

対馬沿岸におけるサザエの
資源生物学的研究

藤 井 明 彦

1998

目 次

緒 言	72
第1章 年齢と成長	72
材料および方法	72
結果	73
考察	76
第2章 成熟	78
材料および方法	78
結果	79
1 GSIの周年変化	79
2 卵径分布	79
3 生殖細胞の成熟過程	79
4 生殖腺の各発達段階の月別出現率	83
5 生殖腺の発達段階とGSIの関係	84
6 殻高別の成熟率	84
7 孕卵数	85
考察	85
第3章 分布	86
調査方法	87
結果	88
1 稚貝の垂直分布	88
2 成長に伴う移動	89
考察	90
第4章 摂餌と被食	90
第1節 摂餌	91
材料および方法	91
結果	92
1 各種海藻に対するい集と摂餌	92
2 微小藻類存在下での海藻に対する摂餌量の変化	93
考察	94
第2節 被食	95
材料および方法	95
結果	96

1 実験Ⅰ：12種の海産動物による捕食	96
2 実験Ⅱ：6種の海産動物による捕食サイズ	97
3 実験Ⅲ：ヤツデヒトデによる各種巻貝の捕食	97
4 実験Ⅳ：水槽底面の形状とヤツデヒトデによる捕食の関係	97
考察	98
第5章 加入と生残	99
第1節 資源特性値の推定	99
材料および方法	99
結果	101
1 標識放流実験Ⅰ：放流サザエの生残	101
2 標識放流実験Ⅱ：素潜り漁業におけるサザエのサイズ別漁獲率	101
考察	105
第2節 資源診断	106
材料および方法	106
結果と考察	107
第6章 サザエ増殖技術への提言	108
謝辞	109
文献	109
要約	111
Summary	113

緒 言

サザエ *Batillus cornutus* は、日本近海に分布するサザエ類の中で、また、岩礁域に分布する巻貝としても重要な水産資源となっている。

その分布は、暖海域に限られるものの、北海道以南から九州南部までと広い。

漁獲方法は、素潜り、潜水器、鉾突き、刺網等で、長崎県の漁獲量の約70%は素潜り漁業によるが、近年は刺網漁業による漁獲量が増加傾向にある。

長崎県の漁獲量は、1982年までは1,500 t 前後で推移したが、1983年以降急減し、1989年には467 t まで低下した。しかし、1990年以降は再び増加傾向に転じ、1995年には1,788 t まで回復した。漁獲量が大きな変動を示した原因については不明であるが、サザエは浅海域に生息し、隠れる習性に乏しい等漁獲されやすい生態的特徴と価格が急騰したこともあって、減少原因には、漁獲がかなり影響していたものと考えられた。今後、資源を安定的に維持し利用するためには、漁業管理や種苗放流等による増殖技術の開発が重要な課題である。

サザエの増殖技術に関する研究については、宇野(1962)が移殖の効果を論じたのが最初で、その後、静岡県伊豆において野中や伏見ら(1971, 1972, 1978, 1980)によって漁獲変動と卓越年級群との関係が、また、影山ら(1980)によって漁獲努力量の規制効果の事例が紹介された。一方、人工種苗の生産技術の開発に関する基礎研究が1960年代から始められ(阿井ら, 1964; 阿井, 1965)、量産化へ向けた研究(角田ら, 1986; 岡部ら, 1989)が行われた。その結果、各地で数十万レベルのサザエ稚貝の種苗生産および放流がなされるようになった。その後、葭矢(1990)は京都府の若狭湾を中心に、サザエの生態的特性および人工種苗放流実験の結果を基に効果的な種苗放流の方法について検討し、栽培化の可能性を示唆した。これまで積み重ねられた業績はサザエの増殖技術を開発するにあたっては大きな知見をもたらした。特に葭矢(1990)の報告は、種苗放流による増殖技術を提示した。

しかし、漁業管理に必要な生物学的知見の蓄積は十分とはいえず、さらに、サザエには成長に地域差がみられるとする宇野(1962)の報告からすると、

各地域で十分な資源生物学的研究を行い、得られた知見に基づく資源の適正な利用方法を検討する必要がある。長崎県のような漁獲量が1,000 t レベルの主要産地の資源を、種苗放流によって維持し増大させるには、数百万個レベルの種苗が必要となる。しかし、磯根資源としてサザエの価格に比べ5~10倍と高いアワビを対象に、種苗放流による増殖を進めている現状では、アワビに加えサザエの種苗を量産し放流するには、種苗生産施設の競合や規模の拡大、種苗の生産コストの受益者(漁業者)負担、さらには経済効果等解決や検討を要する問題が多い。そこで、本研究では、長崎県の漁獲量の40%以上を占め、主産地となっている対馬において、サザエの成長、成熟、分布等の生物学的特性や主要漁業である素潜り漁業の特性等の資源の増殖や管理技術の開発に必要な基礎的知見を明らかにした。

第1章 年齢と成長

個体群の年齢と成長に関する情報は、群構造とその動態を理解する上で重要であり、資源の増殖や管理技術の開発には不可欠な基礎的知見となる。このような観点から、本章では対馬沿岸におけるサザエの成長を明らかにすることを目的とした。

サザエの成長については、阿部(1952)、網尾(1955)、宇野(1962)は殻や殻蓋に年齢形質を求め研究を行っている。しかし、これらに使用された形質に認められた年齢標示は、長崎県等の南方海域では出現率が低く読みとりにくいため、これらの形質を用いると大きな誤差が生じる恐れがある。これに代わる方法として伏見(1978)は、漁獲物の殻高組成を基に年齢と成長の関係を推定した。この方法では多数の標本を統計的に処理することができ、標本の採集に留意すれば導入される誤差も小さくできると考えられる。

そこで、調査漁場において、潜水調査および漁獲物の中から採集したサザエの殻高組成を年齢群に分解する方法によって、成長を推定した(藤井, 1993)。

材料および方法

標本の採集は、1986~1988年に長崎県対馬の厳原町阿連地区と上対馬町鰐浦地区(Fig.1)で実施し、

阿連ではScubaによる潜水調査（Scuba調査）によって4回、水揚げされた漁獲物から8回の計12回、鰐浦ではScuba調査によって2回、漁獲物から5回の計7回行い、合計4,306個体の標本を得た（Table 1）。

Scuba調査は、閑漁期において加入サイズ以下の小型貝の採集を主目的として行った。漁獲物からの採集は、操業期間中、原則として毎月1回行うこととし、阿連では刺網と素潜り漁業が行われる3～8月、また鰐浦では鉾突き漁業が行われる12月および1月と、素潜り漁業が行われる8月に実施した。

標本の測定は、殻高と体重について行い、各標本毎に殻高組成を求めた。殻高組成のモード群への分解は、堤・田中の方法（1987）を用いた。分解された各モード群の年齢は、それらの平均殻高を阿連地区の調査漁場における放流貝の成長と比較して特定した。このようにして各モード群を年齢群に読みかえ、それらの平均殻高を追跡して成長を推定した。放流貝の成長は、長崎県水産試験場増養殖研究所で1984年10月に採卵し飼育した稚貝（平均殻高26.1mm, 1.7才貝）1,000個体を、1986年7月に放流して約2ヵ年間追跡した。

殻高と体重の関係は、阿連の6標本（1986年6,10月, 1987年3, 6, 8月, 1988年5月）の内の1,159個体、殻高

と殻蓋長径の関係は、同じく阿連の1986年10月の標本の内の96個体の測定結果に基づいてそれぞれの関係式を求めた。

結 果

各標本の殻高組成をモード群へ分解した結果の一部をFig.2, A～Eに示した。Fig.2, Aは、1986年10月に阿連でScuba調査によって得られた標本の結果で、平均殻高18.4mm, 42.5mm, 69.3mm, 84.5mmにモードを持つ4群に分けられた。殻高18.4mmにモードを持つ群は、種苗生産における稚貝の成長からみて1才に、またそれに続く3群は2～4才と推定された。漁獲物から得られた標本についての結果は、Fig.2, B～Eにその一部を示した。阿連の素潜りおよび刺網漁業で漁獲された標本では3つのモード群に分けられた（Fig.2, BおよびC）。上述のScuba調査での結果と比較すると素潜り漁業からの標本で得られた3群のうち、小型の2群は3および4才群と推定され、また刺網漁業からの標本で得られた3群は2～4才群と推定される。種苗生産によって得られた稚貝については、放流後ほぼ4才に達するまでの成長が追跡されているが、5才以上の成長については不明である。ここでは4才群

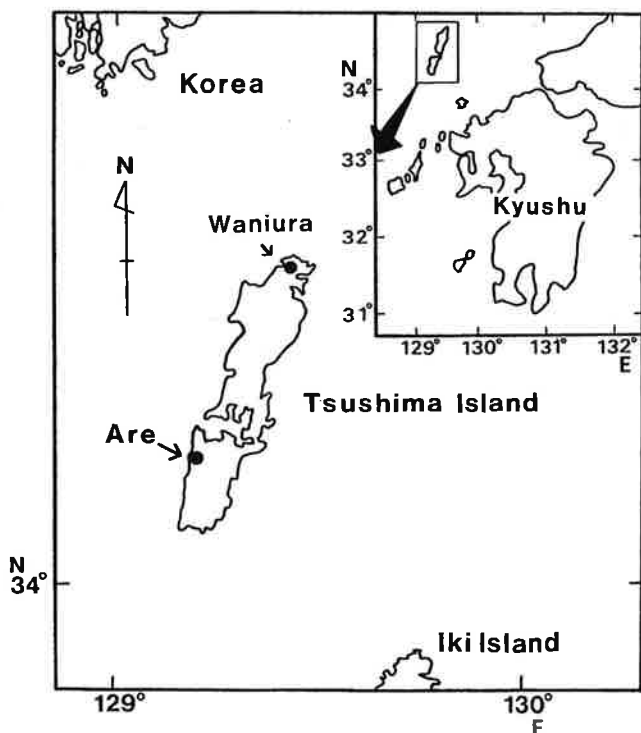


Fig.1. Map showing the Tsushima Island and sampling localities.

Table 1. Summary of sampling

Locality	sample No.	Month	Number of specimens	sampling method
Are	1	'86 Jun.	184	Scuba
	2	'86 Sep.	333	Catch ^{*1}
	3	'86 Aug.	208	Scuba
	4	'86 Oct.	223	Scuba
	5	'87 Mar.	220	Catch ^{*2}
	6	'87 May	200	Catch ^{*1}
	7	'87 Jun.	183	Scuba
	8	'87 Aug.	150	Catch ^{*1}
	9	'88 Mar.	306	Catch ^{*2}
	10	'88 Apr.	307	Catch ^{*2}
	11	'88 May.	300	Catch ^{*2}
	12	'88 Jun.	300	Catch ^{*1}
Waniura	13	'86 Jun.	126	Scuba
	14	'86 Aug.	292	Catch ^{*1}
	15	'86 Aug.	88	Scuba
	16	'86 Dec.	301	Catch ^{*3}
	17	'87 Jan.	250	Catch ^{*3}
	18	'87 Aug.	235	Catch ^{*1}
	19	'88 Jan.	100	Catch ^{*3}

*1 Diving fishery.

*2 Gill net fishery.

*3 Hooking fishery.

に続く大型のモード群を順次5才群, 6才群, 7才群として取り扱った. すなわち, 鰐浦の鉾突き漁業からの標本で得られた4群は4~7才群, また素潜り漁業からの標本で得られた5群は3~7才群として取り扱った (Fig.2, DおよびE).

このようにして, 全ての標本をモード群に分解し年齢群に読みかえた後, 各年齢群の採集時の満年齢を推定した. 満年齢は, 第2章で述べる阿連で行った成熟に関する調査から産卵盛期は6~7月と推定されているので, 発生日を7月1日として, 発生日からの経過日数を1年間365日で除して求め (Appendix table 1), 年齢と殻高の関係をFig.3に示した. サザエの成長は, 0才貝で遅く, 1~3才で速く, 4才以降遅くなった. この傾向はLogistic曲線に適合するこ

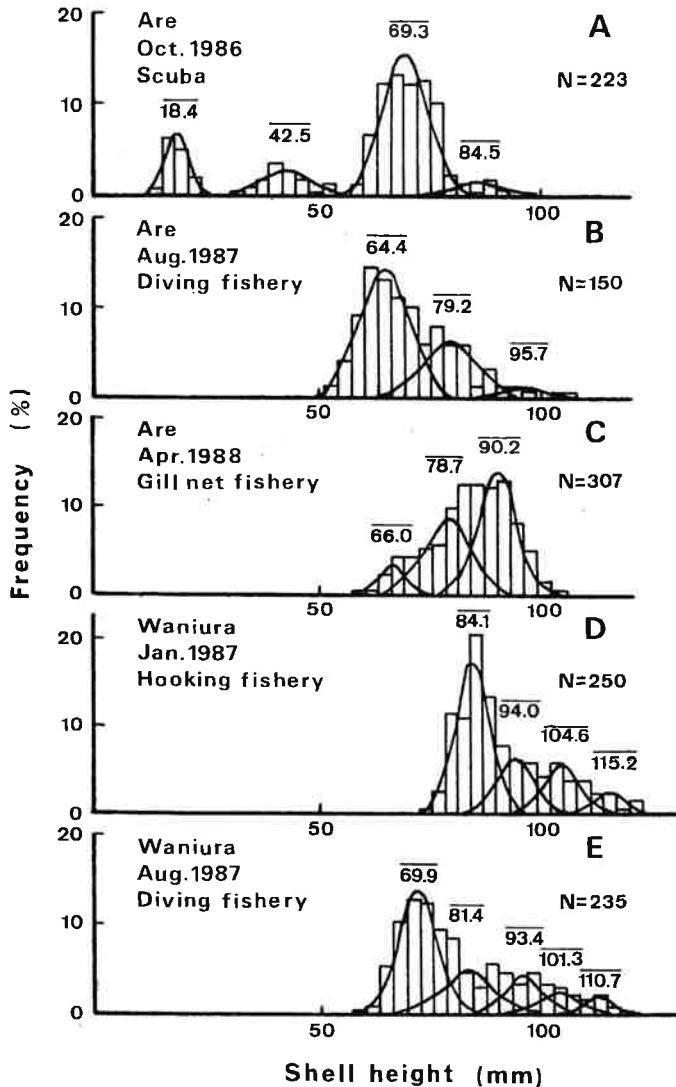


Fig.2. Illustration of shell height composition divided into modal groups.

とからRobertsonの成長式への当てはめを行った. この際, 年齢は同一年齢群毎に平均値を求め, 殻高は年間の成長がほぼ直線に近似するとして平均値で求めた. 成長式は, 年齢群が明瞭に区分できた阿連では0~5才, 鰐浦では1~6才の値を用いて, 残差平方和が最小になるまで各係数を変化させて繰り返し計算を行う方法によって求めた. その結果, 阿連では,

$$SH_t = 91.7 / \{1 + e^{(3.42 - 1.50t)}\}$$

鰐浦では,

$$SH_t = 102.7 / \{1 + e^{(2.42 - 0.92t)}\}$$

(SH: 殻高mm, t: 年齢)

の成長式を得た (Fig.4).

得られた両地区での成長では, 理論的最大値は相違したが, 漁獲の中心を占める3~5才貝の成長をみると, 阿連で殻高68.5, 85.2, 90.2mm, 鰐浦で60.0, 80.0, 92.3mmとほぼ近似しているのので, 両地区の1~5才貝の標本を合わせて, 対馬沿岸における成長式を求め,

$$SH_t = 93.0 / \{1 + e^{(2.91 - 1.27t)}\}$$

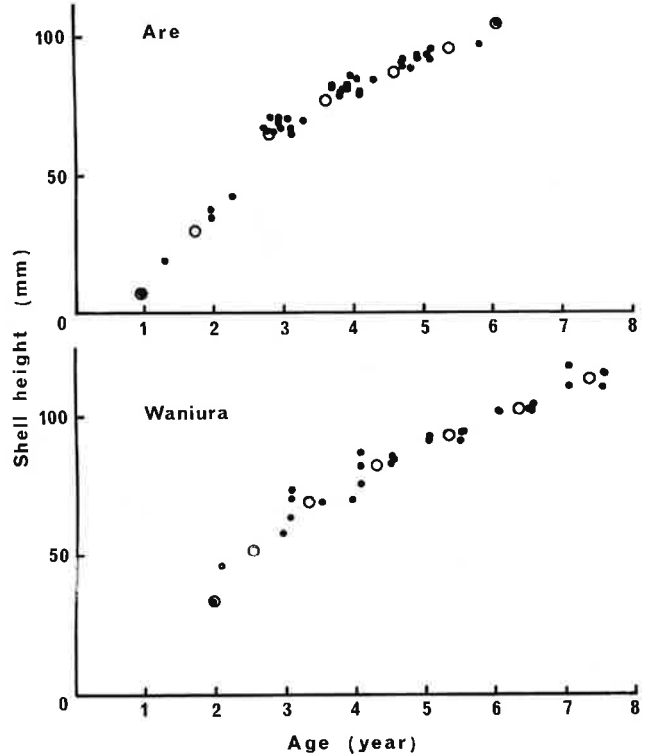


Fig.3. Relationship between age and shell height of spiny top shell. ○, mean age and mean shell height by age groups. ●, mean age and mean shell height for each sample.

を得た (Fig.5).

また、資源解析で常用される von Bertalanffy の成長曲線にあてはめると、

$$SHt = 109.3 \{1 - e^{-0.3622(t - 0.490)}\}$$

となった。

一方、放流貝の成長の追跡結果は、Table 2 のとおりで、推定された成長曲線と併せてその成長過程を Fig.5 に示した。

殻高と体重の関係および殻高と殻蓋長径の関係は、それぞれ Fig.6, Fig.7 に示す関係式

$$BW = 4.35 \times 10^{-4} SH^{2.85}$$

$$OPL = 0.404SH + 0.982$$

(BW: 体重g, SH: 殻高mm, OPL: 殻蓋長径mm) を得た。

年齢別の殻高と体重および殻蓋長径の計算値は Table 3 に示した。

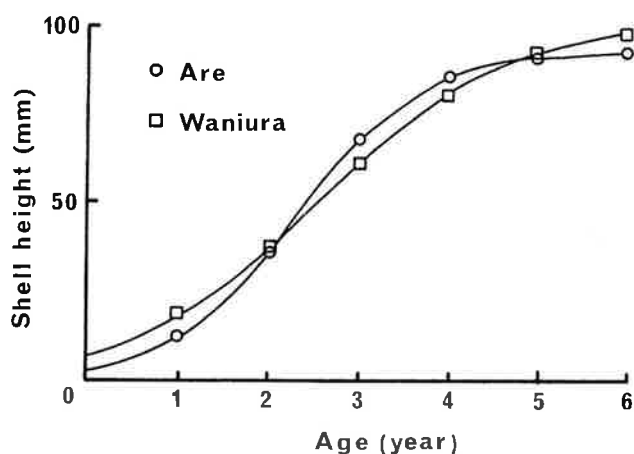


Fig.4. Estimated growth curves of spiny top shell.

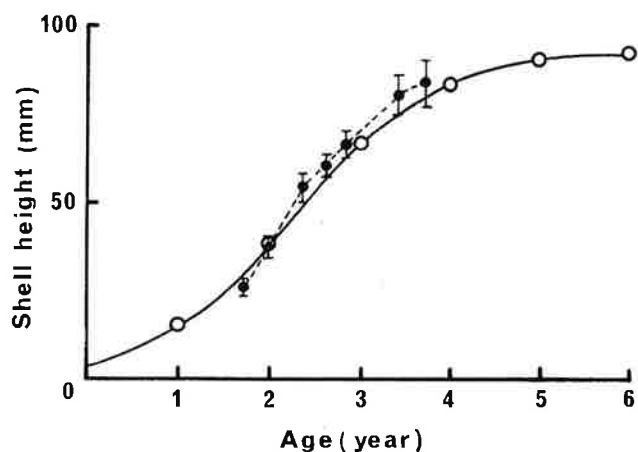


Fig.5. Estimated growth curve of spiny top shell in the waters of the Tsushima Island, based on the combined data from Are and Waniura area (○). The growth data of released seeds in Are area (●).

Table 2. Growth of the released seeds of spiny top shell in the research area, Are from July 1986 to June 1988

Date	Shell height (mm)	Daily increment in shell height (μm)	Number of specimens
'86 Jul. 17	26.1±2.4	—	100
'86 Oct. 18	37.3±3.3	120	43
'87 Mar. 18	54.7±3.6	115	36
'87 Jun. 11	60.8±2.5	72	33
'87 Sep. 8	66.8±4.0	67	30
'88 Mar. 18	81.9±5.4	79	25
'88 Jun. 14	84.4±6.4	29	33

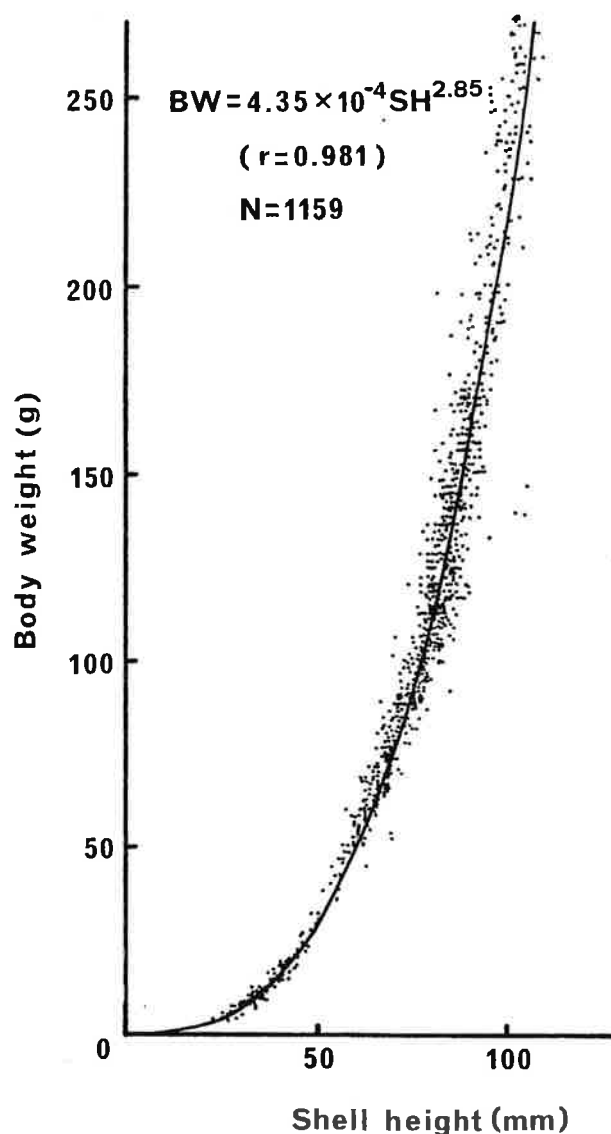


Fig.6. Relationship between shell height and body weight.

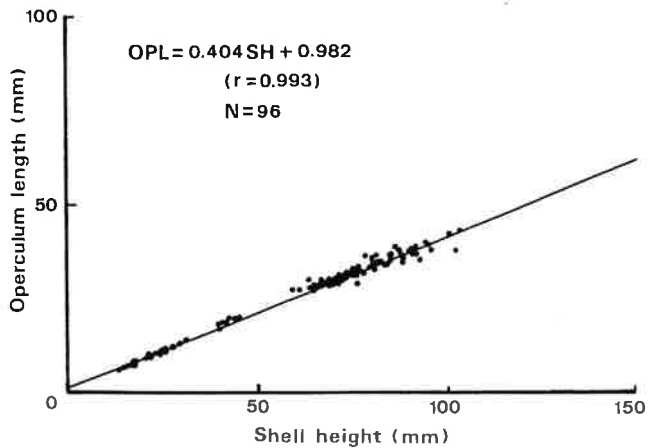


Fig.7. Relationship between shell height and operculum length.

Table 3. Calculated shell height (SH), body weight (BW), and operculum length (OPL) at each age

Age(year)	SH(mm)	BW(g)	OPL(mm)
1	15.1	1.0	7.1
2	38.0	13.8	16.3
3	66.1	67.0	27.7
4	83.5	130.4	34.7
5	90.1	162.0	37.4
6	92.2	173.0	38.2

考 察

本研究の結果、サザエの殻高の成長は、0才で遅く、1~3才で速く、4才以降遅くなる傾向を示した。この成長傾向はLogistic曲線によく適合することから、Robertsonの成長式へ当てはめを行って成長式を推定した。その結果、得られた年齢別の殻高と体重の計算値は1才15.1mm, 1.0g, 2才38.0mm, 13.8g, 3才66.1mm, 67.0g, 4才83.5mm, 130.4mm, 5才90.1mm, 162.0g, 6才92.2mm, 173.0gとなった。一方、放流貝の日間成長量は、殻高50mmまでは季節に関わらず100 μ m以上を示し、殻高50mmを超える頃から60~70 μ mに、80mm以上では約30 μ mと低下した。これは上述の成長傾向と一致し、殻高の実測値は成長式と近似したことから、対馬沿岸域におけるサザエの成長は、得られた成長式によって示し得ると考えられる。またサザエは、第2章で述べる成熟に関

する調査の結果、殻高50mm以上で成熟する個体が多く出現し、この頃から体重も急速に増加するなど、それまで主に殻の成長に向けられていたエネルギーが成熟や体重の増加へと振り向けられるものと考えられる。本研究では、季節毎の放流貝の成長を詳細には追跡していないが、日本海側の成長の特徴とされる冬期の成長の停滞はみられず、殻高50mm以上の個体で生殖腺の成長期に入る3月以降に成長の低下が認められた。冬期の低下が認められなかった点は、調査漁場における水温(第2章)がサザエの生物学的零度とされる13.3 $^{\circ}$ C(角田ら, 1986)を下回る期間を経過することは稀であるためと考えられる。

次に、これまでにわが国の各地で調べられたサザエの成長と本研究の結果を比較した(Table 4)。その成長は場所によって相違し、日本海側では、宇野(1962)の指摘のように成長は水温と高い正の相関を持ち、高緯度に位置する青森や秋田で山口、福岡、長崎に比べて遅い傾向があった。一方、太平洋側と日本海側ではやや太平洋側の方で速い傾向がうかがわれ、これは水温の差によるものと思われた。ただ、0~1才の成長には、各調査地で水温条件と無関係な相違が認められる。これは、これらの貝が小さく採取し難いことや調査の対象が漁獲物を中心に行われており、対象外の小型標本の採集個体数が十分でなかったことによると考えられる。本研究の0~1才のサンプルは、1986年10月と1987年6月のScuba調査で、マクサ等の小型海藻の中および岩盤の穴や亀裂の間を意識的に捜して得られた稚貝で、天然における成長を示し得るものと考えた。なお、これらから得られた稚貝の殻高は、千葉県の小湊で詳細に調査された有節サンゴモ群落内のサザエの初期成長(山崎ら, 1988)や7月に採卵し、1年間飼育した稚貝の成長結果(藤井, 未発表)ともよく近似している。

最後に、採集された漁獲物の年齢組成は、阿連では素潜りと刺網で3, 4才、鰐浦の素潜りでは3~5才、鉾突きでは4, 5才から成ることが分かり、漁獲されるサザエの年齢構成は場所や漁法によって多少異なるが、全般的に見て3才から加入し、3~5才が漁獲の中心になっていることが分かった。また、長崎県の漁業調整規則では、殻蓋長径25mm以下のサザエは漁獲が禁止されている。これは殻高と殻蓋長径との関係式から殻高では60mm以下、年齢では3才未満に相当する。

Table 4. Local growth of spiny top shell in Japan

Locality (Researcher)	Shell height(mm)					
	Age(year)					
	1	2	3	4	5	6
Fukaura, Aomori Pref. (Sugawa <i>et al.</i> , 1982)	26.1	40.3	52.0	61.6	69.4	75.9
Hatake, Akita Pref. (Kakuta, 1991)	12.7	26.5	38.1	47.9	56.1	63.0
Tobishima, Yamagata Pref. (Abe, 1952)	—	31-42	46-50	51-60	61-69	63-73
Kyoto Pref. (Yoshiya, 1990)	10	20	40-50	60-70	80	100
Kiwado, Yamaguchi Pref. (Kakuta, 1991)	26.7	46.9	63.2	76.3	86.9	95.5
Iwaya, Fukuoka Pref. (Hamada <i>et al.</i> , 1989)	25.9	47.4	65.3	84.6	91.7	102.6
Tsushima, Nagasaki Pref. (Fujii, 1993)	15.1	38.0	66.1	83.5	90.1	92.2
Kominato, Chiba Pref. (Uno, 1962)	25.2	50.7	78.1	103.9		
Touji, Shizuoka Pref. (Fushimi <i>et al.</i> , 1978)	49.5	65.3	79.7	92.6	104.3	115.1
Kata, Wakayama Pref. (Kimura, 1990)	20.0	49.1	69.9	85.2	95.4	103.0

Appendix table 1. Mean shell height and mean age by age groups, obtained from analysis of shell height composition for each sample

Locality	Sample No.	Mean shell height ± SD (mm) (Estimated age, year)							
		Age group(year)							
		0	1	2	3	4	5	6	7
Are	1		34.0 ± 5.5 (1.98)	66.5 ± 4.7 (2.98)	86.1 ± 6.0 (3.98)				
	2				70.1 ± 4.4 (3.08)	84.4 ± 6.1 (4.08)	93.4 ± 4.1 (5.08)	104.8 ± 5.0 (6.08)	
	3				66.3 ± 4.6 (3.11)	77.8 ± 3.0 (4.11)	91.3 ± 6.6 (5.11)		
	4		18.4 ± 2.3 (1.30)	42.5 ± 5.5 (2.30)	69.3 ± 4.8 (3.30)	84.5 ± 6.1 (4.30)			
	5				81.4 ± 5.6 (3.72)	91.6 ± 6.4 (4.72)			
	6			65.5 ± 6.6 (2.88)	80.6 ± 5.1 (3.88)	91.4 ± 4.1 (4.88)			
	7	7.0 ± 0.8 (0.95)	37.3 ± 5.4 (1.95)	68.3 ± 5.0 (2.95)	80.6 ± 5.6 (3.95)	92.0 ± 4.6 (4.95)			
	8				64.4 ± 5.4 (3.12)	79.2 ± 5.9 (4.12)	95.7 ± 5.3 (5.12)		
	9			66.5 ± 3.5 (2.72)	81.5 ± 4.9 (3.72)	88.9 ± 5.0 (4.72)			
	10			66.0 ± 2.7 (2.79)	78.7 ± 5.1 (3.79)	90.2 ± 4.3 (4.79)			
	11			70.9 ± 3.3 (2.84)	79.4 ± 3.2 (3.84)	88.5 ± 3.1 (4.84)	96.8 ± 4.5 (5.84)		
	12			70.9 ± 3.7 (2.95)	82.0 ± 3.9 (3.95)	92.0 ± 4.3 (4.95)			
Waniura	13		32.9 ± 4.7 (1.98)	60.8 ± 5.6 (2.98)	72.9 ± 3.4 (3.98)				
	14				63.7 ± 4.2 (3.09)	75.2 ± 4.0 (4.09)	91.1 ± 3.4 (5.09)	101.5 ± 4.6 (6.09)	117.7 ± 2.8 (7.09)
	15			45.9 ± 8.0 (2.10)	73.7 ± 4.9 (3.10)	86.6 ± 6.9 (4.10)			
	16				68.6 ± 2.4 (3.51)	82.2 ± 3.6 (4.51)	90.8 ± 3.3 (5.51)	102.0 ± 3.6 (6.51)	115.6 ± 2.6 (7.51)
	17					84.1 ± 3.7 (4.57)	94.0 ± 2.9 (5.57)	104.6 ± 2.1 (6.57)	115.2 ± 3.2 (7.57)
	18				69.9 ± 4.7 (3.09)	81.4 ± 5.6 (4.09)	93.4 ± 3.8 (5.09)	101.3 ± 4.4 (6.09)	110.7 ± 3.3 (7.09)
	19					85.3 ± 3.5 (4.55)	94.4 ± 2.5 (5.55)	102.6 ± 2.1 (6.55)	109.0 ± 3.1 (7.55)

第2章 成熟

サザエの性成熟に関しては、我が国の太平洋沿岸（山本ら, 1985）や日本海沿岸（網尾, 1955；霞矢ら, 1988；山田ら, 1993）の数カ所さらには韓国沿岸（J. H. Lee, 1980；J. J. Lee, 1983）において成熟度指数の変化や組織学的観察に基づく配偶子の形成過程と成熟状況の季節変化が調べられている。しかし、九州沿岸のサザエについては、これまで生殖に関する詳細な検討はなされておらず、特に、著者が研究対象とする対馬沿岸におけるサザエの生殖年周期を明らかにすることは、資源生物学上重要な課題と考えた。

本章では、1987～1990年にかけて対馬厳原町阿連地区でサザエを採集し、その生殖腺指数（Gonadosomatic index, GSI）および生殖腺組織の季節変化等を調べ、本海域における生殖年周期の特徴、年齢に伴う成熟、産卵数等の資源増殖を図る上で重要な知見を得た（藤井ら, 1997）。

材料および方法

調査は長崎県対馬の厳原町阿連地区で行った（Fig. 1）。材料には、1987～1990年の間、31回に分けて地元漁業者に依頼し、素潜りによって採集された1,544個体のサザエを用いた（Table 5）。採集された標本は、殻高、殻付き重量および軟体部重量をそれぞれ測定後、軟体部のみを直ちに10%中性ホルマリンで固定し保存した。生殖腺重量は中腸腺から剥離後測定した。

1988年11月から1990年9月にかけて採集した標本については、生殖腺の中央部を一部切りとり、組織学的観察に用い、卵巣については、約0.1gを卵母細胞の径の測定および卵巣卵の計数に供した。

組織標本の作製は、常法によって行い、卵巣はセロイジン包埋で8～10 μ m、精巣はパラフィン包埋で5～6 μ mの連続切片を作製し、マイヤー・ヘマトキシリン-エオシン二重染色を施して観察した。さらに、精巣の一部の標本は、樹脂包埋（Technovit 7100, Kulzer）で2 μ mの切片を作製し、1%トルイジンブルー染色を施して観察した。

生殖細胞の成熟過程の観察にあたっては、雌につ

いては山本ら（1985）の5つの段階、雄については富田（1968）がエゾアワビ *Nordotis discus hannai* で示した3つの段階、さらに、生殖腺の発達過程は高丸ら（1981）がヒメエゾボラ *Neptunea arthritica* で用いた4つの段階にそれぞれ準拠した。

卵母細胞の径は、長径と短径を測定して、その平均を卵径とし、標本1個体当たり50個について測定した。

また、卵巣卵の計数は、GSIが高い値を示した時期、1989年は6月上旬～7月上旬、1990年は5～8月の標本について行った。標本は殻高50～100mm未満の個体で、殻高10mm階級毎にGSIが高い値を示した個体から順に10個体ずつを選んだ。計数用の副標本（約0.1g）は、まず丸底の容器で十分ほぐした後、容量を水で100mlに調節した。計数はこの溶液から1

Table 5. Sampling date and number of specimens collected from the research area, Are from 1987 to 1990

Year	Date	Number	Range of shell height(mm)	
1987	Apr. 14	24	76-91	
	May 13	30	72-96	
	May 29	28	75-98	
	June 11	30	73-102	
	July 8	20	70-92	
	Aug. 19	22	71-92	
	Sep. 19	30	71-96	
	Oct. 27	28	71-90	
	Dec. 12	15	72-101	
	1988	Nov. 17	30	56-93
		Dec. 13	30	63-102
	1989	Feb. 27	30	72-103
Apr. 12		30	69-94	
Apr. 26		30	66-104	
May 22		80	33-107	
June 3		80	33-106	
June 20		80	30-113	
July 6		80	34-103	
July 23		80	37-108	
Aug. 4		78	38-145	
Aug. 22		80	38-106	
1990	Sep. 20	30	64-92	
	Oct. 20	30	69-99	
	Apr. 18	59	56-96	
	May 14	60	52-98	
	June 16	80	31-100	
	June 27	77	30-98	
	July 11	85	32-102	
	July 23	81	31-102	
	Aug. 20	54	50-96	
	Sep. 22	53	52-97	

ml, 5回のサンプリングを行い, 計数值の中央3値の平均値を孕卵数とした。なお, 計数の対象は, 卵径170 μ m以上の卵母細胞で, これらの卵は後述のように大型の卵黄球期卵 (Yolk globule stage) および成熟卵を含むが, 同時に観察された卵黄が希薄で油球が癒合した退行過程にあると思われる卵母細胞は除いた。

生殖腺指数 (GSI) は次式により求めた。

$$GSI = 100 \times GW / (BW - GW)$$

ここで, GWは生殖腺重量 (g), BWは軟体部重量 (g) を示す。

調査漁場における水温は, 気象庁福岡管区気象台 厳原測候所が厳原町厳原港の水深1.8mで測定した結果を用いた。

結 果

GSIの周年変化 GSIおよび水温の推移をFig.8に示した。本海域の漁獲物を構成する年齢群は3~5才で, 主群は3, 4才である (藤井, 1993)。そこで, 1989年と1990年の標本については, 殻高の成長結果 (藤井, 1993) から両主群の中間値殻高75mmで3才と4才以上を便宜的に分け, この主群におけるGSIの推移を整理した。なお, 1987年は大型個体のみを採集したことから殻高75mm以上の個体の推移を示した。

GSIは, 4月以降水温の上昇に伴って急速に増加し, 総じて5~7月の間に高い値を示した後, 8月, 年によっては9月以降に低くなった。GSIの推移は雌雄同様な傾向を示した。しかし, 詳細にみると, 各調査年によってそのピークの出現時期や推移には相違が認められた。75mm以上の個体で比較すると, ピークの出現時期は, 1987年は6月中旬, 1989年は7月上旬, 1990年は5月中旬で, ピークを示した後の減少傾向は, 1987年は8月中旬, 1990年は9月にかけてなだらかであったのに対し, 1989年は急激に低下したなどの相違があった。

各年のGSIの減少時期の水温は, 1987年は20~23 $^{\circ}$ C, 1989年は21~24 $^{\circ}$ C, 1990年は18~26 $^{\circ}$ Cであった。

なお, 殻高75mm未満の個体は, 75mm以上の個体と比較して, 1989年, 1990年いずれもGSIの増加する時期がやや遅れる傾向にあり, 特に1990年では, 顕著なピークは認められなかった。

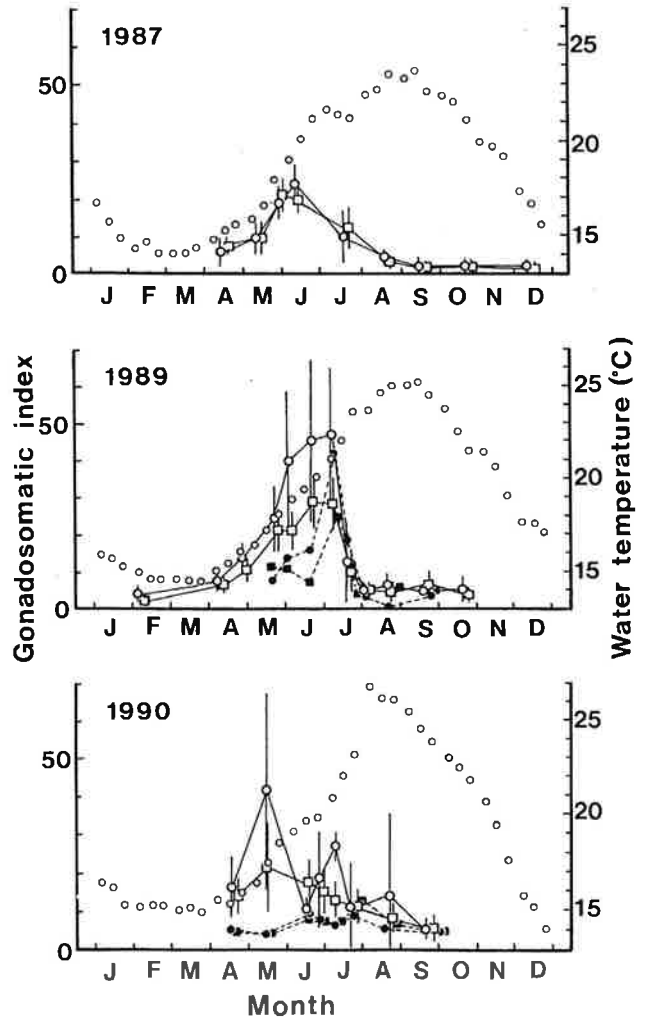


Fig.8. Seasonal change in gonadosomatic index of spiny top shell, collected in the research area, Are. Each point and bar represent the mean and standard deviation. ○, Female(75mm \leq); ●, Female(<75mm); □, Male(75mm \leq); ■, Male(<75mm); ○, Water temperature.

卵径の分布 1988年11月~1989年10月と1990年4~9月の間の殻高75mm以上の個体について卵径組成の推移をFig.9に示した。1988年11月~1989年10月の間, 生殖腺内には100 μ m以下の小型卵と, 200 μ m前後の大型卵が周年観察され, その比率は, 時期によって相違した。大型卵の比率は4~7月に高く, 特にGSIがピークに達した6月に最も高かった。一方, 1990年は, 4月からすでに大型卵の比率が高く, 同様な組成が8月まで続き, 1989年の同時期の組成の推移とは相違した。

生殖細胞の成熟過程 生殖細胞の成熟段階と組織学的特徴を以下に述べる。

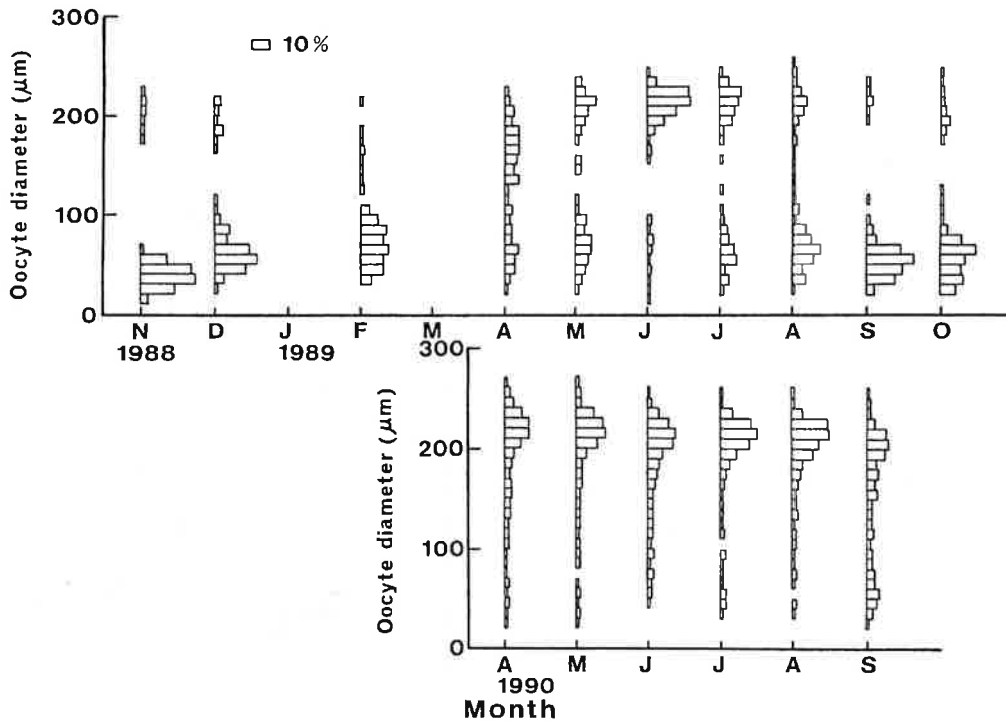


Fig.9. Frequency distributions of oocyte diameter of spiny top shell in the research area, Are. The upper illustration is from November 1988 to October 1989 and the lower is from April to September in 1990.

1)雌

Phase I (卵原細胞期) : 卵原細胞の径は約 $9\mu\text{m}$ (核径約 $8\mu\text{m}$, 核小体 $1.7\mu\text{m}$) で細胞質に乏しい (Fig.10-A).

Phase II (染色仁期) : 卵母細胞の径は $10\sim 40\mu\text{m}$ で成長に伴い核は約 $20\mu\text{m}$, 核小体 $8\sim 9\mu\text{m}$ に達し, 細胞質は強い好塩基性を示す (Fig.10-B).

Phase III (油球期) : 卵母細胞の長径は $40\sim 80\mu\text{m}$ で洋梨型を呈し, 細胞質内に油球が出現する (Fig.10-C).

Phase IV (卵黄球期) : 卵母細胞の長径は, $120\sim 200\mu\text{m}$ となり, 細胞内は卵黄顆粒や油球で占められ, 細胞はゼリー層に包まれる (Fig.10-D). 核は約 $70\mu\text{m}$, 核小体は $15\sim 20\mu\text{m}$ と肥大し, 核小体には液胞様構造が認められるが, 細胞の最大時には核小体は約 $12\mu\text{m}$ と小型化し液胞様構造は認められなくなる.

Phase V (成熟期) : 卵母細胞は成長し, 卵径は約 $230\mu\text{m}$ に達する. 核は動物極側へ移動し, 扁平化して不整形となっており, 核の周辺部はヘマトキシリンに強く染まる (Fig.10-E).

2)雄 (Fig.10-F)

精原細胞期 : 第1次精原細胞は長径約 $8\mu\text{m}$ 楕円状の細胞 (核径約 $7\mu\text{m}$) で, エオシンに染まる核小体を1~2個有する. 第2次精原細胞は約 $6\mu\text{m}$ のほぼ球状の細胞 (核径約 $5\mu\text{m}$) となる.

精母細胞期 : 第1次精母細胞は長径約 $5\mu\text{m}$ の楕円形の核を有し, 一方, 第2次精母細胞は約 $3\mu\text{m}$ の核を持ち細胞質に乏しい.

精細胞期 : 約 $2\sim 3\mu\text{m}$ の核を持つ. 一方, 変態後の精子は約 $3\mu\text{m}$ の先体と $3\sim 4\mu\text{m}$ の核を持つ.

以上の成熟段階を基に, 卵巢および精巣内の生殖細胞の出現状況を観察した.

1988年11~12月の卵巢組織内には, 放卵後の特徴を示す間隙が多くみられた (Fig.11-A). 11月にはPhase I~IIIの卵原細胞と卵母細胞がみられ, 80%以上の個体で細胞長径約 $60\mu\text{m}$ の油球期卵が観察された. 1988年12月~1989年2月には, 細胞長径約 $150\mu\text{m}$ の卵黄球期卵が観察され, これらは2月には約60%の個体でみられた. なお, 11~2月の間, 30~40%の個体で退行卵 (Fig.11-A) が観察された.

次いで, 4月上旬では, 卵巢はPhase I~IVの各段

階の卵母細胞によって満たされていた (Fig.11-B). 下旬にはPhase Vの成熟卵が90%以上の個体で観察され, 5~7月上旬にかけては, 成熟卵で卵巣内は満たされた (Fig.11-C). 7月下旬には75%, 8月には100%の個体で, 各所に間隙をもつ放卵後の卵巣 (Fig.11-D) が観察され, このような個体では退行卵が散見された. 10月には, 間隙が多くなり, 産み残されたとみられる大型卵も観察された.

一方, 1990年は, 4月下旬には成熟卵をもつ個体が90%以上を占め, 5~6月にかけて成熟卵で卵巣内は

満たされた. 7月上旬には55%の放卵個体が観察されたが, 7月上旬~8月下旬にかけて成熟卵をもつ個体が再び多くなった. その後, 9月下旬には90%が放卵個体とみなされた.

なお, いずれの年も周年, 大型卵の中には卵黄顆粒がモザイク状を呈し退行過程にある卵母細胞 (Fig.11-E) が観察され, 特に, 6~8月の殻高の大きな成熟個体でそれが多く観察された.

一方, 精巣は, 11~12月には間隙が多く (Fig. 11-F), 精母細胞はほとんど認められなかった. 2月

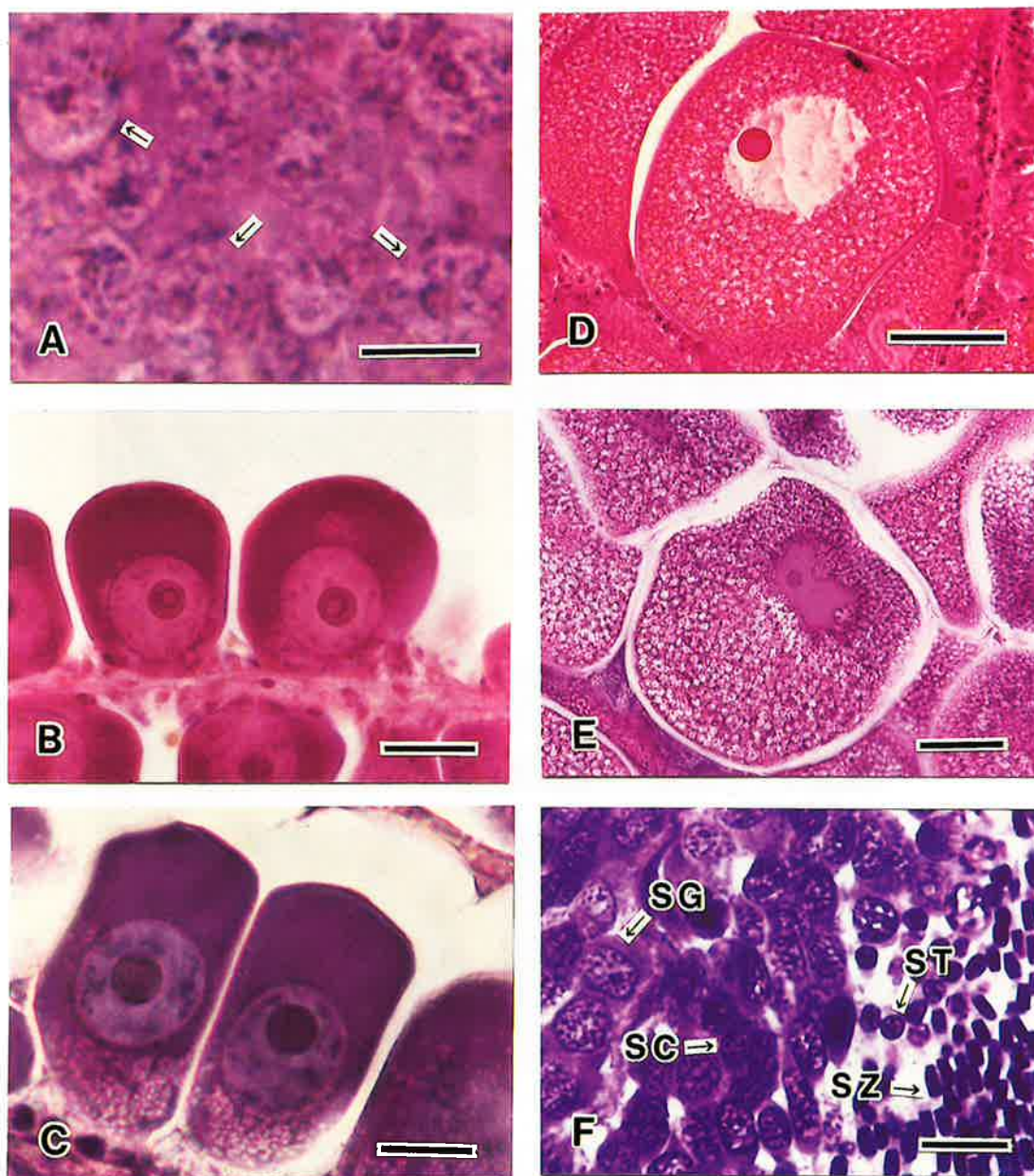


Fig.10. Photomicrographs of histological section of spiny top shell germ cells. A, Oogonium (arrows) stage. Bar=10 μ m. B, Chromatin-nucleolus stage. Bar=20 μ m. C, Oil drop stage. Bar=20 μ m. D, Yolk globule stage. Bar=50 μ m. E, Mature stage. Bar=50 μ m. F, Spermatogenesis in the testis. SG, spermatogonium; SC, spermatocyte; ST, spermatid; SZ, spermatozoon. Bar=10 μ m.

には精原細胞, 精母細胞, 精細胞, 精子の一連の発達段階の細胞 (Fig.11-G) が観察され, 1989, 1990年ともに4月以降精子の割合が急速に増加した。その

後6月下旬から7月上旬にかけて精子で満たされ (Fig. 11-H), 再び, 9月には間隙が多くなった (Fig.11-I)。なお, 標本の雌雄の個体数は, 1989年雌222個体,

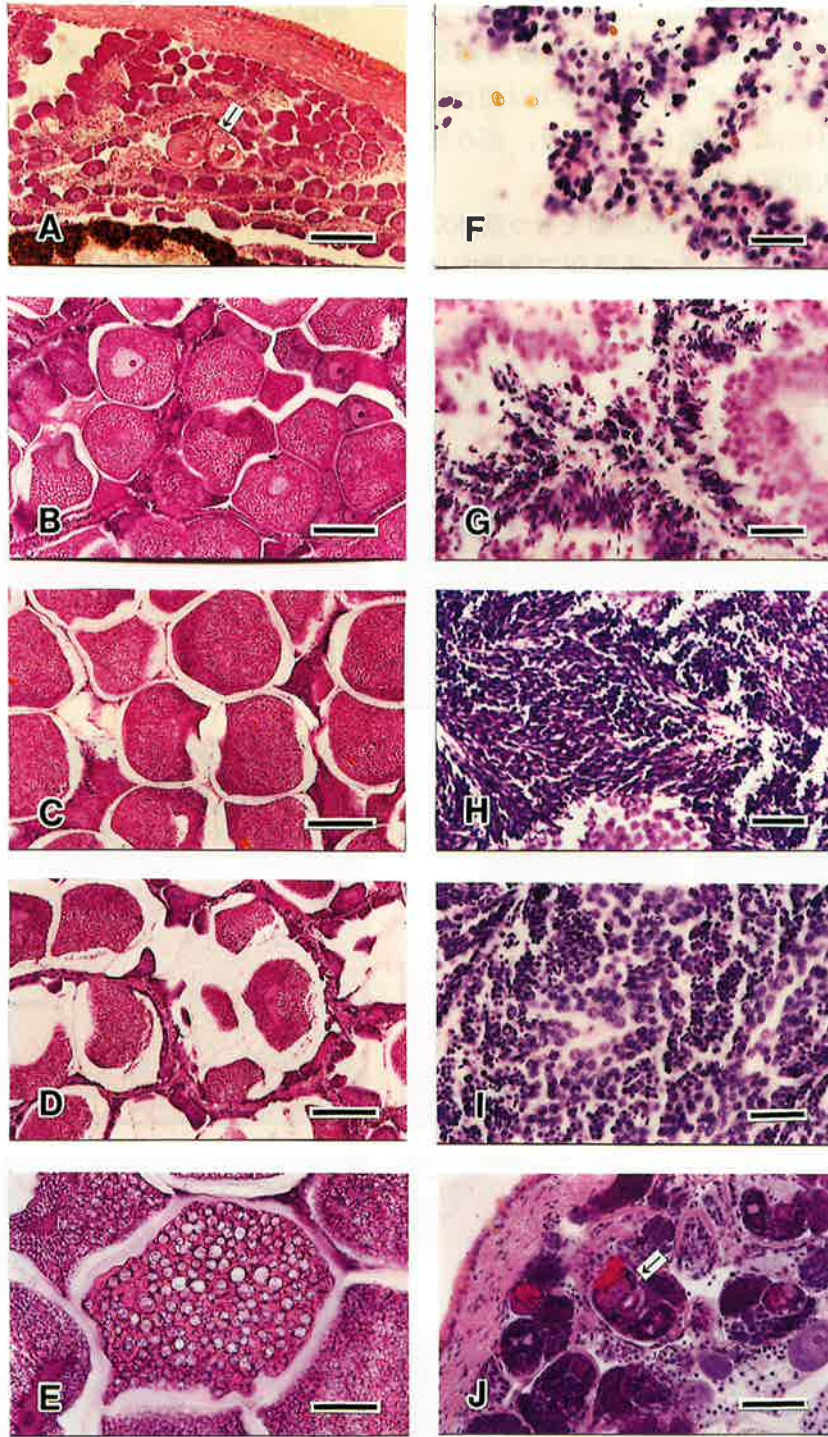


Fig.11. Photomicrographs of histological section of spiny top shell gonads. A, Ovary at recovering stage collected in November 1988. Arrow indicates atretic oocyte. Bar=100 μ m. B, Ovary at early growing stage collected in April 1989. Bar=100 μ m. C, Ovary at mature stage collected in June 1989. Bar=100 μ m. D, Ovary at spent stage collected in August 1989. Bar=100 μ m. E, Degeneration of growing oocyte. Bar=50 μ m. F, Testis at spent stage collected in November 1988. Bar=20 μ m. G, Testis at recovering stage collected in February 1989. Bar=20 μ m. H, Testis at mature stage collected in July 1989. Bar=20 μ m. I, Testis at spent stage was collected in August 1989. Bar=20 μ m. J, Ovary infected with *Cercaria brachycaeca*(arrow). Bar=100 μ m.

雄214個体，1990年雌217個体，雄216個体で，いずれの年も性比は χ^2 検定の結果1：1であった。また，これらの標本の中には，無尾セルカリア *Cercaria brachycaeca* (Fig.11-J) の生殖腺への寄生が1989年の6月に2個体，8月に3個体，10月に1個体，計6個体，また1990年7月に1個体で観察された。寄生率は1989年1.4%，1990年0.2%であった。

生殖腺の各発達段階の月別出現率 各発達段階を以下に述べる。

放出期：生殖腺は雌雄共に成熟細胞の放出によって多くの間隙がみられる。雌では間隙には大型のPhaseIVの残存卵が認められ，少数の卵原細胞と染色仁期卵が生殖上皮上に認められる。また，退行卵も散見される。一方，雄では前期には少量の残存精子が認められるが，精細胞はほとんど認められず，新たな精子形成は停止している。後期では残存していた精子も認められなくなる。

回復期：生殖腺内は依然として間隙が多いが，生殖上皮には，雌では卵原細胞，染色仁期卵が，雄で

は精原細胞，精母細胞が層状に増殖している。なお，雌では依然残存卵が認められる個体もあり，退行卵も散見されるが，雄では少量の精子形成が認められる。

成長期：生殖腺内には間隙はほとんどみられず，雌では，成長前期にはPhase I～IVの一連の発達過程の卵原細胞，卵母細胞が認められる。成長後期にはPhaseIVの卵母細胞で満たされ，一部でPhaseVの成熟卵も認められる。雄では生殖上皮に精原細胞，精母細胞の割合が多くなり，精原細胞～精子の一連の形成過程が活発となる。

成熟期：生殖腺内は成熟細胞で満たされている。卵巣は，相互に接触して形は多角形となったPhaseVの成熟卵で満たされている。精巣は精子で満たされて，精原，精母細胞，精細胞の数は少ない。

以上の区分を基に1988年11月から1989年10月までの標本について，各発達段階の生殖腺が観察時の全個体に対して占める割合の季節変化をFig.12に示した。

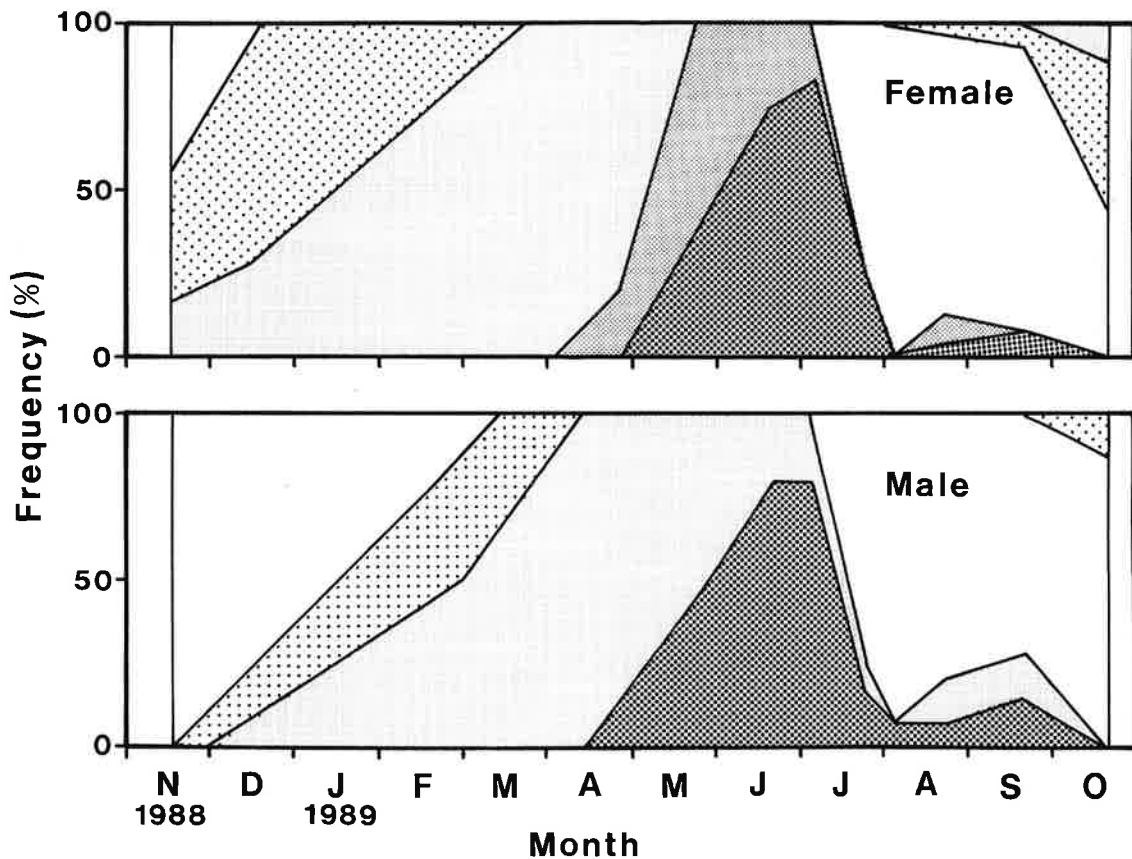


Fig.12. Monthly changes of the maturation process of shells. □, Spent stage; ▨, Recovering stage; ▩, Early growing stage; ▤, Late growing stage; ▥, Mature stage.

雌雄それぞれの生殖腺の月別変化を放出期からみていくと、雌では放出期の卵巣が8月の中旬には100%となり、その後から回復期の卵巣が出現した。また、成熟期の卵巣は9月に再び8%の個体で観察されたが、10月下旬にはみられなくなった。回復期の卵巣の割合は9月下旬から急速に増加し、それに伴って成長前期の卵巣が観察されるようになった。両者あわせた割合は12月中旬には90%を超えた。その後成長前期の卵巣は割合を増し、4月にはすべての個体で観察された。さらに4月下旬には成長後期の卵巣が出現し、その割合は急速に増加した。5月上旬には成熟期に達した卵巣が出現し、7月上旬には80%以上の個体で観察された。また、この時期から放出期の卵巣が出現した。一方、雄でも雌と同様に8月上旬には90%以上の個体で放出期の精巣がみられた。また、その後9月下旬にかけて雌と同様に成長期と成熟期の精巣を持つ個体が出現したが、その合わせた割合は雌に比べると約30%と高かった。一方、回復期の精巣を持つ雄は、9月下旬から徐々に出現したが、これは雌に比べて遅かった。12月には成長期の精巣が観察されるようになったが、これらの割合が約90%となったのは2月下旬であった。その後精巣は急速な発達をみせ、4月上旬には成長期の精巣を持つ個体が90%を超えて、下旬には成熟期の精巣を持つ個体も観察された。さらに6月下旬には成熟期の精巣を持つ個体が約80%となり、7月下旬には放出期の精巣が出現した。

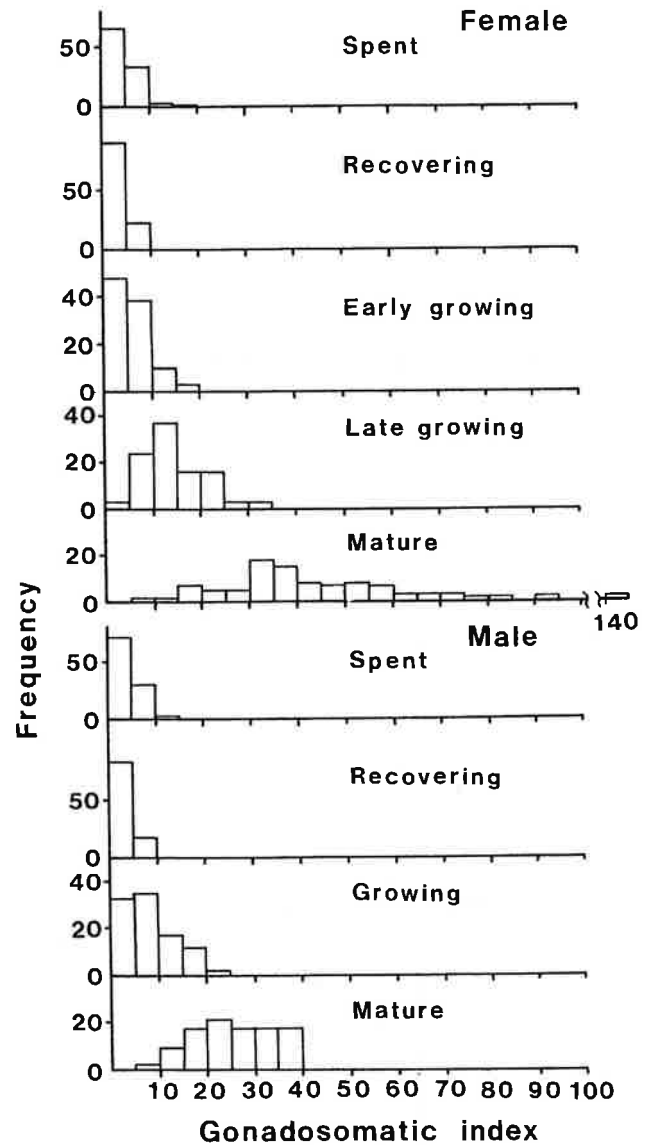


Fig.13. Distribution of gonadosomatic index in each stage of maturation process. Specimens were collected from November 1988 to October 1989.

生殖腺の発達段階とGSIの関係 生殖腺が発達した個体について、その発達段階とGSIの関係を雌雄別にFig.13に示した。雌雄いずれも放出期から回復期にかけてはほとんどGSI値の変化はなく90%以上の個体が10以下を示した。成長期に入った生殖腺のGSI値は徐々に増加し、雌では30、雄では20を超える個体も出現した。さらに成熟期の生殖腺は雌では90%の個体がGSI値30を超えていたが、ばらつきは大きかった。一方、雄では70%以上の個体がGSI値20を超えたが、雌に比べばらつきは小さく40を超える個体は出現しなかった。

殻高別の成熟率 1989年は6~7月、1990年は5~8月の標本について、組織学的観察に基づき生殖腺の発達状況を調べ、未分化、雌雄個体の出現率を殻高5

mm階級毎に整理した (Table 6)。殻高50mm以下の個体では、生殖腺の未分化なものが約90%を占めたが、逆に50mmを超えた個体では90%以上で生殖腺の発達がみられた。

さらに、生殖腺が発達し、雌ではPhase Vの成熟卵が、また雄では精子が確認されたものを成熟個体と判別し、その出現率を殻高別の成熟率としてFig. 14に示した。この結果、成熟率が50%以上に達するサイズは雌が殻高46-50mm、雄が31-35mmであった。なお、成熟卵および精子が観察された最小個体は雌が殻高45mm、雄が35mmで、未成熟の生殖腺を持つ最小個体は雌が42mm、雄が32mmであった。

Table 6. Number and percentage of females, males and undifferentiated individuals in specimens collected from June to July in 1989 and May to August in 1990

Class in shell height (mm)	Sex		
	undifferentiated	female	male
31-35	18 (90.0)	0 (0.0)	2 (10.0)
36-40	67 (90.5)	3 (4.1)	4 (5.4)
41-45	67 (89.3)	3 (4.1)	5 (6.7)
46-50	46 (64.8)	15 (21.1)	10 (14.1)
51-55	3 (7.0)	18 (41.9)	22 (51.1)
56-60	0 (0.0)	20 (43.5)	26 (56.5)
61-65	0 (0.0)	32 (50.8)	31 (49.2)
66-70	0 (0.0)	46 (57.5)	34 (42.5)
71-75	0 (0.0)	29 (50.9)	28 (49.1)
76-80	0 (0.0)	25 (42.4)	34 (57.6)
81-85	0 (0.0)	36 (47.3)	40 (52.6)
86-90	0 (0.0)	18 (40.0)	27 (60.0)
91-95	0 (0.0)	32 (50.0)	32 (50.0)
96-100	0 (0.0)	36 (55.4)	29 (44.6)

孕卵数 殻高と孕卵数の関係をもてみると (Fig. 15), 卵巣内の卵数には個体差があり, 年によっても1989年が1990年に比べやや多いという傾向が認められた。

本海域における殻高と孕卵数の関係は, 1989年と1990年の結果をあわせて求めると, 次式で示された。

$$F = 1.56 \times 10^{-4} \times SH^{4.99} \quad (r^2 = 0.811, P < 0.01)$$

ここで, F は孕卵数 (万個), SH は殻高 (mm) を示す。

考 察

サザエの生殖年周期を明らかにするために, GSIの周年変化, 組織学的観察による生殖細胞の発達, 卵径分布の推移について比較検討した。GSIは, 10

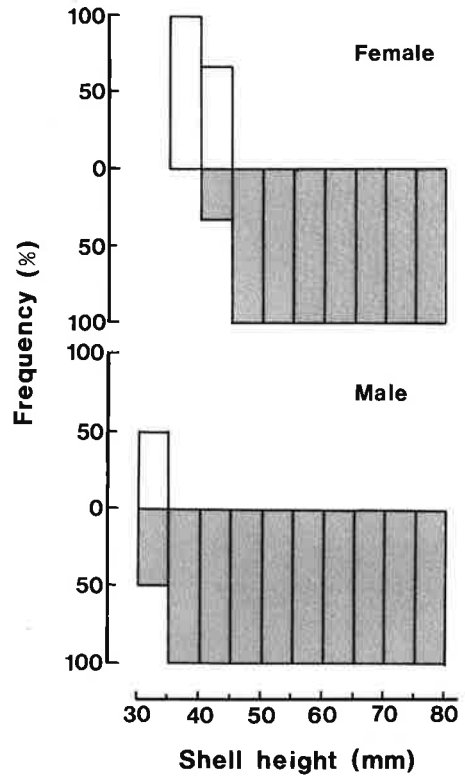


Fig.14. Frequency of immature and mature gonad in groups with different length. □, immature; ■, mature.

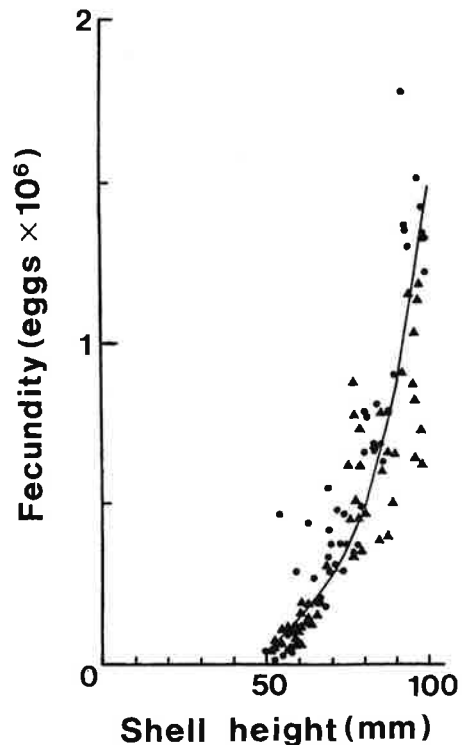


Fig.15. Relationship between fecundity and shell height. Sampling period: ●, June to July in 1989; ▲, May to August in 1990

～2月にかけて最低値を示した後、4月にかけて徐々に、5～7月には急激に増加してピークに達した。このような変化は、組織学的観察から得られた放出期から回復期を経て成熟期に達するまでの生殖細胞の発達過程とよく一致した。一方、生殖細胞の放出期である産卵期の時期や長さには年によって変動がみられ、この変動要因には回復期から成熟期に至る間の水温や餌料環境の違いなどが考えられる。エゾアワビ（菊池ら、1974）では、餌料が十分に存在する場合、生殖腺の成熟は積算温度に対応するとされている。そこで、生物学的零度 13.3°C （角田ら、1986）を用いて、GSIが低下した9月から翌年のピークを示すまでの積算温度を試算すると、1988年は $1,092^{\circ}\text{C}\cdot\text{日}$ 、1989年は $1,041^{\circ}\text{C}\cdot\text{日}$ 、1990年は $1,182^{\circ}\text{C}\cdot\text{日}$ とほぼ等しかった。GSIがピークを示したのは、前述のように1987年は6月中旬、1989年は7月上旬、1990年は5月中旬であり、年による水温の経過がその時期と関係を持ち、GSIは積算温度 $1,100^{\circ}\text{C}\cdot\text{日}$ でピークに達するものと推察された。

今回得られた知見を整理すると、本海域における産卵期は、5～8月にあり、盛期は、6～7月、水温では $20\sim 24^{\circ}\text{C}$ にあると考えられた。

本海域で調べたサザエの殻高の成長（藤井、1993）は、2才38mm、3才66mm、4才84mm、5才92mmである。この成長を殻高別の成熟率や孕卵数と対比してみると、2才では、生殖腺の形成は一部成長の良いもので認められたが、ほとんどが未分化の状態であった。3才では全ての個体で生殖腺が形成され、成熟した生殖細胞が確認されたことから、この年齢で産卵群に加入するものと思われた。そこで、年齢別の孕卵数を計算すると、3才19万個、4才61万個、5才89万個となった。3才での産卵数は少量と思われ、GSIの上昇が4才貝に比べて遅く、年によってピークが不鮮明であるなどの点を考え合わせると産卵群における役割は小さいものと思われ、主群をなすのは殻高80mmを超える4～5才と考えられた。対馬沿岸におけるサザエの漁獲は、殻高60mmを超えた3才から漁獲されている。しかし、今後再生産を確保し、資源増殖を図るためには、3才以下の保護を考慮する必要がある。

サザエの産卵生態については、これまで生殖腺が長期間にわたって存在すること（網尾、1955）や室内での産卵実験の結果（角田ら、1986）から多回産

卵をするとされている。本研究の卵径分布の推移や生殖腺の組織学的観察結果でも、卵巣内には大型の成熟卵が長期間認められ、9月に成熟期の生殖腺を持つ個体が発見することなどから、多回産卵の可能性が高いと考えられた。しかし、個体レベルでの産卵回数や1回目の産卵に引き続く2回目以降の成熟卵の発達の有無などの詳細な点については明らかにできなかった。

また、カリフォルニアのアカネアワビ *Haliotis rufescens* で観察されたように（J. S. Young *et al.*, 1970）本調査における卵巣内にも周年を通して卵黄顆粒がモザイク状を呈し、壊死した卵母細胞が観察された。特にこれらは成熟期に大型個体で多く認められた。これらの出現原因については成熟過程における退行や過熟などが考えられるが、本研究では明らかに出来なかった。

本調査における生殖腺には、千葉県の手倉、小湊や神奈川県三崎で報告（S. Shimura *et al.*, 1980）がある *Cercaria brachycaeca* の寄生が認められた。寄生率は前報と同様に数%と低いものであったが、寄生を受けた生殖腺は機能を失っており、サザエの再生産に与える影響については今後詳細な調査が必要と考えた。

第3章 分 布

サザエは、アワビやウニ等と共に磯根資源の重要種として、地先の岩礁域のごく限られた狭い海域に分布している。このような海域のサザエの利用形態を明らかにすることは、資源の添加機構や増殖手法を明らかにする上で重要な知見となる。

サザエについては、稚貝や成貝の断片的な分布調査から、稚貝が浅いところに多く、成長に伴って沖合いの深所に移動、拡散するとされている（内場ら、1982；葭矢、1990）。しかし、稚貝の生息域の潮位の詳細や年級群の追跡調査に基づく移動生態については調べられていない。

そこで、漁獲の影響がない禁漁区において、種苗生産によって得られた稚貝（人工貝）を放流し、放流後の稚貝の生息場所の潮位（藤井ら、1988）や成長に伴う移動状況（堀井ら、1997）を明らかにした。

調査方法

調査は、対馬の上対馬町鰐浦地区に、実験漁場(80m×100m)を設けて行った(Fig.16)。漁獲による生息密度等の変化がないよう、実験漁場および周辺部の漁場を地元漁業者らと協議の上、禁漁区とした。

実験漁場の底質および等深線をFig.17に示した。底質は、飛沫帯から岩盤が沖合いに向かって張り出し、水深3m付近に横に帯状の転石帯が分布するほか、周辺部は大・巨礫帯となっている。また、水深10m以深の底質は礫が点在する砂質帯である。一方、植生は水深3mを境にして、浅場にアミジグサ *Dictyota dichotoma*, ウミウチワ *Padina arborescens*, ヒジキ *Hizikia fusiformis*, トゲモク *Sargassum micracanthum*, マクサ *Gelidium amansii*, アラメ *Eisenia bicyclis*, オオバモク *Sargassum ringgoldianum*等が繁茂し、深場には岩盤にカジメ *Ecklonia cava*, 転石、礫帯にノコギリモク *Sargassum serratifolium*の群落が形成されている。

調査に用いた人工貝は、長崎県水産試験場増養殖研究所で種苗生産によって得た稚貝である(Table 7)。

調査Ⅰ：サザエ稚貝の垂直分布 先ず、1987年6月に実験漁場に分布するサザエ(天然貝)の水深別の

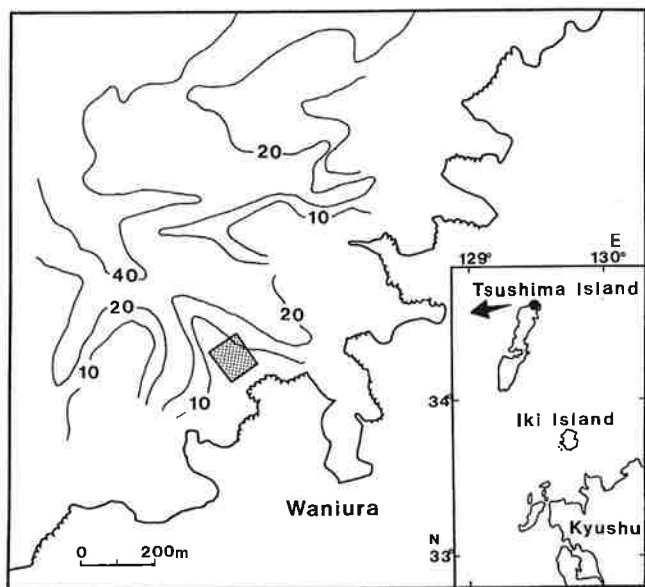


Fig. 16. Map showing the Tsushima Island and the research area.

出現状況を調べた。調査は、海岸線から沖合いにラインを設定し、Scuba潜水によってラインの両側1mの範囲内で発見されたサザエの個体数とそれらの殻高を記録して行った。水深は、3m以浅については実測し、3m以深についてはダイバー用簡易水深計から読み取った。

次に、稚貝の生息場所の潮位は、調査の2ヶ月前に放流した人工貝(放流貝)と天然貝を対象に1987年7月に調べた。放流貝は、1985年10月に採苗した平均殻高22mmの3,000個体で、実験漁場の潮位0~60cmの範囲に素潜りによって放流した(Table 7)。調査は、放流貝と天然貝の生息場所の潮位の測定と、その場所のすみ場としての形態的特徴を記録して行った。なお、潮位の測定は、サザエの生息点に箱尺を垂直に立て、飛沫帯に固定したコンパスで水平に見通して高さ(Ht)を読み取り、その値から基本水準面からコンパスまでの高さ(Ho)を差し引いて稚貝の生息場所の潮位(Hs)を求めた(Fig.18)。なお、基本水準面からコンパスまでの高さ(Ho)は、実験漁場におけるコンパスから海面までの高さの実測値に、同時刻の第七管区海上保安部で実測された対馬巖原港の潮位を加減して求めた。

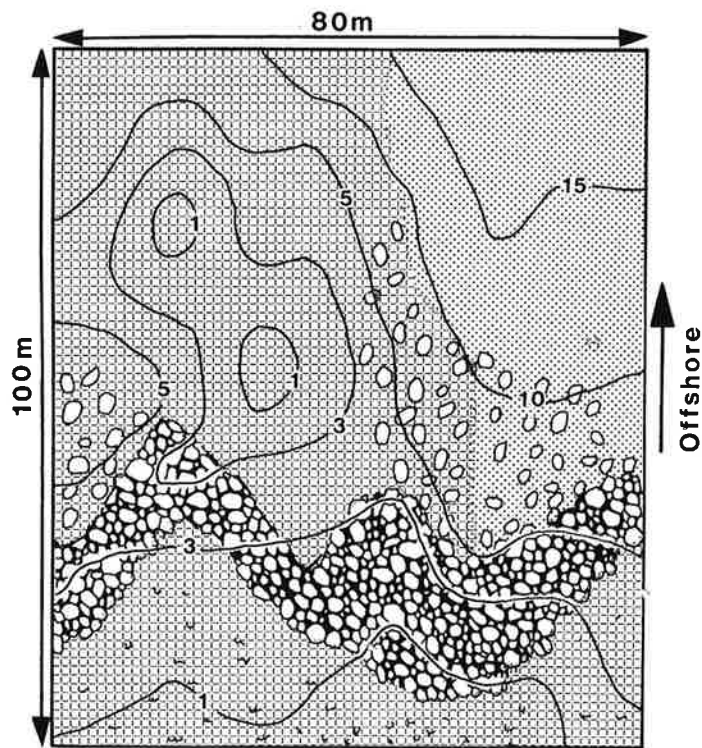


Fig. 17. Profile of sea bed in the research area. □, rock; ▨, sand; ○, boulders

調査Ⅱ：サザエの成長に伴う移動 1986年から1990年(1988年を除く)の間で、5月または6月に、実験漁場の岸側に、人工貝を放流した。放流は素潜りによって行い、可能な限り均等に、大潮干潮線付近の岩盤の亀裂やくぼみ(ウニ穴など)を選んで放流した。人工貝は放流時の平均殻高が17.2~25.6mmの1,000~3,000個体である(Table 7)。

1987年から1991年にかけて毎年1回、5月または6月に、ライントランセクト法によって、実験漁場内の密度分布を調べた。ラインの数は8本とし、10m間隔で岸から沖側に向けて平行に設定した。調査はScuba潜水によって行い、ダイバーがラインの両側1.5mの範囲内(1987年調査では両側1.0mの範囲内)に出現した個体をラインの5m区画毎にまとめて採集し、陸上で殻高を測定したのち、元の場所に戻した。

各年における実験漁場内の年齢群別密度分布を以下の方法によって求めた。先ず各年の殻高頻度分布

Table 7. Cultured spiny top shell seeds stocked in the research area

Seeding	Stocking	Number	Mean height(mm)
1984 Oct.	1986 Jul.	1,000	25.6±2.5
1985 Oct.	1987 May	3,000	22.1±2.7
1988 May	1989 Jun.	3,000	17.2±2.2
1989 Jul.	1990 May	2,000	18.8±2.3

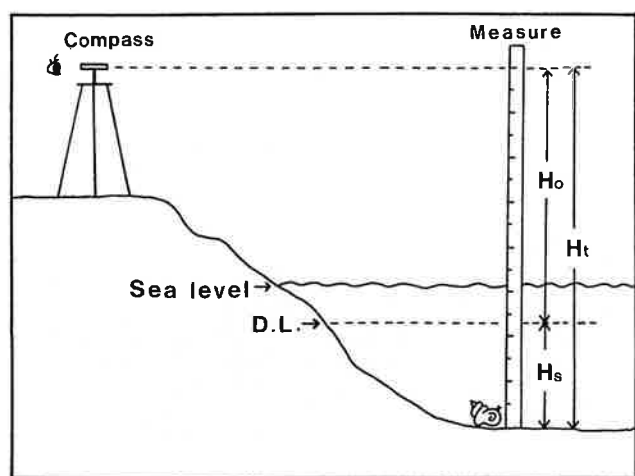


Fig. 18. Method for measuring the habitat depth of the spiny top shell. D.L., standard sea level H_o , height of the compass from standard sea level. H_s , height of standard sea level from sea bed of habitat. H_t , height of the compass from sea bed of habitat.

から堤・田中の方法(1987)を用いて年齢群別個体数、平均殻高および標準偏差を計算した。年齢群別の平均殻高と標準偏差の計算値から殻高区画(5mm)毎の確率値を求め、年齢群別個体数を乗じて区画毎の年齢別個体数を計算し、その年齢群別構成比から年別にage-length-key(殻高5mm毎)を作成した。このage-length-keyを用いてライン5m毎に出現した個体の年齢群別頻度を計算し、各年における年齢別等分布密度線図を作成した。

以上の計算で求めた各年の年齢群別等密度線図によって示される同一年級群の分布密度の経年変化によって、成長に伴う移動生態を明らかにした。

結果

調査Ⅰ 天然貝の水深別の殻高組成をFig.19に示した。観察した個体は合計181個体で、0~1mで殻高23.1~89.1mmのものが113個体、1~2mで殻高32.3~97.3mmのものが30個体、2~3mで殻高26.5~95.2mmのものが22個体、3~11mで殻高38.6~93.1mmのものが16個体であった。このうち、殻高40mm以下の小型貝は、水深0~1mで15個体、1~2mで5個体、2~3mで2個体、3~4mで1個体で、4m以深では出現せず、全体の87.0%にあたる20個体が2m以浅で観察された。

次に、放流貝と天然貝の生息場所の潮位をFig.20に示した。放流貝は215個体発見され、その生息潮位は+48~-152cmの範囲にあった。一方、天然貝は16個体の小型貝が潮位+16~-125cmの範囲で観察され、人工貝の生息範囲とよく一致した。特に、人工貝の生息数は+40~-40cmの範囲で多く、全体の79.1%がこの範囲で認められた。基本水準面を中心とするこの範囲は、潮間帯下部から漸深帯上部の、植生ではヒジキの生息域の中部からアラメの生息域の上部の間であった。

すみ場の形態は、海底地形の形状と植生からFig.21に示すように整理された。生息数の多い順にみると、上部に大型の海藻がないウニ穴(B、径2~13cm)で102個体、溝(D)で37個体、アラメ、オオバモク、有節サンゴモ *Corallina* spp., トゲモク、イソモク *Sargassum hemiphyllum*, ヨレモク *Sargassum siliquastrum*, ヤツマタモク *Sargassum*

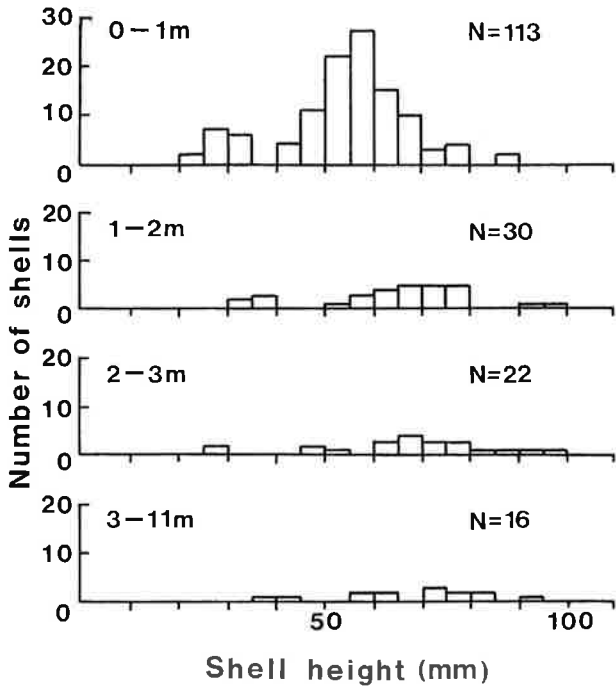


Fig.19. Shell height composition of wild spiny top shells in various depth.

*patens*等のホンダワラ類の幼体の下部 (A, F) で32個体, 上部に大型の海藻のない横穴 (C) で14個体, アラメ下部のウニ穴 (I) で14個体, アラメ下部の溝 (H) で8個体, アラメ下部の横穴 (G) で6個体, 溝部の横穴 (E) とアラメ葉上 (J) で1個体ずつであった. すなわち, 底質の形態によって生息数に多少があり穴や溝が多く, 全体の84.7%を占めた. また, 植生では, アラメやオオバモク等大型海藻が繁茂する場所では少なく, 全体の71.6%が小型海藻が優先する場所で多く認められた.

調査Ⅱ 生息密度分布の成長に伴う変化は, 各年級群とも同様の傾向を示した. 1985年級群を例として, 各年における生息密度分布をFig.22に示した. 1987年 (2才) では岸側の限られた範囲に分布していた. 1988年 (3才) では, 1987年放流個体の加入に伴って生息密度が高くなり, 分布の中心は岸側にあるものの, 2才時よりはやや沖側にあった. 1989年 (4才) では, 岩盤に沿って岸側から沖側に広く分布し, さらに1990年 (5才) では, 大部分の個体が沖側のみに分布していた. これらの結果から, 実験漁場において, 本種は成長に伴って岸側の岩盤や転石帯から沖側の岩盤帯に向けて移動することが明らかとなった.

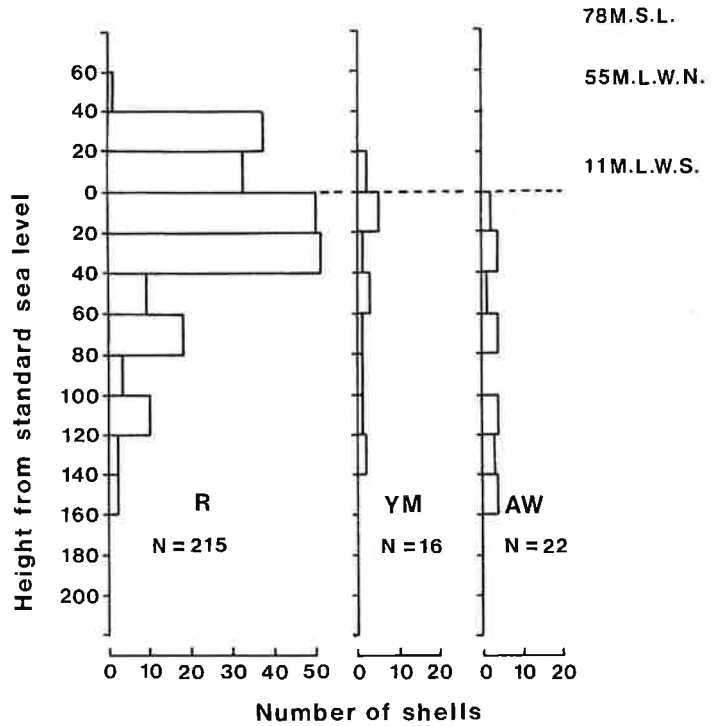


Fig.20. Vertical distribution of spiny top shells. R, released; YW, young wild; AW, adult wild; M.S.L., mean sea level; M.L.W.N., mean low water neap tides; M.L.W.S., mean low water of spring tides

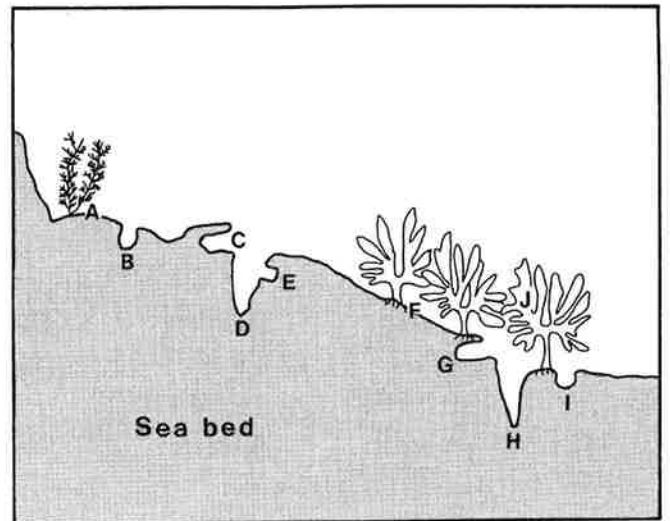


Fig. 21. Diagram of habitat of spiny top shell. A, root of gulfweed; B, foveola; C, small cave; D, ditch (crack). E, small cave in ditch; F, root of sea oak; G, small cave under root of sea oak; H, ditch under root of sea oak; I, foveola of root of sea oak; J, leaf of sea oak

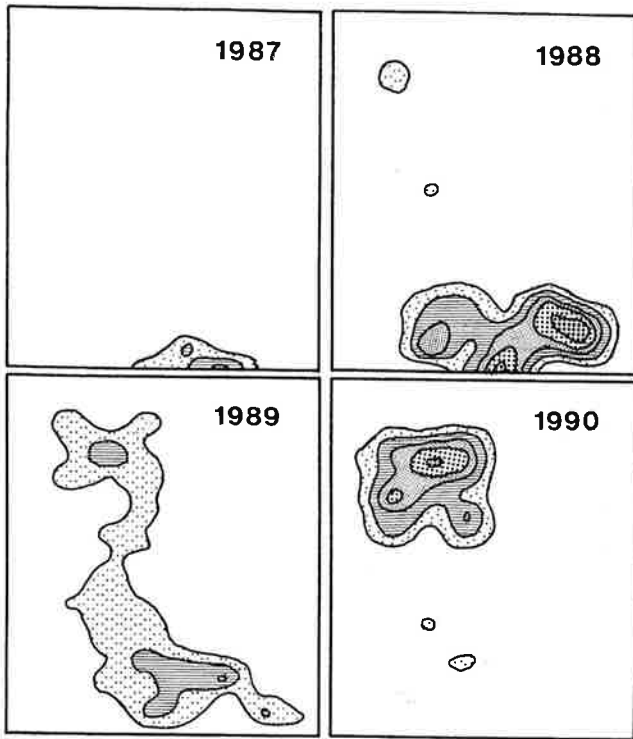


Fig. 22. Yearly changes of horizontal density distribution of 1985 year-class, 1987-'90. Legend: □, 0-0.01; ▨, 0.01-0.2; ▩, 0.4-0.8; ▪, 0.8-1.0; ▫, 1.0-1.2 (individuals/m²)

考 察

サザエの殻高と生息場所の潮位との関係を見ると、稚貝は深所では認められず、浅い場所にのみ生息する傾向が明らかであった。本研究での稚貝の生息場所の潮位の調査は、人工貝を放流して行ったが、放流2カ月後の状況は同じ海域で観察した天然貝の分布潮位に良く一致し、両者に相違はないと思われた。それによれば、殻高20mmサイズの稚貝は、基本水準面下150cmまでに分布し、特に+40~-40cmの範囲に多く、内場ら(1982)の報告と良く一致した。さらに、内場ら(1983)は、試験礁による調査からサザエの幼生の着底は水深0mで多く、また、葭矢ら(1986)は放流貝の調査から水深50cm以浅で生残率が高かったとしている。基本水準面を中心とした+40~-40cmの範囲は、サザエ稚貝の着底と生残に好適な条件を備えているものと考えられる。現時点では好適な条件を具体的に明かにできないが、今後、幼生の着底、生残に及ぼす各種条件について、さらに詳しい研究が必要とされる。

サザエ稚貝の出現数は、アワビ(野中ら, 1969)と同様、岩盤帯の穴や溝など起伏のある複雑な地形で多かった。海底地形の形態は生息密度の決定や害敵生物からの逃避に重要な役割を果たすものと思われる。餌料と共にすみ場の生産性を左右する大きな要因になると考えられた。また、植生面からみると、稚貝の出現数は大型海藻より小型海藻が繁茂する場所で多かった。第4章で後述する室内実験(藤井ら, 1988)では、殻高20mm前後の稚貝はマクサやアナアオサ等の小型海藻を積極的に摂餌し、隠れ場として利用することから、これらの小型海藻が餌ならびにすみ場として重要な意味を持つものと思われる。この点は、小型海藻が幼生の着底基質および隠れ場として有効であると共に稚貝の主餌料となる付着珪藻の発生場所として好適環境にあるとする内場ら(1982)の報告とも一致する。

サザエの移動生態に関してはこれまでも幾つかの報告がなされている(内場ら, 1982; 葭矢, 1988, 1990)。調査Iの結果によれば、稚貝は浅い場所にしか生育しないものの、成貝は基本水準面下深浅にかかわらず生息し、むしろ水深3m以浅に多く生息する傾向があった。さらに、調査IIで追跡した放流貝は、成長に伴って潮間帯下部~漸深帯上部の岸側から沖合いの岩盤帯に向けて移動したが、移動後における分布の中心は5m以浅にあった。その成長に伴う移動が深所方向への移動(内場ら, 1982)であったとは考え難く、また、岸側における生息密度が著しく低下することから、ランダムな移動(葭矢, 1988)の繰り返しによる分布の拡大であったとも考えにくい。これらの調査結果からみて、サザエは成長に伴って生息域を広げるが、その分布は比較的浅い水深5m以浅の岩盤帯が中心であり、そのような水域が重要な生息場所となると考えられる。なぜ岩盤を好み、水深や植生に相違が認められない岸側から沖側の岩盤に向けて移動したかの詳細は不明であるが、沖側の岩盤の形状は突出した瀬になっており、岸側に比べて直接波浪の影響を受けにくい緩衝域があるためすみ場として好適条件を備えているものと考えられる。

第4章 摂餌と被食

岩礁域に生息する生物群集の中で、サザエは植食性動物として一次消費者であると共に、肉食性動物

等の二次消費者の餌としての位置を占めている。これらの群集におけるサザエの生態的地位を明らかにすることは、サザエ資源を保護、育成するためには重要な知見となる。

本章では上述のような観点から、特に重要となる稚貝期を中心に、本種の摂餌生態とサザエを捕食する動物について検討を行った。

第1節 摂餌

アワビやウニの食性に関する研究は、これまで消化管内容物の調査(殖田ら, 1939; 1941)や海藻を直接給餌して餌料価値を評価する飼育実験(菊池ら, 1967; 浮, 1981; Uki, 1986; 前迫ら, 1984; 藤井ら, 1986)によって行われ、サザエについても同様の手法で行われた報告(西岡ら, 1977; 葭矢ら, 1987)がある。これらの方法は、食物の種類や餌料価値を判断する上では有用であるが、餌料の選択行動など食性の動的な側面を解明するにあたっては十分な知見を提供していない。そこで、サザエ稚貝の海藻に対する選択性をい集と摂餌の2つの面から検討した(藤井ら, 1988)。

材料および方法

実験は以下の2項目について長崎県水産試験場増養殖研究所で行った。

実験Ⅰ：サザエ稚貝の各種海藻に対するい集と摂餌 先ず100円型黑色ポリエチレン水槽の底面の円周上に5種類の海藻を固定し、これらの海藻に対するい集状況と摂餌量を比較した。サザエ稚貝は、天然貝と種苗生産した稚貝(人工貝)で、実験はそれぞれを20個体ずつ別水槽に収容して行った。

天然貝は1987年3月に福岡県馬島で採捕された平均殻高22mmの稚貝で、採捕後はマクサ *Gelidium amansii* やホンダワラ類 *Sargassum* spp. を給餌して飼育した。一方、人工貝は1985年10月に採苗し飼育した平均殻高22mmの稚貝で、剥離後は塩蔵ワカメを給餌して飼育した。

供試した海藻はTable 8に示した17種で、5種ずつの4組の組み合わせを作った。なお、各組には予備実験の結果、サザエ稚貝のい集数が常に多かったオバ

クサ *Pterocladia capillacea* を基準として入れた。い集状況は、毎朝9時に各海藻の下や縁辺部に集まった稚貝の個体数を計数して調べた。この際、稚貝は実験水槽からいったん取り上げ、各海藻の位置を順番にずらした後、水槽の中央に戻した。このような観察は1組の海藻について10日間継続して行った。海藻は3~4日毎に新しいものと交換し、摂餌量は給餌量から交換時の残餌量を引いて求め、Table 8に示した比率で乾燥重量に換算した。

次に、海藻の形態を隠した場合のい集状況を観察するため、Table 8のaの組合せの海藻を用い、それぞれポリエチレン製200目の網袋(8×10cm)に入れて、上述の実験と同様に10日間継続して観察した。この際の供試貝は天然貝、人工貝それぞれ10個体ずつを用い、同一水槽に収容して実験を行った。

実験期間は、1987年4月21日~5月31日で、水温は15.3~20.9°Cであった。

実験Ⅱ：サザエ稚貝の海藻を単独あるいは微小藻と共に与えた場合の海藻に対する摂餌量の変化 実験区は、オバクサあるいはアナアオサ *Ulva pertusa*

Table 8. Marine algae used for the experiments and the rate of dry to wet weight

Group	Species	Dry weight rate(%)
a	① <i>Pterocladia capillacea</i>	31.1
	2 <i>Ulva pertusa</i>	18.4
	3 <i>Undaria pinnatifida</i>	11.1
	4 <i>Hizikia fusiformis</i>	16.2
	5 <i>Laurencia</i> spp.	9.2
b	① <i>P. capillacea</i>	31.1
	2 <i>Codium fragile</i>	5.4
	3 <i>Sargassum patens</i>	19.8
	4 <i>Ecklonia kurome</i>	19.9
	5 <i>Lomentaria catenata</i>	11.6
c	① <i>P. capillacea</i>	31.1
	2 <i>Padina arborescens</i>	18.2
	3 <i>Sargassum siliquastrum</i>	21.1
	4 <i>Corallina pilulifera</i>	65.7
	5 <i>Pachymeniopsis lanceolata</i>	16.1
d	① <i>P. capillacea</i>	31.1
	2 <i>Sargassum micracanthum</i>	27.0
	3 <i>Dictyopteris prolifera</i>	22.7
	4 <i>Sargassum thounbergii</i>	14.7
	5 <i>Grateloupia filicina</i> .	20.0

を単独で給餌するもの、オバクサあるいはアナアオサと共に微小藻を併せて給餌するものの合計4区を設けた。

微小藻は付着珪藻 (*Navicula* sp., *Nitzschia* sp.) や褐藻 (*Myrionema* sp.) を、予め別の塩化ビニール製の板に培養し給餌した。摂餌量は、オバクサとアナアオサについて実験 I と同様に給餌量から残餌量を引いて乾燥重量で求めた。

供試貝は、1986年10月に採苗した平均殻高22mmの人工貝で、各区10個体ずつを20l スチロール製角型水槽に収容して用いた。実験期間は1987年10月28日～11月2日で、水温は22.8～22.3℃であった。

結果

実験 I 天然貝、人工貝はともに夜間に活動し、海藻の下で静止したり、再び動き出したり複雑な行動を示したが、夜明けには海藻の下で静止し、その

数は海藻によって相違した。い集状況は、10日間の各海藻へのい集数を合計し、基準としたオバクサを100とした際の割合 (い集率) で比較した (Fig.23)。天然貝と人工貝の比較では、天然貝がウミトラノオ *Sargassum thunbergii*、ミル *Codium fragile* で高く、人工貝がフダラク *Pachymeniopsis lanceolata*、ソゾ類 *Laurencia* spp. で高いなどの相違はあったが、両者とも紅藻にい集率の高いものが多い点では一致した。海藻を袋に入れた場合のい集率は Fig.24 に示した。海藻の形態的特徴が隠されると、天然貝、人工貝とも海藻以外の場所に静止するものが多くなり、各海藻へのい集率にも差がなくなった。

次に、摂餌状況は、各海藻における摂餌量を上述と同様にオバクサを100とした際の割合 (摂餌率) で比較した (Fig.25)。天然貝と人工貝では、天然貝がムカデノリ *Grateloupia filicina* で高く、人工貝がソゾ類、フツツナギ *Lomentaria catenata*、ワカメ *Undaria pinnatifida*、ヤツマタモク *Sargassum*

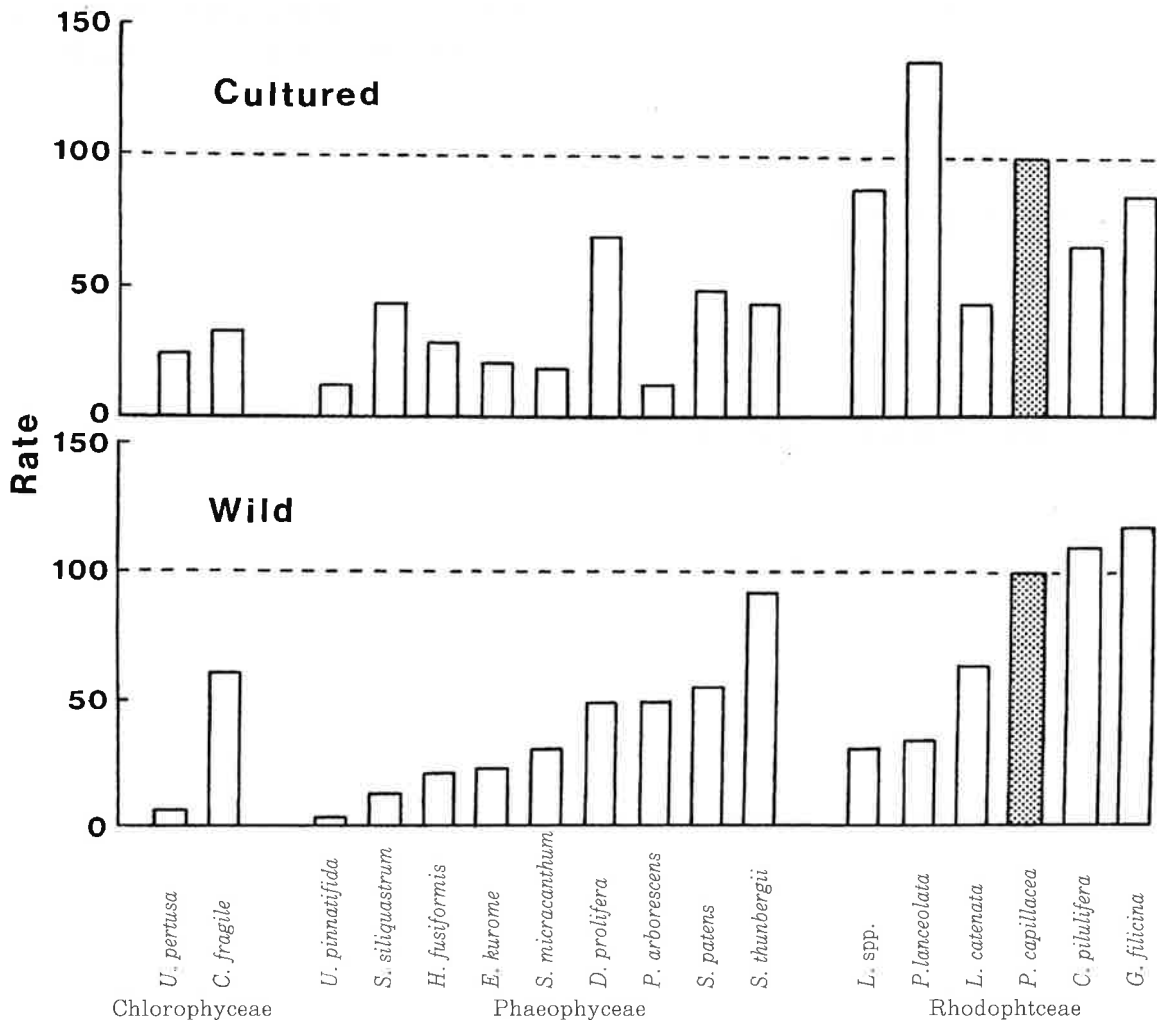
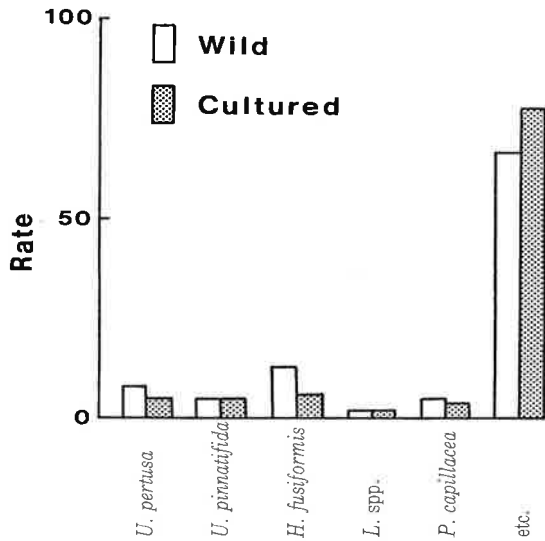


Fig. 23. Rate of the number of spiny top shells gathered at each algae per *P. capillacea* (shaded).



*patens*で高いなど、い集率と同様に摂餌率にも両者に相違があった。しかし、全般的にみると紅藻で高いという点は良く一致し、また緑藻にも高いものが共通してみられた。

実験Ⅱ 海藻を単独で与えた場合と微小藻と共に与えた場合の摂餌量の変化はFig.26に示した。微小藻がある状態では、海藻を単独で与えた場合と比べて、海藻に対する摂餌量は、オバクサで33.4%、アナアオサで25.0%減少した。

Fig. 24. Rate of young spiny top shells gathered at each alga wrapped by net.

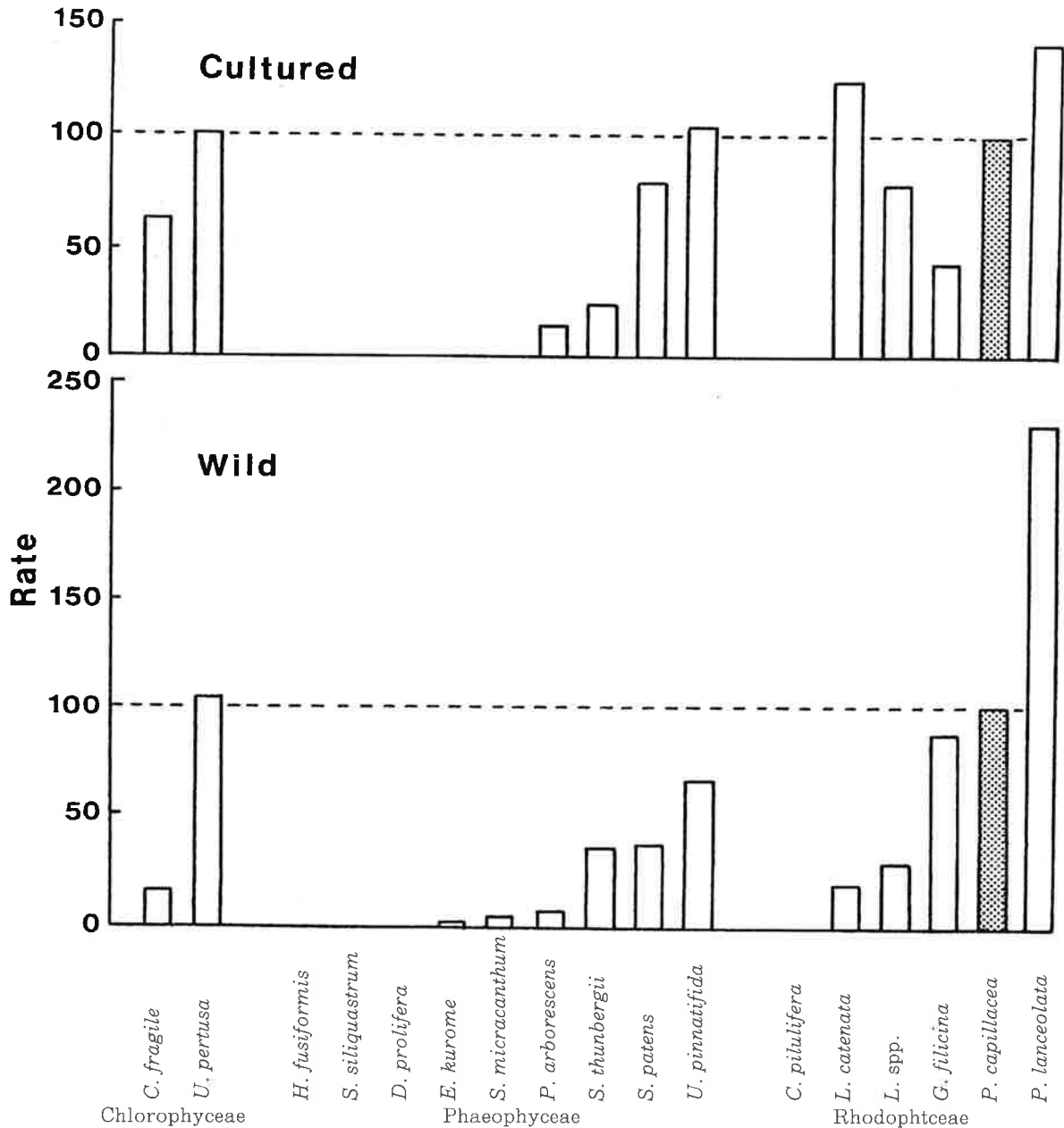


Fig. 25. Consumption rate of each alga by spiny top shells per *P. capillacea* (shaded).

考 察

サザエ稚貝の海藻に対する選択性をい集と摂餌の両面から検討したところ、い集および摂餌状況には、海藻の種類によって相違が認められた。

海藻をい集率と摂餌率によって3つのランク（A, 80%以上；B, 60-80%；C, 60%以下）に分けて評価するとTable 9のようになった。天然貝と人工貝でい集率と摂餌率がともにAランクに属するものは、オバクサ1種のみであったが、天然貝ではムカデノリ、人工貝ではフダラクがこれに加わった。また、人工貝ではい集率がAランク、摂餌率がBランクとなるソゾ類も評価が高い海藻となった。次いで、い集率と摂餌率がA, CまたはC, Aとなるのが、天然貝ではフダラク、ピリヒバ *Corallina pilulifera*, ウミトラノオ, アナアオサで、人工貝ではムカデノリ, フシツナギ, ワカメ, アナアオサなどであった。これらはい集するが余り摂餌しないか、い集はしないが摂餌量が多いなど、一面的には評価できる海藻であった。また、い集率がBランク以上

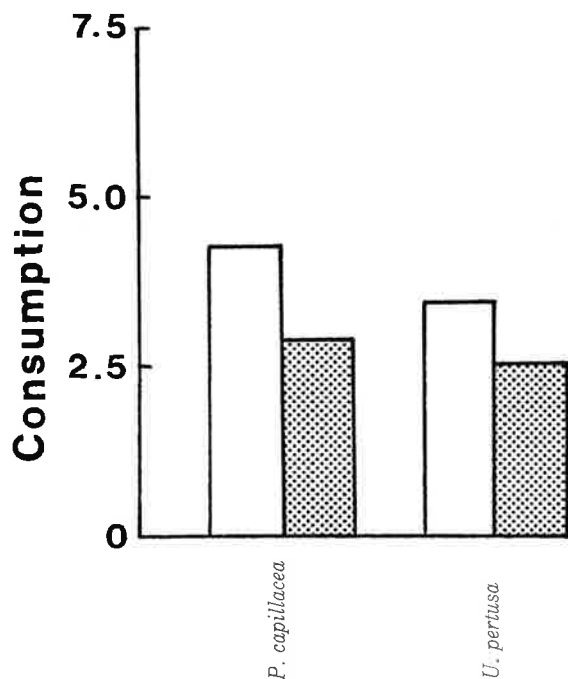


Fig. 26. Consumption of *P. capillacea* and *U. pertusa* under the conditions with (shaded) and without (blank) micro algae.

Table 9. Grade evaluation of 17 marine algae on rate of number gathered and consumption by young wild and cultured shells

Genus	Species	Wild		Cultured		
		Rate of gathered	Rate of consumption	Rate of gathered	Rate of consumption	
Chlorophyceae	1. <i>U. pertusa</i>	C	A	C	A	
	2. <i>C. fragile</i>	B	C	C	B	
Phaeophyceae	3. <i>P. arborescens</i>	C	C	C	C	
	4. <i>D. prolifera</i>	C	C	B	C	
	5. <i>E. kurome</i>	C	C	C	C	
	6. <i>U. pinnatifida</i>	C	B	C	A	
	7. <i>H. fusiformis</i>	C	C	C	C	
	8. <i>S. patens</i>	C	C	C	B	
	9. <i>S. siliquastrum</i>	C	C	C	C	
	10. <i>S. thunbergii</i>	A	C	C	C	
	11. <i>S. micracanthum</i>	C	C	C	C	
	Rhodophyceae	12. <i>P. capillacea</i>	A	A	A	A
		13. <i>C. pilulifera</i>	A	C	B	C
14. <i>G. filicina</i>		A	A	A	C	
15. <i>P. lanceolata</i>		C	A	A	A	
16. <i>L. catenata</i>		B	C	C	A	
17. <i>L. spp.</i>		C	C	B	A	

A ≥80%, B 60% ≤ B < 80%, C < 60% of the standard. *P. capillacea*.

の海藻は天然貝，人工貝共に6種，摂餌率がBランク以上の海藻は天然貝で5種，人工貝で8種となり，摂餌率の高い海藻は人工貝で多かった。

摂餌量は海藻の種類によって相違し，摂餌率の高い海藻が餌料価値は高いが，これらの海藻のい集率は必ずしも高くない。逆に摂餌率が低い海藻にもい集率の高いものがある。このように，サザエ稚貝に対する海藻の価値は，餌料としてのみならず，特に稚貝期においてはい集すなわちすみ場としての評価も必要である。総合的に見れば，い集率と同様に，摂餌率も紅藻で高いものが多く，この傾向は天然貝，人工貝共に良く一致した。い集と摂餌の両面から評価が高いものは，天然貝，人工貝で共通するのがオバクサで，これに天然貝ではムカデノリ，人工貝ではフダラク，ソゾ類が加わるが，いずれの海藻も紅藻であった。天然の漁場では，分布の広さと量の多さから，オバクサ等テングサ類が最も重要であり，サザエ稚貝の保護，育成を図る上では，これら海藻の分布が大きな意義を持つと考えられる。また，同じ植食性動物であるアワビと比較すると，選択性が高い海藻には相違が認められ，アワビでは褐藻類(酒井，1962)，サザエでは紅藻類であった。さらに，稚貝期の餌料として，アワビでは微小藻の存在が重要と考えられている(四井ら，1984)が，サザエでは微小藻の存在下でも積極的に海藻を摂餌し，殻径2mm(藤井ら，1989)や殻高5mmの稚貝(葭矢ら，1991)でもマクサやアナアオサを摂餌して成長がよいなど，アワビに比べて食性の幅が広いように思われる。これは磯根漁場における一次生産を利用するうえで有利な性質と考えられる。

各海藻を網袋に入れ，形態を均一にするとい集率が低下した。海藻はアワビに対して誘引効果を持つ(Harada *et al.*, 1982)とされ，サザエ稚貝でもその可能性は否定できない。しかし，海藻へのい集の良否はその外部形態とも関連を持つと考えられ，特にい集率はオバクサやヤツマタモク等の樹枝状の形態を持つ海藻で高かった。

また，天然貝と人工貝を比較しながら実験を行ったが，人工貝が天然貝に比べて摂餌率が高い海藻が多く，餌料の選択性という面では幅が広い。この点は飼育の前歴が反映したものと考えられ，人工貝は食性の面では好都合な性質を持っている。

本研究では，成長に伴う食性の変化について詳細

には検討していない。しかし，サイズ別のサザエに数種の海藻を与えてい集と摂餌の状況を観察した実験(藤井ら，未発表)や消化管内容物の調査結果(葭矢，1987)では，サイズに関わらずマクサやアナアオサなどの海藻を好んで摂餌することが分かっており，殻高数mm(藤井ら，1989；葭矢，1991)の稚貝から海藻を摂餌する点を考え併せると，サザエはアワビに比べ(藤井ら，1986)海藻に対する摂餌能力は高く，成長に伴う食性には大きな変化はないものと考えられる。

第2節 被食

アワビ稚貝を捕食する海産動物については，ヒトデ類，カニ類，魚類，軟体動物等が知られている(波井，1971；門間，1972；西村ら，1979；小島，1981)。一方，サザエ稚貝については，野外観察による報告(葭矢ら，1986，1987)はあるが，実験的研究に基づく報告は見当たらない。本研究では，長崎県の沿岸で普通に見られる12種の海産動物を用いて，サザエ稚貝に対する捕食実験を行い，捕食動物とサザエ稚貝に対する捕食サイズや選択性，また両者の隠れ場との関係などについて検討した(藤井，1991)。

材料および方法

実験は以下の4項目について，長崎県水産試験場増養殖研究所で行った。

実験Ⅰ：12種の海産動物によるサザエ稚貝の捕食

供試した海産動物と実験水槽の容量をTable 10に示した。実験は，同一水槽にこれら海産動物を種毎にサザエ稚貝(殻高6mmのもの10個体，23mmのもの5個体)と共に収容し，給餌せずに行った。捕食された数は，毎朝の生残数から調べ，その後同サイズの稚貝とすべて取り替えて実験を継続した。実験期間は1989年8月2日～8月12日で，水温は25.4～28.5℃であった。

実験Ⅱ：6種の海産動物によるサザエの捕食サイズ

実験Ⅰでサザエ稚貝を捕食したもののうちTable 11に示した6種について調べ，ヤツデヒトデ *Cosinasterias acutispina* とイシガニ *Charybdis*

Table 10. Marine animals and containers used for experiment I

Marine animals	Average size(mm)	Number of individuals	Container volume(l)
<i>Coscinasterias acutispina</i>	AL 52	3	15
<i>Asterina pectinifera</i>	42	3	"
<i>Ophiomastix mixta</i>	58	3	"
<i>Ophiophocus japonicus</i>	61	2	"
<i>Reishia clavigera</i>	SH 23	15	15
<i>Reishia bronni</i>	35	10	"
<i>Ergalatax contractus</i>	22	20	"
<i>Charybdis japonica</i>	CW 101	1	100
<i>Grapsus albolineatus</i>	65	1	"
<i>Plagusia dentipes</i>	64	1	"
<i>Oplegnathus fasciatus</i>	BL 285	3	2,000
<i>Halichoeres poecilopterus</i>	102	5	100

AL, arm length; SH, shell height; CW, carapace width; BL, body length.

Table 11. Marine animals and containers used for experiment II

Marine animals	Average size(mm)	Number of individuals	Container volume(l)
<i>C. acutispina</i>	AL 85	1	15
"	65	1	"
"	42	1	"
<i>R. bronni</i>	SH 35	10	"
<i>E. contractus</i>	22	20	"
<i>C. japonica</i>	CW 101	1	30
"	77	1	"
"	53	1	"
<i>G. albolineatus</i>	64	1	"
<i>P. dentipes</i>	62	1	"

See Table.10 for footnotes.

*japonica*はサイズを変えて実験した。実験は、同一水槽にこれら海産動物を種毎にサザエ（殻高5mmのもの5個体、10、20、30、40、50mmのもの3個体ずつ）と共に収容し、給餌せずに行った。捕食された数は、実験Iと同様に毎朝の生残数から調べ、その後同サイズのサザエとすべて取り替えて実験を続けた。実験期間は1988年8月18日～8月27日で、水温は24.6～28.1℃であった。

実験Ⅲ：ヤツデヒトデによる各種巻貝の捕食 サザエの捕食が多かったヤツデヒトデのサザエに対する選択性の有無を調べるために行った。実験は、ヤツデヒトデの幅長60mmのもの6個体を、Table 12に示した6種の巻貝5個体ずつと共に、径10cm前後の石を敷き詰めた100l容の円形ポリエチレン水槽に収容して行った。なお、巻貝は大きさによって捕食され易さに差が生じないように殻高（クロアワビ *Nordotis discus discus*は殻長）22mm前後のものを用いた。捕食された数は、毎朝、各種巻貝の生残数から調べ、その後捕食された数を補充して実験を続けた。実験水槽は野外に設置し、珪藻等が自然に増殖した後に巻貝を収容し、実験中は巻貝への給餌は行わなかった。実験期間は1987年8月23日～9月22日で、水温は23.2～27.1℃であった。

実験Ⅳ：水槽底面の形状がサザエ稚貝に対するヤツデヒトデの捕食に及ぼす影響 底面の形状はFig. 27に示したように、大きさの異なる円形のくぼみ（1, 2,3区）、溝（4,5区）および起伏のないもの（6区）の6種である。実験は上述の水槽に幅長50mmのヤツデヒトデ2個体と殻高21mmのサザエ稚貝5個体ずつを収容し、毎朝生残数を調べて全ての稚貝が捕食されるまで続けた。水槽は野外に設置し珪藻等が自然に増殖した後に実験を開始して、実験期間中は、両者に対する給餌は行わなかった。実験期間は1987年9月11日～29日で、水温は23.6～25.5℃であった。

結果

実験Ⅰ 結果はTable 13に示した。クモヒトデ類 *Ophiophocus* spp.2種とイボニシ *Reishia clavigera*

Table 12. Marine snails used for experiment III

Marine animals	Average shell height(mm)
<i>Batillus cornutus</i>	21.1
<i>Nordotis discus discus</i>	22.2*
<i>Trochus sacellus rota</i>	23.2
<i>Omphalius pfeifferi carpenteri</i>	22.5
<i>Chlorostoma argyrostoma lischkei</i>	20.3
<i>Astraliium haematrugum</i>	22.0

* Shell length(mm).

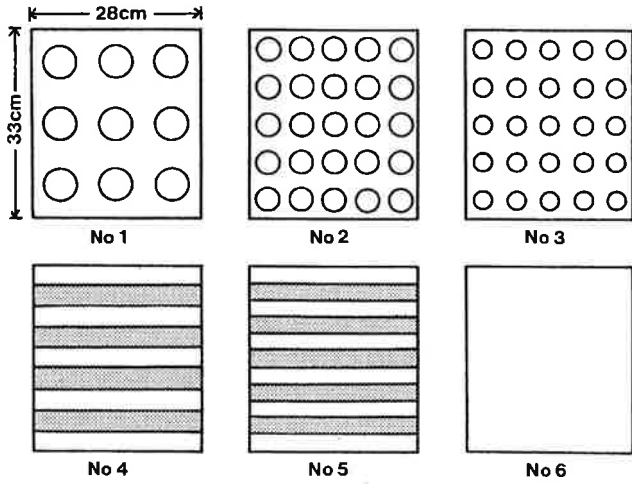


Fig. 27. Containers differing in bottom shape, in which *C. acutispina* and 5 spiny top shells were present. No.1, 9 holes of 4cm width, 2cm depth. No.2, 25 holes of 2cm width, 2cm depth. No.3, 25 holes of 1.5cm width, 2cm depth. No.4, 4 ditches (shaded) of 4cm width, 2cm depth. No.5, 4 ditches (shaded) of 2cm width, 2cm depth. No.6, flat surface.

Table 13. Consumption of spiny top shells by 12 species of marine animals

Marine animals	Number of shells consumed	
	SH. 6mm	SH. 22mm
<i>C. acutispina</i>	16	3
<i>A. pectinifera</i>	0	1
<i>O. mixta</i>	0	0
<i>O. japonicus</i>	0	0
<i>R. clavigera</i>	0	0
<i>R. bronni</i>	2	2
<i>E. contractus</i>	18	1
<i>C. japonica</i>	5	27
<i>G. albolineatus</i>	24	0
<i>P. dentipes</i>	19	2
<i>O. fasciatus</i>	99	5
<i>H. poecilopterus</i>	9	0

Experimental period, August 2 to 12, 1989; Range of water temperature, 25.4~28.5°C

を除く9種が捕食した。実験期間中の捕食数は、殻高22mmの稚貝ではイシガニが最も多く、その他は少なかった。一方、殻高6mmの稚貝は、イシガニが最も多く、ミナミイワガニ *Grapsus albolineatus*、ショウジンガニ *Plagusia dentipes*、ヒメヨウラクガイ *Ergalatax contractus*、ヤツデヒトデ等も多かった。捕食行動の観察結果は以下のとおりである。ヤツデヒトデとイトマキヒトデ *Asterina pectinifera*は、

管足でサザエを捕らえて口に運び、胃を体外へ出してサザエを包み込み、殻口から軟体部のみを捕食した。レイシガイ *Reishia bronni* とヒメヨウラクガイは、捕捉行動の観察はできなかったが、殻口から軟体部に吻を差し込んで捕食中の個体を観察し、ヒメヨウラクガイは群がって捕食した。一般にアクキガイ科の巻貝は殻に穿孔して軟体部を食するとされる(葭矢ら, 1986; 小澤, 1984)が、本研究の実験ではアクキガイ科に属するレイシガイとヒメヨウラクガイにはそのような行動は認められなかった。

カニ類は、殻高6mmの稚貝ではハサミで殻を砕き軟体部をはさみ取って捕食した。また、殻高22mmの稚貝では殻口の外唇部をハサミで割り、軟体部が露出したところで口に運び捕食した。

イシガイ *Oplegnathus fasciatus* は水槽内に殻高6mmの稚貝を入れると直ちに飲み込んだ。一方、殻高22mmの稚貝では実験開始当初は口にくわえただけで吐き出したが、8日後に殻を噛み砕いて軟体部のみを捕食した。キュウセン *Halichoeres poecilopterus* は殻高6mmの稚貝は噛み砕いて軟体部のみを捕食したが、22mmの稚貝は捕食しなかった。

実験II 結果はTable 14に示した。ヤツデヒトデとレイシガイは30mm以下を、ヒメヨウラクガイは40mm以下を捕食した。イシガニは甲幅101mmでは40mm以下、77mmのものでは30mm以下、53mmのものでは20mm以下を捕食した。ショウジンガニは10mm以下を、ミナミイワガニは5mm以下を捕食し、イシガニに比べると捕食するサイズは小さかった。おしなべてみると、実験で用いた6種に捕食されたサザエは殻高20mm以下で多かった。

実験III 結果はTable 15に示した。最も捕食された数が多かったのはオオコシダカガンガラ *Omphalius pfeifferi carpenteri* とサザエで、ついでウズイチモンジガイ *Trochus sacellus rota* が多く、クロアワビとクボガイ *Chlorostoma argyrostoma lischkei* は少なかった。なお、ウラウズガイ *Astrarium haematragum* は捕食されなかった。

実験IV 結果はTable 16に示した。サザエ稚貝は狭い溝を持つ5区では4日目には全てが、広い溝を持つ4区でも3日目には4個体が捕食され、溝状の底面で

Table 14. Consumption of spiny top shells by 12 species of marine animals

Marine animals	Number of shells consumed						Total
	SH.5mm	SH.10mm	SH.20mm	SH.30mm	SH.40mm	SH.50mm	
<i>C. acutispina</i>	0	0	1	0	0	0	1
"	2	1	0	1	0	0	4
"	0	4	2	0	0	0	6
<i>R. bronni</i>	1	1	3	2	0	0	7
<i>E. contractus</i>	5	3	0	0	1	0	9
<i>C. japonica</i>	1	5	6	3	2	0	17
"	0	5	3	1	0	0	9
"	4	3	3	0	0	0	10
<i>G. albolineatus</i>	5	0	0	0	0	0	5
<i>P. dentipes</i>	1	5	0	0	0	0	6
Total	19	27	18	7	3	0	74

Experimental period, August 18 to 27, 1989; Range of water temperature, 24.6~28.1°C

Table 15. Consumption of various marine snails by *C. acutispina*. *C. acutispina* and snails were present in the same tank

Marine snails	Number of shells consumed
<i>B. cornutus</i>	13
<i>N. discus discus</i>	6
<i>T. sacellus rota</i>	10
<i>O. preifferi carpenteri</i>	15
<i>C. argurostoma lischkei</i>	4
<i>A. haematragum</i>	0

Experimental period, August 23 to September 22, 1987;
Range of water temperature, 23.2~27.1°C

捕食が早かった。また、1~3区は4, 5区に比べると捕食が遅く、平坦な底面を持つ6区で最も長く生存した。サザエとヤツデヒトデの昼間の生息場所は1~5区ではくぼみや溝の壁面寄り、6区では水槽の四隅で、両者の分布は一致した。

考 察

長崎県沿岸に普通に生息する12種の海産動物によるサザエ稚貝の捕食実験を行ったところ、このうち9種で捕食が認められた。また、捕食されるサザエ稚貝のサイズは、捕食種として重要と思われる6種を用いた実験では、イシガニとヒメヨウラクガイで殻高40mm以下、ヤツデヒトデで30mm以下、その他で

Table 16. Number of surviving spiny top shells in containers with different bottom shapes. Each container had two *C. acutispina* and 5 shells of 21 mm shell height at the initial

Container No.	Days following start of experiment										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	18
1	3	3	3	2	2	1	1	0			
2	4	4	4	3	3	3	2	1	0		
3	3	3	2	2	2	2	1	1	0		
4	3	2	1	1	1	1	1	1	0		
5	2	1	1	0							
6	4	3	3	3	2	1	1	1	1	1	0

Experimental period, September 11 to 29, 1987; Range of water temperature, 23.6~25.5°C.

20mm以下であった。また、ショウジンガニ、ミナミイワガニは10mm以下を捕食し、イシガニに比べると小型の貝を捕食した。捕食種のサイズと捕食されるサザエ稚貝のサイズとの関係をヤツデヒトデとイシガニを用いて実験した結果、イシガニはサイズに比例してサザエを捕食する傾向があったが、ヤツデヒトデでは供試した幅長40~80mmの個体ではこの傾向は認められなかった。なお、殻高50mmを超えたサザエは捕食されず、これが食害からの安全サイズと考えられる。

次に、分布の広さや量の面から捕食種として重要と考えられるヤツデヒトデについて、サザエ稚貝を含む各種巻貝に対する選択性を調べた結果、サザエ稚貝はオオコシダカガンガラと共に捕食される数が多く、ヤツデヒトデは巻貝の捕食に際し、種を選択を行うことが分かった。また、底面の形状とヤツデヒトデの捕食との関係では、狭い溝を持つ底面に収容したもので最も早く全数が捕食された。カニ類の捕食については巻貝の殻の形状や厚さなど物理的要因が食べ易さに関係していると考えられている（小澤, 1984; Edith *et al.*, 1978）。ヤツデヒトデの場合、食べ易さと共にすみ場の一致が捕食の機会を増す等すみ場の選択性等の生息生態に起因する要素も考えられる。

上述のように、サザエ稚貝を捕食する海産動物は多く、この実験に用いた大きさ以下の稚貝も考慮すれば、多種多様な捕食動物が存在すると考えられる。実験の結果からは殻高数mm以上になったサザエ稚貝ではカニ類、ヤツデヒトデ、ヒメヨウラクガイ等が重要な捕食種と考えられる。

第5章 加入と生残

第1章から第4章にかけて、サザエの成長、成熟、分布等の生物学的特性を明らかにしてきた。さらに、本章では、先ず第1節において資源の生残過程の挙動を明らかにするため、漁業資源に加入するまでの生き残りやサザエの主漁業である素潜り漁業の特性について検討した。次に第2節では、漁業資源に対する漁獲の影響を調べるため、長崎県対馬の厳原町阿連地区の漁獲データを試料として、得られた資源特性値を成長-生残モデルにあてはめ資源診断を試みた。

第1節 資源特性値の推定

標識放流実験Ⅰでは人工具を用いて、再捕・放流を繰り返して、漁獲加入前の生残率について検討した。標識放流実験Ⅱでは、長崎県の漁獲量の約70%を占める素潜り漁業を対象に、漁獲率および努力量と漁獲サイズとの関係を検討した（藤井ら, 1998）。なお、いずれの実験も長崎県対馬の厳原町阿連地区で行った。

材料および方法

標識放流実験Ⅰ：放流サザエの生残 実験は、地元漁業者によってアレザキならびにゼンゼと呼ばれるサザエの主漁場で行った（Fig.28）。

稚貝（放流サザエ）は、長崎県水産試験場増養殖研究所で1991年6月に採苗し、飼育した1才貝16,900個体で、サイズ別に放流後の生残率を比較するため、L群（平均殻高20.9mm）、M群（16.6mm）、S群（12.7mm）の3つのサイズ群に識別して放流した。放流数は、L群が両漁場に2,600個ずつ、M群がゼンゼ

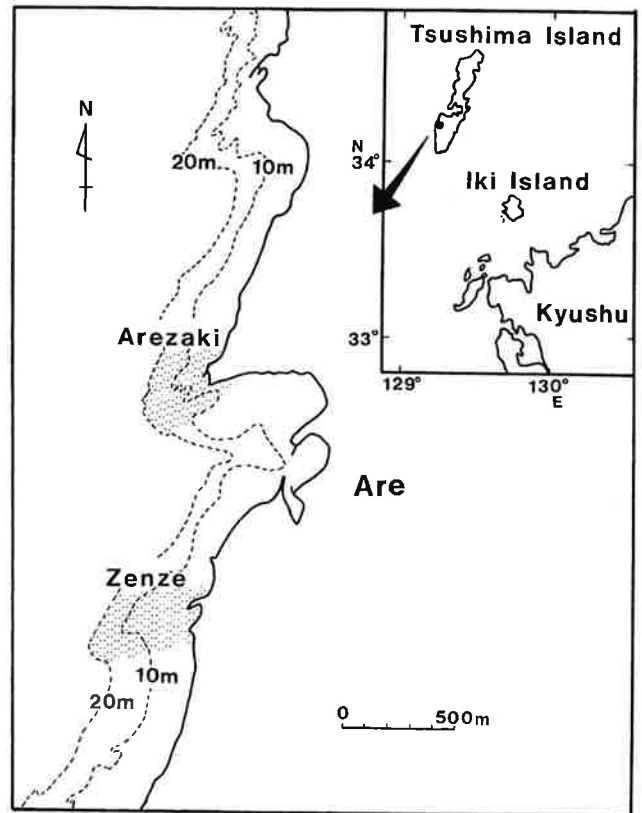


Fig.28. Map showing the Tsushima Island and research area, Arezaki and Zenze.

に5,000個, アレザキに4,700個, S群がゼンゼのみに2,000個であった。

標識は、サイズ別に色の異なったビニールチューブ(径2mm)を殻頂直下の縫合部に、アルファシアノアクリレート系瞬間接着剤で装着した。標識付けは、1992年6月に行い、放流は約40日後の7月29日に、漁業者が素潜りによって潮間帯下部から漸深帯の上部にかけて行った。

放流後の調査は、個体識別をする多回放流・再捕の方法に基づき、放流後86日を経過した1992年10月23日から455日後の1993年10月27日にかけて3~5ヶ月間隔で計4回行った (Table 17)。

毎回の調査は、Scuba潜水と素潜り各2名ずつ合計4名で行い、放流漁場内を90分間探索し、標識個体と標識個体と同サイズの非標識個体を採捕した。非標識個体中には、標識が脱落した個体(標識脱落個体)が含まれると考えられた。そこで、標識個体は飼育中に与えた餌によって放流時の殻の色が白色であるため、ワイヤーブラシで殻頂部の付着物を取り除いて確認した。

再捕された標識個体および標識脱落個体は、1回目の調査から個体識別が可能のように、番号が記入されたビニールチューブで再標識し、殻高を測定した後再放流を行った。4回の調査によって得られた再捕・放流資料は、加入がないとみなせる放流調査におけるJollyモデルの修正法の適用(加藤のモデル: 加藤, 1988)を用いて放流サザエの現存数および生残率を推定した。

標識放流実験Ⅱ: 素潜り漁業におけるサザエのサイズ別漁獲率 200×200mの正方形の実験区は、漁業者にシラキと呼ばれよく利用される漁場(水深5~20m)に設定した (Fig.29)。さらに、実験区は放流後の標識個体の移動を調べるため、100×100mの4区

域(A, B, C, D放流区)に区分した。

実験区の海底は、転石、礫、砂が混在する岩盤帯で、A区より沖側は砂地に移行し、D区の沖側は岩盤が続いている。岩盤上にはアラメ、カジメの群落が、また転石や礫地帯にはノコギリモク等のホンダワラ類を主体とした藻場が形成されていた。供試したサザエは、1988年4月25日に対馬の上対馬町一重地区で、潜水器漁業によって漁獲された1,881個体である。供試個体は水揚げ後直ちに阿連に陸送し(所要時間は約3時間)、実験に備えて海中の蓄養籠に収容した。標識付けは、翌日の4月26日に行い、大型のL群(殻高85.4mm~109.8mm, 437個体)、中型のM群(殻高79.2mm~93.2mm, 713個体)、および小型のS群(殻高59.3mm~84.0mm, 731個体)の3つのサイズ群に分け、殻の外唇の縁辺部に開けた小孔(径2mm)の位置によってそれらを区別した (Fig. 30)。さらに、この孔にステンレス線または銅線(いずれも径0.55mm)を結付すると共に一部のものについてはビーズ玉を装着した。これら4種類の標識群を4つの放流区(A~D)に対応させた。放流は4月27日に行った。各サイズ群について、標識個体を放流区内に均等に分散させるため、各放流区それぞれ10m間隔のロープラインを設置し、ラインに沿って航

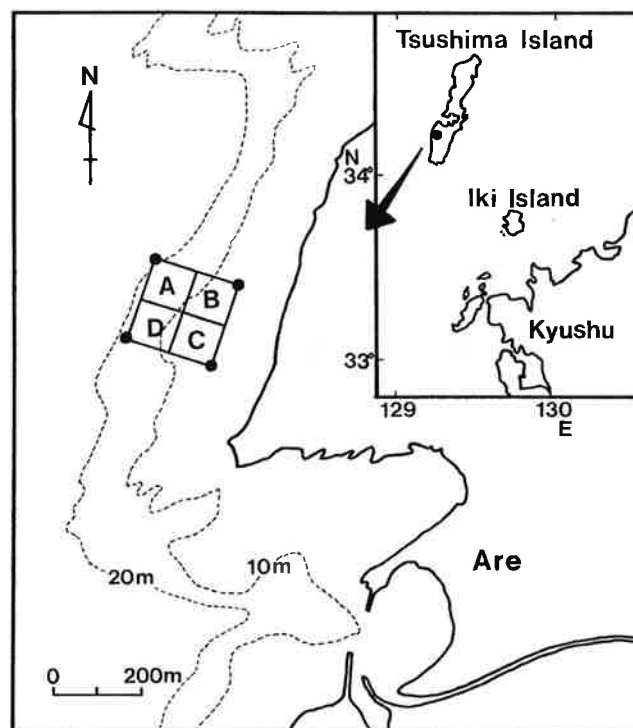


Fig.29. Map showing experimental area and subareas (A-D) in the coastal waters off Are, Tsushima Island.

Table17 . Date of catch and release

No. of research	Date	Days after first released
1	1992 Oct. 23	86
2	1993 Mar. 19	233
3	1993 June 27	333
4	1993 Oct. 27	455

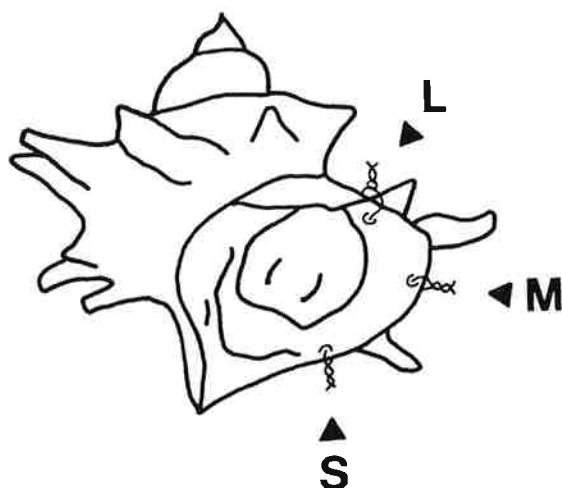


Fig.30. Illustration of position of tag attachment for different size groups (L,M and S).

走しながら、L群については約10m毎に、M群およびS群はそれぞれ約5m毎に1個体の割合で海中に投入した。

再捕試験をかねた実験区内での素潜り漁業の操業は、27人の漁業者によって放流5日後の5月2日から6月12日までの前期と、休漁期間をはさんで7月13日から8月31日までの後期に分けて行われた。前期は14日で漁業者17人、延べ79人が、後期は17日で、漁業者11人、延べ43人が操業した。

標識個体の再捕状況は、操業日誌（漁獲位置、個体数、操業時間等）によって調査した。さらに、再捕された標識個体は水揚げの際回収し、全再捕個体と同時に漁獲された非標識個体50個体について殻高を測定した。

なお、標識の脱落状況と供試個体の陸送や標識装着が生残率に与える影響を知るために、標識個体と非標識個体のそれぞれ各サイズ（L群、M群およびS群）毎に10個体ずつを、長崎県水産試験場増養殖研究所の陸上水槽で1カ月間飼育観察した。

結果

標識放流実験 I 個体識別を行って再捕・放流を繰り返した結果をゼンゼはTable 18, アレザキはTable 19に示した。なお、結果は漁場別・サイズ群別ならびに標識脱落個体について放流時毎の再捕数

に分けて整理した。

再捕数は、両漁場共にL群とM群がほぼ同数で多く、次いで標識脱落個体、ゼンゼに放流したS群は、L群に比較して5分の1程度と少なかった。

ここで、脱落個体を無視して標識個体の資料を解析に用いれば過小評価になる恐れがあるため、両漁場ともに各サイズの再捕割合で脱落個体を按分し、標識個体の再捕数に加えて解析に用いた。まず、解析は、漁場毎にL群とM群の結果をそれぞれ加藤のモデル(1988)にあてはめた。なお、再捕数が少なかったS群についてはモデルへのあてはめは行わなかった。

各調査時(1~3回目)の放流サザエの現存数および調査間(1~2回目, 2~3回目)の生残率はTable 20に示した。放流333日後(3回目)の現存数は、Lで1,373個体、Mで1,592個体となり、1~2回目, 2~3回目の間の生残率は、それぞれL 0.845, 0.834, M 0.928, 0.966となった。この結果を基に、放流333日後の生残率を、現存数を放流数で除して求めると、L 0.264, M 0.164となった。Sの生残率は、ゼンゼにおけるLとSの再捕個体の比率をLの0.264に乗じて0.126と推定した。生残率は放流サイズによって相違し、サイズが大きいものほど高い値を示した。さらに、L, M, S群の再捕・放流結果を合せて同様の解析を行った。その結果、1~3回目の間(247日間)の生残率0.783から、生残率は時間に反比例するものとして求めた年間の生残率(365日間)は0.679となった。さらに、放流サザエは、4回目の調査までの成長から翌年5月の漁期開始時には殻長60mmを超え漁獲に加入するものとして、放流から加入までの生残率を求めると0.126となった。

標識放流実験 II 水揚げの際に回収された再捕個体数は、前期には合計264個体(L群104, M群110, S群50)、後期には合計178個体(L群41, M群86, S群51)であった。一方操業日誌の記録では、前期には合計233個体(L群95, M群87, S群35, サイズ未記入16)、後期には合計118個体(L群27, M群64, S群27)の再捕が報告された(Table 21)。また、前期では83.7%, 後期では55.1%が各放流区と同じ区で再捕され、その他は放流区と異なる区で再捕がみられた。また、放流区と再捕区との位置関係のみた移動は、前期では岸に平行な方向へ(例えばA区からD区へ)65%, 岸側へ(例えばA区からB区へ)

Table 18. Number of tagged shells recaptured in Zenze, fishing ground of Are

No. of research	Date of capture and recapture	Number of tagged shells recaptured (Average shell height)									
		L					M				
		Total	i=0	1	2	3	Total	i=0	1	2	3
1	1992 Oct. 23	130	130 (30.2)				126	126 (26.1)			
2	1992 Mar. 19	147	97 (42.8)	50			113	78 (40.5)	35		
3	1993 June 27	137	80 (49.4)	22	35		106	51 (46.7)	30	25	
4	1993 Oct. 27	99	53 (58.0)	5	16	25	90	45 (57.1)	13	17	15
Total		513	360	77	51	25	435	300	78	42	15

No. of research	Date of capture and recapture	Number of tagged shells recaptured (Average shell height)									
		S					*				
		Total	i=0	1	2	3	Total	i=0	1	2	3
1	1992 Oct. 23	26	26 (24.0)				122	122 (28.0)			
2	1992 Mar. 19	20	12 (38.7)	8			98	40 (40.0)	58		
3	1993 June 27	24	14 (42.2)	3	7		127	77 (47.7)	30	20	
4	1993 Oct. 27	24	14 (56.4)	3	2	5	136	82 (57.9)	19	17	18
Total		94	66	14	9	5	483	321	107	37	18

* tagged shells that shed their tag after release.

Table 19. Number of tagged shells recaptured in Arezaki, fishing ground of Are

No. of research	Date of capture and recapture	Number of tagged shells recaptured (Average shell height)														
		L					M					*				
		Total	i=0	1	2	3	Total	i=0	1	2	3	Total	i=0	1	2	3
1	1992 Oct. 23	146	146 (27.2)				130	130 (22.5)				93	93 (22.3)			
2	1992 Mar. 19	107	75 (39.4)	32			104	86 (24.1)	18			36	13 (36.3)	23		
3	1993 June 27	54	23 (47.0)	14	17		45	30 (42.5)	6	9		34	26 (43.3)	4	4	
4	1993 Oct. 27	40	11 (54.1)	14	11	4	35	12 (53.1)	12	6	5	35	28 (54.1)	3	2	2
Total		347	255	60	28	4	314	258	35	15	5	198	160	30	6	2

* tagged shells that shed their tag after release.

23%および沖側へ（例えばB区からA区へ）12%，また，後期では，沖側へ58%，岸に平行な方向へ18%，および岸側へ8%であった。各区における操業時間，再捕個体数および漁獲個体数は，前期は実験区の沖側A区とD区の合計と岸側B区とC区の合計と

は比較的近い値を示したが，後期では沖側で大きな値を示した。

なお，漁獲率の算出に先立ち2，3の誤差要因について検討を行った。まず，別に行った1ヶ月間の水槽飼育実験によると標識の脱落は認められず，飼育期

Table 20. Combined data for stock and survival rate of released at Zenze with Arezaki

L size group			
No. of research	Date of capture and recapture	Stock of released shells	Survival rate of released shells(%)
1	1992 Oct. 23	1,326 ± 58	—
2	1993 Mar. 19	1,442 ± 107	0.845 ± 0.073
3	1993 June. 27	1,373 ± 180	0.834 ± 0.126

M size group			
No. of research	Date of capture and recapture	Stock of released shells	Survival rate of released shells(%)
1	1992 Oct. 23	1,219 ± 57	—
2	1993 Mar. 19	1,460 ± 133	0.928 ± 0.095
3	1993 June. 27	1,592 ± 266	0.966 ± 0.184

間における斃死もS群の1個体のみであった。また、本実験中標識個体が斃死した状態で再捕された例は1個体のみで、標識による損耗は無視し得る程度のものであった。さらに、漁獲された標識個体と非標識個体の殻高組成は、Fig.31に示したように、よく近似することから両者の間にサイズによる獲られ方に差はなかった。

放流区と異なる区で再捕される個体があったことから、有効放流数を推定するため、標識個体の実験区外への移動（逸散率）を藤田ら（1981）の方法を参考に以下のように見積もった。標識個体の実験区内の移動は、操業日誌による放流位置と再捕位置との関係から、4つの放流区毎にFig.32(a)に例示されるような3方向の移動として整理できる。これら放流区の移動方向を総合してFig.32(b)に示すような8方向への移動としてモデル化し、操業日誌の再捕結果に適用した。前期のL群の例についてFig.33に示した。先ず、標識個体の再捕結果をFig.32(a)に当ては

Table 21. Recapture data by size groups (L, M, S) of spiny top shell in the experimental area (subarea. A, B, C, and D) from daily reports of the free diving shell fishery

I. Former half of fishing season (May 2-June 12, 14 days fished)

Recapture \ Release	A				B				C				D				Total			
	L	M	S	NA**	L	M	S	NA	L	M	S	NA	L	M	S	NA	L	M	S	NA
A	24	22	11	0	3	1	0	3	1	0	0	0	2	2	2	1	30	25	13	4
B	1	1	0	0	19	18	3	4	2	2	1	0	0	1	0	0	22	22	4	4
C	0	0	0	0	2	2	0	0	18	16	7	6	0	1	0	0	20	19	7	2
D	2	3	2	0	0	0	1	0	1	1	0	0	20	17	8	2	23	21	11	6
Total	27	26	13	0	24	21	4	7	22	19	8	6	22	21	10	3	95	87	35	16
Number of shells released	110	178	182		109	179	183		109	178	183		109	178	183		437	713	731	
Total fishing effort (hr.)	30.4				44.5				28.5				38.5				141.9			

** Data for shell size are not available.

II. Latter half of fishing season (July 13-August 31, 17 days fished)

Recapture \ Release	A			B			C			D			Total		
	L	M	S	L	M	S	L	M	S	L	M	S	L	M	S
A	11	15	5	0	1	0	1	0	0	2	3	2	14	19	7
B	1	4	2	2	4	2	1	2	0	0	3	2	4	13	6
C	0	2	2	1	4	0	1	3	2	4	7	4	6	16	8
D	0	2	1	0	0	0	1	1	0	2	13	5	3	16	8
Total	12	23	10	3	9	2	4	6	2	8	26	13	27	64	27
Total fishing effort (hr.)	28.8			11.1			11.6			28.5			79.9		

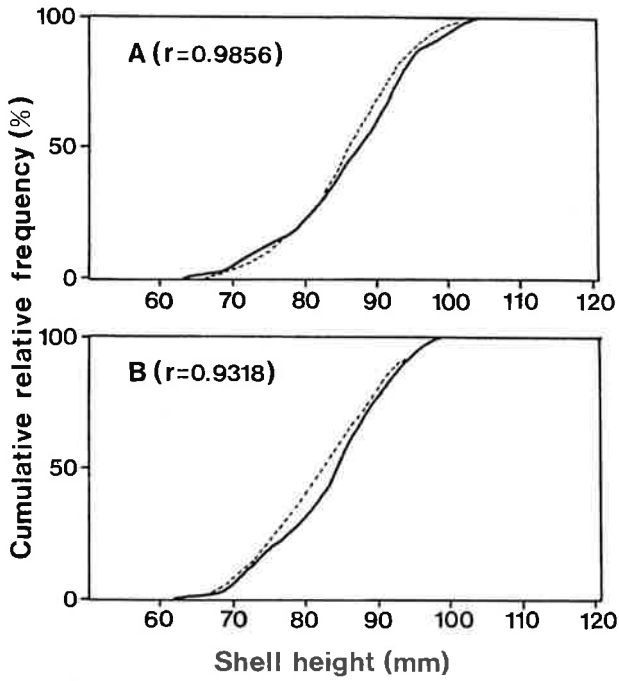


Fig.31. Cumulative frequency curves of shell height composition. ———, recaptures, , catch.

めるとFig.33(a)が得られる。この際、各区に投じられた漁獲努力量の大きさがそれぞれ異なるため、努力量が最も多かったB区の数値を基準として他の各放流区の再捕数を努力量の比率で引き伸ばして標準化した。次に、各放流区内での再捕数および各方向への移動数の平均値をFig.33(b)に、その配分比(%)をFig.33(c)に示した。それによると、前期のL群は、放流区に72.5%が留まり、残りの27.5%が周辺の8方向へ移動したものと推定された。この結果に

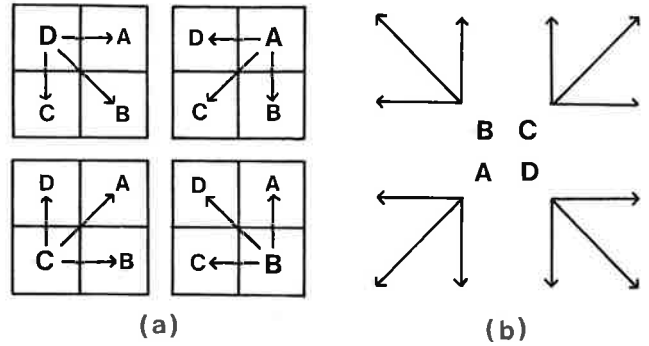


Fig.32. Explanatory diagram of the moving model, based on the release-recapture data. (a), Moving directions of released shells in each subarea (A-D). (b), Moving trend of released shells in all direction.

基づき、L群について標識個体の滞留率および移動率を放流区毎に求め、それらを総合して実験区内の滞留率を推定してTable 22に示した。その結果、前期のL群については、放流員のうち実験区に残存したものの滞留率は84.9%で、残りの15.1%が実験区外へ逸散したと推定された。

各サイズ群についても同様の検討を行い、漁期別、サイズ別に実験区における滞留率と逸散率を求めてTable 23に示した。それによると前期ではどのサイズ群でも14~17%前後が、また後期ではいずれの群も増加し35~39%が実験区外へ逸散したと推定された。

この結果を基に、放流数に滞留率を乗じて有効放流数を求め、この値で標識個体の再捕数を除してサイズ群毎の漁獲率を求めTable 24に示した。それに

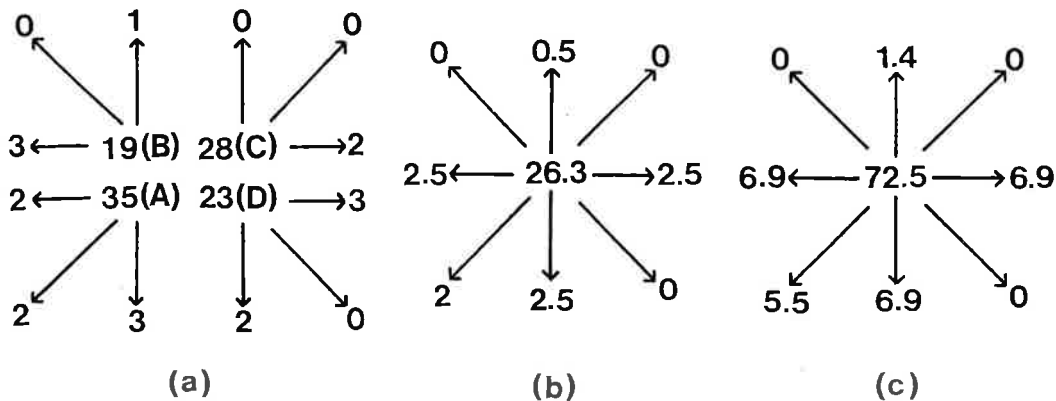


Fig.33. Distribution and movement of released shells in number (a and b) and percentages(c), for L-size group in the former half of fishing season(see Table 21). The number of recaptures is standardized on the basis of the fishing effort in subarea B (the highest value of effort), e.g., $\hat{R}_A = X_B / X_A \times R_A$ (R_A and X_A , the number of recaptures and effort in subarea A, respectively X_B , the effort in subarea B). (a), Distribution in number of recaptures by subareas. (b), Average number of remaining and moving shells, calculated from data in (a). (c), Rate of movement for each direction(%).

Table 22. Distribution and remaining rate of released shells in the experimental area, based on the moving model shown in Fig. 5(c), for L-size group in the former half of fishing season.

Release subarea	Remaining rate(%)				Total
	A	B	C	D	
A	72.5	6.9	5.5	6.9	91.8
B	1.4	72.5	6.9	0	80.8
C	0	6.9	72.5	1.4	80.8
D	6.9	0	6.9	72.5	86.3
Total	80.8	86.3	91.8	80.8	Average 84.9

Table 23. Percentage frequency of released shells remaining (R) in and emigrating (E) from the experimental area.

Size group	Fishing season			
	Former half		Latter half	
	R	E	R	E
L	84.9	15.1	64.3	35.7
M	85.5	14.5	62.8	37.2
S	82.5	17.5	61.1	38.9

よると漁獲率は前期におけるL群では0.280, M群では0.180, S群では0.083となり, 後期におけるL群では0.238, M群では0.274, S群では0.151となった。漁獲率は, 前期ではL群が高く, 後期ではL群とM群で高かった。また, S群は依然低かったが, 前期と比較すると高くなった。また, 全漁期を通じた漁獲率は各サイズ群の再捕数を有効放流数で除して求めると0.406となった。

以上のように, サイズ群によって漁獲率は相違し, 漁獲によってサザエのサイズ選択がなされたことが分かった。そこで, サイズ別の選択性とその変化を検討するため, 前期(努力量168.7時間)と全漁期(努力量303.2時間)のそれぞれの漁期終了時について, 殻高10mm階級のサイズ別の相対再捕率(サイズ別再捕率のうち最も高い再捕率に対する相対値)を示すとFig.34のようになった。前期では大型の個体ほどより獲られやすいサイズ選択性が明らかに認められ, その選択性は努力量の増加に伴って変化することが判った。また, 漁獲サイズは相対再捕率50%の水準でみると前期殻高80mmから全漁期67mmへと小型化した。

考 察

標識放流実験 I の結果, 放流サザエの生残率は, 放流時のサイズ群によって相違し, 大きなものほど

Table 24. Summary of release-recapture data and exploitation rate by size groups (L,M,S)

Items	Fishing season								
	Former half			Latter half			Former and latter half combined		
	L	M	S	L	M	S	L	M	S
Number of released shells	437	713	731	267	500	553	437	713	731
Number of emigrating shells	66	103	128	95	186	215	161	289	343
Number of remaining shells* ¹	371	610	603	172	314	338	276	424	388
Number of recaptures* ²	104	110	50	41	86	51	145	196	101
Exploitation rate	0.280	0.180	0.083	0.238	0.274	0.151	0.525	0.462	0.260
Percentage retention* ³	100	64.3	29.6	100	115.1	63.4	100	88.0	49.5
Total fishing effort(hr.)* ⁴		168.7			134.5			303.2	

*¹ Effective number of released shells.

*² Data from inspection of landings.

*³ Relative value of exploitation rate.

*⁴ Estimated effect corresponding to the number of recaptures.

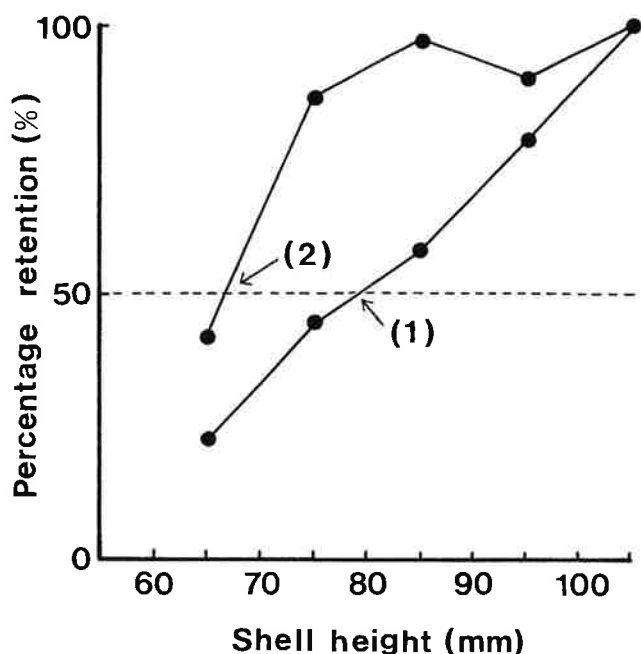


Fig.34. Relationship between shell size and percentage retention in the spiny top shell free diving fishery, based on the release-recapture data. The point of 50% retention changes with the accumulation of fishing effort. (1), Fishing effort : 168.7hrs.(former half of fishing season). (2), Fishing effort : 303.2hrs.(former and latter half of fishing season combined).

高かったが、その値は殻高20mmのL群でも0.264と低かった。しかし、調査期間別(1~2回目, 2~3回目)にみると、MやS群の生残率も殻高20mmを超えた1回目以降は、0.8以上と高くなり、放流サイズ群による相違はなくなった。この結果から、放流初期の減耗が大きく、原因として、食害、逸散等が考えられる。今後、放流によって増殖を図る上では、この点に関する詳細な検討が必要と考えられる。しかし、放流サザエの調査期間(1~3回目)中の生残率は安定した値を示したことから、殻高20mmから漁獲加入までのサザエの年間の生残率は0.679と推定された。今後、この値は資源特性値として利用できるものと考えられ、再生産を考慮する上では殻高20mm以下の稚貝の生残率の検討が必要である。

標識放流実験Ⅱの素潜り漁業におけるサイズ群別の漁獲率を比較すると、漁期の前半ではL群が高く、後半になるとL群とM群はほぼ等しくなる。一方、S群の漁獲率は後半には上昇するが、L群やM群に比べて低い傾向があった。潜水時間に制約がある素潜り漁業において、サザエの漁獲は一律に行われる

のではなく、漁期始めには発見されやすい大型個体を選択的に漁獲され、後半には大型個体の資源水準の低下や漁業者の探査能力の向上もあって、除々に小型個体にも漁獲が及ぶものと考えられた。また、漁獲努力量と漁獲サイズには密接な関係があり、相対再捕率50%水準を漁獲開始サイズの目安としてみると、前期と全漁期では漁獲努力量の増大に伴って殻高80mmから67mmと小型化した。これは本海域のサザエの年齢と成長(藤井, 1991)から約1才の資源の若齢化に相当する。

サザエはアワビと共に定着性の強い生物と考えられているが、本研究では漁期間に40%以上の個体が実験区から逸散し、かなりの移動があった。勿論、移動の程度は場所にも関係するものと考えられるが、今後標識放流という方法で漁獲率を推定する場合等、定着性と言われるサザエやアワビにおいても移動を考慮する必要がある。

第2節 資源診断

本節では、室内およびフィールドでの実験的な検討や、漁獲物および漁場分布調査などの観察によって得られた資源特性値を整理し、資源の挙動を知る上で最も基本となるBeverton and Holt'sの成長-生残モデルへのあてはめを行って、資源診断を試みた。

材料および方法

対馬巖原町阿連地区を対象にして資源診断を行った。

まず、現状の漁獲係数(F)は、1986~1989年の漁獲物組成を堤・田中の方法(1987)を用いて年齢組成に変換し、土井の平均年齢法(1975)によって求めた生残率(S)から推定した。

次いで、成長-生残モデルの加入当たり漁獲量(Y_w/R)の変化(能勢ら, 1988)を調べるため、 Y_w/R の解析に必要な資源特性値(パラメーター)を整理した。 Y_w/R のパラメーターとして、成長、寿命に関するものとして最大到達体重(W_∞)、成長係数(K)、形式上の体長0の年齢(t_0)、寿命(t_L)が、漁獲行為に関するものとして漁獲係数(F)、漁獲開始年齢(t_c)が、生物個体群に関するものとし

て自然死亡係数(M)，加入年齢(t_r) がそれぞれ必要となる。

成長に関する最大到達体重(W_∞)，成長係数(K)，形式上の体長0の年齢(t_0)および加入年齢(t_r)は，第1章の結果を採用した。 W_∞ ， K ， t_0 は，von Bertalanffyの成長曲線を定めるパラメーターであることから， $W_\infty=280.9\text{ g}$ ， $K=0.36221$ ， $t_0=0.490$ とし， t_r は3.0才を採った。寿命は藤井(1991)や角田(1995)がサザエで仮定した20才を採用し，そのバイオマス解析を基に自然死亡係数(M)を0.357とした。

これらのパラメーターを利用し，漁獲係数(F)と漁獲開始年齢(t_c)を変化させた際の加入当たり漁獲量(Y_w/R)の変化は，加藤(1988)のプログラムによって計算し，等漁獲量曲線を描いた。

さらに，漁獲開始年齢(t_c)と漁獲係数(F)を変化させて，それぞれの組み合わせにおける産卵数を成長式(第1章)および孕卵数(第2章)を基に計算し，産卵数が処女資源の50%と33%に減少する位置を求めた。

結果と考察

先ず，1986～1989年の漁獲物組成を年齢組成に変換すると Table 25 のようになった。得られた年齢組成から土井の平均年齢法(1975)によって生残率(S)を求めると $S=0.312$ となり，全減少係数(Z)は $S=e^{-Z}$ の関係から $Z=1.164$ と計算された。その結果，自然死亡係数 $M=0.357$ から漁獲係数 $F=0.807$ が得られ，漁獲率 $E=0.554$ と推定された。

次に，加入当たり漁獲量(Y_w/R)の計算結果を基に，合理的な漁獲開始年齢(t_c)を推定するため，漁獲係数(F)を変化させた場合の Y_w/R の変化を Fig.35 に示した。 Y_w/R が最大となるのは， $F=0.1\sim 0.2$ では $t_c=2$ ， $F=0.3\sim 0.8$ では $t_c=3$ ， $F=0.9\sim 1.1$ では $t_c=4$ となった。一方，合理的な F を推定するため t_c を変化させた場合の Y_w/R の変化を Fig.36 に示した。 Y_w/R の増大量は $t_c=3\sim 4$ で高く，またこれらは $F\leq 1.1$ の範囲では F が増加すると Y_w/R も増大するが，その増大は $F=0.6$ 前後から緩やかとなった。以上の2つの図が示す結果から， $t_c=3\sim 4$ ， $F=0.5\sim 0.6$ の範囲において相互の適切な組み合わせによって合理的な最大持続生産量が得られるものと考えられた。

Table 25. Number of individuals in each age group caught in the research area, Are, from 1986 to 1989

Year	Age-group		
	3	4	5
1986	85,795	7,897	1,526
1987	96,776	25,149	780
1988	43,570	31,342	127
1989	27,466	26,845	6,434

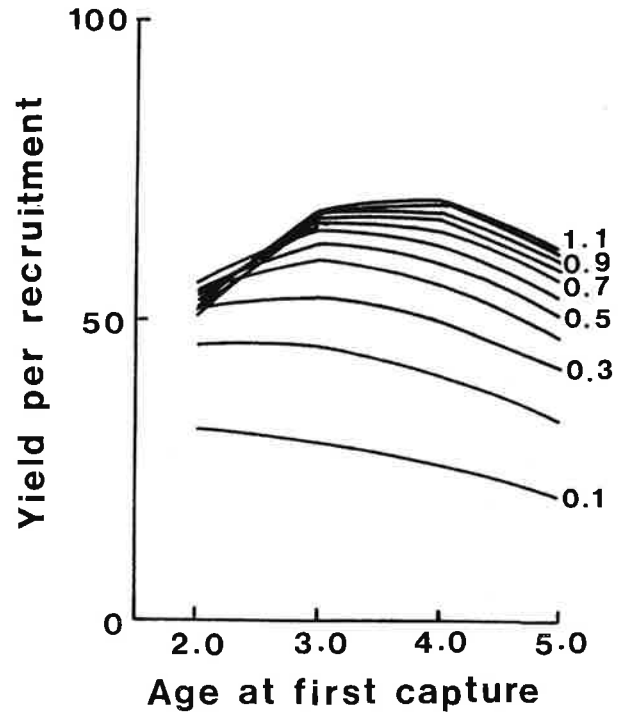


Fig. 35. Relationship between yield per recruitment of spiny top shell and age at first capture for each fishing mortality coefficient.

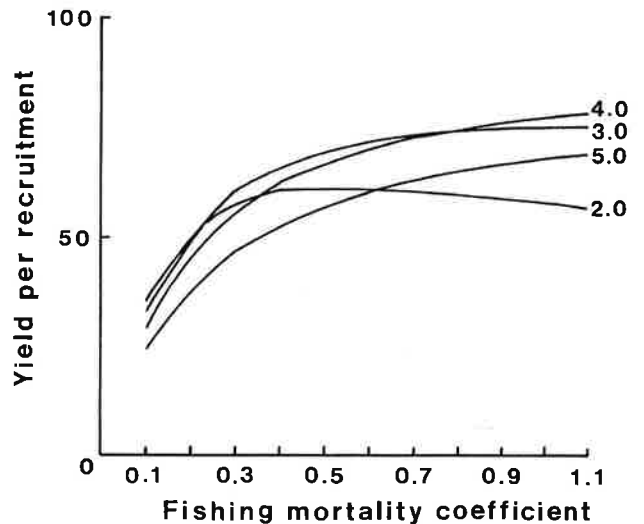


Fig. 36. Relationship between yield per recruitment of spiny top shell and fishing mortality coefficient for each age at first capture.

漁獲係数(F)と漁獲開始年齢(t_c)を変化させて、加入当たり漁獲量(Y_w/R)の等漁獲量曲線をFig.37に示し、さらに、産卵数が処女資源の50%と33%に減少する位置を波線で示した。なお、現状の漁獲水準は黒丸($F=0.807$, $t_c=3.0$)で示した。現状の漁獲水準は、漁獲強度が高まることにより生息個体の成長を合理的に利用できない成長乱獲域にあった。今後、最大持続生産量を得るためには漁獲水準の改善が望まれるが、産卵群の50%以上の確保と、大型個体の市場価値が下がる点を考慮すると漁獲係数 $F0.5$ 、漁獲開始年齢3.4才の漁獲水準での漁業の実施が望まれ、現状の漁獲努力量の40%削減が必要と考えられる。

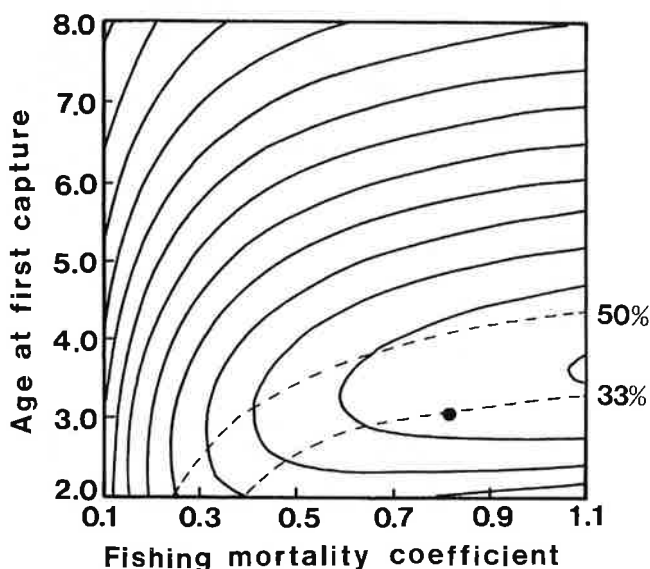


Fig. 37. Isopleth diagram of yield per recruitment of spiny top shell in the research area, Are. Point represents the present situation. -----, 33% and 50% isopleth of relative stock fecundity plotted against average age at first capture and fishing coefficient.

第6章 サザエ増殖技術への提言

本研究では主産地である対馬のサザエ資源を対象に、フィールド調査や室内実験を行って、サザエの生物学的特性や漁業の特性等の基礎的知見を明らかにした。その結果、長崎県のサザエ資源を適正に利用する上で以下のような点が整理された。

稚貝期の育成漁場の管理 漁獲加入前の1~2歳の稚貝は、基本水準面を中心とした潮間帯下部から漸深帯上部の小型海藻が繁茂する穴や溝などの複雑な起伏を持つ地形の場所をすみ場としていた。特に、室内実験で調べた稚貝の食性では、マクサなどの紅藻類が餌料として優れ、幼生の着底基質やすみ場としても利用されていると考えられることから、漁場での分布量が多いテングサ類の繁茂する浅場が稚貝の成育、生残に好適条件を備え、重要な役割を果たしていると考えられる。この点から、稚貝期の保護、育成には、上述のような漁場の保護、造成が必要である。

産卵群の確保 対馬沿岸におけるサザエは、3才で長崎県で定める制限サイズ(殻蓋長径25mm, 殻高60mm)を超え、漁獲対象資源に加入するとともに成熟年齢に達する。しかし、年齢に伴う産卵数からみると、再生産に機能する主群は4才以上であり、産卵群の確保のためには3才以下を保護する必要がある。

産卵期は5~8月の間にあり、盛期は6~7月にあることが分かった。長崎県の漁業規制では、サザエについては制限サイズのみが定められ、漁業禁止期間は定められていない。しかし、産卵群を保護し再生産に有効に機能させるためには、産卵期間の保護が必要と考えられ、少なくとも6~7月の間の漁業禁止期間の設定が望まれる。

漁業管理 対馬巖原町阿連地区の漁獲資料をサンプルとして、漁業形態が異なる場合の加入当たり漁獲量の変化を検討し、漁獲水準を評価したところ、資源は成長乱獲の状態にあることが分かった。最大持続生産量を得る上では、漁獲開始年齢3~4才、漁獲係数0.5~0.6の範囲での適正な利用が望まれたが、上述の産卵群の確保と市場価値を合わせて考えると漁獲開始年齢3.4才、漁獲係数0.5のレベルでの漁業の実施が望まれた。ただ、その実現のためには漁獲努力量の40%削減が必要となった。本研究で対象とした素潜り漁業においては、サイズ選択性が認められ、漁獲努力量の増加に伴って漁獲開始サイズが小型化した。このことは、逆に漁獲努力量の削減が、自ずと漁獲開始サイズの引き上げ効果をうむことを示唆し、今後、このような関係を各地先で明らかにして漁業管理に役立てる必要がある。

本研究の阿連地区に限らず長崎県の各地で成長乱獲の傾向は認められ、現状を改善するためには漁獲努力量の削減が必要である。しかし、漁獲努力量の削減は漁業者の抵抗が大きく難しい。上述のように漁獲努力量と漁獲開始サイズには密接な関係があり、漁獲開始サイズの引き上げが漁獲努力量の削減効果をもたらすことから、長崎県で定める制限サイズ（漁獲開始年齢）を段階的に殻蓋長径30mm（3.4才）まで引き上げることが実用的と考えられ、再生産を確保する上でも望ましい。

謝 辞

本研究をまとめるにあたり、原稿の御校閲を頂き、有益な御助言を賜った九州大学農学部教授松浦修平博士、同教授中園明信博士、同助教授松山倫也博士に厚く感謝の意を表す。

さらに、この研究を当初から終始御指導下さった元水産大学校教授竹下貢二博士に厚くお礼申し上げます。

調査を進めるにあたり労を惜しまずご協力を頂いた厳原町漁業協同組合阿連支所海士組合組合員、同組合職員、上対馬町漁業協同組合職員、長崎県対馬水産業改良普及所職員各位に深謝する。

本研究の機会を与えて頂くとともに、終始御指導下さった長崎県総合水産試験場次長四井敏雄博士、研究を進めるにあたり有益な助言と協力を頂いた同総合水産試験場前迫信彦科長、同壱岐支庁水産課小川七朗課長、同総合水産試験場堀井豊充研究員、同福江支庁水産課大橋智志技師に心からお礼申し上げます。

最後に、本研究の一部は水産庁補助事業の地域性重要水産資源管理技術開発総合研究「対馬暖流域のサザエ資源」によったことを記して、感謝の意を表す。

文 献

阿井敏夫・野中 忠・佐々木正：サザエの産卵と発生－Ⅰ、産卵の行動の一例、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生、日水誌、**31**(2)、105-112(1965)。

阿部 襄：飛島産サザエ、*Turbo (Batillus) cornutus* SOLANDER、日本海区水研創立3周年記念論文集、7-14(1952)。

網尾 勝：サザエ *Turbo cornutus* SOLANDER の成長並びに消長について。農水講研報、**4**、57-68(1955)。
土井長之：水産資源力学入門。水産資源保護協会、1-66(1975)。

E. Zipser and G. J. Vermeij : Crushing behavior of tropical and temperate crabs. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., **31**, 155-172(1978)。

藤井明彦・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、**12**、19-25(1986)。

藤井明彦・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、**14**、19-25(1988)。

藤井明彦・四井敏雄・小川七朗：サザエ稚貝の垂直分布。長崎水試研報、**14**、27-30(1988)。

藤井明彦・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、**15**、21-23(1989)。

藤井明彦：各種海産動物によるサザエ稚貝の捕食。水産増殖、**39**(2)、123-128(1991)。

藤井明彦：地域性重要水産資源管理技術開発総合研究報告（対馬暖流域のサザエ資源）第8章資源。対馬暖流域サザエ共同研究チーム、101-108(1991)。

藤井明彦：対馬西岸におけるサザエの成長。長崎水試研報、**19**、9-15(1993)。

藤井明彦・大橋智志：対馬西岸におけるサザエの生殖年周期。水産増殖、**45**(4)、467-477(1997)。

藤井明彦・前迫信彦・竹下貢二：素潜り漁業によるサザエのサイズ別漁獲率の推定。水産増殖、**46**(1)、7-11(1998)。

藤田 壘、竹下貢二：標識放流実験による調査トロール網の採集効率の推定。6pp.、水産庁（1981）。

伏見 浩、影山佳之、松原壮六郎：サザエの漁業管理に関する研究－Ⅰ。下田市田牛地先におけるサザエ資源の動向特に年級群の交代と生残り、成長について。静岡水試研報、**12**、15-34(1978)。

伏見 浩：サザエの卓越年級群の生態と漁業。ベントス研連誌、**19**／**20**、59-70(1980)。

浜田豊一・伊藤輝昭：昭和63年度地域特産種増殖技術開発事業報告巻貝グループ(5)福岡県。133-166

- (1989).
- 堀井豊充・藤井明彦・前迫信彦：放流漁場内におけるサザエ種苗の移動，および放流個体数の可能漁獲量との関係について．水産増殖，45(2)，187-193(1997).
- J. S. Young and J. D. Demartini：The reproductive cycle, gonadal histology, and gametogenesis of the red abalone, *Haliotis rufescens* (SWAINSON). *Carif. Fish and Game*, 56, 298-309(1970).
- Ju Ha Lee：Gametogenesis and Reproductive Cycle of the Topshell, *Turbo cornutus* SOLANDER. *Bull. Korean Fish Soc.*, 13(4), 125-134 (1980), in Korean.
- Jung Jae Lee：Histological Study on the Reproductive Cycle of Jeju Island's Turban Shell *Turbo cornutus*. *Ball. Mar. Resour. Res. Inst. Jeju Nat. Univ.*, 7, 29-51(1983), in Korean.
- 影山佳之，野中 忠，伏見 浩：サザエの漁獲管理の一事例．静岡水試研報，14，53-60(1980).
- 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，山口県外海水試研報，21，1-8(1986).
- 角田信孝：黄波戸，宇田郷両地先におけるサザエの資源解析と診断．山口県外海水試研報，25，23-29(1995).
- 角田信孝：地域性重要水産資源管理総合研究報告(対馬暖流域のサザエ資源)第3章成長．32-48(1991).
- 加藤史彦：加入がないとみなせる放流調査におけるJollyモデルの修正法の適用，パソコンによる資源解析プログラム集．東海区水産研究所数理統計部，64-72(1988).
- 加藤史彦：加入当たり漁獲量の計算と等量線図のプロット，パソコンによる資源解析プログラム集．東海区水産研究所数理統計部，116-123(1988).
- K. Harada and O. Kawasaki: The attractive effect of seaweeds based on the behavioral responses of young herbivorous abalone *Haliotis discus*. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 48(5), 617-621(1982).
- 菊池省吾，桜井保雄，佐々木実，伊藤富夫：海藻20種のアワビに対する餌料効果．東北水研研報，27，93-100(1967).
- 菊池省吾，浮 永久：アワビ属採卵技術に関する研究 第1報エゾアワビ *Haliotis discus hannai* INOの性成熟と温度の関係，東北水研研報，33，69-78(1974).
- 木村 創：地域特産種増殖技術開発事業報告書．和歌山水試，1-21，(1990).
- 岡部三雄・桑原昭彦・西村元延・葭矢 護：サザエの増殖 第2章 種苗生産．日本資源保護協会，水産増養殖叢書40，41-54(1989).
- 小澤智生：貝類食者の捕食活動と貝類の適応・進化，I－貝類食者の分化と貝類の適応・進化．海洋と生物，30(Vol.6-No.1)，2-8(1984).
- 小澤智生：貝類食者の捕食活動と貝類の適応・進化，II－海洋における貝類捕食者と貝類の共進化．海洋と生物，32(Vol.6-No.3)，162-167(1984).
- 小島 博：クロアワビ放流稚貝の死亡について．日水誌，42(2)，151-159(1981).
- 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).
- 門間春博：エゾアワビ種苗放流に関する研究－I．放流直後の行動．日水誌，38(7)，671-676(1972).
- 西村元延，辻秀二：蒲入地アワビ礁へのアワビ種苗放流実験．京都府立海洋センター研究報告，3，1-17(1979).
- 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(資料)．京都海洋センター研究報告，1，134-165(1977).
- 野中 忠・佐々木正・翠川忠康：静岡県沿岸の磯根資源に関する研究－II，アワビの住み場．静岡水試研報，2，27-29 (1969).
- 野中 忠，伏見 浩，中川征章，佐々木正：静岡県沿岸の磯根資源に関する研究－VIII．サザエの漁獲と年級群について．静岡水試研報，4，25-29(1971).
- 野中 忠，伏見 浩：静岡県沿岸の磯根資源に関する研究－IX．田牛地先でのサザエの年級群の動態．静岡水試研報，5，45-49(1972).
- 野中 忠，影山佳之，松原壯六郎：サザエの漁獲管理に関する研究－I．下田市田牛地先におけるサザエ資源の動向特に年級群の交代と生残り，成長について．静岡水試研報，12，15-34(1978).
- 能勢幸雄・石井丈夫・清水 誠：水産資源学 第4章 成長－生残モデル・東京大学出版会，86-112(1988).

- N. Uki, M. Sugiura, and T. Watanabe: Dietary value of seaweeds occurring on the Pacific coast of Tohoku for growth of the abalone *Haliotis discus hannai*. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **52**(2), 256-266(1986).
- 酒井誠一：エゾアワビの生態的研究－I，食性に関する研究。日水誌，**28**(8)，766-779(1962)。
- 渋井 正：エゾアワビ稚貝の害敵生物に関する実験的研究。日水誌，**37**(12)，1173-1176(1971)。
- S. Shimura and J. Ito: Two New Cercariae, *Cercaria misakina* n. sp., from Top Shells, *Batillus cornutus* and *Marmarostoma stenogyrum*, with notes of their effects on the hosts, *Jap. J. Parasit.*, **29**(2), 69-76(1980)。
- 須川人志，川村 要：サザエの増殖試験。青森県水産増殖センター事業概要，**11**，231-234(1982)。
- 殖田三郎，岡田喜一：巻貝類の天然餌料に関する研究（I）－鮑。日水誌，**8**(1)，51-56(1939)。
- 殖田三郎，岡田喜一：巻貝類の天然餌料に関する研究（2）－鮑。日水誌，**10**(3)，139-141(1941)。
- 高丸禮好，富士 昭：北海道南部におけるヒメエゾボラ *Neptunea arthritica*(BERNARDI)の生殖周期，水産増殖，**29**，78-87(1981)。
- 富田泰司：礼文島産エゾアワビの精巢の成熟，北海道立水産試験場報告，**9**，56-61(1968)。
- 堤 裕昭，田中雅生，多毛類の個体群動態の調査解析法（マイクロ・コンピュータを使用した体長の計測から世代解析まで）。日本ベントス研究会誌，**31**，18-28(1987)。
- 堤 裕昭，田中雅生：体長頻度分布からの世代解析。パソコンによる資源管理プログラム集。東海区水研，189-207(1988)。
- 宇野 寛：サザエの増殖に関する基礎研究－特に生態と成長の周期性に関して。東水大特別研報，**6**(2)，1-76(1962)。
- 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)。
- 山崎明人，石渡直典：サザエの生態学的研究Ⅲ。初期成長と密度変化。うみ，**26**，12-18(1988)。
- 山田 正，勢村 均：島根県沿岸のサザエの成熟と産卵期。栽培技研，**22**(1)，5-12(1993)。
- 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，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，浜中雄一，和田洋蔵：京都府青島地先におけるサザエの食性。日水誌，**53**(8)，1359-1366(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，**56**(vol.10-No.3)，214-217(1988)。
- 葭矢 護・桑原昭彦・辻 秀二・内野 憲・田中雅幸：サザエの移動・分散と環境収容力。京都海洋センター研報，**11**，1-7 (1988)。
- 葭矢 護：サザエ増殖のための資源・漁場管理方法の開発。京都海洋センター研論，**2**，1-43(1990)。
- 葭矢 護：地域性重要水産資源管理技術開発総合研究報告（対馬暖流域のサザエ資源）第7章食性。対馬暖流域サザエ共同研究チーム，90-101(1991)。
- 四井敏雄，前迫信彦，中村伸司：昭和56年度～昭和58年度指定調査研究総合助成事業アワビの漁場性に関する研究報告書（クロアワビの初期餌料について）。長崎水試登録第505号，1-30(1984)。
- 内場澄夫・二島賢二・山本千裕・岸本源次：サザエの生息生態に関する研究－I サザエ稚貝漁場の形成要因についての検討。福岡水試研報，157-168(1982)。
- 内場澄夫・二島賢二・山本千裕：サザエの生息生態に関する研究－II 稚貝漁場と流況の関係について。福岡水試研報，89-92(1983)。
- 浮永久：エゾアワビに対するコンブ目海藻の餌料価値。東北水研研報，**42**，19-29(1981)。
- 宇野 寛：サザエの増殖に関する基礎研究－特に生態と成長の周期性に関して。東水大特別研報，**6**(2)，1-76(1962)。

要 約

サザエは、磯根資源として重要であるが、その資源生物学的知見は乏しく、漁業管理技術に関する検討は十分になされていない。そこで、長崎県の主産地である対馬において成長、成熟、分布等の生物学的特性やサザエの漁獲量の約70%を占める素潜り漁業の特性等の資源の増殖や管理技術の開発に必要な基礎的知見を明らかにした。

1) **年齢と成長** 厳原町阿連地区と上対馬町鰐浦地区で、1986～1988年の間にScuba調査と漁獲物からサザエを採集し、その殻高組成を、モード群に分解し、それらのモード値を用いて年齢と殻高の関係を求め、成長を推定した。サザエの成長傾向は、Logistic曲線に適合し、阿連と鰐浦の成長は近似したので、成長式は

$$SHt = 93.0 / (1 + e^{(2.91 - 1.27t)})$$

(SHt : 殻高mm, t : 年齢)

で示された。

この成長は種苗生産で得られた稚貝の放流後の成長傾向と近似した。また、漁獲加入年齢は3才であることが分かった。

2) **成熟** 1987年4月から1990年9月にかけて厳原町阿連地先で採取した殻高31～145mmのサザエ1,544個体を用い、生殖腺指数(GSI)および生殖腺組織の周年変化を調べて、本種の生殖年周期を明らかにした。

GSIは、4月から急激に増加し、5～7月の間にピークに達した後、8月、年によっては9月にかけて減少した。生殖腺の組織学的観察では、4月以降卵巣で卵黄の蓄積、精巣で精子形成が活発化し、5～7月上旬の間は成熟卵と精子で満たされていたが、その後9月にかけては産卵後の個体が観察された。したがって、本海域における産卵期は6～8月で、この間の水温は20～24℃であった。なお、産卵期間やその盛期は年によって相違した。

また、年齢別の孕卵数は、3才19万個、4才61万個、5才89万個となり、殻高80mmを超えた4才以上で急に増加した。今後、再生産を確保して資源増殖を図るためには、3才以下の保護を考慮する必要がある。

3) **分布** 上対馬町鰐浦地区の野外実験漁場で、サザエ人工種苗(人工貝)を放流し、サザエ稚貝の生息潮位とすみ場の形態(底質、周辺の植生)を調査した。人工貝の生息潮位は+48～-152cmの範囲で、このうち79.1%が+40～-40cmの間に分布した。この範囲は同じ漁場で観察した殻高40mm以下の天然の小型貝の生息潮位と良く一致した。このことから、サザエ稚貝の主なすみ場は潮間帯下部から漸深帯上部にあり、特に岩盤帯の穴や溝などの起伏の多い複雑な地形に形成されていた。また、1986～1990年にかけて放流した人工貝の漁場内での生息密度分布調査

を行った。生息密度分布の変化から、本種は成長に伴って岸側の転石帯から沖側の岩盤帯に生息域を広げたが、その分布の中心は5m以浅の岩盤帯にあることが明らかとなった。

4) 摂餌と被食

摂餌 : 殻高22mmサイズの天然貝と人工貝を用いて、17種の海藻に対するい集と摂餌ならびに海藻を単独で与えたものと微小藻と共に与えたものの海藻に対する摂餌量の変化を調べた。オバクサを基準とした各海藻に対するサザエ稚貝のい集率、摂餌率は海藻の種類によって相違した。い集率と摂餌率の高い海藻は紅藻に多く、中でもオバクサは両率共に高く、サザエにとって最も好適な海藻と考えられた。海藻を袋に入れて形態を隠すと、サザエ稚貝は海藻にはい集せず、い集の良否は海藻の外部形態と関係を持つと考えられた。天然貝と人工貝を比較するとい集率と摂餌率が共に高い海藻は紅藻に多い点は一一致したが、17種の海藻の中で摂餌率が高い値を示した海藻の数は人工貝の方が多かった。また、微小藻が十分存在する条件下でも、サザエ稚貝(殻高22mm)は海藻をよく摂餌することが分かった。このことは、天然の漁場においても海藻が餌料として有効に利用されているものと考えられ、微小藻を中心に摂餌するアワビ稚貝に比べて食性の幅が広いと考えられた。

被食 : 12種の海産動物を用いてサザエ稚貝に対する捕食実験を行った。9種の海産動物が殻高40mm以下のサザエを捕食し、捕食された数は20mm以下で多かった。ヤツデヒトデの巻貝6種に対する捕食実験から、サザエ稚貝とオオコシダカガンガラに対する選択性が認められた。底面の形状は、サザエ稚貝に対するヤツデヒトデの捕食に影響し、U字溝状の底面で最も短期間に捕食された。

5) **加入と生残** 種苗生産された稚貝を標識放流し、再捕・放流を繰り返して漁獲加入前の生残について調査した。殻高20mmを超えたサザエの加入までの年間の生残率は0.679と見積もられた。

厳原町阿連地区において、素潜り漁業のサザエに対する漁獲率や漁獲サイズと努力量の関係を明らかにするため、殻高59.3～109.8mmのサザエ1,881個体

を大型、中型、小型の3つのサイズ群に分けて標識放流実験を行った。放流は実験区(200×200m)内で行い、再捕資料に基づいてサイズ群別の漁獲率を推定した。その結果、漁期の前半(14操業日)では大型群で、また後半(17操業日)では大型群と中型群で高い漁獲率が示され、サイズの選択性が認められた。また、努力量の増加に伴って漁獲サイズは小型化することから、努力量の水準と漁獲開始サイズ(相対再捕率50%水準)との間には密接な関係があると考えられた。

本研究で得られた資源特性値をBeverton and Holtの成長-生残モデルへあてはめて厳原町阿連地区におけるサザエの資源診断を行った。その結果、資源は漁獲強度が高まることにより生息個体の成長を合理的に利用できない成長乱獲状態にあり、50%の産卵群の確保を考慮すると40%の努力量の削減が望まれた。

6)サザエ増殖技術への提言 基本水準面を中心としたテングサ類など小型海藻が繁茂する漁場は、稚貝の生き残りに重要な役割を果たしており、稚貝期の減耗を最小限にし、増殖を図っていく上ではこれら漁場の保護、造成が重要である。また再生産の面からは、主な産卵群となる4才群が再生産に有効に機能できるような漁獲サイズの引き上げや産卵期保護のための禁漁期間の設定が必要と考えられた。さらに、漁業管理面では、長崎県の漁獲量の約70%を占める素潜り漁業においては、サイズ選択性が認められ、漁獲開始サイズと漁獲努力量の間には密接な関係があることが分かった。今後、各地でこれらの関係を明かにし漁業管理に役立てる必要がある。

Summary

Fisheries Biology of the Spiny Top Shell,
Batillus cornutus, in the Coastal
Waters of Tsushima Island

The spiny top shell is an important snail species in Japan, but knowledge of fisheries biology of the species have been beggarly and the practices used to manage fisheries have been inadequate. This study was carried out in order to

clarify grounding for biology of the species and feature of spiny top shell free-diving fishery necessary for management of this resource. The results of the study are summarized below:

1) Age and Growth:

The Growth of spiny top shell was examined on the basis of shell height composition data for 4,306 individuals from 19 seasonal samples in 1986-88. The shell height composition for respective samples was separated by modal groups using computer technique. Modal values from these modal groups were arranged according to size and season to trace growth trend. Age-size relationship obtained from the growth trend can be expressed by the following equation:

$$SH_t = 93.0 / \{1 + e^{(2.91 - 1.27t)}\}$$

where, SH_t is shell height(mm) at age t (year).

The growth curve thus obtained was compatible with the growth monitoring data for released seeds in the natural field. Age at first capture was 3-year-old in research area.

2) Maturation:

Seasonal changes of gonadosomatic index (GSI) and gonadal histology were investigated to clarify the annual reproductive cycle of spiny top shell.

The GSI increased from April in parallel with the rise of water temperature and attained a high value during May to July. Histological observations of the gonad revealed that the accumulation of yolk granules in oocytes and spermatogenesis became active in April, and then the ovary and testis were filled with mature oocytes and spermatozoa, respectively during May to July. Spent gonads were observed during June to September. These results suggested that spawning season lasted from June to August, when the water temperature is 20 to 24°C. During the 4-year-investigations, the time showing the highest GSI value and the time of spawning varied slightly each years. The fecundity was high

in 4-year-old shells with a height larger than 80 mm. From the viewpoint of fishing management, it is necessary to protect shells younger than 3-year-old from fishing.

3) Distribution:

Vertical distribution was studied by released shells (22 mm shell height). The released shells were distributed from +53 cm to -147 cm of standard sea level (SSL) with the highest numbers found in between +40 cm and -40 cm of SSL. This is in good agreement with the vertical distribution of the wild shells in the same ground. Habitat of the young spiny top shell of this species ranges from the lower intertidal zone to the upper sublittoral zone.

The movement with age of seed-stocking of the spiny top shell were examined during a field survey. The stocked seed shells settled in a relatively limited inshore area during the first two years, but subsequently moved to an offshore rocky area.

4) Grazing and predator-prey:

Grazing: Alga preference was evaluated by the number of the shells gathered and the amount consumed by the shells. Comparison was also made between wild and artificially reared (about 22 mm height). Sixteen species examined were divided into 4 groups, and each group contained four algae plus the additional standard species, *Pterocladia capillacea*. Five algae were settled in same distance on the circumference of the bottom of the container (black round 70 cm diameter). The shells were released into the container in a morning, and numbers of the shells gathered at each alga was counted in the next morning. The experiments were made for 10 days in June, 1987. The weight of algae consumed was also determined.

The largest number of the shells was found for red algae, and smaller for brown and green algae, the same order being the case for

consumption. No difference was found for alga preference between wild and artificially reared shells.

The algae with the largest number of the shells gathered did not always correspond to the most consumed. It suggested that marine algae were utilized by the shells both for food and habitat. *Pterocladia capillacea* was found to be the most preferred alga.

Predator-prey: A study was conducted on 12 species of marine animals, 9 of which belonged to starfish, snail, crab, and fish that preyed on young spiny top shells. Size for safety from predation by these animals exceeded 50 mm for shell height and 20 mm in the case of severe predation. Among predators, *Coscinasterias acutispina* and 3 species of crabs may be possible to exert the most influence due to their wide distribution. *C. acutispina* showed preference for young shells.

5) Recruitment and survival:

The survival rate of young shells between 20 and 60 mm in shell height (the size at recruitment) was estimated at 0.677 by monitoring released shells.

A tagging experiment was performed to examine the exploitation rate and the selection of shell size in relation to the magnitude of fishing effort in a spiny top shell free-diving fishery. A total of 1881 tagged shells, ranging from 59 to 110 mm in shell height, were released in the experimental area of 200×200 m. Exploitation rate in 3 size groups, large, medium and small, was estimated from the release-recapture data. Selection of shell size was recognized, as the highest rate was attained in the largest size group during the former half of the fishing season (14 days fished) and in both the large and medium size groups during the latter half of the season (17 days fished). Lowering trend of the size of the first capture (50% retention) with

increased fishing effort suggested that the size of first capture was closely related to magnitude of the total effort in the fishing ground.

The stock in the Are fishing ground was assessed using Beverton and Holt's Y/R calculation, using population parameters obtained in this study. The results show that this stock is being over-fished. The present level of fishing should be reduced by 40% to allow the stock to recover.

6) General overview of conservation and propagation of spiny top shell stocks:

When spiny top shells are young, the seabed between the lower intertidal and upper sublittoral zones is important habitat, especially regions covered with a growth of small-sized algae such as *Gelidium* spp. For conservation purposes, these tidal zones must be managed, to en-

large the habitat suitable for the young shells.

The breeding population with the greatest fecundity consists of shells at least 4-year-old. To allow recruitment into the breeding population, it is necessary to protect spiny top shells less than 4-year-old from fishing. At present, there is no closed fishing season to protect the species. A closed fishing season during the spawning season should be incorporated into the Nagasaki Prefecture Regulations for Fishery Adjustment to allow successful spawning by mother shells.

Selection of shell size was recognized in the top shell free-diving fishery amount to 70% of total spiny top shell catch in Nagasaki Prefecture. The size of the first capture in a season is closely related to the total intensity of the fishing effort in the fishing ground. This must be taken into consideration in managing this fishery.

