

アワビの成長と年令形質としての 輪紋について

Circuli on the shell as a age determination and
growth of the Japanese abalone, *Haliotis gigantea*

井上正昭

大場忠道*

Masaaki INOUE

Tadamichi OBA

アワビ属は、移動の緩慢なこともあって餌料の量・質、生息密度などの影響が漁場の特質として成長に現われ、(磯根研究グループ1972)、僅か数10メートルの距離を隔てて隣接する漁場間においても成長の極端に異なる例があり、アワビ増殖の場を選定するに於いて各漁場における成長を知ることがしばしば要求される。

一般には、殻長がその形質として、取扱われ漁獲物の殻長頻度分布、標識放流、稚貝放流などによって行なわれている。

これらのうち、殻長頻度分布を取扱う方法では、比較的に小範囲ごとに成長が異なるために、地先ごとに集荷された漁獲物の測定資料では2系群以上を正確に分離できる結果の得がたいのが普通である。また、小範囲ごとの集荷も現実には至難である。

標識放流を手段にすると、標識あるいはその結着作業とそれに伴う飼育が影響して成長に遅速を生ずることがあり、漁場間の成長比較には採用できても各漁場における正確な成長記録を得ることは難かしい。

稚貝放流では、長期間の継続調査を必要とし、そのためには禁漁区設定の可能な特定漁場となる。

しかも、以上の方法では、大小による漁獲順位が影響してマダカ、メガイでは、成長のよい大型が、クロでは逆に成長の遅れた小型において漁獲順位が高い(井上1973)のために、これらの影響を消去できるだけの漁獲率で漁獲されることが条件となるなどの難しさもある。また、これらの方法は与えられたアワビ貝殻の年令を判定することには直接に役立たない。

上記の外に、貝殻に生ずる輪紋を測定する方法でも行なわれているが、熱処理による方法(高山1940)と、それを応用して未処理のまま測定した例とがある。しかし

いずれの方法も、輪紋によった殻長が一年間の成長量、すなわち年令形質として妥当であるかの検討がなされないままに採用され、資源解析にも導入されている。ところで、この方法によって得られた値が妥当でその法則性が発見できれば、前述の諸方法に比較して簡便にしかも与えられた貝殻によって小範囲の漁場ごとの成長を知ることができる。このようなことから、ここでは輪紋が年令形質として妥当なものであるかについて検討し、同時に従来過少に見積られていた疑いのある成長について述べる。

なお、この研究を行なうに当り、 $^{18}O/^{16}O$ 法による温度測定について同位体比質量分析計などの使用に便宜を与えられた東京大学海洋研究所堀部純男教授に、また日輪測定に協力いただいた東京大学総合資料館小池裕子氏に厚くお礼申し上げる。

材料および方法

三浦半島南端の城ヶ島に設けられた実験用禁漁区へ1965年10月下旬に放流した平均殻長2.5cmの人工生産のマダカ稚貝を、毎年10月下旬から11月上旬に再捕し井上他(1971)、殻長を測定して各年ごとに平均殻長を求めた。またこれらのうちから放流2~4年後において初めて再捕されたものの貝殻を高山の方法によって処理し、輪状に剥離した各外縁と貝殻後端との最長部を測定し、貝殻後端に近い側から1・2・3...nとして各番号別にその平均値で示した。

その他に、上記と同じ禁漁区へ1969年に放流したマダカ人工稚貝を放流約3.5年後の'73年に再捕し、その中から平均的と思われる貝殻を選び、図2に示すように、その一片について、輪紋に対して平行に長さ15mm、巾0.5~1mm、深さ約0.5mmの溝状に1~3mm間隔に試料を採取し、 $^{18}O/^{16}O$ 法によって各試料の貝殻が形成された時の

* 東京大学海洋研究所

水温を算出した。試料を採取した貝殻の外層部分は、アラレ石と方解石の両方の結晶形を含むが、アラレ石が80~90%を占め、含有率が高いことから次式のアラレ石温度スケールによって水温を求めた。

$$T = 13.85 - 4.54(s_s^+ - s_{sw}^+) + 0.04(s_s^+ - s_{sw}^+)^2$$

ここで、Tは試料とした貝殻が形成された時の水温、 s_s^+ は貝殻試料中の ^{18}O 濃度、 s_{sw}^+ は試料とした貝殻が形成された当時の海水中の ^{18}O 濃度で $s_{sw}^+ = 0$ と仮定して水温を算出した。なお、今回使用した同位体比質量分析計の精度は ± 0.1 であり、試料の前処理を含めた測定誤差は0.5以下である。

他の一片は、高山の方法によって処理し、輪紋の位置を測定した。

結 果

稚貝放流によって得た殻長が表1である。これらは、年度によって測定月日に若干の違いはあるが産卵期である10月上旬から11月中旬に再捕測定した値であり、しかも10月下旬に産卵孵化させ、一年間飼育した後の10月下旬に平均殻長2.5cmで放流した材料であるからほぼ満年令の殻長を示す。この結果からは満3令で10cmを越え、7令で20cmに達し、従来からいわれている成長に比較してかなり速い。

輪紋長の測定結果を高山の測定した三重県国崎地先の例とともに表1に示したが、これらの測定値は地域の異なるにもかかわらず比較的によく一致する。しかし各輪紋が高山の説のように年令を表わすとすると、いずれも

稚貝放流によって得た実測値に比較してかなり小さい。

以上の各測定結果を、稚貝放流による実測値では生後の経過日数、輪紋長については高山の説に習って年令との関係として示したのが図1である。このように経歴がすべて等しい材料において差を生じたが、この結果からは輪紋が1年に1本生ずるという説には疑問が残る。

そこで、各輪紋長の測定値を実測値の示す成長曲線上へ水平に移動して、その月日を図上で読みとると、12月~1月頃と6~7月頃が交互に得られ、貝殻後端から数えて1・2・4・6の各輪紋までの長さは、稚貝放流による実測値の各年令ごとの長さにはほぼ一致する、このことは、法則性のあることと一年に2本の輪紋が生ずることを示唆する。

表2は、図2に示した各測定部位の貝殻が、形成された当時の $^{18}O/^{16}O$ 法によるアラレ石温度スケールの水温と各部位間の長さである。

このアラレ石温度スケールの値は、部位4前後において高く、除々に低下して部位15において最低を示し、再び上昇して部位22において部位4とほぼ同じレベルに達し再び降下する。

そこで部位1から各測定部位までの長さに対してこれらをプロットすると図3に示すA線のようになり、見掛上振れはかなり大きいが年間水温の消長を示しているように観察される。したがって、これらの測定に使った部位の範囲が1970~'71年に該当するので部位2~9が'70年の夏、部位22前後が'71年の夏、部位15前後が年間における最低水温を示す'71年の2~3月頃に該当するとい

表1 アワビの殻長測定記録

単位: cm

年 令	1	2	3	4	5	6	7	8	9
稚貝放流による 実 測 値 (マダカ)	2.5 (1.5~4.0) 300	6.7 511	10.8 (8.4~13.3) 298	13.9 (10.3~17.2) 75	16.6 (14.9~18.2) 14	18.7 (16.9~19.5) 11	20.2 (18.5~21.5) 7		
輪 紋 長 (マダカ)	3.1 (1.7~4.0) 105	5.3 (3.4~7.6) 105	7.8 (5.0~11.2) 105	10.2 (7.8~13.9) 40	11.8 (9.4~14.4) 27	13.3 (10.5~15.2) 14			
輪紋長(高山)									
{ (マダカ)	2.3	4.9	8.3	10.3	12.7	14.3	14.5	14.5	15.5
{ (メガイ)	2.5	5.3	7.4	9.9	12.1	13.4	13.9	14.1	14.4
{ (クロ)	2.2	4.4	6.8	8.8	10.7	12.0	12.9	14.0	14.4

放流殻長 () : 範囲, 下段: 測定個数

* 堀部・大場(1972)の式

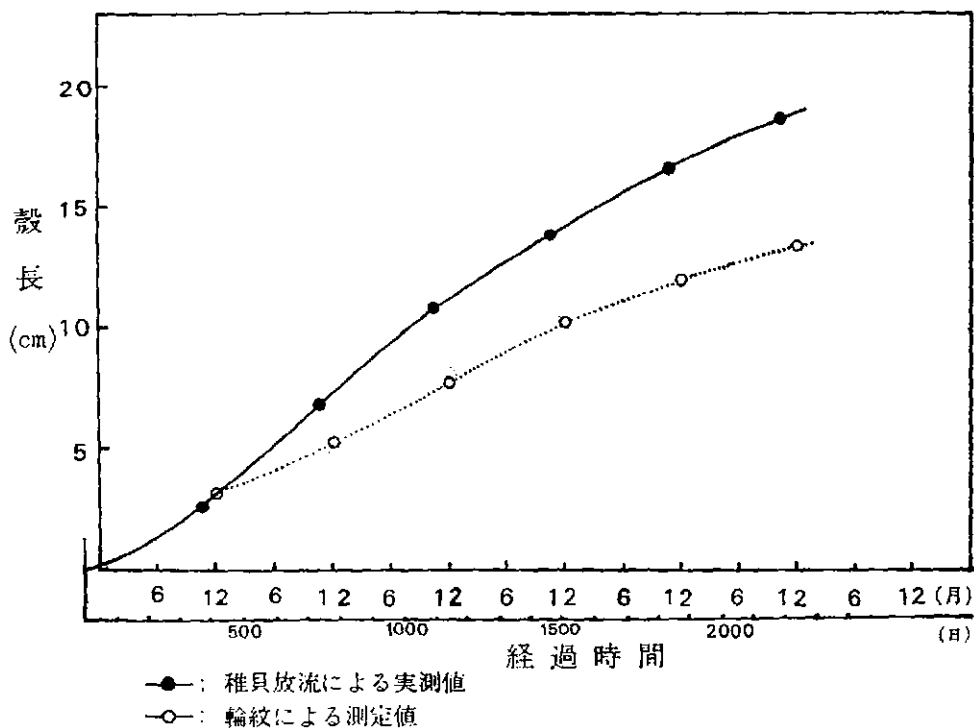
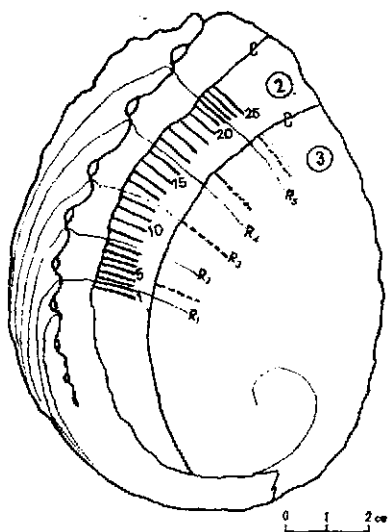


図1 マダカの成長

表2 $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ 法によるアワビ貝殻のアラレ石温度スケールにおける水温と資料採取部位の間隔

部位 No.	水温 ()	間隔 (mm)	部位 No.	水温 ()	間隔 (mm)
1	17.1		14	8.3	2.8
2	20.0	1.3	15	8.0	3.2
3	20.4	2.4	16	9.3	3.7
4	20.9	1.2	17	13.0	2.8
5	18.0	1.3	18	14.1	2.6
6		1.7	19	14.7	3.4
7	19.4	1.1	20	15.1	2.7
8	16.7	1.3	21	17.4	3.1
9	18.2	1.5	22	20.6	1.6
10	16.9	3.1	23	20.0	1.3
11	12.0	3.7	24	18.2	0.8
12	10.9	3.3	25	15.3	1.7
13	9.4	3.2			



$^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ 法に使用 ——— : 試料採取部分
 高山の方法に使用 : 分離部分
 C : 切断線 R : 輪紋
 図2 試料の採取位置と分離部分

える。

ところで、この方法による水温値は、アワビの生息した周囲の海水と同位体平衡を保ちながら炭酸塩を沈積して貝殻が形成されることから各測定部位の貝殻が形成された当時における海水中の ^{18}O 濃度を測定するか、またはこれらが標準平均海水の ^{18}O 濃度と等しい場合に正確な水温値を得られるが、ここでは海水中の ^{18}O 濃度の測定はせずこれらが等しいものとして取扱った。しかし実際には、雨水などの影響をうけて ^{18}O 濃度は増減したと考えられる。特に、この水温値の振幅が激しい部位1～9について見ると、図3の上段に示したように6～7月頃の塩分濃度が低い。このために部位1～4はアラレ石温度スケールの値が相対的に高く、また部位8前後では塩分濃度が高いために逆に低く計測された疑いがある。このようなことから'70年の夏期においては、部位7が最高水温を示す時期に形成されたものと考えられる。

そこで、部位7と22が各8月に該当するとして月平均水温を示すと図3の線となる。

したがって、このアラレ石温度スケールによる水温は海水の ^{18}O 濃度を0‰と仮定したためにかなり低く計測されたことになる。しかし図3に示した塩分濃度の偏差の消長からも部位7～22の間に高水温期の存在することは考えられないので、相対的には水温の消長をよく表わしているといえ、部位7～22の間の長さが'70年8月から'71年8月までの一年間の成長量と做すことができる。その長さ4.2cmは、稚貝放流によって求めた平均の成長量に比較してやや大きい、表1の3と4令の各最大殻長からはこの程度の成長はあり得る。また仮に部位9が'70年の8月に該当するとしても3.9cmとなり、この例によってもアワビの成長は従来の説に比較してかなり速いといえる。

ところで、図3の月平均水温とアラレ石温度スケールによる水温の各最高値と最低値において、それらの差は'70年が4.7、'71年が4.6、最低値が4.2で殆んど変わらない。これは上述したように、海水の ^{18}O 濃度を0‰と仮定したために起ったものと考えられる。

そこで、アラレ石温度スケールによる水温が、上記の最高最低水温の平均値である4.5だけ月平均水温より低く計測されていると仮定して示したのが点線であるが、アラレ石温度スケールの各部位の値がそれなりの水温を表わしているとすると、これらの値を点線にスライド

して読み取った月日の相前後する期間が各部位間の成長に要した日数と做せる。

このようにして求めた結果を各部位間の成長量と日数について、4部位ごとに移動加算し、その期間ごとの日間成長量を求め、その期間ごとの平均水温とともに示したのが表3である。

これらの関係は図4のようになる。この結果からは一点を除くと水温が20までは水温の高いほど成長がよく、20を越えると水温との関係は不規則となり、高水温を示す7月以降産卵期にかけて成長が悪くなる。この関係は図4に共に示した3部位ごとに移動加算して求めた結果においても殆んど変わらない。

すなわち1～6月頃の期間に成長がよく、7～12月頃

表3 移動加算によつて求めた日間成長量と平均水温

部 位 No.	月/日	経 過 日 数 (日)	部 位 間 隔 (mm)	日 間 成 長 量 (μ)	平 均 水 温 ()
5	7/24				
7	8/13				
9	9/30				
10	10/20	88	9.3	106	23.7
11	12/3	112	8.9	80	22.3
12	12/12	73	10.3	140	19.9
13	1/30	102	9.7	95	17.1
14	2/12	72	9.3	129	15.2
15	3/26	104	9.2	88	13.7
16	4/14	74	9.7	131	12.5
17	5/24	102	9.7	94	13.4
18	6/5	72	9.1	127	15.4
19	6/13	61	8.8	144	16.1
20	6/17	24	8.7	353	18.1
21	7/16	41	9.2	150	20.4
22	8/15	63	7.4	117	22.3
23	8/29	73	6.0	82	23.0
24	9/20	66	3.7	57	23.8
25	10/28	74	3.8	51	22.8
		(60)	(2.5)	(41)	(22.0)

* 資料の採取方法の関係で同一資料中に、ある期間に積層された貝殻組織が含まれていることを考慮して4部位とした。

$^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ 法によって得た水温を月平均水温の曲線上へスライドして読みとった月日
()内：3部位間の値

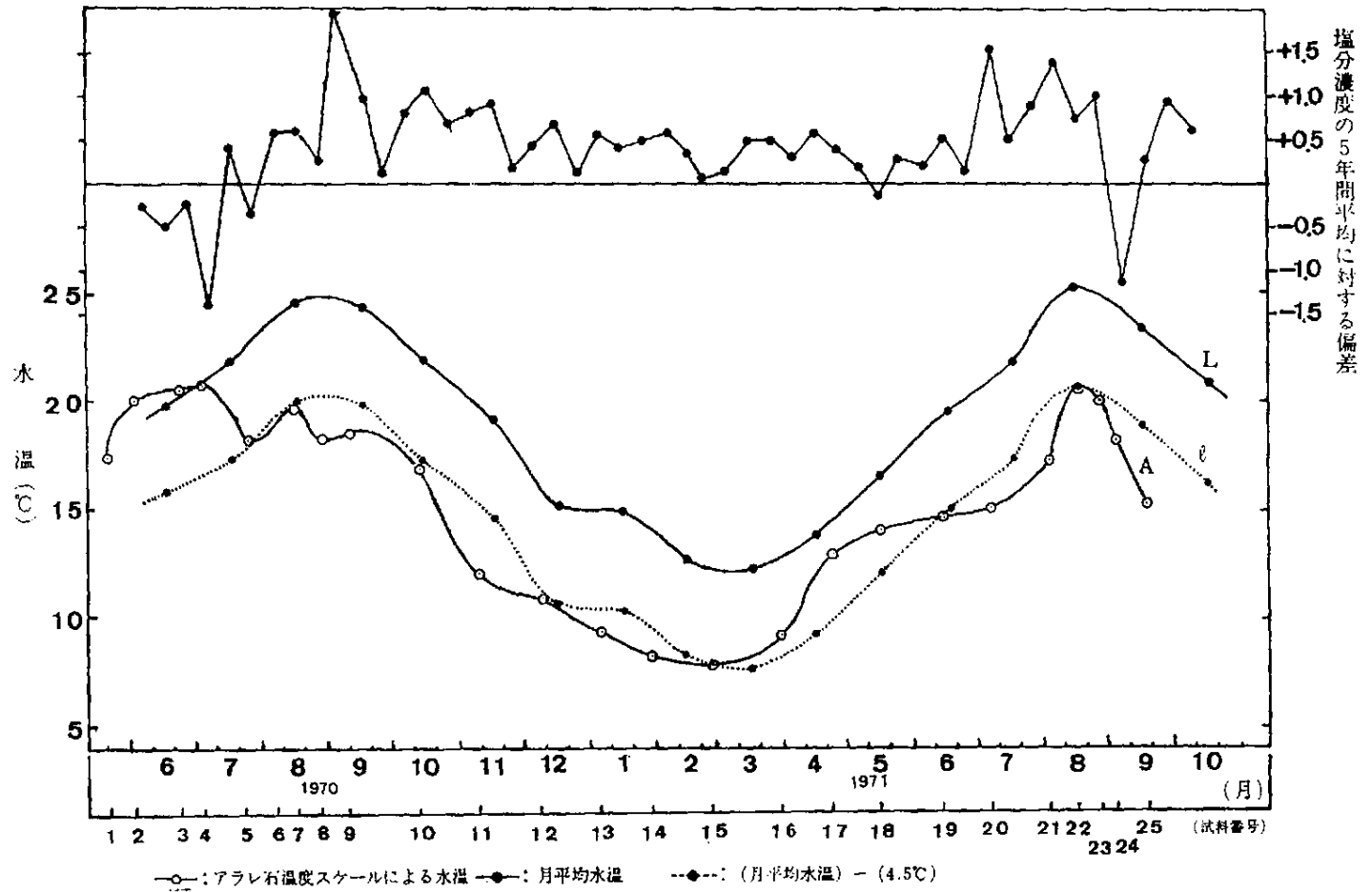


図3 各部位のアラレ石温度スケールによる水温と月間平均水温

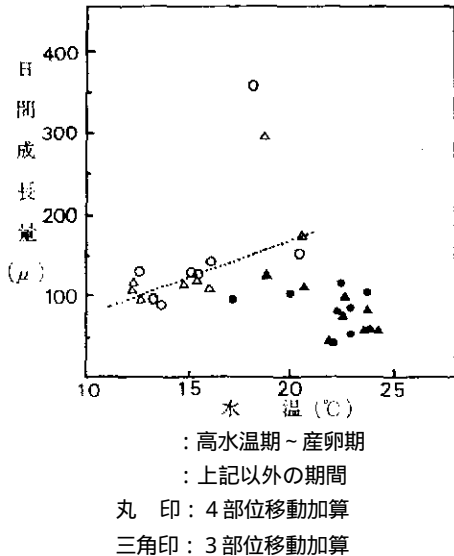


図4 水温と日間成長量との関係

に成長が悪いことになる。

なお、 $^{180}/^{160}$ 法に使った貝殻の一片について求めた高山の方法による結果を図2に示したが、部位4～5、12～13、17～18および25において剥離し、輪紋と一致したのは部位12～13のみで、他はいずれも輪紋の前側で剥離した。その各部位を点線Iにスライドした月で見ると部位4～5、17～18は水温が20前後を示す6～7月頃に、また12～13、25は産卵期である11月からそれが終了する1月頃に相当し、図1において求めた結果とほぼ一致する。

以上の諸結果からマダカの成長は従来からの知見に比較してかなり速く、年間の成長は一率ではなく、1～6月頃に速く7～12月頃に遅い。また輪紋は1年に2本形成され、その時期は6～7月頃と12～1月頃であるといえる。

考 察

マダカの輪紋は1年に2本形成され、従来からの知見に比較してかなり成長が速い。しかも水温が20以下では水温の高いほど速く、20以上では水温との関係が不規則となるが、水温の高いほど成長の遅れる傾向を示す。これらの研究を行なった三浦半島附近において水温が20以上となるのは6月中・下旬であり、20以下となるのは10月下旬、11月上旬以降で、10月中旬から12月下旬が産卵期であり、それが終了するのは12月下旬から1月上旬が普通であるので、これらのことが当地方の輪紋形成とその時期に関係すると考えられる。

ところで、海産動物では一般に産卵期において成長の停滞することが知られ、また許容範囲においては水温の高い程成長は速い。アワビにおいても例外ではないだろうが、産卵期前における水温20以上での成長停滞が高水温のためのみであるのか、10～12月における産卵に関係しての現象であるのかは、この結果の範囲では明確に説明できない。しかし、特に3部位ごとに移動加算して求めた結果から見ると、盛夏においては産卵期以上に成長が悪いから高水温が成長に直接に影響するとも考えられる。いずれにしても、1年に2本の輪紋形成と、その形成時期および水温と日間成長量との関係からは1～6月頃の期間には水温の高いほど成長が速く、水温20以上を示す頃から産卵期のほぼ終了する7～12月頃の期間に成長が遅れる。このことは、年間の成長曲線がS字状となることを示す。

メガイ、クロについても成長はマダカと変わらず、ほぼ同程度の成長をすると做せる(磯根研究グループ1972)が、このことと表1に示した高山のメガイ・クロについての輪紋長の測定結果とから推測すると、これら2種についても1年に2本の輪紋が形成され、年間の成長もマダカとほぼ同じ経過を辿るものと考えられる。

しかし、種を問わずアワビ属は小範囲ごとに成長の異なる例があり、成長の極端に悪い漁場もある。このような漁場では成長の停滞期間、この例では7～12月頃の成長巾が狭いために、それが見掛上1本の輪紋として観察され、熱処理の方法によってもその巾の狭いために成長の良い部分と悪い部分の各境界での剥離が規則的に起らず、そのために1本と計測されることは十分に考えられる。また、その概念からすると輪紋はいわゆる線ではないので、成長停滞期の成長巾が極端に狭い場合には1年に1本と解釈しても誤りではなく実質的にも問題はないだろう。ただし、諸報告の結果から検討すると、苛酷な環境にあって1年1本といわれているエゾアワビも含めて各海域で一応の精査が必要のように考えられる。

ところで、熱処理によって剥離の起るのは、貝殻組織に構造的あるいは質的な何らかの断層のあるためであるが、この例では部位17～18を除くと日輪が貝殻表面に対して垂直方向に変化し、すなわち立ちあがって明らかに成長の停滞する部分において剥離した。その部分は部位17～18を含め成長のよい期間から悪い期間およびその逆の場合における各移行時にほぼ該当する。それが三浦半島附近では6～7月と12～1月頃である。

なお、稚貝においても成貝と同じように6月以降に成長の停滞があるとすると、稚貝放流によって得た表1に示す実測値の満1令に該当する殻長以前において更に1

本の輪紋が存在するはずであるが、この研究では明確に示せなかった、このことが処理方法によるものであるのか、稚貝が成貝ほど諸環境の影響を受け難いためなのかあるいは性成熟に関係することなのかは明らかでない。いずれにしても外観的には成貝と同じように輪紋らしいものが観察されるので、これが輪紋であれば、表1の結果から各満年令の殻長に一致するとした貝殻後端から数えた輪紋の1・2・4・6の番数は2・3・5・7となる。

このことは、1令以前の外観上の輪紋が疑輪である可能性もあり、特に天然発生群を取扱う場合において過ちをおかす恐れがあるので十分な検討が必要である。

疑輪については成貝においても観察され、日輪に構造的な変化が観られず、熱処理においても剥離しない輪紋がある。それらは外観からでは区別できない。したがって、現在の知見では、未処理のまま輪紋を読むことには無理があると考えられる。

次に、この研究で問題となったのは剥離部分と外観上の輪紋とが必ずしも一致しないことであった。これまでの多くの研究では、熱処理後の剥離部分と外観上の輪紋との位置関係・法則性などを見落していた可能性がありこれらについては殆んど触れられていない。そこで、剥離部分を日輪によって検討したが、日輪の立ちあがった

部分には巾があり、図2に示した試料では、5本のうち4本まではその巾の前後端附近または中央附近に外観上の輪紋が観られるので、その剥離が法則性をもって起るかについてまでは明らかでない。しかし、仮りにそれらが不規則に起るとしても、上記の結果からすると剥離部分と外観上の輪紋とは無関係ではなさそうである。ただし、先に述べたように疑輪が存在するので、真の輪紋を熱処理によって剥離する部分と規定し、ある個数の平均値として取扱えば、剥離が不規則に起るとしても、貝殻後端から各剥離部分までの長さは成長の形質として一応取扱うことができると考えられる。

引用文献

- 堀部純男・大場忠道(1972): アラレ石水および方解石 - 水系の温度スケール, 化石, 23(24), 69-79.
- 磯根資源研究グループ(1972): 磯根資源とその増殖 - アワビ, 日本水産資源保護協会, 増殖叢書24.
- 井上正昭・金杉佐一・小林良雄・田内大・今井利為(1971): 磯根資源調査(アワビ), 神水試資料No.187.
- 井上正昭(1973): アワビの大きさによるすみ場の差異 水産増殖20(3), 181-189.
- 高山活夫(1940): 三重県産鮑の成長度について(1), 水研誌, 35(4), 99-100.