

徳島県産アオリイカの資源生物学的研究

誌名	徳島県水産試験場研究報告
ISSN	13455001
著者名	上田,幸男
発行元	徳島県水産試験場
巻/号	1号
巻号補足	
掲載ページ	p. 1-80
発行年月	2000年3月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



380
徳島水試研報

Bull.

Tokushima Pref.

Fish. Exp. Stn.

ISSN 1345-5001

BULLETIN OF
TOKUSHIMA PREFECTURAL
FISHERIES EXPERIMENTAL STATION

No.1

March 2000

徳島県水産試験場研究報告

第 1 号

平成12年 3 月

徳島県水産試験場

徳島県海部郡日和佐町

TOKUSHIMA PREFECTURAL
FISHERIES EXPERIMENTAL STATION

HIWASA, TOKUSHIMA, JAPAN



正 誤 表

Abstractの3ページを i, ii, iii とし、目次の1ページを iv とする。

ページ	位置	誤	正
i	ランニングタイトル	脚注 Bull.Tokushima Pref. Fish. Exp. Stn. No.1, 1-79(2000)	脚注 Bull.Tokushima Pref. Fish. Exp. Stn. No.1, 1-80(2000)
1	右7行目	分化していることが明か	分化していることが明らか
9	Table 1-1-4	AKAIKA	Okinawa
22	Table 2-1-1	1994 July 3 25～(n)列の7(7) 1996 June 28 Total列 34(20) 1998 Aug. 5 14 1998 Sep, 9 25～(n)列の0(29) 1998 Oct, 9 25～(n)列の0(28) Total Mar. 208, 3(93), 13(75), 22(206) Total June Total列 155 (120) Total Aug. 46 Total Sep 62, 0(0), 0(3)	Total列へ移動 34(36) 16 Total列へ移動 Total列へ移動 218, 3(100), 13(78), 22(216) 155(183) 48 80, 0(5), 0(16)
24	左3行目	Zostera marina	Zostera marina
	左12行目	Sargassum	Sargassum
35	右13行目	低質	底質
35	右38行目	10cm間の隔鉄筋タイプ	10cm間隔の鉄筋タイプ
36	右5行目	天然礁	ガラモ場
52	左6行目	できない	でない
52	左24行目	$\Phi_t(l)$	$\Phi_t(l)$
56	左29行目	Løkkeborg and Bjordal 1992	Løkkeborg and Bjordal (1992)
68	左22行目	全減少変動	全減少係数の変動
79	左34行目	瀬戸内海東部群マダいの資源評価.	瀬戸内海東部群マダいの資源評価.

徳島県水産試験場研究報告

第 1 号

目 次

徳島県産アオリイカの資源生物学的研究.....	上 田 幸 男 1
-------------------------	-----------

Bulletin of Tokushima Prefectural Fisheries Experimental Station

No.1

Contents

Ueta, Y. :

Fishery Biological Studies of the Oval Squid, *Sepioteuthis lessoniana* around Tokushima Prefecture.

..... 1

徳島県産アオリイカの資源生物学的研究*

上 田 幸 男

Fishery Biological Studies of the Oval Squid, *Sepioteuthis lessoniana* around Tokushima Prefecture

Yukio Ueta

Abstract

The oval squid, *Sepioteuthis lessoniana* (Lesson, 1830) is a loliginid squid widely distributed throughout the Indian and western to central Pacific Ocean. In Japan, this squid occurs in inshore waters extending from Okinawa Islands to southern Hokkaido and is one of the commercially important squids for neritic fisheries, especially in southern Japan. In outer waters adjacent to the Kii Channel around Tokushima Prefecture of Japan, oval squid is caught by set net fishery and squid jigging fishery throughout the year and is one of commercially important marine invertebrate resources because of the high price.

The genetic similarity of oval squid around the Japanese Archipelago was examined by isozyme analysis. Of the three genetically highly divergent forms (SHIROIKA, AKAIKA, KUAIKA) that have already been established for *S. lessoniana*, ten of SHIROIKA-form from waters around the Japanese main islands, and one AKAIKA-form from Okinawa were identified out of eleven local examples. Isozyme analysis by horizontal starch-gel electrophoresis detected 21 enzymes and 1 non-enzymic protein, with 34 presumed loci. The genetic independence of AKAIKA reported elsewhere was reconfirmed by the complete replacement of alleles at 5 loci between the AKAIKA and SHIROIKA-forms, with the average genetic distance (D value) between them being almost 0.2. In the SHIROIKA samples, the *LDH-4** locus showed complete replacement of alleles between those from the Japan Sea and those from the Pacific, the degree of genetic difference between the two groups being over 0.03. This suggested that the *S. lessoniana* (SHIROIKA) around the Japanese main islands comprises of two genetically independent groups.

Data from monthly landings of the oval squid by same four small set nets and one small trawler in Harima-Nada, Kii Channel, and the Pacific coast around Tokushima Prefecture show that not only the spawning group but also the newly recruited group appeared in these three areas. However, no squid were caught in Harima-Nada from January to April when the water temperature was under 12.6 °C. This suggests that they moved to the Pacific coast or south-western deep water in Kii Channel where water temperature was over 14.8 °C during this period.

Migration of the oval squid around Tokushima Prefecture, was studied by tag-and-recapture. Fifteen squids were recaptured within 110 days after release of 305 individuals. All recaptures were conducted in waters within 16.2km from the release sites. These results indicate that this animal remain in this water throughout its life, except for every winter when it migrates offshore.

Both the gonad gland and nidamental gland of female oval squid matured from April to September, while the gonad gland of males matured from December to October. Copulated female appeared from January to September. These results show that male oval squid copulates with female before maturity of the gonad gland. Biological minimum size of oval squid was estimated to be 15.5 cm in mantle length.

Occurrence and character of the capsule mass of oval squid in the outer waters adjacent to the Kii Channel around Tokushima Prefecture were studied. Investigations for observations and sampling were carried out by

*本論文は東京水産大学に提出した審査学位論文である。

SCUBA diving from August, 1988 to October, 1991. All capsules or egg masses were collected during the period from May to October. Each egg capsule contained 0-9 eggs (mean 5.5) and the range of number of eggs per egg mass was 137- 1,141(mean 553.2). The date of egg-laying and hatching of each egg capsules or egg mass collected were estimated from the relationship between the length of embryonic development and water temperature under rearing conditions (Segawa 1987). The period of egg-laying was estimated from late April to early October and that of hatching from early June to late October. The main period of egg-laying was estimated from May to July and that of the hatching period from June to August.

Spawning grounds and spawning beds of oval squid in the coastal waters of Shishikui town were observed by SCUBA diving in July 1988 and in June-July 1991. Most egg capsules were observed in calm waters, such as inlets or the shade of islands.

Selection of spawning grounds and spawning beds of oval squid was studied by use of four different types of man-made spawning beds settled in the coastal waters of Shishikui town. Underwater observations and sampling of egg capsules were carried out by SCUBA diving during the period from May 1990 to September 1993. The number of egg capsules laid on the man-made spawning beds placed in the calm waters of the inlet was much more than that in the ground facing to the open water. The number of egg capsules laid on man-made spawning bed was ranked by the bed type as mid-water cage type>steel type> fiberglass reinforced plastics (FRP) type, with small difference. These three types of man-made spawning beds were recognized to be superior in respect of the mass of laid egg compared with the neighboring natural spawning beds composed of *Sargassum* and *Zostera*. These results obtained suggest that spawners prefer calm waters, and select in relatively wide range of artificial materials for egg-laying. Moreover, the number of egg capsules laid on the man-made FRP spawning beds of the narrow space type, was much higher than that on the wide type in the same material. The results obtained suggest that spawners prefer relatively narrow spaces for egg-laying.

Growth and life span of oval squid around Tokushima Prefecture was studied from the mantle length composition of fishery landings during 1987-1999. The life span was one year: oval squid hatch out in spring-summer and die after several spawnings in the next summer. Theoretical growth equations of Gompertz were applied to monthly cohorts by sex. These growth rates in summer and autumn were much higher, compared to winter and spring when water temperature is low. Mantle lengths for the 1994 and 1998 year-classes with high water temperatures were larger than the mean value of mantle length during 1987- 1999, while the 1987 and 1990 with low water temperature were smaller. Water temperature has a marked effect on mantle length for both the hatching period and the growth rates. High water temperatures appear to result in early hatching and higher growth rates.

One oval squid was reared with variously sized smallscale blackfish *Girella melanichthys* as prey in aquarium, and the predation behavior by squid, the relationship of prey-predator, the portions of prey discarded and size selection of prey were observed. The results of a total of seventeen experiments show as follows ; (1) The predation behavior was divided into three motor patterns ; attention, positioning, and seizure. During attention, squid oriented toward a particular prey. The arms and tentacles were formed into a tight cone which was pointed towards the prey. The squid with a thin mantle approached the prey until it was within attacking distance. Squid quickly grasped the prey from the head with all its arms, if it captured the prey with the buccal lobes of the tentacle arms. Squid primarily started to bite a deep wedge-shaped piece from behind the head for killing the prey. (2) The shape of discarded prey by squid were divided into five types. (3) Squid tended to select prey smaller than 0.5 in total length of the fish/mantle length (*FTL/SML* ratio) or smaller one than 0.05 of the body weight of fish/body weight of squid (*FBW/MBW* ratio), and normally consumed all the food organism without leaving in this size. (4) The discard ratio of prey by squid became larger when the *FTL/SML* ratio was more than 1.0, and the discard type that

squid left the muscle of body, appeared more than other types. (5) Squid were fed on by *G. melanichthys* or starved in *FTL/SML* ratio larger than 1.5. (6) Feeding ratio of squid became slow and the size of prey captured was smaller in December- February when the water temperature was lower than 20°C.

This paper examines the size selectivity in the squid jigging fishery for the oval squid in Tokushima Prefecture using an extended SELECT model for analyzing size frequency distributions of squid caught by the squid jigging and by set nets. The SELECT model is extended to utilize size frequency distributions constructed from repeat measurements of catch in the squid jig as the test gear and the set nets as the control gear where data on the fishing efforts is not available with variable fishing efficiencies. As a result, the size selectivity $r(l)$ of squid jigs of a body size from 12 to 15cm is expressed as a logistic function of the mantle length l , $r(l) = \exp(-10.0 + 0.485 l) / [1 + \exp(-10.0 + 0.485 l)]$. This equation indicates that oval squid of a size smaller than the jig are not caught by the jig. As the squid attacks the jig as a prey, the size selectivity of the squid jig found here is a type of prey size selectivity.

Oval squid is mainly caught by squid jigging at dusk and at night. Daily catch of oval squid in set net and squid jigging (trolling) trends to rise around the full-moon period. Moon light with suitable luminous intensity seems to accelerate their movement.

Relationship between year-class abundance of the oval squid and selected environmental factors are examined using multiple linear regression analysis. Landings from April to August, an index of the spawning stock size, had no relationship ($r = -0.123$) with the landings during the subsequent September to December as a recruitment index. This implies that no relationship between spawning-stock and recruitment occurs in this species. Landings from September in a given year to the next August were employed as an index of the year-class abundance in the year (criterion variable, Y). Average monthly values of four environmental factors during the period from April to September which includes the spawning and hatching season and the early life period of this species were examined as explanatory variables: water temperature (X_1); salinity (X_2) at 10 m depth; atmospheric pressure; (X_3) and rainfall (X_4) measured in Tokushima City. The year-class abundance was expressed as $Y = -3297.4 + 37.0X_1 + 79.9 X_2$. From the multiple regression equation with environmental data from April to September, year-class landings are predictable. Year-class landings are closely related to the water temperature and salinity during April to September. High water temperatures and high salinities during this period are associated with successful recruitment.

A great number of small oval squids below 300g in body weight are caught by set net and by squid jigging during July to November. Since the growth rate of oval squid during July to November is much more rapid, catch method expected to be improved to effective catch. Stocking efficiency in the case of releasing all the small individuals below 300g in body weight caught during July to November was estimated. The recaptured ratio of the population, catch, and expense accounted for 0.25 to 0.75, 0.97 to 7.8, and 2.2 to 219.7 relatively. These results indicate that the release of small individuals below 300g in body weight was very economically efficient.

目 次

序 論	1
第1章 分布・移動・回遊	3
1. アイソザイム分析からみた徳島県産アオリイカの生物地理学的位置づけ	3
2. 分布と生息環境	10
3. 標識放流からみた移動回遊	15
第2章 繁殖	18
1. 成熟と交接	18
2. 産卵とふ化	23
3. 産卵場と付着基盤の選択性	27
第3章 成長と寿命	37
1. 外套背長組成による成長解析	37
第4章 捕食行動	44
1. 飼育下における捕食行動と餌のサイズ選択性	44
2. 餌木に対するサイズ選択性	50
第5章 漁業と資源	57
1. 漁獲の月周期性	57
2. 漁獲量と環境要因の関係	58
3. 加入資源の有効利用をめざした管理目標とその効果の推定	66
第6章 総合考察	71
要 約	72
謝 辞	74
引用文献	75

序 論

アオリイカ *Sepioteuthis lessoniana* は北海道南部以南の日本各地沿岸に分布し、古くから漁業者に親しまれているため、ミズイカ、モイカ、バショウイカなど種々の方言名や市場名がある（奥谷 1973, 奥谷 1984）。アオリイカは本邦各地の沿岸域で釣り、定置網およびまき網などの各種漁法で漁獲され、筋肉質に富み、美味なことから、頭足類の中でも最も高価に取り引きされ、沿岸漁業の重要資源の一つになっている。

本研究の調査海域となった徳島県沿岸は、西村（1981）の生物群集の気候的特性によると、海部郡沿岸海域（徳島県太平洋岸）の南端部が亜熱帯区に隣接し、海部沿岸海域から紀伊水道にかけての海域が暖温帯区、播磨灘の生物群集は中間温帯区に属する。海部郡沿岸海域においてアオリイカは、小型定置網および釣りで漁獲され、沿岸漁業の基幹資源の一つになっている。

本研究では、徳島県産アオリイカの資源管理を行い、増殖を図るための基礎資料を得る目的で、アオリイカの分布・移動・回遊、繁殖、寿命および成長など生態についての基礎研究を実施するとともに、アオリイカ資源の有効利用を目的として漁況予測や餌木の選択性試験および人工産卵礁に関する応用研究を行い、徳島県産アオリイカの資源生物学に関するいくつかの知見をとりまとめた（上田・城 1989, 上田・城 1990, 上田 1992, 上田ら 1992, 上田ら 1995, 上田・瀬川 1995, 上田・北角 1996, 上田・金田 1998, Ueta *et al.* 1999, Tokai and Ueta 1999, Yokogawa and Ueta 2000）。本論文はこれらの知見にその後の研究結果を加えるとともに徳島県のアオリイカ漁業の振興策を検討し、徳島県産アオリイカの資源生物学的研究としてまとめたものである。

アオリイカは閉眼類ジンドウイカ科 *Loliginidae* に属し、学名は *Sepioteuthis lessoniana* LESSON, 1830 が用いられている。Adam (1939) は上記の学名以後に公表された 10 余りの種名をすべて異名とした結果、*S. lessoniana* の分布範囲は、東はインド洋西部、紅海から、西はハワイ諸島、北は北海道、南はオーストラリアに及んでいる。しかしながら、Adam (1939) がバング海のものとして図示した標本の鰭の形状が日本の個体と異なること、オーストラリアの個体とインドネシアの個体間には形態上の差があることが指摘されている（Lu and Tait 1983）。さらに、最近の研究では石垣島で観察され

た多様な産卵行動や卵囊および卵囊の付着基盤に差が認められたことから、石垣島に複数種が分布することが示唆された（Segawa *et al.* 1993a, 1993b）。さらに、アイソザイム分析および漏戸の色素胞の分布パターンの解析結果から、日本沿岸、特に沖縄地方を中心にシロイカ、アカイカおよびクアイカの 3 型のアオリイカが分布し、これらが種レベルで分化していることが明かにされた（瀬川 1994, Izuka *et al.* 1994, 1996a, 1996b）。

日本本土では、徳島県で初めてアカイカ型が分布することが報告されているが（Izuka *et al.* 1996a, 1996b）、その採集事例は極めて少なく、鹿児島以北に分布するアオリイカの大部分はシロイカ型である。

アオリイカの生態に関する研究は、分布・移動・回遊、繁殖、成長と寿命および行動などに大別される。このうち、飼育実験も含めたアオリイカの産卵、ふ化、初期生活史等繁殖に関する研究が古くから実施されてきた。

卵からの飼育研究は、古くは山本（1943）によって初めて試みられ、ふ化稚仔の形態が観察されている。その後、崔・大島（1961）が卵内発生からふ化までの卵囊の形状や稚仔の成長について報告している。土屋（1982）は、西表島でふ化後 306 日の長期間に及ぶ飼育を初めて成功させている。さらに、Segawa (1987, 1990, 1991, 1993) は、卵内発生の経時変化を詳細にとらえるとともに水温とふ化率や稚仔の生残率および成長等稚仔期の生理的特性を詳細に明らかにしている。最近では、テキサス大学医生物研究所のチーム（Lee *et al.* 1994）が 3 世代に及ぶ長期間の飼育を成功させている。

アオリイカの成長や寿命に関する研究は、古くは村上・真道（1949）によって実施され、同時期に大型個体から小型個体まで漁獲されることから、その群は 1～6 歳と見なされた。上田・城（1989）は周年に及ぶ雌雄別外套背長組成の季節変化から、寿命を約 1 年とみなし、早生まれ群は大型に、遅生まれ群は小型のまま成熟することを報告した。その後、Jackson (1989) はオーストラリア産の個体について、Jackson *et al.* (1993) は飼育個体について平衡石から主として小中型個体の成長や寿命を日単位で推定した。飼育実験やこれらの結果から総合的に判断してアオリイカの寿命は約 1 年と推定される。

アオリイカの産卵期は、生殖腺の成熟状況（沖縄水試 1975, 内野 1978, Segawa 1987, 上田・城 1989, 上田ら 1995）および卵囊塊の出現時期（崔・大島 1961,

鈴木ら 1983, 道津ら 1981, 土屋 1981, Segawa 1987, 上田ら 1992, 上田・瀬川 1995) から推定されており, 沖縄や西表島では春, 夏, 秋の 3 回の産卵がみられるのに対して, 九州以北では概ね 4 ~ 9 月の範囲に産卵期があることが報告されている。また, 和田 (1993), 和田・小林 (1994) および小林・河野 (1995) は, 成熟した親イカの飼育実験からアオリイカが 1 回の産卵期の中で多回の交接と産卵を行うことを初めて報告している。

分布・移動・回遊については, 標識放流や漁業実態(道津ら 1981, Segawa 1987, 上田・城 1990, 安達 1993)からの推定が試みられているが, 全国的な回遊経路の把握には至っていない。

これらの生物学的研究に加えて, 応用研究として養殖試験(伊野波・瀬底 1967, 瀬底 1967, 笹生 1979, Yu and Tung 1989)およびアオリイカの巨大神経を神経

生理学的研究に常時供給する大量培養試験 (Lee *et al.* 1994) が試みられている。また, アオリイカの増殖を目的とした人工産卵礁の開発のための基礎試験(上田ら 1995, 上田・北角 1996)が実施されている。

以上のように, アオリイカの研究は 1940 年代に始まり 1980 年代には断片的ながらも本格的な研究がみられるようになり, 1990 年代に研究者および研究事例が増加し, 研究内容に大きな進展がみられつつある。

そこで, 本研究では徳島県沿岸において漁獲されるアオリイカの大部分を占めるシロイカ型の資源を有効に利用することを目的として, 徳島県沿岸に分布するアオリイカのシロイカ型の分布・移動・回遊, 生活史および漁業の実態を明らかにするとともに, これらの知見に基づいて年級群の成長および資源豊度の変動機構を解明し, より具体的に資源の有効利用方策を検討した。

第1章 分布・移動・回遊

漁業対象生物の増殖手段を講じたり、資源の管理を行う上で、まず、対象種の分布、移動および回遊を明らかにする必要がある。本章では、徳島県に分布するアオリイカの日本産アオリイカの中での個体群生態学的位置づけを明らかにするとともに分布・移動・回遊や季節移動を明らかにすることを目的にアイソザイム分析、漁業実態調査および標識放流を行った。

1. アイソザイム分析からみた徳島県産アオリイカの生物地理学的位置づけ

徳島県に分布するアオリイカの日本沿岸産アオリイカの中での個体群生態学的位置づけを明らかにするため、日本各地に生息するアオリイカを入手し、アイソザイム分析による集団遺伝学的解析を行い、徳島県産アオリイカとの遺伝的類縁関係について調べた。

材料と方法

本研究に用いたアオリイカは1997年9月から1998年2月に日本各地の11カ所から入手したものである (Table 1-1-1, Fig.1-1-1)。得られた標本は、石川から39、京都から32、佐賀から36、鹿児島から54、宮崎から26、徳島の瀬戸内海側の北灘から32と太平洋側の牟岐から63、三重から31、静岡から24、千葉から51および沖縄からの22個体の計410個体である。標本は採集後、速やかに-30℃の冷凍庫で凍結し、電気泳動

を行うまで凍結保存した。

電気泳動には、口球、肝臓、盲嚢および外套筋の4組織からの抽出液を用いた。半解凍の状態で標本を切開してそれぞれの組織約1gを摘出した。取り出した組織は1.5 mlマイクロチューブに収容し、口球、肝臓および外套筋には100 μ lの蒸留水を加え、盲嚢はそのままホモジナイズした。これを0℃の条件下で15,000回転/分、10分間の遠心分離を施し、その上清を電気

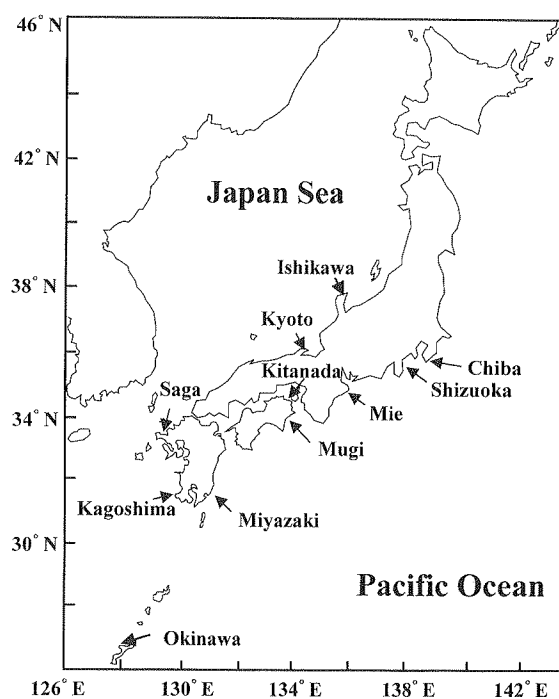


Fig. 1-1-1. Collection localities of the specimens of the oval squid examined for biochemical study of population heterogeneity.

Table 1-1-1. Data of the specimens of oval squid examined for electrophoresis or biochemical study of the population heterogeneity

Locality	Collection date	Catching method	Specimen number
Ishikawa (Uchiura)	Oct. 15, 1997	Small set net	39
Kyoto (Ine)	Oct. 27, 1997	Small set net	32
Saga (Karatsu)	Oct. 14, 1997	Small set net	36
Kagoshima (Kasasa)	Oct. 22,29, 1997	Small set net	54
Miyazaki (Nango)	Feb. 17, 1998	Small set net	26
Tokushima (Mugi,Hiwasa)	Oct.1—Nov.10, 1997	Small set net, Jigging	63
Tokushima (Kitanada)	Oct. 15, 1997	Small set net	32
Mie (Hamajima)	Nov.27, Dec.10, 1997	Small set net	31
Shizuoka (Kawana,Atami)	Sep.22—Nov.21, 1997	Small set net, Square lift net	24
Chiba (Tateyama)	Nov.6-16, 1997	Small set net	51
Okinawa (Ie Is.)	Nov.10, Dec.12, 1997	Small set net	22 ^{*1}

*1 All the specimens are genetically identified as AKAIKA.

泳動の試料として用いた。

電気泳動は、デンブングゲルを支持体とした水平式泳動法により、検出したすべての酵素およびタンパク質に対して緩衝液としてクエン酸アミノプロピルモルフォリン(pH6.0)を用いた。泳動実験方法の詳細については、Yokogawa(1997)に従った。酵素および遺伝子座の表記法は Shaklee *et al.*(1990)に従い、対立遺伝子は最も頻度の高い遺伝子(陽極側については *100, 陰極側については *-100)に対する相対的な移動距離で表わし、あわせて頻度の順に A からアルファベットの符号を与えて表記した。次に、対立遺伝子ごとのライトの固定指数(FST)と集団間の遺伝子分化係数(GST)を大羽の

計算方法(1977)によって求めた。さらに、得られた各集団の遺伝子頻度から、Nei(1979)による集団間の遺伝的距離(D 値)を計算し、UPGMA 法によりデンドログラムを作成した。

結 果

電気泳動により、Table 1-1-2 に示す 21 酵素および 1 非酵素タンパクにおいて安定した活性が認められ、計 34 遺伝子座を推定した。その他にもアスパラギン酸アミノ転移酵素の AAT-2*(口球), 酸性フォスファターゼの ACP-2* (肝臓), デイアフォラーゼの DIA-2* (口球), グリセリン 3 リン酸脱水素酵素の G3PDH-4* (肝臓), 乳

Table 1-1-2. Enzymes, protein and tissues of oval squid examined for the biochemical study of the population heterogeneity

Enzyme or protein name	Enzyme number	Locus	Subunit structure	Tissue
Aspartate aminotransferase	2.6.1.1	<i>AAT-1*</i>	Dimeric	Buccal mass
Acid phosphatase	3.1.3.2	<i>ACP-1*</i>		Caecum
		<i>ACP-3*</i>	Monomeric	Liver
Alakaline phosphatase	3.1.3.1	<i>ALP*</i>	Tetrameric	Liver
Creatine kinase	1.6.99.7	<i>CK*</i>		Buccal mass
Diaphorase	1.6.-.-	<i>DIA-1*</i>		Buccal mass
Fructose biphosphate aldolase	4.1.2.3	<i>FBALD-1*</i>	Tetrameric	Buccal mass
		<i>FBALD-2*</i>	Tetrameric	Buccal mass
Fumarate hydratase	4.2.1.2	<i>FH*</i>	Tetrameric	Buccal mass
Glycerol-3-phosphate dehydrogenase	1.1.1.8	<i>G3PDH-1*</i>	Tetrameric	Buccal mass
		<i>G3PDH-2*</i>		Buccal mass
		<i>G3PDH-3*</i>	Tetrameric	Liver
Glyceraldehyde-3-phosphate dehydrogenase	1.2.1.12	<i>GAPDH-1*</i>		Buccal mass
		<i>GAPDH-2*</i>	Monomeric	Buccal mass
Glucose-6-phosphate isomerase	5.3.1.9	<i>GPI-1*</i>		Buccal mass
		<i>GPI-2*</i>	Dimeric	Buccal mass
Çk-Iditol dehydrogenase	1.1.1.14	<i>IDDH*</i>	Tetrameric	Buccal mass
Isocitrate dehydrogenase (NADP ⁺)	1.1.1.42	<i>IDHP*</i>		Buccal mass
Leucine aminopeptidase	3.4.11.1	<i>LAP*</i>	Monomeric	Liver
Lactate dehydrogenase	1.1.1.27	<i>LDH-1*</i>		Buccal mass
		<i>LDH-4*</i>		Buccal mass
Malate dehydrogenase	1.1.1.37	<i>MDH-1*</i>	Dimeric	Mantle muscle
		<i>MDH-2*</i>		Mantle muscle
		<i>MDH-3*</i>		Mantle muscle
		<i>MDH-4*</i>		Buccal mass
		<i>MDH-5*</i>		Buccal mass
Malic enzyme (NADP ⁺)	1.1.1.40	<i>MEP*</i>	Tetrameric	Liver
Mannose-6-phosphate isomerase	5.3.1.8	<i>MPI*</i>		Buccal mass
Phosphogluconate dehydrogenase	1.1.1.44	<i>PGDH*</i>	Dimeric	Buccal mass
Phosphoglucomutase	5.4.2.2	<i>PGM*</i>	Monomeric	Buccal mass
General protein		<i>PROT-1*</i>		Buccal mass
		<i>PROT-2*</i>	Monomeric	Mantle muscle
Superoxide dismutase	1.15.1.1	<i>SOD*</i>		Caecum
Xantine dehydrogenase	1.1.1.204	<i>XDH*</i>	Dimeric	Liver

酸脱水素酵素の *LDH-2**, *LDH-3**, *LDH-5**(口球)およびオクタノール脱水素酵素の *ODH**(盲囊)の8遺伝子の存在が認められたが、個体によってバンドの収斂が不十分であったために解析に用いることができなかった。

まず、多型的遺伝子座において Hardy-Weinberg の法則への適合性をすべての集団について χ^2 検定によって調べた。その結果、全ての集団のすべての遺伝子座に

おいて 5% 水準での有意差は認められず、すべて単一のメンデル集団に由来するものと考えられた。

調べた 34 遺伝子座の遺伝子頻度および各集団の遺伝的諸特性値の一覧を Table 1-1-3、特徴的な遺伝子座における泳動像を Fig.1-1-2 に示した。沖縄産の全ての個体では他の集団と、アスパラギン酸アミノ転移酵素 (*AAT-1**)、酸性フォスファターゼ (*ACP-1**, *ACP-3**)、デアミノラーゼ (*DIA-1**)、イソクエン酸脱水素酵素

Table 1-1-3. Allelic frequencies with values to indicate genetic features of oval squid populations

Locus	Allele	Ishikawa	Kyoto	Saga	Kagoshima	Miyazaki	Mugi	Kitanada	Mie	Shizuoka	Chiba	Okinawa	FST*1
<i>AAT-1*</i>	*105B	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.021	0.000	0.000	0.030
	*100A	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.979	1.000	0.000	0.030
	*75C*2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	—
<i>ACP-1*</i>	*-85B*2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	—
	*-100A	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	—
<i>ACP-3*</i>	*-70D*5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	—
	*-100A	1.000	1.000	1.000	0.952	1.000	1.000	1.000	1.000	0.958	0.941	0.000	0.032
	*-105C	0.000	0.000	0.000	0.038	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.059	0.000	0.031
	*-115 B	0.000	0.000	0.000	0.010	0.000	0.000	0.000	0.000	0.042	0.000	0.000	0.040
<i>ALP*</i>	*-75C	0.095	0.083	0.014	0.096	0.120	0.078	0.094	0.000	0.208	0.098	0.091	0.037
	*-100A	0.649	0.600	0.714	0.712	0.660	0.698	0.672	0.667	0.604	0.667	0.659	0.006
	*-120B	0.257	0.317	0.271	0.192	0.220	0.224	0.234	0.333	0.188	0.235	0.250	0.011
<i>CK*</i>	*0A	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	—
<i>DIA-1*</i>	*110B*2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	—
	*100A	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	—
<i>FBALD-1*</i>	*115B	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.017	0.000	0.000	0.021	0.000	0.000	0.015
	*100A	1.000	0.974	0.986	1.000	1.000	0.983	1.000	1.000	0.938	1.000	1.000	0.032
	*85C	0.000	0.026	0.014	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.042	0.000	0.000	0.025
<i>FBALD-2*</i>	*100A	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.990	1.000	0.006
	*50B	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.010	0.000	0.006
<i>FH*</i>	*100A	1.000	1.000	0.958	1.000	1.000	0.981	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.033
	*95B	0.000	0.000	0.042	0.000	0.000	0.019	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.033
<i>G3PDH-1*</i>	*125C	0.000	0.000	0.000	0.009	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.010	0.000	0.005
	*100A	1.000	1.000	0.931	0.972	1.000	0.982	0.984	0.976	0.917	0.931	0.932	0.029
	*95B	0.000	0.000	0.069	0.019	0.000	0.018	0.016	0.024	0.083	0.059	0.068	0.030
<i>G3PDH-2*</i>	*-100A	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	—
<i>G3PDH-3*</i>	*120B	0.244	0.188	0.153	0.157	0.269	0.185	0.192	0.210	0.125	0.234	0.21	0.011
	*100A	0.744	0.797	0.819	0.833	0.654	0.778	0.788	0.742	0.854	0.734	0.737	0.018
	*80C	0.013	0.016	0.028	0.010	0.077	0.037	0.019	0.048	0.021	0.032	0.053	0.013
<i>GAPDH-1*</i>	*0A	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	—
<i>GAPDH-2*</i>	*-100A	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.988	1.000	1.000	1.000	0.977	1.000	0.009
	*-150B	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.012	0.000	0.000	0.000	0.023	0.000	0.009
<i>GPI-1*</i>	*100A	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	—
<i>GPI-2*</i>	*100A	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.983	1.000	0.989	1.000	0.011
	*65B	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.017	0.000	0.011	0.000	0.011
<i>IDDH*</i>	*150B	0.038	0.078	0.028	0.039	0.021	0.055	0.047	0.100	0.077	0.059	0.000	0.011
	*105C*2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.091	—
	*100A	0.962	0.922	0.972	0.961	0.979	0.945	0.953	0.900	0.923	0.941	0.886	0.011
	*95D*2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.023	—
<i>IDHP*</i>	*100A	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	—
	*60B*2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	—

(*IDHP**) の 5 遺伝子座で対立遺伝子が完全置換していた (Fig. 1-1-2, Table 1-1-3)。

アオリイカには、シロイカ、アカイカおよびクアイカと呼ばれる生物学的に別種と考えられる遺伝的に高度に分化した 3 型の存在が知られている (Izuka *et al.* 1994, Izuka *et al.* 1996b)。本研究で調べた沖縄産の個体の泳動像は Izuka *et al.* (1994) によって示されたア

カイカ型のそれによく一致し、他のすべての集団ではシロイカ型のそれに一致した。このように、沖縄で得られたすべての個体は遺伝的にアカイカ型と判断されたので、以後この集団を“アカイカ型”として他のシロイカ型集団と区別した (Table 1-1-3)。

シロイカ型の集団では *LDH-4** 遺伝子座が特徴的で、石川、京都および佐賀の集団のそれは *-60 (B) 遺伝子

Table 1-1-3. Continued

Locus	Allele	Ishikawa	Kyoto	Saga	Kagoshima	Miyazaki	Mugi	Kitanada	Mie	Shizuoka	Chiba	Okinaawa	FST*1
<i>LAP</i> *	*135B	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.008	0.016	0.000	0.000	0.000	0.000	0.010
	*120C	0.128	0.016	0.000	0.039	0.077	0.000	0.000	0.000	0.021	0.041	0.045	0.052
	*100A	0.872	0.984	1.000	0.961	0.923	0.983	0.984	0.984	0.979	0.959	0.955	0.038
	*80D	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.008	0.000	0.016	0.000	0.000	0.000	0.010
<i>LDH-1</i> *	*100A	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	—
<i>LDH-4</i> *	*-60B	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.165
	*-100A	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.165
<i>MDH-1</i> *	*120B	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.016	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.009
	*100A	1.000	1.000	0.958	0.991	0.981	0.984	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.019
	*90C	0.000	0.000	0.042	0.009	0.019	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.027
<i>MDH-2</i> *	*100A	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	—
<i>MDH-3</i> *	*100A	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	—
<i>MDH-4</i> *	*-100A	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	—
<i>MDH-5</i> *	*-100A	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	—
<i>MEP</i> *	*125E	0.013	0.031	0.028	0.009	0.058	0.024	0.033	0.000	0.000	0.010	0.048	0.015
	*115C	0.289	0.094	0.236	0.274	0.250	0.167	0.150	0.161	0.174	0.225	0.238	0.021
	*100A	0.592	0.813	0.556	0.594	0.558	0.635	0.717	0.790	0.543	0.588	0.571	0.038
	*80B	0.105	0.063	0.167	0.113	0.115	0.159	0.100	0.048	0.283	0.176	0.119	0.035
	*55D	0.000	0.000	0.014	0.009	0.019	0.016	0.000	0.000	0.000	0.000	0.024	0.009
<i>MPI</i> *	*100A	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	—
<i>PGDH</i> *	*140D	0.013	0.031	0.000	0.009	0.000	0.000	0.016	0.016	0.000	0.000	0.000	0.013
	*135C	0.038	0.047	0.097	0.065	0.115	0.087	0.078	0.000	0.083	0.029	0.045	0.019
	*100A	0.910	0.859	0.847	0.889	0.865	0.833	0.859	0.903	0.917	0.912	0.955	0.008
	*65B	0.038	0.063	0.056	0.037	0.019	0.079	0.047	0.081	0.000	0.059	0.000	0.012
<i>PGM</i> *	*-60C	0.000	0.016	0.000	0.009	0.000	0.008	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.007
	*-100A	0.987	0.953	0.972	0.935	0.942	0.960	0.953	0.935	0.938	0.941	1.000	0.006
	*-140B	0.013	0.031	0.028	0.056	0.058	0.032	0.047	0.065	0.063	0.059	0.000	0.007
<i>PROT-1</i> *	*100A	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	—
<i>PROT-2</i> *	*100A	1.000	1.000	1.000	1.000	0.980	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.028
	*80B	0.000	0.000	0.000	0.000	0.020	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.028
<i>SOD</i> *	*100A	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	—
<i>XDH</i> *	*100A	0.971	0.983	1.000	1.000	1.000	0.919	1.000	1.000	1.000	1.000	0.958	0.032
	*75B	0.029	0.017	0.000	0.000	0.000	0.081	0.000	0.000	0.000	0.000	0.042	0.032
Alleles/Locus		1.412	1.471	1.485	1.606	1.441	1.618	1.412	1.353	1.469	1.529	1.424	
P*		0.147	0.147	0.152	0.152	0.176	0.176	0.118	0.176	0.250	0.235	0.152	
P		0.088	0.118	0.152	0.152	0.088	0.206	0.118	0.088	0.094	0.118	0.091	
P+P*		0.235	0.265	0.303	0.303	0.265	0.382	0.235	0.265	0.344	0.353	0.242	
Average	Ho	0.055	0.045	0.058	0.054	0.066	0.058	0.045	0.049	0.058	0.060	0.065	
Heterozygosity	He	0.059	0.053	0.061	0.058	0.065	0.064	0.052	0.052	0.070	0.066	0.063	
	Ho/He	0.944	0.858	0.953	0.915	1.012	0.903	0.860	0.941	0.831	0.900	1.024	

*1 Fixation index calculated without AKAICA. *2 Peculiar allele to AKAICA.

P*, Polymorphism less than 0.95. Ho, Observed heterozygosity.

P, Polymorphism over 0.95. He, Expected heterozygosity.

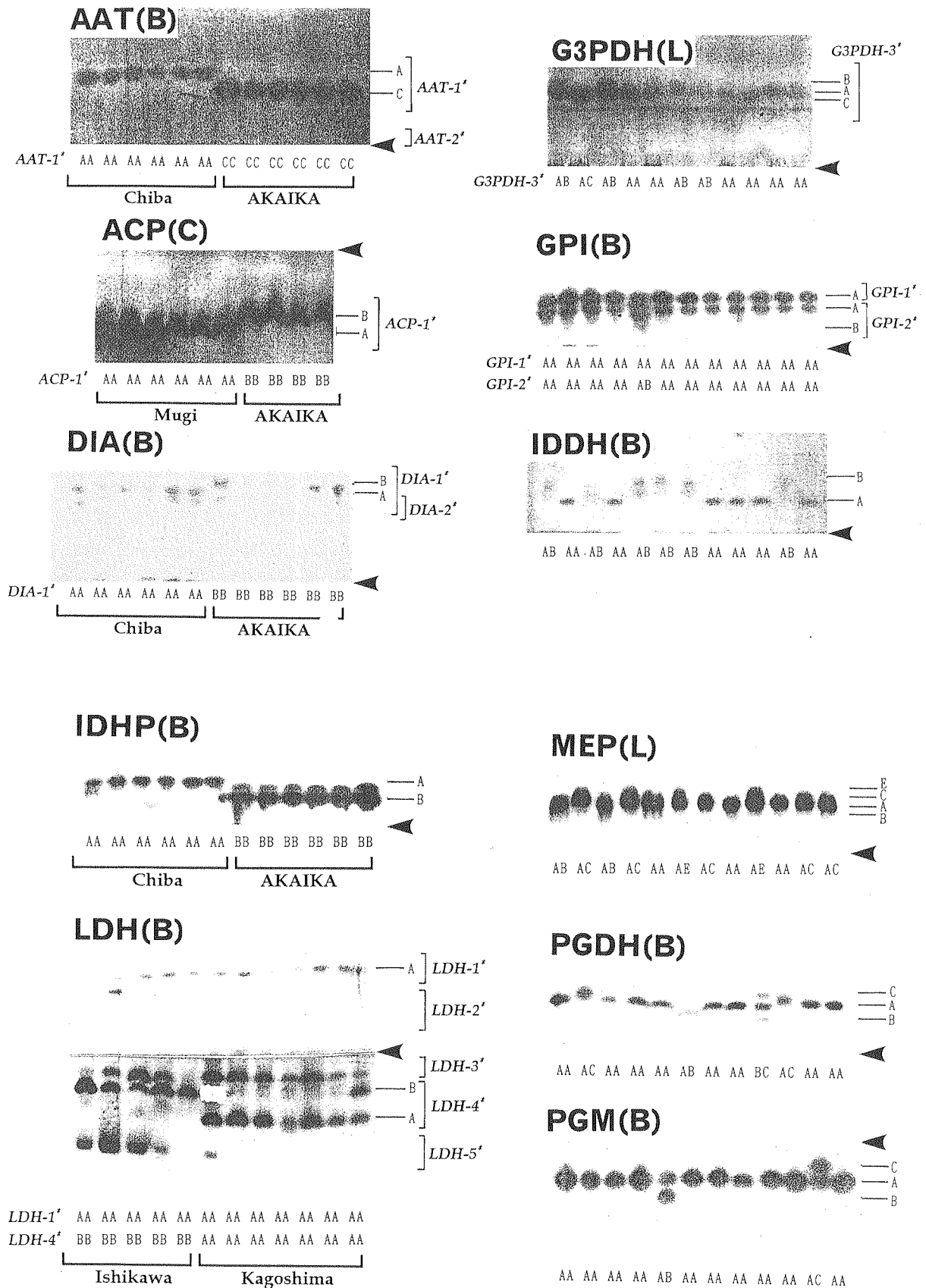


Fig. 1-1-2. Selected electrophoretograms of significant loci in oval squid. capital alphabet letters following the enzyme or protein name abbreviation indicate tissue ; B, Buccal mass ; C, caecum ; L, Liver ; M, Mantle muscle. Arrows indicate origins of electrophoresis.

で占められていたが、その他の集団では *100 (A) 遺伝子で固定され、対立遺伝子が完全置換していた (Fig.1-1-2, Table 1-1-3)。前者は日本海産、後者は瀬戸内海および鹿児島県西海岸を含む太平洋産であり (Fig.1-1-1)、日本海と太平洋のグループの間で対立遺伝子が完全置換していた。

シロイカ型集団のその他のアイソザイムについては、アルカリ性フォスファターゼ *ALP**、グリセリン3リン酸脱水素酵素 *G3PDH-3** およびマリックエンザイム *MEP** など でかなり高い遺伝的多様性がみられ、特に *MEP** 遺伝子座では *125 (E), *115 (C), *100 (A), *80 (B) および 55 (B) の 5 遺伝子が確認され、各集団毎に独特の遺伝的組成を示した (Fig.1-1-2, Table 1-1-3)。

アカイカ型のデータを除いて計算された固定指数 (FST) は、*ACP-3**, *ALP**, ロイシニアミノペプチダーゼ *LAP**, *LDH-4**, *MEP** およびヒポキサンチン *XDH** などの遺伝子座でかなり高い値を示し、集団によってかなりの変異が認められ、*LDH-4** 遺伝子座で FST は著しく高い値を示した (Table 1-1-3)。これは、前述のようにこの遺伝子座において対立遺伝子が完全置換している集団が存在することによるものである (Fig.1-1-2, Table 1-1-3)。また、シロイカ型における集団間の遺伝子分化係数 (GST) は 0.2215 となり、集団間の遺伝分化の程度が高いことが示唆された。

アイソザイム系遺伝子の頻度から計算された Nei

(1972) の集団間の遺伝的距離 (D 値)、および χ^2 検定により遺伝子頻度に有意差が認められた遺伝子座数を Table 1-1-4 に示す。また、集団間の遺伝的距離 (Table 1-1-4) から UPGMA 法により作成した集団間の遺伝的類縁関係を Fig.1-1-3 に示した。

沖縄のアカイカ型集団は他の地域のシロイカ型集団から遺伝的に大きく離れており、多くの遺伝子座においてシロイカ型集団と遺伝子頻度に有意差が認められた (Table 1-1-4)。アカイカ型とシロイカ型集団との間の遺伝的距離の平均値は約 0.18 となり、明らかに種間の水準 (根井 1990) に達していた。

また、シロイカ型では、石川、京都および佐賀の集団 (日本海産グループ) がひとつのクラスターを形成し、一方その他の集団 (太平洋グループ) もひとつのクラスターにまとまった。そして、これら 2 つのクラスター間の遺伝的距離は 0.03 をととなり、亜種間の水準 (根井 1990) に達していた (Fig.1-1-2, Table 1-1-3)。これらのうち、徳島県の太平洋岸で得られた牟岐の集団と瀬戸内海の播磨灘で得られた北灘の集団はいずれも、遺伝的に酷似しており、太平洋グループに属することが明らかになった。

考 察

本研究の結果から、Izuka *et al.* (1994) および Izuka *et al.* (1996b) が報告したようにアカイカ型とシロイカ型の関係は遺伝的に高度に分化していることが再確

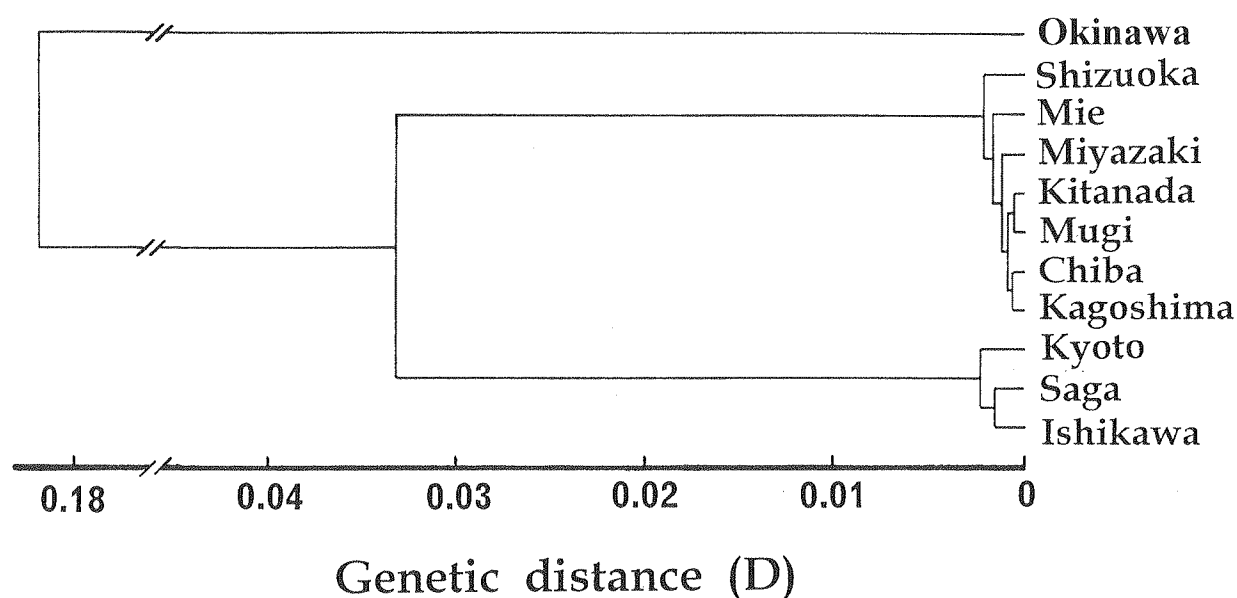


Fig. 1-1-3. Biochemical similarity dendrogram based on genetic distance among thecal squid by locality.

Table 1-1-4. Nei's genetic distance (D value) among localities (below the oblique line), with numbers of loci in which significant differences in allelic frequencies among localities were recognized by chi-square test (over the oblique line)

	Ishikawa	Kyoto	Saga	Kagoshima	Miyazaki	Mugi	Kitanada	Mie	Shizuoka	Chiba	Okinawa
Ishikawa		2	3	3	1	3	2	4	5	4	8
Kyoto	0.0021		1	2	2	3	1	2	2	3	8
Saga	0.0015	0.0023		2	4	2	2	3	2	4	7
Kagoshima	0.0326	0.0337	0.0324		1	4	0	3	2	0	6
Miyazaki	0.0325	0.0344	0.0334	0.0011		1	1	4	3	1	6
Mugi	0.0331	0.0330	0.0326	0.0008	0.0012		1	4	4	3	6
Kitanada	0.0329	0.0321	0.0327	0.0007	0.0012	0.0005		2	1	1	6
Mie	0.0337	0.0321	0.0337	0.0019	0.0024	0.0014	0.0007		3	2	8
Shizuoka	0.0344	0.0350	0.0336	0.0014	0.0025	0.0017	0.0019	0.0037		2	5
Chiba	0.0327	0.0338	0.0328	0.0005	0.0008	0.0008	0.0008	0.0016	0.0013		6
AKAIKA	0.2089	0.2100	0.2095	0.1694	0.1720	0.1720	0.1710	0.1719	0.1708	0.1696	

認められた。いずれの結果もアカイカ型とシロイカ型が種間の水準で遺伝的に分化していることを示しており、アカイカ型とシロイカ型は別種として扱うべきものであると考えられる。形態学的にも Izuka *et al.* (1996a) は漏斗の色素胞の分布パターンからアカイカ型、シロイカ型およびクアイカ型が識別できることを報告している。また、Segawa *et al.* (1993a, 1993b) は産卵行動時の親イカの習性や卵囊塊および卵囊塊付着基質の形状が3者に差がみられることを報告している。これらの結果も3型の生物学的独立性を示すものである。

既に、徳島県太平洋岸においてアカイカ型が分布することが報告されているが (Izuka *et al.* 1996a, 1996b), その採集事例は極めて少なく、本研究においても徳島を含めて日本本土ではアカイカ型の存在は認められなかった。Izuka *et al.* (1996a, 1996b) により、本土で初めて確認されたアカイカ型3個体が、徳島県地先で再生産されたものか、稚仔期に黒潮により輸送されたものか、今後、さらなる研究が必要である。いずれにせよ、鹿児島以北に分布するアオリイカの大部分はシロイカ型であることが再確認された。

シロイカ型の日本海と太平洋のグループ間において LDH-4* 遺伝子座で対立遺伝子が完全置換していることは注目に値するが (Fig.1-1-2, Table1-1-3), このような遺伝的な差異が生じた原因については明らかでない。また、長崎で標識放流された個体が鹿児島西海岸で再捕されたこと (道津ら 1981) や沖縄にシロイカ型が生息していること (Izuka *et al.* 1996a, 1996b) から判断して、シロイカ型の日本海と太平洋のグループの系群としての位置づけを明確にするには、佐賀から鹿児島西海岸にかけて遺伝的類縁関係や九州の個体群と

沖縄のシロイカ型との関係を明らかにするとともに生物地理学的な検討を行う必要がある。

アオリイカばかりでなく、シロウオ *Leucopsarion petersi* (岸本ら 1998), キヌバリ *Pterogobius elapoides* (田口 1989, 萩原 1997), カタクチイワシ *Engraulis japonica* (横川 1998) およびサザエ *Turbo cornutus* (Kojima *et al.* 1997) などいくつかの海洋生物でも太平洋と日本海で形態や遺伝的特性が異なる現象が報告されている。ハゼ類2種については日本海と太平洋の間で明らかな形態的二型を示している。カタクチイワシについては、アイソザイム分析の結果、本研究のシロイカ型と同様に日本海側と太平洋側の集団で遺伝的に異なることが明らかにされており、横川 (1998) は、二つのグループの分布は日本列島に沿って流れる黒潮と対馬海流によって規定されることを示唆した。シロイカ型の場合もこのような仮説で日本海系と太平洋系の遺伝的分化が説明できるかもしれない。

本研究において北灘と牟岐の集団が太平洋のグループに属し、両者が非常に高い遺伝的類似性を有することが明らかになった (Table 1-1-4)。漁業実態調査から徳島県沿岸のアオリイカ (シロイカ型) は冬季に温暖な水域を求めて沖合へ移動することや分布の中心は太平洋側にあり、高水温となる5～12月にかけては瀬戸内海の播磨灘や紀伊水道まで分布域を拡大することが報告されている (上田 1992)。本研究のアイソザイム分析による結果は瀬戸内海の北灘の個体群が太平洋の個体群と同一群であることを示すものであり、瀬戸内海の北灘の個体群が太平洋の個体群に由来するというこれまでの結果を支持するものとなった。

2. 分布と生息環境

アオリイカは、インド・太平洋域に広く分布し、日本でも北海道南部から沖縄にかけ連続的に分布することが報告されている（奥谷 1973）。徳島県沿岸においてもアオリイカは太平洋岸から播磨灘にかけ連続的に分布し、沿岸の重要な漁獲対象資源になっている（上田 1992）。

しかしながら、アオリイカの漁獲統計については、農林水産統計の調査対象種になっておらず、その他のイカ類としてまとめられているに過ぎない。漁獲統計の整備は、生態調査、漁況把握および資源管理型漁業を進めていくためには不可欠な資料である。本研究では、標本船調査により徳島県沿岸の各地の月別漁獲量を調べることで、徳島県沿岸の分布および漁獲状況を明らかにし、九州から東北までの各府県の月別漁獲量との比較を試みた。

材料と方法

徳島県におけるアオリイカの分布を明らかにするために、1985 年 4 月～1988 年 12 月に播磨灘沿岸の北灘地区、紀伊水道沿岸の和田島地区および太平洋岸の牟岐地区で、1990 年 1 月～1991 年 6 月に紀伊水道沿岸の中島地区の小型定置網標本船日誌各 1 統、合計 4 統および 1991 年 4 月～1997 年 3 月に紀伊水道南部で操業する大湊地区の小型底びき網標本船 1 隻に記帳されたアオリイカの漁獲量を調べた（Fig.1-2-1）。和田島地区については、1～4 月はワカメ養殖のため定置網漁業が行われなかった。定置網の設置水深は播磨灘が 27m 以浅、紀伊水道が 10m 以浅、太平洋岸が 20m 以浅で垣網は接岸している。底びき網については、網口の高さが 3～5m、網口幅 5.5m の網を用いて水深 50～70m で操業している。

アオリイカの分布に及ぼす水温の影響を明らかにするために 1968～1997 年の徳島県沿岸における海洋観測（水温と塩分）から各月毎の各調査定点（61 定点）における水深 10m の平均値（平年値）を求め、徳島県沿岸における水温と塩分の水平分布図と紀伊水道南部の水温の垂直分布図を作成した（Fig. 1-2-1, St.4-7）。

結果と考察

標本船日誌からみた灘別漁獲量

徳島県の播磨灘、紀伊水道、太平洋沿岸における小型定置網標本船日誌各 1 統の月別漁獲量の経月変化

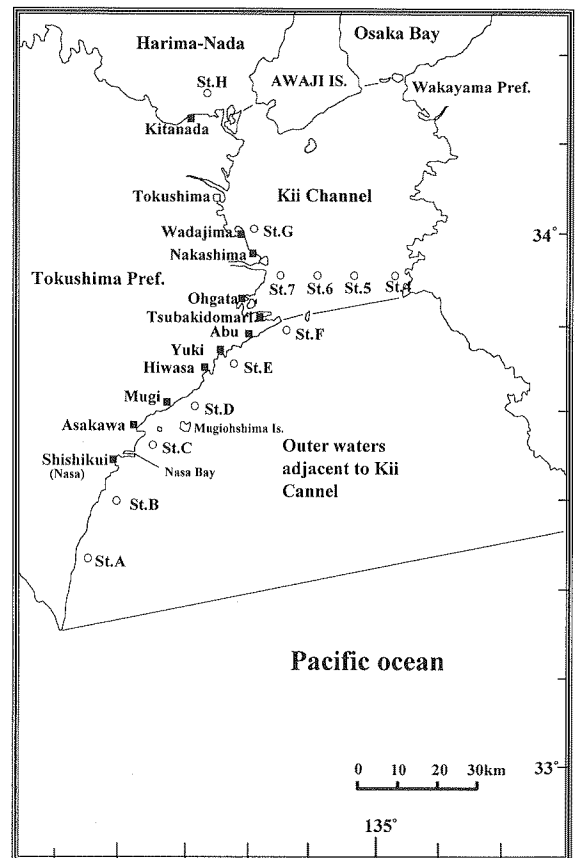


Fig. 1-2-1. Research area for oval squid around Tokushima Prefecture. Solid squares show the main fishing markets and open circles the stations for the monthly hydrographic data (water temperature in °C and salinity in psu). Meteorological data (average daily rainfall in mm atmospheric pressure in hPa) were recorded by the Tokushima Meteorological Observatory in Tokushima city (open square).

を Fig.1-2-2 に示した。各標本船における 1 統当たりの漁獲量の年計は太平洋岸（1434～1941 kg）、播磨灘（136～306 kg）、紀伊水道和田島地区（26～116 kg）、紀伊水道中島地区（26 kg）の順で、太平洋岸の漁獲量が圧倒的に大きかった。徳島県太平洋岸の定置網では周年漁獲がみられるのに対し、播磨灘および紀伊水道の定置網では 1～4 月の漁獲は認められない。播磨灘、紀伊水道では 5、6、7 月の漁獲が主体で、8～12 月の漁獲は比較的少なかった。徳島県太平洋岸におけるアオリイカの産卵期は 4～10 月の期間にあり、産卵群が 4～9 月に漁獲され、新規漁獲加入群が 9～12 月にまとめて漁獲される（上田・城 1989, 上田 1992, 上田・瀬川 1995）。紀伊水道や播磨灘で漁獲されるアオリイカの生殖腺の成熟や卵囊塊の出現時期は明らかにされていないが、夏季に播磨灘周辺の小鳴門海峡の

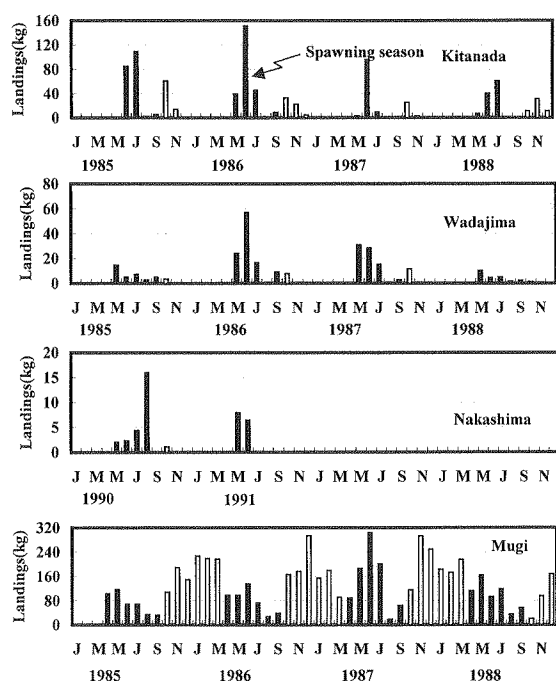


Fig. 1-2-2. Monthly change in landings of oval squid by small-sized set nets based on a catch-log-books research of sample boats at Kitanada, Wadajima Nakashima and Mugi fishing ports. Black solid columns show the catch during the spawning season.

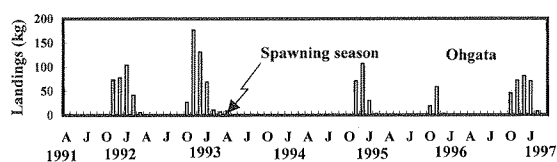


Fig. 1-2-3. Monthly change in landings of oval squid by small-sized trawler based on a catch-log-book research of sample boats at southern Kii Channel. Black solid columns show the catch during the spawning season.

アマモ場での潜水調査で卵囊塊が観察されていることや紀伊水道中部徳島県側の小型定置網に卵囊塊が付着していたこと（聞き取り調査）から、播磨灘および紀伊水道においても再生産が行われており、5～9月に漁獲されるアオリイカは産卵群であり、9～12月に漁獲されるものは新規漁獲加入群と推測された。各調査年ともに8,9月に各海域共通して漁獲量が減少しており、8,9月に産卵群が消滅し、9月以降に新規加入群が漁獲される世代交代によるものと考えられた（上田・城 1989, 1990）。また、紀伊水道南部における底びき網によるアオリイカの漁獲時期は、播磨灘および紀伊水道の定置網での漁獲があまりみられない10～3月の水温下降時期から低水温期が中心となっていることが明らかになった（Fig.1-2-3）。

水温変化に伴う分布と移動

徳島県沿岸において、アオリイカは水深 10m 前後に敷設された小型定置網で捕獲される。このことから、播磨灘、紀伊水道、太平洋岸の3海域における水深 10m 層の水温と塩分の水平分布および紀伊水道南部の垂直分布を調べた。（Fig.1-2-4～6）。この図から、太平洋岸では黒潮系の暖水の波及により1～4月の水温が最低でも 14℃ 以上を維持するのに対し、播磨灘で 9.0～12℃、紀伊水道東部では 10～13℃ に低下する。紀伊水道の水温の垂直分布をみると、12月までは 15℃ 以上あり、1, 2月には東側のごく一部が 14℃ 以上あるが、3月には全ての海域で 14℃ 以下になる。塩分分布をみると、7～10月にかけて、32～33psu の低塩分水塊が紀伊水道の徳島沿岸から海部沿岸にかけて張り出しており、この時期の 10m 層水に降雨の影響が認められる。

アオリイカは、インド・太平洋域に広く分布し、日本でも北海道南部から沖縄にかけ連続的に分布することが報告されており（奥谷 1973）、分布の中心は高水温域にあると考えられる。徳島県沿岸海域における水温分布と播磨灘および紀伊水道の小型定置網標本船の漁獲動向からみて、本来南方中心に分布するアオリイカ（Roper *et al.* 1984）は1～4月に播磨灘や紀伊水道北中部で生息することが困難な状況になるものと考えられる。底びき網の12～1月のまとまった漁獲は内海域の水温低下にともない、黒潮系水の影響を受け、より水温の高い紀伊水道南部海域へ移動した群が漁獲されたものと考えられる。

太平洋岸では水温が低下する1月から4月にかけてアオリイカの分布の中心が沖合に移行することが報告されている（上田・城 1990）。播磨灘においては、定置網が敷設されているにもかかわらず、1～4月に漁獲が認められなくなることから（Fig.1-2-2）、アオリイカは水温が 12℃ 以下になると、水温が 14℃ 以上ある太平洋岸や紀伊水道南東部の深場へ移動した可能性が強い。

他府県との比較

アオリイカの漁獲量の季節変化は長崎県五島（道津ら 1981）、佐賀県玄海域（異儀田 1991）、京都府沿岸（鈴木ら 1983）、千葉県小湊（Segawa 1987）から報告されている。安達（1988）によるアンケート調査によって全国的な漁獲動向が集約されている。長崎県五島に

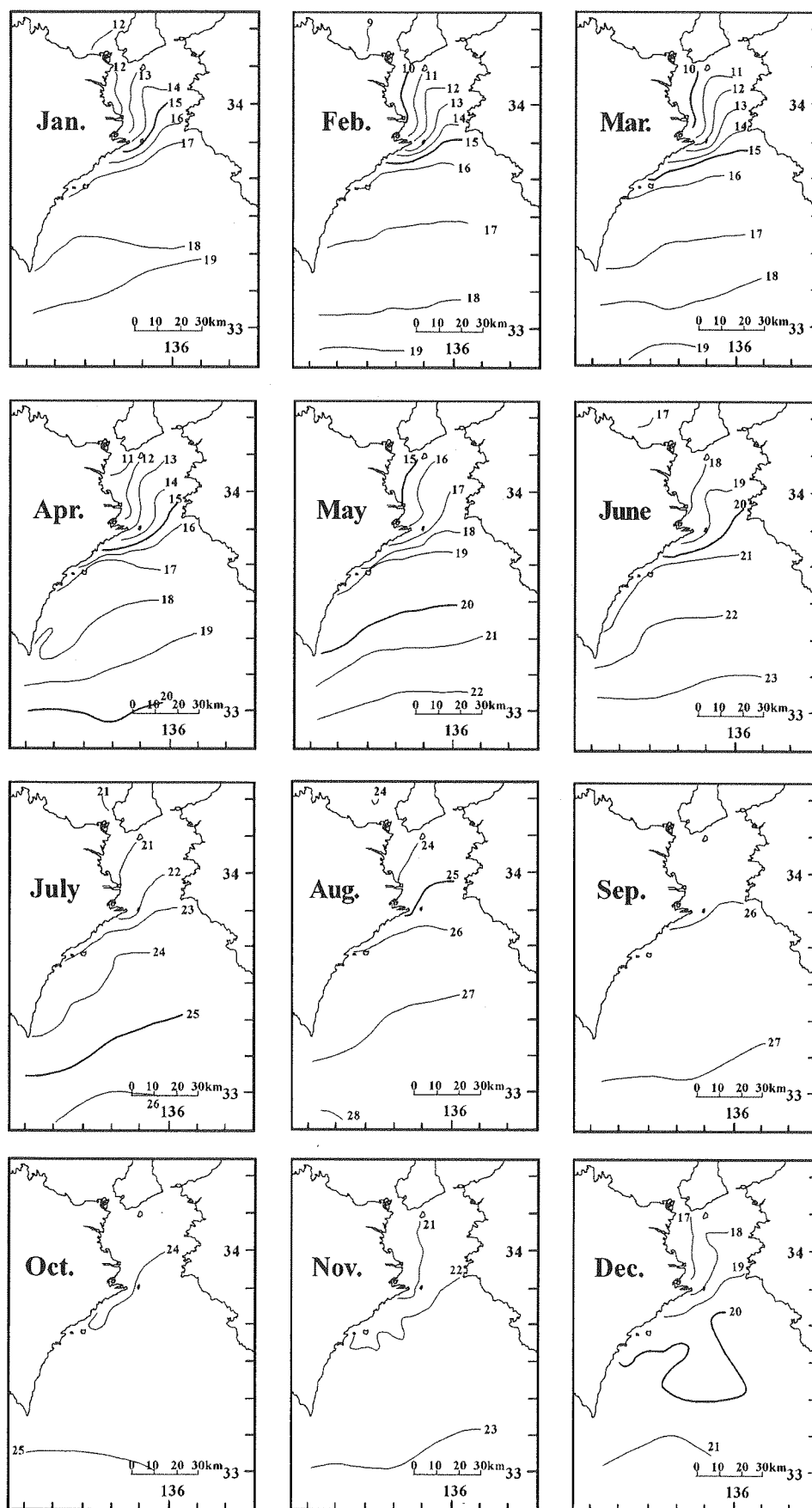


Fig. 1-2-4. Horizontal distributions of mean water temperature at 10m in depth around Tokushima Prefecture from 1968 to 1997.

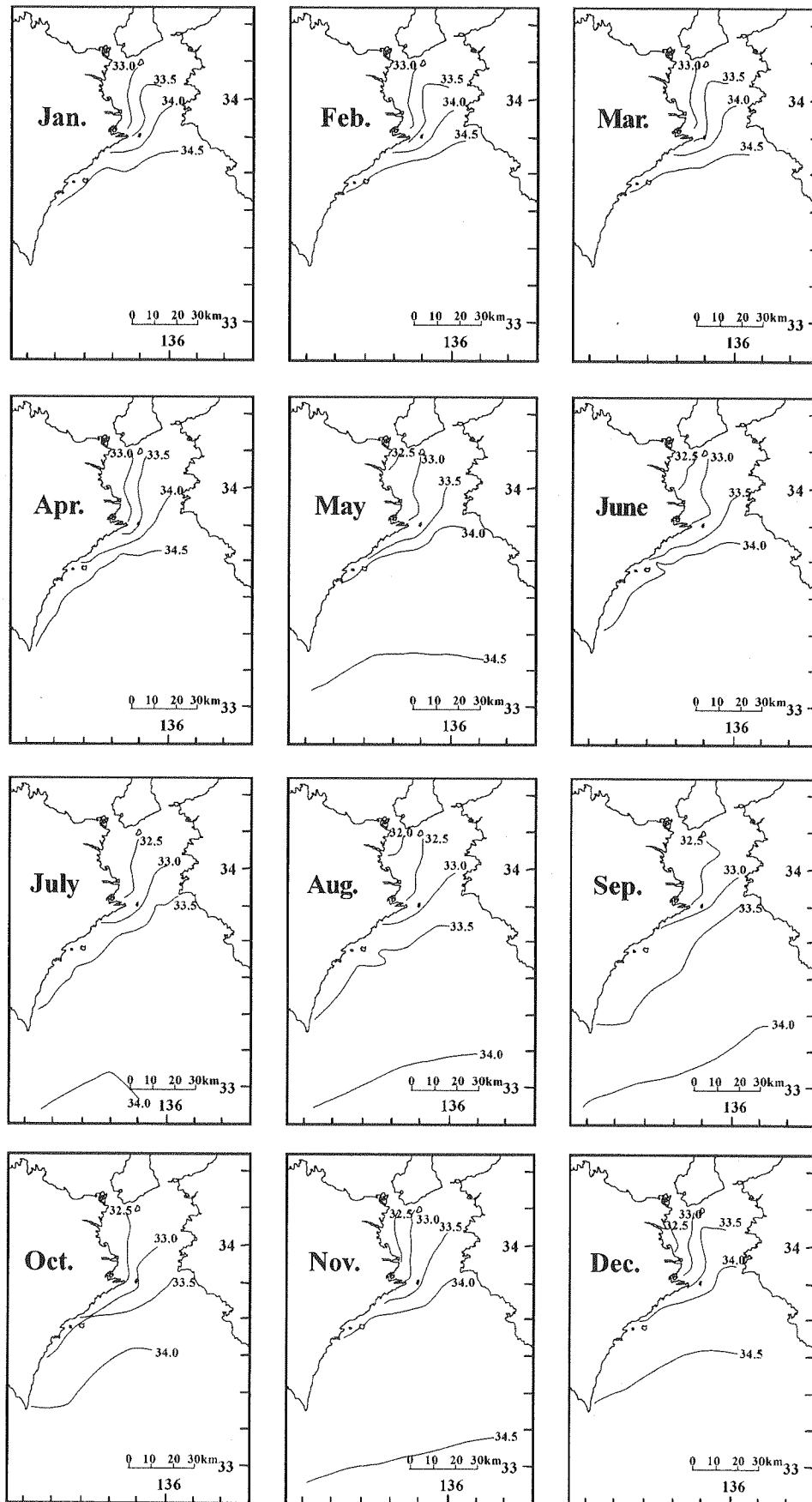


Fig. 1-2-5. Horizontal distributions of mean water salinity at 10m in depth around Tokushima Prefecture from 1968 to 1997.

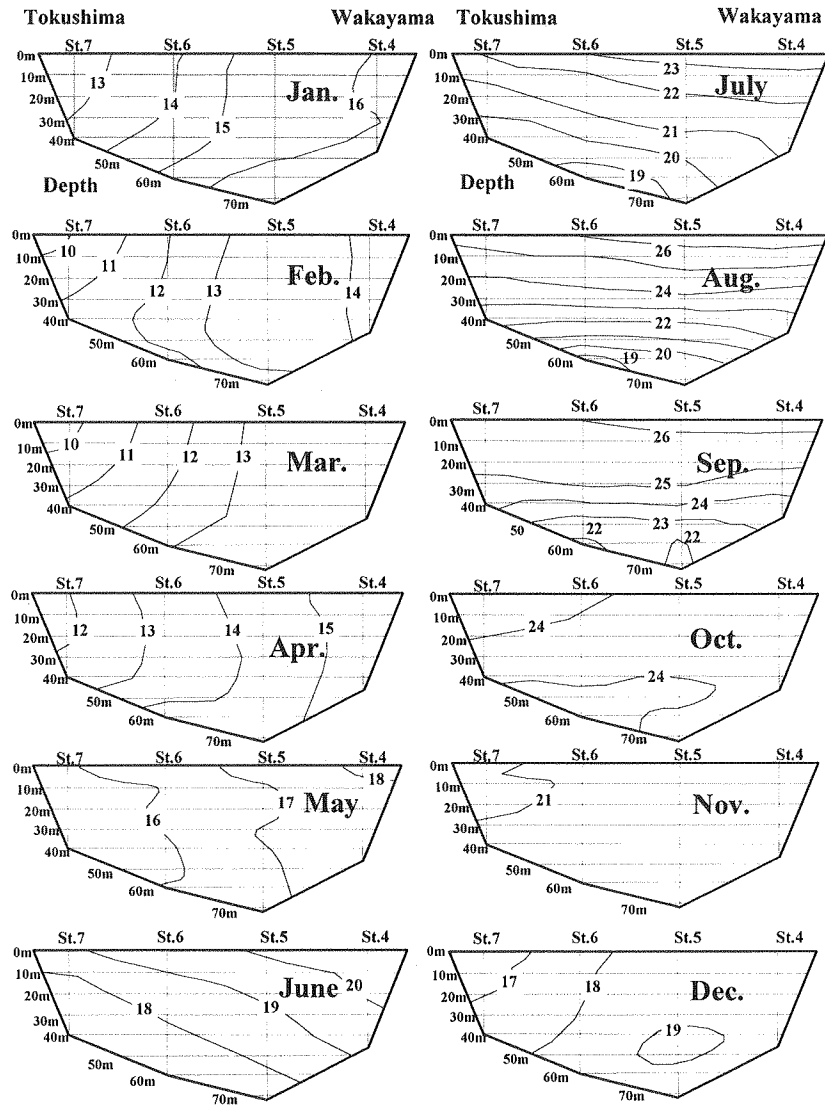


Fig. 1-2-6. Vertical distributions of water temperature in Kii Channel from Tokushima Pref. to Wakayama Pref.

においては新規加入群と産卵群が漁獲され、季節変化があるものの周年漁獲されており、徳島県太平洋岸（牟岐）とよく似た傾向を示している。鹿児島県の漁獲の季節変化も徳島県太平洋岸に比較的似ていた。日本海の京都府沿岸では、2、3月には漁獲されず、4～8月の産卵群と9～1月の新規加入群が主体に漁獲され、新規加入群の漁獲割合が大きいのが特徴である。千葉県小湊では、4～9月に漁獲があり、産卵群がその主体となっている。安達（1988）のアンケート結果からみると、播磨灘、紀伊水道の漁獲の季節変化は、日本海側の鳥取、山口、福岡、佐賀県に酷似している。徳島県の播磨灘、紀伊水道の漁獲の季節変化がそれらの県に似ている理由として冬季の低水温が考えられる。佐賀県玄海域では外套背長 15 cm 以下の小型個体は沿岸で越冬するが、外套背長 15 cm 以上の大型個

体は東シナ海で越冬した後に沿岸水温が 15℃ 前後に上昇する 4 月下旬に接岸することが推測されている（異儀田 1991）。また、鳥取、山口県では、1～3月に沿岸水域の水温が 15℃ 以下になり（長沼・市橋 1985）漁獲が認められなくなる。このように水温変化にともなって日本海の広い範囲でおこるアオリイカの移動回遊と同じ事象が、太平洋側の瀬戸内海東部から太平洋にかけての狭い範囲で局所的に生じていると考えられる。

これらのことから、いずれの海域においても 12～15℃ 前後の低水温が分布や離接岸の制限要因になっているものと考えられる。

以上のことから播磨灘、紀伊水道および太平洋岸におけるアオリイカの分布と移動についてまとめると、水温が周年 14℃ 以上あり、相対的に高い水温の太平洋岸にアオリイカは周年分布する。しかし、冬季の水温

が低い播磨灘や紀伊水道でも水温が14.0℃以上に上昇する5, 6月に親イカが太平洋岸から来遊して産卵を行う。ふ化した新規発生群は水温の低下する12月まで産卵場周辺海域に滞留後, 1～4月の水温低下時に水温が14.0℃以上ある太平洋岸や紀伊水道南東部の深場に移動するものと考えられる。つまり, 徳島県沿岸では分布の中心は太平洋岸にあり, その分布範囲は水温依存性が高く, 5～12月の高水温時には瀬戸内海北部まで分布範囲が広がるものと推測された。

3. 標識放流からみた移動回遊

徳島県沿岸における漁獲量の季節変化から, アオリイカが季節移動を行うことが示唆された。アオリイカが大きな回遊を行う広域型の生物であるか, あるいは地先型生物であるか, 今後, アオリイカの資源の増殖や管理を行う上で重要な意味を持つものと考えられる。

これまで, アオリイカの移動・回遊を明らかにするための標識放流に関する研究は少なく, 長崎県(道津ら1981)と若狭湾(安達1993)の例が知られているにすぎない。本研究では, 徳島県沿岸に分布するアオリイカの移動様式を明らかにする目的で標識放流調査を行った。

材料と方法

徳島県海部郡沿岸海域(Fig.1-3-1)において1987年11月5日～12月17日に, 計5回, アオリイカの標

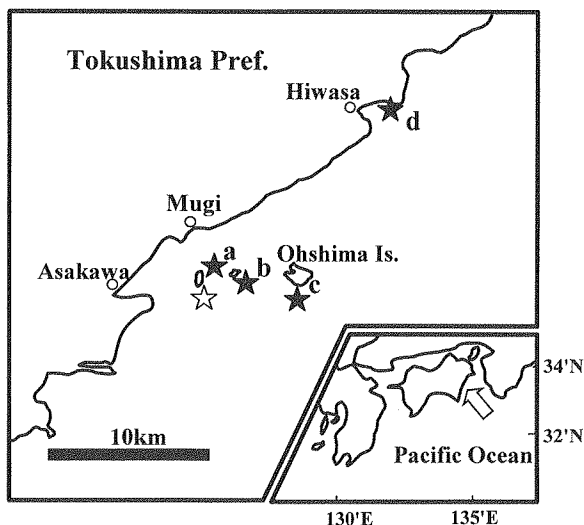


Fig. 1-3-1. Map showing research area for tagging survey. Oval squids were released at stations a-d. Open star is the station of which water temperature was measured at 10m in depth.

Table 1-3-1. Data of released oval squid with tags

Date	Site	No.inds.	Mantle length(cm)	Tags
Nov.5,1987	A	56	12.8 - 25.8	Anchor tags
Nov.6,1987	B	104	12.3 - 26.5	Anchor tags
Nov.17,1987	C	71	9.5 - 23.7	Atokins tags
Dec.15,1987	D	39	10.5 - 18.5	Atokins tags
Dec.17,1987	E	35	10.7 - 17.7	Atokins tags

識放流調査を実施した(Table 1-3-1)。放流に用いたアオリイカは水深20m以浅に敷設された小型定置網に入網した外套背長10.5～26.5 cmの305個体である。放流場所は牟岐沖のSts.a～cと日和佐沖のSt.dの4カ所である。11月5, 6日の放流時には左右の鰭の中央部にアンカータグ標識を, 11月17日, 12月15, 17日の放流では外套膜前背縁突起付近にアトキンズ型標識を装着し(Fig.1-3-2), 両標識には個体識別のために不滅インキ(シャチハタ工業K.K.製)でアルファベットと数字を書き込んだ。また, 放流時に外套膜背側の斑紋の形態(池田1933)および交接腕の形状(道津ら1981)より性を識別するとともに, 外套背長の計測を行った。

放流後は直ちに再捕の報告を依頼するポスターを県内漁協および近隣府県水試に送付した。再捕が報告されたうちの一部の個体を標識が装着された状態で購入し, 外套背長, 体重を計測した。その他の再捕個体

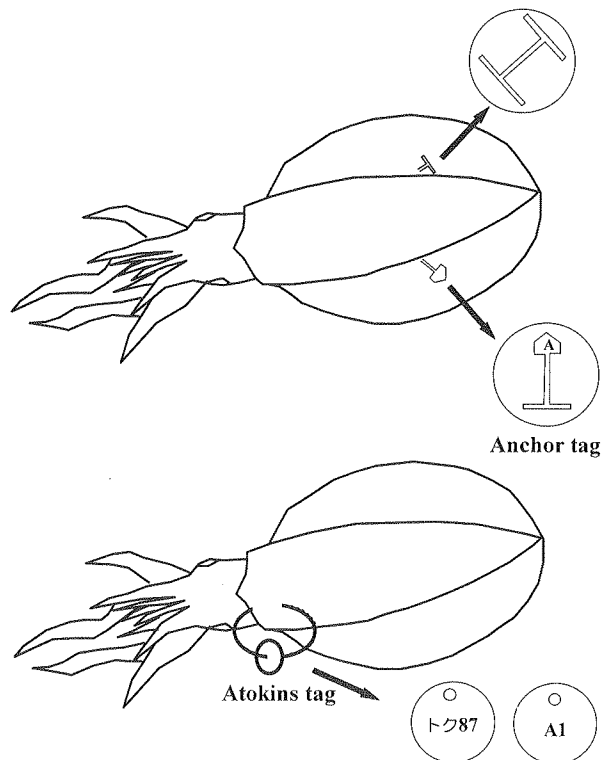


Fig. 1-3-2. Two types of tags used in this study.

は測定された体重のデータに基づいて外套背長-体重関係式（上田・城 1989）により外套背長を推定した。再捕個体の放流海域からの移動距離は、直線距離にして表し、日間移動距離（放流地点から再捕地点までの最短距離 / 再捕経過日数）を算出した。

結果と考察

標識放流後再捕されたアオリイカの個体別成長量、個体別直線移動距離などのデータを Table 1-3-2 に示した。標識放流の再捕報告個体数は 11 月 5 日放流群で放流個体 56 個体中 2 個体 (3.5%)、11 月 6 日放流群で放流個体 104 個体中 0 個体、11 月 17 日放流群で放流個体 71 個体中 9 個体 (12.7%)、12 月 15 日放流群で放流個体 39 個体中 2 個体 (5.2%)、12 月 17 日放流群で放流個体 35 個体中 2 個体 (5.7%) あった。再捕経過日数は放流後 10 日以内が 5 個体、11～20 日が 2 個体、21～30 日が 3 個体、31～40 日が 3 個体、47 日目、110 日目が各 1 個体の 15 個体であった。再捕漁具は小型定置網が最も多く、次に釣り、八田網の順であった。本研究では 11 月の 2 回の放流にはアンカータグ標識を、残りの 3 回の放流にはアトキズ型標識を用いたが、全体的にアンカータグ標識の再捕率が高かった。しかしながら、いずれの標識を用いても再捕個体数が少ないことから、放流後の標識の脱落があるものと考えられる。今後は脱落率の小さい有効な標識方法の新たな

開発が必要である。

再捕個体の放流海域からの移動距離は、すべて直線距離にして 16.2 km 以下であった (Fig.1-3-3, Table 1-3-2)。日間移動距離は 2.47 km/day 以下であった。また、放流後から再捕までの成長は、11 月 5 日放流群の 47 日経過した雄で 18.2 cm から 22.3 cm、11 月 17 日放流群の 37 日経過した雌で 14.0 cm から 19.7 cm、110 日経過した雄で 20.6 cm から 28.4 cm であった。その他の個体では、放流時と再捕時の外套背長に明瞭な差は認められなかった。日間成長（成長量 / 再捕経

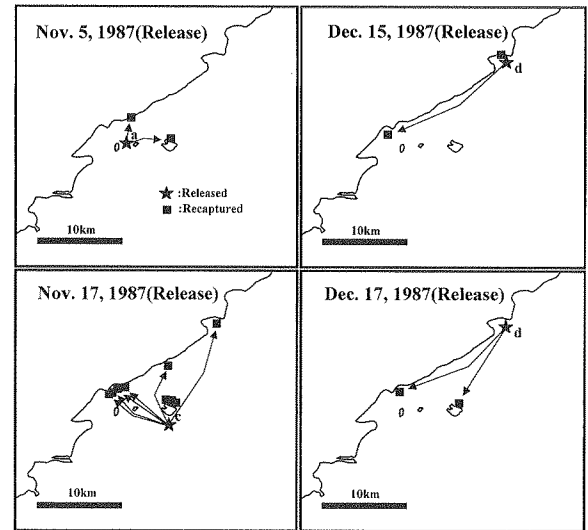


Fig. 1-3-3. Geographical distribution of the sites released, and recaptured of the oval squid.

Table 1-3-2. Result of the tag-recapture-survey of released oval squid

Date of release (Recovery %)	Date of recapture	Sex	Days from release to recapture(A)	Migration Distance (km)*	Migration speed B/A(km/day)	Mantle length at release C(cm)	Mantle length at recapture D(cm)	Growth rate (D-C)/A (cm/day)	Fishing gear
Nov.5,1987 (3.5%)	Nov.8,1987	♂	3	2.8	0.93	17.0	17.0	0.000	Jigging
	Dec.23,1987	♂	47	5.2	0.11	18.2	22.3 **	0.087	Small set net
Nov.17,1987 (12.7%)	Nov.18,1987	♂	1	1.6	1.60	21.0	21.0 **	0.000	Blanket net
	Nov.25,1987	♀	8	6.6	0.83	15.3	15.3 **	0.000	Small set net
	Nov.28,1987	♀	11	13.4	1.22	13.2	13.2	0.000	Small set net
	Dec.4,1987	♂	17	7.6	0.45	14.5	17.0	0.147	Small set net
	Dec.11,1987	♀	24	7.6	0.3	19.2	20.0	0.033	Small set net
	Dec.15,1987	♂	28	7.6	0.27	17.5	17.5	0.000	Small set net
	Dec.21,1987	♀	34	1.6	0.05	21.2	21.2 **	0.000	Small set net
	Dec.24,1987	♀	37	1.4	0.04	14.0	19.7	0.154	Small set net
	Mar.6,1988	♂	110	7.6	0.07	20.6	28.4 **	0.071	Small set net
Dec.15,1987 (5.2%)	Dec.25,1987	♂	10	0.8	0.08	17.2	18.2	0.100	Small set net
	Jan.9,1988	♀	24	16.2	0.68	15.0	15.6	0.025	Small set net
Dec.17,1987 (5.7%)	Dec.21,1987	♀	6	14.8	2.47	16.4	16.4 **	0.000	Jigging
	Jan.19,1988	♀	34	11.6	0.34	17.7	18.0 **	0.009	Jigging

* The shortest distance

** Mantle length calculated from body weight with modified equations described Ueta and Jo(1989).

過日数)を求めると、30日以上経過したものでは0～0.154 cm/dayであった。

アオリイカの成長は、雌雄ともに個体差が大きいことが知られている(上田・城 1989)。今回の標識放流で再捕された個体においても、11月5日放流群の47日、11月17日放流群の17日、37日、110日経過して再捕されたイカから推定された成長は、徳島県沿岸海域の個体群で明らかにされた雌雄それぞれの平均的な成長(上田・城 1989)と一致するが、11月17日放流群の28日、34日、12月17日放流群の34日経過して再捕された個体や20日以下の再捕経過日数の個体では明瞭な成長は認められなかった。このことから、標識の装着の成長に及ぼす影響についても検討する必要がある。

本研究では放流後の移動距離として直線距離を基準に考えた。各放流群とも移動距離は16.2km以下と小さく、28日以上経過した再捕イカでは、移動距離は7.6km以下と小さく、110日経過して3月に再捕された個体の移動距離は7.6kmであった。また、日間移動

距離は放流後11日以前の再捕では0.83～2.47km/dayとやや大きい値を示したが、それ以上経過して再捕された個体では0.68km以下と小さかった。このことから、徳島県海域におけるアオリイカ個体群は、大きな回遊は行わず、冬季にもほとんどがこの海域内で移動しているということが推察できる。

アオリイカの標識放流については、長崎県(道津ら 1981)と若狭湾(安達 1993)で実施されている。長崎の標識放流では11月に長崎で放流したアオリイカのうちの1個体が11日後に直線で120km離れた長崎県で再捕された。若狭湾東部で10～12月にアオリイカを標識放流した結果、直線で2～70km離れた西部海域で再捕された。このことから水温下降期において、黒潮の影響を受け水温が高い徳島県太平洋岸ではアオリイカの移動・回遊範囲が小さく、移動の方向性が認められないが、太平洋側に比べて水温の低い長崎および若狭湾では、より水温の高い南部や西部の海域に大きく移動する傾向があるものと考えられた。

第2章 繁殖

第1章で徳島県沿岸に生息するアオリイカの分布範囲は沿岸域にあると考えられた。本章では、移動性が比較的低いと考えられる徳島県沿岸域のアオリイカの生殖腺の成熟度、交接率、卵囊塊の出現時期、その卵発生を調べることで成熟時期、産卵時期、ふ化時期および生物学的最小形など、繁殖生態を明らかにした。また、自然環境下の卵囊塊分布調査から、産卵場を明らかにするとともにその立地条件や卵囊の付着基盤を調べ、さらに人工産卵礁を用いて産卵礁を開発するための基礎試験を実施した。

1. 成熟と交接

アオリイカの生殖腺の成熟状態および卵囊塊の出現時期から産卵期やふ化時期について、日本各地で報告されている(山本 1943, 崔・大島 1961, 大島・崔 1961, 沖縄水試 1975, 道津ら 1981, 土屋 1982, 鈴木ら 1983, Segawa 1987, 川村 1990, Segawa *et al.* 1993a, 1993b, 和田 1993, 和田・小林 1995, 和田ら 1995, 小林・河野 1995)。京都府(和田 1993, 和田・小林 1995, 和田ら 1995)や山口県(小林・河

野 1995)では、飼育下において成熟したアオリイカは1回の産卵期中に多回の交接を行うことが報告されている。しかし、纏卵腺の成熟時期は明らかにされていない。本研究では、周年を通して漁獲されたアオリイカの生殖腺と纏卵腺の成熟度および交接率を調べることで、徳島県沿岸での交接時期、成熟時期を明らかにするとともに既往の知見との比較を試みた。

材料と方法

繁殖生態の調査に用いたアオリイカは、紀伊水道外域に面した徳島県海部郡の日和佐、牟岐、鞆浦、穴喰地区に敷設されている小型定置網および釣りの漁獲物の中から抽出したものである。1987年4月～1988年3月、1989年9月および1991年1月～1992年3月に漁獲物の一部の個体を購入し、外套膜背側の斑紋の形態(池田 1933)および交接腕の形状より性別を判別し、外套背長、生殖腺重量および纏卵腺重量を測定し、生殖腺重量指数(*Gonad somatic index: GSI = 100GW/BW*)および纏卵腺重量指数(*Nidamental gland somatic index: NSI = 100NW/BW*)を算出した。ただし、GWは生殖腺重量(g)、BWは生殖腺重量、纏卵腺重量および胃内容物重量を含む全体重(g)、NWは纏卵腺重量(g)を示す。

さらに、産卵期の雌について、GSIを6段階に分け、各

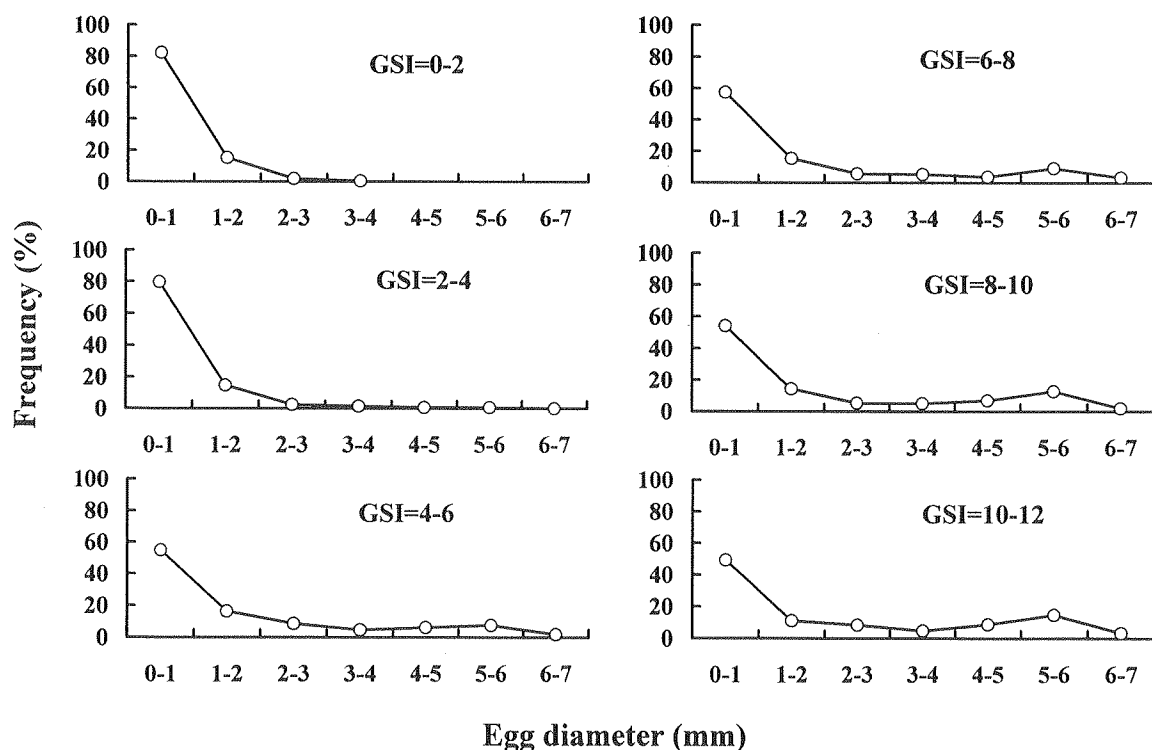


Fig. 2-1-1. Changes of egg size composition of oval squid off Tokushima Prefecture classified into six maturing types by gonad somatic index.

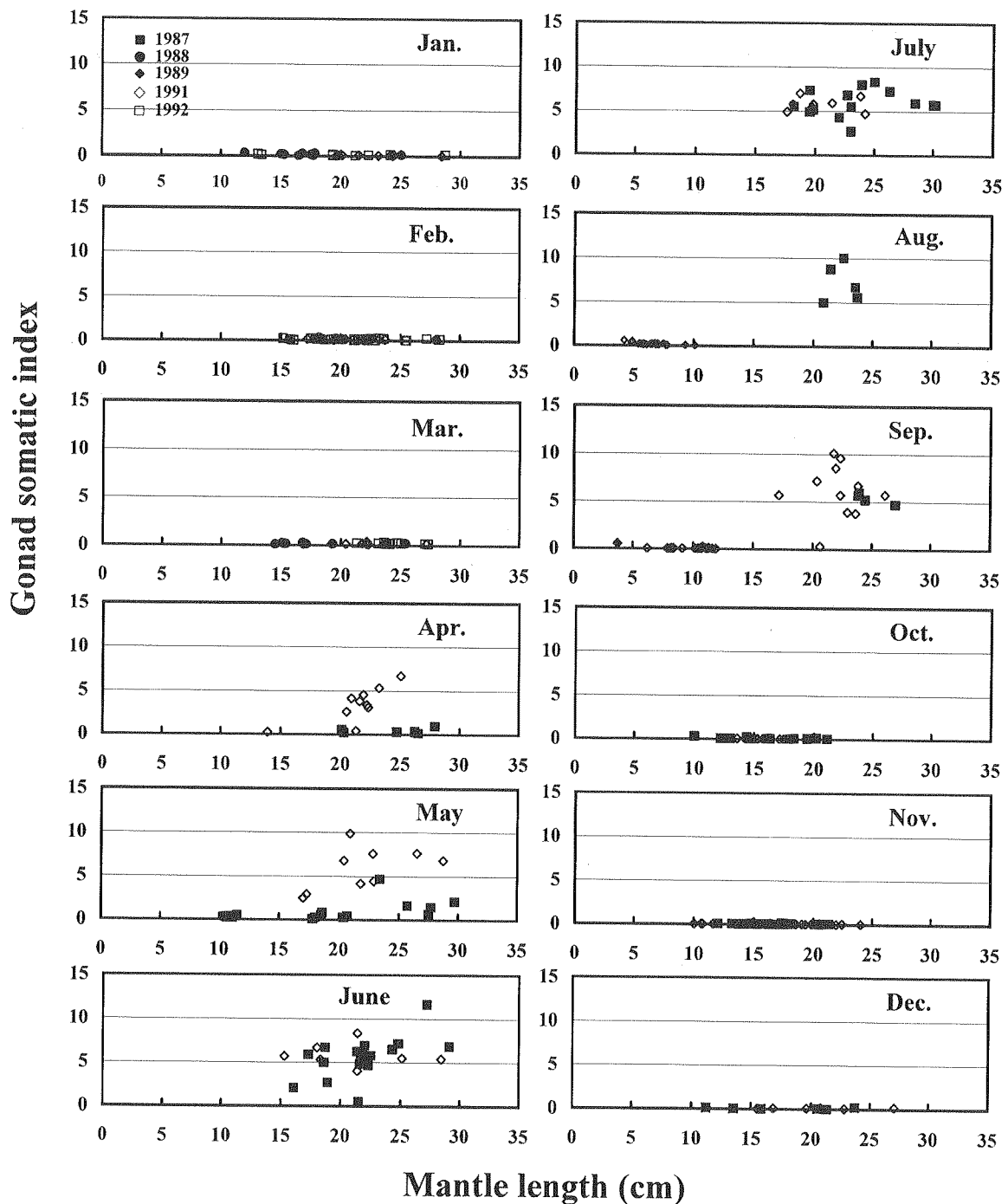


Fig. 2-1-2. Monthly change of gonad somatic index of female oval squid off Tokushima Prefecture by size.

段階の2～3個体について、1個体につき300粒の卵を無作為に抽出し、万能投影機でその長径を卵径として計測した。なお、卵径0.5mm未満の卵は計測しなかった。

また、雌の交接個体の割合を調べるために、1991年1月から1999年3月まで市場において雌合計1,673個体について雌の口器周辺に精莖が植え付けられているかどうか調べた。GSIおよびNSIから求めた生物学的最小形となる外套背長15.5cmより大きい個体につい

て交接率を求めた。

結果と考察

生殖腺および纏卵腺の成熟

雌のGSIが4以下の個体の卵径は、ほとんどの場合が2mm以下で、生殖腺は未熟な状態にあった(Fig. 2-1-1)。一方、GSIが4以上になると、卵径5～6mmの大型卵が出現し、GSIの上昇につれてその割合が増加した。Segawa(1987)によれば、産み出された直後の卵

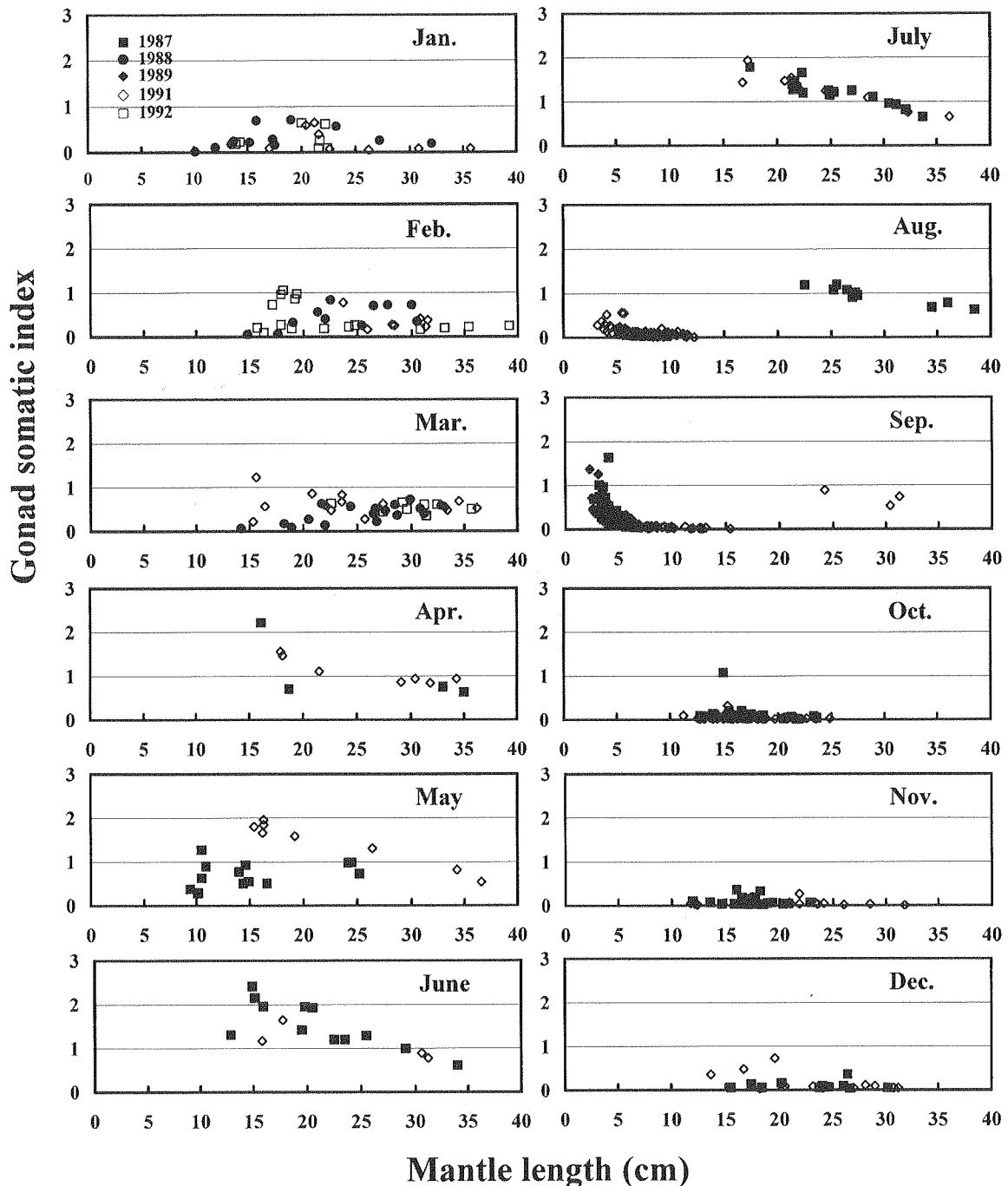


Fig. 2-1-3. Monthly change of gonad somatic index of male oval squid off Tokushima Prefecture by size.

囊塊中の卵の長径は 5.6 ～ 5.8 mm であることから、この段階で成熟間近い状態もしくは成熟状態に達しているとみなされた。

雌の GSI は 4、5 月より大きく上昇する傾向が見られ、1991 年には外套背長 20 cm 以上の個体で 4 月から、1987 年には 5 月から上昇した (Fig. 2-1-2)。6 ～ 9 月には外套背長 15.5 cm 以上の個体の大部分で GSI が 4 を超えていた (Fig. 2-1-2)。8、9 月の外套背長 12 cm 以下の新規加入の小型個体では成熟卵が認められなかった。

1987 年に比べ 1991 年の方が卵巣の成熟が早く、年により成熟が始まる時期が異なっていた。

雄の GSI は 2.5 以下で雌に比べて生殖腺が小さい。雄の GSI は 12 ～ 3 月より上昇し、2、3 月には 1 を超えるものが出現する (Fig. 2-1-3)。スルメイカにおいても雄の方が先に成熟すること (浜部 1962) が報告されており、徳島県海域のアオリイカの結果と一致する。4 ～ 9 月にかけては雌同様大部分の個体の GSI が上昇する。8、9 月の 15 cm 以下の新規加入群では雌同様生

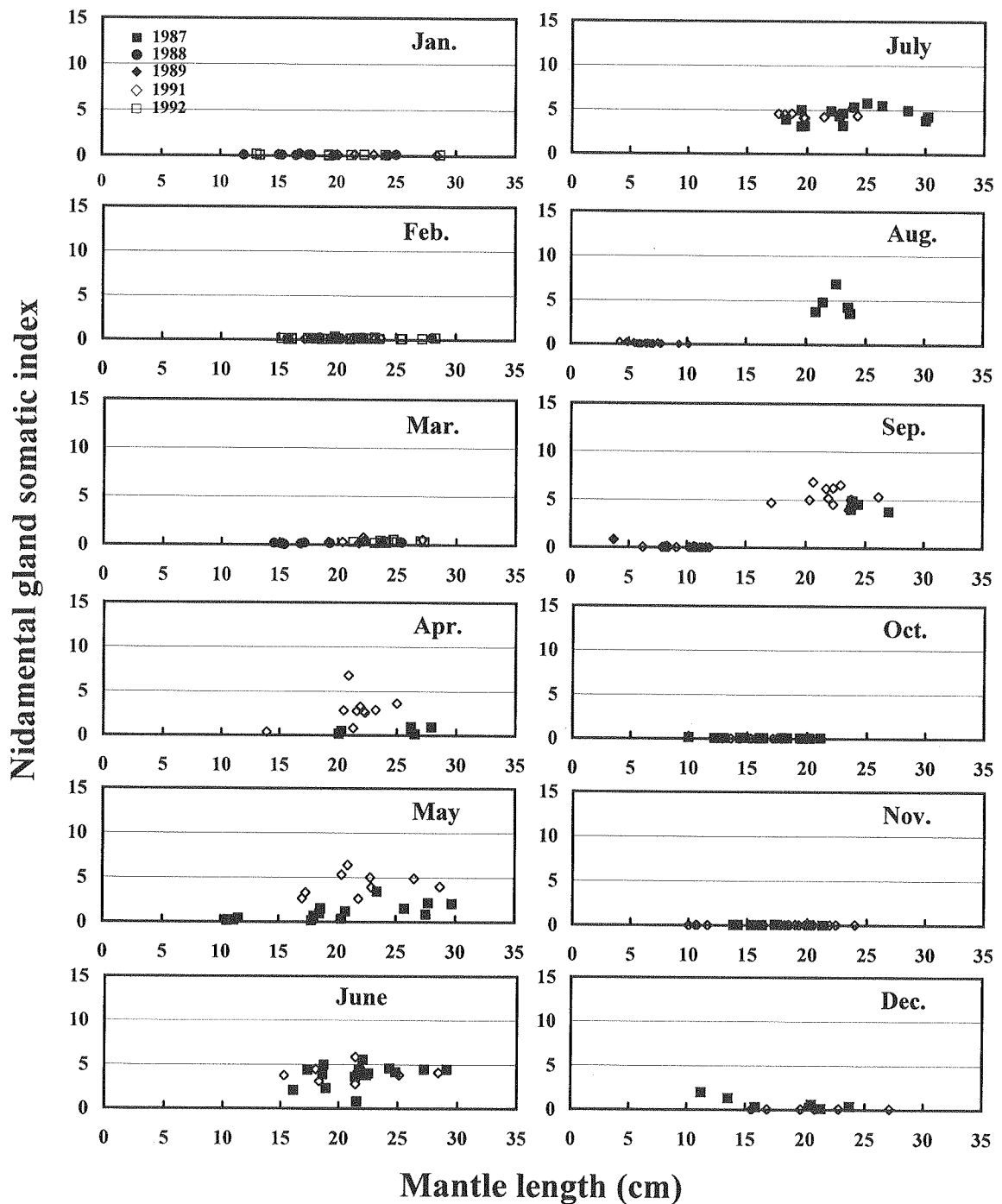


Fig. 2-1-4. Monthly change of nidamental gland somatic index of female oval squid off Tokushima Prefecture by size.

殖腺の成熟が全く認められなかった。しかしながら、1987年10月の外套背長15 cmの1個体でGSIが1を示し、成熟が認められたが、この個体は前年発生群と考えられた。雄は雌と異なり、4～8月にみられるように小型個体の方が大型個体に比べてGSIが高くなる傾向が認められた。

また、徳島県海部郡沿岸のアオリイカの漁獲量の経月変化をみると、4～7月は比較的まとまった産卵群とみられる漁獲があるが、世代交代にともない、8、

9月の漁獲は著しく減少する (Fig.1-2-2)。このことから、5～7月の産卵に関与する親イカの量が多いが、8、9月の産卵群は4～7月に比べて非常に少ないといえる。

雌のNSIは、1991年では4月より、1988年では5月より上昇する傾向が見られ、6～9月にかけては外套背長15.5 cm以上の個体の大部分のNSIが3を超えた。これらのことからアオリイカの雌の生物学的最小形は外套背長15.5 cmと推定した。雌のNSIの季節変化は同じ

Table 2-1-1. Number and ratio of copulated female by size of oval squid

Year	Date	Sample number	Mantle length class(cm)							Total (ML≥15cm)	
			0~(n)	5~(n)	10~(n)	15~(n)	20~(n)	25~(n)	30~(n)		35~(n)
1991	Jan. 19	4				0(2)	0(2)				0(4)
	Jan. 23	2					0(1)	0(1)			0(2)
	Feb. 13	8				0(3)	0(5)				0(8)
	Mar. 29	9				0(3)	0(5)	0(1)			0(9)
	Apr. 30	10			0(1)		5(8)	0(1)			5(9)
	May 31	9				0(2)	3(5)	2(2)			5(9)
	June24	7				2(3)	2(2)	2(2)			6(7)
	July 17	8				2(5)	3(3)				5(8)
	Aug. 17	27	0(3)	0(23)	0(1)						0(0)
	Sep. 1	6				0(1)	0(4)	0(1)			0(6)
	Sep. 3	6					3(6)				3(6)
	Sep. 7	18		0(5)	0(13)						0(0)
	Oct. 4	17			0(5)	0(12)					0(12)
Nov. 1	4			0(4)						0(0)	
Nov. 20	8					0(7)	0(1)			0(8)	
Dec. 21	6					0(3)	0(2)	0(1)		0(6)	
1992	Jan. 23	5			0(2)	1(2)	0(1)				1(3)
	Jan. 24	3					0(2)	0(1)			0(3)
	Feb. 15	10				0(4)	0(4)	0(2)			0(10)
	Feb. 26	17				1(9)	0(7)	0(1)			1(17)
	Feb. 27	2					0(1)	1(1)			1(2)
	Mar. 18	10					0(7)	0(3)			0(10)
1994	May 6	33				2(6)	12(16)	5(10)	1(1)		20(33)
	May 15	2						2(2)			2(2)
	May 28	15				1(1)	9(9)	3(3)	2(2)		15(15)
	June 30	27				10(10)	12(12)	5(5)			27(27)
	July 3	7					7(7)				
	July 15	20				8(8)	11(11)	1(1)			20(20)
1995	Mar. 22	22				0(1)	0(10)	3(10)	1(1)		4(22)
	Apr. 27	25				0(1)	7(7)	15(15)	2(2)		24(25)
	May 19	81				5(11)	34(34)	34(34)	1(1)	1(1)	75(81)
	June 21	42				10(17)	15(18)	6(6)	1(1)		32(42)
	Dec. 18	77			0(13)	0(23)	0(34)	0(7)			0(64)
1996	Jan. 31	73			0(1)	0(20)	0(32)	0(20)			0(72)
	Mar. 29	19				0(1)	0(7)	5(10)	1(1)		6(19)
	Apr. 5	4				0(2)		2(2)			2(4)
	Apr. 25	43			0(1)	1(5)	7(10)	22(22)	5(5)		35(42)
	May 24	37				4(5)	13(13)	15(15)	4(4)		36(37)
	May 30	19				2(3)	8(8)	4(4)	4(4)		18(19)
	June 5	12				3(5)	4(6)	1(1)			8(12)
	June 28	36				5(6)	22(23)	7(7)			34(20)
July 25	22				3(6)	14(14)	1(1)		1(1)	19(22)	
1997	Jan. 23	30				0(5)	0(17)	0(7)	0(1)		0(30)
	Feb. 24	20				0(4)	0(8)	0(8)			0(20)
	Mar. 28	39				0(2)	2(22)	3(14)	1(1)		6(39)
	Apr. 25	23				2(2)	10(10)	10(10)	1(1)		23(23)
	May 16	51				4(4)	21(21)	23(23)	3(3)		51(51)
	May 28	26				3(3)	13(13)	9(9)	1(1)		26(26)
	June 23	29				9(12)	9(9)	6(6)	2(2)		26(29)
	July 30	29				6(6)	17(17)	4(4)	2(2)		29(29)
	Aug. 25	5					4(4)	1(1)			5(5)
	Sep. 29	1						1(1)			1(1)
Oct. 14	2					0(2)				0(2)	
1998	Jan. 21	29				0(5)	0(12)	0(12)			0(29)
	Feb. 16	28				0(3)	0(17)	2(7)	1(1)		3(28)
	Mar. 17	29				0(5)	1(11)	1(10)	2(3)		4(29)
	Apr. 17	27			0(1)	0(2)	15(16)	5(6)	1(2)		21(26)
	May 21	22				1(1)	13(15)	6(6)			20(22)
	June 16	30				5(12)	14(15)	3(3)			22(30)
	July 9	12				1(6)	4(4)	1(1)	1(1)		7(12)
	July 24	9					4(8)	0(1)			4(9)
	Aug. 5	14					10(12)	2(4)			12(16)
	Sep. 9	18			0(1)	0(15)	0(1)	0(1)			0(17)
	Sep. 9	31			0(2)	0(28)	0(1)	0(29)			
	Oct. 9	28				0(20)	0(8)	0(28)			
	Nov. 5	28				0(4)	0(21)	0(3)			0(28)
	Nov. 27	27				0(7)	0(17)	0(3)			0(27)
	Dec. 2	16				0(5)	0(8)	0(3)			0(16)
Dec. 10	85			0(1)	0(13)	0(40)	0(28)	0(3)		0(84)	
1999	Jan. 5	74				0(12)	0(33)	0(28)	0(1)		0(74)
	Feb. 8	37			0(2)	0(11)	0(15)	0(8)	0(1)		0(35)
	Mar. 8	90			0(2)	0(13)	0(38)	1(30)	1(6)	0(1)	2(88)
Total	Jan.	220			0(3)	1(46)	0(100)	0(69)	0(2)		1(217)
	Feb.	122			0(2)	1(34)	0(57)	3(27)	1(2)		5(120)
	Mar.	208			0(2)	0(25)	3(93)	13(75)	6(12)	0(1)	22(206)
	Apr.	132			0(3)	3(12)	44(51)	54(56)	9(10)		110(120)
	May	295				22(36)	126(134)	103(108)	16(16)	1(1)	268(295)
	June	183				44(65)	78(85)	30(30)	3(3)		155(120)
	July	107				20(31)	60(64)	7(8)	3(3)	1(1)	91(107)
	Aug.	46	0(3)	0(23)	0(1)		14(16)	3(5)			17(21)
	Sep.	62		0(0)	0(3)	0(44)	3(12)	1(3)			4(59)
	Oct.	47			0(5)	0(32)	0(10)				0(42)
	Nov.	67			0(4)	0(18)	0(39)	0(6)			0(63)
	Dec.	184			0(14)	0(44)	0(84)	0(39)	0(3)		0(170)

雌の GSI のそれとほぼ同様の傾向を示した (Fig.2-1-4)。

纏卵腺は頭足類の雌性生殖器官の付属器官で、卵を包む粘液性物質を分泌し、スルメイカ *Todarodes pacificus* (林 1970, 桜井ら 1990) やシリヤケイカ *Sepiella japonica* (上田 1985) で性成熟の程度を表す指標として用いられているが、アオリイカにおいても卵巣の成熟とほぼ平行して纏卵腺が発達することが認められ、アオリイカの纏卵腺重量指数 NSI は性成熟の指標として有効であることが明らかになった。

雌の交接率について

口器周辺の精莖の有無を調べた雌について、外套背長を 5 cm 単位に分け、交接率を求めるとともに、生物学的最小形となる外套背長 15.5 cm 以上の雌について、全体の交接率を求めた (Table 2-1-1)。1～9 月までの期間に雌の交接個体が出現したことから、10～12 月を除いて交接が行われていると考えられる。1991 年には 4 月から、1992 年には 1 月から、1996 年には 2 月から、1997 年には 3 月から、1998 年には 2 月から、1999 年には 3 月から交接個体が確認されたことから、交接開始時期は年によって異なるものと考えられた。調査個体全体を通してみると、1 月には交接率が 1% を下回るが、2 月が 4%、3 月には 11% に上昇し、4～7 月には 80% を上回った。その後、8 月には 37%、9 月には 6% に低下する。このことから、本格的な交接率の上昇期は 4～8 月であり、卵巣や纏卵腺の成熟と一致するが、雌の卵巣の成熟や纏卵腺の発達時期よりも早く交接個体が出現し、交接は雌が成熟する前から行われていることが明らかになった。スルメイカについても雌の成熟よりも早く交接が行われており (浜部 1962)、徳島県海域のアオリイカと一致する。

サイズ別にみると、1992 年の 1 月の個体を除いて、2～7 月には大型個体ほど交接率が高く、大型個体ほど早い時期に交接を開始するものと考えられる。

佐賀県玄海域 (異儀田 1991) では交接個体が 4 月下旬から 9 月上旬までみられ、7 月上旬には 95.3% が交接個体で占められている。佐賀県における交接時期は徳島県の本格的な交接期間と一致したが、徳島では 1～3 月にも交接を済ませた雌が認められた。佐賀では 1～3 月の水温が徳島に比べて低く (長沼・市橋 1985)、1～3 月の漁獲が極端に減少することから (安達 1988)、両海域間での環境要因や分布の違いが交接開始時期に影響を及ぼしているものと考えられる。

2. 産卵とふ化

前節で生殖腺の成熟状態および交接を済ませた雌の出現状況から徳島県沿岸におけるアオリイカの産卵期を推定した。ここでは実際に産み付けられていた卵囊塊から、産卵期を明らかにするとともに、卵囊塊の産卵状況およびふ化時期について述べる。

材料と方法

卵囊塊の出現時期および産卵数に関する調査

紀伊水道外域に面した徳島県海部郡穴喰町地先 (Fig.2-2-1) において 1988～1991 年に SCUBA による潜

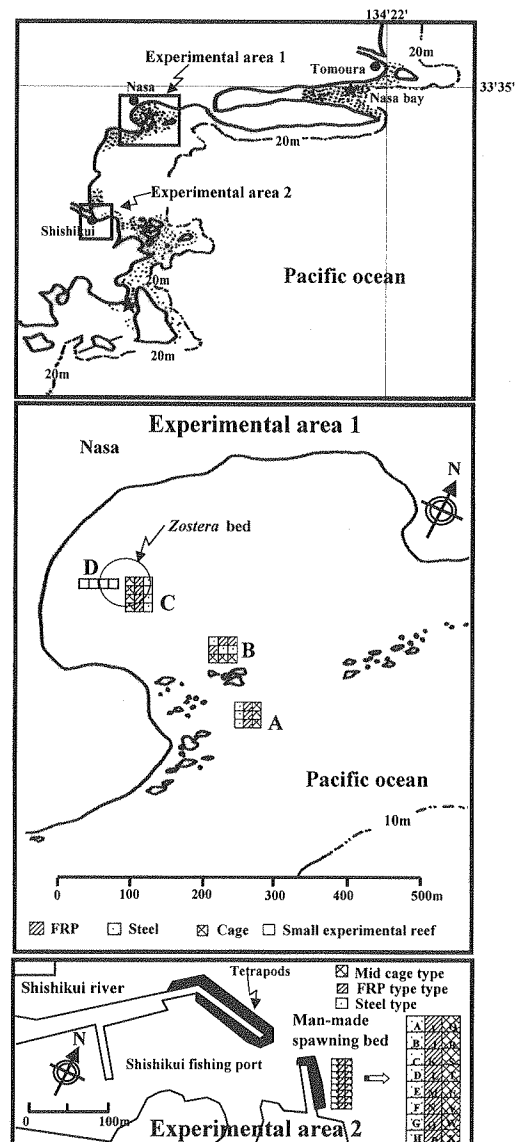


Fig. 2-2-1. The experimental area for investigation of egg capsules of the oval squid attached on the man-made spawning bed. Squares show sites where the man-made spawning beds were settled. Solid stars show the natural spawning grounds where a number of egg capsules were observed in the area (dotted parts).

水調査を実施した。調査に先立ち地元漁業者から卵囊塊の分布域について聞き取り調査を行った結果、穴喰町那佐地区入り江のアマモ *Zostera marina* 場に卵囊塊が分布することが明らかになったので、これらの地域を中心に調査を進めた。また、1987年4月～1988年3月における調査から親イカの生殖腺重量指数が5～9月に高くなることが明らかにされていることから（上田・城1989）、4～10月に潜水調査を実施した。

調査は1988年8、9月に計2回、1989年4～10月に計7回、1990年5～10月に計7回、1991年5～10月に計6回、合計20回行った。1988、1989年の調査ではアマモ場とホンダワラ類 *Sargassum* spp. を主体としたガラモ場を中心として行ったが、1990、1991年は調査海域に設置したアオリイカの人工産卵礁に対する産卵調査も行った。発見した卵囊塊は、分布場所、分布水深、付着基質を観察記録するとともに写真やビデオに記録した。隣接する他の卵囊塊との識別は、卵囊表面の色により判断した。さらに、発見された卵囊塊は、プラスチック製番号札を装着し、他の卵囊塊や以後産みつけられるであろう卵囊塊と識別した。

発見された卵囊塊については1卵囊塊につきその全体もしくは卵囊2～3個を採集した。1989年6月27日のアマモ場における調査では90塊を超える卵囊塊が発見され、そのうちの28塊を採集した。採集した卵囊や卵囊塊は、氷蔵後研究室に持ち帰り、10%海水ホルマリンで固定した。卵囊塊全体を採集したものについては卵囊別に卵数を計数するとともに、卵囊塊当たり2～3個の卵囊中の卵を用いて、Segawa (1987) に従い発生段階を決定した。飼育実験から推定した卵囊中の卵の発生段階における発生時間と水温の関係より得られた卵囊の産卵時期とふ化時期を推定した。本研究では1990年と1991年においては、調査海域(St.B)で底層水温の観測を実施したが、1989年には、水温観測を実施しなかった。このために1990年と1991年の調査海域の最も近傍に位置する海洋観測定点(St.C)の表層水温とSt.Bの底層水温を比較した。その結果、St.BとSt.Cの水温は5月で17.8～20.9℃、6月で19.9～22.4℃、7月で23.1～25.2℃、8月で25.2～27.6℃、9月で27.2～27.6℃となり、両海域に-2.3～+3.6℃の差が認められたが、徳島県沿岸のアオリイカの産卵期、ふ化時期の推定にSt.C (Fig.1-2-1)の表層水温を用いた。

結果と考察

卵囊塊の出現時期

1988～1991年に採集した卵囊塊数をTable 2-2-1に示した。1988年の調査では8月3日に11塊、9月1日に3塊がアマモの基部に産みつけられていた。1989年の調査では4月27日、5月23日には卵囊塊が全く認められなかったが、6月27日にはアマモ場に90塊以上、ガラモ場に2塊の卵囊塊が認められた。7月13日にはアマモ場の卵囊塊の約40%がすでにふ化するとともに、新たに2塊が産みつけられていた。8月18日には1塊が確認されたが、9月18日、10月27日は卵囊塊の存在が認められなかった。1990年の調査では5月23日、6月12日にガラモ場で各々2、3塊が観察された。6月26日には人工産卵礁で4塊、ガラモ場で3塊が認められた。7月11日には人工産卵礁で10塊、ガラモ場で1塊、7月27日には人工産卵礁で1塊が認められたが、8月16日には全く認められなかった。10月3日には人工産卵礁で1塊が認められ

Table 2-2-1. Sampling date and number of egg masses spawned on three different substrates in the research area by oval squid*

Sampling date	Number of egg masses			Total number of egg masses
	Substratum			
	<i>Zostera marina</i>	<i>Sargassum spp.</i>	Man-made spawning bed**	
Aug. 3, 1988	11	0	-	11
Sep. 1, 1988	3	0	-	3
Apr. 27, 1989	0	0	-	0
May 23, 1989	0	0	-	0
June 27, 1989	≥90	2	-	≥92
July 13, 1989	2	0	-	2
Aug. 18, 1989	1	0	-	1
Sep. 18, 1989	0	0	-	0
Oct. 27, 1989	0	0	-	0
May 23, 1990	0	2	0	2
June 12, 1990	0	3	0	3
June 26, 1990	0	3	4	7
July 11, 1990	0	1	10	11
July 27, 1990	0	0	1	1
Aug. 16, 1990	0	0	0	0
Oct. 3, 1990	0	0	1	1
May 24, 1991	0	0	19	19
June 6, 1991	0	0	18	18
June 27, 1991	0	0	5	5
Aug. 6, 1991	0	0	18	18
Sep. 3, 1991	0	0	5	5
Oct. 15, 1991	0	0	0	0

* except egg masses which were found in the previous investigation.

** set April 11, 1990

た。1991年の調査では人工産卵礁のみで産卵がみられ、5月24日に19塊が、6月6日に18塊、6月27日に5塊、8月6日に18塊が認められた。9月3日に5塊が確認されたが、10月15日の調査では調査海域内に卵囊塊の存在は認められなかった。

4ヶ年の調査を通じて4～10月まで全ての月で卵囊塊が確認されたが1回の調査で10塊以上の卵囊塊が確認されたのは5～8月であった。

卵囊塊の卵数

1988年8月3日、1989年6月27日、1989年7月13日および1997年7月23日に採集された23卵囊塊の1卵囊内卵数、合計卵囊数、合計卵数をTable 2-2-2に示した。1988年8月3日に採集された10卵囊塊の1卵囊内卵数は0～9個で、4～8個のものが全体の97.5%を占めた。合計卵数は137～1,061個で、平均が553.2個であった。1989年6月27日の1卵囊内卵数は2～9個で、4～7個のものが全体の92.8%を占めた。合計卵数は326～1,141個で平均546.9個であった。1989年7月13日の合計卵数は222～318個、平均259個であった。このことから、1989年7月13日に採集された卵囊塊の1卵囊内卵数は1988年8月3日、1989年6月27日と比較してやや少なく、合計卵数も少なかった。1988、1989年に採集された卵囊塊について、1卵囊当たりの平均卵数(X)と合計卵数(Y)の相関関係を

求めると

$$Y = 214.1X - 621.9 \quad (n=21, r=0.631, P < 0.01)$$

の式で示され、卵囊当たりの平均卵数が多い卵囊塊ほど、卵囊塊の合計卵数が多い傾向がみられた。

1卵囊塊当たりの卵数は、本研究では137～1,141であったのに対し、千葉県小湊で38～1,734 (Segawa 1987)、渥美地方で1500～2,000 (崔・大島 1961)、西表島で86～728 (土屋 1981)、沖縄県石垣島で336～2,190 (Segawa *et al.* 1993)、フィリピンで292～754 (Mindanao State Univ. 1975)であり、徳島県海域の1卵囊塊当たりの卵数は千葉県小湊の値 (Segawa 1987) に比較的近かった。また、1卵囊当たりの卵数は、千葉県小湊 (Segawa 1987) では0～9で平均3.6～6.4、渥美地方 (崔・大島 1961) では2～9で平均5.8であった。西表島 (土屋 1981) では1卵囊当たりの卵数は2～8で平均が5.8と3.0の2グループに分かれ、前者が大型個体の産卵によるものであり、後者が小型個体の産卵に由来するものと考えられた。沖縄県石垣島 (Segawa *et al.* 1993) では1卵囊当たりの卵数は4～8および1～3の2グループに分かれ、両者の産卵付着基盤、産卵時期、卵囊塊の配列が異なることが報告され、2つの異なる個体群が存在することが示された。徳島県沿岸域のものでは0～9個で平均3.43～6.95で千葉県小湊や渥美地方とよく似た卵数を示し、西表島および沖縄石垣島のような性状や出現時期が異

Table 2-2-2. Number of eggs and egg capsules in each egg mass of oval aquid collected from 1988 to 1977

Sampling date	Code of egg mass	Number of eggs contained in one capsule											Mean	Total number of egg capsules	Total number of eggs
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9				
Aug. 3, 1988	1	1	0	0	3	8	55	109	13	0	0	5.61	189	1,061	
Aug. 3, 1988	2	0	1	4	2	5	30	2	6	99	2	6.95	151	1,049	
Aug. 3, 1988	3	0	0	0	1	9	54	63	35	0	0	5.75	162	932	
Aug. 3, 1988	4	0	0	0	2	12	74	55	0	0	0	5.27	143	754	
Aug. 3, 1988	5	0	0	0	0	7	54	23	2	0	0	5.23	86	450	
Aug. 3, 1988	6	0	0	0	1	9	29	30	2	0	0	5.32	71	378	
Aug. 3, 1988	7	0	0	0	1	6	21	29	1	0	0	5.40	58	313	
Aug. 3, 1988	8	0	0	1	2	1	7	19	15	1	0	5.96	46	274	
Aug. 3, 1988	9	0	1	1	1	38	4	1	0	0	0	4.00	46	184	
Aug. 3, 1988	10	0	0	0	0	0	19	7	0	0	0	5.27	26	137	
June 27, 1989	1	0	0	1	1	2	12	69	66	24	0	6.52	175	1,141	
June 27, 1989	2	0	0	2	6	41	16	31	19	0	0	5.09	115	585	
June 27, 1989	3	0	0	1	3	8	30	31	21	5	2	5.78	101	584	
June 27, 1989	4	0	0	0	0	1	7	28	45	0	0	6.44	81	522	
June 27, 1989	5	0	0	1	5	25	35	19	5	0	0	4.90	90	441	
June 27, 1989	6	0	0	0	0	2	10	49	9	0	0	5.93	70	415	
June 27, 1989	7	0	0	0	3	20	52	2	0	0	0	4.69	77	361	
June 27, 1989	8	0	0	0	1	5	16	6	1	0	0	5.53	59	326	
July 13, 1989	1	0	12	7	5	12	23	13	4	1	0	4.13	77	318	
July 13, 1989	2	0	8	11	12	22	13	3	0	0	0	3.43	69	237	
July 13, 1989	3	0	7	4	7	26	4	8	2	0	0	3.83	58	222	
July 23, 1997	1	5	17	23	54	102	64	2	0	0	0	3.61	267	965	
July 23, 1997	2	0	0	10	20	42	8	0	0	0	0	3.60	80	288	

なる明瞭な2グループの存在(多発現象)は認められなかった。しかしながら、徳島県沿岸域の卵囊塊で1卵囊当たりの平均卵数が多い卵囊塊ほど合計卵数も多い点については、西表島と同様に親イカのサイズに由来する可能性が考えられる。

産卵期・ふ化時期の推定

徳島県沿岸のアオリイカの産卵日、ふ化日の推定に用いた標本数は1989年が28卵囊塊、1990年が25卵囊塊、1991年が65卵囊塊であった。1989～1991年に採集された卵囊塊の推定産卵日と推定ふ化日を旬別に示した(Fig.2-2-2)。推定された産卵期は1989年では5月中旬～7月下旬で、盛期は5月下旬～6月下旬、1990年には5月下旬～10月下旬で、盛期は5月下旬～7月上旬、1991年では4月下旬～8月下旬で、盛期は5月下旬～7月中下旬であった。1989～1991年の3カ年を通しての産卵期は4月下旬～10月上旬の約6カ月におよび盛期は5月下旬～7月下旬の約3カ月であった。

アオリイカの産卵期は、これまで、京都府沿岸(内野 1978, 鈴木ら 1983, 和田ら 1995), 千葉県

小湊(Segawa 1987), 愛知県渥美海域(崔・大島 1961), 長崎県五島(道津ら 1981), 佐賀県玄海域(異儀田 1991), 沖縄(沖縄水試 1973), 西表島(土屋 1981)で調査が実施されている(Table 2-2-3)。これらの調査海域のうち、九州以北における産卵期は4～9月の範囲にあるのに対して、西表島、沖縄では春、夏、秋の不連続な3回の産卵がみられ、発生群の多発現象が認められている。徳島県沿岸海域では、概ね千葉県小湊、京都府沿岸、佐賀県玄海域、長崎県五島の産卵期とよく一致し、西表島、沖縄のような多発現象は存在しない。産卵盛期は愛知県渥美海域で5月下旬から6月中旬、佐賀県玄海域で5、6月、徳島では5、6月、年によっては7月にもまとまった産卵があるものと考えられる。

推定されたふ化時期は1989年では6月下旬～8月下旬(盛期は7月上下旬)、1990年では6月中旬から10月下旬(盛期は6月下旬および8月上旬)、1991年では6月上旬～9月下旬(盛期は6月下旬、7月上旬および8月中旬)であった。3カ年を通してのふ化時期は6月上旬～10月下旬の約5カ月で盛期は6月下旬～8月中旬の約2カ月であった(Fig. 2-2-2)。また、4月

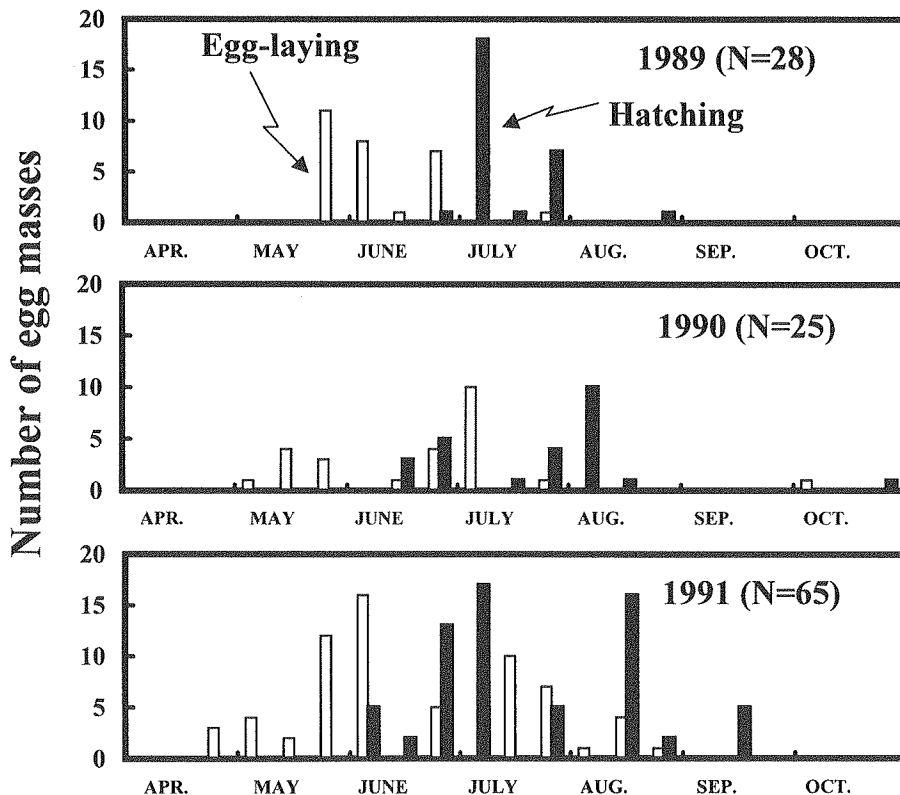


Fig. 2-2-2. The periods of egg-laying and hatching of the egg of the oval squid estimated from the relationship between the embryonic developmental period and incubation temperature(Segawa 1987).

Table 2-2-3. Spawning season of oval squid at ten localities in Japanese coast

Waters	Spawning season	Reference
Wakasa Bay	Mid May-late August	Suzuki <i>et al.</i> (1983)
Goto Islands	Mid May-August	Dotsu <i>et al.</i> (1981)
Kagoshima Prefecture	May	Yamamoto (1943)
Kominato and adjacent water	Mid June-late August	Segawa (1987)
Atsumi water	Mid May -late June	Choe and Ohshima (1961)
Tokushima Prefecture	Late May - early September	Ueta and Jo (1989)
	Late April - Early October	Ueta <i>et al.</i> (1992)
	Late April - late August	Ueta and Segawa (1995)
Okinawa Island	Late April - mid October	Inoba and Sezoko(1967)
	Late February - late October	Okinawa prefectural experimental station(1977)
Ishigaki Island	Late February - October	Okinawa prefectural experimental station(1976)
	Late April - early October	Segawa <i>et al.</i> (1993)
Iriomote Island	Late January - late September	Tsuchiya(1981)
Philippine	All the year	Kawamura(1990)

に卵囊塊がみられたのは 1991 年のみであり、9、10 月の産卵も調査期間中に 1 卵囊塊が認められただけであったことから、主たる産卵期は 5～8 月で、産卵盛期は 5 月下旬～7 月下旬と考えるのが妥当である。また、卵巣の成熟から推定された産卵期と同様に卵囊中の卵の発生段階における発生時間と水温の関係より推定された産卵期とふ化時期も年により異なるものと考えられた。

ふ化時期は、産卵期より約 1 カ月遅れて、その盛期や長さなどは産卵期とよく似た傾向を示した。飼育実験(Segawa 1987)によると、産卵からふ化までは 15℃で 54～56 日、20℃で 33～36 日、25℃で 24～27 日、30℃で 19～23 日を要することから、4～9 月にかけて水温が上昇するにつれ発生速度が早くなったことが考えられる。調査期間を通じて産卵期は 4 月下旬～10 月上旬(5 カ月 20 日)であったのに対し、ふ化は 6 月上旬～10 月下旬(5 カ月)と約 20 日短縮されていた。これは、この海域の産卵からふ化時期の水温が経時的に上昇したため、発生に要する時間(発生期間)が短くなったためと考えられる。

3. 産卵場と付着基盤の選択性

3-1. 産卵場

徳島県沿岸におけるアオリイカの産卵場所、卵囊塊付着基盤および産卵数を明らかにするため、6～7 月の産卵盛期に宍喰町沿岸で産卵されたアオリイカの卵囊塊の分布を調べた。

材料と方法

1988 年 7 月および 1991 年 6～7 月にダイバー 2 名により、宍喰町周辺海域(Fig.2-2-1)においてアオリイ

カ卵囊塊の分布および付着基盤に関する潜水目視調査を実施した。ダイバーは 2 名ペアとなり、沿岸線(水深約 15m 以浅)に沿って移動し、卵囊塊を発見すると耐水紙に卵囊塊の大きさ、卵囊表面の色彩、卵囊塊の観察地点とその周辺の海底地形および卵囊塊の付着基盤の種類を記録した。

結果と考察

宍喰周辺海域の天然産卵場におけるアオリイカの卵囊塊は、那佐湾湾口部の定置網のロープやイカリ(水深 6～7m)、宍喰港周辺の島陰(水深 15m)のイソバナ *Melithaea flabellifera* 群落および竹ヶ島港周辺の島陰のアマモ場(水深 3～5m)で認められた(Fig.2-2-1)。卵囊塊が認められた海域は、いずれも入り江、湾内および島陰など何らかの形で外洋から来る波浪の影響を直接受けにくい比較的静穏な海域であった。また、卵囊塊の付着基盤となる海藻(草)やイソバナの群落が認められない海域では卵囊塊は発見されなかった。

また、これまでに発見された産卵場は 4 カ所であり、今回の調査で卵囊塊数が最も多かったのは那佐湾の産卵場での 90 塊であった。宍喰町沿岸で 1984～1998 年の 4～7 月の主たる産卵期に水揚げされる親イカのうち、雌の年平均漁獲個体数は 1,025 個体と推定され、親イカの個体数と比較すると卵囊塊数は非常に少なかった。

京都府沿岸域(和田ら 1995)では、水深 30m と 40m に設置された定置網や刺網の網地で卵囊塊が確認されていることから、徳島県海域でもより深い海底の卵囊塊付着基盤に産卵されている可能性があるとともに、1 回の産卵期に多回産卵を行う(和田 1993, 和田・小林 1995, 和田ら 1995, 小林・河野 1995)親イカの漁獲

量と比べて、自然界にアオリイカにとっての適当な産卵場や囊塊の付着基盤が少ない可能性が考えられる。

3-2. 人工産卵礁

アオリイカの増殖を目的として、日本各地で漁業者らによりシイ *Castanopsis cuspidata* やヤマモモ *Myrica rubra* などの柴を用いた産卵場の造成が実施されている（掬川 1985, 志内 1990, 石井 1991, 土佐 1992, 杉本 1994, 加島 1994）。人工産卵礁の設置場所としての好適地やその条件を明らかにするとともに効率的な産卵礁を開発する目的で、人工産卵礁を設置することによりアオリイカの産卵場や卵囊塊付着基盤の選択性および卵囊塊付着基盤の形状と配置に関する試験を実施した。

材料と方法

アオリイカが産卵場や卵囊塊付着基盤の材質に対して選択性を有するかどうか明らかにするための試験を那佐地区で実施するとともに、卵囊塊付着基盤の形状や空間に対する選択性を明らかにするための試験を穴喰漁港前で実施した。

産卵場と卵囊塊付着基盤の材質と構造に対する選択性

アオリイカの人工産卵礁を徳島県海部郡穴喰町那佐地区（試験海域 1）の入り江に設置し、人工産卵礁に対するアオリイカの産卵行動について観察を行った（Fig. 2-2-1 上段の図）。設置海域の底質は岩礁、砂地および転石からなり、砂地の一部にはアマモ場が、転石の一部にはガラモ場が発達している。また、この

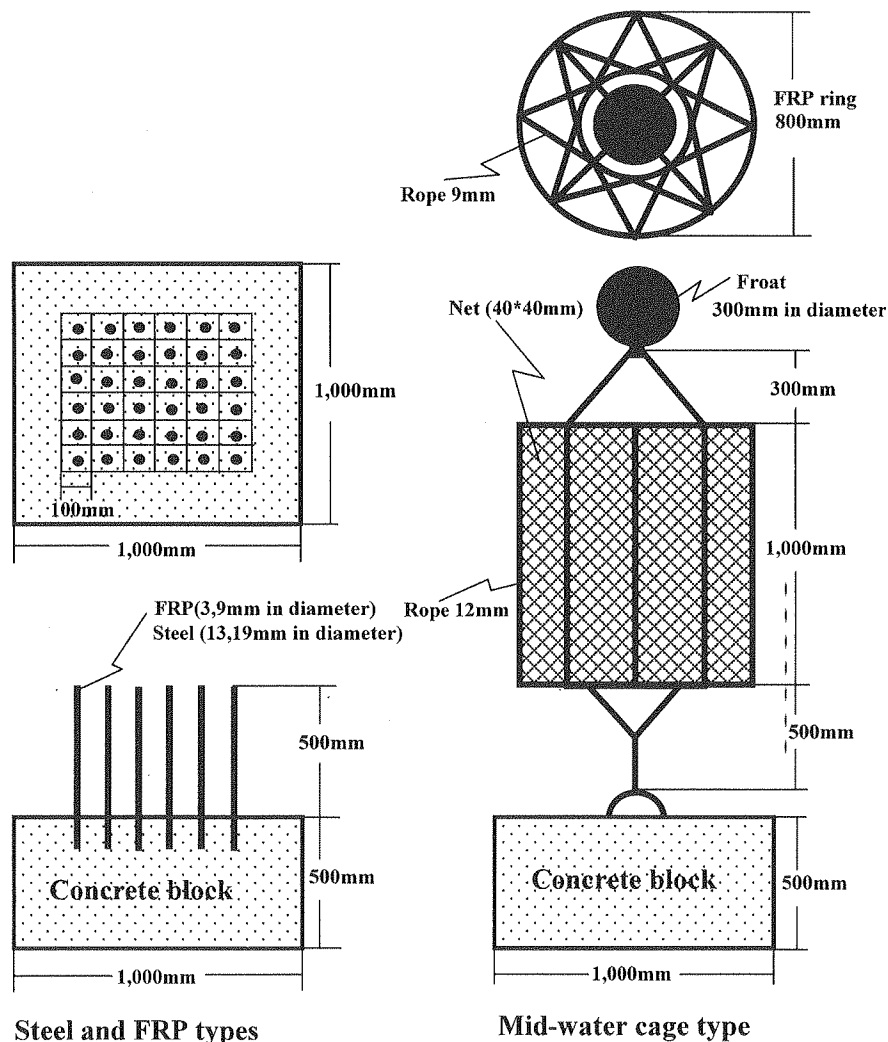


Fig. 2-3-1. Three types of the man-made spawning bed used for the present experiment in area 1. Poles of FRP (ϕ 3mm and 9mm) and steel (ϕ 13mm and 19mm) were provided on the concrete block (1m $\times$ 1m $\times$ 50cm) of FRP type and steel type, respectively. Mid-water cage types comprised cylindrical cage with a float and were fixed on the concrete block. Ropes (ϕ 9mm) were stretched between the walls inside of cage.

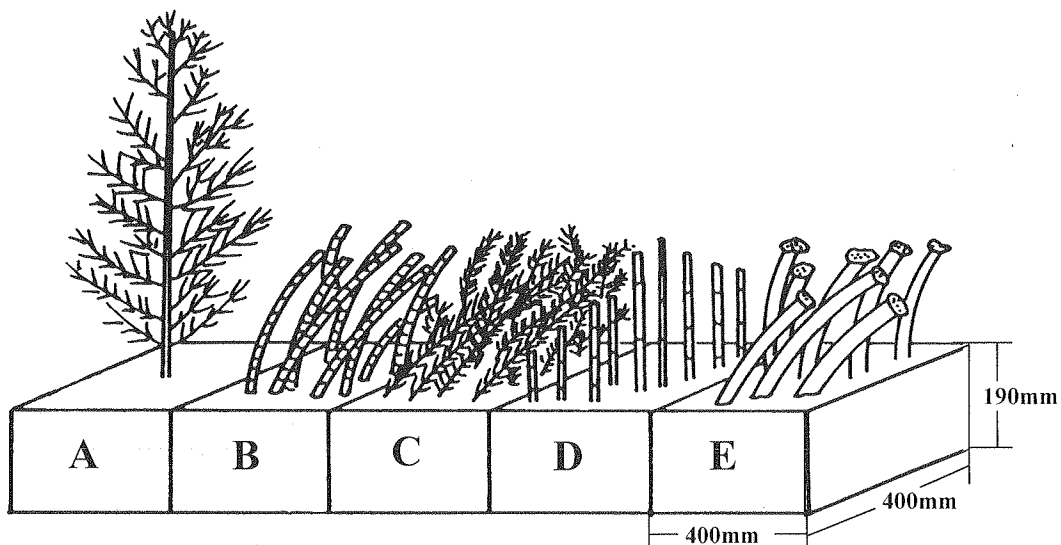


Fig. 2-3-2 Five types of small scale artificial reef for the present experiment in area 1. A, brush wood of holm oak (1.5m in height) ; B, rope of chemical fiber (27-37cm in length, ϕ 13mm) ; C, filaments made of plastics (60-70cm in length) ; D, pole of steel (27-40cm in length, ϕ 10-18mm) ; E, films made of plastics with froats of urethane (30-50cm in height).

水域に直接影響を及ぼす流入河川はない。

人工産卵礁の設置場所は、太平洋に面して、波浪の影響を直接受けるA地点（水深7～10m）、大きな岩に遮られて沖合からの波浪の影響を受けにくいB地点（水深8～11m）、天然の卵囊塊付着基盤となるアマモが発達して1988と1989年に多数の卵囊塊が観察されたC地点（水深3～5m）およびC地点に隣接し、C地点と同様の環境特性を有するD地点の4ヶ所とした。これらの各地点はそれぞれ直線距離で300m以内の範囲にある。

人工産卵礁として鉄筋タイプ、FRPタイプ、中層網籠タイプおよび小型産卵礁タイプの4種類を用いた。鉄筋タイプは1000×1000×500mmのコンクリートブロックに鉄筋（直径13mm又は直径19mm、高さ500mm）を10cm間隔に36本埋め込んだもの（Fig.2-3-1）、FRPタイプは同様のコンクリートブロックにFRP棒（直径3mm又は直径9mm、高さ500mm）を10cm間隔に36本埋め込んだものである（Fig.2-3-1）。中層網籠タイプは同じブロックにポリエチレン製網籠（東京製網K.K.製アオリイカ産卵礁）を装着した産卵礁である（Fig.2-3-1）。小型産卵礁タイプは、コンクリートブロック（400mm×400mm×190mm）に高さ約1.3mのウバメガシ *Quercus phillyraeoides* の枝（A）、直径13mm、長さ30～40cmのロープ（B）、30～40cmのキンラン（川島商事k.k.製）（C）、直径15mm、長さ40～60cmの鉄棒（D）、長さ30～40cmの人工海藻（E）を装着したものである（Fig.2-3-2）。

これらの人工産卵礁のうち1990年にはA、B各地点に鉄筋タイプ、FRPタイプ、中層網籠タイプをそれぞれ3礁、C地点にはそれぞれ4礁総計30礁を配置した。1990年に限り、多様な付着基盤に対する親イカの選択性を調べる目的でC地点に小型産卵礁タイプ5礁を設置した。中層網籠タイプについては、1990年のB地点の2礁を除いて、産卵がほぼ終了したと考えられる8～10月に回収し、掃除および修繕を行ったのち、翌年の5月に再度設置し、再び観察を継続した。1991年にA、C地点では全く産卵が認められなかったため、1992年のA、C地点および1993年のA地点では中層網籠タイプを設置しなかった。

人工産卵礁に対する産卵の状況を調べるために、1990年5～10月、1991年5～10月、1992年5～8月および1993年5～9月に、毎月1～2回SCUBA潜水による水中観察と産卵礁および周辺の写真撮影、VTR録画を行うとともに調査海域における底層の水温、塩分を水温塩分計（Kent Industrial社製EIL5005モデル）を用いて観測した。

卵囊塊付着基盤の形状や空間に対する選択性

アオリイカ人工産卵礁の設置および調査観察は、徳島県海部郡穴喰町の穴喰漁港周辺（試験海域2）において行った（Fig.2-2-1の上段の図）。試験海域は穴喰漁港防波堤の前部に位置しており、水深は5.3～6.6m、底質は砂質からなり、藻場やイソバナ等適当な卵囊塊付着基盤がないことから、従来はアオリイカの産卵場

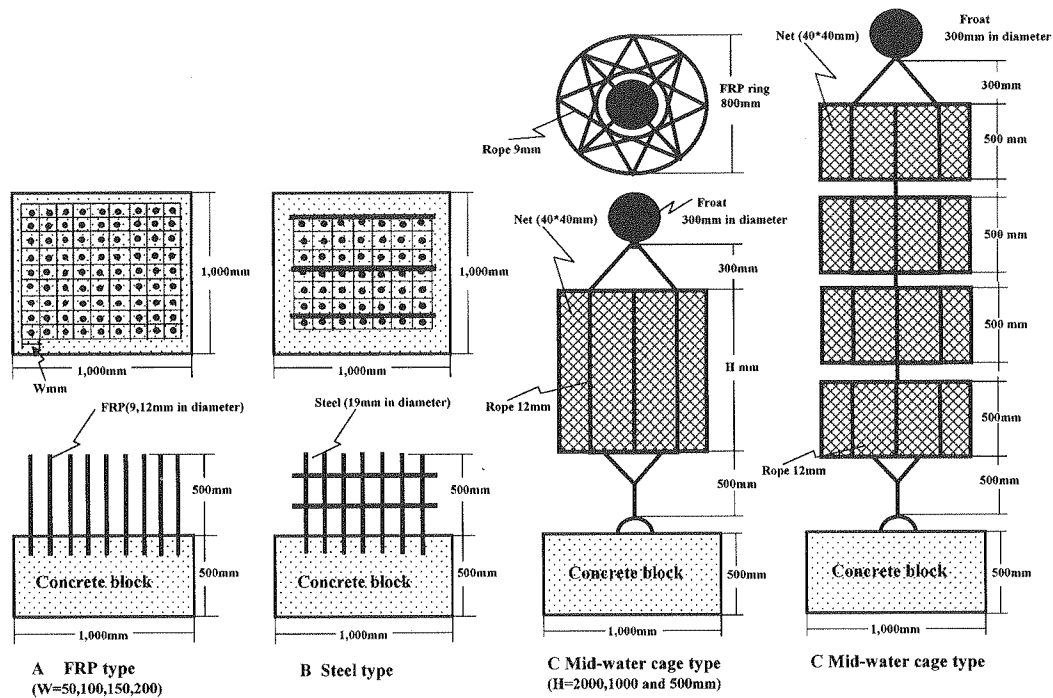


Fig. 2-3-3 Three types of the man-made spawning bed for the present experiment in area 2. Poles of FRP (9mm and 12mm in diameter) were provided with space of 5, 10, 15 and 20cm on the concrete block (1m × 1m × 50cm) of FRP type. Steel types consisted of 49 vertical poles and 0-6 horizontal poles of steel (19mm in diameter) on the concrete block (1m × 1m × 50cm). Mid-water cage types consisted of cylindrical cage (50cm, 1m, 2m in height and 4 linked cages) with a float and were fixed on the concrete block. Ropes (9mm in diameter) were stretched between the walls inside of cages.

として利用されていなかった海域である。

人工産卵礁として FRP、鉄筋、および中層網籠の 3 種類の異なったタイプを用いた。FRP タイプは 1000 × 1000 × 500 mm のコンクリートブロックに FRP 棒（直径 9mm または 12mm、高さ 500mm）を 5 cm、10 cm、15 cm および 20 cm 間隔にそれぞれ 289、81、49、25 本埋め込んだ（Fig.2-3-3, A）。鉄筋タイプは同様のコンクリートブロックに鉄筋（直径 19 mm、高さ 50 cm）を 15 cm 間隔に 49 本埋め込んだものに水平に同様の鉄筋を 0 ～ 6 本格子状に配置した（Fig.2-3-3, B）。中層網籠タイプは、同様のコンクリートブロックに高さ 50 cm、100 cm、200 cm のポリエチレン製網籠（東京製網 K.K. 製アオリイカ産卵礁）を一つ装着したものと高さ 50 cm のポリエチレン製網籠を 4 個連結した 2 種類の産卵礁である（Fig.2-3-3, C, D）。FRP、鉄筋および中層網籠タイプの 4 種類の人工産卵礁を各 2 礁ずつ計 8 礁を 1 列に並べ、総計 24 礁を設置した（Fig.2-2-1）。

人工産卵礁設置後の産卵状況を調べるために、1991 年 5 ～ 10 月、1992 年 5 ～ 8 月、1993 年 5 ～ 9 月、1994 年 5 ～ 7 月に SCUBA による水中観察を行うとともに、産卵礁および周辺の写真撮影を行った。また、

調査海域における表層および底層（水深 5.3 ～ 6.6m）の水温、塩分を水温塩分計（Kent Industrial 社製 EIL5005 モデル）を用いて観測した。

結 果

産卵場の特性と卵囊塊付着基盤の材質と構造に対する選択性

調査海域における底層水温は、調査時期による差がみられるものの、同一調査日の A、B、C 各地点の水温差は 1.0℃ 以内で、大きな差は認められなかった（Table 2-3-1）。また、1992 と 1993 年に B 地点で観測した塩分は、表層で 32.6 ～ 33.6 psu、底層で 32.0 ～ 34.3 psu を示した。

1990 年の調査では、A、C 両地点に設置した人工産卵礁へ卵は産みつけられておらず、産卵が認められたのは、6 月 26 日、7 月 11、27 日に B 地点の人工産卵礁、7 月 11 日、10 月 3 日に D 地点の小型産卵礁であった（Table 2-3-2）。天然の付着基盤への産卵は、5 月 23 日に 2 卵囊塊および 6 月 12 日に 3 卵囊塊が入り江内部のホンダワラ類 *Sargassum* spp. で認められた。人工産卵礁では 6 月 26 日に中層網籠タイプに卵が産みつけられているのが観察された。7 月 11 日には B 地点の中層網

Table 2-3-1. Monthly change of water temperature and salinity on the bottom at sts. A, B and C in Nasa

Date	Temperature(℃)			Salinity(psu)
	St.A	St.B	St.C	St.B
May 23, 1990	20.0			
June 12	20.4			
June 26	22.4			
July 11	23.1			
July 27	23.5			
Aug. 16	25.3			
Oct. 3	25.1			
May 24, 1991	18.7	18.7	18.6	
June 6	19.5	19.2	19.7	
June 27	21.2	21.1	21.5	
Aug. 6	25.1	25.2	25.5	
Sep. 2	27.5	27.5	27.9	
Oct. 15	24.0	23.5	23.4	
May 15, 1992	19.9	20.2	20.4	33.0
May 27	21.2	21.1	20.9	33.6
June 22	21.9	22.0	22.1	33.6
July 21	24.0	24.0	24.7	33.5
Aug. 28	24.0	24.0	24.7	32.6
May 20, 1993	19.4	19.3	19.4	34.3
June 22	21.4	21.8	21.8	33.5
July 22	22.6	22.5	23.5	32.0
Aug. 21	26.2	26.1	26.4	32.6
Sep. 29	24.6	24.6		

籠タイプの 1 例を除くすべてのタイプの人工産卵礁および小型魚礁タイプのウバメガシ産卵礁で卵嚢が産みつけられていた。これに対して 8 月 16 日には、天然の産卵基盤および人工産卵礁いずれにも卵嚢塊の存在は認められなかったが、10 月 3 日には D 地点の小型魚礁タイプの人工海藻で 1 卵嚢塊が認められた。

1991 年の調査では人工産卵礁で卵嚢塊が観察されたが、海藻等の天然の付着基盤への産卵は認められなかった (Table 2-3-2)。A 地点では 5 月 24 日と 6 月 6 日に鉄筋タイプで少量の産卵が認められたのみであったが、B 地点では 5 月 24 日～8 月 6 日の調査で、3 種類すべての産卵礁に卵嚢塊が認められた。C 地点では鉄筋タイプおよび FRP タイプで多くの卵嚢塊が観察されたにもかかわらず、中層網籠タイプに産卵された卵嚢塊は認められなかった。

1992 年の調査では、A 地点は調査期間を通じて全く卵嚢塊が認められなかった。5 月 15 日には B 地点の鉄筋タイプおよび FRP タイプで卵嚢塊がみられるとともに、入り江内部のホンダワラ類で 7 卵嚢塊が観察された (Table 2-3-2)。C 地点では、B 地点よりも遅い 6 月 22 日から 7 月 21 日に卵嚢塊が認められた。

1993 年でも 1990～1992 年同様 A 地点では調査期間

Table 2-3-2. Existence of egg masses of oval squid attached to four different types of spawning bed settled in stations A-D and natural sea-weed bed in Nasa

Station	St.A										St.B										St.C										St.D					No. of capsule mass in sea-weed bed**
	Man-made spawning bed*	C1	C2	C3	I1	I2	I3	F1	F2	F3	C4	C5	C6	I4	I5	I6	F4	F5	F6	C7	C8	C9	C10	I7	I8	I9	I10	F7	F8	F9	F10	B1	B2	B3	B4	B5
May 23, 1990		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2
June 12		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3
June 26		-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
July 11		-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	0
July 27		-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
Aug. 16		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
Oct. 3		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	0
May 24, 1991		-	-	-	+	+	+	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	0
June 6		-	-	-	+	+	+	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0
June 27		-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0
Aug. 6		-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0
Sep. 2		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
Oct. 15		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
May 15, 1992		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7
May 27		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
June 22		-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
July 21		-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
Aug. 28		-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
May 20, 1993		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
June 22		-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
July 22		-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0
Aug. 21		-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	0
Sep. 29		-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0

* C1-C10:Mid-water cage type, I1-I10:Steel type, F1-F10:FRP type, B1-B5:Small artificial reef type.

** Observed in the all research area.

を通じて全く卵囊塊が認められなかった。しかし、5月20日にB地点の鉄筋タイプおよびFRPタイプの全てで卵囊塊が認められ、6月22日には中層網籠タイプの全てで卵囊塊が認められた (Table 2-3-2)。C地点では、6月22日に初めて中層網籠タイプの1礁で卵囊塊が認められたが、本格的な産卵は7月22日以降に

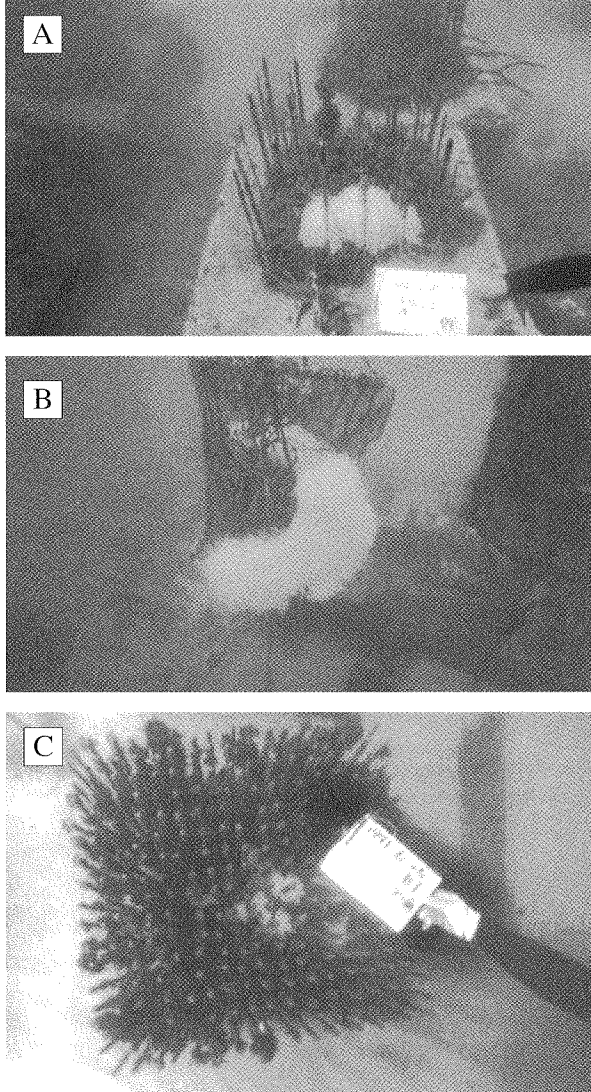


Fig. 2-3-4 Egg capsules laid on man-made spawning bed. (A) Egg capsules laid on FRP beds on June 27, 1991. Newly spawned egg capsules (partly) covered the older ones. (B) Egg capsules laid on the mid-water cage type beds on June 6, 1991. Egg capsules were laid on both inside and outside of the cage. (C) Egg capsules laid on FRP beds provided 289 poles with space of 5cm on June 26, 1991. Newly spawned egg capsules were laid at the base of poles of 49 vertical poles and 0-6 horizontal poles of steel (19mm in diameter) on the concrete block (1m*1m*50cm). Mid-water cage types consisted of cylindrical cage (50cm, 1m, 2m in height and 4 linked cages) with a float and were fixed on the concrete block. Ropes (9mm in diameter) were stretched between the walls inside of cages.

みられた。

1990～1993年を通じて最も多くの卵囊塊がみられたのは水深8～11mのB地点で、この地点は入江の開口部に近いにもかかわらず、外海からの波浪に対して岩影となる場所であった。次いで、1991～1993年に多くの卵囊塊が認められた入江奥部のC地点であった。また、1992年および1993年ではC地点の産卵開始時期はB地点よりも遅かった。外洋に面した直接波浪の影響を受けやすいA地点では、水深はB地点とほぼ同じであるが、1991年5～6月の調査を除いてアオリイカの卵囊塊は観察されなかった。また、1988、1989年に多量の卵囊塊が産みつけられていたC、D地点のアマモ場ではまったく産卵が認められず、入り江内部のガラモ場への産卵も1990年6月26日および1992年5月15日を除いて全く認められなかった。

A、B、C地点全体をみると、鉄筋、FRP、中層網籠の3タイプの産卵量は、鉄筋タイプ>FRPタイプ>中層網籠タイプの順であった。しかし、最も産卵量の多かったB地点における産卵量は中層網籠タイプ>鉄筋タイプ>FRPタイプの順となった。調査地点を通して多くの卵囊塊が認められた鉄筋タイプ、FRPタイプではそれぞれの産卵礁の中心部に近い部分から産卵が行われ、すでに産み付けられている卵囊塊の上部に新たな卵囊塊が産み付けられていた (Fig.2-3-4)。これに対してB地点で最も産卵量の多かった中層網籠タイプでは1卵囊塊当たりの卵囊数が鉄筋タイプやFRPタイプより多く、籠の内部ばかりでなく、籠の外部にも多くの卵囊塊が認められた (Fig.2-3-4)。

卵囊塊付着基盤の形状と空間に対する選択性

1991年5月～1994年7月の調査海域における表層水温は19.3～28.2℃、底層水温は18.5～27.8℃であった (Table 2-3-3)。表層水温と底層水温の差は1.4℃以内で、ほとんどの場合底層の水温が低かった。塩分は、表層が30.7～33.9psu、底層が31.4～34.1psuであった。表層塩分と底層塩分の差は0.1～1.6psuで調査期間を通じて底層の塩分が高かった。

1991年の卵囊塊の潜水調査では、6月6日および6月26日にFRPタイプ5cm間隔の1礁および2礁でそれぞれ卵囊塊が確認された。6月26日には、アオリイカの卵に混じってカミナリイカ *Sepia lycidas* の卵囊塊が認められた。8月26日にはFRPタイプ5cm間隔2礁、FRPタイプ10cm間隔1礁および高さ50cmの4

Table 2-3-3. Monthly change of water temperature and salinity of the surface and bottom at the research area of Shishikui fishing port

Date	Temperature (°C)		Salinity(psu)	
	Surface	Bottom	Surface	Bottom
May 24 ,1991	19.3	18.5		
June 6 ,1991	20.5	19.7		
June 26 ,1991	22.2	21.2		
Aug 6 ,1991	26.7	26		
Sep. 2 ,1991	28.1	27.5		
Oct. 15 ,1991	23.2	23.3		
May 15 ,1992	20.4	19.8	31.8	32.9
May 27 ,1992	21.3	21.2	33.2	33.6
June 22 ,1992	21.8	22	33.3	33.7
July 21 ,1992	25.8	24.6	33.1	33.4
Aug. 28 ,1992	25.8	24.6	31.5	32.5
May 20 ,1993	19.6	19.4	33.9	34.1
June 22 ,1993	22.6	21.5	32.8	33.5
July 22 ,1993	24.9	23.5	30.7	31.4
Aug. 21 ,1993	27.0	26.5	31.3	32.4
Sep. 29 ,1993	24.9	24.7	31.5	32.5
May 13 ,1994	20.6	21.4	32.4	33.4
June 23 ,1994	23.4	23.8	31.7	33.3
July 19 ,1994	28.2	27.8	33.7	33.8

層中層網籠タイプ1 礁でアオリイカの卵囊塊が認められた (Fig.2-3-4, Tables 2-3-4, 5, 6)。このうち, 4 層中層網籠タイプでは, 最下層の籠内部に限り卵囊塊が認められた。9 月 2 日には高さ 100 cm の中層網籠タイプのみで産卵が認められた。

1992 年には, 5 月 15 日に土台のコンクリートブロックの一部が, 鉄筋タイプでは鉄筋の 10 ~ 20 cm が, 中層網籠タイプではコンクリートブロックが完全に海底の砂に埋没していた。このため, 1992 年以後は中層網籠タイプでは籠を設置できなかった。しかしながらコンクリート土台が砂に埋没していたにもかかわらず, 5 月 15 日, 5 月 27 日, 8 月 28 日に FRP タイプ 5 cm 間隔 1 礁で, 7 月 21 日に鉄筋タイプ 1 礁で, 砂の上に出ている鉄筋や FRP 棒に産卵された卵囊塊が認められた。

1993 年には, 5, 6 月に卵囊塊が認められなかったが, 7 ~ 9 月に FRP タイプ 5 cm 間隔 2 礁で卵囊塊が認められた。8 月には FRP タイプ 10 cm 間隔および鉄筋タイプそれぞれ 1 礁で卵囊塊が認められた。

1994 年には, 5 月 13 日に FRP タイプの 5 cm 間隔 2 礁と 10 cm 間隔 1 礁で卵囊塊が認められた。6 月 23 日には FRP タイプの 5 cm 間隔 1 礁と 10 cm 間隔 2 礁で卵囊塊が確認された。また, アオリイカの卵囊塊と同

Table 2-3-4. Existence of egg masses of oval squid in each man-made spawning bed of steel type

Date	Man-made spawning bed (No. of horizontal poles)							
	A(0)	B(3)	C(6)	D(6)	E(0)	F(3)	G(6)	H(6)
May 24 ,1991	-	-	-	-	-	-	-	-
June 6	-	-	-	-	-	-	-	-
June 26	-	-	-	-	-	-	-	-
Aug. 6	-	-	-	-	-	-	-	-
Sep. 2	-	-	-	-	-	-	-	-
Oct. 15	-	-	-	-	-	-	-	-
May 15,1992	-	-	-	-	-	-	-	-
May 27	-	-	-	-	-	-	-	-
June 22	-	-	-	-	-	-	-	-
July 21	-	-	-	+	-	-	-	-
Aug. 28	-	-	-	-	-	-	-	-
May 20,1993	-	-	-	-	-	-	-	-
June 22	-	-	-	-	-	-	-	-
July 22	-	-	-	-	-	-	-	-
Aug. 21	+	-	-	-	-	-	-	-
Sep. 29	-	-	-	-	-	-	-	-
May 13,1994	-	-	-	-	-	-	-	-
June 23	-	-	-	-	-	-	-	-
July 19	-	-	-	-	-	-	-	-

Table 2-3-5. Existence of egg masses of oval squid in each man-made spawning bed of FRP type

Date	Man-made spawning bed (Space of poles)							
	I(5cm)	J(10cm)	K(15cm)	L(20cm)	M(5cm)	N(10cm)	O(15cm)	P(20cm)
May 24 ,1991	-	-	-	-	-	-	-	-
June 6	-	-	-	-	+	-	-	-
June 26	+	-	-	-	+	-	-	-
Aug. 6	+	-	-	-	+	+	-	-
Sep. 2	-	-	-	-	-	-	-	-
Oct. 15	-	-	-	-	-	-	-	-
May 15,1992	-	-	-	-	+	-	-	-
May 27	-	-	-	-	+	-	-	-
June 22	-	-	-	-	-	-	-	-
July 21	-	-	-	-	-	-	-	-
Aug. 28	-	-	-	-	+	-	-	-
May 20,1993	-	-	-	-	-	-	-	-
June 22	-	-	-	-	-	-	-	-
July 22	+	-	-	-	+	-	-	-
Aug. 21	+	-	-	-	+	-	-	-
Sep. 29	+	-	-	-	+	-	-	-
May 13,1994	+	-	-	-	+	+	-	-
June 23	+	+	-	-	+	+	-	-
July 19	-	-	-	-	+	+	-	-

*: observed egg masses of *Sepia lycidas* at the same time.

Table 2-3-6. Existence of egg masses of oval squid in each man-made spawning bed of mid-water cage type

Date	Man-made spawning bed (height and number of cage)							
	Q(50cm)	R(100cm)	S(200cm)	T(50cm×4)	U(50cm)	V(100cm)	W(200cm)	X(50cm×4)
May 24 ,1991	-	-	-	-	-	-	-	-
June 6	-	-	-	-	-	-	-	-
June 26	-	-	-	-	-	-	-	-
Aug. 6	-	-	-	-	-	-	-	+
Sep. 2	-	-	-	-	-	+	-	-
Oct. 15	-	-	-	-	-	-	-	-

時に FRP タイプの 5 cm 間隔 2 礁と 10 cm 間隔 2 礁でカミナリイカの卵囊塊が認められた。7 月 19 日には 5 cm 間隔 2 礁と 10 cm 間隔 1 礁で卵囊塊が認められた。

1991～1994 年の 4 カ年を通じて最も多く卵囊塊が確認されたのは 5 cm 間隔の FRP タイプのものであった (Table 2-3-5)。また、FRP タイプで観察されたアオリイカの卵囊塊は、礁中心部の棒基部で多く認められたが、カミナリイカの卵囊塊は FRP 棒先端や産卵礁側面に多かった。このようにコウイカ類では側面から水平方向に産卵する傾向が認められたのに対し、アオリイカでは上から垂直方向に産卵する傾向が認められた。アオリイカは産卵場所として上方に開放された狭い空間を選択する傾向がみられた。

鉄筋タイプは構造的に FRP タイプと異なり、垂直の鉄筋に水平に鉄筋が設置され、鉄筋タイプの垂直棒の間隔は 15 cm で最も多く産卵が認められた FRP タイプの 5 cm 間隔に比べて広い。4 カ年の調査を通じて水平棒のないもので延べ 1 日、6 本の水平棒のあるもので延べ 1 日産卵がみられたのみであった (Table 2-3-4)。

中層網籠タイプでは、籠の高さが 100 cm の中層網籠で 1 例と 4 層連結タイプの最下層への産卵がみられた。それ以外の部分への産卵が認められなかったことから (Table 2-3-6)、親イカは、水深 5、6 m では水面から水深 4、5 m の付着基盤を選択する傾向がみられた。

宍喰漁港前の海域において、海藻類、サンゴ等の天然の卵囊塊付着基盤が存在しない海底に産卵礁を設置したところ産卵が認められたことから、産卵礁の設置により新たなアオリイカの産卵場が造成された。

考 察

産卵場の条件

調査海域の A、B、C 地点に設置された各アオリイカ人工産卵礁間の距離はそれぞれ 300m 以内に位置しており、各地点の底層の水温には大きな差がみられず、流入河川も近くにないことから、調査海域の水質はほぼ等しいものと考えられた。このことから、A、B、C の 3 地点に設置した人工産卵礁における産卵量および産卵時期から、親イカは産卵場としては B 地点のように波浪の影響を受け難い岩影や入り江の静穏域を選ぶものと考えられた。このことは、宍喰町周辺において天然の産卵基盤への多量の卵囊塊が観察された海域がすべて入り江、湾内および島陰の静穏域であったことと良く一致した。

産卵場の条件として、土屋 (1981) は水深 3m 以浅の浅い場所、潮通しが良いこと、稚仔の隠れ場になるウミシヨウブ *Enhalus acoroides* などの海草が密生していること、淡水の影響が少ないこと、親イカの外敵が少なく、餌料生物が豊富なことを指摘した。沖縄石垣島 (沖縄水試 1975) では水深 1.5～15m で、波が静かで潮流の弱いところが産卵場の条件とされている。また、長崎県五島 (志内 1990) ではアオリイカの産卵床設置の適地として水深 15～20m の潮流がゆるやかで波静かなところ、河川水の影響を受けないところ、海底は砂地でこぼれ瀬 (岩礁) があると良いなどの条件を上げている。その他、愛知県渥美海域 (崔・大島 1961) では内海の浅海域、千葉県小湊 (Segawa 1987) では水深 2～10m のホンダワラ群落、京都府浜詰浦 (鈴木ら 1983) では水深 10m 以浅のホンダワラ群落、京都府沿岸域 (和田ら 1995) では水深 1～40m のホンダワラ類、アマモ、定置網や刺網の網地および人工産卵礁 (広葉樹の枝) がアオリイカの産卵場になっていることが報告されている。本研究の結果、徳島県沿岸の内湾の静穏域がアオリイカの産卵の好適地になっていることは、西表島、沖縄、長崎県五島、愛知県渥美海域、京都府浜詰浦および京都府沿岸域の結果はよく一致する。また、産卵水深が京都府沿岸域の 30～40m および長崎県五島の 15～20m を除いて概ね 15m 以浅の浅海域であることも、本研究結果とよく一致する。しかしながら、徳島県でも水深 16m に設置された柴漬けで産卵が確認されたり、採貝漁業者が水深 20～30m でも卵囊塊を確認していることから、今回の産卵礁の設置海域よりさらに深い海域にも産卵が行われている可能性が高いことが示唆された。

付着基盤の材質と構造に対する選択性

産卵適地と考えられた B 地点における結果をみると中層網籠>鉄筋>FRP の順に産卵量が多く、付着基盤に対する構造や材質に対する選択性が認められると考えられた。このことから、人工産卵礁については材質と構造の両面から検討する必要がある。自然界における卵囊塊の付着基盤として比較的柔らかいアマモ (上田ら 1992, Segawa 1987)、ウミシヨウブ (土屋 1981)、ホンダワラ類 (志内 1990, 沖縄水試八重山支場 1977, 沖縄水試 1973, 上田ら 1992, Segawa 1987, 鈴木ら 1983) などの海草 (藻) 類や定置網の網やロープ類 (土屋 1981, Segawa 1987) などから、イソバナ (沖縄水試 1973)、

サンゴ類(沖縄水試八重山支場 1977, Segawa 1987, 沖縄水試 1973, Segawa *et al.* 1993)など硬いものまで報告されており, その選択の幅は非常に広い。本研究の人工産卵礁でも, 中層網籠, 鉄筋, FRP の他, ウバメガシ, 人工海藻などにも卵囊塊が産み付けられており, 網や人工海藻のように柔らかいものから鉄筋のように硬いものまで材質の選択の幅は広いものと考えられる。

選択性に及ぼす環境要因としては, 中層網籠と鉄筋, FRP 礁では付着基盤の海面からの距離に差が認められる。鉄筋および FRP タイプはコンクリートブロックの上面を海底面と仮定すると, その基部に多く産みつけられたことは自然界のアマモやイソバナへの産卵様式とよく似ている。中層網籠タイプは付着基盤の位置が海底より 1m 以上離れており, コンクリート直上部には産卵が認められていないことから, アオリイカは必ずしも海底付近の付着基盤を選ぶのではなく, 中層でも適当な付着基盤があれば産卵を行うことを示している。これは, ホンダワラ類では基部ではなく基部から一定以上の距離の部位に産卵すること (Segawa 1987) とよく一致している。しかしながら, 1991 年以降, 鉄筋および FRP タイプで B 地点と同様な静穏域に設置された C 地点の中層網籠タイプでは, 調査期間を通じて 1993 年 6 月 22 日の 1 事例しか産卵が認められなかった。C 地点の水深は 3 ~ 5m と浅く, このため海面から付着基盤までの間隔が 1 ~ 3m と短く, 産卵行動のための十分な空間が得られないために, アオリイカが産卵礁として利用しなかったと考えられる。また, 産卵は複雑な構造を有する中層網籠内部に多く認められることや, 鉄筋, FRP タイプでは中央部に埋め込んだ棒の基部でより多く産卵がみられることから, ある程度狭い入り組んだ空間を産卵場として選択するものと考えられる。

沖縄においては, モジ網およびクバ(標準和名はビロウ *Livistoma chinensis*)の葉を用いた中層籠タイプの人工産卵礁が設置された(沖縄水試 1973)。これらは 2 段からなり, 水深 7m に設置された場合, 上段にも卵囊塊の付着がみられたが下段の付着量がより多かった(沖縄県水産試験場 1973)。また, フィリピン (川村 1990) やタイ (Chotiyaputta 1991) では予めココヤシの枯れ穂に卵囊塊を付着させ, それを中層網籠 (squid trap) に入れて, 産卵のため籠に入網した親イカを漁獲する漁法が盛んである。フィリピンで, 水深 6 ~ 8m で, タイでは水深 14 ~ 25m で操業が行われ, タイでは籠

の位置は海底より 2 ~ 3m 上方に設置されている。本研究と沖縄における人工産卵礁, フィリピン, タイの中層網籠を併せて考えると, 産卵の場としての付着基盤の垂直的な位置は設置水深によっても異なると考えられるものの, 6 ~ 7m 以上の水深があれば付着基盤が海底から 2 ~ 3m 離れていても, 十分な役割を果たすものと考えられる。また, いずれの人工産卵礁や網籠も入口が上を向いており, アオリイカは上部から接近あるいは入網する。本研究で用いた鉄筋, FRP タイプにおいても中央部から産卵がみられ, 中層網籠内部への産卵についても上方からの産卵行動が示唆される。これらの点は, 同様に籠漁業が行われ, 籠への産卵が認められるコウイカ類が, 産卵様式に海底の低質依存性が強く (山口・山根 1998), 籠の入り口が籠の側面に位置し, そこから入籠する点で大きく異なる (川村 1990)。

これらの行動から, このような人工産卵礁や籠漁業の漁具の構造を考える上で対象とされる生物の行動様式をよく知ることが, たいへん重要であることが明らかとなった。

付着基盤の形状と位置

アオリイカの卵囊塊付着基盤に対する選択性に係わる要因として, 付着基盤の海面および海底からの距離と形状が考えられる。鉄筋および FRP タイプでは産卵基盤の基部に産みつけるが, これは自然界のアマモやイソバナへの産卵様式とよく一致している。また, 鉄筋と FRP タイプでは材質が異なるにもかかわらず, 産卵量にほとんど差が認められなかったことから (上田ら 1995), 鉄筋タイプと FRP タイプは, その材質よりも形状や空間の構造が重要な要因と考えられる。

本研究の結果から, 水平棒が設置された鉄筋タイプへの産卵は僅か一例しかみられず, その一例も垂直棒の基部に産卵されたものであったことから, 水平に設置された付着基盤がアオリイカの産卵行動様式 (Segawa 1987) に必ずしも適当でない可能性が考えられる。また, 本研究で産卵が認められた 5 cm の FRP タイプ間隔に比べて, 垂直鉄筋の間隔が 5 cm 大きかった 10 cm 間の隔鉄筋タイプで産卵が認められていること (上田ら 1995) から, FRP タイプと鉄筋タイプの産卵の差は材質によるのではなく, 棒の間隔の影響が大きいと考えられる。

5 cm 間隔の FRP タイプは礁中心部の棒基部への産

卵が多く認められた(Tables 2-3-5)。アオリイカの産卵は漏斗から産出された卵嚢をⅠ～Ⅳ腕を用いて付着基盤に付着させることが報告されている (Segawa1987)。このことから、産卵に用いる雌の親イカの腕長は産卵基質の構造に大きく係わる要因と考えられる。卵巣成熟度の季節変化より推定されたアオリイカの雌の生物学的最小形は外套背長 15.5 cm であり、成熟した雌の最大外套背長は 32.0 cm であった。アオリイカの外套背長と腕長のアロメトリー式 (Segawa1987) から腕長を推定すると外套背長 15.5 cm の個体のⅠ～Ⅳ腕長が 4.7 ～ 7.3 cm、外套背長 32 cm のⅠ～Ⅳ腕長が 8.9 ～ 14.2 cm となった。上方から産卵を行うアオリイカの習性とアオリイカの腕長から考えて高さ 50 cm の FRP 棒基部へ産卵するためには、親イカの腕のみでは届かないと考えられる。親イカは FRP タイプおよび鉄筋タイプの棒基部へ産卵するために FRP 棒の上部から FRP 棒の間に体を挿入する必要があることが明らかで、産卵付着基盤の隙間は最低頭部がこの間に入れるだけの間隔を要する。アオリイカの外套背長と頭幅のアロメトリー式 (Segawa 1987) から頭幅を推定すると、外套背長 15.5 cm の頭幅は約 4 cm であり、外套背長約 22 cm 頭幅は 4.5 cm と推定された。このことから、外套背長 22 cm 以下のアオリイカなら FRP 棒の間に体を挿入することが可能と考えられた。

本研究の人工産卵礁において産卵された卵嚢塊の観察結果から、アオリイカの産卵付着基盤構造および位置に対する選択性が明らかにされた。このことは、今後アオリイカの産卵礁を設計する上で考慮する必要がある。

産卵場造成の可能性

那佐地区において人工産卵礁の設置後、1990 年 5、6 月および 1992 年 5 月に人工産卵礁周辺のガラモ場の一部への産卵を除くと、那佐地区の人工産卵礁周辺のアマモ場や天然礁への産卵が認められなかった。このことから、今回の研究に用いた鉄筋、FRP および網籠などの素材を産卵基盤として備えた各タイプの人工産卵礁は卵嚢塊付着基盤としてアマモ場やガラモ場などの天然産卵場を上回るものと考えられる。

また、那佐地区の B 地点や穴喰漁港前の産卵礁の設置地点は、設置以前はそれぞれ大型海藻の生えない転石帯や砂地であり、産卵場としてほとんど利用されていなかったにもかかわらず、人工産卵礁を設置することでアオリイカの産卵が認められた。このことより、従来、天然の付着基盤が存在しない海域でも人工産卵礁を設置することにより新たな産卵場を造成できることが明らかにされた。

穴喰沿岸海域では 4 ～ 7 月の主たる産卵期に水揚げされる親イカの量と比較して、実際の卵嚢塊数や産卵場が非常に少ないことおよび自然界の主たる卵嚢塊付着基盤であるホンダワラ類は夏場に枯死するのに対し人工産卵礁はコンクリートに固定されており波浪に対する耐久性があることから、従来産卵場として利用されていなかった海域にこれらの人工付着基盤を設置することにより卵嚢塊の付着面積の拡大や付着密度の向上を図ることは、アオリイカ資源の維持培養に大きく貢献する可能性が高いと考えられる。

第3章 成長と寿命

第1章で徳島県沿岸に生息するアオリイカの分布範囲が沿岸域にあることが明らかにされ、第2章で交接時期、産卵期、ふ化時期および産卵場が明らかにされた。本章では徳島県沿岸において11年間にわたって調べられた外套背長組成から年級群毎にアオリイカの寿命や成長様式を明らかにし、生活史の全容を解明するとともに、年級群豊度と外套背長の関係を解析した。

1. 外套背長組成による成長解析

アオリイカの成長と寿命については、多数の報告がある。天草(村上・真道 1949)、京都府沿岸(鈴木ら 1983)、玄界灘(異儀田 1991)における漁獲物の外套背長組成から解析が試みられているが、いずれも成長曲線の推定には至っていない。Jackson (1989) はオーストラリア産のアオリイカについて、また、Jackson *et al.* (1993) はテキサス大学の陸上施設で飼育された日本産アオリイカについて、平衡石にみられる輪紋が日齢であることを証明し、この結果に基づいて天然群や飼育個体の日齢査定を実施したが、外套背長 25cm を超える大型個体の日齢査定には至っていない。大島・崔 (1961)、崔・大島 (1961)、三重水試 (1964)、瀬底 (1967)、Mindanao State Univ. (1975)、多和田 (1976)、笹生 (1979)、土屋 (1982)、Segawa (1987)、秋山ら (1997) および Lee *et al.* (1994) は飼育実験から成長様式を検討している。特に、Lee *et al.* (1994) は水温 23℃ の恒温状態で日本産の卵を用いて3世代に及ぶ長期飼育を実施し、ふ化後、僅か 200 日足らずの期間に最大で外套背長 36 cm、体重 2,210g まで育成した。土屋 (1982) は1世代ながらも、西表島の流水下の飼育で卵囊塊のふ化から最長で 306 日飼育し、外套背長 26 cm、体重 810g まで育成した。その他は生活史の一部の期間を飼育し、成長を解析したものである。

本節では 1987～1999 年の徳島県沿岸で漁獲されたアオリイカの外套背長組成から徳島県沿岸に生息するアオリイカの成長様式や寿命を明らかにした。

材料と方法

1987 年 5 月～1999 年 8 月に、月 1～3 日穴喰および牟岐市場で水揚げされたアオリイカを生鮮状態で雌雄を判別した後、物差しを用いてその外套背長を 1

mm 単位で計測した。雌 6,068、雄 6,003、性不明個体 3,663 の合計 15,734 個体の外套背長データをアオリイカの成長の解析に用いた。得られた外套背長のデータから調査日毎に雌雄それぞれ 2 cm 間隔の外套背長組成を求めた。

徳島県沿岸に分布するアオリイカのふ化盛期は 6 月下旬～8 月中旬で (上田ら 1992)、新規発生群の漁獲加入は同じ年の 7 月からみられることが明らかにされている (上田・瀬川 1995)。これらの情報から本研究ではふ化盛期である 7 月 1 日をその年級群のふ化日 ($t=0$) と仮定してその後の成長の解析を行った。本研究では各年級群毎の成長様式を比較するために、新規加入群の性比が 1:1 であることに基づき (上田・城 1987)、外套背長組成の 7～9 月の性不明個体を雌雄 1:1 に振り分けた。1 回の調査で雌雄いずれも 10 個体以上のデータが得られた外套背長組成について、7 月 1 日をふ化日として仮定して得られた各調査日の月齢と平均外套背長を算出した。

また、徳島県海域で漁獲されるアオリイカの 1987 年 5 月～1999 年 8 月の平均的な成長を明らかにする目的で、調査期間中に得られた全ての資料を月毎に集計し、赤嶺 (1985) の x^2 最小化法を基本においた方法により正規分布を適用し、各月におけるアオリイカの平均外套背長を求めた。7 月上旬をふ化月と仮定して徳島県沿岸のアオリイカの各月のコホートの平均外套背長にガウス・ニュートン法を用いて Logistic, Bertalanffy, Gompertz の各成長式を適用した。同様に最も早いふ化時期である 6 月上旬 (上田ら 1992) をふ化日 ($t=0$) として外套背長組成の 95% 信頼区間の上限に、最も遅いふ化時期である 9 月中旬 (上田ら 1992) をふ化期 ($t=0$) として、外套背長組成の 95% 信頼区間の下限に各成長式を適用した。アオリイカの成長様式を最も正確に表現する成長式を明らかにするために、AIC を用いて各成長式の適合度を判定した。

Gompertz の成長式が 1987～1999 年のアオリイカの平均的な成長様式を最も良く表現したことから、各年級群の月齢と平均外套背長の関係についてガウス・ニュートン法を用いて Gompertz の成長式を適用した。

次に、徳島県産アオリイカの年級群による外套背長および成長の差異に影響を及ぼす要因としてふ化後の水温と外套背長の関係について回帰分析により調べた。水温はアオリイカを漁獲する小型定置網が最も多く敷設され、産卵場や稚仔育成場となる徳島大平洋岸の海

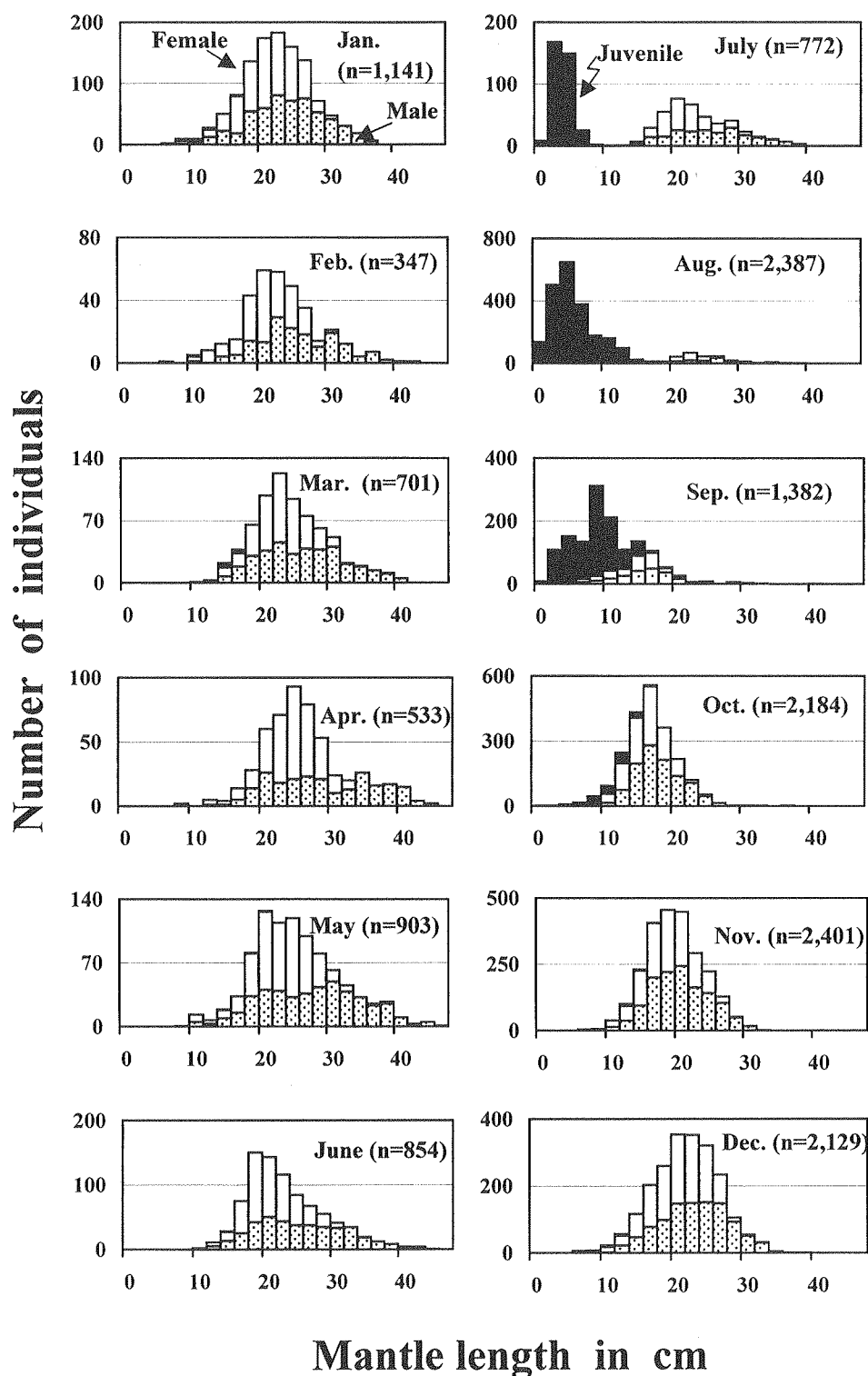


Fig. 3-1-1. Monthly size distribution of oval squid landed in Shishikui and Mugi markets from 1987 to 1999. Dotted, white and black, columns show the number of male, female and juvenile, respectively.

況特性を代表する定点 F (Fig. 1-2-1) の水深 10m の観測資料を用いた。外套背長の代表値としてアオリイカの漁獲量が多く、雌雄の識別が可能な 11 月と 12 月の外套背長組成を用いた。積算水温は毎月 1 回観測される水温データをその月の代表値として用い、7～11 月および 7～12 月の合計値として表した。

外套背長と体重の関係

1987 年 4 月から 1988 年 3 月にかけて市場で水揚げされた一部のアオリイカを研究室に持ち帰り雌雄を判別した後、外套背長と体重を計測した。雌雄を識別し、外套背長と体重を計測した個体数は雄が 222、雌が 211 であった。各月の外套背長と体重の関係に有意な差が

Table 3-1-1. Growth equations and AIC applied to means, and 95% confidence limits of oval squid cohorts from Fig.3-1-1. *ML* is mantle length(cm) at *t* months after hatching.

Sex	Applied data	Assumed hatching period	Growth equation (AIC)		
			Logistic	Bertalanffy	Gompertz
Male	Mean	Early July	$ML=27.5/(1+\exp(-0.838(t-2.59)))$ (20.7)	$ML=29.0(1-\exp(-0.304(t-0.083)))$ (20.3)	$ML=27.8\exp(-\exp(-0.576(t-1.86)))$ (16.9)
	95% confidence upper	Early June	$ML=38.9/(1+\exp(-0.717(t-3.19)))$ (31.3)	$ML=40.8(1-\exp(-0.268(t-0.205)))$ (39.4)	$ML=39.3\exp(-\exp(-0.506(t-2.31)))$ (29.8)
	95% confidence lower	Mid September	$ML=15.2/(1+\exp(-1.46(t-1.07)))$ (19.7)	$ML=15.6(1-\exp(-0.608(t+0.128)))$ (14.5)	$ML=15.3\exp(-\exp(-0.992(t-0.684)))$ (17.7)
Female	Mean	Early July	$ML=24.0/(1+\exp(-0.849(t-2.51)))$ (31.7)	$ML=25.8(1-\exp(-0.284(t-0.0002)))$ (29.3)	$ML=24.5\exp(-\exp(-0.554(t-1.79)))$ (30.1)
	95% confidence upper	Early June	$ML=31.3/(1+\exp(-0.796(t-2.75)))$ (20.6)	$ML=32.8(1-\exp(-0.293(t-0.094)))$ (23.1)	$ML=31.6\exp(-\exp(-0.547(t-1.96)))$ (1.72)
	95% confidence lower	Mid September	$ML=15.1/(1+\exp(-1.53(t-1.05)))$ (19.7)	$ML=15.6(1-\exp(-0.604(t+0.134)))$ (16.8)	$ML=15.3\exp(-\exp(-0.997(t-0.684)))$ (17.7)

あるかどうか検討したところ、有意な差が認められなかったことから調査期間を通じて雌雄別にまとめた外套背長-体重アロメトリー式を求めるとともに、得られたアロメトリー式に雌雄間に差があるかどうか検討するために共分散分析を行った。

結果と考察

測定したアオリイカ個体の外套背長範囲は 0.7 ~ 47 cm で、最大個体は雌で 37 cm、雄で 47 cm であった。雌雄共に、7 月に外套背長 0.7 ~ 10 cm の個体が出現し、そのコホートは翌年の 7 ~ 10 月まで継続した後消滅した。4 ~ 10 月の大型群は *GSI* の経月変化 (Fig. 2-1-2 ~ 4) やその海域における卵囊塊の出現時期 (Fig. 2-2-2) から産卵群とみなすことができる。これらのことから、徳島県沿岸のアオリイカの寿命は雌雄ともに約 1 年であり、4 ~ 9 月に来遊した親イカが産卵した後、死滅するのにかわって、7 ~ 10 月に外套背長 10 cm 以下の新規発生群が漁獲加入することが明らかとなった (Fig. 3-1-1)。

Table 3-1-1 に 1987 ~ 1999 年の平均的な成長の経月変化と外套背長組成の 95% 信頼区間の上下限に適用された Logistic, Bertalanffy, Gompertz の各成長式と AIC を示した。AIC から判断して、雌雄それぞれの平均値と 95% 信頼区間の上限では Gompertz の成長式が、95% 信頼区間の下限では Bertalanffy の成長式がよく適合した。Gompertz の成長式は、特に緩やかな初期成長、秋の急激な成長期、冬場から産卵期にかけての緩やかな成長をよく表したことから、アオリイカの成長の解析には Gompertz の成長式を用いた。

Fig. 3-1-2 に、各年級群の月齢と平均外套背長の関係および 1987 ~ 1999 年の平均的な成長に適用された Gompertz の成長式を示した。1987 ~ 1999 年の平均的な成長に適用された成長曲線 (Fig.3-1-2, Fig.3-1-3) は、雌雄ともにふ化後 6 カ月間の成長速度が大きく、水温の低下する 1 月以降の成長は停滞する。また、雄の成

長速度は雌より大きく、ふ化後 2 カ月目以降に顕著な差が認められた (Fig.3-1-2, Fig.3-1-3)。ふ化から 6 カ月後には雌が 22.2 cm、雄が 25.1 cm、12 カ月後に雌雄それぞれ 24.0 cm、27.1 cm となり、ふ化後 6 カ月をすぎると雌雄間に外套背長で 2 ~ 3 cm 以上の差が現れる。95% の上限に適用された成長式では (Fig.3-1-3, Table 3-1-1), ふ化から 12 カ月後に雌雄はそれぞれ 33.0 cm、40.4 cm となり、雄の方が雌に比較して約 7.4 cm 大きくなる。しかし、95% 信頼区間の下限に適用された成長式では、ふ化から 12 カ月で雌雄それぞれの外套背長が

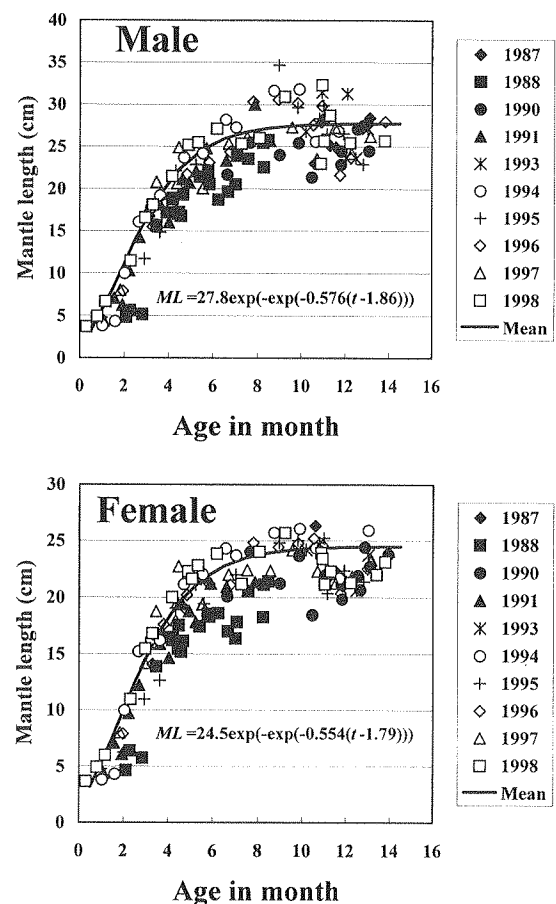


Fig. 3-1-2. Monthly mean mantle length of each year class cohorts and Gompertz growth curve and its equation applied to mean mantle length during 1987-1999. Age in month is based on assumption that hatching day is July 1st.

14.8 cm と 13.5 cm となり、逆に雌の方が 1.3 cm 大きく計算された。

徳島県海域における産卵期は最長で 4～10 月の 7 カ月に及ぶ（上田ら 1992）。4、5 月に産卵された個体ではふ化後の初期成長が水温上昇期 4～8 月に当たり、水温が 19℃ 以上ある 12 月まで成長可能な時期が長期に及ぶ。これに対して 8～10 月に産卵された個体では水温の下降期（9～3 月）に初期成長が当たり、1 月には水温が 16℃ 以下になるため、成長可能な時期が非常に短い。このため、4、5 月に産卵された個体（早生まれ）と 8～10 月に産卵された個体（遅生まれ）では、成長に大きな差が生じるものと考えられる（Fig.3-1-2, Fig.3-1-3）。また、雄の方が雌に比較して成長における個体差が大きいために、95% 信頼区間の下限に適用された成長式では、成長式が小さく見積もられている可

能性も考えられる。

4～9 月の産卵期における産卵群の外套背長の調査個体数は、漁獲加入群や若イカが大量に漁獲される 7～12 月の新規加入群の調査個体数に比べて少ないことから外套背長組成の分散が大きいの。また、4～6 月の産卵期には雄で外套背長 40cm を超える大型の個体が、雌で外套背長 30cm を超える大型の個体がまともて出現するが、7～9 月には大型個体がほとんど出現しないことから（Fig. 3-1-1）、アオリイカは大型個体から産卵後死滅し、産卵時期が進むに連れて小型個体が産卵に参与するものと考えられた。このことから、産卵期が進むに連れて外套背長が小型化し、成長曲線が低下するものと考えられた。

徳島県のアオリイカの成長を他の海域における成長・寿命に関する研究と比較すると天草周辺（村上・

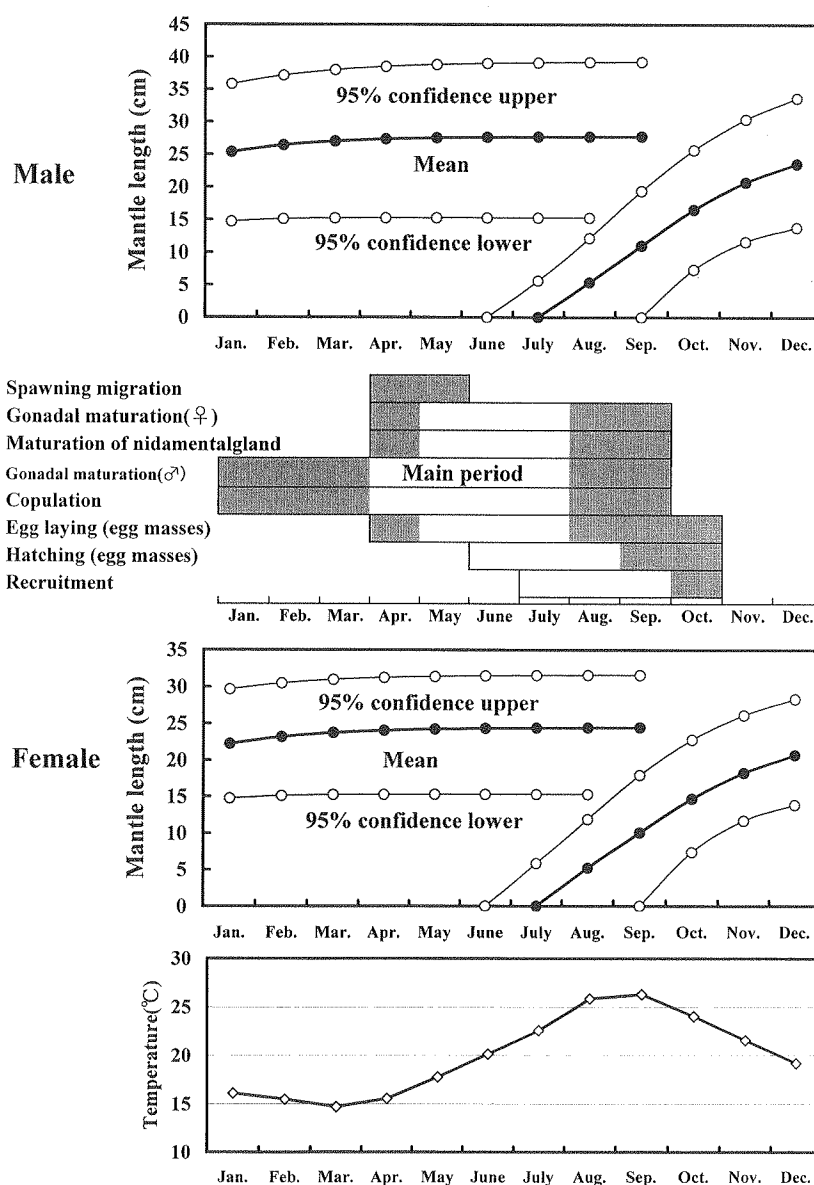


Fig. 3-1-3. Summary on growth (Gompertz growth equations) and reproductive cycle of the oval squid off Tokushima Prefecture.

真道 1949), 京都府沿岸(鈴木ら 1983) および玄界灘(異儀田 1991) における外套背長組成の季節変化は本研究の結果と良く一致している。しかし, 天草周辺のものでは漁獲物の外套背長組成にみられる本来年級群ではないモードを年級群と考え, 1~6 歳群とみなしたため, 結果的に年齢を過大評価した。京都府沿岸では, 月を追って成長の解析はなされていないが, 産卵群が 5 月に来遊し, 8 月に新規加入が見られることから, 徳島県産アオリイカとよく一致する。異儀田 (1991) は玄海灘の外套背長組成の経月変化を示し, 寿命や成長の解析はしていないが徳島県とほぼ同様の結果を得ている。

オーストラリアの天然群 (Jackson 1989) では雄は 153 日齢で外套背長 21.3 cm に, 雌は 188 日齢で外套背長 18.4 cm となることを報告しており, 本研究の平均的成長とよく合致している (Fig.3-1-2, Fig.3-1-3, Table 3-1-1)。日本産の卵囊塊からの飼育個体 (Jackson *et al.* 1993) についてもよく似た成長を得ており, 本研究の結果とも一致する。西表島の流水下における飼育個体 (土屋 1982) についても, 本研究の結果 (Fig.3-1-2, Fig.3-1-3, Table 3-1-1) と一致する。

Lee *et al.* (1994) は水温 23℃ の定温状態で日本産の卵囊塊を用いて 3 世代に及ぶ長期飼育を実施し, 第 1 世代が約 200 日の飼育で平均体重 1,500g 以上に, 第 2 世代が 220 日の飼育で平均体重約 1,500g に, 第 3 世代が 300 日の飼育で平均体重約 1,300g に成長し, 各世代の最大個体は, それぞれ外套背長 36 cm (体重 2,210g), 外套背長 32.8 cm (同 1,920g), 外套背長 30.1 cm (同 1,490g) であったことを報告している。この結果は, 雌雄別に示されていないが, 本研究の雄の 95% 信頼区

間の上限 (Table 3-1-1, Fig.3-1-3) によく似た成長を示しており, このような高い成長率の維持は 23℃ の比較的高水温における恒温状態で常に十分な餌を与えて飼育されたことによるものと考えられる。また, Lee *et al.* (1994) では寿命は最大約 300 日で, 200 日目までにはほとんどの個体が死亡しており, 高水温飼育のためか成熟が早く (最速でわずか 148 日), 本研究の天然群もしくは土屋 (1982) が自然海水 (水温 19.6 ~ 30.7℃) で 306 日間飼育したものとは比べ寿命が短い傾向がみられた。

各年級群の外套背長と成長

1994 および 1998 年級の各調査日の外套背長は, 平均的成長曲線と比較して明らかに大きい, 1987 および 1990 年級は平均的成長曲線を下回った (Fig. 3-1-2, Fig. 3-1-4)。1991, 1995, 1996 および 1997 年級は毎月的外套背長の大きさに変動がみられるものの, 概ね平均的成長曲線と合致した。1986, 1993 年級については 4 ~ 9 月の資料のみであり, 外套背長の分散が大きく, 平均的成長曲線との比較が困難であった。

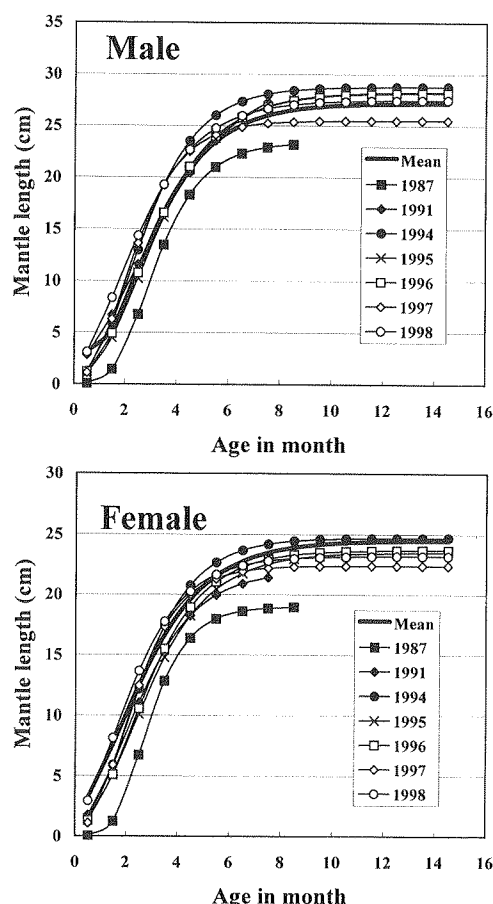


Fig. 3-1-4. Gompertz growth curves applied to means of oval squid cohorts in 1987-1998 year-class. *ML* is mantle length (cm) at *t* months after hatching. Hatching day (*t*=0) is assumed to be July 1st.

Table 3-1-2. Gompertz growth equations applied to means of oval squid cohorts in 1987-1998 year-class. *ML* is mantle length (cm) at *t* months after hatching.

Sex	Year-class	Growth equation
Male	1987	$ML=23.4\exp(-\exp(-0.810(t-2.77)))$
	1991	$ML=30.2\exp(-\exp(-0.450(t-2.41)))$
	1994	$ML=28.8\exp(-\exp(-0.685(t-2.17)))$
	1995	$ML=28.3\exp(-\exp(-0.592(t-2.53)))$
	1996	$ML=28.2\exp(-\exp(-0.594(t-2.44)))$
	1997	$ML=25.5\exp(-\exp(-0.806(t-1.92)))$
	1998	$ML=27.5\exp(-\exp(-0.606(t-1.79)))$
Female	1987	$ML=19.0\exp(-\exp(-0.972(t-2.54)))$
	1991	$ML=22.0\exp(-\exp(-0.651(t-1.93)))$
	1994	$ML=24.7\exp(-\exp(-0.703(t-2.01)))$
	1995	$ML=23.5\exp(-\exp(-0.600(t-2.22)))$
	1996	$ML=23.7\exp(-\exp(-0.641(t-2.17)))$
	1997	$ML=22.4\exp(-\exp(-0.822(t-1.85)))$
	1998	$ML=23.2\exp(-\exp(-0.682(t-1.57)))$

各年級群の平均外套背長の経月変化に適用された Gompertz の成長曲線をみると (Fig.3-1-4, Table 3-1-2), 雌雄ともに 1987 年級群の成長速度が最も小さく, 1994 と 1998 年級群の成長速度が大きく見積もられた。1994 年級群では加入直後の平均外套背長は平年並みだが, その後の成長速度が大きかったが, 1998 年級群では加入時点から平均外套背長が大きく, その後の成長も良好であったことから, 外套背長が大きく, 成長が良い年級群においても年級群により成長の様式は異なった。

外套背長と成長に及ぼす水温の影響

アオリイカの 11 月と 12 月の平均外套背長とふ化後の 7～11 月, 7～12 月までの積算水温の関係を示した (Fig.3-1-5)。雌雄ともに 7～11, 7～12 月の積算水温と 11 月と 12 月の平均外套背長に有意な関係 ($P<0.01$) が認められた。特に積算水温が大きい 1994 と 1998 年級群では外套背長が大きく, 積算水温が小さい 1987 年級群では外套背長が小さかった (Fig.3-1-5)。

7～9 月は産卵期であると同時にふ化時期および稚仔育成期に当たるため, 各年級群間の外套背長の差が産卵・ふ化時期のずれによるものか, ふ化後の成長速度の差によるものか, 明らかにすることはできないが,

7～12 月の積算水温の変化がアオリイカの各年級の外套背長に大きく影響しているものと考えられた。

年級群豊度は産卵期と稚仔育成期の環境要因 (水温と塩分) に密接に関係しており, 産卵期と稚仔育成期が高水温高塩分の年には年級群豊度が大きく, 低水温低塩分の年には年級群豊度が小さいことが明らかにされている (Ueta *et al.* 1999)。1994 および 1998 年級 (上田未発表) の豊度が他の年級群豊度に比較して相対的に高いのに対して 1987 年および 1990 年の年級群豊度が低かった (Fig.5-2-2)。このことから各年級群の外套背長 (体重) の大小が, 年級群豊度の大きさに影響を及ぼしているものと考えられる。

各年級群の外套背長の大小に影響を及ぼす生物学要因としてふ化時期と成長が考えられる。水温が高くなるとアオリイカの卵囊塊のふ化に要する期間は短縮され (Segawa 1987), 摂餌量が増え, 摂餌が活発になる (上田未発表)。Lee *et al.* (1994) は 23℃ の高い恒温状態で飼育し, 本研究の漁獲物の外套背長組成から推定された 95% 信頼区間の上限の成長 (Fig.3-1-3, Table 3-1-1) に匹敵する成長を得ている。また, 産卵期の長いアオリイカでは, 水温環境が異なるために早生まれと遅生まれで大きな成長差が生じる (上田・城 1989)。これら

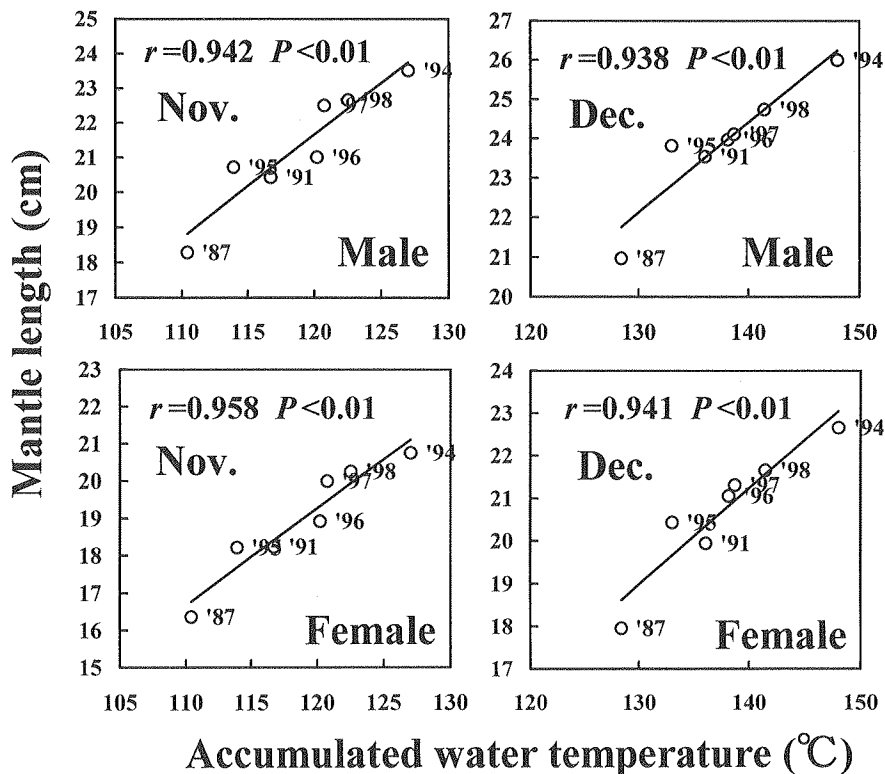


Fig. 3-1-5. Mantle length of oval squid in relation to the accumulated water temperature from hatching in July to catch at station F (Fig.1-2-1).

のことから本研究における 1994 年級群や 1998 年級群の大型化は、ふ化時期および稚仔育成期の水温が高かったため、ふ化に要する期間の短縮と成長速度の増大の相乗効果によるものと考えられる。

外套背長と体重の関係

雌雄それぞれの外套背長 (L) と体重 (W) のアロメトリー式は次式で示された。

雌: $W=0.183L^{2.581}$ ($n=211$, $r=0.996$, $P < 0.001$)

雄: $W=0.186L^{2.562}$ ($n=222$, $r=0.997$, $P < 0.001$)

各月の外套背長の平均値に適用された成長式から、ふ化から 12 カ月後の体重を計算すると、雌で 671 g, 雄で 876 g となる。同様に 95% 信頼区間の上限では雌雄それぞれ 1,443g, 2,424 g となり下限では、185 g, 146 g となった。同一外套背長における雌雄間の体重格差は統計的に認められなかったが (共分散分析, $P > 0.05$), 外套背長 4 cm を超えると僅かに雌の方が同一外套背長に対する体重が増加する傾向が認められた。

アオリイカの外套背長と体重の関係については、佐賀県 (金丸・伊東 1996), 京都府若狭湾西部海域 (内野 1978), 千葉県小湊 (Segawa 1987), タイ湾 (Chotiyaputta 1989), インド東岸 (Rao 1954) における個体群の外套背

長・体重のアロメトリー式が報告されている (うち、インド東岸の個体群については *Sepioteuthis arctipinnis* と記載されているが、現在では *Sepioteuthis lessoniana* のシノニムであることが判明している)。このうち、佐賀県、タイ湾およびインド東岸の個体群について外套背長に対する体重の関係が雌雄別に検討されている。佐賀県の外套背長 4.5 ~ 16 cm の個体群では外套背長と体重に雌雄に統計的な有意な差が認められなかったが (金丸・伊東 1996), タイ湾 (Chotiyaputta 1989) の個体群で外套背長 12 cm 以上から、インド東岸 (Rao 1954) における個体群で外套背長 9 cm 以上から同一外套背長に対する体重が増加する傾向にある。これらの結果から判断して、アオリイカは幼稚仔期には外套背長と体重の関係に雌雄の差がみられないが、若イカから亜成体に成長するに従って雌の方が僅かながら同一外套背長に対する体重が増加する傾向にあるものと考えられた。

また、各地域間における外套背長・体重関係を比較すると、インド東岸産の個体群が京都、徳島、タイ湾の個体群に比較して同一外套背長に対する体重が小さい傾向が認められた。

第 4 章 捕食行動

第 1～3 章で徳島県に分布するアオリイカの分布・移動・回遊および生活史の概要が明らかにされた。特に、第 3 章でアオリイカのふ化後 6 カ月間の成長速度が大きいことが明らかにされた。本章では、アオリイカの成長速度にかかわる要因の一つである摂餌に関して飼育実験を行い、アオリイカの捕食行動と餌のサイズ選択性を検討する。さらに、定置網と餌木(擬餌針)を用いた釣りによる漁獲物の外套背長組成比較することにより、漁法により、漁獲されるアオリイカのサイズに選択性があることを明らかにする。

1. 飼育下におけるアオリイカの捕食行動と餌のサイズ選択性

アオリイカは、日本周辺の極沿岸域で漁獲され、沿岸で産卵し、生育することから、古くから漁業者に親しまれ、定置網や釣りの重要な対象資源になっている。特に、餌木(擬餌針)を用いた一本釣りは日本海から太平洋岸の広い海域で古くから営まれており(京都府漁業協同組合連合会・水産試験場 1976, 岡田 1978, 浜田 1982, 日本学士院 1982, 長崎県水産試験場 1983, 石川県漁業協同組合連合会 1984, 大分県林業水産課 1995), 近年では遊漁者による餌木や活餌を用いたアオリイカの釣りが盛んになっている。

本研究ではアオリイカの摂餌生態を明らかにするため、飼育下におけるアオリイカの餌生物に対する捕食行動の観察を行い、クロメジナ *Girella melanichthys* に対する捕食サイズの選択性を検討した。

Segawa (1993) は、アオリイカ天然群の胃内容物を調べると同時に飼育実験に基づき餌生物の選択、摂餌の日周期性および共食いについて詳細に報告している。また、Lee *et al.* (1994) は、3 世代に及ぶ長期飼育を行い、摂餌量や餌のサイズを報告している。

本研究では、アオリイカに対してサイズの異なる複数の餌を与えた場合の捕食行動、捕食-被食関係、残餌の形状および餌のサイズ選択性など、これまでの報告とは異なる観点からの検討を試みた。

材料と方法

飼育実験に用いたアオリイカは 1996 年 7 月 25 日に徳島県日和佐町沿岸の小型定置網に入網した外套背長 18～45mm の 25 個体である。これらのアオリイカに対して魚類や甲殻類を餌として与えて 1997 年 2 月まで予備飼育を行った。餌に用いたクロメジナは 1996 年 2～3 月に日和佐町および牟岐町地先のタイドプールで採集した全長約 15～30mm の個体に市販のペレットを与え、全長 23～149mm に養成したものである。

飼育実験は 1996 年 7 月 26 日から 1997 年 2 月 12 日の間に計 17 回実施した(Table 4-1-1)。各実験の終了後から新たな実験の前日までの期間は、供試イカに毎日

Table 4-1-1. Experimental conditions of prey-predator relationship between oval squid and smallscale blackfish

Exp. No	Squid size (mm)*1		Prey size*2 (mm)	FTL/SML ratio*3	Prey number	Tank (liter)	Temperature (℃)	Date	
	start	end						(start	- end)
1	18	-	23-66	1.28-3.67	9	198	25.4-26.2	Jul. 25, 1996	- Jul. 27, 1996
2	24	-	23-66	0.96-2.75	9	198	25.8-26.9	Jul. 28, 1996	- Aug. 6, 1996
3	29	-	23-66	0.79-2.28	9	198	26.2	Jul. 27, 1996	- Jul. 28, 1996
4	34	40	44-82	1.29-2.41	12	68	26.4-27.2	Aug. 12, 1996	- Aug. 23, 1996
5	45	42	24-62	0.53-1.38	9	198	25.4-27.3	Jul. 25, 1996	- Aug. 10, 1996
6	55	64	32-75	0.58-1.36	10	198	26.9-27.3	Aug. 6, 1996	- Aug. 10, 1996
7	59	-	29-102	0.49-1.73	9	198	26.4-27.3	Aug. 20, 1996	- Aug. 29, 1996
8	79	89	43-114	0.54-1.44	10	198	25.9-26.7	Sep. 8, 1996	- Sep. 15, 1996
9	95	109	33-110	0.35-1.16	10	198	26.6-26.8	Sep. 3, 1996	- Sep. 7, 1996
10	109	114	34-112	0.31-1.03	10	198	26.3-26.7	Sep. 9, 1996	- Sep. 13, 1996
11	124	148	49-117	0.40-0.94	10	198	24.7-25.1	Sep. 26, 1996	- Sep. 29, 1996
12	133	144	62-125	0.47-0.94	9	198	23.0-23.2	Oct. 21, 1996	- Oct. 26, 1996
13	148	170	63-114	0.43-0.77	9	198	24.0-24.4	Oct. 3, 1996	- Oct. 7, 1996
14	164	164	61-149	0.37-0.91	8	198	17.5-18.7	Dec. 13, 1997	- Dec. 29, 1996
15	164	167	75-137	0.46-0.84	8	198	14.7-15.9	Jan. 16, 1997	- Feb. 12, 1997
16	185	194	39-123	0.21-0.66	9	198	22.9-23.2	Oct. 21, 1996	- Oct. 27, 1996
17	212	212	62-119	0.29-0.56	9	198	19.8-20.7	Nov. 14, 1996	- Nov. 21, 1996

*1 Mantle length.

*2 Total length.

*3 Fish total length / mantle length of squid.

1 回十分量の魚類や甲殻類を与えた。

アオリイカの飼育実験には、198ℓ(99.5×51×39 cm)の亚克力製角形水槽もしくは 68ℓ(61×41×27 cm)の塩化ビニール製角形水槽を用い、飼育水は開放式で通気を行った (Table 4-1-1)。予め外套背長を計測したアオリイカ 1 個体を水槽に収容し、餌として個体識別のため全長を計測した種々の大きさのクロメジナ 8～12 個体を与えた。1 日に 1～3 回クロメジナの捕食状況や残餌の形状を肉眼で観察記録するとともに残餌や排泄物をサイフォンを用いて除去した。全ての餌が捕食された場合、あるいは餌が残っていてもアオリイカがクロメジナに捕食されたり餓死した場合、あるいは実験開始後 15 日以上経過した場合に実験を終了した。実験終了時に、アオリイカの外套背長を計測した。飼育期間中の毎日午前 10 時に飼育水温を計測した。

各実験に供したアオリイカのサイズは一定でないことから、餌のサイズ選択性の解析には、実験開始時の

アオリイカの外套背長 (SMLmm) とクロメジナの全長 (FTLmm) の比 FTL/SML を用いた。また、実験に用いたアオリイカの体重 (SBWg) は外套背長－体重関係式 (上田・城 1989) により求め、クロメジナの体重は飼育実験に用いたクロメジナ 92 個体の全長 (FTLg) と体重 (FBWg) のアロメトリー式

$$FBW=0.0000129507FTL^{3.06126} \quad (28\text{mm} \leq FTL \leq 234\text{mm})$$

から求め、アオリイカとクロメジナの体重から体重比 FBW/SBW を推定した。

結 果

クロメジナに対するアオリイカの捕食行動

アオリイカの捕食行動は、確認(attention)、位置取り(positioning)および捕食(seizure)の 3 つの動きに分けられた (Fig. 4-1-1)。アオリイカはまず餌として狙ったクロメジナを視覚で確認すると頭足部を餌の方へ向ける。次に、外套腔を収縮させ、足を円錐状に束ねながら触

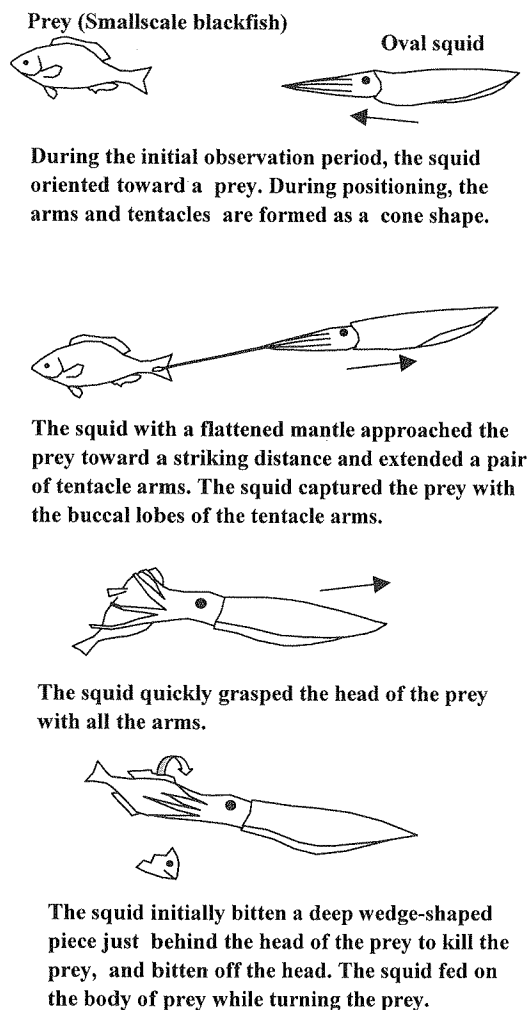


Fig. 4-1-1. Predation behavior of oval squid on smallscale blackfish, *Girella melanichthys*.

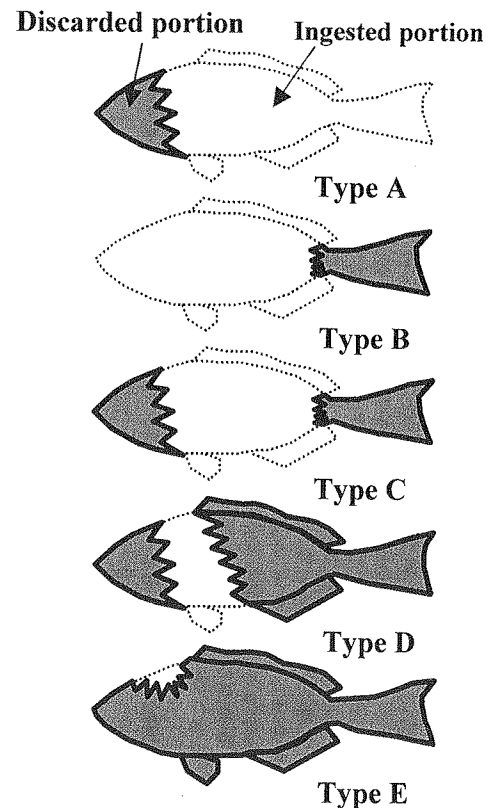


Fig. 4-1-2. The discarded and ingested portions of smallscale blackfish, *Girella melanichthys* after predated by oval squid. The discarded portion of prey body were distinguished into five types. A, discarded the head; B, discarded the caudal fin; C, discarded the head and caudal fin; D, fed on a part of body and discard the remainder; E, bit a deep wedge-shaped piece from behind the head and discard the remainder.

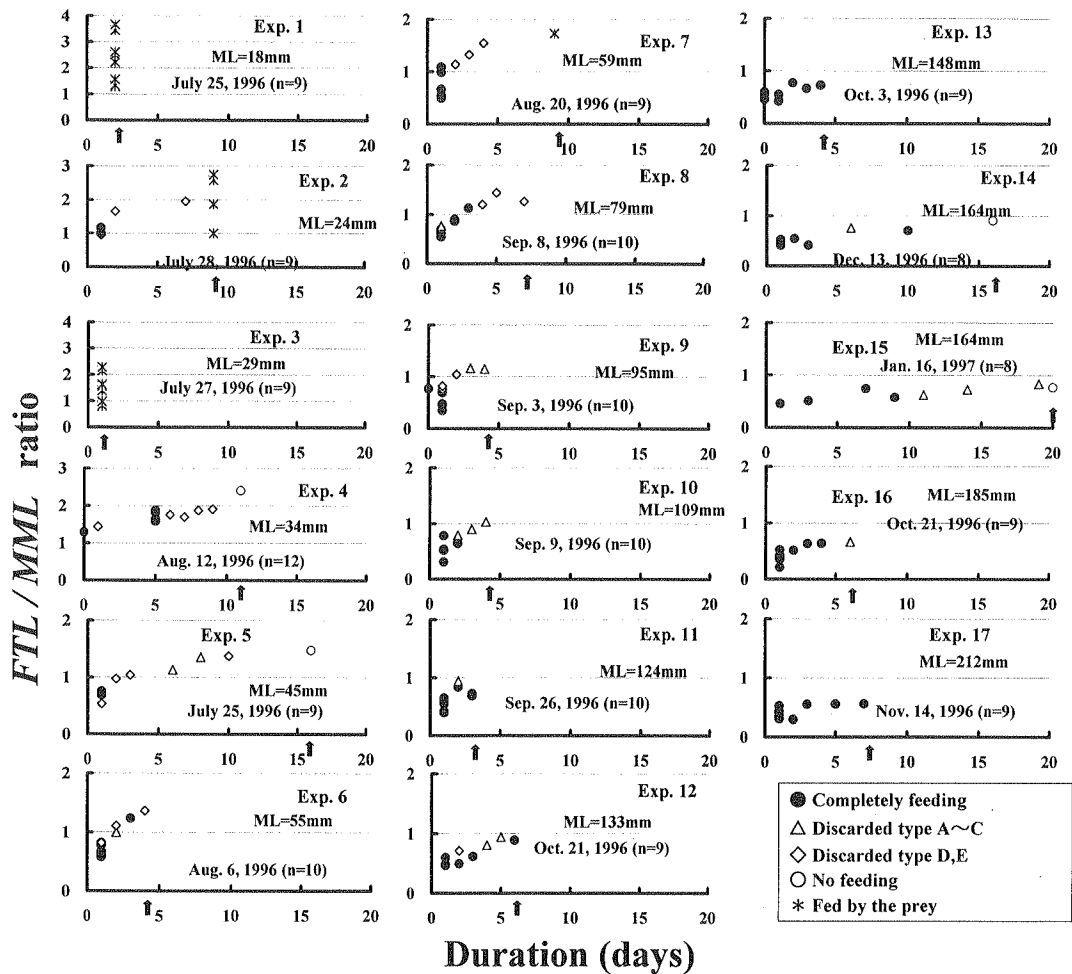


Fig. 4-1-3. Relationship between the ratio of total length of the prey to mantle length of oval squid (FTL/MML) and the duration of each feeding experiments. Arrows show the end of each feeding experiments.

腕を伸ばして餌を捕獲できる距離まで接近して（位置取り）、餌に向け触腕を素早く伸ばして触腕掌部の吸盤で被食魚を捕獲する。一部のアオリイカではクロメジナの群に対して全ての腕を拡げ、左右Ⅲ、Ⅳ腕で2個体を同時に捕食する行動がみられた。餌であるクロメジナの体のどの部位に触腕を伸ばすかは、アオリイカが位置取りを行った際のクロメジナとアオリイカの位置関係によって様々な例がみられた。アオリイカはクロメジナの尾部周辺に触腕のうちの一本を用いるだけで、捕獲を成功させることも可能であった。アオリイカはクロメジナを触腕で捕獲すると直ちに触腕を縮めて腕で餌を口器へ移動し、餌を左右のⅠ～Ⅳ腕でかえながら後方に泳ぐ。その後、餌を後頭部からかえこみ、クロメジナの後頭部および頭部をV字状に噛み切る。餌のクロメジナが外套背長の2分の1より大きい場合には、アオリイカは餌の頭部を切り落としてからクロメジナの胴体を腕で左右に回転させながら筋肉を嚙り取り摂餌する。

残餌の形状

アオリイカがクロメジナを捕食した場合に、残餌が全く残らない完全捕食と残餌が残る場合があり、残餌の形態はFig. 4-1-2のAからEの5型に分けられた。A型は硬い頭部のみが残されたもの、B型は筋肉の少ない尾部のみが残されたもの、C型は頭部と尾部が残されたもの、D型は頭部と胴体の一部および尾部が残されたもの、E型は頭部上部のみを摂餌したものである。なお、A～C型における背鰭、臀鰭等の鰭部および脊椎等の一部は残餌に含まれていたが、捕食の時に上・下顎により細かく切断されているためその形態は明瞭に識別することが不可能な場合が多かった。本研究において投餌されたクロメジナ159個体のうち、57%がほぼ完全に摂餌され、A型が3.8%、B型が3.1%、C型が5%、D型が10.7%、E型が5%出現し、15.7%が摂餌されなかった。アオリイカはクロメジナの頭部上部を噛み砕き、クロメジナを殺してから摂餌を開始した。胴部の摂餌の際には被食魚の内蔵を吐き出し、

Table 4-1-2. Feeding rate and discard types of prey in relation to *FTL/SML* ratio of the oval squid fed on smallscale blackfish

<i>FTL/SML</i> ratio* ¹	Complete feeding	Discard type* ²					No predation	Fish predated on squid* ³	Total No.
		Type A	Type B	Type C	Type D	Type E			
0.5>	27	0	0	0	0	0	0	0	27
0.5~1.0	54	5	4	3	4	3	2	3	78
1.0~1.5	4	1	1	5	11	0	1	4	27
1.5~2.0	5	0	0	0	2	5	0	5	17
2.0~2.5	0	0	0	0	0	0	1	3	4
2.5~3.0	0	0	0	0	0	0	0	4	4
3.0≤	0	0	0	0	0	0	0	2	2
Total	90	6	5	8	17	8	4	21	159

*¹ Fish total length / mantle length of squid.*² Referred to of Fig. 4-1-1.*³ Assessed from the number of survived fish.Table 4-1-3. Feeding rate and discard types of prey in relation to *FBW/SBW* ratio of the oval squid fed on smallscale blackfish

<i>FBW/SBW</i> ratio* ¹	Complete feeding	Discard type* ²					No predation	Fish predated on squid* ³	Total No.
		Type A	Type B	Type C	Type D	Type E			
0.05>	39	0	0	0	0	1	0	0	40
0.05~0.10	27	2	2	0	0	1	0	2	34
0.10~0.20	15	3	2	3	5	1	1	2	32
0.20~0.40	4	1	1	4	4	0	0	3	17
0.40~0.60	0	0	0	1	5	1	1	2	10
0.60~0.80	3	0	0	0	2	1	0	1	7
0.80~1.00	1	0	0	0	1	1	1	1	5
1.00~2.00	1	0	0	0	0	2	0	5	8
2.00≤	0	0	0	0	0	0	1	5	6
Total	90	6	5	8	17	8	4	21	159

*¹ Body weight of prey/ body weight of squid.*² Referred to of Fig. 4-1-1.*³ Assessed from the number of survived fish.

筋肉を口器により齧り取り摂餌した。

合計 17 回の実験で得られたデータ (Fig. 4-1-3) に基づいて、捕食の有無および残餌の型別の出現状況と捕食者と被食者の体長の比である *FTL/SML* 比および体重比の *FBW/SBW* 比の関係を調べた (Tables 4-1-2, 3, Fig. 4-1-4, 5)。*FTL/SML* 比が 0.5 以下では完全摂餌の割合が 100% を示し、*FTL/SML* 比が 0.5 ~ 1.0 においても完全摂餌の割合が 69% と最も大きかったが、A ~ E 型が合計 24% 観察された。*FTL/SML* 比が 1.0 ~ 2.0 では D, E 型が多く出現し、1.5 以上では A ~ C 型は全く出現しなかった。*FTL/SML* 比が 2.0 を超えた場合にはクロメジナに対する捕食は認められなかった。このことから、アオリイカがクロメジナと同型の魚を捕食する場合、魚の体長はアオリイカの外套背長の 2 倍以下に限られることが明らかとなった。

これに比べて体重比では完全摂餌の割合は *FBW/SBW* 比が 0.05 以下で 98%, *FBW/SBW* 比が 0.05 ~ 0.1 で 79%, *FBW/SBW* 比が 0.1 ~ 0.2 で 47% と最も高かった。*FBW/SBW* 比が 0.2 ~ 0.8 では D 型の割合が最も多く、1.0 以上では E 型に加えて、逆にクロメジ

ナがアオリイカを捕食する例が認められ、*FBW/SBW* 比が 2.0 以上ではアオリイカがクロメジナを全く捕食しないか、クロメジナにより食害を受けることが明らかにされた。

A 型から C 型のように硬い頭部や筋肉の少ない尾部のみが残る例では、アオリイカは 1 回の摂餌で十分な量の餌をとった可能性や連続したクロメジナの摂餌により飽食に達したために可能性があるが、D 型および E 型についてはかなりの割合で筋肉部分が残されており、魚体が大きいことによる食べ残しや餌が大きすぎたために放棄した可能性が高い。

捕食者による被食者のサイズ選択性

アオリイカの餌として与えたクロメジナの各実験期間中アオリイカが捕食したクロメジナの全長とアオリイカの外套背長の比 (*FTL/SML*) (Fig. 4-1-3) をみると、いずれの実験でも、より小型のクロメジナから捕食される傾向が認められた。また、実験 4 のように全てのクロメジナの全長がアオリイカの外套背長より大きい場合には、アオリイカは実験開始まもなく *FTL/SML* 比

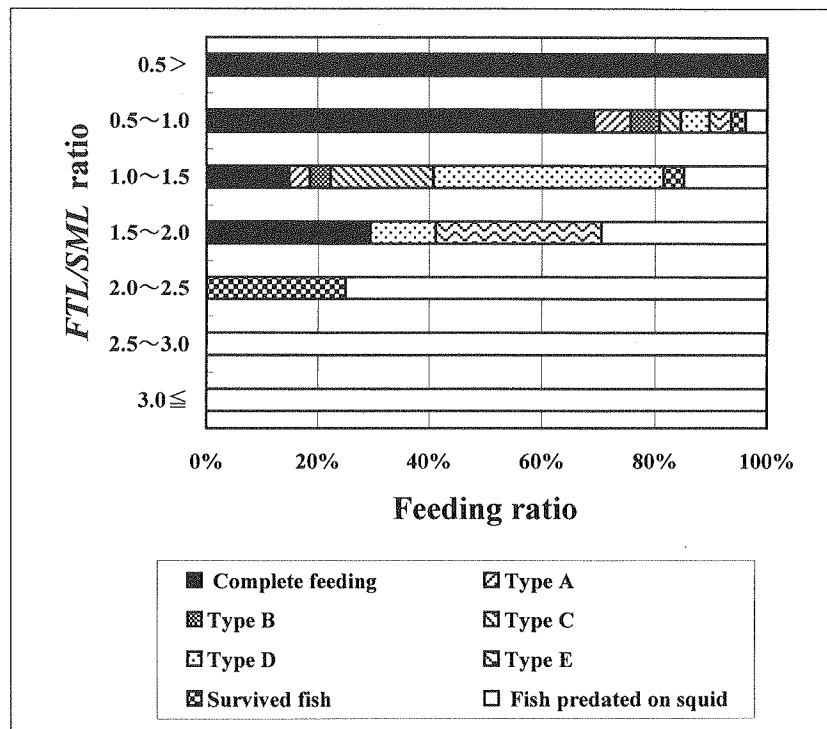


Fig. 4-1-4. Relationships between the feeding ratio and discard types of prey by FTL/SML ratio of oval squid fed on smallscale blackfish. Feeding ratio(%) is expressed as number of fish predated by squid against number of prey.

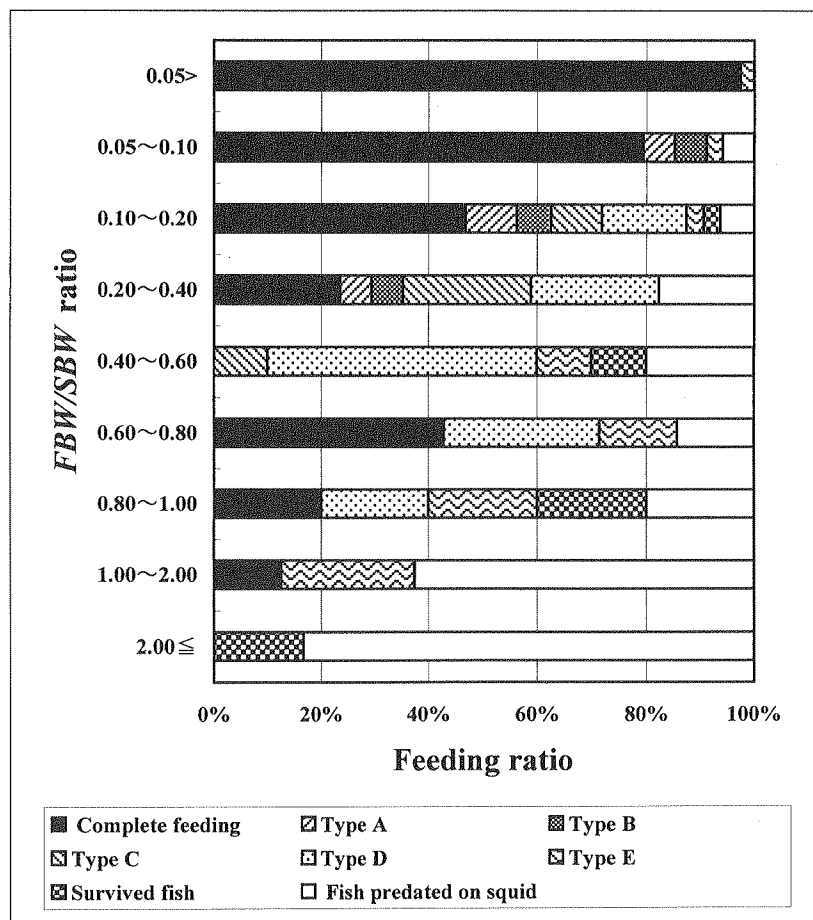


Fig. 4-1-5. Relationships between the feeding ratio and discard types of prey by FBW/SBW ratio of oval squid fed on smallscale blackfish. Feeding ratio(%) is expressed as number of fish predated by squid against number of prey.

1.5 以下の最も小さいクロメジナ 2 個体を捕食したが、その後、4 日間クロメジナを捕食しなかった。いずれにしても、アオリイカは自分の体より大きいクロメジナの捕食の成功率は低い。実験 1, 2, 3 および 7 では逆に餌のクロメジナによりアオリイカが捕食された。アオリイカが捕食された時の FTL/SML 比は実験 1 で 1.28 ~ 3.67, 実験 3 で 0.79 ~ 2.28, 実験 2 で 1.00 ~ 2.75, 実験 7 では 1.73 であった。実験 1, 3 では試験開始 1 ~ 2 日に、実験 2, 7 では 9 日目にアオリイカが捕食された。実験 7 ではアオリイカが小型のクロメジナを捕食した後に、残った FTL/SML 比が 1.73 のクロメジナ 1 個体が 4 日間経過後にアオリイカを捕食した。また、実験 2 で FTL/SML 比が 1.96, 実験 8 では FTL/SML 比が 1.8 ~ 1.9 のクロメジナをアオリイカが捕食した。これらのことから、 FTL/SML 比 1.7 ~ 1.9 付近にアオリイカとクロメジナの捕食関係にかかわる変曲点が存在するものと考えられる。

実験 5 では 16 日目に FTL/SML 比が 1.48, 実験 4 では 11 日目に 2.41, 実験 14 では 16 日目に 0.91, 実験 15 では 27 日目に 0.77 のクロメジナ各 1 個体が捕食されることなく生残した。実験 4 と 5 ではそれぞれ 11 日目と 16 日目に餌のクロメジナが 1 個体残っているにもかかわらず、アオリイカが餓死した。これは、アオリイカが自分の体より大きなクロメジナを捕食できなかった可能性が高い。実験 14 と 15 では、残されたクロメジナ 1 個体はアオリイカの体より小さかったにもかかわらず捕食されなかった。実験 4 および 5 では水温が 25℃ 以上あったのに対して、実験 14 および 15 では 20℃ 以下で、水温の低下がアオリイカの捕食行動に影響を及ぼした可能性が考えられる。

考 察

捕食行動

本研究におけるクロメジナに対するアオリイカの捕食行動は、確認 (attention), 位置取り (positioning) および捕食 (seizure) の 3 つの動きに分けられ、Segawa (1993) がアオリイカにアゴハゼ、ムギイワシ、アミ類およびイソスジエビを用いた捕食実験と同様な結果が再確認された。

イカ類の捕食行動については、ヤリイカ類の *Loligo opalesens* (Fields 1965, Hurley 1976), *Loligo vulgaris* (Bidder 1950), *Sepioteuthis sepioidea* (LaRoe 1971), スルメイカ類の *Illex illecebrosus* (Verrill 1882, Squire

1966, Helen and Frederick 1969, O'Dor *et al.* 1980), コウイカ類の *Sepia officinalis* (Messenger 1968, Wilson 1946), *Sepia* sp. (Sanders and Young 1940, Wickstead 1956) および *S. lessoniana* (Segawa 1993) の報告がある。*Sepia officinalis* (Messenger 1968), *Loligo opalesens* の若イカ (Hurley 1976) および *S. lessoniana* の捕食行動 (Segawa 1993) は本研究において観察されたアオリイカの捕食行動 (Fig. 4-1-1) と同様な行動様式を示している。

本研究のクロメジナに対するアオリイカの捕食行動においても *Loligo opalesens* (Hurley 1976) および *Illex illecebrosus* (Verrill 1882, Helen and Frederick 1969) と同様に既に捕獲した餌を他の腕で餌を保持しながら、新たな捕食行動を起こすことおよび大型の餌に対しては捕食のために接近はするが、その後逃避することが観察された。

残餌の形状と餌のサイズ選択性

残餌の形状について Verrill (1882) および Helen and Frederick (1969) は *Illex illecebrosus* が餌の魚類の頭部後方を三角形状に取り除き、頭部、背鰭、腸および尾鰭を取り除き、胴部を摂餌することを報告しているが、本研究では餌のクロメジナの残餌の形態をより具体的に A から E の 5 型に分類し、 FTL/SML 比が 0.5 以下では完全摂餌の割合が 100% を示し、 FBW/SBW 比が 0.05 以下では完全摂餌の割合は 98% を示すことを明らかにした。また、 FTL/SML 比 1.7 ~ 1.9 付近にアオリイカがクロメジナに対して捕食者から被食者に交代する境界が存在することを明らかにした。

土屋 (1982) はふ化後 30 日までのアオリイカはその外套背長と等しい全長の餌料をよく捕食するが、30 日以降になると、時にはアオリイカの外套背長の 2 ~ 3 倍近くにもなるエビや小魚を捕食することを報告している。Lee *et al.* (1994) は、アオリイカのふ化稚仔はその体と同程度のエビや魚類を捕食するが、60 ~ 300 日齢で日当たり体重の 20 ~ 35% を摂餌することを報告している。LaRoe (1971) は *S. sepioidea* の餌のサイズには一定の大きさの範囲があり、大きすぎても小さすぎても攻撃せず、ふ化後 21 ~ 26 日経過した個体が外套背長の約 1 ~ 1.5 倍 (全長) のアミを攻撃したことを報告している。さらに LaLoe は *S. sepioidea* がその体重の 183% の餌を 24 時間で摂餌したことや、摂餌割合が 1 日当たり体重の 110% を超えると餌の一部、特に頭部を

残すことを報告している。O'Dor *et al.* (1980) は *Illex illecebrosus* に餌として種々のサイズのニシンを与えたところ、概ね外套背長が攻撃可能な餌のサイズの上限であることを報告している。本研究ではアオリイカによる捕食がみられた最大の FTL/SML 比が 1.96, FBW/SBW 比が 1.07 であり, *Illex illecebrosus* とニシンの捕食-被食関係のサイズ関係を上回ったが, *S. sepioidea* のそれを下回った。しかしながら, FTL/SML 比が 0.5, FBW/SBW 比が 0.05 を超えると残餌が大きくなる傾向がみられることから, 餌のサイズの上限は概ね外套背長の 2 倍程度であるが, FTL/SML 比 0.5, FBW/SBW 比 0.05 以上のクロメジナはアオリイカの餌のサイズとして必ずしも適当でないと考えられる。

本研究では従来のイカ類の捕食-被食試験における摂餌の有無のみならず残餌の形状とも併せて, アオリイカの捕食行動および餌のサイズ選択性に関する試験を試み, より具体的にアオリイカの捕食行動を明らかにするとともに残餌のない効率的な餌サイズが FTL/SML 比 0.5, FBW/SBW 比 0.05 以下であることを推定した。このことは, 次節で述べるアオリイカ餌木の釣獲機構の解明, アオリイカ釣りにおける餌の大きさおよび餌木のサイズ選択性を明らかにする上で大きな意味をもつものと考えられる。

2. 餌木に対するサイズ選択性

徳島県の太平洋側沿岸 (Fig. 4-2-1) では, アオリイカを対象とした漁法は主として餌木釣りと定置網である (上田 1992)。アオリイカ釣りの餌木としては魚型, 平型およびエビ型などがあるが (水産無脊椎動物研究所

1993), 徳島県沿岸で用いられている餌木はすべてエビ型である。この餌木をゆっくりと曳き, 餌木を餌と認識して捕食しようとしたアオリイカを餌木後端の針にかけて漁獲する。この漁法では, イカが餌木に対して捕食行動を起こす必要がある。アオリイカは, 視覚によって餌生物を捕捉した後に, 触腕と主として第Ⅱ, Ⅲ腕によって餌生物を捕らえる (Fig. 4-1-1) (Segawa 1993)。また, 前節でアオリイカの自分の体より大きいクロメジナの捕食の成功率は低いことが明らかにされ, アオリイカは成長するに従って大きな餌を捕食するようになり, さらに, 自分の体に比べてより大きな個体を捕食しようとした場合は成功率が低いことが報告されている (Segawa 1993)。これらのことから, アオリイカは, 自分の体よりある程度以上大きな餌生物を捕らえられないか, 捕らえようとしなことが考えられる。この海域で釣りに用いられている餌木は, 既製品と手製のものがあるが, 不破ら (1996a) の計測方法に従えば, 徳島県で一般に市販されている餌木の大きさは, 餌であるエビを模した部分の長さが約 12 cm であり, さらに針を含めた餌木全体の長さは約 14.5 cm である。漁業者が自作した餌木は市販品に比べて対して一般的にやや大きく, 餌部分が約 15 cm で全体の長さは約 18 cm である。このことから, 餌木で漁獲されるアオリイカはある程度以上の大きな体を持つ, いわゆるサイズ選択性があることが予想される。

徳島県では餌木釣りは秋から冬 (10月から翌年2月) に行われるのに対して, 定置網ではほぼ周年にわたって漁獲されている。釣りと定置網によるアオリイカ漁獲物の月別外套背長組成を比べると, 同じ月の外套背

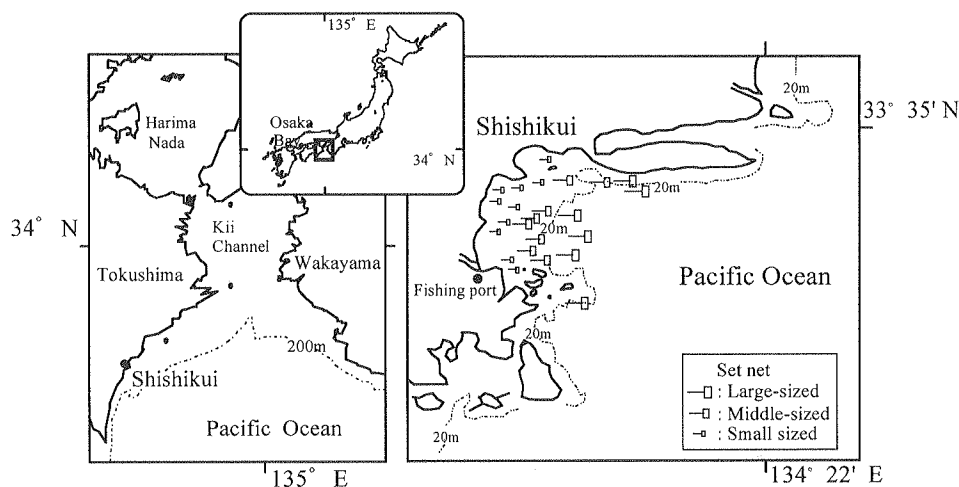


Fig. 4-2-1. Map of coastal area of Tokushima Prefecture, showing the site, Shishikui, where measurements of oval squid for analysis were carried.

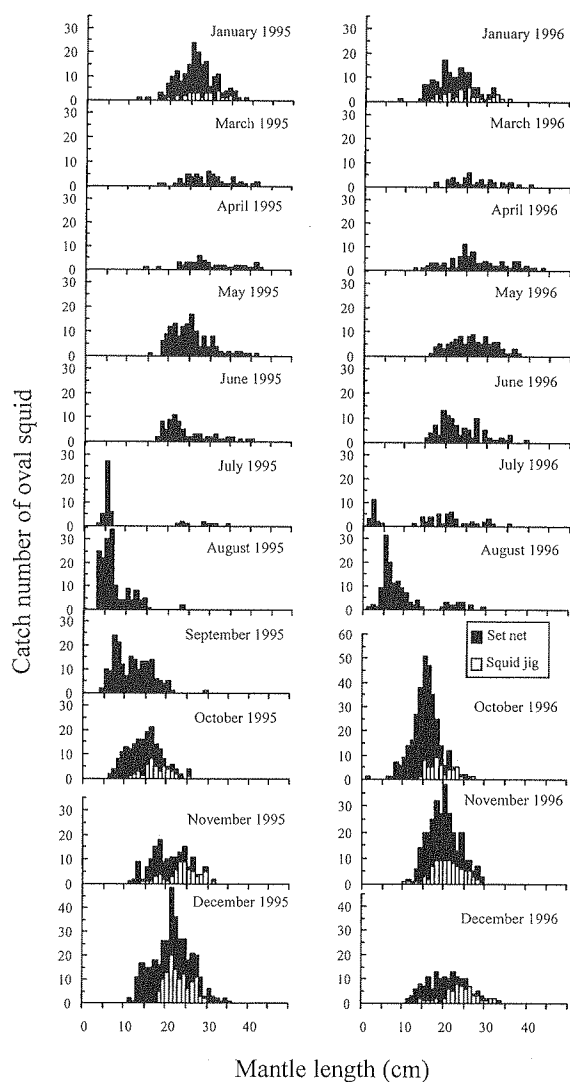


Fig. 4-2-2. Mantle length distribution of oval squid caught by set net and by squid jig in 1995 and 1996.

長の最大値は釣りと定置網ではほぼ同じであるのに対して、釣りの漁獲物の外套背長の最小値は定置網のそれよりも大きい (Fig. 4-2-2)。例えば、1995 年と 1996 年では、10 月の定置網漁獲物は最小 5 cm に対して、釣りでは 10 cm 以上であり、11 と 12 月の定置網の漁獲物が主に 10 cm 以上であるのに対して、釣りでは 15 cm 以上である。

本節では、餌木釣りによる漁獲物を定置網の漁獲物の外套背長を比較することで、餌木釣りの餌木に対するサイズ選択性を明らかにする。しかし、餌木釣りと定置網の漁獲努力量や標本採集努力量は日毎に異なり、両漁法の漁獲能力も漁業者毎に大きく異なる。また徳島県海域では、餌木の操業期間中もアオリイカは成長していることから (Fig. 4-2-2)、漁獲対象となるアオリイカの体長毎の資源密度が期間中に変化する。このような条件下における二つの漁具による時期別の漁獲物

体長組成から、餌木釣りにおける餌木に対するアオリイカのサイズ選択性を解析するために、SELECT モデル (Millar and Walsh 1992, Millar 1992, Millar 1995, Xu and Millar 1993, 東海・三橋 1998) を拡張した。そして、SELECT モデルを徳島県海域で得られた餌木釣りと定置網による日別アオリイカ漁獲物組成資料に適用して、餌木に対するアオリイカのサイズ選択性を求める。

材料と方法

解析方法

漁具の漁獲物に対するサイズ選択性は、海中資源の体長組成とその漁具による漁獲物体長組成を比較することによって求められる。海中資源の体長組成を得るために、実際には、検討すべき体長範囲で選択性がないと思われる漁具 (こうした漁具を非選択漁具とここでは呼ぶ) を用いる。そして、こうした非選択的な漁具の漁獲物体長組成が海中資源のそれを代表すると考える。例えば、Myhre (1969) や Hovgard and Riget (1992) は、底曳網の網目が十分に小さいために、ある程度大きな体長の魚に対しては選択性がないと考えて、延縄の漁獲物を底曳網のそれと比較することによって延縄の選択性を求めた。現在では、こうした二つの漁具の操業実験から選択性曲線を求める方法として、SELECT モデルがある (Millar and Walsh 1992, Millar 1992, Millar 1995)。Xu and Millar (1993) は、この SELECT モデルを用いて、努力量が異なる 2 種類の目合のズワイガニかご網による漁獲物組成からその網目選択性を求めた。このとき、SELECT モデルで仮定される大きな目合のかご網に遭遇する割合 p は、漁獲性能 (fishing power) と努力量 (fishing effort) を含む変数として定義されている (Xu and Millar 1993)。

港に水揚げされた漁獲物を測定した資料に基づいて漁獲物の体長組成を求める場合は、しばしば適切な努力量の資料がない。こうした場合には Xu and Millar (1993) の解析方法は適用できない。また、努力量が明らかでないまま長期間のうちに複数回漁獲物を測定した場合には、成長によって海中資源の体長組成が変化していく。この場合には、体長別の資源密度が一定である資源に対して操業するという条件を、測定回毎に満足できない。さらに、操業条件によっては、同じ漁具で、時期によって漁獲性能が変化することがある。例えば、受動的な設置型漁具では、その漁獲は対

象魚の行動に大きく依存するために、照度などの物理環境によっては漁獲性能が変化する。このことは、漁獲性能を含む p が操業条件で異なることを意味する。このような場合では、すべての期間の測定資料を足し合わせたものに SELECT モデルに適用することは適当できない。

そこで、このような場合には、操業条件や対象資源の密度が同じと考えられる操業期間 t 毎の資料を用いることができるように、SELECT モデルを拡張する必要がある。ある期間 t における非選択的に漁獲する対照漁具と選択性を求めようとする調査対象漁具のそれぞれによる体長 l の漁獲個体数をそれぞれ N_u と n_u とすると、両漁獲物のうちで調査対象漁具による漁獲の割合 Φ_u は、

$$\Phi_u = \frac{n_u}{N_u + n_u} \quad (1)$$

で表される。ここで、100% 選択と考えられる十分に大きな体長において、ある期間 t における調査対象漁具の漁獲割合を p_t とする。この p_t はそれぞれの時期における漁獲性能と努力量を含み (Xu and Millar 1993)、時期ごとに異なっても良いと考える。

これに対して、調査対象漁具は毎回同じものが用いられるので、そのサイズ選択性は時期によって変わらずに一定と考え、このサイズ選択性を $r(l)$ で表す。このとき、期間 t において式(1)は、体長 l の関数 $\Phi_t(l)$ として、サイズ選択性 $r(l)$ と p_t を含んで、

$$\Phi_t(l) = \frac{p_t r(l)}{1 - p_t + p_t r(l)} \quad (2)$$

で表される。これらのパラメータ a と b 、 p_t を最尤法によって同時に決定する (平松 1992)。式(2)を、時期別 ($t = 1 \sim T$) の対照漁具と調査対象漁具による体長別漁獲個体数に対して適用し、次式の尤度関数を求める。

$$L(a, b, p_t) = \prod_t \frac{n_u!}{N_u! \cdot n_u!} \Phi_t(l)^{n_u} [1 - \Phi_t(l)]^{N_u - n_u} \quad (3)$$

そして、式(3)を最大にするパラメータ a と b 、 p_t を求める。実際には、式(3)の定数部分を除いた尤度を対数化した次式の対数尤度関数を最大にするようなパラメータ a と b 、 p_t を求める。

$$\log L(a, b, p_t) = \sum_t \sum_l [N_u \log \Phi_t(l) + N_u \log (1 - \Phi_t(l))] \quad (4)$$

この対数尤度を最大にするパラメータの決定には、MS-Excel のソルバーを用いた (東海 1997, 東海・三橋 1998)。ここでの変数は Logistic パラメータ 2 個と期間後ごとの変数 p_t が T 個であるのに対して、データが測定された期間数 T 個ごとの体長の階級数の総和となる。なお、ここで求められる p_t は、 t 期毎の相対的な漁獲性能と努力量の積を表している。

資 料

本研究では、定置網と釣りの日別外套背長組成を比較することで、釣りのサイズ選択性を求める。1994 年 10 月～1997 年 11 月までの間ほぼ 1 カ月に 1 回の頻度で、紀伊水道外域に面した徳島県海部郡の穴喰地区に敷設されている小型定置網とその周辺で操業する餌木釣りによって漁獲されたアオリイカの外套背長を測定した。上田・瀬川(1995)によれば、アオリイカは外套背長 1.4 cm から小型定置網で漁獲される。また、7, 8 月に十分に小型の個体が漁獲されている (Fig.4-2-2) ことから、定置網では十分に小さな目合が用いられ、餌木に比べて充分小さな漁獲物まで漁獲していると考えられる。したがって、餌木釣りの選択性を求める際

Table 4-2-1. Fishing effort (number of fishermen catching oval squid) on each day

Date	Number of fisherman catching oval squid	
	Set net	Squid jig
19-Oct-94	5	2
21-Nov-94	5	4
16-Dec-94	8	5
17-Jan-95	11	3
19-Oct-95	6	1
10-Nov-95	6	4
07-Dec-95	9	5
18-Dec-95	9	3
31-Jan-96	6	5
24-Oct-96	7	4
25-Nov-96	11	5
25-Dec-96	9	7
23-Jan-97	3	2
24-Feb-97	8	2
14-Oct-97	9	6
12-Nov-97	5	8

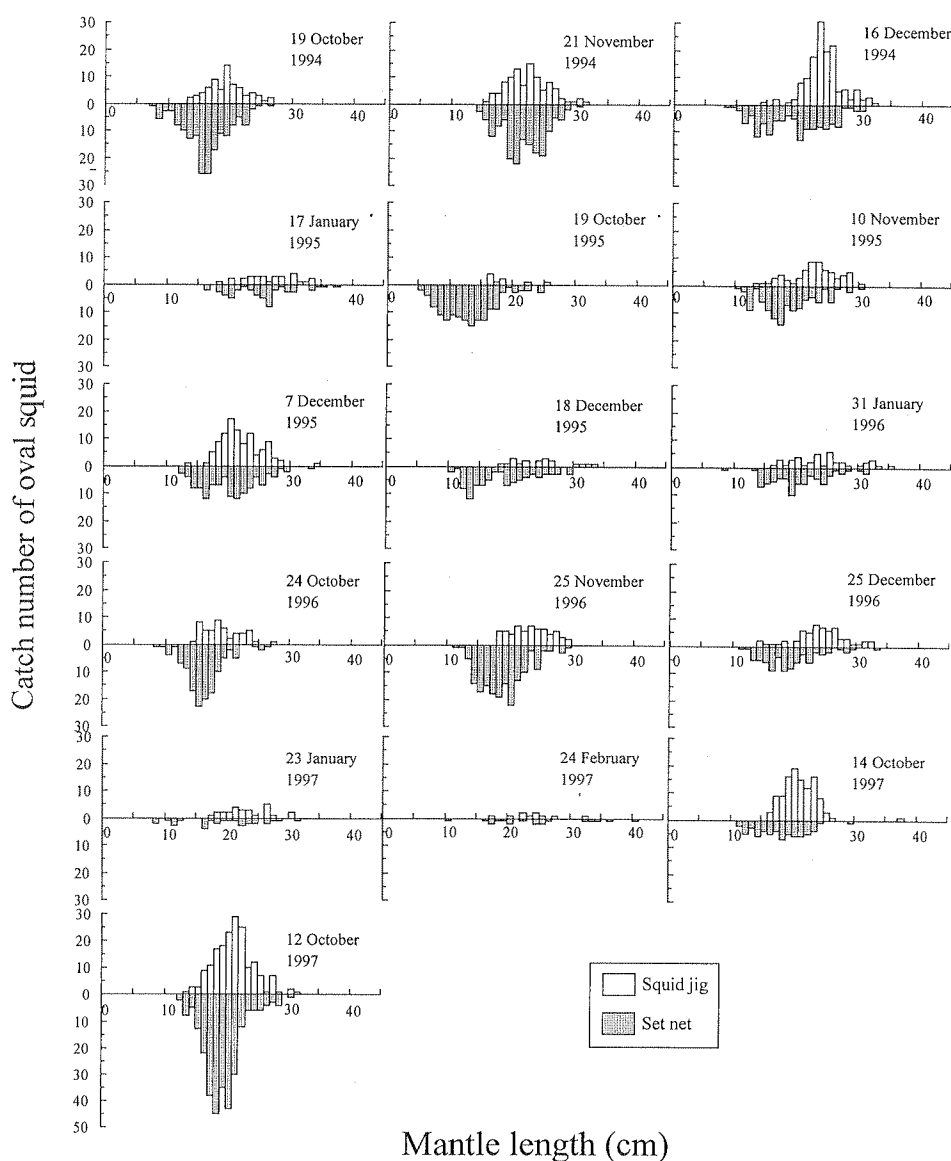


Fig. 4-2-3. Mantle length data on catch by squid jig and set net used for the analysis.

には、小型定置網の漁獲物外套背長組成が海中資源の外套背長組成を代表するものと仮定した。この宍喰地区では、小型定置網が設置されている海域内で釣りが行われている (Fig.4-2-1) ことから、この2つの漁具は同日に同一の資源に対して漁獲を行っていると考えられる。そこで、この資料のうち、宍喰漁協に水揚げされた小型定置網と餌木釣りの漁獲物のうち小型定置網と餌木釣りが同日に行われた漁獲物の外套背長組成16日分を、餌木のサイズ選択性の解析に用いた (Table 4-2-1, Fig. 4-2-3)。

本研究における徳島県沿岸の餌木釣りとは定置網で得られた操業期間のすべて漁獲物の外套背長組成は、餌木釣りの操業期間中もアオリイカが成長していること (Fig. 4-2-2)、調査日毎に可能な限り多くの漁獲物を計測しているが、その標本測定の実効量は日によって異

なること、および餌木釣りと定置網の漁獲努力量は調査日によって異なることの3つの条件のためにそれぞれの漁具毎に合計して取り扱うことはできない。実際に、測定を行った漁獲物を水揚げした漁業者の数は、Table 4-2-1のように、解析を行った16日間でも日によって異なる。さらに、アオリイカの漁獲は月齢によって周期的に変化することが報告されており (Munekiyo and Kawagishi 1993, 上田・金田 1998)、同一漁具であっても、夜間の海中の照度などによって漁獲性能が日々変化する。したがって、釣りのサイズ選択性を求めるためには、同一日の資料を解析して選択性を求めるべきである。これらのことから、餌木釣りと定置網による漁獲物の外套背長組成に対して、上述した拡張したSELECTモデルを適用することによって釣りのサイズ選択性を求めた。

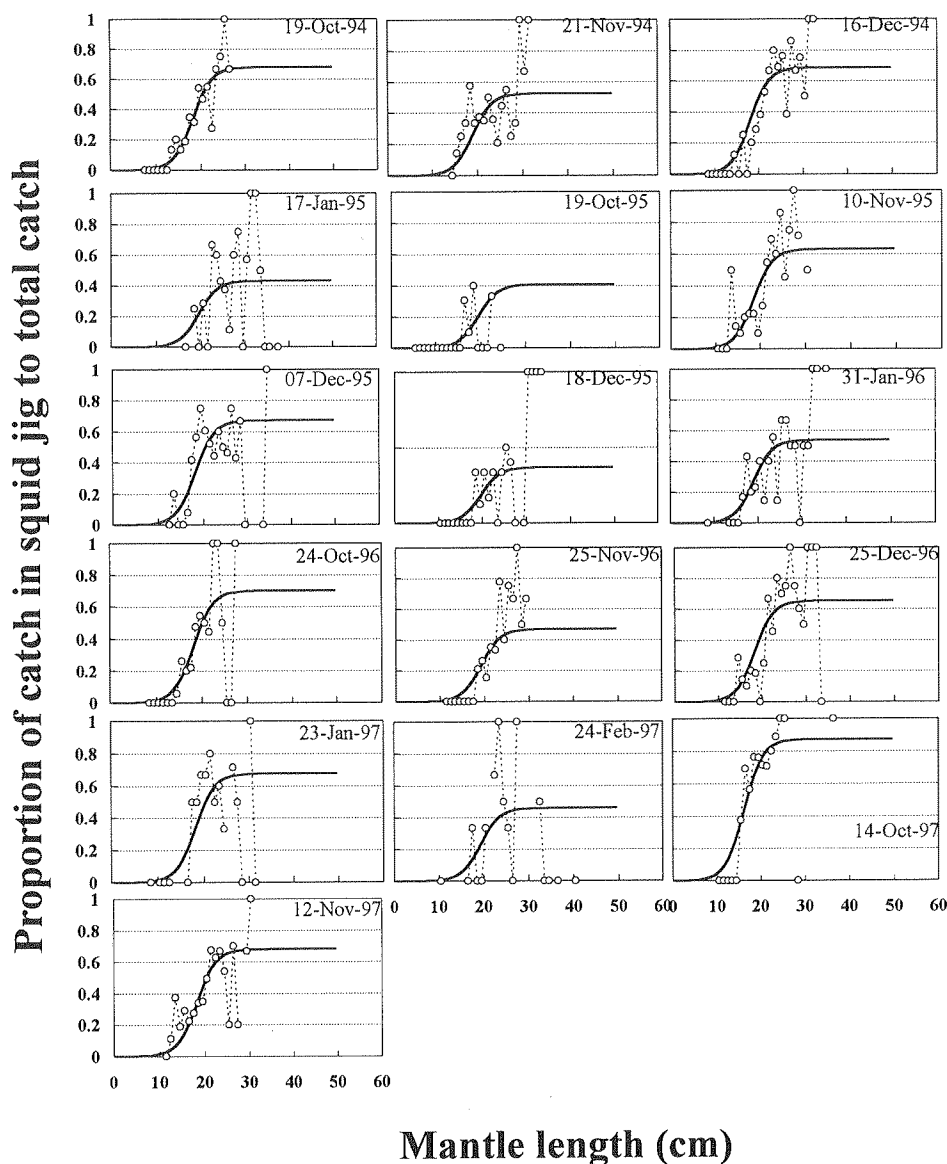


Fig. 4-2-4. Fits of the estimated curves to the observed proportions of total oval squid taken by squid jigs.

一般的に、釣りのサイズ選択性は刺網と同様に釣り鐘状の曲線が用いられる(Millar and Walsh 1992, Millar 1995)。これによると、大型の個体にとって小さすぎる釣り針には食いつかないことになるか針が掛からなくなるなどなどを意味している。イカ釣りの場合でも、カリフォルニアの *Dosidicus gigas* では、大型の餌木のサイズに比べて、小形 (12-18 cm) の餌木による大型個体の漁獲個体数が低く、その原因は大型個体の脱落によると考えられている (Ehrhardt *et al.* 1983)。これは、イカ釣りの選択性曲線が釣り鐘状になることを示唆している。しかし、アオリイカの場合に用いられる餌木は、体長約 12 cm であり、これに対して宍喰地区で漁獲されるアオリイカの外套背長は大きなもので 45 cm なので、この 12 cm の餌木を小さすぎる餌生物とするほど体が大きなアオリイカはいないと考えられる。

そこで、この餌木釣りによるサイズ選択性は大型個体において選択性が低下しない Sigmoid 型の曲線で十分に表されると仮定し、釣りのサイズ選択性を外套背長 l を変数とする次式 Logistic 式, $r(l)$ を用いた。

$$r(l) = \frac{\exp(a + bl)}{1 + \exp(a + bl)} \quad (5)$$

このとき、式 (2) は次式のようにになる。

$$\Phi_i(l) = \frac{p_i \cdot \exp(a + bl)}{1 - p_i + \exp(a + bl)} \quad (6)$$

結 果

式(1)のプロットに対する最尤推定結果である式(6)の曲線を Fig. 4-2-4 に示した。特に、式(1)のプロット

は、いずれかの漁獲個体数の少ない日（例えば、Fig. 4-2-3 における 1995 年の 1 月 17 日と 10 月 19 日、12 月 18 日や 1997 年の 1 月 23 日と 2 月 24 日）では大きな変動を示したが、それ以外では外套背長に対して S 字型に増加している。これは、Logistic 式への適合度が高い調査日の外套背長範囲においては、選択率の低下が認められず、餌木釣りの選択性をロジスティック曲線と仮定したことが適切であったことを示している。また、このことは、この外套背長範囲では、選択性に影響を与えるほどの脱落（誤差）が起きていないことと、餌として大型のアオリイカに対しても捕食行動の対象外となるほど餌木が小さくはないことを意味している。Fig. 4-2-4 では、日によって p_i の値は大きく異なるもののいずれの日もプロットに曲線がうまくほぼ適合しており、これらが定置網と餌木釣りにおける漁獲物の外套背長の違いを表現できていること示している。これらのことから、餌木釣りのサイズ選択性は漁獲された日にかかわらず一定の特性を示すと同時に、定置網と餌木釣りの努力量は日々異なると仮定した本モデルが有効であることが示された。

共通の選択性曲線として日別に分割率パラメータを設定したモデルにおけるロジスティック曲線のパラメータ a 、 b と日別の分割率パラメータ p_i の推定値を Table 4-2-2 に示した。餌木の選択性曲線をロジスティックと仮定したこの式 (3) のパラメータ a と b の推定値を用いて、餌木のサイズ選択性曲線は、次式で与えられる (Fig. 4-2-5)。

$$r(l) = \frac{\exp(-10.0 + 0.485 l)}{1 + \exp(-10.0 + 0.485 l)} \quad (7)$$

また、求められた Logistic パラメータ推定値より、50% 選択外套背長と選択性レンジはそれぞれ 20.6 cm と 4.53 cm となった。

Table 4-2-2 に示された日別の p_i を Table 4-2-1 から求めた餌木釣りの漁業者数割合と比較すると、相関係数 0.5415 を示し、有意水準 5% で弱い相関が認められた。しかし、この変数 p_i には、漁具を取り扱った漁業者の数だけでなく、むしろ漁業者個々の操業の能力や一日の操業時間などにも依存するためこのような弱い相関になったと思われる。

日別に別々の Logistic 式をあてはめた場合には、漁獲個体数が少ないときにはパラメータが求められない場合がある。例えば、1995 年 10 月 19 日のデータだけ

Table 4-2-2. Estimates of parameters

Parameters	Estimates	Proportion of jig fishermen to total
Logistic curve		
a	-10.01	
b	0.4850	
Split ratio of each day, p_i		
19-Oct-94	0.6891	0.29
21-Nov-94	0.5269	0.44
16-Dec-94	0.6885	0.38
17-Jan-95	0.4322	0.21
19-Oct-95	0.4199	0.14
10-Nov-95	0.6356	0.40
07-Dec-95	0.6762	0.36
18-Dec-95	0.3701	0.25
31-Jan-96	0.5402	0.45
24-Oct-96	0.7125	0.36
25-Nov-96	0.4731	0.31
25-Dec-96	0.6576	0.44
23-Jan-97	0.6800	0.40
24-Feb-97	0.4602	0.20
14-Oct-97	0.8415	0.40
12-Nov-97	0.6256	0.62

では、パラメータが収束しない。これに対して、本研究で提起した方法は、サイズ選択性を表すために漁獲個体数が十分でない日のデータも有効に利用できる利点がある。

考 察

約 12 cm の餌部分の長さを持つ餌木に対して、10 cm を超える外套背長を持つアオリイカが漁獲され、外套背長 30 cm 以上ではほぼ 100% の選択率となった (Fig. 4-2-5)。このようなサイズ選択性が生じた原因について考察する。

この餌木の釣獲は、餌木を餌生物と考えて捕食しようとして餌木にとりついたアオリイカが後進することにより口器周辺や足部に針掛かりすることによる (Fig. 4-1-1)。一般的に、イカ類は非常にすぐれた視覚を持ち、対象生物を見て餌としてそのサイズが適当かどうか判断した後に捕食行動を行う (LaRoe 1971, Bolentzky and Hanlon 1983)。イカ類の餌生物への捕食行動は、まず餌生物に対して位置どりをを行い、次に触

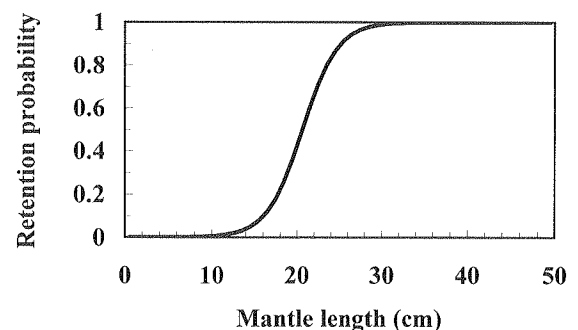


Fig. 4-2-5. Logistic selection curve for oval squid by squid jigs.

腕を延ばして捕まえる (LaRoe 1971, Bolentzky and Hanlon 1983)。本研究によるアオリイカの捕食行動も同じ行動が観察されており (Fig. 4-1-1), また全く同様の行動が報告されている (Segawa 1993)。このことから, ここで見られた餌木に対するアオリイカのサイズ選択性の原因として, アオリイカは, 十分に捕獲できる大きさの餌生物を選んで捕食する, 即ち餌サイズ選択性を持っている可能性がある。前節に述べたようにアオリイカは飼育下において, 水槽中に給餌された生き餌のうちで小型の個体から好んで捕食するとともに, アオリイカより十分大きな魚によって逆に捕食されることがある。アオリイカと同属の *Sepioteuthis sepioidea* では餌生物には明らかにある適当な大きさの範囲があり, イカは大きすぎる餌にも小さすぎる餌にも捕食行動を示さない (LaRoe 1971)。また, カナダイレックス *Illex illecebrosus* では捕まえることができる大西洋ニシン *Clupea harengus* の大きさは自分自身の外套長以下であることが示されている (O'Dor *et al.* 1980)。一方, コウイカ類を飼育する場合, 餌生物としてのエビ類や魚の大きさはコウイカの全長より大きくてはならないことが一般的に知られておける (Bolentzky and Hanlon 1983)。これらのことは, アオリイカは外套背長が一般に用いられている餌木の長さ約 12 cm と同等以上の場合に, この餌木に捕食行動を起こし, その結果として漁獲されたこと (Fig. 4-2-5) を支持しており, 餌木より小さなアオリイカは捕食行動を起こさなかった可能性が示唆される。

魚では餌のサイズ選択性が報告されており (Werner 1974, Løkkeborg and Bjordal 1992, Johannessen *et al.* 1993), 魚の擬餌に対するサイズ選択性も報告されている (Løkkeborg 1990)。Segawa (1993) は, アオリイカが自分の体より大きな個体を捕食しようとしたときの成功率は小さいことを報告している。Werner (1974) は, 捕食者である魚の口の大きさと餌生物の大きさとの関係を, 餌を食べ終えるまでの所要時間を用いて考察した。ここでのアオリイカによる餌のサイズ選択性が, アオリイカが腕で捕獲可能な餌生物のサイズを表して

Table 4-2-3. Total length and lengths of arms and tentacles of oval squid of 100, 200, and 300 mm mantle length, estimated from the equations respectively

	Mantle length(mm)		
	100	200	300
Total length(mm)	184.68	368.18	551.68
Length(mm) of			
First arm	27.12	55.42	83.72
Second arm	35.89	71.99	108.09
Third arm	44.9	89.2	133.5
Fourth arm	42.17	84.47	126.77
Tentacle	75.18	154.58	233.98

いる可能性が高い。Segawa (1993) によれば, アオリイカは触腕で捕まえた後に, 第ⅡとⅢ腕で餌生物を保持する。Segawa (1987) が求めた外套背長に対する全長や, 触腕の長さ, 各腕の長さの関係から, 選択率がほぼ 0% である外套背長 10 cm, 50% 選択外套背長の 20 cm, ほぼ 100% 選択に近づく外套背長 30 cm のアオリイカにおけるそれぞれの長さを求めた (Table 4-2-3)。徳島県沿岸で用いられる餌木の胴周長は, 平均で 70.33mm であった。これに比べると, 外套背長 10 cm の第Ⅱ, Ⅲ腕の長さはそれぞれ 35.8mm と 44.9mm であり, 第Ⅱ腕の 2 倍つまり両腕の長さとは餌木胴周長の長さがほとんど一致した。このことは, 両腕でしっかりと保持できる大きさのアオリイカが, その餌木に漁獲されていることを連想させる。しかし, 実際には, 時折餌木の針の部分に触腕がかかった状態でアオリイカが漁獲されてくることから, 餌木に触腕を延ばした際に, その他の腕で餌木を掴む前にしゃくられることで, 針に掛かる場合がある。このことは, 餌木での漁獲には必ずしも第Ⅱ, Ⅲでしっかりと餌生物を保持する必要があることを意味する。しかし, 上述したようアオリイカが視覚によって餌のサイズ選択のメカニズムとして, こうした保持することが可能な大きさの餌生物を選択している可能性は高い。

今後は, アオリイカの餌生物に対する捕食行動をより詳しく分析するとともに, 秋山ら (1995) のように小型ビデオカメラを用いた水中観察などによって餌木に対する行動についても明らかにした上で, ここで見られたサイズ選択性の機構をより考察していく必要がある。

第5章 漁業と資源

本章では、第1～3章の徳島県産アオリイカの分布・移動・回遊や生活史の全容を踏まえ、アオリイカの漁獲の月周期性を検討するとともに、加入量と親イカ量の関係および産卵期の水温、塩分などの環境要因と資源豊度の関係を調べた。さらに、その結果に基づいて資源の有効利用方法を考察した。

1. 漁獲の月周期性

アオリイカの漁獲に月周期性が存在することは、京都府の定置網で報告されている (Munekiyo and Kawagishi 1993)。本研究では、牟岐地区におけるアオリイカを対象とした釣りりと小型定置網の漁獲量を調べ、両漁法の漁獲量と月齢の対比から、太平洋側の徳島県沿岸域でもアオリイカの漁獲に月周期性が存在することを検証するとともに、その要因について検討した。

材料と方法

徳島県沿岸域におけるアオリイカの釣獲は朝夕の薄明時および夜間に餌木を用いて操業するシャクリ釣りと曳き縄によって行われている (Fig. 5-1-1)。牟岐地区で用いられる定置網は1～2人で操業する小型のもの

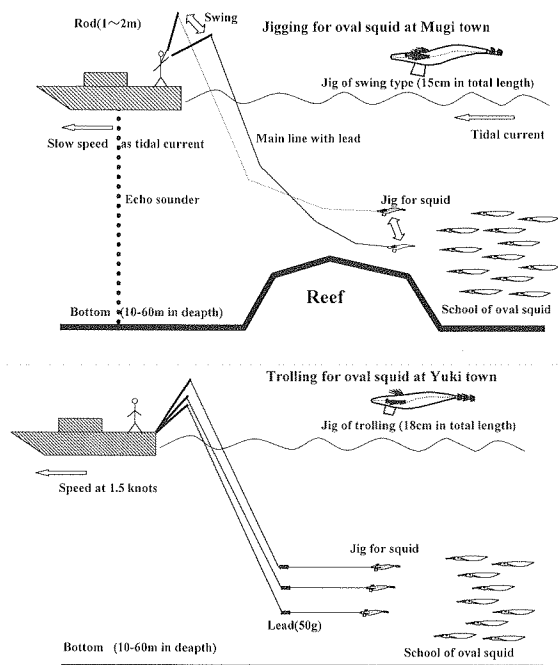


Fig. 5-1-1. Two types of squid-jig operations; squid-jigging at Mugi fishing port and trolling at Yuki fishing port in Tokushima Prefecture for oval squid.

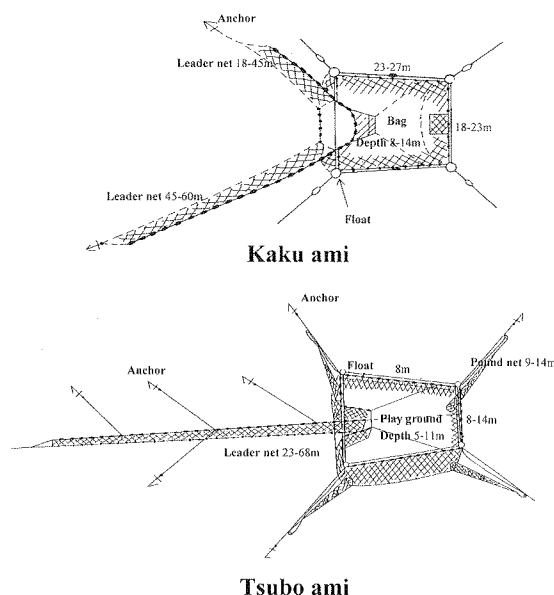


Fig. 5-1-2. Two types of small-sized set net at Mugi fishing port in Tokushima Prefecture for oval squid.

で、垣網の長さが約45～60mで水深8～14mに敷設される角網と垣網の長さが約23～68mで水深5～11mに敷設されるつば網がある (Fig. 5-1-2)。いずれも昼間に敷設され、翌日早朝に揚網が行われている。

1994年9月～1995年1月の徳島県海部郡の牟岐東漁業協同組合におけるアオリイカ釣りと牟岐町漁業協同組合における小型定置網の日別漁獲量および操業隻数を調べ、CPUEを求めるとともに気象暦から月齢との関係を調べた。

結果と考察

牟岐地区における釣りりと小型定置網の日別漁獲量、操業隻数およびCPUEの推移をFig. 5-1-3～4に示した。釣りにおける漁獲量、操業隻数およびCPUEの経日変化をみると、新月前後で漁獲はみられるが少なく、満月時を中心に漁獲量が増加する傾向が認められた。また、詳細をみると9月を除いて満月よりもその前の5,6日の漁獲量、操業隻数およびCPUEが大きくなる傾向がみられた。徳島でアオリイカ釣りを営む漁業者に「どの月が最もよく釣れるか」というアンケート調査を実施したところ、半月（上弦の月）と満月の間によく釣れると答えたものが多かったこと (上田・金田 1998) は、漁獲量の変化とよく一致する。アオリイカの摂餌行動様式が視覚による確認、位置取りおよび捕食の3つの動きからなることを考えるとアオリイカ釣りの漁獲にはある程度の照度が必要であると推測される。

定置網では、同様に、アオリイカは半月（上弦の月）

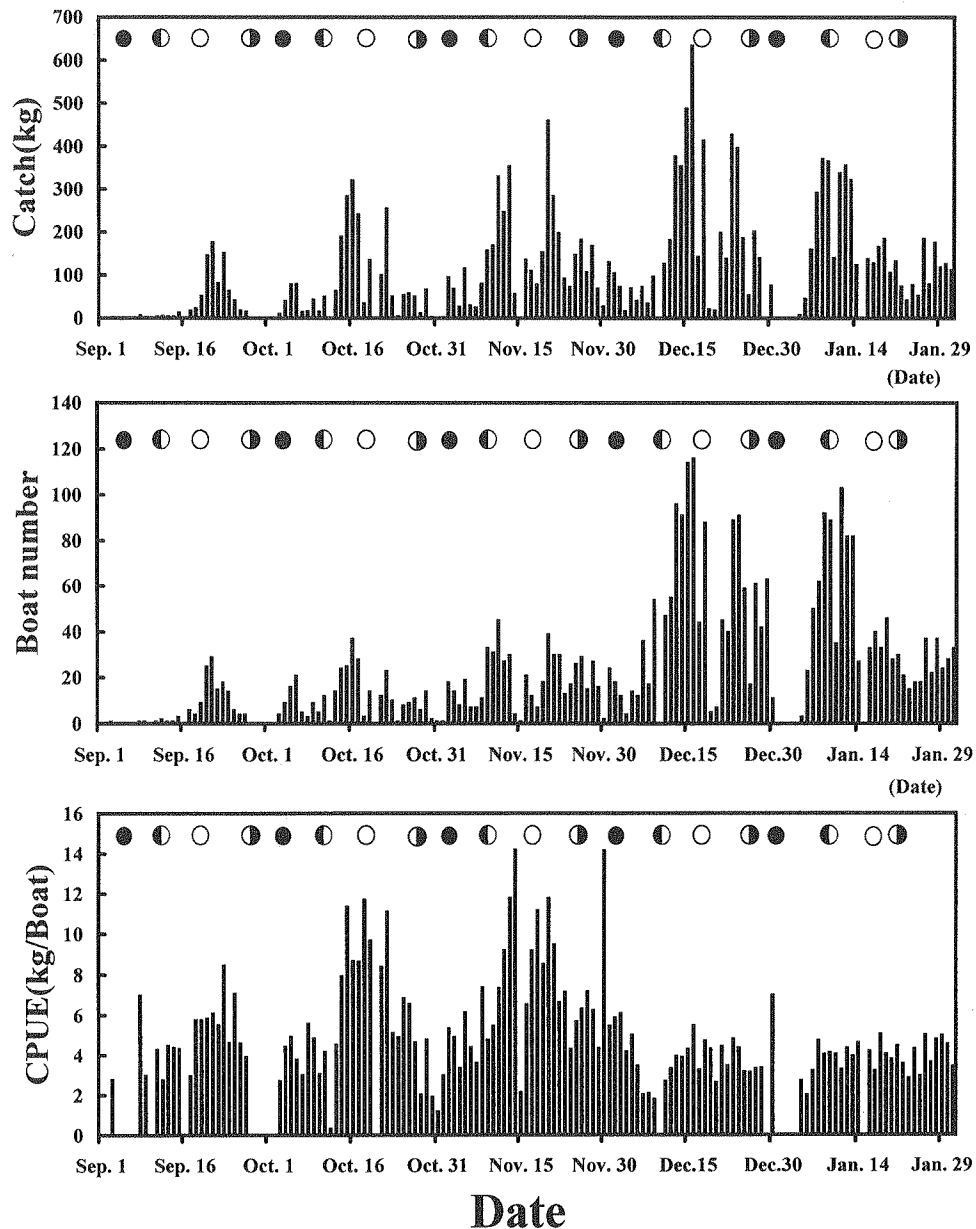


Fig. 5-1-3. Relationship of the age of the moon and daily catch, boat, and CPUE of oval squid by squid-jigging in Mugihigashi market from September 1994 to January 1995.

と満月の中間によく入網することが釣りより顕著に認められた。牟岐地区で小型定置網を営む漁業者は、アオリイカは網目が大きく、汚れない定置網で多く漁獲されることが、濁りがなく透明度が高い海況時に多く漁獲されることを述べており（上田未発表）、漁獲と照度に関係があることを示唆するものである。

Munekiyo and Kawagishi(1993)は、定置網の時間単位の入網状況と標識放流から、アオリイカは昼間の摂餌活性は低い、夜間の摂餌活性は高く、深場から浅場へ移動は24時間の摂餌周期や24時間の光周性によって説明できると報告している。また、Segawa(1993)および瀬川(1994)は、餌の種類や餌の行動によっても異

なるが、ふ化直後のアオリイカは明るい時間帯に平均的に摂餌をしているが、外套4 cm以上になると昼間の摂餌活動が不活発になり、夜間の摂餌活動が活発になることを報告している。いずれの結果も、アオリイカの行動が照度に強く影響を受けることを支持するものであり、照度によるアオリイカの行動の活発さの変化が漁獲量の変動に影響を与えている可能性が強く示唆される。

2. 漁獲量と環境要因の関係

漁家経営の安定を図る上で、漁期前の漁況予測手法の確立や資源の変動要因の解明が望まれる。アオリイ

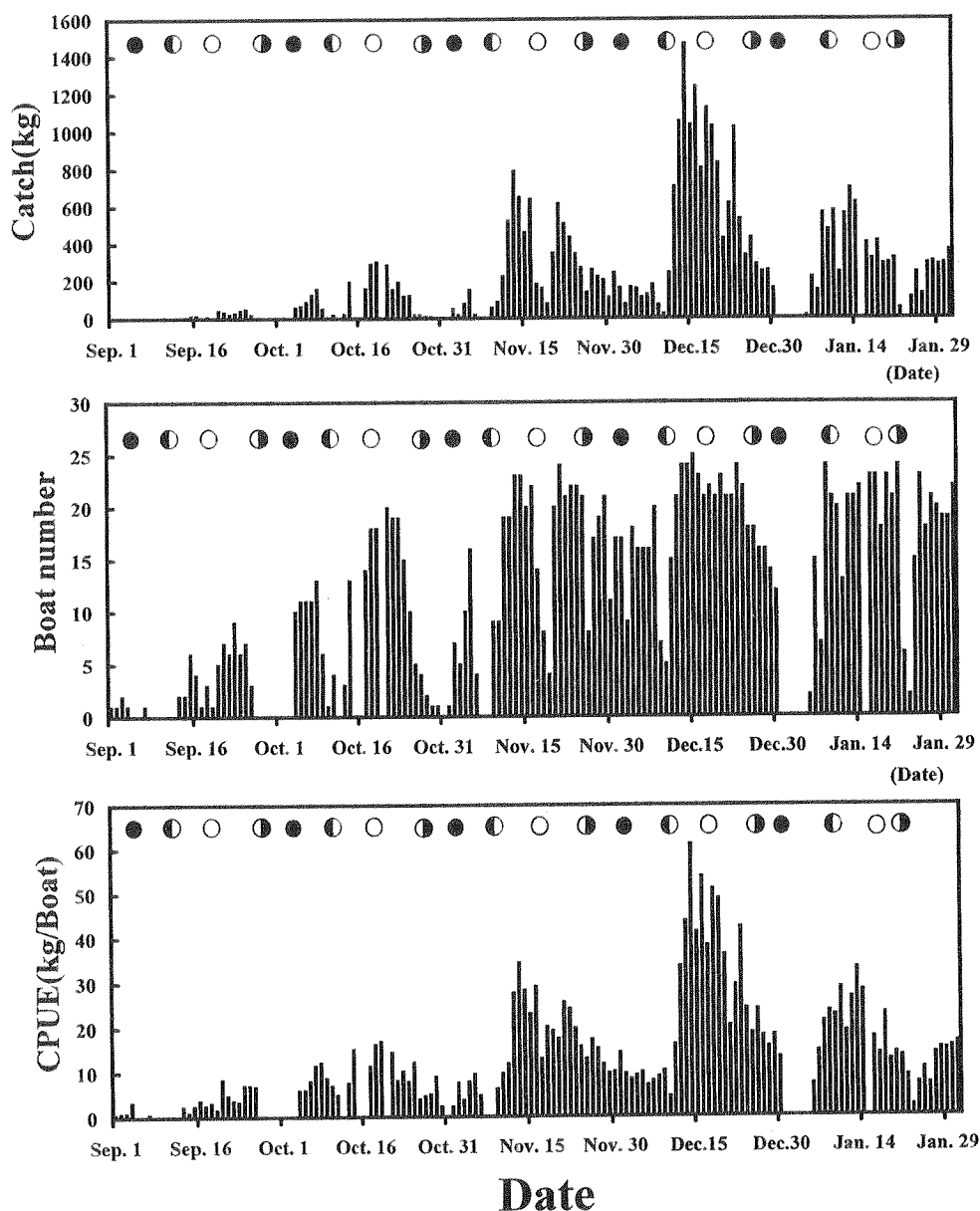


Fig. 5-1-4. Relationship of the age of the moon and daily catch, boat, and CPUE of oval squid by small-sized set net fishery in Mugicho market from September 1994 to January 1995.

カのような単年性のイカ類の資源管理では、イカ類資源がほとんど単一の年級群で形成されるために、漁業を考える上で発生量の漁期前予測が重要であることは、多くの研究者によって指摘されている（例えば、Caddy (1983), Augustyn *et al.* (1992)）。Kawahara *et al.* (1993) は稚仔イカを採集し、その量によって漁況予測を行うことを試みているが、より早期に予測を行うことにより、より効果的な管理方策の検討が可能になる。魚類の場合には、初期生活史に大きな影響を及ぼすであろう種々の環境要因と加入量との相関を分析したり（Koonce *et al.* 1977, Taylor *et al.* 1987, Donald 1997）、さらに回帰分析によって年級群強度を予測することが

試みられている（Busch *et al.* 1975, Crecco *et al.* 1986, Eckmann *et al.* 1988）。イカ類についても、海洋環境とこれらイカ類の加入との関係が検討されている（Dawe and Warren 1993, 横田ら 1998）。アオリイカの漁獲量と環境要因の関係については、鈴木ら（1983）により、京都府で6～8月の降水量と秋漁期の漁獲量に高い負の相関があることが報告されている。しかしながら、その詳細な因果関係の解明や他の環境要因との関係については明らかにされておらず、また定量的な評価には至っていない。また、徳島の漁業者によれば、古くからアオリイカの豊凶は台風や降水量の多寡によるとされている。

これらのことから、本研究では、アオリイカの産卵、ふ化および稚仔の成育時期に当たる4～10月における降水量、水温、塩分および台風通過の影響を示す海面気圧と、その後の漁獲量、つまりその産卵期に発生し、これらの環境要因の影響を受けたと考えられる年級群の漁獲量との関係について重回帰分析を用いて検討を行った。

材料と方法

漁獲資料と年級群豊度

1984年から1996年にかけて、徳島県の太平洋岸に面する穴喰、浅川、牟岐、日和佐、由岐、阿部および椿泊の7地区8漁業協同組合 (Fig. 1-2-1) において定置網と釣りで漁獲されたアオリイカの漁獲量を調べ、月単位に集計した。釣りが主たる漁法である牟岐東を除いて、その他の地区では定置網が主要な漁法となっている。この調査期間において、漁法、努力量 (網数、網の大きさ、操業日数および漁船やその機関の大きさ) および操業海域に大きな変化はみられなかった。Tokai *et al.* (1993) は定置網で漁獲されるトラフグの漁獲量は曳網漁具や釣りに比べて相対豊度をうまく反映していることを報告している。アオリイカにおいても定置網の漁獲の変化はその豊度を反映しているものと考えられる。

アオリイカの寿命は約1年であり、4～10月に産卵し、その後、死滅する (上田・城 1989, 上田・瀬川 1995)。外套背長5 cm以上の幼イカは7月中旬から9月中旬に定置網で漁獲されるが (上田・瀬川 1995)、マーケットサイズ以下の外套背長8 cm以下の個体は投棄されている。7月に漁獲される大型個体は前年発生群である (上田・瀬川 1995)。1987, 1991, 1994, 1995 および 1996 年の5カ年に得られた外套背長組成調査結果から、漁獲物として2年級群が同時に確認されるのは7～10月であり、それらの年級群の重量比から、7～10月の月別漁獲量を2年級群に分割した。それらの結果から、7～10月の漁獲量中に前年発生群と新規発生群がどの程度の重量の割合で構成されているか調べた。その結果、7月に漁獲される新規加入群は外套背長8 cm以下で全て投棄されることから7月の漁獲量の全てが前年発生群であった。10月は重量で99%以上が新規加入群で構成されるが、8月の91%が前年発生群、9月の69%が新規発生群で構成されていた。このことから、年級群全体の漁獲量に対する8～10月に

おける2年級群の重量の重なりは0.4～1.1%で、年級群全体に占めるウエイトは小さく、ある年の9月から翌年の8月までの漁獲量 (トン) を、その年生まれの子年級群の豊度を表す指標として扱った。同様に、産卵期の親イカ量と新規加入群の量の指標を、それぞれ4～8月の漁獲量と9～12月の漁獲量と仮定した。

環境要因

環境を示すデータとして、徳島県海部沿岸の6調査定点 (St.A～F, 紀伊水道 (St.G), 播磨灘 (St.H) の各1点における水深10mの月別の水温 (°C)、塩分 (psu)、徳島市の月別降水量 (mm) と日別海面大気圧 (hPa) を用いた (Fig. 1-2-1)。また、アオリイカの産卵期から稚仔育成時期 (上田・瀬川 1995) となる4～10月のそれぞれの環境要因の平均値を算出して、それらを漁獲量予測のための環境要因指標値とした。使用する環境要因として水深10mの水温と塩分を用いた理由は、この海域では水深3～15mでアオリイカの卵囊塊が見つかる (上田ら 1995) ことおよび外套背長1.4～10 cmの小型個体が水深26m以浅に設置されている定置網で漁獲されていること (上田・瀬川 1995) による。

解析方法

最初に8地区の漁獲物が同一資源に由来するか検証するために、各地区間の年級別漁獲量の変化について相関分析を実施した。

次に、年級別の各地先の月別漁獲量から、1984～1995年級群について新規加入群の指標となる9～12月の漁獲量と産卵期の親イカ量を表す翌年の4～8月の漁獲量との関係を検討し、また、産卵期の親イカ量に対する新規加入群の量の関係つまり再生産関係を検討する。

さらに、アオリイカの加入量に最も強い影響を及ぼす漁場環境を有する定点を探すため、それぞれ特徴的な海況特性を有する8定点 (Fig. 1-2-1) について水温、塩分を説明変数、年級群豊度を目的変数として重回帰分析を実施した。次にアオリイカの加入量と最もかわっている漁場環境を有する月を探すために4～10月の期間で考えられる月の組み合わせについて水温、塩分を説明変数、年級群豊度を目的変数として重回帰分析を実施した。その結果、4～9月のそれぞれの環境要因を平均値として用いた場合の重相関係数が最も大きかったことから、4～9月の環境要因の平均値を説明

変数として用いた。

その後、年級群別豊度と4～9月の各環境要因の平均値との相関関係を調べた。さらに水温、塩分、降水量および大気圧を説明変数とし、海部沿岸の年級群別漁獲量を目的変数として重回帰分析を行った。重回帰分析を行うにあたって、説明変数間に強い相関関係があると、多重共線性(田中ら1984)の問題があることから、環境因子の相関マトリックスを作成し、説明変数間の相関関係が有意($P < 0.05$)な組み合わせは捨象した。説明変数は3要因と少ないので、重回帰分析の変数選択法(全可能回帰法)により変数を1つずつ増加させながら最も有効な変数の組を採択する方法を用いた。説明変数の有効性を表す指標として、重回帰係数と赤池の情報量規準(AIC; Akaike's information criterion)(赤池1976)を用いた。

結 果

各地域間の漁獲量の相関

徳島県においてアオリイカは太平洋沿岸から播磨灘までの広範囲で定置網と釣りで漁獲される。本研究に用いた8地区間の年級群別漁獲量の経年変化の相関関係を調べたところ、いずれも強い相関が認められた(Table 5-2-1, $r=0.801 \sim 0.973$, $P < 0.001$)。このことから、紀伊水道南部の椿泊から太平洋沿岸の穴喰までのアオリイカの漁獲量の年変動は酷似しており、同一群とみなせることから、解析には7地区8漁業協同組合の漁獲量を併せて取り扱った。

各年級群の豊度指数

1984～1995年の各年級群の豊度指数は31～212トンで変動しており、13年間の平均値は79.1トンで、その標準偏差は44.1トンとなった。1989, 1991, 1994および1995年級群は比較的好漁であったのに対し、1987, 1988および1993年級群は不漁であった。特に1993年

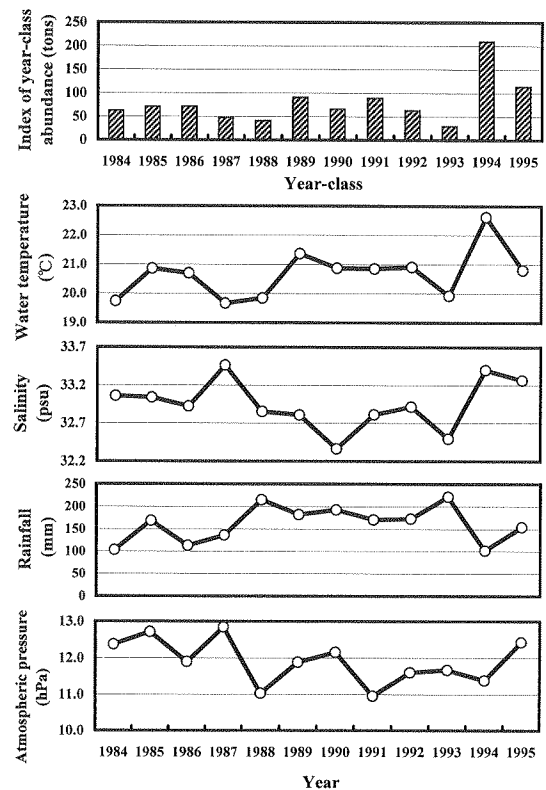


Fig. 5-2-1. Annual changes in the year-class abundance of oval squid (sum of the landings of the year-class from September to the next August), and the mean values of the four environmental factors (water temperature and salinity at station F, rainfall and atmospheric pressure in Tokushima city) during the period from April to October, which includes the spawning season and the juvenile stages

級群の年級群豊度指数は著しく小さいにもかかわらず、1994年級群のそれは大きかった (Fig. 5-2-1)。

加入量と親イカ量の関係

同一年級群における9～12月の加入時の漁獲量と4～8月の親イカ漁獲量の関係を調べたところ、有意な関係が得られた (Fig. 5-2-2, $r=0.802$, $P < 0.001$)。しかしながら、親イカ量と翌年の加入量には有意な関係

Table 5-2-1. Correlation coefficient matrix of landings for each year-class of the oval squid between the eight main fishing ports in Tokushima Prefecture

	Tsubakidomari	Abu	Higasiyuki	Hiwasa	Mugihigasi	Mugicho	Asakawa	Shishikui
Tsubakidomari	1.000							
Abu	0.937 *	1.000						
Higasiyuki	0.936 *	0.984 *	1.000					
Hiwasa	0.909 *	0.961 *	0.973 *	1.000				
Mugihigasi	0.894 *	0.833 *	0.845 *	0.860 *	1.000			
Mugicho	0.873 *	0.801 *	0.842 *	0.892 *	0.935 *	1.000		
Asakawa	0.922 *	0.891 *	0.913 *	0.948 *	0.922 *	0.952 *	1.000	
Shishikui	0.928 *	0.861 *	0.893 *	0.888 *	0.878 *	0.941 *	0.932 *	1.000

* Significant at 0.1% level.

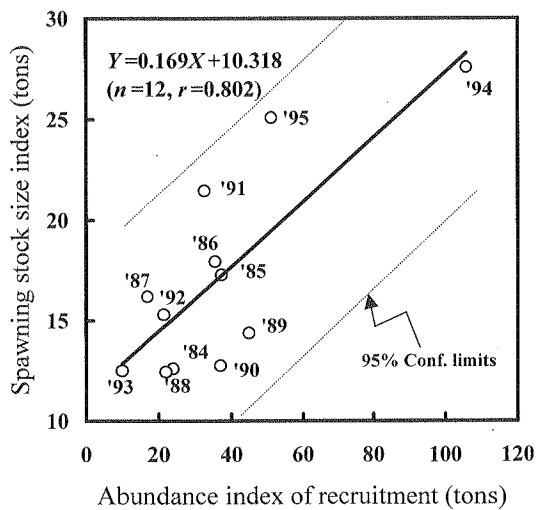


Fig. 5-2-2. Spawning stock size index of oval squid in relation to the abundance index of recruitment in the same year-class.

Numbers indicate the year-class. Abundance index of recruitment is the landings from September to December in the year and spawning stock size index is the landings from April to August of the following year. Dotted curves indicate 95% confidence limits of expectations from the fitted equation.

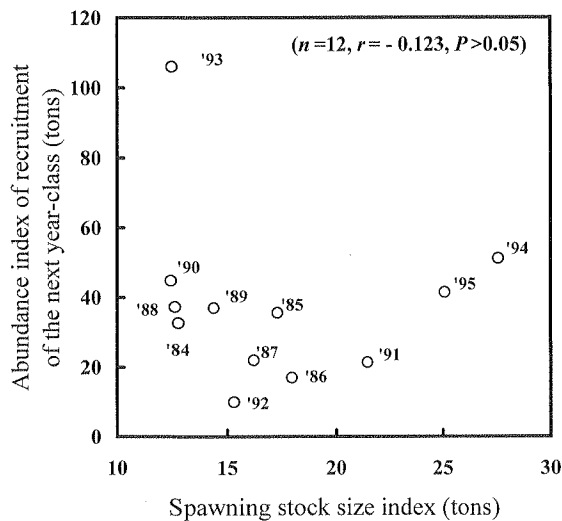


Fig. 5-2-3. Abundance index of recruitment of the next year-class in relation to the spawning stock size index.

Numbers indicate the year-class of the spawning stock. Spawning stock size index of the year-class is the landings from April to August in the year and abundance index of recruitment of the next year-class is the landings during the subsequent period from September to December in year.

は認められなかった (Fig. 5-2-3, $r=0.123$, $P > 0.05$)。特に、1994 年級群においては、1993 年級群の親イカ量が少ないにもかかわらず、加入量の水準は非常に高かく、続く 1995 年級群についても加入水準は高かった。

逆に 1991 年級群は親イカ量が大きいにもかかわらず、1992 年級群の加入量は小さかった。これらのデータは、徳島県海域のアオリイカの資源において親の量と加入量に関係 (再生産関係) がないことを示すものであり、加入量は環境要因に依存している可能性が強いことを示すものである。

各環境因子と年級群別漁獲量の関係

水温、塩分が計測された 8 定点 (Fig. 1-2-1) はそれぞれ 4 ~ 10 月の間、特徴的な海況を有する。特に、黒潮の影響を直接受ける St. A の水温および塩分は非常に高い (Table 5-2-2)。これに対して河川水の影響を受ける紀伊水道の St. G や播磨灘の St. H では水温や塩分が相対的に低い値を示す (Table 5-2-2)。各定点の 4 ~ 10 月の平均水温および平均塩分と年級群豊度の重相関分析結果は定点 B, D, E, F および G の平均水温および塩分が年級群豊度と有意な関係を有することを示すものであり (Table 5-2-2)、特に紀伊水道内もしくはその近傍に位置する St. F と St. G は強い相関 ($P < 0.001$) を示した。St. F における重相関係数が最も高かったことから ($R=0.946$, Table 5-2-2), St. F の水温、塩分を環境要因の代表値として選択した。St. F における海況データの各月および各月間の組み合わせと年級群豊度について重相関分析を実施したところ (Table 5-2-3), 4 ~ 9 月の組み合わせが最も高い値を示したことから、その後の解析には、4 ~ 9 月の平均水温と平均塩分を海況データとして用いた。

Table 5-2-2. Oceanographic factors (mean monthly water temperature and salinity during the spawning and early life period of oval squid, from April to September) at stns. A to H and multiple correlation coefficients between year-class abundance and oceanographic factors for each stations, data from 1984 to 1996

Stations	Oceanographic factors		Multiple
	Mean monthly values		Correlation coefficients
	Temperature (°C)	Salinity(psu)	
Stn. A	22.89	33.74	0.584
Stn. B	22.85	33.74	0.712 *
Stn. C	22.57	33.62	0.611
Stn. D	21.93	33.37	0.733 *
Stn. E	21.65	33.31	0.838 **
Stn. F	20.74	33.00	0.946 ***
Stn. G	19.73	32.33	0.939 ***
Stn. H	19.52	31.95	0.753 *

* Significant at 5% level.

** Significant at 1% level.

*** Significant at 0.1% level.

Table 5-2-3. Highest fifteen multiple correlation coefficients between series of hydrographic data at station F and year-class abundance

Series of hydrographic data	Multiple Correlation coefficient
April to September	0.955**
April to October	0.946**
April to August	0.919**
May to July	0.914**
May to October	0.890**
June and July	0.881*
June to October	0.878*
July to October	0.868*
July	0.862*
May to September	0.859*
June	0.847*
May to August	0.842*
July to September	0.841*
April to July	0.824*
September	0.813*

* Significant at 1% level.

** Significant at 0.1% level.

各環境因子間の相関関係

徳島市の降水量および大気圧は年級群豊度と有意な関係が認められなかった(Table 5-2-4)。各環境因子間の相関関係を調べたところ、降水量と塩分の間にのみ有意な関係が認められたが($r=-0.609$, $P < 0.05$)、その他

の環境因子では相関が認められなかった (Table 5-2-4)。このように負の有意な相関のみられる塩分と降水量については両要因間に相関がみられ、多重共線性の問題があることから、説明変数に塩分と降水量を同時に組み入れることはしなかった。

年級群別漁獲量と環境要因との重回帰分析

水温、塩分、降水量、海面大気圧の各環境因子を説明因子とし、海部沿岸の漁獲量を目的変数として重回帰分析を行った (Table 5-2-5)。重相関係数は、漁獲量と相関の強い水温のみで 0.812、水温と塩分の組み合わせで 0.955、水温、塩分および大気圧の組み合わせで 0.956 と高い重相関係数が得られ、水温と降水量でも 0.906 を得た (Table 5-2-5)。降水量と水温の組み合わせよりも塩分と水温の組み合わせの方が重相関係数が高かった。いずれの重回帰式も F 検定によれば統計的に有意であり、漁獲量の予測には有効と考えられる (Table 5-2-5)。

これらの組み合わせについて AIC を用いて有効性を検討したところ、水温と塩分の 2 変数の組み合わせが最も適合度が高かった。特に、水温と塩分到大気圧を組み合わせると、重相関係数はやや高くなるが、AIC は大きくなった。これは、このデータでは、大気圧を

Table 5-2-4. Correlation coefficient matrix between abundance index of oval squid year-class and four environmental factors from April to September

	Abundance index of year-class	Water temperature	Water salinity	Rainfall	Atmospheric pressure
Abundance index of year-class(tons)	1.000				
Water temperature (°C) at Stn. F	0.812**	1.000			
Water salinity at Stn. F(psu)	0.496	-0.008	1.000		
Rainfall (mm)	-0.496	-0.120	-0.609*	1.000	
Atmospheric pressure (hPa)	-0.194	-0.415	0.442	-0.414	1.000

* Significant at 5% level.

** Significant at 1% level.

Table 5-2-5. Stepwise multiple linear regression analysis on year-class abundance of the oval squid in relation with four environmental factors (from April to September) affecting the recruitment

Step	Value of y-intercept	Partial regression coefficient of each explanatory variable				R	F	AIC
		Water temperature	Water salinity	Atmospheric pressure	Rainfall			
1	-658.0	36.8	-	-	-	0.812	19.3*	116.4
2	-3297.4	37.0	79.9	-	-	0.955	46.5**	102.2
3	-3306.0	36.9	77.5	0.087	-	0.956	28.5**	103.8
4	-545.9	34.6	-	-	-0.409	0.906	20.7**	110.7

R, Multiple correlation coefficient.

F, Ratio of variance.

* Significant at 1% level.

** Significant at 0.1% level.

AIC, Akaike's information criterion.

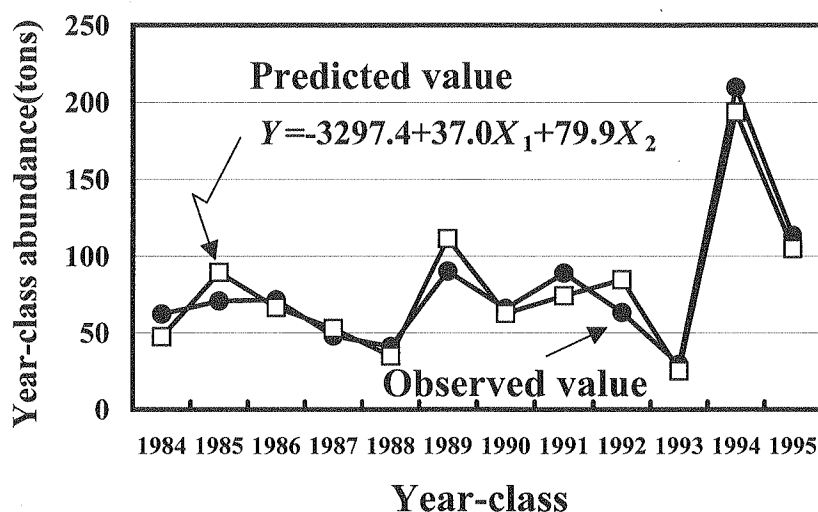


Fig. 5-2-4. Comparison between observed catches (closed circles) and predicted ones (open squares) of oval squid for year-classes from 1984 to 1995. Y denotes landings (tons); X_1 , X_2 , mean values of water temperature ($^{\circ}\text{C}$); and Salinity (psu) measured once a month from April to September at station F.

説明変数として組み込むことによる利点がないことを意味している。この水温と塩分を組み合わせた重回帰式から、徳島県海域におけるアオリイカの年級群毎の漁獲量を予測した結果を、実測値と比較すると、両組み合わせともに 1985 および 1992 年級群で若干の差が認められたことを除くが、全体的にはよく適合していた (Fig. 5-2-4)。

考 察

本研究では徳島県各地先のアオリイカの漁獲量間に強い相関が得られたことから (Table 5-2-1), 実漁から碇泊の 8 市場で漁獲される群を同一群として扱った。徳島県産アオリイカ個体群の分布・移動・回遊については、アイソザイム分析、標識放流 (上田・城 1990) および漁業実態 (上田 1992) に基づいた調査が行われている。アイソザイム分析によると播磨灘の北灘の個体群、太平洋の日和佐および牟岐の個体群には高い遺伝的類似性があり、同一群であることが明らかにされている (Fig. 1-1-3)。標識放流による移動範囲は直線距離で 16.2km 以内であり (Table 1-3-2), 漁獲は周年にわたっていることから (Fig. 1-2-2), 徳島県沿岸に分布するアオリイカは春から秋にかけての高水温期に一部の群が紀伊水道から播磨灘にかけて北上し、冬場には紀伊水道から海部沿岸まで南下する程度で、群全体として大きな移動はないものと考えられる。これらのことは、本節で徳島県沿岸域に分布するアオリイカを同一群として取り扱ったことを支持している。

本研究では、産卵期および稚仔成育期の水温および塩分もしくは降水量が、その年級群の年級群豊度と有意な相関を持つこと、さらに若イカの豊度が直接に親イカ資源の量に関係していることを明らかにした。これらのことは、アオリイカの資源変動における再生産された資源の生残率を左右する環境要因の重要性を示唆している。徳島県沿岸で漁獲されるカミナリイカ *Sepia lysidas* およびコウイカ *Sepia esculenta* についても、本質的に南方系であり、西日本が分布の北限になっていることから (Roper 1984), アオリイカと同様に産卵期および稚仔成育期の高水温化が年級群豊度の増加傾向をもたらすことが報告されている (上田 2000)。北大西洋のイカ *Illex illecebrosus* でも同様に高水温時に高い加入レベルを維持したことが報告されている (Dawe and Warren 1993)。また、外洋域でも、タラ類 *Gadus morhua* においても卓越年級群などの形成には水温が影響していることが、種々のメカニズムで考察されている (Serchuk *et al.* 1994, Ottersen *et al.* 1994)。特に環境の影響が顕著に現れる湖の魚類では、このような生活史初期の水温が適当である場合に大きな年級群を形成することが報告されている (Augustyn *et al.* 1992, Koonce *et al.* 1977, Taylor *et al.* 1987, Donald 1997, Busch *et al.* 1975)。

水温に関しては、飼育実験によって、産卵からふ化までの発生期間が 15°C で 54 ~ 56 日, 20°C で 33 ~ 36 日, 25°C で 24 ~ 27 日, 30°C で 19 ~ 23 日を要することから、水温が上昇するにつれて発生速度が早くなる

ことが報告されている (Segawa 1987)。また、約 0.2g 以下の生活史初期にあたるアオリイカの代謝は 15 ~ 25℃ の水温範囲内では、水温の影響を強く受けるとされる (Segawa 1995)。徳島県沿岸の産卵期は 4 ~ 10 月の範囲であり (上田・城 1989, 上田・瀬川 1995, 上田ら 1995), 早期に産卵, ふ化したものは、稚仔育成期が水温上昇期にあたり (Table 3-1-3), 成長や生残が良好となるだろう。したがって、本来は熱帯性であり (崔・大島 1961), 日本での分布が北限域となる (Roper *et al.* 1984) アオリイカにとって、4 ~ 10 月の産卵期や稚仔育成期の高水温化傾向によって、活発な代謝により摂餌に成功し易くなることや、良好な成長によって捕食を免れる確率が高まることとなり、それらの結果として生残率が高まり、高い加入レベルと成長となった可能性が考えられる。アオリイカの場合は、上述したようにその産卵場や育成場はごく沿岸であり (上田・城 1989, 上田・瀬川 1995, 上田ら 1995), こうした環境の影響を受けやすいものと思われる。

塩分については飼育実験 (崔・大島 1961) から、卵およびふ化稚仔ともに低塩分に対して抵抗性が弱いことが報告されている。また、京都府の調査 (鈴木ら 1983) では、漁獲量と塩分との相関はみられないものの、アオリイカの秋漁期の漁獲量と 6 ~ 8 月までの降雨量との間に高い負の相関が認められることが報告されている。これらの報告からも、降水量の増大や低塩分は卵やふ化稚仔の生残に悪影響をもたらす可能性が考えられる。本節で得られた重回帰式でも、降雨量とは負の相関を、また塩分は正の相関を持ち、両方のいずれかが水温の次に重要な要因として取り込まれたことの妥当性を支持している。

ここでは、St.F (Table 5-2-1) を選んでその海洋環境要因、水温と塩分を用いた。紀伊水道外域、紀伊水道および播磨灘はともに黒潮系水である芸東分支流および紀南分支流の影響を受けるとともに、大阪湾、播磨灘を経由した内海水が紀伊水道西部を経て、紀伊水道外域の西部へ流れ込む (殿谷 1981, 日本海洋学会 1985)。アオリイカが漁獲される穴喰から椿泊では、両系水の影響を受け、黒潮系水の影響が強い時は高温、高塩分であり、内海系水が卓越する時には低温、低塩分となることが予想される。また、徳島県沿岸の南側ほど、黒潮系水の影響が強くなり、水温も塩分も高くなる (Table 5-2-2)。このことから、水温単独よりも塩分を組み入れた方が、重回帰モデルの重相関係数も高く

なりかつ AIC で判定される適合性も高くなった (Table 5-2-5)。さらに、上述した飼育実験の結果も、生活史初期に水温と塩分の両者からの影響を強く受けることから、アオリイカの加入に影響を及ぼす環境要因として重要と考えられる水温と塩分の両方の影響を受ける St.F を重回帰モデルの説明変数に選んだことは妥当であったと考えられる。

また、本節では、年級群豊度に強い影響を及ぼす環境要因を有する定点を探索するため、産卵期と育成期とされる 4 ~ 10 月の環境要因の平均値を指標に用いた。その後、どの期間のデータを用いるのが最も適当か検証するために、各月単独および各月間の組み合わせによる平均的海況を求め、それらを用いて重回帰分析を行い、より精度の高い予測を試みた。その結果、重回帰分析に用いる環境データを 4 ~ 10 月から 4 ~ 9 月の組み合わせに変更したが、産卵・孵化時期と次年級群の生活史初期の環境要因が次年級群豊度に重要な影響を及ぼすことが検証され、特に 6 月と 7 月の海況が次年級群豊度に大きな影響を及ぼすことが明らかになった。

さらに、本節では、年級群の豊度の指標として漁獲量を用いた。アオリイカの外套背長および成長には水温が大きく影響する (Fig. 3-1-3, Fig. 3-1-5)。したがって、ここで用いた年級群別の漁獲量には、水温による成長差や産卵・孵化時期の変化が影響している可能性がある。実際に年級群毎の成長差と水温の関係 (Fig. 3-1-1) および産卵から孵化に要する期間の変化と水温との関係 (Segawa 1987) が検討されている。このことから、年級群別の資源強度を明らかにするためには、こうした成長差および産卵・孵化時期の変化を考慮して漁獲量を漁獲個体数に換算する必要がある。しかし、本稿のように漁獲量の予測を目的とする場合には、予測にその年の水温に影響された結果としての成長を導入することは不可能であり、このため水温変化自体を予測できない限り成長の予測の不可能である。

アオリイカでは、9 ~ 12 月の加入時の漁獲量とその後 4 ~ 8 月に産卵に寄与すると思われる同年級群である親イカの漁獲量に有意な相関が認められた (Fig. 5-2-2)。同様な稚イカと親との相関はスルメイカでも求められている (Okutani and Watanabe 1983, Murata, 1989)。これに対して、アオリイカの親イカの漁獲量と翌年の加入時の漁獲量には有意な関係が認められなかった (Fig. 5-2-3)。このことから、アオリイカの場合は親イカの量と翌年の発生量、いわゆる親子間系

(stock-recruit relationship) を見いだすことはできなかった。したがって、再生産関係に変動要因として環境要因を組み込んだ予測式 (Donald 1997) は、アオリイカの場合には適当でない。多年生である対馬沿岸のクロマグロ (松村 1989) や筑前海のマアジ 1 歳魚 (中川 1991) については、特定の年級群の漁獲量を目的変数に、幼魚や当歳魚の漁獲量などの情報を説明変数に用いることにより、精度の高い漁況予測が可能となっている。これらと異なり、アオリイカでは、むしろ定置網において漁獲加入後の稚イカの漁獲量を説明変数に導入することによって、予測の精度を向上できる可能性がある。一方、瀬戸内海のカタクチイワシでは、水温、塩分、気温、日照時間および降水量などの環境要因のみを説明変数にして非常に精度の高い予測がなされている (永井ら 1993)。本研究で示したように、アオリイカでは比較的単純な環境要因を説明変数としてある程度予測が可能である。このことは、アオリイカの環境従属性が強いことを意味する。アオリイカは寿命が約 1 年であり (上田・城 1989)、上記の多年生の魚類とは異なり、漁獲がほぼ一年弱で終了するために、できるだけ早期の漁況予測が望まれる。ここで示した方法は、9 月上旬に 9 月から翌年の 8 月までの合計漁獲量の予測が可能になり、意義が大きい。

3. 加入資源の有効利用をめざした管理目標とその効果の推定

これまで述べてきたように、徳島県産のアオリイカは大きな移動をしないことや、アオリイカの資源には明確な再生産関係が認められないこと、資源豊度は産卵期や稚仔育成期の環境に依存していることが明らかとなった。これらのことから、少なくとも再生産に必要な一定量の産卵群を保護する必要はあるものの、産卵群の保護よりも、むしろ加入してきたアオリイカ資源を有効に利用することが、資源管理において最良の方策と考えられる。しかし現在では、水揚げにおけるサイズの規制などは特に行われていないために、釣りではほぼすべての個体が水揚げされ、また定置網でも外套背長 8 cm 以上は水揚げされているが、外套背長 8 cm 以下は投棄されているのが現状である。

このように小型個体が多数漁獲に加入する、高水温期の 7～11 月はアオリイカの成長の速度が速いと考えられる。このことから、加入資源の有効利用には、投棄の対象となっている稚仔や市場価値の小さな小型個

体を生きた状態で放流することによって価格が上昇する一定サイズに達するまで保護する方策が考えられる。そこで、本研究では、一定の外套背長に満たない小型のアオリイカ個体を放流する管理方策を検討し、その効果の試算を試みた。

材料と方法

漁獲されたアオリイカがある外套背長組成を持つとして、そのうちあるサイズより小型個体は放流され、そのまま漁獲対象の資源に戻るものとする。この放流されたアオリイカは、その後の自然死亡や漁獲による死亡によって個体数が減少しながらも、体成長によってその外套背長と体重を増加させて資源量の増大に貢献する。これらの過程の上で、放流されたアオリイカ資源から再び漁獲される個体数と漁獲重量を求めていく。さらに銘柄別単価を求めて、経済的な効果も検討する。まず放流される個体数の推定を年級群別に月別に求める。次に、試算の方法の概略を、さらにその計算に必要な数式及びパラメータの推定方法を述べる。

放流対象個体数の推定

小型の加入群が大量に漁獲される 7～11 月に、水揚げされる個体のうち外套背長 8 cm 以上、ある大きさ以下の個体を放流することを考える。また、アオリイカの漁獲量の大半が定置網による漁獲量であるため、定置網の漁獲物の放流だけを考える。定置網の場合には今までの飼育実験の結果から速やかに放流することによりかなり高い放流後の生残が期待できるので、漁獲と放流の行為による直接の死亡はないものとして、放流されたすべての個体が資源に再添加されるものとする。さらに、定置網において投棄されている外套背長 8 cm 以下の個体も放流と同様に生き残るとみなして、試算に加えることとする。これに対して、この海域で定置網に次いで漁獲量を上げている餌木釣りでは、第 4 章 2 節で示したように 50% 選択外套背長 20.6 cm のサイズ選択性があるため、小型の個体の漁獲は定置網に較べて少ない。さらに、餌木釣りでは一個体ずつ釣り上げるために、釣り上げ時に腕が切れた場合は別として、放流を素早く行えばその後の生残性も高いもの期待できる。

まず、放流の対象となる定置網と釣りで漁獲されるアオリイカの小型個体の個体数を月別に知るために、徳島県沿岸の主要な漁業地区において漁獲される月別

外套背長別漁獲個体数を次のようにして求めた。宍喰、浅川、牟岐、日和佐、由岐、阿部および椿泊の主要7地区8漁業協同組合によって徳島県沿岸で漁獲されるアオリイカのほとんどが水揚げされるので、これらの地区の合計漁獲量を月別に求めて、これを徳島県沿岸の漁獲量の代表値とした。

現時点では、アオリイカに対しては、特別な水揚げのサイズ規制などはない。また、アオリイカはある程度小型であっても市場で価格が形成されるので、漁業者は市場価格がない外套背長8 cm以下を投棄して、それ以上を市場に出荷している (Ueta *et al.* 1999)。したがって、これらの地区での漁獲量には、投棄されている外套背長8 cm以下の小型個体は含まれていないが、放流の対象となる小型個体は含まれている。

次に、上述した月別漁獲量から、放流対象となる期間中の小型個体の重量と個体数を月別に推定した。このために、放流を行う期間7～11月に、宍喰および牟岐地区の定置網と釣り漁獲されたアオリイカの標本について外套背長を計測した資料から、月別に雌雄別の標本外套背長組成を求めた。この標本は、市場での調査ではないので定置網で投棄される雌雄不明の小型個体も多数含んでいる (Fig.3-1-1)。アオリイカの性比が1対1であることから (上田・城 1987)、雌雄不明の小型個体は雌雄それぞれ1対1に振り分けた。

これらの月別の標本の雌雄別外套背長組成を、外套背長と体重の関係式 (上田・城 1987) を用いて各外套背長を体重に換算することで、月別標本の雌雄別体重組成に変換した。この体重組成のうち外套背長8 cm以上が水揚げされているので、これに該当する標本の合計体重を漁獲量で割った値を標本抽出率とした。投棄されている外套背長8 cm以下を含めて、体重別 (外套背長別) の標本個体数に標本抽出率を乗ずることにより、それぞれの体重別に漁獲された個体数を求め、外套背長別漁獲個体数に換算した。さらに、この雌雄別外套背長組成における2 cm間隔の階級中央値を基準に Gompertz の成長式 (Table3-1-2) を用いて雌雄別月齢組成に変換した。これによって、投棄対象となっている外套背長8 cm以下の個体も含む放流対象個体の月齢別個体数を雌雄別に求めた。ここではこのうち外套背長18 cm (体重300g) 以下の個体を放流したと仮定して、その後の漁獲量に及ぼす放流の影響を推定する。

なお、第5章2節で示したように、アオリイカの漁獲量は年級群毎に大きく変動するので、ここでの放流

効果の試算は、月別雌雄別に外套背長組成を推定できる1994年～1997年級群について、年級群ごとに行った。また、年級群により成長速度が異なることから (Fig.3-1-4)、年級群毎にそれぞれ推定された成長式を用いた (Table 3-1-2)。

放流による再加入から得られる漁獲個体数、重量および金額の試算

放流された個体の放流後の成長を推定するために、放流された個体の外套背長 l (cm) から成長式を用いていったん月齢 x (month) を求めた。この月齢に基づいて、放流後の成長を推定した。実際には、放流群は外套背長8 cm (体重39g) 以上で18 cm (体重300g) の範囲の外套背長組成をもつので、外套背長別の放流個体数を月齢別放流個体数 $N(x)$ に変換した。ただし、 x 齢における外套背長は l_x として Gompertz の成長式 (Table3-1-2) に従い、またそのときの体重 w_x は外套背長 l_x との関係式 (上田・城 1987) によって求めた。なお、放流した外套背長18 cm (体重300g) の小型個体が外套背長18 cm (体重300g) 以下の小型個体のままで漁獲された場合は再度放流され、生残するものとする。

放流後の経過月 t (month) として、期間 $[t-1, t]$ を考える。この期間に放流時に x 齢であった個体は、 $x+t-1$ 齢 (外套背長は l_{x+t-1}) から $x+t$ 齢 (外套背長は l_{x+t}) となる。

一方、個体数 N_{x+t} は、全減少係数 Z にしたがって、

$$N_{x+t} = N_x \exp(-Z \cdot t)$$

に減少するので、この期間 $[t-1, t]$ に死亡した個体は

$$\begin{aligned} N_{x+t-1} - N_{x+t} &= N_x \{ \exp[-Z \cdot (t-1)] - \exp[-Z \cdot (t)] \} \\ &= N_x \exp[-Z \cdot (t-1)] [1 - \exp(-Z)] \end{aligned}$$

となる。このうちで、漁獲により減少する個体数 n_t は、漁獲死亡係数 F を用いて、

$$n_t = (F/Z) N_x \exp[-Z \cdot (t-1)] [1 - \exp(-Z)]$$

となる。この期間 $[t-1, t]$ に、外套背長 l_{x+t} 、体重 w_{x+t} となるので、この間の漁獲量 C_t は、漁獲個体数 n_t に体重 w_{x+t} を乗じて、次式で示される。

$$C_t = w_{x+t} n_t \\ = w_{x+t} (F/Z) N_x \exp[-Z \cdot (t-1)][1 - \exp(-Z)]$$

さらに、その期間の体重 w_{x+t} に応じた銘柄別の単価を乗じることで、放流個体からのこの期間の漁獲金額 Y_t を求めることができる。

なお、第3章での述べたようにアオリイカの寿命は約1年であるから、放流後12カ月までの累積漁獲個体数と累積漁獲重量、および累積漁獲金額を求めた。

試算のために必要とするパラメータの推定

放流後の成長を計算するために、第3章で求めた各年級群毎に雌雄別に推定した Gompertz の成長式 (Table 3-1-2) を採用した。そして、そのときの外套背長 L_x と体重 w_x の関係式は上田・城(1987)を用いた。

試算のためには放流後の自然死亡係数と漁獲死亡係数を想定する必要がある。まず、月別漁獲個体数から全減少係数を概算した。このために月別の外套背長組成と漁獲量から前節で求めた月別漁獲個体数を用いた。この月別漁獲個体数の変化に対して、11月に完全加入すると仮定して、最小自乗法で指数回帰式を求めて、全減少係数 Z (単位、 month^{-1}) と生残率 S を求めた。これを1984年から1997年級群の年級群別に求める。年による全減少変動を考慮するために、これらの年級群別全減少係数から平均値と標準偏差を求めて、起こりうる全減少係数を複数想定した。

全減少係数は、漁獲死亡係数 F と自然死亡係数 M の和として求められる。そこで、極端に全減少係数が小さかった年級群を参考にして、自然死亡係数をその全減少係数以下の値として想定した。このように全減少係数と自然死亡係数を想定することにより、その差から想定した漁獲死亡係数を得ることができる。

9月から翌年8月を年級群の単位として、牟岐地区市場における月別銘柄(体重)別の漁獲量と生産金額に基づいて、1984～1997年級群の銘柄別の平均単価を算出した。

結果と考察

漁獲個体数および投棄個体数

各年級群の年齢別漁獲個体数は、1994年級群で31万個体、1995年級で24万個体、1996年級で16万個体、1997年級で18万個体と推定された。外套背長組成を調査した宍喰地区では外套背長8cm以下の個体は投棄

されており、その他の地区も同様に投棄されているものと仮定すると、徳島県沿岸における投棄個体数は、94年級群で9千個体、95年級群で5万個体、96年級で8千個体、97年級で5千個体と推定された。

全減少係数

月別漁獲個体数の変化(Fig 5-3-1)から11月に完全加入すると仮定して、1984～1997年級群の全減少係数(Z)と生残率(S)を求めた(Table 5-3-1)。全減少係数の計算において、水温低下に伴い漁獲個体数が著しく減少した1985、1988および1993年級群の2～3月期のデータは解析からは除外した。全減少係数を求めるための指数回帰式は全ての年級群において有意な関係が認められた($r=0.690 \sim 0.948$, $P<0.05 \sim 0.001$)。全減少係数は $0.111 \sim 0.358 \text{ month}^{-1}$ となり、月間生残率(e^Z)は $0.699 \sim 0.895 \text{ month}^{-1}$ となった。年級群別にみると、全減少係数は、1984～1993年までは $0.111 \sim 0.262 \text{ month}^{-1}$ であったが、1994年以降 $0.262 \sim 0.358 \text{ month}^{-1}$ に上昇した。調査した14年級群における全減少係数の平均と標準偏差は $0.227 \pm 0.070 \text{ month}^{-1}$ で、年級群による変動は大きかった。変動要因として、自然死亡が

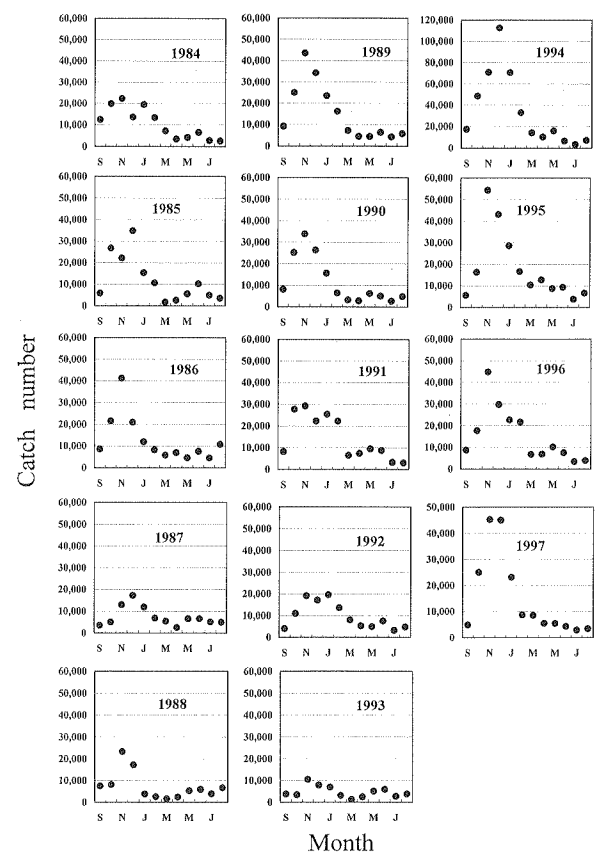


Fig. 5-3-1. Monthly change of catch number of oval squid in 1984-1997 year-class.

Table 5-3-1. Monthly total mortality rate and survival rate of oval squid estimated from monthly change in catch number

Year-class	Number of data	Total mortality rate	Correlation coefficient	Survival rate
1984	10	0.243	0.916***	0.784
1985	7	0.201	0.916**	0.818
1986	10	0.162	0.705*	0.851
1987	10	0.127	0.690*	0.881
1988	6	0.176	0.923**	0.839
1989	10	0.262	0.889***	0.770
1990	10	0.238	0.793**	0.789
1991	10	0.251	0.915***	0.778
1992	10	0.194	0.906***	0.824
1993	7	0.111	0.891**	0.895
1994	10	0.358	0.928***	0.699
1995	10	0.262	0.941***	0.770
1996	10	0.271	0.934***	0.762
1997	10	0.319	0.948***	0.727

* Significant at 5% level.

** Significant at 1% level.

*** Significant at 0.1% level.

年により異なることや漁獲死亡が年により異なることが考えられる。また、アオリイカの産卵期やふ化稚仔期が長期に及ぶことから全減少係数が過小評価されている可能性がある。

イカ類の全減少係数に関する報告事例は少ないが、スルメイカでは 0.456 month^{-1} (土井・川上 1979), 0.08 month^{-1} (イカ類日本海研究チーム 1984), 0.755 month^{-1} (安達 1988) と報告されている。本研究のアオリイカの全減少係数はスルメイカで得られた結果の範囲内にある。以後の解析には徳島県産アオリイカ資源が取り得る全減少係数として 14 年級群の平均値 0.227 と標準偏差の上下限となる 0.157 および 0.296 の 3 つの値を用い比較するのが適当と考えられた。

自然死亡係数

自然死亡は、①漁獲努力と全減少係数の回帰式から推定する方法 (Widrig 1954), ②理論的バイオマスと寿命の関係から推定する方法 (Doi 1982), ③理論的バイオマスと成熟年齢および寿命の関係から推定する方法 (河井 1980), ④寿命の逆数からの推定する方法 (田中 1960), ⑤処女資源時代の年齢組成から推定する方法 (島本 1987), ⑥ Von Bertalanffy の成長式のパラメーターと平均年間水温の関係から重回帰分析を用いて推定する方法 (Pauly 1979) により求められる。

ここでは、14 年間の中で全減少係数が小さかった 1993 年級群の 0.111 , 1987 年級群の 0.127 を参考にして自然死亡の取り得る値を 0.05 , 0.100 および 0.150 と仮定した。イカ類の自然死亡係数に関する報告も少なく、スルメイカで 0.431 month^{-1} (土井・川上 1979), 0.03

Table 5-3-2. The unit cost of production(yen/kg) of oval squid by size category at Mugicho market

Year-class	Size category		
	Very small*	Small**	Large***
1994	353	435	937
1995	613	490	1,258
1996	401	574	1,429
1997	356	554	1,209

* below 100g in body weight.

** from 100g to 300g in body weight.

*** over 300g in body weight.

month^{-1} (イカ類日本海研究チーム 1984), 0.431 month^{-1} (安達 1988), アメリカオオアカイカ *Dosidicus gigas* (Ehrhardt *et al.* 1983) で $0.05 \sim 0.08 \text{ month}^{-1}$, *Loligo vulgaris reynardi* (Augustyn *et al.* 1993) で 0.081 month^{-1} (0.0203 week^{-1} より 4 倍として算出) と報告されている。本研究で仮定したアオリイカの自然死亡係数は外洋性のイカであるアメリカオオアカイカと *Loligo vulgaris reynardi* に近い値となった。

アオリイカの銘柄別単価

宍喰漁協では外套背長 8 cm 以下の個体は投棄されていることから、その単価は 0 円とした。アオリイカの銘柄は、徳島県内でも地域により異なる。主として外套背長組成調査を実施した宍喰漁協では、実際には体重が大きいほど単価は高いが、銘柄別に入札が行われていないために、銘柄別価格が記録されていない。このことから、本解析には銘柄別生産金額が記録されている牟岐地区の銘柄別漁獲量と生産金額を用いた。ここでは牟岐地区の月別の銘柄別漁獲量と生産金額を基に 9 月から翌年 8 月までの平均値を年級群の平均単価として求めた (Table 5-3-2)。平均単価は年級群によっても異なるが、体重 100g 以下の個体では 353 ~ 613 円/kg, 体重 200 ~ 300g で 435 ~ 574 円/kg, 体重 300g 以上で 937 ~ 1,429 円/kg であった。アオリイカは一般に大型のものほど高価に取引されるが、本研究ではこの傾向は体重 100g 以下の小型個体が漁獲される 8, 9 月に限られ、1995 年級群では、その時期に一時的に小型個体の価格が高かったために、周年でみても体重 200 ~ 300g の銘柄よりも体重 100g 以下の小型個体の価格が高くなった。その他の年級群においては大型個体ほど価格が高かった。

小型魚保護の試算

年級群毎に雌雄別に漁獲量に及ぼす外套背長 18 cm

(体重 300g) 以下の個体の放流の影響を試算した結果、過去 14 年間の平均的な全減少係数 0.227 を用いた場合、年級群により異なるが、24 千～101 千個体が放流され、その 25～75% が体重 300g 以上の個体となって回収されることになる (Table 5-3-3, Fig.5-3-2)。回収率は重量で 0.97～7.8、金額で 2.2～20 となり、高い放流効果を示した。回収重量の増大は、アオリイカの成長速度を反映した結果であり、生産金額の増大については、放流後の成長に加え、体重 300g 以上で価格が増大することが加味された結果と考えられる。

全減少係数として標準偏差の上限である 0.296 を用いた場合は、個体数、重量および金額においてさらに大きな回収率が得られるが、その下限である全減少係数 0.157 を用いた場合は各回率は低下した。特に、自然死亡係数 0.15 を用いた場合には、漁獲係数が 0.007 と非常に小さくなり放流効果は全く認められなかったが、過去のイカ類の報告 (イカ類日本海研究チーム 1984, Ehrhardt *et al.*1983, Augustyn *et al.*1993) から判断すると、自然死亡係数 0.15、漁獲死亡係数 0.007 は実際の資源を考えた場合に値が小さすぎ現実的ではないと考えられる。

全減少係数の平均値 0.227 を用いた場合、回収金額から放流に要した費用を差し引いて利益を求めると、248 万円～5,020 万円となり、経済効果としては必ずしも大きくないが、着実な経済効果があることが示された。

これらの試算における解析上の留意点としては、以下の 3 点が上げられる。①年級群により、全減少係数が大きく異なり、自然死亡が異なる可能性が考えられる。②試算に放流後の生残率を加味する必要がある。

③アオリイカの単価は 300g 以上においてもサイズが大きくなれば価格がより上昇することから、より詳細なサイズ別価格を明らかにする必要がある。また、技術的な課題としては、①アオリイカは主として釣りおよび定置網で漁獲されており、特に小型定置網はアオリイカばかりでなく鮮度保持が重視されるイワシ類やキビナゴをも漁獲対象としており、アオリイカの小型個体の放流に時間と労力を割くことが難しいので、混獲した小型のアオリイカを手間や時間をかけずに選別し、再放流する技術を開発する必要がある。②第 4 章 2 節で前述したように、餌木釣りには漁獲物に対するサイズ選択性があり、定置網に比べて大型の個体を漁獲している。このことから、餌木釣りにおいても、さらに時期に応じた適切なサイズの餌木の使用など小型個体の漁獲を回避する方法を検討する必要がある。

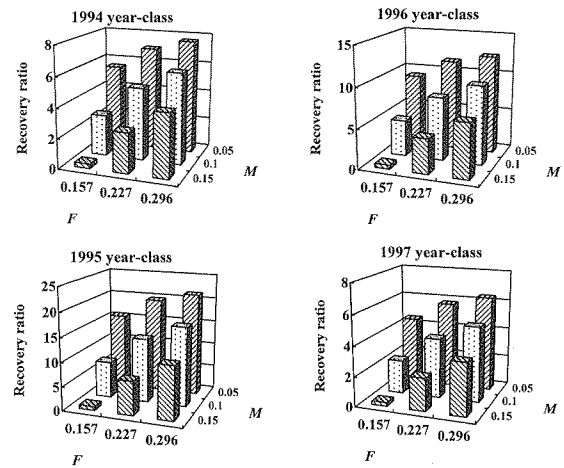


Fig. 5-3-2. Recovery ratio of expense in each natural mortality coefficient and fishing mortality coefficient in the case of releasing all the oval squid below 300g in body weight.

Table 5-3-3. Estimation of economic effect in the case of releasing all the oval squid below 300g in body weight

Year-class	Fishing Mortality	Natural Mortality	Number of release	Number of recovery	Recovery ratio	Weight of release(kg)	Weight of recovery(kg)	Recovery ratio	Expense of release(yen)	Income (yen)	Recovery ratio
1994	0.296	0.050	54,102	45,719	0.845	8,793	30,850	3.51	3,780,625	28,906,918	7.646
		0.100	54,102	35,822	0.662	8,793	24,432	2.78	3,780,626	22,892,401	6.055
		0.150	54,102	24,829	0.459	8,793	16,912	1.92	3,780,627	15,846,937	4.192
	0.227	0.050	54,102	40,481	0.748	8,793	28,159	3.20	3,780,628	26,385,012	6.979
		0.100	54,102	27,866	0.515	8,793	19,477	2.22	3,780,629	18,249,865	4.827
		0.150	54,102	15,337	0.283	8,793	10,661	1.21	3,780,630	9,989,231	2.642
	0.157	0.050	54,102	31,043	0.574	8,793	22,260	2.53	3,780,631	20,857,326	5.517
		0.100	54,102	15,339	0.284	8,793	10,986	1.25	3,780,632	10,294,168	2.723
		0.150	54,102	1,659	0.031	8,793	1,177	0.13	3,780,633	1,102,507	0.292
	0.296	0.050	100,711	81,332	0.808	5,382	45,748	8.50	2,688,921	57,551,555	21.403
		0.100	100,711	61,632	0.612	5,382	35,200	6.54	2,688,921	44,281,616	16.468
		0.150	100,711	41,429	0.412	5,382	23,653	4.39	2,688,921	29,755,559	11.066
1995	0.227	0.050	100,711	71,619	0.711	5,382	42,944	7.81	2,688,921	52,891,563	19.670
		0.100	100,711	47,743	0.474	5,382	28,223	5.24	2,688,921	35,505,060	13.204
		0.150	100,711	25,552	0.254	5,382	14,990	2.79	2,688,921	18,857,821	7.013
	0.157	0.050	100,711	54,517	0.541	5,382	33,402	6.21	2,688,921	42,019,105	15.627
		0.100	100,711	26,145	0.260	5,382	15,996	2.97	2,688,921	20,122,860	7.484
		0.150	100,711	2,754	0.027	5,382	1,663	0.31	2,688,921	2,091,581	0.778
	0.296	0.050	33,192	27,902	0.841	3,382	16,352	4.83	1,883,640	23,366,818	12.405
		0.100	33,192	21,771	0.656	3,382	12,949	3.83	1,883,640	18,503,804	9.823
		0.150	33,192	15,034	0.453	3,382	8,927	2.64	1,883,640	12,757,101	6.773
	0.227	0.050	33,192	24,689	0.744	3,382	15,069	4.46	1,883,640	21,533,554	11.432
		0.100	33,192	16,927	0.510	3,382	10,401	3.08	1,883,640	14,863,740	7.891
		0.150	33,192	9,284	0.280	3,382	5,663	1.67	1,883,640	8,091,778	4.296
1996	0.227	0.050	33,192	18,916	0.570	3,382	12,024	3.56	1,883,640	17,182,615	9.122
		0.100	33,192	9,312	0.281	3,382	5,911	1.75	1,883,640	8,447,023	4.484
		0.150	33,192	1,004	0.030	3,382	629	0.19	1,883,640	898,644	0.477
	0.296	0.050	23,614	19,877	0.842	3,924	11,169	2.85	2,120,880	13,502,793	6.367
		0.100	23,614	15,530	0.658	3,924	8,788	2.24	2,120,880	10,625,245	5.010
		0.150	23,614	10,737	0.455	3,924	6,072	1.55	2,120,880	7,341,552	3.462
	0.227	0.050	23,614	17,591	0.745	3,924	10,088	2.57	2,120,880	12,196,244	5.751
		0.100	23,614	12,076	0.511	3,924	6,948	1.77	2,120,880	8,400,165	3.961
		0.150	23,614	6,631	0.281	3,924	3,802	0.97	2,120,880	4,596,690	2.167
	0.157	0.050	23,614	13,481	0.571	3,924	7,890	2.01	2,120,880	9,538,854	4.498
		0.100	23,614	6,645	0.281	3,924	3,886	0.99	2,120,880	4,698,607	2.215
		0.150	23,614	717	0.030	3,924	417	0.11	2,120,880	503,885	0.238

第6章 総合考察

第1～5章の研究結果から、生物学的知見として①徳島県で漁獲されるアオリイカはシロイカ型で太平洋系群に属し、大きな移動を行わず分布範囲が徳島県沿岸にあること、②成熟、交接、産卵およびふ化の時期が主として4～10月にあること、産卵場はアマモやホンダワラ、イソバナなどの卵囊塊付着基盤がある15m以浅の波浪の少ない入り江や島陰であること、③寿命が約1年で、7月から漁獲加入し、水温の高い時期に成長が速く、翌年の4～10月に産卵後死滅すること。④餌に対するサイズ選択性が存在し、高水温期の摂餌の活性が高いこと、⑤アオリイカの資源豊度が産卵からふ化および稚仔育成期の漁場環境、特に水温と塩分に依存していることなどが明らかにされた。

さらに、これらの生物学的知見に基づいて応用学的研究として①自然界の産卵場と卵囊塊付着基盤を調べた結果、来遊する親イカの量に比較して、親イカが産卵するための適当な付着基盤を備えた産卵場が少ないこと、適当な構造や形態の人工産卵礁を投入することにより産卵場造成の効果があること、さらに適当な人工産卵礁の構造に関する新しい知見を得たこと、②アオリイカ釣りのための餌木（擬餌針）にサイズ選択性があることを示し、餌木のサイズを変化させることにより、漁獲されるアオリイカのサイズを制御できること、③4～9月の水温と塩分もしくは水温と降水量の組み合わせを説明変数に用いて重回帰分析を実施すれば、漁期前に新年級群の資源豊度が高精度で予測できること、④投棄物となっている外套背長8 cm以下の個体や経済価値の小さい外套背長18 cm（体重300g）以下の小型個体を放流することにより、生産金額を増大させることが可能であることが明らかにされた。

次年級群の資源豊度が前年級群の産卵からふ化および稚仔育成期の漁場環境、特に4～9月の水温と塩分に依存しているため、人工産卵礁による産卵場造成の

効果は、これらの結果と相反するように考えられるが、自然界に付着基盤や産卵場が極めて少なく、特に近年では藻場の消失や磯焼けが著しいことから、河川水の影響がなくかつ波浪の影響が少ないふ化稚仔の生残率の高い海域を選定して設置するならば基本的にはアオリイカ資源にとって有効な増殖手段になるものと考えられる。また、産卵礁は親イカを蟄集させる効果があることから、大型の親イカを漁獲するための補助手段にもなり得る。

最後に、徳島県においてアオリイカは、免許漁業である大型定置網2統、各地先の第2種共同漁業権内の小型定置網144統（徳島農林水産統計年報平成6年～10年5カ月平均値）、自由漁業である釣り約300隻（上田未発表）、紀伊水道の小型底びき網322隻（徳島農林水産統計年報平成6年～10年5カ月平均値）および実態は不明だが相当数の遊漁船と波止からの釣りで漁獲されている。このことから、県内で漁獲される魚介類の中で最もアオリイカは漁獲する漁業者が多い重要な魚介類の一種であるといえる。

1994年以降、高水温を反映して資源水準が高くなっていることから、現段階では特別に資源保護を目的とした増殖手段や行政的規制を講ずる必要性はないと考えられる。むしろ、アオリイカ寿命が約1年であることからその年の資源豊度が漁期前に明らかにできるならば、一定の親イカを残してさらに漁獲努力を高めることさえ可能であると考えられる。

しかしながら、経済的に価値の乏しい小型個体が漁獲されたり、投棄されている実態があり、漁獲方法に改善する余地があるのも事実である。本論でも体重300g以下の小型個体の保護（放流）は少ないながらも一定の経済効果があることが試算された。小型個体保護に向けての自主規制や放流の実践は最終的には漁業者の判断を待つしかないが、本論文の結果がきっかけとなり、不合理漁獲の一面が修正され、漁業経営の一助となれば、この研究に携わってきた一研究者として満足するものである。

要 約

アオリイカはインド洋から太平洋にかけて連続的に分布し、日本では北海道南部から沖縄まで分布する。特に日本南部では、沿岸漁業の重要資源となっている。徳島県沿岸では、周年を通して定置網や釣りで漁獲され高価に取引されることから、経済的に重要な水産動物となっている。

日本各地に生息するアオリイカの地方群間の遺伝的類縁性をアイソザイム分析による集団遺伝学的解析によって調べた。アオリイカには遺伝的に高度に分化した3型（シロイカ型、アカイカ型、クアイカ型）の存在が知られているが（Izuka *et al.* 1994）、今回は日本本土周辺から得られた10地点の“シロイカ型”と、沖縄産の“アカイカ型”合計11地点について調べた。水平式デンブengel泳動法によるアイソザイム分析の結果、21酵素1非酵素タンパクを検出し、計34遺伝子座を推定したが、“アカイカ型”と“シロイカ型”グループの間では5遺伝子座で対立遺伝子が完全置換しており、両者の遺伝的距離の平均値は0.2に近く、Izuka *et al.* (1994)によって報告された“アカイカ型”の遺伝的独立性が再確認された。また“シロイカ型”のグループ中ではLDH-4*遺伝子座が特徴的で、日本海の集団と太平洋の集団間で対立遺伝子が完全置換しており、遺伝的距離によるこれら2群の遺伝的相違の程度は亜種間に近い水準に達していた。このことから、日本本土近海のアオリイカ（シロイカ型）は日本海系群と太平洋系群のふたつに大別され、徳島県産アオリイカは太平洋系群に属する単一集団であると考えられた。

播磨灘、紀伊水道および太平洋で操業する小型定置網標本船と紀伊水道南部で操業する小型底びき網標本船の月別漁獲量の推移から、これらの3海域ではアオリイカの産卵群と加入群がともに漁獲されることが明らかになった。しかしながら、播磨灘では水温が12.0℃以下に低下する1～4月に漁獲されず、この時期には水温が14℃以上ある太平洋岸や紀伊水道南東部へ移動しているものと考えられた。

徳島県海部郡沿岸で11～12月に外套背長9.5～26.5 cmのアオリイカ305個体を標識放流したところ、15個体が再捕された。再捕個体の移動距離は直線距離で16.2 km以下と小さかったことから徳島県産アオリイカ個体群は大きな回遊を行わず、冬季にもほとんど

がこの海域にとどまることが推察された。

交接を済ませた雌は1～9月の間で出現し、GSIおよびNSIの季節変化をみると雌は4～9月に成熟する。雄のGSIは12月から上昇し始め、翌年の9月まで高い。これらのことから、アオリイカは雄の方が早く成熟し、雌は生殖腺が成熟する前に交接を始める。雌の生物学的最小形は外套背長15.5 cmであった。1988年8月～1991年10月にかけてSCUBAにより、徳島県のアオリイカの卵囊塊の出現時期、卵の発生状況及び卵数について調査を実施した結果、卵囊塊の全ては5～10月の期間内に採集された。卵囊当たりの卵数は0～9個体（平均5.5個体）、1卵囊塊当たりの卵数は137～141個（平均553.2個体）であった。卵囊当たりの卵数が多い卵囊塊ほど総卵数が多い傾向が認められた。卵囊塊の出現時期および飼育下における発生速度と水温の関係（Segawa 1987）から産卵期は4月下旬～10月上旬、ふ化時期は6月上旬～10月下旬で、主産卵期は5～7月、主ふ化期は6～8月と推測された。

徳島県沿岸に人工産卵礁を設置し、1990年5月～1993年9月にSCUBAダイビングによりアオリイカの産卵場と卵塊付着基盤に対する選択性を調べた結果、内湾の静穏域に設置された人工産卵礁へ産み付けられた卵囊塊の数は外海域に面した海域に設置された人工産卵礁より明らかに多かった。3種類の人工産卵礁に産み付けられた産卵量は中層網籠タイプ>鉄筋タイプ>FRPタイプの順になった。これらの3タイプの人工産卵礁に産み付けられた卵囊塊の量は隣接するガラモ場やアマモ場に比較して多かった。これらの結果から、親イカは産卵場として静穏域を選択し、多様な卵囊塊付着基盤に産卵することが明らかになった。さらにFRPタイプの人工産卵礁においてFRP棒の間隔が狭い産卵礁に選択的に産卵したことから、アオリイカは上方から下方に産卵行動を行い卵囊塊付着基盤として狭い空間を好むことが明らかとなった。

1987年から1999年における漁獲物の外套背長組成からアオリイカの成長と寿命について調べた結果、アオリイカの寿命は約1年であると推定され、夏にふ化し翌年の春から夏に産卵した後死滅することが明らかにされた。アオリイカの成長は雌雄ともに水温の高い夏から秋にかけて速いが、水温が低下する冬春期の成長は停滞する。各月の平均外套背長の推移にGompertzの成長式がよく適合した。外套背長は年級群により異なり、水温はアオリイカの成長に大きな影響を及ぼす。

1 個体のアオリイカと種々の大きさのクロメジナ 8 ~ 12 個体を餌として水槽に収容し、アオリイカの捕食行動、餌のサイズ選択性および残餌の形状を明らかにした。アオリイカの捕食行動は、確認、位置取りおよび捕獲の 3 つの動き分けられた。アオリイカは餌の全長とイカの外套背長の比 (FTL/SML) が 0.5 以下の餌を良く捕食する傾向がみられた。 FTL/SML 比 0.5 以下では残餌がなく、ほぼ完全に摂餌したが、 FTL/SML 比が 1.0 を超えると残餌の割合が大きくなる傾向がみられ、胴部の筋肉を残すものが多かった。 FTL/SML 比が 1.5 を超えるとアオリイカは餌を捕食できず、餓死したり、さらにクロメジナによるイカの捕食が観察された。

徳島県沿岸におけるの餌木（擬餌針）釣りや定置網により漁獲されるアオリイカの外套背長 (ML) 組成に、拡張した SELECT モデルをあてはめて、餌木の漁獲選択性を求めた。餌木の選択性を求めるために、同一日に定置網と釣りで漁獲されたアオリイカの外套背長組成を比較するために、同一日の漁法別の外套背長別資源密度や漁獲性能が異なる場合に合わせて SELECT モデルを拡張した。餌木の漁獲選択性 $r(l)$ は、外套背長 l とし $r(l) = \exp(-10.0 + 0.485 l) / [1 + \exp(-10.0 + 0.485 l)]$ と推定された。ここではエビを模した体長 12 cm（既製品）や 15cm（漁業者自作品）餌木より大きなアオリイカが漁獲され、この選択性がアオリイカの餌サイズ選択によるものと考えられた。

アオリイカは主として朝夕の薄明時から夜間にかけて釣獲される。徳島県海部沿岸の釣りや定置網におい

てアオリイカは満月の前後 5, 6 日をピークとして漁獲され、漁獲には月周期性がみられることから、アオリイカの漁具に対する行動が照度に強く影響を受けることが明らかになった。

徳島県沿岸域でのアオリイカ漁獲量予測のために、ある年級群の豊度とその産卵期から稚仔成育期を含む期間 (4 ~ 9 月) の環境要因との関係を重回帰分析で調べた。環境要因として紀伊水道外域の水深 10m の水温 (X_1) と塩分 (X_2) および徳島市の大気圧 (X_3) と降水量 (X_4) を説明変数に、また、年級群豊度の指数としてその年級群からの漁獲量 (9 月から翌年 8 月まで) を目的変数に用いて、AIC により変数を選択して重回帰式 $Y = -3297.4 + 37.0X_1 + 79.9 X_2$ を得た。この式より、年級群からの漁獲量を予測できる。アオリイカの年級群豊度が産卵期と稚仔成育期の水温や塩分と密接に関連したことから、高水温と高塩分が加入に好影響を及ぼしていると考えられる。

まとまった加入がみられ、かつ著しく成長速度が速い 7 ~ 11 月に限定して体重 300g 以下の小型個体を保護（放流）した場合の放流効果を試算した。年級群毎に雌雄別試算を行った結果、体重 300g 以下は 0 ~ 3 月齢群に相当し、年級群により異なるが、23 千 ~ 101 千個体が放流の対象となり、その 25.6 ~ 84.6% が体重 300g 以上の個体となって回収される結果となった。漁獲重量では、放流時の重量に対して 0.98 ~ 8.5 倍、生産金額においては放流に要する費用に対して 2.2 ~ 21.4 倍が回収され、高い放流効果を示した。

謝 辞

本研究をまとめるにあたって、懇切な御指導、御助言と原稿の校閲を賜った東京水産大学教授瀬川 進博士と同助教授東海 正博士に衷心よりお礼申し上げます。また、有益な御助言をいただくとともに、数値解析について御教示いただいた水産大学校助教授濱野龍夫博士、原稿の校閲を賜った東京水産大学教授藤田 清博士、同教授渡邊精一博士、同助教授土屋光太郎博士に対し、心より厚くお礼を申し上げます。さらに、アイソザイム分析を遂行下さった香川県水産試験場横川浩治主任研究員ならび標本採集に御協力いただいた各府県水産試験場の皆様に深謝します。

人工産卵礁の設置、潜水調査および市場調査において便宜をはかっていただいた穴喰町漁業協同組合をはじめ、漁獲量調査に御協力いただいた穴喰、鞆浦、浅川、牟岐町、牟岐東、日和佐、木岐、東由岐、阿部、椿泊および

北灘漁業協同組合の職員並びに漁業者に深謝します。なかでも、牟岐町漁業協同組合の大田洋之氏には標識放流と飼育実験用の稚イカの入手において、日和佐漁業協同組合の福井邦美氏および松本真一氏には飼育実験用の稚イカや餌の確保において、牟岐東漁業協同組合の天野勇氏にはアオリイカの釣獲機構や漁業実態について御教示いただきお世話になった。記して謝意を表します。

本研究の端緒から、標本の採集、市場調査および標識放流作業に御協力いただき、貴重なお助言をいただいた徳島県水産試験場長城 泰彦博士、徳島県水産試験場小島 博次長、波浪の強い本県沿岸において長期に渡り、貴重な海洋観測資料の収集に御尽力いただいた漁業調査船「とくしま」の歴代乗務員には深甚の謝意を表します。

最後に本研究の遂行にあたり、御協力と御便宜を図って下さった徳島県水産試験場ならび徳島県水産課の各位に深く感謝の意を表します。

引用文献

- 安達二郎: 日本海西部海域におけるスルメイカ, *Todarodes pacificus* STEENSTRUP の漁業生物学的研究. 島根県水産試験場研究報告, 5, 1-91(1988).
- 安達辰典: アオリイカの漁獲状況に関するアンケート調査結果について. (1988).
- 安達辰典: 若狭湾におけるアオリイカの標識放流結果について. 日本海ブロック試験研究集録, 28, 89-94(1993).
- Adam, W.: Cephalopoda. Partie 1. Le genre *Sepioteuthis* Blainville, 1924. Siboga Expedition 55a, Leiden, 1939, pp.1-33.
- 赤池弘次: 情報量基準 AIC とは何か, その意味と将来への展望. 数理科学, 153, 5-11(1976).
- 赤嶺達郎: Polymodal な度数分布を正規分布へ分解する BASIC プログラムの検討. 日本海区水研報告, 35, 129-159 (1985).
- 秋山信彦・上野信平・永井 彰: アオリイカの初期餌料としてのニホンイサザアミの有効性. 東海大学研究所研究報告, 18, 83-88 (1997).
- 秋山清二・安田浩二・有元貴文・田原陽三: 曳縄漁具に対する魚の行動の水中観察. 日水誌, 61, 713-716 (1995).
- Augustyn, C. J., M. R. Lipinski, and W. H. H. Sauer: Can the *Loligo* squid fishery be managed effectively? A synthesis of research on *Loligo vulgaris reynaudii*. *S. Afr. J. mar. Sci.*, 12, 903-918 (1992).
- Augustyn, C. J., B. A. Roel, and K. L. Cochrane: Stock assessment in the chokka squid *Loligo vulgaris reynaudii* fishery off the coast of south Africa. Recent Advances in Fisheries Biology, Tokai University Press, Tokyo, 1993, pp.499-511.
- Bidder, A. M.: The digestive mechanism of European squids *Loligo vulgaris*, *L. forbesii*, *Alloteuthis media* and *A. subulata*. *Quart. Jour. Micr. Sci.*, 91, 1-43, (1950).
- Bolentzky, S. V. and R. T. Hanlon: A review of the laboratory maintenance, rearing and culture of cephalopod molluscs. *Mem. Mus. Vic.*, 44, 147-187 (1983).
- Busch, W. D. N., R. L. Scholl, and W. L. Hartman: Environmental factors affecting the strength of walleye (*Stizostedion vitreum vitreum*) year-classes in western Lake Erie, 1960-1970. *J. Fish Res. Board Can.*, 32, 1733-1743 (1975).
- Caddy, J. F.: The cephalopods: factors relevant to their population dynamics and to the assessment and management of stocks, in "Advances in Assessment of World Cephalopod resources" (ed. by J.F. Caddy), FAO Fish. Tech. Pap., (231), 416-452 (1983).
- 崔 相・大島泰雄: アオリイカ (*Sepioteuthis lessoniana* Lesson) の発生と稚仔の成長について. *Venus*, 21, 462-476 (1961).
- Chotiyaputta, C.: Squid Fisheries in Thailand. イカ類資源漁海況検討会議研究報, 108-116 (1991).
- Chotiyaputta, C.: Biology of bigfin reef squid (*Sepioteuthis lessoniana*) in the gulf of Thailand. Technical Paper No. 8, Biological Studies Sub-Division Marine Fisheries Division, Department of fisheries, 10-28 (1989).
- Crecco, V., T. Savoy, and W. Whitworth: Effects of density-dependent and climatic factors on American shad, *Alosa sapidissima*, recruitment: A predictive approach. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 43, 457-463 (1986).
- Dawe, E. G., and W. G. Warren: Recruitment of short-finned squid in the north/west Atlantic Ocean and some environmental relationships. *J. Cephalopod Biol.*, 2, 1-21 (1993).
- 土井長之・川上武彦: 日本近海産スルメイカの生物生産と漁業の管理. 東海水研報, 99, 65-83(1979).
- Doi, T.: Practical and rapid diagnosis method exemplified by red sea bream, *Pagrus major*, in the Seto Inland Sea. *Bull. Fish. Res. Dev. Agency Korea*, 28, 127-145(1982).
- Donald, D. B.: Relationship between year-class strength for goldeye and selected environmental variables during the first year of life. *Trans. Amer. Fish. Soc.*, 126, 361-368 (1997).
- 道津喜衛・島尾 優・夏莉 豊: 五島の生物, 壱岐・対馬との対比, 五島列島におけるアオリイカの生態と漁業. 長崎県生物学会, 長崎, 1981, pp.457-465.
- Eckmann, R. U., U. Gaedke, and H. J. Wetzler: Effects of climatic and density-dependent factors on year-class strength of *Coregonus lavaretus* in Lake Constance.

- Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 45, 1088-1093 (1988).
- Ehrhardt, N., P. Jacquemin, F. Garcia, G. Gonzalez, J. M. Lopez, J. Ortiz, and A. Solís: On the fishery and biology of the giant squid *Dosidicus gigas* in the Gulf of California, Mexico. *FAO Fish. Tech. Pap.*, (231), 1983, p.452.
- Fields, W.G.: The structure, development, food relations, reproduction, and life history of the squid *Loligo opalescens* Berry. *Calif. Dep. Fish Game, Fish. Bull.*, 131, 108 (1965).
- 不破 茂・石崎宗周・岡田直樹・井川正吾・今井建彦
アオリイカの擬餌針の形態について. 水産工学, 32, 229-238 (1996).
- 萩原清司: キヌバリ. 岡村 収・尼岡邦夫編日本の海水魚. 山と溪谷社, 東京, 1997, pp. 618.
- 浜部基次: 日本海西南海域におけるスルメイカの発生学的研究. 日水研報, 10, 1-45(1962).
- 浜田利長: アオリイカ曳縄釣の研究. 第28回全国漁村青壮年婦人活動実績発表大会資料, 13-1688 (1982).
- 林 泰行: スルメイカの熟度に関する研究—I, 成熟状態数量化の一方法. 日水誌, 36, 995-999(1970).
- Helen, E. B. and A. A. Frederick: Observations on feeding of the squid *Illex illecebrosus* (Lesueur, 1821) in captivity. *Can. J. Zool.*, 47, 913-915 (1969).
- 平松一彦: 最尤法による水産資源の統計学的研究—パラメータ推定とモデル選択. 遠洋水研報, 29, 57-114 (1992).
- Hovgard, H. and F. F. Riget: Comparison of longline and trawl selectivity in cod surveys off West Greenland. *Fish. Res.*, 13, 323-333 (1992).
- Hurley, A. C.: Feeding behavior, food consumption, growth, and respiration of the squid *Loligo opalescens* raised in the laboratory. *Fish. Bull.*, 74, 176-182 (1976).
- 異儀田和弘: 佐賀県玄海域におけるアオリイカの漁業と生態について. イカ類・資源漁海況検討会議研究報告, 92-93 (1991).
- イカ類日本海研究チーム: 日本海のスルメイカ資源. 昭和57年度我が国200カイリ水域内漁業資源調査結果報告書, 182-184(1984).
- 池田隼人: アオリイカ *Sepioteuthis lessoniana* FERUSSAC の背面に観られる斑紋と性別との関係. *Venus*, 3, 324-329 (1933).
- 伊野波盛仁・瀬底正武: アオリイカ(白イカ) *Sepioteuthis lessoniana* の養試験. 琉球水試験報, 74-80 (1967).
- 石井良仁: 資源培養と漁業管理は前浜から. 第37回全国漁村青壮年婦人活動実績発表大会資料, 40-47 (1991).
- 石川県漁業協同組合連合会: アオリイカ曳釣(珠洲市). 石川県釣・延縄漁具図集, 石川, 1984, 19p.
- Izuka, T., S. Segawa, and T. Okutani: Identification of three species in oval squid, *Sepioteuthis lessoniana* complex by chromatophore arrangements on the funnel. *Venus*, 55, 139-142(1996a).
- Izuka, T., Segawa, S. and Okutani, T.: Biochemical study of the population heterogeneity and distribution of the oval squid *Sepioteuthis lessoniana* complex in southwestern Japan. *Amer. Malac. Bull.*, 12, 129-135(1996b).
- Izuka, T., S. Segawa, T. Okutani, and K. Numachi: Evidence on the existence of three species in the oval squid, *Sepioteuthis lessoniana* complex in Ishigaki Island, Okinawa, South-western Japan, by isozyme analyses. *Venus*, 53, 217-228(1994).
- Jackson, G.D.: Age and growth of the tropical nearshore loliginid squid *Sepioteuthis lessoniana* determined from statolith Growth ring analysis. *Fish. Bull. U. S.*, 88, 113 - 118 (1989).
- Jackson, G.D., A. I. Arkhipkin, V. A. Bizikov, and R. T. Hanlon: Laboratory and field corroboration of age and growth from statoliths and gladii of the Loliginid squid *Sepioteuthis lessoniana* (Mollusca: Cephalopoda). *Recent Advances in Fisheries Biology*, Tokai University Press, Tokyo, 1993, pp.189-199.
- Johannessen, T., A. Ferno, and S. Lokkeborg: Behaviour of cod (*Gadus morhua*) and haddock (*Melanogrammus aeglefinus*) in relation to various sizes of long-line bait. *ICES mar. Sci. Symp.*, 196, 47-50 (1993).
- 金丸彦一郎・伊東義信: アオリイカ幼稚仔の成長にもなう鰭の発達と二次性徴の発現. 栽培技研, 25, 15-20(1996).
- 加島恒孝: アオリイカの産卵場造成およびふ化放流試験. 平成5年度栽培漁業漁村実践活動調査分析事業報告書, 75-79(1994).
- Kawahara, S., Y. Uozumi, and H. Hatanaka: Is it possible to predict ommatrephid squid abundance in advance of the fishing season?, in "Recent Advances in Cephalopod

- Fishery Biology” (eds. by T. Okutani, R. K. O’ Dor, and T. Kubodera). Tokai University Press, Tokyo, 1993, pp.728-734.
- 河井智康：資源解析のための魚類の比較生物学的研究－Ⅳ．一年級群の生物生産に関する数量解析．東海区水研研報，103，31-40(1980).
- 川村軍蔵：魚類の生態からみた漁法の検討，アオリイカと籠．水産の研究，9，43-46 (1990).
- 掬川武義：アオリイカの産卵場造成．第32回全国漁村青壮年婦人活動実績発表大会資料，43-45(1985).
- 岸本浩和・秋山信彦・北野 忠：ハゼ科シロウオ属の分類学的再検討．1998年度日本魚類学会年会講演要旨，1998，p.14.
- 小林知吉・河野光久：小割網生簀内におけるアオリイカの産卵．山口県外海水産試験場研究報告，25，16-22(1995).
- Kojima, S., R. Segawa and I. Hayashi: Genetic differentiation among populations of the Japanese turban shell *Turbo (Batillus) cornutus* corresponding to warm currents. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 150, 149-155(1997).
- Koonce, J. F., T. B. Bagenal, R. F. Carline, K. E. F. Hokanson, and M. Nagiec: Factors influencing year-class strength of percids: A summary and a model of temperature effects. *J. Fish. Res. Board Can.*, 34, 1900-1909 (1977).
- 京都府漁業協同組合連合会・京都府水産試験場：秋イカ（アオリイカ）釣夜釣（舞鶴田井）．京都府釣延縄漁具漁法集，京都，1976，p.20.
- LaRoe, E. T.: The culture and maintenance of the loliginid squids *Sepioteuthis sepiodea* and *Doryteuthis plei*. *Mar. Biol.*, 9, 9-25 (1971).
- Lee, P. G., P. E. Turk, W. T. Yang, and R. T. Hanlon: Biological characteristics and biomedical applications of the squid *Sepioteuthis lessoniana* cultured through multiple generations. *Biol. Bull.* 186, 328-341(1994).
- Løkkeborg, S. and A. Bjørndal: Species and size selectivity in long-line fishing-A review. *Fish. Res.*, 13, 311-322 (1992).
- Løkkeborg, S.: Reduced catch of under-sized cod (*Gadus morhua*) in longlining by using artificial bait. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 47, 1112-1115 (1990).
- Lu, C.C. and R. W. Tait: Taxonomic studies on *Sepioteuthis BLAINVILLE* (Cephalopoda : Loliginidae) from the Australian region. *Proc. R. Soc. Vict.*, 95, 181-204(1983)
- 松村靖治：対馬沿岸におけるクロマグロ幼魚の漁獲量要因の重回帰分析による解析．日水誌，55，1703-1706 (1989).
- Messenger, J. B.: The visual attack of the cuttlefish, *Sepia officinalis*. *Anim. Behav.* 16, 342-357 (1968).
- 三重水試：アオリイカ稚仔飼育実験．昭和37年度三重県水試事業報告，123-125 (1964).
- Millar, R. B. and S. J. Walsh: Analysis of trawl selectivity studies with an application to trouser trawls. *Fish. Res.*, 13, 205-220 (1992).
- Millar, R. B.: Estimating the size-selectivity of fishing gear by conditioning on the total catch. *J. Am. Stat. Assoc.*, 87, 962-968 (1992).
- Millar, R. B.: The functional form of hook and gillnet selection curves cannot be determined from comparative catch data alone. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 52, 883-891 (1995).
- Mindanao State University: Observations on the culture and life history of the broad finned squid *Sepioteuthis lessoniana* Fer. and Orb. *IFRO Ann. Rept.*, 76, 115-119 (1975).
- Munekiyo, M. and M. Kawagishi: Diurnal behaviors of the oval squid, *Sepioteuthis lessoniana*, and Fishing strategy of small-sized set net (Preliminary Report). Recent Advances in Fisheries Biology, Tokai University Press, Tokyo, 1993, pp.283-291.
- 村上子郎・真道重明：天草周辺に於ける重要生物の資源学的研究－Ⅶ．アオリイカ，ヤリイカ，ケンサキイカの体長組成および年級について．日水誌，15，161-165 (1949).
- Murata, M.: Population assessment, management and fishery forecasting for the Japanese common squid, *Todarodes pacificus*, in “Marine Invertebrate Fisheries: their assessment and Management” (ed. by J.F. Caddy), Wiley, New York, 1989, pp.613-636.
- Myhre, J. R.: Gear selection and pacific halibut. *Int. Pac. Hal. Comm.*, (51), 1-35 (1969).
- Nabhitabhata, J.: The culture of Cephalopods : Commercial scale attempts in Thailand Aquaculture towards the 21st century, INFOFISH, Colombo, 1995, pp.138-144.

- 永井達樹・松垣鋭弘・橋本博明・石岡清英: 重回帰分析による瀬戸内海産カタクチイワシの漁獲量予測. 南西水研報, 26, 9-19 (1993).
- 長沼光亮・市橋正子: 日本海における水温の平均像, 1953 ~ 1980 年の平均水温とその標準偏差. 日本海ブロック試験研究収録, 5, 1-100(1985).
- 長崎県水産試験場: アオリイカしゃくり釣. 長崎県の漁具, 長崎, 1983, p. 9-10.
- 中川 清: 筑前海におけるマアジ 1 歳魚の漁況予測. 西海ブロック漁海況連絡会議録, 55, 7-10 (1991).
- Nei, M.: Genetic distance between populations. *Amer. Nat.*, 106, 283-292(1972).
- Nei, M. and W. Li.: Mathematical model for studying genetic variation in terms of restriction endonuclease. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 76, 5269-5273(1979).
- 根井正利: 分子進化遺伝学, 培風館, 東京, 1990, p.433.
- 日本学士院 (編): 明治前日本漁業技術誌, 井上書店, 東京, 1982, pp.77-83.
- 日本海洋学会沿岸海洋研究部会: 日本全国沿岸海洋誌, 東海大学出版会, 東京, 1985, pp.630-641.
- 西村三郎: 地球の海と生命, 海洋生物地理学の序説. 海鳴社, 東京, 1981, pp.1-284.
- O' Dor, R. K., R. D. Durward, E. Vessy and T. Amaratunga: Feeding and growth in captive squid, *Illex illecebrosus*, and the influence of food availability on growth in the natural population. *Int. Comm. Northwest Atl. Fish. Sel. Pap.*, 6, 15-21(1980).
- 大羽 滋: 集団の遺伝, 東京大学出版会, 東京, 1977, p164.
- 大島泰雄, 崔 相: コウイカ類およびアオリイカ稚仔の育成について. 日水誌, 27, 979-986(1961).
- 大分県別杵速見地方振興局林業水産課: 日出町の伝統的漁具漁法. 平成 6 年度伝統的漁具漁法等伝達事業報告書, 大分, 1995, p23.
- 岡田喜一: 薩摩烏賊餌木考. 内田老鶴圃新社, 東京, 1978, pp.7-15.
- 沖縄県水試: 昭和 47 年度栽培漁業漁場資源生態調査報告書, ハマフエフキ, アオリイカ, 23-29(1973).
- 沖縄県水試: 栽培漁業漁場資源生態調査報告書 (昭和 47 ~ 49 年度総合版), 30-41(1975).
- 沖縄県水試八重山支場: 名蔵湾保護水面調査報告書, 1-21(1977).
- 奥谷喬司: 日本近海産十腕形頭足類, イカ類の分類同定の手引き. 東海区水産研究所報告, 74, 83-111 (1973).
- Okutani, T. and T. Watanabe: Stock assessment by larval surveys of the winter population of *Todarodes pacificus* Steenstrup (Cephalopoda: Ommastrephidae), with a review of early works. *Biol. Oceanogr.*, 2(2-3-4), 401-431 (1983).
- 奥谷喬司: アオリイカの生活史. 栽培技研, 13, 69-75 (1984).
- Ottersen, G., H. Loeng, and A. Rakens: Influence of temperature variability on recruitment of cod in the Barents Sea. *ICES mar. Sci. Symp.*, (198), 471-481 (1994).
- Pauly, D.: On the interrelationships between natural mortality, growth parameters, and mean environmental temperature in 175 fish stocks. *Cons int. Explor. Mer.*, 39, 175-192(1979).
- Rao, K. V.: Biology and fishery of the Palk-Bay squid, *Sepioteuthis arctipinnis* GOULD. *Indian J. Fish.*, 1, 37-67(1954).
- Roper, C. F. E., M.J.Sweeney, and C. E. Nauen: Cephalopods of the world, an annotated and illustrated catalogue of species of interest to fisheries. FAO Fish. Synop., (125) 1-277 (1984).
- 桜井泰憲・池田 譲・島崎健二: 飼育下におけるスルメイカの成熟過程と産卵前後における生殖関連器官の形態と組織学的変化について. 日本海ブロック試験研究集録, 17, 18-29 (1990).
- Sanders, F. K. and J. Z.Young: Learning and other functions of the higher nervous centres of *Sepia*. *J. Neurophysiol.*, 3, 501-526 (1940).
- 笹生 昇: アオリイカの養殖について. 第 25 回全国漁村青壮年婦人活動実績発表大会資料, 85-88 (1979).
- Segawa, S.: Life history of the oval squid *Sepioteuthis lessoniana* in Kominato and adjacent waters central Honshu, Japan. *J. Tokyo Univ. Fish.*, 74, 67-105 (1987).
- Segawa, S.: Food consumption, food conversion and growth rates of the oval squid *Sepioteuthis lessoniana* by laboratory experiments. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 56, 217-222 (1990).
- Segawa, S.: Body size and oxygen consumption rate of the oval squid *Sepioteuthis lessoniana*. *Nippon Suisan*

- Gakkaishi, 57, 1651-1656 (1991).
- Segawa, S.: Field and laboratory feeding studies of Japanese oval squid, *Sepioteuthis lessoniana*. Recent Advances in Fisheries Biology, Tokai University Press, Tokyo, 1993, pp.499-511.
- 瀬川 進: 飼育実験からみたアオリイカの生物学 (総説). イカ類資源・漁海況検討会議研究報告 (平成4年度), 41-50 (1994).
- 瀬川 進: 南西日本におけるアオリイカ地方個体群の識別について (要旨). イカ類資源・漁海況検討会議研究報告 (平成4年度), 78-79 (1994).
- Segawa, S.: Effect of temperature on oxygen consumption of juvenile oval squid *Sepioteuthis lessoniana*. *Fisheries Sci.*, 61, 743-746 (1995).
- Segawa, S., S. Hirayama, and T. Okutani: Is *Sepioteuthis lessoniana* in Okinawa a single Species?. Recent Advances in Fisheries Biology, Tokai University Press, Tokyo, 1993b, pp.513-521.
- Segawa, S., T. Izuka, T. Tamashiro, and T. Okutani: A note on mating and egg deposition by *Sepioteuthis lessoniana* in Ishigaki Island, Okinawa, Southwestern Japan. *Venus*, 52, 91-106 (1993a).
- Serchuk, F. M., M. D. Grosslein, R. G. Lough, D. G. Mountain, and L. O'Brien: Fishery and environmental factors affecting trends and fluctuations in the Georges Bank and Gulf of Maine Atlantic cod stocks: an overview. *ICES Mar. Sci. Symp.*, 198, 77-109 (1994).
- 瀬底正武: アオリイカ (白イカ) *Sepioteuthis lessoniana* の養殖試験中間報告. 1967年度琉球水産研究所事業報告, 139-145 (1967).
- Shaklee, J. B., F. W. Allendorf, D. C. Morizot, and G. S. Whitt: Gene nomenclature for protein-coding loci in fish. *Trans. Amer. Fish. Soc.*, 119, 2-15 (1990).
- 島本信夫: 瀬戸内海東部群マダいの資源評価.. 資源評価のための数値解析 (島津靖彦編), 恒星社厚生閣, 東京, 1987, p. 88-101.
- 志内勝利: アオリイカ産卵床の設置について. 第36回全国漁村青壮年婦人活動実績発表大会資料, 44-53 (1990).
- Squires, H. J.: Feeding habits of the squid, *Illex illecebrosus*. *Nature*, 211, 1321 (1966).
- 杉本幸貞: アオリイカの産卵床造成. 平成5年度栽培漁業漁村実践活動調査分析事業報告書, 59-64 (1994).
- 水産無脊椎動物研究所: 疑餌針にみる漁民の知恵. うみうし通信, 14, 26-29 (1993).
- 鈴木重樹・桑原昭彦, 鷲尾圭司: 京都府沿岸域で漁獲されるブドウイカ, アオリイカの生態的特徴. 水産海洋研究会報, 42, 21-27 (1983).
- 田口 哲: 日本の魚, 海水編, 小学館, 東京, 1989, p.259.
- 田中昌一: 水産生物の Population Dynamics と漁業資源管理. 東海区水研研報, 28, 1-200 (1960).
- 田中 豊・垂水共之・脇本和昌: パソコン統計解析ハンドブックⅡ, 多変量解析編, 共立出版, 東京, 1984, p.1-48.
- 多和田真周: 陸上水槽におけるアオリイカの飼育. 昭和49年度沖縄県水産試験場事業報告, 47-48 (1976).
- Taylor, W. W., M. A. Smile, and M. H. Freeberg: Biotic and abiotic determinants of lake whitefish (*Coregonus clupeaformis*) recruitment in northeastern Lake Michigan. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 44(Suppl. 2), 313-323 (1987).
- Tokai, T., R. Sato, H. Ito, and T. Kitahara: Year class strength of the ocellate puffer around a spawning area in the Inland Sea of Japan. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 59, 245-252 (1993).
- 東海 正: MS-Excel のソルバーによる曳網の網目選択性 logistic 式パラメータの最尤推定. 水産海洋研究, 61, 288-298 (1997).
- 東海 正・三橋廷央: 比較操業実験における選択性曲線を求める SELECT モデルについて. 水産海洋研究, 62, 235-247 (1998).
- Tokai, T. and Y. Ueta: Estimation of size selectivity for oval squid *Sepioteuthis lessoniana* in the squid jigging fishery of Tokushima Prefecture. *Fisheries Sci.*, 65, 448-454 (1999).
- 殿谷次郎: 大型冷水塊形成による黒潮流及び徳島沿海の海況変動. 昭和54年度徳島水試事報, 128-134 (1981).
- 土佐路秀人: アオリイカ産卵場造成試験. 栽培漁業漁村実践活動調査分析事業報告書, 74-80 (1992).
- 土屋正弘: 沖縄西表島・網取湾におけるアオリイカの産卵について. 東海大学海洋研究所資料, 3, 53-75 (1981).
- 土屋正弘: 沖縄・西表島におけるアオリイカのふ化稚

- 仔の飼育育成について. 東海大学海洋研究所資料, 4, 49-70(1982).
- 内野 憲: 若狭湾西部海域のアオリイカの成熟・産卵・成長. 京都府海洋センター研報, 2, 101-108 (1978).
- 上田和夫: シリヤケイカの成長, 成熟及び移動生態に関する研究. 南西水研報, 19, 1-42 (1985).
- 上田幸男: 徳島県におけるアオリイカの分布と漁業. 南西外海の資源海洋研究, 8, 61-69 (1992).
- 上田幸男: 徳島県沿岸におけるコウイカ類の分布および年級群豊度に及ぼす環境要因の影響. 黒潮の資源海洋研究, 1, 45-60 (2000).
- 上田幸男・城 泰彦: 紀伊水道外域産アオリイカの生態学的知見. 日水誌, 55, 1669-1702 (1989).
- 上田幸男・城 泰彦: 徳島県産アオリイカの移動. 水産増殖, 38, 221-226 (1990).
- 上田幸男・金田佳久: アンケート調査からみたアオリイカ釣の漁業実態とその検証. 南西外海の資源海洋研究, 14, 33-43 (1998).
- 上田幸男・北角 至: アオリイカの卵囊塊付着基盤の形状. 水産増殖, 44, 67-72 (1996).
- 上田幸男・北角 至・瀬川 進・天真正勝・城 泰彦・福永 稔・寒川友華: アオリイカの産卵場所および卵囊塊付着基盤の選択性. 水産工学会誌, 31, 189-194 (1995).
- 上田幸男・瀬川 進・天真正勝・城 泰彦・北角 至・福永稔・寒川友華: 紀伊水道外域産アオリイカにおける卵囊塊の出現時期と性状および産卵とふ化時期の推定. 水産増殖, 40, 469-474 (1992).
- 上田幸男・瀬川 進: 紀伊水道外域産アオリイカの生殖生態と稚仔の加入. 水産海洋研究, 59, 409-415 (1995).
- Ueta, Y., T. Tokai, and S. Segawa: Relationship between year-class abundance of the Oval Squid *Sepioteuthis lessoniana* and Environmental Factors off Tokushima Prefecture, Japan. *Fisheries Science*, 65, 424-431 (1999).
- Verrill, A. E.: Report on the cephalopods of the northeastern coast of America. *Rept. U.S. Comm. Fish.*, (1879), 211-455 (1882).
- 和田洋蔵: アオリイカの多回交接について. 京都府海洋センター研報, 16, 58-60 (1993).
- 和田洋蔵・小林知吉: アオリイカの多回産卵について. 日水誌, 61, 151-158 (1994).
- 和田洋蔵・西岡 純・田中雅幸: 京都府沿岸域に來遊するアオリイカの産卵生態について. 日水誌, 61, 838-842 (1995).
- Werner, E. E.: The fish size, prey size, handling time relation in several sunfishes and some implications. *J. Fish. Res. Board Can.*, 31, 1531-1536 (1974).
- Wickstead, J.: An unusual method of capturing prey by cuttlefish. *Nature*, 178, 929 (1956).
- Widrig, T. M.: Method of estimating fish populations, with application to Pacific sardine. *U.S. Fish and Wildl. Serv. Fish. Bull.*, 56, 141-166 (1954).
- Wilson, D. P.: A note on the capture of prey by *Sepia officinalis* L. *J. mar. biol. Ass.*, 26, 421-425 (1946).
- Xu, X. and R. B. Millar: Estimation of trap selectivity for male snow crab (*Chionoecetes opilio*) using the SELECT modeling Approach with unequal sampling effort. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 50, 2485-2490 (1993).
- 山口恭弘・山根 猛: 島原湾のコウイカ *Sepia esculenta* いかかご漁場における海底底質の影響. 水産工学, 34, 257-262 (1998).
- 山本孝治: イカ・タコ. 海洋の科学, 3, 55-59 (1943).
- 横川浩治: 日本沿岸海域におけるカタクチイワシの集団遺伝学的解析. 平成 10 年度日本水産学会春季大会講演要旨集, p 99., 1998.
- Yokogawa, K.: Morphological and genetic differences between Japanese and Chinese red ark shell *Scapharca broughtonii*. *Fisheries Sci.*, 63, 332-337 (1997).
- Yokogawa, K. and Y. Ueta: Genetic analysis of oval squid (*Sepioteuthis lessoniana*) around Japan. *Venus*, 59, 45-55 (2000).
- 横田賢史・北田修一・鶴殿謙二郎・渡辺精一: 富山湾におけるホタルイカの環境要因による漁獲量予測. 日水誌, 64, 975-978 (1998).
- Yu, T. C. and T. Y. Tung: Studies on the culture of *Sepioteuthis lessoniana*. *Bulletin of Taiwan Fisheries Research Institute*, 46, 203-206 (1989).