

第4章 年齢形質と成長

クロアワビの年齢と成長は、再生産機構の理解や個体群の成長、資源評価、資源管理に直接関連するので正確に把握する必要がある。

クロアワビの年齢は、貝殻の加熱処理（高山 1940）、透過光輪（藤本 1967）、酸処理（藤井ら 1970）、赤褐色輪紋（小島 1976）により査定される。クロアワビは我が国の暖流域に広く生息する（猪野 1952）ので、環境条件は水域ごとに大きく変化すると考えられる。このため年齢形質の形成時期や形態は、水域により異なる可能性があるため、特定の輪紋が年齢形質として認められるか否かを詳細な検討が必要である。しかし、クロアワビの年齢は、貝殻の輪紋数により査定されているが、輪紋が年齢形質であることは証明されていない。

クロアワビは生育段階に応じた食物要求があり、与えた食物の種類により成長が異なるとされる（猪野 1952, 藤井ら 1986）。このことは、食物となる海藻植生の異なる水域に生息するクロアワビは、成長に差を生じる可能性があることを示唆している。前章において、クロアワビは殻長 70mm 以下の個体に食性の切り替えが認められ、本格的な成熟年齢に達すると大型褐藻の流れ藻を選択的に探索して摂食する食性へと転換することを明らかにした。クロアワビの食性転換と植生との関係およびクロアワビの成長と植生との関係に関する知見は、これまでほとんど報告されていない。そこで、クロアワビの成長と植生との関係を調べることによって本種の年齢と成長との関係が具体的に明らかになると考える。

前章で、クロアワビは表在底生生物を非選択的に「削り取る」摂食を行い、栄養を摂取をしており、放流後まもない稚貝の新しい環境での生活を可能にすることを明らかにした。また、放流サイズの大形化にもなって生残率が高くなるのは、捕食者が種により捕食するアワビの殻長限界を異にすることに関連することも明らかにした。これらのことは、アワビの成長が放流後の生残と密接に関わっていることを示唆する。人工種苗を放流する季節や水温など環境条件が生残率や成長と大きく関係すると考えられる。したがって、人工種苗の放流効果を評価するためには、漁獲された放流個体と、同時に漁獲された同一年級群に属する天然個体に成長の差があるか否かを明らかにする必要がある。

ある。また、漁獲されたクロアワビを材料として本種の成長速度を調べる場合、成長の速い個体から漁獲される特性から、若齢時に Lee 現象が現れる（小島ら 1977）。そこで、漁業による年齢と成長との関係に関する偏りを取り除く解析法を新たに検討する必要がある。

第1節 年齢形質の信頼性

アワビ属の貝殻は、既に形成された貝殻の周辺部が軟体部を包むように丸みを帯びながら伸長する。貝殻表面には成長にともなって多数の長円形の成長線が残される。クロアワビでは、これらの成長線のうち、満 1 歳頃に形成される特徴的な輪紋は、溝や段差、隆起などとして認められ、満 1 歳の年齢形質とされている（小島 1974, 1976, 市来ら 1977）。満 2 歳以降には、満年齢に達する前後に貝殻に光を透過し易い赤褐色の輪紋が形成される。生きている個体ではこの輪紋は段差や隆起として認められ、前後の殻色と異なる赤みを帯びた褐色の輪紋ないし幅 5mm 以下の輪紋帯として認められる個体が多い（小島 1976）。

しかし、Day & Fleming (1992) は特定の成長輪紋を年齢形質とするには、1) 特定の成長輪紋が毎年、確実に形成されるか、2) その成長輪紋が毎年一定の時期に形成されるか、そして 3) 高齢個体から逆算した若齢時の既成輪紋径と同年齢個体の輪紋形成期の殻長が一致するかどうかを明らかにする必要があるとした。クロアワビは、年齢形質として貝殻に形成された輪紋が用いられているが、輪紋形成期の環境要因の年変動とそれに連動する産卵期の年変動については十分に検討されていない。ここでは、輪紋形成時期、輪紋形成と成熟・産卵期の関係、輪紋の判読率など年輪法による年齢査定の信頼性について詳細に調べた。

材料と方法

本研究で解析に用いたクロアワビは、徳島県海部郡牟岐町オオバ地先の水深 0 ~ 2m, 約 120m² の調査水域において、1982 年 12 月から 1986 年 6 月の間に 24 回採集されたものである。調査水域は、東を太平洋に面した小湾の南側の岬近くに位置し、北方向に張り出した岩礁により外洋から遮蔽されている。調査水域の海底は岩盤が露出した場所と岩盤を転石が覆う部分とで構成され、水深 50cm 以深には、岩盤の低い場所に砂が堆積している。潮間帯下部にはヒジキが生育し、潮下

帯の岩盤や直径 1m を越える転石にはアラメやオオバモクが生育する。

1 回の調査には 2 人が、60 分から 90 分間の素潜りで調査水域内のクロアワビを採集した。採集したクロアワビは、転石の下や転石間の隙間あるいは転石と岩盤の隙間などで発見されるので、移動可能な転石は動かし、できるだけ多くのクロアワビを採集するように努めた。採集したクロアワビの最大殻長と各年齢時の殻長を計測して、直ちに調査水域へ再放流した。測定部位を図 4-1-1 に示した。最外呼水孔近くを基点とする最大殻長 (L_p) と、小島 (1974) が年輪とした満 1 歳頃に形成される溝あるいは段差の内側と呼水孔列の交点から最大殻長 (L_1) を測定した。第 1 輪に複数の溝が認められた場合には、最も顕著な溝を起点とした。2 歳以降の年輪は小島 (1976) に準じた。すなわち、多くの個体は隆起や段差の外側に幅の狭い赤褐色の輪紋が形成されるので、その内側を起点とした。赤褐色輪紋が広い場合、輪紋の中にみられる段差や隆起の外縁あるいは溝を起点として満年齢殻長を測定した。貝殻表面に段差や隆起が形成されても成長線の途中で前

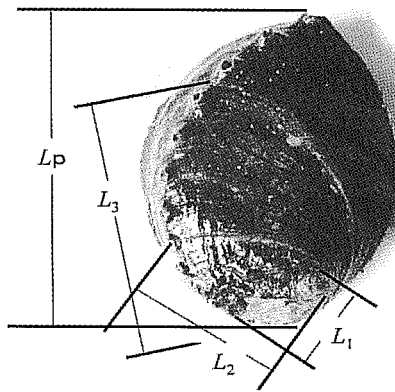


図 4-1-1 クロアワビ殻長の測定部位
 $L_1 \sim L_3$ は 1 歳から 3 歳の満年齢殻長、 L_p は採集時殻長

後の成長線と区別できなくなる場合には偽輪として扱った。なお、輪紋が付着生物に覆われている個体については、呼水孔付近の固着生物を除去して調べた。

調査水域から殻長 9 ~ 95mm の総計 638 個体の天然産クロアワビを採集した。これらのクロアワビの年輪形成時期、成長の季節変化の解析には貝殻縁辺成長率を用いた。この成長率は次式により計算された。すなわち、

$$\text{縁辺成長率} = ((L_p - L_n) / L_n) \times 100$$

ここで、 L_p は最大殻長、 L_n は n 番目の年輪 (最外年輪) の最大殻長を示す。

結 果

1. 輪紋未形成貝の殻長の季節変化

採集したクロアワビの中で 157 個体に輪紋が認められなかった。これらの殻長の平均値と標準偏差を図 4-1-2 に示した。輪紋未形成の個体は、1983 年には 6 月から 11 月の間に採集され、6 月中旬の平均殻長は 18mm、9 月と 10 月の殻長の平均値はそれぞれ 21.7mm と 22.5mm であった。11 月には 1 個体のみ採集された。1984 年には 5 月上旬から 9 月上旬にかけて採集され、平均殻長は 5 月に 18mm、6 月に 20.4mm、7 月に 21.6mm、8 月上旬に 21.8mm、9 月上旬に 21.4mm であった。1985 年には 4 月から 10 月に採集され、4 月の平均殻長は 13.0mm であった。6 月上旬から 8 月上旬には 19.0mm から 21.5mm であったが、10 月は 20.5mm であった。このように、調査水域では年輪未形成の個体は 4 月ないし 5 月頃から採集され、8 ~ 9 月には 22mm 前後に成長し、10 ~ 11 月以降には採集個体数が減少するとともに小型化した。

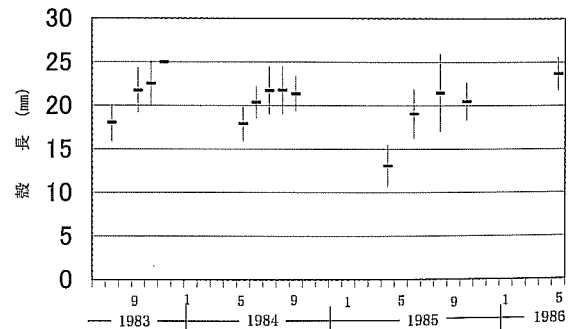


図 4-1-2 輪紋のないクロアワビの成長の季節変化
横線は平均値、縦線は標準偏差を示す。

2. 輪紋を 1 本形成した貝の縁辺成長率の季節変化

輪紋を 1 本形成した個体の縁辺成長率の季節変化を表 4-1-1 に示した。1983 年 11、12 月、1984 年 9、11 月および 1985 年 10 月に採集した個体には縁辺成長率が 60% 以下と 100% 以上の個体が混在した。そして毎年、2 月から 7 月にかけて成長率は急激に上昇した。7 ~ 10 月の成長率は、11 ~ 12 月における成長率の大きな群とほぼ一致した。すなわち、調査した 3 年間は、

表4-1-1 輪紋を1本備えたクロアワビ殻の縁辺成長率の季節変化。数字は個体数、11月と12月の暗帯は産卵期を示す。

年	1982 1983										1984												
	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
190																							
180																							
170																		1					
160																			1	1			
150												1	1										
140																							1
130								1											2	2			
120										1	3							3		1			
110										1	2							2	1	2			
100									2	2					1	1			2	1			
90										1	1				2	4						2	
80								1							3	6		1	1		1		
70								1	1						13	7			1				
60															11	4							
50															10	1							
40														1	7		1		1				
30														7	1								
20													1	3									
10	1												6	1									
0													4		1								

年	1984		1985								1986												
	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6			
190	1																						
180											1												
170	1																						
160																							
150											2			1								1	
140											2											1	
130						1					1	1											
120	1								1														
110						1																1	
100	1					3		2														2	
90				2		3		1		1		1										2	
80	1			6		1		2															
70				10		5		2	1			1											
60				11		0		1				1											
50	2			5		1																	
40			3		4		1		1														
30	3	4		2																			
20	11	5																					1
10	8	4																					
0	2												3										

第1輪紋が毎年9月頃から11月にかけて形成されたことを示した。

紋としたものと同一輪紋で、10月以降に形成されたことを示した。

3. 輪紋を2本形成した貝の縁辺生長率の季節変化

輪紋を2本形成した貝の縁辺生長率の季節変化を表4-1-2に示した。成長率の大きな個体と小さな個体が同時に採集されたのは1983年10月と11月および1985年10月の3例である。いずれの年にも10月から12月にかけて成長率の小さな個体が採集されている。この2本目の輪紋は、小島(1976)が赤褐色の第1輪

4. 輪紋を3本形成した貝の縁辺成長率

1983年11月および1983~1985年の各12月に採集した輪紋を3本形成したクロアワビの個体数、縁辺成長量の平均値を表4-1-3に示した。輪紋を4本形成した4個体は、第3輪紋から第4輪紋までの年間縁辺成長量は $25.5 \pm 6.5\text{mm}$ であった。この輪紋間の縁辺成長率を100%とすると、第3輪紋を形成したクロア

表4-1-2 輪紋を2本備えたクロアワビ殻の縁辺成長率の季節変化。数字は個体数、11月と12月の暗帯は産卵期を示す。

年	1982 1983										1984												
	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
85																							
80																							1
75																							
70																							
65																							
60												2											
55								1	1														1
50								1															
45																	1						
40								1		1	2			1	1								
35														2	1					1			
30											1			6									1
25								1	1					2									
20														4									
15	1												2	2									
10	4											1	2	2									
5	1											3	3										
0										1	9	1											

年	1984						1985						1986										
	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6			
85																							
80																							
75																							
70																							
65												1											
60																							
55							1																
50																							1
45																							1
40					1																		
35					2																		
30					1										1								
25					5										1								
20		1		2				1							4								
15		2		1											7								
10		2													11								
5	1	2										3	6										
0	1											6	2										

ワビの12月前半の縁辺成長率(%)は、1983年、1984年ならびに1985年に、それぞれ16%、13%ならびに6%と年を追って低下した。調査水域の本種の成熟・産卵期は9月から12月である(第2章第1節参照)ので、縁辺成長率は成熟度に関連することが想定される。そこで採集標本の生殖巣指数の平均値と縁辺成長率の関係について、図4-1-3に示した。生殖巣指数が3以下(産卵前)では新しい貝殻(赤褐色)が形成され始めてはいるが、縁辺成長率は極めて低く、産卵後に急激に増加した。

表4-1-3 輪紋を3本形成したクロアワビの縁辺成長量の平均値と標準偏差

採集年	月/日	採集 個体数	平均値 mm	標準偏差 mm
1983	11/1	5	0	0
	12/3	6	4.2	4.4
1984	12/6	4	3.3	1.2
1985	12/11	9	1.6	1.6
第3輪から 第4輪*		4	25.5	6.5

*: 輪紋を4本備えた個体の第3輪紋から第4輪紋までの縁辺成長量の平均値と標準偏差

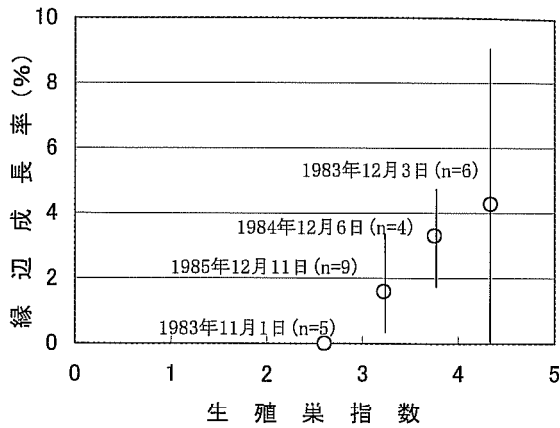


図4-1-3 生殖巣指数と縁辺成長率の関係

5. 各輪紋までの殻の大きさ

第1輪紋から第3輪紋は、毎年1回、成熟・産卵期にあたる9月から11月の間に周期的に形成されることが分った。次に、異なる年級群の同一年齢時の殻長の一致性について検討する。これまで述べた輪紋を年輪と仮定して、採集したクロアワビには、1980～1985年級群が含まれていた。各年級群について年齢別の殻長の平均値を算出し、表4-1-4に示した。調査期間中に採集された1+歳個体は、1981～1984年級群であった。1981年級群は4+歳まで、1982年級群は3+歳まで、1983年級群は2+歳まで、ならびに1984年級群は1+歳までそれぞれ採集された。これらの年級群のうち1981年級群と1982年級群は満1歳から満3歳の殻長を比較した。両年級群ともに、1+歳から3+歳個体の第1輪紋までの殻長、2+歳から3+歳個体の第2輪紋までの殻長はよく一致した。同様に、異なる年級群の同一輪紋長を比較すると、1980～1984年級群の第1輪紋長から第3輪の同一輪紋長はいずれもほぼ一致

した。

6. 年級群の輪紋形成開始期の比較

輪紋形成時期が年により変動するかどうかを明らかにするため、毎年9月から12月にかけて採集したクロアワビの1982～1984年級群の第1輪紋形成率の変化を図4-1-4に示した。10月上旬から11月上旬にかけて採集された個体には、第1輪紋が形成されたものと未形成のものが含まれる。これらの3年級群は、多くの個体が第1輪紋をほぼ10月から形成し始めたと判断される。9月から12月に採集した1981～1983年級群の第2輪紋の形成開始期を図4-1-5に示した。1981年級群は、10月上旬に年輪となる新しい殻の形成を開始し、11月上旬には80%近くの個体が年輪を形成した。しかし、1982年級群は、同時期に新しい殻の形成が認められた個体の割合は約20%に過ぎなかった。1985年には10月上旬に、すでに80%近くの個体に形成された。第2輪紋の形成は主に10～11月上旬に開始されると推定された。

第3輪紋形成率を図4-1-6に示した。1980～1982年級群の第3輪紋の形成は10月下旬から11月上旬の短期間に多くの個体で形成されていたので、年輪形成開始期は、11月であることを示した。

7. 輪紋判読率

輪紋による年齢査定ではその判読率がきわめて重要である。輪紋を年輪とみなして年齢別による輪紋の判読率を表4-1-5に示した。1+歳貝の満1歳時の輪紋判読率は、0.997であった。輪紋が判読できなかったのは、採集した299個体のうち1983年10月7日に採

表4-1-4 満年齢時殻長の平均値と標準偏差

1歳の欄に示した括弧内の数字は測定個体数のうち満1歳時殻長が測定できた個体数を示す。2歳、3歳はすべて測定できた。単位はmm

発生年	採集年齢	測定個体数	1歳	2歳	3歳
1980	3+	11	21.0 ± 2.2 (9)	49.4 ± 6.3	71.4 ± 6.8
	2+	17	23.3 ± 2.8 (17)	48.8 ± 7.2	
1981	3+	6	23.7 ± 4.9 (3)	45.3 ± 5.3	71.4 ± 2.6
	2+	49	23.6 ± 3.1 (45)	50.1 ± 6.2	
	1+	25	25.1 ± 3.5		
1982	3+	9	21.6 ± 2.5 (9)	51.6 ± 7.0	73.6 ± 6.3
	2+	24	22.0 ± 3.2 (17)	50.0 ± 4.7	
	1+	131	21.6 ± 3.4		
1983	2+	41	22.3 ± 2.7 (40)	47.9 ± 7.4	
	1+	118	22.2 ± 3.0		
1984	1+	23	21.2 ± 2.3		

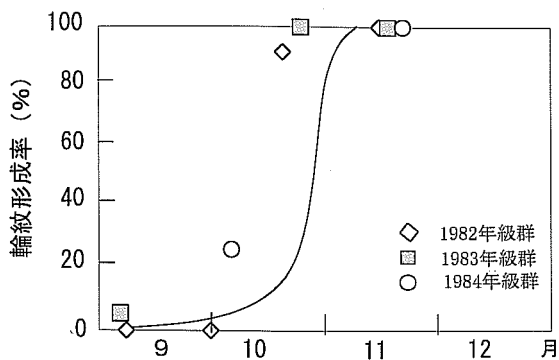


図 4-1-4 1983～1985年に採集した1982～1984年級群の第1輪紋形成率の季節変化

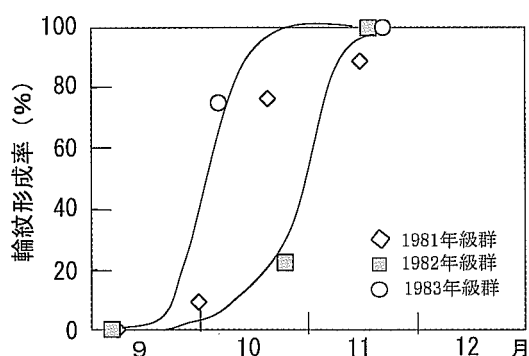


図 4-1-5 1983～1985年に採集した1981～1983年級群の第2輪紋の形成率の季節変化

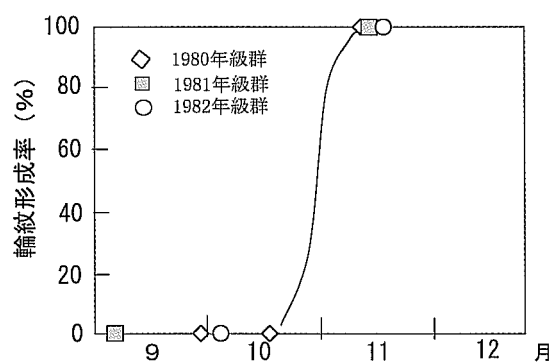


図 4-1-6 1983～1985年に採集した1980～1982年級群の第3輪紋形成率の季節変化

集した殻長 36.9mm の 1 個体であった。この個体は、殻長 18.6～26.6mm の 0⁺歳の 7 個体、ならびに殻長 38.2～67.2mm の 1⁺歳 10 個体と共に採集され、殻長から 1⁺歳に相当すると判断した。2⁺, 3⁺歳個体については、第 1 輪紋がそれぞれ 91% と 81% が判読できた。しかし、4⁺歳の 4 個体の第 1 輪紋は、輪紋形成位置の摩滅や貝殻穿孔動物による汚損のため、判別できたのは、わずかに 1 個体のみであった。2 歳から 4 歳個体の第 2 輪紋から第 4 輪紋は、いずれもの判読は可能であった。

8. 年級群毎の成長

輪紋の判断により分離した各発生年級群の貝殻の成長を図 4-1-7 に示した。成長は高水温期から産卵期までは停滞し、他の季節に顕著に認められた。

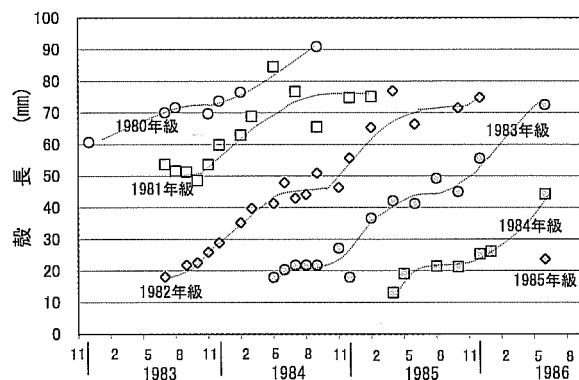


図 4-1-7 牟岐町オオバ地先におけるクロアワビ 1980～1985年級群の成長の季節変化

考 察

南方系アワビの年齢は、貝殻の熱処理により割れる部分 (高山 1940)、貝殻の透過光輪紋 (藤本 1967)、酸処理で現れる輪紋 (藤井ら 1970) を形質として査定されることがある。しかし、年齢形質と認めるには、1) 一年のうち一定の時期に形成されること (周期性)、2) 異なる年級の同一年齢殻長がほぼ一致すること (一致性) ならびに 3) 一年に一度確実に形成されること (確実性) が要件として必要である (Day & Fleming

表 4-1-5 クロアワビの年齢別年輪の判読率

年齢	調査 個体数	判 読 率			
		第 1 輪	第 2 輪	第 3 輪	第 4 輪
1	299	0.997			
2	131	0.908	1.000		
3	26	0.807	1.000	1.000	
4	4	0.250	1.000	1.000	1.000

1992)。クロアワビの年輪は周期的に形成され(小島 1976, 市来ら 1977, 市来 1980, 田中・田中 1980, 石田ら 1982), 輪紋の一致性についても報告されている(小島 1976, 市来 1977, 市来ら 1980)。本研究によって, 牟岐町オオバ地先の第1～第3輪紋形成時の殻長がほぼ一致し, 輪紋の一致性が確かめられた。

クロアワビの輪紋を用いた年齢査定において輪紋の判読率は特に重要である。本研究では, 第1輪は1歳以上の個体では未形成の1個体(0.3%)を除き判読できた。一方, 加齢にともなって, 輪紋の本数が増加すると貝殻の摩滅や穿孔性動物の貝殻汚損により第1輪の判読率は低下した。しかし, 第2～第4輪紋の判読は可能であった。第2～第4輪紋が毎年確実に形成されるかどうか, 年輪としての確実性について証明する必要がある。

寿命の長いクロアワビの輪紋が産卵期とどのように対応して形成されるのかを明らかにすることは年級群の研究や資源を評価する上で重要である。年輪とされる輪紋は, 摂食量の減少, 成熟・産卵, 高水温による成長停止帯(猪野 1966, 田中・田中 1980, 田中, 1988)あるいは7～9月の成長停滞期後に成熟段階とは無関係に形成される新しい赤褐色の殻(小島 1976)として形成されることが報告されている。長崎県産(市来ら 1977)および千葉県産(石田ら 1982)のクロアワビでも赤褐色輪紋が年齢形質となることが報告されている。本研究において, 徳島県産クロアワビでは年齢別による殻長の測定には成長線に沿った明瞭な隆起, 段差, 溝を起点とした。2番目以降の赤褐色輪紋(満3歳以降)は幅が狭い個体が多く, 赤褐色輪紋の内縁に隆起, 段差が認められる。他方, 最初の赤褐色輪紋(満2歳)は幅が広い個体もみられる。それらの個体では赤褐色輪紋の中に隆起, 段差, 溝が形成されていた。成熟した個体では産卵後に赤褐色輪紋を含んだ貝殻が急速に成長するので, 輪紋は産卵期に形成されると判断される。千葉県では輪紋形成終了期と産卵終期とが一致することから輪紋外縁を基準としている(石田ら 1982)ので, 輪紋形成期は水域により差があると推定されている。

満1歳時の年齢形質である溝や段差(小島 1976)は成熟した個体より早く, 10月に形成された。また, 成熟した個体と未成熟の個体が含まれる多くの2歳貝は年齢形質を10～11月上旬に形成し, 全ての個体が成熟する3歳貝は10月下旬～11月上旬を中心に形成し

た。したがって, 輪紋形成は成熟個体と未成熟個体で異なると考えられる。また, 赤褐色輪紋は年齢の外側に形成され, 2歳以上の年齢を表示する形質である。成熟過程や産卵は水温に従属するので, 年齢となる輪紋や赤褐色輪紋は形成時期が個体により異なると同時に年変動すると考えられる。さらに, 一産卵期における産卵回数の相違(第3章第2節参照)も年齢ならびに赤褐色輪紋の形成時期に影響を及ぼす可能性がある。

第2節 放流稚貝の成長量の季節変化

クロアワビの成長の季節変化は, 天然貝の採集によって定性的に把握できる。成長を定量的に把握するためには, ある時間における殻長と一定経過時間後の殻長を計測する必要がある。そのためには, 個体識別により, 採集誤差が小さいことが条件となる。今まで, 野外や室内での飼育による観察例は多数みられる(例えば, 酒井 1962a, 1962d, 西村 1977, 藤井ら 1986など)が, 野外での調査例は極めて少ない(例えば, Shepherd 1988, Tutschulte & Connell 1988, Troynikov *et al.* 1998)。クロアワビの放流稚貝の天然水域における成長の季節変化も定量的に把握されていない。

これまで, 人工種苗の放流効果を評価するため, 再捕したクロアワビの輪紋数によって種苗生産年や放流年を逆算して成長量を推定することも試みられてきた。前節で述べたとおり, 天然産クロアワビの輪紋は9月から11月に形成されるが, 放流月によっては輪紋形成が確実でないことも考えられる。そこで, 放流月と輪紋形成の関係についても明らかにする。また, 輪紋が毎年1本確実に形成され輪紋により年齢が査定できるか否かも合わせて明らかにする。

材料と方法

1987年12月から1989年2月の間に, 徳島県海部郡由岐町阿部地先において, クロアワビ人工種苗の放流と再捕を24～52日間隔に10回繰り返した。人工種苗は, いずれも1986年10月下旬から11月にかけて徳島県栽培漁業センターで生産され, 放流直前まで同所で飼育された稚貝を用いた。放流日, 放流個体数および殻長範囲を表4-2-1に示した。放流時の殻長は25～45mmで, 多くは30～40mmあった。各放流群には, 個体識別のため貝殻に2文字を刻印した色の異なるビニール・テープ(4mm×4mm)を瞬間接着剤(アロ

表 4-2-1 クロアワビ種苗の放流日、放流個体数および殻長範囲

放流(日)	放流個体数	殻長範囲(mm)
1987年12月25日	814	32-45
1988年1月27日	1,085	32-44
3月4日	1,121	25-35
4月26日	879	24-36
6月18日	986	29-39
7月2日	1,007	25-40
8月23日	1,004	29-40
9月28日	765	29-39
10月31日	1,015	29-40
12月7日	752	27-41

ンアルファー)で貝殻に貼り付けた。

放流場所は、水深約0.5mの転石域(多くは直径0.5~1.5m)で、転石の下やその周囲には砂や礫がある。直径がほぼ1m以上の転石上にはアラメが生育し、テングサの繁茂した石も認められる。再捕は2回目以降の放流日に、放流に先立って実施された。放流点から約30mの範囲において、1ないし2名がSCUBA潜水により放流貝の回収に努めた。

再捕した標識貝の放流時殻長と再捕時殻長をノギスにより1/10mm単位に読み取って記録した。放流時殻長と再捕時殻長の差を成長量とし、放流から再捕までの殻の伸長量(縁辺成長量)を日数で除した値を1日当たり成長量(日成長量)とした。

標識放流では放流初期に、作業に伴うハンドリングの影響を受けるので(Forster 1967, Newman 1968),日成長量は、放流から最初の調査までの期間(24~53日)と2回目までの期間(67~97日)に分けて比較した。また、日成長量と水温の関係についても調べた。解析に用いた水温は、日和佐町地先の午前10時に測定した徳島県水産試験場の観測資料を参照した。

結 果

1. 日成長量の季節変化

放流群の放流後24~53日間および67~97日間の日成長量を図4-2-1に示した。放流後24~53日間の日成長量は1988年2月および12月に低下したが、放流後67~97日の日成長量は2~3月の冬季に130μmと大きく、7~9月の夏季に40μmと少ない明瞭な季節変化を示した。

放流貝は放流初期に受けたストレスの影響がより小さくなると考えられる放流後67~97日の日成長の平均値と各調査期間の水温の平均値の関係を図4-2-2

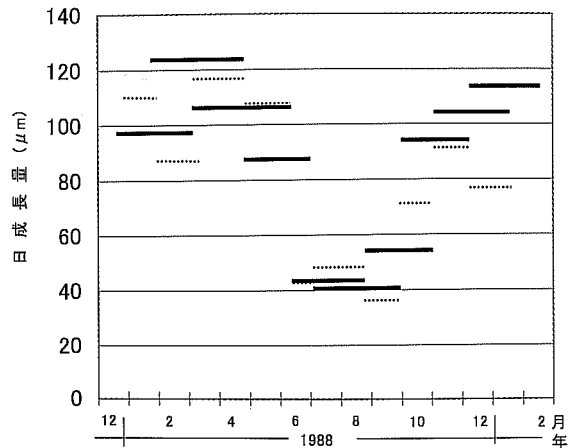


図 4-2-1 放流クロアワビの日成長量の季節変化横棒は放流後の経過期間を示す。日成長量は放流後から再捕までの1日当たり成長量を示す。点線は放流から最初の調査(24~53日間)までの日成長量、実線は放流から2回目の調査(67~97日間)までの日成長量

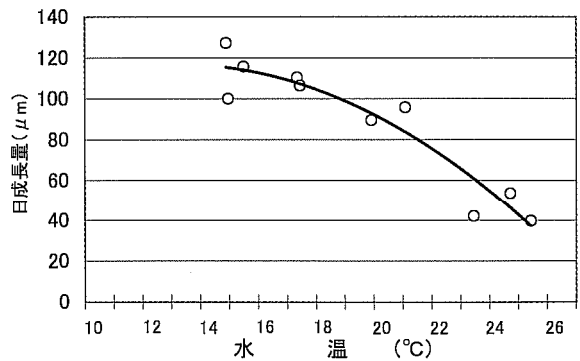


図 4-2-2 クロアワビの日成長量と水温の関係。

日成長量は人工種苗を放流して67~96日間の殻の成長量を1日当たり成長量に換算した値。水温は各放流群の放流から再捕までの期間の平均値とした。

に示した。水温と日成長量との関係は、2次曲線に帰させ次式で示された。

$$g_d = -0.532T^2 + 14.05T + 24.05$$

ここで、 g_d は日成長量(μm)、 T は水温(°C)である。日成長量は水温20°Cで約90μm/日であり、20°Cより低下すると成長が速くなり、18°C以下では100μm/日以上であった。水温23~25°Cでは成長量は60μm/日以下と低下した。

2. 放流月と輪紋形成の関係

1987年12月から1988年10月に放流したクロアワビを、1988年10月から1989年2月の間に再捕して輪紋

形成の有無を調べた結果を表4-2-2に示した。1988年4月および6月の放流群は10月には輪紋は形成されていなかったが、12月にはいずれも形成されていた。7月～10月の放流群は、12月～2月の間に輪紋形成が認められなかった。

標識したクロアワビの個体別の放流から再捕までの期間と年輪形成数との関係を図4-2-3に示した。放流から再捕までの期間で、10～12月の経過数と年輪数は一致した。しかし、7月から12月に放流した個体(No.11～19)は、最初の輪紋は未形成となり、年輪数がそれ以前に放流した個体に比べて1本少なくなった。

考 察

人工種苗の放流後の成長は、夏季には約40 μm/日であるが、冬季には130 μm/日に達し、水温に強く依存していることが判った。放流に関連するストレスは、食性の柔軟性により比較的短期に解消すると考えられたが、日成長量は放流から24～53日間のデータに比べ67～96日のデータが水温の季節変化に類似した。放流作業にともなうハンドリングや放流後の環境ストレスは秋から冬に大きく、1ヶ月より2～3ヶ月経

過した成長データが安定することを示唆している。クロアワビはセイヨウトコブシ(Forster 1967)およびミダノアワビ(Newman 1968)と同様に、空中露出(Sakai 1960)や標識放流によって成長障害を生じ、放流初期のストレスを受けやすい季節には1ヶ月以上得られたデータに影響すると推定された。また、7～10月に放流された1+歳貝は輪紋(第2輪紋)が形成されなかったことから、放流貝の年齢査定について留意すべきことが明らかになった。

放流時期による輪紋未形成の事実を除くと、輪紋が年輪であるとするには、天然および放流したクロアワビの輪紋が毎年確実に形成されることを証明する必要がある。本研究ではクロアワビの第1輪紋の形成率は99.6%であった。三重県産クロアワビの第1輪の形成率は90.7%(43個体中39個体)と報告されている(西村1977)。満1歳時の殻長を推定するためには、輪紋未形成の個体もあるので、連続採集による殻長組成データなど他の方法との併用が必要である。2つ以上の輪紋数は毎年の10～11月の経過年数と一致し、7～10月に放流された放流貝の輪紋数が1本少なくなることを除き、第2輪紋以降の輪紋が年に1本確実に形成されることが本研究によって証明された。

表4-2-2 放流時期による年輪の形成
年輪が未形成の場合は年輪径の欄を空白で示す

放流日	再捕日	放流時殻長(mm)	年輪径(mm)	最大殻長(mm)
1988年4月26日	1988年10月31日	31.2		46.4
	1988年12月7日	33.1	47.3	53.8
		33.1	42.1	49.3
1988年6月8日	1988年10月31日	37.6		47.2
		38.5		43.0
		34.4		43.7
	1988年12月7日	39.6	45.0	49.2
1988年7月2日	1988年12月7日	37.4		45.7
		37.1		45.7
		30.2		35.8
		38.7		60.7
		30.2		35.8
1988年8月23日	1989年1月17日	35.8		48.6
		38.3		45.4
		36.4		45.1
		32.8		41.8
		33.4		48.5
		40.4		54.9
		36.2		49.5
		30.8		39.4
39.2		48.6		
1988年9月28日	1989年2月15日	26.2		35.8
1988年10月31日	1989年1月17日	30.7		39.0
		29.5		36.6
		32.3		41.8

図4-2-3 阿部地先における標識クロアワビり個体別の放流から再捕までの期間と輪紋形成数(R)の関係
 点線の開始は放流、終点は再捕をそれぞれ示す。
 産卵期(11~12月)を経過した年数と放流後の輪紋数は一致するが、7~12月に放流すると最初の輪紋は未形成となる(No.11~19)

No.	1987												1988												1989												1990												1991							R
	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7																	
1							2
2							3
3							2
4							2
5							3
6							2
7							3
8							3
9							3
10							2
11							1
12							2
13							1
14							2
15							1
16							2
17							2
18							1
19							2

22年間の調査において、第2輪紋以上の天然貝で貝殻穿孔生物、固着生物および貝殻磨耗のため年齢が不明な個体は0.02%ときわめて少なかった。また、放流貝はすべて年齢が査定できた(本章第4節参照)。クロアワビ以外の年輪形成率については、セイヨウトコブシの小型貝が90%、大型貝が78%(Forster 1967)、*H. marie*の91%(Shepherd et al. 1995a)が報告されている。クロアワビの天然貝は最初の赤褐色輪紋が満2歳を示す(小島 1976)。この輪紋は、異った年級群であっても同年齢時の殻長と一致し、毎年1本形成される確実性を備えた年輪であることが本研究によって初めて証明された。本研究の結果、クロアワビは、赤褐色輪紋数による年齢査定と輪紋部に形成される隆起や段差、溝を年齢形質として過去の満年齢殻長を高い精度で復元することが可能であることが明らかとなった。

第3節 植生の異なる水域における成長比較

クロアワビの年齢と殻長の関係は千葉県、三重県、徳島県、兵庫県、高知県、長崎県、山形県など広範囲で調べられている(増殖場造成指針作成委員会 1982)。この中で、近接した生息域においても年齢と殻長の関係は異なることが報告されている(田中・田中 1980)。しかし、クロアワビの成長が水域間で異なる原因については明らかでない。

アワビ類の成長が、食物となる海藻により異なることは実験的に調べられている(Leighton & Boolootian 1963, 浮 1981, 藤井ら 1986, Uki et al. 1986)。クロアワビは移動距離が狭く(井上 1976)、食物を生息水域に依

存するので(植田・岡田 1941, 野中・岩橋 1969)、本種の成長が生息域の植生と密接に関係すると考えられる。クロアワビが広範囲に分布し、多様な環境において生活していることを生態学的に理解するためには、植生と成長との関係を明らかにすることが必要である。しかし、これまで野外において十分に調べられていなかった。

ここでは、植生が異なる水域に生息するクロアワビの年齢と殻長との関係から、本種の成長が植生をどのように反映しているかについて明らかにする。

材料と方法

解析に用いたクロアワビは、徳島県阿南市橘湾長島、海部郡由岐町阿部、同郡牟岐町のオオバおよび津島地先のいずれも水深5m以浅において採集された(図1-1-1)。採集したクロアワビの年齢は、表4-3-1に示したとおり、2歳から5歳であった。本章第1節および第2節において、クロアワビの輪紋が年輪であることが証明された。本研究では輪紋による年齢査定と満年齢時殻長の測定を年輪法と呼ぶこととする。

アワビ類の成長式として次の von Bertalanffy の成長式が最も頻繁に使われている(Day & Fleming 1992)。

$$(1) \quad Lt = L_{\infty} (1 - \exp(-k(t - t_0)))$$

ここで、 t は発生後の時間(年)で満年齢、 k は成長係数、 L_t は満 t 歳の殻長(mm)、 L_{∞} は計算上の最大殻長(mm)、 t_0 は定数である。

表 4-3-1 クロアワビの採集場所と年齢別調査個体数

採集場所	採集年月	調 査 個 体 数				合計
		2+ 歳	3+ 歳	4+ 歳	5+ 歳	
橋湾長島	1983 年 11 月	11	8	2		21
由岐町阿部	1991 年 3 月		12	5		17
牟岐町オオバ	1983 年 12 月～1985 年 12 月		26	4		30
牟岐町津島	1992 年 4 月		7	3	4	14

(1) 式から、 t 歳の殻長 L_t と $t+1$ 歳の殻長 L_{t+1} の関係は次式で示される。

$$(2) L_{t+1} = L_{\infty}(1 - \exp(-k)) + \exp(-k) \times L_t$$

4ヶ所の採集地について、各2ヶ所の水域間の成長差を式(2)の傾き($\exp(-k)$)および2ヶ所のデータを込みにした t 歳の殻長の平均値に対する1年後の殻長について共分散分析により比較した。長島地先では、クロアワビを徳島県における本種の産卵期に採集した。採集した個体の中で新たな輪紋を形成中の個体は、この輪紋に基づいて年齢を決定した。一方、縁辺成長量が大きく、輪紋形成の直前と判断した個体については、輪紋数から判断した年齢に1歳を加えて満年齢とした。

クロアワビを採集した水域の植生を知るために、由岐町阿部地先および阿南市橋湾長島では、50×50cm 方形枠を用いて主な出現種の湿重量を調べた。橋湾長島では、1983年11月7～8日に当地区の南岸100mの範囲にほぼ10m間隔に10本のロープを張り、10m間隔で砂地に達するまで海藻を採集した。由岐町阿部では、1988年11月9～11日に、海岸から40m沖に海岸線に沿って10m間隔の6基点を設けた。各基点から50mロープを沖に向けて張り、ラインに沿った10m間隔の6点の枠内に出現した海藻を採集した。両調査水域ともにラインに沿った海底の状態および水深を記録した。牟岐町オオバでは、1986年1月7～8日に海岸の5地点から沖方向へ100mロープを張り、そのラインに沿って10m間隔に海藻の被度を調べた。海藻は亜科以下に分類し、その被度を10%以下、10～50%、50%以上の3段階に分けて記録し、各被度の中央値、すなわち、5%、30%および75%を用いて集計した。また、牟岐町津島では、1992年4月22日に、クロアワビの採集域中央に岸沖方向に張ったロープに沿った水深、海底形状ならびに生育する海藻を記録した。なお、水深はいずれも調査時の測定値を用いた。

結 果

1. 調査水域の植生

4調査区における海底地形と主要な海藻の被度あるいは現在量を図4-3-1に示した。長島地先においてはテングサ *Gelidium* spp. が最も多く生育し、総現存量の39%を占めた。次いで、サンゴモ亜科(有節サンゴモ) *Corallinoidae* とアカモク *Sargassum horneri* がそれぞれ21%を占めた。潮間帯下部に出現したヒジキ *Hizikia fusiforme* と調査水域の広範囲に出現したアカモクはいずれも若い個体であった。これらのホンダワラ属は春から初夏にかけて現存量が極大に達し、優占するので、本研究ではホンダワラ場とした。

由岐町阿部地先においては、アラメが総現存量の88%を占め、平均3,300g/m²の海中林が形成されている水域であるので、アラメ場とした。

牟岐町オオバ地先においては、阿部地先と同様にアラメ極相林が形成されるので、ここもアラメ場とした。牟岐町津島地先においては、浅所の大型転石上に幅狭くホンダワラ類の群落が形成されていた。海岸近くから水深7～8mの海底の大部分を覆う大型転石上にはテングサ属の優占群落が認められる単純な植生から、テングサ場とした。

2. 調査水域間のクロアワビの成長比較

クロアワビの年齢別の殻長および von Bertalanffy 成長式のパラメータを表4-3-2に示した。水域により成長係数 k は0.224から0.771、最大殻長 (L_{∞}) も101mmから187mmと大きく異なった。成長式のパラメータ推定に用いた定差図の回帰直線について、それぞれ2水域間の直線の傾き ($\exp(-k)$) および年間の成長差の統計学的有意差の検定の結果を表4-3-3に示した。回帰式の傾きは、由岐町阿部と牟岐町オオバにおけるアラメ場間および橋湾長島におけるホンダワラ場と牟岐町津島におけるテングサ場間において有意な差は認められなかった。アラメ場とホンダワラ場およびテングサ場間には有意な差が認められた。

図 4-3-1 調査水域の海底地形と主な海藻類の被度と現存量

牟岐町オオバは 1986 年 1 月, 由岐町阿部は 199 年 11 月, 橘湾長島は 1983 年 11 月,
牟岐町津島は 1992 年 4 月に調査

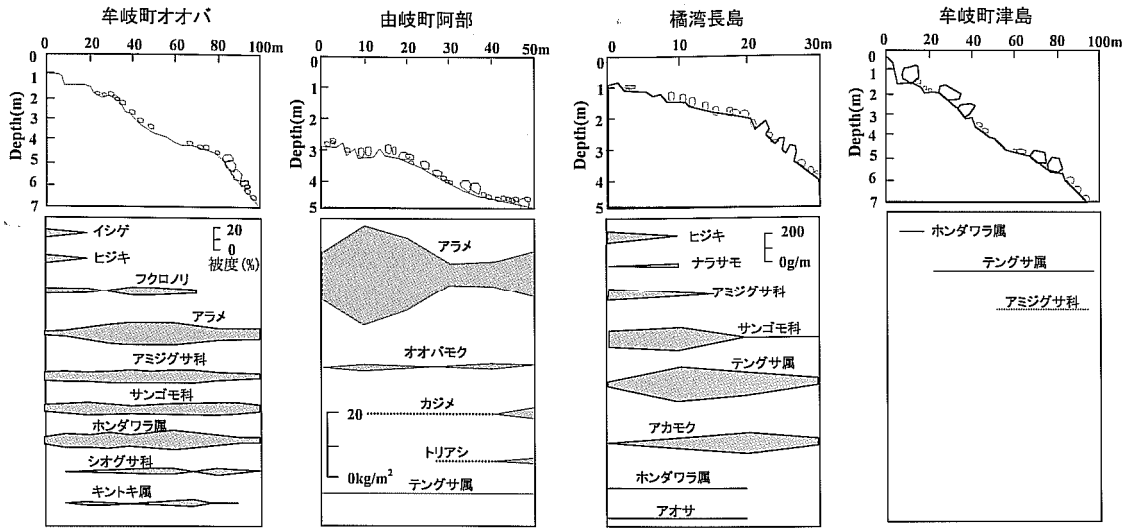


表 4-3-2 年齢と殻長 (mm) および von Bertalanffy の成長式のパラメーター

採集場所	満 年 齢				パ ラ メ タ ー		
	1	2	3	4	最大殻長	k	t ₀
橘湾長島	27.5	72	92.2	102.4	110mm	0.771	-0.623
由岐町阿部	25.6	59	89.1	104.1	186	0.224	-0.283
牟岐町オオバ	21.5	48.6	71.3	81.3	138	0.285	-0.548
牟岐町津島	27.3	53.8	74.9	80.1	101	0.521	-0.590

表 4-3-3 クロアワビの成長係数 (exp(-K), 上段) および修正平均殻長 (下段) の検定結果。
数字は F 値, カッコ内は自由度を示す。

調査場所	由岐町阿部	牟岐町オオバ	牟岐町津島
橘湾長島	17.223(d.f.=1,64)**	20.576(d.f.=1,85)**	3.674(d.f.=1,62)
	8.880(d.f.=1,65)**	105.527(d.f.=1,86)**	60.699(d.f.=1,63)**
由岐町阿部		0.491(d.f.=1,87)	6.114(d.f.=1,64)*
		17.748(d.f.=1,88)**	18.468(d.f.=1,65)**
牟岐町オオバ			5.942(d.f.=1,85)*
			0.180(d.f.=1,86)

*: 5% 水準で有意, **: 1% 水準で有意

1 年間の成長は, 牟岐町オオバのアラメ場と津島のテングサ場間を除いた, 全ての場所間で有意な差が認められた。

4 水域の成長に差が認められたので, 成長差をもたらす年齢を明らかにするため, 2 歳から 3 歳のそれぞれ 1 年間の成長量を図 4-3-2 に示した。満 1 歳までの成長量について平均値の差を 2 水域ごとに全ての組み合わせで検定したところ牟岐町オオバ (アラメ場) 地先の成長量が他の 3 水域に比べ, 5% 水準で有意に小さかった。満 1 歳からの年間成長量は, 橘湾長島 (ホンダワラ場) 地先の成長量だけが他の 3 水域よりも有

意に大きかった。満 2 歳からの年間成長量は, 由岐町阿部 (アラメ場) 水域が他の 3 水域よりも 1% 水準で有意に大きかった。由岐町阿部 (平均値±標準偏差で示す, 18.6 ± 6.9mm), 牟岐町オオバ (同前, 15.4 ± 3.2) および津島 (同前, 9.8 ± 2.6) の 3 水域間の 3 歳からの年間成長量は, アラメ場間 (由岐町阿部と牟岐町オオバ) では有意な差が認められず, アラメ場ではテングサ場 (牟岐町津島) よりも成長量は有意に大きかった。なお, 橘湾長島の 3 歳の年間成長量は 7.6mm (7.0 および 8.2mm) と最も小さかった。

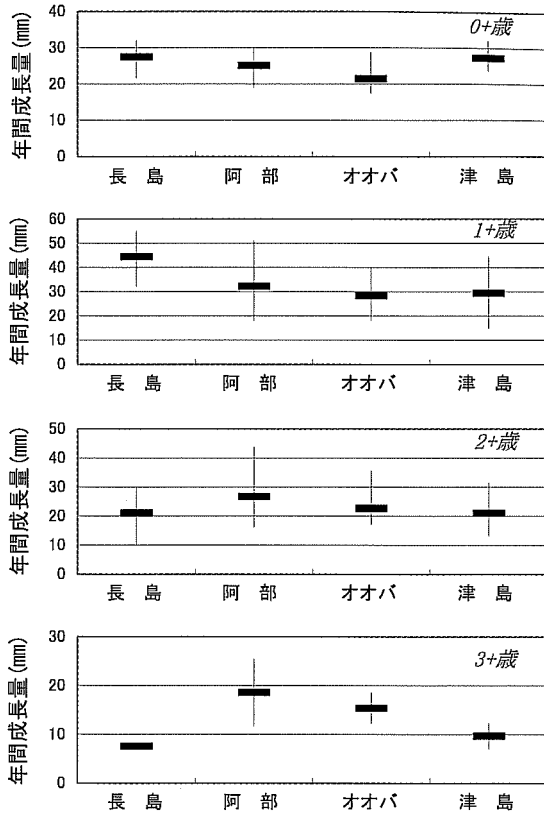


図4-3-2 植生の異なる4水域におけるクロアワビの0+歳, 1+歳, 2+歳および3+歳の年間成長量の比較
横線は平均値, 縦線は標準偏差。橘湾長島はホンダワラ場, 由岐町阿部はアラメ場, 牟岐町オオバはアラメ場, 牟岐町津島はテングサ場。3+歳の長島の年間成長量は2個体(7.0mm, 8.2mm)の測定による。

考 察

カムチャッカアワビでは, 生息域の植生の相違によって成長に差が生じることが報告されている (Sloan & Breen 1988)。本研究の結果, クロアワビも同様に植生によって成長が異なり, 成長差が年齢によって変化することが明らかにされた。すなわち, 満2歳までの成長はホンダワラ場で優れ, テングサ場とアラメ場間では差が認められなかった。前章第3節において, 本種の食性が殻長70~80mmまで表在底生生物と大型褐藻の流れ藻との切り替えが可能であることを明らかにした。しかし, 本研究の結果, 2+歳までは大型褐藻の流れ藻に依存しなくとも十分に成長することが明らかとなった。

満3歳からの年間の成長はアラメ場が優れ, テングサ場およびホンダワラ場で劣った。テングサ属マクサのクロアワビとエゾアワビに対する食物としての価値は低い (藤井ら 1986, Uki *et al.* 1986)。また, 表在底生

生物も3歳以上のクロアワビに十分な食物とならないことが示された。ホンダワラ類が群落を形成し, アラメが生育しない新潟県粟島におけるクロアワビは, 春にワカメを摂食し, 他の季節にはヤツマタモクを摂食して十分に成長することが報告されている (土屋 1980)。橘湾長島で, 3歳の年間の成長が低下した原因として食物不足と漁業による影響が考えられる。*H. laevigata* は場所による植生の差と摂食量が生長に影響するとされる (Shepherd & Hearn 1983)。春季に橘湾長島のクロアワビの胃から新鮮なアカモクが認められたのは, 岩に固着した藻体の岩の側面に接した部分を摂食したと考えられる。クロアワビに対するヒジキとアカモクの食物価値はあまり高くはない (藤井ら 1986)。ホンダワラ類の摂食には海底地形が関与し, また, 流れ藻は気胞により表層を移動し, アワビ類が流れ藻を利用できる機会は少ないと考えられる。漁獲によるLee現象 (小島ら 1977) の可能性もあるが, 十分な資料がなく, 今後明らかにする必要がある。

クロアワビは, 未成熟期には食性の切り替えにより多様な植生において生活できる。しかし, 殻長70~80mm以上に成長した成熟期の個体は, アラメ場において選択的にアラメの流れ藻を探索・摂食する食性へ切り替えることによって, ホンダワラ場やテングサ場よりも優れた成長を示したものと考えられる。アラメ場においては, 生産量が多く, 周年発生する流れ藻 (谷口ら 1989) へ依存を強めるものと判断される。クロアワビは, 未成熟期には大きく移動をしない摂食方法を主に用い, 成熟期に達すると選択的な摂食へと転換する。食性の転換は, クロアワビの移動能力の発達と関連すると考えられるが, 今後の明らかにすべき課題である。大型褐藻の海中林の崩壊は, アワビ類の再生産へ悪影響 (Leighton & Booloottian 1963) を及ぼすとともに資源量を減少させる (河尻ら 1981, Shepherd *et al.* 1998) とされる。したがって, アラメ, カジメ海中林の管理技術や造成技術の開発はきわめて重要な課題として指摘されており (谷口ら 1989, 谷口ら 1995), 本節における結果はその指摘を裏付けるものである。

第4節 成長に及ぼす漁業の影響

クロアワビは, 本章第2節で述べたとおり, 成長は季節的に変化する。1歳以上の個体は夏季から産卵期に貝殻の伸長が停滞し, 産卵期に赤褐色の新しい殻が僅かに形成され, 産卵後に再び貝殻が伸長する。この

産卵期に形成される赤褐色輪紋がクロアワビの年齢形質となることは、小島（1976）により最初に確かめられ、長崎県や千葉県においても同様に年齢形質となることが報告された（市来ら 1977, 市来 1980, 石田ら 1982）。そして、本研究によって、輪紋が年齢形質としての周期性と確実性、ならびに一致性を備えていることが詳細に確かめられた。

漁獲された個体の年齢や成長の調査による漁獲開始年齢や年齢組成などに関する報告があるが（小島ら 1977, 市来 1980, 田中・田中 1980）、漁業が成長に及ぼす影響は 2 歳個体に漁獲による Lee 現象（小島ら 1977）が、7 歳以上の高齢個体に Lee 現象（市来 1980）がそれぞれ現れるとした報告しかない。また、漁業による影響が成長の推定に影響を及ぼすことが指摘されている（金丸ら 1993）。

クロアワビの漁獲データによって年齢と成長との関係を推定するには、補正が必要なことが指摘されている（小島ら 1977）が、十分な検討はなされていない。

これまで、天然貝と放流貝の成長は個々に調査されている（表 2-2-1 参照）が、同一水域において両者の成長を厳密に比較した例はない。本研究では漁獲された天然貝および放流貝の漁業の影響を補正する新たな推定方法を用いて、年級ごとに 2 歳以上の年齢と殻長との関係を推定し、天然貝と放流貝の成長を比較した。

材料と方法

1978 年から 1999 年の 7～9 月にかけて、徳島県由岐町阿部漁協において漁獲されたクロアワビの年齢と殻長を測定した。各漁獲年の操業日数、測定日数および調査個体数を表 4-4-1 に示した。阿部漁協ではプラスチック製籠（8 kg 入り）に入れて出荷するので、調査ごとに出荷籠を 2～4 籠抽出して測定した。まず、天然貝と放流貝を判別し、年輪法による年齢および年輪殻長と最大殻長を測定した。最初に抽出した籠は、満 2 歳以上の年輪殻長を全て測定した。2 番目以降の抽出籠については最外年輪殻長と最大殻長（本研究では以下、漁獲時殻長と呼ぶ）を計測し、3 歳以上の個体はできるだけ 3 歳以上の年輪殻長を計測した。測定した殻長はすべて 5 mm 幅の階級にまとめて解析した。

調査水域には 1980 年以降に徳島県栽培漁業センターで生産されたクロアワビ種苗が放流されている。1981 年に放流された最初の種苗は、1983 年から漁獲さ

表 4-4-1 1978～1999 年の阿部地先におけるクロアワビの操業日数、測定日数ならびに測定個体数

漁獲年	操業日数	測定日数	天然貝 個体数*	放流貝 個体数
1978	57	8	941	
1979	52	7	762	
1980	51	6	738	
1981	52	5	635	
1982	38	6	610	
1983	55	8	821	23
1984	56	8	810	93
1985	53	8	712	79
1986	42	8	761	104
1987	44	8	637	77
1988	44	10	1661	306
1989	37	8	1024	328
1990	35	7	845	483
1991	29	9	977(1)	397
1992	33	10	544	301
1993	35	5	837	233
1994	42	6	691	239
1995	38	5	492(1)	214
1996	40	7	653	189
1997	28	4	548(1)	136
1998	41	7	994	173
1999	26	5	493(1)	185
合計			17186(4)	3560

*：括弧内は年齢不明な個体数

れ、1984 年以降には複数の年級群が混獲されている。放流貝は放流殻長と年輪殻長および漁獲時殻長をすべての個体について測定した。

小島ら（1977）は 2 歳に現れるクロアワビの漁獲による Lee 現象を、漁獲された年齢別個体数を用いて補正した。本研究では年級群について、年齢別漁獲個体数（第 5 章第 2 節で述べる推定値を参照）を用いて年齢別殻長組成を復元し、年級群毎の年齢別の殻長の平均値を推定した。また、ある年級群の漁獲された個体数から過去の個体数を復元するには年間の生残率が必要となる。本研究では 2 歳以上の生残率は、井上（1976）が南方系アワビについて 0.7～0.8 とした値のうち、クロアワビの寿命が 10 年であることから 0.7 とした。すなわち、ある年級群の i 歳時の年齢組成は、同一年級の i 歳から最高年齢まで、それぞれの年齢について復元した i 歳時殻長組成の合計値とした。また、調査水域における海士漁業の漁期は 7～9 月で、産卵期は 11～12 月である。夏季から産卵期にかけて本種の貝殻の成長はほぼ停止する（小島 1975, 本章第 1 節参照）ので、漁期は満年齢時の 2～5 ヶ月前であるが、漁獲時殻長は満年齢時殻長と差がないとして扱った。

また、1989 年漁期に漁獲された 490 個体の殻長と体

重を測定して殻長と体重のアロメトリー式を推定した。なお、漁獲されたクロアワビについての関係式を得るため貝殻表面の固着生物は剥離せずに測定した。

結 果

1978年から1999年に漁獲されたクロアワビは2+歳から7+歳までの年齢で構成され、1975年から1991年までの17年級群に及んでいた。これらの年級群のうち、1975年、1980年、1985年ならびに1990年の4年級群について、復元した満3歳(2+歳漁獲個体を含む)から満7歳(6+歳漁獲個体)の殻長組成を図4-4-1に示した。3歳ではまだ多くの個体が漁獲殻長下限である90mmに達せず、成長の優れた個体だけが漁獲された。4歳(3+歳漁獲個体を含む)では成長の遅い一部を除く、ほとんどの個体が漁獲対象となっていた。5歳(4+歳漁獲個体を含む)ではほぼ全ての個体が漁獲の殻長下限以上に成長した。

放流個体について、1980年、1985年ならびに1990年の3年級の年齢別に復元した殻長組成を図4-4-2に示した。天然産クロアワビと同様に、3歳で漁獲殻長下限を超える個体は少なく、成長の優れた一部の個

体だけが漁獲された。4歳では大半の個体が漁獲の殻長下限を超え、5歳以上になると、天然貝と同様にほとんどの個体が漁獲対象に成長した。天然産および放流貝のいずれも年齢ごとの殻長範囲が広く、殻長組成は年齢が異なっても著しく重複した。

天然産クロアワビの1975～1991年級群の年齢と殻長(平均値±標準偏差)との関係を表4-4-2に示した。2歳では51.5～59.3mm(平均55.0mm, 以下同様に平均値を示す), 3歳では79.7～87.9mm(83.5mm), 4歳では97.1～106.0mm(101.9mm), 5歳で108.7～118.1mm(113.6mm), 6歳で119.4～121.8mm(122.6mm), 7歳で111.6～129.5mm(128.3mm), 8歳で117.5～142.5mm(134.0mm)であった。標準偏差は2歳から6歳で、8～11mmの範囲にあった。4歳における標準偏差がどの年においても最小となった。

放流個体の1980～1991年級群の年齢と殻長(平均値±標準偏差)との関係を表4-4-3に示した。2歳では44.9～56.1mm(平均50.2mm, 以下同様に平均値を示す), 3歳で72.1～86.6mm(79.1mm), 4歳で89.4～101.6mm(98.0mm), 5歳で105.7～118.1mm(109.5mm), 6歳で110.7～110.7mm(120.1mm), 7

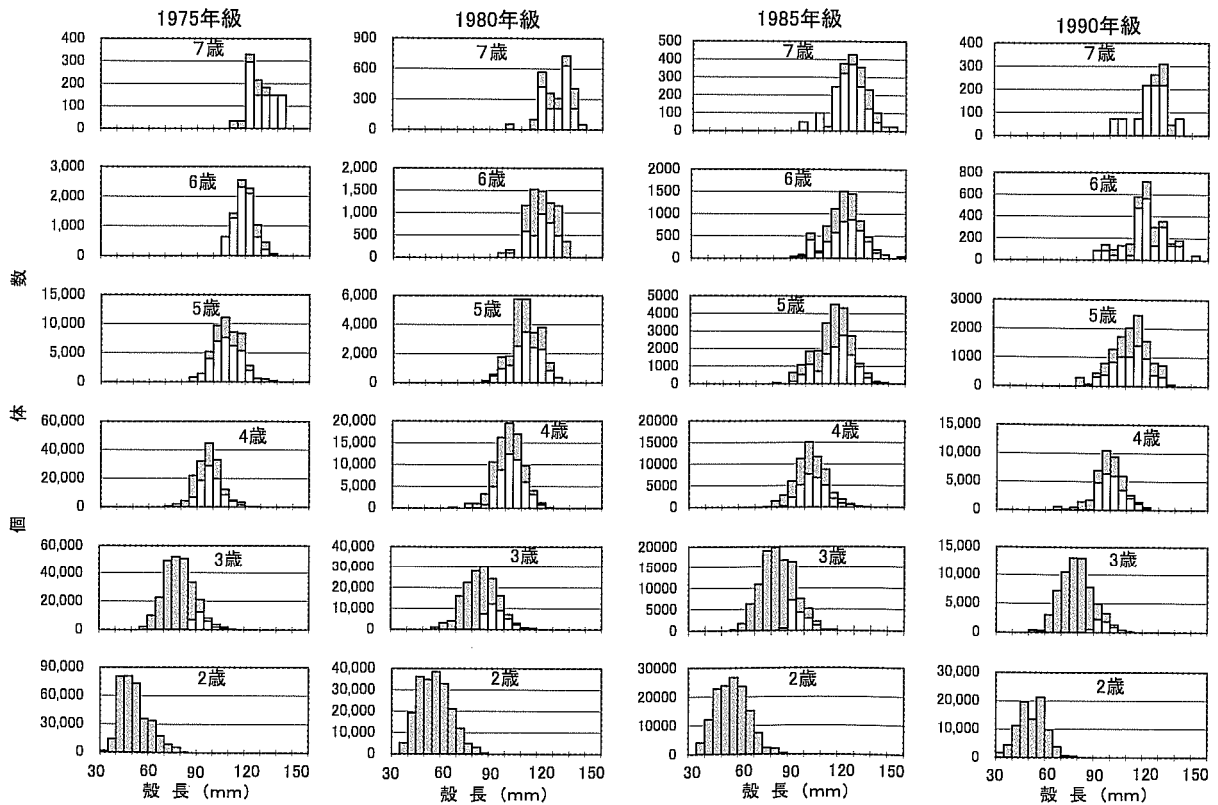


図4-4-1 天然産クロアワビの1975年級群、1980年級群、1985年級群および1990年級群の2歳から7歳の復元殻長組成。白の棒グラフは、7～9月に漁獲された個体の殻長組成。漁期は満年齢時より2～4ヶ月早い。この間の成長はほぼ停止するので満年齢の殻長に含めた。

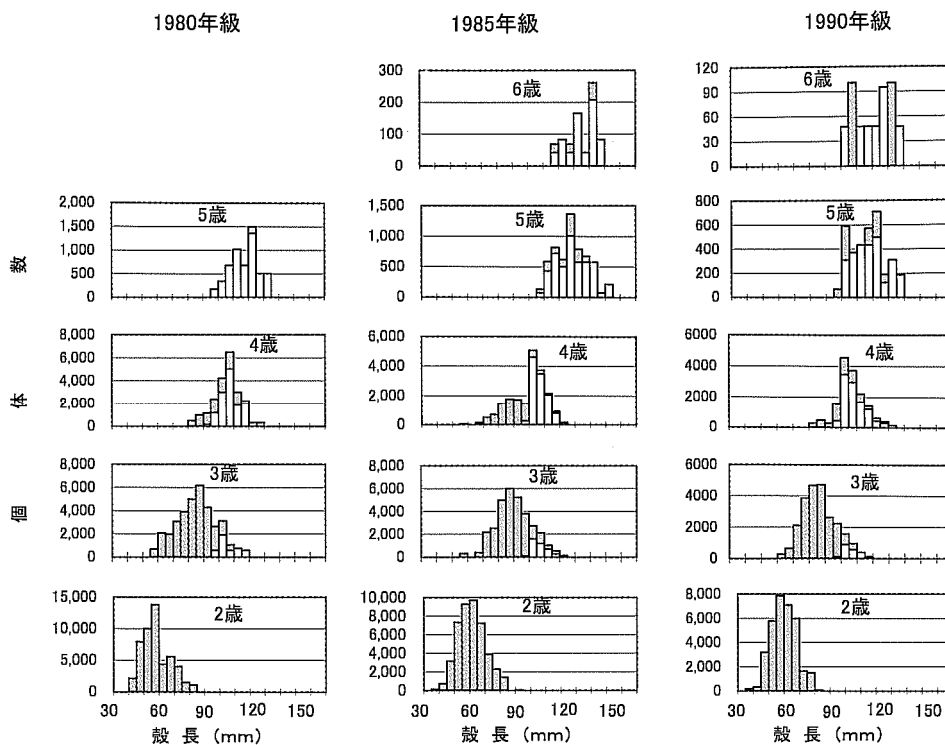


図 4-4-2 放流クロアワビの 1980 生産年級群, 1985 生産年級群および 1990 生産年級群の 2 歳から 6 歳の復元殻長組成。白の棒グラフは, 7~9 月に漁獲された個体の殻長組成。漁期は満年齢時より 2~4 ヶ月早い。この間の成長はほぼ停止するので満年齢の殻長に含めた。

歳で 112.5 ~ 147.5mm (125.3mm) であった。5 歳までの殻長の標準偏差は 8 ~ 11mm の範囲にあり, 4 歳で小さくなることは天然貝と同様であった。

天然貝 17 年級群と放流貝 12 年級群の年齢と殻長との関係を von Bertalanffy の成長式にあてはめて次式が得られた。

$$\text{天然貝: } L_t = 138.8 (1 - \exp(-0.411 (t - 0.774)))$$

$$\text{放流貝: } L_t = 138.1 (1 - \exp(-0.392 (t - 0.862)))$$

ここで, t は年齢 (2 ~ 7 歳), L_t は満 t 歳の殻長 (mm) である。年齢と殻長の平均値および von Bertalanffy 成長式による成長曲線を図 4-4-3 に示した。天然貝が放流貝より僅かに成長が速かった。

本研究を行った阿部地先における天然産および放流クロアワビの年齢と殻長との関係, および他水域におけるクロアワビの年齢と殻長との関係を表 4-4-4 に示した。千葉県地先における生後 1 年間の成長は 34mm で, 徳島県日和佐町および由岐町阿部ならびに長崎県宇久島の 22 ~ 27mm に比べ優れていた。しかし, 1 歳から 4 歳にかけての年間成長量は, いずれの水域においても大きな差は認められなかった。本研究における 4 歳以降のクロアワビの年間成長量は, 千葉県

産および長崎県産クロアワビに比べて明らかに小さかった。また, クロアワビの資源が高い水準にあった 1970 年代の徳島県の例に比べても 4 歳以降の年間成長量は小さかった。本研究では成長係数 k が 0.392 ~ 0.411 で, 他水域の 0.185 ~ 0.272 に比べて大きい。そして, 最大殻長 L_∞ は 138 ~ 139mm と, これまでの報告が 164 ~ 207mm であったのに対して小さかった。

漁獲されたクロアワビの殻長と体重の関係を図 4-4-4 に示した。殻長と体重の関係は次式で示された。

$$w = 4.21 \times 10^{-5} \times 10L^{3.267}$$

ここで, w は体重 (g), L は殻長 (mm) である。

考 察

放流貝の満年齢殻長の平均値は, 天然貝に比べて 2 ~ 5 歳で 4 ~ 5mm, 6 ~ 7 歳で 2.5 ~ 3.0mm 小さいと推定された。放流貝の多くは満 1 歳頃に放流されたので, 満 1 歳から満 2 歳までの成長差がそのまま満 5 歳まで維持されたと考えられる。本章第 2 節において推定された放流作業にともなうハンドリングや放流初期に受けるストレスなどが放流から 1 年間の成長量に大きな影響を与えたと考えられる。そして, 満 2 歳から

表 4-4-2 阿部地先における 1975～1991 年に発生した天然産クロアワビの年齢と殻長の関係
上段は殻長の平均値 (mm)，下段は標準偏差

発生年	年 齢						
	2	3	4	5	6	7	8
1975	51.5 9.1	79.7 9.3	97.1 7.9	108.7 8.7	119.4 6.5	129.5 7.9	142.5 9.4
1976	53.4 9.0	81.0 9.2	99.1 8.3	110.1 8.7	119.5 9.8	128.5 7.4	130.8 9.4
1977	57.1 9.5	83.6 9.2	99.1 7.6	112.4 8.4	123.2 7.8	128.2 4.8	122.5 5
1978	56.9 10.5	84.1 10.1	102.3 8.7	114.5 8.6	124.9 7.5	133.6 7.0	135.8 6.2
1979	54.1 9.5	84.6 10.0	103.3 8.7	115.9 9.0	124.6 8.5	134 7.8	144.2 2.4
1980	56.7 10.0	85.5 10.3	102.3 8.7	112.3 8.9	122.2 8.4	131.7 8.8	135.6 12.3
1981	56.5 10.6	87.3 11.4	104.0 9.1	114.6 8.1	123.6 8.1	129.8 7.3	140.0 7.5
1982	54.4 9.1	82.7 9.7	103.4 9.2	118.1 9.0	127.0 9.5	135.6 8.3	140.0 9.0
1983	53.8 8.9	87.3 9.9	106.0 9.4	116 9.7	123.4 10.9	126.6 10.6	129.1 8.2
1984	59.3 10.5	87.9 11.2	104.0 10.0	116.9 11.2	127.8 11.2	128.6 12.0	130.9 10.5
1985	56.6 9.8	84.3 10.1	103.6 9.2	116.6 10.8	122.6 10.8	126.7 10.2	134.6 6.5
1986	52.3 9.4	83.2 10.7	104.1 10.7	114.2 10.4	121.7 9.7	128.4 9.1	136.3 7.9
1987	58.4 11.4	86.6 12.2	102.5 10.3	112.3 10.6	119.8 11.4	124.9 10.4	135.5 9.3
1988	56.4 9.0	82.0 9.5	99.8 9.5	110.5 11.0	121.0 12.1	133.5 9.7	
1989	52.5 9.0	80.7 10.0	100.1 9.5	111.5 10.5	122.2 10.9	111.6 10.2	117.5 0.0
1990	52.2 8.5	79.7 10.0	99.5 9.3	112.8 11.3	121.8 12.4	125.7 10.0	137.5 3.5
1991	52.9 9.0	81.2 10.5	101.8 9.8	113.4 10.0	119.9 9.9	124.1 9.1	131.8 7.3
平均	55.0	83.6	101.9	113.6	122.6	128.3	134.0
標準偏差	2.4	2.7	2.4	2.6	2.5	5.5	7.0

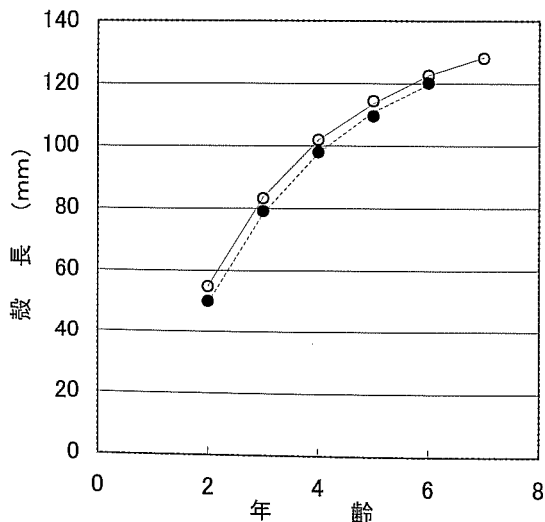


図 4-4-3 クロアワビの年齢と殻長の関係。
白丸は 1980～1991 年級群の天然貝，黒丸は 1980～1991 年級群の放流貝のそれぞれ平均値，曲線は von Bertalanffy 成長式にもとづく。

表 4-4-3 阿部地先における 1980～1991 年生産クロアワビ種苗の放流後の年齢と殻長の関係
上段は殻長の平均値 (mm)，下段は標準偏差

発生年	年 齢					
	2	3	4	5	6	7
1980	48.2 9.3	75.5 13.3	95.4 8.9	107.5 9.0	127.5 0.0	
1981	49.7 10.2	79.9 11.6	97.0 9.0	108.8 9.6	124.4 9.0	147.5 5.0
1982	44.9 8.0	74.6 10.2	101.6 9.1	113.4 9.1	123.2 10.9	117.5 0.0
1983	47.1 11.0	81.6 12.8	99.4 9.9	110.4 10.6	123.8 15.9	125.0 17.6
1984	54.8 7.8	83.0 10.8	98.7 10.0	108.6 11.3	119.5 13.7	127.5 10.1
1985	51.5 9.1	80.5 11.6	89.4 11.6	118.1 10.6	124.9 9.3	127.5 9.4
1986	47.9 8.2	79.4 10.7	102.4 9.7	109.9 10.0	117.0 12.2	130.0 2.5
1987	54.0 9.1	86.6 11.0	100.8 9.5	108.6 9.5	123.3 9.8	
1988	56.1 8.5	83.2 9.7	99.9 9.3	109.0 11.4	114.1 12.1	127.5 0.0
1989	49.4 8.5	76.4 9.1	96.7 8.4	105.7 9.0	114.2 6.9	122.5 0.0
1990	49.9 8.1	76.6 10.6	96.7 8.9	107.2 10.6	110.7 11.4	112.5 15.1
1991	49.2 9.4	72.1 10.8	98.0 9.5	107.1 10.0	118.0 8.3	115.0 7.5
平均	50.2	79.1	98.0	109.5	120.1	125.3
標準偏差	3.3	4.2	3.4	3.3	5.3	9.8

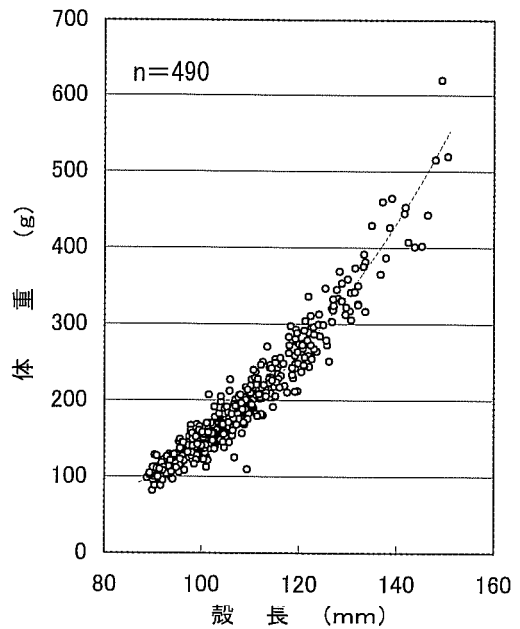


図 4-4-4 殻長と体重の関係
阿部地先で漁獲されたクロアワビ

表 4-4-4 クローアワビの年齢と成長、成長係数 k および最大殻長 L_{∞} の比較
 上段は満年齢殻長 (mm)、下段 (斜字体) は満年齢から 1 年間の成長 (mm)
 漁獲殻長下限は、千葉県 120mm、長崎県 100mm、徳島県 90mm

調査水域	年 齢							成長係数 k	最大殻長 L_{∞}	研究者	
	1 歳	2 歳	3 歳	4 歳	5 歳	6 歳	7 歳				
長崎県	宇久	27.1	56.8	82.9	103.9	121.3	135.8	147.8	0.185	207.0	市来 (1980)
		29.7	26.1	21.0	17.4	14.5	12.0				
千葉県	川口	33.7	66.7	91.9	111.1	125.9	137.2	145.8	0.268	173.9	田中 (1988)
		33.0	25.2	19.2	14.8	11.3	8.6				
	川下	33.8	68.0	94.1	113.9	129.1	140.6	149.4	0.272	177.5	
徳島県	日和佐	22.3	56.7	82.9	102.9	118.1	129.7	138.6	0.271	167.0	小島ら (1977)
		33.8	26.8	20.0	15.2	11.6	8.9				
	阿部	22.3	54.4	80.3	101.1	117.9	131.5	142.4	0.215	188.0	
徳島県	阿部		55	83.6	101.9	113.6	122.6	128.3	0.411	138.8	本研究
	(天然貝)		28.6	18.3	11.7	9.0	5.7				
	阿部		50.2	79.1	98.0	109.5	120.1	125.3	0.392	138.1	
	(放流貝)		28.9	18.9	11.5	10.6	5.2				

満 5 歳の放流貝は天然貝の成長と大きな差がなく、水深の浅い放流水域での漁獲率が高く、後述 (第 5 章第 2 節参照) するように、2⁺~4⁺歳の成長の優れた個体ほど早く漁獲されるので水域全体では放流貝が早く漁獲され、満 2 歳から満 5 歳にかけて成長差が 1mm ほど小さくなり、6 歳以降の成長差のさらなる縮小をもたらす原因と考えられる。

千葉県産クローアワビは生後 1 年で殻長の平均値が 34mm に達し (田中 1988)、徳島県日和佐町と由岐町阿部 (小島ら 1977) および長崎県宇久島 (市来ら 1977) の 22~27mm に比べ成長が速い。1 歳から 4 歳の年間成長はいずれの水域でも大差は認められない。しかし、本研究における 1980~1990 年代の徳島県産クローアワビの成長は、5 歳以降になると千葉県産、長崎県産ならびに 1970 年代の徳島県産クローアワビに比べて遅かった。徳島県では漁獲の殻長下限が 90mm であるのに対し、長崎県では 100mm、千葉県では 120mm である (青森県ほか 1990)。そのため徳島県では、2⁺歳で漁獲対象群に加入し、3⁺~4⁺歳が主要な漁獲対象となり、成長の優れた個体ほど若齢で漁獲される。これに対して、長崎県宇久島では 5 歳から漁獲され、主に 6~8 歳が漁獲の 70% を占める (市来 1980)。千葉県では 120mm に達するのに 3~5 年かかり、漁獲主群は 4~6 歳である (田中・田中 1980)。これら各地の漁獲対象群の年齢と成長との関係から、徳島県で漁獲される 5 歳以上の個体は、それ以前の成長がおくれた個体であると推定される。したがって、5 歳以降の成長が他の 2 県より相対的に小型化する要因は、漁獲の制

限殻長が小型であるために、5 歳に達する以前に成長の速い個体が大部分漁獲され、成長の遅い 5 歳以上の個体を漁獲したためであると考えられる。この傾向は、1980 年代後半からの資源量の減少にともない、漁獲努力量が上昇したためにより明瞭になっていると考えられる。

成長に遺伝形質が関連する (河原ら 1999) とすれば、現在の産卵主群が、人為淘汰により遺伝的に成長の劣る個体から構成されている可能性が考えられる (メルボルン大学 Day 博士私信)。この事実は、漁獲下限の殻長を現在より大型化する必要性があることを示唆している。今後、成長に関連する遺伝形質や漁獲との関連、個体成長と個体群の平均的な成長との関係など明らかにする必要がある。

第 5 節 考 察

クローアワビの年齢形質である年輪は、主に 1 歳が 10 月、2 歳が 10~11 月、3 歳が 11 月に形成され、未成熟の個体と成熟した個体の年輪形成因が異なっていることが示唆された。これらの輪紋形成の周期性、一致性、確実性が本研究によって明確に証明され、輪紋法がクローアワビの年齢査定に有効であることが再確認された。また、成熟した個体の輪紋形成が水温の年変動による産卵期の年変動に関係することが本研究によって明らかとなった。赤褐色の輪紋形成期が産卵終了期とほぼ一致し、産卵回数が殻長 (年齢) により異なるので殻長 90mm 以下では年輪形成期が早く終了すると推定される。

1+歳の放流貝は冬季には130 μ m/日成長するが、夏季には40 μ m/日に低下し、日成長量が水温に強く依存することが分かった。また、7～10月に放流した個体は同年齢の7月以前の放流個体に比べて年輪数が1本少なくなる。このことは年輪法による放流貝の調査に際し注意が必要である。

移動力の小さい未成熟期のクロアワビは、非選択的な表在底生生物の摂食と選択的な多細胞藻類の摂食との食性の柔軟性によって多様な植生環境で生存を可能にしたと判断できる。また、殻長70～80mm以上に成長するとアラメ場での成長が優れたことは、本格的な成熟年齢に達したクロアワビは周年にわたり供給され

るアラメの流れ藻（谷口ら1989）への依存を強めることで成熟と成長に必要なエネルギーを確保していると判断される。

本研究では、漁獲には強い殻長選択性が働くので、漁獲物の年齢殻長データから新たな補正法に基づいて年級毎の成長を推定した。その結果、1970年代の阿部地先の成長や千葉県、長崎県の成長を比べ、2～3歳においては成長差を認めないが、1980年～1990年代には4歳以上になると明らかに小型化した。このことは、近年の資源量低下、漁獲圧力の増大が原因であり、漁獲殻長下限の引き上げが必要なことが明らかとなった。