

## 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

真岡東雄・中村烈\*

アワビの種苗生産は昭和41年頃から本格的にはじまり、最近では一事業所当り10~100万個台の放流用種苗が生産され、その放流効果も徐々にあがってきている。また、現在、各地で設立または設立を予定している県営の栽培漁業センターではその殆んどがアワビを対象種の1つにとりあげて増殖しようと計画している。その計画種苗生産数は一事業所当り100万~1,000万個台である。

アワビ稚貝の飼料としては、現在、天然又は養殖したアオノリ、アオサ、アラメ、カジメ、コンブ、ワカメ等の海藻を採取してきて使用している。今後、現在より以上の量産をするには、当然、適切な飼料が安定的にまとまって確保されねばならない。飼料海藻の採取または養殖する労力は現在でも大きいばかりでなく、海藻が全く枯渇する時期や飼料の確保が難しい場所も多いので、本研究は実用的な人工飼料を開発する目的で着手した。アワビの人工飼料については荻野ら<sup>1)</sup>や相良ら<sup>2)</sup>の報告があり、いずれも海藻と比較して成績がよいとしている。これら報告中の供試飼料はすべてアルギン酸カルシウムのゲル中に栄養物質を包蔵したもので、アルギン酸ソーダを物性面と嗜好性面において必須のものとしている。しかしながらアルギン酸ソーダは原料としては高価であり、かつ、調餌が著るしく煩雑なため、実用飼料としては不適當であると判断した。そこで著者らは飼料の物性面と嗜好性面の検討を行ない、ある程度実用に耐え得る飼料を作り、稚貝の飼育を行なった。その結果、アルギン酸ソーダを全く使わない、大量生産の可能な、しかも従来海藻より成

長のよい飼料が出来たのでここに報告する。

### I 稚貝の飼料原料に対する嗜好性

#### 1 材料および方法

試験に供した稚貝は人工採苗して飼育していた殻長2.0~2.1cmのものである。20ℓ容スチロール水槽にそれぞれ20個の稚貝を収容し、濾過海水で流水にし、通気を行ないつつ飼育し、試験前3日間は絶食させた。供試原料は図-1および2に示した11種類である。

まず、各種原料から海水中に溶出するであろう化学物質に対する稚貝の反応をみるために、原料10grを海水100ccに混入、攪拌し、その濾液を絶食させた稚貝を収容している水槽に注入し、上足の前面部を基盤から離れたアワビをそれぞれの原料に反応したものとみなし、その反応個数を計数した。

次に同じ原料75%とα化澱粉25%を練り合わせ、円盤状に成型したものを供試飼料とし、投餌後の摂餌個体数を計数した。また、対象として無投餌区を設け、行動している個体数を計数した。実験は通常アワビが摂餌行動をはじめる夕刻から行なった。

#### 2 結果と考察

各供試原料の濾液に対するアワビの反応は図-1に示すように、アルギン酸を多く含んでいる褐藻類の粉末およびアルギン酸ソーダできわめて強く、70~90%の反応率であるのに緑藻類、海洋酵母では25~50%、北洋魚粉は5%と特に低かった。しかし、反応した個体が直ちに索餌行動に移ることは殆んどなく、上足前面部を基盤から離す反応をし

\* 日本農産工業中央研究所

らく持続した後、また元の状態に戻る。次に摂餌行動であるが、図2に示したように、摂餌個体は全体としては投餌後120分頃まで徐々に索餌がはじ

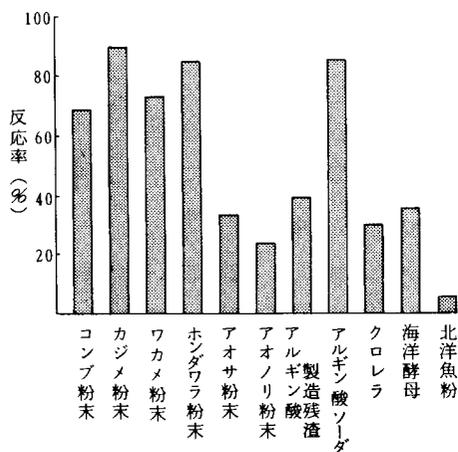


図1 原料混合海水の濃液に対する稚貝の反応率

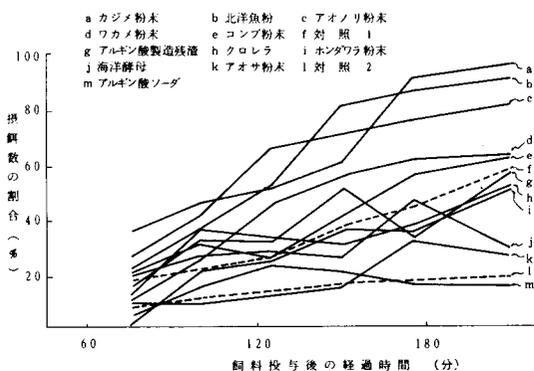


図2 練り飼料(原料0.75:0.25αスターチ)の摂餌割合

まり、150~200分にかけて急激に増加してくる。これは実験が夕方から夜にかけて行なわれたので、稚貝の行動周期と合致したためと思われる。原料別にみると、カジメ粉末、北洋魚粉、アオノリ粉末に強い摂餌行動を示し、ワカメ粉末、アルギン酸製造

残渣がこれに続いている。よい反応率を示したアルギン酸ソーダは摂餌行動では最も悪かった。

摂餌数の割合と反応率との間には何の関連性もみあたらなかった。これは稚貝が反応は示しても、直ちに索餌行動に移ることがきわめてすくないことや対照の無投餌区でも索餌行動があることなどから索餌は飼料の有無に関係なく、稚貝の日周期活動により強く影響されているためではないかと思われる。原料別の摂餌割合に差があることは、対照区の1と2で相当の差が出たことから推察して、単に飼料の嗜好性によるばかりでなく、水槽毎の索餌数の差もかなりの影響を与えたものと思われる(摂餌は索餌中の稚貝がたまたま飼料に遭遇した時に行なわれるように観察される)。

アワビには嗅角、嗅検器<sup>4)</sup>や味蕾<sup>5)</sup>の存在が知られているから、飼料に対する嗜好があると思われるが、今回の実験では明確な結論は見出せなかった。しかしながら、北洋魚粉は反応率は低かったがよく摂餌したことや荻野らが飼料の蛋白源として使用し、よい成長を示したことから、北洋ミールを蛋白源とし、海水中で保形性のある飼料を作れば実用に耐え得ると判断した。

## II 人工飼料による稚貝の成長と水温

Iの結果から表1に示した保湿保形剤の添加により30%程度の水分を含んだ葉状の標準人工飼料を作り、生海藻(アラメ)とともに対照として種々の実験を行なった。これら一連の実験を行なった中で水温と成長の関係について整理した。また実験に使用した稚貝の大きさに差があり、比較する上でこれを補正する必要が生じたので、殻長別の成長についての実験も行なった。

### 1 材料および方法

#### 1) 飼料の原料成分および保形性

飼料の配合割合は表1に示した標準人工飼料の蛋白源は北洋魚粉で、飼料中の粗蛋白量が約30%になるように調整した。

人工飼料の形状は直径約1.5cmの円盤状で、厚さは1.0~1.5mm程度のものである。また、生海藻と

してはアラメの葉を4~5cmに切断したものを用いた。これら飼料の成分分析値を表2に示した。飼料は試験毎に調餌を行なったので、多少の差はあるが、全試験を通じて、成分分析値は略々同一であった。

表1 供試飼料の配合割合(%)

原料	対 照		その他の実験区
	人工飼料	生海藻	
北洋魚粉	30.0		0→50.0 まで使用
植物性蛋白質原料	-	ア	0→28.3 "
小麦粉	34.0	ラ	4.0→34.0 "
粘結剤	10.0		5→13.0 "
混合ビタミン*	2.0	メ	2.0
〃ミネラル*	4.0		4.0
保湿保形剤	20.0		20.0
合 計	100.0		100.0
水(外割)	33.0		33.0

\* 混合ビタミン, 混合ミネラルはHalver 処方

表2 供試飼料の成分分析値(%)

成分	対 照		その他の実験区
	人工飼料	生海藻(アラメ)	
水分	24.8	47.5	24.8~33.8
粗蛋白質	32.4	9.7	18.8~40.2
粗脂肪	2.6	0.3	0.3~4.1
粗繊維	1.5	3.1	1.1~4.1
粗灰分	8.1	12.9	4.9~13.1
可溶性無窒素物	30.6	26.5	-
Ca	2.69	-	-
P	0.81	-	-

図3に人工飼料の海水止水水中での保形時間を示した。飼料が崩潰するまでの時間は水温によって異なり、低温では長く、高温では短い。特に22℃以上では短かく、30~40時間で崩れてしまう。これは飼料の腐敗とも関係があるようである。

## 2) 殻長別の成長

供試貝の殻長範囲1.0~1.1, 1.2~1.3, 1.4~

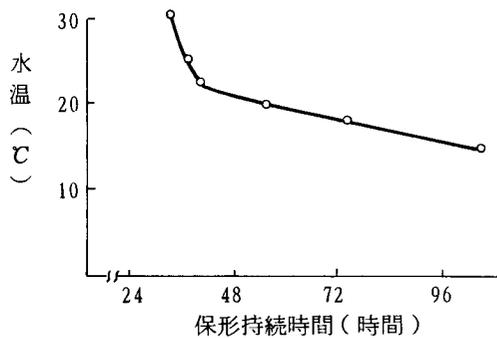


図3 水温による保形持続時間の変化

1.5, 1.6~1.7, 1.8~1.9, 2.0~2.1cmの6試験区を設け、1試験区につき50個の人工採苗、飼育した稚貝を使用した。供試飼料は表1に示した標準人工飼料である。稚貝は20ℓ容スチロール水槽に濾過海水を注入し、通気を行ないつつ飼育した。飼料は3日に1回、サイフォンで残餌を除去した後、充分量を水槽底面にまんべんなく散らばるように与えた。試験期間は51年7月3日から23日までの20日間で水温調節は特に行なわなかったが、この間の平均水温は15℃であった。

試験開始時および終了時に殻長および体重を測定した。各試験区の比較は日殻長伸率( (試験終了時殻長-試験開始時殻長) ÷ (試験開始時殻長+試験終了時殻長) / 2 × 試験日数 ) によった。

## 3) 稚貝の成長と水温

供試貝は殻長1.3~2.0cmの人工貝であるが、主として、1.4~1.6cmのものを使用している。飼料はII-1-1)で示したものと全く同様の標準人工飼料とアラメ葉片である。試験方法、測定方法ともII-1-1)と同様である。飼育期間は主に20~30日であるが、成長の遅い場合などには時に60日前後の長期に亘った場合もあった。時期は四季にわたり、飼育水温10.2℃~21.5℃までの飼育結果が得られた。

## 2 結果と考察

### 1) 殻長別の成長

図-4に標準人工飼料による殻長別の日殻長伸率を示した。図の殻長は試験開始時と終了時の中間殻

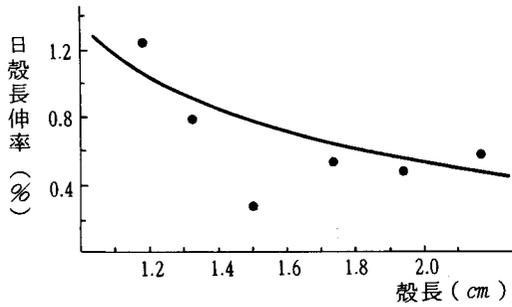


図4 標準人工飼料による殻長別の日殻長伸率

長をとってある。殻長 1.5 cm 付近で伸率が急激に低下しているのは試験開始時殻長 1.4 ~ 1.5 cm 区の間が成長が悪かったためである。従来からの飼育の経験から 1.5 cm で成長が悪くなることは考えられないので、飼育環境の悪化又は使用員の履歴に原因があったのではないかと思われる。そこで、これを除外すると、日殻長伸率( $\ell$ )と殻長(L)の間に、 $\ell = 1.321 L^{-1.333}$  ( $1.0 \leq L \leq 2.0$  cm)の関係がみられた。日殻長伸率は成長するにしたがって低下していく。また、殻長の伸び(図5)も殻長 1.0 ~ 2.0 cmの間ではわずかではあるが、殻長の大きいものが低下する傾向がみられた。

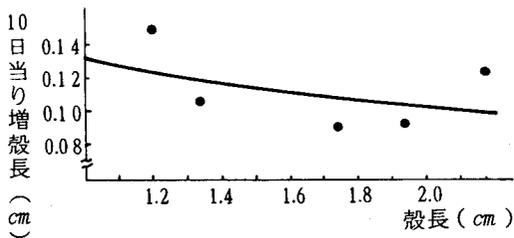
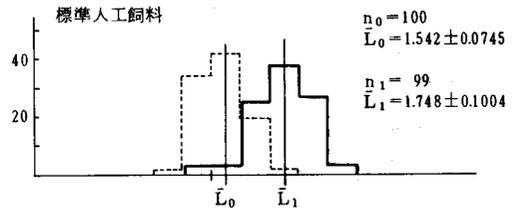
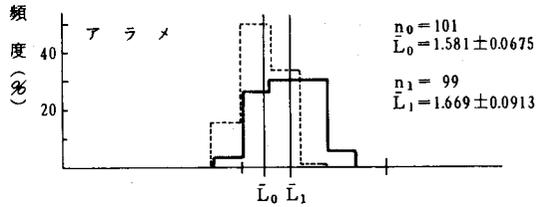


図5 標準人工飼料による殻長別の増殻長

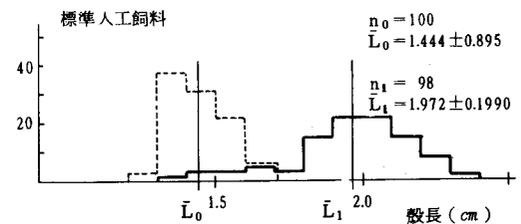
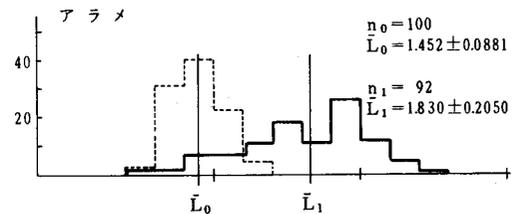
## 2) 稚貝の成長と水温

図6に低水温および高水温の場合の飼料別殻長組成を示した。人工飼料飼育、アラメ飼育ともに高水温時に成長がよく、低水温で成長が悪くなる。また、飼料別にみると同一水温では標準人工飼料はアラメに比して成績がよい。

図4にみられる関係が異なる水温でも、また、飼料が生海藻でも同様であるものとして、殻長 1.5 cm



(1)



(2)

図6 アラメと標準人工飼料飼育における水温による殻長組成の変化

(1) S 48. 11. 15 ~ 12. 19 WT = 16.0 ~ 9.4 平均 12.1°C

(2) S 49. 7. 25 ~ 8. 26 WT = 19.3 ~ 25.0 平均 21.5°C

$n_0$ : 試験開始時個数,  $\bar{L}_0$ : 試験開始時平均殻長

$n_1$ : " 終了時 ",  $\bar{L}_1$ : " 終了時 "

点線は開始時, 実線は終了時の殻長組成

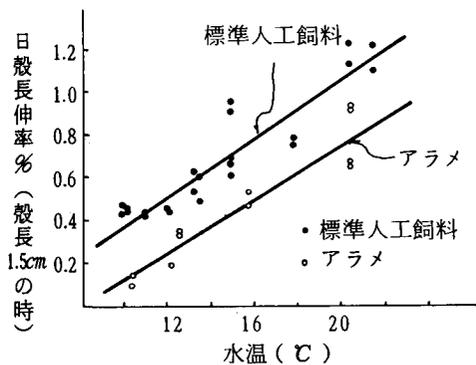


図7 日殻長伸率と水温の関係

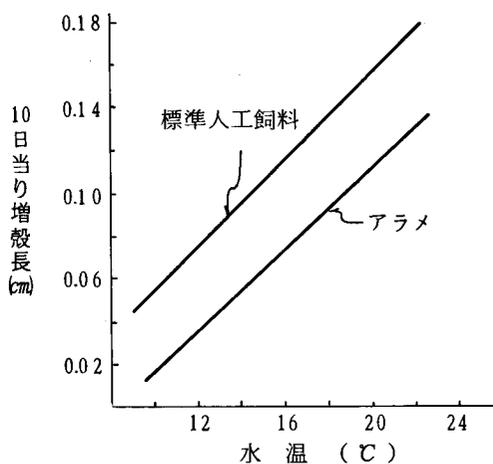


図8 増殻長と水温の関係

の時の日殻長伸率に補正して水温との関係を求め、図7に示した。アワビの成長と水温の関係は本来は指数曲線で表わされるのであろうが、水温10~22℃の範囲内では人工飼料およびアラメ飼育ともに水温の上昇にしたがって、ほぼ直線的に成長がよくなり、次式の関係がみられた。

$$\text{人工飼料 } \ell = 0.06797T - 0.3138$$

$$\text{アラメ } \ell = 0.06260T - 0.5043$$

( $\ell$  = 日殻長伸率,  $T$  = 水温℃)

図7および8からもわかるように、殻長1.5cmの稚貝はアラメ飼育では水温10℃で日殻長伸率0.12‰、増殻長0.018cm、15℃で0.43‰、0.065cm、20℃で0.75‰、0.112cmであるのに、人工飼料では10℃で0.36‰、0.055cm、15℃で0.71‰、

0.106cm、20℃で1.05‰、0.157cmの成長を示し、人工飼料はアラメに比しはるかに成長のよいことがわかった。今回の実験では飼料の溶解や崩潰のため、摂餌量の測定が出来なかったので、成長のみの比較に終わったが、水温の上昇にしたがって、成長がよくなるのは摂餌量の増加によるものであろう。

### 3) 殻長と体重の関係

図9に人工飼料およびアラメで飼育した稚貝の殻長と体重の関係を示した。人工飼料飼育のものはアラメ飼育のものに比し、比体重がやや大きい傾向がみられ、次式のように表わされた。

$$\text{人工飼料 } W = 0.12731 L^{3.0740}$$

$$\text{アラメ } W = 0.12138 L^{2.9815}$$

( $W$  = 体重,  $L$  = 殻長)

また、これら飼育稚貝の肉質部の成分をみると、表3のように、人工飼料飼育貝はアラメ飼育貝に比して、体水分の含量がやや少なく、粗蛋白含量および粗脂肪含量がやや高い値を示した。

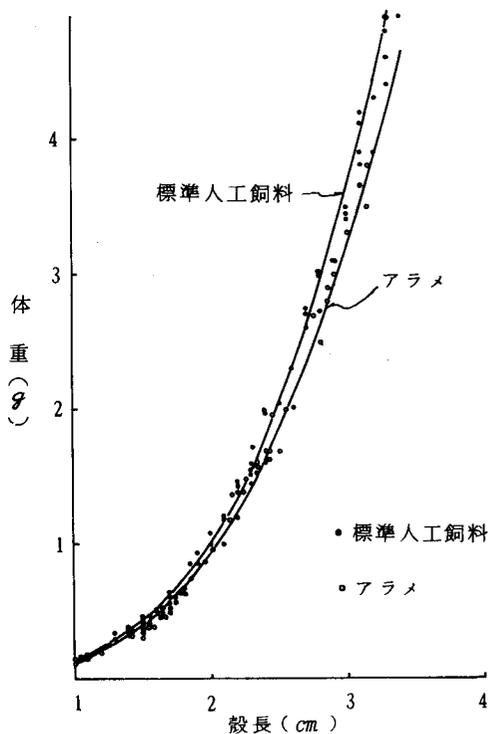


図9 人工飼料およびアラメで飼育したアワビ稚貝の殻長と体重の関係

表3 稚魚の肉質の成分分析値(%)

成分	対人工飼料飼育	照海藻(アラメ)飼育
水分	77.1	78.0
粗蛋白質	15.2	13.6
粗脂肪	2.8	1.3
粗灰分	2.6	2.4
粗繊維	0	0
可溶性無窒素物	2.3	4.7

### Ⅲ 飼料中の蛋白の種類および蛋白含量と成長

Ⅱの結果から北洋魚粉を30%程度含んだ人工飼料飼育魚はアラメ飼育魚より非常に成長のよいことがわかった。そこで、本実験では北洋魚粉に代替し、植物蛋白原料の使用の可否と飼料の適正蛋白量の検討を行なった。

#### 1 材料および方法

##### 1) 蛋白原料の検討

供試魚は昭和48年10月に採苗し、飼育しておいた殻長1.4~1.5cmのものを使用した。試験期間は昭和49年7月25日~8月26日までの32日間で、この間の飼育水温は特に調節せず、19.3~25.0℃、平均21.5℃であった。その他の飼育方法はI-1)-2)と同様である。

飼料は動物性蛋白原料としての北洋魚粉、植物性蛋白原料として脱脂大豆油粕等を種々配合割合を替えて検討を行なった。飼料の粗蛋白含量は30%程度ではほぼ良好な成長を示したことから、全試験区とも小麦粉により100%に調整した。これらの比較は日殻長伸率によったが、Ⅱ-2-2)で得られた結果から殻長1.5cm、水温15℃に於ける値に補正した。

##### 2) 飼料の蛋白レベル

昭和48年11月15日から49年1月17日までの63日間、北洋魚粉のみで粗蛋白含量27.0%~40.2%まで4区と天然飼料区とで実験を行なった。この時の供試魚の殻長は1.5~1.6cm、水温は16.0~9.3℃、平均11.0℃であった。更に昭和50年10月16日から12月15日までの60日間、北洋魚粉

に対し、植物性蛋白原料を種々代替した混合蛋白原料を使用して粗蛋白含量18.75~30.90%までに6区を設けて実験を行なった。供試魚の殻長は1.5~1.6cm、水温は19.4~10.2℃、平均14.4℃であった。これら試験区の日殻長伸率を殻長1.5cm、水温15℃に於ける値に換算して比較した。試験方法は前述の実験と全く同様である。

## 2 結果と考察

### 1) 蛋白原料について

図10に蛋白原料中の植物蛋白原料の割合と日殻長伸率の関係について示した。この図で明らかのように、植物蛋白の混合割合を高めても成長に殆んど変わりがなくほぼ一定の値を示したことから、植物性蛋白原料も動物性蛋白原料と遜色なく、充分利用し得ると思われる。動物性蛋白原料のすべてを植物性蛋白原料に置き換えることについては実験例がないので今後検討しなければならない。

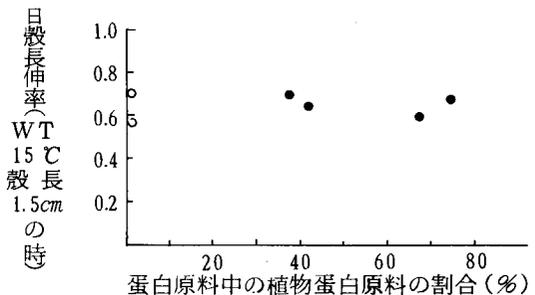


図10 蛋白原料中の植物蛋白原料の割合と日殻長伸率の関係  
○北洋魚粉100% ●北洋魚粉+植物蛋白原料

### 2) 飼料中の蛋白レベルについて

蛋白原料として植物性蛋白原料も北洋魚粉と同様の成長が認められたので、北洋魚粉単独区と植物性蛋白混合区を合わせて比較すると図11のようになる。飼料中の粗蛋白含量が約10%と低いアラメでは成長が悪く、日殻長率で0.4%である。人工飼料中の蛋白含量18.75%から40.2%の範囲内では日殻長伸率は0.7%前後ではほぼ一定であった。アラメと人工飼料飼育による成長が飼料の物性や飼育環境等に左右されず、飼料中の蛋白含量によるものとする、蛋白含量10~19%の間に変曲点があるもの

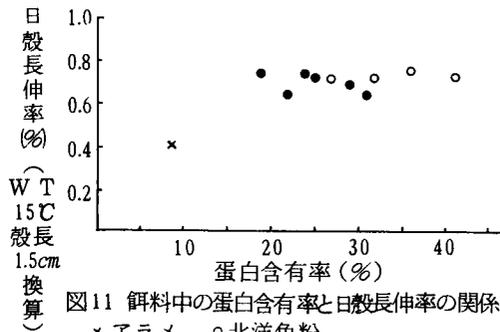


図11 餌料中の蛋白含有率と日殻長伸率の関係  
 × アラメ    o 北洋魚粉  
 ● 北洋魚粉+植物性蛋白原料

と思われるが今回の実験では明らかにされなかった。

## IV 論 議

### 1 飼料原料について

アワビに嗅角、嗅検器や味蕾の存在は知られているが飼料のどの様な成分にアワビがひきつけられるのかははっきりしていない。アワビがアルギン酸によって強い刺激を受けることは確かである。しかし、これが飼料に対する誘引性や嗜好性につながるかどうか明らかではない。これらの成分を明らかにすることにより、飼料は更に完全なものになっていくものと思われる。

荻野ら<sup>2)</sup>は飼料中の粗蛋白含量が20ないし30%の範囲では日間成長率はほぼ一定であり、15%以下では低下する。また、30%以上では高くなると述べている。しかし、今回の実験では18.75～40.2%の範囲ではほぼ一定の日殻長伸率を示し、荻野らの実験結果と異なる。これは荻野らが循環濾過方式による飼育であるのに著者らは流水式の飼育方式をとったことによる環境条件の差であろうと思われる。

今回の実験から考えれば、アワビ稚貝の飼料中の適正蛋白含量はほぼ20～30%と考えられ、それ以上高める必要はない。しかし、アワビが天然で蛋白含量が低く、炭水化物含量の多い海藻を摂餌していることから、粗蛋白含量を19%以下に下げても正常な成長をする可能性が残されており、どこに成長の変曲点があるのか今後検討する必要がある。また、炭水化物源の利用性についても更に研究をすす

めなければならない。

### 2 飼育について

付着板から剝離した殻長5mm以上の稚貝は小砂利などを敷いた二重底の水槽や、小割式の網生簀に收容して飼育される。これらの飼育方法は生海藻を与えるので、水質は悪化しない。人工飼料は投餌後3～4日で腐敗、崩潰するため、生海藻飼育と同じ方法では水質の悪化を起し易いので、人工飼料飼育に適合した飼育方法に改良する必要がある。また、本実験の飼育は600個/ml(一般には2,000～3,000/ml)と非常に低い密度の飼育であったので、実用化のためには、通常行なわれている飼育密度、またはそれ以上での大量飼育実験を行なわねばならない。

## V 要 約

1. 海水に浸漬した飼料原料の濾液に対するアワビ稚貝の反応率はアルギン酸ソーダおよびアルギン酸を多く含んでいる褐藻類で高い。
2. 反応個体が直ちに索飼行動を起すことは殆んどなかった。
3. 反応率と摂餌数の割合との間に関連性がないのは索餌が稚貝の日周期活動に強く影響されるためと考えた。
4. 北洋魚粉を主蛋白源とし、蛋白含量を30%に調整した人工飼料は22℃以上では30～40時間で崩潰するが、20℃以下では48～96時間保形されていた。
5. 殻長1～2cmの範囲では日殻長伸率は殻長の大きい程低く、日殻長伸率( $\ell$ )と殻長(L)の間には $\ell = 1.321L^{-1.388}$ の関係がみとめられた。
6. 北洋魚粉30%を含む人工飼料飼育はアラメ飼育に比し、はるかに成長がよい。また、水温(T)と日殻長伸率( $\ell$ )との間に次の関係がみとめられた(ただし、 $10 < T < 22$ ℃)。

$$\text{人工飼料 } \ell = 0.06797 T - 0.3138$$

$$\text{アラメ } \ell = 0.06260 T - 0.5043$$

7. 人工飼料とアラメ飼育稚貝の体重(W)および殻長(L)の間に次の関係がみられ、人工飼料飼育貝

は肥満度が高い。

人工飼料  $W = 0.12731L^{3.0704}$

ア ラ メ  $W = 0.12138L^{2.9815}$

8. 蛋白原料の比洋魚粉を植物性蛋白原料に種々代替してもほぼ同様の成長を示した。

9. 飼料中の蛋白含量が19~40%の間ではほぼ一定の成長を示すが、蛋白含量の低いアラメの成長は著るしく悪い。

## 文 献

- 1) 荻野珍吉・太田穎亮：日水誌 Vol. 29, No. 7, 691~694, 1963
- 2) 荻野珍吉・加藤紀子：日水誌 Vol. 30, No. 6, 523~526, 1964
- 3) 相良順一郎・酒井幸一：東海水研報, 第77号 1~5, 1974
- 4) 谷田専治：水産動物学, 恒星社厚生閣, 1960
- 5) 猪野峻：東海水研報, 5, 1~102, 1962