水は、毎分 $0.33 \text{m}$ の速度で濾槽を通過させ、3分間で行う。逆洗水量は $25 \text{m}^2 \times 0.33 \text{m}/\text{min} \times 3 \text{min} = 25 \text{m}^3$ 、逆洗用貯水槽の必要容量は $25 \text{m}^3 \div 0.8$ (エア-吸込み防止上の安全率)  $= 32 \text{m}^3$ である。

## 2) 給水量調節装置

貝類の種苗生産では、一般に呼吸量に必要な水量以上を給水している場合が多い。これは餌

料珪藻の生産を保障したり、排泄物の流去を行わせるための水量が、基準として優先するからである。しかし、施設が大規模になってくると、常時、大水量を給水するのではなく、通常は成長に支障のない水量を給水し、排泄物の流去などのためには、必要に応じて給水量を一時的に増加させる（図1-73）ことにより、給水経費が節減できる。給水量の調節は揚水ポンプの回転数を電流の周波数を変更するインバーターにより制御する方式や、ポンプの稼働台数で制御する方式などがある。給水口にはエアレーターを装着し、酸素の溶存効率を高める配慮をする。

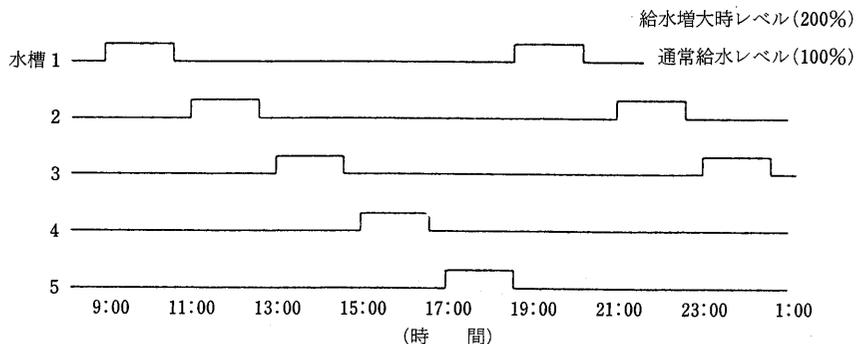


図1-73 給水量調節装置の運転例

給水量の一時的な増大は、水槽の順を追ってプログラムタイマーにより行わせる。

### 3) 施肥装置

餌料用微小藻類の生育を促進するために、施肥が必要である。施肥は一定の基準に基づいて液肥で行う。そのため、施肥原液タンクと水槽への配管が必要となる。時間的に施肥させるためのタイマーをつけておく。

### 4) pH 制御装置

餌料用微小藻類の増殖に必要な炭素を炭酸ガスで補給する。補給は海水のpHモニターと炭酸ガス補給用バルブとを連動させて自動的に行う。

## (3) 海水処理設備

### 1) 調温施設

天然の産卵期以外の時期に採苗を行う場合は、採苗初期の数ヶ月間は必要給水量は小さいので、海水を対象貝類の生育適温に近づけるよう加温または冷却を行う。加温には、ボイラーや廃熱の利用のほか、太陽熱が利用されている（菊地ら，1989b）。

冷却にはチーリングユニットやクーリングタワーが用いられる。太陽熱による加温とクーリングタワーによる冷却を組み込んだアワビ採苗施設が運用されている。このシステムは熱の保存のために蓄熱槽を備えた閉鎖循環濾過方式をとっている。システムはガラス温室内に置かれた採苗水槽、荒濾過槽、濾過槽、蓄熱槽、循環ポンプとから構成されている。各槽の容量などの設計は以下の基準で行う。

(1) アワビの成長に支障のない循環水の必要総量は、アワビ収容量1kgに対し2m<sup>3</sup>とする。

この循環水総量は水温の日変化を少なくし、イオンバランスを維持する環境収容力のようなものと考えたい。(2)濾過槽の処理能力はアワビの収容量 $5\text{ kg/m}^3$ とする。(3)循環水の総量は採苗水槽の容量と蓄熱槽の容量の合計とする。濾過槽には濾材が入っているので計算に含めない。(4)濾過槽と同容量の荒濾過槽を設ける。(5)温室内水槽の太陽幅射熱の蓄熱量は $7,000\text{ kcal/m}^2/\text{日}$ で、春先の温度上昇速度は $0.5^\circ\text{C}/\text{日}$ である。(6)クーリングタワーには海水を直接送り込み、気温の低い夏季の夜間に運転する。水温を数 $^\circ\text{C}$ 下降させ維持できる能力がある。

岩手県陸前高田市、広田町漁業協同組合のアワビ種苗生産施設（エゾアワビ、殻長 $30\text{mm}$ 、 $50$ 万個の生産目標）は、採苗用巡流水槽（長さ $10\text{m}$ 、容量 $11.5$ トン）2槽、地下蓄熱水槽 $120$ トン、荒濾過槽、濾過槽各 $15$ トンからなる。春季（4月）採苗を行い、初期稚貝（採苗～殻長 $9\text{mm}$ サイズ）の飼育に使用する。殻長 $9\text{mm}$ 以降は種苗を外部の育成用巡流水槽（長さ $22\text{m}$ 、5槽）に搬出する。この施設の採苗実績は15ヵ月後の平均殻長で $25\text{mm}$ である。種苗の一部を残し、飼育を継続した採苗用水槽の年平均水温は $18^\circ\text{C}$ であった（図1-74）。

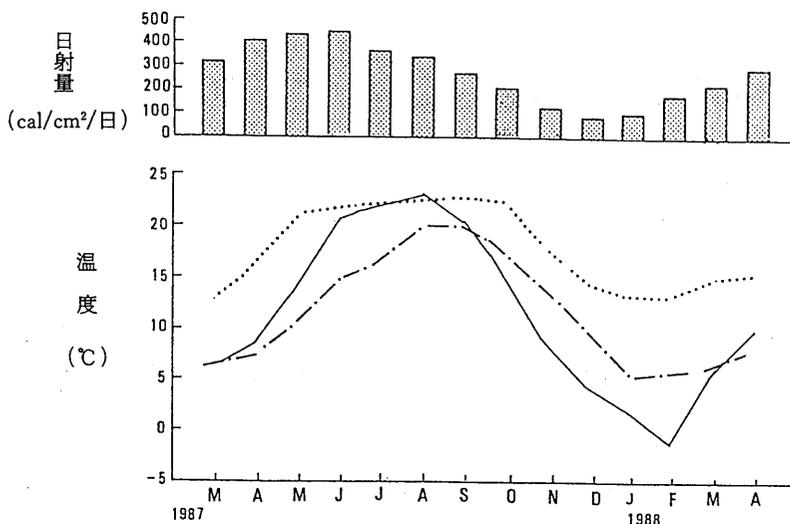


図1-74 アワビ種苗生産施設の日射量と、採苗用温室内外の水温および外気温の季節的变化  
実線：屋外気温、鎖線：屋外水温、点線：屋内水温

岩手県陸前高田市気仙町漁協の蓄熱槽付施設

(菊地ら, 1989b)

## 2) 紫外線流水殺菌装置

産卵誘発用刺激、幼生の飼育水の調整、珪藻の単一種の維持、培養などに用いる。

## (4) 飼育設備

### 1) 母貝養成水槽

箱型的水槽（通常は容量 $1$ トン前後）の底面長軸方向の両隅に、給水管と給気管を設置し、給水とエアーカーテンにより、排泄物の流去を行わせる。餌料用海藻がからむので、水槽中には配管は露出させない。排水はオーバーフロー管より行わせ、目詰りを起すので水槽底からは

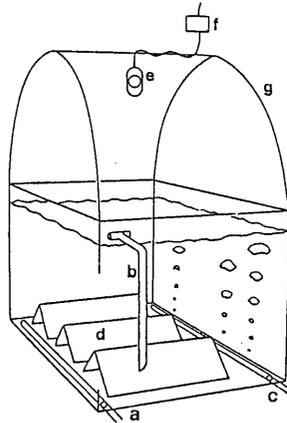


図1-75 アワビ母貝養成用水槽

a : 給水管, b : 排水管, c : 給気管, d : シェルター, e : 光源,  
f : タイマー, g : 遮光幕 (浮, 1987を改変)

とらない。水槽にはカバーをし、光源により人工光周期を付与する。本水槽では餌料海藻の鮮度の保持がよく、ほとんど清掃の必要がない(図1-75)。砂濾過器と連設し、半循環にする  
と保温用電力が節減できる。本水槽には合計5~10kgの母貝を収容する。

## 2) 幼生流水飼育装置

アワビ類では洗卵後の卵をスチロール水槽(40×22×28Hcm, 容量20ℓ)に40万粒収容し、恒温室で管理するのが一般的であった。止水のため1日2~3回の換水が必要である。最近、いくつかの幼生飼育器が設計、運用されている(天神・鈴木, 1984; 河原・山口, 1988; 伊東ら, 1985)。洗卵後の卵を流水容器に収容し、浮上幼生をオーバーフローによりネットに移し、飼育を継続する方式がとられている(金沢ら, 1989)(図1-76)。水槽A(アクリル製75×45×45Hcm, 容量150ℓ)には300~400万粒を収容する。収容卵数に対する浮上幼生数の回収割合

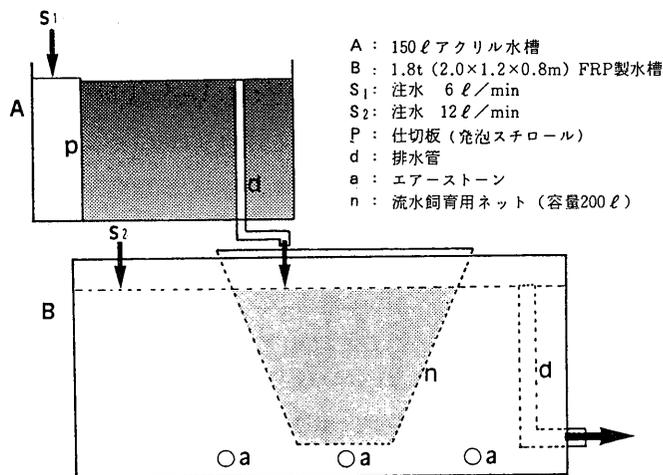


図1-76 オーバーフローによる浮上幼生分離装置および流水ネット飼育  
(金沢ら, 1989)

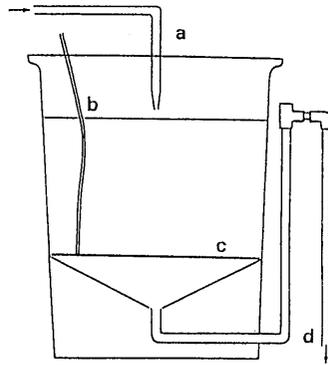


図1-77 アワビ幼生の流水飼育装置

a : 給水, b : 空気抜き用チューブ  
c : フィルター (40 $\mu$ m), d : 排水容量100 $\ell$  (三重県栽培漁業センター)

は90%前後で、従来の止水方式の60%前後を上回った。

三重県栽培漁業センターでは、ポリカーボネイト樹脂製アルテミア孵化器 (容量100 $\ell$ ) に手を加え、アワビの流水飼育器として使用している (図1-77)。浮上幼生の収容数は100~200万粒で、毎時100 $\ell$ の調温水 (18~20 $^{\circ}$ C) を給水する。

### 3) 採苗水槽

寒流域では春先に採苗するために、採苗水槽 (巡流水槽) を温室に収容し、蓄熱水槽を備えた循環濾過システムにより水温を上げる方式が一般的になりつつある (4-(3)-1)参照)。幼生の投入から着底まで、数時間から1日位を止水とするので、水温の上下差や幼生の分布にムラが生じないように、緩やかにエアーカーテンにより通気を行う。

### 4) 育成水槽

#### ①従来の水槽

貝類の種苗生産では水路幅1~2m、長さ5~20mの長方形の水槽を用いるのが一般的であった。上流から給水し、下流から排水をとる。給水バルブは水面上で開放されていることが多い。このような仕組みでは、(1)給水エネルギーが活用されずに捨てられており、(2)水の攪拌にエアレーションなどの別途エネルギーを必要としている。(3)水槽内の海水は、水路を流下する間に利用されるので、上流と下流の間で水質差が生じる。(4)水質差が餌料珪藻の生育に影響を与え、(5)それらを摂餌している貝類に成長差を生じる。(6)水槽内の海水の流動が不十分なので、(7)排泄物、残餌等が堆積し、これらが(8)成長を停滞させ、また、(9)除去に多くの人手を要する。この水槽の中に(10)トリカルネット製のケージや(11)餌料培養用の波板を設置するが、そのため水の流動がさらに悪くなる。

このように、在来の水槽とその運用法の多くは、給水のエネルギー利用、水槽内の流れ、排泄物の除去などに留意されておらず、水槽の維持、管理に多大の経費を要し、しかも水の利用効率が悪いために動物の収容密度や成長度が低い。

#### ②水槽の改良

このような水槽も、水の流動を良くし、排泄物の流去に配慮して、以下のように改良して

使うことができる。(1)給水は水槽長軸方向の隅に配置したパイプにノズルを設けて行い、(2)水の攪拌エネルギーとして利用する。(3)エアレーションはエアストーンではなく、水槽長軸方向にパイプなどでエアーカーテンを設けて行う。給水管と併せて、より効果的に働くよう配置する。(4)その際、水の回転がスムーズに行われるために水の回転している断面が正方形になるように、水深を調節する。(5)下面に穴を開けたパイプを水槽長軸中央にそって配置し、排水孔とする。以上の考え方に添って設計された稚貝用の生理実験用水槽（小西・浮，1992）がある（図1-78）。水槽底からの排水量を増大させるためには(6)底排水管立ち上がり部に、断続サイフォンを設ける。(7)ネットを使用する際は、ステンレスケージにモジ網を張り付け、底面の水平をきちんと出す。(8)波板の使用は止め、板の間の水の流動がよい、平板を束ねた培養器を使用する。以上のような工夫で、水槽内の排泄物の滞留は大幅に少なくなり、水質差が解消される。

水槽内にケージを持ち込むと水の流動が極端に悪くなるので、できるだけ使用したくないが、使用するときは、水槽内の水を上下に振幅させるなど、ケージ内に新鮮な水が補給されるような工夫を加える。配合飼料や海藻を餌料として給与するときの飼育水槽の一例を図1-79に示す。ケージのネット底面がたるんでいると、餌料はその部分に滞留しやすく、水質の局所的な悪化を起して稚貝の斃死を招くので、ケージの作製には底面の水平維持と緊張度に十分配慮する。珪藻飼育期以降の稚貝もできるだけ水槽内に地播きして飼育したい。しかし、取り上げに手数を要する、あるいは出荷に備えて数量とサイズをまとめておきたいなどの理由からケージで飼育されることが多い。地播き飼育は、水槽底に配置した排水パイプの孔径以下の稚貝は放養できない難点がある。これは在来水槽を応急的に改良したからで、当初から専用水槽として製作するのであれば、排水孔は水槽底面下に暗距として取り付け、排水孔のフタにネットを張りつけ、稚貝の発育段階に応じてネットのメッシュを大きいものに交換するなどの方法で対処する。水槽の底面をV字状にし、サイフォンを取り付けて、水を上下に振幅させる水槽が市販されている。

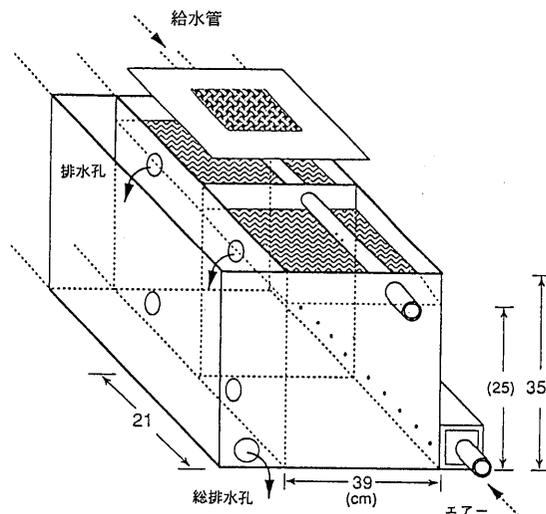


図1-78 アワビ稚貝生理実験用水槽

(小西・浮，1991)

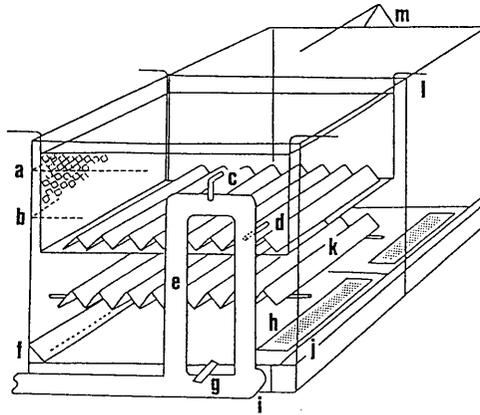


図1-79 稚貝育成用水槽の一例

給水のエネルギーとエアカーテンにより水を攪拌する。二槽連結型。

a：高水位，b：低水位，c，d：サイフォンブレーカー，e：外付けサイフォン，f：給水ダクト，g：全排水バルブ，h：排水ダクトカバー，i：底排水管，j：給気ダクト，k：投餌板兼シェルター，l：モジ網張り付けステンレスケージ，m：遮光ネット支持枠。

水槽内にケージをセットするときは、ケージ内の水の流通が悪くなるので、cを閉塞し水位をa，b間で振幅させて使用する。ケージを使用しないときは、シェルターを2段にセットし，cを開放して水位aで使用する。シェルターkの谷にはスリットを，山には稚貝出入用の穴をそれぞれ開ける。

## 5) 巡流水槽

菊地・浮（1980）は、アワビ類の種苗生産技術の改良の過程で、水槽の形状について種々検討した結果、トラック状の水路をもつ水槽一式を考案し、巡流水槽（図1-80）と名付け、巡流水槽を中心とする飼育装置とその運用法を巡流システムと呼ぶこととした。

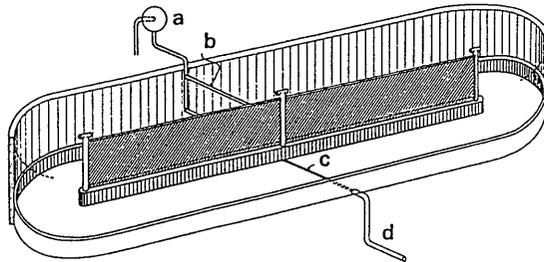


図1-80 巡流水槽の概略

a：ポンプ，b：給水ノズル，c：底排水孔，d：排水  
(木ノ瀬ら，1980)

### ①巡流システムの構成

巡流システムは(1)トラック状の水路をもち、(2)給水は水中で、(3)ノズルまたはエアレーターを用いて一方向に射出する。(4)排水は水槽底からとり、(5)排水量増大のための断続サイフォンや、(6)安全のためのサイフォンブレーカー、(7)排水孔の逆洗装置、(8)槽内の荒

ゴミ濾取用スクリーンネット，(9)給水量の可変装置等から構成される。飼育対象種や目的に応じて，各要素を取捨選択する。

### ②巡流システムの特徴

以上のような構成により，給水エネルギーを(1)回流の生起と，(2)酸素の溶入に利用し，(3)排泄物を自動流下させる。(4)給水の利用率が高いので，(5)魚介類の大きい養成密度が得られる。(6)水槽の水質が均一なので，一定の基準を設けて(7)水質（溶存酸素，アンモニア，施肥濃度など）の管理や，(8)給水量の節約を行うことが可能である。また，(9)電装を施すことにより装置としての発展性もち，配合飼料の使用により(10)工場的生産に対応できる等の特徴をもつ。

### ③巡流水槽の規格および諸元

標準的な巡流水槽の規格および諸元を表1-15に示す。給水量は最大，時間当り水槽容量の2倍，排水量は排水孔の目詰りを考慮して水槽容量の3倍位の能力をもたせるように設計する。給水量はオリフィス（壁面の小孔）に関する次の水理学の公式により求められる。

$$Q_n = A_n \cdot C \sqrt{2gHd}$$

ここで， $Q_n$ ：給水量( $m^3/sec$ )， $A_n$ ：給水ノズルの総断面積( $m^2$ )， $C$ ：流量係数（塩ビ管では0.56）， $g$ ：重力の加速度( $9.8m/sec^2$ )， $Hd$ ：水頭（圧力）( $m$ )。

表1-15 巡流水槽の規格および諸元

水槽の長さ (m)	底面積 ( $m^2$ )		実水深 (m)	容 量 ( $m^3$ )	給水管本数 (本)	給水量( $m^3/h$ ) *1		流速(cm/sec) *4		排水ピット本数 (本)	排水量 ( $m^3/h$ )		珪藻培養器 収容数 (基)
	全面積	直線部分				T*2	J*3	T*2	J*3		φ50	φ65	
5	9.1	6.0	0.6	5.5	2	6.38	7.49	9.4	8.7	1	13.6	22.9	18
5	9.1	6.0	0.4	3.6	2	6.38	7.49	8.4	7.7	1	11.1	18.7	—
10	19.1	16.0	0.6	11.5	4	12.7	15.0	13.7	12.7	2	27.1	45.8	48
10	19.1	16.0	0.4	7.6	4	12.7	15.0	12.3	11.3	2	22.2	37.4	—
20	39.1	36.0	0.6	23.5	8	25.5	29.9	19.3	17.8	3	40.7	68.8	108
20	39.1	36.0	0.4	15.6	8	25.5	29.9	17.0	15.7	3	33.2	56.2	—
25	49.1	46.0	0.6	29.5	10	31.9	37.4	21.4	19.7	4	54.2	91.7	138
25	49.1	46.0	0.4	19.6	10	31.9	37.4	18.7	17.3	4	44.3	74.9	—

\*1 水圧1.0 のとき， \*2 T字型給水ノズル φ4mm×9個/給水管，

\*3 ジェットノズル φ13mm×1個/給水管

\*4 材質：アクリル，給水管：1時間に水槽容量と同量を給水したとき，珪藻培養器は収容せず，水路幅はいずれも1m。

給水量の上限の設定は，飼育する対象動物の成長が，動物相互の干渉によって影響されない収容密度の上限（アワビ稚貝では $20kg/m^2$ 位）とそのときの酸素消費量が基になっている。水路幅1m，水深60cmを標準規格とする。水路には珪藻培養器（ $33 \times 33cm \times$ の平板60枚を，スパーサーを用いて束ねたもの，面積 $33 \times 33 \times 2 \times 60 = 130,680cm^2$ ）を，水槽底から15cmの高さに，棚や吊りアングルを使って水路に平行に配置する。珪藻だけでは餌料が不足する殻長8mm前後以降は，透明シェルターを培養器上に置き，配合飼料を給与して，珪藻との併用飼育を行う。珪藻培養器を使用しない配合飼料単用期間は，別に稚貝付着用の不透明シェルター（兼投餌板）等を設置し，水深は40cmにし遮光して飼育する。

#### ④流速

巡流水槽の流速は実用規模の水槽による水理実験の結果、次の実験式（木ノ瀬ら、1980）で近似的に表すことができた。

$$V_c = \sqrt{b/a \cdot Qn}$$
$$a = 2gn^2 L/R^{4/3} + 1.457 + 3.888H$$
$$b = 1/BH (2/A_n - 1/BH)$$

ここで、 $V_c$ ：巡流速度 (m/sec)， $B$ ：水路の幅(m)， $H$ ：水深(m)， $L$ ：水路の長さ(m)， $A_n$ ：給水ノズルの総断面積(m<sup>2</sup>)， $g$ ：重力の加速度(9.8m/sec<sup>2</sup>)， $n$ ：水槽内面の粗度係数， $R$ ：径深( $B \times H / B + 2H$ )， $Q_n$ ：給水量(m<sup>3</sup>/sec)

給水ノズルの個数や配置は全体の流れに顕著な影響は与えなかった。粗度係数はアクリル0.01，コンクリート0.015である。

水の回流エネルギーは水路両端の回転部分で多くが失われるので，流速は換水率が同じ場合，水槽の長さが長いほど，また水深が浅いほど大きくなる。アワビ類の排泄物の流去には15cm/sec位の流速が必要である。水路内に培養器を持ち込むと流速は下がるので，育成用には水路長が20m以上の水槽を用いたい。

#### ⑤珪藻培養器の稚貝飼育能力

培養器の面積当り，あるいは水槽の底面積当りの餌料生産性は太陽エネルギーによって規定されている。一方，アワビの摂餌量は体の大きさ（殻長）の2乗に比例して増大する。そこで以下の式が成り立つ。

$$G = n \alpha L^2$$

ここで、 $G$ ：餌料の生産性（＝珪藻培養器の面積，1基＝130,680cm<sup>2</sup>）

$n$ ：稚貝の個体数， $\alpha$ ：定数， $L$ ：殻長(cm)

珪藻培養器1セットは殻長3mmの稚貝1万個の飼育能力（餌料生産性）をもっている。すなわち， $L=0.3$ ， $n=10,000$ のとき $\alpha=145.2$ を得る。以降， $\alpha=145.2$ とする。

上式から，稚貝の臨界飼育数（個/1セット）は，

$$n = G/\alpha \times 1/L^2$$
$$= 900/L^2$$

また，稚貝の摂餌面積は，

$$G/n = \alpha L^2$$

水槽底面積1m<sup>2</sup>（培養器3基を収容）当りの稚貝生産数

$$n = 900 \times 3/L^2$$
$$= 2700/L^2$$

すなわち，殻長 $L$ の2乗と飼育数の積は2,700に等しい。培養器1セットまたは底面積1m<sup>2</sup>当りの殻長の異なる稚貝の飼育能力は表1-16のようになる。

#### ⑥摂餌率

摂餌率 $F$ (%)は，摂餌面積 $G$ (cm<sup>2</sup>/個)と殻長 $L$ (cm)により，次式で表される。

$$F = a G \times 100/W$$
$$= a G \times 100/0.14 L^3$$
$$= b G \times L^3$$

表 1-16 珪藻培養器\*<sup>1</sup>のアワビ稚貝の飼育能力

殻長(mm)	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
体重(mg/個)* <sup>2</sup>	3.78	8.96	17.5	30.2	48.0	71.7	102	140	186	242	308	384	473	573	688	816	960	1120	1297
個数	10000	5625	3600	2500	1637	1406	1111	900	744	625	533	460	400	352	312	278	250	225	204
体重合計(g)	37.8	50.4	63.0	75.5	88.2	101	113	126	138	151	164	151	162	173	184	195	206	216	265
摂餌面積(cm <sup>2</sup> /個)	13.1	23.2	36.3	52.3	71.1	92.9	118	145	176	209	245	284	327	371	419	470	523	581	640
個数/m <sup>2</sup> 底面積	30000	16875	10800	7500	5511	4218	3333	2700	2232	1875	1599	1380	1200	1056	936	634	750	675	612

殻長(mm)	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
体重(mg/個)	1491	1703	1935	2188	2461	2756	3073	3414	3780	4171	4588	5031	5503	6003	6532	7091	7682	8305	8960
個数	186	170	156	144	133	123	115	107	100	93.1	87.9	82.7	77.8	73.4	69.4	65.3	62.3	59.2	56.3
体重合計(g)	277	290	302	315	327	339	353	365	378	391	403	416	428	438	453	466	479	492	502
摂餌面積(cm <sup>2</sup> /個)	703	768	837	908	1019	1059	1138	1221	1307	1395	1487	1581	1679	1790	1882	1988	2097	2208	2334
個数/m <sup>2</sup> 底面積	558	510	468	432	399	369	345	321	300	279	264	248	233	220	208	196	187	178	169

\* 1 面積33×33cm×2×60枚=130680cm<sup>2</sup>, \* 2 W=0.14L<sup>3</sup>  
 中段は培養器1セット当り, 下段は水槽底面積1m<sup>2</sup>当り.  
 珪藻を餌料として育成する期間(殻長8~9mmまで)は, 稚貝の分散基準として使用する.

ここで, W:体重(g), a, b:定数。殻長30mmの摂餌面積は表1-16から1,307cm<sup>2</sup>である。このときの日間摂餌率を20%とすると, b=0.413を得る。大きさの異なる稚貝の摂餌率を求めると表1-17のようになる。温度T℃における摂餌率F<sub>T</sub>は次式で求める。

$$F_t = 1/15 F_{20} (T - a)$$

ここで, a:摂餌停止下限水温(エゾアワビでは5℃), F<sub>20</sub>は表1-17の値。

表 1-17 アワビ稚貝の摂餌率\*

殻長(mm)	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
摂餌率	200	150	120	100	85.6	74.9	66.9	59.9	54.6	50.0	46.1	42.9	40.0	37.4	35.3	33.3	31.6	30.0	28.5
殻長(mm)	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
摂餌率	27.3	26.1	25.0	24.0	23.9	22.2	21.4	20.7	20.0	19.3	18.7	18.2	17.6	17.2	16.7	16.2	15.8	15.4	15.1

\* 殻長30mm稚貝の日間摂餌率を20%と仮定したときの試算

⑦摂餌量

稚貝の摂餌量と珪藻の生産量が均衡しているとき, 珪藻の生産量は表1-18のように, 培養器当り80g/日前後, 水槽底面積当り250g/m<sup>2</sup>・日前後と見積られる。

⑧巡流水槽の稚貝育成能力

巡流水槽の稚貝生産能力は, アワビ類の場合はさきの表1-16から配合飼料給与開始を8~9mmとすると表1-19のように概算できる。

表 1-18 巡流水槽におけるアワビ稚貝の摂餌量試算

臨界飼育数 (殻長 3 mm)	体重合計 a (g)	摂餌率 b (%)	摂 餌 量 ab (g)/培養器	摂 餌 量 (g)/m <sup>2</sup> 底面積	水槽中の総摂餌量(kg)	
					10m槽	20m槽
10,000	37.8	200	75.6	227	3.63	8.16

培養器収容数：10m水槽48, 20m水槽108

(参考) 愛知県栽培漁業センター屋外水槽の稚貝生育量：4.6 g/波板1枚(3600cm<sup>2</sup>) = 13 g/m<sup>2</sup>, 付着珪藻の生産量 = 稚貝の生育量 × 1.0 ~ 1.3 = 13 ~ 17 g/m<sup>2</sup> (柳橋ら, 1986), 巡流水槽珪藻培養器換算：珪藻の生産量 = 13 ~ 17 g × 13.068m<sup>2</sup> = 170 ~ 222 g/培養器 = 510 ~ 666 g/m<sup>2</sup>底面積

表 1-19 巡流水槽のアワビ稚貝育成能力

水槽の長さ (m)	珪藻培養器収容数 (基)	珪藻培養器延面積 (m <sup>2</sup> )	稚貝育成能力* (万个/槽)
5	18	235	2.0~2.5
10	48	627	5.3~6.7
20	108	1411	12~15
25	138	1803	15~19

\* 珪藻培養器の収容数 × 1 基当り稚貝育成数 1,111 ~ 1,406 個(殻長 9 ~ 8 mm)  
(表 1-16 参照), 殻長 8 ~ 9 mm 以降は他餌料を併用. 殻長および収容量  
の上限：35mm および 20kg/m<sup>2</sup>.

### ⑨ 水槽内の稚貝の行動と成長

巡流水槽では採苗から取り上げまで稚貝を剥離することなく、培養板を水槽に収容したまま配合飼料を主餌料として飼育を継続することが多い。このような一貫飼育と、途中で剥離しシェルターを用いた飼育との成長が比較されている(有馬, 1994)。それによると、一貫飼育の成長が配合単用切替え飼育よりも劣っており、その原因として、稚貝の水槽内の分布特性が指摘されている。フクトコブシでは 8 割弱が培養板に付着しているのに対し、クロアワビの培養板への付着は 1 割前後で、残りは水槽底、壁面に付着していた。このため、投餌板上の餌を食べず餌料不足で成長が停滞したと考えられている。アワビ類については、水槽内の稚貝の摂餌行動特性を調べ、飼育方法を再検討する必要性が指摘されている。

## (5) その他の施設, 機材

### 1) 珪藻流水培養器

アワビ類やサザエにとって、珪藻の餌料価値は極めて高いので、できるだけ大きなサイズまで珪藻を餌料として育成したい。珪藻の水槽への補給、配合飼料への混入、冷凍保存したものの利用、単一種の維持、培養などのために珪藻の流水培養器が考案されている(田中, 1987a, b) (図 1-81)。本装置(容積 8 ℓ, ブラシの表面積約 2.7m<sup>2</sup>, 受光面積 1,000cm<sup>2</sup>)の 1 ヶ月の収量は容積 1 ℓ 当り 40 ~ 50g 湿重 (350g/本) である。この値を、単位受光面積当りに換算すると約 120g/m<sup>2</sup>・日となる。この培養器の利点は、閉鎖系で単一種の維持に利用できる見通しがあり、また、珪藻を簡単に回収できるところにあり、培養器をガラス平板で作製し受光面積を

拡げて、電動、自動化すれば用途はさらに広がるものと思われる。

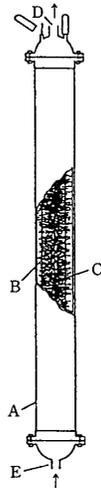


図1-81 附着性珪藻流水培養装置

A：ガラス管，B：ナイロン製ブラシ，C：ステンレス製リング，  
D：海水流出口，E：海水流入口 (田中，1987 a)

## 2) 稚貝選別機

アワビ稚貝の選別機が考案されている (稲葉・堀内，1989) (図1-82)。桶の底に穴 (φ 6.5~15.0mm, 1mm間隔) を開けた篩を，1分間に280回上下動させる。本機により2人で一日14万~27万個の選別ができ，選別された稚貝の殻長は±1.0mm以内で揃っている。

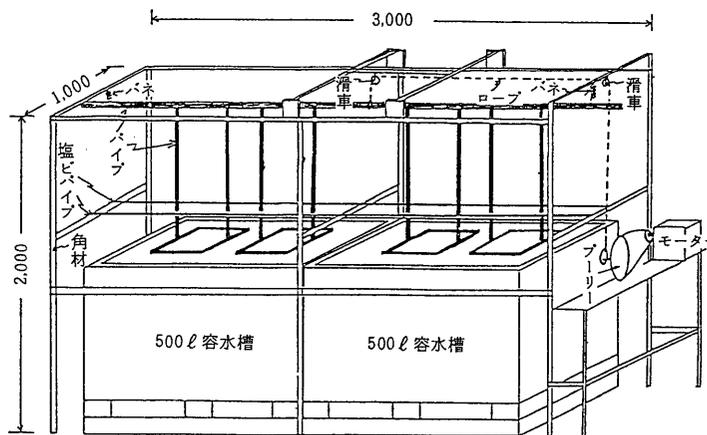


図1-82 アワビ稚貝の選別機

モーター200V 3相0.4kWh, プーリー径12インチ  
(稲葉・堀内，1989)

### 3) 中間育成, 養殖施設

海面で行われる中間育成と, その延長としての養殖には, 網カゴを垂下する方法 (大橋ら, 1992; 木下, 1989; 境, 1990b,c), 海底に沈下する方法 (二島, 1988) あるいは浮沈式の工夫を加えたもの (武田, 1993) などがある。海面での中間育成の経済効率はやくないので, 陸上での育成技術を発展させ, 中間育成の期間はできるだけ短縮させたい。

最近, 水に設けた網, コンクリート, 天然の岩肌等の障壁物に, 樋状の空気溜めを設けることで, アワビ, ウニ等の移動を阻止する装置 (浮, 1995) が考案され, 一部漁協でアワビ養殖用として運用されている。

樋状の空気溜めは下側が開放されていて, 空気を封入している樋により障壁物の上端内周に沿って連続した空気の輪を作っている。樋内部の空気は長期には少しずつ失われるので, 別途, 空気の補給装置が必要である。障壁物で囲っている区域の上端は水中において開放状態にあり, 給餌作業が容易である。養殖用の他, 種苗の中間育成等に活用が期待される。

### おわりに

本稿で引用した研究成果の記述はごくエッセンスである。詳しくは, 是非, 原著に当たりたい。示唆に富んだ記述に遭われるはずである。

以上を通覧すると, 種苗生産技術の一層の発展には, 特に(1)大型種苗の育成や斃死の防止効果を期待して任意の時期に産卵期を設定できる成熟の制御技術, (2)初期餌料の安定培養技術, (3)消化生理に配慮した配合飼料の開発, (4)省力, 省エネルギー的な飼育施設の開発と普及を柱とする効率的な生産体制の整備が当面の主要な課題として浮かび上がってきたように思う。今後は, 種苗放流がアワビ資源の造成に寄与するだけでなく, 生態系の保全に対しても積極的な手段となるよう生産種苗の質についても配慮していく必要があろう。

アワビ類の種苗生産マニュアルとしては, 既にいくつかの労作がある。例えば, 「アワビ種苗生産の手順」(昭和60年3月, 新潟県栽培漁業センター), 「クロアワビ種苗生産技術」(昭和61年3月, 愛知県栽培漁業センター), 「東京都栽培漁業センターに於けるアワビ・フクトコブシ種苗生産について」(平成6年4月, 東京都鳥しよ振興公社刊) 等である。本書の2章, 3章と併せて参照されたい。

近年, 種苗生産業務が公益法人に委ねられる方向にあるが, さらなる技術革新を図るためには, 今後も種苗生産部門と試験研究機関との連携が欠かせない。本稿が連携の一助となり, アワビ類の種苗生産技術が画期的な進展を遂げていくのを期待したい。

## 第2章 エゾアワビ種苗生産技術の実際

### はじめに

岩手県では、アワビ(以下、エゾアワビを指す)はすべての漁業者が採捕でき、かつ漁獲金額が多く、最も重要な磯根資源となっている。しかし、漁獲量は2,000トン~数100トンと変動が大きく、その安定生産と漁獲量の増大を図るため県が中心となって「アワビ資源増大計画」を策定し、官民挙げての種苗生産・放流事業に取り組んできている。

放流種苗の大量確保のためには、県営による1.5cm サイズまでの種苗生産と、漁協等による3cm サイズまでの中間育成の生産システムが必要であり、(財)かき研究所および東北区水産研究所で開発されたばかりの当時の最先端技術の導入を図り、掛け流し方式による700万個規模の種苗生産施設と中間育成施設の整備を行った。その後、放流事業の実施と効果調査等により、4cm サイズの春季放流が最も経済的であるとの結論が得られ、大型サイズの生産に対応したシステムの改善(巡流水槽の導入)を行うとともに、平成6年度からは、(社)岩手県栽培漁業協会(以下、栽培漁業協会)に運営が移管され、種苗生産業務が継続されている。

以下に、本県の種苗生産システムとマニュアルを紹介するが、少しでも他の生産機関の参考になれば幸いである。

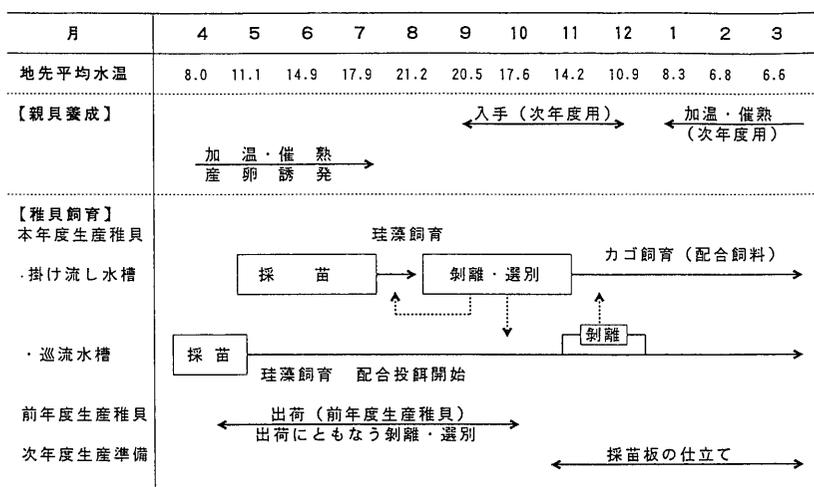
### 1. 施設の概要

#### (1) 水槽数および使用水量

栽培漁業協会ではアワビの種苗生産に使用している水槽は、22m巡流水槽30槽と、22m角型掛け流し水槽55槽である。これらの水槽に、1400m<sup>3</sup>/時(一部魚類水槽で使用)の濾過海水を供給している。

#### (2) 年間の作業スケジュール

種苗生産は、1年間を1サイクルとして図2-1のように進められる。



点線は稚貝の動きを示す。

図2-1 栽培漁業協会の年間スケジュール

## 2. 掛け流し水槽によるエゾアワビの種苗生産

### (1) 親貝の養成

アワビの種苗生産を計画的に行うためには、まず予定した時期に計画した数量の卵数を確保することが重要である。エゾアワビの成熟制御はほぼ確立しており、水温のコントロールにより、周年採卵することが可能である（第1章3.(3)成熟の制御参照）。

#### 1) 親貝の入手

##### ①大きさ

栽培漁業協会で行った平成3年度に行った親貝養成の状況について表2-1に示す。一部種苗生産された稚貝の中から成長の優良なものを継続飼育し、親に仕立てたものもあるが、大半は栽培漁業協会近くの海域の天然貝を使用している。

《メモ》 殻が素直に伸びて、あまり大型でなく（若く）、かつ、良く太ったものを選ぶ。

表2-1 親貝養成の状況（平成3年度）

加温開始時期 計 測 年 月 日	1月上旬（前期群）			2月上旬（後期群）		
	2年 12月21日	3年3月 19・20日	採卵時	2年 12月21日	3年4月 24・25日	採卵時
有効積算温度（℃・日）	0	836.1	1,084.6	0	852.4	1,446.0
平均殻長（mm）	91.0	96.4	99.4	95.8	101.5	103.1
平均体重（g）	96.9	119.6	136.4	107.7	137.6	147.9
平均生殖巣指数	0	1.8	2.9	0	1.8	3.0
個 数（個）	378	373	(93)	213	212	(77)

注（ ）は産卵に供した親貝数 生殖巣指数：0～3の4段階の肉眼観察

##### ②個数

殻長が9～10cm程度のアワビであれば1個当たりの放卵数は100万粒程度であるので、雌の個数は必要卵数から逆算する。成熟が順調に進まない個体や、産卵刺激に対する応答の鈍い個体等も出現するので多めに見積もる。

《メモ》・雌の数は計算から求めた数の2倍を確保する。

・雄の数については、少なくとも雌の数の半数程度を確保する。

##### ③標識の装着

入手した親貝は養成する水槽に収容する前に殻についた雑物をワイヤブラシ等で除去する。個体毎に増重量等のチェックができるように標識を付けることが望ましい。OHPフィルムを利用してラベル（炭素粉面が内側になるよう鏡文字をコピーする）を作成し、水中ボンドで接着する。

#### 2) 飼育装置

##### ①飼育水槽

親貝飼育水槽は、1.5×0.9×0.8mのFRP製（容量約1m<sup>3</sup>）で、人工光周期を付与するためにキャンバス製のカバーで覆っている。基本的な設計は第1章の図1-75のとおりである。

《メモ》・シェルターの下に塩ビの板を敷くとアワビの取り上げが簡単。

・排水部分にはアワビが排水を妨げないように、ネット等でカバーを付ける。

## ②収容基準

上記水槽のアワビ親貝の収容限界は10kgである。したがって、採卵までにその量を超えないよう、収容時には約7kg程度とする。

《メモ》 養成開始時から採卵時までには、体重が約4割増加する(表2-1)。

## ③使用海水、調温および給水量

栽培漁業協会における海水処理の概要を図2-2に示す。親貝の養成に使用する海水は、急速砂濾過装置を2回通過した海水(2次濾過海水)を調温して用いる。この際、ポンプや調温系統の機械のトラブルに注意する。アワビが急激な温度差や止水状態に曝されると、成熟が進行していた場合には、予定外の産卵となって種苗生産ができなくなることもある。

《メモ》・機械設備の点検、特に加温開始前の調温設備の整備が重要である。

・トラブル発生時にも $\pm 2^{\circ}\text{C}$ の温度差のうちに復元できるよう気をつける。

給水量は上記の水槽および収容基準で $1\text{ m}^3/\text{時}$ 以上となるよう供給している。この水量は、10Kgのアワビを $20^{\circ}\text{C}$ で飼育した場合、溶存酸素の約10%が消費される量である(付表2-1)。

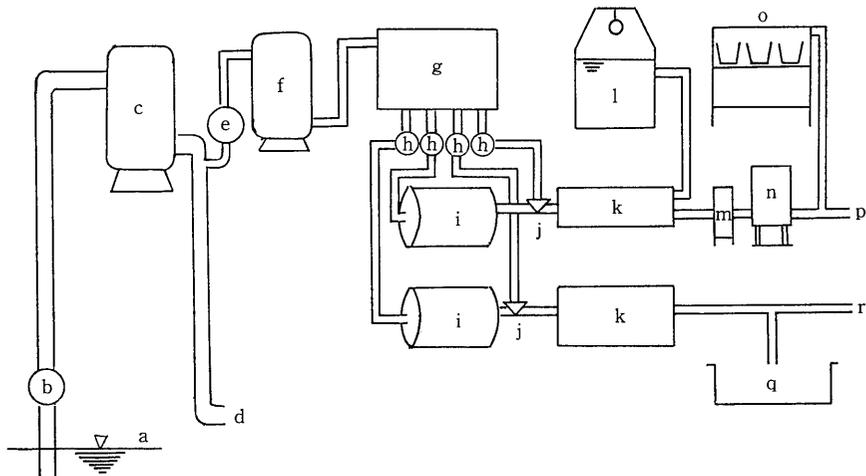


図2-2 岩手県栽培漁業協会における海水処理の概要

- |            |           |                 |               |            |
|------------|-----------|-----------------|---------------|------------|
| a. 導水路     | b. 採水ポンプ  | c. 一次濾過器(急速圧力式) | d. 屋外水槽へ      |            |
| e. 二次濾過ポンプ | f. 二次濾過器  | g. 貯水槽          | h. 調温用ポンプ     | i. 海水加熱器   |
| j. 三方弁     | k. 調温タンク  | l. 親貝水槽         | m. フィルターハウジング |            |
| n. 紫外線照射装置 | o. 産卵誘発装置 | p. 幼生飼育槽へ       | q. 採苗水槽       | r. 屋外加温水槽へ |

## ④成熟の進行と飼育水温

エゾアワビの成熟の進行と飼育水温の関係については第1章3.(3)成熟の制御に詳しく述べられている。生物学的零度が $7.6^{\circ}\text{C}$ であるので、毎日の水温観測値から $7.6^{\circ}\text{C}$ を減じた値を積算して、成熟有効積算温度( $^{\circ}\text{C}\cdot\text{日}$ :以下、積算温度と略す)を求める。

《メモ》・積算温度が $1000\sim 2000^{\circ}\text{C}\cdot\text{日}$ を採卵できる目安と考える。

・加温開始時期をずらすことにより、長期間、完熟個体を確保できる。

・自然海水温から昇温する際は $1^{\circ}\text{C}/\text{日}$ の割合で、徐々に温度を上げていく。

以上のように採卵に適した積算温度を、希望する時期に得るため海水を加温するが、最適飼育水温が20℃であるので、それ以上の高温を要するような短期間の養成は無理である。また、積算温度が800℃・日を超えた時点で選別を行い、入手時に雌雄の判別が確実でなかったものを雌雄に分け、また成熟不良な個体の廃棄等を行う。

### 3) 餌料海藻

#### ①餌料海藻の種類

親貝養成用の餌料としては、生コンブ、生アラメを用いている。乾燥コンブ等加工した海藻は20℃の海水中での保ちが悪く、水質の悪化を招く。ワカメは生でも水質を悪化させる。生アラメは生鮮な状態では忌避物質を出し、摂餌されにくい。

《メモ》 生アラメは一晚陰干しをして、藻体を弱らせてから給餌する。

#### ②成熟の進行と摂餌率の変化

摂餌量が生殖巣の発達や産卵刺激に対する反応率に影響を及ぼすことが判っている（第1章3.(3)成熟の制御参照）。図2-3に、栽培漁業協会で観測した積算温度と摂餌率の関係を示す。摂餌率がこのグラフから大きくずれるような場合は何らかの異常事態が発生していると考えられるので、飼育環境のチェック等を急ぐ必要がある。

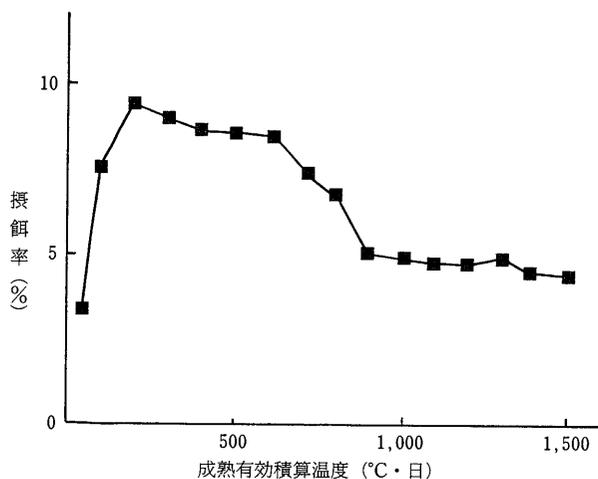


図2-3 エゾアワビの成熟有効積算温度と摂餌率  
岩手県栽培漁業協会昭和56年~平成2年までの平均値(餌料海藻はコンブ)

- 《メモ》
- ・飽食状態を維持することが重要。
  - ・給餌率が1日当たり体重の20%以上となるよう、週2回に分けて給餌を行う。
  - ・給餌は加温開始直後は週3回にして、残餌量をチェックする。

### 4) 光周期

親貝飼育水槽には、前述のとおりカバーをかぶせ、40Wの白熱電球（水槽底面の照度が約150Luxとなる）を取り付け、タイマーによって照明時間を調節する。暗期13:00~1:00、明期1:00~13:00とする（第1章3.(4)産卵の制御参照）。これは、アワビの行動に日周性があり、日没直後に産卵行動をとると考えられるからであり、作業性を考えて日中に産卵を誘起するためである。

## 5) 日常の管理

### ①観測項目

水温と比重、給水量の測定は毎日行い、飼育環境の確認と積算温度の算出をする。水温は自動記録計を使用して連続計測を行うと、調温装置の変調等早期に発見できる場合もある。

### ②残餌量測定、清掃、給餌

週2～3回給餌を行う前には、残餌を取り上げ、水を切って計量し、摂餌量を測定する。残餌を取り上げた後、排出されない糞や、残餌の碎片をサイフォンを利用して除去する。

《メモ》 アワビは振動等に敏感。シェルターを移動したり、衝撃を与えないよう注意。

親貝の養成に関する項目を簡略に示すと図2-4のとおりとなる。

【月】	【積算温度】 (℃・日)	【作 業】	【要 点】
9～12月		親貝の入手 ↓ 標識装着・計測	形の良い太ったアワビを必要数確保
12月		仕立て用水槽に収容 ↓ 加温開始	収容重量 7kg以下/槽 調温施設の点検整備 昇温スピード1℃/日
1月上：前期群 2月上：後期群	0	20℃調温海水による飼育	水温・比重・水量・摂餌量のチェック
3月下：前期群 4月下：後期群	800～850	選別・再収容 ↓ 産卵誘発	成長不良・未成熟個体の廃棄
4月中～	1000～2000		

図2-4 親貝養成の概略

## (2) 採卵と孵化

アワビ類の採卵が、紫外線照射海水による産卵誘発技術によって、飛躍的に進歩したことは第1章にあるとおりである。紫外線照射装置による殺菌効果は、洗卵、幼生管理に清浄な海水を供給するための役割も大きいと思われる。

### 1) 採卵、採精に供する親貝の選別

過去の生産事例から、採卵に供した雌の個体数と受精卵の数について抜粋すると表2-2のようになる。この表から使用する雌1個体（体重130～150g）当たり70～100万程度の受精卵が得られるとして、誘発に必要な個体数を計算する（この表の個体数は、産卵誘発に供したが産卵しなかった個体も含んでいるので、誘発率も含んだ値と考えて良い）。

表2-2 採卵に供した雌の個体数と受精卵数

年 度	60	61	62	63	元	2	3	4
雌の個体数 (個)	480	357	289	306	229	174	124	154
受精卵数 (100万個)	411	298	354	260	190	124	113	119
1個体当たりの受精卵数(千個)	856	835	1225	850	830	713	911	773

(岩手県南部栽培漁業センター事業報告書(昭和60年～平成4年)より作成)

選別した個体は、殻長、体重、生殖巣指数（GI，第1章3.(3)成熟の制御参照）を測定した後、殻表面の汚れをスポンジ等で洗い、産卵誘発水槽に収容する。1水槽当たり2個体を入れる。雄は、雌の半分程度を用いる。

《メモ》 生殖巣指数 GI 2 でも実用には差し支えない。但し、卵数は少ないかもしれない。

## 2) 産卵誘発刺激

産卵誘発刺激は、紫外線照射海水を用いる。補足的に温度刺激も与えられるような施設はあるが、併用による誘発率への影響は確認していない。紫外線照射海水は装置の公称殺菌能力の約 1/100 の流量に絞って使用しており、1水槽当たり 150ml/分の海水を流す。刺激を開始してから早くも 2 時間で雄が放精を始め、30分～1時間ほど遅れて雌が放卵し始める。

《メモ》 公称殺菌能力の 1/100 の流量（照射量）はかなり強いが、生産に支障はない（1/10, 1/50 とする知見もある）。

## 3) 採卵、精子濃度の測定と媒精

放出された卵や、精子は時間の経過と共に受精率が低下するので、放出された後直ちに受精する。まず手付きビーカー等で精子懸濁液を取り、トーマの血球計算板で濃度を測定する。精子の固定にはルゴールエオシンを用いる。次に放出された卵が沈降してから、サイフォンを用いて受精用のコンテナに移す。コンテナ底面に卵が重ならない程度の量で、水量が約 2 l となるようにする。精子濃度が 40 万個/ml となるように媒精量を決定する（換算表（図 2-5）を作成しておく）と便利。媒精直後にコンテナを攪拌して、精子濃度が一樣になるようにする。作業の流れは図 2-6 を参照。

◆ 1ml 中の精子濃度  
= 1 マスの個数 × 400 万

媒精量	X ml
精子濃度	A 万個/ml
卵海水量	2,000ml

$$X / (2,000 + X) = 40 / A$$

$$X = 80,000 / (A - 40)$$

換算表

1マス当たり精子数(個)	媒精量(ml)
1. 0	222
1. 5	143
2. 0	105
2. 5	83
3. 0	69
3. 5	59

図 2-5 媒精量を求める式と換算表の例

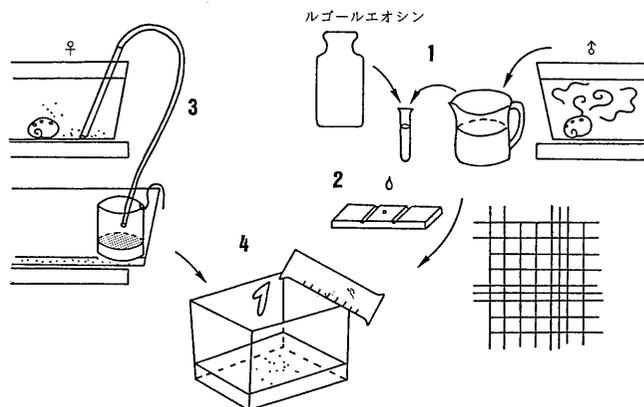


図 2-6 採卵と媒精

- ① ② のコンテナから、手付きビーカーで精子懸濁液を採取し、試験管に懸濁液を 5 ml、ルゴールエオシンを 0.5 ml 入れ、ピペットでよく混ぜる。  
\* ルゴールエオシンの作り方  
a. ルゴール液 b. 0.85% 塩化ナトリウム液 c. 1% エオシン液  
a : b : c = 1 : 1 : 1 の割合で混合する。
- ② トーマの血球計算板の斜め 20 マス内の精子数を計数し、換算表から適正媒精量を決定する。
- ③ 沈下した卵をサイフォンで採取し、250 μm ネットを通過させて別のコンテナに収容する。水量は、2 l となるように調整する。
- ④ ② で求めた媒精量を投入攪拌し受精する。

《メモ》・250 $\mu$ mのミューラーガーゼで卵を濾すと、卵以外の雑物を除去できる。

・卵が20 $\ell$ 容のコンテナ（市販の飼育容器）の底に1層に並ぶと約60万個となる。

#### 4) 洗卵

媒精2分後には受精が完了する。2分経過したコンテナには紫外線照射海水を注入し、卵の沈降を待って上澄みを捨てる。これを繰り返す方法の他に、40 $\mu$ mのミューラーガーゼを張った $\phi$ 150mm塩ビパイプ（高さ7cmぐらいのバット内に置く）に卵を收容して、流水下に約30分放置する流水洗卵を実施して、大幅な時間の短縮と、省力化が図られた。

《メモ》・流水洗卵（流量は4～5 $\ell$ /分程度）による発生への悪影響はない。

・洗卵容器に100万個以上の卵を收容すると目詰まりを起こして卵が流失する。

・流水洗卵の前後に上澄みを捨てる洗卵を2回程度行う。

#### 5) 受精率の測定と卵数の計測

受精から約1.5時間（20 $^{\circ}$ C）で第一卵割が始まるので、それ以後受精率を計測することができる（実際には、3時間経過した頃が卵割を確認しやすい）。コンテナ内の卵が海水中に一樣に懸濁している状態の時にピペットで5ml取り、容積法により收容卵数を計算する。実体顕微鏡下で総卵数と卵割していない卵の数を数え、その差を受精卵数として受精率を出す。通常、受精率は90%以上となる。

#### 6) 水温調節による発生速度の制御

発生速度と水温の関係は、第1章3.(6) 幼生の管理に詳しい。発生有効積算温度は、（飼育水温-7.6 $^{\circ}$ C）の時間毎の積算値（ $^{\circ}$ C $\cdot$ 時）で求められる。発生速度が水温によって変化することを利用して、孵化時間を作業のしやすい時間（たとえば出勤時間後）に合わせることができる。そのためには、孵化させたい時刻に積算水温160 $^{\circ}$ C $\cdot$ 時となるよう、水温を低く維持すれば良い。具体的には、冷却水を注入し（15 $^{\circ}$ Cぐらいを下限と考えている）。恒温室に入れる方法を用いている。

《メモ》・受精卵を20 $^{\circ}$ Cにおくと、受精から約13時間後に孵化し始める。つまり、午後1時に受精させた卵は午前2時に孵化し、浮上幼生の採取を深夜に行うこととなる。

・冷却水注入により、約5 $^{\circ}$ Cの温度差が生じるが、それによる発生への悪影響は見られない。

#### 7) 浮上幼生の採取

積算温度160 $^{\circ}$ C $\cdot$ 時で孵化した幼生は水面に向かって上昇するので、浮上幼生を分離する。分離する際は、浮上幼生を上澄みを取る要領で別のコンテナに移し変える方法を取る。

《メモ》・未受精卵や卵膜等はバクテリアの温床。分離しないで長時間放置すると水質が悪化し、幼生飼育が不調（河原・山口,1987;河原ら,1990）となることもある。

・分離する際、部屋を暗くして懐中電灯でコンテナ内を照らし、未受精卵等を混入させないように気をつける。この方法で、受精卵の約60%の幼生が回収できる。

#### 8) 幼生の流水飼育方法

幼生の管理では、飼育環境を良好に保つことが最重要課題である。環境を良好に保ち、省力化が図れるという点で、流水飼育が有効である。

栽培漁業協会で使用している流水飼育装置（河原・山口,1988）を図2-7および表2-3に示す。積算温度400 $^{\circ}$ C $\cdot$ 時までは幼殻が完成していないので軟体部を傷つけないように幼生

の取り扱いには充分注意する。採苗前の計数は、ネット内の幼生を集めてコンテナ内に移し、容積法で計数する。積算温度が $1,000^{\circ}\text{C}\cdot\text{時}$ を超えた頃から採苗に供する。

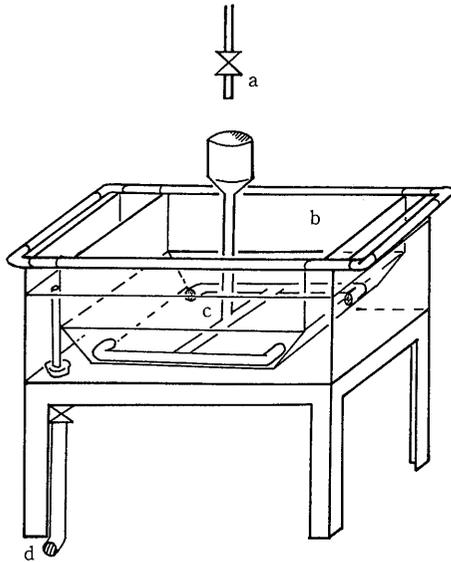


図2-7 幼生の流水飼育装置

a. 給水 b. ミューラーガーゼ( $90\mu\text{m}$ )  
c. 塩ビパイプ( $\phi 13$ )の給水管(ネットの保形) d. 排水

表2-3 幼生の流水飼育の概要

項 目	流 水 飼 育
有 効 容 積	72 l
収 容 幼 生 数	1,200千個
給 水 量 及 び 換 水 率	2000ml/min. (40回転/日)
幼生 $10^5$ 個あたりの換水率	167ml/min.
換 水 開 始 時 期	孵 化 直 後
水 温 変 化	調温により一定
管 理 に と も な う 労 力	1人 $\times$ 1h $\times$ 2回/日

(河原・山口, 1988)

- 《メモ》・浮上幼生をネット内に収容するには、予め海水中に沈めたネット内に手付きビーカー等を用いて静かに流し入れるようにする（ネットへの衝撃を弱める）。
- ・収容開始直後は念のため流量を絞っている（幼殻完成後の1/2程度）。
  - ・ネット内でへい死している個体は、見つけ次第サイフォン等で除去する。

### (3) 採 苗

採苗を順調に進めるためには、健康な幼生と、適切な採苗板、採苗密度の吟味が必要である。

#### 1) 採苗板の作成

##### ①材質等

掛け流し水槽で飼育する稚貝の採苗に供する採苗板は、透明塩化ビニール製の波板（ $32\times 40\text{cm}$ ）を使っている。ホルダーは採苗板を15枚収容できるもの（ポリエチレンコーティングした鉄線で作成）を使っている。

##### ②採苗用適餌料と採苗板の作成

栽培漁業協会が最も安定した採苗ができる採苗板は、ウルベラ *Ulvella*、ココネイス *Cocconeis* 等の2次餌料が優占し、アワビ稚貝が摂餌し足跡粘液の付いた、いわゆる「なめ板」である。

ウルベラの遊走子は、10月ぐらまでは天然の海水中に豊富にあるので、そのころに小型稚貝を付着させた飼育板を飼育水槽内に設置する。アワビの摂餌圧が高すぎるとウルベラの増殖が抑制されるので、適宜間引きを行いながら、15mm 前後の稚貝が1枚当たり10~15個程度となるように調整する。採苗1週間前に稚貝を剝離し、波板に付着したウズマキゴカイ

等の雑物を除去し、採苗に供する。

《メモ》・ウルベラ板は遮光流水下で保存可能。作業上、水槽不足となったときに稚貝を剝離してウルベラ板を集約的に収容し、水槽を空けることができる。

- ・板上の雑物は手のひらサイズの波板で擦り落とす。多大な時間と労力が必要。
- ・培養ウルベラ板の仕立てを作業工程に組み込むことが望ましい（高橋,1986）。

## 2) 採苗水槽, 給水量

採苗直後は、1～2日の間、止水で管理するため、水槽は雨の影響のない屋内に設置する必要がある。また、採苗から約1週間継続して屋内で飼育するので、珪藻増殖を促すため採光できる施設でないといけない。採苗水槽と採苗板のセットの仕方を図2-8に示す。給水は20℃の調温海水を用いる。排水側の水槽底面からノズルで噴射し、反対側のエアレーションにより回転流を作るようにする。

給水量は、ホルダーを立てるまでは微量とし、吊り下げてからは、1m<sup>3</sup>/時間（0.5回転/時）とする。

《メモ》・栽培漁業協会の採苗棟内の照度は、屋外の約1/4程度の照度。

- ・1水槽に20ホルダーを収容する。採苗時の波板は水平に、通水してからは立てる。
- ・通水するのは積算温度1400℃・時が目安。それまでの水位はホルダーの上3cmに保つ。

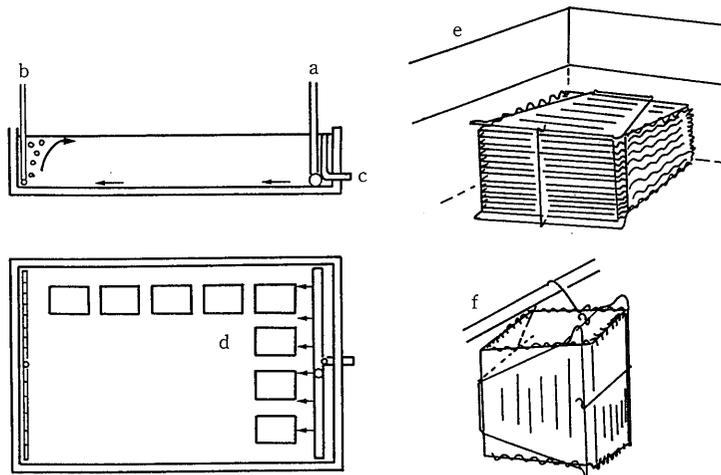


図2-8 採苗水槽と波板のセット

- a.給水      b.通気      c.排水  
d.波板の配置      e.採苗時の波板の置き方      f.通水してから波板を吊った状態

## 3) 採苗密度と幼生の計数

### ①採苗密度

採苗密度を低くすることで、その後の生残率が向上し、日間成長量が増大することが判った。過去の栽培漁業センター（現栽培漁業協会）事業報告書の数値から波板1枚当たりの投入幼生数と約3ヵ月後の生残率及び日間成長量の関係を求めたものを図2-9および2-10に示す。幼生密度800個/枚前後で採苗するのが適当と思われる。

- 《メモ》・ 沢山付けても生き残る数は同じ。それなら少なく付けて成長の早い方が良い。  
 ・ 採苗密度を下げると、それ以前の採卵数から幼生数までがスケールダウンでき、作業や飼育管理に余裕が生まれ、波及効果は大きかった。

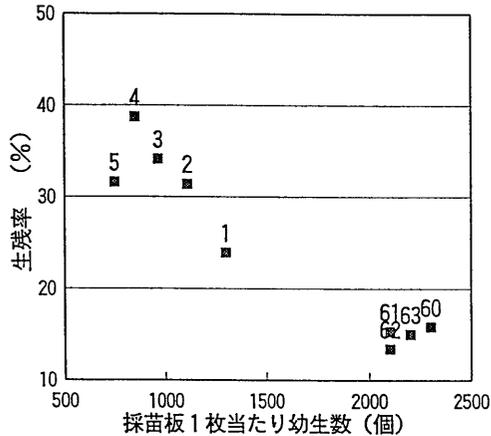


図 2-9 採苗密度と生残率の関係  
 図中の数字は種苗生産年度を示す。

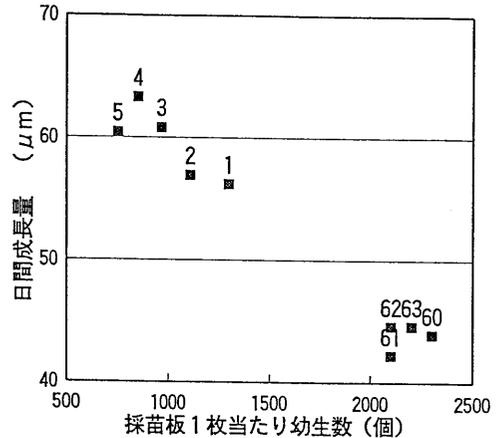


図 2-10 採苗密度と日間成長量の関係  
 図中の数字は種苗生産年度を示す。

## ②幼生の計数

採苗に供する際には、幼生を幼生飼育槽からコンテナに移し、ピペットで5 ml取って、容積法で個体数を計測する。幼生の計数はルゴールエオシンを滴下して、幼生の動きを止めて行う。幼生を時計皿に移し実体顕微鏡で計数する。その際、正常な幼生はルゴールエオシンを滴下すると軟体部が殻の中に引き込まれるが、中には牽引筋が無く、面盤が露出したままの個体が見られる。それらは、奇形として正常幼生数から除外して計数する。コンテナ内の幼生を、1採苗水槽に投入する数量ずつ分配し、採苗する。

《メモ》・ 幼生をコンテナに集めてから採苗水槽に移すまでは30分以内とする。

- ・ バクテリアの感染が起りやすいため長時間（1時間弱）収容して、採苗後ほぼ全滅したことがある。

## (4) 初期稚貝の管理—呼水孔形成まで—

殻長が500 μm になった頃、屋外の水槽に搬出して飼育を継続する。呼水孔が形成されるまでの稚貝の摂餌量はわずかであるので、この時期に珪藻の増殖を抑制しないと、摂餌されない大量の珪藻が枯れ、環境の悪化を招く。珪藻を主餌料とする期間に最も配慮しなければいけないことは、稚貝の要求量に合わせて珪藻の生産量を調整することである。初期には抑制し、後期には稚貝の分散、餌料の添加等をタイミング良く行うことにより生産が円滑に進む。

### 1) 水槽の構造

稚貝飼育を行う水槽を図 2-11に示す。FRP製の長方形の水槽で、水槽内に構造物がないので掃除がしやすく珪藻飼育、カゴ飼育いずれにも使える。

採苗槽から移したホルダーは、図 2-11のようにベースの上に乗せ、ホルダーの間には散気管を設置してエアレーションを行う。このエアレーションは酸素の供給の他に、海水を動かす

役目が大きい。ホルダーに収容された波板の間隔は1.5cmと狭く、強制的に海水を送り込まないと珪藻の生産力が低くなる。この水槽にホルダーが4×37=148個収容できる。

《メモ》 22×1.5mと長いので、給水側と排水側で環境にかなりの差が生じてしまう。

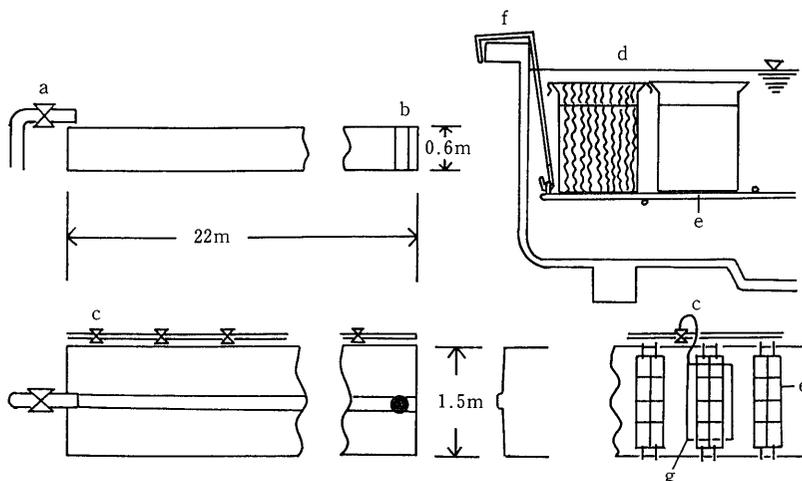


図2-11 稚貝飼育水槽の構造(珪藻飼育)

a.給水 b.排水 c.給気 d.水槽の断面図  
e.ベース f.フック g.散気管(塩ビパイプ)をとりつけたベース

## 2) 給水量

この時期の稚貝の酸素消費量は微々たるものであり、給水量を規定するものは水温の確保と珪藻の維持(栄養塩の供給)が主なものである。初期には遮光幕を設置するので珪藻の生産量は小さく抑えられており、珪藻の維持にも多くの水量を必要とはしない。実際には2~3m<sup>3</sup>/時程度としている。ちなみに、水温20℃で稚貝の殻長を2mm、採苗した個体がすべて生残したとして(水槽内の稚貝の重量が約2kg)、排水のDOが80%の場合の基準給水量(付表2-1)は1m<sup>3</sup>/時弱である。

## 3) 遮光幕による珪藻生産量の制御

初期稚貝の摂餌量は少ないので、過剰な珪藻は枯れて水質を悪化させたり、厚く膜状になって剥離脱落するものもある。このような状況下では稚貝の健全な生育は望めず、生残率低下の一因とも考えられる。そこで、珪藻の増殖を抑える必要がある。栽培漁業協会では、遮光幕(図2-12)を用いることにより、珪藻の増殖をコントロールしている。遮光率は、75%と50%の2種類があり、屋外水槽搬出から2週間程度は75%を、それ以後呼吸孔のできた個体がちらほら見えてくる頃まで50%の遮光幕を設置する。50%に切り替える際に、波板を1枚おきに抜き

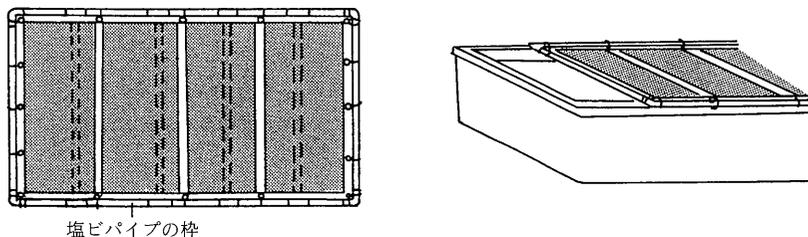


図2-12 遮光幕

取って分散することにより、水通しを良くし、光が波板の下部まで到達するようにする。遮光幕をかぶせている期間も、1、2回のホルダーの反転を行い、波板上下の珪藻生産量の均一化を図る。

《メモ》 外に出したら即刻、遮光幕を。珪藻が増えてからかぶせてると枯れるので逆効果。

#### 4) 施肥

掛け流し水槽における施肥は、施設の構造上液肥の使用が困難なので、底に直径1mmの穴を開けたバケツの中に尿素を入れ、水槽の長さの1/3、2/3の所に設置し、自然に溶解させる方法を取っている。

#### (5) 稚貝の管理—微小藻が主餌料の期間—

この時期のポイントは、いかに稚貝の摂餌能力に見合った適切な餌料環境を提供できるかどうかにある。

##### 1) 給水量

この時期の給水量は、珪藻の増殖を促すために多いに越したことはないが、実際には8m<sup>3</sup>/時程度としている。選別のための剝離を行う時点での1水槽当たりの稚貝の収容量は、殻長約6mmで、20万個から30万個（総重量6～9kg）程度である。排水のD O 80%の給水基準は約1.5～2.2m<sup>3</sup>/時であるので、アワビに対する給水量は十分である。

##### 2) 分散

珪藻飼育期間中の飼育密度の調整は、稚貝の摂餌の状態を観察しながら、餌不足になる前に波板を抜き取り新しいホルダーに入れ、別の水槽に分散していく方法が簡便である。ホルダーの空いている部分には、ウルベラのついている波板や珪藻を培養した波板などを差し込み餌料の増加を図る。

掛け流し水槽での珪藻飼育の分散は施設の構造上配合飼料の併用ができないため、1/3（採苗時1ホルダーであったものを3ホルダーに分散展開したということ）までが限界である。そのときの波板1枚当たりの稚貝個体数は約100個体（平均殻長約5～6mm）となる。

《メモ》 稚貝が殻長3mm程度になれば、ホルダーを介して自力で別の波板に移動できる。

##### 3) 剝離、選別

稚貝の成長に伴い大型の稚貝は配合飼料を摂餌できるようになるので、集約的に管理できるカゴに収容して飼育を継続する。このように殻長の大小による選別が必要となってくるので、稚貝を大量に剝離する必要がある。そこで麻酔剤による剝離が一般的に使われている。パラアミノ安息香酸エチル（小畑・高橋,1981）の50ppm溶液を用いた剝離選別手順を図2-13に示す。

選別が終った稚貝は網生簀に収容して換水率の高い水槽で回復を促す。回復に要する時間は、水温にもよるがほぼ1時間位は必要である。

選別に用いる篩の孔径は、3、4、5mmと1mm刻みにし、5mmの篩に残った大型の稚貝はカゴに収容し配合飼料飼育に切り替える。それ以下の小型稚貝は再度珪藻飼育を行うが、サイズごとに波板1枚当たりの付着数を変える（2.(5)5）生残率参照）。珪藻培養板を使って再飼育を行うときは、ホルダーの下に稚貝を付けた波板を敷いて、稚貝が自然に波板に移るのを待つ。1週間経過したら、敷いた波板はホルダーに戻す（図2-14）。

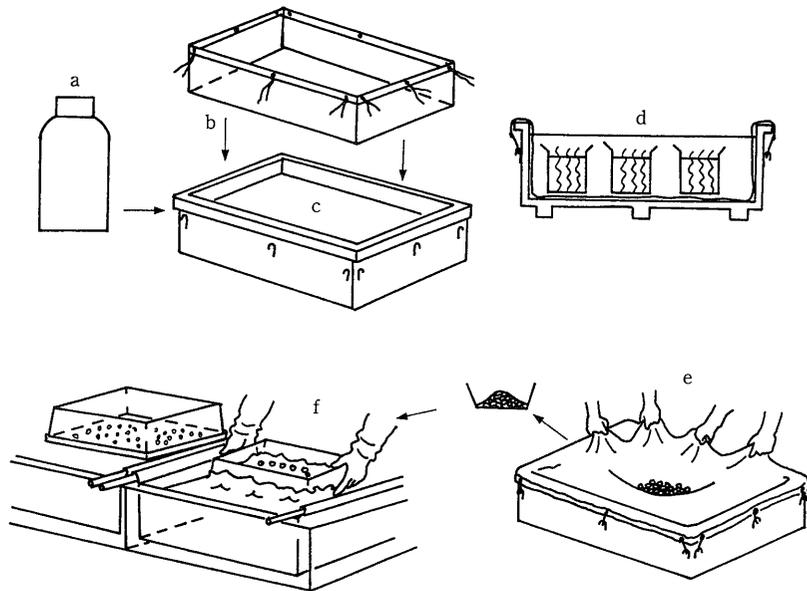


図 2-13 麻酔剤を用いた稚貝の剥離・選別

- a. パラアミノ安息香酸エチル50gと75%エチルアルコール500mlを広口びんに入れ、よく混合する。
- b. cの水槽の内寸にあわせたネットをとりつける。
- c. 稚貝の飼育水温より3~4℃高い海水(1m<sup>3</sup>)を入れた水槽に、aを入れる。
- d. 稚貝の付いた波板をホルダーごと浸漬。4~5分後ホルダーを揺すって稚貝を落とす。
- e. 波板を取り出して、ネットを持ち上げ稚貝を集める。
- f. 稚貝をふるいに入れて、水中でふるう。  
ふるいは、市販の密閉容器(本体：ポリエチレン、フタ：ポリプロピレン)の底を切りとり、フタにポンチで穴をあけたもの。

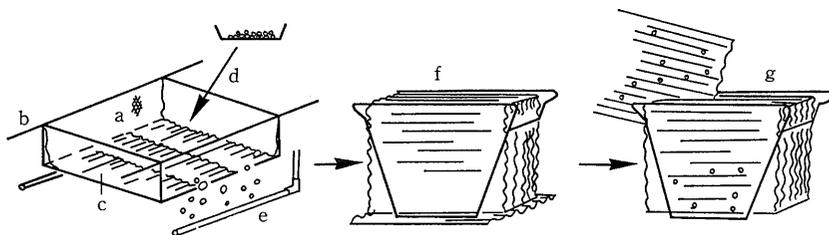


図 2-14 稚貝剥離後、再度波板に付け戻す方法

- a. 防虫網で作った内網
- b. 稚貝飼育用カゴ
- c. 珪藻培養した波板を敷きつめる。
- d. cの枚数×1ホルダーあたりの波板の枚数×1枚当りの個数を重量法で計量し、波板の上のにせる。
- e. 散気管
- f. 一晚経過してから、珪藻培養した波板(ホルダーは1枚分空けておく)の下に稚貝の付いたcの板を1枚敷く。
- g. 1週間後、下に敷いた板をホルダーに差し込む。

#### 4) 珪藻培養

平成元年度に珪藻の流水培養装置（第1章図1—81）に準じた装置を作った。この装置は、内径が10cm程度ガラス管の上下にフランジをとりつけ、塩ビパイプを溶接したためくらフランジをボルトあるいはシャコ万力で固定したものの中にブラシをいれ、水を流すもので、10本作成した。ただし、図1—81のステンレス製リングは付いていない。この装置を利用した、珪藻の大量培養の方法は以下のとおり。

- ①珪藻培養板を使用する約1カ月ほど前から、装置に水を流し、ブラシに珪藻が付着するのを待つ。
- ②珪藻を培養する波板をホルダーにセットし、稚貝飼育水槽に隙間なく並べ、流水とする。ホルダー5列おきに散気管を設置する。水位は、ホルダーから10cm上位とし、3ヶ所に施肥用バケツを置く。
- ③培養装置のブラシに珪藻が繁茂したら、フランジをはずしてブラシを取り出すとともに、ガラス内面の珪藻を擦り落としてドレンから珪藻懸濁液を取り出す。
- ④②の水槽の水を止めて水槽内でブラシを洗うように珪藻を落とす。懸濁液も散布する。
- ⑤2時間後流水とする。ブラシはガラス管に戻し、引き続き珪藻培養を行う。

《メモ》・ブラシに緑藻が生えたら次亜塩素酸ナトリウムで処理してから培養を再スタートする。

- ・従来、2週間位かかっていた波板の珪藻培養が、10日位に短縮できた。
- ・珪藻による再飼育のスケールを拡大できたことが、その後の生残率アップにつながった。

#### 5) 生残率

この期間の生残率は、採苗密度によって大きく左右される（図2—9）。この図から判るように、採苗板1枚当たりの採苗数に生残率を乗じた数字が各年度300から330位である。このシステムでの生産能力の一つの目安と考えて良いのか、興味深い現象である。

一方、剝離後の珪藻による再飼育の方法について検討し、年々内容を変更してきた。内容についての変化を表2—4に、剝離後の生残率を図2—15に示す。生残率アップの根拠について図2—16にモデルを示した。これらのことから、①珪藻培養板1枚当たりの付着個数を少なくしたこと、②従来、カゴ飼育に移行していた稚貝のうち、小型のものを再度珪藻飼育することにより、従来配合飼料飼育に適応できず死んでいたものの多くを救済できたことの2点が、初回剝離以後の生残率を高める原因となったことが判る。

表2—4 稚貝剝離後の珪藻培養板による再飼育方法の変化

年 度	元	2	3	4		
平均殻長 (mm)	4.0	4.0	4.0	5.6	4.2	5.0
全剝離個体数に対する割合 (%)*	59.2	41.8	32.1	35.5	41.3	35.2
波板1枚当たりの付着数 (個/枚)	150	100	100	60	100	60

\* これ以外の稚貝はカゴ飼育へ移行した。

(岩手県南部栽培漁業センター事業報告書(平成元年～4年)より作成)

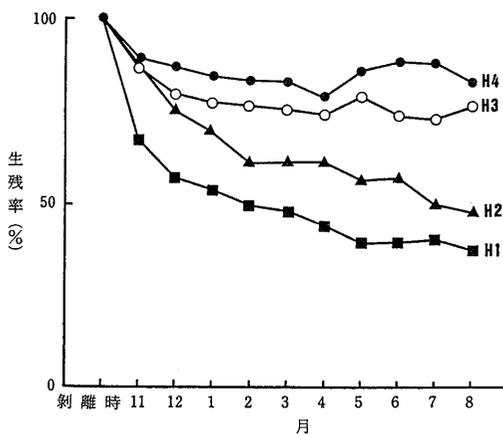


図 2-15 初回剥離以後の生存率の年度別推移  
岩手県南部栽培漁業センター事業報告書(平成元年～5年)より作成。  
上昇している部分は、サンプリング誤差によるものと思われる。

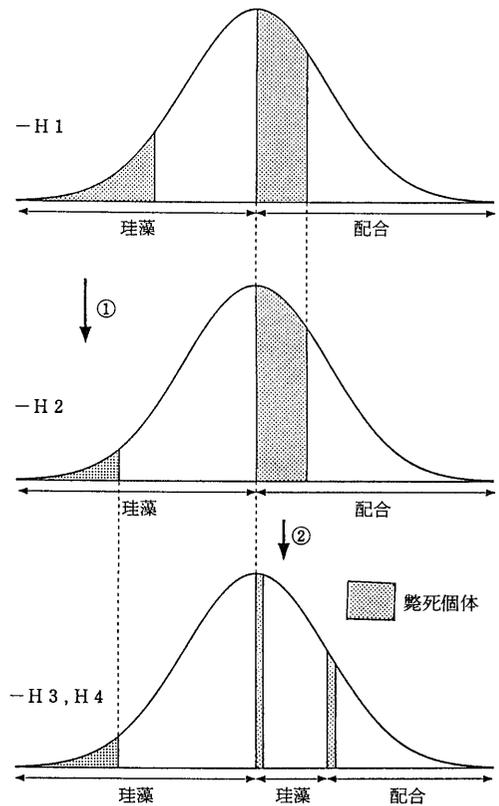


図 2-16 珪藻培養板による再飼育拡大がもたらす生存率アップのモデル

- ①波板への附着密度を低くする。
  - ②配合飼育の小型貝を珪藻で再飼育。
- X 軸方向は殻長、Y 軸方向は個体数の幅を示す。

## 6) 成長速度

採苗密度の見直しと共に成長速度も増加したが<sup>8)</sup>(図 2-10)、日間成長量が $60 \mu\text{m}/\text{日}$ をやや上回る程度に留まっている。

### (6) 後期稚貝の管理—配合飼料給与期—

#### 1) 飼育カゴの構造

配合飼料を摂餌できるようになった稚貝は、シェルターを入れた飼育カゴ(図 2-17)に収容する。カゴの直下からエアレーションを行い、海水交換を促す。

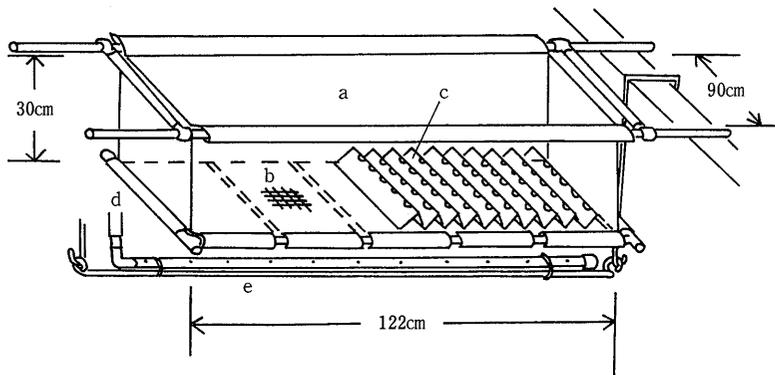


図2-17 配合飼料用カゴ

- a.モジ網      b.トリカルネット(N598)      c.シェルター  
 d.給気      e.散気管(塩ビパイプ)と支持ベース(ポリエチレンコーティングした鉄棒)

## 2) 飼育密度と生残率

平成元年度に、配合飼料飼育期の収容密度と生残率等について調べた(図2-18および2-19:河原,未発表)。平均殻長が6.4mm, 8.8mmの2種類の稚貝について、実際の種苗生産で用いているカゴ(シェルター投影面積1.02m<sup>2</sup>)を使用して各種の密度を設定して試験を行った。約8カ月の飼育期間中の生残率は殻長によって異なり、大型貝では密度に関係なく約80%以上を維持していたのに対し、小型貝では全体に低く、密度と生残率に負の相関が見られた(図2-18)。しかも、いくら密度を下げてでも大型貝の生残率の水準には至らないと推察され、この殻長範囲には配合飼料飼育に適さない個体が含まれると考えられた。この試験結果を踏まえてカゴ飼育に移行するサイズを大きくした(表2-4)。

また、小型貝と大型貝で同じ重量で開始しても、終了時の増重率は大きく異なる(図2-19)。同じ重量のアワビを生産するのであれば小型貝を大量に作るより、大型貝を適量生産する方がその後の生産が安定しているといえる。

《メモ》 種苗生産の計画を立てるとき、つい生残率を低めに見積もり、採卵数や、採苗数を多く設定しがちであるが、それ自体が生残率を低くしてしまうという悪循環があることを認識しないとイケない。

## 3) 給水量

稚貝の成長に伴い、また水温の上昇に伴い必要水量は多くなる。特に、長い水槽で飼育する場合、排水口付近で酸素不足に陥ることが多いので、下流の稚貝を観察して、給水量が十分か判断する。台風シーズンは、水温が高いことと、時化で濾過器が目詰りしやすい等の悪条件が揃っているので、大型稚貝を大量に飼育している水槽の管理に注意する。

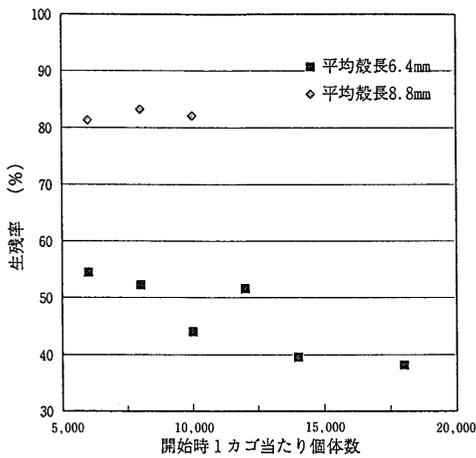


図2-18 平均殻長を変えた場合の収容密度別生存率

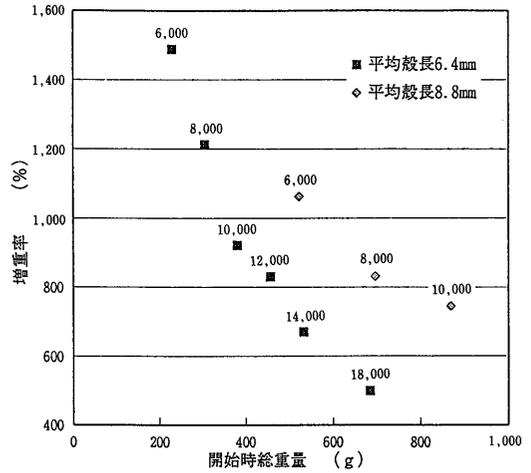


図2-19 平均殻長と収容密度を変えた場合の実験開始時総重量と増重率

図中の数字は1カゴ当たりの実験開始時収容数を示す。

#### 4) 配合飼料

配合飼料は、週に2~3回給与する。給餌量は、稚貝のサイズや水温によって異なるが、標準給餌量はメーカーが基準表を作成しているのを参考にして与える。

アワビの配合飼料は数社で市販しており、平成3年に比較試験を行った(野呂ら, 1991)。4社のうち1社で日間成長量、飼料転換効率が低い結果を得た(表2-5)。水温による保形性なども各社によって異なるので、飼育条件に合ったものを選択する。

《メモ》 給餌量は、残餌が若干残る程度を目安として量を決める(日々の観察が大切)。給与するときは、残餌をサイフォンで除去する。

表2-5 配合飼料試験結果

試験区	試験開始時		試験終了時		増加量		日間成長量 ( $\mu\text{m}/\text{day}$ )	増重率 (%)	飼料転換効率 (%)
	殻長(mm)	体重(g)	殻長(mm)	体重(g)	殻長(mm)	体重(g)			
1	18.6	0.98	30.6	4.21	12.0	3.23	87.0	329.6	60.4
2	18.7	0.99	31.7	4.39	13.0	3.40	94.2	343.4	63.8
3	18.6	0.97	30.9	3.86	12.3	2.89	89.1	297.9	54.0
4	18.5	0.94	28.8	3.35	10.3	2.41	74.6	256.4	45.3

(野呂ら, 1991)

#### 5) 水槽の管理

水槽の底掃除は、1週間に1回程度行う。水槽壁面に珪藻等が繁茂するので、稚貝を水槽内に直接放養して摂餌させる。

《メモ》 パソコンの表計算ソフトで各カゴのデータベースを作成すると管理しやすい。

#### (7) 出荷

##### 1) 選別法

出荷する頃には殻長のばらつきが非常に大きくなり、再度選別が必要となる。選別する際には、波板の稚貝を剝離したときと同じ手法で、剝離・選別を行う。

### ①篩の孔径と選別稚貝のサイズ

選別用の篩の孔径は2mm間隔で出荷サイズを考慮して設定する。栽培漁業協会では、 $\phi$ 10mmの篩に残った稚貝（ $\phi$ 10mm～ $\phi$ 12mm、平均殻長15mm前後）から、出荷対象としていている。それに満たない稚貝は、再度飼育して、成長してから出荷する。

篩の孔径を2mm間隔にすると選別された稚貝の平均殻長はほぼ3mm間隔となり、殻長の標準偏差はほぼ1.2～1.5の間であった。

### ②稚貝選別機

巡流水槽の稚貝を剝離すると、一度に大量の稚貝を選別しなければならず処理能力のアップが必要となった。そこで、第1章図1-82にある稚貝選別機の改良型（三重県栽培漁業協会作製）を参考に選別機の導入を行った。

## 2) 出荷までの飼育

選別された稚貝は、重量法で計数し、出荷に備えてストック水槽に備蓄しておく。その際、出荷直前の麻酔剝離を避けるため、また、コンブにならすために、コンブを入れたカゴに収容する。稚貝は、コンブを付着基盤として、また餌として利用する。

このとき使うカゴは、配合飼育の時のものと同じ（図2-17）で、さらに内側にモジ網で作った内網を取り付け、カゴの底面のトリカルネットにアワビが付着するのを防ぐ。また、エアレーションを行うとコンブが浮き上がるので、塩ビの板をN字型に折曲げたシェルター（アワビの取り外しが簡単なように防風網を縫いつけたもの）を乗せる。

出荷の日には、稚貝をコンブから手で剝して計量、梱包する。

## 3) 計数

出荷の前日にサンプリングにより稚貝の平均体重（単重）と平均殻長を計算する。単重は計数の根拠として用い、平均殻長は金額の根拠（稚貝の単価は1.9円/mm）として使われるので厳密な計測を行う。

計量は個数秤りを使用して能率的に行う。計数の単位は、出荷先の中間育成用カゴの収容個数、あるいはその1/2とし、現地での作業の便を図る。

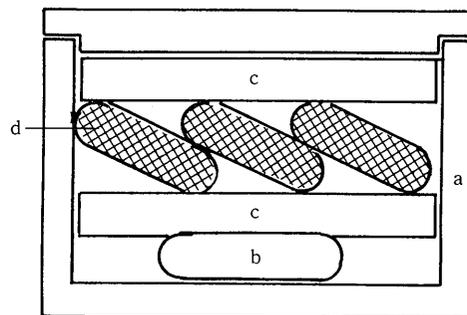


図2-20 出荷稚貝の梱包

- a. 発泡スチロールの箱
- b. 保冷剤
- c. スポンジ 海水で湿らせたのち十分水気を切る。
- d. タマネギ袋に詰めた稚貝

#### 4) 梱包・輸送の方法

計数した稚貝はタマネギ袋に入れ、梱包する(図2-20)。1箱当たりの稚貝収容限界は4kgとしている。梱包材料は返却してもらい、使い回す。

輸送は、出荷先の漁協等のトラックを用いる。図のような梱包を行うので、最大5時間の輸送時間を要する漁協でも保冷設備のないトラックでトラブルは生じていない。

### 3. 巡流水槽によるエゾアワビの種苗生産

巡流水槽の構造を図2-21に示す。第1章4.(4)5巡流水槽にあるように、掛け流し水槽では利用されていない給水のエネルギーを、回流を作り出すために用いている。回流は珪藻生産量の増大、排泄物の自然流去による水質の安定化を促し、大型稚貝の生産を可能にした。

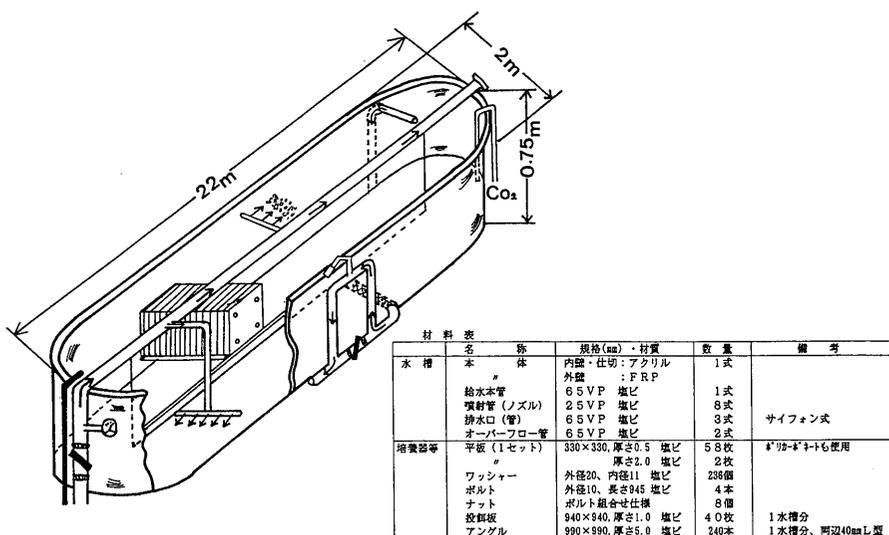


図2-21 巡流水槽の構造

#### (1) 親貝の養成

「第2章2. 掛け流し水槽によるエゾアワビの種苗生産」の項と同じ。

#### (2) 採卵と孵化

同上

#### (3) 採 苗

##### 1) 採苗水槽の構造と使用方法

採苗水槽は波板による採苗と同じものを使っている。採苗時には1水槽当り平板8セット(1セット60枚)を収容する(図2-22)。通気管は水槽の中央に配置し、給水口と排水口は水槽の両端となる。1回の採苗では平板120セット分、採苗水槽15槽を用いる。

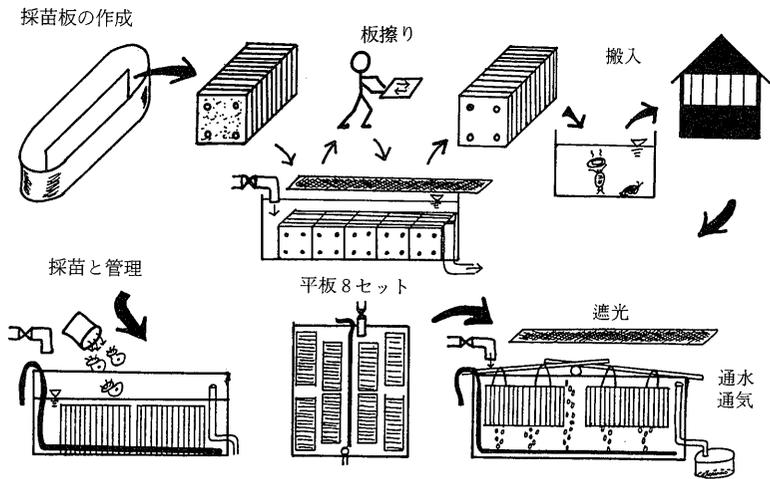


図 2-22 平板採苗の手順

## 2) 採苗板の作成

採苗板は逕流水槽で飼育中の前年度産アワビを剥離したものを使用する。剥離後、ボルトを外して分解し、1枚ずつ板擦りをする。雑物を除去した板は組立てて、採苗日まで流水遮光下で保存する。採苗板は搬入時に1度水道水に浸し、板に付着する動物（コペポダ等）を除去する。搬入後は給水を止め、採苗板の上端3 cm程度まで水位を下げる。

《メモ》 波板と同様ウルベラを使用。稚貝剥離は採苗日前14日以内に行う。

『板擦り』の道具は手のひらサイズのプラスチック板（2 mm厚）。

ウルベラは乾燥に弱いので組立てはすばやく行う。

## 3) 採苗数と水槽の管理

採苗密度は平板1枚当り500個を目安にしている。平板1セット60枚、採苗水槽1槽当り8セットを収容するので、採苗数は240千個となる。逕流水槽の採苗は、1回当り平板120セット使用するので、1槽当りの採苗幼生数は3,600千個となる。

採苗水槽の水温は採苗直後20℃程度であるが、4月の採苗は気温が低いので、保温のため、夜間、石油ストーブを焚いて水温の維持に努めている。

通水は幼生が採苗板に付着してから行う。幼生の付着確認は浮遊幼生の有無で判断し、採苗後早ければ24時間後、遅ければ48時間後程度になる。付着確認後、20℃の加温水を1水槽当り1 m<sup>3</sup>/時程度通水する。通水後は水位を高くし、翌日平板を園芸支柱で吊り下げ、水の循環をよくするために通気する（図2-22）。飼育期間中は施肥を行い、遮光幕（45%程度）により藻類の増殖を制御しながら稚貝を管理する。

《メモ》 平板は波板に比べ幼生の浮遊時間が長い。採苗板の向きによる違いと推定される。

## (4) 初期稚貝の管理—呼水孔形成まで—

### 1) 採苗板の屋外搬出

採苗後10～14日経過したら、屋内の採苗水槽で飼育した稚貝を、屋外の逕流水槽に園芸支柱に吊り下げたまま搬出する（図2-23）。逕流水槽には20℃の温水を10～15 m<sup>3</sup>/時程度掛け流

し給水し、水槽内の水循環は水中ポンプで給水管へ送水することで、ノズルからの水流推進力を得て行う。

採苗板を巡流水槽に吊した後は、水槽の保温と防雨を兼ねて半透明ビニールシートをかぶせ、さらに藻類の増殖を制御するため75%遮光幕を張る。

《メモ》・採苗板の搬出は気温が高く曇りの日がベスト、風、雨の日は中止する。

・搬出作業中に稚貝の脱落があるので、採苗板の運搬は慎重に行う。

・採苗板の園芸支柱吊りは、稚貝が水槽の底や壁面へ移動しないようにするため。

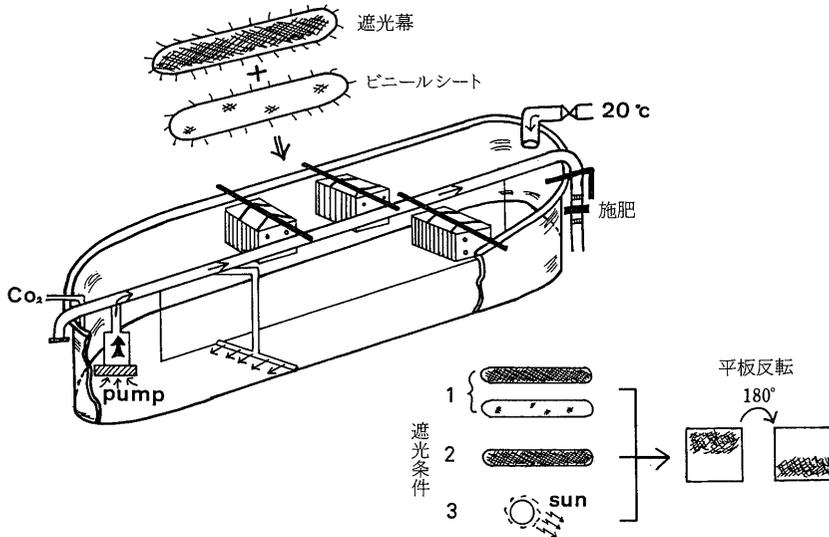


図 2-23 採苗板の搬出方法と遮光条件

## 2) 施肥および炭酸ガス通気

水槽収容後は施肥と炭酸ガス通気を行う。施肥は、施肥タンク（5トン）に清水を満し、尿素5袋（20kg/袋）、メタ珪酸ソーダ3袋（20kg/袋）、第二リン酸ソーダ0.5袋（25kg/袋）を溶かした液肥を用いる。供給量は1水槽当り2~2.3ℓ/h程度となる。炭酸ガスは日中に通気し夜間は止める。通気量は水槽1本当たりで1.0~1.5kg/日程度である（30kgポンプを使用）。

《メモ》・液肥は上記の肥料が全部溶けきらないため、配管の目詰りが生じ易く、注意が必要。

・藻類の光合成に対する通気した炭酸ガスの利用率は不明。飼育水のpHが低下するので溶け込むことは確認できる。

・藻類の増殖は水温・施肥・CO<sub>2</sub>等の条件が良好な下で、光（遮光）で制御する。

## 3) 水槽の管理

搬出後は毎日水温・水量・施肥・炭酸ガス・水中ポンプの作動等を調べ、稚貝の状態と平板の状態（藻類の状態）を目視観察する。平板上の藻類は、相対的に光の条件がよい上の方ほど増殖速度が速い。これにアワビの摂餌圧が加わると、平板の下側が白くなりアワビは餌不足となる。このような状態が観察された場合、次の方法で順に対応する（図2-23）。

- ・第一段階では支柱に吊り下げている平板を反転させ、白い部分の光条件を良くする。  
この間はまだシートと遮光を実施し、稚貝は殻長2 mm以下で殻が赤い状態。
  - ・第二段階では、上記の操作が頻繁になる頃には気温が上昇し、保温の必要性もなくなってくるので、シートをはずし遮光幕のみで光を制御しながら平板を反転させる。稚貝は呼水孔が形成され殻長3～4 mm程度で、緑がかってくる。
  - ・第三段階では、遮光幕をはずし直射日光下で平板を反転させる。この状態までくると、稚貝の摂餌量が急速に増加し、分散の時期となる。
- 《メモ》・光条件が良くなると、アワビの餌料となる小型珪藻のほかに、大型の珪藻や緑藻類も繁茂するため雑藻刈りが必要。
- ・平板反転は板の状態に応じて適宜実施する。
  - ・呼水孔が形成されると摂餌量が急増するため、分散準備（餌料培養）に入る。
  - ・ノズルやサイフォンブレーカーは藻類やヨコエビなどの小型動物が繁殖して目詰りしやすいので要注意（水が止まる、干上がる）。
  - ・水中のノズルの出を確認するコツは、軟膏ペラのようなものをノズル孔に当て、水圧をチェックする。

## (5) 稚貝の管理—微小藻が主餌料の期間—

### 1) 稚貝の分散

呼水孔が形成され、餌料要求量が多くなった稚貝は、分散を行い、適宜密度を低くする必要がある。採苗板を元板として、1回目の分散は1/2分散とする。分散先的水槽には珪藻培養した平板（餌板）を用意する。平板はアングルの上に乗せ、元板と餌板を図2-24のように交互にかみ合わせ接触させる。分散時の水温は原水が15℃以上になっているので、飼育水を20℃の加温水から原水に移行させる。その際、元板水槽は分散前に徐々に原水の割合を高めて、分散時に大きな水温差がないようにする。次の分散は1/4分散となり、最終的には元板水槽を8～10水槽まで分散する。

《メモ》・元板の飼育水（20℃）と原水との温度差が大きいと、分散時に稚貝の脱落が多い。

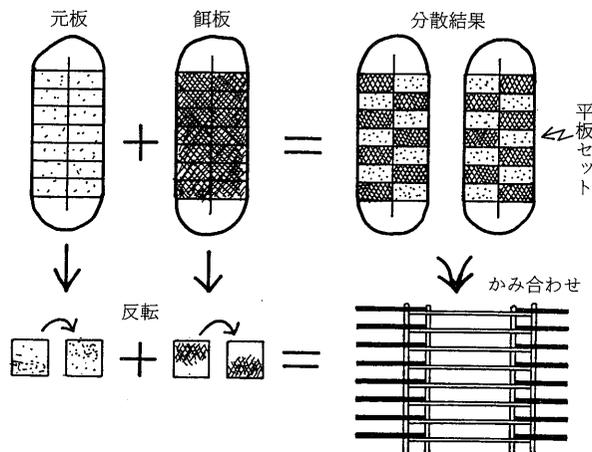


図2-24 平板分散要領

- ・平板1枚当たり採苗密度500個，採苗率80%の場合，1/8分散では平板1枚50個。  
1水槽収容数は50個×60枚×120セット=360千個となる。
- ・分散の際には元板，餌板とも反転させて接触させる。

## 2) 珪藻（餌板）培養

珪藻培養は分散予定日の2週間前から行う。巡流水槽に新しい平板をセットしただけでも珪藻は繁茂するが，珪藻培養装置（2.（5）4）珪藻培養参照）の種珪藻を蒔いたり，すでに珪藻繁茂した平板セットを水槽の各部にセットすると珪藻の繁茂が早い。分散のタイミングは，餌板の珪藻が増殖進行過程の薄い茶褐色になった頃が良い。さらに増殖が進むと，平板の珪藻は黒褐色となり，アワビの餌料には適せず古いものから脱落する。このような平板は餌板にはできないので，再度珪藻培養をやりなおす。

分散後の平板は，珪藻（1次藻類）がアワビに摂餌されて2次藻類に遷移していく。秋季にはウルベラが優占し，翌年の春まで安定したウルベラ板が持続する。これを，翌年の採苗板に使用する。

《メモ》・珪藻培養管の種珪藻を蒔いた水槽は半日止水とする。

- ・珪藻培養水槽にも施肥を行う。
- ・水槽内にはアワビの餌料藻類を捕食するコペポータ等の動物がしばしば繁殖するので，これらの動物の抑制にクロソイの稚魚を放流して効果を上げている。
- ・珪藻培養中の給水量は10m<sup>3</sup>/時以下としている。

## 3) 水槽の管理

分散した水槽は，毎日水圧・排水量・ノズルや排水口の目詰りをチェックする。アワビが藻類を餌料とする間は施肥を続ける。初期稚貝の管理と同様，餌不足にならないよう藻類の状態を見ながら，適宜，平板を反転させる。

稚貝の殻長が10mmを超えるようになると配合飼料への移行期となる。この頃には，平板の藻類増殖量よりもアワビの摂餌量が多いので，板は白っぽくなっていく。平板の白いところに投餌板を設置し，配合飼料を少々蒔いて摂餌状況を観察する。食べるようであれば配合飼料へ順次移行する。

《メモ》・適宜反転しないと板の上部に大型の雑藻が繁茂する。

- ・配合飼料投餌前は，雑藻刈り以外の水槽掃除は必要なし。

## 4) 稚貝数調整水槽

稚貝数調整水槽は，巡流水槽の飼育数を把握する上で，採苗後の分散経歴から飼育数を概算する水槽（分散水槽）に対し，計数して収容数量を確定させた水槽を指す。調整水槽に搬入する稚貝は，波板で飼育し1回目の剝離で出現した殻長8～10mm台の大型群である。収容数量は140，160，180千個に調整している。収容時は珪藻培養した水槽の平板に投餌板をのせ，その上に稚貝を蒔く。稚貝は移動とともに平板の珪藻を摂餌し，平板が白くなる頃には殻が一回り成長する。この頃から配合飼料の給与を始める。

《メモ》・調整水槽は分散水槽に対する収容数の目安となる。

- ・波板飼育は採苗が5月以降なので，調整水槽への稚貝収容は9月となる。
- ・珪藻培養した平板上の投餌板は藻類の排出するガスにより浮き上がるので，稚貝が全部平板へ移動するまで重しを乗せ，時々ガス抜きをする。

(6) 後期稚貝の管理—配合飼料給与期—

1) 稚貝の成長

稚貝の成長は、毎月の平均殻長の変化を調べて把握している。採苗群別の平均殻長の推移の例を図2-25に示す。稚貝の成長は概ね水温の高低と対応し、原水が10℃以上の12月頃までは良好で、冬季の成長は鈍るパターンとなっている。

稚貝の成長量の評価は、水槽別に月別平均殻長から月間成長量を算出し、飼育水温を基礎と

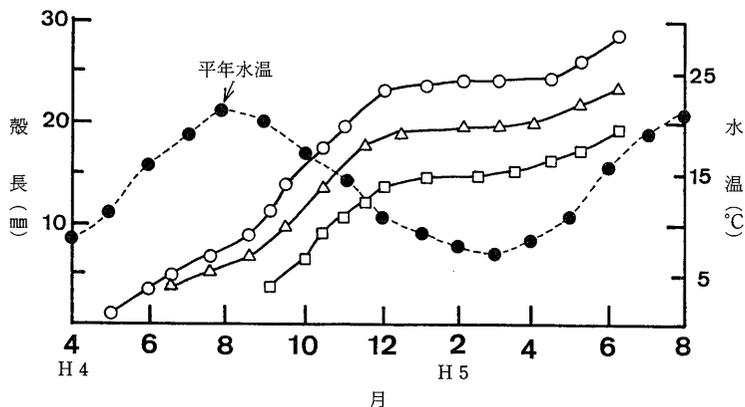


図2-25 稚貝の平均殻長の推移(平成4年度産)  
○, △: 4月採苗群, □: 7月採苗群, ●: 年平均水温

表2-6 稚貝計測(平均殻長)による成長量の評価例(平成7年2月下旬~3月下旬)

水槽 NO.	前回殻長 (mm)	今回殻長 (mm)	飼育日数	成長量 A (mm)	平均水温 (°C)	標準成長量 B (mm)	成長度 A/B
1	18.5	19.3	30	0.9	8.7	1.1	79
4	19.7	21.0	30	1.4	8.7	1.1	123
5	16.8	19.7	30	2.9	8.7	1.1	266
6	19.1	20.9	30	1.9	8.7	1.1	169
7	23.8	24.4	30	0.7	8.7	1.1	63
10	22.3	24.4	30	2.2	8.7	1.1	199
11	23.1	24.0	30	1.0	8.7	1.1	90
12	22.1	24.7	30	2.6	8.7	1.1	236
13	22.0	23.3	30	1.3	8.7	1.1	118
14	14.7	16.0	30	1.3	8.7	1.1	120
18	17.5	18.6	30	1.2	8.7	1.1	105
19	12.4	13.5	30	1.2	8.7	1.1	106
20	17.4	18.0	30	0.6	8.7	1.1	58
21	15.4	17.0	30	1.6	8.7	1.1	148
24	16.0	17.4	30	1.4	8.7	1.1	129
平均	18.7	20.1		1.5			134

した成長式との対比で行っている（表2-6）。評価が悪い水槽はその原因を検討し、給餌量、密度調整、平板交換など、できる範囲の手段を講じて成長の回復に務めている。

《メモ》・稚貝の平均殻長はアングル付着稚貝を120～200程度計測して算出。

・成長量の評価は配合飼料飼育後（殻長10mm以上、10～4月）に実施。

・成長式：日間成長量（ $\mu\text{m}$ ） $=8 \times (\text{飼育期間中の平均水温} - 4.3)$ （井岡（1977）の式： $Y=9.64(T-4.31)$ ）に、0.8を乗じて実用的な式とした。）

## 2) 配合飼料給餌量と給餌方法

配合飼料の1回1水槽当りの給餌量は、水槽底面積に対しムラがないよう均等に蒔ける量を基本とする。実際には1.5～2kg程度となり、これをアワビの摂餌状況に応じて適宜増量している。

給餌量と給餌間隔は季節（水温）によって変えている。水温の高い期間は1回の給餌量を基本量程度に抑え、毎日摂餌状況を見ながら少量ずつ追加給餌する。水温が高いと残餌の腐敗と水質悪化が進みやすいため、1回の給餌で残餌がなるべく出ないようにする。水温が低い冬季の給餌量は基本量程度で、間隔は週2回の月曜日と金曜日である。

給餌の際は、各水槽別の給餌量をバケツに分配し手蒔きで行う。配合飼料が投餌板上だけでなく底にも行き渡るよう図2-26のように両サイドに寄せ、隙間を作って底に落とす。蒔かれる配合飼料の投餌板上と底との割合は、概ね1対1である。

《メモ》・稚貝の摂餌は水温が低下する秋季（9～11月）に活発。水温は14～18℃程度。

・投餌板上の餌は夜間に摂餌されるが、底の餌は日中も底にいるアワビに摂餌されていると推定される。

・投餌板は壁面に接触させて、壁の稚貝に投餌板上の餌までの道を作ってやる。

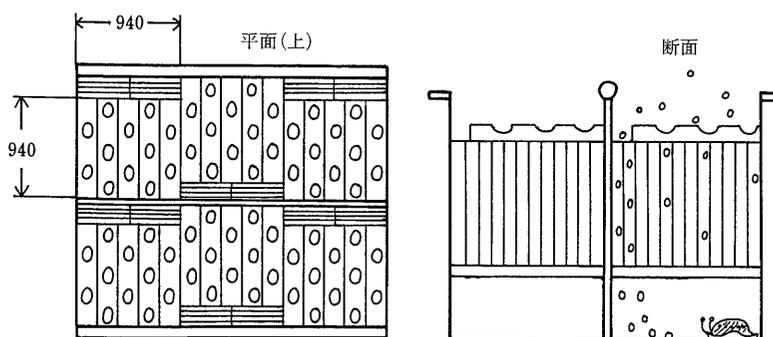


図2-26 投餌板の配置例

## 3) 水槽の管理

巡流水槽は水が命であることから、給水量の管理は重要である。給水量は水圧ゲージを参考に、水槽中の水のよどみ、水位の変化、排水量の増減等を毎日確認する。さらに、ノズル、サイフォンブレーカー、オーバーフロー管、排水口の日詰りを調べ、適宜掃除する。特に夏季は雑藻の繁茂や小型動物の活動が活発なため、目詰りしやすいので注意する。

平板上の藻類は秋季以降ウルベラが優占して安定するが、アワビの飼育数が少なかったり水

槽内の密度にムラがある場合は、平板に大型の珪藻が繁茂して水槽内を汚染し、ノズルやブレーカーの目詰りの原因となる。投餌板交換，平板の反転・交換・移動等により大型珪藻の繁茂を抑制する。

《メモ》・秋季には落葉が水槽に入り，サイフォンブレーカーの目詰りの原因となる。

・カモメが水槽の配合飼料やアワビを食べに来るので，鳥よけが必要。

#### 4) 剥離・選別

##### ①剥離方法

巡流水槽の剥離は，始めに波板同様に剥離水槽で平板とアングルの剥離を行う。次に水槽の水位を10cm程度まで下げ，図2-27のように水中ポンプで水を循環させながら麻酔剤を投入する。アワビに麻酔の効果が見れるのは，水温にもよるが，おおよそ10～15分後である。アワビが反転し出したら，小型のたも網で素早くかき集めて選別作業へ回す。

《メモ》・麻酔はパラアミノ安息香酸エチル10%アルコール溶液4ℓを投入。

・水中ポンプは水循環のほかに水位を下げる際に排水用にも使用。

・アワビはアングルの架台の裏側にかなり付着しているので回収もれないように。

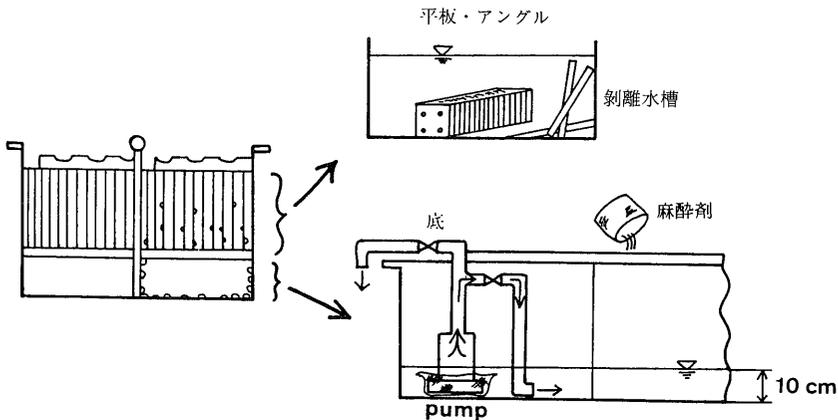


図2-27 巡流水槽剥離要領

##### ②選別方法

麻酔剥離された稚貝は，掛け流し飼育稚貝と同様の方法で選別する。

《メモ》・巡流水槽では出荷用の稚貝は21mm以上とし，以下のサイズは再飼育又は処分。

・剥離後出荷までは一週間以上保管し，稚貝がコンブを摂餌することを確認する。

##### ③巡流水槽生産稚貝数

平成5年度産稚貝の水槽別剥離実績を表2-7に示す。分散水槽の1水槽当たり飼育数は，採苗数を基準とした分散経歴で算出すると378～558千個となる。剥離実績をみると1水槽平均150千個で，採苗からの生残率は32.4%となる。稚貝収容数を160,180,200千個に調整した水槽（稚貝数調整水槽）は，生残率がそれぞれ91.5%，74.5%，80.4%となった。

##### ④稚貝の特徴と出荷率

表 2-7 巡流水槽稚貝生産数(平成5年度産)

水槽NO.	経 歴		收容数 (千個)	剝離数 (個)	生残率 (%)	殻長範囲別剝離個数割合 (%)							
	採苗日	分散/調整				≤16mm	17~19mm	20~22mm	23~25mm	26~28mm	29~31mm	32≤mm	
1	4/26	分散	378,400	133,950	35.4		24.6	20.9	16.8	12.1	9.9	15.7	
2	4/26	分散	378,400	83,039	21.9		3.9	14.5	10.8	10.6	10.8	49.4	
3	4/16	分散	558,500	124,880	22.4		18.7	17.1	15.9	13.2	10.3	24.8	
4	4/16	分散	558,500	115,714	20.7		11.8	15.4	15.10	10.6	9.9	20.0	
5	4/26	分散	378,400	179,076	47.3		27.2	12.5	8.6	5.5	3.8	5.3	
6	4/16	分散	558,500	193,156	34.6		20.2	17.1	15.7	10.8	7.8	20.4	
7	5/21	調整	200,000	160,836	80.4		20.1	25.8	15.0	7.8	4.6	2.2	
8	4/26	分散	378,400	163,090	43.1		19.1	16.2	11.9	9.7	8.3	19.2	
9	4/16	分散	558,500	161,320	28.9		36.3	26.6	12.0	6.4	4.2	4.8	
10	4/26	分散	378,400	211,856	56.0		53.5	13.0	10.4	9.3	5.5	4.5	
11	6/18	調整	160,000	146,402	91.5		52.2	24.8	14.3	6.1	1.7	0.2	
12	4/16	分散	558,500	115,178	20.6		5.6	13.7	1.7	19.5	13.8	29.9	
13	4/16	分散	558,500	169,327	30.3		33.7	22.4	19.2	11.9	7.6	2.4	
14	5/21	調整	180,000	134,011	74.5		7.5	17.9	19.7	18.1	13.3	12.7	
15	4/16	分散	558,500	156,475	28.0		28.6	15.7	16.4	13.1	8.9	9.6	
平均			422,767	149,887	分數(32.4) 調整(81.2)		26.6	18.7	15.5	13.2	9.3	7.3	14.7

水槽別の殻長組成の例を図2-28に示す。巡流水槽の稚貝は、採苗から出荷前の剥離まで選別しないため、掛け流し飼育に比べ殻長組成の範囲が広く、10mm以下から40mm以上にも及ぶ。従って、目的のサイズに的を絞って飼育できないので、剥離時には多数のサイズを少数ずつ産出する。出荷を控えて、目的のサイズの稚貝をある程度の数量確保するためには、剥離水槽を増やす必要がある。一方では剥離に伴い目的外のサイズも多数産出することから、出荷用のカゴ飼育で占有する水槽が多くなる。よって、剥離は出荷とストックスペースを十分考慮して計画的に進めることが重要である。

巡流水槽飼育稚貝は、図2-29に示したとおり掛け流し飼育に比べ相対的に肥満度が低い(石田・野呂,1993)。特に小型稚貝の肥満度の低さは出荷後の生残率に直接影響する。さら

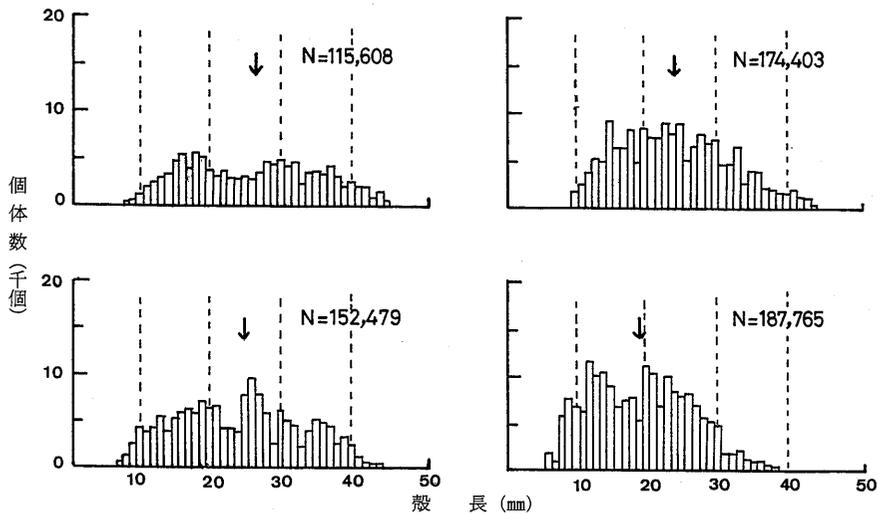


図2-28 水槽別の殻長組成の例(平成4年度産)

図中の↓は平均殻長の位置を示す、N=剥離数

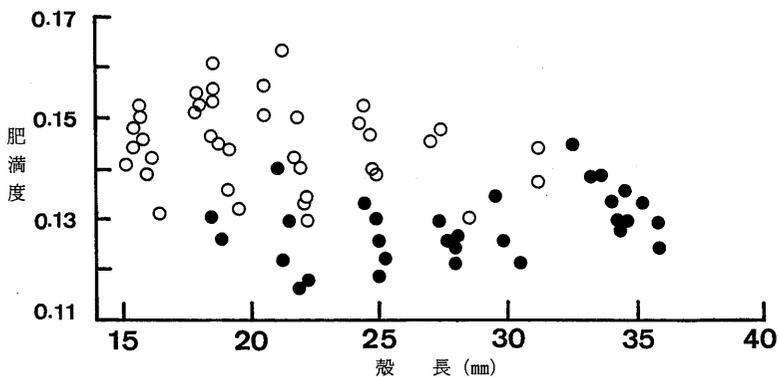


図2-29 巡流水槽産(●)と掛け流し水槽産(○)稚貝の平均殻長別平均肥満度(平成4年度産)

に、小型稚貝は殻長組成では見かけ上成長の良くない群に該当することから、遺伝的な要素も含め出荷後の成長にも不安がある。このような理由から、現在の巡流水槽生産稚貝は、殻長20mm以下のサイズを出荷対象としていない。よって、表2-7のとおり生産数に対する出荷率は50～60%程度となる。この数字から、巡流水槽は剥離時まで出荷対象とならない稚貝を飼育数の半数近く抱えていることになるので、生産効率を上げるために出荷率の向上は重要な課題である。

《メモ》・肥満度の低さの原因は、管理の問題か、巡流水槽の特徴か検討中。

・小型稚貝は言うなれば「むだ飯を食わせている」ことになる。

## (7) 巡流水槽飼育の改良

### 1) 飼育設備

導入した巡流水槽の基本仕様は図2-21のとおりであるが、水槽底にある配合飼料がアワビに摂餌されにくい（遭遇率が悪い）と考えられるので、設備面で若干の工夫を行い、摂餌を促す努力をしている。その方法は次のとおりである。

①従来型はコーナーに配合飼料が溜まりやすいため、図2-30のように給水管から配管して水流を作り、配合飼料を飛ばしてやる。

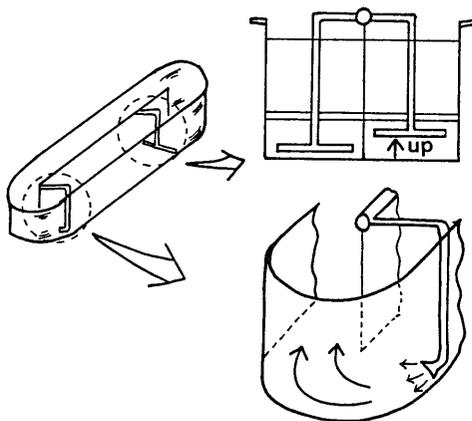


図2-30 ノズルの改良

②従来型はノズルの水槽底からの高さが約5cm程度で、底の流速が速く、配合飼料が飛ばされやすいので、ノズルの高さを10cm程度にして底の流速を遅くする。

以上の処理により底の配合飼料が平板の下に多く分布するので、アワビの摂餌量が増えると予想される。また、全体に水流の推進力が増し、その中心が上へ移動したことで、平板から表面までの水流が良くなり表面の淀みがなくなる。これに伴いシャワーをやめる。短所は底の残餌や排泄物がコーナーに溜まりにくいため、かえって少々底掃除が面倒なことである。

《メモ》・改良の効果がアワビにどの程度反映されるか検討中。

・改良に伴う底掃除の作業量増加（日数及び時間）はほとんどない。

### 2) 飼育技術

①平板剥離による小型稚貝の救済

配合飼料に移行した水槽内では、日中の稚貝の棲み場は稚貝の殻長によって異なる傾向がある(石田・野呂,1993)。図2-31に、剥離前の水槽で平板・アングル・水槽底の3カ所について稚貝の殻長組成を調査した例を示す。殻長組成は平板<アングル=水槽底の順の大きくなり、平均殻長は平板とアングルで有意な差がある。この現象は剥離前のほとんど全ての水槽内でみられる。小型稚貝は平板上で優占し、さらに前述のように出荷対象とならないことから、飼育中の水槽から小型稚貝を間引くには平板を取り除き剥離すればよい。剥離された稚貝は、掛け流し飼育に移して再飼育する。これにより、元的水槽は稚貝密度の低減と出荷率向上による生産効率アップが実現され、小型稚貝は掛け流し飼育稚貝として出荷対象に加わることになる(図2-32)。

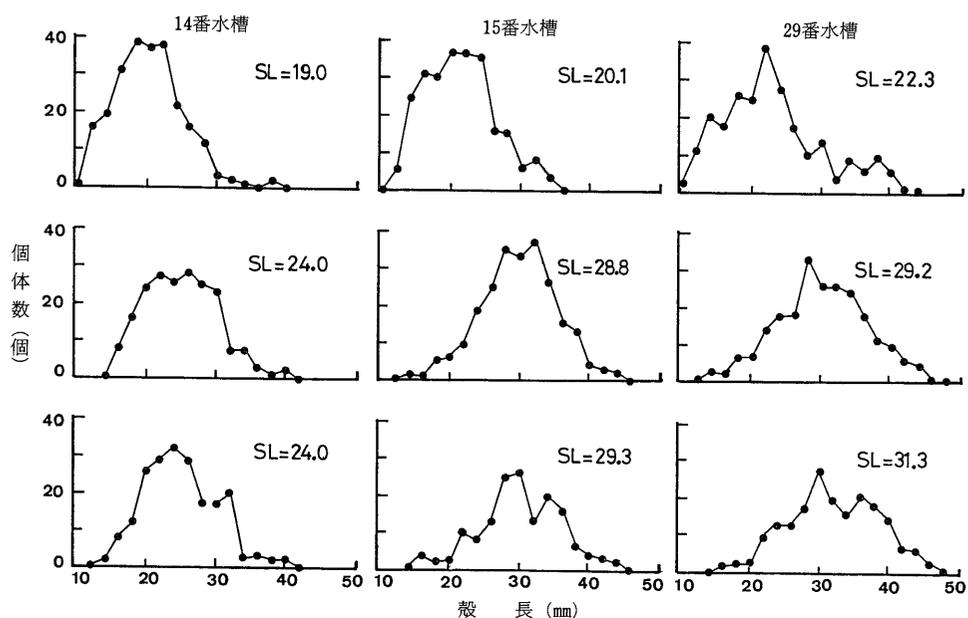


図2-31 水槽内における付着部位別殻長組成の例(平成4年度産)  
 上段:平板,中段:アングル,下段:底,SLは平均殻長

## ②平板剥離の時期

巡流飼育の小型稚貝が、掛け流し飼育に移した後出荷対象になるか否かは、移した時の飼育水槽の殻長組成に左右される。これまでの実施結果をみると、概ね平均殻長20mm以下の水槽から平板剥離で得た小型稚貝は、掛け流し飼育へ移行することで十分出荷対象となる。平均殻長25mm以上では、平板の小型稚貝は再飼育によっても成長の回復しない個体が多い。平均殻長20mmとなる時期は、図2-25のように採苗の早いもので11~12月である。従って、12月中に平板剥離を実施し、小型稚貝を救済しておくことが巡流水槽の出荷率を高める一つの手段である。

## ③巡流水槽のシェルター飼育

殻長20mm前後の小型稚貝の購入希望が多いことから、一部の水槽で配合飼料へ移行した

稚貝を平板飼育せず、カゴ飼育と同じシェルター飼育を行っている。シェルター飼育は、配合飼料へ移行した稚貝が平均殻長15～18mm 程度になった頃に、平板を撤去してアングルの上にシェルターを乗せて行う。平板の稚貝は剥離してシェルター上に戻す。給水や給餌は従来形式と同様である。これにより、肥満度の高い20mm 前後の稚貝を生産できる（図2-32）。

《メモ》・平板剥離は12～1月の作業の閑散期に実施するため、作業量の問題なし。

- ・原水温が10℃以下であれば温水剥離（飼育水温+14℃の温海水に浸漬）とする。
- ・水槽の残餌よりはシェルターの方が平板より簡単。

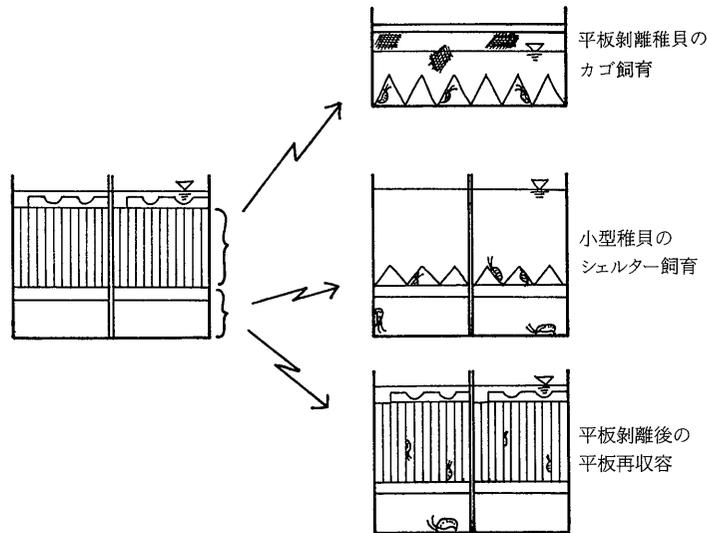


図2-32 平板剥離後の稚貝飼育例

#### 4. 中間育成

岩手県では、「アワビ中間育成の手引き」（土田ら，1981）を作成し，中間育成現場での具体的な指針を示している。

##### (1) 中間育成施設の種類

岩手県における中間育成施設の種類について表2-8に示す。

##### (2) 飼育基準と管理

###### 1) 収容密度

生簀 1m<sup>2</sup> 当り陸上施設で3～5kg，海面施設で2～3kgを目安とし，水量や潮通しの状態で加減する。稚貝の成長に伴い分散できるよう施設を確保しておく必要がある。

###### 2) 給餌

この時期の稚貝は海藻を摂餌でき，コンブ，アラム，ワカメ等の海藻類が餌料として適している。水温が20℃になると殻長20mmの稚貝で体重の約30%のコンブを摂餌する。給餌の間隔は，夏季には週1回，冬季には10日に1回程度が適当と思われる。

表 2-8 岩手県のアワビ中間育成施設

区 分	使用餌料	施設数	長 所	短 所
陸上施設	角形水槽 生海藻・配合飼料	7	管理作業が楽 稚貝の状態を観察しやすい	施設費が高い 施設稼働のため人が常駐 生産コストが高い
	延縄式カゴ 生海藻	10	施設費が安い 生産コストが安い	管理作業が楽でない
海上施設	筏式カゴ 生海藻・配合飼料	6	施設費が安い 生産コストが安い 管理作業が楽	静穏域に特定される

配合飼料の場合は、メーカーの給餌基準を参考にし、残餌の状況を観察して増減する。週に2回程度給餌できる管理体制にないと、特に高水温期の飼育は餌の腐敗等の問題が生じる。従って海上飼育の場合は条件に恵まれた場合でないと使用できない。

《メモ》・大量の稚貝を飼育する場合には、餌料海藻の養殖も手がける必要がある。

・海藻類の根部には害敵のカニ類等が潜んでいる。根部はカゴに入れないように。

### (3) 生産コスト

岩手県内の漁協等で行われている中間育成の経費について、平成4年度の4件の事例の内訳と、放流した稚貝の殻長を30mmに換算した場合の生産単価を表2-9に示す。陸上施設での生産単価が高い傾向にある。これは動力光熱費の割合が高いためである。飼育期間が長いと生産単価が高くなるが、これは越冬するために成長量当たりの経費が高くなることを意味する。しかし、より大型稚貝に育成して、条件の良い時期に放流することができるため、放流後の回収率が高くなり、投資効率は上がるものと思われる。

表 2-9 中間育成種苗の生産原価（平成4年度）

施設	飼育期間	使用餌料	生産規模 (千個)	30mm稚貝 生産単価 (円)	内 訳 (%)				
					稚貝購入費	動力光熱費	人件費	餌料費	その他
海上	半年	配合	300	49.0	63.6	0.2	27.7	5.6	3.0
海上	1年	コンブ, 配合	300	57.8	67.7	0.0	25.4	2.4	4.5
陸上	半年	コンブ, 配合	425	69.9	56.7	13.2	20.5	9.7	0.0
陸上	1年	コンブ, 配合	350	92.5	30.0	21.8	23.1	2.7	22.5

(漁協からの提出資料により作成)

### おわりに

本県のアワビ放流事業は、漁業者による、本格的な栽培漁業の時代を迎えようとしている。種苗生産システムとマニュアルは、完成されたものではなく、放流事業という経済活動の中で、技術の進歩とともに成長していくものであり、今後とも、低コストで、かつ価値の高い種苗の生産を目指した改善が必要である。

## 第3章 クロアワビ種苗生産技術の実際

### はじめに

クロアワビの種苗生産が始まってから30数年が経過し、種苗生産技術はほぼ実用上十分な段階に達したといわれている。しかし、実際の現場には様々な問題があるとともに、いわゆる「夏季大量斃死」に対する対策が未解決のまま残されている。この原因の一つと考えられる病原菌の分離同定や防除、治療法の開発は今後急速に進むものと思われるが、「夏季大量斃死」対策には、まず、健康で元気な種苗の生産が重要であろう。経験に支えられ、ほぼ固定化された感のあるアワビ種苗生産技術も、もう一度再検討してもよい時期にきているのではなかろうか。

アワビ類の生理生態に関する知見は第1章に詳述されているが、実際の種苗生産技術は、このような個々の基礎的な知見を吟味し、各地の条件に合うように組み上げてつくられている。また、同一の目的に対しても技術にいくつかの選択枝があるとともに、各地の実状に合わせた省力化、単純化等により技術に実用性や頑健性をもたせる工夫がなされている。様々な種苗生産のシステムが見られる所以である。従ってこれらシステムの優劣は一概には論じられない。本章では、一つの事例として、愛知県のクロアワビ種苗生産技術の考え方と、技術の実際を中心に紹介したい。

### 《用語》

本章で使用する器具等は以下のとおりである。また、用語は次のように定義する。

採苗板：30×60cmの波板。凹凸があり実質面積は表裏で4,200cm<sup>2</sup>。採苗板関係の記述における

「/枚」はこの板を基準として表示。1m<sup>2</sup>当りに換算するには数値を2.38倍する。

付着板：45×92cmの板、凹凸があり、直径3cmの穴が50個空けられている。稚貝は片面に付着し

ていることが多い、付着板関係の記述における「/枚」はこの板の片面を基準とする。片面実質面積は5,047cm<sup>2</sup>。1m<sup>2</sup>当りに換算するには数値を1.98倍する。

注水率：（1時間当りの水槽への注水量）/（水槽容量）。特に断わらない限り、注水率は時間注水率のことである。

換水率：実際に海水が交換される率。染料濃度変化等より実測、または理論値。

日間成長量：（実験期間中の増加量）/（実験期間の日数）。体重で表示する場合と、殻長で表示する場合がある。1日当りの体重または殻長の増加量。

日間成長率：（日間成長量）/（稚貝の体重または殻長）。稚貝の体重・殻長は、実験期間での平均を用いている。

摂餌率：（1日当りの摂餌重量）/（稚貝の体重）。

足蹼部面積：アワビの板等に付着している部分の面積。アワビ殻の下面の面積を測定して表示。

### 1. 親貝の養成

#### （1）親貝の大きさ

自然の成熟リズムに合わせて採卵する場合は、その年の夏に購入し、2～3ヵ月間飼育した母貝で十分採卵が可能である。

親貝は、体重100～250g、殻長10～12cmの満3～4才の若い個体がよく、体重350g以上、殻長14cm以上の大型老齢貝は避けるべきである。また、やせた個体もよくない。

放卵数の目安は、殻長9.5～10cm、体重100～120gの個体で70～100万粒、殻長11cm、体重180～200gの個体で200～300万粒である。

## (2) 親貝の数

FAO (1981) は近交係数の上昇を防止し遺伝的多様性を保つため、「有効親数」(2.(2)受精参照)を、10世代以内の短期的には50以上、長期的には500とすることを勧告している。

生殖に関与した雄がNm個体、雌がNf個体ならば、親数合計NaはNm + Nf個体になるが、有効親数Ne(繁殖集団の有効な大きさ)は次の式で与えられる。

$$\text{有効親数 (Ne)} = 4 NmNf / (Nm + Nf)。$$

従って、100個体の親貝を用いても、雌90個体、雄10個体ならば、有効親数は36個体である。雌50個体、雄50個体ならば有効親数は100個体になる。種苗生産で用いる親貝は、雌雄比が1 : 1であれば有効親数の確保上は最も効率がよい。

実際の産卵(放精)誘発では、雌よりも雄の誘発率が高く、ほぼ90%近い。雌が30個体でも雄を100個体使えば有効親数は92個体となる。現実的には誘発率のよい雄の数を増やすことが有効親数の増加に役立つ。

前項で述べたように雌貝は多数の卵を産出し、単に受精させるだけなら雄は1個体でも十分である。しかし、有効親数を考慮し、使用する親貝数を十分多くするとともに、親貝はグリーンマークのないワイルドなものを選んで入手すべきであろう。「種苗の質」には単に元気さや健康さだけでなく、将来のアワビ個体群の健全な維持のため、遺伝子の多様性保全への配慮も含めて考えるべきであろう。愛知県栽培漁業センターでは1984年以降、有効親数100個体を目標に努力がなされてきている。

## (3) 親貝の飼育

水槽容量1m<sup>3</sup>当り40個体(総重量6～7kg)を目安に収容し飼育する。注水率は0.7～1.0とし、通気は十分に行う。籠等に入れ水槽上部に垂下して飼育すると生存率も高く管理作業も容易である。水槽中で直接飼育すると、残餌や糞の中で親アワビを飼育するようになるため生存率も悪い。

アラメを給餌する場合、親アワビの摂餌量は1日当り体重の2～4%(6.5kg収容として1日当り130～260g)である。日間摂餌量が2%以下の場合、ほとんど成長しない。摂餌量は、水温が24℃以上の高水温時は少ないが、9月以降、水温の降下とともに増加するので毎日のチェックが必要である。9月中旬以降、雌雄の判別がはっきりしてきたら、雌雄は飼育槽を分けて飼育する。また、自然産卵(産卵誘発時以外の産卵)を避けるため、9月下旬以降、余分な刺激を与えることは避ける。

このような方法で親貝を飼育した場合、飼育中に30～50μm/日程度の十分な成長が見られ、年間死亡率は3～5%である。

親アワビの剥離には、下敷・プラスチック板などの薄い板状のものを差し込んで剥離するのが

簡便であるが、麻酔剤を用いる場合には、2%エチルアルコール海水等の麻酔剤がよく効き、回復も早くその後の採卵にも悪影響がない。

#### (4) 親貝仕立て

成熟までの積算温度、光周期等については第1章に詳しい。クロアワビについて秋季採卵を春季採卵に変えるような親貝仕立てを行うには、これらの知見に基づいて仕立てる必要がある。しかし、採卵時期の大幅な変更は種苗生産システムの変更をとまなう。産卵期を変えるような親貝仕立てはメリット、デメリットを十分検討すべきであろう。

経験的には、クロアワビの産卵は積算水温だけでは割り切れないものがある。親貝飼育水温が23℃以上の場合には、積算水温が1800~3500℃・日の成熟期の後半から完熟期に達していても、産卵刺激に対する反応率が低かったり、放出配偶子の質が悪く、採苗に至らないケースが多々みられる。積算水温が成熟期後半以降で、飼育水温が22℃以下になった時には採卵採苗ともほとんど失敗はみられていない。クロアワビの採卵には積算水温とともに、飼育水温の低下が必要な条件であると考えられる。

愛知県では、採卵時期の自然水温が22℃以上になると予測される場合に、短期の親貝仕立てが行われる。短期仕立ては、飼育水温が最高値を示した8月下旬以降、3~4日に1℃の割合で、水温を22℃以下になるよう低下させる方法がとられている。

## 2. 採卵と孵化

### (1) 産卵誘発

現在行われている産卵誘発法は、紫外線照射海水法(菊地・浮, 1974)と過酸化水素水法(Morse *et al.*, 1976)の2法が主力である。

#### 1) 紫外線照射海水法

紫外線照射海水法は第1章に詳しい。この方法は、紫外線流水殺菌器を用い紫外線の照射量を適度に調整する必要がある。使用できる紫外線照射海水の量は殺菌器の能力と数によって限定される。また、殺菌器の流管が汚れると能力が落ちるため、殺菌器の保守管理が重要である。

#### 2) 過酸化水素水法

##### ①濃度の調整

過酸化水素水法では、海水中の $H_2O_2$ 濃度が0.25mMになるように $H_2O_2$ 水を添加する。市販の濃い $H_2O_2$ 水(30~33%程度)を使用する場合は、10倍に薄めた液を作り、20ℓの採卵水槽に6ml滴下すればちょうどよい濃度となる。一度10倍に薄めておけば、体に付いたりこぼした時でも安全である。

##### ②配偶子放出までの所要時間と換水

$H_2O_2$ 添加後、1時間半~2時間後に産卵を開始する。放精は放卵より30分程度早い。 $H_2O_2$ 添加後1時間半で全量を自然海水に換水しても、その後の誘発能力に差が見られない。産卵まで $H_2O_2$ 海水に親貝を浸漬しておく必要はない。産出された卵、浮遊幼生は $H_2O_2$ の残留により発生異常を起すことが知られているが、産卵前に自然海水に全量換水すれば、 $H_2O_2$ の悪影響を完全に避けることができる。誘発が効いているか否か不安ならば、放精と放卵の時間差を考慮して、放精を確認してから換水すればよい。

過酸化水素水法では、屋外の照度の高い条件下での刺激は避ける。高照度下での刺激は、その後親貝に斃死が見られることがある。

### ③誘発刺激後の親貝の管理

刺激をかけた後の親貝は、エアレーションと換水を十分行う必要がある。刺激後事故により換水が止まり、エアレーションがあっても親貝の1/3が死んだ事例がある（1985年9月、愛知県）。クロアワビ稚貝をH<sub>2</sub>O<sub>2</sub>海水に浸漬した後の生残を表3-1に示す。浸漬後、換水とエアレーションを行わないと稚貝は斃死した。また、浸漬時に照度が高いと、換水とエアレーションを行っても生残率は60%である。照度の低い屋内で浸漬刺激し、その後十分な換水とエアレーションを行えば、全く死亡はみられない。

表3-1 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>刺激後の飼育条件とクロアワビの生残率

実験区No.	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 刺激条件	刺激時照度 (Lux)		刺激後飼育条件				刺激20時間後と生残		
				○有 ×無	換水	エアレーション	D.O. (ppm)	収容水槽 No.	試供体数	生残个体数
1	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 0.4mN 6時間	185,000	屋外	○	○	—	A-1	20	12	60%
2		~150,000	直射日光	×	×	—	B-1	20	0	0
3		65,000	屋外日陰	○	○	5.5→5.5	A-2	18	18	100
4		1,650	屋内	×	×	5.5→3.0	B-2	19	0	0
5		~1,100	屋内	○	○	—	A-1	20	20	100
6		850	屋外暗幕	○	○	5.5→5.5	A-2	15	15	100
7		H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> なし	1,650 ~1,100	屋内	×	×	5.3→3.0	B-2	21	21

平均殻長30mmのクロアワビ稚貝を供試。実験日：1985年9月。収容水槽A-1～2：2 m<sup>3</sup> FRP 屋外設置  
B-1～2：0.5 m<sup>3</sup> パンライト屋内設置。水温24.8℃。比重24.3(σ<sub>15</sub>)。

(柳澤ら, 1986)

### ④利点

過酸化水素水法は非常に簡便で、特別な器具を必要としない。誘発用の海水量は容易に増減することができる。使用する親貝の数に柔軟に対応できる利点がある。多数の親貝に、同時に産卵誘発を行うには便利な方法である。

## (2) 受精

精子投入から受精までの時間は、極めて短く3～5秒（西川, 1978）である。有効親数を大きくするためには、あらかじめ多数の雄貝から産出される精子を混合した上で、卵に受精させる必要がある。雌親の異なる卵の混合は、受精後、洗卵の過程を利用して混合する。受精能力持続時間は、エゾアワビでは水温17～20℃で180分内外（菊地・浮, 1974）、サザエでは22℃で200分程

度（鳥羽，1984）といわれる。クロアワビでも22℃で3時間程度は受精能力を持つと推定される。配偶子放出を開始してから1～2時間程度でほとんどの親貝は放出を終了するから、精子を混合してから受精させるまでの時間的余裕は充分にある。

人工受精時の精子濃度等については第1章3.(5)1)人工受精に詳しい。

### (3) 洗 卵

アワビ卵の沈降性を利用した洗卵法はほぼ常法となっている。洗卵用具に各地で工夫がみられる。ここでは、愛知県の用具を紹介する。

愛知県の洗卵バットは、プラスチック製の金魚鉢を利用し、下から1/5の所に蛇口が取り付けられている。卵の80～90%程度が沈下したら蛇口を開いて上澄みを捨て、これを5回繰り返して行う。30ℓの洗卵バットに30万粒の受精卵を収容する。

有効親数を大きくするためには、洗卵の過程を利用して雌親の異なる受精卵を全て混合し、そのうち必要量を孵化にまわす。

## 3. 浮遊幼生の飼育と採苗

浮遊幼生の飼育法には、目的によって大きく2つのスタイルがある。浮遊幼生の飼育槽とその後の飼育槽を別にするスタイルと、同一の水槽を継続して用いるスタイルである。前者は、20～100ℓ程度の小型水槽で浮遊幼生の飼育が行われている。小型水槽は、恒温室内に設置することもできるので、水温の管理が容易な利点がある。これらの飼育法、装置は第1章4.(4)2)幼生流水飼育装置を参照されたい。

浮遊幼生の飼育とその後の採苗板上の飼育を同一水槽で行うスタイルでは、10m<sup>3</sup>以上の大型水槽での浮遊幼生飼育が行われ、そのために独特の工夫がなされている。本項では、愛知県で行われている大型水槽を用いた浮遊幼生飼育法について紹介する。この方法は、種苗生産に用いる幼生の発育段階を揃えることにより、その後の管理を容易にするとともに、浮遊幼生の移動や採苗板の移動を省略する目的で考え出されたものである。また、有効親数を大きくした結果として得られる、多量の受精卵を無駄なく利用する方法でもある。

### (1) 大型水槽での浮遊幼生の飼育

アワビの浮遊幼生は摂餌しない。水温、水質の管理が十分行われれば、浮遊期の生残率は90%以上で、小型水槽で高密度飼育をする場合よりも高い値を示すことが多い。

大型水槽で浮遊幼生から採苗板上の飼育を継続するために必要な条件は、水槽壁の清浄化である。前もって水槽壁を十分に洗浄し、塩素系殺菌剤で殺菌するとともに壁の有機物も除去しておく必要がある。洗浄が十分でないと、幼生の生残が悪く、着底期に壁等に着底してしまう等、その後の飼育に支障をきたす。

また、大型水槽では、浮遊幼生の飼育期間は容量の80～90%の水量で飼育し、容量に余裕をもたせる。このことは、採苗時に有効な役割を果たすことがある（(2)採苗参照）。

#### 1) 受精卵の大型水槽への収容方法

卵を収容したバットをガラス板等で蓋をし、少し隙間をあける。隙間から海水を入れながら大型水槽内へ沈める。卵がバットの底に沈積していることを確認し、蓋としたガラス板を静か

に回収する。孵化した幼生は、バットから泳ぎ出し水槽内に分散する。孵化を確認後、未受精卵が巻き上がらないようバットに再びガラス板で蓋をして静かに取り出す。この方法により未受精卵は全て回収できる。

卵の収容数は計画した幼生密度より大きくなるようにし、孵化後に密度を調整する。愛知県では孵化幼生密度を0.5個体/ml程度にして飼育を開始している。

通気は、卵収容直前までは最強とし、酸素を十分に溶け込ませる。卵収容作業時は通気を止め、収容後ごく弱い通気を開始する。

## 2) 浮遊幼生の飼育

アワビ類の初期発生は、全て卵黄のエネルギーで進行するので、卵質ならびに卵の成熟度が幼生の活性に支配的な影響を及ぼす。浮遊幼生の飼育には、高水温、大きな水温変動、低塩分、貧酸素、 $\text{NH}_3$ 、 $\text{H}_2\text{S}$ 量、金属製用具等から溶出する重金属、Bacteria、Ciliataの繁殖などに注意して水質を管理する必要がある。

ふ化までの所要時間は、 $20^\circ\text{C}$ で13.5時間程度である。幼生飼育期間中の水温は $17\sim 20^\circ\text{C}$ が好ましく、経験的には、 $22^\circ\text{C}$ 以上の高水温は要注意である。また、比重も22以上が好ましく、20以下は要注意である。

幼殻の完成後（ $20^\circ\text{C}$ で28.7時間後）は、底に幼生が沈まない程度に通気を強める。幼殻の完成時に一度幼生が底に沈むことがあるが、幼生の活性には問題がないことが多い。この時期の沈下幼生は顕微鏡等で生死を確認し、生存幼生は除去せず、ガラス管等の操作で一カ所に幼生がかたまらないようにすると、再び浮上することが多い。

この時期は1日に水槽容量と同量の換水を行う。注水率は0.05程度である。

浮遊期の幼生は暗黒下で飼育しても問題がない。大型水槽で継続飼育を計画している場合、飼育水や水槽壁に植物プランクトンや珪藻類が増殖しないよう暗幕等で遮光する。

## (2) 採 苗

前述したように、大型水槽で浮遊幼生の飼育を行った場合、採苗も同一の水槽で行い、その後の飼育もそのまま継続することになる。

採苗は幼生の状態と、採苗に使用する波板の状態によってその成否が決まる。採苗に使用する波板の状態は、幼生が着底するか否かだけでなく、着底後の生残、成長を決定的に左右する。十二分に注意する必要がある。採苗板仕立てについては後述する。

### 1) 採苗開始のタイミング

ヴェリジャー幼生は平衡胞の出現が着底期の始まりとなるが、実際の採苗では、平衡胞が出現してすぐに採苗せず、10月上旬では孵化日を入れて4日目、10月下旬で5日目の朝、採苗を開始する方が短時間で着底が完了する。

### 2) 採苗とその後の管理

採苗板にアワビ類の足跡部から分泌される mucous trail を付着させると、着底が著しく促進されることが知られ、そのための工夫がいくつか紹介されている（第1章3.(7)3)採苗用藻類の培養参照）。しかし、板の珪藻付けが適切に行われていれば、実用上何ら問題はない。幼生の過剰な着底はかえってその後の飼育に障害となる。

実際に行われている採苗板の設置方法にはいくつかのスタイルがある。波板をタテの状態で

水面下に収容する例、波板をタテの状態では波板の上部5～7cmを水面から干出させる例（幼生は上端部にライン状に着底する）、波板を水平の状態では収容する例（この場合幼生は、波板全体に分散して着底する）、波板を45°に傾け、斜めにして収容する例がある。また照明を用いる例、逆にカバーをかけて暗くする例などがある。

愛知県では、あらかじめ珪藻付け（3.（3）採苗板への珪藻付け参照）した採苗板を、板の上部5～7cmが干出する位置で設置する。通常、板の投入とともに幼生は水面付近に浮上し、波板の上端部分に集中して探索活動を行い、2～3時間で着底する。この期間換水と通気は止めるかごく弱く行う。幼生が健全で波板の状態が好適であれば、大部分の幼生は面盤 velum を脱離し変態が始まる。計画した密度に幼生が着底したことを確認して注水を開始し、余分な幼生を流し去るとともに水槽容量一杯に水面を上げる。採苗板は完全に水中に浸されることになる。

一度着底した幼生が再び浮遊を始めるケースがある。こうした場合は、採苗は不良に終わる。採苗不良の場合は、また採卵から始める方が実際的である。時間的にも5日程度の遅れで再スタートできる。

### 3) 幼生の着底密度

着底させる幼生の密度は、その後の採苗板上飼育の技術（4. 初期稚貝の飼育参照）とも深く関連する。愛知県では、30×60cmの波板当たり1,500個体（3,600個体/m<sup>2</sup>）を適正着底密度としている。

この密度より低い場合は、注水して水槽の水位を上げるか板を少し沈めると、新しい水面付近にさらに幼生が着底することが多い。水槽容量の70～90%の容量で浮遊幼生を飼育する理由である。著しく着底密度が高い場合は、海水を吹き付けて付着した幼生を落とし密度を調整する。

## (3) 採苗板への珪藻付け

採苗板への珪藻付けは、その後の飼育に決定的な影響を及ぼす。この作業には、できるだけ努力を傾注する。珪藻付けが計画通りに行えれば、その後の飼育管理は大幅に軽減されるので、全体的にみれば少ない作業量で生産を上げることができる。

### 1) 珪藻付けに用いる付着珪藻

#### ①珪藻の種類

摂餌開始時の稚貝の口径は約30μmである。採苗に用いる波板に着生させる珪藻は、30μm以下であることが条件で、これまでの経験から、クロアワビには殻長15～20μm以下の *Navicula* sp., *Amphora* sp. が望ましい。*Cocconeis* sp. は避けた方がよい。*Navicula* sp., *Amphora* sp. は種を保存し、必要な時にスケールアップして珪藻付けに用いる。

#### ②珪藻種の採取

アラメを水槽に入れ、オーバーフローで海水の連続換水を行うと、流下する海水の当たっている場所に *Navicula* sp. の10μmタイプが単一に近い形で繁茂してくることが多い。また、海より採取した直後アラメの表面からも得られることが多い。清浄にした付着板に自然海水を流下させておくと、*Navicula* sp. 10μmタイプを含む珪藻が繁茂してくることがある。珪藻を周年培養しなくても、7月始めに珪藻の採取にとりかかれば、秋季採卵の用意としては

十分である。培養の栄養塩は改変 Plovasoli か SW II が適している。

### ③珪藻培養のスケールアップ

秋季採卵では、8月中旬より種のスケールアップを始める。0.5m<sup>3</sup> パンライト水槽等に採苗板を収容し、培養していた珪藻を入れる。投与後12時間は止水として通気は十分行う。その後、注水率0.2程度で流水培養する。流水海水は精密濾過海水が望ましい。この時期は *Nitzschia closterium* が繁殖しやすく、要注意である。

始めに入れる種の量にもよるが、3～5日目には波板の端の部分から増殖が始まり、7～10日目にはかなり色づき、15～20日目には増殖のピークを迎える。珪藻の一部の自然剥離が始まるころをめぐりに植換えを行う。この状態を繰り返して待機し、採苗板の珪藻付けに備える。

## 2) 採苗板への珪藻付け

以下クロアワビには最適な珪藻の一つである *Navicula* sp. 10 μm タイプについて紹介する。

### ①珪藻密度と幼生付着数

これまでの愛知県の経験では、クロアワビの浮遊幼生は珪藻密度5,000～7,000細胞/mm<sup>2</sup>の板への付着数が多い。この珪藻密度は、肉眼的には薄いキツネ色で、ところどころに珪藻の斑状群落が発達している状態である。珪藻密度が20,000細胞/mm<sup>2</sup>以上の板や、500細胞/mm<sup>2</sup>以下の板への着底は少ない。また、珪藻密度20,000細胞/mm<sup>2</sup>以上の場合、一度幼生が着底してもその後離脱してしまうことが多い。

珪藻類の *Licmophora* sp., *Synedra* sp., *Grammatophora* sp., *Melosira* sp. などが優占し、外観上フワフワした状態のものやケバだった状態のもの、また、繊毛虫類 Ciliata の繁殖が著しい波板へはほとんど幼生が付着せず、着底してもやがて離れることが観察されている。

採苗とその後の管理において最適な細胞密度は、採苗時点で5,000～7,000細胞/mm<sup>2</sup>である。採苗時点にこの細胞密度になるように珪藻付けをコントロールする。過剰な珪藻はその後の飼育に良い結果をもたらさない。

### ②珪藻の増殖速度

板上の珪藻増殖は、始めに入れる珪藻の量、日射量、注水率に強く影響される。晴天が続けば、珪藻付け開始時の板上の珪藻密度が200～300細胞/mm<sup>2</sup>の場合、3日目には板上端に淡い群落が見え始め、5日目には波板の上部で2,000～5,000細胞/mm<sup>2</sup>の量に増殖する。

図3-1に珪藻付け開始からの珪藻密度の経時変化を示した。

### ③珪藻付け開始時期の実際

屋外大型水槽を使用して珪藻付けをする場合、晴天が続けば、採卵当日に採卵数を確認してから開始すれば採苗時にはほぼ上記の最適細胞密度になる。曇天が続くと予想される場合には、採卵予定日の2～3日前に一部の珪藻付けを開始し、この珪藻を後日スタートした板に適宜添加し、開始時の珪藻密度を高くすればよい。採苗板は注水率0.4程度で流水培養する。

### ④採苗直前の採苗板の調整

採苗に用いる直前に、採苗板に海水を強く吹付けて洗浄する。また、培養後8日間以上を経た板を使用する場合は、スポンジ等で珪藻をすり落とし、海水を強く吹付けて洗浄する。この採苗板の洗浄は、過剰な珪藻を落とし、板上の原生動物類を駆除するための極めて重要な作業である。採苗前に板上の珪藻を上述した適切な密度に調整すると、その後の珪藻管理が

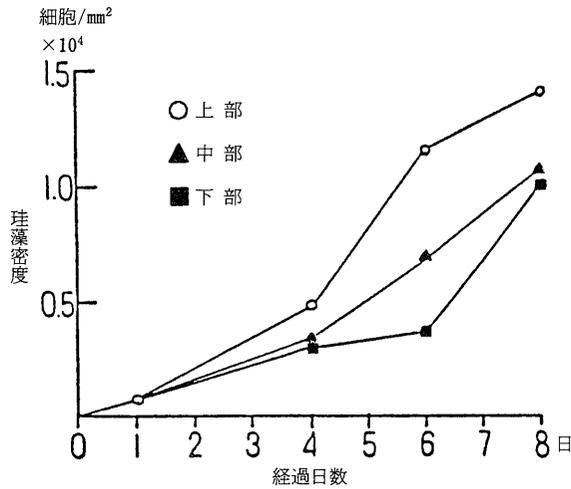


図3-1 採苗板各部の珪藻の増殖  
珪藻：Navicula sp. 20 μm タイプ(石井, 1989)

大幅に軽減される。

#### 4. 初期稚貝の飼育—採苗板上での飼育期間—

採苗板に付着した稚貝は、板上で増殖する珪藻を摂餌して成長する。摂餌量はおおむね殻長の2乗に比例して増加していくが、板上の珪藻生産力には限界がある。この期の飼育では、投餌等によって餌料を直接制御することができないので、珪藻の増殖と稚貝の密度を調節し、間接的に飼育をコントロールすることになる。また、様々な制御手段を行っても効果が現れるまでに1週間から10日間のタイムラグがある。常に先を読んで対策を実行する必要がある。

##### (1) 初期稚貝の摂餌

###### 1) 稚貝の摂餌量

稚貝の殻長と珪藻摂餌量及び成長の関係を表3-2 (柳橋ら, 1986) に示した。着底後間もない殻長0.75mmの稚貝は、1日に15~18 μmのNavicula sp.を2.7万個の摂餌したに過ぎないが、殻長1.04mmでは7万個、殻長2.88mmでは35~40 μmのNitzschia sp.を24万個摂餌した。殻長4.95mmの稚貝は70万細胞を摂餌している。珪藻密度10,000cells/mm²の板上の、1日当りの摂餌面積は、殻長0.75mmでは3.0mm²程度であるが、殻長3.0mmサイズでは約25mm²、殻長5mmでは65mm²程度と急増する。これは、殻長1mmまでは「足跡面積」の8倍程度、殻長3mm以上では4倍程度になる(表3-3)。

稚貝の殻長SL (mm) と1日当りに摂餌する珪藻湿重量I (mg) には次の関係が認められる(柳橋ら, 1986)。

水温19℃で、15~18 μmのNavicula sp.を摂餌する場合、

$$I = 0.191 SL^{1.787}$$

水温12℃で、35~40 μmのNitzschia sp.を摂餌する場合、

$$I = 0.217 SL^{1.958}$$

表3-2 クロアワビ稚貝の殻長と摂餌面積

殻長 (mm)	日間珪藻摂餌量		摂餌率 (%)	転換効率 (%)	日間増重量 (mg/日)	日間成長量 ( $\mu$ m/日)
	摂餌数 ( $\times 10^4$ 細胞/個体)	摂餌量 (mg/個体)				
0.75	2.7	0.108	196.4	—	—	—
1.04	7.0	0.280	193.3	—	—	—
3.03	24.0	1.853	58.0	8.6	0.160	50.0
4.27	44.5	2.447	26.5	8.8	0.216	26.7
5.11	70.0	5.404	35.1	8.9	0.483	53.3
6.25	81.7	6.948	24.3	7.2	0.500	36.7

殻長 3 mm 以上の実験は1982年3月実施, 水温: 12℃台, 珪藻: *Nitzschia* sp.  
 殻長 3 mm 以下の実験は1982年11月実施, 水温: 19℃台, 珪藻: *Navicula* sp.  
 (柳橋ら, 1986)

表3-3 クロアワビ稚貝の殻長と摂餌面積

殻長 (mm)	1日当りの摂餌面積 (mm <sup>2</sup> )	足跡面積比
0.7	3.0	8.7
1.0	5.6	8.0
3.0	24.7	3.8
4.0	42.1	3.8
5.0	63.9	3.6
6.0	89.7	3.6

採苗板上で実験. 珪藻密度: 10,000細胞/mm<sup>2</sup>, 殻長 3 mm 以上は水温12℃  
 台, 3 mm 未満は水温19℃台. 足跡面積比は, 稚貝の付着部分の面積  
 で1日の摂餌面積を除す.  
 (柳橋ら, 1988)

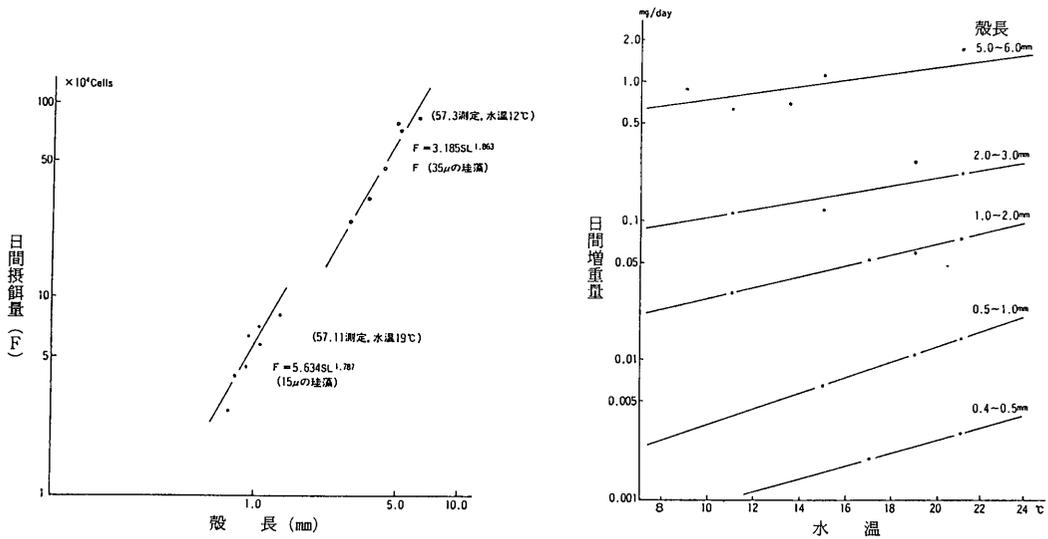


図3-2 クロアワビ稚貝の殻長と日間摂餌量の関係(左)および日間増重量と水温の関係(右)  
 (柳橋ら, 1986)

付着珪藻の大きさと湿重量は以下の関係が認められている（柳橋，1991）。

10  $\mu\text{m}$  : 1 g =  $6 \times 10^6$  細胞

20  $\mu\text{m}$  : 1 g =  $3 \times 10^6$  細胞

30  $\mu\text{m}$  : 1 g =  $1.5 \times 10^6$  細胞

50  $\mu\text{m}$  : 1 g =  $0.5 \times 10^6$  細胞

図3-2（柳橋ら，1986）に水温と殻長毎の日間増重量を示した。表3-2の餌料転換効率と本図から、実際の種苗生産で直面する、様々な場合のクロアワビ稚貝の日間摂餌量が算出できる。例えば、餌料転換効率を10%とすれば、水温20℃で、殻長2.0~3.0mm 稚貝の日間摂餌量は2mgとなり、30  $\mu\text{m}$  の珪藻で30万細胞を摂餌する計算になる。

## 2) 稚貝の殻長と摂餌する珪藻の大きさ

殻長0.5mm以下の稚貝の消化管内容物は、稚貝をスライドガラスにのせ、上からカバーガラスをかけて押しつぶすと、直接検鏡できる。

稚貝の殻長と摂餌した珪藻の大きさを表3-4（柳橋ら，1986）に示した。殻長0.35mm 稚貝の消化管内優占種は、8~15  $\mu\text{m}$  の *Navicula* sp. であるが、殻長0.65mm 稚貝では、優占種は40~50  $\mu\text{m}$  の *Navicula* sp. である。成長とともに大型の珪藻を摂餌していることが判る。後述する「珪藻散布」の方法で採苗板上の珪藻を制御する場合には、これらの関係に基づき、稚貝の殻長に適した大きさの珪藻種を選択する必要がある。

表3-4 クロアワビ稚貝の殻長と消化管内珪藻の大きさ別細胞数

付着珪藻長径 ( $\mu\text{m}$ )	稚 貝 殻 長 (mm)				
	0.35	0.40	0.43	0.47	0.65
8~15	48	120	140	180	56
15~25	19	70	105	10	31
25~40	—	—	—	—	—
40~50	—	—	—	48	80
50~	—	—	—	—	53
計	67	190	245	238	220

検鏡時の消化管内の珪藻細胞数を示す。殻長の大きな稚貝は、より大きな珪藻を摂餌している。（柳橋ら，1986）

## (2) 初期稚貝の成長と採苗板上の生息限界量

### 1) 稚貝の成長と水温

餌料珪藻が十分ある場合の稚貝の日間成長量は、水温と稚貝の殻長によって異なる。水温18~20℃では、殻長0.5mm未満の個体は25  $\mu\text{m}$ 、殻長0.5~1.0mmで46~50  $\mu\text{m}$  であるが、殻長1.0~2.0mmで67  $\mu\text{m}$ 、殻長2.0~3.0mmで111  $\mu\text{m}$ 、殻長3.0~4.0mmでは125  $\mu\text{m}$  と個体の成長とともに日間成長量は増加する（柳橋ら，1986）。これらの成長量は、稚貝の正常な成長量の基準と考えられる。

日間成長量と水温は図3-3（柳橋ら，1986）に示すように、殻長毎にほぼ直線関係にある。この関係を用いて成長停止下限水温をみると、殻長1.0mm未満は8~10℃、1.0mm以上は4

～5℃である。殻長1mm以上に成長した個体は4～5℃以上の水温では、少なくとも一応成長するが、殻長1mm未満の稚貝はこの水温では成長できない。

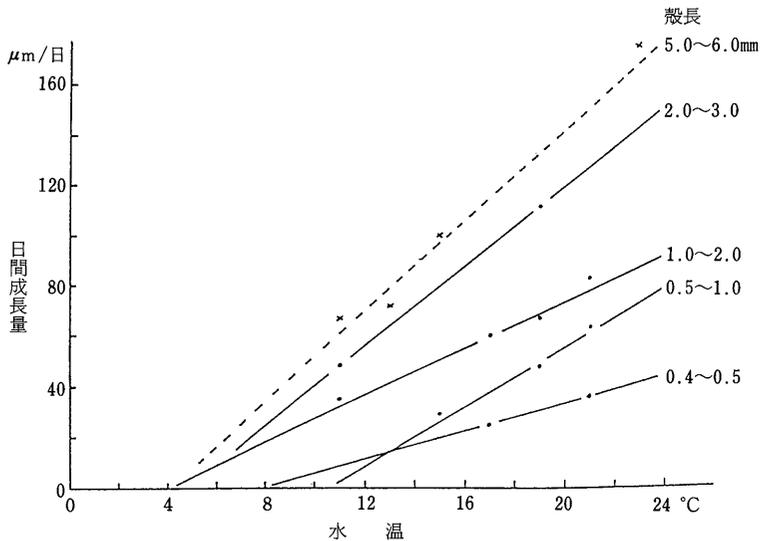


図3-3 クロアワビ稚貝の日間成長量(殻長)と水温の関係  
(柳橋ら, 1986)

## 2) 稚貝の成長と餌料

採苗板上の餌料量と成長の関係の一例を図3-4(柳橋ら, 1986)に示した。ふ化後20日目に、500~700個体の稚貝が付着する採苗板は、板の珪藻がほとんど食べ尽され、珪藻密度は300~500細胞/mm<sup>2</sup>程度を上下していた。このときの板は外観上透明な状態である。付着する稚貝の平均殻長は0.9mmであった。一方、200~300個体の稚貝が付着する採苗板では、珪藻密度は17,000~25,000細胞/mm<sup>2</sup>を上下していた。付着する稚貝の平均殻長は1.1mmであり、ふ化後20日目にして0.2mmの差ができています。

その後、採苗板をそのままの状態にして稚貝の成長を追跡すると、成長差はさらに拡大した。ふ化後62日目には、餌の十分ある板上の稚貝平均殻長は5.4mmであったが、餌不足と認められる板の平均殻長は3.3mmにすぎない。

餌料珪藻が充分あったときの、実際の種苗生産過程での成長例を図3-5(石井, 1989)に示した。

## 3) 採苗板上の稚貝生息量の限界

珪藻管理を充分に行った時の、板上の稚貝数と稚貝重量を表3-5(柳橋, 1986)に示した。この数値は、実際の飼育管理における、採苗板上の稚貝の限界的な生息数量を示すと考えられる。稚貝の現存量がこの数量を超すと、板上から離脱し水槽壁へ移行したり、死亡する稚貝が増加する現象がみられる。

愛知県の条件では、十分な飼育管理を行っても、殻長0.6~0.7mmで1500個体/板(3,600個体/m<sup>2</sup>)、殻長3~4mmで150個体/板(360個体/m<sup>2</sup>)程度が限界的な生息数であろう。板上の

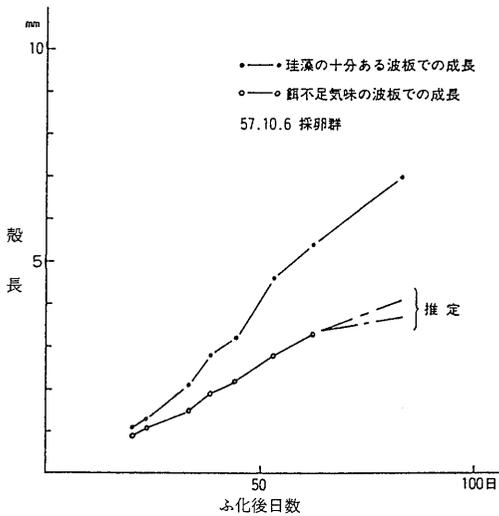


図3-4 採苗板上の珪藻状態の差とクロアワビ稚貝の成長 (柳橋ら, 1986)  
 ・・・ の稚貝密度: 200~300個体/枚  
 ○—○ の稚貝密度: 500~700個体/枚

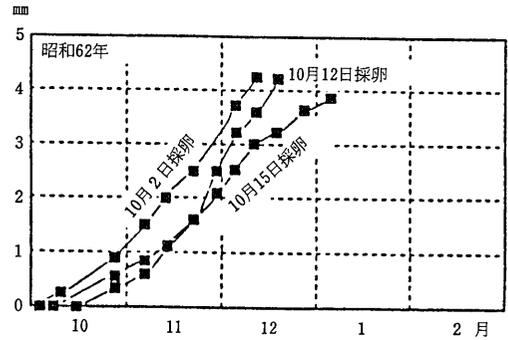


図3-5 採苗板飼育期間のクロアワビ稚貝の成長事例 (石井, 1989)

表3-5 採苗板1枚当りのクロアワビ稚貝生育個体数の限界

成長段階(殻長mm)	稚貝付着数(個体/枚)	稚貝総重量(mg/枚)
0.6~0.7	2,000<	72.0
0.8~1.0	1,500~2,000	165.1
1.5~2.0	800~1,000	608.3
2.0~3.0	400~ 500	874.4
3.0~4.0	150~ 200	920.9
4.0~8.0	40~ 50	1168.0

継続飼育により計測。殻長3~4mm以上は珪藻を新しく付着させた板上で試験。  
 採苗板の面積等は本文用語の項参照。(柳橋ら, 1986)

稚貝密度は、過剰にならないよう、本表に準じ密度を調整している。

### (3) 珪藻の増殖

#### 1) 珪藻の増殖条件

珪藻の生産量と照度，注水率，水温の関係を図3-6~8 (柳橋, 1990a) に示した。照度は昼夜のある自然状態で培養した時の，正午ごろの最大照度を示す。珪藻の生産量は，10<sup>4</sup>Luxまでは照度が大きいほど，注水率が0.4までは注水率が高いほど，水温が21℃までは水温の高いほど，珪藻の生産量は直線的に増加する。

上記の範囲の最適条件下では，水温と珪藻の最大増殖速度（1日当りの分裂回数）の関係は次の式にあてはまる (柳橋ら, 1986)。

$$\log d = 0.0275T(^{\circ}\text{C}) - 0.070 \quad d: \text{1日当りの分裂回数}$$

また，水温は珪藻の増殖速度とともに，自然剝離するまでの時間にも強い影響を及ぼす。

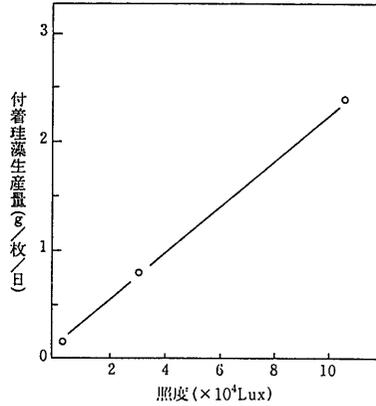


図3-6 珪藻の増殖速度と照度の関係

昼夜のある自然状態で試験。照度は正午ごろの照度を測定。注水率：0.5，水温：20℃，縦軸は採苗板1枚当りに表示。面積(1 m<sup>2</sup>)当りに換算するには2.38倍。採苗板の詳細は本文用語の項参照。(柳橋ら1990)

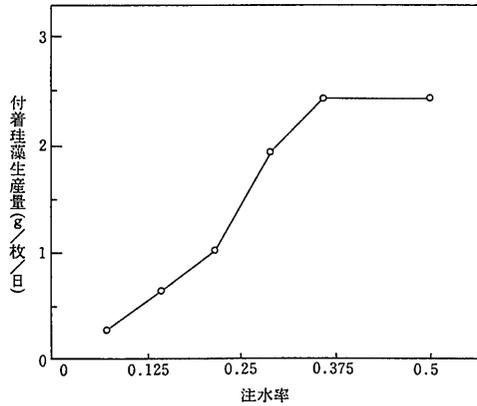


図3-7 珪藻の増殖速度と注水率の関係

昼夜のある自然状態で試験。昼間照度：10×10<sup>4</sup>Lux。水温：20℃。縦軸は採苗板1枚当りに表示。面積(1 m<sup>2</sup>)当りに換算するには2.38倍。注水率の定義は本文用語の項参照。(柳橋，1990)

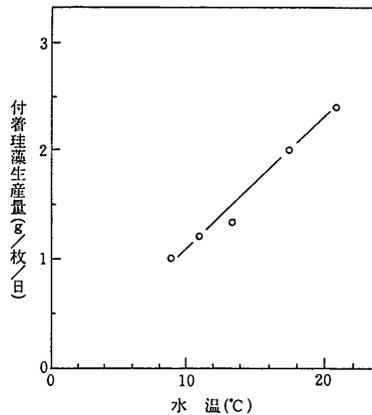


図3-8 水温と珪藻の増殖速度の関係

昼夜のある自然状態で試験。昼間照度：10×10<sup>4</sup>Lux。注水率：0.5。縦軸は採苗板1枚当りに表示。面積(1 m<sup>2</sup>)当りに換算するには2.38倍。(柳橋，1990)

## 2) 珪藻の自然剥離

付着珪藻はある程度増殖すると、下層になった細胞に光が当らず死亡し始める。その結果、上層の生きている細胞と一緒に基質から自然に剥離する。

*Navicula* sp. 20  $\mu$ m タイプを、200~300細胞/mm<sup>2</sup>の密度で屋外培養を開始した場合の、水温と増殖の極相までの日数、自然剥離するまでの日数の関係を表3-6 (柳橋ら,1991)に示した。水温20~22℃では7日程度で増殖の極相に達し、すぐ自然剥離が始まる。水温15~20℃では、極相に達するまでに10日程度であり、自然剥離が始まるにはその後2日程度かかる。また、遮光し、照度を極端に低くしたときの自然剥離までの日数と水温との関係を表3-7 (柳橋, 1991a)に示した。採苗板飼育期間の珪藻管理には、上記のような現象を充分把握して行う必要がある。

表3-6 各水温帯における珪藻の自然剥離、増殖極相までの日数

水 温(℃)	自然剥離までの日数	増殖極相までの日数
20~22	7~10	7~10
15~20	12~18	10~12
12~15	18~24	18~22
10~12	20~30	20~26
8~10	24~45	24~32

(柳橋, 1991 a)

表3-7 各水温帯で遮光したときに珪藻が枯死するまでの日数

水 温(℃)	2,000細胞/mm <sup>2</sup>	5,000細胞/mm <sup>2</sup>	10,000細胞/mm <sup>2</sup>
20~22	7	4	2
15~20	7	6	3
12~15	11	7	4
10~12	13	8	5
8~10	15	10	6

(柳橋, 1991 a)

## 3) 採苗板上の珪藻生産量

*Navicula* sp. を主体とする珪藻の現存量と、1日当りの生産量、水温、照度の関係を図3-9 (柳橋(1991 a)より作図)に示した。本図から、実際の種苗生産で直面する様々な条件での珪藻の生産量を予測する事ができる。

## 4) 採苗板上の生物群集の遷移

採苗板上に着生し増殖する珪藻相は、初期は採苗のために着生させた種が卓越するが、時間の経過とともに優占種が次々と変わる。板上の珪藻の遷移系列は第1章 図1-46に示されている。こうした優占種交代は、活発なアワビ稚貝の摂餌活動にあると考えられる。食べやすい形と大きさの珪藻が選択的に取り除かれた結果であろう。この図のような長い期間での変化のほかに、5~20日で起こる珪藻相の変化、自然剥離がある。これは、初期の小型珪藻時期、次の多種の珪藻種の混合した時期に起ることが多い。自然剥離に前後して繊毛虫類 ciliata, 線

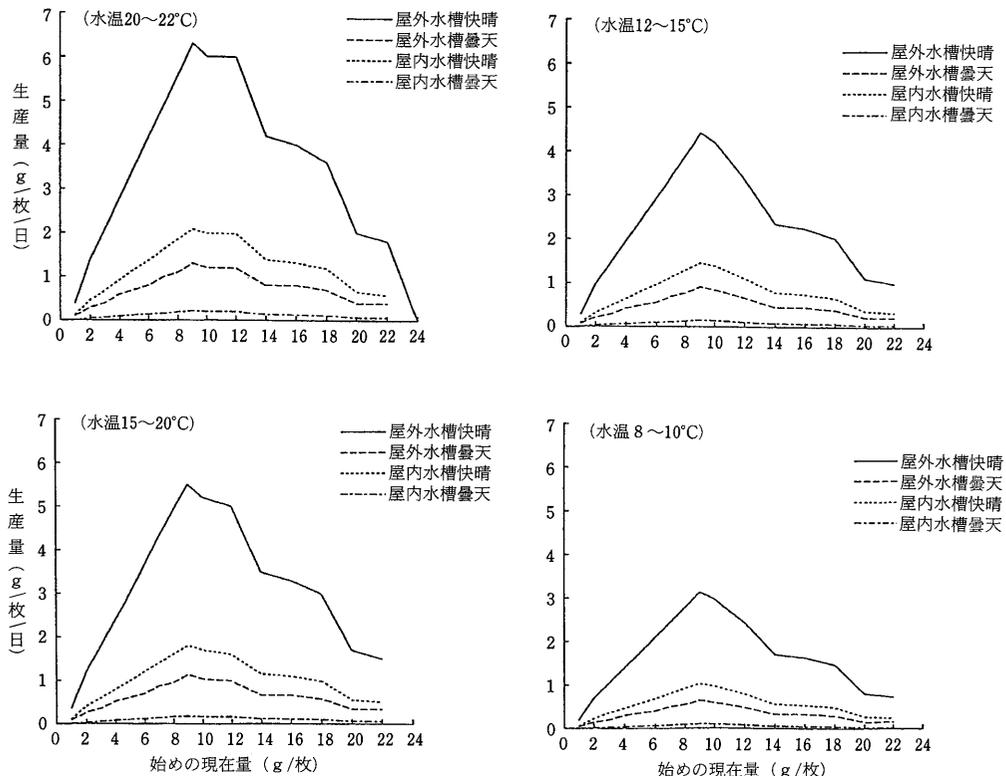


図3-9 珪藻現存量，培養条件と増殖速度の関係

昼夜のある自然状態で試験。採苗板1枚当りに表示。面積(1㎡)当りに換算するには2.38倍。

(柳橋(1991a)より作図)

虫類 nematoda が繁殖したときには *Tigriopus*, *Tisbe* など匍匐性橈脚類 copepoda の繁殖が始まることがある。採苗板上の飼育期間で特に注意すべき問題の一つである。

#### (4) 採苗板上の稚貝飼育の実際

採苗後，殻長0.5~0.7mm までの稚貝の減耗は大きい。通常でも初期付着稚貝の20~60%は斃死する。この減耗の原因は，卵質，幼生飼育時の水質および採苗に使用した板の藻類の着生状態に強い影響を受ける。現時点では，この減耗に対する有効な対策は，良好な採苗板を使うことしかない。実際には，この減耗を見込んで，幼生の着底数を1500個体/枚とすることで対応している。

その後，稚貝の摂餌量にくらべて珪藻量が少ないと，前述したように成長が低下し，徐々に死亡個体が増加していく。また，珪藻の過剰繁殖は，特に殻長1mm 未満の小型稚貝に大量減耗をもたらすことが多い。愛知県では3日間程度で現存数が1/10以下になることもみられた。また，珪藻の過剰繁殖した採苗板は copepoda や ciliata, nematoda が増殖し，稚貝の生息環境は急激に悪化していく。採苗板上の稚貝飼育では，餌料不足と珪藻過剰の中間を維持することが，主要な課題であり，このためにいくつかの技術が開発されてきている。

実験室規模では，珪藻増殖の制御方法は多くの方法が考えられる。しかし，実際の飼育ではその条件上，採苗板上の珪藻を制御する方法は限定される。主な方法を紹介する。いずれも効果が現れるまでに時間がかかり即効性がない。1週間~10日後の珪藻状態を予測して，早めに手を打っ

ていく必要がある。

### 1) 照度, 注水率, 水温の調節

表3-5で示した殻長と稚貝数を目安とし、珪藻の状態、稚貝の摂餌の状態を観察しながら、珪藻を増殖させるか抑制させるかを決定する。実際の種苗生産では水槽の規模が大きいので、水温は自然水温にまかせるしかない。調節できるのは照度と注水率であろう(図3-6, 7, 9参照)。珪藻量が欠乏している付着板を屋外に出し照度を上げた事例を図3-10(柳橋, 1991b)に示した。屋外に出すと珪藻生産量が増加し、稚貝の成長も加速され、現存量が急激に増加した。

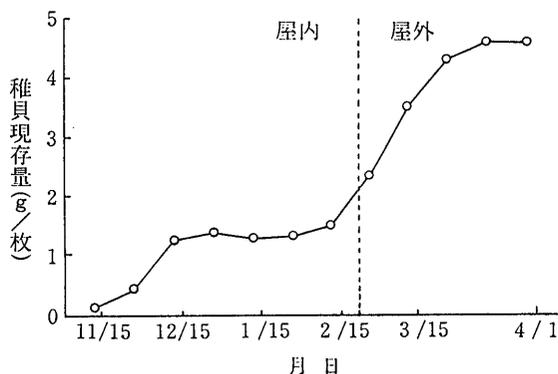


図3-10 珪藻量の少ない採苗板を屋内から屋外に出したときのクロアワビ稚貝現存量の変化

板を屋外に出すと昼間照度は4倍程度になる。稚貝の成長が加速し、急激に現存量が増加する。採苗板1枚当りに表示。面積(1㎡)当りに換算するには2.38倍。(柳橋, 1991)

### 2) 採苗板の洗浄

採苗板をホルダーごと取り出し、海水を吹き付けて「枯れ」の出た珪藻やゴミ、アワビの糞、copepoda 類等を洗い流す方法である。愛知県では1982年以降実施しているが、珪藻相を良好な状態に保つために有効度の高い方法である。また、後述する「珪藻散布」の前処理としても非常に有効である。

初期には稚貝の付着力が弱いので、吹き付ける水流をゆるめにする。ホースを手で適当におさえて調節してもよいし、市販の園芸用ノズルのうち適当な穴の大きさのものを選んで用いてもよい。ノズル使用は熟練を必要とせず簡便である。

稚貝は着底後2週間経てば採苗板洗に耐えられる付着力を有し、脱落は極めて少ない。一回の「採苗板洗浄」で脱落する稚貝は、適当な水流で洗えば、付着数の1~2%程度である。付着している稚貝密度が設定した密度より高ければ、強く海水を吹き付け稚貝を剥離させ密度を同時に調節することもできる。

### 3) 珪藻散布

#### ①珪藻散布の方法

あらかじめ珪藻を大量に培養しておき、板上に散布し、珪藻増殖を図る方法である。愛知県では1985年以降実施しているが、珪藻を増殖させるために、極めて有効度の高い方法であ

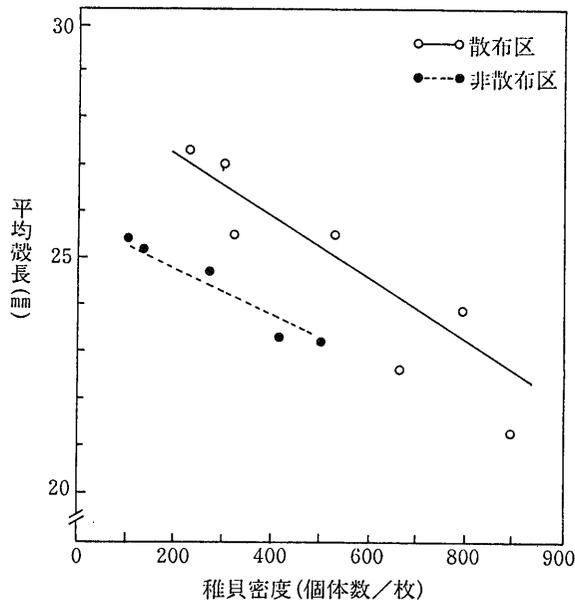


図3-11 珪藻散布で採苗板の珪藻を増殖させたときのクロアワビ稚貝の成長

15m<sup>2</sup>水槽に採苗板800枚を収容. 4,320億細胞の珪藻を散布し, 非散布区と比較. 稚貝密度は採苗板1枚当りに表示. 採苗板の詳細は本文用語の項参照. 面積(1m<sup>2</sup>)当りに換算するには2.38倍. (柳橋, 1990)

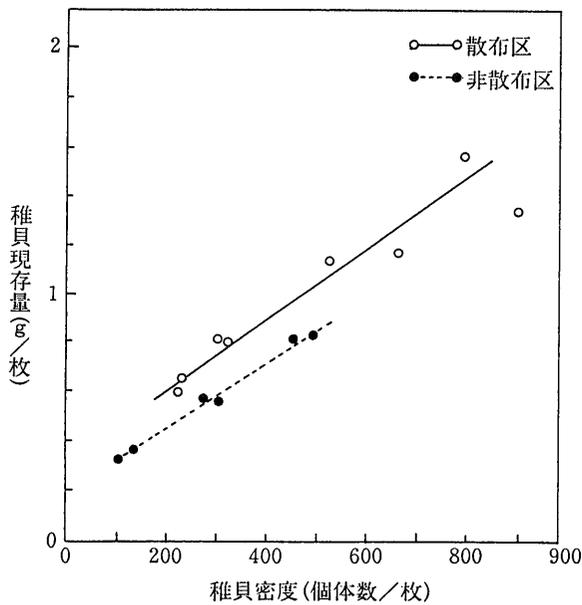


図3-12 珪藻散布で採苗板の珪藻を増殖させたときのクロアワビ稚貝の現存量

15m<sup>2</sup>水槽に採苗板800枚を収容. 4,320億細胞の珪藻を散布し, 非散布区と比較. 採苗板1枚当りに表示. 面積(1m<sup>2</sup>)当りに換算するには2.38倍. (柳橋, 1990)

る。散布された珪藻は付着板の凹部に付着し、全体に増殖していく。水槽全体に散布しなくても、必要とする付着板だけに散布する「スポット散布」を行えば珪藻を無駄なく散布することができる。

散布時にはエアレーションを止め注水を少し絞る。散布後徐々にエアレーションを強くする。照度の高い晴天時に行うと、珪藻の板への付着効率がよい。板に付着しない珪藻は水槽底に沈下するので、何回か散布を行った後には水槽底掃除が必要となる。

図3-11, 12(柳橋, 1991a)に珪藻散布の効果を示した。珪藻散布により、殻長は12%程度大きくなり、板上の稚貝現存量は20%程度増加した。

## ②珪藻の大量培養法

実験室的な珪藻大量培養装置は第1章に紹介されている(田中ら, 1987)が、本項では、実際の種苗生産レベルでの珪藻大量培養を目的とした簡易法(柳澤, 1986)を紹介する。

付着珪藻類(特に *Navicula* sp.) の大量培養の最大のポイントは、海水(培養液)を常に流しておくことにある。垂直の基質に海水等を流下させ *Navicula* sp. 等を播種する。基質はセメント壁、ベニヤ板、ガラス、プラスチック板、ブラシ等はほとんど何でもよく、垂直の壁等にビニールシートをかけたものでもよい。コンクリート壁は特に効率がよい。

次のポイントは、常に珪藻を「増殖期の状態」に保つことにある。このため、収穫しない時には、1週間に1度程度の頻度で繁茂した珪藻をはき落してしまうか、海水を強く吹きつけ基質を洗う。この様にして培養すると、ほとんど他藻類の混入を起さず、2ヵ月間程度の「長期単一培養」が可能である。垂直壁を乾燥部分で仕切れば、同一の垂直基質で複数種の珪藻が同時に培養できる。手順は以下のとおりである。

- a. 前もって塩素殺菌しておいたコンクリート壁を海水で濡らす。
- b. あらかじめ培養しておいた付着珪藻をスポンジに染み込ませ、濡れたセメント壁に塗りつける。
- c. 海水をシャワー状に壁に流下させる。
- d. 播種した付着珪藻の濃度にもよるが、晴天が続けば10日程度で収穫可能となる。
- e. ゴムベラ等で剝離し収穫すると便利である。
- f. その後は週に1度程度の頻度で収穫できる。*Navicula* sp.30 $\mu$ タイプの珪藻なら5,000万~1億細胞/mlの「珪藻ペースト」を、壁面1m<sup>2</sup>当り0.2~0.5 $l$ 収穫できる。

また、採苗板と水槽に余裕があれば、前述の「珪藻付け」の方法で大量培養し、スポンジ等で必要だけ収穫する方法も簡易である。一時に大量に収穫する場合は、採苗板洗浄機で海水を用いて洗浄して、収穫する方法もある。

## 4) 採苗板の展開

板上の珪藻が少なくなりだした時点で、あらかじめ「珪藻付け」の方法で珪藻を付着させた新しい採苗板を、稚貝を分散させたい採苗板に洗濯バサミ、クリップ等で挟みつけて接触面をつくり稚貝の移動をはかる方法(柳橋ら, 1986)である。これは稚貝密度の調節と珪藻の実質的補給を同時に行う飼育管理上きわめて有効度の高い方法である(図3-13)。

稚貝が300個体/板以上の密度で付着し、珪藻密度が低い場合は、おおむね1週間以内に100個体程度は新しい板へ移動する。稚貝の移動は水温が高く、稚貝の付着数が多く、大型の稚貝

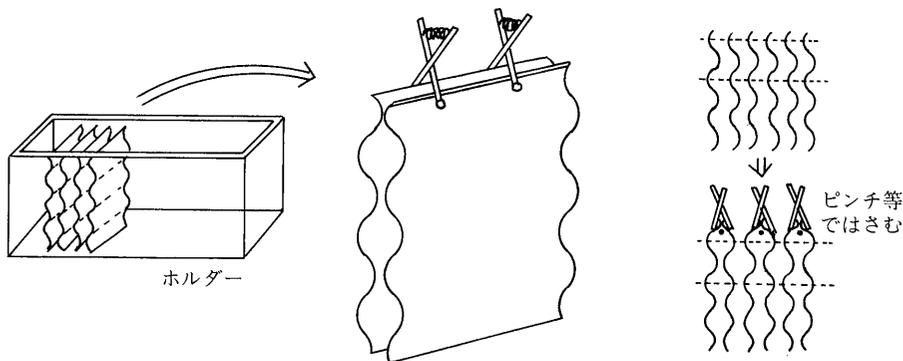


図3-13 採苗板展開時のとめ方

ほど速い。また、やや暗条件の方が移動が速い。10℃以下の水温での移動は遅い。100～150個体が新しい板に移動したら、ピンチをはずし、接着面をなくする。元の板にまだ200個体以上の稚貝が付着している場合は、再び同じ操作を繰り返す。

#### 5) その他の管理

採苗板上の飼育が70日目を過ぎるころから、*Grammatophora marina* やその他連鎖状群体の繁殖が始まることが多い。これらの藻類は稚貝の摂餌には適さないので、見つけ次第除去する。また、この群体の中には、copepoda 類が繁殖する。copepoda 類は0.5ppm 濃度のデイブテレットクスで容易に駆除できる（12時間止水，通気有で薬浴）が，copepoda が増殖を始める微細環境自体が，クロアワビ稚貝にとっては良好な環境とはいえない。前述の海水の吹き付けによる汚物の洗い流しや，不適な海藻類の除去により，板上の環境を良好に保つことも重要である。

### 5. 後期稚貝の飼育—生簀内での飼育期間—

殻長7～8mm までの稚貝は，付着珪藻類を餌料とした場合に最もよい成長が認められている。しかし，稚貝の摂餌量は成長とともに急激に増加し，板上の珪藻類生産量を超える時期が来る。このため，適当な時期に採苗板から剝離し，生簀に収容して，餌料を投餌する飼育に切り替える必要が生ずる。また，板上の珪藻相の「老化」が進み，珪藻の生産力が低下してきた場合も，生簀飼育に切り替える必要がある。

#### (1) 採苗板からの稚貝の剝離と選別

餌料珪藻類の不足により，板から稚貝を剝離しなければならない時期は，愛知県では全体の70%程度の稚貝が5mm を超える頃である。10月上旬採苗で1月中～下旬（ふ化後90～100日目），11月中旬採苗では2月下旬～4月上旬（130～140日目）頃である。

##### 1) 採苗板からの剝離

###### ① 麻酔剤

剝離のための麻酔は多くの方法が提案されている。愛知県では，2%エチルアルコール海水（液温18～20℃）による麻酔を用いている。薬品用エチルアルコールは高価で実用にならない。食品添加用の市販アルコール剤（エチルアルコール濃度50～70%）が安価である。5分で麻酔され，通常海水に戻せば5分で回復する。麻酔による死亡はほとんどない。

## ②剥離時の大小選別

全体の成長がよい場合は、剥離時の選別は行わない。殻長3～6mmの稚貝の殻は極めて脆く、物理的刺激で容易に殻の外縁部が欠ける。こうした個体の斃死率が高い。

剥離直後に大小選別を行うには、目合の通過性を利用すると稚貝に損傷を与えず選別することができる。目合4mmのトリカルネット網生簀で稚貝を飼育すると、殻長4.7mm以上の個体は抜けないが、4.6mmで10%、4.4mmで30%、4mm以下は90%以上が網の目を抜けて、水槽内へ脱出する。目合4mmのトリカルネット網に剥離直後の稚貝を収容し、抜け出した稚貝を処分することにより、殻長4mm以上の稚貝を選別をすることができる。

## ③剥離直後の餌料

殻長5mm程度では稚貝の摂餌量はそれほど多くない。配合飼料より海藻類の方が管理上扱い易い。愛知県では、剥離直後の餌として新ワカメやアラメの新芽を用いている。良質の海藻ならば、7～10日に一度「残餌取り」と海藻の補給を行えばよい。

## ④剥離直後の稚貝の収容密度

愛知県では1×1×0.2mの生簀に10,000個体を収容している。このまま飼育を継続し、稚貝の成長を見ながら適宜分散して密度を下げ、また、目合の大きな生簀に収容していく。必要があれば大小選別を行う。

## 2) 大小稚貝の選別

個体間の大きさの差が広がってくると、小型個体は更に成長が鈍り、時には成長不良個体から斃死する。大きさを揃えて飼育することは、極めて大切である。また、成長の悪い個体から処分し、生産目標にあわせて飼育個体数を調整していく。愛知県では上記の麻醉剤を用い、適当な目合のネットで選別している。麻醉時に長時間干出などの大きなストレスを与えない限り、稚貝は2～3日後には正常な摂餌、成長に戻る。稚貝は殻の前縁部分が非常に欠けやすく取り扱いに十分な注意を要する。殻の欠けた個体の斃死率が高い。

選別後1週間～10日は、選別時に傷ついた個体があれば斃死が出る。愛知県では選別後の死亡率は1%以下である。

## (2) 後期稚貝の摂餌

### 1) 海藻類

#### ①日間摂餌率

ワカメを与えた場合、殻長5～24mmサイズ稚貝の日間摂餌率は8.2～42.7%の範囲である。殻長7～12mmの稚貝が、水温15～18℃で示す日間摂餌率が最も高く30～40%である。アラメを餌とした場合はこれよりやや低い値を示す。成長とともに日間摂餌率は低下し、殻長22mm以上では10%以下となる。日間摂餌率が、殻長6～10mmで6%以下、殻長10～12mmで5%以下、殻長12～15mmで4%以下では、稚貝はほとんど成長しない(柳橋, 1986)。

#### ②餌料転換効率

ワカメの飼料転換効率は8～12.5%、アラメは7～10%であるが、アラメの質によっては3～5%といった低い値を示した実験例もある(柳橋, 1986)。

#### ③実際の飼育での摂餌量の変化

稚貝の海藻摂餌量は、飼育水温、餌料海藻の状態で異なり、稚貝の健康状態、収容密度、

飼育水の水質にも影響される。摂餌量は、上記の実験結果の値を上下し、日々変化している。図3-14（柳橋ら，1986）に実際の種苗生産過程で得られた日々の摂餌量の変動を示した。このように摂餌量の日々の変動幅はかなり大きい。摂餌量の変化だけで稚貝の状態判断するのではなく、できるだけ多くの要素を考慮して、稚貝の状態を判断すべきであろう。

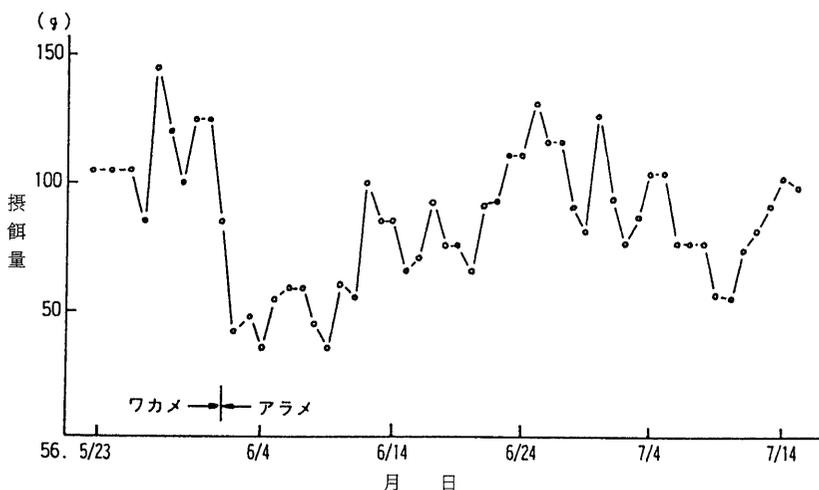


図3-14 クロアワビ稚貝の海藻摂餌量の日変化

40×40×深さ30cmの生簀に平均殻長16.9mmのクロアワビ稚貝965個体(536g)を収容して試験。

(柳橋ら，1986)

## 2) 配合飼料

アワビ種苗生産の量産化を可能としたのは、配合飼料の開発である。殻長20~30mmの稚貝10万個を生産するために必要な餌料海藻は、生アラメに換算して3.7~6トンとなる。餌料海藻を大量に入手することは、実際的には困難な問題である。配合飼料の利用は重要な検討事項である。現時点の配合飼料の問題点は、餌についた個体は良好な成長を示すが、一部に餌につきにくい個体があること、また、配合飼料を水中に長時間置くと低水温であっても腐敗し、腐敗が始まる以前に残餌の回収を確実にを行う必要があることであろう。配合飼料の腐敗速度と水温の関係は、これまでの観察により、図3-15（柳橋ら，1986）のような関係が認められている。

中型稚貝に対しては、毎日の摂餌量を見ながら残餌がない程度に投餌量を調節する。しかし、小型稚貝は1日の摂餌量が少なく、餌に遭遇する確率を増すために、摂餌量よりもはるかに多い配合餌料を投餌しなければならない。このため、残餌の回収を確実に行うことが必要である。

配合飼料の転換効率、実験的には70%以上であるが、実際の飼育では残餌によるロスが避けられず総給餌量の50~65%である（柳橋ら，1986）。

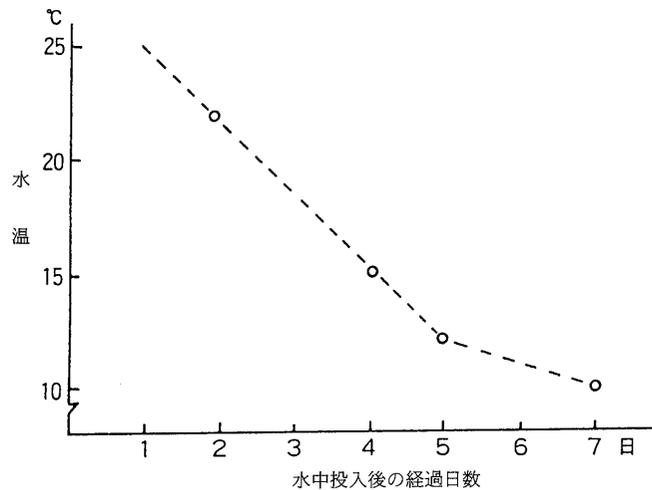


図3-15 配合飼料の腐敗が始まった日数と水温の関係  
(柳橋ら, 1986)

### (3) 稚貝の収容密度と成長

#### 1) 収容密度と成長

クロアワビ稚貝の収容密度, 成長, 摂餌量の関係を表3-8 (柳橋, 1991) 示した。収容密度が高いほど日間成長率が低下している。稚貝の摂餌量は高密度ほど少ないので, 高密度区の低成長は, 摂餌量が低下することに起因すると考えられる。次に視点をかえて, 日間成長量と稚貝の付着している面積の関係を見ると, 図3-16に示したように, 稚貝の付着面積比が50~60%以上になると成長が急に低下している (石井, 1989)。摂餌量は摂餌速度と摂餌時間の積である。高密度下の摂餌量の低下は, 稚貝が相互に干渉し, 摂餌時間が短くなったためであろうと考えられる。

表3-8 クロアワビ稚貝の収容密度と成長

収容密度 (個体/m <sup>2</sup> )	日間成長率 (%)						日間摂餌量 (g/個体)	摂餌率 (%)
	5/22-6/5	6/6-6/21	6/21-7/11	7/11-8/8	8/8-9/13	期間通算		
1,000	3.84	1.01	2.18	2.37	1.89	1.51	0.120	34.9
2,000	3.51	0.87	1.95	2.34	1.54	1.45	0.090	28.9
3,000	2.51	1.30	2.40	1.57	1.34	1.34	0.087	24.4
4,000	3.69	0.91	1.46	1.25	1.04	1.23	0.073	22.4
6,000	3.45	0.65	1.57	—	—	(1.05)	—	—
8,000	3.34	1.02	1.07	—	—	(0.86)	0.053	20.8

試験開始時の稚貝の体重105~126mg, 餌料はアラメ。期間中の生存率は各区98%以上。生簀 (1×1×0.2m) を水面直下に垂下して試験。試験年: 1990年, 日間摂餌量は7月16日に測定。用語の定義は本文用語の項参照。 (柳橋, 1990 b)

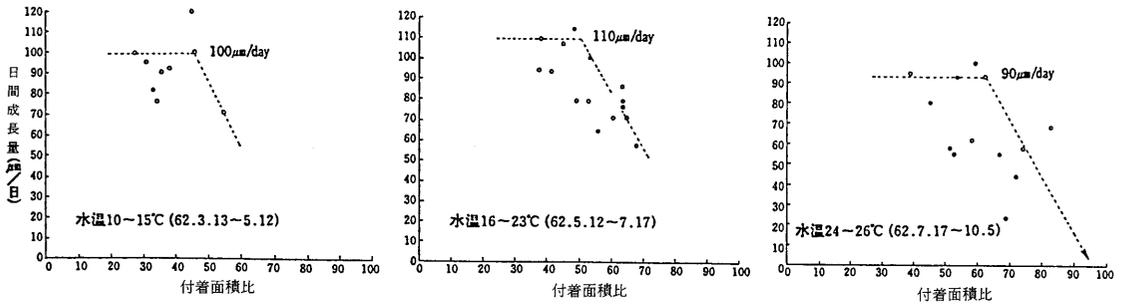


図3-16 クロアワビ稚貝の付着面積比と日間成長量の関係

付着面積比=100×稚貝の付着している面積/付着板片面の面積，付着板の詳細は本文用語の項参照。

(石井，1989)

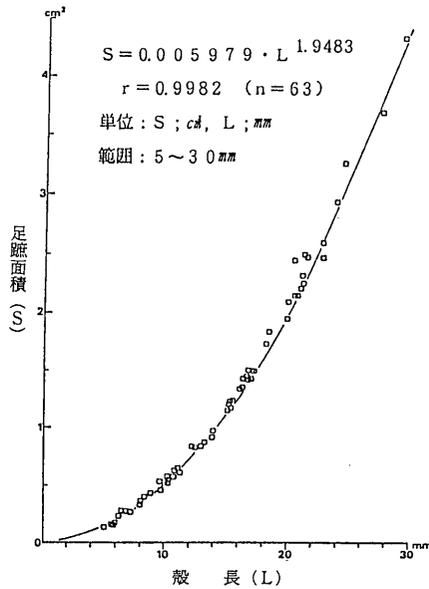


図3-17 クロアワビ稚貝の殻長と足蹠面積の関係

稚貝の足蹠部については本文用語の項参照。(石井，1987)

表3-9 愛知県栽培漁業センターのクロアワビ収容密度と飼育生簀目合基準

殻長(mm)	収容密度(個体数/ $m^2$ )	生簀目合
3～5	10,000	1.5 $mm$ ×2 $mm$
6～8	5,000	3×3
8～12	5,000～3,000	4×3
12以上	3,000	8×7

(柳橋ら，1986)

これらの結果から、稚貝の最適収容密度を検討することができる。しかし、実際の稚貝飼育では実験結果をそのまま採用する訳にはいかない場合が多い。実験的な最適収容密度を基礎に、水槽の規模や目標生産量、飼育管理上の条件等を考慮して、総合的に最も有利な収容密度を決定することになる。愛知県で実際に採用している稚貝収容密度と生簀の目合を表3-9に示した。

生簀での飼育期間は、付着板を移動することにより、比較的容易に密度調整を行うことができる。稚貝の成長や摂餌の状態をモニターしながら、柔軟に密度調整を行うべきであろう。

## 2) 貝殻による成長の簡易モニター

経験的には、稚貝の成長の低下は斃死の前兆であることが多い。定期的な計測によって成長を把握することが望ましいが、殻の状態によっても概要が把握できる。成長の盛んな個体ほど殻の色彩は鮮明で、また低水温時の方が色は鮮明である。高水温時で成長の低下している時期の殻はやや白っぽく見える。成長の鈍化した個体の殻はやや厚く、薄汚れた色彩である。この他、餌を切替える時、餌不足時、環境変化時に褐色がかかった朱色のラインが殻上に形成される場合がある。実際の飼育では、致命的な飼育条件の急変はまれで、徐々に条件が変化していくことが多い。体の損傷、成長不良、飼育環境の悪化などの斃死要因があっても、すぐに斃死に結びつくケースは少なく、5~7日間のタイムラグがある。一方、斃死要因を取り除いてもその後7~10日間は斃死が続くことになる。この時期の飼育はあらゆる情報を総動員して、できるだけ早く状況の変化を把握し、先手を打って対応する必要がある。稚貝の殻は、飼育経過と現在の健康状態、飼育環境を読み取ることができる貴重な情報源の一つである。

## (4) 飼育環境の改良

当然のことであるが、生簀飼育時の要点は、(a) 飼育環境として生簀内の水の動きをよくし、水の通りのよい状態を保つ、(b) 餌料は分量を供給する、(c) 斃死個体や傷んだ餌料は放置せず、すぐに回収する、(d) 水槽の底が硫化物で黒化する状態を作らないことであろう。水通しの十分な飼育環境で、毎日の管理が万全であれば、稚貝の斃死は、剝離選別時の損傷によるものと、一部の成長不良個体の斃死があるだけで、歩留りは高率である。夏季高水温期といわれる6月下旬から9月上旬までの飼育でも、通常、生残率は90%以上となる。夏季大量斃死に対する対策としても、飼育環境の改良は基本的に重要な検討課題であろう。

### 1) 稚貝の排泄物量

殻長22mmのクロアワビ稚貝は、水温19℃でアラメを摂餌した場合、湿重量比で餌の量の30~50%の糞を排泄した。1gのアラメを摂餌すると、30分間静置沈澱量で0.7~0.8mlの糞を排泄し、糞1mlの乾燥重量は16mgであった(柳橋, 1990)。アラメ1kgの摂餌で1ℓ近い沈澱量の糞が排泄されることになる。配合飼料は飼料転換効率が高く、糞の量は経験的にもかなり少ないが、餌料の細片が生簀を抜けて水槽底に堆積する。

糞や残餌の処理は飼育環境の改良に重要な課題である。経験的には、適切な生簀の目合、注水量、エアレーションの調節により、糞や細かい残餌の1/2量程度を水槽外に排出することができる。

### 2) 生簀内の海水交換

#### ①注水率と稚貝の成長

他の条件が同じならば、ある範囲までは、海水交換の大きい方が稚貝の成長がよい傾向が見られる。表3-10に実際の飼育水槽を用いた注水率とクロアワビ稚貝の成長の関係を示した(柳橋, 1991)。愛知県の場合では、注水率0.3と0.4では稚貝にほとんど成長差が認められないが、注水率0.15で飼育した稚貝は注水率0.3の稚貝の70%程度まで日間成長率が低下した。また、注水率0.15の水槽では、注水率の高い水槽に比べ、生簀内や水槽底部に稚貝の糞や残餌が目立った。飼育環境の改良には、注水率やエアレーションを増やして、海水交換を向上させることが有効である。しかし、種苗生産施設の取水量は限られていることが多く、使用海水量を自由に増加できないのが現状である。実際には、限定された海水量の範囲で、できるだけ海水交換を図る工夫をせざるをえない。

表3-10 クロアワビ稚貝の成長と注水率

注水率	日間成長率(増重量/体重)(%)		摂餌率(%)
	6/6~6/21	6/21/7/11	
0.15	1.85	1.25	17.9
0.32	2.38	2.14	20.9
0.44	2.45	2.02	21.8

試験開始時の稚貝体重：223~242mg. 餌料はアラメ. 収容密度：3000個体/m<sup>2</sup>.  
飼育生簀は表3-8と同じ. 試験年：1990年. (柳橋ら, 1990b)

## ②注水方法と海水交換

飼育生簀に付着板を入れると、大多数の稚貝は付着板の下に分布する。特に付着板の下に海藻を敷く場合には、夜間でも稚貝は付着板の下からほとんど移動しない。付着板の下の部分を「飼育域」と呼ぶことにする。飼育域には稚貝と共に残餌や稚貝の糞と一緒に存在する。表3-11(柳澤ら, 1986)に水槽内各部の水質を示した。飼育域でNH<sub>4</sub>-Nが高く、この部分で水質に負荷がかかっていることが判る。使用できる海水量が限定されている場合、飼育域だけでも海水交換を向上させる必要がある。

表3-11 クロアワビ稚貝飼育時の水槽内各部の水質

測定部		NH <sub>4</sub> -N(ppm)	NO <sub>2</sub> -N(μg/l)	NO <sub>3</sub> -N(μg/l)
注	水	21.3	4.4	123.8
付着板上部(表層)		21.3	5.5	124.6
付着板下部(飼育域)		24.9	5.5	122.8
水槽	中層	20.4	5.2	124.3
排	水	28.4	5.5	128.4

飼育密度：3,000個体/m<sup>2</sup>. 餌料はアラメ. 少し腐敗が始まった状態で測定. 付着板下部に稚貝が分布する.  
測定年月：1985年8月. (柳澤ら, 1986)

注水率が同じでも、注水やエアレーションの設置方法が違えば、飼育域の海水交換が異なる。換水率の測定結果を図3-18(柳澤, 1986b)に示した。図のような直方形水槽では、

バルブにより水槽の一端から注水し、生簀の間にエアレーションを行うよりも、シャワーで直接生簀内に注水し、生簀の下にエアレーションを行う方が、飼育域の海水交換率が21%程度高い結果が得られている。

実際の種苗生産に使われている水槽や生簀の形状は様々である。計画どおりの海水交換が得られているか、実測により確かめる必要がある。

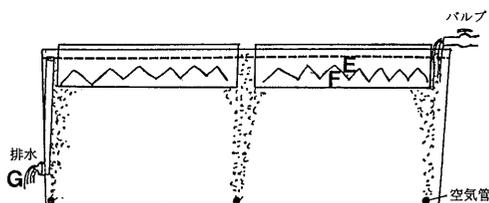
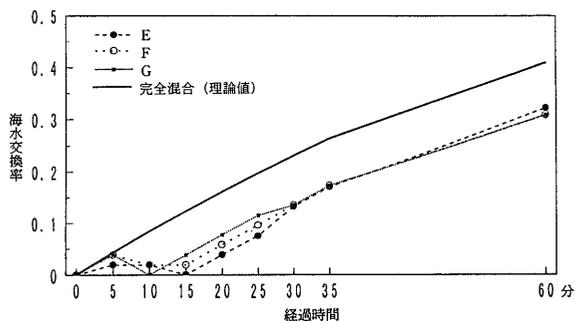
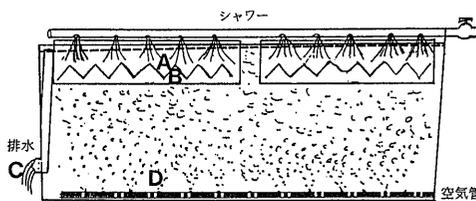
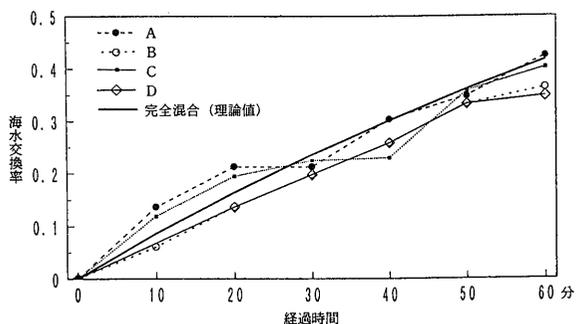


図3-18 注水、通気方法の違いによる海水交換の差  
 使用水槽：245×98×深さ78cm。生簀：90×90×深さ20cm、目合8×7mm。生簀には、殻長25mmのクロアビ稚貝3,000個体、アラメ2kg、附着板を収容。水槽ごとに染料を溶かし自然海水を注水。濃度変化の実測より換水率を計算。

上図：注水率0.54、通気量30.51m<sup>3</sup>/分、通気管の長さ延べ294cm

下図：注水率0.53、通気量27.91m<sup>3</sup>/分、通気管の長さ延べ235cm

(柳澤, 1986)

## 6. 単純化した関係式と数値

実際の飼育管理では、瞬時に状況を判断し対応しなければならないことが多い。このため現場では、実験結果や経験則を単純化した、記憶しやすい関係式や数値が用意されている。これらは概略を把握するための舞台裏のものであるが、参考のため愛知県の例の一部を紹介する。正確な式や数値は本文の関係部分を参照されたい。

## (1) 採苗板上の飼育期間

①採苗板飼育期の殻長 SL (mm) と体重 BW (mg) の関係 (殻長 5 mm 程度まで)

$$BW=0.13SL^3: \text{正確には } BW=0.129SL^{2.961}$$

殻長を 3 乗し, 3 割増して桁どり。

②1 日当りの珪藻摂餌量

a. 日間増重量が判っている場合

殻長 1 mm までは稚貝の日間増重量の15倍: 餌料転換効率6.7%

殻長 1 mm 以上では稚貝の日間増重量の10倍: 餌料転換効率10%

b. 稚貝の殻長しか判っていない場合,

殻長 1 mm の稚貝は珪藻0.15mg, 2 mm では 1 mg, 3 mm では 2 mg, 4 mm では2.5mg, 5 mm では 6 mg。

③珪藻の平均密度 (30cm×60cm波板, 横置きの場合)

屋外 採苗板上端の細胞密度×1/2 = 板全体の平均細胞密度

屋内 採苗板上端の細胞密度×1/5 = 板全体の平均細胞密度

④珪藻の細胞数と湿重量の関係

10 μm タイプ 6 億細胞 = 1 g

30 μm タイプ 1 億 5 千万細胞 = 1 g

⑤採苗板上の珪藻密度と板上の珪藻湿重量 (30cm×60cm 波板の場合)

平均細胞密度5000細胞/mm<sup>2</sup> = 板上に 6 g の珪藻

⑥珪藻の 1 日当りの増殖量 (現存量 6 g /波板, 水温20~22℃の場合)

屋外 晴天 (110,000Lux) 4 g

屋外 曇天 ( 8,000Lux) 0.8g

室内 晴天 ( 30,000Lux) 1.5g

室内 曇天 ( 2,000Lux) 0.15g

遮光 ( 2,000Lux未満) 増殖せず

珪藻現存量12g/板まで増殖量は比例的増加, 12g/板を超すと急激に低下。

⑦水温による珪藻増殖量の補正 (20~22℃の増殖量を100%とした場合)

水温15~20℃で90%, 12~15℃で70%, 8~10℃で50%

## (2) 生簀飼育期間

①1 日の摂餌量は, 殻長 7 mm で体重の40%, 殻長20mm で10%。

②殻長 SL 6 mm~30mm では体重 BW (mg) =0.1SL<sup>3</sup>, 殻長を 3 乗して桁どり。: 正確には  
BW=0.103SL<sup>3.079</sup>

③ワカメ, アラメの餌料転換効率は10%。

④海藻類の投餌量は, ロスを見込んで増重量の20倍程度, 残餌清掃を確実に。

⑤この時期の平均的な成長は 1 日100 μm。成長が低下すると斃死の前兆。

⑥殻長 5 mm を境に明暗に対する反応が変わる。生簀飼育では餌は暗い所に。

⑦附着板の60%以上の面積に稚貝が付着していたら, 密度過剰の前兆。

⑧トラブルがあってから斃死が始まるまで 4~5 日のタイムラグ。原因を取り除いても斃死は

4～5日続く。

- ⑨重量法で稚貝数を推定する場合、タモ網で稚貝をすくうと水分含量は約30%。計測重量を7掛けしてから個体数換算。

#### おわりに

クロアワビの種苗放流事例は、放流が開始されてから現在まで延べ数千例に達するであろう。様々な放流結果が得られ、これらの結果からも、多くの課題が種苗生産技術に向けて提出されて来ている。「攻め」がなくなり保守化した技術は退歩するといわれる。長い経験に支えられ、確立した感のあるクロアワビの種苗生産技術であるが、さらに技術を革新していく必要が高まっていると思われる。本章で紹介した内容は、クロアワビ種苗生産技術の一事例に過ぎないが、参考になる点があれば幸いである。

## 文 献

- 阿井敏夫, 野中 忠, 佐々木 正: サザエの産卵と発生-I, 産卵行動観察の一例. 日水誌, 30(10), 828-830(1964).
- 阿井敏夫: サザエの産卵と発生-II, 産卵誘発と幼生の発達. 日水誌, 31(2), 105-112(1965).
- 赤繁 悟, 関 哲夫, 菅野 尚, 野村 正:  $\gamma$ -アミノ酪酸および二・三の神経伝達物質のエゾアワビ幼生に及ぼす着底, 変態誘起効果の検定. 東北水研研報, (43), 37-45(1981).
- 秋元義正, 磯上孝太郎, 佐藤和加: *Polydora* 属のアワビ貝殻穿孔について. 日水学会東北支部会報, (39), 47-49(1989).
- 網尾 勝: 海産腹足類の比較発生学並びに生態学的研究. 水大校研報, 12(2, 3), 15-144(1963).
- 青戸 泉: 上足触手突起を用いたエゾアワビの倍数性の判定について. 佐賀栽漁セ研報, (3), 65-67(1994).
- 青戸 泉, 森 勇一郎, 伊藤史郎: エゾアワビ3倍体の成長, 生残について. 佐賀栽漁セ研報, (3), 69-77(1994).
- Arai, K., Tsubaki, H., Ishitani, Y. and Fujino, K.: Chromosomes of *Haliotis discus hannai* Ino and *H. discus* Reeve. Bull. Japan. Soc. Sci. Fish., 48(12), 1689-1691(1982).
- Arai, K., Naito, F., Sasaki, H. and Fujino, K.: Gynogenesis with ultraviolet ray irradiated sperm in the Pacific abalone. Bull. Japan. Soc. Sci. Fish., 50(12), 2019-2023(1984).
- Arai, K., Naito, F. and Fujino, K.: Triploidization of the Pacific abalone with temperature and pressure treatments. Bull. Japan. Soc. Sci. Fish., 52(3), 417-922 (1986).
- Arai, K., Fujino, K. and Kudo, M.: Karyotype and zymogram differences among three species of the abalones *Haliotis planata*, *H. varia*, and *H. diversicolor diversicolor*. Bull. Japan. Soc. Sci. Fish., 54(12), 2055-2064 (1988).
- 有馬孝和: 東京都栽培漁業センターに於けるアワビ・フクトコブシ種苗生産について. 東京: (財)東京都島しょ振興公社(1994).
- 有吉敏和, 野田進治: エゾアワビのふ化および幼生の発育におよぼす水温の影響. 佐賀栽漁セ研報, (1), 53-56 (1987a).
- 有吉敏和, 野田進治: エゾアワビ稚貝の飼育法-I, 中間育成時における餌料について. 佐賀栽漁セ研報, (1), 57-60(1987b).
- 有吉敏和, 野田進治: エゾアワビ稚貝の飼育法-II, 中間育成時の飼育密度について. 佐賀栽漁セ研報, (1), 61-63(1987c).
- 我妻隆介, 中村 烈: アワビの種苗生産と人工配合飼料. 養殖, 9月号, 69-77(1977).
- Ballantine, D. L. and Appeldorn, R. S.: Queen conch culture and future prospects in Puerto Rico. Gulf Caribb. Fish. Inst., 35, 57-63(1983).
- Baloun, A. J. and Morse, D. E.: Ionic control of settlement and metamorphosis in larval *Haliotis rufescens* (Gastropoda). Biol. Bull., 167, 124-138(1984).
- Bertalanffy, L. von: Quantitative laws in metabolism and growth. Quat. Rev. Biol., 32, 217-231(1957).
- Booolootian, R. A., Farmanfarmaian, A. and Giese, A. C.: On the reproductive cycle and breeding habits of two western species of *Haliotis*. Biol. Bull., 122(2), 183-193(1962).
- Bower, S. M.: *Labyrinthuloides* n. sp. *haliotidis* (Protozoa: Labyrinthomorpha), a pathogenic parasite of small juvenile abalone in a British Columbia mariculture facility. Can. J. Zool., 65, 1996-2007(1986a).
- Bower, S. M.: Pathogenicity and lost specificity of *Labyrinthuloides haliotidis* (Protozoa: Labyrinthomorpha), a pa-

- rasite of juvenile abalones. Can. J. Zool., 65, 2008-2012(1986b).
- Bower, S. M. : Disinfectants and therapeutic agents for controlling *Labyrinthuloides haliotidis* (Protozoa : Labyrinthomorpha), an abalone pathogen. Aquaculture, 78, 207-215(1989).
- Bower, S. M., Whitaker D. J. and Voltolina, D. : Resistance to ozone of zoospores of the thraustochytrid abalone parasite, *Labyrinthuloides haliotidis* (Protozoa : Labyrinthomorpha). Aquaculture, 78, 147-152(1989).
- 道家章生, 西村元延 : 簡易型水槽を用いたサザエ小型種苗の陸上中間育成の試みについて. 栽培技研, 21(2), 93-94(1993).
- 道津光生, 木下秀明 : メカイアワビの卵に及ぼす温度の影響. 海生環研報, No. 85201, 1-66(1985).
- Ebert, E. E. and Hamilton, R. M. : Ova fertility relative to temperature and to the time of gamete mixing in the red abalone, *Haliotis rufescens*. Calif. Fish and Game, 69(2), 115-120(1983).
- Elstone, R. and Lockwood, G. S. : Pathogenesis of vibriosis in cultured juvenile red abalone, *Haliotis rufescens*. J. Fish. Dis., 6, 111-128(1983).
- FAO/UNEP : Conservation of the genetic resources of fish : problems and recommendations. Report of the expert consultation on the genetic resources of fish. FAO Fish. Tech. Pap., (217), 44pp. (1980).
- Feare, C. J. : The reproductive cycle of the dog whelk (*Nucella lapillus*). Proc. Malac. Soc. London, 39, 125-137(1970).
- Fretter, V. and Graham, A. : British prosobranch molluscs, their functional anatomy and ecology. London : Ray Society, 755pp. (1962)
- 藤井昭彦, 小川七朗, 四井敏雄 : クロアワビ稚貝に対する各種海藻の餌料効果. 長崎水試研報告, (12), 19-25(1986).
- 藤井昭彦, 四井敏雄, 小川七朗 : サザエ稚貝の海藻に対するい集と摂餌. 長崎水試研報告, (14), 19-25(1988).
- 藤井昭彦, 四井敏雄, 前迫信彦 : サザエ稚貝(殻径2mm)の海藻による給餌飼育. 長崎水試研報告, (15), 21-23(1989).
- Fujino, K. : Genetic studies on the Pacific abalone- II Excessive homozygosity in deficient animals. Bull. Japan. Soc. Sci. Fish., 44(7), 767-770(1978).
- 藤野和夫 : 水産生物における遺伝資源保存の方法論. 水産育種, (3), 17-21(1978).
- Fujino, K., Sasaki, K. and Wilkins, N. P. : Genetic studies on the Pacific abalone III, Differences in electrophoretic patterns between *Haliotis discus* Reeve and *H. discus hannai* Ino. Bull. Japan. Soc. Sci. Fish., 46(5), 543-548(1980).
- Fujino, K., Okumura, S. and Inayoshi : Temperature tolerance differences among normal diploid and triploid Pacific abalones. Nippom Suisan Gakkaishi, 53(1), 15-21(1987).
- Fujita, D., Okada, H. and Sakata, K. : The importance of some marine red algae inhabiting fishing port waterbreak vertical surface as natural food for juvenile horned turban *Turbo (Batillus) cornutus*. Bull. Toyama Pref. Fish. Exp. St., (2), 41-51(1990).
- Fujita, D., Iwase, Y. and Sakata, K. : Coralline algae also contain feeding stimulant glycerolipids for marine gastropods. Bull. Toyama Pref. Fish. Exp. St., (3), 1-6(1992).
- 福井県栽培漁業センター : 平成元年度西部日本海ブロック増殖担当者会議資料(1989).
- 二島賢二 : 過酸化水素使用によるクロアワビの産卵誘発効果. 栽培技研, 10(2), 29-34(1981).
- 二島賢二 : アワビの海上筏による垂直式および海底沈下式養殖について. 養殖, 5月号, pp. 66-69(1988).
- 二島賢二・伊藤輝昭 : γ-アミノ酪酸によるサザエ浮遊幼生の着底促進試験. 昭和59年度福岡水試研業務報,

- 173-178(1986).
- Gibbons, M. C. and Castagna, M. : Serotonin as an inducer of six bivalve species. *Aquaculture*, 40, 189-191 (1984).
- Giese, A. C. : Comparative physiology : annual reproductive cycles of marine invertebrates. *Annu. Rev. Physiol.*, 21, 547-576(1959).
- Giese, A. C. and Pearse, J. S. : Gastropods and cephalopods. in "Reproduction of Marine Invertebrates, Vol. IV. Molluscs". New York : Academic Press, 369pp. (1977).
- 波部忠重, 奥谷喬司, 西脇三郎 : 軟体動物学概説(上巻). 東京 : サイエンス社, 273pp. (1994).
- 原 素之 : エゾアワビ人工種苗の親貝による成長の差異. *水産育種*, (14), 39-42(1989).
- 原 素之 : エゾアワビ人工種苗の成長におよぼす遺伝的要因. *東北水研研報*, (52), 73-77(1990).
- 原 素之, 藤尾芳久 : エゾアワビと近縁4種の遺伝的類縁関係. *水産育種*, 17, 55-61(1992).
- Hara, M. and Kikuchi, S. : Increasing the growth rate of abalone, *Haliotis discus hannai*, using selective techniques. NOAA Tech. Rep. NMFS, 106, 21-26. U. S. Dep. of Commerce(1992).
- 原 素之, 菊地省吾 : アワビ属における種間雑種の作出とその性状. *日水学会東北支部会報*, (42), 43-45(1992).
- Harada, K. and Kawasaki, O. : The attractive effect of seaweeds based on the behavioral responses of young herbivorous abalone *Haliotis discus*. *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.*, 49(10), 1547-1551(1982).
- Harada, K. and Hirano, M. : Statistical approach to finding probable feeding attractants for young herbivorous abalone *Haliotis discus*. *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.*, 49(10), 1479-1618(1983).
- Harada, K., Maruyama, S. and Nakano, K. : Feeding attractants in chemical constituents of brown alga for young abalone. *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.*, 50(9), 1541-1544(1984).
- Harada, K. and Akishima, Y. : Feeding attraction activities of proteins, amino acids, lipids and nitrogenous bases for abalone. *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.*, 51(12), 2051-2058 (1985).
- Harada, K. : Feeding attraction activities of nucleic acid-related compounds for abalone, oriental weatherfish and yellowtail. *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.*, 52(11), 1961-1968(1986).
- Harada, K. : Feeding attraction activities of L-dipeptides for abalone, oriental weatherfish and yellowtail. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 55(9), 1629-1634(1989).
- 原田勝彦 : 魚介類に対する生息環境に存在しない飼餌料の摂餌効果. *水産の研究*, 9(4), 50-53(1990).
- Harada, K. : Attraction activities of herbal crude drugs for abalone, oriental weatherfish, and yellowtail. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 57(11), 2083-2088(1991).
- Harada, K., Miyasaki, F. : Attraction activities of fruit flesh water extracts toward black abalone, *Haliotis discus*. *Suisanzoshoku*, 42(1), 171-177.
- 原田勝彦, 宮崎泰幸 : 糖質と有機酸. *水産学シリーズ101「魚介類の摂餌刺激物質」*(原田勝彦編), pp. 102-111. 東京 : 恒星社厚生閣, 127pp. (1994).
- 林崎孝志 : バイテク応用技術(15)エゾアワビ三倍体作出. *養殖*, 26(11), 4-87(1989).
- 本間仁一 : アワビ稚貝の珪藻による密度別飼育試験. *昭和50年度山形水試事業報告*, pp. 62-87(1977).
- Hunt, W. and Anderson, B : S. : Sublethal effects of zinc and municipal effluents on larvae of the red abalone *Haliotis rufescens*. *Mar. Biol.*, 101, 545-552(1989).
- 市川 衛 : 紫外線照射海水によるサザエの採卵と種苗生産. *栽培技研*, 12(2), 13-19(1983).
- 伊奈和夫 : テルベン. *水産学シリーズ101「魚介類の摂餌刺激物質」*(原田勝彦編), pp. 93-101. 東京 : 恒星社厚

- 生閣, 127pp. (1994).
- 稲葉義之, 堀内敏明: アワビ種苗生産. 昭和63年度静岡温水利用研七業務報告, pp. 44-51 (1989).
- 猪野 峻: 邦産アワビ属の増殖に関する生物学的研究. 東海水研研報, (5), 1-102 (1952).
- 猪野 峻: サザエ (*Turbo cornutus* Solander) の生態学的研究-I, 環境の相違による棘の消長. 日水誌, 19 (4), 410-414 (1953).
- 井上清和, 鬼頭 鈞, 浮 永久, 菊地省吾: 高温条件下におけるエゾアワビ, クロアワビ, 交雑アワビの成長と生残. 西海水研研報, (63), 73-78 (1986).
- 井上正明, 田内 大, 近山通正: アワビ属種苗の放流効果に及ぼす種の特異性. 水産増殖, 32 (4), 193-198 (1985).
- 井上正明: アワビの漁業管理. 国内における資源評価及び管理手段に関するレビュー, pp. 120-218. (社)日本水産資源保護協会, 東京 (1987).
- 井岡 勲: アワビ種苗に関する諸実験. 昭和48・49年度種苗生産技術開発研究報告 (アワビ), pp. 1-21. 山形水試 (1975).
- 井岡 勲: 固形飼料のアワビ稚貝に対する餌料効果と種苗生産への導入について. 種苗生産技術開発研究報告, 19 pp. 山形水試資料 No. 111 (1977).
- 庵谷 晃, 鈴木秀和: クロアワビ稚貝飼育波板上の珪藻の消長. 水産増殖, 35 (2), 91-98 (1987).
- 石田 修, 田中邦三, 江野口隆三, 庄司泰雄: アワビの蓄養に関する研究. 千葉水試研報, (33), 27-38 (1974).
- 石田 修, 坂本幸満, 高橋浩美: 紫外線照射によるクロアワビの放卵・放精の同調性について. 水産増殖, 39 (4), 375-379 (1991).
- 石田 修, 石川正裕: 配合飼料によるクロアワビ稚貝の飼育. 水産増殖, 40 (2), 167-172 (1992).
- 石田 修: クロアワビの成長に及ぼす飼育密度の影響. 水産増殖, 41 (4), 431-433 (1993).
- 石田 修, 坂本幸満, 高橋浩美: 紫外線照射海水浸漬と水温上昇によるサザエの放卵・放精の促進. 水産増殖, 41 (1), 45-48 (1993).
- 石田享一・野呂忠禔: 巡流水槽で生産されたエゾアワビ稚貝の特性. 平成5年度岩手南部栽漁セ事業報告書 (1993).
- 石井克也: アワビの形態について. 愛知栽漁セ業務報告, (10), 68-72 (1987)
- 石井克也: クロアワビ稚貝の飼育密度と成長. 愛知栽漁セ業務報告, (11), 66-71 (1988).
- 石井克也: クロアワビ種苗生産における注意点. 愛知栽漁セ資料, 10pp. (1989).
- 石川義美: アワビ種苗生産の手順. 新潟県栽漁セ業務, 研究報告書, (8), 97-124 (1985).
- 伊藤史郎, 小早川 淳, 谷 雄策: エゾアワビ浮遊幼生および付着初期稚貝の飼育適水温上限について. 水産増殖, 35 (3), 171-174 (1987).
- 伊東義信, 野田進治, 広瀬 茂: アワビ類 (エゾアワビ, クロアワビ) の種苗生産. 昭和55-58年度佐賀栽漁セ事業報告書, pp. 43-59 (1985).
- 伊東義信, 中尾義房: アカウニ稚ウニ期の餌料として有効な付着珪藻種の探索-I, 付着珪藻の分離および保存. 佐賀栽漁セ研報, (1), 25-29 (1987).
- 伊東義信, 伊藤史郎, 金丸彦一郎: アカウニ稚ウニ期の餌料として有効な付着珪藻種の探索-II, 分離培養した付着珪藻9種の増殖特性. 佐賀栽漁セ研報, (1), 31-34 (1987a).
- 伊東義信, 金丸彦一郎, 真崎邦彦, 伊藤史郎: アカウニ稚ウニ期の餌料として有効な付着珪藻種の探索-IV, 付着珪藻 *Navicula ramosissima* 単一種を用いたアカウニ幼生の採苗法の検討. 佐賀栽漁セ研報, (1), 39-43 (1987b).

- 岩田清二：軟体動物の卵成熟と減数分裂の誘起. 遺伝, 28(7), 10-16(1974).
- 香川 哲, 山賀賢一, 龍満直起：香川県下の養殖アワビに発生した殻溶解現象と飼育水の関係. 栽培技研, 20(1), 31-34(1991).
- 梶川 晃：バイ (*Babylonia japonica* Reeve) の増養殖に関する研究. 鳥取水試報告, (18), 1-84(1976)
- 梶川 晃：アワビ稚貝生産増のための飼育方法の1検討について. 鳥取栽漁試事業報告書, (3), 22-25(1985).
- 角田信孝, 渡邊 直, 由良野範義, 陣之内征龍：サザエの成熟, 産卵に関する研究. 山口外海水試研報, (21), 1-30(1986).
- 亀山 勝, 江川公明, 石戸谷博範：生簀飼育アワビの成長について. 神水試研報, (10), 39-43(1989).
- 金沢昭夫：ステロイドホルモン-性ホルモン, 副腎皮質ホルモンの生合成. 水産学シリーズ15「水産動物のホルモン」(日本水産学会編), pp. 124-140. 東京：恒星社厚生閣, 146pp. (1976).
- 金沢忠佳, 浜田文彦, 梶川 晃, 山本栄一：クロアワビ種苗生産事業. 昭和58年度鳥取栽漁試事業報告書, pp. 96-99(1984).
- 金沢忠佳, 浜田文彦, 山本栄一：アワビふ化浮上幼生のオーバーフロー方式による分離. 鳥取栽漁試事業報告書, (7), 26-28(1989).
- 河原栄二郎, 河原郁恵, 大森正明：エゾアワビベリジャー幼生のへい死原因について. 日水学会東北支部会報, (40), 51-52(1990).
- 河原郁恵, 山口浩史：エゾアワビ幼生管理技術の改良について. 昭和62年度岩手南部栽漁セ事業報告書, pp. 20-22(1987).
- 河原郁恵, 山口浩史：エゾアワビ幼生管理技術の改良について. 昭和63年度岩手南部栽漁セ事業報告書, pp. 16-19(1988).
- 河村知彦, 平野礼次郎：神奈川県油壺湾の付着珪藻. 東北水研研報, (51), 41-73(1989).
- 河村知彦：幼生の行動と付着(珪藻). 「海洋生物の付着機構」(梶原 武監修), pp. 11-25. 東京：恒星社厚生閣, 214pp. (1991).
- 河村知彦, 菊地省吾：エゾアワビ幼生の着底と変態に及ぼす付着珪藻の影響. 水産増殖, 40, 403-409(1992).
- 河村知彦：付着珪藻群落の遷移とアワビ幼生の関わり. 日水学会東北支部会報, (43), 7-9(1993).
- 河村知彦：海産付着珪藻の分類と生態. 付着生物研究, 10(82), 7-25(1994).
- 河西一彦, 有馬孝和, 斉藤 実：パラアミノ安息香酸エチルのアワビ類稚貝3種の剥離効果. 水産増殖, 35(1), 43-46(1987a).
- 河西一彦, 有馬孝和, 隆島史夫：2-フェノキシエタノールのアワビ類稚貝3種の剥離効果. 水産増殖, 35(1), 47-51(1987b).
- 川嶋尚正, 磯野剛男：クロアワビ稚貝の着底, 生残に及ぼす初期餌料の種類と光条件の影響. 静岡水試研報, (26), 43-50(1991).
- Kikuchi, S. : Study on the culture of abalone, *Haliotis discus hannai* Ino. in "Papers presented at the Peking Symp. Agricult. Sci. II, " pp. 861-878. Sci. Tech. Assoc. of People's Republic of China. Peking, China(1965).
- 菊地省吾, 浮 永久：アワビ属の採卵技術に関する研究 第1報 エゾアワビ *Haliotis discus hannai* Ino の性成熟と温度との関係. 東北水研研報, (33), 69-78(1974a).
- 菊地省吾, 浮 永久：アワビ属の採卵技術に関する研究 第2報 紫外線照射海水の産卵誘発効果. 東北水研研報, (33), 79-86(1974b).
- 菊地省吾, 浮 永久：アワビ属の採卵技術に関する研究 第3報 精虫濃度と受精率の関係. 東北水研研報, (34),

- 67-71(1974c).
- 菊地省吾, 浮 永久: アワビ属の採卵技術に関する研究 第4報 生殖素の受精能力の持続時間と温度との関係. 東北水研研報, (34), 73-75(1974d).
- 菊地省吾, 浮 永久: 巡流水槽の設計基準とアワビ稚貝の育成事例. 日水学会東北支部会報, (30), 10-11(1980).
- 菊地省吾: 濾過装置. 特許出願番号: 昭62-251101(1987).
- 菊地省吾, 浮 永久: 暖流系アワビ属の成熟制御技術の開発. 沿整事業に関する水研研究報告書(昭和61年度), pp. 139-152, 水産庁振興部開発課(1987).
- 菊地省吾, 松田利光, 中野哲也: アワビ稚貝育成における巡流式水槽の性能. 日水学会東北支部会報, (39), 56-57(1989a).
- 菊地省吾, 清水幸夫, 吉田 宏: 太陽熱利用アワビ採苗システムの一事例. 日水学会東北支部会報, (39), 58-59(1989b).
- 菊池泰二: 海産無脊椎動物の繁殖生態と生活史 I, 産卵様式と幼生の発生様式. 海洋と生物, 3(4), 242-246(1981a).
- 菊池泰二: 海産無脊椎動物の繁殖生態と生活史 II, 産卵様式と幼生の発生様式-2. 海洋と生物, 3(5), 560-365(1981b).
- 菊池泰二: 海産無脊椎動物の繁殖生態と生活史 III, 卵の大きさと胚発生日数, 栄養卵. 海洋と生物, 3(6), 402-407(1981c).
- 菊池泰二: 海産無脊椎動物の繁殖生態と生活史 XV, 繁殖努力(3). 海洋と生物, 7(6), 433-438(1985).
- 木ノ瀬紘一, 桜井喜十郎, 菊地省吾, 浮 永久: 噴流を利用した養殖用巡流水槽の流速. 農土試技報B(水理), (47), 35-44(1980).
- 木下静男: アワビ養殖に取り組んで. 水産技術と経営, 9月号, pp. 77-82(1988).
- Koike, Y., Flassch, J. P. and Mazurier, J.: Biological and ecological studies on the propagation of the ormer, *Haliotis tuberculata* Linnaeus. II. Influence of food and density on the growth of juveniles. La mer (Bull. Soc. franco-japonaise d' oceanogr. ), 17(1), 43-52(1979).
- 小池康之, 孫 振興, 隆島史夫: アワビ交雑稚貝の摂餌と成長について. 水産増殖, 36(3), 231-235(1988).
- 小倉正規: サザエの適期安定採卵技術の開発について. 平成4年度京都栽漁セ事業報告, 27-32(1993).
- 小島 博, 今島 実: 多毛類によるトコブシ殻穿孔-主に *Polydora* 属の種類について. 日水誌, 48, 31-35(1982).
- 小西光一, 浮 永久: アワビの標準飼育法について. 養殖研ニュース, (22), 6-12(1991).
- 小山和恭: 大成町におけるエゾアワビ人工採苗. エゾアワビの人工採苗(西川信良, 工藤敬吾編), pp. 3-69. 利尻礼文アワビ増殖研究協議会(1982).
- 久保弘文: タカセガイ, ヤコウガイ, チョウセンサザエ. 「サンゴ礁域の増養殖」(諸喜田茂充編), pp. 264-269. 東京: 緑書房, 341pp. (1988).
- 工藤真弘, 堤 清樹, 皆川 恵, 青木雄二, 坪川慎二: ギンタカハマ, *Tectus pyramis* の人工採卵と発生および成長. 水産増殖, 42(4), 571-575(1994).
- 工藤真弘, 荒井克俊, 木本 巧, 皆川 恵, 藤野和男: フクトコブシ人為三倍体の生残, 成長および成熟. 水産増殖, 42(4), 605-613(1994).
- 鐵 健司, 相良順一郎, 浜田サツ子, 田中弥太郎: 真鶴港内放流マダカの成長について. 東海水研研報, (77), 7-19(1974).
- Leighton, D. L.: Abalone (genus *Haliotis*) mariculture on the north American Pacific coast. Fish. Bull., 87(3), 689-702(1989).

- 前田昌調：海洋および種苗生産過程に出現する原生動物・繊毛虫類。栽培技研, 16(2), 155-178(1987).
- 前迫信彦, 中村伸司, 四井敏雄：数種の褐藻, 緑藻発芽体ならびに藍藻のクロアワビ稚貝に対する餌料効果。長崎水試研報, (10), 53-56(1984).
- 前迫信彦, 中村伸司, 藤井明彦, 四井敏雄：不稔性アナオサの陸上水槽での生産。長崎水試研報, (11), 21-23(1985).
- 前迫信彦, 四井敏雄, 藤井明彦：アワビ稚貝の越夏餌料について。長崎水試研報, (15), 17-20(1989).
- 真岡東雄, 中村 烈：アワビ稚貝用人工飼料の実用化に関する研究-I, 人工飼料の作成と稚貝の飼育。茨城水試研報, (21), 1-8(1977).
- 真崎邦彦, 伊東義信：サザエ稚貝に対する有効餌料について。佐賀栽漁セ研報, (1), 71-74(1987).
- 真崎邦彦, 野口弘三, 小澄千尋：サザエ稚貝の「殻再生能力」を利用した標識方法の検討。佐賀栽漁セ研報, (1), 75-81(1987).
- 松平 清, 川村 亨, 鈴木金一：エゾアワビ稚貝の飼育密度と成長の関係。昭和61, 62年度宮城栽セ事業報告, pp. 69-75(1988).
- 松井繁明：サザエ種苗生産に関する研究-採卵技術について-。福岡水試研報, (17), 39-44(1991).
- 松井繁明・伊藤輝昭：サザエ種苗生産に関する研究-II, -餌料環境と産卵について-。福岡水試研報, (18), 65-68(1992).
- Matsutani, T. and Nomura, T. : Induction of spawning by serotonin in the scallop, *Patinopecten yessoensis* (Jay). Mar. Biol. Lett., 3, 353-358(1982).
- Matsutani, T. and Nomura, T. : Pharmacological observations on the mechanism of spawning in the scallop *Patinopecten yessoensis*. Bull. Japan. Soc. Sci. Fish. 52(9), 1589-1594(1986).
- 松谷武成, 野村 正：貝類の生理活性物質。水産学シリーズ65「海産有用生理活性物質」(安元 健, 神谷久男編), pp. 111-124. 東京：恒星社厚生閣, 131pp. (1987).
- 松谷武成, 尾定 誠：生理活性物質。「カキ・ホタテガイ・アワビ-生産技術の関連研究領域」(野村 正監修), pp. 121-144. 東京：恒星社厚生閣, 267pp. (1994).
- 翠川忠康：サザエの成熟, 産卵に関する研究。和歌山水増試報告, (17), 57-63(1986).
- Miller, W., Nishioka, R. S. and Bern, H. A. : The "juxtanglionic" tissue and the brain of the abalone *Haliotis rufescens* Swainson. Veliger, 16(2), 125-131(1973).
- 門間春博：貝類種苗培養技術開発試験(エゾアワビ)。昭和56年度北海道栽漁総合セ事業報告書, pp. 1-3(1982).
- 門間春博：貝類種苗培養技術開発試験(エゾアワビ)。昭和62年度北海道栽漁総合セ事業報告書, pp. 37-41(1988).
- 門間春博：貝類種苗培養技術開発試験(エゾアワビ)。昭和63年度北海道栽漁総合セ事業報告書, pp. 27-29(1989).
- 森下 薫, 松谷武成, 森 勝義, 関 哲夫：エゾアワビ幼生の着底・変態誘起因子について。日水学会東北支部会報, 42, 40-42(1992).
- Morse, D. E., Duncan, H., Hooker, N. and Morse, A. : Hydrogen peroxide induces spawning in mollusks, with activation of prostaglandin endoperoxide synthetase. Science, 196, 298-300(1976).
- Morse, D. E., Hooker, N. Duncan, H., and Jensen, L. :  $\gamma$ -Aminobutyric acid, a neurotransmitter, induces planktonic abalone larvae to settle and begin metamorphosis. Science, 204, 407-410(1979).
- Morse, D. E., Tegner, M., Duncan, H., Hooker, N., Terevelyan, G. and Cameron, A. : Induction of settling and meta-

- morphosis of planktonic molluscan (*Haliotis*) larvae, III : Signaling by metabolites of intact algae is dependent on contact. in "Chemical Signaling in Vertebrate and Aquatic Animals" (eds. Muler-Schwarze, D. and Silverstein, R. M. ), pp. 67-86. Plenum, New York (1980).
- Morse, D. E. : Biological and genetic control fo critical physiological processes in molluscan lifecycle : Basic mechanisms, waterquality requirements and sensitivities to pollutants. Univ. Calif. Sea Grant Program Biennial Report 1978-1980, pp. 83-87 (1981).
- Morse, D. E. : Biochemical and genetic engineering for improved production of abalones and other valuable molluscs. *Aquaculture*, 39, 263-282 (1984).
- Morse, D. E. : Recent progress in larval settlement and metamorphosis, closing the gaps between molecular biology and ecology. *Bull. Mar. Sci.*, 46, 465-483 (1990).
- Morse, A. and Morse, D. E. : Recruitment and metamorphosis of *Haliotis* larvae are induced by molecules uniquely available at the surfaces of crustose red algae. *J. exp. mar. Biol. Ecol.*, 75, 191-215 (1984).
- Murakoshi, M., Komatsu, T and Nakamura, R. : Development of mass seed production techniques for green snail, *Turbo marmoratus* in Okinawa water. *Suisan Zoshoku*, 41 (3), 299-309 (1993).
- 中村 宏 : 貝類学への新しい道をさぐる. *自然科学と博物館*, 50 (1), 21-37 (1983).
- 中西 孝 : 貝類の心拍におよぼす環境の影響-II, エゾアワビの心拍数におよぼす水温, 低塩分および低酸素の影響. *北水研研報*, (43), 59-68 (1978).
- 中野 広 : 種苗の評価基準. 水産学シリーズ83「放流魚の健苗性と育成技術」(北島 力編), pp. 9-18. 東京 : 恒星社厚生閣, 119pp. (1993).
- 中津川俊雄 : 畑井喜司雄, 窪田三郎 : 筋萎縮を伴うアワビ稚貝の病理組織学的知見. *魚病研究*, 32, 203-204 (1988)
- 中津川俊雄 : 筋萎縮を伴うクロアワビ稚貝の疾病と伝染性. *魚病研究*, 25 (4), 207-211 (1990).
- 中津川俊雄 : クロアワビ「筋萎縮症」人為感染稚貝における病理組織像の経日的変化. *京都海セ研報*, (149), 44-48 (1991a).
- 中津川俊雄 : 筋萎縮症罹病クロアワビ稚貝の加温処理事例. *魚病研究*, 26 (9), 157-158 (1991b).
- 難波秀博 : エゾアワビに対する海藻中摂餌刺激物質の探索. 修士学位論文, 62pp. 東水大 (1989).
- 難波武雄 : アワビ稚貝用餌料としてのアナアオサの培養. *和歌山栽漁セ報告*, (1), 40-42 (1986).
- 名畑進一 : アワビモの培養技術. *育てる漁業*, (238), 2-11 (1993).
- Nimura, Y. and Yamakawa, H. : Oxygen uptake rate and heart rate of small abalone *Sulculus supertexta* as related to the ambient oxygen concentration. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 55 (10), 1869 (1989).
- 西浜雄二, 岩崎良教 : 付着珪藻の増殖に及ぼす栄養塩添加の影響-I. *北水試月報*, 31 (12), 1-15 (1974).
- 西浜雄二 : 付着珪藻の増殖に及ぼす栄養塩添加の影響-II. *北水試月報*, 32 (10), 22-29 (1975).
- 西浜雄二 : 盤状緑藻の培養試験. 昭和55年度北海道栽漁セ事業報告書, pp. 39-40 (1981).
- 西広富夫 : トリガイの人工採苗に関する研究-I, 産卵誘発と初期発生. *京都海セ研報*, (4), 13-17 (1980).
- 西広富夫 : イタヤガイ *Pecten (Notovola) albicans* (Schroter) の産卵誘発とふ化について. *京都海洋セ研報*, (5), 47-50 (1981).
- 西川信良 : 貝類種苗培養技術開発試験(エゾアワビ). 昭和51年度北海道栽漁総合セ事業報告書, pp. 1-9 (1976).
- 西川信良 : 貝類種苗培養技術開発試験(エゾアワビ). 昭和52年度北海道栽漁総合セ事業報告書, pp. 1-12 (1978).
- 西村守央, 徳沢秀渡, 馬場俊幸, 磯和 潔, 河村 剛 : 二つの機関で生産されたクロアワビ人工稚貝の水温上昇期における斃死状況の相違. *三重水技セ研報*, (5), 47-57 (1993).

- 西岡 純, 大橋 徹: 磯地先におけるサザエの餌料環境について. 京都海七研報, (1), 134-165(1977).
- 野田新治, 伊東義信, 有吉敏和: 陸上水槽におけるエゾアワビの生殖巣の成熟について. 佐賀栽漁セ研報, (1), 49-52(1987).
- 野村 正: 海洋生物の生理活性物質. 223pp. 東京: 南江堂(1978).
- 野村 正: プロスタグランジン一様特異性. 「ホルモンと適応」(小林英司, 和田 勝編), pp. 111-128. 学会出版センター, 東京(1981).
- 野中 忠, 柳瀬良介: アワビ種苗の生産過程についての検討-I 種苗生産成果の評価法. 栽培技研, 15(2), 123-128(1986).
- 野呂忠勝・山口浩史・支倉 理・河原郁恵・小松明德: アワビ配合飼料比較試験. 平成3年度岩手南部栽漁セ事業報告書, 22-24(1991).
- 能登谷正浩: 緑藻 *Ulva lens* Grouanfrat. アワビモ(新称)について. 青森水増セ研報, (2), 9-12(1983).
- 野内孝則・高木英夫・二平 章: 茨城県産アワビにおける穿孔性多毛類 *Polydora* 属の着生状況. 日水学会東北支部会報, (45), 33-34(1995).
- 小畑千賀志, 高橋寛爾: パラアミノ安息香酸エチルによるアワビ稚貝の麻酔剥離. 栽培技研, 10(1), 29-34(1981).
- 萩野珍吉, 太田顕亮: アワビの栄養に関する研究I 人工飼料によるクロの飼育. 日水誌, 29(7), 691-694(1963).
- 萩野珍吉, 加藤紀子: サザエにおける数種蛋白質および炭水化物の消化率に関する研究. 日水誌, 30(10), 843-846(1964).
- 岡部三雄: サザエの産卵誘発方法について. 京都海七研報, (6), 1-5(1982a).
- 岡部三雄: アワビ初期稚貝の珪藻摂餌量について(短報). 京都海七研報, (6), 53-54(1982b).
- 岡部三雄, 藤田真吾: 配合飼料によるサザエ稚貝の飼育について. 京都海七研報, (8), 31-34(1984).
- 岡部三雄, 小倉正規: サザエの種苗生産における稚貝の剥離方法—パラアミノ安息香酸エチルと水道水の利用—. 京都海七研報, (11), 9-16(1988).
- 岡部三雄, 桑原昭彦, 西村元延, 葭矢 護: 水産増養殖叢書40「サザエの増殖」, 東京: (社)日本水産資源保護協会, 91pp. (1989a).
- 岡部三雄, 赤岩健治・小倉正規・永浜雅和: サザエ稚貝の水槽飼育における餌料と飼育密度(短報). 京都海七研報, (12), 65-66(1989b).
- 岡部三雄・藤田真吾: サザエ種苗の大量生産技術について. 養殖, 9月号, 122-126(1985)
- Okumura, S., Sasaki, K., and Fujino, K.: Thermostability variations at multiple loci in the Pacific abalone. Bull. Japan. Soc. Sci. Fish, 47(12), 1627-1630(1981).
- Okumura, S.: A biopsy method for obtaining chromosome preparation from epipodial tentacle tissue of the Pacific abalone. Nippon Suisan Gakkaishi, 57(12)2337(1991).
- 奥野 勝, 隆島史夫, 山川 紘: トコブシの生殖巣成熟に関する組織学的研究. J. Tokyo Univ. Fish., 65(1), 9-13(1978).
- 奥崎文一, 工藤真弘, 堤 清樹, 大野 淳, 小笠原義光: 水温調節によるフトコブシの成熟促進. 水産増殖, 33(3), 166-171(1985).
- 大貝政治, 若野 真, 長井 敏: エゾアワビ幼生の着底と稚貝の成長におよぼす付着性微小藻類の影響. 水産増殖, 39(3), 263-266(1991).
- 大貝政治, 松井敏夫・高木博之: 付着珪藻 *Cocconeis* sp. の増殖に及ぼす環境諸要因の影響. 水産増殖, 40(2), 241-146(1992).

- 大橋智志：サザエの天然貝による採卵。長崎水試研報, (17), 39-42(1991).
- 大橋智志, 吉越一馬：給餌飼育中に発生したクロアワビ稚貝の大量斃死に関する病理学的研究(予報)。長崎水試研報, (18), 33-38(1992).
- 大橋智志, 前迫信彦, 四井敏雄：アワビ稚貝の海面飼育装置の改良。長崎水試研報, (18), 29-31(1992).
- 大橋智志：クロアワビ着生期幼稚体における卵黄の吸収。長崎水試研報, (19), 23-25(1993).
- 大島幸吉：鮑内臓中の酵素類。農化誌, 7, 328-331(1931).
- Owen, B., Mclean, J. H. and Meyer, R. J. : Hybridization in the Pacific abalones (*Haliotis*). Bull. Los Angeles Co. Mus. of Nat. Hist. Sci. Ser. 9, 1-37(1971).
- Peck, L. S., Culley, M. B. and Helm, M. M. : A laboratory energy budget for the ormer *Haliotis tuberculata* L. J. exp. mar. Biol. Ecol., 106, 103-123(1987).
- Purchon, R. D. : The biology of the mollusca. 559pp. Oxford : Pergamon Press Ltd. (1977).
- Rho, S. and Yoo, S. K. : Studies on the propagation of the abalones (Ⅲ), Utilization of terrestrial plants as food of young abalone, *Haliotis discus hannai* Ino. Bull. Fish. Res. Dev. Agency, 33, 173-183(1984).
- 斉藤捷一：緑藻 *Gonium multicocum* (Volvocaceae)の生育速度について。藻類, 22(1), 6-9(1974).
- 境 一郎：アワビ増養殖の現況と将来⑤台湾の陸上アワビ養殖。養殖, 3月号, pp. 78-80(1990a).
- 境 一郎：アワビ増養殖の現況と将来⑥沖合かご養殖技術開発の方向(I)。養殖, 4月号, pp. 77-79(1990b).
- 境 一郎：アワビ増養殖の現況と将来⑦沖合かご養殖技術開発の方向(II)。養殖, 5月号, pp. 86-88(1990c).
- 酒井幸一：人工餌料によるクロアワビ稚貝の飼育。石川増試調研業績, (12), 5-8(1974).
- Sakata, K., Itoh, T. and Ina, K. : A new bioassay method for phagostimulants for a young abalone, *Haliotis discus* Reeve. Agric. Biol. Chem., 48(2), 425-429(1984).
- 坂田完三：アワビなど藻食性巻貝の摂餌刺激物質としての複合脂質。化学と生物, 23(9), 557-559(1985).
- Sakata, K. and Ina, K. : Digalactosyldiacylglycerols and Phosphatidylcholines isolated from a brown alga as effective phagostimulants for a young abalone. Bull. Japan. Soc. Sci. Fish, 51(4), 659-665(1985).
- 坂田完三：貝類の摂餌行動と摂餌行動刺激物質。「新編 生物活性天然物質」(柴田承二ら編), pp. 138-144. 東京：医歯薬出版(1988).
- Sakata, K., Sakura, T. and Ina, K. : Algal phagostimulants for marine herbivorous gastropods. J. Chem. Ecol., 14(5), 1405-1416(1988a).
- Sakata, K., Sakura, T., Kamiya, Y. and Ina, K. : A simple feeding stimulant assay for marine herbivorous gastropods, the turban shell *Turbo cornutus* and the top shell *Omphalius pfeifferi*. Nippon Suisan Gakkaishi, 54(10), 1715-1718(1988b).
- Sakata, k. : Feeding attractants and stimulants for marine gastropods. Bioorg. Mar. Chem., 3, 115-129(1989).
- Sakata, K., Iwase, Y., Ina, K. and Fujita, D. : Halogenated terpenes isolated from the red alga *Plocamium letophyllum* as feeding inhibitors for marine herbivores. Nippon Suisan Gakkaishi, 57(4), 743-746(1990).
- Sakata, K., Iwase, Y., Kato, K., Ina, K. and Machiguchi, Y. : A simple feeding inhibitor assay for marine herbivorous gastropods and the sea urchin *Strongylocentrotus intermedius* and its application to unpalatable algal extracts. Nippon Suisan Gakkaishi, 57(2), 261-265(1991).
- 坂田完三：アワビ, ウニなどの藻食性海洋動物の摂餌行動の化学(1)藻類に含まれる摂餌刺激物質。水産の研究, 11(6), 56-62(1992).
- 坂田完三：アワビ, ウニなどの藻食性海洋動物の摂餌行動の化学(2)藻類に含まれる摂餌阻害物質。水産の研究,

- 12(1), 84-87(1993).
- 坂田完三：脂質。水産学会シリーズ101「魚介類の摂餌刺激物質」(原田勝彦編), pp. 84-92, 東京：恒星社厚生閣, 127pp. (1994).
- 佐野 孝, 馬庭玲子：エゾアワビに及ぼす環境条件について。東北水研研報, (21), 79-86(1962).
- Sasaki, K, Kanazawa, K. and Fujino, K. : Zymogram differences among five species of the abalones from the coasts of Japan. Bull. Japan. Soc. Sci. Fish., 46(9), 1169-1175(1980).
- 佐々木 良：宮城県北部海域におけるエゾアワビ浮遊幼生の加入初期過程。宮城水試研報, (9), 1-17(1994).
- 里 正徳, 永池健次郎, 久原俊之：アワビの中間育成について。栽培技研, 10(1), 35-41(1981).
- 佐藤 勉：アワビ配合飼料の特徴と使用方法。養殖(臨時増刊号), 1-6(1986).
- 佐藤恭成, 能登谷正浩：褐藻ツルアラメ *Ecklonia stolonifera* のサザエ, ウニおよびアワビに対する餌料価値。Nippon Suisan Gakkashi, 54(8), 1451(1988).
- 関 哲夫, 菅野 尚：エゾアワビの初期発生と水温による発生速度の制御。東北水研研報, (38), 143-153(1977).
- 関 哲夫：アワビ種苗生産の考え方。水産学シリーズ23「増殖技術の基礎と理論」(日本水産学会編), pp. 57-67. 東京：恒星社厚生閣, 116pp. (1978).
- 関 哲夫, 菅野 尚：エゾアワビ被面子幼生の着底と変態について。東北水研研報, (42), 31-39(1981a).
- 関 哲夫, 菅野 尚：アワビ足蹠粘液状物質によるエゾアワビ被面子幼生の着底誘起。東北水研研報, (43), 29-36(1981b).
- 関 哲夫：エゾアワビの発育過程と初期生活領域。日水学会東北支部会報, (43), 10-14(1993).
- 椎原 宏, 武田利秋：ヒオウギガイの種苗生産-II 1977年の量産試験ならびに紫外線照射海水による産卵誘発。大分水試調査研究年報, (10), 67-72(1978).
- 椎野季雄：水産無脊推動物学。東京：培風館, 345pp. (1969).
- 白石一成, 谷口和也, 蔵多一哉, 鈴木 稔：フクリンアミジ抽出物によるエゾアワビ稚貝の行動規制。東北水研研報, (52), 13-15(1990).
- 白石一成, 谷口和也, 蔵多一哉, 鈴木 稔：褐藻エゾヤハズのメタノール抽出物によるキタムラサキウニとエゾアワビに対する摂食阻害作用。日水誌, 57, 1945-1948(1991).
- 静岡水試伊豆分場：蓄養池の設計, 運営の基礎知識(4)。伊豆分場だより, (79), 2-3(1964).
- 杉田治男, 間瀬賢一, 岩田 大, 加藤周二, 杉浦千絵, 上田龍太郎, 出口吉昭：海産巻貝類の消化管内細菌群のビタミンB<sub>12</sub>産生能。水産増殖, 39(4), 363-369(1991).
- 水津洋志：クロアワビ種苗生産でのウイルス性疾病対策について。水産増殖, 40(4), 493-494(1992).
- 水津洋志, 国近政雄：アワビ種苗生産事業。山口外海水試事業報告, 65-84(1992).
- 水津敏博：江奈湾におけるアワビ養殖試験について。神奈川水試研報, (5), 45-49(1983).
- Suzuki, H., Ioriya, T., Seki, T. and Aruga, Y. : Changes to algal community on the plastic plates used for rearing the abalone *Haliotis discus hannai*. Nippon Suisan Gakkaishi, 53(12), 2163-2167(1987).
- 太刀山 透, 的場達人：サザエの親貝養成と幼生飼育。福岡水技研究報告, (2), 53-58(1994).
- 田島 迪生, 池森雅彦, 新崎盛敏：アワビに含まれる餌料藻起源の色素-I, 緑藻類を餌料としたアワビの貝殻に含まれる色素の分析。日水誌, 46(4), 445-450(1980a).
- 田島迪生, 池森雅彦, 新崎盛敏：アワビに含まれる餌料藻起源の色素-II アワビの各器官に含まれる色素の特性。日水誌, 46(5), 517-522(1980b).
- 高垣 守：私信。(1989).

- 高橋寛爾：緑藻類 *Ulvela lens* の生態に関する研究. 昭和59・60年度宮城栽セ事業報告, pp. 32-60(1986).
- 高橋寛爾, 小畑千賀志：エゾアワビ稚貝の呼水孔形成と殻長との関係. 昭和57・58年度宮城栽セ事業報告, pp. 32-33(1986).
- Takahashi, K. and Koganezawa, A. : Mass culture of *Ulvela lens* as a feed for abalone, *Haliotis discus hannai*. in- "New and Innovative Advances in Biology/Engineering with Potential for Use in Aquaculture" (ed. Sparks, A. K. ), pp. 29-36. NOAA Tech. Rep. NMFS 70, Natl. Mar. Fish. Serv., Seattle, USA (1988).
- 高橋克成, 松橋 聡：アワビ種苗の飼育管理におけるパソコン利用の一例について. 栽培技研, 18(2), 54-63 (1989).
- 高見秀輝・山川 紘・中野 広：絶食によるクロアワビ稚貝の生化学的性状変化. 日水学会東北支部会報, (43), 65-66(1993).
- 高野秀昭, 南雲 保：珪藻. 「赤潮生物研究指針」, pp. 102-120. 東京：(社)資源保護協会, 740pp. (1987).
- 隆島史夫, 奥野 勝, 西村和久, 野村 稔：フクトコブシの生殖巣成熟に関する組織学的研究. J. Tokyo Univ. Fish., 65(1), 1-8(1978).
- 武田直邦：軟体動物の内分泌機構. 「ホルモンと適応」(小林英司, 和田 勝編), pp. 149-172. 東京：学会出版センター(1981).
- 武田 栄：エゾアワビの養殖技術改良試験. 平成5年度北海道中央水試事業報告, 269-270(1993).
- 玉城英信, 勝俣亜生：種苗生産技術開発. 昭和63年度地域特産種増殖技術開発事業報告書(タカセガイ), pp. 7-31. 沖縄県(1989).
- 玉城英信・大城信弘・仲本光男：ヤコウガイ稚貝の餌料試験. 平成元年度沖縄水試事業報告書, 239-245(1991).
- Tamashiro, E., Fujita, Y. and Sakata, K. : Induction of larval metamorphosis of *Trochus niloticus* by  $\gamma$ -aminobutyric acid and a coralline red algal extract. Nippon Suisan Gakkaishi, 59(7), 1261(1993).
- 田中邦三, 石田 修, 田中種雄：千葉県南部沿岸のアワビ稚貝場の地形並びに流況. 日水誌, 52(9), 1515-1523 (1986a).
- 田中邦三, 田中種雄, 石田 修, 大場俊雄：千葉県南部沿岸のアワビ浮遊幼生並びに着底稚貝の分布. 日水誌, 52(9), 1525-1532(1986b).
- 田中信彦：付着珪藻の大量培養法とその利用. (社)日本水産資源保護協会月報, (279), 9-15(1987a).
- 田中信彦：天然餌料としての付着珪藻とその培養. 水産土木, 24(1), 37-41(1987b).
- 田中彌太郎：過酸化水素添加によるアワビの産卵誘発. 東海水研研報, (96), 93-101(1978).
- 谷口和也, 白石一成, 蔵多一哉, 鈴木 稔：褐藻フクリンアミジのメタノール抽出物に含まれるエゾアワビ被面子幼生の着底, 変態阻害物質とその作用. 日水誌, 55, 1133-1137(1989).
- 谷口和也, 蔵多一哉, 鈴木 稔：コンブ科褐藻数種のエゾアワビに対する摂食阻害活性. 日水誌, 58(3), 577-581(1992).
- 谷口和也, 蔵多一哉, 鈴木 稔：褐藻ツルアラメのポリフェノール化合物によるエゾアワビに対する摂食阻害作用. 日水誌, 57(11), 2065-2071(1991).
- 谷口和也, 秋元義正, 蔵多一哉, 鈴木 稔：褐藻アラメの植食動物に対する化学的防御機構. 日水誌, 58, 571-575(1992).
- 谷口和也, 山田潤一, 蔵多一哉, 鈴木 稔：褐藻シワヤハズのエゾアワビに対する摂食阻害物質. 日水誌, 59, 339-343(1993).
- 谷口順彦：遺伝学的諸問題. 「放流魚の健苗性と育成技術」(北島 力編), pp. 63-74. 東京：恒星社厚生閣, 110pp.

(1993).

谷口順彦・青木 宙：水族育種。水産学シリーズ100「現代の水産学」(日本水産学会出版委員会編), pp. 143-161.

東京：恒星社厚生閣, 407pp. (1994).

天神 愷：アワビ人工採苗研究-I アワビ採苗板に発生する橈脚類および繊毛虫類の駆除方法について。福島水試研報, (5), 85-88(1978).

天神 愷, 鈴木 信：アワビ浮遊幼生の流水飼育について。福島種苗研報, (1), 41-46(1984).

Thorson, G. : Reproduction and larval ecology of marine bottom invertebrates. Biol. Rev., 25, 1-45(1950).

鳥羽光晴：サザエ卵の受精条件。千葉水試研報, (42), 55-59(1984).

戸田省三：サザエ種苗生産試験。昭和61年度山形水試事業報告, pp. 107-116(1988).

東京都水試：フクトコブシ事業化試験(大島分場)。平成2年度東京都水試事業報告, pp. 32-34(1992).

富田恭司：礼文島産エゾアワビの卵巢の成熟。北水試報告, (7), 1-7(1967).

富田恭司：礼文島産エゾアワビの精巢の成熟。北水試報告, (9), 56-61(1968).

富田恭司：エゾアワビ稚貝の摂餌の選択性および消化に関する実験。北水試月報, 29(4), 17-23(1972).

Tompa, A. S., Verdonk. N.H. and van den Biggelaar. J. A. M. : Reproduction. in" The Mollusca , Vol. 7" (Ed. in chief Wilbur, K. M. ), 486pp. New York : Academic Press(1984).

鳥島嘉明, 福崎寿幸：蒲江産トコブシの産卵期について。大分水試調研報, (14), 74-86(1990).

遠山忠次, 佐藤秀一, 水口啓子, 金子信一：アワビ稚貝の成長生残におよぼす飼育密度の影響について。千葉水試研報, (34), 1-11(1975).

遠山忠次：サザエの種苗生産研究。Ocean Age, 2月号, pp. 59-66(1980).

土田健治, 大森正明, 五日市周三：アワビ中間育成技術の手引き。岩手栽漁セ資料No. 1, 14pp. (1981).

常木和日子, 小林英司：無脊椎動物の生殖とホルモン。「ホルモンと生殖I 性と生殖リズム」(日本比較内分泌学会編), pp. 203-236. 学会出版センター, 東京(1978).

Tuzet, O. : Recherches sur la spermatogenese des Prosobranches. Arch. Zool. Exp. Gen., 70, 970-973. (1930).

浮 永久, 菊地省吾：紫外線照射海水のホタテガイ *Patinopecten yessoensis* (Jay) に対する産卵誘発効果。東北水研研報, (34), 87-92(1974).

浮 永久, 菊地省吾：エゾアワビの酸素消費量と体重および温度との関係。東北水研研報, (35), 73-84(1975).

浮 永久, 菊地省吾：附着性微小藻類6種のエゾアワビ稚貝に対する餌料効果。東北水研研報, (40), 47-52(1979).

Uki, N. and kikuchi, S. : Influence of food levels on maturation and spawning of the abalone, *Haliotis discus hannai* related to effective accumulative temperature . Bull. Tohoku Reg. Fish. Res. Lab., (45), 45-53(1982).

浮 永久, 菊地省吾：アワビ属の採卵技術に関する研究 第8報 紫外線照射海水によるエゾアワビの放卵, 放精行動の発現状況の特徴。東北水研研報, (44), 83-90(1982).

浮 永久, 菊地省吾, 菅野 尚：アワビ。増殖場造成指針(増殖場造成指針作成委員会編), pp. 57-159. 東京：地球社, 252pp. (1982).

Uki, N. and kikuchi, S. : Regulation of maturation and spawning of an abalone, *Haliotis* (Gastropoda) by external environmental factors. Aquaculture, 39, 247-261(1984).

浮 永久：海外におけるアワビ漁業と研究の現状。(社)日本水産資源保護協会月報, 251, 5-16(1985).

浮 永久, 煙山 彰, 渡辺 武：アワビ用試験飼料の基本組成の検討。日水誌, 51(11), 1825-1833(1985a).

浮 永久, 煙山 彰, 渡辺 武：エゾアワビに対する数種飼料タンパク質の栄養価。日水誌, 51(11), 1835-1839

- (1985b).
- Uki, N., Sugiura, M. and Watanabe, T. : Dietary value of seaweeds occurring on the Pacific coast of Tohoku for growth of the abalone *Haliotis discus hannai*. Bull. Japan. Soc. Sci. Fish, 52(2), 257-266(1986).
- 浮 永久, 煙山 彰, 渡辺 武: アワビ飼料におけるタンパク質の至適含量. 日水誌, 52(6), 1005-1012(1986a).
- 浮 永久, 杉浦雅行, 渡辺 武: エゾアワビの必須脂肪酸要求. 日水誌, 52(6), 1013-1023(1986b).
- 浮 永久, 渡辺 武: アワビにおける飼料タンパク質の栄養価に及ぼす加熱処理の影響. 日水誌, 52(7), 1199-1204(1986).
- 浮 永久: アワビ類の種苗生産—その化学的側面—産卵誘発, 摂餌刺激・阻害などに関与する化学的因子とその利用. 化学と物理, 24(8), 495-497(1986).
- 浮 永久: アワビ類の増養殖に関する基礎的研究. 博士学位論文, 428pp. 東京大学(1987).
- 浮 永久: 腹足類の成熟, 発生, 成長とその制御. 「水族繁殖学」(隆島史夫, 羽生 功編), pp. 367-417. 東京: 緑書房, 439pp. (1989).
- 浮 永久: 種苗ベストガイド (アワビ). 「養殖」臨時増刊, pp. 174-182. 東京: 緑書房, 244pp. (1995).
- 宇野 寛: サザエの増殖に関する研究—特に生態と成長の周期性とに関して—. 東水大特別研究報告, 6(2), 1-76(1962).
- 和田清治: 軟体動物 I 双神経類, 腹足類, 堀足類, 斧足類. 「無脊椎動物発生学」(久米又三, 団勝麿編), pp. 345-375. 東京: 培風館(1957).
- 和田清治, 荒川好満: 軟体動物 11-A 無板類・多板類・腹足類・堀足類・二枚貝類. 「無脊椎動物の発生(上)」(団勝麿, 関口晃一, 安藤 裕, 渡辺 浩編), pp. 307-342. 東京: 培風館, 387pp. (1983).
- 渡辺良朗: 仔魚の消化吸收機構. 水産学シリーズ54「養魚飼料—基礎と応用」(米 康夫編), pp. 89-98. 東京: 恒星社厚生閣, 150pp. (1985).
- Wells, M. J. and Wells, J. : Hormonal control of sexual maturity in *Octopus*. J. Exp. Biol., 36, 1-33(1959).
- Wilbur, K. M. and Yonge, C. M. : Physiology of Mollusca, Vol. 1, 473pp. New York : Academic Press(1964).
- 八幡剛浩: 神経節懸濁液によるエゾアワビの放卵誘起. 日水誌, 39(11), 1117-1122(1973).
- 山田 正, 勢村 均: 鳥根県沿岸のサザエの成熟と産卵期. 栽培技研, 22(1), 5-12(1993)
- 山賀賢一: クロアワビの塩分濃度差による生長. 平成元年度香川水試事業報告, 45-47(1990).
- 山賀賢一: クロアワビの低塩分によるへい死試験. 平成2年度香川水試事業報告, 48-49(1992).
- 山本栄一, 梶川 晃, 増谷龍一郎: クロアワビ種苗生産における採苗方法および付着板材質の相違による生産量の相違について. 昭和57年度鳥取栽漁試事業報告書, pp. 23-25(1983).
- 山本栄一: サザエ種苗生産技術開発試験. 昭和58年度鳥取栽漁試事業報告書, pp. 21-30(1984).
- 山本栄一, 古田晋平, 金沢忠佳: 藻類種苗生産試験. 昭和58年度鳥取栽漁試事業報告書, pp. 44-46(1984).
- 山本栄一, 金沢忠佳, 浜田文彦: クロアワビ稚貝の採苗後の付着密度がその成長および生残に及ぼす影響. 鳥取栽漁試事業報告書, (3), 28-31(1985).
- 山本哲生, 山川 紘: サザエ *Turbo (Batillus) cornutus* の生殖巣成熟に関する研究. 日水誌, 51(3), 357-364(1985).
- 山廻邊昭文, 大滝勝久: 省力型水槽によるアワビ飼育実験. 平成4年度福島県種苗研事業報告, 51-52(1994).
- 山崎 誠: 飼育下におけるアワビ稚貝の摂餌量. 日水誌, (5), 865-867(1991).
- 柳橋茂昭, 高尾充英, 大岩和男: 愛知県栽培漁業センターにおけるアワビ種苗生産について. 愛知栽漁セクロアワビ種苗生産技術, pp. 2-44(1986).
- 柳橋茂昭: 波板飼育時の飼育管理について. 第17回アワビ種苗生産担当者会議資料(愛知栽漁セ), 4pp. (1990a).

- 柳橋茂昭：アワビ生簀飼育試験。愛知栽漁セ資料, 資料(1990b).
- 柳橋茂昭：アワビ種苗生産方法についての覚え書き。愛知栽漁セ資料, pp. 1-13(1991a).
- 柳橋茂昭：波板上のアワビ稚貝現存量と付着珪藻の生産量について。第18回アワビ種苗生産担当者会議資料, 5 pp., 愛知栽漁セ(1991b).
- 柳澤豊重, 大岩和男, 内藤浩孝, 青木良介：エチルアルコールによるクロアワビの麻酔剥離。第12回アワビ種苗生産担当者会議資料, 4pp. (1985).
- 柳澤豊重：注水、通気方法とアワビ飼育域の海水換水。愛知栽漁セ資料, 9 pp. (1986).
- 柳澤豊重, 内藤浩孝, 青木良介：クロアワビ種苗生産過程での問題とその対応。愛知栽培漁セクロアワビ種苗生産技術, pp. 45-105(1986).
- 柳瀬良介：アワビ幼生の付着について 2, 3. 伊豆分場だより, (206), 2-4(1982).
- 柳瀬良介, 小沢久好, 野中 忠：アワビ種苗の生産過程についての検討-II 剥離, 選別飼育の効果。静岡水試研報, (22), 71-79(1987).
- 柳瀬良介, 野中 忠：アワビ種苗の生産過程についての検討-II 採苗波板の継続使用による飼育。静岡水試研報, (25), 11-18(1990).
- Yool, A. J., Grau, S. M., Hadfield, M. G., Jensen, R. A., Markell, D. A. and Morse, D. E. : Excess potassium induces larval metamorphosis in four marine invertebrate species. Biol. Bull., 170, 255-266(1986).
- 吉田 裕：貝類種苗学, 21pp. 東京：北隆館, 221pp. (1964).
- 葭矢 護, 和田洋蔵, 桑原昭彦, 浜中雄一：放流サザエの成長と生残。日水誌, 52(1), 41-47(1986).
- 葭矢 護, 桑原昭彦：サザエの生態研究とその応用①—研究の現状。海洋と生物, 9(5), 368-371(1987).
- 葭矢 護, 桑原昭彦, 浜中雄一：サザエ稚貝の成長と生残に及ぼす生息環境条件の影響。日水誌, 53(2), 239-247(1987).
- 葭矢 護, 桑原昭彦：サザエの生態研究とその応用⑤—成熟と産卵。海洋と生物, 10(3), 214-217(1988).
- 四井敏雄：*Myrionema* sp. (褐藻, ナガマツモ目)の季節的消長ならびに種苗生産用餌料としての利用。水産増殖, 25(4). 117-120(1978a).
- 四井敏雄：アワビの初期餌料としての *Myrionema* sp. (褐藻, ナガマツモ目)。長崎水試研究報告, (4), 65-70(1978b).
- 四井敏雄, 前迫信彦, 中村伸司：アワビの漁場性に関する研究(クロアワビの初期餌料について)。昭和56～58年度指定調査研究総合助成事業報告書, 30pp. 長崎水試(1984).
- 四井敏雄, 右田清治：緑藻ミルの再生髄糸による養殖。日水誌, 55(1), 41-44(1989).

# 索引

目次の項目は除外した。ページ数は主に記述されている個所を示す。

## <あ行>

アイソザイム 17  
アワビモの生活史 44  
アングル 117  
ウルベラ 12, 42, 100, 112, 115  
親アワビの摂餌量 126  
親貝入手 94  
温水剥離 123  
温度差 95, 99, 114

## <か行>

貝殻による成長の簡易モニター 149  
海水交換 151  
海水処理 95  
海水の栄養塩含量 50  
海水の溶存酸素 77  
海藻の餌料価値 53  
海藻類の化学組成 55  
海底濾過取水装置 80  
殻長組成 120, 122  
殻長と足蹠面積 148  
掛け流し水槽 94  
過酸化水素水法 127  
完熟期 26  
換水率 125  
眼腺 8  
観測項目 97  
眼点 14, 15  
奇形 102  
GABA 12  
Q<sub>10</sub> 値 67  
給餌の間隔 117, 123  
給餌量 109, 117

給水のエネルギー 111  
給水量 76, 103, 104, 108, 117  
極体 10, 13  
近交弱勢現象 17  
近親交配 17  
珪藻現存量と増殖速度 140  
珪藻散布の方法 141, 142  
珪藻増殖の制御方法 140  
珪藻付け 131  
珪藻の枯死 139  
珪藻の自然剥離 139  
珪藻の生産量 103  
珪藻の増殖条件 137  
珪藻の増殖速度 132, 137, 138  
珪藻の増殖抑制 102  
珪藻の大量培養法 143  
珪藻の流水培養装置 91, 106  
健苗性 17  
原口陥 14  
減数分裂 10  
光周期 28, 96  
口前繊毛環 14  
呼水孔列の形成 17, 40, 102, 114  
個数秤り 110  
コペポーダ 112, 115  
梱包 111

## <さ行>

採苗開始のタイミング 130  
採苗直前の採苗板の調整 132  
採苗板 125  
採苗板上の珪藻生産量 139  
採苗板への珪藻付け 131, 132  
採苗密度 50, 100, 101, 112

サイフォンブレーカー	114, 117	上足触角	14, 15
殺菌効果	97	餌料海藻	96, 124
雑藻刈り	114	餌料環境	104
3倍体	18	餌料転換効率	109, 135, 145
産卵盛期	7	人工光周期	94
産卵誘発	28, 97	水温	138
飼育域	150	水温差	114
飼育カゴ	107	水中ポンプ	113, 118
紫外線照射海水法	9, 29, 97	水流推進力	113, 121
視触角	8	ストック水槽	110
歯舌	11	棲み場	122
遮光幕	103, 112	精原細胞	4
周口殻	16	精細胞	4
収容基準	95, 147	生産コスト	124
収容限界	95, 136	生残率	24, 101, 103, 106, 108, 118
収容卵数	99	精子懸濁海水	98
出荷	109	精子濃度	31, 98
出荷までの飼育	110	生殖巣指数	25, 98
出荷率	121	生殖巣肥大速度	25
種苗性	22	生殖輸管	2
種苗生産指数	22	成熟期	26
種苗生産の計画	108	成熟に関する生物学的零度	95
種苗の質	126	成熟分裂	10
消化吸収率	21	成熟有効積算温度	25, 95
照度, 注水率, 水温の調節	138, 141	成長式	18, 70
省力化	99	成長速度	69, 107
初期発生	13	成長停止下限水温	70, 135
親魚数	18	成長量の評価	116
神経交叉	11	生物の多様性に関する条約	18
神経節	8, 9	摂餌率	96, 125
神経伝達物質	12	摂餌量の変化	96, 145
心拍数	68	背脳体	8
受精	10, 30	施肥	51, 104, 113
受精卵	97	施肥用原料	51
受精卵の収容方法	129	セロトニン	9
受精率	98, 99	染色体数	17
純成長効率	21	先体反応	10
巡流水槽の構造	86	選別	78, 144, 145
巡流水槽のシェルター	122	選別機	91

選別方法 104, 109, 118  
織毛葉 17  
洗卵 32, 99, 129  
相対成長 19  
足蹠面積比 134  
足蹠分泌粘液物質 12, 42, 100  
粗成長効率 21  
増重率 108

<た行>

体軸の振れ 12, 15  
台風シーズン 108  
炭酸ガス 113  
第1上足触角の形成 33  
稚貝収容限界 95, 111  
稚貝数調整水槽 115, 118  
稚貝生息量の限界 136  
稚貝の殻長と珪藻摂餌量 133  
稚貝の収容密度と成長 147  
稚貝の成長と水温 135  
稚貝の摂餌量 72, 89, 133  
稚貝の脱落 114  
稚貝の排泄物量 149  
着底 15  
昼間照度と珪藻 138  
注水方法と海水交換 150, 151  
注水率 125, 138  
注水率と稚貝の成長 149  
注水・通気方法 103, 113, 151  
調温 81, 95  
定位 16  
底生期幼稚体 39  
DGDG 57  
投資効率 124  
投餌板 117  
頭足部90°の振れ 33  
頭部触角 16  
動力光熱費 124  
トロコフォラ 11, 13

<な行>

なめ板 43  
2次餌料 100  
2次藻類 42  
日間成長率 109, 125  
日間成長量 101, 109, 125  
粘液腺 16

<は行>

配偶子形成 6  
配合飼料 63, 107, 109, 115, 117, 124, 146  
排泄物の自然流去 111  
媒精量 98  
培養ウルベラ板 101  
バクテリア 99  
剥離 78, 104, 118, 144  
剥離時の選別 118, 144  
剥離直後の餌料 145  
発生速度の制御 99  
発生段階 23  
発生段階と処理 38  
発生に関する生物学的零度 33  
発生有効積算温度 33, 99  
パラアミノ安息香酸エチル 104, 118  
反転 104, 114  
Bertalanffyの成長式 18  
盤状体 44  
肥満度 120, 123  
標識 94  
ビニールシート 113  
平板 111  
孵化 33  
孵化率 36  
浮上幼生 99  
付着珪藻の大きさと湿重量 135  
付着珪藻の遷移 40, 41, 48  
付着個数 106  
付着板 125

付着力 141  
浮遊幼生の飼育 129  
篩 104, 110  
吻 38, 39  
分散 104, 114  
分散経歴 115  
分散水槽 115  
プロスタグランディン 9  
平衡胞 14, 15  
変態 15  
ヴェリジャー 11, 14, 15  
保温 112  
保形性 109  
匍匐被面子幼生 15  
ホルダー 100  
防雨 113  
傍神経節器官 8

<ま行>

麻醉剤 104, 118, 144  
未熟期 26  
面盤 16, 39, 102

<や行>

有効親数 18, 126, 128  
誘発刺激後の親貝の管理 128  
油球 4  
輸精管 2  
輸送 78, 111  
輸卵管 2  
幼殻 15, 99  
幼生牽引筋 33  
幼生の計数 102  
幼生の形態変化と時間, 水温 33  
幼生の生残率 36, 37  
幼生の着底密度 131  
幼生の取り扱い 100  
幼生の付着確認 131  
幼生の付着数 132

幼生の流水飼育方法 83, 99  
溶存酸素飽和率 77

<ら行>

卵黄 4, 5  
卵殻 5  
卵核胞 10  
卵割 10  
卵原細胞 4  
卵数 99  
卵囊 5  
卵母細胞 4  
流水洗卵 99  
流速 88, 121  
ルゴールエオシン液 98, 102

付表1. エゾアワビの酸素消費量

(mlO<sub>2</sub>/kg·h)

殻長 (mm)	体重 (g)	水 温 (℃)																
		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
2	1.12×10 <sup>-3</sup>	139	153	168	184	201	221	242	265	291	319	350	383	420	461	505	554	607
3	3.78×10 <sup>-3</sup>	110	120	132	145	158	174	190	209	229	251	275	302	331	363	397	436	478
4	8.96×10 <sup>-3</sup>	92.5	101	111	122	134	146	161	176	193	212	232	254	279	306	335	367	403
5	17.5×10 <sup>-3</sup>	81.0	88.8	97.4	107	117	128	141	154	169	185	203	223	244	268	294	322	353
6	30.2×10 <sup>-3</sup>	72.7	79.7	87.4	95.8	105	115	126	138	152	166	182	200	219	240	263	289	317
7	48.0×10 <sup>-3</sup>	66.4	72.8	79.8	87.5	95.9	105	115	126	139	152	166	182	200	219	240	264	289
8	71.7×10 <sup>-3</sup>	61.3	67.2	73.7	80.8	88.6	97.1	106	117	128	140	154	169	185	203	222	244	267
9	0.102	57.2	62.7	68.7	75.4	82.6	90.6	99.3	109	119	131	143	157	172	189	207	227	249
10	0.140	53.7	58.9	64.6	70.8	77.6	85.1	93.3	102	112	123	135	148	162	178	195	213	234
11	0.186	50.8	55.7	61.1	66.9	73.4	80.4	88.2	96.7	106	116	127	140	153	168	184	202	221
12	0.242	48.2	52.9	58.0	63.6	69.7	76.4	83.8	91.8	101	110	121	133	145	159	175	192	210
13	0.308	46.0	50.4	55.3	60.6	66.5	72.9	79.9	87.6	96.0	105	115	126	139	152	167	183	200
14	0.384	44.0	48.3	52.9	58.0	63.6	69.7	76.4	83.8	91.9	101	110	121	133	146	159	175	192
15	0.473	42.3	46.3	50.8	55.7	61.1	66.9	73.4	80.4	88.2	96.7	106	116	127	140	153	168	184
16	0.573	40.7	44.6	48.9	53.6	58.8	64.4	70.6	77.4	84.9	93.1	102	112	123	134	147	162	177
17	0.688	39.2	43.0	47.2	51.7	56.7	62.1	68.1	74.7	81.9	89.8	98.4	108	118	130	142	156	171
18	0.816	37.9	41.6	45.6	50.0	54.8	60.1	65.9	72.2	79.2	86.8	95.2	104	114	125	137	151	165
19	0.960	36.7	40.3	44.2	48.4	53.1	58.2	63.8	69.9	76.7	84.1	92.2	101	111	121	133	146	160
20	1.12	35.6	39.1	42.8	47.0	51.5	56.4	61.9	67.8	74.4	81.5	89.4	98.0	107	118	129	142	155
22.5	1.59	33.2	36.4	40.0	43.8	48.0	52.6	57.7	63.3	69.4	76.0	83.4	91.4	100	116	120	123	145
25	2.19	31.2	34.2	37.5	41.2	45.1	49.4	54.2	59.4	65.2	71.4	78.3	85.9	94.1	103	113	124	136
27.5	2.91	29.5	32.4	35.5	38.9	42.6	46.7	51.2	56.2	61.6	67.5	74.0	81.2	89.0	97.5	107	117	129
30	3.78	28.0	30.7	33.7	36.9	40.5	44.4	48.7	53.4	58.5	64.1	70.4	77.1	84.6	92.6	102	111	122
32.5	4.81	26.7	29.3	32.1	35.2	38.6	42.3	46.4	50.9	55.8	61.2	67.0	73.5	80.6	88.3	96.8	106	116
35	6.00	25.6	28.0	30.8	33.7	37.0	40.5	44.4	48.7	53.4	58.5	64.2	70.3	77.1	84.5	92.7	102	111
37.5	7.38	24.6	26.9	29.5	32.4	35.5	38.9	42.6	46.7	51.3	56.2	61.6	67.5	74.1	81.2	89.0	97.6	107
40	8.96	23.6	25.9	28.4	31.2	34.1	37.4	41.1	45.0	49.3	54.1	59.3	65.0	71.3	78.1	85.7	93.9	103
42.5	10.7	22.8	25.0	27.4	30.1	32.9	36.1	39.6	43.4	47.6	52.2	57.2	62.7	68.8	75.4	82.6	90.6	99.3
45	12.8	22.0	24.2	26.5	29.1	31.8	34.9	38.3	42.0	46.0	50.4	55.3	60.6	66.4	72.9	79.8	87.6	96.0
47.5	15.0	21.3	23.4	25.7	28.1	30.8	33.8	37.1	40.6	44.6	48.8	53.5	58.7	64.4	70.5	77.3	84.8	93.0
50	17.5	20.7	22.7	24.9	27.3	29.9	32.8	35.9	39.4	43.2	47.4	51.9	57.0	62.4	68.4	75.0	82.3	90.2
60	30.2	18.6	20.4	22.3	24.5	26.9	29.4	32.3	35.4	38.8	42.5	46.6	51.1	56.1	61.4	67.3	73.8	80.9
70	48.0	17.0	18.6	20.4	22.4	24.5	26.9	29.5	32.3	35.4	38.8	42.6	46.7	51.2	56.1	61.5	67.4	73.9
80	71.7	15.7	17.2	18.8	20.7	22.6	24.8	27.2	29.8	32.7	35.9	39.3	43.1	47.3	51.8	56.8	62.3	68.3
90	102	14.6	16.0	17.6	19.3	21.1	23.1	25.4	27.8	30.5	33.4	36.7	40.2	44.1	48.3	53.0	58.1	63.7
100	140	13.7	15.1	16.5	18.1	19.8	21.8	23.9	26.1	28.7	31.4	34.5	37.8	41.4	45.4	49.8	54.6	59.8
110	186	13.0	14.2	15.6	17.1	18.8	20.6	22.5	24.7	27.1	29.7	32.6	35.7	39.1	42.9	47.0	51.6	56.5
120	242	12.3	13.5	14.8	16.2	17.8	19.5	21.4	23.5	25.7	28.2	30.9	33.9	37.2	40.7	44.7	49.0	53.7

22℃以上では22℃の値を用いる。

付表2-1. エゾアワビの基準給水量

(ℓ/kg・h) (DO 80%)

殻長 (mm)	体重 (g)	水 温 (℃)											
		6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
2	1.12×10 <sup>-3</sup>	99.1	125	156	195	244	304	378	469	584	603	624	647
4	8.96×10 <sup>-3</sup>	66.0	82.7	104	130	162	201	251	311	388	401	415	430
6	30.2×10 <sup>-3</sup>	51.9	65.1	81.5	102	127	158	197	244	305	315	326	338
8	71.7×10 <sup>-3</sup>	43.7	54.9	68.8	85.6	107	134	166	206	257	265	275	285
10	0.140	38.3	48.1	60.2	75.4	93.8	117	146	181	225	233	241	249
12	0.242	34.4	43.2	54.1	67.7	84.6	105	130	163	202	209	216	224
14	0.384	31.4	39.4	49.4	61.7	77.0	95.5	120	148	185	191	198	205
16	0.573	29.0	36.4	45.7	57.0	71.1	88.5	111	137	170	176	182	189
18	0.816	27.0	34.0	42.5	53.2	66.3	82.6	103	127	159	164	170	176
20	1.12	25.4	31.9	40.0	50.0	62.3	77.6	96.2	120	149	154	159	165
25	2.19	22.3	27.9	35.0	43.8	54.6	68.0	84.6	105	131	135	140	145
30	3.78	20.0	25.1	31.4	39.3	49.0	61.1	76.1	94.8	117	121	126	130
35	6.00	18.3	23.0	28.7	35.9	44.7	55.7	69.3	86.2	107	110	114	118
40	8.96	16.8	21.2	26.5	33.2	41.3	51.5	64.1	79.6	99.0	102	106	110
45	12.8	15.7	19.7	24.7	30.9	38.5	48.0	59.7	74.2	92.3	95.4	98.8	102
50	17.5	14.8	18.6	23.2	29.0	36.2	45.1	56.1	69.7	86.7	89.7	92.8	96.2
70	48.0	12.1	15.2	19.0	23.8	29.6	37.0	46.0	57.2	71.1	73.5	76.0	78.8
90	102	10.4	13.1	16.4	20.5	25.5	31.9	39.7	49.3	61.3	63.3	65.5	67.9

付表2-2. エゾアワビの基準給水量

(ℓ/kg・h) (DO 70%)

殻長 (mm)	体重 (g)	水 温 (℃)											
		6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
2	1.12×10 <sup>-3</sup>	66.1	83.5	104	130	162	203	252	313	389	402	416	431
4	8.96×10 <sup>-3</sup>	44.0	55.1	69.4	86.7	108	134	167	208	258	267	276	286
6	30.2×10 <sup>-3</sup>	34.6	43.4	54.3	67.9	84.9	105	131	163	203	210	217	225
8	71.7×10 <sup>-3</sup>	29.1	36.6	45.9	57.1	71.5	89.1	111	138	171	177	183	190
10	0.140	25.5	32.1	40.2	50.2	62.5	78.1	97.1	121	150	155	160	166
12	0.242	22.9	28.8	36.1	45.1	56.4	70.0	86.9	108	135	139	144	149
14	0.384	20.9	26.3	32.9	41.1	51.3	63.7	79.7	98.5	123	127	132	136
16	0.573	19.4	24.3	30.4	38.0	47.4	59.0	73.4	91.1	113	117	121	126
18	0.816	18.2	22.7	28.4	35.5	44.2	55.1	68.3	84.9	106	109	113	117
20	1.12	16.9	21.3	26.7	33.3	41.5	51.7	64.1	79.9	99.4	103	106	110
25	2.19	14.8	18.6	23.3	29.2	36.4	45.3	56.4	70.0	87.2	90.1	93.3	96.7
30	3.78	13.3	16.7	21.0	26.2	32.7	40.7	50.7	63.2	78.2	80.8	83.7	86.7
35	6.00	12.2	15.3	19.2	23.9	29.8	37.2	46.2	57.4	71.1	73.6	76.1	78.9
40	8.96	11.2	14.1	17.7	22.1	27.5	34.3	42.7	53.1	66.0	68.3	70.6	73.2
45	12.8	10.5	13.2	16.5	20.6	25.7	32.0	39.8	49.4	61.5	63.6	65.8	68.2
50	17.5	9.84	12.4	15.5	19.3	24.1	30.0	37.4	46.5	57.8	59.8	61.9	64.1
70	48.0	8.08	10.1	12.7	15.9	19.8	24.7	30.7	38.1	47.4	49.0	50.7	52.5
90	102	6.94	8.74	10.9	13.7	17.0	21.2	26.4	32.8	40.8	42.2	43.7	45.3

付表2-3. エゾアワビの基準給水量

(ℓ/kg・h) (DO 60%)

殻長 (mm)	体重 (g)	水 温 (℃)											
		6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
2	1.12×10 <sup>-3</sup>	49.6	62.6	78.0	97.7	122	152	189	235	292	302	312	324
4	8.96×10 <sup>-3</sup>	33.0	41.4	52.0	65.0	80.8	101	125	156	194	200	207	215
6	30.2×10 <sup>-3</sup>	25.9	32.6	40.8	50.9	63.7	79.0	98.5	122	152	158	163	169
8	71.7×10 <sup>-3</sup>	21.9	27.5	34.4	42.8	53.6	66.8	83.2	103	128	133	137	142
10	0.140	19.2	24.1	30.1	37.7	46.9	58.6	72.8	90.6	113	116	120	125
12	0.242	17.2	21.6	27.1	33.8	42.3	52.5	65.2	81.3	101	104	108	112
14	0.384	15.7	19.7	24.7	30.9	38.5	47.7	59.8	73.9	92.3	95.4	98.8	102
16	0.573	14.5	18.2	22.8	28.5	35.6	44.3	55.3	68.3	85.1	88.0	91.0	94.3
18	0.816	13.5	17.0	21.3	26.6	33.2	41.3	51.3	63.7	79.3	82.0	84.9	88.0
20	1.12	12.7	15.9	20.0	25.0	31.2	38.8	48.1	59.9	74.5	77.0	79.7	82.6
25	2.19	11.1	14.0	17.5	21.9	27.3	34.0	42.3	52.5	65.4	67.6	70.0	72.5
30	3.78	9.99	12.6	15.7	19.7	24.5	30.6	38.0	47.4	58.7	60.6	62.8	65.0
35	6.00	9.13	11.5	14.4	17.9	22.4	27.9	34.7	43.1	53.4	55.2	57.1	59.2
40	8.96	8.42	10.6	13.2	16.6	20.6	25.7	32.1	39.8	49.5	51.2	53.0	54.9
45	12.8	7.85	9.87	12.3	15.5	19.3	24.0	29.9	37.1	46.2	47.7	49.4	51.2
50	17.5	7.38	9.28	11.6	14.5	18.1	22.5	28.1	34.9	43.4	44.8	46.4	48.1
70	48.0	6.06	7.60	9.51	11.9	14.8	18.5	23.0	28.6	35.5	36.7	38.0	39.4
90	102	5.21	6.56	8.19	10.3	12.8	15.9	19.8	24.6	30.6	31.7	32.8	34.0

付表2-4. エゾアワビの基準給水量

(ℓ/kg・h) (DO 50%)

殻長 (mm)	体重 (g)	水 温 (℃)											
		6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
2	1.12×10 <sup>-3</sup>	39.7	50.1	62.4	78.2	97.5	122	151	188	233	241	250	259
4	8.96×10 <sup>-3</sup>	26.4	33.1	41.6	52.0	64.7	80.6	100	125	155	160	166	172
6	30.2×10 <sup>-3</sup>	20.7	26.1	32.6	40.7	50.9	63.2	78.8	97.8	122	126	130	135
8	71.7×10 <sup>-3</sup>	17.5	22.0	27.5	34.2	42.9	53.5	66.5	82.5	103	106	110	114
10	0.140	15.3	19.3	24.1	30.1	37.5	46.9	58.3	72.5	90.0	93.0	96.3	99.8
12	0.242	13.8	17.3	21.6	27.1	33.8	42.0	52.2	65.1	80.8	83.5	86.4	89.6
14	0.384	12.6	15.8	19.8	24.7	30.8	38.2	47.8	59.1	73.8	76.3	79.0	81.9
16	0.573	11.6	14.6	18.3	22.8	28.4	35.4	44.2	54.6	68.1	70.4	72.8	75.5
18	0.816	10.8	13.6	17.0	21.3	26.5	33.1	41.0	50.9	63.5	65.6	67.9	70.4
20	1.12	10.2	12.8	16.0	20.0	24.9	31.0	38.5	48.0	59.6	61.5	63.8	66.1
25	2.19	8.90	11.2	14.0	17.5	21.8	27.2	33.8	42.0	52.3	54.1	56.0	58.0
30	3.78	7.99	10.0	12.6	15.7	19.6	24.4	30.4	37.9	46.9	48.5	50.2	52.0
35	6.00	7.30	9.18	11.5	14.3	17.9	22.3	27.7	34.5	42.7	44.1	45.7	47.3
40	8.96	6.73	8.46	10.6	13.3	16.5	20.6	25.6	31.9	39.6	41.0	42.4	43.9
45	12.8	6.28	7.90	9.88	12.4	15.4	19.2	23.9	29.7	36.9	38.2	39.5	40.9
50	17.5	5.91	7.42	9.29	11.6	14.5	18.0	22.4	27.9	34.7	35.9	37.1	38.5
70	48.0	4.85	6.08	7.61	9.53	11.9	14.8	18.4	22.9	28.4	29.4	30.4	31.5
90	102	4.17	5.25	6.55	8.21	10.2	12.7	15.9	19.7	24.5	25.3	26.2	27.2

栽培漁業技術シリーズ No. 2  
アワビ類の種苗生産技術

平成7年3月24日発行

編 著 浮 永久，大森正明，河原郁恵  
石田亨一，柳澤豊重

発 行 社団法人 日本栽培漁業協会  
〒116 東京都荒川区荒川2-1-5  
セントラル荒川ビル6階  
電話 (03) 3802-6061

印刷所 日昇印刷株式会社  
〒116 東京都中央区湊1-14-14  
電話 (03) 3553-3161