

京都府立海洋センター研究論文

第 2 号

平成2年3月

SPECIAL REPORT No. 2

Kyoto Institute of Oceanic and Fishery Science

March 1990

サザエ増殖のための資源・漁場管理方法の開発

葭 矢 護

Development of Control Systems of Resources and Fisheries
Conditions for Propagation of Topshell, *Batillus cornutus*

by

Mamoru YOSHIYA

研究論文集 第2号 平成2年3月

京都府立海洋センター

SPECIAL REPORT No. 2, 1990 March

KYOTO INSTITUTE OF OCEANIC AND FISHERY SCIENCE

Odashukuno, Miyazu City, Japan 626

目 次

Abstract	1
序 章	4
(1) サザエの生態および資源管理に関する既往研究の概要	4
(2) 目的と方法	5
(3) 謝 辞	5
第1章 サザエの生態特性	5
1-1. 成 長	6
(1) 調査方法	6
(2) 結 果	6
(a) 年齢と成長	6
(b) 水温と成長	8
(c) 分布水深と成長	9
(d) 餌料環境と成長	9
(3) 考 察	11
1-2. 成熟と産卵	12
(1) 調査方法	12
(2) 結 果	12
(a) 性成熟の季節変化	12
(b) 産 卵 期	13
(c) 成熟サイズ	14
(3) 考 察	15
1-3. 食 性	15
(1) 調査方法	16
(2) 結 果	16
(a) 摂餌時間と胃内容物組成の経時変化	16
(b) 餌 料 海 藻	17
(3) 考 察	18
1-4. 生 残	20
(1) 調査方法	20
(2) 結果と考察	21
(a) 捕食生物と生残	21
(b) 植生と生残	22
(c) 物理的環境条件と生残	22

1-5. 移動・分散と環境収容力	23
(1) 調査方法	23
(2) 結 果	24
(a) 活動時間と移動速度	24
(b) 鉛直方向への移動・分散	25
(c) 水平方向への移動・分散	26
(d) 環境収容力に関する一つの考え方	28
(3) 考 察	29
第2章 サザエの種苗放流技術および資源・漁場管理についての考察	30
2-1. 放流方法	30
(1) 放流場所	30
(2) 放流時期	31
(3) 放流サイズ	31
(4) 放流方法	31
2-2. 漁場管理	32
(1) 漁場監視	32
(2) 害敵駆除	32
(3) 餌料環境の改善と管理	33
2-3. 放流具の成長と生残	33
(1) 成 長	33
(2) 生 残	34
(3) 標識方法	36
終章 資源・漁場管理の方法	36
(1) サザエの栽培漁業化の可能性	37
(2) 資源・漁場管理と漁獲	37
(3) 磯根資源の総合的利用方法への提言	39
要 約	39
文 献	41

Development of Control Systems of Resources and Fisheries Conditions for Propagation of Topshell, *Batillus cornutus*

Mamoru YOSHIYA

Abstract

Except for a part of Hokkaido and Tohoku regions the topshell, *Batillus cornutus*, is the most economically important gastropod in the coastal fisheries in Japan. In Kyoto Prefecture, the topshell is also an important food; an average of 143 metric tons of topshell per year from 1984 to 1988 were caught by shell spear, gill net, and skin diving using a small boat. Shell fishery is a small scale industry ideally suited to coastal villages, in which the harvest of shell does not require investment inexpensive equipment or large boats. Some 270 fishermen in Kyoto Prefecture were engaged in the shell fishery in 1988. They not only caught topshell, but also abalones and some edible sea-grasses in the rocky coastal waters. The market demand for their catches has remained high, so that heavy exploitation of topshell resources has brought severe overfishing in some fishing grounds. The legal minimum size of harvest in Kyoto Prefecture is 5 cm in shell height, or 2 cm in operculum diameter, and the fishing season is restricted to 200 days from April to October. In spite of these restrictions, successful measures for rehabilitation of this resource have not been established.

Recently, with the technological advance of artificial production of shell seedlings, cultural fisheries of this species have been initiated at a few villages in Kyoto Prefecture. Cultural fishery is encouraged by the Government of Kyoto Prefecture in the hope that the seeds will develop into the legal sized shells and the fishermen will get higher productions from their rocky waters.

This study has contributed to the presentation of the biological knowledge and fishing techniques relevant to cultural fisheries development in this Prefecture. This paper describes the ecology of the topshell with reference to growth, survival, feeding habits, maturation and movement, and also the methods for seeding and management of the fishing ground after releasing the seeds. The findings from studies are summarized as follows.

1. Growth

The age and growth rate of the topshell were studied by using probability graph paper in the analysis of size frequency distributions and mark-recapture experiments. From the results of both the shell size analysis and the mark experiments, it was estimated that topshells grew to about 10 mm in shell height in the 1st year, about 20 mm in the 2nd year, 40–50 mm in the 3rd year, 60–70 mm in the 4th year and about 80 mm in the 5th year.

A series of experimental rearing of topshells in a cage for one year proved that shells could not grow fully at temperatures lower than about 12°C, but temperatures between 16–30°C were favorable for their growth. The growth rate of small sized topshells was influenced by the kind of algal vegetation and the habitat in the depth of the sea. It seemed that favorable algae for effective growth were Gelidiaceae and *Ulva*, whereas Corallinaceae, Sargassum and *Dictyota* sp. were unfavorable algae for young shells. The growth of topshells in shallower waters, 0–0.5 m depths, was superior to that in deeper waters, 2.3–4.0 m.

2. Sexual Maturation

Seasonal changes of maturity of topshells were investigated based upon the gonad index; $GI = (GW/SH^3) \times 10^6$, (GW=weight of gonad in gr, SH=shell height in mm). Topshells more than 60 mm in shell height mostly matured during the period from July to August,

but shells of 40—50 mm shell height did not fully mature during that period. On the other hand, the number of shells with spent gonads increased suddenly from August. From these findings, it was estimated that the breeding period of the topshell in the coastal waters of Kyoto Prefecture was from July to October, and the period from July to August was the highest of its prosperity.

All of the topshells of more than 60 mm shell height, that is, over four years old shells, were recruited into breeding groups and the biological minimum size of topshell was found to be 30—40 mm shell height.

3. Feeding Habit

The stomach contents were observed to determine the feeding habits of topshells collected from the coastal waters at Aoshima, Kyoto Prefecture. Although the topshells fed mainly on *Gelidium* sp. and *Sargassum* spp., the shells also fed on a variety of algae densely found around the habitat.

In a study to show the relationship between the shell size and the number of species of foods appearing in the stomach it was clear that there was not much difference of selectivity for foods among shells larger than 20 mm in shell height. The weight of stomach contents was higher during the night than the day, and most starved shells were found in the day time. Thus the feeding time of topshells was mainly at night, for about 6 hours after sunset. The results of researching the stomach contents suggested that *Gelidium* sp. was a more important food for the shell as compared with brown algae such as *Sphacelaria* spp., and *Sargassum* spp., because the topshell seemed to digest *Gelidium* sp. more easily.

4. Predator and Survival Rate

The influence of predator for the survival of topshells was investigated by skin diving. Starfishes, *Asterina pectinifera* and *Coscinasterias acutispina*, crabs, *Thalamita sima* and *Charybdis japonica*, thaises, *Reisha bronni* and *R. clavigera* and Seurchins, *Storogylocentrotus nudus* were observed as predators of released shells. The seawife also observed attacking topshells.

From the results of the relationship between the algal vegetation and the survival of released shells, it was implied that a higher survival was expected in the dominating area of Gelidiaceae rather than Sargassaceae. On the other hand, the survival of released shells in areas exposed to relatively calm sea was higher than that in sea exposed to the oceanic swell and wave action.

5. Movement and Dispersion

Skin diving observations of the behavior of topshells by day and night in the coastal waters at Aoshima, demonstrated that shells moved for about 6 hours after sunset as previously mentioned. The movement velocity of shells was approximately in direct proportion to shell height; thus the velocities of various sized shells having 10, 20, and 60 mm shell heights were about 6, 15 and 60 cm/hr, respectively.

As small sized topshells distributed rather densely in shallow water of less than 2 m depth and larger shells in deeper water, it was suggested that topshells dispersed in a vertical direction as their growth proceeded. Horizontal dispersion of shells smaller than 30 mm shell height could be approximated by a random walk model that was expressed by a probability density function.

6. Efficient Methods of Releasing Shell-seedlings for Cultural Fishing

Releasing area: An area in which favorable algae as Gelidiaceae, *Ulva* and *Codium* dominated was suitable to supply food to the released seedlings, and for seedlings larger than 20 mm shell height an area in which *Sargassum* dominated was suitable.

In order to select a site for releasing the shell-seedling, the effects of ecological factors (habitats of herbivorous and carnivorous animals and algal community) and physical factors (sea current, wave action, sea temperature and influx of fresh water) were varied and complicated. In general, shallower areas seemed to be better for the shell growth and survival of seedlings and sites having the least number of carnivorous animals should be chosen.

Releasing season: The period from spring to summer produced a high growth of shell-seedlings, because of accelerating the growth in high sea temperature. At the same time, since this period in the Japan Sea is generally calm, it is possible to expect a higher survival

rate just after releasing.

Releasing size: From findings on the growth and the survival of artificial seedlings, it was seen that shells less than 10 mm shell height could be released to the specific areas which seemed to be a nursery ground. Especially, in calm areas where Gelidiaceae dominated, even small sized shells having 3—4 mm shell height could be utilized as seed. Moreover, seedling larger than 20 mm are fully acceptable for release not only in calm bays but also in the open sea.

Releasing procedures: The shell-seedlings regardless of shell sizes should be carefully released by means of diving to the patchy Gelidiaceae and Sargassum zones, or by using a container for obstructing such carnivorous predators as the seawife.

7. Methods of Management of Fishing Ground for Higher Recapturing

Watching of fishing ground: We have to select a place for releasing shell-seedlings where we can make defensive preparations against illegal harvests. The shore around the releasing area should be restricted to exploit the illegal sized shells, topshells less than 50—60 mm in shell height don't disperse too widely from the releasing sites.

Extermination of predator: According to diving observations, small shells were preyed upon by carnivorous predators in the early days after releasing. Therefore, we have to exterminate the predator concentration just before and after shell release. Diving is recommended as one of the most useful methods for exterminating the predators, and starfish and crabs can be concurrently exterminated by baited basket and trap.

Reforestation and biomass management of algal vegetation: When the algal vegetation in the rocky shore are heavily grazed by herbivorous animals including topshells, the grazer (like sea urchins) have to be exterminated in accordance with the density of released shells. Since grazers remain active during the winter when young algae fronds begin growing, careful observation of the algae biomass production in the fishing ground is required through all seasons.

8. General View of Successful Cultural Fishery

Most of the shell-seedlings 5—10 mm in shell height released into the area where Gelidiaceae dominate in May grew up more than 50 mm in shell height, and could be caught in the following November. That is, the artificial shell-seedlings grew up to the legal size about six months earlier than the natural shells. It was confirmed that the survival rate of shell-seedlings, which were larger than 7 mm in shell height, released into an area where favorable algae dominated and managed suitably until the legal size was about 70%.

From the above results, it was clear that the topshell had some advantageous aspects for developing marine culture fishery. For example, (1) smaller shell-seedlings than 10 mm in shell height could be reared in the coastal nursery grounds by fishermen, (2) the growth of topshell up to catchable size was faster in comparison with other marine gastropods, (3) the survival rate of seedlings during the period up to catchable size was comparatively high, (4) the spatial scale of movement and dispersion was rather narrow and so the shells could be recaptured easily from shallow waters by existing fishing gears.

序 章

サザエ *Batillus cornutus* (LIGHTFOOT) は分類学上、腹足綱、原始腹足目のリュウテンサザエ科に属する巻貝の1種である。サザエの地理的な分布については、種々の報告(岡田・藤田, 1933; 宇野, 1962; 網尾, 1965)がなされてきたが、現在のところ南限は鹿児島県、北限は太平洋側では茨城県、日本海側では北海道南部沿岸域にあるといわれている。また、朝鮮半島南部沿岸域にも分布している。

日本周辺域に分布するサザエの近縁種としては、ヤコウガイ *Turvo marmoratus*, (LINNÉ), チョウセンサザエ *T. argyrostomus* (LINNÉ), コンダカサザエ *T. stenogyrus* (FISCHER) など約20種が報告されている(Table 1)。サザエの近縁種はすべて暖海性であるが、この中でサザエが最も北方域にまで分布している種類である。なお、サザエの近縁種のうち、通常食用にされているのは、サザエをふくめて5種類ほどである。

Table 1. Turbinidae inhabiting in the coastal area of Japan.

Japanese name	Scientific name
Sazae	<i>Turvo (Batillus) cornutus</i>
Yakougai	<i>T. marmoratus</i>
Kosidakasazae	<i>T. stenogyrus</i>
Ookosidakasazae	<i>T. bruneus</i>
Keshousazae	<i>Marmorotoma brunneum</i>
Marusazae	<i>T. setosus</i>
Kingutisazae	<i>T. chrystostomus</i>
Tyosensazae	<i>T. argyrostomus</i>
Ryuten	<i>T. petholatus</i>
Tatumakisazae	<i>T. reevi</i>
Nisikisazae	<i>T. excellens</i>
Taiwansazae	<i>T. sparverius</i>
Yakkosazae	<i>M. crassum</i>
Hidatorisazae	<i>M. squamosum</i>
Kansugai	<i>T. guttatus</i>
Togekansugai	<i>T. asteriola</i>
Sugai	<i>Lunella coronata coreensis</i>
Kangiku	<i>L. granulata</i>
Oobeso	<i>L. cinerea</i>

一方、産業的には、サザエはアワビやウニなどとともに重要な磯根資源の一つになっており、潜水漁法、水視

漁法、刺網漁法などによって漁獲されている。最近の漁獲量の変化を調べてみると、1979年には全国で10,761トンのサザエが漁獲され、漁獲金額でも100億円ちかい水揚げが記録されていたが、その後漁獲量は減少し、1984年には4,800トンにまで漁獲量が減少し、現在サザエ資源は乱獲によりかなり減少した状態にある。

このような状況下において、天然海域におけるサザエの生態を解明し、今後サザエ漁業における安定増産を目指すためには、その知見をもとにしたサザエ資源・漁場の管理方法を確立することが急務となっている。

(1) サザエの生態および資源管理に関する既往研究の概要

わが国におけるサザエの研究について年代別に整理してみると、以下ようになる。1930年代には、岡田・藤田(1933)が日本産サザエの分布について報告しており、これがわが国でのサザエに関する最も古い研究の一つであると考えられる。その後、1940年代には、松井・内橋(1940a・b, 1941a・b)、猪野・亀高(1943)らによって、サザエの棘に関する研究が行われ、棘のタイプ分けや形成要因についての解明に努力がはらわれた。

1950年代になると、猪野(1953, 1958)が、生息環境とサザエの形態(棘とか殻色)や成長との関係について検討し、環境の変化が棘の形成に関与していることや、餌料海藻の種類によってサザエの殻色や成長が異なることを実験的に証明した。さらに、阿部(1952)と網尾(1955)は、日本海沿岸域における天然サザエの成長や成熟について調査を行っている。1960年代になると、宇野(1962)が、サザエの成長、行動を調べるとともに、その結果から移殖放流の有効性について論じている。その他、この年代には、人工種苗生産の技術開発のための基礎作りとして、産卵生態に関する研究も行われるようになる(阿井ら, 1964; 阿井, 1965)。

さらに1970年代になると、太平洋側の伊豆地方におけるサザエの資源管理に関連した研究報告がいくつかなされている(伏見・野中, 1972; 伏見ら, 1978)。これらの報告では、伊豆地方におけるサザエ資源の動向と年級群の交代や生き残り、成長、成熟、産卵などの関係について検討されている。特に成長については、太平洋側におけるサザエの成長が、前述した阿部(1952)の日本海側におけるサザエの成長よりも速く、地域によってサザエの成長速度は異なることがこれらの報告から伺われる。そのほか伏見(1980)は、サザエの資源量が、環境変動(主に黒潮の離接岸に基づく海況変動)に支配されてい

ることなども推測している。

また、1960年代から始められた産卵生態に関する研究も、1970年代になると、実際に種苗生産試験に応用されるようになり（寺尾ら、1970；松岡、1975a・b）、1980年代には、人工種苗の量産化を目指した研究が開始され（岡部、1982；翠川、1982、1983）、現在までに量産化に関する技術開発は基本的には終了している（岡部・藤田、1985）。

最近では、山本・山川（1985）が組織学的手法を用いてサザエの成熟過程の解明に、山崎・石渡（1987a・b、1988）はサザエの分布生態や成長、特に稚貝の生息場所の解明に努力するなどしている。

以上が、現在までのサザエの生態および資源管理に関する研究の経過と現状である。これらの研究は、どちらかといえば、サザエの成長とか成熟、産卵、分布などといった生態的な一側面を個別に扱ったものであり、同じ磯根生物であるアワビと比較すると、まだまだサザエの生態全般に関する情報は不足していると考えられる。

(2) 目的と方法

本研究の目的は、サザエを増殖させるための資源および漁場の管理方法を開発することにある。そのためには、従来の研究のように、単に天然サザエだけでなく人工産サザエの生態特性を解明する必要がある。

そこで第1章では、京都府沿岸域における天然サザエの年齢と成長との関係や、飼育試験と放流試験の結果をもとに、サザエの成長と外部環境要因との関係、成熟と産卵、食性、生残、移動と分散などの諸生態について検討する。また、人工的に生産されたサザエ稚貝を用いて今まで例をみないような大量放流実験の結果をもとに、成長、生残、食性などの生態的な諸要因が生息環境条件とどのように関連しているのかについても考察する。

一方、サザエ漁業の安定増産を目指すためには、効果的な種苗放流方法や適切な漁業および漁場管理方法を開発する必要がある。しかし、この方面の研究も従来ほとんど行われていなかった。

そこで、第2章では、第1章で明らかにしたサザエの生態特性および人工種苗大量放流実験の結果をもとに、効果的な種苗放流の方法について、放流場所、放流時期、放流サイズなどの観点から検討する。また、放流後の種苗を効率よく漁獲サイズにまで育成させるための漁場管理の仕方についても検討する。さらに、効果的な種苗放流と適切な漁場管理を行った場合について、放流サザエの漁獲サイズにいたるまでの生残率や成長を解明

して、人工種苗放流による資源培養の有効性についても検討する。

最終的な取りまとめとして終章では、第1章および第2章の結果を総括することによって、サザエの栽培漁業化の可能性について検討する。また栽培漁業化を実現させるために必要な資源や漁場の管理の仕方や、効率の良い放流サザエの漁獲の仕方など、どのようにすればサザエの安定増産が図れるのかについて総合的に考察する。

(3) 謝 辞

著者は、本研究をまとめるにあたり御指導・助言を賜った京都大学農学部教授 川合英夫博士に厚く感謝の意を表したい。この論文を発表する機会を与えられるとともに、本研究をとりまとめるにあたり厚い激励と助言を賜った京都府立海洋センター所長 篠田正俊博士および海洋生物部長 西村元延氏に深く感謝する。

また、本研究の一部において、共同研究者として適切な助言と御助力をいただいた京都府立海洋センター主任研究員 桑原昭彦博士 および 松田秀之助氏、同研究員 内野 憲氏、辻 秀二氏、浜中雄一氏、和田洋蔵氏、田中雅幸氏に深く感謝する。本研究を進めるうえで不可欠である試験放流用の人工産サザエの生産に従事していただき、放流に際しては有益な助言をいただいた岡部三雄氏（現京都府栽培漁業センター主任）および京都府栽培漁業センター技師 小倉正規氏に感謝する。さらに、海藻の同定や調査方法等についての助言や、原稿を校閲して有益な助言を与えてくださった京都大学農学部助教授中原紘之博士に感謝する。

最後に、本研究に係わる調査を実施するに際しては、京都府立海洋センターに所属するみさき丸および平安丸の船員各位には多大の協力をいただいた。これらの方々には心からお礼申し上げる。

第1章 サザエの生態特性

京都府におけるサザエは、一部の内湾域を除いて府下沿岸域のホンダワラ類が優占する岩礁域に主として生息しているが、これらのサザエを増殖させるためには、その資源および漁場の管理を行うことは重要なことである。そして、そのためにはサザエの生態についての知見を集積する必要がある。

第1章では、京都府沿岸域で行った天然サザエの生態調査の結果とあわせて、人工的に生産されたサザエ種苗を天然海域に放流した調査結果をもとに、サザエの成

長、成熟と産卵、食性、生残および移動と分散などの諸生態について明らかにする。また、それらの生態特性が生息環境とどのように係わりあっているのかについても検討する。

1-1. 成 長

サザエの初期発生における成長に関しては、従来行われてきた産卵誘発試験（阿井, 1965）や、種苗生産試験（遠山, 1980；山本, 1984；岡部, 1985）などを通して、いくつかの見解が報告されている。それらをまとめると次のようになる。

サザエの卵は、直径 200 μm 前後の分離沈性卵で、受精後は10数時間でトロコフォア期を経て、ベリジャー期になる。そして、1～4日間水中を浮遊した後、基質に付着して葡萄行動を始める。この時にはすでに幼殻が形成されており、その殻径は 300～400 μm 程度である。その後サザエは葡萄行動をしながら、基質に付着している珪藻などを摂餌して大きくなっていく。

一方、発生初期以降の天然サザエの成長は、日本海側（阿部, 1952；宇野, 1962）と太平洋側（宇野, 1962；伏見ら, 1978）で調査されているが、それぞれのサザエの成長速度に違いのあることが伺われる。

そこで、京都府沿岸域におけるサザエの成長調査の結果から、水域によってサザエの成長に差が生じるのはどのような理由によるものであるのか、また京都府沿岸域におけるサザエの成長が、他海域と比較してどのように異なっているのかなどについて検討する。

(1) 調査方法

(a) 年齢と成長

京都府沿岸域におけるサザエの年齢と成長との関係を調べるために、1984年および1985年の6～7月に与謝郡伊根町青島地先で潜水（素潜り）によって採集したサザエ（309個体）と、1986年の6～7月に舞鶴市成生および熊野郡久美浜町湊地先において、水視および刺網漁法で水揚げされたサザエ（1,794個体）を対象に、Harding（1949）の方法により年級群解析を行った。この方法は、正規確率紙にサザエの殻高組成をプロットし、その変曲点から各年級群を分離する方法である。

また、天然サザエの成長を直接追跡するために、青島地先において、1985年4月に、殻高 $15 \pm 1 \text{ mm}$, $20 \pm 1 \text{ mm}$, $24 \pm 1 \text{ mm}$ のサザエ群にそれぞれ標識付けをして、その後の成長を18カ月にわたって観察した。

(b) 水温と成長

水温とサザエの成長との関係を調べるために、伊根町青島地先において、殻高 30.0 mm のサザエを150個ずつ3つの胴丸かご（ポリプロピレン製、直径 700 mm、高さ 300 mm）に入れて、1985年11月8日から1986年11月11日までの約1年間飼育試験を行った。飼育期間中におけるサザエの成長を調べるために殻高測定を毎月1回行った。また、水温の測定は毎月1～2回、投餌は、胴丸かごの中の餌がなくなった時点で適宜行った。なお、餌としては、周辺水域で比較的容易に採集できる、アオサ類、テングサ類、ワカメなどを用いた。

(c) 分布水深と成長

平均殻高 20 mm の人工産サザエを用いて分布水深とサザエの成長との関係について調査した。1984年5月28日に、伊根町青島地先において、水深別（0～0.5 m, 0.5～1.5 m, 1.5～2.3 m, 2.3～4.0 m）に総数3,000個体のサザエを放流し、同年10月11日まで毎月1回、各水深別にサザエを取り上げて殻高測定を行った。

(d) 餌料環境と成長

優占海藻の異なる水域に人工産サザエを放流し、餌料環境とサザエの成長との関係について調査した。実験に用いたサザエの平均殻高は、放流時期および放流水域によって若干異なるが、7.9～10.2 mm の範囲内であった。1985年5月8日に伊根町の舟屋と青島地先にサザエを放流したのを初めとして、同年6月4日および7月4日には、それぞれ久美浜町旭漁港および伊根町新井崎漁港にサザエを放流した。その後、毎月1回サザエの殻高測定を行った。

また、放流水域の餌料環境を調べるために、毎月1回、放流水域において、方形枠（0.5 m × 0.5 m）を用いて海藻の被度調査を行った。

最後に、サザエの生態調査や放流実験などを行った水域の概要について簡単に述べておく。久美浜町湊や旭は、京都府の最も西部に位置して、日本海に直接面した地区である。伊根町の舟屋、青島および新井崎は若狭湾の西部海域に位置する。一方、舞鶴市成生は、京都府の中で最も東部に位置している（Fig. 1）。なお、舟屋とは、伊根湾奥にある小型船の船上げ場のことである（Fig. 2）。

(2) 結果

(a) 年齢と成長

Fig. 3 は、潜水調査を行って採集したサザエを対象

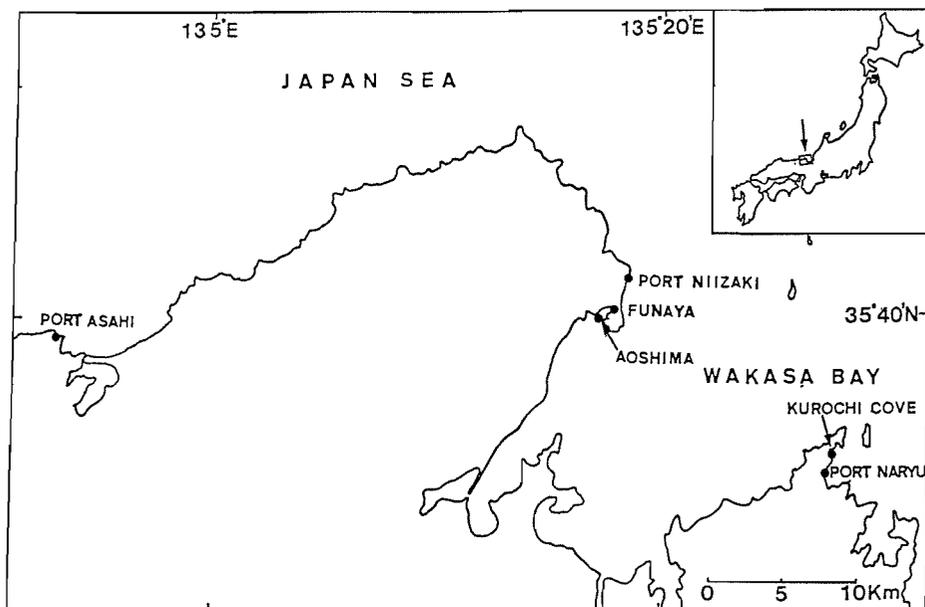


Fig. 1. Location of the experimental areas.

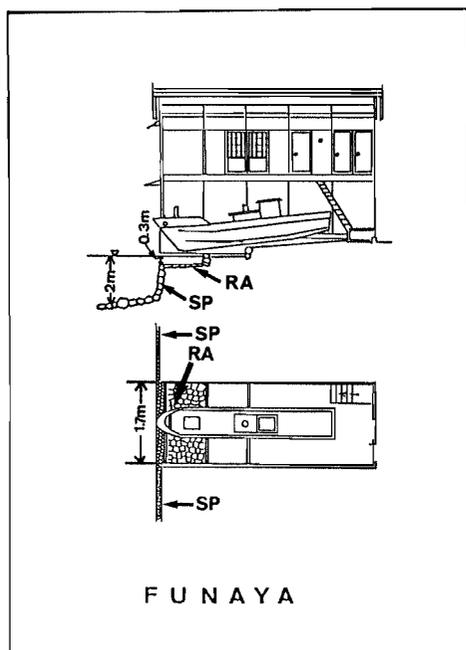


Fig. 2. Drawings of side and upper views of Funaya. RA; releasing area, SP; shore protection.

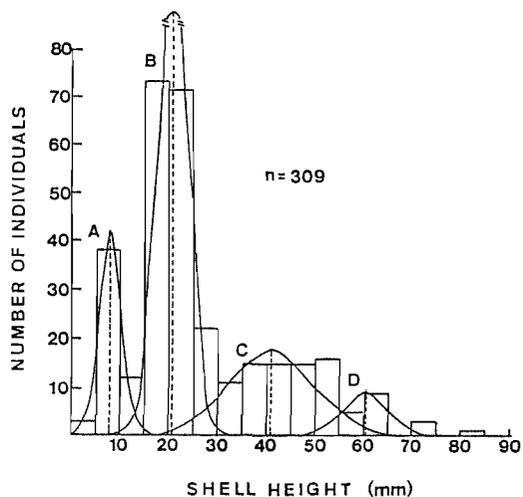


Fig. 3. Showing shell height frequency distribution collected by means of diving in the coastal area of Aoshima from June to July in 1984 and 1985. The normal curves were fitted to four age groups by the Harding's method, which show 1st (A), 2nd (B), 3rd (C) and 4th (D) year shells, respectively.

に年級群解析をした結果である。このサンプルからは、殻高 8.0 ± 2.2 mm の群、 21.0 ± 3.0 mm の群、 41.0 ± 9.0

mm の群、 60.2 ± 4.8 mm の群の4群が分離された。しかし、殻高 50 mm 以上の大型のサザエは、主として深

場に分布していると考えられ、前述の潜水調査によって得られたサンプルでは、対象物が浅場に生息する比較的小型のサザエに片寄るおそれがある。そこで、潜水調査と同時期(6~7月)に、京都府沿岸域で刺網および水視漁法で漁獲された、主として、殻高 50 mm 以上(京都府漁業調整規則によりヘタ径 20 mm, 殻高で約 50 mm 以下のサザエは漁獲できない)のサザエを対象に年級群解析をした (Fig. 4)。

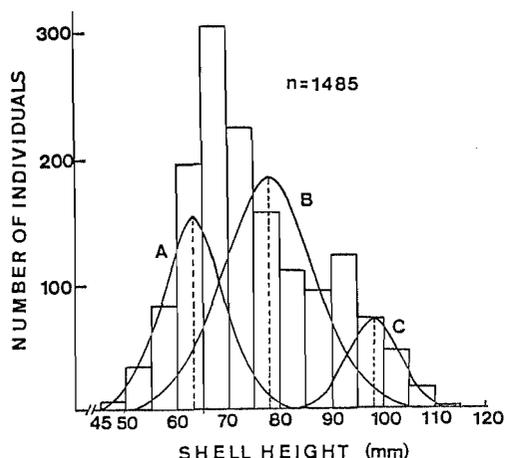


Fig. 4. Showing shell height frequency distribution of topshell collected by means of tongs and gill nets in the coastal area of Naryu and Kumihama from June to July in 1986. The normal curves were given by same method as in Fig. 3. Three groups show 4th (A), 5th (B), 6th (C) year shells, respectively.

Fig. 3 と Fig. 4 から、殻高 60 mm 前後のサザエがともに年級群として分離されている。すなわち、この2つの年級群解析結果から、京都府沿岸域における天然サザエの年齢と成長との関係は、概ね1歳で殻高 10 mm 前後、2歳で 20 mm 前後、3歳で 40~50 mm, 4歳で 60~70 mm, 5歳で 80 mm 前後、6歳で 100 mm 前後と推定される。

以上のようにして推定したサザエの年齢と成長との関係が正しいかどうかを確認するために、実際に天然水域に生息している2歳貝と考えられる(殻高 15~24 mm)サザエに標識付けを行い、その後の成長を追跡した。その結果が Fig. 5 である。

4月に標識放流した殻高 15~24 mm の群は、同年10月には 40 mm 前後に成長した。そして、翌春には、一部のサザエが殻高 50 mm 以上に成長して、その年の秋には 60 mm 前後にまで成長していた。この標識放流試験で得られたサザエの成長の結果と年級群解析をして得られた結果とを比較してみる。放流試験水域では、後述するようにサザエの成長にとって好適餌料海藻であるテングサ類が比較的によく生育していたことも関係して、同水域でのサザエの成長は、年級群解析をして得られた結果と比較すると若干良好ではあるがほぼ同様と考えられ、前述の京都府沿岸域におけるサザエの年齢との関係は正しいものと思われる。

(b) 水温と成長

サザエのみならず、一般の水生物の成長は水温に強く影響をうけると考えられる。そこで、テングサ類やアオサ類などを餌料として、飽食状態でサザエを1年間飼育して水温とサザエの成長との関係について調査し

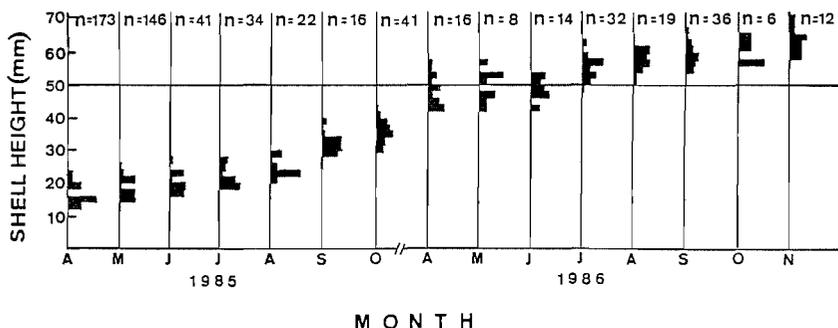


Fig. 5. Growth of marked wild topshell 15 ± 1 mm, 20 ± 1 mm and 24 ± 1 mm in shell height in the coastal area of Aoshima from May 1985 to November 1986. The histogram and n show relative frequency and the number of shells investigated.

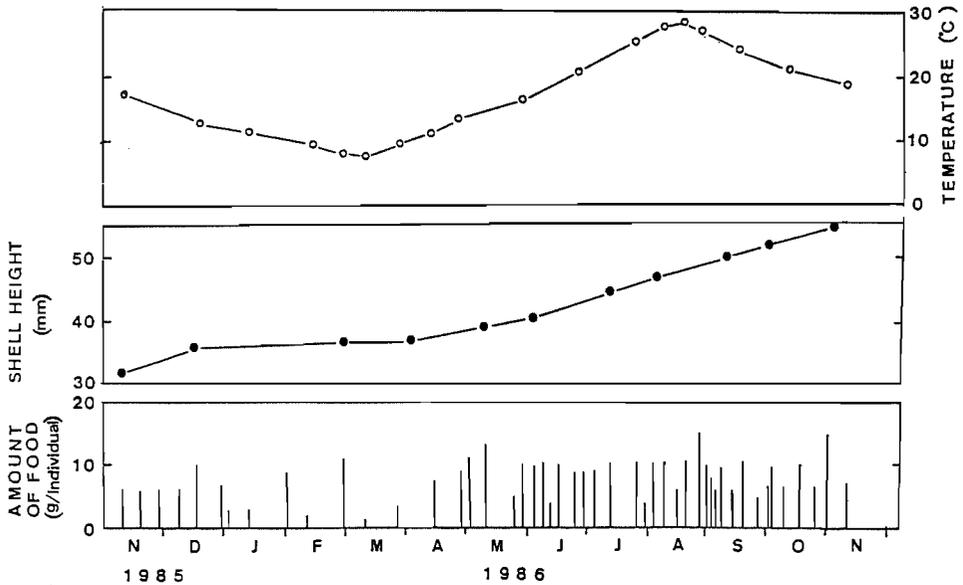


Fig. 6. Relationship between water temperature and growth of topshell reared in the cage. Open and solid circles show the changes of water temperature and growth of topshell, respectively. Bar graph shows the amount of food supplied for shells.

た。その結果（桑原ら，1987）は Fig. 6 に示すとおりである。

サザエの摂餌量は、水温が 12°C 以下に低下する 1 月から 4 月初めまでは少なく、成長がほとんど停止してしまう。しかし、水温が 12°C 以上に上昇する 4 月中旬以降には、次第に摂餌量も多くなり、サザエは成長し始める。そして、水温が 16~30°C になる 6~10 月に最も良く成長し、成長量は 3.0~4.5 mm/月となる。その後成長は低下するが、12 月頃までは成長し続ける。すなわち、前述した標識サザエの成長追跡調査の結果 (Fig. 5) で、10 月と翌年 4 月との間にサザエの殻高に差が認められるのは、上記のとおり 10 月から 12 月にかけてもサザエが成長し続けたからであると考えられる。このことは、サザエの標識放流試験を行った青島の表層水温が 12°C 以下になるのは、通常翌年 1 月になってからであることから裏付けられる。

以上の実験結果により、サザエにとって水温 12°C 付近が成長するための下限水温であり、水温 16~30°C がサザエの成長にとって好適水温範囲であることがわかった。

(c) 分布水深と成長

Fig. 7 は、人工産の小型サザエ（殻高 20 mm）を水深別に放流して、その後の成長について調査したときの結果（葭矢ら，1986）である。この図から、0~0.5 m 域へ放流したサザエの殻高は、136 日後に約 35 mm であったのに対して、2.3~4.0 m 域へ放流したサザエのそれは約 27 mm となっている。このように、浅場に放流したサザエの成長は全般的に良好であるのに、深場へ放流したサザエの成長は、放流した水深が深くなればなるほど悪くなることがわかる。すなわち、一般に浅場に生息する小型のサザエが深場にすみついた場合、浅場のサザエよりも成長が悪くなる傾向が認められ、小型サザエの成長は、その分布水深によって違いの生じることがわかった。

なお、このように分布水深が深くなるほどサザエの成長が悪くなる理由としては、一般的に浅場と比較して深場の方が水温が低いこと、また、後述するように、深場には浅場と比較して小型サザエの好適な餌となる小型海藻が一般的に少ないことなどが考えられる。

(d) 餌料環境と成長

餌料環境とサザエの成長との関係をみるために、植生の異なる実験水域に人工産のサザエ稚貝（殻高 10 mm

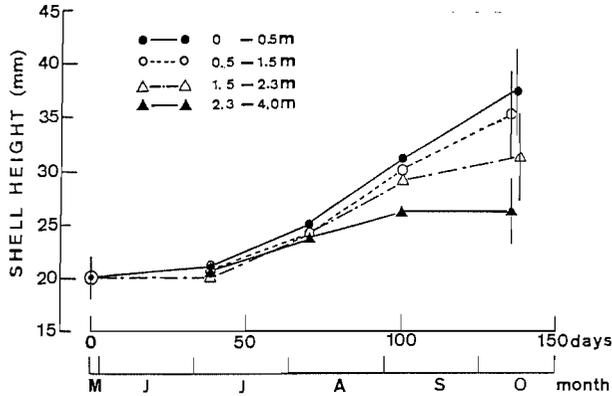


Fig. 7. Monthly changes of shell height from May to October 1984 in the coastal area of Aoshima. Vertical bars represent standard deviations of the mean.

前後)を放流して、その後の成長を追跡調査した結果(霞矢ら, 1987)について述べる。

サザエ稚貝の放流は、5月、6月、7月の各月上旬に行った。5月上旬にはアナアオサ *Ulva pertusa* やマクサ *Gelidium amansii* などが優占していた水域と、有節サンゴモ類 *Corallinaceae* やアミジグサ *Dictyota dichotoma*

が優占していた水域にサザエを放流して、成長についての比較試験を行った。結果は、アナアオサやマクサ優占域におけるサザエの成長の方が、有節サンゴモ類やアミジグサ優占域におけるそれよりも約3~7mm大きくなっていた (Fig. 8)。

また、6月上旬に有節サンゴモ類とホンダワラ類優占

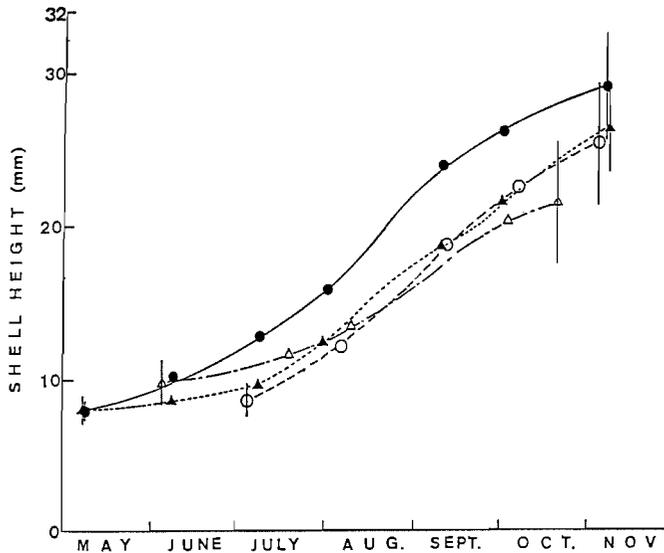


Fig. 8. Growths of the topshell in the four experimental areas; (○) Port Niizaki and (●) Funaya show the growth of shells in the area dominating *Gelidiaceae*, (△) Port Asahi and (▲) Aoshima show the growth of shells in the area dominating *Sargassum* and *Corallinaceae*, respectively. Vertical bars represent standard deviations of the mean.

域へ、そして、7月上旬には、マクサやオバクサ *Pterocladia tenuis* などのテングサ類優占域へサザエ稚貝を放流し、11月までその成長を追跡した。各放流群の成長を比較すると、テングサ類優占域へ放流したサザエは、11月の時点では、約1カ月放流が早かった有節サンゴモ類・ホンダワラ類優占域のサザエより速く成長しており、さらに、約2カ月放流が早かった有節サンゴモ類・アミジグサ優占域のサザエとほぼ同程度の大きさにまで成長していた。

上記の結果をまとめると、サザエ稚貝の成長は、放流水域に生育する海藻の種類によって違いがみられ、特にマクサ、オバクサなどのテングサ類や、アナアオサなどの海藻が優占する水域へ放流されたサザエの成長は、有節サンゴモ類、ホンダワラ類、アミジグサ、などが優占する水域のサザエのそれよりもかなり優れていた。これらのことから、サザエの生息水域における餌料環境、特にこの実験では、優占する海藻の種類によってサザエの成長の良し悪しが左右されることが判明した。

(3) 考 察

サザエの成長は、上記の結果からサザエを取り巻く生息環境条件によって影響を受けていることがわかった。そこで、京都府沿岸域におけるサザエの成長と、これまでに調査されている日本各地におけるサザエのそれとを比較して、相違する点や、また、その原因について検討する。

日本沿岸の各地でこれまでに調査されているサザエの年齢と成長との関係は Table 2 のとおりである。ただし、これらの結果は、調査方法や調査時期が異なるので、単純には比較ができない。

京都府沿岸域の6~7月におけるサザエの大きさ(満年齢時)は、Table 2にも示したが、1齢で殻高10mm

前後、2齢で20mm前後、3齢で40~50mm、5齢で80mm前後となる。この値は Fig. 5 に示したような月ごとの成長量を用いて補正することができ、調査時期の異なる資料と比較することができる。

今別と稲鯨での結果(宇野, 1962)と飛鳥での結果(阿部, 1952)は、サザエの蓋の年輪から、その形成時期における殻高を推定したものであり、後述するようにこれらの海域の水温が低下して、成長が休止する12~6月の殻高を表しているものと考えられる。一方、京都府沿岸域での冬のサザエ稚貝の大きさは殻高3~4mmと非常に小さく、この大きさの時期に形成された蓋の第1輪を読み取ることは困難である。つまり、京都府より北に位置するこれらの海域でのサザエの成長は、Table 2 に示した年齢に1年加算して京都府沿岸域での成長と比較する必要があると考えられる。

日本海に面した4海域のサザエの成長を比較すると、最も北に位置する青森県今別でサザエの成長が最も遅く、山形県飛鳥では今別より速く、近接海域にある同じ離島の佐渡島の稲鯨とはほぼ同程度であり、京都府沿岸域で最も速くなっている。すなわち、北から南に向かうほどサザエの成長は良くなる傾向が認められる。

次に、太平洋に面した小湊の結果(宇野, 1962)は、サザエの日間成長量から10月頃の殻高を推定したものであり、京都府沿岸域における10月のサザエの大きさと比較すると、かなり大きくなっている。つまり、太平洋側におけるサザエの成長は、日本海側と比較するとかなり優れているようである。このような結果は、水温とサザエの成長との関係でも述べたように、日本海側では水温の低下する冬に成長が低下もしくは停止するが、太平洋側では水温がそれほど低下せず、サザエが成長し続けていることによると考えられる。

宇野(1962)は、サザエの成長パターンを、春~夏の

Table 2. Age and shell size in height of topshells in the various coastal area of Japan.

REGION	AGE						
	1	2	3	4	5	6	7
IMABETU (AOMORI)	10	24	42	56	—	—	—
TOBISHIMA (YAMAGATA)	—	31—41	46—50	51—60	61—67	63—73	—
INAKUJIRA (NIIGATA)	15	29	45	60	—	—	—
KYOTO	10	20	40—50	60—70	80	100	—
KOMINATO (CHIBA)	25	51	78	104	—	—	—
TOJI (SHIZUOKA)	50	65	80	93	104	115	125

Data of IMABETU, INAKUJIRA and KOMINATO from Uno (1962), and TOBISHIMA and TOJI from Abe (1952) and Fushimi *et al.* (1978), respectively.

水温が上昇するとともに成長量が増大し、水温が低下する冬には成長が低下もしくは停止してしまう型（日本海型）、水温に関係なく成長する型（太平洋型）、成長が水温と負の相関を示す型（内湾型）の3つのパターンに分類している。ここで、これらのサザエの成長パターンがどうして発現するのかについて、これまで明らかになったサザエの成長と環境条件との関係をもとに検討してみる。

今回行った一連の成長調査においても、サザエは高水温期に急成長し、冬の低水温期には成長が停止してしまうことを確認しており、一般的には、京都府沿岸域におけるサザエの成長は、宇野が述べているとおり“日本海型”であることが裏付けられた。

次に、水温に関係なく成長する太平洋型の成長パターンについて考えてみる。サザエの場合は前述したように水温が12°C以下になると成長は停止する。サザエの太平洋側の北限近くに位置する小湊の冬の水温は約14°Cであり、12°C以下になることはない（宇野，1962）。従って太平洋側の水温条件のもとでは、水温に関係なくサザエは成長し続けることになる。また、このことが太平洋側のサザエが、冬には水温が12°C以下に低下し、成長が停止してしまう日本海側のサザエよりも速く成長し、しかも大型化する理由であると考えられる。

サザエの成長が、水温と負の相関を示す内湾型の場合には、成長に対して水温以外の制限要因が存在していることを示唆している。例えば、宇野（1962）は、内湾域における梅雨期や台風時の集中豪雨などによる塩分の低下や、河川流入水による懸濁物質量の増加などがサザエの成長に影響を与えていると推論している。しかし、今回の調査結果から考えると、餌料環境が重要な役割を果たしていると思われる。すなわち、前述したようにサザエの成長は、その生息海域に生育している海藻の種類や現存量によって左右されるが、アオサ類などのサザエにとって好適な餌料になっている海藻の内湾域における生育状況は、一般的には水温が高い夏に悪く、水温が低下する秋～翌春に良くなる傾向がみられ、このような餌料環境が内湾域のサザエの成長パターンを規定しているものと推察される。

1-2. 成熟と産卵

サザエの資源管理を行うために、成熟や産卵期などの繁殖生態について把握することは重要なことである。これまでに、サザエの種苗生産技術の開発が進められる過程で、サザエの成熟や産卵に関するいくつかの知見が報

告されている（土屋，1969；松岡，1975；西村，1975）。これらの報告は、主として室内飼育実験によってサザエの成熟や産卵行動を論じたものである。また、天然海域でのサザエの産卵行動や生殖腺熟度の変化から、産卵期の推定を行っている事例もある（網尾，1955；阿井ら，1964；伏見，1980）。さらに、最近ではサザエの性成熟について、組織学的手法を用いて調査した結果も報告されている。

ここでは、京都府沿岸域で漁獲されたサザエや、直接潜水調査して採集したサザエを材料に、その成熟過程や産卵期などについて検討を加えるほか、成熟と外部環境条件との関係についても検討する。また、これらの結果と、既往の知見とから、日本産サザエの成熟と産卵生態について考察する。

(1) 調査方法

調査用のサザエには、1987年1月～12月に久美浜、成生両地先で水揚げされた漁獲物から無作為に抽出した個体と、青島周辺で潜水して採集した総数597個体を用いた。これらのサザエを約20分間熱湯で煮沸固定した後、月別の生殖腺の発達度合いを目視観察した。生殖腺の熟度段階（gonad stage）は、便宜的に未熟（immature）、半熟（premature）、完熟（mature）および放卵、放精後を示すスペント（spent）に区分した。

なお、各熟度の目安は次のとおりである。

- (a) 未熟：卵巣と精巣は肝臓部の表面に痕跡程度。
- (b) 半熟：卵巣と精巣は肝臓部の約1/3を被う程度に発達。色調は、卵巣が淡緑色から濃緑色、精巣は乳白色を呈している。
- (c) 完熟：卵巣と精巣は肝臓部の1/2以上を被う。色調は、卵巣が濃緑色、精巣は乳白色からやや黄色味を帯びる。
- (d) スペント：卵巣と精巣は萎縮する。色調もそれぞれ退色する。

また、サザエの肝臓部から卵巣と精巣を剥ぎ取り、その重量から生殖腺熟度指数（gonad index）を調べた。この場合、未熟およびスペント個体については生殖腺を剥ぎ取るのが困難であったため、熟度指数=0とした。

(2) 結果

(a) 性成熟の季節変化

Fig. 9に殻高60 mm以上のサザエにおける熟度段階の季節変化を示した。雌雄とも3月頃まで未熟、半熟個体の割合が高いが、それ以降、急速に完熟個体の割合が

高くなって7月にピークを迎えている。そして、8月以降には完熟個体の割合が急減して、9、10月には大半の個体がスペント期になっていた。しかし、12月には回復期にあると考えられる個体がかなりみられた。

Fig. 9 の下段には、生殖腺熟度指数の季節変化を示した。殻高 60 mm 以上のサザエの生殖腺熟度指数は、雌では4月頃から、雄では3月頃から急速に高くなり始め、7月には雌雄ともピークを示した。その後、8～9月にかけて急速に値が低くなっていった。

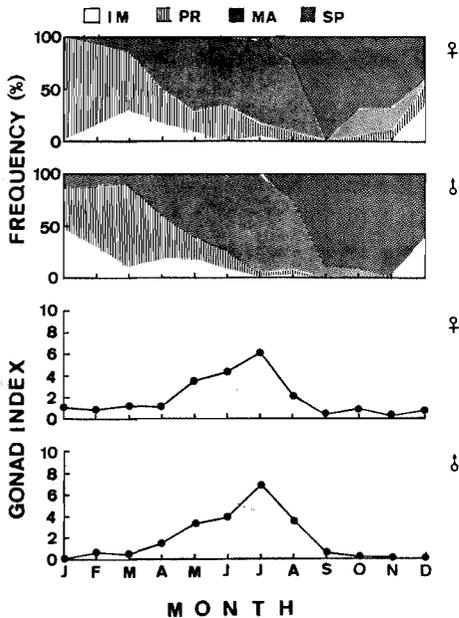


Fig. 9. Monthly changes of sexual maturity of topshell more than 60mm in shell height collected in the coastal areas of Kumihama, Naryu and Aoshima from February to December in 1987. Upper are changes of frequency of maturity; (IM) immature, (PM) premature, (MA) mature and (SP) spent stage. Lower are changes of gonad index of topshell $GW/SH^3 \times 10^6$, (GW) weight of gonad (g), (SH) shell height (mm).

殻高 40~50 mm のサザエでは (Fig. 10), 殻高 60 mm 以上の個体と比較して、4~7月にかけて完熟個体の割合が低く、この傾向は雌で顕著である。また生殖腺熟度指数にも明瞭なピークは認められなかった。しかし、7月以降にはスペント期の個体が出現していること

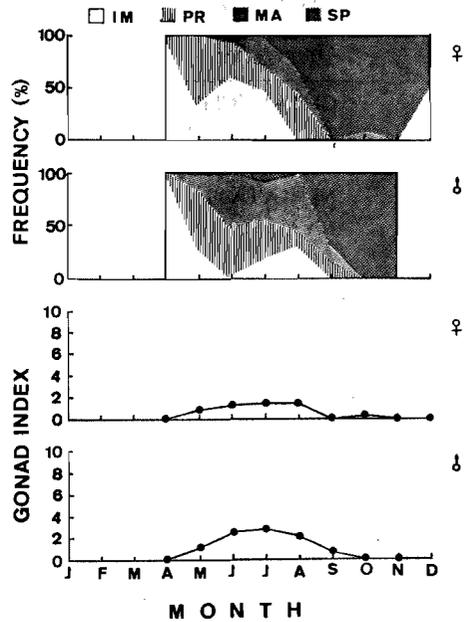


Fig. 10. Monthly changes of sexual maturity of topshell 40-50 mm in shell height collected in the coastal areas of Kumihama, Naryu and Aoshima from April to November in 1987. Upper are changes of frequency of maturity. IM, PR, MA and SP are same as in Fig. 9. Lower are changes of gonad index of topshell.

から、産卵には参加していることが示唆される。

(b) 産卵期

上記の調査から、京都府沿岸域におけるサザエの産卵期は7~10月で、その盛期が7~8月であると考えられる。そこで、この結果と他県でのサザエの成熟・産卵生態とを比較するために、過去に各県の地先水域で調べられたサザエの産卵期と上記の結果とを Table 3 にまとめた。この表から、サザエの産卵期は、日本海側と太平洋側とではほとんど違いがみられず、6月または7月に始まり、9月または10月に終わっていて、その盛期は7~8月であることがわかる。

このように、天然水域におけるサザエの産卵盛期は、日本海側と太平洋側とも7~8月であると考えられる。しかし、日本海側で行われた室内での産卵誘発試験結果では、夏と秋の2回の盛期がみられ、またサザエは夏よりも秋のほうが産卵しやすいという報告 (梶川, 1981 ;

Table 3. Breeding period of topshells in the various coastal area of Japan.

REGION	SPAWNING SEASON
CHIBA (Chikura)	AUG. — SEPT.
TOKYO (Oshima)	JULY — SEPT.
SHIZUOKA (Shimoda)	JUNE — SEPT. (JULY — AUG.)
NIIGATA	AUG. — SEPT.
KYOTO	JULY — OCT. (JULY — AUG.)
TOTTORI	JULY, SEPT. — OCT.
YAMAGUCHI	JUNE — OCT.

Data of CHIBA, TOKYO, SHIZUOKA, NIIGATA, TOTTORI and YAMAGUCHI from Yamamoto and Yamakawa (1986), Nisimura (1975), Fushimi (1975), Tuchiya (1969), Kajikawa (1981) and Kakuta et al. (1986), respectively.

岡部・藤田, 1985) もあり, 日本海側では天然水域における調査結果と室内実験の結果とに差異が認められる。

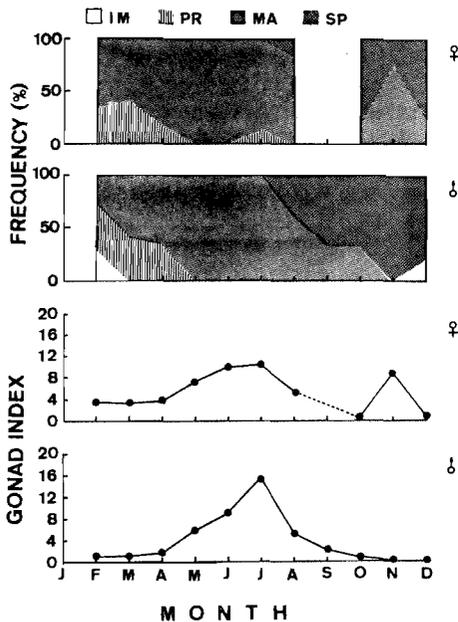


Fig. 11. Monthly changes of sexual maturity of topshell more than 60 mm in shell height in Ine Cove where a large amount of food algae was found from February to November in 1987. Upper are changes of frequency of maturity. IM, PR, MA and SP are same as in Fig. 9. Lower are changes of gonad index of topshell.

Fig. 9 と Fig. 10 に示した生殖腺の成熟過程は, 外海域で漁獲または採集したサザエを対象にしたものである。これに対し, 内湾域で採集したサザエの生殖腺の成熟過程 (Fig. 11) は, 外海域におけるサザエの成熟過程と比較すると, 内湾域では4月以前でも成熟の進んだ個体の割合が高いこと, また, 生殖腺熟度指数も外海域のものより1.5~2.0倍程度高くなっている。このように, サザエの主分布域である外海に生息する個体と, 水槽で飼育された個体や, 好適餌料海藻が多く繁茂して栄養状態が比較的に良好な点で水槽と生息環境が類似している内湾域に生息する個体とでは, 生殖腺の発達の仕方が異なることが確かめられた。

(c) 成熟サイズ

サザエの成熟状態の周年変化は以上のとおりであるが, 次にサザエが初めて成熟して産卵群に加わり, 資源の再生産に関与しはじめるサイズについて調べてみる。

まず, 9~10月において, 放卵・放精済みと考えられるスペント個体と, 放卵・放精が可能な状態にある完熟個体との合計個数が, 同時期に調査した全個体数の何割をしめるのかをサザエの殻高別に調査して, どの程度の大きさになるとサザエが初めて産卵に加わるのかを検討した。

その結果 (Table 4), 殻高 60 mm 以上の個体では, ほぼ 100% の個体がスペントまたは完熟個体であった。以下, 50~60 mm で92%, 40~50 mm で67%, そして 30~40 mm ではスペント個体または完熟個体であった割合は22%にすぎず, 多くは生殖腺の発達が認められない雌雄の判別の不可能な個体であった。これらのことから, 殻高 30~40 mm サイズのサザエの大半はまだ産卵

Table 4. Percentages of matured and spent individuals in each size of topshells collected in the coastal area of Kumihama, Naryu and Aoshima from January to December, 1987.

Shell height (mm)	30—40	40—50	50—60	60—
Rate of mature (or spent) (%)	22	67	92	100

群に加わっておらず、主として 40~50 mm サイズになって初めて産卵群に加わってくるものと考えられる。そして、その後は成長に伴い産卵群への加入が進んで、殻高 60 mm を超える頃には、ほとんどすべてのサザエが再生産可能な状態になっていることが示唆された。

また、生殖腺が完熟状態であった最小限のサザエの大きさは、今回の調査では殻高 39 mm であり、このことから、京都府沿岸域でのサザエの生物学的最小形は、殻高 30~40 mm サイズであることがわかった。

(3) 考察

サザエの資源管理を行うためには、サザエの再生産過程を把握しておく必要がある。そこで、サザエが初めて成熟して産卵群に加わり、資源の再生産を始めるのは、生まれてから何年後であるのか、すなわち、サザエの年齢と成熟との関係について検討してみる。

京都府沿岸域におけるサザエの殻高と年齢との関係は、前述したように、産卵期を7月頃とすれば、満1歳で殻高 10 mm 前後、2歳で 20 mm 前後、3歳で 40~50 mm、4歳で 60~70 mm であった。したがって、7月頃殻高 20 mm 前後の2歳貝は、その年の10月頃には 40 mm 前後に成長し、産卵可能な大きさになるが、産卵にはまだほとんど参加していないものと考えられる。しかし、翌年の7月には殻高 40~50 mm の3歳貝となつて、この年に80%程度の個体が産卵に参加する。また、4歳貝以上の 60 mm 以上のサザエではほぼ100%が産卵に参加していると考えられる (Table 5)。このように、京都府沿岸域では、サザエは満3歳貝から産卵群に加入し始め、4歳貝になるとほとんどすべての個体が再生産に関与しているものと推察される。

京都府沿岸域におけるサザエの一般的な成熟過程は以

上のおりであるが、一部内湾域と外海域とでサザエの成熟過程が異なる原因について、ここで簡単に検討しておく。

サザエの主分布域である外海に生息する個体と、水槽で飼育された個体や生息環境が水槽と類似している内湾域に生息する個体とでは、生殖腺の発達の仕方が異なることは前述したとおりである (1-2, 2b)。これをもう少し詳細にみても、内湾域に生息するサザエの方が外海域のものと比較して生殖腺の発達している期間が1~2か月ほど長いようである。このような相違は、内湾域では外海域よりも、テングサ類やアオサ類などのサザエにとって好適な餌料海藻が多く繁茂していることから、浮・菊池 (1982) らがアワビで指摘しているような、栄養状態の相違によって生じているのかもしれない。

1-3. 食性

サザエが生息する水域の餌料環境は、サザエの成長や生き残りを左右する重要な要因の一つである。食性について調べることは、単にサザエの生態の一端を解明するだけでなく、今後サザエを増殖する場合に、どのような餌料環境がサザエに適しているのか、また、サザエの放流量や放流場所での収容力の決定を行ううえでも重要なことである。

サザエの食性や摂餌生態に関する過去の知見には、宇野 (1962) の室内実験による摂餌時間帯調査や、西村 (1974)、角田ら (1982)、二島 (1983) らによるサザエ稚貝の餌料別飼育試験、また、天然サザエの食性については、西岡・大橋 (1977) の報告などがあるが、まだはつきり解明されたわけではない。ここでは、主として伊根町青島地先で行ったサザエの摂餌生態に関する調査結果についてまとめる。

Table 5. Percentages of matured individuals in each age of topshells collected in the coastal area of Kumihama, Naryu and Aoshima from January to December, 1987.

Age	1	2	3	4	5	6
Rate of mature (%)	0	11	80	100	100	100

(1) 調査方法

(a) 摂餌時間と胃内容物組成の経時変化

サザエの摂餌の日周期性を調査するために、青島地先で1984年7月17～18日および1985年7月8～9日に、3～4時間間隔で24時間にわたってサザエを採集した。採集したサザエ（1984年には21個、1985年には44個）は直ちに約10%ホルマリン海水で固定した後、実験室に持ち帰って胃内容物重量および胃内容物組成を調べた。胃内容物重量は、内容物を乾燥器で乾燥（90°C、2時間）させた後、重量を化学天秤で計量した。また、胃内容物組成は、840ます目のラフターセルを用いて検鏡し、海藻などの未消化物がそのます目のうち何ます占めるかによって、胃内容物の種類別の割合が経時的にどのように変化していくのかについて調査した。

なお、サザエの採集地点の優占海藻として、有節サンゴモ類、ヘラヤハズ、マクサ、フクロノリなどのほかに、ホンダワラ類の発芽体が潜水観察により観察された。

(b) 餌料海藻

1984年6月から10月にかけて毎月1回、青島の定点水域で8クラスの殻高別に61個のサザエを採集した。採集時間は、比較的消化されやすい海藻も胃内容物として残存し、その種類が判別できるように各月とも午前7時頃とした。採集したサザエを直ちに約10%ホルマリン海水で固定し、実験室まで持ち帰ったのち胃内容物を摘出し、それを5%ホルマリン海水で固定した。そして、このサンプルをもとにサザエの胃内容物中における海藻の種類を調査を行った。この調査には、あらかじめ定点水域付近に生育する海藻を調査ごとに採集して、その縦横の切断薄片標本をつくり、この標本とサザエの胃内容物中に出現する海藻の切断薄片やその表面観などを比較する方法を採用した。なお、切断薄片標本は、材料をニワトコの髄にはさんで鋭利な剃刀で、ていねいにうすく切断して作った。

また、サザエの餌料環境を知るために、サザエの採集と並行してロープライン上に出現する海藻の被度調査を行った。

以上は、青島地先の水深10m以浅の比較的浅場に生息するサザエを対象にしたものである。一方、より深場に生息するサザエの摂餌生態を調べるために、1987年7月1～2日に、久美浜町地先にある天然礁の20～30m深で刺網試験操業を行い、それによって捕獲され

たサザエ（5個体、殻高77.3～97.4mm）の胃内容物を上記と同様の方法で調査した。なお、刺網の揚網は午前5時頃に行い、比較的消化されやすい海藻もある程度未消化物として観察できるように配慮した。

(2) 結果

(a) 摂餌時間と胃内容物組成の経時変化

Fig. 12とFig. 13の上段は青島地先で夏にサザエの摂餌の日周期性を調査した結果である（葭矢ら、1987b）。日中の12時を過ぎる頃から空胃個体がみられ、胃内容物量は、日没直前には最低もしくは最低に近い状態となる。そして、日没後には急速に増加して、深夜にピークがみられる。さらに、サザエの活動時間は日没後から深

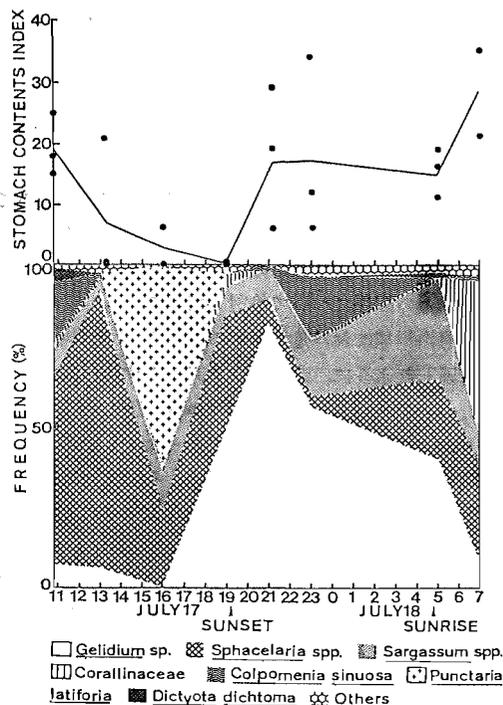


Fig. 12. Change in stomach contents index (upper) and frequency of stomach contents (lower) of topshell collected in coastal area of Aoshima from July 17 to July 18, 1984. Solid circles show stomach contents index. Straight lines show the change of average stomach contents index.

* Stomach contents index (SI) = $WSC \times 10^5 \times SH^{-3}$ (WSC: Weight of stomach contents (mg); SH: Shell height (mm)).

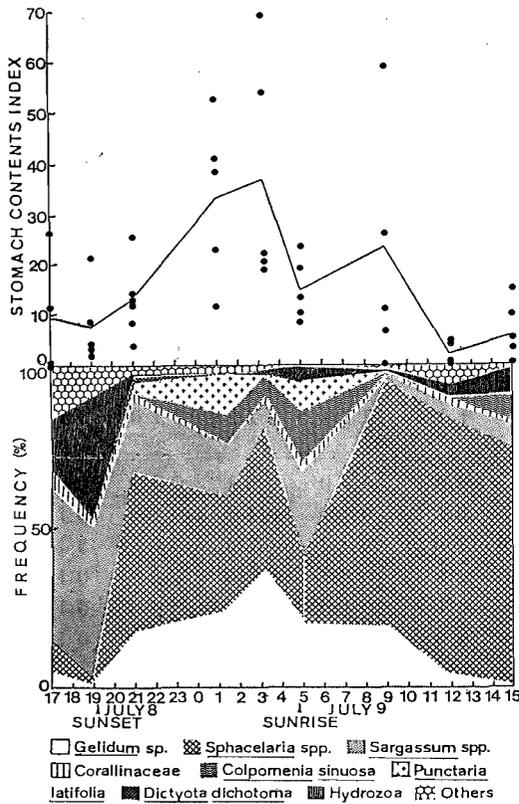


Fig. 13. Change in stomach contents index (upper) and frequency of stomach contents (lower) of topshell collected in the coastal area of Aoshima from July 8 to July 9, 1985. The index is same as in Fig. 12.

夜にかけての約6時間であることから(1-5, 2a), サザエの摂餌時間も日没から約6時間であると考えられる。

宇野(1962)は、室内飼育されたサザエの行動観察結果から、サザエは日没後から葡萄行動を開始して摂餌活動に入り、日没後6時間にわたって摂餌をすると報告している。すなわち、天然状態においても、飼育条件下においても、ほぼ同じような摂餌日周期性を示すことがわかった。

Fig. 12 と Fig. 13 の下段はサザエの胃内容物組成調査の結果を経時的に示したものである。1984年の結果では、摂餌が活発化している夜間においては、サザエの胃内容物中に占めるマクサ属の一種 *Gelidium* sp. の割合が高く、逆に摂餌活動が停止していると考えられる昼間においては、マクサ属が胃内容物中にみられずに、クロガ

シラ類 *Sphacelaria* spp., ハバモドキ *Punctaria latifolia* などの割合が高くなるという傾向が認められる。また、1985年の結果でも、日中はクロガシラ類の割合が非常に高いのに対して、マクサ属の割合は非常に低い。しかし、日没後はマクサ属の割合が急速に高くなっていくというほぼ前年と同様の結果が認められた。

(b) 餌料海藻

サザエの胃内容物の月別変化と周辺の花藻の植生を、それぞれ Table 6 と Fig. 14 に示す。この場合の胃内容物の月別変化は、1984年6月, 8月, 10月の調査で、比較的によく胃内容物中に観察された花藻のみを示した。ライン上に肉眼観察された花藻中、サザエが摂餌していたのは、褐藻類では、アカモク *Sargassum horneri*, イソモク *S. hemiphyllum* などのホンダワラ類のほか、アミジグサ、ヘラヤハズ *Dictyopteris prolifera* などであり、紅藻類では、有節サンゴモ類、ソゾ類の一種 *Laurensia* sp., トゲイギス *Centroceros clavulatum* などであった。また、Table 6 には掲載されていないが、フロノリ *Colpomenia sinuosa* やネバリモ *Leathesia difformis* などもサザエは摂餌していた。なお、この水域では、緑藻類のアナアオサとシオグサ属の一種 *Cladophora* sp. が5月下旬にわずかに生育していたが、サザエの胃内容物中には認められなかった。その他、ロープライン周辺で肉眼観察された花藻のうち、サザエが摂餌していたのは、ヤツタモク *S. patens* やマメタワラ *S. piluliferum* などのホンダワラ類や、紅藻類ではマクサ属の一種 *Gelidium* sp. などであった。すなわち、サザエは各月に生息水域で優占していた花藻を摂餌していることがわかった。胃内容物中に観察されたホンダワラ類、特にアカモクの大半は幼体(発芽体)である。このアカモクは、8月, 10月と月を経るに従って成長し、藻体が伸長していくが、これに反して、サザエに摂餌される量は少なくなっていく傾向が認められた。

一方、ロープライン調査や周辺水域での肉眼観察ではみられなかった花藻でも、サザエが多く摂餌していたものもある。例えば、褐藻類ではハバモドキの幼体やクロガシラ類(主として、ワイジガタクロガシラ *Sphacelaria furcigera* とマタザキクロガシラ *S. variabilis*), 紅藻類ではコザネモ *Symphycladia marchantioides* などである。以上のような花藻のほかに、サザエの胃内容物として、ヒドロ虫類(主として、キイロウミンバ *Sertularella miurensis* とヒメウミカビ *Amphisbetia furcata*), 貝類, カニ類, ヨコエビ類, コペポーダなど花藻に付着してい

Table 6. Occurrence of stomach contents of topshell collected in June (A), August (B) and October (C) 1984. Score 3: $f > 100$, 2: $100 \geq f > 50$, 1: $50 \geq f > 0$, 0: $f = 0$, -: no data, f is number of squares occupied by each contents with Rafter Cell divided into 840 squares (1 mm × 1 mm).

SHELL HEIGHT (mm)	0—20	20—30	30—40	40—50	50—60	60—70	70—80	80—
MONTH	A B C	A B C	A B C	A B C	A B C	A B C	A B C	A B C
FOOD ITEMS								
PHAEOPHYTA								
<i>Dictyopteria prolifera</i>	-- 0	0 --	0 1 1	0 1 0	0 1 0	0 0 0	0 0 0	0 2 0
<i>Dictyota dichotoma</i>	-- 0	0 --	0 1 1	0 1 1	0 0 1	1 0 1	0 1 2	0 2 1
<i>Punctaria latifolia</i>	-- 1	0 --	0 0 1	1 0 3	0 1 1	0 0 3	0 0 1	0 1 1
<i>Sargassum horneri</i>	-- 1	0 --	1 0 1	1 1 0	1 1 0	1 1 1	1 2 0	3 1 1
<i>S. hemiphyllum</i>	-- 0	0 --	1 1 0	1 0 0	0 1 0	0 1 0	0 1 0	0 0 0
<i>Sphacelaria</i> spp.	-- 1	1 --	3 2 1	1 1 1	2 1 1	2 2 1	3 1 0	3 1 1
RHODOPHYTA								
<i>Centroceros clavulatum</i>	-- 0	0 --	0 0 1	0 0 1	0 0 0	0 0 1	0 0 2	0 0 2
Corallinaceae	-- 1	0 --	0 2 1	0 2 2	0 1 1	0 1 1	0 1 0	0 1 1
<i>Gelidium</i> sp.	-- 1	0 --	1 1 1	0 0 1	0 1 1	1 1 1	2 0 1	3 1 2
<i>Herposiphonia subdisticha</i>	-- 0	0 --	0 0 1	0 1 1	0 0 1	0 0 0	0 0 2	0 1 0
<i>Laurencia</i> sp.	-- 1	0 --	0 1 1	0 1 1	0 1 0	0 0 1	0 0 0	0 1 1
<i>Symphocladia marchantioides</i>	-- 0	0 --	0 2 1	0 0 1	0 0 0	0 0 1	0 0 0	0 1 0
NO. OF INDIVIDUALS	0 0 2	1 0 0	1 3 2	1 2 2	2 1 1	2 3 2	4 2 1	1 1 4

る動物も観察された。

青島地先の水深 10 m 以浅の比較的浅場に生息するサザエの餌料生物については以上のとおりであるが、さらに深場に生息するサザエの餌料生物についても、20~30 m 深で試験操業した刺網で漁獲されたサザエを用いて調査を行った。結果は、5 個体すべてのサザエが紅藻類（その表面観と横断面観から、カクレイト類またはスギノリ類の一種と考えられる）の幼体（発芽体）をかなり多量に摂餌しており、また、ウミウチワ属の一種 *Padina* sp. の幼体やホンダワラ類の葉片も比較的によく摂餌していた。そのほか量的には少ないが、一般的に深場に生育しているとされているカンラザキ *Halopteris flicina* や、動物性のヒドロ虫類、貝類なども胃内容物中に認められた。すなわち、摂餌されていた海藻の多くが幼体であったということや、深場に生育するとされるカンラザキなどをサザエが摂餌していたことなどから、20~30 m 深に生息するサザエも、浅場に生息するサザエと同様、生息場所周辺に生育する海藻を主な餌料にしていることがわかった。

なお、同じ胃内容物中にみられたホンダワラ類が成体の葉片と思われることや、また調査時期が7月上旬ということも考えあわせて、この場合の胃内容物中のホンダ

ワラ類は、深場へ漂着した流れ藻と推察される。このことは、浅場だけでなく深場に生息するサザエにとってもホンダワラ類は、重要な餌料になっていることを伺わせる。

以上の胃内容物調査の結果から、サザエの食性の特徴について整理する。サザエを始めとする藻食性巻貝の食性は、その活動範囲が比較的狭いこともあって（後述）、それらが生息する水域の海藻の植生と密接に関連しているものと考えられる。事実、今回の調査でも、調査水域付近の植生とサザエの胃内容物とは比較的によく一致していた（例えば、ホンダワラ類、アミジグサ、テングサ、有節サンゴモ類など）。

(3) 考察

Langton (1983) が Yellowtail flounder (ヒラメの一種) の食性調査をした結果によれば、昼間の胃内容物中に占める多毛類の割合は大きく、夜間には多毛類は減少し、これに代わって端脚類の占める割合が大きくなっていった（ただし、Yellowtail flounder の摂餌は主として昼間行われる）。このような結果が生じた理由として、Langton は、多毛類の方が端脚類よりも消化されやすいためと推論している。サザエの場合でも、上記の昼夜の胃内容物組成の違いは、内容物の消化状況の観察結果

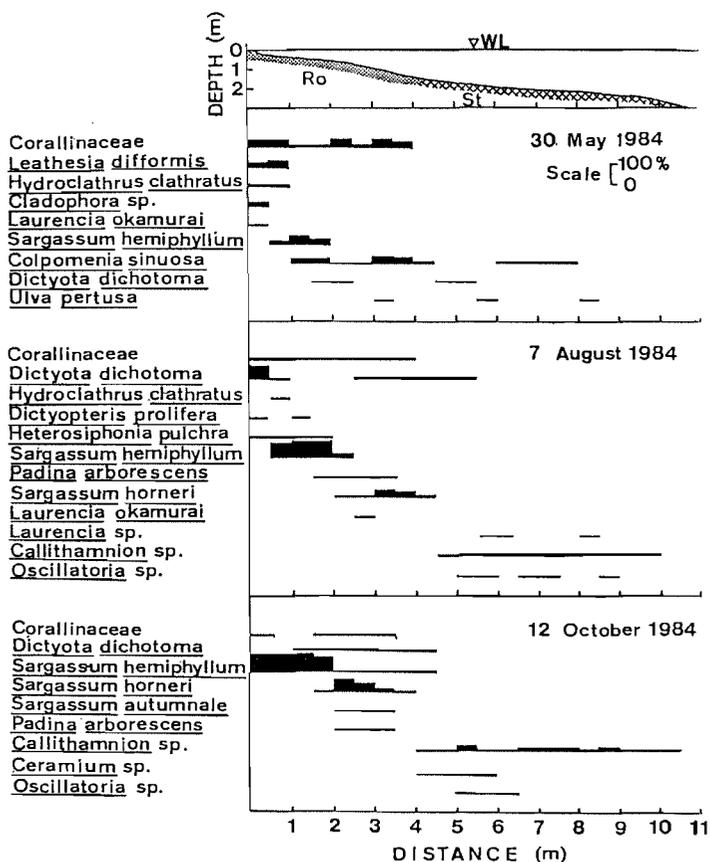


Fig. 14. Flora of the investigated area of Aoshima. The height on y-axis corresponds to percentage of coverage. Ro and St show rock and stone, respectively. WL; the water level at the time of investigation of May 30, 1984, which fluctuated ± 0.3 m during the period from May to October.

から、マクサ属の方がクロガシラ類やホンダワラ類よりも、速く消化吸収されたためと考えられる。もしそうであれば、この速い消化速度が、化学分析してみると栄養価がその程高くないテングサ類（西岡・大橋，1977）の餌料的効果を高めているものと考えられる。

なお、テングサ類のサザエに対する餌料の有効性については、前述の天然海域における人工種苗を用いた成長試験結果からも明らかである。

猪野（1949）は、石灰藻がサザエ稚貝の貝殻形成になんらかの役割を果たしていると報告している。また、アワビでも同様の報告がある（猪野，1952；酒井，1962）。しかし、今回の胃内容物調査の結果では、8～10月の有節サンゴモ類上にクロヒメゴケ *Herposiphonia subdisticha* などの微小藻類が着生している時期には、サザエの胃内

容物中に有節サンゴモ類がよくみられたが、微小藻類が着生していない6月の時点ではサザエは有節サンゴモ類を摂餌していなかった。このことから、サザエの有節サンゴモ類の取り込みは、積極的なものではなく、有節サンゴモ類上に着生する微小藻類を摂餌する際の、副次的なものとも考えられる。したがって、サザエやアワビの有節サンゴモ類に対する選択性や餌料価値についての猪野の見解については、栄養学的に再検討してみる必要がある。

日本海におけるサザエは、夏～秋の高水温期に急成長することはすでに述べたとおりである。このことから、夏～秋における餌料海藻の現存量がサザエの成長を大きく左右する要因の一つになっているものと推察される。青島周辺を含めて一般的に日本海側では、最優占種であ

るホンダワラ類の多くは、春の繁茂期を過ぎると流れ藻として流出してしまう。そのため、調査期間中におけるホンダワラ類の現存量は一見少ないようであったが、サザエの胃内容物を調べてみると、サザエにとってはより摂餌しやすいと考えられるホンダワラ類の幼体（芽生え）が、主要な餌料の一つになっていることが判明した。またこれと同様に、ハバモドキやアミジグサも幼体で胃内容物中にみられた。したがって、サザエの成長期でもある夏に、マクサ類などを除くと全般的には海藻の現存量が減少するいわゆる“夏枯れ”が起きる青島周辺で、マクサ類のほか秋以降に繁茂期を迎える海藻の幼体も、成長期を支える重要な餌料としてサザエが利用しているものと考えられる。

本調査で、サザエの胃内容物として最も頻繁にみられたクロガシラ類は、従来、同じ原始腹足類のアワビ類の餌料海藻としては、副次的な位置づけをされていて（殖田・岡田, 1934, 1941）、あまり重要視されていなかった。しかし、クロガシラ類は栄養繁殖と生殖細胞による繁殖を繰り返して、一年を通して生育している海藻であることから、青島地先において、特に海藻の現存量が減少する夏には、サザエの重要な餌料海藻になっていることも考えられる。これは、ヒドロ虫類などの動物性のものについても同様であり、消化状況の観察から、サザエは動物性の餌料もある程度消化でき、これらも、海藻の衰退期にはサザエの重要な餌料になっているものと推察される。

人工産サザエを天然海域へ放流すると、そこに生育している海藻によって、サザエが蠣集する仕方や摂餌する度合いが異なる。例えば、テングサ類とクロメ *Ecklonia kurome* が混生する場所では、まずサザエはテングサ類に蠣集し、これを食べつくしてからクロメを摂餌する。また、アナアオサとテングサ類を一緒に入れた水槽でサザエを飼育した場合、まずサザエはアナアオサを食べつくす。つまり、サザエがよく摂餌する順に海藻の種名を並べると、アナアオサ>テングサ>クロメとなる。なお、このようにサザエのアナアオサに対する選択性が高いにもかかわらず、前述した青島地先で採集したサザエの胃内容物中にはアナアオサが観察されなかった。この理由としては、アナアオサが他の海藻と比較して消化されやすく、午前7時の採集時にはすでに消化されていたとも考えられるので、サザエの餌料をより正確に把握するためには、標本を採集する時間について今後さらに検討する必要がある。

一方、フクリンアミジ *Dilophus okamurae* の群落内に

サザエを放流した場合には、テングサ群落内に放流した場合のようにサザエは蠣集せず、逆にほとんど逸散してしまっただけの例もある。このようなサザエの行動から、テングサ類には誘引作用があり（Harada, 1982）、逆にフクリンアミジには忌避作用がある（佐藤ら, 1986）とするアワビの報告と同様のことが、サザエの場合にも生じているのではないかと考えられる。

以上のように、サザエにとっての海藻の餌料価値は、単に化学的な栄養価値だけで決定されるのではなく、餌料生物の食べられやすさ、消化速度、またサザエの海藻に対する嗜好性なども重要な要因になっていると思われる。

1-4. 生残

サザエの生残に関する知見は比較的に少なく、これまで、伏見・野中（1972）、伏見ら（1978）、内場ら（1984）など、数例の報告があるにとどまっている。しかし、サザエの資源量や資源の動向を把握するためにも、その生残について知ることは重要なことである。

サザエの生残率を知る方法としては、漁獲物の年齢組成や、天然サザエの生息密度の変化などから推定する方法、また、標識放流による方法などがある。ここでは、人工産のサザエを放流するなどの調査結果を用いて、その生残状況を推定する。さらに、この時、生息環境条件がサザエの生残にどのように影響しているのかについても検討する。

(1) 調査方法

前述した人工産サザエを用いた成長調査と並行して、分布水深、植生、波浪および捕食生物など、環境条件がサザエの生残にどのように影響しているかについて調査した。

1984年5月28日に、青島地先において、平均殻高 20 mm のサザエを水深別（0~0.5 m, 0.5~1.5 m, 1.5~2.3 m, 2.3~4.0 m）に放流し、その後のサザエの生残状況を潜水調査で追跡することによって、分布水深とサザエの生残との関係について調べた。

1985年5~7月にかけて、青島地先を始めとして、それぞれ植生や波浪などの環境条件が異なる5実験水域（伊根町舟屋、久美浜町旭漁港、伊根町新井崎漁港、舞鶴市成生漁港、同黒地湾）に、平均殻高 7.9~10.2 mm の人工産サザエを放流した。その後、毎月1回潜水によってサザエの生残状況を観察し、最終調査日には、単位時間ごとのサザエの取り上げ結果から DeLury（1947）の

Table 7. Relationship between shell height and survival rate of small topshells released to the area dominating Gelidiaceae.

Mean shell height (mm)	Algal vegetation	Date of releasing	Date of catch	Mean shell height (mm)	Rate of survival (%)
2.9	Gelidiaceae	12 May 1987	9 Nov. 1987	15.5	13
3.1	Gelidiaceae	24 June 1986	4 Nov. 1986	14.3	30
3.9	Gelidiaceae	12 May 1987	10 Nov. 1987	23.7	64
4.1	Gelidiaceae, Sargassaceae	25 May 1987	29 Oct. 1987	15.6	57
4.4	Gelidiaceae	18 June 1986	7 Oct. 1986	15.5	75
7.4	Gelidiaceae	16 May 1986	11 Nov. 1986	23.7	79
8.0	Gelidiaceae	19 June 1986	13 Oct. 1986	20.4	95
8.7	Gelidiaceae	16 May 1986	10 Nov. 1986	24.3	84

方法を応用して生残個体を推定した。以上の観察結果や生残調査の結果から、植生や波浪がサザエの生残にどのような影響を及ぼしているかについて検討した。

また、上記の調査にともなう潜水観察によって、どのような生物が人工産サザエを捕食するのかについてもあわせて調査した。

捕食生物と天然サザエの生残との関係を調べるため、天然水域においてヒトデ類やアクキガイ類などの、サザエを捕食すると考えられる生物を取り除いた実験域と、取り除きを行わない対照域とで、特に殻高 20 mm 未満の小型貝の生息密度が経時的にどのように変化していくかについて調査した。調査期間は、1986年4月から1987年10月までの529日間で、この期間中、1986年11月から翌年3月までの期間を除いて、毎月一回実験域からの捕食生物の取り除きと、0.5 m × 0.5 m の方形枠を用いて、各域におけるサザエの生息密度を調査した。なお、実験域と対照域の環境条件はほぼ同様であり、底質は岩盤で調査期間中には、有節サンゴモ類、イソモク、ヘラヤハズ、フクリンアミジなどの比較的に小型の海藻が水深約 0~1.0 m に優占していた。

(2) 結果と考察

Table 7は、殻高 10 mm 前後の小型サザエを環境条件の異なる水域に放流した時の生残率をまとめたものである。以下に、この表で示した小型サザエの生残結果と、それらが生息していた水域の生物的（特に捕食生物と植生）および物理的環境条件との関係について検討する。

(a) 捕食生物と生残

小型サザエを放流した水域での現場調査の結果、実際にサザエを捕食していることが確認された生物は、イト

Table 8. Changes of density (number of shell per m²) of the small wild topshell in the coastal area of Aoshima after exterminating predator from April in 1986 to October in 1987. Experimental area: exterminating, control area: non-exterminating.

Elapsed days	Initial	150	529
Experimental area	5.6	22.4	28.0
Control area	11.2	16.8	11.2

* Number and species of exterminated predators were for experimental period (529 days) as follows: *Asterina pectinifera*, *Reisha bronni* and *R. clavigera* were 132, 2,493 and 533 individuals, respectively.

マキヒトデ *Asterina pectinifera* やヤツデヒトデ *Coscina acutispina* などのヒトデ類、フタハベニツケガニ *Thalamita sima* やイシガニ *Charybdis japonica* などのカニ類、レイシガイ *Reisha bronni* やイボニシ *R. clavigera* などの肉食性巻貝、キタムラサキウニ *Storogyocentrotus nudus* などである。特に、Table 9に示した成生漁港においては、サザエ稚貝の放流直後に、フタハベニツケガニやイシガニなどのカニ類によって、サザエが相当被害をうけていることが観察された。

カニ類は、アワビや他の巻貝の捕食生物として、これまでいくつかの報告 (Zipser and Vermeji, 1978; Elner and Raffaelli, 1980; 小沢, 1981; 小島, 1981) があり、今回の調査から、サザエ稚貝でも、カニ類による捕食が大きな減耗要因の一つであることがわかった。

以上のほかにも、キュウセン *Halichoera poecilopterus* などのベラ類もサザエを攻撃する。また、捕食はしない

Table 9. Survival rates and growths of the topshell released to five experimental areas in 1985.

Experimental area	Date of releasing	No. of shells released	Mean Shell height (mm)	Date of catch	Rate of survival (%)	Mean shell height (mm)
Funaya	8 May	2,000	7.9	8 Nov.	68	28.9
Aoshima	8 May	396	8.1	1 Oct.	12	26.3
Port Asahi	4 June	5,000	10.1	21 Oct.	79	21.5
Port Niizaki	4 July	10,000	8.6	5 Nov.	94	25.2
Kurochi Cove	26 July	6,600	10.2	29 Oct.	61	16.8
Port Naryu	26 July	12,000	8.5	11 Nov.	54	18.9

が、バフンウニ *Hemicentrotus pulcherrimus* は時化の後などに小型のサザエをその管足に付着させて死亡させることがあり、捕食生物以外でもサザエを減耗させる生物の存在することがわかっている。

次に、天然水域において、捕食生物がサザエ稚貝の生残にどの程度影響を及ぼしているかについて述べる。Table 8 は、青島地先において、サザエの生残に影響を及ぼすと考えられる生物を取り除いた実験域と取り除かなかった対照域とで、その後の小型天然貝（主に殻高10~30 mm）の生息密度の変化を経時的に調べた結果である。なお、調査期間中実験域から取り除いた生物の種類と個体数は、イトマキヒトデが132個、イボニシが533個、レイシガイが2,493個、バフンウニが49個であった。

実験域でのサザエの生息密度は、当初 5.6個/m²であったものが、529日後には28.0個/m²となっていて、当初の5倍に増加していた。一方、対照域での生息密度は529日後においても、当初と同じ 11.2個/m²であった。このような、実験域の生息密度だけ増加した理由としては、調査開始時（1986年4月4日）には、殻高10 mm以下とサイズが小さすぎて発見できなかったサザエ稚貝が、その後成長し、調査対象群に加入するとともに、10 mm以上に成長するまでのサザエの生残率が、対照域では調査の開始前後で変化がなかったのに対して、実験域では捕食生物の取り除きの効果によって高くなったことが考えられる。

以上の結果から、人為的に害敵駆除を行わない天然水域での捕食生物による小型サザエの減耗の程度をおおよそ推定すると、その場所に生息している殻高10 mm前後の個体数の4倍程度のサザエが、殻高10 mm前後に成長するまでにヒトデ類やアキガイ類などの捕食生物によって減耗しているものと思われる。

(b) 植生と生残

舟屋や新井崎漁港周辺などのような、テングサ類の優

占水域へ殻高8 mmサイズのサザエを放流した場合、殻高20 mmサイズまでの生残率は70~90%であった。一方、旭漁港や黒地湾のようなホンダワラ優占水域へ殻高10 mmサイズのサザエを放流した場合でもその生残率は60~80%であり、テングサ類の優占水域の方がホンダワラ類の優占水域よりもサザエの生残率が約10%程度高くなっている（Table 9）。

このような結果になった原因として、サザエの成長はテングサ類の優占域で速く、ホンダワラ類の優占域で遅いので（1-1, 2d）、この成長差が生残率に影響を及ぼしている可能性がある。一般的に、水生生物の場合、大型の個体群の減耗率よりも小型の個体群の減耗率の方が高くなるので、成長が遅いホンダワラ類優占域での生残率の方がテングサ類優占域でのそれと比較して低くなるものと推察される。

また、新井崎漁港内では、稚貝を放流する時に、藻長50~150 mm程度のテングサ類の小群落に放流した。その結果、これら樹枝状に密生していたテングサ類が、カニ類やヒトデ類などの捕食生物から逃れるための隠れ場としての役目をして、ここでのサザエの生残率が94%と特に高い値になったものと考えられる。すなわち、海藻の種類による形態の違いも、小型サザエの生残に影響を及ぼしている可能性がある。

(c) 物理的環境条件と生残

Table 9の結果のうち、青島での生残率が12%と、他水域と比較すると低い値になっている。これは、青島の実験水域が、他の水域と比較して外海性が強く、波浪の影響を最も受けやすいことや、稚貝を放流した時期も5月上旬と波が比較的荒い時期であったことなどから、殻高10 mm以下の小型サザエは、放流初期の波浪によって深場へ流失し、そのため生残率が低くなったものと考えられる。

しかし、青島と同様に外海に面した黒地湾でも、時化

Table 10. Survival rates and growths of topshell released to different depth of water during experimental period (1984).

Depth of releasing (m)	0—0.5	0.5—1.5	1.5—2.3	2.3—4.0
Date of releasing	28 May	28 May	28 May	28 May
Mean shell height (mm)	20	20	20	20
No. of shells released	385	1169	770	676
Date of catch	11 Oct.	11 Oct.	11 Oct.	11 Oct.
Mean shell height (mm)	37	35	30	27
Rate of survival (%)	89	26	6	3

がほとんどない7月に放流した場合などは、波浪の影響がなく、漁港内に実験場がある他の水域とあまり変わらない生残率(61%)が得られている。

時化の際の激しい波浪によって小型貝が減耗する例として、Castenholz (1961) や Dethier (1981) が、潮間帯に生息するタマキビ類の密度が、秋～冬に発生する時化によって低下することを報告している。すなわち、タマキビ類にとって、秋～冬の時化が減耗要因の一つであると同様に、小型サザエにとっても、波浪が生残に及ぼす影響は大きいようである。

波浪のほかにサザエの生残に影響を及ぼす物理的要因として、分布水深があげられる(葭矢ら, 1986)。人工産の小型サザエ(殻高 20 mm)を水深別に放流した場合、その生残は、浅場ほど良好で、深場に放流したサザエの生残は悪くなる傾向が認められる(Table 10)。なお、どのような理由で深場における小型サザエの生き残りが悪くなるのかは明確ではないが、前述したように深場におけるサザエの成長は浅場より悪く(1-1, 2c)、この成長差が小型サザエの生き残りに影響を及ぼしている可能性は考えられる。

1-5. 移動・分散と環境収容力

磯根生物の移動・分散に関する研究は、カサガイの仲間を対象として過去に行われており、これらの生物には帰巢本能のあることが証明されている(大串, 1955)。このような生物の行動様式の解明は、生態学的な面からだけでなく、種苗放流を通して栽培漁業化が進みつつあるサザエなどの生物にとっては、放流した後にいかに効率よく漁獲に結びつけるかという漁業管理の面からも重要なことである。

ここでは、今まで知見の少なかったサザエの行動様式、特に天然海域における移動・分散について述べるとともに、それらの知見から天然海域のサザエに対する環

境収容力に関する一つの考え方についても検討する。

(1) 調査方法

(a) 活動時間と移動速度

天然海域においてサザエの活動時間帯を調べるため、青島地先で1985年7月8日から9日にかけて24時間連続追跡調査を行った。昼間に、調査対象とするサザエの殻に水中塗布が可能なペイント(スミカダイ、住友化学工業製)を使って水中で標識し、約2時間間隔で標識貝の移動を追跡した。

(b) 鉛直方向への移動・分散

1986年および1987年の6月と7月に久美浜町地先で行った水深別(10, 20, 30 m)刺網操業試験と水視漁業で水揚げされた漁獲物(総数1,818個体)の殻高組成を水深別に整理した。また、1985年と1986年の6月と7月に、舞鶴市成生および青島地先の浅場で潜水によってサザエ(総数275個体)を採集し、その殻高組成を水深別に整理して、サザエの成長とその移動・分散との関係について調査した。

(c) 水平方向への移動・分散

1984年5月に青島地先に平均殻高 20 mm の人工産サザエ(385個体)を放流し、同年10月までのサザエの水平方向への移動・分散について調査した。

また、1987年5月には伊根湾の舟屋に平均殻高 8.5 mm の人工産サザエ(2,000個体)を放流して、同年11月まで植生などの環境条件とサザエの成長や移動・分散について調査した。

(d) 環境収容力

放流場所での環境収容力を検討するため、1987年5月に実施した上記調査の対照域として、舟屋に隣接するコ

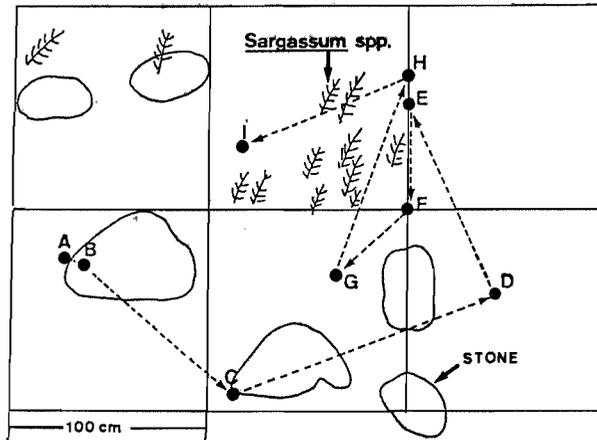


Fig. 15. Movement of topshell for twenty-four hours in the coastal area of Aoshima from July 8 to July 10, 1985. A shows the initial position of topshell at 16:00 and 18:20 in July 8. As time goes by, B-20:00, C-22:00 (July 8), E-2:00, F-5:00, 8:00, 14:00, 19:20, 21:10, G-23:15 (July 9), H-1:20, I-8:45 (July 10).

ンクリートブロック製の人工礁 (6.0 m × 3.0 m × 0.3 m) にも、同時に平均殻高 3.9 mm の人工産サザエ (5,000 個体) を放流し、その成長や礁上の海藻の生育状況などについて調査した。

なお、舟屋や人工礁の植生を把握するために、0.5 m × 0.5 m の方形枠を用いて海藻の被度もあわせて調査した。

(2) 結果

(a) 活動時間と移動速度

宇野 (1962) が行った水槽実験の結果によると、サザエは昼間にはほとんど行動しないが、日没直後から約 6 時間にかけて行動が活発化し、その後は再び不活発になる。1985年7月に、青島地先で行った天然サザエの昼夜間追跡調査においても、サザエは日没直後の20時頃から翌日2時頃までの約6時間活発に行動し、それ以外の時間帯にはほとんど行動しなかった (Fig. 15)。すなわち、サザエの活動時間帯は日没直後から約6時間であり、この時間帯は、前述したサザエの摂餌時間帯とほぼ一致している。

サザエの移動速度は、Fig. 15 で示したような標識をつけた個体を追跡したり、一地点に大量放流したサザエの分散状況を調べることによって知ることができる。上記の青島地先で行った天然サザエの昼夜間追跡調査では、約2時間間隔でサザエの移動距離を測定し、それから1

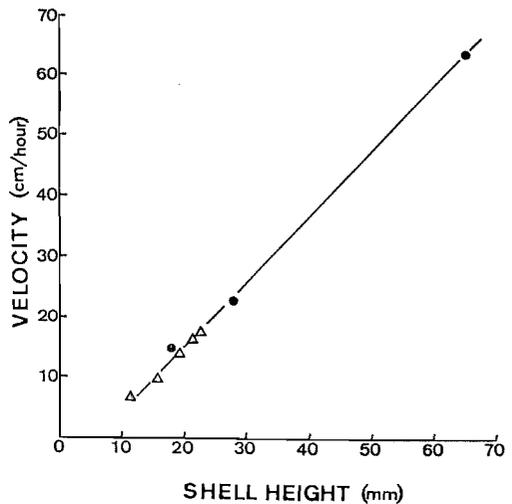


Fig. 16. Relationship between shell height and velocity of topshell movement. Solid circles represent the relationship between shell height and velocity of topshell investigated in the coastal area of Aoshima from July 8 to July 9, 1985. Open triangles represent the relationship between shell height and the estimated velocity from topshell's dispersion at Funaya from May to November, 1987.

時間当たりの移動速度を算出した。また、伊根湾の舟屋では、殻高 8.5 mm のサザエを一地点に 2,000 個体放流し、その分散状況 (1-5, 2c) からサザエの移動速度を算出した。以上のようにして算出したサザエの移動速度と殻高との関係は Fig. 16 のとおりである。サザエの移動速度は、殻高 10 mm で約 6 cm/時間、20 mm で約 15 cm/時間、60 mm で約 60 cm/時間となり、殻高 30~60 mm で資料不足はあるが、サザエの大きさとその移動速度との関係は、殻高 10 mm 以上においてはほぼ正比例の関係 ($y=1.07x-5.87$ $r=0.999$) にあると考えられる。ただし、サザエの移動速度は周辺の植生などによっても変化しているようだ (1-5, 2c)。

(b) 鉛直方向への移動・分散

サザエの成長にともなう鉛直方向への移動・分散をみるために、京都府沿岸域での潜水調査と刺網を用いた水深別の操業試験の結果 (Fig. 17) を示した。また Fig. 17 の結果を整理して各水深帯での殻高別サザエ個体数の相対頻度分布を求め、それをもとに描いた等頻度曲線を

Fig. 18 に示した。Fig. 17 と Fig. 18 からは、水深が深くなるにつれて出現するサザエの殻高が大きくなり、サザエは成長するに伴って深みへ移動している様子が伺われる。

Fig. 17 の水深別殻高頻度分布を詳細にみると、殻高 60 mm 以上の大型個体は、少数ではあるが水深 0~2 m の浅場にも出現している。一方、各水深での出現最小個体の大きさは、水深が深くなるほど大きくなっている。すなわち、水深 0~2 m 域では殻高 20 mm 以下の個体も出現しているが、水深 2~4 m 域では殻高 20 mm 以上の個体、水深 4~10 m 域では殻高 35 mm 以上の個体、水深 10 m 域では殻高 50 mm 以上の個体、水深 30 m 域では殻高 65 mm 以上の個体しか出現していない。この結果は、サザエには大きさによって分布限界水深があることを示唆している。上述のことは、1枚にまとめた Fig. 18 上によく示されている。Fig. 18 では、水深 10 m と水深 20 m とでは、殻高頻度分布のパターンにあまり大きな変化はないが、なぜこのようになったか、その原因はよくわからない。また、水深 4~10 m では、40~45 mm と 60~70 mm の 2カ所の殻高のところで、相

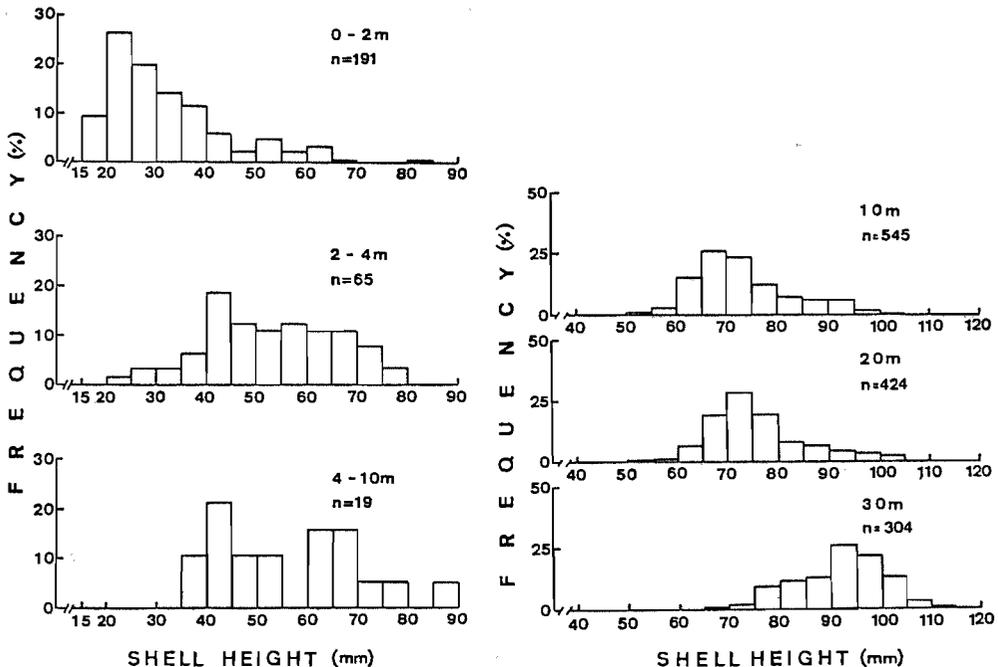


Fig. 17. Frequency distributions of shell height of topshell. Left is the frequency distributions of shell height of topshell collected by means of skin diving in shallower area than depth of 10 m of Naryu and Aoshima from June to July, 1985 and 1986. Right is that of topshell collected by means of gill net in deeper area than depth of 10 m of Kumihama from June to July, 1986 and 1987. n shows the number of topshell investigated.

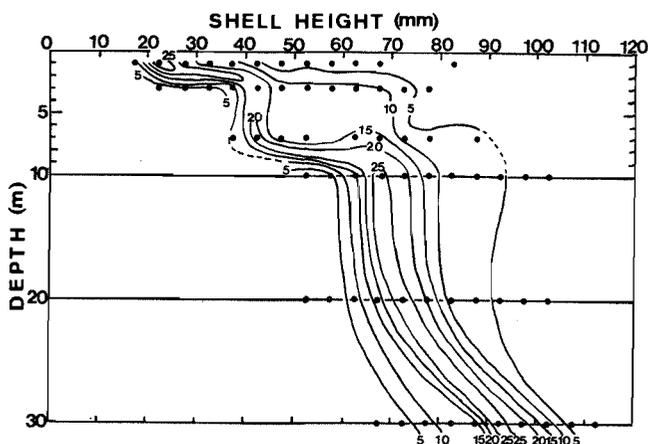


Fig. 18. Isoleth on relative frequency of the number of topshell by shell height (mm) to depth (m). Topshells studied are same as in Fig. 17. Number of the topshell studied are 191 individuals in the depth of 0—2 m, and so on 65, 19, 545, 424 and 304 in the depth of 2—4 m, 4—10 m, 10 m, 20 m and 30 m, respectively.

対頻度の極大値が現れており、それより浅い水深と深い水深での頻度分布とは滑らかにつながらない。これは、水深 4~10 m での採集個体数が 19 と、他の水深に比べて極端に少なく、誤差は大きくなったためと考えられる。したがって、水深 4~10 m 深での等頻度曲線の屈曲は、あまり意味がなく、それらを無視した大局的傾向だけを捉えればよい。

それでは次に、サザエがどのくらいの大きさになった時に、鉛直方向へどのくらい分布水深を拡げているのか、その傾向を整理して述べる。殻高 20 mm 以下のサザエの分布域は水深 2 m 以浅であり、20 mm 以上に成長すると鉛直方向へ分布域を拡げ始める。しかし、殻高 35 mm までは水深 4 m を超えて生息することはない。殻高 35 mm 以上になるとさらに分布域を拡げるが、60 mm までは主に水深 10 m 以浅に分布している。その後、成長に伴い分布水深を徐々に拡げて、殻高 75 mm 以上に成長すると水深 30 m 付近にも生息するようになっていた。

(c) 水平方向への移動・分散

カサガイの仲間には帰巢性が認められているが(大串, 1955), Fig. 15 のサザエの行動を追跡した結果をみるかぎりでは、サザエには帰巢性は認められず、むしろランダムな動きをしているようである。そこで、まず、サザエの行動がランダムであるのかどうかを検討する。Fig. 17 と Fig. 18 に示したサザエの水深別殻高頻度分

布の調査結果から、殻高 20 mm 以下の小型サザエの鉛へ直方向の移動・分散は小さいと考えられるので、人工

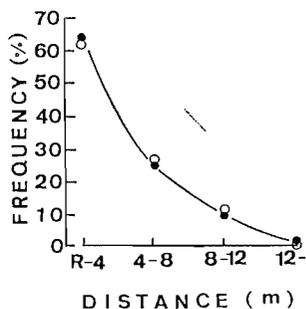


Fig. 19. Movement and dispersion of small topshell (about 20 mm in shell height) in course of 136 days after transplantation to the experimental site of Aoshima in October, 1984. R indicates releasing area. Solid circles show the frequency distribution of number of topshell calculated by the random walk model, which is expressed by a probability density function $[p(x,t) = 1/2(\pi Dt)^{1/2} \exp(-x^2/4Dt)$, D; coefficient of diffusion = $C^2\tau/2$, C; velocity of topshell = 0.23 m/hour, $\tau = 1$ hour, shell height of topshell = 27.6 mm. Open circles show the observed the number of topshell, which is a total of 709 individuals.

産の小型サザエを用いて、サザエの水平方向への移動・分散について調査した。

まず、青島地先で平均殻高 20 mm の人工産小型サザエを試験放流し、その後の水平 1 次元方向への移動・分散状況を調査した結果(葭矢ら, 1986)では、放流してから136日後では、放流域と放流域から等深線に沿った方向に 4 m 離れたところまでで、709個体の生残個体のうちの62.0%が分布していた。それより離れたところでの分布個体数の百分率は、4~8 m で 27.2%, 8~12 m で10.9%, 放流域から等深線に沿った方向に 12 m 以上離れたところでは 0%であった (Fig. 19 の白丸)。なお、この場合における放流場所の底質について簡単に述べておくと、波打ち際から水深 1.0~2.0 m までが岩盤帯になっており、水深 0.5 m 以浅に放流したサザエはこの岩盤帯の等深線に沿って水平 1 次元方向に移動した。

生物の分散状況を表す最も基本的なモデルは、1 次元のランダム歩行モデルである。もし、上記の小型サザエが帰巢本能や個体間の誘引・干渉がなく、水平 1 次元方向にランダム移動していると仮定すると、サザエ個体数の分布確率 P は次式で与えられる。

$$p(x, t) = \frac{1}{2(\pi Dt)^{1/2}} \exp(-x^2/4Dt) \dots\dots\dots(1)$$

ここに、 x と t は、それぞれ 1 次元の観測距離と観測時間を表す。

そこで、(1)式をつかって、上記の小型サザエの水平移動を検討してみる。Dは拡散係数で、 $D=C^2\tau/2$ (Cはサザエの移動速度、 τ は単位時間)として計算できる。ここで、前述した昼夜間におけるサザエの行動観察 (Fig. 15) とサザエの移動速度の実測結果 (Fig. 16) から、 $\tau=1$ 時間、 $C=0.23$ m/時間 (殻高 = 27.6 mm) を用いて、(1)式から求めた P の推定値は、放流域から 4 m 以内の水域で63.2%、4~8 m の水域で 25.0%、8~12 m の水域では 9.2% となって、実測値とはかなりよく一致している (Fig. 19)。

次に、平均殻高 8.5 mm で舟屋 (Fig. 2) に放流したサザエの分散状況 (葭矢ら, 1988) について検討する。放流域の水深は約 0.3 m で、面積は約 1.7 m² であり、放流域の両側は石積みの鉛直な護岸壁で、放流域の前面の水深は約 2 m であった。また、放流域および護岸壁上の植生は、海面から水深約 1 m まではマクサなどのテングサ類、アナアオサなどのアオサ類が繁茂していた。放流したサザエは、主に水深 1 m までの護岸壁上を水平方向に分散していて、その分散状況を Fig. 20 に示した。放流後 2 カ月経過した 7 月までのサザエの分散の

仕方は、 $\tau=1$ 時間、 $C=0.066$ m/時間 (殻高=10.9 mm) (Fig. 16) として、(1)式を用いて推定した値とよく一致している。つまり、放流域周辺の植生などの環境条件が比較的均質な場合には、小型サザエの移動・分散の仕方は、基本的には等深線に沿った水平方向への 1 次元のランダム分散であると考えられる。ただし、周辺の植生などの環境条件が不均一になると、移動・分散の仕方は変化する。

放流域周辺の植生は、7 月まではテングサ類やアオサ類が繁茂していたが、8 月以降になると、まず放流域から海藻が減少し始め、その後に海藻の減少域は拡がり、

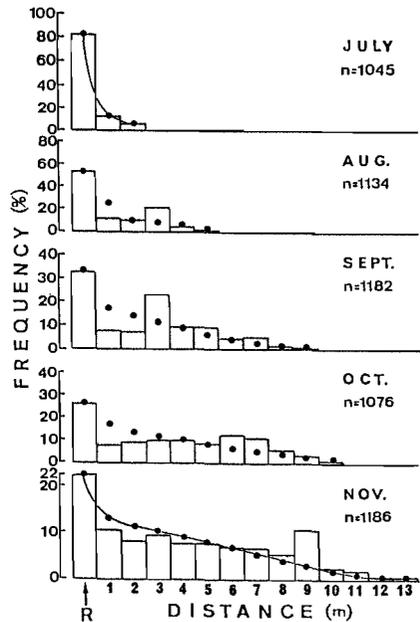


Fig. 20. Movement and dispersion of small topshell (8.5 mm in shell height) after transplantation to the experimental site of Funaya. R indicates the releasing area. Solid circles show the frequency distribution of number of topshell calculated by the random walk model ($C=0.006$ m/hour, shell height of topshell=10.9 mm in July, $C=0.093$ m/hour, shell height=15.7 mm in August, $C=0.142$ m/hour, shell height=19.1 mm in September, $C=0.163$ m/hour, shell height=20.9 mm in October, $C=0.175$ m/hour, shell height=22.5 mm in November). Histograms represent the observed numbers of topshells by distance from R.

10月には放流域から4m以内、11月には7m以内の水域の海藻が極端に減少していた (Fig. 21)。そして、8月以降には、放流サザエの出現率の水平分布に極大値が認められるようになり (Fig. 20), (1)式のモデルとは一致しなくなる。(1)式が成立するためには、サザエの移動速度が周辺の植生や海藻の現存量などによって影響をうけないことが条件となる。したがって、海藻の繁茂状況が違えば、サザエの移動速度が変化している可能性が高い。すなわち、Fig. 20 の11月における放流サザエの分散状況と(1)式から推定した値を比較することによって、海藻が残っていた6m以遠におけるサザエの移動速度は、海藻が早い時期に減少していた放流域から4m以内における移動速度と比較して、平均的に遅くなっていたことが推測される。なお、サザエの分散範囲については、Fig. 20の11月における実測値と $\tau=1$ 時間、 $C=0.175$ m/時間 (殻高=22.5 mm) (Fig. 16) として推定した値とがほぼ一致していることから、ランダム歩行モデルを用いることによって推定できるものと考えられる。

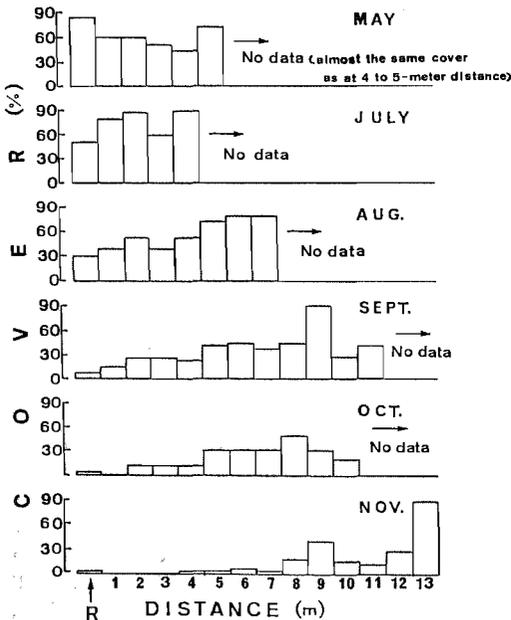


Fig. 21. Percentage cover with algae in the experimental site (same as in Fig. 20) from May to November, 1987. R shows the releasing area.

ら基本的にランダムな移動・分散を行い、その分布域を拡大していく。しかし、その分散範囲は、放流後6ヵ月を経過しても、たかだか13m程度と狭く (Fig. 20), 前述したように放流域付近の海藻の量は極端に減少し、サザエは餌料不足になっていたものと考えられる。このような状況のもとでは、海藻が減少していた放流域付近に残っていた個体と、海藻が豊富な場所へ分散した個体との間には、その成長に差が生じてくるであろう。

Fig. 22に、Fig. 20の11月における分散状況に対応させた放流域からの距離1mごとのサザエの平均殻高を示したが、実際、放流域と10m以遠の個体との間には6mm以上の成長差が生じていた。この結果は、放流域に残った個体の成長が、海藻の減少による餌料不足のために悪化したことを示している。

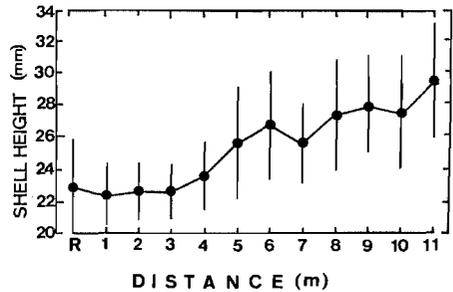


Fig. 22. Shell height of topshell in the experimental site (Funaya) in November, 1987 (six months after release). Vertical bars represent standard errors of the mean and R shows the releasing area.

天然海域でサザエが良好な成長を維持していくためには、海藻の量とサザエの大きさや生息密度との関係はどのようになっているのだろうか。Fig. 23に示した放流域における月ごとのサザエの平均殻高と、海藻の繁茂状況が放流域周辺と類似していた対照域へ放流した殻高4mmのサザエの平均殻高とを比較してみると、放流域の海藻が減少し始める8月以前では、ほぼ同程度の成長量であった。しかし、9月以降になると、放流域でのサザエの成長が悪くなり、11月には対照域でのサザエの方が放流域でのサザエより大きくなっていった。なお、対照域における海藻の生育状況は、調査開始時においては放流域と同様であったが、9月以降放流域の海藻が急減したのに対して、9月以降も顕著な海藻の現存量の減少は認められなかった。

(d) 環境収容力に関する一つの考え方

小型サザエを大量に放流した場合、サザエは放流域か

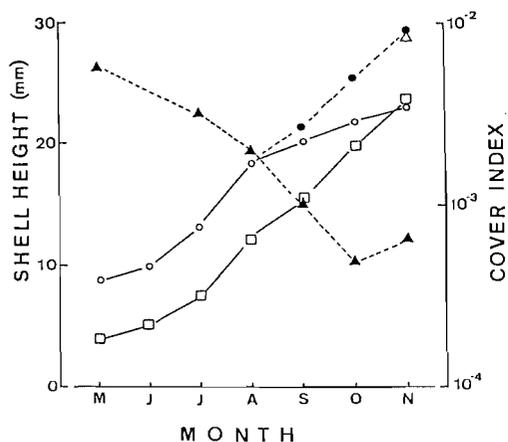


Fig. 23. Relationships between the growth of topshell and the cover of algae from May to November, 1987. Open circles and squares show the growth of the topshell in the releasing area and the control area (artificial reef; 6.0 m × 3.0 m × 0.3 m), respectively. Solid circles show the calculated shell height of topshell in the releasing area which has the same growth rate as the topshell in the control area from August to November, 1987. Solid triangles show the change of cover index (cover of algae (%) / density of topshell (No./m²) × shell height (mm)) in the releasing area. Open triangles show the shell height of the topshell which moved more than 10 m from the releasing area.

ここで、放流域でのサザエが、8月以降も対照域でのサザエと同程度の成長を維持したと仮定する。すなわち、放流域における8月のサザエの平均殻高に、対照域での8月以降の各月におけるサザエの平均殻高の伸び率を順次乗じて、9月から11月にかけての放流域におけるサザエの平均殻高を推定すると、11月には29.6 mmになっていたことになる (Fig. 23の右端の黒丸)。この値は、放流域から10 m以遠に分散していたサザエの平均殻高29.4 mm (Fig. 22の右端の値, Fig. 23の白三角) とほぼ一致しており、もし放流域の海藻が減少しなければ、8月以降も対照域でのサザエと同様の成長量であったことを示している。すなわち、海藻が減少することによって、9月には約1.2 mm、10月には約3.5 mm、11月には約6.5 mmも成長が悪くなっていたことになる (Fig. 23の黒丸と白丸の殻高の差)。

一定面積内に生息しているサザエの摂餌量は、個体の大きさとその生息密度に依存すると考えられる。そこで、サザエの餌料環境の状態を表す一つの指標として、被度割合 [被度 (%) / {サザエの生息密度 (個/m²) × 殻高 (mm)}] という量を導入してみると、Fig. 23から、被度割合が2 × 10⁻³程度以下になると、サザエの成長が悪くなると考えられる。

(3) 考察

潜水調査ならびに刺網による水深別操業試験の結果、浅場には主として小型サザエが分布し、大型サザエはより深場に分布するという一般的な分布様式が明らかになった。この分布様式から、サザエは成長に伴って浅場から深場へと方向性を持って移動しているという推論も成り立つわけであるが、井上ら (1972) は「アワビのすみ場と水深」の中で報告しているようにヤサザエやアワビに対する漁獲努力量は、一般に浅場の漁場の方で高くなる。さらに、結果で述べたように、小型サザエが浅場にしか分布できない、すなわち小型貝には「分布限界水深」があることを考えあわせると、上述のサザエの分布様式は、大部分のサザエが成長に伴って深場へ移動したのではなく、サザエが時間の経過や成長に伴って、深場の方へも分布域を拡大していった結果であると考えの方が妥当であろう。

天然海域でサザエの大量発生が起こった場合や、人工産サザエを大量に放流する場合には、餌料海藻の不足のためにサザエの成長が低下したり、死亡したりしないような漁場管理が必要になってくると考えられる。このような漁場管理を行っていくための環境収容力を判定する指標として、前述の被度割合が役に立つ可能性がある。また、殻高30 mmまでの小型サザエに限れば、その分散の仕方や環境収容力など、今回の調査で得られた知見と、殻高10 mm以下のサザエを放流した場合の生残率に関する知見とから、適正放流数を割り出すことも可能であろう。

最後に、サザエが成長に伴って、特に鉛直方向への分布域を拡大していくことは明らかなので、この結果をサザエの放流事業との関係から検討してみる。京都府沿岸域で行われるサザエ漁業は、舞鶴、久美浜地区の一部を除いて、大半が水視漁法で操業されている。水視の操作水深は、漁業者への聞き取り結果から、7 m以浅の浅海域であると考えられる。一方、サザエは殻高60 mm以上に成長するところには、10 m以深にまで分散していく (1-5, 2b)。これらのことから、現在のような漁業形

態の中では、種苗放流したサザエを殻高 60 mm 位に成長するまでに漁獲することが、最も効率的に放流貝を利用する方法である。また、漁業調整上の問題が整理されれば、比較的浅場に生息する放流貝は水視または潜水漁法で、そして 10 m 以深の深場の放流貝は刺網漁法で漁獲すれば、より一層効率的にサザエを利用できるものと考えられる。

第 2 章 サザエの種苗放流技術および資源・漁場管理についての考察

サザエを増殖し、資源培養を図る方法には、大量の人工種苗を生産し、これを放流する方法と、自然環境を改善してサザエの主要な減耗要因を取り除く方法とがある。種苗放流によってサザエの増殖を行うためには、種苗生産技術の開発が一つの要点になる。これに関しては、従来から研究が進められており（翠川, 1982, 1983; 大川・川村, 1983; 大川ら, 1984; 岡部・藤田, 1985; 角田ら, 1986）、特に岡部・藤田の方法によって、数十万個単位の種苗が安定して生産されるようになってきた。

一方、これら大量生産された人工種苗を、効果的に資源増産につなげるための放流技術や放流された種苗の管理技術についてはこれまで未開発であった。そこで、第 2 章では第 1 章で明らかになったサザエの生態特性および人工種苗大量放流実験の結果をもとに、効果的な種苗放流の仕方や資源・漁場管理の方法について考察する。

2-1. 放流方法

サザエの生態特性や人工種苗放流実験の結果から、サザエの成長や生残に影響を及ぼす外部環境要因にはどのようなものがあるかについて明らかになった。そこで、それらの結果をふまえて、放流した種苗を効率よく漁獲サイズまでに成長させ、また生き残らせるためには、具体的にはどのような放流の仕方をしなければならないのかについて検討する。

(1) 放流場所

放流場所の選定は、サザエの放流事業を成功させるうえでの一つの要点となる。まずサザエの成長からみて、好適放流場所とはどういうところであるのかについて検討してみる。第 1 章で述べたようにヤサザエの成長は、餌料海藻や水温などの生物・物理的環境によって左右される。小型サザエの成長にとって好適な餌料海藻は、マ

クサやオバクサなどのテングサ類、ムカデノリ *Gelidium filicina* やツノマタ *Chondrus ocellatus* などのカクレイト類やスギノリ類等の紅藻類、アオサ類やミルなどの緑藻類である（葎矢ら, 1988b）。したがって、これらの海藻が繁茂している水域は好適な放流場所であると考えられる。

サザエの食性調査の結果（葎矢ら, 1987）では、殻高 20 mm 以上のサザエは、テングサ類のほかにホンダワラ類も主な餌料としている。つまり、餌料環境からみた理想的な放流場所とは、小型サザエの好適餌料であるテングサ類、アオサ類、ミルなどが繁茂するとともに、ある程度成長したサザエが主な餌料にしているホンダワラ類も繁茂している場所であると考えられる。

また、サザエの成長は、分布水深によっても差がみられ（葎矢, 1986）、深場よりも浅場の方が良い。これは、サザエの成長が比較的高水温下で促進されることとも関係しているためと考えられる。つまり、春から夏にかけての水温上昇期には、特に深場よりも浅場の方が水温が高くなり、同一水域に小型貝を放流する場合でも、深場よりも浅場へ放流する方が、サザエの成長にとってはより有利になると推察される。また、浅場には小型貝の餌料となる微小藻類の生産性が高い（四井ら, 1984）ことから、浅場に放流する方が有利であろう。

次に、サザエの生残の面からみた好適放流場所について検討する。放流貝の場合、放流初期に生じる減耗が最も大きいと考えられる。例えば、殻高 10 mm 未満の小型サザエの場合は、放流初期に激しい波浪にみまわれることによっても減耗する（葎矢ら, 1987; 桑原ら, 1987）。捕食生物などによる減耗も、観察結果から放流初期に多いようだ。したがって、放流時のサイズが小さ



Fig. 24. Photograph of the nursery area of released topshell, Port Asahi in July, 1985.

い貝ほど付着力が弱いので、より波浪の影響の少ない場所に放流する必要がある。また、放流水域にヒトデ類、カニ類、アクキガイ類などの、サザエを捕食する生物が少ないことも必要条件となる。さらに、後述するように漁場管理の面からいえば、大小の転石が複雑に重なり合うような場所は、捕食生物の取り除きが困難なため、放流場所としてはあまり適していないと考えられる。

なお、放流サザエが密漁や磯遊びによってとられないように監視できる場所を選ぶことも大切であろう (Fig. 24)。

(2) 放流時期

放流場所とともに、放流時期によってもサザエの成長や生残は左右される。特に日本海側では、夏と冬の海況は非常に異なっている。例えば、京都府のごく沿岸域では、夏の表層水温は 30°C 近くにまで上昇するが、冬～初春には 10°C を割ることもある。また、夏の海は穏やかであるが、冬には北西の季節風に伴う激浪が押し寄せる。一方、サザエの成長は高水温期に促進され、水温 12°C 以下になる冬には成長が停止してしまう (桑原ら, 1987)。

以上のことから、水温が上昇して高水温期となり、しかも波浪が比較的穏やかな春～夏に放流する方が、サザエの成長と生残の面からみて有利であろう。特に、Table 9 の 5 月 8 日放流群の生残率が 12% であることから、日本海側の外海域へ殻高 10 mm 前後でサザエを放流する場合には、波が穏やかな夏に放流しないと生残率は低くなる。

(3) 放流サイズ

サザエの種苗放流事業を成功させるためには、種苗生産コストの低減は重要な課題である。その一つの手段として、陸上施設での人為管理の期間をできるだけ短縮することがあげられる。サザエの場合には、前述の成長、生残調査の結果から、採苗後 1 年目の殻高 10 mm 未満のサイズで天然海域へ放流できることがわかった。さらに、波が静かで、テングサ類が繁茂する水域では、殻高 3～4 mm サイズでサザエを放流しても、約半年後には殻高 15～20 mm にまで成長し、その間の生残率も 30～75% 程度ある (Table 7) が、この間に 70% 以上の生残率を期待するのであれば、殻高 4.4 mm 以上に成長させて放流してやる必要がある。以上は、殻高 10 mm 未満のサザエを、漁港内などの比較的波浪の影響の受け

にくい水域へ放流した場合に得られた結論である。

次に、波浪の影響の強いところでの放流サイズを検討する必要がある。Table 11 は、波浪の影響の強い外海域における平均殻高 8 mm サイズと 20 mm サイズ種苗の放流試験結果である。この結果から、外海域に放流する場合、10 mm 未満のサザエでは、その生残率は極端に低い、20 mm サイズの種苗を浅場に放流すれば、約半年後で 90% 近い生残率が得られることがわかった。また、これらの殻高 20 mm サイズ種苗が、殻高 50 mm 以上の漁獲サイズにまで成長する間の生残率が約 95% (殻高 8～50 mm の間で約 85%) と高い値であった (桑原ら, 1986)。すなわち、サザエは殻高 20 mm サイズになると、波浪の影響の強い外海域へ放流しても高い生残率を期待することができる。

Table 11. Comparisons of survival rates and growths of released topshell less than 10 mm and more than 20 mm in shell height in the area exposed to the wave action.

Mean shell height (mm)	8.1	20.0
Date of releasing	8 May 1985	28 May 1984
Date of catch	1 Oct. 1985	11 Oct. 1984
Mean shell height (mm)	21.5	37.0
Rate of survival (%)	12	89

サザエの場合には、条件さえそろえば、殻高 3～4 mm サイズから天然海域へ放流することができる。また、波浪の強弱など各放流場所での環境条件にあわせて放流サイズを検討すれば、内湾域であろうと、外海域であろうと、サザエの放流効果をあげることができるものと考えられる。

(4) 放流方法

サザエを放流する時に留意する点は、放流直後の減耗、特に捕食生物による食害を極力少なくすることである。捕食生物の取り除きにはおのずと限界があるので、放流方法を工夫することによって、取り除きの困難な、もしくは、取り残した捕食生物による食害を防止しなければならない。

例えば、船上から直接海へサザエを放流すると、サザエは殻の頂部を下にして、すなわち蓋を上にして海底に落下する。この場合、サザエが起き上がろうとして筋肉部を露出させた時に、ベラ類などの魚類に攻撃されて傷つけられて弱ったり、死亡したりするし、また弱ったサ

ザエはヒトデ類やカニ類などに捕食されやすいものと考えられる。したがって、小型サザエを放流する場合には、魚類などの攻撃を受けにくい水深 0.5 m 以下の浅場や潮間時の潮だまりなどに、潜水によって丁寧に放流する必要がある (Fig. 25)。また、潜水で放流できない場合には、コンテナ等にサザエを入れて、サザエがそれに付着したのみはからってコンテナ等ごと浅場に設置してやる (Fig. 26)。この方法であれば、サザエは自然にそこから這い出し分散していくので、上記のような減耗がある程度は防止できる。

なお、小型サザエをテングサ類の小群落の中に放流し

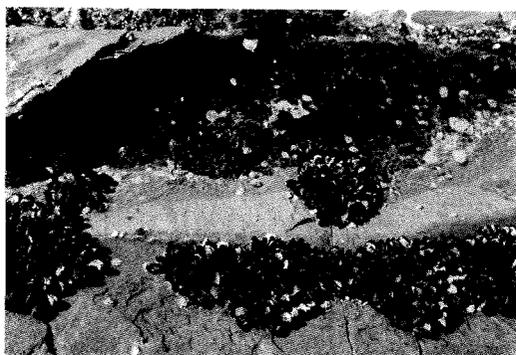


Fig. 25. Photograph of topshells released to a tide pool in the shore of Aoshima in April, 1985.



Fig. 26. Photograph of releasing cage in the shore of Naryu in October, 1986.

た場合には、魚類はそこにはほとんど近づかず、魚類からの攻撃を避けることができるし、また、波浪によってサザエが付着基質から深場へ転落してしまうこともある程度は防止できることが潜水観察結果から推察できる。

2-2. 漁場管理

ここまでは、サザエの生態特性からみた効果的な種苗放流方法について論じてきた。次に、放流後のサザエを効率良く漁獲サイズにまで成長させて、サザエ資源を増加させるために必要な漁場管理について検討する。漁場管理には、サザエの不法採捕を防止するための漁場監視や、害敵生物 (捕食生物) などの減耗要因の取り除き、サザエの成長を支えるための餌料環境の改善や管理などがある。本節では、その具体的な作業内容について述べる。

(1) 漁場監視

近年、海水浴や磯釣りなどの海浜レジャーが盛んになるにつれて、夏を中心に遊漁者などによる磯根生物の不法採捕が増加してきている。この不法採捕を防止しようとすれば、徹底した漁場監視が必要となる。

ここで、放流漁場における漁場監視について検討してみる。まず、放流漁場に監視のしやすい場所を選定することが重要である。このような場所に殻高 10 mm 以下のサザエを 7 月頃までに放流すると、10~11 月には殻高 20~30 mm にまで成長する。これまでの経験では、サザエは殻高 20~30 mm になると磯遊びなどで採捕されるようになる。したがって、放流した年の夏にはまだサザエは小さいので監視はあまり必要としない。また、10 月以降には遊漁者などの数も夏と比較して減少するので不法採捕も少なくなる。しかし、翌年の 4 月以降になると、サザエは殻高 30~40 mm に成長し、しかも水深 0.5 m 以下の浅場にも多量に分布しているため、不法採捕にあいやすくなる。つまり、放流した翌春から漁場監視を徹底する必要がある。また、監視を徹底するためには、サザエは放流場所からそれほど大きな分散はしないので、放流場所周辺の磯場を、地区の申し合わせて、「立入禁止」にするのも一つの有効な方法であろう (Fig. 24)。

(2) 害敵駆除

放流事業を成功させるためには、できるだけ多くの放流種苗を漁獲サイズにまで生き残らせる必要がある。そのためには、サザエを捕食する生物、すなわち、害敵生

物を放流場所から取り除く必要がある。サザエの害敵生物としては、前述したように、イトマキヒトデやヤツデヒトデなどのヒトデ類、イシガニやフタバベニツケガニなどのカニ類、レイシガイやイボニシなどのアキガイ類などが主なものであるが、各放流場所でその種類や量は異なっている。

潜水観察の結果では、これらの害敵生物がサザエを捕食するのは、特に放流初期に多いようである。そのため、害敵駆除は、サザエの放流直前と直後に集中して行う必要がある。また、大小の転石が複雑に重なり合った海底においては、これらの陰にヒトデ類やカニ類などが潜んでいるので、繰り返し取り除きを行わないと取り残しが多くなり、駆除効果があまりあがらない場合があるのである。

駆除の方法としては、ヒトデ類やカニ類などはかご漁具を使って繰り返し行えば効果がある。しかし、害敵生物を最も確実に駆除できるのは、潜水による方法であろう。特に、アキガイ類は波打ち際を中心に浅場に生息しているので、潜水による磯掘りに陸上から取り除きを行う方法が簡単で確実である。

なお、バフウニも、サザエを捕食することはないが、その管足に小型サザエを付着させて死亡させるので、放流前に取り除いておく必要がある。

(3) 餌料環境の改善と管理

餌料環境は、サザエの成長や生残を左右する重要な要因である。天然海域では、海藻を餌にしている動物はサザエだけでなく、ウニ類やアワビ類などをはじめとして、非常に多くの藻食性動物が生息しており、サザエはこれらと餌をめぐって競合状態にあると考えられる。そして、サザエを含めた藻食性動物の摂餌量はその水域における海藻の生産力を超えるようになると、海藻が貧相になって、いわゆる磯焼け状態になる。特に、ウニ類が高密度に生息していると、その生息水域では磯焼け状態を起すことはよく知られている (Mann, 1977; Chapman, 1981)。このような磯焼け状態になると、サザエの成長や生残に悪い影響がでるので、餌料環境の改善が必要となる。

餌料環境を改善する方法には、まず、藻食性動物の現存量を調整することが考えられる。磯焼け状態にある水域から、ウニ類やアワビ類などの藻食性動物を取り除くことによって、海藻を増やすことに成功したとの報告がある (菊池, 1978)。また、京都府青島で行った簡単な実験でも、当初、海藻が貧相であったサザエの放流水域

から、ムラサキウニやキタムラサキウニなどのウニ類、オオコシダカガンガラ *Omphalis pferifferi carpenteri*、クボガイ *Chlorostoma argyrostoma lischkeri* などの競合生物を取り除くことによって、減少したテングサ類などの海藻の現存量を回復させることができた。また、「環境収容力に関する一つの考え方 (1-5, 2d) のところでも述べたように、一定面積の区画内に高密度にサザエを放流した場合、放流場所周辺海藻は、サザエの摂餌によって完全になくなる。しかし、実験終了時にサザエを全数取り上げると、翌年にはまたテングサ類やアオサ類が繁茂して、前年の実験開始時とほぼ同様の植生に回復する現象を観察している。

以上のように、餌料環境の改善には、サザエの放流水域から、競合生物を取り除いたり、サザエの生息密度を調整する方法が有効であると考えられる。特に、高密度にサザエを放流しようとする場合には、放流前後に競合生物を取り除いておく必要があるし、サザエの成長にあわせて、前述の被度割合 [被度 (%) / {サザエの生息密度 (個/m²) × 殻高 (mm)}] が 2×10^{-3} より低くならないように、サザエを間引いてその生息密度を調節するなどの漁場管理が必要である。

2-3. 放流貝の成長と生残

ここでは、京都府沿岸域で繰り返し行ってきたサザエの大量種苗放流実験の結果を整理して、放流サザエの成長過程と生残状況について述べるとともに、それらに関して天然サザエとの相違点などについて論じる。

(1) 成長

放流サザエの成長の仕方は放流水域の植生によって違ってくるが、テングサ類が繁茂する水域に放流した場合の平均的な成長を Fig. 27 に示した。これは1985年5月に殻高5~10 mmの人工種苗を放流し、その後の成長を追跡したものである。サザエは9~10月には殻高20~30 mmにまで成長し、テングサ類の根元に高密度に網集するようになる (Fig. 28)。翌年の4月には殻高30~40 mmになり、7月には一部の放流サザエが、また、11月頃には大半の個体が、京都府漁業調整規則上の規制サイズである「ヘタ径が20 mm」すなわち殻高約50 mmを超え、漁獲可能な大きさとなる。つまり、人工種苗を殻高5~10 mmで天然海域、特にテングサ類の優占水域へ放流してやると、放流後約1.5年、採卵からでは2~2.5年後には漁獲サイズになる。

上記の放流貝の漁獲サイズまでの成長の仕方は、前述

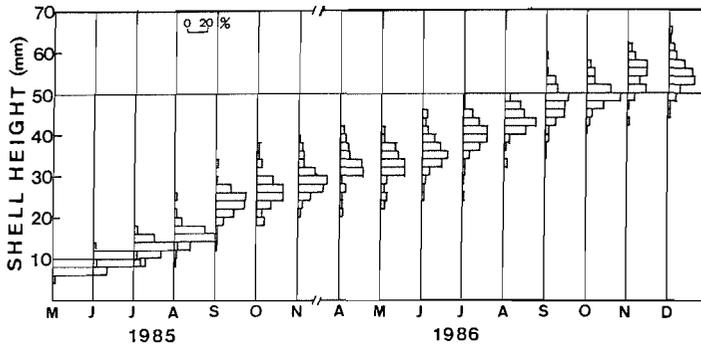


Fig. 27. Monthly growth of topshell released to the nursery ground in the coastal area of Aoshima.



Fig. 28. Photograph of released topshell gathering under Gelidiaceae (Port Niizaki in October, 1985).

の京都府沿岸域における天然貝の成長と比較して、半年ほど早くなっている。この理由として、放流時における放流貝の大きさが同時期の天然貝と比較して殻高で2~3 mm 程度大きいこと、また、テングサ類の優占域におけるサザエの成長の方が、天然貝の主分布域であるホンダワラ類優占域における成長より良好であることなどが考えられる。

ここで、放流サザエが漁獲可能サイズになるまでに要する年数を、他県の場合についても検討する。サザエを取りまく生息環境は日本海側と太平洋側とは違いがあり、また、漁業調整規則上の規制サイズも各府県で異なっていることから (Table 12)、京都府の事例を直接各県にあてはめることはできないが、同じ日本海側で、距離的にも近接して京都府沿岸域と比較的に生息環境が似ていると考えられる、兵庫、鳥取、島根の各県の場合について検討してみる。鳥取県では規制サイズが京都府と同じであるので、放流サザエが漁獲サイズにまで成

Table 12. Legal catchable size of topshell in each prefecture of Japan.

Prefecture	Diameter of operculum (mm)	Shell height (mm)
Nagasaki	25	—
Fukuoka	25	—
Yamaguchi	25	—
Shimane	25	—
Tottori	—	50
Kyoto	20	—
Fukui	25	—
Chiba	—	70
Kanagawa	30	—
Shizuoka	30	—
Hyogo	25	—
Ehime	25	—
Ooita	—	60
Miyazaki	—	50

長するのに要する年数は京都府とほぼ同様であると考えられる。一方、福井、兵庫、島根の各県の規制サイズはへタ径で 25 mm となっていることから、これらの県ではサザエが漁獲サイズになるには、京都府の場合よりもさらに半年から1年を要すると考えられる。

(2) 生残

サザエの生残率は、放流場所の植生、分布水深、捕食生物の種類や量、波浪の強弱によって異なる。したがって、サザエの放流事業を進めていくうえで、各放流漁場における放流技術や漁場管理の仕方の程度を判断する基準、すなわち、どのくらいの大ききでサザエを放流すれば、どれくらいの生残率が見込めるのかという目標値を

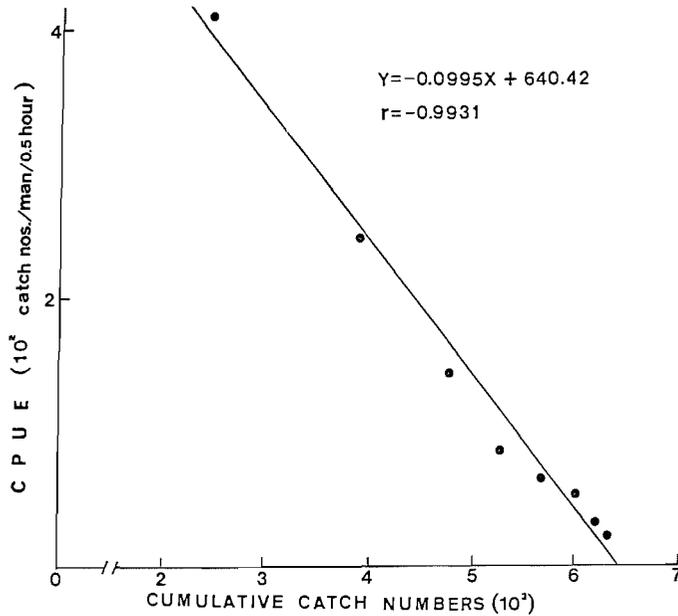


Fig. 29. Relationship between cumulative catch numbers of topshell and CPUE in Port Naryu in November, 1985. CPUE; catch number/person/0.5 hour.

設定しておく必要がある。

ここでは、これまで繰り返し行ってきた放流実験のうち、サザエの生残率が最も高くなると考えられる波浪のほとんどない内湾域の水深 0.5 m 以浅の浅場で、しかもテングサ類の優占している水域へ、害敵生物を潜水によって徹底的に取り除いた後にサザエを放流した場合の生残率を殻高別に求め (Table 7), 適切な放流サイズの目安を得るための一応の基準とした。

種々の大きさに放流したサザエの殻高 20 mm 前後までの生残率は、放流時の殻高が大きいほど高くなっている。すなわち、殻高 2.9 mm では約 13% と低い値になっているが、殻高 4 mm 前後で放流すれば 60% 前後の生残率が期待できるし、殻高 7 mm 以上で放流すれば 80% 前後の生残率を見込むことができる。

殻高 20 mm 前後から漁獲サイズまでの生残率は 85% 程度見込めるので [2-1, (3)], 殻高 7 mm 以上で放流した場合には、漁獲サイズまで $88\% \times 85\% = 68\%$ 前後のサザエが生き残るものと推定される。なお、上記の放流貝の生存率は、放流漁場からすべてのサザエを昼夜間にわたって潜水で取り上げた結果であり (Fig. 29), 実際の生残率と大差ないものと考えられるが、短期間内の昼間だけの取り上げでは、転石の下などにいるサザエの取

り残しが多いために、生残率が過小評価されるので注意を要する。また、生残調査の取り上げに際しては、放流貝と天然貝とを区別しなければならないが、アワビ用の配合餌料で飼育されたサザエの餌は白色を呈しており、この色が放流後も残っているので、殻の頂部の色から両者の区別は容易である (Fig. 30)。

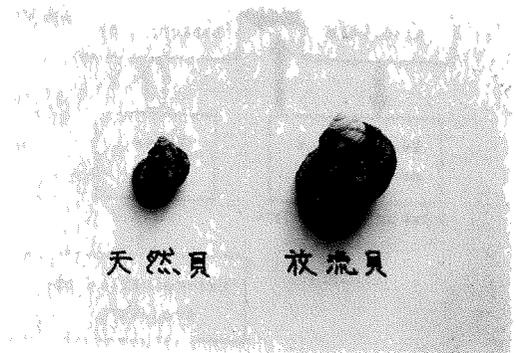


Fig. 30. Photograph of artificial reared (right) and wild (left) topshell. Artificial reared and wild topshell collected at Funaya in October, 1985 and in the shore of Aoshima in June, 1985, respectively.

(3) 標識方法

サザエを放流してから1年以上を経過すると、無節サンゴモ類やフジツボ類など、さまざまな付着物がサザエの殻の表面を被うようになるため、頂部の色から放流貝と天然貝とを区別するのは困難になってくる。したがって、放流後1年以上にわたって生残率を推定しようとするればサザエに標識を付ける必要が生じてくる。そこで、以下にこれまでのサザエの放流実験で用いた標識方法について簡単に述べておく。

従来のサザエの標識方法には、殻に穴をあけてステンレス製の針金を通す方法や、セメントや水中ボンドで、ビーズ玉を固着させて標識にしていた。しかし、これらの方法では、サザエ自体に悪影響を与えたり、標識作業に手間がかかって、現場で大量のサザエに標識することが困難であるという短所がある。その他の方法としては、瞬間接着剤のアロンアルファー（東亜合成化学製）とフレークライン（日本高分子化学製）という塗料を用いる標識方法がある。前者は硬化補助剤と併用すれば、素早く大量のサザエに標識することが可能であるが、現在のところ2種類（紺と赤）の色しかなく、色調もやや明瞭さにかけるため、水中では目立ちにくい欠点がある。

一方、フレークラインは色の種類も豊富で、明るい色のものを用いれば水中でもよく目立つが、アロンアルファーと比較すると塗布して乾燥するまでの時間が天候に左右されやすいのが難点である。以上のように、いずれの標識方法にも一長一短があり、放流時の天候や放流場所の諸条件を考慮にいれながら、調査目的にあった標識方法を採用すれば、より効果的に調査を行うことができるものと考えられる。

終章 資源・漁場管理の方法

これまでに行われてきたサザエ資源に関する研究は、サザエの生態的な側面を個別に扱っていたに過ぎなかった。そこで終章では、第1章で述べたサザエの成長、成熟、食性、生残、移動・分散などの諸生態に関する知見や、第2章で述べてきたサザエの効果的な人工種苗放流の手法についての検討結果をもとに、本研究の最終的な目的であり、また、従来においては行われたことなかったサザエの増殖、さらにはサザエの栽培漁業化に必要な資源・漁場管理の仕方について総合的に考察する。

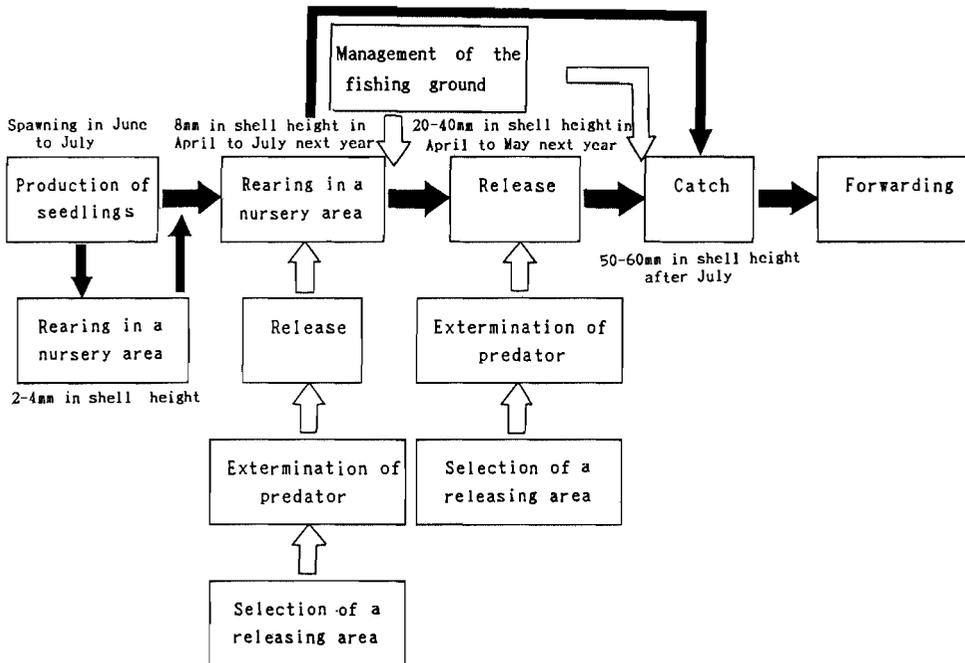


Fig. 31. Florechart for the marine ranching of topshell.

(1) サザエの栽培漁業化の可能性

これまでに述べてきたサザエの生態特性に関する知見や、サザエの種苗生産技術、種苗放流技術の現状などから、サザエの栽培漁業化の可能性について検討する。

サザエの種苗生産から放流を経て、漁獲、出荷に至る過程、すなわち栽培漁業化への流れをフローチャートで示すと Fig. 31 のとおりとなる。サザエの種苗生産では、特に冬に水温低下の著しい地域においては早期採卵が技術上の一つの要点となり、京都府の事例でも6~7月に採卵を行って大量生産に成功している。そして、翌年4~7月にサザエが殻高8mm前後に成長した時点で天然海域へ放流する。ただし、この時に放流水域が、第2章で述べたような好適放流場所であるのかどうかを事前調査したり、ヒトデ類やカニ類などの害敵生物を取り除いたりする作業を行う必要がある。なお、殻高2~4mmサイズのサザエでも、波が静かで、テングサ類が繁茂する水域であれば、天然域での放流、育成は可能である。このことは、将来、サザエの種苗生産量の増加や、生産コストの低減につながるものと考えられる。

殻高8mmサイズで放流したサザエは、その翌年の4~5月には20~40mmサイズに成長している。このサイズになると、人工産サザエでも外海域を含めて適応水域の範囲も広まって、この時点で一部または全部を取り上げて、地先のサザエ漁場へ移殖放流することができる。また、餌料海藻の現存量に余裕があれば、そのまま移殖せずに漁獲サイズにまで育成する場合もある。そして、その年の7月以降、つまり種苗生産されてから満2年以上を経過する頃から、一部のサザエが殻高50~60mmサイズにまで成長し、京都府漁業調整規則上の規制サイズである殻高50mmを超えるようになるので、漁獲および出荷できるようになる。ただし、同じ日本海側の県でも、前述したようにサザエの漁獲規制サイズが京都府の場合よりも大きめに定められている福井、兵庫、島根県の場合では、さらに半年から1年を経過した時点で漁獲および出荷できるようになると考えられる。

なお、移殖放流水域についても、餌料環境の状態や漁場監視が可能かどうかなどについて検討し、害敵駆除を行ったうえでサザエを移殖する必要がある。すなわち、害敵駆除、漁場監視、餌料環境の改善などの漁場管理については、サザエを天然域に放流した時点から漁獲するまで継続して行う必要がある。

ここまで述べてきたことを整理してまとめると、サザエは栽培漁業を目指すうえで次のような有利な点があると考えられる。(a)殻高10mm未満という小型サイズか

ら天然育成ができる。(b)漁獲サイズになるまでの成長が速い。(c)漁獲までの生残率が高い。(d)放流サザエの移動・分散は、殻高50~60mmサイズまでであれば、放流場所から水平距離で50m程度と小さく、漁獲しやすい。(e)放流場所で過密になった場合や出荷調整として、1~2カ月くらいの蓄養殖は比較的容易である。(f)殻高20mmサイズになると、海藻の下などに蛸集する傾向があり、移殖する場合の取り上げ作業が比較的容易である。以上の点から、サザエの栽培漁業化の可能性は高いと考えられる。

上述したように、試験段階においては、サザエは栽培漁業化が可能であることがわかったが、その実現にむけては、まだ残された課題がいくつかある。例えば、(a)栽培漁業の主体となる漁業者に対して、種苗放流技術をどのように習得させていくのか。(b)放流したサザエを効率よく漁獲に結びつけるための害敵駆除、密漁監視、競合生物の間引きなどの漁場管理が徹底できるか。(c)種苗生産されたサザエのうち、殻高5mm未満の特に小型の種苗を、外海域を含めた一般の漁場へ放流できる殻高20mmサイズにまで育成させる、いわゆる中間育成の事業化ができるか。(d)漁業協同組合を中心とした栽培漁業を推進させるための組織の強化、またその中で実際に栽培漁業に取り組む実務者に対する放流・漁場管理技術の普及体制の整備ができるか。

以上のほかにも、放流効果の把握の仕方や販売・流通体制の改善といった問題も解決されなければならない。そして、このような課題を解決してサザエの栽培漁業化が可能となるためには、試験研究機関だけでなく、栽培漁業の主体である漁業協同組合をはじめとして、漁業協同組合連合会および行政機関が一体となって、栽培漁業の推進に取り組んでいく必要がある。

(2) 資源・漁場管理と漁獲

前節では、主として人工種苗放流による栽培漁業化の可能性について検討した。この中で、放流した種苗を効率よく漁獲サイズにまで成長させるためには、害敵生物などの減耗要因を取り除くことが漁場管理上必要であることを述べた。一方、害敵生物の駆除を行うことによって放流種苗の生残率を向上させるだけでなく、天然資源に対してもその効果の波及が期待される。すなわち、第2章でも述べたように、天然岩礁域でサザエの害敵生物を継続して取り除いた実験域と、取り除かなかった対照域での天然サザエの生息密度を比較すると、実験開始から529日後の時点では、対照域では実験開始当初とほと

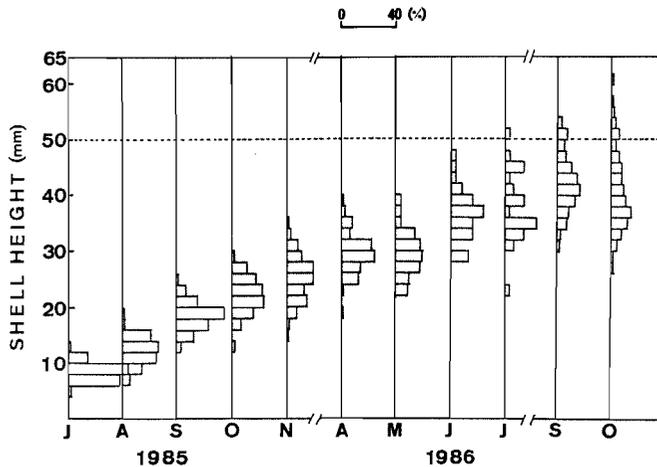


Fig. 32. Growth of the released topshell in the nursery area being in the case of a poor food algae (Port Niizaki).

んど変化していないのに対して、実験域では当初の5倍にも増加していたという結果が出ている。このことから、害敵生物を継続的に駆除するという漁場管理を行うことは、放流サザエだけでなく天然サザエ資源を培養するうえでも重要なことであることがわかる。

漁場管理として重要な作業には、そのほかにもサザエの成長や生残を支える餌料環境の管理・改善がある。サザエ種苗を放流する場合に、放流水域に天然サザエがほとんど生息していないような水域では、放流サザエだけを対象に資源管理を行えばよいが、一般的には従来からサザエ漁場になっている水域へも資源添加を期待して種苗を放流する場合が多い。この場合に、放流水域における餌料環境の管理・改善を行うためには、天然サザエの生息密度なども考慮に入れる必要がある。

特にサザエの場合には、害敵駆除や密漁監視を確実に行えば、生残率がかなり高くなるので、種苗放流をしたためにサザエが過密状態になり、その結果、餌料環境の悪化を引き起こしてサザエの成長が低下する場合がある。Fig. 32は1985年の7月に漁港内へ放流したサザエの成長について示したものである。同漁港内におけるサザエの成長は、放流してから1年後の夏～秋にかけて低下している。この原因については、サザエを放流する前には、漁港内はテングサ類が繁茂する水域であったのが、放流サザエが成長するにつれて過密状態になり、そのことから餌不足が生じたために起こったものである。そこで、このような事態にならないようにするには、ウニ類やオオコシダカガンガラなどの競合生物を取り除いた

り、天然サザエも含めて生息密度の調整をするなどの資源管理を行わなければならない。なお、第2章でも述べたように、比較的競合生物の生息量が少ない水域においては、資源管理の一つの目安として、海藻の被度割合〔被度 (%) / {サザエの生息密度 (個/m²) × 殻高 (mm)}〕が 2×10^{-3} 以下にならないようにサザエの生息密度を調整すれば、サザエの成長を低下させずに育成させることができるものと考えられる。

以上は、害敵と競合生物の取り除きやサザエの生息密度の調整といった漁場管理や資源管理のうちのハード面について述べた。一方、これらのほかに資源管理のソフト面として、各種の漁業規制があげられる。サザエなどの磯根資源の場合には、体長(殻長、殻高、ヘタ径など)制限、漁具・漁法の制限、漁場規制、操業期間の制限、漁獲量の規制などが行われている。Table 12に各都道府県漁業調整規則で定められているサザエの漁獲制限の例を参考までに示した。

サザエ漁獲の場合に、一般的には同じ磯根資源であるアワビほどには厳しく制限されていないが、それでも磯根漁場を直接に管理している漁業協同組合やその下部組織(京都府の場合は水視組合、他県では水視組合の他に海士、海女組合などがある)では、各府県が定めた漁業調整規則より厳しい漁獲制限を、漁業権行使規則や規約で定めているのが普通である。例えば京都府下の漁業協同組合の行使規則では、潜水漁業やサザエ刺網の禁止、禁漁区域などが定められている。これらの規則や規約は、天然資源だけに依存した漁業形態の中では、資源を

保護するうえで非常に重要な意味をもっている。しかし、今後、放流種苗を使ってサザエ資源を増殖していこうとする時には、逆に漁獲努力量が過小になりすぎて、放流効果が十分に現れてこない場合も考えられる。

そこで、サザエの栽培漁業化を進める場合には、放流したサザエは可能なかぎり効率よく漁獲していかねばならない。そのためには、サザエをどのようにして漁獲するのが最も効率であるかについて検討する。

放流したサザエを効率よく漁獲するためには、サザエの生態特性、特に分布生態に合わせた漁具・漁法を用いる必要がある。一方、サザエの成長と移動・分散との関係(1-5, 2b)からは次のようなことが明らかになっている。すなわち、サザエは殻高 30 mm くらいまでは水平的な移動・分散が主体であるが、それ以上の大きさになると、鉛直方向へも分散を始める。そして、殻高 60 mm くらいまでは水深 10 m 以浅に分布しているが、さらに成長するとより深場の方にも分布域を拡げるようになる。

以上の結果から、例えば操業水深が主として 10 m 以浅である水視漁法や素潜り漁法で放流サザエを漁獲しようとするれば、サザエが殻高 60 mm 位に成長するまでに漁獲するのが効率的な漁獲の仕方であると考えられる。また、それ以上に成長して深場に分散したサザエを漁獲するには、刺網漁法や潜水器漁法を用いる必要がある。つまり、放流したサザエを効率よく漁獲するためには、サザエの成長に伴う分布様式の変化に合わせて、種々の漁法を併用して漁獲する必要がある。既存の漁法だけでは放流サザエを十分に漁獲回収できない場合には、新漁法を導入することも検討する必要がある。言うまでもなく、このような漁獲形態の再編成は、各漁法間で十分に漁業調整がなされたうえで行わなければならない。

(3) 磯根資源の総合的利用方法への提言

サザエの栽培漁業を進める過程においては、漁場管理や資源管理が非常に重要な作業であり、その中でサザエの放流水域についていえば、害敵生物や競合生物の駆除や間引きをしなければならないのは前述したとおりである。特にウニ類、とりわけキタムラサキウニが繁殖しすぎると、その水域一帯が磯焼け状態になるし、この種は動物性のもも摂餌するので、放流したサザエが直接に食害にあう場合もあると考えられる。また、放流水域でサザエの生残を高めるためにレイシガイ、イボシなどのアキガイ類やヒトデ類を駆除すると、今までそれら

の捕食生物によって、生息量が制限されていたと思われるオオコンダカガンガラやクボガイの類など、サザエと餌をめぐる競合する生物が急増し、その結果、餌料不足が生じたりする例を観察している。

このようなウニ類やガンガラ類など、放流したサザエと餌で競合したり、サザエを直接に捕食したりするような生物は、駆除するか間引るかせねばならないが、一方では、それらを水産物という観点からみると利用価値の高い磯根資源とみることもできる。

そこで、今後サザエの栽培漁業化を進めていく場合には、サザエの放流漁場における漁場管理や資源管理で取り除きが行われるウニ類やガンガラ類など、それ自体が水産業にとって価値のあるものは漁獲物として活用すべきであろう。すなわち、サザエの栽培漁業化を可能にするためには、サザエだけを対象にするのではなく、すでに栽培漁業化が進められているアワビとあわせて、磯根資源全体を総合的に利用するような漁業形態にしていく必要があると考えられる。

要 約

本論文では、天然サザエの生態調査とあわせて、人工的に生産されたサザエ稚貝を用いて大量放流実験を行い、成長、生残、食性などの生態的な諸要因を総合的に解明し、それらの結果から、サザエを増殖させるための資源および漁場の管理方法の開発を試みたが、その結果は次のとおりである。

1) 京都府沿岸域で採集されたサザエの殻高組成を年級群に分離し、また天然海域で小型貝に標識を付けてその後の成長を追跡することによって、サザエの年齢と成長との関係を調査した。その結果、京都府地先でのサザエの大きさは、満 1 齢で殻高 10 mm 前後、2 齢で 20 mm 前後、3 齢で 40~50 mm、4 齢で、60~70 mm、5 齢で 80 mm であることがわかった。

1 年間の飼育試験からサザエの成長と水温との関係を調査したところ、サザエにとって水温 12°C 付近が成長するための下限水温であり、16~30°C がサザエの成長にとって好適水温範囲であることがわかった。

その他、小型サザエの成長は分布水深によっても異なり、浅場ほど良く、深場になるほど悪くなることもわかった。

2) サザエの生殖腺の成熟度合や熟度指数 $GI = (GW/SH^2) \times 10^6$ [GW は生殖腺重量 (g), SH は殻高 (mm)]

を用いてサザエの性成熟の季節的变化を調査した。その結果は、サザエの大きさによってその季節変化は異なっており、殻高 60 mm 以上の個体では、雌雄とも 7～8 月に成熟のピークを示したが、40～50 mm の個体では同時期においても明瞭なピークを示さないことがわかった。なお、どちらのサイズの場合でも、放卵、放精後を示すスペント個体は、8 月以降に増加していた。以上のことなどから推定して、京都府地先のサザエの産卵期は 7～10 月で、7、8 月がその最盛期であると考えられる。

年齢と成熟との関係では、サザエは 4 齡貝以上の殻高 60 mm 以上になると、ほぼ 100% の個体が産卵群へ加入して再生産に関与する。一方、サザエの生物学的最小形は殻高 30～40 mm であることがわかった。

3) サザエの摂餌生態を調べるために、伊根町青島地先の浅海域で採集したサザエの胃内容物調査を行った。その結果、サザエはテングサ類やホンダワラ類の幼芽などを主に摂餌しているものの、生息場所周辺に繁茂している海藻ならばほぼ全種を摂餌していることがわかった。

青島地先で行った摂餌の日周期性の調査結果では、サザエの摂餌時間帯は日没から約 6 時間であることがわかった。また、昼夜の胃内容物の結果から、テングサ類はクロゴシラ類やホンダワラ類よりも消化速度が速いものと考えられる。その他、海藻によってサザエの餌集する度合いが異なることなどから、サザエにとっての餌料価値は、単に化学的な栄養価だけでなく消化速度や餌料生物の食べられやすさによって決まるものと考えられる。

4) サザエの生残に影響を与えられとされる捕食生物について調査した。潜水観察でサザエを捕食していたところが確認された生物は、イトマキヒトデやヤツデヒトデなどのヒトデ類、フタバベニツケガニやインガニなどのカニ類、レイシガイやイボニシなどの肉食性巻貝、キタムラサキウニなどであり、キュウセンなどのベラ類もサザエを攻撃しているところが観察された。

放流貝を用いて植生とサザエの生残との関係を調べたところ、テングサ優占域のほうでホンダワラ優占域よりもサザエの生残率が高かった。

その他、物理的な減耗要因としては、時化の際の激しい波浪が、小型サザエの生残に好ましくない影響を与えていることが推察された。

5) 青島地先で行ったサザエの昼夜の追跡観察から、サザエの活動時間帯は日没から約 6 時間であった。サザエの移動速度は、周辺の植生などによって若干変化するものの、殻高 10 mm で約 6 cm/時間、20 mm で約 15

cm/時間、60 mm で約 60 cm/時間と、サザエの大きさと移動速度とはほぼ正比例の関係を示した。

水深別に採集されたサザエの殻高組成から、小型サザエには「分布限界水深」があって、成長とともに分布水深の範囲を広げていることがわかった。その結果、殻高 20 mm 以下の個体の分布域は水深 2 m 以浅であり、その後、分布域を広げるが殻高 60 mm までは水深 10 m までのところに生息している。そして、さらに成長して殻高 75 mm 以上に達するところには、水深 30 m 付近にも分布するようになっていた。

殻高 20 mm 以下のサザエの分布域は水深 2 m 以浅であることから、小型の放流貝を用いて水平方向への移動・分散について調査した。その結果、放流域周辺の植生などの環境条件が比較的に均質な場合には、小型サザエの水平方向への移動・分散の仕方は、基本的にはランダム分散を行っているものと推察された。

6) 以上のサザエの生態特性及び人工種苗放流実験の結果から、次のような条件が得られれば効果的な種苗放流のできることがわかった。

〔放流場所〕 サザエの成長や餌料選択性の面からみて、小型サザエの好適餌料であるテングサ類、アオサ類、ミルなどが繁茂するとともに、ある程度成長したサザエが主な餌料としているホンダワラ類も繁茂している海域が好適な放流場所であると考えられる。また、小型サザエの場合、深場よりも浅場に放流するほうが成長、生残とも良好である。さらに、波浪の影響が少なく、ヒトデ類、カニ類、肉食性巻貝などのサザエの捕食生物が少ないことも好適放流場所としての条件である。

〔放流時期〕 サザエの成長は高水温期に促進されるので、これから水温が上昇して高水温期が続く時期となる春から初夏にかけて放流するのが成長の面からみて有利である。また、生残面からみて、特に日本海側では波浪の影響の強い冬よりも、比較的に波の穏やかな春から夏にかけて放流する方が有利であると考えられる。

〔放流サイズ〕 人工種苗を用いた成長、生残調査の結果から、採苗後 1 年目の殻高 10 mm 未満のサイズで天然海域へ放流できることがわかった。特に、波が穏やかでテングサ類が繁茂する海域では、殻高 3～4 mm サイズのサザエでも放流できることがわかった。また、サザエは殻高 20 mm サイズになると、波の穏やかな内湾域に限らず、外海域へ放流しても高い生残率の得られることがわかった。

〔放流方法〕 ベラ類など駆除するのが困難な魚類に攻撃されにくくするためには、潜水によって丁寧に放流す

るか、コンテナ等にサザエを付着させてそれごと浅場に設置する方法がある。また、テングサ類やホンダワラ類の小群落の中に放流しても、これらが隠れ場の役目をして魚類の攻撃をある程度避けることができると考えられる。

7) 放流後の種苗を効率良く漁獲サイズにまで成長させるための漁場管理の方法について検討した結果は次のとおりである。

〔漁場監視〕 人為的な減耗要因である不法採捕を防止するためには、放流場所に監視のしやすい場所を選定する必要がある。また、サザエは殻高 50~60 mm サイズまでは放流場所からそれほど大きな移動をしないので、放流場所周辺の磯場を「立入禁止」にするのも一つの有効な方法である。

〔害敵駆除〕 潜水観察の結果では、害敵生物がサザエを捕食するのは特に放流初期に多いようである。そのため、害敵駆除はサザエの放流直前と直後に集中して行う必要がある。駆除方法で最も確実に害敵生物を駆除できるのは潜水による方法である。その他、ヒトデ類やカニ類などは、かご漁具で繰り返し取り除きを行えば効果がある。

〔餌料環境の改善と管理〕 海藻が貧相になったサザエの放流水域から、ウニ類やオオコンダカガンガラの仲間などの藻食性動物を取り除いたり、サザエの生息密度を調整する方法が有効である。

8) 放流サザエの成長の仕方は放流場所の植生によって異なるが、テングサの優占域に放流した場合の平均的な成長は、5月に殻高 5~10 mm で放流すれば、翌年の11月には大部分の個体が殻高約 50 mm を超えて、漁獲が可能なサイズになっていた。すなわち、採卵から2~2.5年で漁獲できるようになっており、これは天然貝の成長と比較して約半年も早い。

放流貝の生残は、放流場所や放流サイズなど放流の仕方によって異なる。天然海域に手を加えずに放流すれば、数パーセントしか漁獲サイズまで生残しないが、上記に示したような好適な場所で正しい管理を行えば、殻高 7 mm 以上で放流した場合には、漁獲サイズまで70%前後と高い生存率の得られることが実験的に確かめられた。

9) サザエは栽培漁業を目指すうえで次のような有利な点のあることがわかった。

(a) 殻高 10 mm 未満という小型サイズから天然育成ができる。(b) 漁獲サイズになるまでの成長が早い。(c) 漁獲サイズになるまでの生残率が高い。(d)

移動・分散の範囲が比較的小さく漁獲しやすい。

10) 以上のことなどから、サザエの栽培漁業化の可能性は高いと考えられるが、それを実現させるためには資源や漁場を適切に管理する必要がある。例えば、害敵駆除を継続的に行えば、放流貝だけでなく天然貝も培養することができる。また、サザエの生息密度を調整したり、ウニ類やオオコンダカガンガラなど、サザエと餌料が競合する生物を取り除くことはサザエ漁場で餌不足を生じさせないためにも重要である。

なお、比較的競合生物が少ない水域にサザエを放流した場合には、その餌料環境からみて、どれくらいの密度のサザエが成育できるかは、海藻の被度割合〔海藻の被度(%) / {サザエの生息密度(個/m²) × 殻高(mm)}〕からおおよそ推定できることがわかった。

11) 放流したサザエを効率良く漁獲することも栽培漁業化を目指すうえで重要なことである。例えば、京都府でのサザエ漁業は操業水深が 7 m 以浅である水視漁法が一般的であるので、サザエが水深 10 m 以深にまで分散していく大きさ、すなわち殻高 60 mm サイズを目途に漁獲すれば効率の良い漁獲のできることがわかった。また、それ以上に成長して深場に分散したサザエを漁獲するためには、刺網漁法や他県では、潜水器漁法も一般的に行われているので、これらの漁法を併用することによって放流サザエのさらに効率の良い漁獲ができるものと考えられる。

以上のような適切な資源・漁場管理と効率の良い漁獲をすれば、サザエの安定増産を図ることができるものと考えられる。

文 献

- 阿井敏夫・野中 忠・佐々木正 (1964) : サザエの産卵と発生Ⅰ、産卵の行動の1例。日水誌, **30**(10), 828-830.
- 阿井敏夫 (1965) : 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.
- 阿部 襄 (1952) : 飛鳥産サザエ *Turbo (Batillus) cornutus* Solander の成長に就いて。日本海区水研創立記念三周年記念論文集, 7-14.
- 網尾 勝 (1955) : サザエ *Turbo cornutus* Solander の成長並びに棘の消長について。農林省水講研報, **4**(1), 57-68.
- 網尾 勝 (1965) : 浅海養殖 60 種, サザエ。大成出版,

- 272-277.
- Castenholz, R.W. (1961) : The effect of grazing on marine littoral diatom population. *Ecology*, **42**, 783-794.
- Chapman, A.R.O. (1981) : Stability of sea urchin dominated barren grounds following destructive grazing of kelp in St. Margarets Bay, eastern Canada. *Mar. Biol.*, **62**, 307-311.
- Dethier, M.N. (1982) : Pattern and process in tide-pool algae: Factors influencing seasonality and distribution. *Botanica Marina*, **25**, 55-66.
- De Lury, D.B. (1947) : On the estimation of biological populations. *Biometrics*, **3**, 145-167.
- Elnor, R.W. and D.G. Raffaelli (1980) : Interactions between two marine snails, *Littorina rudius* Maton and *Littorina nigrolineata* Gray, a predator *Carcinus maenas* (L.), and a parasite, *Microphallus similis* Jagerkiold. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, **43**, 151-160.
- 伏見 浩・野中 忠 (1972) : 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年級群の動態. 静岡水試研報, (5), 45-49.
- 伏見 浩・影山佳之・松原壮六郎 (1978) : 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の動向, 特に年級群の交替と生残りについて. 静岡水試研報, (12), 15-34.
- 伏見 浩 (1980) : 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.
- Harada, K. and O. Kawasaki (1982) : The attractive of seaweeds based on the behavioral responses of young herbivorous abalone *Haliotis discus*. *Bull. Japan. Soc. Fish.*, **48**(5), 617-621.
- 猪野 峻・亀高洋介 (1943) : サザエ (*Turvo cornutus* Solander) の食糧と環境に依る形態の変化について. 日水誌, **12**(3), 113-118.
- Ino, T. (1949) : The effect of food on growth and coloration of the topshell (*Turvo cornutus* Solander). *Jour. Mar. Res.*, **8**(1), 1-5.
- 猪野 峻 (1951) : 邦産アワビ属の増殖に関する生物学的研究. 東海区水研報, **5**, 1-102.
- 猪野 峻 (1953) : サザエ (*Turvo cornutus* Solander) の生態学的研究—Ⅰ, 環境の相違による棘の消長. 日水誌, **19**(4), 410-414.
- Ino, T. (1958.) : Ecological Studies of the Topshell-
II. Relation between Diet and Coloration of the Shell. *Bull. Tokai. Reg. Lab.* **22**, 33-36.
- 梶川 晃 (1981) : サザエの種苗生産について. 鳥取水試報, (23), 23-30.
- 角田信孝・由良野範義・井上 泰・国近正雄 (1982) : サザエの種苗量産技術開発研究. 山口県外海水試事報, 61-68.
- 角田信孝・渡辺 直・由良野範義・陣之内征龍 (1986) : サザエの成熟, 産卵に関する研究. 山口県外海水試研報, **23**, 23-30.
- 小島 博 (1981) : クロアワビ放流稚貝の死亡について. 日水誌, **47**(2), 151-159.
- 桑原昭彦・葭矢 護・浜中雄一 (1986) : サザエの栽培漁業化に向けて. 日本海ブロック試験研究集録, **8**, 9-14.
- 桑原昭彦・葭矢 護・浜中雄一 (1987) : 栽培漁業と新養成技術, サザエの栽培漁業に向けて (下). 水産の研究, **6**(2), 40-45.
- Langton, W.R. (1981) : Food habits of yellowtail flounder, *Limanda ferruginea* (Storer), from off the northeastern united states. *Fish. Bull.*, **81**, 15-21.
- Mann, K.H. (1977) : Destruction of kelp-beds by sea urchins: a cyclical phenomenon or irreversible degoradation. *Helgolander wiss. Meeresunters*, **30**, 455-467.
- 松井佳一・内橋 潔 (1940a) : 日本産サザエの棘の変異に就いて (予報). 日本学術協会会報, **15**(3), 54-57.
- 松井佳一・内橋 潔 (1940b) : 日本産サザエの棘の変動に就いて. 日水誌, **8**(6), 349-354.
- 松井佳一・内橋 潔 (1941a) : 日本産サザエの棘の差異と其の分布に就いて. 兵庫水試報, (2), 27-32.
- 松井佳一・内橋 潔 (1941b) : 日本産サザエの棘の差異に就いて (第二報). 動雑, **53**(2), 121-139.
- 松岡祐輔 (1975a) : サザエの種苗生産研究 (Ⅰ). 産卵誘発と産卵期について. 京都水試報, 132-139.
- 松岡祐輔 (1975b) : サザエの種苗生産研究 (Ⅱ). 京都水試報, 199-201.
- 翠川忠康 (1982) : サザエ種苗生産試験. 和水増試報, (13), 45-48.
- 翠川忠康 (1983) : サザエ種苗生産試験. 和水増試報, (14), 67-74.

- 西村昭史 (1974) : サザエ稚貝の餌料別成長試験. 三重
浜島水試年報, 88.
- 西村昭史 (1975) : 伊豆諸島における貝類増殖に関する
研究. 東水試研究要報, 120, 27-29.
- 二島賢二 (1983) : サザエの種苗量産化技術開発試験-
II. 福岡水試研業報, 93-97.
- 西岡 純・大橋 徹(1977) : 磯地先におけるサザエの餌
料環境について. 京都海洋センター研報, (1),
134-165.
- 岡部三雄 (1982) : サザエの産卵誘発方法について. 京
都海洋センター研報, (6), 1-5.
- 岡部三雄・藤田眞吾 (1985) : サザエ種苗の大量生産技
術について. 養殖, (9), 122-126.
- 岡田弥一郎・藤田 正 (1933) : 日本産サザエ類 (リュウ
テン属) の分布に就いて. ビーナス, 4(2), 101-
103.
- 大川光則・川村 要 (1983) : サザエ種苗生産試験. 青
水増報告, 12, 197-199.
- 大川光則・植村 康・佐藤 敦 (1984) : サザエ種苗生
産試験. 青水増報告, 13, 201-205.
- 大串龍一 (1955) : 潮間帯にすむ笠貝の習性 II, 2種の笠
貝の帰家行動の解析. 日生態会誌, 5(1), 31-35.
- 小沢智生 (1981) : イボキサゴの捕食者, 特にワタリガニ
類による捕食について. 貝雑 VENUS, 39(4),
225-235.
- 酒井誠一 (1962) : エゾアワビの生態学的研究 I, 食
性に関する実験的研究. 日本誌, 28(8), 766-779.
- 佐藤陽一・岩井拓郎・末永浩章 (1986) : 近海漁業資源
の家魚化システムの開発に関する総合研究. 昭和
60年度 III-6 課題研究成績報告書, 21-29.
- 寺尾百合夫・角田信孝・中村達夫 (1970) : サザエの種
苗生産研究. 山口県外海水試事報, 24-27.
- 都道府県水産試験場磯根資源調査研究グループ (井上正
昭・野中 忠・山田静男) (1972) : 磯根資源とそ
の増殖 I. -アワビ-. 水産増養殖叢書, 24, 1-
208.
- 遠山忠治 (1980) : サザエの種苗生産研究. OCEAN
AGE, 12(2), 59-66.
- 土屋文人 (1969) : サザエの人工採苗と成長. 養殖, 6
(9), 87-90.
- 内場澄夫・二島賢二・山本千裕・岸本源治 (1984) : サ
ザエの生息生態に関する研究 I. 福岡水試研
報, 157-168.
- 植田三郎・岡田喜一 (1939) : 巻貝類の天然餌料に関す
る研究 I, 鮎. 日本誌, 8(1), 51-56.
- 植田三郎・岡田喜一 (1941) : 巻貝類の天然餌料に関す
る研究 II, 鮎. 日本誌, 10(3), 139-142.
- 浮 永久・菊池省吾 (1982) : 外部環境要因による成熟・
産卵の制御, 一貝類-. 水産学シリーズ, 41,
64-79.
- 宇野 寛(1962) : 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とに関して. 東水大特研報,
6(2), 1-76.
- 山本哲生・山川 紘 (1985) : サザエ *Turvo (Batillus)*
cornutus の生殖巣成熟に関する研究. 日本誌, 51
(3), 357-364.
- 山崎明人・石渡直典 (1987a) : サザエの生態学的研究
I. 生息場所の生態的特性. うみ, 25, 124-136.
- 山崎明人・石渡直典 (1987b) : サザエの生態学的研究
II. 稚貝の生息場所. うみ, 25, 184-189.
- 山崎明人・石渡直典 (1988) : 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.
- 葭矢 護・和田洋蔵・桑原昭彦・浜中雄一 (1986) : 放
流サザエの成長と生残. 日本誌, 52(1), 41-47.
- 葭矢 護・桑原昭彦・浜中雄一 (1987a) : サザエ稚貝の
成長と生残に及ぼす生息環境条件の影響. 日本
誌, 53(2), 239-247.
- 葭矢 護・桑原昭彦・浜中雄一 (1987b) : 京都府青島地
先におけるサザエの食性. 日本誌, 53(8), 1359-
1366.
- 葭矢 護・桑原昭彦 (1988a) : サザエの生態研究とその
応用-6, 移動・分散. 海洋と生物, 10(4), 288-
291.
- 葭矢 護・桑原昭彦 (1988b) : サザエの生態研究とその
応用-7, 栽培漁業への応用-1. 海洋と生物,
10(5), 374-377.
- 四井敏雄・前迫信彦・中村伸司 (1984) : アワビの漁場
性に関する研究 (クロアワビの初期餌料につい
て). 指定研究報告, 1-30.
- Zipser, E. and G.G. Vermeji, (1978) : Crushing
behavior of tropical and temperate crabs.
J. exp. mar. Biol. Ecol., 31, 155-172.