

論文

兵庫県瀬戸内海におけるマコガレイの生態と漁業に関する研究

反田 實*

Fisheries and ecological studies on marbled sole *Pleuronectes yokohame* in the Seto Inland Sea of Hyogo Prefecture

Minoru TANDA*

目 次

Abstract	2
第1章 緒言	5
第2章 成魚期の成長と食性	7
2-1 相対成長	8
2-2 播磨灘・大阪湾産と紀伊水道北部産マコガレイの成長	12
2-3 異なる計算法によるマコガレイの成長比較および調査年代間の成長比較	16
2-4 食性	20
第3章 成熟と産卵ならびに産卵場	24
3-1 成熟と産卵期	24
3-2 生殖腺体指数, 肥満度および比肝重値の季節変化	31
3-3 性比と産卵数	36
3-4 産卵場	41
第4章 稚魚期の生態	49
4-1 点在型藻場におけるマコガレイ稚魚の生態	50
4-2 マコガレイ稚魚の潜砂能力と底質選択	59
第5章 漁業と漁獲の実態	64
5-1 小型底びき網漁業とカレイ類漁獲量の動向	65
5-2 1980年代後半の漁業と漁獲の実態	68
5-3 カレイ類幼稚魚の投棄実態と再放流魚の生存率	78
第6章 総合討論	83
要約	86
謝辞	88
文献	89

* Tel: 078-941-8601. Fax: 078-941-8604. Email: minoru_tanda@pref.hyogo.lg.jp

兵庫県立農林水産技術総合センター水産技術センター (674-0093 兵庫県明石市二見町南二見 22-2)

Abstract

Marbled sole *Pleuronectes yokohamae*, one of the important fishery resources being widely distributed across this country, from Hokkaido to Kyushu, has been decreasing seriously in the catch all over the country including the Seto Inland Sea in recent years. Thus, this study on the marbled sole in Harima Nada and Osaka Bay has revealed the growth, feeding, maturation and spawning habits, spawning grounds; habitat of their juvenile stage and the current status of the relevant fishery industries and fish catches to examine ways of maintaining the fishery resource based on the ecological characteristics and discuss the future challenges in managing and conserving this fishery resource.

1. Growth and feeding habits - Adult stage

Under this issue, the research on the marbled sole revealed its relative growth and absolute growth, how different the absolute growth could be between the two analysis methods, Walford's and the least squares methods, and how different growth rates could be between the late 1980s and the early 2000s. The feeding habits in the adult stage were also clarified.

Since the relationship between the total length and weight depends on the season, the author defined four relational expressions between them following the seasonal changes in the condition factor, corresponding to the following four periods, January, February to April, May to October and November to December.

The growth rates of the marbled sole in Harima Nada, Osaka Bay and the northern Kii Channel calculated using the Walford's method did not show critical differences from those in the other sea areas of the Seto Inland Sea, while, they hadn't an advantage over those of Tokyo Bay and the sea areas off Fukushima Pref.

When comparing the two methodologies, the Walford's and the least squares methods, for calculating the growth curves using the same data, the former tends to show an underestimation. When comparing the growth of the two test body groups, one sampled in the late 1980s and the other in the early 2000s, the least square method showed that the latter surpassed the former.

The marbled sole mainly feeds polychaetes in its adult stages (10 cm or more in length) and, with growth, the less the ratio of polychaetes becomes in its food portfolio.

2. Maturation, spawning and spawning ground

Under this issue, the research determined the spawning season of the marbled sole in Harima Nada and Osaka Bay by examining the transition of the gonadosomatic index (GSI), and provided the maturity criterion based on the GSI values to determine the size and age attained at maturity. The research also examined the differences of the maturity rates by research periods.

The research examined in detail the seasonal changes of the GSI, hepatosomatic index (HSI) and condition factor (CF), to determine the annual life cycle of the marbled sole in the sea areas. It also studied the sex ratio in detail, revealing the fecundity. In the northwest of the Harima Nada, the research collected a large number of spawned eggs using scuba-diving, which were enough to locate where the marbled sole spawns. It also examined the factors on forming the spawning grounds through sediment surveys conducted across the located spawning grounds.

The seasonal changes in GSI and gonads studied on females through these investigations revealed that the marbled sole in Harima Nada and Osaka Bay spawn during mid-December to mid-February, reaching the peak period during late December to late January.

The temporal changes and the known reports on the GSI, and visual inspections of the maturity stage of gonad allowed the research to determine the females of 1.6 and the males of 0.7 or more in GSI in December would join the breeding group in that spawning season. It was estimated that the smallest matured females and males were approx. 180 mm and 150 mm total length, respectively. As for the maturity rates for females by age, the age one (one year and 11 months after hatching) showed 91% and the age two or more showed 100 %. While, for males, the age one and two showed 98% and 100 %, respectively. When analyzing the above data by time period, 1986 to 1988 and 1998 to 2000, the latter period showed a 100% maturity rate both for females and males at age one, indicating there was a difference by research period.

For the annual life cycle of the marbled sole, the author defined three periods, “Recovering (Feb. to May),” “Immature & Maturing (Jun. to Nov.)” and “Spawning (Dec. to Jan.),” considering the transitions in condition factors.

The sex ratio in the whole sample (i.e., females to whole sample) was 0.54. As for the sex ratio by size, males exceeded females for the 200 mm or less in total length, while females exceeded males for the 240 mm in total length. This tendency could be reproduced through a fishing simulation with parameters differentiating between males and females. As for age classes, there was a tendency where males exceeded females at age one, while females exceeded males at age two or more. There was no sign of changes in the sex ratio with age during the research period, 1986 to 2001. Estimated batch fecundity was 10×10^4 eggs in age one, 54×10^4 eggs in age two, 103×10^4 eggs in age three and 152×10^4 eggs in age four, respectively.

As for the spawning ground, the research found a good deal of spawned eggs on the sand and mud seabed 5.6 to 16 meters from the sea surface in the northwest of Harima Nada, allowing the place to be assumed as a spawning ground. This discovery allowed the estimation that the structure where stones are distributed across the seabed was critical for forming a spawning ground. In the vicinity of the spawning ground, the marbled sole caught by gill net showed that males were in excess of females in number. This suggested a difference in the spawning migration behaviors between the males and females.

3. Biology of the juvenile stage

Under this issue, the research investigated the growth and food habits of the marbled sole juveniles in the seaweed beds scattered about along the northwest coast of the Osaka Bay, and how the marbled sole inhabits on the periphery of these seaweed beds to reveal the incidence, as well as to examine the significance of the scattered seaweed beds as nursery grounds. The experimental researches revealed which grain size of sediment the marbled sole and Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* prefer.

The emergence pattern of marbled sole juveniles was found to be different between in the scattered seaweed beds, and in a flat sandy sea bed area that had been selected for the comparison, and this indicated that juveniles that had spent their lives mainly in the flat sandy sea bed area after growing to a length of ca. 15 mm moved to the scattered seaweed beds after growing to 60 to 70 mm. It is not clear why they move in that manner, however, the author infers that the scattered seaweed

beds play important roles as shelters. The marbled sole mainly feed on copepods when it is 10 to 19 mm in total length, cumaceans and gammarids when it is 20 to 39 mm, polychaetes and small crustaceans when it is 40 to 79 mm and polychaetes, siphons of bivalves and other extended type of bait living matters when it is 80 mm or more.

Marbled sole juveniles of 35 to 80.6 mm in averaged total length showed the highest burying ratio in sand when the grain size of sediment ranges 0.125 to 0.25 mm and 0.25 to 0.5 mm. The larger the size of the juvenile, the more the ability of burying ratio in sand tended to be improved. The positive relationship recognized between the sediment preference and burying ratio in sand for both juveniles of marbled sole and Japanese flounder indicated that juveniles prefer areas where they can easily bury themselves. When comparing the marbled sole and Japanese flounder, the former tended to prefer more fine sand.

4. Actual conditions of fishery industry and fishing

Under this issue, the research clarified the long-term variations of the actual fish catches and the fishing efforts and discussed the possible cause of the variations. For these purposes, the research revealed the actual fishery states in the late 1980s, evaluating the resource conditions by studying the population dynamics based on the KAFS models. The research also studied the actual status of discards of young and juvenile pleuronectids, and determined the survival rate of the released fishes.

In the Seto Inland Sea, Hyogo Pref., the fish catches using compact trawl nettings had been increasing from about 1952 to 1995 and decreased since then. Other pleuronectids have also been decreasing in the fish catches since about 1995, and this is especially true for the marbled sole.

Marbled sole at age zero can be seen in the catch from November, but only a few are caught. The author suggests that it is not until they have passed the age of one, that is, May or later, that they are started to be caught in large number. The available rate of age one fishes was 0.556. The survival and exploitation rates were 0.250 and 0.438 in the late 1980s, respectively. The ratio of the spawning adult fish per fish in recruitment (%SPR) could be calculated to be 25% for both cases where they were utilized or not as resources.

It was estimated that the juvenile marbled sole of 10^7 orders were discarded from the compact trawl fishery, with the monthly maximum being observed in July. The marbled sole starts to be discarded when it reaches 40 to 60 mm or more in total length; the sizes, 150 to 160 mm, in total length delimit between the discards and fish catch. For frog flounders *Pleuronichthys cornutus*, the research estimated the number of the discarded fishes per year to be multi-million, with the monthly maximum in June.

The survival rate of the marbled sole that were released was found to be low, 0 to 11.1%, except for March. For the frog flounders, the research estimated the survival rate to be about 50% during May to July, when a considerable number of fishes are discarded. This results showed that releasing would not be expected to be effective for the marbled sole.

5. Discussion

We discuss the resource management and preservation for the marbled sole, presenting the way of protecting the resources based on the characteristics of the marbled sole's life model, which had been revealed by the research.

It was found that the marbled sole, which had spent its juvenile stage on a flat sandy sea bed area could move to appropriate adjacent seabed structures, including scattered seaweed grounds, if any, for further growth, before extending its habitat to more offshore areas. Without the scattered seaweed seabeds, it is highly possible that the juveniles grown to 60 mm or more moved to the offshore fishing grounds for bottom trawl nettings where they can be easily caught by the nettings and die. To have them delay entering the bottom trawl netting fishing grounds, the author has proposed a development of artificial seaweed grounds scattered around the inshore nursery ground.

As for the spawning grounds, the author has proposed to construct artificial spawning grounds, which can attract the spawning adult fishes using a leading mechanism, based on the seabed structures (sand sediment with scattered stones) that has been revealed in this research.

Referring to the current fishery status where the fishing efforts have been decreasing, the author has proposed that preventing large number of marbled sole juveniles from being captured and subsequently die on being discarded is more important than controlling the fishing mortality coefficient, F . To reveal when and where the juveniles are massively captured is important to set up sanctuaries.

Finally the author concludes that preserving the fishing ground environments is most critical. For this purpose, spawning and nursery ground maps must be prepared to preserve the spawning and nursery grounds. He also discusses that to reveal the cause of the decrease in the marbled sole resources comprehensive researches must be promoted from the viewpoint of fishery activities, as well as considering the environmental factors, including the water temperatures and/or bottom sediments, and ecological systems deployed in the target sea areas.

キーワード：マコガレイ，生態，漁業，瀬戸内海

第1章 緒言

マコガレイ *Pleuronectes yokohamae* はツノガレイ属に属し、南北海道から九州，黄海，渤海湾，東シナ海北部の水深 100m より浅い砂泥域に分布する（益田一ほか編 1984；落合・田中 1986）。マコガレイにはアマガレイ，クチボソ，マガレイ，モガレイなど，多くの地方名があり（日本魚類学会編 1981），本種が各地域の食文化を担う魚として親しまれてきたことがうかがわれる。特に大分県日出の「城下カレイ」は全国的に有名であり，高級なカレイの代名詞となっている。

マコガレイの系群についてまとめた報告はないが，本種の遺伝的分化について木島・朴（1989）は全国の6地域（福島県，愛知県，兵庫県瀬戸内海，大分

県，福岡県，新潟県）のマコガレイのアイソザイム分析の結果から，近縁のマガレイ *Pleuronectes herzensteini* に比べて採集地域間の遺伝的距離が大きく，各地域に独立した集団の存在を推定している。また，兵庫県瀬戸内海においてもアイソザイム分析により上記の6地域に比べて分化の程度は小さいものの，紀伊水道産と大阪湾や播磨灘産との間で分集団の存在が示唆されている（田畑 1992）。石野・佐野（1996）は北海道南部の木古内湾産と津軽半島産のマコガレイについてアロザイム多型解析と産卵期の比較から，それらが独立した繁殖集団を形成している可能性が高いとしている。一方，佐伯・菊池（2000）は成長や産卵期が異なると考えられる宮城県沿岸の牡鹿半島以南と以北のマコガレイについてアイソザイム分析を行い，分集団の存在が示唆される結果が得られたものの分化の

レベルは小さく、遺伝的類縁関係も採集海域間の地理的關係を反映しなかったことから、この地域における成長と産卵時期の違いは成育環境の差によると推察している。

瀬戸内海から太平洋沿岸を通過して陸奥湾までの本種の産卵期は概ね12月から1月の範囲にあるが、北海道の木古内湾は3月(石野・三原1995)、青森県の日本海側は4月(青森県1973)であり、それらは異なった繁殖集団を形成している可能性が高い。青森県の陸奥湾では、12月に産卵する群と3~4月に産卵する群が時期により同所的に分布する(高橋ほか1983, 1987)。

マコガレイは沈性粘着卵を産む(岩井1985)。産卵場の形成要因としては砂主体の砂礫~砂泥底に石が散在する海底構造が重要である(第3章4節)。仔魚の浮遊期間は約1ヶ月で、全長が10mm前後になると着底する(福永1976; 南1981; 睦谷1988)。舞鶴湾では着底場所の水深は15m前後の泥底で、その後湾奥の波打ち際に移動して幼稚魚期を過ごす(南1981)。沿岸浅所で過ごした幼稚魚は全長が60~70mmになると順次沖合域へ分布域を広げる(第4章)。標識放流の結果からみてマコガレイの移動回遊範囲は概ね湾や灘スケールであり、定着性は強いと考えられている(石野・佐野1997; 松村1972; 高橋1987; 富山・陣之内1974; 大森1979a)。このような本種の生態的特性から見て、地理的な分離は系群の形成に大きい要素となると考えられる。これまでの研究からみて、日本各地に分布するマコガレイは分集団を形成するが、浮遊期や幼稚魚の成育段階においてある程度の集団間の混合が起こっていると考えるのが妥当であろう。産卵期や成長の差異が遺伝的要素を反映したものか、成育環境の条件によるものかについては今後さらに検討される必要がある。

マコガレイの主な分布域は、北海道の木古内湾、陸奥湾、仙台湾、東京湾、伊勢湾および瀬戸内海などであり、それらの海域では重要な漁獲対象資源となつて

いる。マコガレイの漁獲統計資料は整備されていないため、全国の漁獲量の実態は明らかでないが、仙台湾では少なくとも1996年以後マコガレイの資源尾数は減少を続けており、2005年に宮城県海区漁業調整委員会指示によるマコガレイの産卵親魚を対象とした保護区域が設定されている(宮城県ホームページ:<http://www.pref.miyagi.jp/gyogyo/topics/pdf/shiji-hogoku.pdf>)。福島県沿岸(福島県ホームページ:<http://www.pref.fukushima.jp>)では、2003年までの過去35年間の年平均漁獲量が650トンであるのに対し、1999~2003年の年平均漁獲量は216トンにとどまっている。また、東京湾にある横浜市漁業協同組合柴支所のマコガレイ漁獲量は1980年代後半以後著しく減少している(Kume *et al.* 2006)。瀬戸内海西部の山口県沿岸では少なくとも1996年以後、漁獲量および底びき網標本船のマコガレイCPUEは減少している(山口県水産情報システム:<http://www.uminari.pref.yamaguchi.jp>)。愛媛県松山中央市場の愛媛県産マコガレイの取り扱い量は1988年の63トンから2004年の7.7トンへ減少しており、愛媛県では2006年3月に「愛媛県伊予灘マコガレイ資源回復計画」を策定、公表した。瀬戸内海東部の岡山県沿岸のその他カレイ類(マコガレイ, イシガレイ *Kareius bicoloratus*, メイタガレイ *Pleuronichthys cornutus*, タマガンゾウビラメ *Pseudorhombus pentophthalmus* などを含む)の漁獲量は1970年代の後半以後、長期的な減少が続いており、この減少がマコガレイによるものであるとしている(岡山水試2002)。兵庫県瀬戸内海においても事情はほぼ同じであり、主要漁業協同組合のマコガレイ漁獲量は、1990年前後の水準から近年は4分の1以下に減少している(Fig. 1)。このように全国的に見てマコガレイの漁獲量は著しいと言えるほどの減少傾向にあり、その原因究明は今後のマコガレイの資源、生態研究の命題となることは明らかである。

日本のマコガレイの資源生態研究は二つの大きな

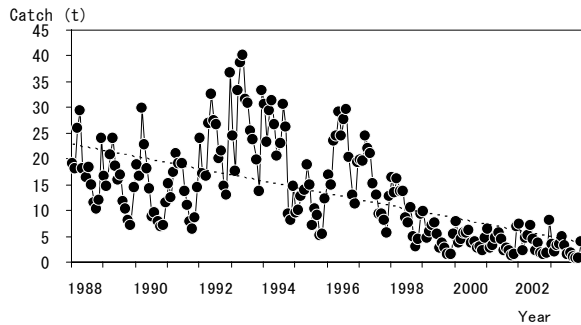


Fig. 1 Changes in monthly catches of marbled sole totaled for the 12 fisheries co-operative associations in Hyogo prefecture (See Fig. 2-1).

流れの中で行われてきた。一つはマコガレイの栽培漁業の確立，推進をめざした調査研究である。瀬戸内海ではこの調査は二期にわたって行われた。第一期は1971～1974年に実施された魚類放流技術開発調査であり，瀬戸内海の5県（香川県，岡山県，福岡県，大分県，山口県）が共同してマコガレイ人工種苗の中間育成から天然資源の生態に至るまで広範な調査に取り組み，その成果は総括報告書として公表された（香川県ほか1975）。1980年からの第二期では瀬戸内海の2県（山口県，大分県）に加えて宮城県（1982年まで）がマコガレイの放流技術開発事業に取り組んだ（大分県ほか1985）。二つ目の流れは資源管理を目的とした調査研究である。瀬戸内海のカレイ類資源の管理を目指してパイロット的事業として行われたのが，1984～1986年に瀬戸内海西部の3県（山口県，福岡県，大分県）が実施した周防灘海域漁業管理適正化方式開発調査事業である。この事業では資源特性値に関する調査の他，パーソナルコンピュータで運用できる資源管理モデルの開発が行われた（山口県ほか1987）。この事業の成果を引き継ぐ形で，1988年から全国的な資源培養管理対策推進事業がスタートし，その中で瀬戸内海東部の4府県（大阪府，兵庫県，岡山県，香川県）はヒラメ *Paralichthys olivaceus*，マコガレイ，メイトガレイを対象として資源管理に取り組み，1991年に瀬戸内海東ブロック資源管理指針（瀬戸内海東ブロック資源

培養管理対策推進協議会1991）が発表された。兵庫県海域については兵庫県が兵庫県資源培養管理推進指針（兵庫県1991）を発表した。これら指針の中で，播磨灘・大阪湾の漁業管理については，小型魚の再放流と週休2日制の導入や操業時間の短縮による漁獲努力量の削減の必要性が示された。以後，兵庫県では時期により濃淡はあるものの，資源管理を目的としたマコガレイの資源調査が続けられてきた。

長期にわたる資源管理の取り組みにもかかわらず，瀬戸内海のマコガレイ漁獲量が減少傾向にあることは先に述べたとおりである。また，瀬戸内海では2004年度において1,288,000尾のマコガレイ種苗が放流されているが（水産庁ほか2006），放流効果は明らかでなく，放流事業を中止すべきという意見もある（睦谷2004）。このような状況の中で，マコガレイの資源管理方針の見直しと再構築は急務の課題と言える。本研究は播磨灘から大阪湾に生息するマコガレイの生態と漁業を明らかにすることを目的としたが，マコガレイ資源の置かれている状況を認識しつつ，調査年代間における生態的諸特性の変化についても言及した。また，最終章ではマコガレイ資源の増大方策について論議する。

第2章 成魚期の成長と食性

成長と年齢の関係や食性は資源管理や資源増殖を進める上で基本となる情報である。第1節ではマコガレイの相対成長を明らかにする。相対成長は，市場調査で測定した漁獲物の全長から漁獲重量を推定する場合などに必要であり，資源動態の解析に必須の情報である。しかし，マコガレイの相対成長を詳しく検討した報告は少ない（加藤ほか1974；正木ほか1986）。第2節では耳石の計測値を用いWalfordの定差図法（以下，定差図法と記す）により，1980年代後半における播磨灘・大阪湾および紀伊水道北部産のマコガレイの

年齢と成長の関係を明らかにする。続いて第3節では、同一データを用いて定差図法と非線形最小二乗法により成長式を求め、両方法による結果の相違を示す。また、東京湾では1970～80年代(Solomon *et al.* 1987)よりも2000年代の方が2歳魚以上の成長が良いことが報告されており(Kume *et al.* 2006)、このような成長の経年変化は瀬戸内海においても生じている可能性がある。既報の瀬戸内海産の標本採集年代は1980年代に集中しており、近年の成長に関する報告がないことから、播磨灘・大阪湾における2000年代初頭のマコガレイの成長を示すとともに、1980年代の成長との比較を行う。

瀬戸内海における成魚期(本章では全長100mm以上を解析対象とする)のマコガレイの食性は、西部海域(例えば藤・林1975;香川県ほか1975など)では報告されているものの東部海域についてはまとまった情報はない。第4節では明石海峡を中心とする播磨灘・大阪湾で得られた主に成魚期のマコガレイの食性を明らかにする。稚魚期の食性については第4章1節で論じる。

2-1 相対成長

魚類の計測形質の測定と測定値間の関係を求めることは、形態発育の解明(水田1973;睦谷1988;山岸1987;吉原ほか1999)のほか、魚類分類や集団の識別に用いられる(加藤ほか1974;吉村・川下2003)。また、資源解析を進める上で種々の測定値間の変換に利用することができる。本報では主に1歳魚以上の成魚を対象に相対成長式を求めた。特に、全長と体重との関係については、肥満度が生殖周期に伴って大きく変化するため(第3章2節)、生殖周期に対応した解析を行った。

材料および方法

1986年5月から2000年1月の間に紀伊水道北部お

Table 2-1 Number of specimens of marbled sole used for analyses.

Year	Harima Nada and Osaka Bay					Northern Kii Cannel		
	Total	Trawl	Gill net	Longline	unknown	Total	Trawl	Longline
1986	382	382				207	204	3
1987	806	806				865	865	
1988	856	856				432	244	188
1989	1302	1069		87	146			
1990	234	234						
1991	351	351						
1992	375	375						
1993	257	257						
1994	234	234						
1995	15	15						
1998	253	253						
1999	364	364						
2000	606	347	220	39				
2001	166	67	99					
Total	6201	5610	319	126	146	1504	1313	191

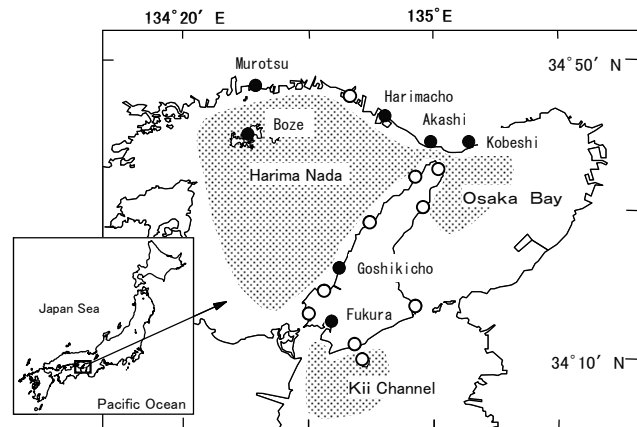


Fig. 2-1 Locations of the study area. Shaded areas show the fishing ground of the marbled sole in this study. Solid and open circles show the fisheries co-operative associations. Specimens were sampled from the solid circles and catch data were collected from the open circles and Murotsu and Akashi.

よび播磨灘・大阪湾で漁獲された7705尾(Table 2-1, Fig. 2-1)のマコガレイのうち、それぞれ解析に該当する測定データが得られている標本を用いて相対成長式を求めた。全長(TL)と標準体長(BL)はmm単位で、体高(BD)と頭長(HL)は0.1mm単位で、また体重は0.1g単位で測定した。体高は体幹部の最大幅の直線距離をノギスを用いて測定した。頭長は吻端から鰓蓋骨後端までの直線距離を同様に測定した。近似式は、体重を除く各測定項目間関係には1次回帰式を、全長と体重の関係にはべき乗式を用いた。マコガレイを対象とした資源調査では、魚体の大きさは全長で計測され、他の項目は全長から換算されることが多い。そのため実用的な面を考慮し、全ての項目につい

て全長との関係式を求めた。解析にあたっては、紀伊水道北部産と播磨灘・大阪湾産とは別に扱った。得られた2つの回帰式が同一とみなせるかどうかの検討は共分散分析(ANCOVA)によった(岩崎 2006)。共分散分析における回帰式の平行性の検定のF統計量をFb, 平行と見なされた場合に行う同一性の検定のF統計量をFaと表す。

結 果

全長—体長関係 得られた全長と標準体長の関係式は次式の通りである。共分散分析の結果、雌雄の回帰式の間には、播磨灘・大阪湾および紀伊水道北部とも有意差が認められた(いずれも $P<0.01$)。また、雌雄とも両海域の回帰式間に有意差が認められた(いずれも $P<0.01$)。

(播磨灘・大阪湾)

雌・雄 $TL=1.186 \times BL+4.8166$ ($n=4188, r^2=0.998$)
 $BL=0.8412 \times TL-3.6033$
 雌 $TL=1.1828 \times BL+5.1372$ ($n=2206, r^2=0.998$)
 $BL=0.8436 \times TL-3.9076$
 雄 $TL=1.2001 \times BL+2.6998$ ($n=1904, r^2=0.997$)
 $BL=0.8305 \times TL-1.6575$

(紀伊水道北部)

雌・雄 $TL=1.1932 \times BL+4.4091$ ($n=1502, r^2=0.996$)
 $BL=0.8348 \times TL-2.991$
 雌 $TL=1.1875 \times BL+5.0997$ ($n=770, r^2=0.997$)
 $BL=0.8395 \times TL-3.7196$
 雄 $TL=1.2117 \times BL+1.6348$ ($n=732, r^2=0.995$)
 $BL=0.8209 \times TL-0.4446$

TL: 全長 (mm) BL: 標準体長 (mm)

全長—体高関係 全長と体高の関係は播磨灘・大阪湾で得られた標本について求めた。計算された全長と体高の関係式は次式の通りである。共分散分析の結果、雌雄の回帰式間に有意差が認められた ($P<0.01$)。

雌・雄 $TL=2.3523 \times BD+24.346$ ($n=2649, r^2=0.962$)
 $BD=0.4088 \times TL-6.748$

雌 $TL=2.3237 \times BD+26.629$ ($n=1467, r^2=0.961$)
 $BD=0.4137 \times TL-7.5682$
 雄 $TL=2.4398 \times BD+17.948$ ($n=1146, r^2=0.951$)
 $BD=0.3898 \times TL-3.1959$

TL: 全長 (mm) BD: 体高 (mm)

全長—頭長関係 全長と頭長の関係は播磨灘・大阪湾で得られた標本について求めた。全長と頭長の関係式は次式の通りである。共分散分析の結果、雌雄の回帰式間に有意差が認められた ($P<0.01$)。

雌・雄 $TL=5.1764 \times HL-8.018$ ($n=2649, r^2=0.959$)
 $HL=0.1853 \times TL+3.2926$
 雌 $TL=5.1923 \times HL-10.461$ ($n=1467, r^2=0.961$)
 $HL=0.185 \times TL+3.7859$
 雄 $TL=5.4302 \times HL-16.145$ ($n=1146, r^2=0.951$)
 $HL=0.1751 \times TL+4.8493$

TL: 全長 (mm) HL: 頭長 (mm)

全長—体重関係 全長と体重の関係は播磨灘・大阪湾の標本について求めた。当海域のマコガレイの産卵期は第3章1節で述べるように12月中旬~2月中旬であり、1年を単位とする産卵周期がある。これに伴って体重は変化し、肥満度も1年周期の変化を示す(Fig. 3-8)。このような肥満度の年周期変化を考慮し、全長—体重関係は、1月、2-4月、5-10月および11-12月の4期に分けて求めた(Table 2-2)。共分散分析の結果、これら4期の雌雄込みの回帰式は同一とは見なせなかった ($P<0.01$)。また、11-12月を除いて、雌雄の回帰式間に有意差が認められた ($P<0.01$)。Fig. 2-2に雌雄を込みにした全長—体重関係を示す。全長に対する体重は1月が最も小さかった。季節による全長—体重関係の違いの一例としてFig. 2-3に5-10月と1月の全長—体重関係を雌雄別に示す。雌雄とも両時期における全長—体重関係に大きい差が認められた。

Fig. 2-4に11-12月を除く雌雄の全長—体重関係を季節別に示す。いずれの季節についても統計的には雌雄の関係式は同一とはみなされないが、季節差に比べて雌雄差は小さい。

Table 2-2 Parameters a and b are as follows: $BW=a \times 10^{-6} \times TL^b$, allometry formulae of marbled sole for the relationship between total length (TL mm) and body weight (BW g) by sex and by season. There are significant differences ($P < 0.01$) between female and male formulae except for November-December. n : number of specimens.

Periods	Male and Female			Female			Male		
	n	a	b	n	a	b	n	a	b
All specimens Total	6042	5.0234	3.1814	3272	5.2154	3.1755	2770	5.3122	3.1697
Jan.	811	9.3587	3.0442	508	14.908	2.9643	303	8.6073	3.0514
Feb.-Apr.	1440	7.5437	3.1054	815	7.5136	3.1093	625	10.135	3.0453
May-Oct.	2592	2.6835	3.3047	1340	2.5028	3.3161	1252	2.5406	3.3165
Nov.-Dec.	1199	1.4792	3.4066	608	1.4075	3.4163	591	1.8562	3.3636

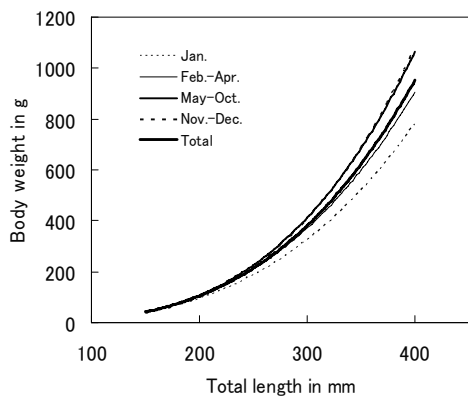


Fig. 2-2 Relationship between total length and body weight by seasons in marbled sole.

産卵期の個体では、産卵あるいは放精の前後で全長-体重関係が大きく変化する。特にマコガレイの雌は1日程度の間の一斉に卵を放出するため(松浦 1969b; 佐藤 1972), その変化は著しいと考えられる。そこで、第3章1節の熟度区分に従い、12~2月の標本を熟度4 (spent: 放卵後および放精後の個体) とそれ以外の個体に分けて全長-体重関係を求めた (Table 2-3, Fig. 2-5)。その結果、熟度4の個体とそれ以外の個体との全長-体重関係式には雌雄込みおよび雌雄別とも有意差が認められた (いずれも $p < 0.01$)。

考 察

全長-体長, 全長-体高および全長-頭長関係にいずれも雌雄差が認められた。本研究の標本数は大きく、雌雄グループ間のわずかな差が統計的に検出されたと

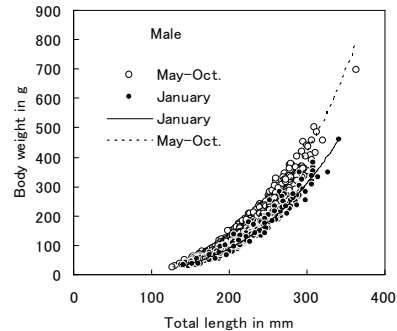
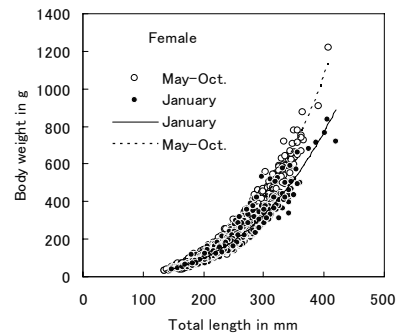
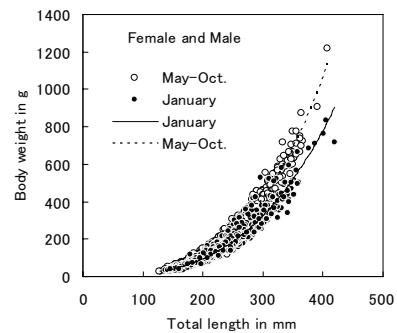


Fig. 2-3 Differences with seasons in relationship between total length and body weight in marbled sole.

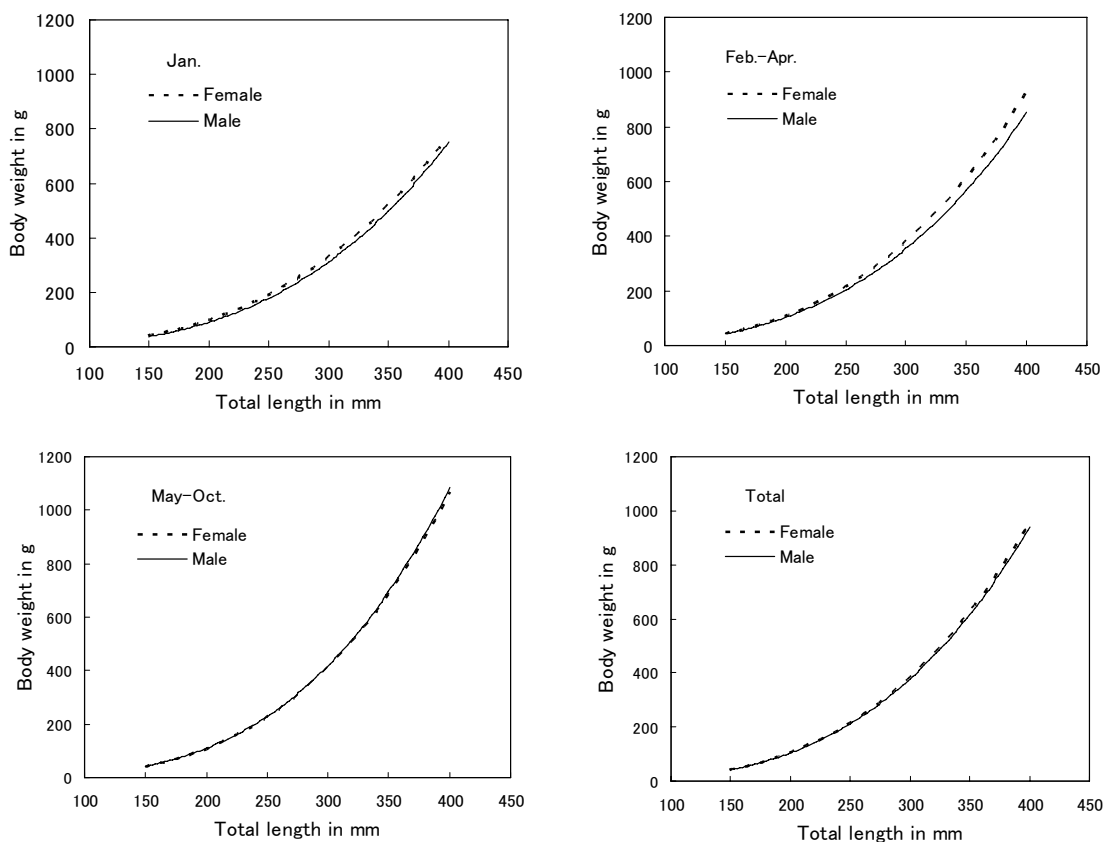


Fig. 2-4 Relationship between total length and body weight by sex and by seasons in marbled sole.

考えられる。全長-体長関係において、播磨灘・大阪湾および紀伊水道北部の両海域とも雄の方が回帰係数は大きく、共通した傾向がみられた。このことは雌雄差の存在を強く示唆するが、その差はわずかであり、生物学的な意味は明らかでない。また、実用的な差は小さく、例えば、全長から標準体長を推定する場合、全長 300mm に対する推定値は播磨灘・大阪湾では雌が 249mm、雄が 247mm、また、紀伊水道北部海域では雌が 248mm、雄が 246mm である。したがって、雌雄込みの相対成長式を用いても実用的には問題ないと考えられる。また、全長-体長関係において、播磨灘・大阪湾と紀伊水道北部との海域間で有意差が認められたが、差異は小さく、その生物学的な意味は明らかでない。

全長と体重の関係は季節によって大きく異なって

いた。予備解析では 11 月と 12 月を別の期間として扱ったが、共分散分析の結果、得られた相対成長式間に有意差が認められなかったため ($F_a=0.04$, $F_b=0.10$), 11 月と 12 月を合わせて一つの期間とした。本報で提示した、1 月、2-4 月、5-10 月および 11-12 月の 4 つの期間は生殖周期に伴う体重の変化を反映していると考えられる。時期別の雌雄込みの相対成長式から全長 300mm に対する各推定体重を求めたところ、最大は 5-10 月の 412g、最小は 1 月の 325g となり、その差は 87g となった。このように用いる式によって推定値に大きな違いが生じるため、全長から体重を推定する場合は可能な限りここに示した期間別の相対成長式を用いるべきである。また、放卵および放精後の個体とそうでない個体との全長-体重関係式は大きく異なることから、そのような情報が明確である場合は、

Table 2-3 Parameters a and b are as follows: $BW=a \times 10^{-6} \times TL^b$, allometry formulae of marbled sole for the relationship between total length (TL mm) and body weight (BW g) for the spent specimens and others in the spawning season (December-February). Categories are based on the gonad condition. Spent is after spawning. n : number of specimens.

Categories	Male and Female			Female			Male		
	n	a	b	n	a	b	n	a	b
Spent	301	3.3784	3.2185	218	6.4689	3.104	83	2.236	3.29
Others	657	3.0689	3.2696	298	1.757	3.3813	359	9.7144	3.0475

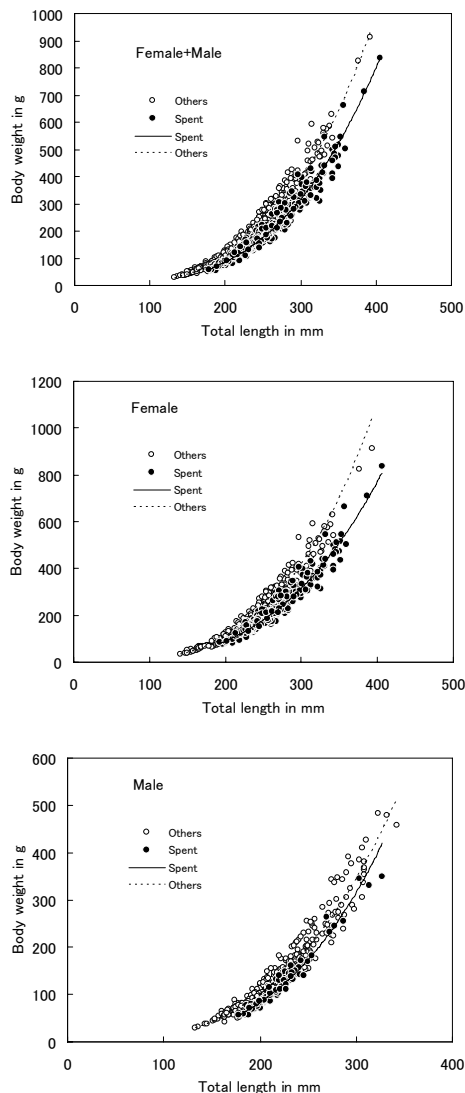


Fig. 2-5 Relationship between total length and body weight in spawning season.

Table 2-3 に示した式を用いるべきである。全長-体重関係における雌雄差は 11-12 月の期間を除いて統計的には有意であったが、期間差に比べると小さかった。

雌雄差が最も大きい 2-4 月の期間について、全長 300mm に対する雌雄の推定体重を求めると、雌が 378g、雄が 354g となり、差は 24g であった。

マコガレイの全長-体重関係について季節別の検討をした例は少なく、年間を込みにした相対成長式が示されている例が多い。季節別の検討をした例としては周防灘における正木ほか (1986) の研究がある。周防灘におけるマコガレイの産卵期は 12 月下旬～1 月下旬であり (藤・多故 1972)、播磨灘・大阪湾とほぼ同じである。正木ほか (1986) は相対成長式を 2-5 月、6-9 月および 10-1 月の期間に分けて求めており、季節区分の根拠として各期間における体重の成長度の違いを挙げている。この成長度には生活年周期の効果も含まれていると考えられるが、1 月は別区分にはされていない。全長-体重関係式に影響する要因としては、生殖周期に伴う体重の変化が最も大きいと考えられることから、それらを考慮した季節区分が必要であり、特に産卵による体重変化が著しい 1 月は別の区分とする方が良い。

2-2 播磨灘・大阪湾産と紀伊水道北部産マコガレイの成長

マコガレイの年齢と成長の関係については、周防灘 (正木ほか 1986)、播磨灘北西部 (備讃瀬戸) (松村ほか 1974)、大阪湾 (辻野ほか 1997)、東京湾 (Solomon *et al.* 1987; Kume *et al.* 2006)、などの報告がある。播磨灘北西部を除き、それらの報告は耳石長と体長の関係式から耳石の輪紋形成時の体長を逆算する方法を

用いている（以下、定差図法と記す）。定差図法と最小 2 乗法の計算結果の違いは第 3 節で示すこととし、本節では、ほぼ同時期に明石海峡を中心とする播磨灘・大阪湾と紀伊水道北部で漁獲されたマコガレイの年齢と成長の関係を定差図法により明らかにし、両海域の比較並びに既報の全国各地の成長との比較を行う。

材料および方法

標本魚 分析に供した播磨灘・大阪湾産マコガレイは、Table 2-1 に示した標本魚のうち 1986 年 5 月から 1989 年 7 月の間に兵庫県明石市にある明石浦漁業協同組合で入手した 1686 尾、また、紀伊水道北部産は同じく 1986 年 12 月から 1988 年 3 月の間に兵庫県南あわじ市福良にある福良漁業協同組合で入手した 1504 尾である。標本は両海域とも主に小型底びき網（一部延縄）で漁獲されたものである（Fig. 2-1）。

耳石の計測 年齢査定には無眼側の耳石を用いた。採集した耳石はビニール袋に入れて保存し、測定の際に水に浸した。計測には万能投影機を用い、研磨等の前処理は行わなかった。輪の読み取りは透明帯外縁とし、Fig.2-6 に示すように、耳石中心から後方に向かって輪半径 (r_1, r_2, \dots, r_m) と耳石半径 (OR) を 1/1,000mm 単位で測定した。

成長式の計算 成長式は von Bertalanffy の成長式を用いた。雌雄別に耳石にみられる各輪紋の平均輪半径を計算した。これを、別に求めた雌雄別の耳石半径(mm) と標準体長(mm) の関係式に代入し、各輪紋形成時の推定標準体長を計算した。この推定標準体長から定差図法により、von Bertalanffy の成長式のパラメータである、 L_∞ (極限体長)、 K (成長係数) および t_0 (体長が 0 となる年齢) を求めた。 t_0 の計算にあたっては標本数による重み付けを行った (田中 1985)。資源調査では全長の測定が行われることが多いので、第 2 章 1 節の全長-体長関係式を用いて全長を計算した。

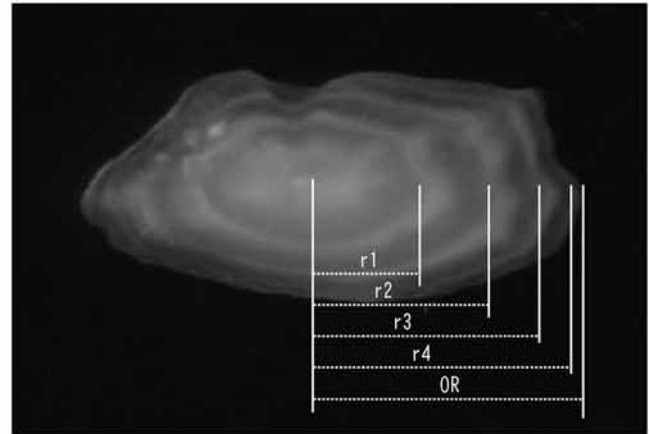


Fig. 2-6 Graphical pattern of the blind side of an otolith and axis of measurement in marbled sole. OR: otolith radius, r1-r4: annual ring radii.

結 果

輪紋形成時期 耳石縁辺部に透明帯を有する個体数割合の季節変化を Fig.2-7 に示す。両海域の変化は類似しており、7 月から 11 月頃まではほぼ全個体の耳石縁辺部が透明帯であった。12 月に入ると、不透明帯を有するものが出現し始め、その割合は月を追って増加し、3 月頃にはほとんどの個体が不透明帯を有した。4 月からは再び透明帯を有する個体の割合が増加し 7 月にはほぼ全数が透明帯を有した。透明帯の出現割合が 50% を超える時期を透明帯形成開始時期、その後、出現割合が 50% を下回った時期を透明帯形成終了時期とすると、形成開始時期は 5 月頃、形成終了時期は 1~2 月頃と判断された。このように透明帯は年 1 回、5~1,2 月頃に形成されることから耳石の輪紋を年齢形質

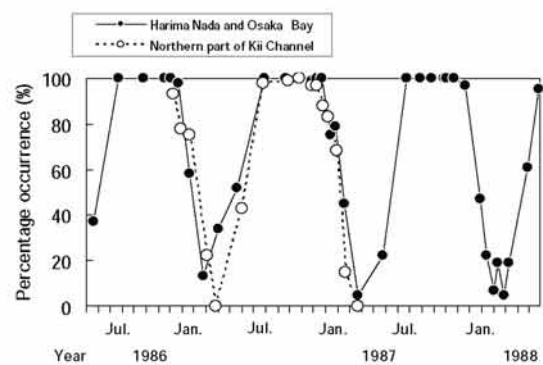


Fig. 2-7 Monthly changes of the percentage occurrence of the otoliths with a translucent margin in marbled sole sampled in Harima Nada and Osaka Bay, and northern part of Kii Channel.

として用いることが可能と判断された。また、透明帯の形成終了時期が当海域におけるマコガレイの産卵時期(第3章1節)とほぼ一致することから、透明帯外縁を輪紋の計測部位とした。

耳石半径と体長の関係 Fig.2-8 と Fig. 2-9 に播磨灘・大阪湾産および紀伊水道北部産マコガレイの雌雄別の耳石半径と標準体長の関係を示した。耳石半径-標準体長の関係式として次式を得た。両海域とも雌雄の回帰式間に有為差が認められた(ANCOVA: $P < 0.01$)。(播磨灘・大阪湾)

雌 $BL = -21.137 + 94.44 \times OR$ ($n=919, R^2=0.822$)

雄 $BL = -6.8652 + 84.883 \times OR$ ($n=767, R^2=0.793$)

(紀伊水道北部)

雌 $BL = 0.5333 + 80.333 \times OR$ ($n=761, R^2=0.690$)

雄 $BL = 13.651 + 71.689 \times OR$ ($n=727, R^2=0.668$)

BL: 標準体長 (mm) OR: 耳石半径 (mm)

輪紋計測結果 Table 2-4 と Table 2-5 に耳石輪紋の計測結果を示した。各表の最下行には、耳石半径と標準体長の関係式から推定した輪紋形成時の標準体長を示した。播磨灘・大阪湾産については雌雄とも Lee-現

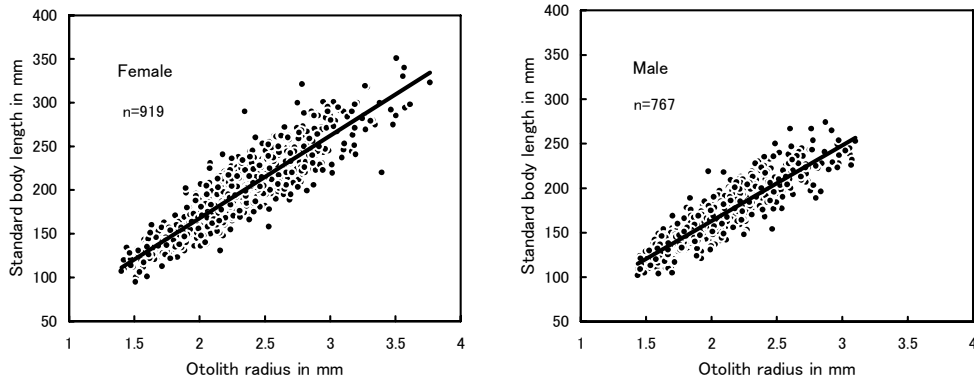


Fig. 2-8 Relationship between otolith radius and standard body length in marbled sole sampled in Harima Nada and Osaka Bay.

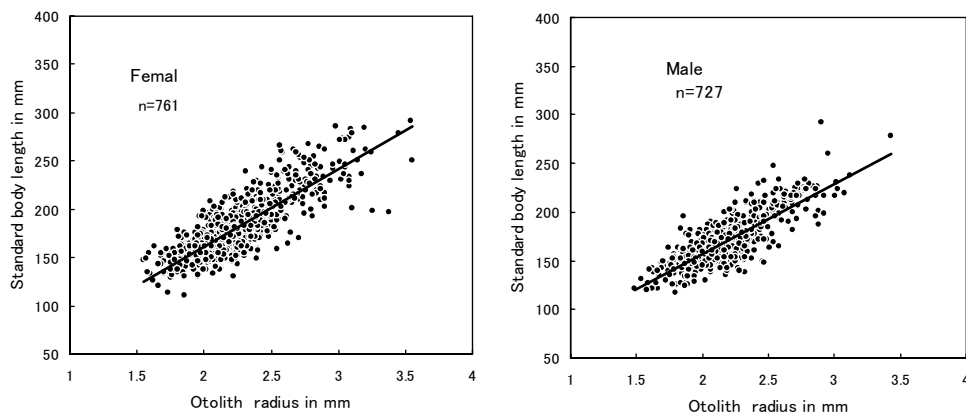


Fig. 2-9 Relationship between otolith radius and standard body length in marbled sole sampled in northern part of Kii Channel.

象は認められなかった。紀伊水道北部産については、第1輪の計測結果をみると、雌雄とも3歳魚まではLee-現象が見られるが、4歳魚以上では、逆の傾向を示した。第2輪についても同様な傾向がみられたが、標本全体としてはLee-現象は明確ではなかった。

成長式 計算にあたってはデータ数が少ない輪群は計算から除外した。播磨灘・大阪湾産については、雌は第5輪までのデータを、雄は第4輪までのデータを用いた。また、紀伊水道北部産については雌雄とも第

4輪までのデータを使用した。得られた雌雄別の成長式は次式のとおりである。

(播磨灘・大阪湾)

$$\text{雌 } BL=286.3 \{1-e^{-0.530(t-0.291)}\}$$

$$\text{雄 } BL=238.6 \{1-e^{-0.598(t-0.166)}\}$$

(紀伊水道北部)

$$\text{雌 } BL=301.3 \{1-e^{-0.364(t+0.082)}\}$$

$$\text{雄 } BL=220.0 \{1-e^{-0.582(t+0.054)}\}$$

BL：標準体長 (mm) t：年齢

Table 2-4 Mean otolith ring radii for each age group of marbled sole sampled in Harima Nada and Osaka Bay.

Female		Radius of otolith ring (mm±SD)					
Age	N	r1	r2	r3	r4	r5	r6
I	443	1.23±0.28					
II	391	1.13±0.16	1.97±0.20				
III	46	1.18±0.18	1.98±0.20	2.55±0.17			
IV	25	1.37±0.21	2.13±0.19	2.64±0.20	2.98±0.22		
V	10	1.39±0.19	2.11±0.19	2.52±0.21	2.76±0.22	2.95±0.23	
VI≤	3	1.14±0.16	1.92±0.07	2.52±0.12	2.82±0.14	3.08±0.09	3.27±0.09
Weighted mean		1.19±0.16	1.99±0.20	2.57±0.19	2.91±0.24	2.98±0.21	3.27±0.09
BL(mm)*		91	167	222	254	260	288

Male		Radius of otolith ring (mm±SD)					
Age	N	r1	r2	r3	r4	r5	r6
I	500	1.21±0.23					
II	219	1.15±0.16	1.93±0.19				
III	22	1.19±0.17	1.98±0.15	2.46±0.19			
IV	20	1.31±0.30	1.91±0.14	2.35±0.13	2.57±0.15		
V	5	1.29±0.23	1.95±0.12	2.41±0.12	2.70±0.14	2.87±0.11	
Weighted mean		1.19±0.15	1.94±0.18	2.40±0.17	2.60±0.16	2.87±0.11	-
BL(mm)*		94	158	197	214	237	-

* Standard body length back-calculated from mean radius of otolith ring.

Table 2-5 Mean otolith ring radii for each age group of marbled sole sampled in northern part of Kii Channel.

Female		Radius of otolith ring (mm±SD)					
Age	N	r1	r2	r3	r4	r5	r6
I	472	1.25±0.14					
II	220	1.15±0.16	2.00±0.18				
III	54	1.10±0.17	1.92±0.19	2.51±0.19			
IV	12	1.15±0.17	1.91±0.18	2.51±0.19	2.87±0.18		
V	1	1.2	2.02	2.69	3.12	3.33	
VI	1	1.59	2.3	2.7	2.92	3.11	3.34
Weighted mean		1.21±0.16	1.99±0.18	2.52±0.19	2.89±0.18	3.22±0.16	3.34
BL(mm)*		98	160	203	233	259	269

Male		Radius of otolith ring (mm±SD)					
Age	N	r1	r2	r3	r4	r5	r6
I	503	1.26±0.15					
II	169	1.13±0.15	1.95±0.18				
III	31	1.09±0.20	1.90±0.20	2.39±0.17			
IV	18	1.24±0.23	1.93±0.21	2.34±0.19	2.60±0.19		
V	3	1.31±0.06	1.99±0.13	2.30±0.06	2.54±0.06	2.70±0.07	
VI	1	1.63	2.12	2.3	2.49	2.63	2.71
Weighted mean		1.22±0.17	1.94±0.19	2.37±0.17	2.59±0.18	2.68±0.07	2.71
BL(mm)*		101	153	184	199	206	208

* Standard body length back-calculated from mean radius of otolith ring.

Fig.2-10 に成長曲線を、また Table 2-6 に von Bertalanffy の成長式から求めた年齢別の標準体長と全長を示した。

両海域とも von Bertalanffy の成長式の適合は良好と判断された。播磨灘・大阪湾産では、1歳魚の成長は雄の方がやや良いが、2歳魚以上は雌の方が成長は良かった。紀伊水道北部産についても同様な傾向が認められた。両海域の比較では、雌雄とも1歳魚は紀伊水道北部産の方が成長は良く、2歳魚以上では逆に播磨灘・大阪湾産の方が成長は良かった。

Table 2-6 Age and growth of marbled sole sampled in Harima Nada and Osaka Bay, and northern part of Kii Channel. BL: standard body length; TL: total length.

Age	Female		Male	
	BL (mm)	TL (mm)	BL (mm)	TL (mm)
I	90	111	94	115
II	170	207	159	193
III	218	263	195	236
IV	246	296	214	260
V	263	316	225	273
VI	272	327	231	280

Northern part of Kii Channel

Age	Female		Male	
	BL (mm)	TL (mm)	BL (mm)	TL (mm)
I	98	121	101	124
II	160	195	153	188
III	203	246	183	223
IV	233	282	199	243
V	254	306	208	254
VI	268	324	214	260

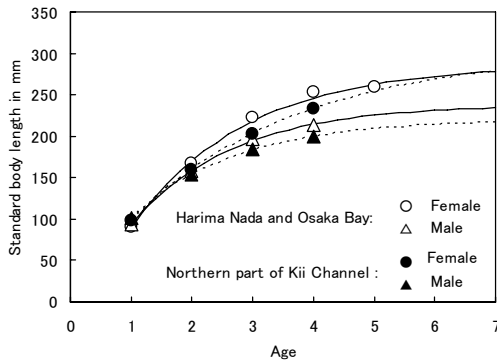


Fig. 2-10 Growth of marbled sole in Harima Nada and Osaka Bay (solid line) and northern part of Kii Channel (dotted line). Growth curves were calculated using the von Bertalanffy's formula.

考 察

池川 (1999) はマコガレイの成長について輪紋半径式 (本報の定差図法と同じ) と最小二乗法式の比較を行い、両方法で計算された結果に違いが生じることを指摘している。このため、ここでは同じ定差図法で得られた他海域の成長との比較を行う。Table 2-7 に既報の結果との比較を示した。本報の紀伊水道産の成長は、2 歳魚以上については、辻野ほか (1997) が大阪湾産で得た結果と近い値を示した。また、周防灘産とも近い成長を示した。一方、播磨灘・大阪湾産はそれらよりもやや成長は良かった。瀬戸内海産に比べて、東京湾産 (Solomon *et al.* 1987; Kume *et al.* 2006) や福島県産 (池川 1999) のマコガレイの成長は明らかに良い。

このような成長の差が生じる原因としては、水温や餌料環境のほか、餌料が競合する同種および他種の生息密度などが考えられるが、明らかではない。東京湾では 1970-80 年代 (Solomon *et al.*, 1987) よりも 2000 年代 (Kume *et al.*, 2006) の成長が良く、これについて Kume *et al.* (2006) は同種の生息密度の低下が原因であろうとしている。東京湾で示されたような年代による成長の変化が瀬戸内海においても生じている可能性がある。Table 2-7 に示した瀬戸内海産の標本採集年代は 1980 年代に集中しており、近年の成長に関する報告がないことから、第 2 章 3 節では播磨灘・大阪湾における 2000 年代初頭のマコガレイの成長を示すと共に、1980 年代の成長との比較をおこなう。

2-3 異なる計算法によるマコガレイの成長比較および調査年代間の成長比較

従来から von Bertalanffy の成長式を求めるにあたっては、耳石の輪紋半径から体長を逆算し Walford の定差図から成長式のパラメータを推定する方法が用いられてきたが、最近ではパーソナルコンピュータの発達により、年齢既知の体長データから非線形最小二乗法等の最適化法を用いて直接成長式のパラメータを推定する方法が用いられるようになってきている (池川 1999;

Table 2-7 Comparison of growth of marbled sole reported in various coastal waters around Japan. Figures show standard body length in mm.

Age	Harima Nada and Osaka Bay		Kii Channel		Osaka Bay		Suo Nada		Tokyo Bay				Off Fukushima Prefecture	
	Present study		Present study		Tsuji no <i>et al.</i> (1997)		Masaki <i>et al.</i> (1986)		Solomon <i>et al.</i> (1987)		Kume <i>et al.</i> *1 (2006)		Ikekawa (1999)*2	
	Female	Male	Female	Male	Female	Male	Female	Male	Female	Male	Female	Male	Female	Male
I	90	94	98	101	75	84	90	92	119.4	108.3	98.2	92.6	131	136
II	170	159	160	153	161	154	149	144	184.5	169.1	199.8	186.5	211	201
III	218	195	203	183	210	187	193	178	232.2	205.6	267.9	230.4	269	239
IV	246	214	233	199	238	202	225	200	267.1	227.5	291.5	235.8	310	260
V	263	225	254	208	254	209	248	214	292.7	240.6	314.3	249.7	339	273
VI	272	231	268	214	264		265	223	311.5		359.7		359	280

*1: Back-calculated value. *2: Growth estimated using Walford's method in his study.

五利江 2001；厚地 2004)。池川 (1999) はマコガレイの成長について定差図法 (原文では輪紋半径式) と最小二乗法式の比較を行い、定差図法により算出された成長が過小評価である可能性を指摘し、今後さらに検証されるべきであると述べている。しかし、それ以後、マコガレイに関し他の海域でこの問題について検証された報告はみられない。第 2 章 2 節で定差図法により播磨灘・大阪湾産のマコガレイの成長を明らかにしたが、本節では同じデータを用いて最小二乗法により成長式を求め、両方法の比較を行う。また、播磨灘・大阪湾で漁獲された 1980 年代と 2000 年代初頭のマコガレイの成長を最小二乗法によって求め、両年代間の成長を比較する。

材料および方法

年齢-体長データ 分析には Table 2-1 に示した標本のうち、播磨灘・大阪湾産の 1986 年 5 月～1989 年 7 月と 1998 年 6 月～2001 年 1 月に入手した標本のデータを使用した。以下では前者の期間を 1980 年代、後者の期間を 2000 年代初頭と呼ぶこととする。1980 年代は第 2 章 2 節と同じ標本である。標本尾数は 1980 年代が 1686 尾、2000 年代初頭が 1361 尾である。2000 年代初頭の標本の漁獲海域は播磨灘全域から大阪湾北西部であり、1980 年代よりも播磨灘側にややシフトしている。年齢の基準日は 1 月 1 日とし、耳石に現れる透明帯の形成状況と採集月から年齢を判定した。最小二乗法で用いる年齢は、耳石による査定年齢に、採集月から 1 を引いた月数を 12 で除した数値を加えて求めた。

計算方法 計算方法による成長の違いの検討には 1980 年代のデータを使用した。成長式は von Bertalanffy の成長式を用いた。定差図法の計算は、A：耳石の各輪紋半径の重み付き平均値から標準体長を逆算する方法、B：耳石半径と標準体長との関係をアロメトリー式で近似し A により標準体長を逆算する方法、C：各年齢の最終輪紋半径の平均値を用いて標準

体長を逆算する方法、の 3 パターンでパラメータを推定した。B で用いた耳石半径と標準体長のアロメトリー式は次のとおりである。

$$\text{雌 } BL=76.261 \times OR^{1.1263} \quad (n=919, R^2=0.837)$$

$$\text{雄 } BL=78.225 \times OR^{1.0518} \quad (n=767, R^2=0.802)$$

BL：標準体長 (mm) OR：耳石半径 (mm)

計算にあたって雌は 5 歳まで、雄は 4 歳までのデータを使用した (Table 2-4)。最小二乗法の計算は五利江 (2001) が作成した MS-Excel (米国 Microsoft Corporation の登録商標) のワークシートを用いた。成長曲線の統計的比較は分散比 F によった (赤嶺 2004)。全長は第 2 章 1 節に示した全長-体長関係式により求めた。

結 果

異なる計算方法による成長の比較 定差図法において、各輪紋の平均輪紋半径を用いた場合と各年齢の最終輪紋半径を用いた場合とでは、雌雄とも計算結果に違いはほとんどなかった (Table 2-8)。また、耳石半径と標準体長の関係にアロメトリー式を用いた場合でもほとんど差は認められなかった。しかし、定差図法と最小二乗法では大きな違いが見られた。最小二乗法で得られた成長曲線は概ね実測値を反映したが、定差図法から求めた成長曲線は実測値から下方にシフトしており、特に高齢魚では過小評価の傾向が強いことがうかがえた (Fig. 2-11)。

年代間の成長比較 最小二乗法で求めた 2000 年代初頭の雌雄別の成長式は次式の通りである。F 検定の結果、両式には統計的に有意差が認められた ($P<0.001$)。また、年齢別の計算体長と計算全長を Table 2-9 に示した。

$$\text{雌 } BL=335.6 \{1-e^{-0.406(t+0.316)}\}$$

$$\text{雄 } BL=283.5 \{1-e^{-0.400(t+0.706)}\}$$

BL：標準体長 (mm) t：年齢

次に、最小二乗法により求めた 1980 年代と 2000 年代初頭の成長曲線を Fig. 2-12 に示した。雌雄とも 2000

年代初頭の方が1980年代よりも成長は良かった。F検定の結果、雌雄とも両年代の成長式間に有意差が認められた($P<0.001$)。標準体長でみた両年代間の1~6歳魚の成長差は、雌では13~16mm、雄では9~16mmであった。

考 察

定差図法と最小二乗法の比較では、実測値との適合

の度合いから判断して最小二乗法の方が実際の成長をより正確に表していると思われる。この結果は池川(1999)と同じである。五利江(2001)もヒラメの計算事例で、定差図法で求めた成長に過小評価傾向があることを示している。池川(1999)は定差図法における過小評価の原因を明らかにするため、最外縁の輪紋半径のみを用いて計算し、これにより過小評価が改善されるとしている。しかし、本報では最外縁の輪紋半

Table 2-8 Comparison of the growths of marbled sole estimated from different methods. Specimens were sampled in Harima Nada and Osaka Bay in 1980s. Walford's method A: Body length were estimated from back calculation by the weighted mean of the otoliths ring radii, and simple regression was applied to the relationship between body length and otoliths ring radii, method B: Back calculation was the same as method A, but allometry formula applied to the correlation between body length and otoliths ring radii, method C: Body lengths were estimated from back calculation with the mean latest otoliths ring radii in each age and simple regression was applied. Standard body length (BL) were calculated from von Bertalanffy's growth formula.

Age	Walford's method A		Walford's method B		Walford's method C		Least squares method	
	BL(mm)		BL(mm)		BL(mm)		BL(mm)	
	Female	Male	Female	Male	Female	Male	Female	Male
I	90	94	91	94	93	95	123	124
II	170	159	170	158	171	160	189	174
III	218	195	217	194	217	194	233	208
IV	246	214	246	214	245	212	263	230
V	263	225	263	226	261	222	283	245
VI	272	231	274	232	271	227	297	255

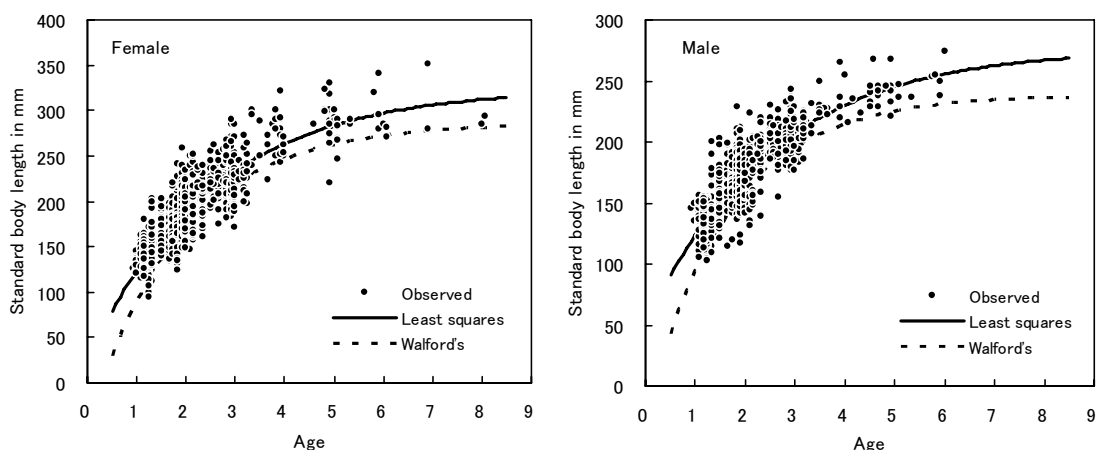


Fig. 2-11 Comparison of the least squares method and the Walford's method A (See Table 2-8) for the growth curves of marbled sole sampled in Harima Nada and Osaka Bay in 1980s.

Table 2-9. Age and growth of marbled sole sampled in Harima Nada and Osaka Bay in the early 2000s. The von Bertalanffy's formula and the least squares method were used. BL: standard body length; TL: total body length.

Age	Female		Male	
	BL(mm)	TL(mm)	BL(mm)	TL(mm)
I	139	170	140	171
II	205	248	187	227
III	248	298	219	266
IV	277	333	240	291
V	297	356	254	308
VI	310	372	264	320

径を用いて計算しても改善は見られなかった。Kume *et al.* (2006) は逆算計算に用いる体長と耳石半径の関係式としてアロメトリー式を採用している。アロメトリー式を用いることによって過小評価が改善されるかどうかを見たが、改善の効果はみられなかった。しかし、雌雄とも一次回帰式よりアロメトリー式の方が回帰の寄与率は高かった。

定差図法の場合は耳石の計測過程が入るため、測定者による測定誤差や、耳石半径-体長関係にみられるような生物そのものが持つ個体のばらつき、さらに Lee 現象など、結果に誤差を与える多くの要因が存在する。これらも含めて五利江 (2001) は定差図法の幾つかの問題点を指摘している。しかし、今回認められた過小評価についての合理的な原因は見いだすことはできなかった。

最小二乗法は耳石輪紋半径の計測が不要であることなど、定差図法に比べて誤差の入る要因が少なく、表計算ソフトを用いて比較的簡単に成長式のパラメータを得ることが出来るため、今後は主要な方法となると考えられる。一方、これまで報告されているマコガレイの年齢と成長の関係はほとんどが定差図法によって求められたものであり、本報や池川 (1999) で示されたのと同様な過小評価の問題を抱えている可能性が高い。従って、今後は最小二乗法による成長式の検証と再検討が多く海域でなされることが望まれる。

最小二乗法により 1980 年代と 2000 年代初頭の成長

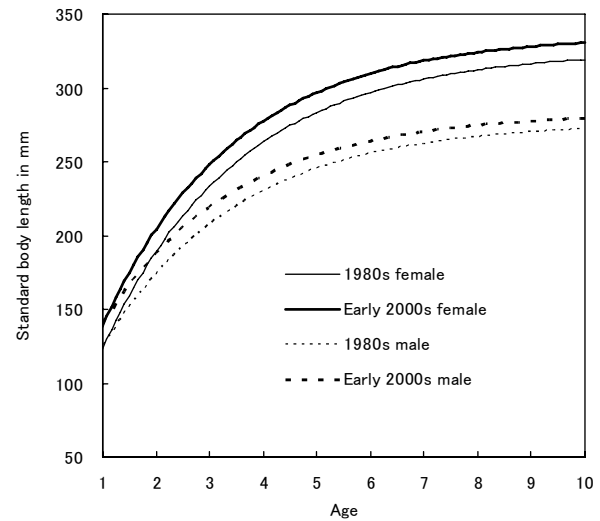


Fig. 2-12 Comparison of the growth curves of marbled sole in the 1980s and in the early 2000s. The von Bertalanffy's growth formulae and the least squares method were used.

を比較した結果、2000 年代初頭の方が、成長が良い結果が得られた。マコガレイの成長を長期にわたってモニターした例はほとんどないが、Kume *et al.* (2006) は 2002~2004 年に調査した東京湾の 2 歳魚以上のマコガレイの成長が 1980 年代 (Solomon *et al.* 1987) に比べて良いと報告している。それら 2 つの報告を直接比較すると、2002~2004 年は満 3 歳までの成長が速く、3 歳魚の標準体長の差は 25~35mm であり、本報の結果 (最大 16mm) よりもかなり成長差は大きい。Kume *et al.* (2006) は東京湾における年代間の成長差の原因として密度効果が最も考えられる要因であるとしているが、具体的なデータは示していない。大阪湾・播磨灘の兵庫県海域においても、主要漁業協同組合のマコガレイ漁獲量は 1990 年代前半までの 200~300 トンから 2003 年には約 30 トンにまで減少しており、資源水準は低下している。資源水準の低下によって魚類の成長が良くなることは、サワラ (岸田 1990 ; 竹森・山田 2003) やマイワシ (和田 1998) で報告されている。例えばサワラでは資源水準の高かった 1988 年頃の 1 歳魚の尾叉長は 46~48cm であったが、資源水準が低くなった 2000 年には 60~62cm と大型化しており、

特に0～2歳の若齢期の成長が良くなったことが報告されている(竹森・山田 2003)。播磨灘・大阪湾におけるマコガレイの成長の変化についても資源状態と関連している可能性があるが、一方で播磨灘の水温は1986年から2001年までの15年間に約1℃上昇しており(堀ほか 2005)、このような環境変化がマコガレイの成長に影響を及ぼしている可能性も考えられる。本報では年代間で成長曲線に有意差を認めたが変化の幅は東京湾に比べて小さく、今後も調査を継続し、成長の変化を確認する必要がある。

2-4 食性

未成魚期～成魚期にかけての胃内容物の調査は、対象魚種の生態的な位置、回遊や行動についての情報を与えてくれる。また、餌となっている生物に関しての様々な情報も得ることができる。このように、食性調査は資源動向の解析や増殖対策を進めるために必要である。

マコガレイ稚魚の主な餌料生物は、ハルパクチクス目などのカイアシ類からクマ目や端脚類などの小型甲殻類、そして多毛類へと成長に伴い大きく変化することが知られている(有山 2003; 香川県ほか 1975; 中神ほか 2000; 大分県ほか 1985; 大分県 1987)。また、このような食性の変化は全長80mmぐらいまでに起こり、以後は多毛類主体の食性となる。未成魚～成魚期(全長100mm以上, 以下同じ)のマコガレイの食性については、瀬戸内海西部(藤・林 1975; 香川

県ほか 1975; 中村・岩本 1975; 大分県 1987)、仙台湾(大森ほか 1970; 大森 1974, 1979b)、陸奥湾(小川・早川 1975; 高橋ほか 1987)、および北海道木古内湾(高木ほか 1997)などの報告がある。それらの報告は多毛類がマコガレイの主餌料である点で概ね共通しているが、詳しく見ると海域による特徴が見られる。例えば、陸奥湾では餌料生物に占める多毛類の割合は圧倒的に高いが(高橋ほか 1987)、仙台湾ではそれほど高くはなく、甲殻類のラスバンマメガニ *Pinnixa rathbuni* や二枚貝類の水管も多く食べられている。このようなマコガレイの胃内容物にみられる餌料生物の違いは、その海域の底生生物群集の特徴を反映していると考えられる。

瀬戸内海におけるマコガレイ未成魚～成魚期の食性は、西部海域では報告されているものの東部海域についてはまとまった情報はない。本報では明石海峡を中心とする播磨灘・大阪湾で得られた未成魚～成魚期のマコガレイの食性を明らかにする。

材料および方法

1986年3月から1989年3月に播磨灘・大阪湾(Fig. 2-1)において主に小型底びき網で漁獲された439尾(Table 2-10)を市場で購入し、胃内容物の分析に供した。標本魚の全長範囲は118～386mmである。入手したマコガレイは生の状態で(一部凍結保存の後解凍した)生物計測した後、胃を取り出し10%ホルマリンで固定した後、胃内容物の分析に供した。胃内容物は吸水紙で水分を吸い取ってから全胃内容物重量を測定

Table 2-10 Number of the specimens of marbled sole sampled in Harima Nada and Osaka Bay for the analysis of stomach contents.

Year	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jul.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Total
1986					8				3	10	21
1987	16	10		12	12			13	9	6	78
1988	13	23	25		22	6	1	2	35	6	133
1989	85		99		23						207
Total	114	33	124	12	65	6	1	15	47	22	439

の後、種の査定を行い、種別または分類群別に餌料生物の重量を 0.1g 単位で測定した。

主要な餌生物の検討は、9 つの分類群 (Polychaeta, Mollusca, Crustacea, Prochordata, Echiuroidea, Nemertinea, Echinodermata, Coelenterata, Pisces) ならびにそれ以外に大別し、出現頻度 (F%) と湿重量割合 (W%) により行った。F%は調べた尾数に対するその餌生物を食べていた尾数の割合、W%は全餌生物の総湿重量に対するその餌生物の湿重量の割合である。

結 果

成長と食性 Table 2-11 に全長階級別の分析結果を示す。いずれの全長階級においても多毛類が F%および W%とも最も高く、主要な餌料生物となっていた。多毛類の F%は全ての全長階級で 50 以上であった。多毛類の中ではフサゴカイ科などの定在目の種類が多く出現した。多毛類の W%は全長が大きくなるに従い低下した (Fig. 2-13)。すなわち、全長 100~150mm の W%は 59 であるが、全長 300~400mm では約 2 分の 1 の 27 に低下した。軟体類は多毛類に次いで主要な餌料となっていた。軟体類の F%は 33~48, W%は 16~24 であった。軟体類の W%にはマコガレイのサイズと関連した変化はみられなかった。軟体類としては二枚貝類が多く出現し、軟体類全湿重量の 86%を占めた。

また二枚貝類全湿重量の 78%がその水管であった。そのほかキセワタガイ *Philine argentata* が比較的多く出現した。甲殻類の F%は 22~59 と高かったが、W%は 5~17 であった。甲殻類で多く出現したのは、ラスバンマメガニ、ソコシラエビ *Leptocheila gracilis*、アナジャコ類であった。甲殻類の W%はマコガレイのサイズが大きくなるに従い低下する傾向が見られた。原索動物の W%は小さいが、全長が大きくなるに従い増加する傾向が見られた。特に全長 300~400mm の大型個体の W%が高いが、これは重量が大きいホヤ類を摂食している個体があったためである。このほか全長 150mm 以上のマコガレイがナメクジウオ *Branchiostoma belcheri* を摂食している例がみられた。

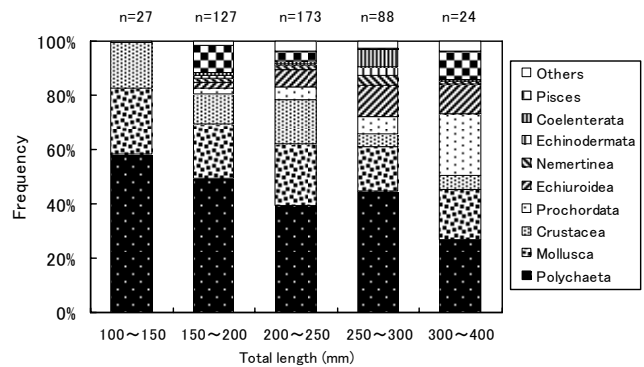


Fig. 2-13 Food compositions of stomach contents by weight of food items and by each size class in marbled sole.

Table 2-11 Food composition of the stomach contents of marbled sole sampled in Harima Nada and Osaka Bay from 1986 to 1989. F% represents the percent frequency of occurrence and W% the percent by weight of the food items.

Food organism	Total length										Total	
	100~150 (mm)		150~200 (mm)		200~250 (mm)		250~300 (mm)		300~400 (mm)		F (%)	W (%)
	F (%)	W (%)	F (%)	W (%)	F (%)	W (%)	F (%)	W (%)	F (%)	W (%)		
Polychaeta	67	59	65	50	59	39	65	45	57	27	62	42
Mollusca	48	24	43	20	39	23	36	16	33	19	40	20
Crustacea	59	17	38	11	39	17	22	5	52	6	37	10
Prochordata	4	0	10	2	8	4	8	6	13	22	9	7
Echiuroidea	0	0	7	2	14	6	15	12	17	11	11	8
Nemertinea	0	0	6	1	5	2	8	4	4	1	5	2
Echinodermata	0	0	3	1	5	1	8	3	0	0	5	1
Coelenterata	0	0	2	1	2	1	2	6	4	1	2	3
Pisces	0	0	6	10	5	3	2	0	4	10	5	5
Others	4	0	8	2	7	4	7	3	4	4	7	3
Number of fish	27		127		173		88		24		439	

Table 2-12 Food compositions of the stomach contents by month in marbled sole sampled in Harima Nada and Osaka Bay from 1986 to 1989. F% represents the percent frequency of occurrence and W% the percent by weight of the food items.

Food organism	Month																			
	Jan.		Feb.		Mar.		Apr.		May		Jul.		Sep.		Oct.		Nov.		Dec.	
	F (%)	W (%)	F (%)	W (%)	F (%)	W (%)	F (%)	W (%)	F (%)	W (%)	F (%)	W (%)	F (%)	W (%)	F (%)	W (%)	F (%)	W (%)	F (%)	W (%)
Polychaeta	61	46	64	28	73	49	58	15	49	37	67	68	0	0	67	26	60	49	50	44
Mollusca	57	26	48	19	20	3	92	70	32	14	0	0	0	0	93	71	32	13	32	28
Crustacea	39	9	36	7	34	7	100	13	37	20	0	0	0	0	40	2	36	15	18	14
Prochordata	11	4	18	34	11	2	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0
Echiuroidea	6	3	12	4	17	14	0	0	15	12	17	14	0	100	0	0	6	14	18	8
Nemertinea	7	2	6	1	3	2	0	0	11	3	0	0	100	0	0	0	2	3	5	2
Echinodermata	8	3	0	0	2	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	11	4	9	2
Coelenterata	2	6	0	0	2	3	8	3	5	2	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0
Pisces	0	0	3	1	10	18	0	0	6	4	0	0	0	0	0	0	2	1	5	1
Others	3	2	6	5	5	2	0	0	18	7	17	18	0	0	7	0	4	1	14	2
Number of fish	114		33		124		12		65		6		1		15		47		22	

餌料生物としては大型のユムシ類は、より大型のマコガレイから出現する傾向がみられた。餌料生物として出現した魚類は、ハゼ科の魚が1尾確認された以外は全てイカナゴ *Ammodytes personatus* であった。

季節変化と年変動 マコガレイの食性の季節的な変化を見るため、月別に集計した結果を Table 2-12 と Fig. 2-14 に示す。Fig. 2-14 では標本数の少ない月(標本数が20未満)は図示しなかった。多毛類のW%は概ね30~50の範囲であった。軟体類(二枚貝が主)は、3月は少なく12~2月の冬季に多く出現する傾向が見られた。甲殻類は1~3月の低水温期には少ない傾向が見られた。原索動物は1~3月の冬季に出現し、それ以外の月はほとんど出現しなかった。ユムシ類は1,2月に出現が少なかった。魚類(ほとんどイカナゴ)は2~5月に出現したが、この時期はイカナゴの稚魚期にあたる。

Table 2-13 と Fig. 2-15 に年別に集計した結果を示す。

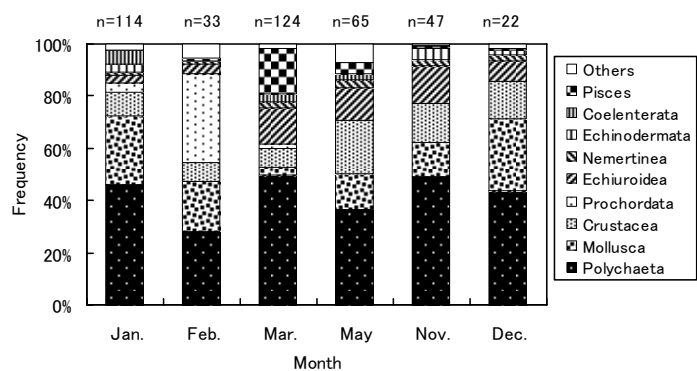


Fig. 2-14 Food compositions of stomach contents by weight of food items and by month in marbled sole.

1986年は標本数が少なく、また1989年は採集月が年の前半に偏っているため、年の違いを評価するには十分とは言えないが、多毛類はF%およびW%とも年による差異は小さかった。採集月の偏りが少ない1987年と1988年を比較すると、両年とも多毛類のW%は36で等しかった。軟体類はF%およびW%とも1987

Table 2-13 Food compositions of stomach contents of marbled sole by year sampled in Harima Nada and Osaka Bay from 1986 to 1989. F% represents the percent frequency of occurrence and W% the percent by weight of the food items.

Food organism	Year							
	1986		1987		1988		1989	
	F (%)	W (%)	F (%)	W (%)	F (%)	W (%)	F (%)	W (%)
Polychaeta	67	45	63	36	56	36	65	48
Mollusca	29	23	64	35	38	14	33	15
Crustacea	29	13	50	10	41	11	30	9
Prochordata	24	1	6	2	5	17	11	3
Echiuroidea	19	7	9	9	10	5	13	9
Nemertinea	10	2	5	2	6	3	5	2
Echinodermata	5	3	1	0	7	1	4	2
Coelenterata	10	4	3	1	0	0	2	6
Pisces	0	0	5	3	11	8	0	4
Others	14	3	5	3	11	4	4	2
Number of fish	21		78		133		207	

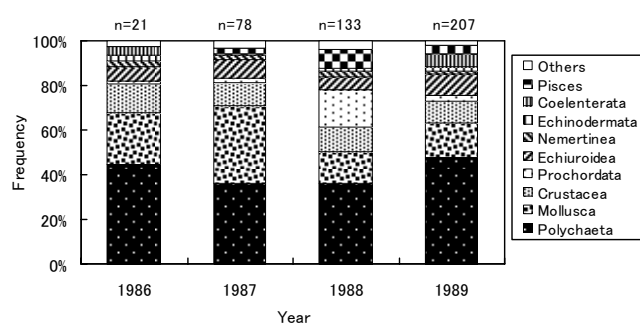


Fig. 2-15 Food compositions of stomach contents by weight of food items and by each year in marbled sole.

年が多く 1988 年は少なかった。軟体類の構成種としては二枚貝類が主であるが、1988 年は春季以降、二枚貝類の出現割合が小さかったのに対し、1987 年は年間を通じて二枚貝類の出現割合が高かった。甲殻類の W%は 9~13 で、年による変化は小さかった。原索動物の W%は 1988 年が突出して高いが、これは、この年の 2 月に全長 250mm 以上の大型魚がホヤ類を摂食していたためであり、F%でみると 1988 年は原索動物の出現は少ない方であった。イカナゴは 1986 年を除き胃内容物として出現した。1986 年に出現しなかったのは、この年はイカナゴ稚魚の出現時期である 2~5 月に標本が得られなかったためであろう。他の年はいずれも 2~3 月に出現していることから、割合は高くはないが、マコガレイは毎年、この時期にイカナゴを餌料として利用していると考えられる。

考 察

播磨灘・大阪湾に分布する未成魚~成魚期のマコガレイの主餌料が多毛類である点は他の海域と大きい相違はなかった。しかし、本報では全長が大きくなるに従い、多毛類の占める割合は減少した。このような未成魚期以後の成長に伴う食性の変化について記載された報告は少ないが、北海道南西部にある木古内湾で調査した高木ほか(1997)は、全長 100mm 以上のマコガレイについて、サイズが大きくなるに従い、多毛類や甲殻類の割合が減少し、クモヒトデ類やナマコ類および二枚貝の割合が増加することを報告している。また、大分県(1987)は全長 110~150mm になると端脚類主体の食性から多毛類主体の食性に変わり、さらに全長 160mm 以上になると多毛類に加え、二枚貝類、十脚類などの大型餌料生物が増加するとしている。本報では多毛類の優占度の低下にともない、魚類やユムシ類、原索動物の割合が増加していた。このような餌料生物の変化は、マコガレイの口器サイズが大きくなることにより、餌料の対象が大型の生物にまで広がるためと考えられる。実際、胃内から検出された

ユムシ類の 1 個体あたりの平均重量は全長 150-200mm のマコガレイでは 0.46g、同じく 200-250mm では 0.95g、250-300mm では 2.53g、300-400mm では 3.48g であった。消化途中であるためこれらの数値は正確に 1 個体あたりの重量を表しているわけではないが、成長に伴う餌料生物の大型化を示すものであろう。

全調査個体数の約 6%と出現頻度は低い、餌料生物の中にナメクジウオが見られたのは当海域の特徴と考えられる。一般的にナメクジウオは砂礫底にすみ、夜行性で昼間は砂中にもぐる。水産庁はナメクジウオを絶滅の恐れのある危急種に指定している(西川 1998)。瀬戸内海その他海域の胃内容物報告にはナメクジウオの記載は見あたらない(藤・林 1975; 香川県ほか 1975; 中村・岩本 1975; 大分県ほか 1985; 大分県 1987)。谷田(2004)は 2001 年および 2002 年に播磨灘北東部で行った調査において、ナメクジウオの生息を確認しており、少なくとも本報の調査時期である 1980 年代後半以降、当海域に継続して生息していると推察される。ナメクジウオは特定の底質粒度を好み(西川 1995)、良好な海底環境下で生息するとされている。マコガレイの胃内からのナメクジウオが検出されたことは、マコガレイの分布や生息域を推測する上で重要な情報と言えよう。

マコガレイの胃内容物として魚類が報告されている例はあるが一般的に出現割合は低い(香川県ほか 1975; 大分県 1987)。これは、魚類は遊泳力が大きくマコガレイに捕食されにくいためと考えられる。しかし、当海域では 3 月頃を中心にイカナゴが捕食されており、その F%は 18 と高かった。大森(1979)による仙台湾の調査でも、特定の地点ではあるが、春季の調査においてイカナゴで高い F%が認められている。既報を見る限り魚類でまとまって捕食されている例はイカナゴだけのものである。遊泳性のあるイカナゴが捕食される理由はその発生量の多さや潜砂生態(反田 1998)と関連すると推察されるが、マコガレイの素早い捕食行動もうかがわれる。

当海域では、軟体動物はマコガレイの主要な餌料となっており、その多くは二枚貝類の水管であった。二枚貝の水管は仙台湾（大森 1974）や瀬戸内海の他海域（藤・林 1975；香川県ほか 1975；中村・岩本 1975）でも餌料生物として見いだされていることから、本種の一般的な餌料生物と位置づけることが出来よう。また、大森（1974）は、マコガレイの食物選択性の解析を行い、二枚貝の水管が選択的に捕食されていることを示している。

本研究から明石海峡を中心とする播磨灘・大阪湾における未成魚～成魚期のマコガレイの食性を概観すると、最も重要な餌料生物は定在目を主とした多毛類、次いで、二枚貝類（主に水管）を主とする軟体動物、次にラスバンマメガニやソシラエビ等の甲殻類の順となった。また、稚魚期に見られるような急激な食性の変化（第4章1節）はないが、成長に伴い餌料生物が大型化すること、餌料生物に占める多毛類の割合が次第に減少することが明らかとなった。

一般的に魚類の胃内容物調査は、成育段階との関連など、その魚種の生活史を明らかにするために行われることが多い。一方で、食性には生息場所の餌料生物環境が反映されていると考えられる。マコガレイのような底生魚類の場合は、さらに餌料生物を通して底質環境を推定できる可能性もある。本調査で胃内容物からナメクジウオが検出されたのがその良い事例であろう。また、1987年は年間を通じて二枚貝類の出現割合が高かったが、これはこの年の二枚貝類の発生状況を反映していると推察される。マコガレイは標識放流結果からみて移動回遊範囲は概ね湾や灘スケールであり（石野・佐野 1997；松村 1972；高橋 1987；富山・陣之内 1974）、餌料生物も移動性の少ない底生生物が主体である。したがって、その食性を通して湾や灘単位での底生生物環境のモニタリングに利用可能と考えられる。

マコガレイの胃内容物はより広い範囲の平均的な底生生物の情報を与えてくれると推察される。低密度

で広く分布している種や特定の環境に集中して生息する種、また採泥器による調査が行いづらい砂礫帯に生息する種など、ベントス調査では実態が把握しにくい生物群に関しては有効かも知れない。

第3章 成熟と産卵ならびに産卵場

成熟と産卵の情報は対象種の生態を明らかにする上で重要であるほか、資源研究においては解析の基準となる月の決定や再生産関係を明らかにするために必要である。第1節では播磨灘・大阪湾におけるマコガレイの産卵期を明らかにする。また、生殖腺体指数（GSI）による成熟判定基準を示した上で、その基準を用いて年齢別成熟割合を明らかにする。第2節では、魚の生理状態を表す指標である生殖腺体指数、肥満度（CF）、ならびに比肝重値（HSI）の季節変化を示し、それらの情報から播磨灘・大阪湾におけるマコガレイの生活年周期について検討する。第3節では様々なカテゴリー区分におけるマコガレイの性比を示す。また、性比の経年変化についても検討を加える。さらに、再生産の基本的情報の一つである産卵数を明らかにする。マコガレイは沈性粘着卵を産むため、卵の採集は極めて希であり、これまで産卵場が特定された例はなかった。第4節では、潜水調査によってマコガレイ卵を大量に採集し、本邦で初めて産卵場の確認に成功した結果を示すとともに、産卵場の形成要因について考察する。

3-1 成熟と産卵期

マコガレイの産卵期と成熟に焦点を当てた報告は少なく、陸奥湾（高橋ほか 1983）、東京湾（杉浦・本田 1986）および周防灘（正木ほか 1987）のほかは断片的な情報が記載されていることが多い。瀬戸内海東部については松村ほか（1973）が1970年代に播磨灘北西部で、また辻野ほか（1997）は1988～1990年に

大阪湾で調査を行い、産卵期等について報告している。本報では 1986～2001 年の間に播磨灘・大阪湾で漁獲されたマコガレイの生物測定結果から、当海域における本種の産卵期、成熟サイズおよび成熟年齢について検討した。また、標本入手期間は、途中で欠測の期間はあるが 15 年に及ぶ。この間に播磨灘の年平均水温は約 1℃上昇しており（堀ほか 2005）、資源水準も低下している。このような環境の変化がマコガレイの繁殖生態に何らかの影響を及ぼしている可能性があることから、マコガレイの成熟割合の経年的な変化についても検討した。

材料および方法

標本魚と測定項目 Table 2-1 に示した標本のうち、播磨灘・大阪湾で漁獲された 5035 尾について解析を行った（Table 3-1）。調査は概ね毎月 1 回実施したが、1995 年 4 月～1998 年 5 月は実施していない。また、1986 年 12 月、1987 年 12 月および 1988 年 1 月と 11 月は月 2 回の調査を実施した。全長と体長は mm 単位、体重は 0.1g 単位、生殖腺重量は 0.01g 単位で測定した。年齢査定は第 2 章 3 節のとおりである。年齢の基準日は 1 月 1 日としたが、1 月 1 日は産卵期間中であることから、混乱を避けるために生後 1 年目の産卵終了までを 0 歳魚、2 年目の終了までを 1 歳魚と表示した。また、産卵期の年表示は産卵が始まる 12 月時点の西暦

Table 3-1 Number of specimens of marbled sole used for analysing maturation.

Year	No. of specimens				
	Total	Trawl	Gill net	Longline	unknown
1986	376	376			
1987	771	771			
1988	799	799			
1989	841	609		87	145
1990	155	155			
1991	207	207			
1992	306	306			
1993	220	220			
1994	219	219			
1995	15	15			
1998	245	245			
1999	363	363			
2000	352	227	86	39	
2001	166	67	99		
Total	5035	4579	185	126	145

で表した。

生殖腺の観察と生殖腺体指数（GSI） 生殖腺の成熟状態の評価は肉眼観察と生殖腺体指数（GSI）によった。標本個体数は GSI が 5035 尾、うち肉眼観察は 616 尾である。

GSI は次式により求めた。

$$GSI = GW \times 10^2 / BW$$

GW：生殖腺重量（g） BW：体重（g）

目視による卵巣の熟度区分は次の 4 段階とした。

熟度 1：未熟、卵巣は小さくやや透明感がある。

熟度 2：成熟途中。卵巣は薄黄色～黄～橙色を呈する。

熟度 3：成熟。卵巣内に透明卵が認められる。腹部圧迫により完熟卵が流出する。

熟度 4：放卵後。卵巣は大きく白っぽい色を呈し、張りが無い。

山本（1954）は組織学的な観察結果にもとづき、卵巣の成熟度を 10 区分している。前記の区分とそれらと比較すると、熟度 1 は山本（1954）の示す無卵黄期と卵黄顆粒期に、熟度 2 は第 1 次～第 3 次卵黄期と胚胞移動期に、熟度 3 は前成熟期、成熟期及び完熟期に、熟度 4 は放卵後に相当すると考えられる。また、石田・北片（1982）によって組織学的観察に基づいて分けられた 6 Stage と比較すると、熟度 1 は Stage1 と Stage2 に、熟度 2 は Stage3 に、熟度 3 は Stage4 と Stage5 に、熟度 4 は Stage6 に対応すると考えられる。

精巣の熟度は次の 4 段階に区分した。

熟度 1：未熟。精巣は小さくて膨らみがなく、触れた感じはやや硬い。

熟度 2：成熟途中。精巣は膨らんでやや弾力があり、多少透明感がある。

熟度 3：成熟。精液が確認できる。精巣は白くなり透明感はなくなる。

熟度 4：放精後。精巣は縮小し、やや硬くなる。

外観上熟度 1 との区別は難しくなる。

雄の場合、放精し精巣が縮小しても精液が確認出来

る個体があるが、熟度3にはそれらも含めた。熟度4については熟度1との区別が難いため、出現時期などを考慮して判定した。

成熟判定基準 本報では生殖腺の肉眼観察による熟度の判定結果とGSIとの関係、およびGSIの分布から、雌は12月のGSIが1.6以上、雄は0.7以上を示す個体が当該産卵期に産卵に関与するとした。このように本報で示す成熟割合は、12月の標本魚のGSIから求めたものである。成熟判定基準の詳細については考察で述べる。全長別成熟割合の算出には、5035尾のうち12月に得られた803尾を用いた。また、年齢別成熟割合はそれらのうち年齢査定を実施した638尾から求めた。

結 果

GSIの季節変化と産卵期 Fig.3-1にGSIの季節変化を示す。1回の測定尾数が5尾未満のデータは図示しなかった。1986~1995年のデータを白抜きで1998~2001年のデータを黒塗り印で示した。平均GSIの季節変化には調査年代による顕著な違いが観察されなかった

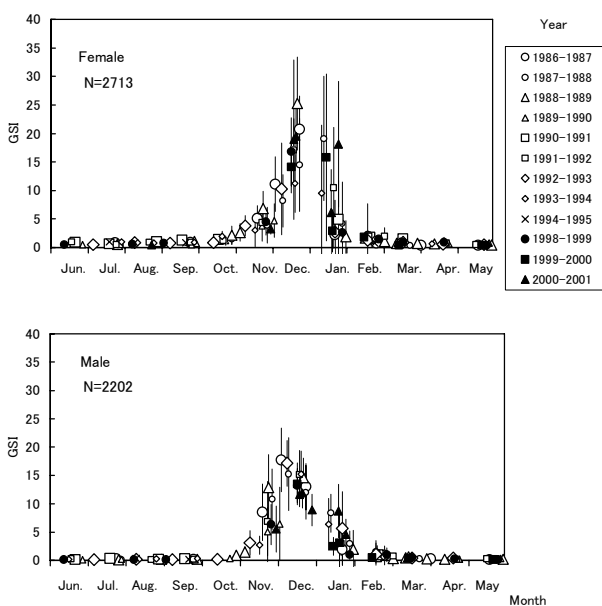


Fig. 3-1 Seasonal changes of gonadosomatic index (GSI) in marbled sole. Vertical lines represent standard deviations. $GSI = GWg/BWg \times 100$ (GWg: Gonad weight in g, BWg: Body weight in g).

ため、以下では雌雄別の平均的なGSIの変化を記す。

雌の平均GSIは、3~9月の間はほぼ1未満で推移し、10月後半から高くなり始める。10月のGSIは1~2、11月は3~7であるが、12月前半に急上昇し中旬頃に最高値(平均GSI 20~25)を示す。1月に入るとGSIは急激に低下し、1月下旬には2~4となる。雄の平均GSIも3~9月の間は1未満で推移し、10月に入ると高くなり始めるが、10月中は1を超えない。11月後半に急上昇し12月上旬頃に最高値(平均GSI 15~20)を示す。12月中旬頃からGSIは低下し始め1月下旬には1~3となる。雄のGSIの低下傾向は雌よりも緩やかである。このように雌雄のGSIの季節変化は概略類似するが、産卵期前の変化をみると、GSIが上昇し始める時期は雄の方が遅いが、その後の増加の度合いは急激であり、最高値に達する時期は雄の方が早い傾向が認められた。また、ピーク後の平均GSIの低下は雄の方が緩やかであった。

産卵期前後における生殖腺およびGSIの変化を詳しく見るため、調査回数および測定個体数が多かった

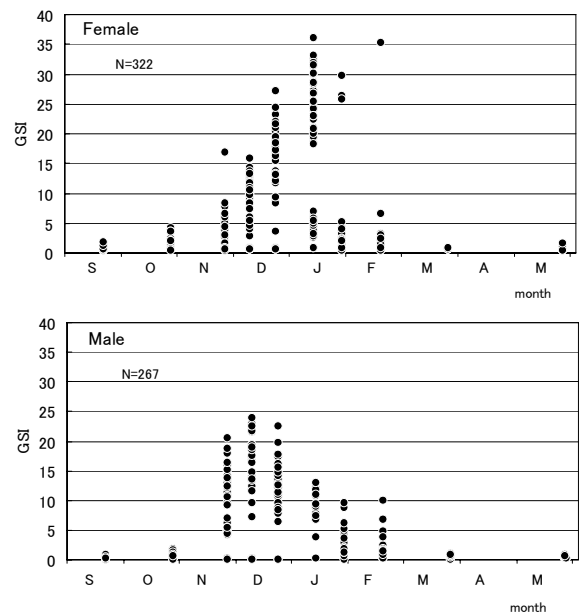


Fig. 3-2 Seasonal changes of gonadosomatic index (GSI) in marbled sole from September 1987 to May 1988. $GSI = GWg/BWg \times 100$ (GWg: Gonad weight in g, BWg: Body weight in g).

1987年産卵期とその前後(1987年9月～1988年5月)における1歳以上の個体別のGSIの推移をFig.3-2に示す。雌では12月には熟度4を示す放卵後の個体は見られなかったが、1月12日の調査では50尾中12尾が放卵後の個体であった。また1月27日は35尾中24尾が放卵後と判定され、産卵盛期が過ぎつつある状況であった。しかし、2月17日においても、依然1個体であるがGSIが35.3を示す個体(全長247mm, 1歳魚)がみられた。雌のGSIの最高値は36.0(全長324mm, 2歳魚)であった。雄は12月9日には標本魚のうち33%の個体が、また同23日には90%の個体が熟度3を示し精巣内に精液が確認された。2月中旬にはほとんどの個体でGSIは5以下となるが、依然、精液が確認出来る個体が存在した。このように1987年産卵期は1月に入ってから産卵が始まり、1月末までに大半の個体が産卵を終えていた。

1987年産卵期については12月中の産卵は確認出来

Table 3-2 Relationship between maturity division and gonadosomatic index (GSI) of marbled sole in the spawning season, December to January. Maturity divisions are defined from the external appearance of the ovary and testis. Those are as follows: 1 immature, 2 maturing, 3 ripe, 4 spent. $GSI = GWg / BWg \times 100$ (GWg: Gonad weight in g, BWg: Body weight in g).

Female			
Month	Maturity	Number	GSI (Range)
December	1	12	0.32-0.79
	2	84	2.8-27.2
	3	6	27.5-30.1
	4	2	3.4, 3.7
January	1	12	0.25-0.84
	2	37	15.7-37.3
	3	42	9.4-43.8
	4	124	0.6-7.0
Male			
Month	Maturity	Number	GSI (Range)
December	1	5	0.07-0.13
	2	23	7.3-22.9
	3	140	3.2-23.9
	4	0	
January	1	3	0.10-0.18
	2	0	
	3	97	1.2-17.8
	4	29	0.1-1.9

なかったが、1988年12月21日にはGSIが30を超える個体が、また、2000年12月18日の調査では産卵後の個体が確認されており、年により12月に産卵する個体があることは明らかである。

生殖腺の熟度区分と生殖腺体指数 (GSI) Table 3-2に肉眼観察による生殖腺の熟度区分とGSIの関係を示す。雌では、12月に熟度1の個体のGSIは1以下であった。一方、卵黄蓄積が開始されていると考えられる熟度2の最小値は2.8であり、熟度1との間でGSIに差が認められた。1月に入っても熟度1のGSIに変化は見られなかったが、熟度2のGSIは15.7以上に上昇し、両熟度群におけるGSIの分離傾向はさらに明瞭となった。1月には産卵後とみられる熟度4の個体が多く出現し、それらの中には生殖腺が縮小し、GSIが熟度1と重なるものが認められた。

雄においても、12月に熟度1の個体のGSIは1以下であった。一方、熟度2のGSIの範囲は7.3～22.9であり、熟度1とのGSIの分離傾向は雌よりも明瞭であった。熟度3にGSIの低い個体が見られたが、これは放精が始まっていたためである。1月には放精を終えた熟度4の個体が出現し、それらの中にはGSIが熟度1と重なるものがみられた。また、熟度2の個体は見られなくなった。

成熟サイズと成熟年齢 Fig. 3-3には12月と1月を合わせた全個体の全長とGSIの関係を示す。雌においては、GSIが2以上を示す個体は、全長180mm以上で認められた。また雄では、全長150mm以上の個体で高いGSIを示した。これらの結果から、雌の最小成熟全長は約180mm、雄の最小成熟全長は約150mmと判断された。

Table 3-3に全長区分別の成熟割合を示す。雌は全長179mm以下では成熟個体は見られなかった。また全長250mm以上の成熟割合は100%であった。群成熟の基準を50%以上とすると、雌の群成熟全長は約185mmであった。雄は全長200mm以上で成熟割合はほぼ100%であった。全長149mm以下の調査個体は1尾だ

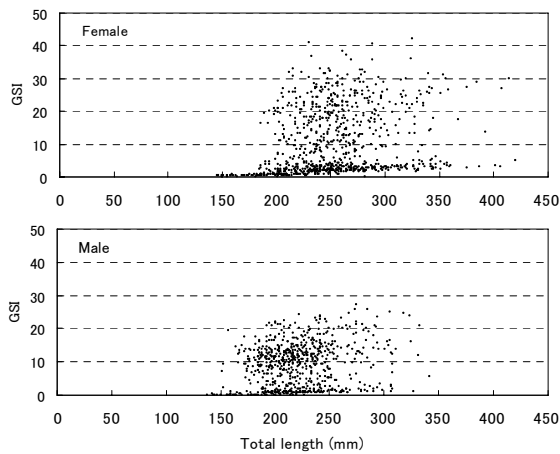


Fig. 3-3 Relationship between total length and gonadosomatic index (GSI) in marbled sole during the period of December to January. $GSI = GWg / BWg \times 100$ (GWg: Gonad weight in g, BWg: Body weight in g).

けであるが未熟個体であった。雄の群成熟全長は約160mmと判断された。

Table 3-4に年齢別の成熟割合を示す。雌の成熟割合は、1歳魚は91%、2歳魚以上では100%であった。0歳魚の標本数は少ないが、これは12月まで0歳魚がほとんど漁獲されないためである。しかし1月に採集された27個体の満1歳魚のGSIはすべて1以下で肉眼的にも未熟個体であった。このことから、0歳魚の雌の成熟割合は確定できないものの0%に近いと推察された。雄では、1歳魚の成熟割合は98%、2歳魚以上は100%であった。0歳魚の標本は2個体だけであるがGSIは13.7と12.5であり、明らかに成熟過程にあった。このことから、雄は0歳から繁殖に関与する個

Table 3-3 Maturity rate by total length class in marbled sole.

Total length (mm)	Female			Male		
	mature	immature	rate (%)	mature	immature	rate (%)
140-149	-	-	-	0	1	0
150-159	0	2	0	1	2	33
160-169	0	1	0	5	2	71
170-179	0	2	0	13	2	87
180-189	4	4	50	31	3	91
190-199	10	5	67	45	2	96
200-209	17	6	74	51	0	100
210-219	21	2	91	59	0	100
220-229	30	2	94	48	0	100
230-239	36	2	95	41	1	98
240-249	38	1	97	37	0	100
250-259	40	0	100	17	1	94
260<	166	0	100	52	0	100

No data: -

体が存在することは明らかである。しかし、標本数が少ないため0歳魚の成熟割合を明らかにすることはできなかった。

考 察

成熟判定 マコガレイ卵巣内の卵径分布の経時変化を調べた狩谷・白旗(1955)によると、8月以前は0.05mmにモードを持つ未熟な卵群のみであるが、8月中旬から卵径が増大する卵群が分離しはじめ、この卵群は単一モードのまま卵径が増大し、12月下旬には0.7mmに達する。この時点でも卵巣内には0.05mmの卵群が存在する。このような卵の発達様式から推定して、卵巣内に成熟移行卵群の存在する個体は卵径の増大に伴いGSIが増加するが、成熟移行卵群を分離しない未成熟魚のGSIは低いまま推移すると考えられる。また、成熟移行卵群のモードが単一であることから、未成熟魚のGSIと成熟過程にある魚のGSIは明瞭に異なる経時変化を示す。Table 3-2に示した熟度1の雌のGSIは、1月と2月ではほとんど変化はなかったが、熟度2の群のGSIは12~1月にかけて増加した。また、両熟度群のGSIは12月時点で分離していた。このことから、12月時点における熟度1群は未熟卵群のみを有し当該産卵期には成熟しない群、熟度2群は未熟卵群と成熟移行卵群を有し、当該産卵期に産卵する群と推察される。したがって、両群を分離するGSI値は、熟度1群の最大値0.79と熟度2群の最小値2.8の間にあり、かつ、生物学的には熟度1群の最大値に近い値と推察される。さらに、肉眼観察以外のデータも含め

Table 3-4 Maturity rate by age in marbled sole.

Age	Female			Male		
	mature	immature	rate (%)	mature	immature	rate (%)
0	0	1	*(0)	2	0	*(100)
1	136	13	91	264	5	98
2	120	0	100	54	0	100
3	11	0	100	9	0	100
4	10	0	100	6	0	100
>5	5	0	100	2	0	100

*Values in parentheses are not reliable because of few data.

た12月の全測定値について、熟度1群の最大値付近のGSIの分布を検討した結果、0.95~2.16を境にモードの分離が認められたことから、この範囲内に両群を分離する閾値があると判断し、それらの中間値である $GSI \geq 1.6$ を12月における雌の成熟判定の基準値とした。杉浦・本田(1986)はマコガレイの卵巣内の卵径分布とKG(生殖腺重量 $g \times 10^4$ /全長 3cm)との関係を調べ、未熟卵群のみを有する個体のKGを0.55と報告している。本報の調査結果からKGとGSIの関係式(2次多項式、 $R^2=0.97$)を求め、KG0.55に相当するGSIを推定した結果、1.09となった。この値は本報で示した閾値の推定範囲内にある。

雄については精巣の発達様式の詳細は明らかでないが、12月における熟度1群と熟度2群のGSIのレンジは明瞭に分離していた。また、12月における熟度1群の最大値は0.13、熟度2群の最小値は7.3であることから、両群を分離するGSIはそれらの間にあり、かつ、熟度1群の最大値に近い値と推察される。そこで、雌と同様にGSIの分布を検討した結果、両群を分離する閾値は0.16~1.15の間にあると判断された。この結果から、12月における雄の成熟判定の基準値をそれらの中間値である $GSI \geq 0.7$ とした。

ここで示した成熟基準は12月の標本に適用されるものであり、産卵期が同じであれば他の海域でも利用できると思われる。

成熟度の指標値としては、生殖腺重量を体重で除した値、内蔵除去体重で除した値、体重マイナス生殖腺重量で除した値、体長の3乗で除した値のほか卵径などが用いられている。また、成熟判定の基準値とその根拠が示されていない場合もある。このように、成熟度の指標値と判定基準はまちまちであり、研究結果を比較することを難しくしている。今後は指標値の統一と、共通の判定基準が必要であろう。

産卵期 播磨灘・大阪湾におけるマコガレイの産卵期は、雌のGSIの季節変化および生殖腺の観察から、12月中旬~2月中旬であり、その盛期は12月下旬~1月

下旬と推定された。また、1986~2001年の間では産卵期に目立った変化は認められなかった。マコガレイは部分同時産卵型(石田・北片1982)の魚種であり、個体でみれば卵は一度に放出される(松浦1969a;佐藤1972)。しかし群としてみると、このように1ヶ月以上の産卵期間がある。辻野ほか(1997)は大阪湾のマコガレイの産卵期を12~1月と報告しており、本報と大きい違いはない。しかし、本報では12月前半における産卵が確認できなかったこと、また2月に透明な熟卵をもつ個体が確認されていることから、12月中旬~2月中旬を産卵期とした。

産卵期とその前後における雌雄のGSIの変化には差が認められた。雄のGSIの立ち上がりは雌よりも遅いが増加は急激であり、放精可能な雄は雌が最終成熟に達する前に出現した。産卵期の終期については明確ではないが、1月後半においても雄成魚の63%で精液が確認された。これらのことから雄の放精可能期間は雌の産卵期間をカバーしていると推察された。このような本種の雌雄による成熟過程の違いは正木ほか(1987)も報告している。

本報で得られた結果と比較するため、全国各海域の本種の産卵期を整理しFig.3-4に示す。牡鹿半島以南の海域では、産卵盛期はすべて12~1月の範囲にあり、海域による違いは小さい。瀬戸内海では本報告も含めて12月下旬~1月下旬の1ヶ月の間に産卵盛期がある。それら報告の調査年は異なっており、同一年の調査であれば産卵期の違いはさらに小さいと推察される。周防灘における本種の産卵期について正木ほか(1987)は、12月中旬に成熟盛期があり、産卵は10月上旬~2月中旬まで比較的長く継続すると述べている。しかし、瀬戸内海の他の報告例と比較しても産卵の開始が10月上旬というのは特異的に早い。また、Fig.3-4の藤・多故(1972)や大分県ほか(1985)の報告例もあることから、周防灘の産卵期については再度検討される必要があると思われる。牡鹿半島以北の海域についてみると、山田湾(岩手県1973)と陸奥湾(高橋ほか

Region	Spawning Season							Literature	
	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May		
Kikonai Bay (Hokkaido pref.)					←	⊕	→	Ishino and Mihara (1995)	
Mutsu Bay (Aomori pref.)		←	⊕	→				Takahashi <i>et al.</i> (1983)	
Japan Sea (Aomori pref.)						←	⊕	→	Aomori pref. (1973)
Yamada Bay (Iwate pref.)		←	⊕	→				Iwate pref. (1973)	
North of Ojika Peninsula (Miyagi pref.)				←	⊕	→		Saeki and Kikuchi (2000)	
South of Ojika Peninsula (Miyagi pref.)			←	⊕	→			Saeki and Kikuchi (2000)	
Sendai Bay (Miyagi pref.)		←	⊕	→				Hatanaka and Iwahashi (1953)	
Sendai Bay (Miyagi pref.)		←	⊕	→				Miyagi pref. (1975)	
Tokyo Bay (Tokyo pref.)		←	⊕	→				Nakagome (1980)	
Osaka Bay (Osaka pref.)		←	⊕	→				Tsujino <i>et al.</i> (1997)	
Harima Nada and Osaka Bay (Hyogo pref.)		←	⊕	→				Present study (2006)	
Bisan Seto (Okayama pref.)		←	⊕	→				Matsumura <i>et al.</i> (1973)	
Suo Nada (Fukuoka pref.)		←	⊕	→				Fuji and Tako (1972)	
Beppu Bay (Ooita pref.)			←	⊕	→			Ooita pref. (1985)	

Fig. 3-4 Spawning seasons of marbled sole in different regions of Japan. The ranges of arrow indicate the spawning seasons and open circles are the middle of those periods.

1983)の産卵盛期はそれ以南の海域と差は見られない。しかし、宮城県海域は2月中旬(佐伯・菊池2000)、青森県の日本海側は4月中旬(青森県1973)、北海道の木古内湾は3月下旬(石野・三原,1995)がそれぞれ産卵盛期であり、他の海域と明らかに産卵時期が異なっている。このように日本全体を見た場合、牡鹿半島以北で産卵期が遅い記載がみられるものの明瞭ではなく、産卵期に地理的傾斜があるかどうかについては今後の検討課題である。

成熟年齢 既報の年齢別成熟割合のデータを整理し Table 3-5 に示す。雌0歳魚の情報は少なく、辻野ほか(1997)の25%や正木ほか(1987)の0%という報告

があるのみである。本報では0歳魚に成熟または成熟可能な個体は見られず、成熟割合は0%に近いと推測した。しかし、標本数が少ないため今後さらに調査する必要がある。雌1歳魚の成熟割合は、北海道木古内湾(石野・三原1995)の40%から本報の91%まで大きい幅がある。また、調査海域が重複する大阪湾で得られた辻野ほか(1997)の62.5%と本報の91%との差は大きい。辻野ほか(1997)は成熟の指標値として、生殖腺重量×100を体重マイナス生殖腺重量で除した値(GI)を採用し、12月においてGIが20以上の個体の割合を成熟率としている。そこで、比較のため本報のデータを用いてGIとGSIの関係を求めたところ、GIの20はGSIの16.6とほぼ等しかった。12月においてGSIが16.6以下の標本には熟度2の個体が含まれる可能性がある(Table 3-2)。したがって、辻野ほか(1997)との相違については、成熟判定基準の違いが影響していると考えられる。

成熟割合に経年的な変化があるかどうかを見るため、1986~1988年(前期)と1998~2000年(後期)の2期に分け、1歳魚の成熟割合を比較した(Table 3-6)。雌1歳魚の成熟割合は前期が86%、後期が100%、ま

Table 3-5 Maturity rate (%) of marbled sole by age in different regions of Japan.

Area	Female (Age)				Male (Age)				Literature
	0	1	2	3	0	1	2	3	
Kikonai Bay	40	100			90	100			Ishino <i>et al.</i> (1995)
Mutsu Bay		60-80				95			Takahashi <i>et al.</i> (1983)
Sendai Bay		70				90			Hatanaka <i>et al.</i> (1953)
Ibaragi coast		75				100			Wada <i>et al.</i> (1997)
Osaka Bay	25	62.5	90.5	100	100				Tsujino <i>et al.</i> (1997)
Harima Nada and Osaka Bay		91	100		98	100			Present study (2006)
Suo Nada	0	70	90	100	20	95	100		Masaki <i>et al.</i> (1987)

Table 3-6 Differences of the maturity rate of 1 age in marbled sole between the research periods of 1986-1988 and 1998-2000.

Female		
Division	Period (year)	
	1986-1988	1998-2000
Immature	13	0
Mature	82	54
Maturity Rate (%)	86	100

Fisher's exact probability test: $P=0.0021$

Male		
Division	Period (year)	
	1986-1988	1998-2000
Immature	5	0
Mature	108	156
Maturity Rate (%)	96	100

Fisher's exact probability test: $P=0.012$

た雄のそれは前期が 96%、後期が 100%となり、統計的にも 2 期の間で有意差が認められた (Fisher's exact probability test; 雌: $P=0.0021$, 雄: $P=0.012$)。この結果から、最近年の 1 歳魚の成熟割合は雌雄ともほぼ 100%と推察される。資源状態により成長や成熟年齢が変化することはマイワシ (森本 1998; 和田 1998; 渡部 1987;) やサワラ (岸田 1990; 竹森・山田 2003) で認められているが、マコガレイでは Kume *et al.* (2006)の記載以外は見あたらない。本研究において、マコガレイ 1 歳魚の成熟割合の変化が示唆されたが、成熟の長期変動を明確にするため今後さらに継続的な調査を行い、現象の確実な把握を行うことが重要である。

3-2 生殖腺体指数, 肥満度および比肝重値の季節変化

生殖腺体指数, 肥満度および比肝重値の季節変化は, 生殖周期と関連する魚の生理状態を表す重要な指標である。高橋ほか (1983) は青森県の陸奥湾において, また Shafiepour *et al.* (2004) は北海道南部の木古内湾

においてそれら指標の詳細な調査を行い, 各海域におけるマコガレイの生活年周期を明らかにしている。瀬戸内海では, 産卵期を推定する目的で, 生殖腺体指数の季節変化が正木ほか (1987) や松村ほか (1973) によって報告されている。また, 肥満度の季節変化については辻野ほか (1997) の報告がある。しかし, 生活年周期の視点からの報告はみられない。

本報では, まず, 特定年級群 (1986 年級群) の生殖腺体指数, 肥満度および比肝重値の季節変化を詳しく追跡する。続いて, それら指標の平均的な季節変化を 1980 年代 (1986 年 7 月から 1989 年 1 月) と 2000 年代初頭 (1998 年 6 月から 2001 年 1 月) 別に示し, 播磨灘・大阪湾におけるマコガレイの生活年周期について考察する。

材料および方法

標本魚と測定項目 生殖腺体指数 (GSI) と肥満度 (CF2) の平均的な季節変化の検討は 1 歳魚以上を解析の対象とし, Table 2-1 の標本のうち播磨灘・大阪湾で漁獲された 2898 個体 (GSI の検討) および 3022 個体 (CF2 の検討) のデータを用いた (Table 3-7)。1986 年級群は 1987 年 1 月から 1989 年 5 月の間に漁獲された 1103 尾である (Table 3-8)。全長と体長は mm 単位, 体重は 0.1g 単位, 生殖腺重量と肝臓重量は 0.01g 単位で測定した。また, 耳石を採取し, 第 2 章 3 節と同じ方法で年齢査定を行った。年齢査定の日は 1 月 1 日とした。

生殖腺体指数 (GSI) と比肝重値 (HSI) は次式により求めた。

$$GSI = GW \times 10^2 / BW$$

$$HSI = LW \times 10^2 / BW$$

GW: 生殖腺重量 (g) LW: 肝臓重量 (g)

BW: 体重 (g)

肥満度は次に示す 2 つの計算式により求めた。CF1 は魚体全体の肥満度, また CF2 は生殖腺を除いた主に肉質部の肥満状態を表す。

$$CF1 = BW \times 10^5 / TL^3$$

$$CF2=(BW-GW) \times 10^5 / TL^3$$

BW: 体重 (g) GW: 生殖腺重量 (g)

TL: 全長 (mm)

本報では1歳魚以上を解析対象としたが、生活年

Table 3-7. Number of the specimens of marbled sole examined gonadosomatic index (GSI) and condition factor (CF) in this analysis. Upper the dotted line is 1980s and the under is early 2000s.

Year	No. of specimens	
	GSI	CF
1986	313	318
1987	767	768
1988	791	790
1989	126	126
1998	244	242
1999	363	364
2000	227	347
2001	67	67
Total	2898	3022

Table 3-8 Specimens of 1986 year class of marbled sole.

Date	Number of specimens		
	Total	Female	Male
21-Jan-87	8	6	2
24-Feb-87	43	18	25
2-Apr-87	104	47	57
19-May-87	46	24	22
28-Jul-87	115	37	78
22-Sep-87	62	38	24
28-Oct-87	64	32	32
26-Nov-87	66	32	34
9-Dec-87	64	37	27
23-Dec-87	55	27	28
12-Jan-88	57	43	14
27-Jan-88	69	30	39
17-Feb-88	57	30	27
24-Mar-88	15	6	9
24-May-88	28	14	14
26-Jul-88	16	10	6
29-Aug-88	32	21	11
27-Sep-88	17	12	5
28-Oct-88	11	5	6
4-Nov-88	4	1	3
22-Nov-88	43	25	18
21-Dec-88	42	30	12
30-Jan-89	27	17	10
15-Feb-89	12	10	2
3-Mar-89	15	13	2
13-Mar-89	20	5	15
30-Mar-89	4	4	0
13-Apr-89	6	5	1
30-May-89	1	0	1
Total	1103	579	524

周期の検討という視点からは、成魚を対象とするのが望ましい。2000年代初頭については雌雄とも1歳以上の成熟率は100%であったが、1980年代については雌雄とも成熟割合は100%未満であった(第3章1節)。このため1980年代と1986年級群の解析には若干の未成魚のデータが含まれる。

結 果

1986年級群の生殖腺体指数、比肝重値および肥満度の推移

生殖腺体指数 雌のGSIは1歳および2歳魚とも10月から緩やかに上昇し、11月の後半以後、急激に上昇した(Fig. 3-5)。そして、1歳魚は翌1月に、2歳魚は12月に平均値が最高となった。それらの値は1歳魚が 20.8 ± 9.7 、2歳魚が 26.2 ± 7.7 であり、見かけ上は2歳魚の方が高かった。しかし、1歳魚の中には、生殖腺の観察から未熟個体と産卵後の個体が含まれており(43尾中9尾)、それらを除くと1歳魚の平均GSIの最高値は25.3となり、2歳魚のそれと統計的な差は認められなかった(Welch's *t*-test $P=0.615$)。

雄のGSIは1,2歳魚とも10月に僅かに上昇した後、11月から急激に増大し、12月に平均GSIは最高値を示した(Fig. 3-5)。雄のGSIの急激な増加は雌よりも時期的にやや早く現れる傾向がみられた。平均GSIの最高値は1歳魚が 14.4 ± 6.4 、2歳魚が 15.7 ± 4.4 であった。1歳魚には未熟個体が含まれているため、それらを除くと平均GSIは16.2となり、雌と同様ピーク時におけるGSIの値に、年齢による差は認められなかった(*t*-test $P=0.767$)。

また、1,2歳魚とも平均GSIの最高値は雌よりも雌の方が高かった(1,2歳魚とも、*t*-test $P<0.01$)。

比肝重値 雌のHSIの平均値は1,2歳魚とも7月に最高を示し、それぞれ 2.19 ± 0.80 と 4.05 ± 1.11 であった(Fig. 3-5)。このように、魚体重に占める肝臓重量の割合は明らかに1歳魚よりも2歳魚の方が高かった。7月以後、HSIは産卵期に向けて徐々に低下し、GSI

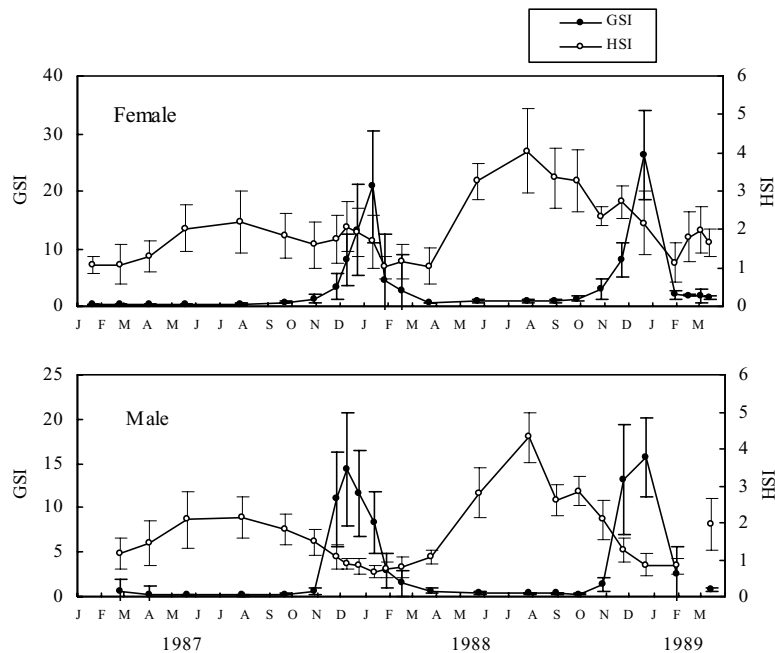


Fig. 3-5 Seasonal changes in gonadosomatic index (GSI) and hepatosomatic index (HSI) in the 1986 cohort of the marbled sole. $GSI = GW \times 100 / BW$. $HSI = LW \times 100 / BW$. GW, BW and LW are the weight of gonad, body and liver in gram, respectively. Vertical lines represent the range of standard deviations.

のピークが過ぎた翌1月に平均値は最低を示した。このときの1歳魚と2歳魚のHSIはそれぞれ、 1.01 ± 0.31 と 1.14 ± 0.52 で、それらの値に有意差はみられなかった。また、雌では、GSIの増加にやや先行するようにHSIの一時的な増加が11月下旬から12月上旬に認められた。

雄の場合もHSIの平均値は1、2歳魚とも7月に最高を示し、その値はそれぞれ 2.15 ± 0.57 と 4.31 ± 0.68 であり (Fig. 3-5)、雌と同様、2歳魚の方が明らかに高かった。また、雄では、雌に見られたような産卵期前の一時的なHSIの増加は認められなかった。雄もHSIの平均値は1月に最低となり、その時の1歳魚と2歳魚の値はそれぞれ 0.66 ± 0.16 と 0.82 ± 0.22 でそれらの間に有意差はみられなかった。また1歳魚および2歳魚とも、平均HSIの最高値に雌雄間の差は認められなかった (Mann-Whitney's *U*-test $P=0.666$ と $P=0.448$)。肥満度 雌1歳魚のCF1とCF2は5月に高い値を示した後9月まで緩やかに低下した (Fig. 3-6)。その後、CF1は1月前半頃まで一時的に増加し、産卵後、一気

に低下した。一方、CF2は9月以後12月始めまで概ね横這いに経過した後、産卵終期に向けて急激に低下した。このように、CF1とCF2の値には生殖腺が肥大し始める10月頃から産卵が終了するまでの間に明らかな差異が認められた。1月後半に最低値を示したCF1とCF2は以後月を追って増加し、4ヶ月後の5月頃にはほぼ最高値に達した。全般に、1歳魚よりも2歳魚の肥満度は高かった。

雄においても産卵期を中心にCF1とCF2の差異が認められた。1歳魚で比較すると、雄の産卵期前のCF1の増加は雌に比べて急であり、産卵終期の低下は逆に緩やかであった。雄も1月後半の最低値から4ヶ月後の5月には肥満度はほぼ回復した。また、全般的に1歳魚よりも2歳魚の肥満度のほうが高かった。

生殖腺体指数と肥満度の平均的な季節変化

調査年代が異なる2つの期間について、月ごとのデータを平均して得たGSIの変化をFig. 3-7に示す。季節変化の基本的なパターンには調査年代による大きな違いは雌雄とも認められなかった。雌雄ともGSI

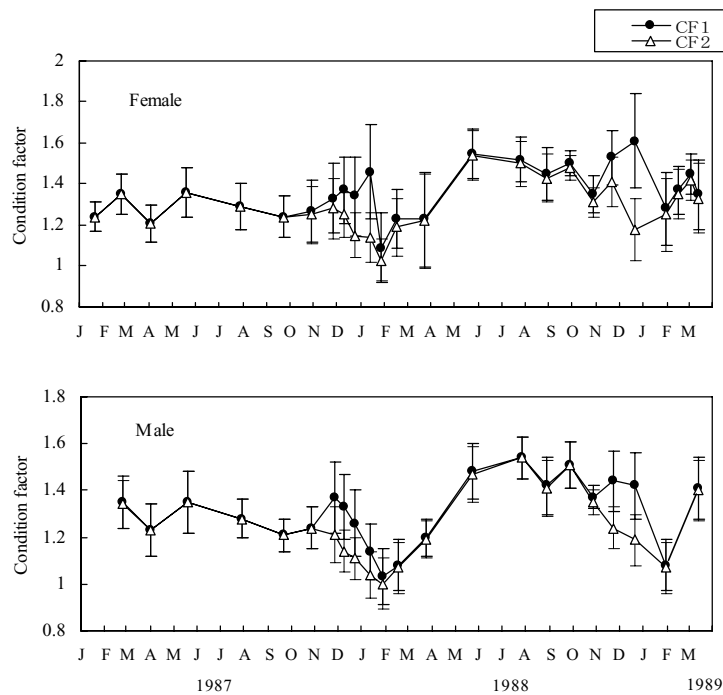


Fig. 3-6 Seasonal changes in condition factor CF1 and CF2. $CF1=BW \times 10^5 / TL^3$. $CF2=(BW-GW) \times 10^5 / TL^3$. BW and GW are the weight of body and gonad in gram, respectively. TL is total length in mm. Vertical lines represent the range of standard deviations.

は11月から明らかに上昇し、12月に最高値を示した後、1月に低下した。雌の3~9月および雄の3~10月のGSIは低く1未満であった。雄では産卵期のGSIが、2000年代初頭の方が低い傾向が見られた(11月: Mann-Whitney's *U*-test $P < 0.01$)。

肥満度(CF2)も調査年代間で、平均的な季節変化

のパターンには顕著な違いは見られなかった。1月に年間の最低値を示し、その後は5月頃まで徐々に上昇して年間の最高値を示した(Fig. 3-8)。5月以後は9月頃まで横ばいか若干低下気味に推移し、その後、産卵期の12~1月に向けて低下する季節変化を示した。このような平均的な季節変化のパターンに雌雄で大

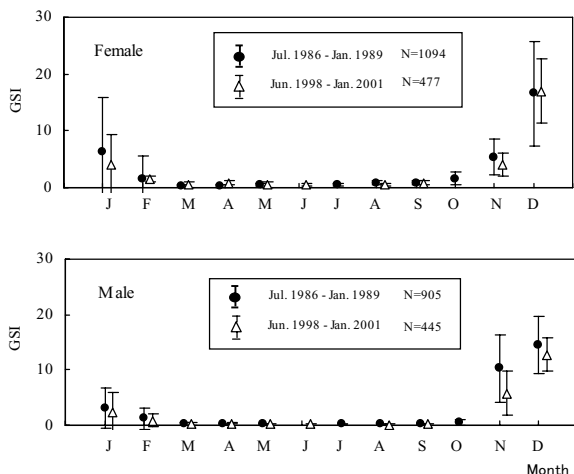


Fig. 3-7 Seasonal changes in gonadosomatic index (GSI) of marbled sole sampled in July 1986 - January 1989 and in June 1998 - January 2001. $GSI=GW \times 100 / BW$. GW and BW are gonad weight and body weight in gram, respectively. Vertical lines represent the range of standard deviations.

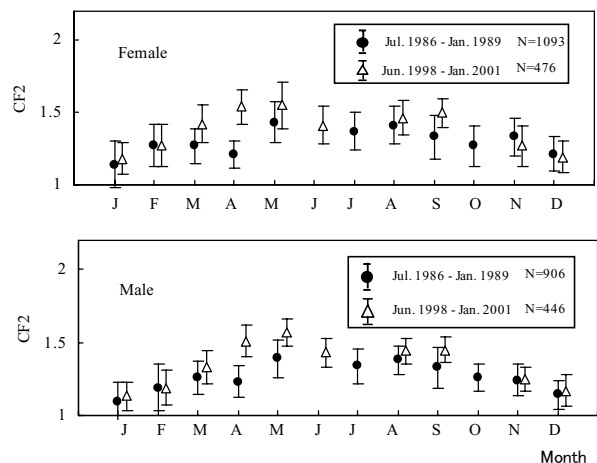


Fig. 3-8 Seasonal changes in condition factor (CF2) of marbled sole sampled in July 1986 - January 1989 and in June 1998 - January 2001. $CF2=(BW-GW) \times 10^5 / TL^3$. BW and GW are the weight of body and gonad in gram, respectively. TL is total length in mm. Vertical lines represent the range of standard deviations.

きな違いは見られなかった。肥満度の増加期である3～5月の値は2000年代初頭のほうが雌雄とも高い傾向がみられた。平均肥満度が最高となる5月の値を比較すると、雌では1980年代が1.43、2000年代初頭が1.55であり、有意差が認められた (t -test $P<0.01$)。また、雄についても1.39と1.57で有意差が認められた (t -test $P<0.01$)。

考 察

高橋ほか(1983)は、陸奥湾のマコガレイは産卵後に一旦冬季の摂餌停滞期に入り、春季から活発な摂餌活動を開始するため、魚体の回復までに約8ヶ月を要すると述べ、成魚の生活年周期を、Wintering (Jan. - Apr.), Recovering (May - Aug.), Maturing (Sep. - Nov.) および Spawning (Dec.) の4つの期間に区分している。また、Shafiepour *et al.* (2004)は、北海道南部の木古内湾のマコガレイは産卵後直ちに摂餌を開始し、4ヶ月以内に魚体を回復させると述べ、成魚の生活年周期を Active feeding & Recovering (May - Jul.), Inactive feeding (Aug. - Jan.) および Spawning (Feb. - Apr.) の3つに区分している。播磨灘・大阪湾では、1986年級群 (Fig. 3-6) の肥満度の推移、また平均的な肥満度 (Fig. 3-8) の推移から、産卵後の魚体の回復には雌雄とも約4ヶ月を要すると推察され、回復期間について見れば木古内湾の結果に近かった。本報では摂餌強度の調査はしていないが、上記と同様な考え方で区分するならば、播磨灘・大阪湾のマコガレイの生活年周期は Recovering (Feb. - May), Immature & Maturing (Jun. - Nov.) および Spawning (Dec. - Jan.) の3区分が妥当と考えられる。

1986年級群の雌のCF1は1歳魚、2歳魚とも産卵前に一時的に上昇しており、その時の値は、1歳魚および2歳魚とも5月より高かった (Fig. 3-6)。高橋ほか(1983)が述べているように、Recoveringの後は摂餌強度が低下し、次の産卵期に向けて肥満度は徐々に低下していく。特に生殖腺が肥大する時期はさらに摂餌

強度が低下すると推測される (松浦 1969b)。このように魚体が回復し肥満度がピークに達して以降、産卵までの間は、魚体に蓄えられたエネルギーが産卵に向けて消費されていく時期である。したがって、CF1の一時的な増加は魚体のエネルギーの増大によるとは考えにくい。CF1とCF2との差異から判断して、産卵期前の雌のCF1の増加は卵巣の肥大と関連した生理的な現象と考えられる。マコガレイについては、最終成熟の段階 (胚胞移動期以後) で多量の水が卵巣内に取り込まれ (尾城・日比谷 1981a, 1981b)、体重が20%近く増加することが飼育実験により明らかにされている。しかし、この急激な吸水現象は排卵を挟む比較的短期間に起こる現象と考えられる。一方、本報ではCF1の増加は11月からみられ、この時の平均GSIは1歳魚が3.4、2歳魚が3.1であり、辻野ほか(1997)が報告している生殖腺熟度指数と平均卵径の関係からみて、卵径は0.3mm程度と推定される。したがって、11月時点の卵はまだ卵黄の蓄積期にあると考えられる。このことから、卵巣への水分の取り込みが卵の最終成熟期だけでなく、もう少し前の段階から徐々に行われている可能性もある。雄のCF1についても産卵期前に一時的な増加現象が認められた。生殖巣の水分含量が排精時に高まることはキンギョの雄で報告されている (Clemens and Grant 1964)。マコガレイにおいても精巣の肥大に伴って水分の取り込みが行われるのかも知れない。

産卵期前のHSIの上昇は、肝臓における卵黄前駆物質 (ビテロジェニン) の合成と関連した変化と推察される (Aida *et al.* 1973a, 1973b; 隆島 1974)。本報においてHSIは、雌雄とも7月頃を中心とする夏に最も高く、産卵後の1、2月頃に最も低くなるという年周期を示した (Fig. 3-5)。しかし、雌ではGSIのピークに先だってHSIの一時的な上昇がみられたのに対し、雄ではそのような現象は見られなかった。卵巣の肥大に伴い肝臓重量が増加する現象はニジマスでも報告されている (Takasima *et al.* 1971; 野村 1963)。また、マサ

バでは、卵形成期になると雌の肝臓重量は急激に増えるが、雄ではそのような現象はみられないことが報告されている(野口・尾藤 1953)。本報で雌の HSI の上昇が認められた 11 月から 12 月前半は、卵の成長期にあたり、卵黄物質の蓄積が盛んに行われている時期と推察される。

同一海域においてマコガレイの生活年周期の年代的な変化を述べた例はほとんどないが、Kume *et al.* (2006) は東京湾において、1980 年代の中頃と 2000～2004 年では産卵期に変化がないことを報告している。本報においても 1980 年代と 2000 年代初頭では、平均的な GSI および肥満度の季節変化のパターンに顕著な違いは認められなかった。このことから、当海域のマコガレイの生活年周期が大きく変化していることはないと考えられる。春～初夏の肥満度は 2000 年代初頭のほうが高い傾向が認められた。また、雄の 11 月の GSI は 2000 年代初頭の方が低かったが、これらの点については今後も検討する必要がある。

3-3 性比と産卵数

性比や産卵数の情報は資源解析の過程で産卵親魚量や産卵量を求める場合に必要となる情報である。マコガレイの性比については断片的に記載されている例はあるが(Hatanaka and Iwahashi 1953; 松村ほか 1974; 辻野ほか 1997)、詳しく検討された報告はみられない。性比は雌雄の棲み分けやサイズおよび年齢によって変動することがあるため(吉原・久保 1969)、種全体の性比を正確に把握することは難しいと考えられる。本研究では標本を漁法別、季節別、年齢別および全長別に区分し、各区分における性比を明らかにした。また、漁獲物の全長区分別性比が成長に伴って変化することを漁獲のシミュレーションによって示した。魚類の性の決定が水温の影響を受けることはよく知られている(山平 2003)。播磨灘の年平均水温は、本調査の期間である 1986 年から 2001 年までの 15 カ

年間で約 1℃ 上昇している(堀ほか 2005)。また近年、魚類の性比に影響を与える可能性のある物質として、内分泌攪乱物質の問題が取り上げられるようになった(清水 1999)。本報では資源生物学的視点だけでなく、このような環境変化がマコガレイの性比に影響しているかどうかを見るため、性比の経年的な変化についても検討した。

マコガレイ卵の発達様式は部分同時発生型に分類され(石田・北片 1982)、ほとんどの卵が一度に放出される(松浦 1969a, 1969b)。したがって、マコガレイでは、産卵数(孕卵数)は抱卵数とほぼ等しいとみなすことができる。そこで、本報では播磨灘・大阪湾および紀伊水道北部で漁獲されたマコガレイの抱卵数を調査し、その産卵数を推定した。

材料および方法

性比

標本魚 性比の分析には Table 2-1 に示した標本のうち、播磨灘・大阪湾で漁獲された 6096 尾のデータを用いた。漁法別内訳は、小型底びき網 5505 尾、延縄 126 尾、刺網 319 尾、不明 146 尾である。性比は雌雄合計に対する雌の割合で示した。

全長区分別性比のシミュレーション 雌雄に成長差がある場合に、漁獲物の全長区分別性比がどのように変化するのかを調べる目的でシミュレーションを行った。計算は雌雄別に満 1 歳の時点で初期値(100 尾とした)を与え、コホート解析の前進法(木元・畔野 1990)により漁獲尾数を求めた。漁獲尾数の算出単位は 1 ヶ月とし、この間の自然死亡係数と漁獲死亡係数は年間値の 12 分の 1 とした。成長は満 1 歳以後、1 ヶ月ごとに雌雄別に計算した。得られた漁獲尾数を成長式から求めた全長区分ごとに雌雄別に集計し、性比を計算した。計算に用いた資源特性値と成長式および全長と標準体長の関係式は次のとおりである(反田ほか 1989)。

漁獲死亡係数 (F) = 0.830

自然死亡係数 (M) = 0.553

$$\text{雌 } BL = 309.1 \{1 - e^{-0.422(t-0.195)}\}$$

$$\text{雄 } BL = 264.4 \{1 - e^{-0.435(t-0.0165)}\}$$

$$TL = 3.99 + 1.19 \times BL$$

BL: 標準体長 (mm) TL: 全長 (mm)

t: 年齢

産卵数

標本魚は 1987 年および 1988 年の産卵期に明石と福良 (Fig. 2-1) に水揚げされた雌のマコガレイ 100 尾である。標本魚の全長と標準体長は mm 単位で、体重は 0.1g 単位で測定した。抱卵数は次の重量法により求めた。1 個体につき左右卵巣の各 2 カ所、合計 4 カ所からサンプリングし、各々の重量を mg 単位で測定した。次に、Gilson 氏液の氷酢酸量を 2 倍にした液を用いて卵を分離し、計数した。計数値をサンプリング重量比率で除して抱卵数とした。

結 果

性比 性別の判定に供した 6096 尾のうち雌雄不明は 3 尾であった。性別が判定できた 6093 尾のうち雌は 3299 尾で性比は 0.54 であった (Table 3-9)。このように調査尾数全体では雌の方が多かった (χ^2 test $P < 0.01$, 期待値 1:1, 以下同じ)。性比は全長とともに変化した。すなわち、全長 160mm 未満はほぼ雌雄同数であるが全長 160~219mm になると雄が多くなり、全長 220~239mm で再び雌雄同数となった後、全長 240mm 以上では雌の割合が高くなった。特に全長 320mm 以上の大型魚は 90%以上が雌であった (Table 3-9)。漁法別では小型底びき網と延縄は雌の割合が高く、逆に刺網は雄の割合が高かった。このように漁法によって性比に違いが認められた (Table 3-10)。月別では、小型底びき網は 1 月と 2 月および 10 月は雌が多く、その他の月は雌雄の数に有意な違いは見られなかった。このように、小型底びき網では産卵期に雌の割合が高くなる傾向が認められた。一方、刺し網は産卵期の 12~1 月

は明らかに雄の割合が高く、標本全体でも雄の割合が高かった。延縄は調査を行ったいずれの月でも雌が多かった。年齢査定を行った 3883 尾について年齢別性比を計算した。Table 3-11 には 1 歳魚以上の結果を示したが、0 歳魚は 3883 尾中 3 尾だけであり、その内訳は雌が 1 尾と雄が 2 尾であった。1 歳魚の性比は 0.48 で雌雄割合は 1:1 に近いが、統計的には有意に雄が多かった。2 歳魚以上の性比は 0.56~0.75 で逆に雌が多かった。性比に経年的な変化があるかどうかを見るため、標本数の多い小型底びき網について、ほぼ 3 年ごとに期間を区切って性比を計算した (Fig. 3-9)。各期間の

Table 3-9 Sex ratio of marbled sole by total length class.

Total length class (mm)	Number		Sex ratio (Female/Total)
	Female	Male	
≤ 139	23	23	0.50
140-159	118	122	0.49
160-179	255	316	0.45**
180-199	395	613	0.39**
200-219	555	622	0.47*
220-239	489	484	0.50
240-259	472	330	0.59**
260-279	368	159	0.70**
280-299	274	83	0.77**
300-319	145	33	0.81**
320-339	94	7	0.93**
340-359	70	1	0.99**
360-379	24	1	0.96**
380-399	10	0	1.00**
400 ≤	7	0	1.00**
Total	3299	2794	0.54**

Expected sex ratio is a 1:1.

Levels of significant differences: * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$.

Table 3-10 Sex ratio of marbled sole by month and by fishing gear. Sex ratio: female / total.

Month	Compact trawl			Gill net			Longline		
	Number		Sex ratio	Number		Sex ratio	Number		Sex ratio
	Female	Male		Female	Male		Female	Male	
1	465	228	0.67**	44	75	0.37**			
2	277	200	0.58**				18	2	0.90**
3	218	205	0.52				31	10	0.76**
4	158	152	0.51				19	7	0.73*
5	193	200	0.49				24	15	0.62
6	110	134	0.45	73	61	0.54			
7	262	265	0.50						
8	276	250	0.52						
9	276	245	0.53						
10	151	102	0.60**						
11	213	179	0.54						
12	387	356	0.52	8	58	0.12**			
Total	2986	2516	0.54**	125	194	0.39**	92	34	0.73**

Expected sex ratio is a 1:1.

Levels of significant differences: * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$.

Table 3-11 Sex ratio of marbled sole by age.

Age	Number		Sex ratio (Female/Total)
	Female	Male	
1	1000	1105	0.48*
2	808	546	0.60**
3	179	106	0.63**
4	50	40	0.56
5	23	11	0.67
6≥	9	3	0.75

Expected sex ratio is a 1:1.

Level of significant differences: * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$.

性比は0.52~0.56の範囲にあり、いずれも雌の方が多い傾向が認められた。また、性比に経年的な変化は認められなかった (χ^2 test $P=0.235$)。

性比のシミュレーション 雌雄に成長差を与えた漁獲シミュレーションの結果、全長199mmまでは雄が多く、以後は、全長が大きくなるに従って雌の割合が高くなった (Fig. 3-10)。このように、漁獲物でみられた全長区分に伴う性比の変化は、漁獲のシミュレーションでも概略再現できた。

抱卵数 抱卵数 (BF) と全長および体長との関係はべき乗式で、また、体重との関係は1次回帰式で近似することができた (Fig. 3-11, Fig. 3-12)。それぞれの関係式は次式のとおりである。

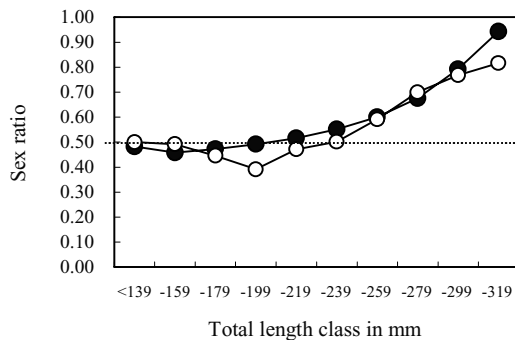


Fig. 3-10 Changes of the sex ratio (female / total) with total length. Solid circles show the results of the simulation using cohort analysis and open circles show the observed values (see Table 3-9).

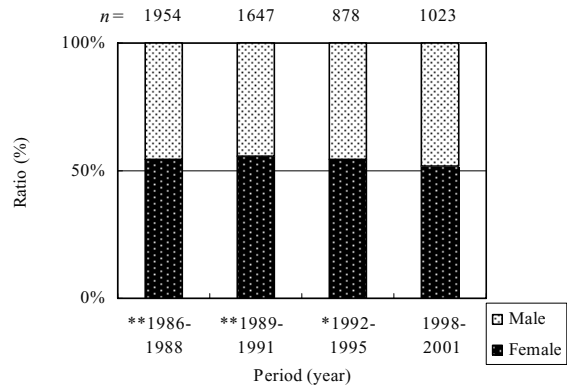


Fig. 3-9 Changes in the sex ratio of marbled sole sampled by compact trawl in Harima Nada and Osaka Bay from 1986 to 2001. Asterisks with periods show the levels of significant differences: * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$. Expected sex ratio is a 1:1.

$$BF = 0.00172 \times TL^{3.547} \quad (R^2 = 0.855; n = 100)$$

$$BF = 0.00691 \times BL^{3.411} \quad (R^2 = 0.851; n = 100)$$

$$BF = 2820 \times BW - 90568 \quad (R^2 = 0.867; n = 100)$$

TL : 全長 (mm) BL : 標準体長 (mm)

BW : 体重 (g)

これらの式からマコガレイの抱卵数は、全長200mmで約25万粒、250mmで約55万粒、300mmで約105万粒、350mmで約182万粒、400mmで約292万粒、450mmで約443万粒と計算された。また、体重100gで約19万粒、200gで約47万粒、400gで約104万粒、800gで約217万粒、1200gで約329万粒、1600gで約442万粒と計算された。

Table 2-9の全長と年齢の関係を用いて年齢別抱卵数を計算した結果、満1歳魚は約14万粒、満2歳魚は約54万粒、満3歳魚は約103万粒、満4歳魚は152万粒、満5歳魚は約193万粒と推定された。

考 察

本報の結果では、標本全体では雌が多かった。マコガレイの性比に関する報告は多くないが、備讃瀬戸の岡山県海域の調査結果によると、小型定置網および小型底びき網の標本とも雌が多く (松村ほか 1974)、ま

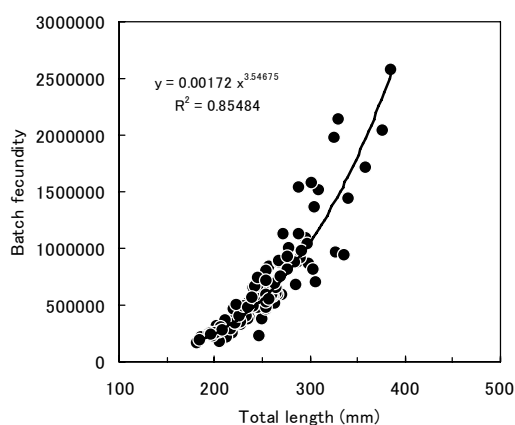


Fig. 3-11 Relationship between total length and batch fecundity in marbled sole.

た、仙台湾（Hatanaka and Iwahashi 1953）でも本報と同様、雌が多い結果が得られている。このようにマコガレイの性比については雌が多いという報告が多いが、大阪湾で小型底びき網と刺網を対象に調査した辻野ほか（1997）は、雌雄がほぼ同数生息していると述べている。しかし論文中に記載されている雌雄の実数を統計的に評価すると雄が多く（ χ^2 test $P < 0.01$ ）、調査海域が近接あるいは一部が重複しているにも関わらず、本報とは逆の結果が得られている。

漁法別では、小型底びき網と延縄で雌が多く、刺網では雄が多かった。延縄と刺網は調査月が偏っているが、性比に漁法依存性があることは明らかである。また、小型底びき網のデータから季節依存性も認められる（ χ^2 test $P < 0.01$ ）。したがって、標本の採集方法や採集時期の違いによって得られる性比は異なる可能性がある。先に本報と辻野ほか（1997）の結果との違いを述べたが、辻野ほか（1997）の調査では本報に比べ刺網の標本が多く、これが結果の相違の一因と推察される。資源調査で得られる性比はある特定の条件下での値であり、集団全体の性比を表していない場合も多いと考えられる。

産卵期である 12～1 月の漁法別性比に注目すると、小型底びき網では 1 月に雌の割合が特に高く、逆に刺

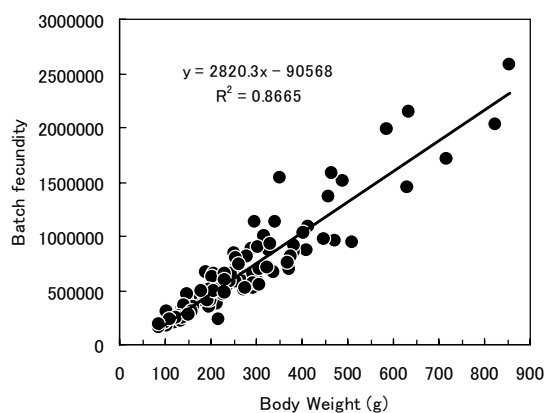


Fig. 3-12 Relationship between body weight and batch fecundity in marbled sole.

し網では雄の割合が高かった。通常、小型底びき網と刺し網では漁場が異なり、前者は沖合を後者は沿岸部を漁場としている。したがって上記の結果は、産卵期には雄は岸近くに、雌は沖合に分布する傾向があることを示唆している。辻野ほか（1997）も漁法別、月別の性比を検討し同様な推定をしている。また、第 3 章 4 節で示すように、産卵期に産卵場近傍の刺し網漁場で漁獲されるマコガレイには雄が多い。これらの事実はマコガレイが産卵時期に雌雄で異なった回遊をする可能性があることを示唆している。アカガレイでは、産卵場付近の水深帯に成熟した雄が集中的に分布し性比が偏ることが報告されている（山崎ほか 1999）。産卵期においてマコガレイで認められた漁法による性比の違いが、産卵場の分布や雌雄の行動とどのような関連があるのかについてはさらに詳細な調査を行う必要がある。

マコガレイのサイズ別の性比は、全長が大きくなるに従い変化した。すなわち、雌雄同数に続いて雄が多くなり、再び雌雄同数となった後は雌が多くなるという変化を示した。ヒラメにおいても、田代・一丸（1995）や厚地ほか（2004）はサイズ別の性比に変化があることを報告し、いずれも雌雄の成長差がその原因であろうとしている。しかし、本報で行ったような試算は

していない。今回、雌雄に成長差を与えて行った漁獲のシミュレーションによって性比の変化は概略再現できた。したがって、漁獲物にみられる性比の変化の主要な原因は雌雄の成長差にあるとみて良いであろう。マコガレイに限らず、雌雄に成長差がある場合には、漁獲物に見られる全長に伴う性比の変化は一般的に起こり得ると考えられる。

マコガレイの年齢別性比に関する記載はほとんどみられず、資源解析においても性比は年齢に関わらず1:1として扱われている(木本ほか1990)。しかし、本報において、1歳魚では雄が多く、2歳魚以上では高齢になるほど雌の割合が高くなることが明らかとなった。資源解析では実態に即した性比情報が用いられるべきである。年齢別性比が変化する原因は明らかでないが、雌の方が成長が速く、かつ、小型魚ほど漁獲され易い条件下であれば、加齢と共に雌の割合が高くなる可能性はあると考えられる。

水温が魚類の性決定に影響を与えることは良く知られており、例えば、カレイ目魚類であるヒラメ(山本1995)、マツカワ(Goto *et al.* 1999)、マコガレイ(Goto *et al.* 2000)については性分化期の水温が高いと雄の比率が高くなることが報告されている。例えばマコガレイは、水温感受期である全長25mmサイズにおける飼育水温が15°Cの場合は、雌の出現割合は50%であるが25°Cでは17.9%に減ずる(Goto *et al.* 2000)。天然環境下ではこのような急激な水温変化を受けることは考えにくく、本研究でもマコガレイの性比には経年変化は認められなかった。しかし海水温は上昇傾向が続いていることから、今後も継続的な調査が必要である。

内分泌攪乱物質については、天然に比べてかなり高い濃度であるが、実験条件下でメダカ等の性比に影響を与えるという報告がある(小山・角埜2000)。一方、天然では、東京湾のマコガレイで精巣卵が確認されているほか、雄から対象海域よりも高い血清ビテロジェニンが検出されている(Hashimoto *et al.* 2000)。しかし、

瀬戸内海の周防灘と広島湾でマコガレイを対象に調査した飯島ほか(2001)は、雄マコガレイから比較的高い血清ビテロジェニンが検出されたものの生殖腺組織に異常がみられなかったこと、および内分泌攪乱物質の濃度がマコガレイに生理的異常を引き起こすほど高くないことから、その影響はきわめて小さいか、ほとんどないと報告している。本報の結果だけでは、内分泌攪乱物質と性比の関係を論議することはできないが、これら既報の結果からみて、現時点では内分泌攪乱物質がマコガレイの性比に影響している可能性は低いと思われる。

性転換などをしない一般的な魚類の性比は1:1かそれに近いと考えられる(桑村2004;山平2003)。自然環境下では、マコガレイの性比もGoto *et al.* (2000)の実験結果などからみて、0歳魚の段階では1:1に近いと推察される。したがって、漁獲物にみられる性比の変化は、その後の雌雄の成長差や漁獲の影響などによって生じるのであろう。このことから、性比をモニタリングする場合は水温感受期以後の0歳魚を対象とするのが良いと考えられる。

抱卵数について東京湾(Kume *et al.* 2006)および大阪湾(辻野ほか1997)で得られている既報の結果と比較すると、本報で得られた抱卵数はいずれの結果よりも大きい(Table 3-12)。調査海域が重複する辻野ほか(1997)と比べても大きいことから、調査海域が同

Table 3-12 Comparison of batch fecundity in marbled sole.

Total length (mm)	Batch Fecundity ($\times 10^4$)		
	Eastern Seto Inland Sea ^{*1}	Osaka Bay ^{*2}	Tokyo Bay ^{*3}
200	25	22	18
250	55	45	38
300	105	82	69
350	182	135	115
400	292	207	178

*1 Present study

*2 Tujino *et al.* 1997

*3 Kume *et al.* 2006 (TL-BL conversion was by the formula in 2-1 section of this study)

じであっても、採集年度が異なれば調査結果に違いが生じる可能性があると考えられる。抱卵数に影響する要因として餌料環境などが考えられるが、マコガレイの抱卵数の継続的なデータがないため明らかでない。

3-4 産卵場

これまで、マコガレイの産卵場については産卵期前後の産卵親魚の分布状況や仔稚魚の分布および漁業者の情報などから推定されているだけである（南 1984; 高橋ほか 1986; 佐藤ほか 1990; 中神ほか 2001）。マコガレイは沈性粘着卵（岩井 1985）を産むため、天然海域で卵を採集することができれば、産卵場を特定するための重要な情報となる。しかし、天然海域でのマコガレイ卵の採集例は極めて少なく、松村ほか（1974）が播磨灘北西部の水深 30m 前後の地点においてソリ型ネットの底層曳きによって採集した例と、上城（1986）がソリ型の卵稚仔採集器具を用いて別府湾北部海域の水深 17m 地点において採集した例があるだけである。しかもそれらは数粒～十数粒の採集にとどまっており、具体的な産卵場の特定や、産卵基質の情報を与えるには至っていない。

瀬戸内海のように沿岸域の開発が進んでいる海域において産卵場が特定できれば、産卵場保全のための重要な情報を提供できると考えられる。また、産卵場を造成するための手法の検討に役立つ。

産卵場の特定には漁業者からの産卵親魚の蝟集などの情報が重要な手がかりとなるが、本研究では、漁業者からの情報をもとに播磨灘北部海域において潜水調査を行い、マコガレイ卵を現場で採集し、本邦で初めて産卵場を特定した。また、マコガレイ卵が採集された海域の底質および海底地形等を調査し、産卵場の形成条件について考察した。

材料および方法

調査海域 調査場所は播磨灘北部に位置する地ノ唐荷島と称する周囲約 0.6km の小さな島の南側の海域である（Fig. 3-13）。この海域で周年操業している刺し網漁業者によると、調査地点を設定した地ノ唐荷島とそれより少し沖合にある沖ノ唐荷島周辺では毎年産卵時期の 12～1 月に、その前後の月に比べて多くのマコガレイ親魚が漁獲されるという。この情報から当海域にマコガレイの産卵場が形成される可能性が高いと判断した。

調査は 2000 年 1 月 14～15 日と 2001 年 1 月 9～10 日に行った。潜水調査の実施にあたっては、地ノ唐荷島の南側に、岸から沖合に向けて海底にロープを沈め、2 つの定線を設定した（ライン 1 およびライン 2, Fig. 3-14）。2000 年はライン 1, 2001 年はライン 1 とライン 2 で調査を行った。ライン 1 の長さは 90m（2000 年調査では 60m）であり、岸側に設けた基点の水深は 0m（平均水面からの深さ、以下同じ）、90m 地点の水深

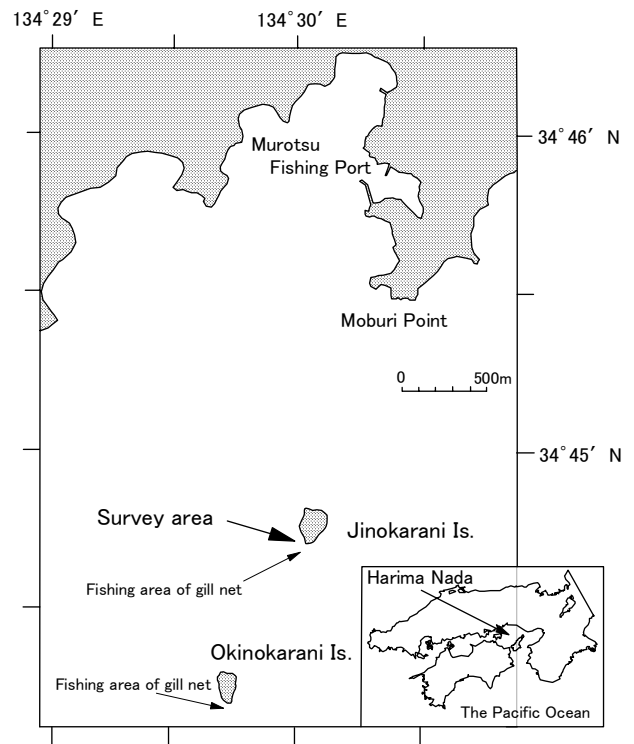


Fig. 3-13 Survey area of the spawning ground of marbled sole in the northern part of Harima Nada, the Seto Inland Sea.

は13m(60m地点は11m)であった。ライン2は120mであり、基点の水深は1m, 120m地点の水深は16mであった。調査時の水温と塩分は, 2000年が10.2°Cと29.79(海面下0.5m)および10.9°Cと30.77(海底上0.5m), 2001年が9.8~10.5°Cと31.25~32.20(海面下0.5m)であった。

潜水調査 マコガレイの卵は沈性粘着卵であるため, スキューバ潜水により卵の採集調査を実施した。調査内容は, 1)ライン周辺の海底状況と地形の観察, 2)水中ライトと拡大鏡を用いたマコガレイ卵の肉眼による探索, 3)マコガレイ卵検出用底質および底質分析用試料の採取である。卵検出用の底質は1地点あたり0.05m²をグラブ型の採泥器(スミスマッキンタイヤ型採泥器に似た形状のつかみ箱の部分に取っ手をつけたもの)を用いて水中で採取した。底質分析用試料も同じ方法で採取した。底質の分析項目は2000年が粒度組成, 2001年が粒度組成と強熱減量である。底質の採集地点数は, 2000年はライン1周辺の15地点(Stn.1~15), 2001年はライン1およびライン2周辺の各8地点(それぞれStn.16~23とStn.24~31)である(Fig. 3-14)。

卵の同定と底質分析 マコガレイ卵検出用の底質試料は10%ホルマリンで固定し実験室へ持ち帰った。試料はローズベンガルで染色後, かきませ法(山西1979)により比重の小さなものと大きなものに分離し, それぞれ0.5mmおよび1mm目フルイを用いてある程度のサイズの均一化を行った後に, 実体顕微鏡下で染色された卵を拾い出した。調査地点あたりの卵の出現数は単位面積(m²)あたりの卵数で表した。同定にあたっては, 以下の条件を満たすものをマコガレイ卵とした(狩谷・白旗1955; 松浦1969a; Yusa1960)。

①無脂球形卵である。②卵膜表面に特別な構造(亀甲模様, 小棘, 纏絡糸等)や突起はないが, 卵膜の外側は粘着層により覆われている。③卵径が0.7mm前後である。

また, 採取された卵は Nakai (1962) に従い発生段

階を次の3段階に区分した。

A ステージ: 受精してから胚体の筋節ができ始めるまで。B ステージ: 筋節ができ始めてから胚体尾部が卵黄から離れ始めるまで。C ステージ: 胚体尾部が卵黄から離れ始めてからふ化まで。

粒度組成の分析はフルイ法により行った。粒度区分はウエントワーススケールに従い(水野, 1968), 0.0625mm以下をシルト・粘土分, 0.0625~2mmを砂分, 2mm以上を礫分とした。強熱減量の分析条件は600°C, 2時間とした。

マコガレイ親魚の漁獲状況と成熟度調査 産卵場調査海域への産卵親魚の蟄集状況を把握するため, 刺網漁業者の日単位のマコガレイ漁獲尾数を調べた。この漁業者は2カ所で操業している(Fig. 3-13)。1カ所はFig. 3-14に示した調査ライン2のすぐ東側の水深約

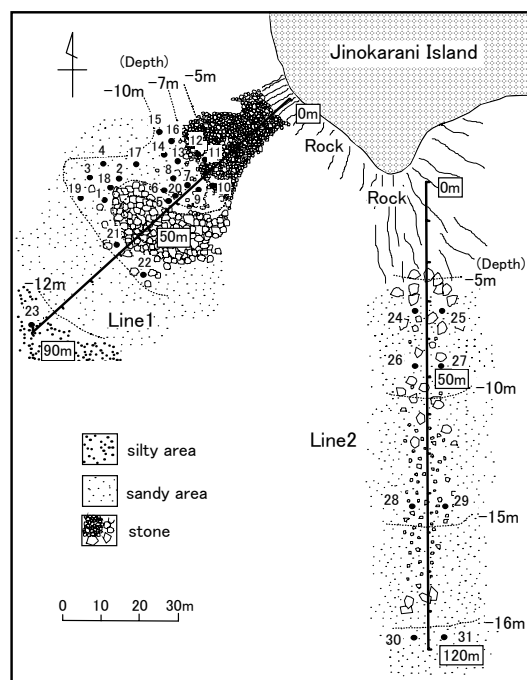


Fig. 3-14 Survey lines and sampling stations in the spawning ground of marbled sole. Small numerals indicate station number. Numerals in boxes show the distances from the starting points of the lines.

10m のエリア, もう 1 ヶ所は沖ノ唐荷島の南側の水深約 10m のエリアである。沖ノ唐荷島の南側では卵の採集調査は行っていないが, 事前の聞き取り調査結果から, マコガレイの産卵場が存在すると推測した場所である。刺網の漁獲尾数はそれら 2 ヶ所の合計であり, 両操業エリアの漁獲尾数を分離することはできなかった。調査時期は 1999 年 12 月～2000 年 1 月と 2000 年 12 月～2001 年 1 月である。また, 漁獲されている魚が産卵親魚であることを確認するため 2000 年 1 月 14 日, 2000 年 12 月 18 日と 28 日および 2001 年 1 月 10 日にマコガレイを入手し, 成熟度 (GSI=生殖腺重量 $g \times 10^2 / \text{体重 } g$) を調べた。

結 果

底質ならびにマコガレイ卵の分布 Fig. 3-14 に調査地点とその周辺の海底状況を示す。ライン 1 は基点付近が岩盤で, 沖に向かって人頭大ほどの天然の転石帯, 直径 1～2m の人工の投石帯と続き, ライン上 60m より沖側には投石や転石は見られなかった。底質は最も沖の Stn. 23 を除いて砂または一部で礫が主体であり,

シルト・粘土分の割合は 26%以下であった。Stn. 23 は泥質でシルト・粘土分が 76%を占めた。ライン 2 は基点から 22m 付近までは岩盤で, その沖には人頭大ほどの天然の転石が点在し, その中に直径 1～2m の岩がまばらに投石されていた。ライン上 110m より沖には投石や転石はなかった。底質は砂または一部で礫が主体であり, シルト・粘土分の割合は 20%以下であった。

潜水観察では延べ 6 時間にわたりマコガレイ卵の探索を実施した。水中ライトを照射しながら砂泥底および岩石の表面を観察し, 疑わしい場合は拡大鏡で確認したが, 肉眼でマコガレイ卵を確認することはできなかった。マコガレイ卵はすべて採集した底質サンプル中から見つかった。Table 3-13 に地点毎の卵の出現数と卵の発生段階および底質分析結果を示す。

2000 年のライン 1 の調査ではマコガレイ卵は投石帯と転石帯に囲まれた砂質域に設けた 15 地点 (Stn. 1～15) のすべてで採集された。1 平方メートル当たりの出現卵数 (卵密度) は 20～89,240 粒であった。調査地点の中では水深 9m 以深の Stn. 2, Stn. 4 および Stn. 14 で卵が多く出現した。この 3 地点の平均は 62,060 粒で,

Table 3-13 Density and developmental stage composition of marbled sole eggs and the grain size composition of sediments in each sampling station. Sampling at stations of 1-15 were carried out in 2000 and 16-31 in 2001. Developmental stages are based on the description of Nakai (1962). A: until myotome begins to appear after fertilization, B: from the end of A stage until tail end begins to separate off the yolk, C: from the end of B stage to hatching.

Sampling Station		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Number of Eggs/m ²		5940	39380	1280	89240	180	160	300	260	180	20	80	40	1720	57560	340
Developmental Stage (%)	A	79.5	98.2	95.7	99.2	100	87.5	100	100	71.4	100	100	100	88.5	99.7	77.8
	B	6.1	0	4.3	0	0	12.5	0	0	28.6	0	0	0	3.8	0	0
	C	14.4	1.8	0	0.8	0	0	0	0	0	0	0	0	7.7	0.3	22.2
Depth (m)		10.4	9.6	10.2	10.4	7.7	7.3	7.8	7.9	7.3	6.8	5.8	5.6	9.0	9.0	9.8
Grain Size Composition (%)	Silt・Clay	16	20	17	17	13	21	12	11	10	11	17	13	26	26	17
	Sand	63	56	34	44	46	25	45	54	52	61	52	70	33	56	39
	Gravel	21	24	49	39	41	54	43	35	38	28	31	17	41	18	44
Median Diameter (mm)		0.75	0.78	1.90	1.05	1.55	2.40	1.52	1.22	1.40	1.10	1.01	0.77	0.97	0.50	1.52
Ignition Loss (%)		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Sampling Station		16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Number of Eggs/m ²		120	200	0	80	20	20	0	0	40	40	260	120	64480	75900	80	40
Developmental Stage (%)	A	50.0	50	0	0	100	0	0	0	50	50	69.2	100	17.4	20.3	25	0
	B	16.7	50	0	0	0	0	0	0	50	15.4	0	22.9	40.6	25	100	
	C	33.3	0	0	100	0	100	0	0	50	0	15.4	0	59.7	39.1	50	0
Depth (m)		9.0	9.2	9.6	10.0	6.0	10.0	10.0	13.0	6.4	6.4	9.0	9.0	14.0	14.0	16.0	16.0
Grain Size Composition (%)	Silt・Clay	13	21	9	17	12	19	17	76	7	7	11	12	15	10	13	18
	Sand	61	56	83	48	53	51	46	20	49	57	52	67	43	52	30	36
	Gravel	26	23	8	35	35	30	37	4	44	36	37	21	42	38	57	46
Median Diameter (mm)		0.85	0.50	0.61	0.98	1.30	0.70	1.02	<0.063	1.65	1.30	1.13	0.80	1.45	1.40	2.80	1.60
Ignition Loss (%)		10.5	13.5	9.5	11.8	11.3	11.2	12.1	12.5	6.6	8.0	8.7	9.9	12.0	11.6	13.7	14.1

--: no data

それ以外の地点の平均は 875 粒であった。採集した卵の発生段階は、合計では A ステージが 98.5%、B ステージが 0.2%、C ステージが 1.3%であった (Table 3-13)。

2001 年のライン 1 の調査では 8 地点 (Stn. 16~23) のうち 5 地点で卵が採集された。採集卵数は 20~200 粒/㎡で 2000 年調査よりも少なかった。採集した卵の発生段階は、合計では A ステージが 40.9%、B ステージが 27.3%、C ステージが 31.8%であり、2000 年調査の時よりも発生段階の進んだ卵が多かった。

ライン 2 では調査した 8 地点 (Stn. 24~31) すべてで卵が出現した (40~75,900 粒/㎡)。特に、水深 14m の Stn. 28 と Stn. 29 は平均 70,190 粒で、それ以外の地点の平均 97 粒に比べ出現数が際だって多かった。採集した卵の発生段階区分は、合計では A ステージが 19.2%、B ステージが 32.4%、C ステージが 48.4%であった。また、Stn. 29 ではふ化直後の全長 2.3~2.6mm のマコガレイ仔魚が 16 個体見つかった。

産卵場周辺におけるマコガレイ親魚の漁獲状況と性比および成熟度 1999 年 12 月~2000 年 1 月における刺網の漁獲状況をみると (Fig. 3-15)、12 月中旬までは 1 日当たりの漁獲尾数は 100 尾未満であったが、その後急増し、12 月末には 500 尾前後が漁獲されていた。正月明けにも 600 尾以上漁獲されたが、これは、正月期間中は網を揚げずに設置したままであったため、数日分がまとまって漁獲された可能性がある。この結果から、1999~2000 年は年末に漁獲のピークがあったと推察される。2000 年 12 月~2001 年 1 月は前年に比べて漁獲尾数は少ないが、漁獲の推移には同様な傾向が認められた。このように産卵場付近で操業する刺網には 12 月下旬から 1 月上旬に他の時期に比べて多くのマコガレイが漁獲されていた。刺網で漁獲されたマコガレイの成熟状況を Table 3-14 に示す。2000 年 1 月 14 日に調べた 20 尾のうち雌は 8 尾であった。生殖腺の観察から 8 尾のうち 4 尾は産卵後の個体、3 尾は透明な熟卵を有しており、うち 1 尾は産卵途中の個体、2

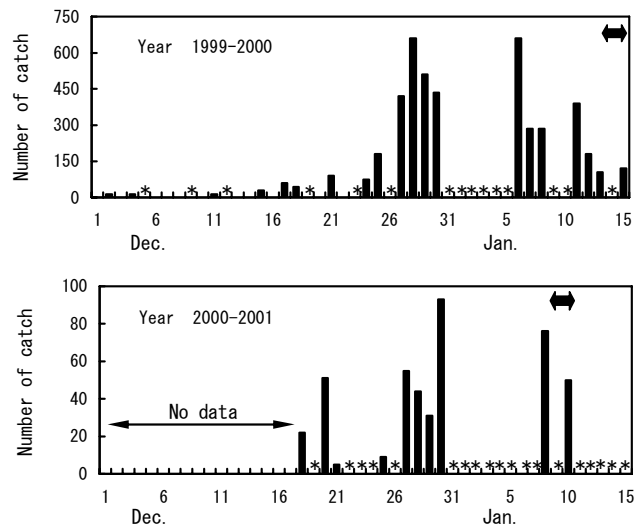


Fig. 3-15 Daily catch number of marbled sole by the gill net set around the spawning grounds (See Fig. 3-13). Asterisks show no gill net operation. Thick arrows show the date of the research dives.

尾は産卵直前の個体と推察された。一方、雄 12 尾のうち 8 尾は生殖腺を圧迫することにより精液が確認された。他の 4 尾の生殖腺はやや萎縮しており、放精を終えた個体と推定された。2000 年 12 月 18 日は調査した 22 尾のうち雌は 5 尾で、3 尾が透明卵を有しており、2 尾は産卵後の個体であった。また、雄は 17 尾中 15 尾で精液が確認された。性比 (雌尾数/全体) は 0.23 で有意に雄が多かった (χ^2 test, $P < 0.05$)。2000 年 12 月 28 日は調査した 44 尾中、雌は 3 尾のみで、いずれも透明卵を有していた。また、雄 41 尾中 40 尾で精液が確認された。性比は 0.07 で有意に雄が多かった ($P < 0.01$)。2001 年 1 月 10 日に調査した 4 尾はすべて雄であり、うち 2 尾からは精液が確認されたが、生殖腺の外観は 4 尾とも放精後の様相を呈していた。これらの結果から、刺網で漁獲されたマコガレイは産卵親魚であることが確認された。また、いずれの調査時においても雄が多い傾向がみられた。測定した 90 尾のうち雌は 16 尾であり、統計的にも雄が有意に多かった ($P < 0.01$)。

Table 3-14 Maturity conditions and sex ratio of marbled sole caught by the gill net set in the spawning ground. Sex ratio: female/total. Maturity level of female: Maturing, clear ova don't exist in ovary yet; Ripe, clear ova exist in ovary (include spawning); Spent, after spawning. Maturity level of male: Maturing, sperm doesn't exist in testis; Ripe, sperm exists in testis; Spent, after emission (sperm doesn't exist in testis). GSI: gonad weight (g) \times 100 / body weight (g). TL: range of total length.

Sampling date	Sex ratio	n	Female			Male		
			Maturing	Ripe	Spent	Maturing	Ripe	Spent
14 Jan. 2000	0.8	n	1	3	4		8	4
		TL (mm)	311	294-331	228-306		207-298	227-314
		GSI	23.0	9.4-43.8	4.1-6.4		1.2-5.4	0.9-1.4
18 Dec. 2000	0.23*	n		3	2	2	15	
		TL (mm)		252-315	234, 247	202, 250	192-248	
		GSI		27.5-30.1	3.4, 3.7	10.1, 15.5	7.9-15.2	
28 Dec. 2000	0.07**	n		3		1	40	
		TL (mm)		248-281		220	187-332	
		GSI		28.5-28.8		7.5	3.2-14.0	
10 Jan. 2001	0	n					2	2
		TL (mm)					198, 294	189, 210
		GSI					2.4, 2.9	0.9, 1.9
Total	0.18**	(Female 16, Male 74)						

* $P < 0.05$ ** $P < 0.01$ (Levels of significant differences. Expected sex ratio is a 1:1.)

考 察

卵の分布と産卵場 ライン 1 では 2000 年および 2001 年の 2 カ年続けて卵が採集されたことから、このライン周辺がマコガレイの産卵場となっていることが示された。卵密度は、2000 年に比べて 2001 年は少なかったが、これは両年の刺網の漁獲尾数からみて、2001 年は産卵親魚の来遊が少なかったためと推察される。2000 年 1 月 14 日、15 日に採集された卵の発生段階は 98.5% が A ステージであった。各発生段階までに要する期間は、A ステージが受精から約 3 日、B ステージは受精後 3~4 日、C ステージは受精後 5~10 日(ふ化)と推定される(山本 1939; Yusa 1960)。したがって、2000 年の場合は、調査時点の 3 日前以内に規模の大きい産卵が行われたと推定される。一方、2001 年 1 月 9 日、10 日には、出現卵数は少ないが B および C ステージの卵もそれぞれ 30% 程度出現したことから、規模の小さい産卵が複数回行われたと推察される。ライン 1 の 2000 年調査では、調査範囲内では水深が深い方の

Stn. 2, Stn. 4 および Stn. 14 で 10^4 を越える高い卵密度が認められた。マコガレイ卵は沈性粘着卵であるが、海水の動きによっては産出された卵がある程度輸送されることが考えられる。このため、浅い場所で産卵された卵が深い場所に移送された可能性は否定できない。しかし、大量に卵が出現した地点と、出現卵数は少ないが同様な水深をもつ近傍の地点では底質環境に際だった差がみられないことや、潜水調査で特に他の地点と異なる海底状況は観察されていないことから、大量発見地点で集中して産卵が行われたと推定される。

ライン 2 では、水深 14m に設定した Stn. 28 と Stn. 29 で卵密度が際だって高かった。この地点のシルト・粘土分および強熱減量の値はそれより浅い地点と比べるとやや高いが、沖側の水深 16m の地点よりも低かった。中央粒径値にも他の地点と区別できる特徴は認められなかった。また、付近の海底に比べて凹地を形成していることもなかった。このように、底質分析結果および海底形状からは、Stn. 28 と Stn. 29 が堆積物が集

積し易い環境にあるとは認められなかった。したがって、この2地点の周辺で集中的な産卵が行われたと推察される。マコガレイの産卵親魚が沖合から接岸してくると仮定すると、主な産卵地点と推定された Stn. 28 と Stn. 29 は、転石の散在域に進入してから 12~13m 進んだ場所にあり、転石の散在域の中では深い方(水深 14m)に位置している。この沖側の平坦な Stn. 30 と Stn. 31 でも卵は採集されたが、採集数は Stn. 28 および Stn. 29 の 0.1%程度と少なかった。また、Stn. 28 および Stn. 29 より浅い地点も採集卵数は少なかった。このことから、マコガレイ親魚は転石の散在域に進入して産卵するが、同じ散在域の中では、環境の変化が大きい浅場よりも、水深のある場所を産卵場として選ぶのではないかと思われる。実際、2カ年の調査で卵の出現した地点の水深範囲は 5.6~16.0m であるが、1平方メートルあたり 1万個以上の卵が出現した地点の水深は 9.0~14.0m であり、水深 9m より浅い地点では大量の卵は出現していない。

産卵基質 マコガレイの産卵について南(1984)は流れの速い岩礁上で産卵が行われるのであろうとしている。また、佐藤ほか(1990)は礁漁場には礁、礫、粗砂、貝殻片等の産卵基質が多く存在するだろうと述べている。このように両者は産卵基質の一つとして岩石の表面を想定している。今回の潜水調査では卵を肉眼で発見することは出来なかった。一方、採取した底質からは多数のマコガレイ卵が発見された。このことから、潜水観察による砂泥~砂礫底での卵の発見は極めて難しいと考えられる。また、岩石表面についても薄く浮泥が覆っていたため卵の発見は難しいと考えられた。このため、今回の調査では岩石表面が産卵基質になっているかどうかの確認は出来なかったが、砂質底で多数の卵が発見されたこと、また飼育条件下であるが、佐藤(1972, 1976)は砂を敷いた水槽内で産卵行動を観察していることなどから、マコガレイの産卵は岩礁や岩石近傍の砂泥~砂礫底で行われ、産出された卵の多くは海底上に分散すると推察される。

本報において砂質主体の海底が産卵基質になることが明らかとなった。したがって、今後は潜水調査によらなくても、船上からの底質採集によって、効率的にマコガレイの産卵場の確認調査が可能と考えられる。

卵の出現と底質 水深および底質と卵の出現状況の関係を Fig. 3-16 に示す。31地点のうちマコガレイ卵が出現したのは 28地点であった。卵密度が 10^4 以上であったのが 5地点、 10^3 オーダーが 3地点で、他の地点は 400粒以下の出現数であった。このように、卵の出現は一様でなく、幾つかの地点で集中して出現した。卵が確認された水深の範囲は 5.6~16m であった。このうち卵密度が高かった(10^3 粒以上)のは水深 9~14m であり、出現範囲の中では深い地点で卵密度は高かった(Fig. 3-16a)。出現地点の中央粒径値の範囲は 0.5~2.8mm であり、このうち卵密度が高かったのは 0.5~1.9mm の範囲であった(Fig. 3-16b)。シルト・粘土分については、卵が出現したのは 7~26%の範囲であり、底質が泥の地点(76%)では卵は確認されなかった(Fig. 3-16c)。砂分については 25~70%の範囲で、また礫分については 17~57%の範囲で卵が確認され、このうち卵密度が高かったのはそれぞれ 33~63%と 18~49%の範囲であった(Fig. 3-16d, 3-16e)。強熱減量の調査は 2001年だけであるが、卵の出現範囲は 6.6~14.1%で、 10^4 粒以上出現したのは 11.6~12%の範囲であった(Fig. 3-16f)。

マコガレイ卵が 10^3 粒以上出現した地点の底質が産卵場の形成条件の一端を表しているとする、その範囲は、中央粒径値では 0.5~1.9mm、シルト・粘土分では 10~26%、砂分では 33~63%、礫分では 18~49%、強熱減量では 11.6~12%となる。しかし、Fig. 3-17の三角ダイヤグラムに示すように、調査した底質の範囲は偏っており、産卵場に適する底質条件の境界値は正確には把握できない。特に、底質条件として重要と考えられるシルト・粘土分の調査範囲は Stn. 23の 76%を除くと 7~26%に集中している。Fig. 3-17によると、

粒度組成に差がなくても卵の分布密度には大きな違いが見られる。この原因としては、水深など粒度組成以外の要因のほか、マコガレイが濃密に集群して産卵するため、底質が同等な調査地点間でも卵密度に顕著な差が生じるのではないかと推察される。

本研究ではマコガレイの産卵場の底質条件の全貌を示すまでには至らなかった。しかし、マコガレイの卵を実際に採集することによって得た底質条件の範囲は、産卵場の形成条件の一端を示していることは明らかであり、産卵場の保護や造成等の情報として活用できると考えられる。

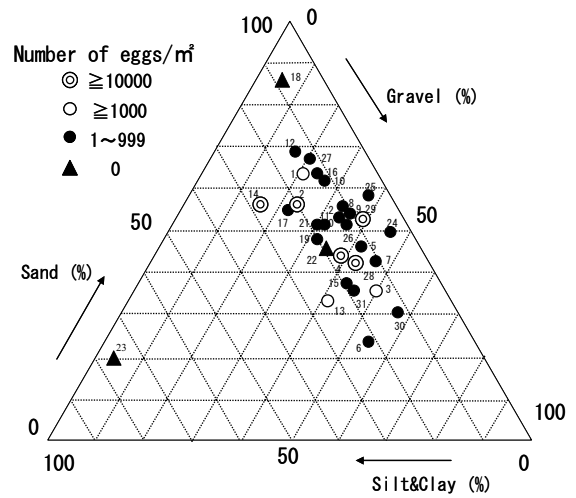


Fig. 3-17 Ternary diagram of the sediment contents and egg density. Small numerals show the sampling stations (See Fig. 3-14).

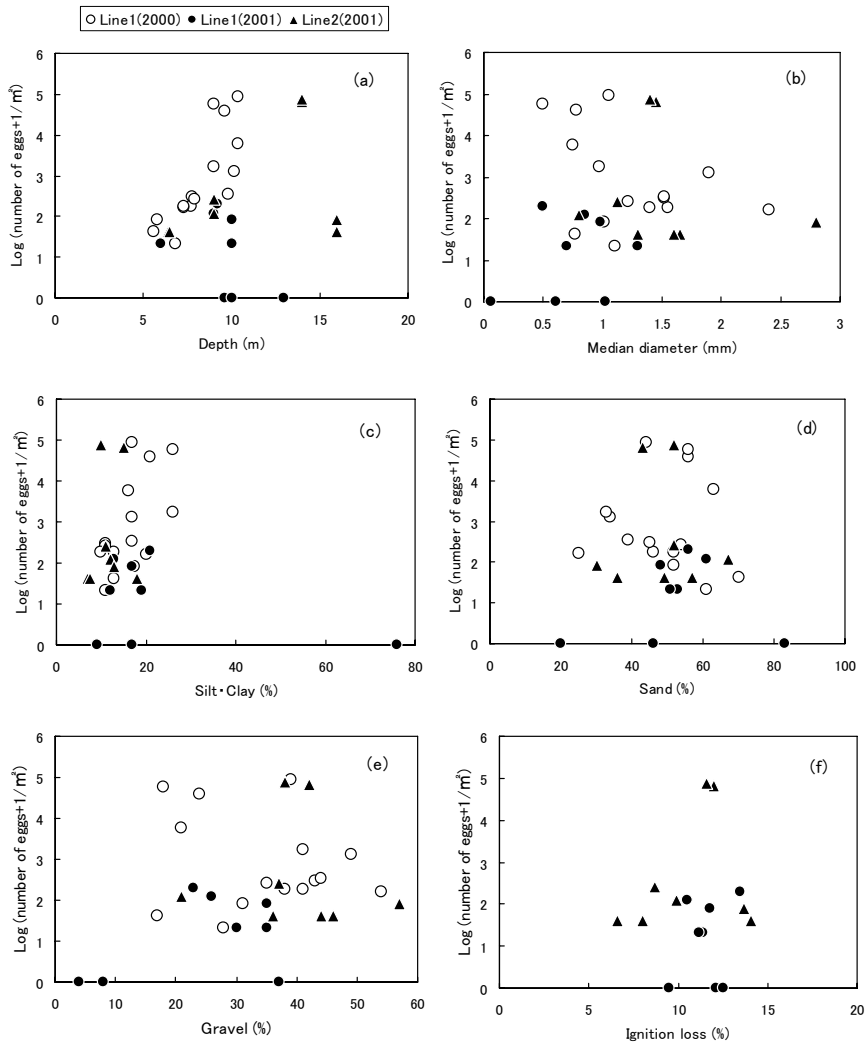


Fig. 3-16 Relationship between the elements of sediments and the density of marbled sole eggs collected in the surface sediment layer.

産卵場と海底構造 中神ほか(2001)は、函館湾の、海底に岩石がまばらに散らばり、細砂の底質が広がる水深20m付近にマコガレイの産卵場があると推定している。佐藤ほか(1990)は牡鹿半島周辺の天然礁近傍での調査結果から、礁と産卵行動との関わりが大きいと報告している。菊池ほか(1990)は、仙台湾におけるマコガレイ産卵群の漁場は水深40m以浅の細砂域や岩礁域であり、産卵群はかなり接岸すると推測している。辻野ほか(1997)は大阪湾北部の沿岸域に主産卵場があると推定している。瀬戸内海の小豆島北部海域でマコガレイ卵の採集に成功した松村ほか(1974)は、産卵場として、砂質底で凹凸が激しく潮通しが良い場所を想定している。また、香川県ほか(1975)は、沖合(水深15~20m)の岩礁地帯や洲でマコガレイの成熟親魚が集中的に多獲される漁場があることから、一般的には岸に近い岩礁地帯、洲、藻場等に接岸して産卵するが、適当な場所があれば沖合でも産卵するとしている。別府湾北部においてマコガレイ卵の採集に成功した上城(1986)は、採集位置の情報から、産卵は湾口から湾外の比較的水深の深い砂場であろうと推定している。

これらはいずれも産卵親魚の漁場などから推定されたものであるが、調査海域や報告者が異なるにもかかわらず、既報の7例のうち4例で産卵場と岩礁あるいは岩石との関連が述べられている。今回、マコガレイ卵を採集した播磨灘北部の地ノ唐荷島周辺は潮通しが良く、岩石の散在域が産卵場となっていた。この結果と既報の情報から判断して、一般的にマコガレイの産卵場の形成要因として岩礁や岩石の存在は重要であると考えられる。このような海底構造が必要である原因は明らかではないが、砂質海底における岩石や岩礁の存在は、海底上に産み落とされたマコガレイ卵の物理的な安定に寄与しているのかも知れない。

産卵場の水深 佐藤ほか(1990)が産卵場と推定した礁漁場の水深は40m前後である。菊池ほか(1990)は水深40m以浅、また中神ほか(2001)は水深20m付

近を産卵場と推定している。上城(1986)は卵の採集結果から産卵場を比較的水深の深い場所と述べているが、卵が採集された地点の水深は17mである。また、松村ほか(1974)が卵を採集した地点の水深は27~34mである。本調査で卵が採集された水深は5.6~16mであり、主な産卵水深を9~14mと推定した。また、五利江ほか(未発表)は兵庫県の淡路島南部の水深28mの地点で本報と同様な手法でマコガレイ卵を採集し産卵場を確認している。このように産卵場の存在が確認または推定されている水深には幅があり、特定の水深帯に産卵場が形成される傾向はみられない。産卵場の形成には、本報で明らかにした砂泥~砂礫底に岩石が散在する海底構造が重要であり、このような海底構造がどのような水深に位置するかによって、その海域の産卵場の水深が決まってくるのであろう。本報で確認された産卵場水深は既報と比較して最も浅い。水深の浅い場所は一般的に波浪の影響が及び易く水質の変化も大きいと考えられるが、調査海域周辺にはシルト質の平坦な海底が広がっており、海岸の近傍を除いて産卵場に適した海底構造が存在しないため、このような浅所でも産卵場として利用せざるを得ないのであろう。

産卵場における親魚の雌雄比 産卵場近傍の刺し網で採集されたマコガレイ親魚の雌雄は、2000年1月14日は雌8尾、雄12尾、2000年12月18日は雌5尾、雄17尾、同12月28日は雌3尾、雄41尾、2001年1月10日は雌0尾、雄4尾であり、いずれの時期においても雄が多かった。辻野ほか(1997)は大阪湾において全調査個体の性比(標本中の雌の割合)が50%に近いことを示すとともに、季節別、漁法別に漁獲物の性比を検討し、産卵期には沿岸域の産卵場で雄の割合が高くなると推測している。本報の結果はこの推測を支持している。このような性比の偏りは、産卵期におけるマコガレイ親魚の雌雄による回遊行動の違いに起因する可能性がある。山崎ほか(1999)は京都府沖合域におけるアカガレイの産卵期の分布様式につい

て検討し、水深 180~200m に産卵場が形成されることを示すと同時に、産卵場には産卵期間を通して完熟雄が集中的に分布するのに対し、雌は成熟に達した個体から順次産卵場に加わって繁殖活動を行い、産卵を終えると速やかに再び深い水深帯に移動すると推察し、その結果として産卵場における性が雄に大きく偏ると述べている。また、この現象は Emlen and Oring (1977) の "Lek mating system" に該当し、多回産卵に適応した繁殖戦略であろうとしている。今回明らかとなったマコガレイの産卵場についても、産卵期中に雄が多く分布し、そのほとんどが完熟雄であった。このことからマコガレイもアカガレイと同様な産卵生態を持つ可能性があるが、マコガレイ卵の発達様式は部分同時発生型であり多回産卵ではない(石田・北片 1982; 松浦 1969b)。しかし、群としてみれば成熟段階の異なる個体が存在し、約 1 ヶ月の産卵期間を持つ(第 3 章 1 節)。したがって、マコガレイのような同時産卵型の魚種においてもアカガレイと同様な繁殖戦略があるのかも知れない。

第 4 章 稚魚期の生態

兵庫県淡路島の東海岸地先には地元漁業者が”海津(あいづ)”と呼ぶ海底地形がある。”海津”は、砂質海底に石が点在し、それに海藻が繁茂する点在型の藻場である。刺網漁業者によると”海津”はカレイ類の好漁場であるとともに、マコガレイ稚魚の成育場になっていると言う。そこで本章ではまず”海津”域におけるマコガレイ稚魚の成長、食性、分布を明らかにし、点在型藻場の成育場としての意義について検討する。次に、マコガレイ稚魚の生息場所の選択にとって重要と考えられる底質条件のうち粒度組成に着目し、実験的研究によってマコガレイ稚魚の底質選択性を明らかにする。

マコガレイ仔稚魚の生態に関する研究は多い。浮遊期仔魚から着底期稚魚までの天然魚の形態発育史に

ついては南(1981)の、また、人工飼育下での仔稚魚の形態発育については睦谷(1988)の研究がある。それらによると、仔魚の浮遊期間は約 30 日で、着底は左眼が背正中線上に達する前後に起こり(南 1981)、着底時の全長は飼育仔魚では平均全長 9.7mm (14.27°C)である(睦谷 1988)。マコガレイ浮遊期仔魚が潮汐周期を利用して着底場所へ能動的移動をする事例は高橋ほか(1986)によって報告されている。仔稚魚の着底場所について、南(1981)は日本海の舞鶴湾における仔稚魚の分布から、湾中央部の水深 15m 前後の泥底に着底し、その後、湾奥の波打ち際に移動して幼稚魚期を過ごすと述べている。周防灘で調査した東海・伊東(1989)によると、マコガレイは体長 9mm で 2 月頃から水深 10m 以浅の岸近くに着底し始め、着底は 3 月を中心に 4 月まで続く。その後、成長に伴って沖合域へ移動するとしている。香川県ほか(1975)は播磨灘北西部での調査結果から、マコガレイ稚魚は 2 月中下旬~4 月上旬に全長 10~20mm で干潟域に着底するが、全長 20mm 前後までは夜間は浮遊する性質を残していると推定している。また、この海域では 7 月以後、全長 60~70mm 以上に成長した個体から沖合に移動するとしている。

マコガレイ浮遊期仔魚の主餌料は貝類幼生やカイアシ類ノープリウス等である(南 1981)。稚魚期以降、主餌料はカイアシ類からヨコエビ亜目やクーマ目などの小型甲殻類を経て多毛類へと変化するが、海域によって餌料生物が変化する稚魚のサイズや餌料生物種に多少の違いが見られる(香川県ほか 1975; 東海ほか 1988; 中神ほか 2000; 有山 2003)。

マコガレイ仔稚魚の被食に関する報告はほとんどないが、Nakaya *et al.*(2004)はエビジャコ *Crangon uritai* によるマコガレイ仔稚魚に対する捕食を報告している。また山口県(1983)は、魚類(アイナメ、メバル等)によるマコガレイ放流種苗に対する捕食事例を報告している。

4-1 点在型藻場におけるマコガレイ稚魚の生態

”海津(あいづ)”は水深が2~5mで、砂地に直径0.5~1.0mの転石が散在し、転石上にはカジメ、マクサ、アカモク等の海藻が繁茂し、点在型の藻場を形成している。そこで”海津”の構造と環境、マコガレイ稚魚の出現状況、成長と食性、並びに底生生物について調査を行い、成育場としての”海津”の意義について考察する。なお、以下では”海津”と点在型藻場を同義とする。

材料および方法

調査海域の概況

調査海域は大阪湾北西部の淡路島東海岸に位置し(Fig. 4-1)、調査エリア内に大きい河川はない。この海岸は沖に向かって大阪湾内では比較的急深な海底形状を有している。等深線は海岸線にほぼ平行しており、海岸線から沖合200~300mで水深は約10m、700~800mで約40mである。概略の底質は、水深5m以浅に砂質底および転石の分布がみられ、水深30~40mまでは砂質底、それより沖は砂泥底となっている。調査海域における水温と塩分については、Fig. 4-1のラインAの沖側の水深10m地点での観測結果があり、それによると1987年4月から1988年2月の間の表層水温は8.6(最低, 2月)~24.8°C(最高, 8月)、また、塩分は32.3(最低, 7月)~33.23(最高, 12月)であ

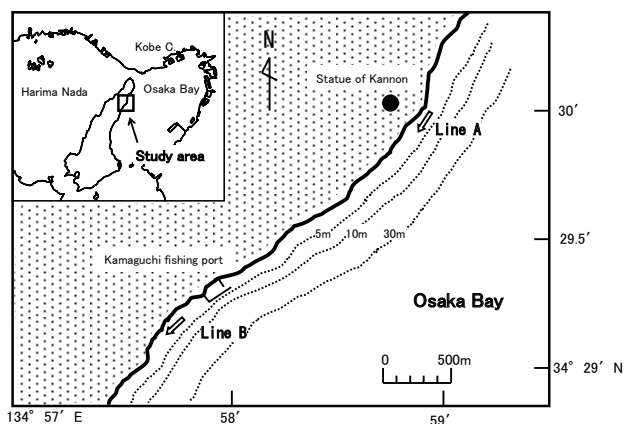


Fig. 4-1 Map showing study area.

った。

点在型藻場の構造調査

Fig. 4-1に示すラインAとラインBは後述する稚魚分布調査の観察ラインである。点在型藻場の構造調査はラインA付近の20×20mの範囲を設定し、1987年8月4日に実施した。設定範囲内における転石の分布状況と被度、海藻の種類を潜水により観察・記録した。また、ラインAの陸側には観光用の観音像が建っており、その上から点在型藻場の写真撮影をした(1987年6月, Fig. 4-2)。

ライン調査

点在型藻場域(ラインA)および比較のため海底形状が単純な砂質域(以後、単純砂質域と呼ぶ:ラインB)の2つの海域を選び、Fig. 4-1に示すように海岸線と平行に長さ100mの細いロープを海底に沈め調査ラインとした。各ラインにおいて潜水により稚魚の出現状況、水質・底質および底生生物の調査を行った。水深は両ラインとも2.5~3.5m(平均水面からの水深、以下同じ)の範囲である。調査は1988年3月25-26日、4月21-22日、5月20-21日、6月20-21日、7月15-16日、8月26-27日、9月19-20日の計7回実施した。

稚魚の出現状況と胃内容物 潜水観察によりマコガレイの出現個体数を計数するとともに、観察したマコガレイの全長を1cm単位で記録した。観察面積は両ラインとも200m²(観察幅2m×100m)である。ライン観察時に採集可能な個体はたも網で採集した。また、ライン観察終了後、各ライン周辺において、約1時間マコガレイの採集を行った。採集したマコガレイは全長と体重を測定後、胃内容物の分析に供した。ライン観察では他の魚類および転石等に生えている海藻についても記録した。

ライン調査で採集したマコガレイは10%ホルマリン液で固定した後、胃内容物を取り出し、濾紙上で水分を除去後、全湿重量と餌生物の分類群別の個体数と湿重量(1mg単位)を測定した。分析にあたっては、できるだけ下位の分類群まで同定するよう努めた。胃内

容物組成は中神ほか（2000）と同様に次の3つの数値により検討した。

出現頻度（F%） 調べた標本尾数に対するその餌生物が出現した標本尾数の割合

個体数組成（N%） 出現した餌生物の総個体数に対するその餌生物の個体数の割合

湿重量組成（W%） 出現した餌生物の総湿重量に対するその餌生物の湿重量の割合

また、体重に対する胃内容物総重量の割合を胃内容物重量指数（SCI）とし、下式により求めた。

$$SCI = SCW \times 10^2 / BW$$

SCW：胃内容物重量（g） BW：体重（g）

水質・底質 水質調査では、各調査ラインの中央付近において海底直上の水温および溶存酸素飽和度を測定した。溶存酸素飽和度の測定には溶存酸素計（隔膜電極法 EIL 製）を用いた。底質調査では各ラインの中央付近において海底から深さ 10cm までの砂を潜水により採取した。採取した底質は粒度組成と COD の分析に供した。粒度組成の分析はウェントワーススケールに従い（水野 1968）、JIS 規格の淘汰フルイを用いて行った。COD は水質汚濁調査指針（松江吉行編 1965）に準じた方法によった。水質調査は 5～9 月の 5 回、底質調査は 3～9 月の 7 回行った。

底生生物 マコガレイ稚魚の餌料環境を把握するため、各ラインの中間地点付近で 25cm×25cm×深さ 10cm の砂を潜水により採取し、底生生物の分析に供した。調査は 3～9 月の 7 回実施した。底生生物は 0.5mm メッシュのフルイを用いて生物を分離し、分類群ごとの個体数と湿重量（1mg 単位）を計測した。底生生物の解析にあたっては、出現した生物の個体数に基づく集計と湿重量に基づく集計の 2 種類の方法により分析を行った。

結 果

点在型藻場の構造と周辺の底質

Fig. 4-2 は 1987 年 6 月 10 日に高所から撮影した点在



Fig. 4-2 View of scattered seaweed bed area named "Aizu" by fishermen.

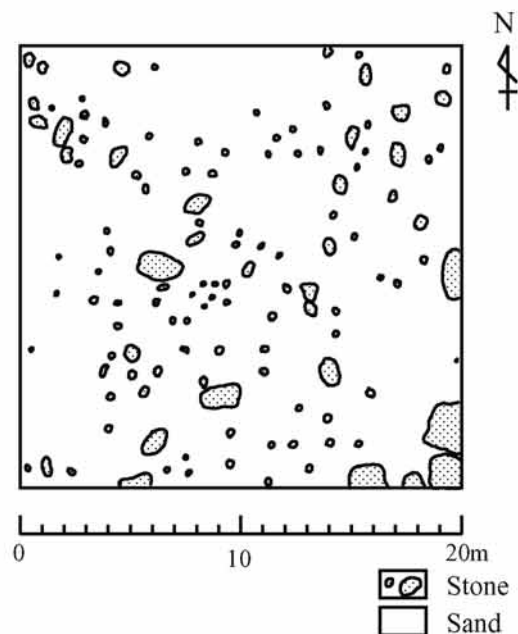


Fig. 4-3 Distribution of stones in scattered seaweed bed area.

型藻場の全景である。海中に黒く写っているのが転石であり、図の中央より右側には砂地に転石が散在している。このような海底構造が漁業者の言う“海津（あいづ）”である。潜水による海底構造の観察結果を Fig. 4-3 に示す。点在型藻場には砂地に大小の転石が散在している。20m×20m の観察エリア内における転石のサイズ別の概略の個数は、大型（φ1～2m）が 15 個、中型（φ0.5～1m）が 15 個、小型（φ10～50cm）が 100 個であった。大型の転石の間隔は 0～10m 程度で数mの間隔のものが多かった。観察面積内の転石被度は約 7%で

あった。転石上の主要な海藻の種類はカジメ、ヘラヤハズ、ウミウチワ、マクサ等であった。ラインBにおいても潜水観察を行ったが、転石はなく単純な砂質海底であった。

調査ラインの水質および底質環境

水温と溶存酸素 5月から9月までの海底付近の水温はラインAが16.0-24.9℃、ラインBが15.4-24.3℃で、いずれの月においても両地点で大きい違いはみられなかった。また、底層の溶存酸素飽和度はラインAが70~99%、ラインBが70~107%で両地点間に大きな差は認められなかった (Table 4-1)。

Table 4-1 Monthly changes in water temperature and saturation of dissolved oxygen at the bottom layer of Line A and Line B.

Date	Line A		Date	Line B	
	Temp. (°C)	DO (%)		Temp. (°C)	DO (%)
5/21/88	16.0	99	5/20/88	15.4	107
6/20/88	19.4	77	6/20/88	19.7	70
7/16/88	21.9	83	7/15/88	21.0	79
8/27/88	24.9	70	8/26/88	24.3	74
9/20/88	23.4	77	9/19/88	24.2	82

底質 両地点とも粒子径0.125~1.00mmの砂を主体とする砂質海底であった。7回の調査によるラインAの底質の中央粒径は0.398~0.483mm、ラインBは0.200~0.812mmで、両ラインの中央粒径値の平均値に差は認められなかった (t -test $P=0.60$) (Table 4-2)。しかし、ラインAの中央粒径値が比較的安定していたのに対し (変動係数 6.9%)、ラインBでは調査毎の変動が大きく (変動係数 52%)、両地点の分散には有意差が認められた (F -test $P<0.01$)。0.063mm以下のシルト分は、ラインAでは1%以下、ラインBでは0~6%であった。

Table 4-2 Characteristics of sediments of Line A and Line B.

Date	Line A		Line B	
	COD (O ₂ mg/dry·g)	Median diameter (mm)	COD (O ₂ mg/dry·g)	Median diameter (mm)
26 Mar.	1.52	0.483		0.812
21-22 Apr.	1.02	0.398	0.35	0.536
20-21 May	1.15	0.480	0.61	0.277
20-21 Jun.	1.00	0.444	0.59	0.406
15-16 Jul.	0.92	0.448	1.64	0.200
26-27 Aug.	1.07	0.420	0.88	0.297
19-20 Sep.	1.51	0.467	0.87	0.304

有機物量の指標であるCODの値(O₂mg/dry·g)は、ラインAが0.92~1.52 (平均1.17)、ラインBが0.35~1.64 (平均0.79)で、平均値はラインBの方が低い傾向がみられたが、統計的な有意差は認められなかった (t -test $P=0.216$)。

マコガレイの出現状況と食性ならびに底生生物

マコガレイの出現状況 Fig. 4-4に1m²あたりの0歳魚と1歳以上魚の出現個体数密度の推移を示す。0歳魚と1歳以上の区別は潜水時に観察した概略全長と採集したマコガレイの全長測定結果 (Fig. 4-5)を参考に判定した。ラインBでは3月に0歳魚の出現が確認された。採集した稚魚の全長は13~17mmで南(1981)の調査結果をもとに判断すると着底後間もない個体とみなされた。分布密度は3、4月とも低かったが5月に増加し、最大値(0.025尾/m²)を示した後は月を追うごとに減少した。一方、ラインAでは5月まで0歳魚はほとんど出現しなかったが、6月以後、ラインBの出現傾向とは逆に生息密度が増加し、9月の分布

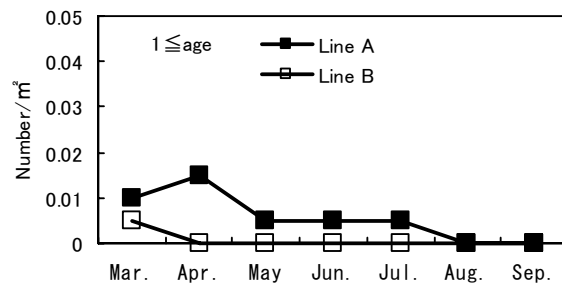
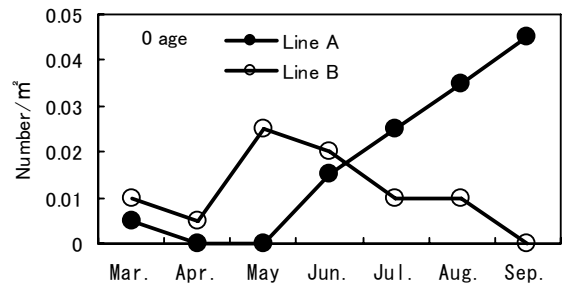


Fig. 4-4 Monthly changes of the density of marbled sole in the scattered seaweed bed area (Line A) and flat sandy seabed area (Line B).

密度は 0.045 尾/m²と最高値を示した。1 歳以上魚の分布密度は全般的に低かったが、調査期間を通して、ライン A の方が高い傾向にあった。一方、ライン B では 3 月に 0.005 尾/m²が確認されただけであった。

0 歳魚の成長 Fig. 4-5 にライン A およびライン B で採集されたマコガレイの全長分布を示す。全長の分布から、白抜き印の個体を 0 歳魚、黒印の個体を 1 歳以上魚と判定した。0 歳魚と 1 歳以上魚の全長は明かに分かれ、両者間には 3~5 月で 7cm 以上、6~9 月では 5cm 以上の差が認められた。0 歳魚の平均全長は 3 月の 15mm から 9 月の 111mm まで月を追って大きくなったが、成長の度合いには 3~5 月、5~6 月および 6~9 月の 3 つのフェーズが認められた。各期間の日間成長は 0.425mm, 1.132mm および 0.408mm であり、5 月下旬から 6 月下旬の間の成長が最も良かった。

胃内容物重量 0 歳魚の 1 個体あたりの胃内容物重量は 5 月までは 0.02 g 以下と少なかったが、稚魚の全長が 60mm 以上となる 6 月以降は個体によるばらつきが大きいものの全体として大きく増加した (Fig. 4-6)。最大値は 8 月に採集された全長 97mm の個体の 0.08g であった。空胃は 3~5 月にライン B で採集された 4 個体だけであり、ライン A では空胃個体は見られなかった。一方、胃内容物重量指数には月を追って低下す

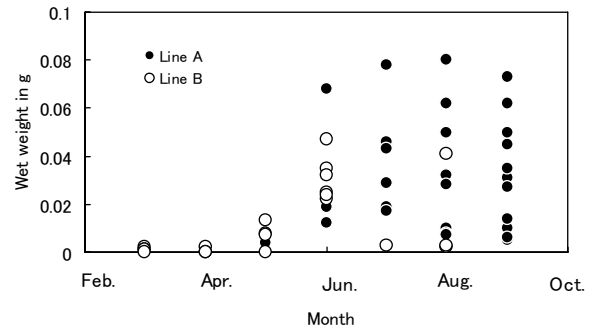


Fig. 4-6 Monthly changes in wet weight of stomach contents of 0 age marbled sole.

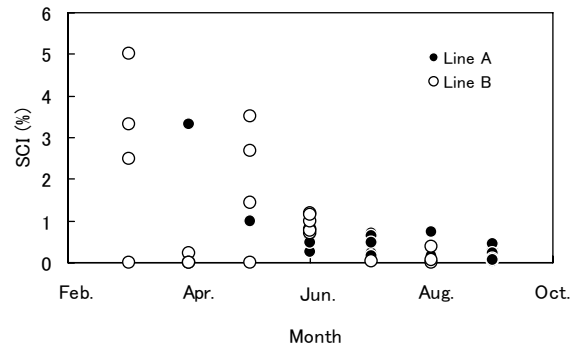


Fig. 4-7 Monthly changes in SCI of 0-age marbled sole. SCI = wet weight of stomach contents (g) × 100 / body weight (g)

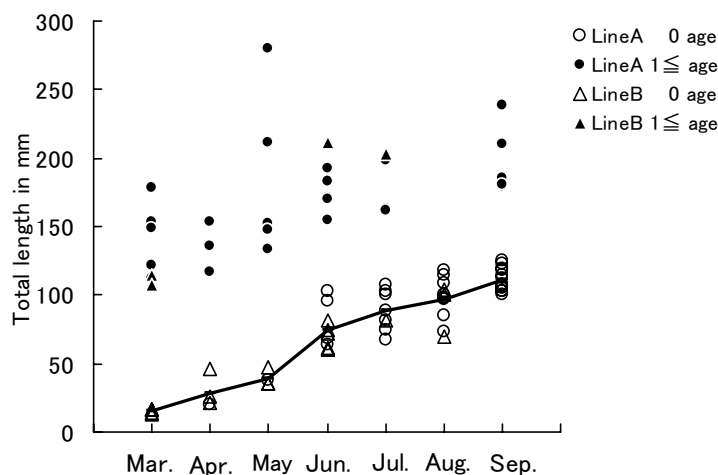


Fig. 4-5 Growth of merbled sole juvenile. Solid line shows the mean total length of 0-age fish.

Table 4-3 Food organisms of stomach contents in marbled sole. F% represents the percent frequency of occurrence, N% represents the percent by number and W% percent by weight.

Food organism	Total length (mm)														
	10-19		20-39			40-79			80-119			120-239			
	F%	N%	F%	N%	W%	F%	N%	W%	F%	N%	W%	F%	N%	W%	
Polychaeta	0	0	17	0	0	85	47	55	61	42	41	93	35	62	
Mollusca															
Bivalvia	0	0	0	0	0	15	0	2	34	0	23	64	2	21	
Other mollusca	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	1	2	
Crustacea															
Ostracoda	0	0	0	0	0	38	1	0	34	4	2	64	8	1	
Copepoda	100	100	17	9	0	0	0	0	11	1	0	14	1	0	
Cumacea	0	0	33	30	50	85	14	24	37	4	1	39	5	0	
Tanaidacea	0	0	0	0	0	31	2	0	39	3	0	32	3	0	
Isopoda	0	0	0	0	0	0	0	0	13	1	1	36	2	0	
Gammaridea	0	0	33	61	50	85	34	19	74	39	11	86	34	5	
Decapoda	0	0	0	0	0	8	0	0	21	2	4	18	1	0	
Other crustacea	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	1	54	1	1	
Others	25	0	0	0	0	23	1	0	26	3	16	57	7	7	
number of fish	4		6			13			38			28			

る傾向がみられた。すなわち、5月までは1以上を示す個体がみられたが、6月以後はほとんどの個体で指数は1以下となった(Fig. 4-7)。

食性 Table 4-3 に胃内容物の分析結果を示す。個体数組成(N%)では、全長19mm以下の稚魚はカイアシ類のハルパクチクス類 Harpacticoida を専食していた。全長20-39mmではカイアシ類のN%は9に減少し、代わってクーマ目が30、ヨコエビ亜目が61となった。全長40-79mmでは多毛類が最も多く出現し(N%47)、次いでヨコエビ亜目が34で、クーマ目は14に減少した。全長80mm以上においても多毛類とヨコエビ亜目が主で、両分類群合計のN%は約80であった。また、餌料対象となる生物種の範囲が広がる傾向がみられた。

湿重量組成(W%)でみると、全長20-39mmの階級ではヨコエビ亜目とクーマ目がそれぞれ50を占めた。全長40-79mmでは多毛類が主体となり(W%55)、ヨコエビ亜目とクーマ目の割合は低下した。全長80mm以上では、多毛類が主である点に変わりはないが、ヨコエビ亜目やクーマ目等の甲殻類が減少し、二枚貝類が増えた(W%20)。二枚貝類はほとんどが水管であった。

出現頻度(F%)では全長20-39mmの小型魚におい

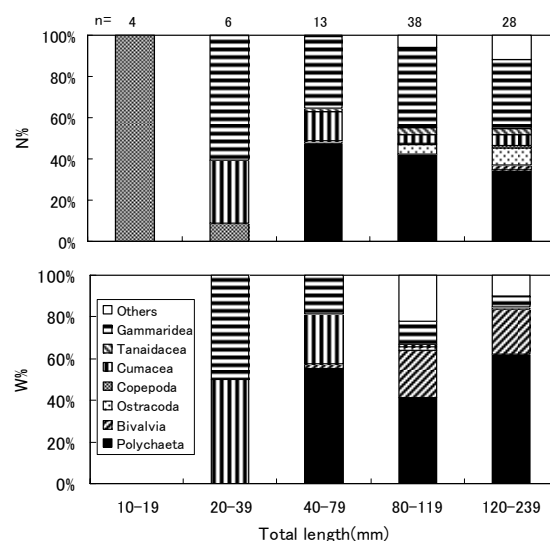


Fig. 4-8 Food compositions of stomach contents in marbled sole. N% is by number and W% by weight.

ても多毛類が17を示したのが特徴であった。また、N%やW%では全長80mm以上で甲殻類の割合が減少したが、F%では高い値を維持しており、マコガレイは成長に伴って、より多様な種類の生物を餌料として利用していることがうかがわれた。

個別の生物種をみると、ヨコエビ亜目のうち多かった種は *Aoroides* sp. と *Corophium* sp. であった。多毛類

は、全長 40-119mm では *Pseudopolydora* sp. , また、全長 120mm 以上では *Polydora* sp. が最も多く出現した。全長 20-79mm でみられたクーマ目のうち最も多かったのは *Dimorphostylis* sp. であった。

以上の分析結果から成長段階別の食性の推移を概観する。全長 19mm 以下の個体は専らカイアシ類を餌とするが、全長 20-39mm になると主餌料はクーマ目やヨコエビ類に大きく変化する。さらに、全長 40-79mm になるとクーマ目やヨコエビ類が減少し主餌料は多毛類に変化する。全長 80mm 以上では多毛類に加えて軟体動物（主に二枚貝類の水管）の占める割合が高くなるとともに、餌料となる生物種の範囲は広がる (Fig.4-8)。

0 歳魚の胃から検出された餌生物の 1 個体あたりの平均重量とマコガレイの全長との関係を Fig. 4-9 に示す。甲殻類についてみると、大きなマコガレイほど、1 個体の重量が大きい餌を利用している傾向がみられた。餌となっていた甲殻類 1 個体の平均重量の最大は 0.007g で、0.01g を超えるものはなかった。環形動物では餌の平均重量とマコガレイの全長との間に明瞭な関係はみられなかった。餌となっていた多毛類 1 個体の平均重量の最大は 0.005g で、0.01g を超えるものはなかった。

底生生物 先の食性の分析結果から、マコガレイの胃中からは甲殻類および環形動物とも 1 個体の平均重量が 0.01g を超えるものは出現しなかった。そこで 0.01g を餌料対象となる生物 1 個体の上限重量と仮定し、ここではそれ未満の底生生物を解析対象とした。ただし、二枚貝類については水管が主な餌料となっていたため、出現した二枚貝類の値をそのまま用いた。ライン A とライン B の分類群別の底生生物の出現状況を Fig. 4-10 に示す。

ライン A とライン B の多毛類の出現個体数は、8 月までは両地点で大きい差はみられなかったが、9 月にライン A で大きく増加した。質重量についても同様な傾向であった。9 月のライン A における多毛類の優

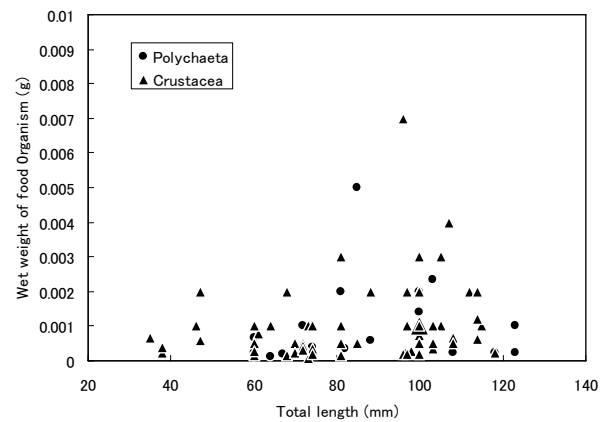


Fig. 4-9 Relationship between the size of marbled sole and mean weight of food organisms.

占種は *Aonides* sp., *Rhynchospio* sp., *Polydora* sp. であった。二枚貝類は個体数、湿重量とも全般にライン B の方が多い傾向にあった。ライン B では、個体数は 6 月に、質重量は 7 月にピークが見られ、いずれも優占種はマルヤドリガイ *Montacutona japonica* であった。甲殻類についてみると、ライン A の個体数は 4 月に最大値を示した後 7 月にかけて減少し、8、9 月に再び増加した。湿重量についても同様な傾向であった。4 月は *Urothoe* sp., 8 月はウミホタルモドキ *Euphilomedes japonica* が優占していた。9 月は個体数ではタナイス目の *Leptocheilia* sp., 湿重量ではハヤシロウソクエビ *Processa sulcata* が優占していた。一方、ライン B の甲殻類は個体数および湿重量とも 8 月が最も多く、個体数では *Corophium* sp., 湿重量では *Urothoe* sp. が優占していた。

考 察

ライン A (点在型藻場域) とライン B (単純砂質域) のマコガレイ稚魚の出現状況は対照的であった。そこで、両ラインにおける稚魚の分布と食性、水質、底質、および底生生物の調査結果を検討することにより、点在型藻場域と単純砂質域の生態的な意義について考

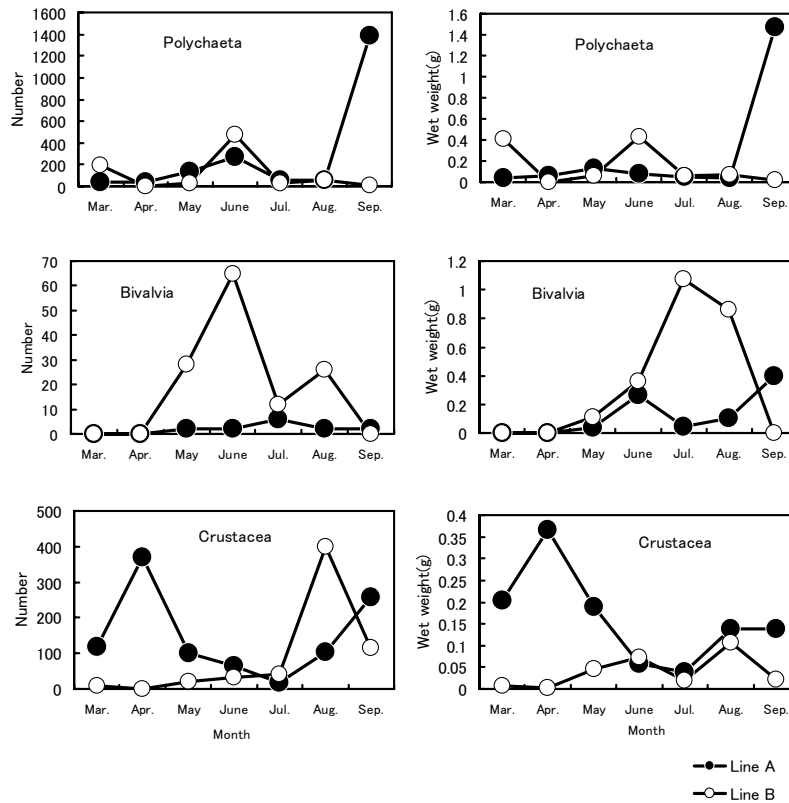


Fig. 4-10 Monthly changes in number and wet weight of benthos per 0.0625m² at Line A and Line B. In this analysis, Polychaeta and Crustacea of which mean wet weight of under 0.01g were examined.

察する。

稚魚の分布密度 潜水観察により稚魚の分布密度を調査した例は少なく、瀬戸内海では大阪湾東部海岸地先(有山 2003)と岡山県牛窓地先(香川県ほか 1975)の調査例があるだけである。牛窓地先では1974年4月上旬の調査で1.45尾/m²と高い密度のマコガレイ稚魚が観察されている。しかしその前年の同じ調査(松村ほか 1974)では最高値が0.16尾/m²程度(グラフから読み取った値)であり、調査年によって分布密度に違いが見られる。また、大阪湾東部海岸では1996年4月下旬の調査で平均2.51尾/m²、最大3.80尾/m²という高密度のマコガレイ稚魚が観察されている。本調査で得られた分布密度(最大0.045尾/m²)はそれらに比べて低かった。牛窓地先の調査例のように分布密度には年変動があると考えられるが、大阪湾東部海岸地先に

比べて本調査海域におけるマコガレイ稚魚の分布密度は低いと推察される。本調査海域は大阪湾内では比較的急深な海底地形であり、マコガレイ稚魚の着底に適した水深10m以浅の海域面積は大阪湾東部地先に比べて狭い。南(1981)が述べているように着底したマコガレイ稚魚が、その後より浅い場所に移動するとすれば、調査海域に連なる稚魚の着底に適した海域面積が、育成場における稚魚の分布密度に大きく影響しているのかも知れない。筆者は(未発表)1990年の6月に播磨灘北西部の新舞子干潟沖の水深4.4mの地点で同じ潜水調査により0.14尾/m²のマコガレイ稚魚を確認しているが、この調査地点の沖側には水深10m前後の海域が広がっている。

食性の変化 マコガレイ稚魚の主な餌料や成長に伴う食性の変化については多くの報告がある。若狭湾西

部沿岸海域において発育ステージ別の食性を調査した南 (1981) の結果によると、着底期のステージ J でカイアシ類の *Paracalanus* sp. が 16.7%, 多毛類が 83.5% 出現している。また、大阪湾東部沿岸域では全長 10-30mm 程度の稚魚の主餌料がソコムジンコ類やカラミジンコ類の場合と、多毛類の場合があることが報告されている (有山, 2003)。一方、カイアシ類が全長 20-30mm までの稚魚の主餌料となることは中神ほか (2000)、香川県ほか (1975) および大分県ほか (1985) も報告している。これらのことから、着底前後から全長 30mm 程度のマコガレイの主餌料はカイアシ類であるが、餌料条件によっては多毛類も利用すると考えられる。本報ではマコガレイの主餌料は全長 10-19mm がカイアシ類、全長 20-39mm がクーマ目とヨコエビ亜目、全長 40-79mm が多毛類と小型甲殻類、さらに全長 80-239mm では多毛類と二枚貝類水管のほか餌料生物の種類が多くなった。このように、成長に伴い主な餌料は変化していた。カイアシ類から端脚目やクーマ目などの小型甲殻類を経て多毛類に至る餌料系列は既報の結果とほぼ共通していた。また、主食が多毛類に変化する時期は本報では全長 40mm 以上であったが、既報の結果なども総合すると、全長 40-50mm 以上と考えて良いであろう (宮城県ほか 1982; 香川県ほか 1975; 中神ほか 2000)。全長 80mm 以上では多毛類のほか、軟体動物 (主に二枚貝類の水管) も主要な餌料となるとともに、餌料とする生物種の範囲が広がっていた。成魚期については成長と共により大型の餌料生物を摂食するようになるが (第 2 章 4 節)、全長 80mm 前後でほぼ成魚型の食性となり、以後は稚魚期のような急激な食性の変化はみられなくなると考えられる。

稚魚 1 尾あたりの摂餌量 (Fig. 4-7) は全長 60mm 以上となる 6 月以後急増した。このような餌料要求量の増大は、餌生物種の変化や餌の探索範囲の拡大および生活場所の移動と関連すると推察される。

単純砂質域と点在型藻場 (あいづ”海津”) の意義 淡路島東海岸地先におけるマコガレイ稚魚の出現傾向

は、同じ水深帯にある単純砂質域と点在型藻場域とは異なっていた。すなわち、単純砂質域では 3 月下旬に全長 15mm 前後の稚魚が観察され、分布密度は 5 月に最も高くなった後、月を追って低下し、9 月には観察されなくなった。これに対し、点在型藻場域では 5 月までマコガレイ稚魚はほとんど観察されず。6 月以後、単純砂質域とは対照的に月を追って分布密度は増加した。両海域の分布密度が逆転するようになる 6 月下旬のマコガレイ稚魚の全長は 60~70mm であった。このことから、全長 60~70mm を境にマコガレイ稚魚は主たる生活場所を単純砂質域から点在型藻場域に移すのではないかと考えられた。

このような成長に伴う生息場所の変化は土佐湾におけるキチヌやクロダイにみられる砂浜海岸と河口域浅所の関係やヒラスズキなどにみられる非アマモ場とアマモ場の関係に似ている (藤田 1998)。しかし、それらは後期仔魚から稚魚期にみられる現象であり、砂浜海岸での仔稚魚の滞在期間は短く、木下 (1998) は砂浜海岸汀線域を仔稚魚が底生生活の準備を行い、次の成育場へ向かうための重要な場所とし、生態的な変態の場と捉えている。本報における単純砂質域は底生生活へ移行後の生活場所であり、それらとは生態的なステージが異なる。

以下では、単純砂質域から点在型藻場域への生息場所の変化が起こる要因について検討する。

水温、塩分、溶存酸素飽和度については単純砂質域と点在型藻場域との違いは小さく、マコガレイ稚魚が生息場所を変える要因にはならないと思われる。底質については単純砂質域の中央粒径値の経時変動は大きかったが、変動の範囲はマコガレイ稚魚が選択性を示す底質の粒子径 (第 4 章 2 節) の範囲内にあり、これについてもマコガレイ稚魚の移動要因とは考えにくい。底質の COD は大阪湾中央部や湾奥に比べて値は低く (真鍋 1991)、さらに、Line B の方が全般的に低い傾向がみられたが、両地点間に統計的な有意差は認められなかった。

サイズ別食性(Table 4-3)と平均全長の推移(Fig. 4-5)から、マコガレイ稚魚の月別の主要餌料生物は、3月がカイアシ類、4月が小型甲殻類、5~6月が多毛類と小型甲殻類、7月以後は多毛類と二枚貝類と推察される。この月別の餌料生物と Fig. 4-10 の底生生物との対応関係を検討する。3月の主要餌料であるカイアシ類は底生生物では出現していない。これは、採集方法もしくはカイアシ類のサイズが小さいためベントス生物を取り出すときにフルイ目を通過してしまったと考えられる。したがって3月については検討できない。4月のマコガレイ稚魚の主な餌料生物は小型甲殻類と推定されるが、稚魚の分布とは反対に、底生生物中の小型甲殻類は、点在型藻場域において個体数、湿重量とも多く出現した。5、6月についても底生生物の分布からマコガレイ稚魚の分布を説明できない。また、7月以後は多毛類に加えて二枚貝類も主要な餌料となるが、二枚貝類は単純砂質域の方が多く、これも稚魚の分布とは逆の傾向を示した。一方、二枚貝類が僅かしか出現しなかった点在型藻場域で採集されたマコガレイ稚魚の胃から、二枚貝類の水管が多く見出された。このことから、7月頃にはマコガレイ稚魚(全長80mm程度)の移動力が大きくなり、点在型藻場を生活場所としながらも、広い範囲で摂餌活動を行うことが出来るようになるかと推察される。

被食は稚魚期の主要な減耗要因と考えられている(山下 1994)。異体類の捕食者として注目されているのはエビジャコ類(Nakaya *et al.* 2004, Seikai *et al.* 1993)であるが、被食魚の体長が3cm程度からは魚類が主な捕食者になると考えられている(山下 1994)。山口県(1983)はマコガレイ種苗(平均全長22mmおよび35mm)の放流追跡調査を行い、アイナメ、クジメ、メバル、アサヒアナハゼ、クロダイ等による捕食を確認している。本調査のライン観察では魚類についても種類と概略の大きさを記録した。点在型藻場域ではキュウセン(全長10~20cm)、カサゴ(全長10~20cm)、アイナメ(全長10~25cm)、メバル(全長10

~15cm)等の磯周辺で見られる魚類が多く、単純砂質域ではネズッポ属(全長5~20cm)、シロギス(10~15cm)、ハゼ科等の砂地で生活する魚類が多かった。これらのうちアイナメはヒラメの捕食者としても知られている(反田ほか1987; 山下ほか1993)。このような魚種組成から見て、着底後間もないマコガレイ稚魚に対する捕食圧は点在型藻場域の方が高かったと推察される。一方、点在型藻場での潜水観察では、そこに分布するマコガレイ稚魚は追われると常に豊富に生育している海藻類の陰に隠れる行動を示した。このことから、成長したマコガレイ稚魚は点在型藻場を外敵(捕食者)から身を隠すシェルターとして利用していると考えられる。

以上、マコガレイ稚魚が全長60~70mmを境として生活場所を単純砂質域から点在型藻場域へ移す要因について検討したが、水質と底質環境および餌料生物(ベントス)の面からは合理的な理由を見いだすことは出来なかった。しかし、餌料生物については限られた範囲の情報であり餌料環境を正しく反映している保証はない。また、成長に伴い索餌のための探索範囲が広がることから、稚魚の行動範囲全体の餌料環境を把握することはかなり難しいと言えよう。被食の面からは、点在型藻場の方が捕食者となりうる魚類が多く観察された。着底後間もないマコガレイ稚魚が、捕食圧が大きい点在型藻場域よりも捕食圧の小さい単純砂質域を生活の場として選択する可能性はあると考えられる。一方で、点在型藻場域に分布するマコガレイ稚魚の逃避行動からみて、点在型藻場がシェルターの役割を持っていることは間違いないと思われる。

被食は生活場所を選択する要因の一つとして重要である。実験的研究であり魚種も全く異なるが、捕食魚の存在によって他魚種の幼魚の生息場所選択に影響を与えた例としては、Werner *et al.* (1983)によるブルーギルのすみ場利用についてのフィールド実験がある。それによると、捕食者であるオオクチバスを入れた場合と入れない場合では小サイズのブルーギルの

すみ場利用に大きい変化が生じた。つまり、捕食者が存在した場合、餌料条件を犠牲にしても彼等は捕食者を避けるため、すみ場として植生帯を利用したのである。この結果は魚類一般について餌料条件によるすみ場選択のほかに、捕食圧を回避するためのすみ場選択があることを示唆している。

以上の検討を踏まえて、単純砂質域と点在型藻場域におけるマコガレイ稚魚の分布と生息場所の選択について、以下のように推論する。

水深 10m 付近に着底した稚魚は、捕食者の少ない浅場へ移動するが（カイアシ類など小型の餌の分布も影響するかも知れない）、このとき、浅場に単純砂質域と点在型藻場域がある場合、被食リスクの低い単純砂質域を生活場所として選択すると推察される。単純砂質域で全長 60~70mm に育った稚魚は餌料要求量が急激に増大するため（Fig. 4-6）、より好適な餌（餌場）を求めて生活場所を移す必要が生じ、通常はシルト分が多く多毛類も豊富な沖合域（水深 10m 以深）へ移動すると考えられる。胃内容物分析で明らかとなった多毛類への食性の変化は（Table 4-3）、このような分布域の移動と関連した現象かもしれない。また、沖合への移動時期にはシルト質に対する潜砂能力（Fig. 4-12）も高くなっている。一方、沖合域への移動は、ヒラメの放流適地調査で明らかにされているように捕食魚の密度が高く（反田ほか 1987）、また一般的に捕食魚のサイズが大きいと考えられることから、高い被食リスクを負うことになると推察される。

このような沖合への移動時期に、近くに点在型藻場域があれば、直接沖合域に移動せず、ある程度の期間、点在型藻場域を生活場所として利用することが考えらよう。理由の一つとして、サイズの小さい稚魚にとって、点在型藻場は被食リスクが高いが、成長に伴って相対的に被食リスクが低下し、点在型藻場のシェルター機能を利用できるようになることが考えられる。おそらく、成育場で全長 60~70mm に成長した稚魚は、次の住み場に移動する際に、餌料条件の良い場所を選

ぶか、それとも被食リスクの低い場所を選ぶかの選択を行っているのであろう。

以上は点在型藻場域周辺におけるマコガレイ稚魚の分布と移動についての推論であるが、岡山県の牛窓地先のアマモ場周辺でマコガレイ稚魚の分布調査を行った松村ほか（1974）によると、4~6 月には、マコガレイ稚魚はアマモ群落の中では認められず、開けた細砂域にのみ分布しており、7 月には大多数がアマモ群落の周辺に分布し、近づくとその中に逃げ込む行動を示した。そして 9,10 月には大多数のマコガレイ稚魚はアマモ群落の中に潜んでいた。このように、アマモ場と点在型藻場の違いはあるが、マコガレイ稚魚の分布と移動に関して本報と極めて類似した結果が他海域でも得られている。

4-2 マコガレイ稚魚の潜砂能力と底質選択

異体類は通常海底に接して生活しているため、生息場所の底質条件は生存にとって極めて重要な要素である。マコガレイの生息場所と底質の関係について大森（1974, 1975）は詳細な検討を行い、マコガレイの生息密度と底質の粒度との間に密接な関係があることを明らかにしている。しかし、この関係は食物条件の良い場所の選択が底質の粒度で示される非生物環境の選択として表れたとしており、マコガレイの生息場所選択の第一義的な動機は餌料生物の分布にあるという考えを示している。一方、小坂（1956）はマコガレイ（体長 16.1~22.1cm）とイシガレイ（体長 14.7~25.7cm）の底質選択性の実験を行い、同一水槽内においてマコガレイが小石側よりも砂側の底質を好むこと、またその傾向はイシガレイよりも強いことを明らかにした。この実験結果は単に物理環境だけでも生息場所の選択が行われる可能性を示唆している。小坂（1956）が実験に用いたマコガレイは体長 16cm 以上であり、稚魚期に関する同様の情報はない。

マコガレイとヒラメは産業上重要な魚であり、資源

を増大させるため稚魚の放流が全国で行われている。放流の実施にあたっては、放流場所の底質条件は重要であると考えられる。しかし、それら魚種の稚魚期における潜砂能力や底質選択に関する知見は少ない(反田 1988)。

本報の実験はマコガレイ稚魚の潜砂能力と底質粒度に対する選択性を、ヒラメ稚魚との比較も含めて明らかにすることを目的に行った。なお、ヒラメ稚魚の潜砂能力についてはすでに報告されているので(反田 1988) そのデータを用いた。

材料および方法

実験魚 平均全長21mmのマコガレイ稚魚を1988年3月3日に兵庫県栽培漁業センターから入手し実験開始まで飼育した。飼育には1トンのポリカーボネイト水槽(直径138cm, 深さ82cm)を用い、餌はアルテミアと配合餌料を与えた。ヒラメ稚魚は神戸市栽培漁業センターから1988年7月6日に入手し実験開始まで飼育した。餌は配合餌料を与えた。他の飼育条件はマコガレイと同様である。

実験砂 漁場から採取した底質試料をJIS規格のフルイを用いて6つの粒子径に区分した(Table. 4-4)。0.125mm以下の区分に占める0.063mm以下の粒子の割合は63%であった。これらの砂は水で洗浄した後、130℃で2回乾燥させた。0.125mm以下と0.125～0.25mmは少し灰色がかかった色調、それ以外の区分は茶色がかかった色調であった。また、いずれの区分につ

いても臭いはなかった。予備実験としてマコガレイ稚魚を用いて0.125～0.25mmの白っぽい色調の砂と、同じく茶色がかかった砂で底質選択試験を行ったところ、有意な差は認められなかったことから(Table 4-5)、底質の色調の差による実験結果への影響はないと判断した。

潜砂率 潜砂能力を判定するタイミングを決めるため、まず潜砂率の経時変化を調べた。実験は1988年4月17～25日に行った。実験には粒子径0.25～0.5mmの砂を1～2cmの厚さに敷いた10リットルの角型プラスチックコンテナ(長さ36cm, 幅23cm, 深さ13cm)を用いた。1回の実験につき全長35mm(S.D.=4.3mm, n=73)のマコガレイ稚魚10尾を1トン水槽から実験コンテナに移し、潜砂率の時間経過を追跡した。潜砂率は有眼側の体表面積に対して砂が覆っている割合を10%単位で目視により判定した。Fig. 4-11に潜砂率の時間変化を示す。大多数のマコガレイ稚魚は実験水槽に移すとすぐに潜砂した。実験開始30分後の潜砂率は53%であったが、時間経過と共に徐々に低下し、2時間後は47%、4時間後は39%、8時間後は14%となった。このように、潜砂率が定常もしくは

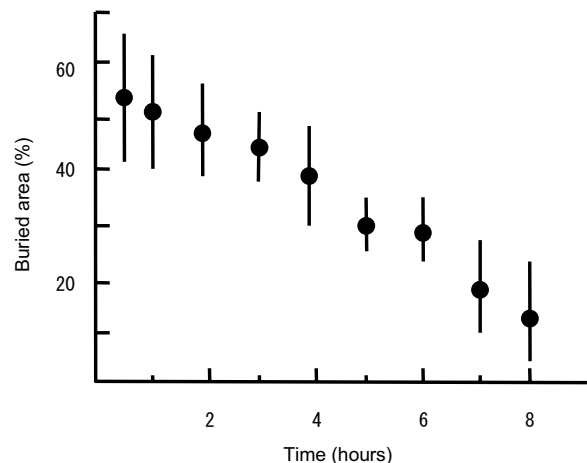


Fig. 4-11 Change in time of buried area of marbled sole juveniles averaging 35.0 mm TL. 0.25 ~ 0.5mm grain size sand was used. The experiment was repeated three times. Vertical bars represent standard deviation.

Table 4-4 Grain size divisions of sand.

Grain size (mm)
~0.125
0.125~0.250
0.250~0.500
0.500~1.00
1.00~2.00
2.00~2.83

ヒラメ（反田 1988）で観察されたような極大値が見られなかったため、以下の実験では潜砂率が高い値を維持している実験開始1時間後に潜砂率を計測することとした。

サイズ別の潜砂率を見るため、平均全長 35mm (S.D.=4.3mm, n=73), 58.7mm (S.D.=4.2mm, n=24) および 80.6mm (S.D.=5.6mm, n=21) の3つのサイズグループで実験を行った。実験時期は全長 35mm が 1988年4月17~25日、全長 58.7mm は同9月10~14日、全長 80.6mm は同9月21~27日である。実験条件および潜砂率の判定は前述のとおりである。実験は稚魚のサイズと砂粒子径の1つの組み合わせに対し5~8回行った。1回の実験につき3~10尾の稚魚を用いた。実験実施時における水槽表面の照度は150~1500lx、実験水温のコントロールは行わなかった。用いた海水の温度は実験毎に異なり11.0~25.0°Cであった。

選択性 2種類の実験を行った。1つはマコガレイとヒラメそれぞれの底質選択性を明らかにするための実験、もう1つは両種を混在させ、底質選択における種間差を明らかにするため実験である。これらの実験には潜砂率で用いたのと同じ砂を使用した。

マコガレイとヒラメの底質選択性実験では、潜砂率の実験と同じ10リットルのプラスチックコンテナを実験室内に置き、厚さが1~2cmとなるように0.25~0.5mmの砂をコンテナの底面積の半分に敷いた。また、残りの底半分にはそれ以外の各粒子径の砂を敷き、0.25~0.5mmの砂との選択性の比較を行った。なお、予備的に実施した実験では0.25~0.5mmの砂に対して最も高い選択性を示した。6尾のマコガレイ稚魚（ヒラメ稚魚の場合は4尾）を実験コンテナの左右の区分に3尾ずつ入れ、実験開始から2時間後にどちら側に位置しているかを計数した。この実験はそれぞれの粒子径の組み合わせに対し、10~21回行った。実験コンテナの水面の照度は200~1500lxであった。光の影響をできるだけ少なくするため、実験毎にコンテナの位置を180°回転させた。マコガレイ稚魚（平

均全長 35.0mm, S.D.=4.3mm, n=73) の実験は 1988年4月16~21日に行った。水温は11.1~11.9°Cで、温度コントロールはしなかった。ヒラメ稚魚（平均全長 55.7mm, S.D.=4.5mm, n=34) の実験は 1988年8月15~20日に行った。

種間差の実験には長さ 60cm, 幅 40cm, 深さ 20cm のプラスチックコンテナ水槽を用いた。このコンテナ水槽の底半分に0.25~0.5mmの砂を、残りの半分に1~2mmの砂を敷いた。最初の実験 (CaseA) では各6尾のマコガレイ稚魚とヒラメ稚魚を、次の実験 (CaseB) では各10尾の稚魚を同じコンテナ水槽の左右側に各魚種とも半数ずつ同時に入れた。実験開始2時間もしくは3時間後に、コンテナ水槽の左右にそれぞれ位置している魚の数を計数した。最初の実験は21回、次の実験は16回行った。実験に用いたマコガレイ稚魚は平均全長 70.7mm (S.D.=3.6mm, n=25), ヒラメ稚魚は平均全長 74.3mm (S.D.=5.3mm, n=22) で、両種の稚魚に攻撃的なあるいは排他的な行動は見られなかった。実験は1988年8月31日~9月10日に行った。

結 果

潜砂率

潜砂率と底質の粒子径の関係を Fig. 4-12 に示す。潜砂率は、いずれのサイズの稚魚においても0.125~0.25mmと0.25~0.5mmの区分の砂で最も高い値を示した。全長 35.0mm と 58.7mm の稚魚については0.125mm以下の区分での潜砂率は低かった。最も大きい全長 80.6mm の稚魚は粒子区分1~2mmの砂に対しても40%以上の潜砂率を示した。また、0.125mm以下の砂に対する潜砂率も高かった。このように潜砂能力は稚魚のサイズが大きくなるに従い粗粒側、細粒側とも増大する傾向が見られた。

選択性

マコガレイ 底質の粒子径に対する選択性実験の結果をまとめて Table 4-5 に示す。 χ^2 検定 (期待値 1:1)

の結果, 0.25~0.5mm の区分と, 0.125mm 以下, 1~2mm および 2~2.83mm の区分との組み合わせで底質選択性に危険率 1%水準で有意差が認められた。また, 0.25~0.5mm と 0.5~1mm の組み合わせでは危険率 5%水準で有意差が認められた。一方, 0.25~0.5mm と 0.125

~0.25mm の組み合わせでは有意差は認められなかった。

ヒラメ 選択性実験の結果をまとめて Table 4-6 に示す。 χ^2 検定の結果, 0.25~0.5mm と, 0.125mm 以下, 1~2mm および 2~2.83mm との組み合わせにおいて 1%水準で有意差が認められた。一方, 0.25~0.5mm と, 0.125~0.25mm および 0.5~1mm との間には有意差は認められなかった。

底質選択における種間差 実験結果をまとめて Table 4-7 に示す。それぞれ 6 尾の稚魚を用いて行ったケース A と, 同じく 10 尾の稚魚を用いて行ったケース B とも, マコガレイとヒラメは小さな粒子径の砂を好んだ。しかし, マコガレイの方がより小さい粒子径 (0.25~0.5mm) の砂を好む傾向が見られた。ケース A とケース B の結果を合わせて Mantel-Haenszel test を行ったところ, 両種の底質選択性には有意差が認められた ($P=0.021$)。

考 察

全長 35mm と 58.7mm サイズのマコガレイ稚魚は 1mm 以下の粒子の砂に潜砂可能と判断された。また, 0.125mm 以下の粒子区分を除くと, 潜砂面積と底質の粒子径の間には負の関係が認められた。類似の関係はヒラメにおいても認められている (反田 1988)。最も

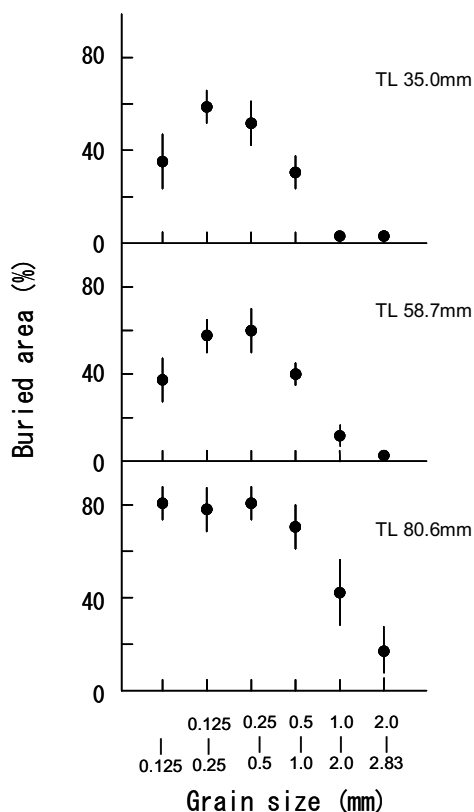


Fig. 4-12 Relationship between grain size and buried area in three size-group marbled sole juveniles : 35.0mm, 58.7mm and 80.6 mm TL. Vertical bars represent standard deviation.

Table 4-5 Preference for grain size of sand in marbled sole juveniles averaging 35.0mm TL. Number of juveniles located in the two divisions was examined by χ^2 test. Expected ratio is 50:50.

Combination of grain sizes (mm)	Total number examined	Number located in		Statistical significance (p)
		0.25~0.5mm	Other size	
0.25~0.5 vs. ~0.125	125	80 (64)* ¹	45 (36)	0.01
0.25~0.5 vs. 0.125~0.250	100	51 (51)	49 (49)	ns
0.25~0.5 vs. 0.500~1.00	106	66 (62)	40 (38)	0.05
0.25~0.5 vs. 1.00~2.00	74	67 (91)	7 (9)	0.01
0.25~0.5 vs. 2.00~2.83	59	51 (86)	8 (14)	0.01
0.25~0.5 vs. 0.25~0.5 * ² (whitish) (brownish)	122	59 (48)	63 (52)	ns

*1 Figures in parentheses show percentage.

*2 Result in a preliminary experiment (different sand color).

Table 4-6 Preference for grain size of sand in flounder juveniles averaging 55.7mm TL. Number of juveniles located in the two divisions was examined by χ^2 test. Expected ratio is 50:50.

Combination of grain sizes (mm)	Total number examined	Number located in		Statistical significance (p)
		0.25~0.5mm	Other size	
0.25~0.5 vs. ~0.125	79	56 (71)*	23 (29)	0.01
0.25~0.5 vs. 0.125~0.250	79	39 (49)	40 (51)	ns
0.25~0.5 vs. 0.500~1.00	82	47 (57)	35 (43)	ns
0.25~0.5 vs. 1.00~2.00	81	57 (70)	24 (30)	0.01
0.25~0.5 vs. 2.00~2.83	82	69 (84)	13 (16)	0.01

* Figures in parentheses show percentage.

Table 4-7 Preference for grain size of sand when marbled sole (70.7 mm TL) and flounder (74.3 mm TL) were put together in an experimental container. In case A 6 juveniles of each species were put into the container, and in B 10 juveniles each. If the data for both case A and B experiments are combined in a Mantel-Haenszel test, the result is significant ($P=0.021$).

Case A	Grain size (mm)		Total number
	0.25~0.5	1.0~2.0	
	Marbled sole	88	38
Flounder	77	49	126
Total number	165	87	252

Case B	Grain size (mm)		Total number
	0.25~0.5	1.0~2.0	
	Marbled sole	117	43
Flounder	101	59	160
Total number	218	102	320

大きい全長 80.6mm の稚魚は、1~2mm の砂でも潜砂可能であった。このことから、潜砂能力は成長と共に増大すると判断された。一方、0.125mm 以下の砂に対する全長 35.0mm サイズと全長 58.7mm サイズの稚魚の潜砂率は、0.125~0.25mm のそれよりも明らかに低かった。これについては、微細粒子が物理的に潜砂しにくいのか、あるいは他の要因によるのかは明らかでない。一方、全長 80.6mm サイズの稚魚では微細粒子に対する潜砂率の低下は認められなかった。全長 80.6mm サイズについては底質選択性の実験は行っていないが、後で述べるように、マコガレイ稚魚は潜砂率の高い底質を好む傾向があることから、成長に伴っ

て底質粒子に対する選択性の幅は広がると推測される。水深 10m 以浅の成育場で生活したマコガレイ稚魚は、全長 60~70mm に成長すると徐々にシルト質主体の沖合域に分布を広げていくと考えられるが（香川県ほか 1975；東海・伊東 1989）、全長 80.6mm サイズのマコガレイ稚魚でみられた 0.125mm 以下の砂粒子に対する潜砂率の増大は、このような稚魚の生態と関連しているのかも知れない。

マコガレイとヒラメの稚魚は底質の粒子径に対して明らかに選択性を示した。平均全長 35mm のマコガレイ稚魚は 0.125~0.5mm の砂を、また平均全長 55.7mm のヒラメは 0.125~1mm の砂を好む傾向が認められた。これらの結果から、稚魚期においても大森（1974）が述べた食物条件を通じた底質選択だけでなく、底質の粒子サイズのみ依存した選択性があることは明らかである。また、マコガレイとヒラメの種間差に関する実験から、マコガレイの方がやや細かい粒子の底質を好む傾向が認められた。天然海域でのマコガレイおよびヒラメ稚魚の生息場所の底質条件の報告は少ないが、石田ほか（1977）は、ヒラメ稚魚は細砂（ $\phi=0.17\text{mm}$ ）に最も多く分布し、粗砂（ $\phi=1.0\text{mm}$ ）と極細砂（ $\phi=0.09\text{mm}$ ）では希であると報告している。また、大阪湾でマコガレイ稚魚の分布と食性を調査した有山（2003）は稚魚が出現した地点の中央粒径値は 0.10~0.57mm、また 0.063mm 未満の泥分の占める割合は 1.3~33.2%と報告している。本報の実験とは底質の

粒子径に違いはあるが、石田(1977)の報告において極細砂域でのヒラメ稚魚の出現が希であること、また、有山(2003)の調査で泥分の多い(33.2%)地点でもマコガレイ稚魚が多く出現していることから、両種を比較すると、天然海域においてもマコガレイ稚魚の方が底質の粒度が細かい場所に分布する傾向があると推察される。

マコガレイおよびヒラメ稚魚の底質選択率と潜砂率の関係を Fig. 4-13 に示す。両種に見られる正の関係は、これら稚魚がより潜砂に適した場所を好むことを示唆している。安永・興石(1980)は、水槽の底に砂を敷いた方が、ヒラメ稚魚がクロダイ *Acanthopagrus schlegeli* から捕食攻撃を受ける回数が少ないことを報告している。このことは、潜砂行動が、捕食リスクを小さくするために生態的に重要であることを意味している。マコガレイおよびヒラメ稚魚は捕食リスクを小さくするため、潜砂に適した場所(底質粒度)を選択すると考えられる。

全長 35.0mm と 58.7mm のマコガレイ稚魚の潜砂率は、0.125~0.5mm で最も高い値を示し、それより大きい粒子径でも、また微細な粒子径でも潜砂率は低下し

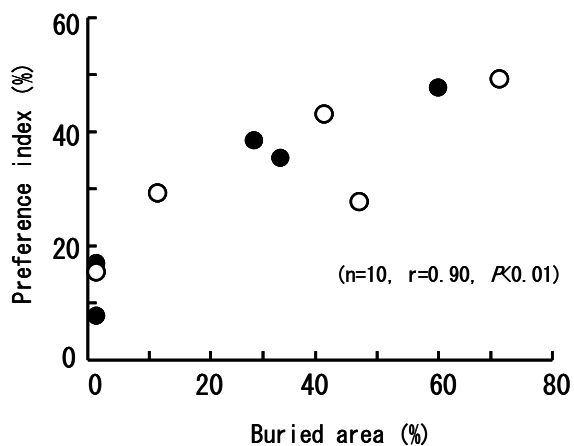


Fig. 4-13 Relationship between buried area and preference index in marbled sole (solid circle) and flounder juveniles (open circle). These figures were obtained from results cited in Fig. 4-12, Table 4-5, Table 4-6 and the buried area of flounder juveniles obtained in a previous experiments (Tanda 1988).

た。大きい粒子径については潜砂能力と関連した現象と推察されるが、微細な粒子径についても同様の理由によるかはわからない。潜砂率と底質選択性には関連があることから、マコガレイの生息場所選択を明らかにしていくためには、この微細な粒子径における潜砂率の低下の理由を今後明らかにする必要がある。

今回の実験は人工種苗を用いた。したがって、天然の稚魚がこれと同じ行動をすると断定することはできない。しかし、人工種苗において明らかな底質選択性を示したことは重要であり、天然稚魚の生態を考える上で大きなヒントになると考えられる。また、人工種苗の放流にあたっては、稚魚の潜砂能力を考慮し、適正な底質条件の場所を選んで放流することが必要である。

第5章 漁業と漁獲の実態

マコガレイは瀬戸内海をはじめ日本各地の沿岸で底びき網や刺網によって漁獲されている。兵庫県においても小型底びき網、刺網、延縄、小型定置網等で漁獲され、漁獲量に占めるウェイトは小型底びき網が最も大きい(1988年は約62%)。マコガレイは重要な漁業資源であるが農林統計上は“その他のカレイ類”としてまとめられており漁獲量全体を把握することができない。そこで、第1節では、兵庫県瀬戸内海の基幹漁業である小型底びき網漁業の動向とカレイ類漁獲量の推移について述べる。次に第2節では、各漁業協同組合に保存されている魚種別の漁獲統計資料を詳細に検討し、1980年代後半のマコガレイの漁業と漁獲の実態を明らかにする。さらに、小型底びき網漁業には、漁獲された後に商品サイズに達しない魚は投棄されるという不合理漁獲の問題がある(松宮1997;東海1993)。第3節では播磨灘、大阪湾におけるカレイ類幼稚魚の投棄実態と、それら幼稚魚の投棄後(再放流)の生存率を明らかにする。

5-1 小型底びき網漁業とカレイ類漁獲量の動向

カレイ類を漁獲する主な漁業である小型底びき網の漁獲量は 1995 年頃を転換点として減少してきている。また、マコガレイを含むカレイ類漁獲量も 1995 年頃以後減少している。このような漁獲量の変化を 1952~2003 年の 52 年間の漁獲統計資料に基づき明らかにするとともに、近年におけるマコガレイの減少要因について考察する。

材料および方法

小型底びき網の漁獲量と漁獲努力量ならびにカレイ類漁獲量の動向の検討には 1952~2003 年の兵庫県農林水産統計年報（近畿農政局兵庫統計情報事務所編集，2002 と 2003 年は近畿農政局神戸統計・情報センター編集，以下，農林統計と記す）を用いた。しかし，カレイ類の中にはウシノシタ類等も含まれているため，カレイ類漁獲量をもってマコガレイの漁獲動向を推定するのは困難である（2003 年以降はウシノシタ類が統計単位として独立した）。そこで，マコガレイ単独の漁獲量を把握するため，Fig. 2-1 に示した 12 地区の漁業協同組合からマコガレイの漁獲統計資料（1988~2003 年）を収集した。

結 果

小型底びき網漁獲量の推移 1950 年代から 1980 年代初めまでは，小型底びき網のうちパッチ網と呼ばれる漁法によってイカナゴが多量に漁獲されており，同種を漁獲する主要な漁法となっていた（浜田 1979）。このため 1960 年代には小型底びき網漁獲量の半分以上をイカナゴが占めていた。その後，1970 年代に入ると船びき網漁業が次第に発展し，イカナゴは主に船びき網漁業で漁獲されるようになった。これに伴い，小型底びき網によるイカナゴの漁獲量は，1980 年代初めに一時増加したものの，以後ほとんど漁獲されなくなった（Fig. 5-1）。1950 年頃から 1970 年代の初めまでの

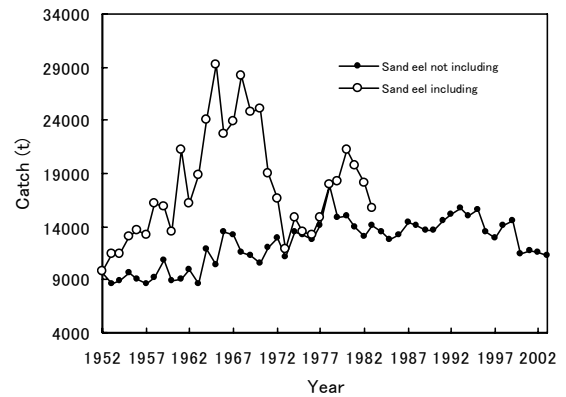


Fig. 5-1 Annual changes in catch of compact trawl in the Seto Inland Sea of Hyogo prefectural region.

小型底びき網の統計上の漁獲量にはこのような漁獲実態が背景にある。したがって，イカナゴの漁獲量を含めたまま評価すると，小型底びき網の漁獲量は 1960 年代後半に最高値を示した後，近年まで概ね減少傾向を示す。しかしイカナゴの漁獲量を除くと，1950 年代初めの 9000 トン前後から 1990 年代初めの 15000 トン台までほぼ持続的に増加した後，1990 年代の中頃を境に初めて減少に転じる。

小型底びき網の漁獲努力量の推移 Fig. 5-2 に小型底びき網の出漁日数，および“主に小型底びき網を営んだ漁業経営体数”の推移を示す。前項ではイカナゴの漁獲量を除いて小型底びき網漁獲量の推移を示した。これと対応させるためには漁獲努力量についてもイ

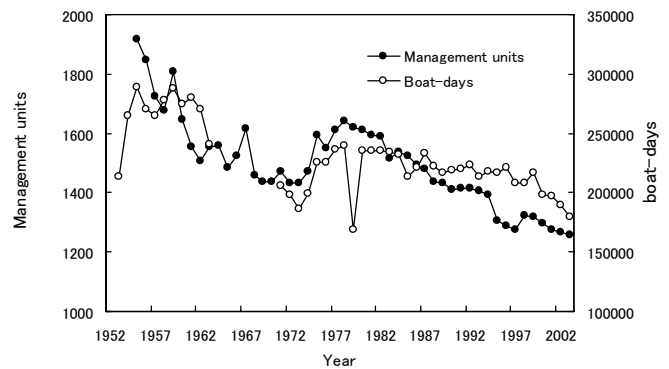


Fig. 5-2 Annual changes in number of fishery management units mainly operating compact trawl (solid circle) and total number of boat-days (open circle) of compact trawls.

カナゴの漁獲に関わった分（ほぼイカナゴパッチ網と見なせる）を除く必要があるが、当時の努力量統計が一部の期間以外は整備されていないためできなかった。しかし、統計データがある1957～1963年をみると、小型底びき網の全出漁日数に対するイカナゴパッチ網の出漁日数割合は2.7～5.9%と小さく、漁獲努力量の検討にあたっての影響は大きくないと判断した。小型底びき網の出漁日数と漁業経営体数は1950年代以後減少を続け、1970年代の中頃に一時期増加したが再び減少に転じ、以後その傾向が続いている。なお、1979年の出漁日数が異常に少ないが、データを排除する理由がみつからなかったためそのままとした。

小型底びき網の単位漁獲努力量あたりの漁獲量

(CPUE)の推移 小型底びき網のCPUEの検討にあたっては、イカナゴを除いた漁獲量を用いた。Fig. 5-3に1出漁日・1隻あたりおよび1経営体あたりの小型底びき網漁獲量の推移を示す。1950年代における1出漁日・1隻あたりの漁獲量は30～35kgであった。その後、CPUEは増加の傾向を示し、1990年代前半には70kg前後に達した。しかし、1990年代中頃以降、明らかな減少傾向が見られる。このような傾向は経営体あたりでもほぼ同じである。

カレイ類漁獲量の推移 Fig. 5-4に1988～2003年の兵庫県農林水産統計年報による漁業種類別の“その他の

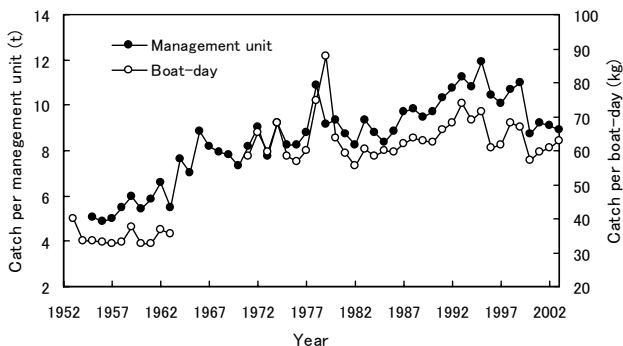


Fig. 5-3 Annual changes in catch per unit effort of compact trawl.

カレイ類”漁獲量の推移を示す。なお、“その他のカレイ類”の中にはメイタガレイとヒラメは含まれない。

“その他のカレイ類”の構成種は正確にはわからないが、1988年に行った調査結果（第5章2節）から、漁業種類別のカレイ類の主要構成種は概ね以下の通りと推察される。小型底びき網で漁獲される主なカレイ類はメイタガレイ、ウシノシタ類やマコガレイである。刺網ではマコガレイ、メイタガレイが主体であるが、ウシノシタ類を対象とする刺網漁業もある。小型定置網ではメイタガレイやウシノシタ類は少なくカレイ類としてはマコガレイが主である。また第5章2節の結果から延縄で漁獲される“その他のカレイ類”の大半はマコガレイと推察される。このように兵庫県沿岸では種々の漁法によってカレイ類が漁獲されているが、“その他のカレイ類”の漁獲量の経年的な推移は小型底びき網のそれとほぼ一致しており、漁獲量のウ

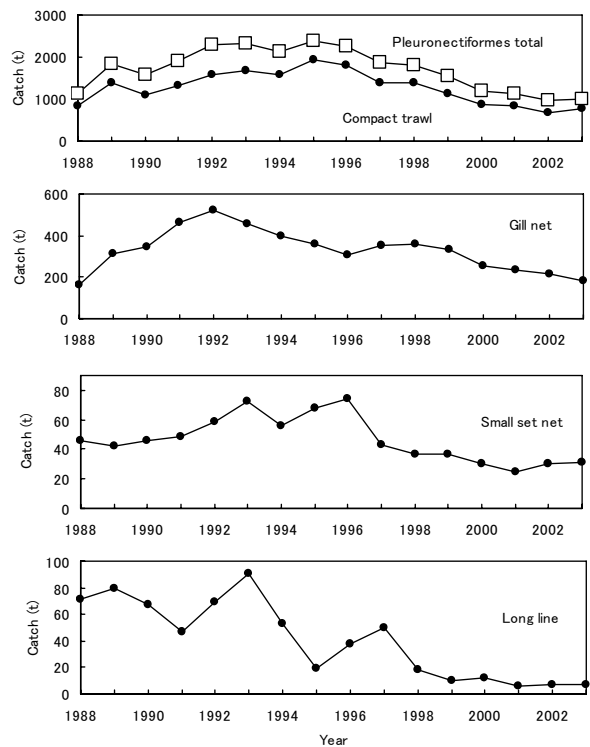


Fig. 5-4 Annual changes in catch of pleuronectiformes except for Japanese flounder and frog flounder, by fishing methods in the Seto Inland Sea of Hyogo prefectural region.

エイトが高い小型底びき網の漁獲動向が“その他のカレイ類”の漁獲動向を決定づけている。Fig. 5-4 に示すいずれの漁業種類においても 1995 年頃以後、“その他のカレイ類”の漁獲量は減少傾向にある。この傾向は前節で示した小型底びき網全体の近年における漁獲動向とも共通している。Fig. 5-4 の中では延縄の漁獲量の減少が目立つ。先述したように延縄における“その他のカレイ類”の大半はマコガレイと推定されることから、マコガレイの漁獲量の減少傾向が、他のカレイ類に比べてより著しいことを示している。Fig. 5-5 に 1988 年以降の兵庫県下の主要な 12 地区合計 (Fig. 2-1) のマコガレイ漁獲量と、県合計のメイタガレイ漁獲量の推移を示す。マコガレイの漁獲量は 1993 年頃をピークに漁獲量の減少が著しく、2003 年の漁獲量は 1993 の約 9% まで減少している。この傾向は Fig. 5-4 の延縄漁獲量の推移と共通している。一方、メイタガレイの漁獲量は 1995 年に急激な増加を示して以降、比較的高いレベルが維持されており、マコガレイとは対照的な推移を示している。

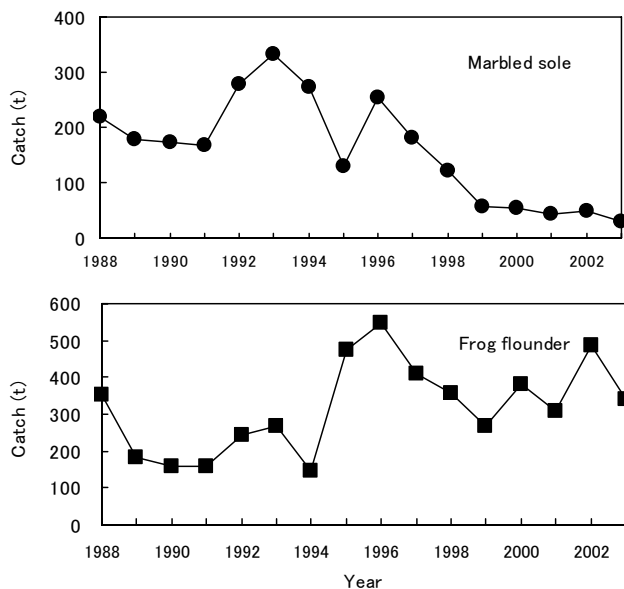


Fig. 5-5 Annual changes in catch of marbled sole in the twelve cooperative associations total (see Fig. 2-1) and the catch of frog flounder in Hyogo prefectural total.

考 察

統計資料に基づき 1950 年代初頭から 2000 年代初頭までの約 50 年間の小型底びき網漁獲量を解析した結果、1990 年代初めまでの 40 年間は多少の増減はあるが、小型底びき網の漁獲量はほぼ右肩上がりの増加を示していた。しかし、1995 年頃を境として漁獲量は初めて減少に転じた。このような長期的な変動の傾向は、統計データからイカナゴの漁獲量を除くことによって確認できた。1995 年頃以降の漁獲量の減少傾向は CPUE の変化にも明瞭に表れている。1995 年頃以降、漁船の性能や操業実態に急激な変化は見られない。従って CPUE の低下は漁獲対象資源の減少によると推察される。

漁獲統計の“その他のカレイ類”の漁獲量も漁業種類によって多少の違いはあるが、1992~1996 年以降、減少の傾向が認められる。中でもマコガレイを主に漁獲する延縄の減少が著しく、このことはその他のカレイ類の中でもマコガレイの漁獲量の減少がより大きいことを示している。主要な 12 地区の漁業協同組合の統計データからもマコガレイの漁獲量が著しく減少していることが確認できる。このような漁獲量の減少は資源水準の低下によると考えられる。大美 (2004) は 1994 年から 2001 年の大阪湾のマコガレイの資源尾数をコホート解析により求めており、資源尾数が 1994-1995 年の 300-700 万尾から 2000-2001 年には 200-250 万尾に減少していることを明らかにしている。

続いて、播磨灘・大阪湾におけるマコガレイの資源水準の低下の原因について考察する。漁業実態から見ると、兵庫県では 1993 年と 1998 年の 2 回にわたり兵庫県広域資源管理計画 (兵庫県漁業協同組合連合会 1993, 1998) が策定され、小型底びき網において小型魚の再放流や袋網の網目拡大が取り組まれている。漁船性能の向上はあると思われるが、少なくとも最近 10 年間は漁獲の強さ、つまり漁獲係数 F が大きく増大する方向にはなかったと考えられる。したがって、資源水準の低下の原因として漁業以外の要因についても

検討する必要がある。

環境との関連について、有山(2004)は大阪湾のマコガレイ漁獲量と前年の湾奥部の底層水温の間に負の関係があることを明らかにし、漁獲量の減少には高水温が大きく影響していると述べている。また、中島(2004)は同じく大阪湾において、夏期の底層水が高水温あるいは低溶存酸素のときは翌年のマコガレイ資源は減少し、逆の場合は増加する傾向があると報告している。このように大阪湾では、近年の海水温の高温化がマコガレイ資源の低下要因の一つであると推測されている。播磨灘においても1980年代後半以降、海水温は約1.0℃上昇しており(堀ほか2005)、現在もこの傾向は続いている。マコガレイだけでなく小型底びき網全体の漁獲量も1995年頃を境として減少に転じており、これらの現象と海水温の高温化との関係については今後検討すべき課題である。一方で、マコガレイと生態的地位が近いメイタガレイが時期を同じくして増加している点は興味深い。メイタガレイの増減と環境変動との関係も明らかにされていないが、両種の比較研究を行うことによってマコガレイの減少要因を究明する糸口が得られるかもしれない。

播磨灘では1990年代の中頃から冬季に毎年のように大型の珪藻プランクトンである *Eucampia zodiacus* の大量発生が見られるようになってきた(Nishikawa and Yamaguchi 2006)。これによる海水中の栄養塩類の低下によって1996年頃から養殖ノリの色落ち被害が著しくなっている。鷲尾ほか(2005)は兵庫県のノリ養殖の推移を大きく3期に分ける中で、1995年以降を第3期目とし、栄養塩不足海域の拡大とノリ養殖場の縮小の時期と位置づけている。このように、海洋の一次生産であるノリ養殖においても小型底びき網と時期を同じくして大きい変化が起こっている。養殖ノリの色落ち被害は、冬期の海洋の植物プランクトン相の変化に始まる低次生産系の変化と関連した現象と推察される。また、低次生産系の変化は高次生産系に影響を与えると考えられるが、それが小型底びき網漁業

の漁獲量にどのように結びついているのかは明らかでない。しかし、両漁業とも数十年の歴史の中で表れた大きな変化がほぼ時期を同じくして生じていることから、低次生産系の変化という共通した変動因の影響を受けている可能性もある。本論の主題はマコガレイであるが、その減少要因を明らかにするためには、漁業の視点からだけでなく、ここに述べた水温などの環境要因、さらに低次生産系から高次生産系を含めた生態系全体を視野に入れた総合的な調査研究の展開が必要であろう。

5-2 1980年代後半の漁業と漁獲の実態

1988年に水産庁補助事業である資源培養管理対策推進事業が開始され、兵庫県、大阪府、岡山県および香川県の4府県が共同で、マコガレイ、メイタガレイおよびヒラメの資源調査を行った。兵庫県では筆者が中心となり調査結果がまとめられ、1991年に兵庫県資源培養管理推進指針(兵庫県1991)および瀬戸内海東ブロック資源管理指針(瀬戸内海東ブロック資源培養管理対策推進協議会1991)が策定された。本報ではこの調査結果をもとに、兵庫県瀬戸内海域における1980年代後半の漁業および漁獲実態を明らかにする。

材料および方法

漁業実態 マコガレイ、メイタガレイおよびヒラメの漁業種類別漁獲量と漁業種類別漁獲努力量調査を兵庫県下の全漁業協同組合(61組合、1988年当時)に対して実施した。調査では漁獲統計資料の入手の他、漁業協同組合の職員または漁業者から操業実態や資源管理の取り組み状況などについても直接聞き取りをした。統計資料が不備な部分については聞き取り結果により補完した。調査対象漁業種類は小型底びき網漁業(手繰第1種漁業、手繰第2種漁業、手繰第3種漁業、板曳き網漁業の4種類、以下では小底1種、小底2種、小底3種および板びき網と記す)、刺網漁業、

延縄漁業，小型定置網漁業およびその他の漁業である。小型底びき網はすべて5トン未満で，小底の4種類は開口装置の形状により分けられる。すなわち，小底1種は開口装置を持たない漁法で，沖回手繰網と呼ばれている。小底2種は開口装置としてビーム（張木）を用いるもので，チン漕ぎ網やエビ漕ぎ網と呼ばれる漁法がある。小底3種は開口装置として桁を用いるもので，マンガ網，ソロバン漕ぎ網，石桁網が該当する。板曳き網は開口装置として開口板を用いる漁法である。操業は大半が1人乗りで2人乗りは少ない。

調査は1988年に集中して行った。従って正確には1988年の漁業実態であるが，1980年代後半の漁業実態に大きい変化はないので，本調査結果はこの年代の漁業実態を反映していると見なした。

資源解析 1988年10月から1990年9月まで Fig. 5-6 に示す7地区において各市場に水揚げされたマコガレイの全長組成調査を行った。小型底びき網の漁獲物を対象とした調査は明石，仮屋，坊勢，岩見で毎月1回（1989年3月は岩見に代わって室津で実施），延縄については明石（1989年2,3,4,7月）と淡路町（1989年4月）で，また刺網については神戸市（1988年12月，1989年4,5,6月）で実施した。年齢組成への変換は1986～1989年に大阪湾，播磨灘，紀伊水道北部で行った調査により得られた Age-length Key (Table 5-1A, 5-1B) を用いた。漁獲量は Table 5-3 のデータを使用した。資源解析は KAFS モデル（木本・畔野 1990，木本 2001）に従ったが，再生産関係については確実なデータが無いため検討出来なかった。KAFS モデルによる資源解析は定常状態を前提としている。ここで定常状態というのは加入量がほぼ一定で，漁獲量も年齢組成にも大きな変化がないということである。したがって，定常状態を確認するためには本来複数年の連続した調査が必要である。本調査では年齢組成は2カ年分，また信頼できる漁獲量データは1年分しか得られなかった。しかし，1988年前後で漁業実態に大きい変化がないこと，また，マコガレイの漁獲量データが整備されてい

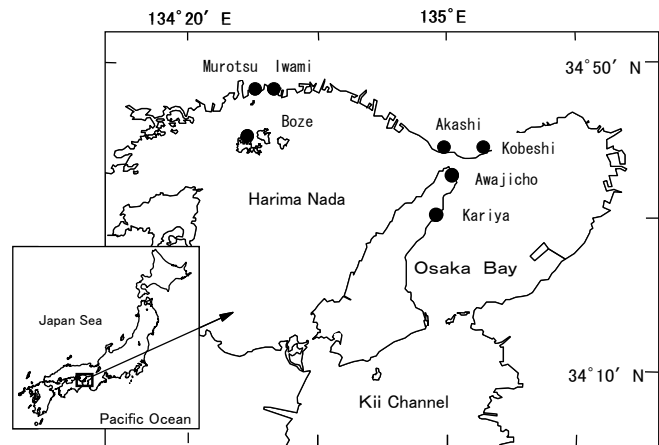


Fig. 5-6 Location of the study area. Solid circles show the fisheries co-operative associations.

る12地区の1988～1990年の漁獲量（1988年の県全体に対する漁獲割合は34.8%）が比較的安定していることから（Fig. 5-5），定常状態を仮定した解析が可能と判断した。刺網と延縄については調査月に偏りがあるため資源解析の対象は小型底びき網とした。

計算の過程で必要となる年齢と体長の関係は，最小二乗法によって求めた1980年代の値を（Table 2-8），体長から全長への変換には第2章1節に示した播磨灘・大阪湾における全長-体長関係式を，全長と体重の関係は Table 2-2 の式を用いた。親魚資源量を計算する際に必要な年齢別性比は Table 3-11 によったが，4歳魚については3歳魚と5歳魚の平均値（0.65）を使用した。KAFS モデルでは産卵の中央月を1月としているため，年齢別成熟割合は Table 3-4 の年齢に1を足して用いた。産卵数は Fig. 3-11 に示した全長-抱卵数関係式を使用した。

結 果

漁獲努力量 Table 5-2 に漁業種類別の漁獲努力量を示す。小型底びき網の中で漁獲努力量が最も多いのは板びき網であり，次いで小底2種，小底3種，小底1種の順であった。季節的には板びき網と小底2種および

Table 5-1A Age-Length Key of marbled sole in Harima Nada, Osaka Bay and northern Kii Channel.

January and February											
Total length (mm)	Age									No. of specimen	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8		9
100-	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
120-	0	0.923077	0.076923	0	0	0	0	0	0	0	39
140-	0	0.923077	0.076923	0	0	0	0	0	0	0	39
160-	0	0.621053	0.368421	0.010526	0	0	0	0	0	0	95
180-	0	0.091954	0.896552	0.011494	0	0	0	0	0	0	174
200-	0	0.009804	0.906863	0.083333	0	0	0	0	0	0	204
220-	0	0	0.815476	0.178571	0.005952	0	0	0	0	0	168
240-	0	0	0.688073	0.293578	0.018349	0	0	0	0	0	109
260-	0	0	0.298701	0.584416	0.064935	0.038961	0.012987	0	0	0	77
280-	0	0	0.088235	0.676471	0.088235	0.088235	0.058824	0	0	0	34
300-	0	0	0.066667	0.4	0.333333	0.133333	0.066667	0	0	0	15
320-	0	0	0	0.181818	0.272727	0.363636	0.090909	0.090909	0	0	11
340-	0	0	0	0.117647	0.176471	0.294118	0.176471	0.117647	0.117647	0	17

March and April											
Total length (mm)	Age									No. of specimen	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8		9
100-	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
120-	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	27
140-	0	0.980769	0.019231	0	0	0	0	0	0	0	104
160-	0	0.942308	0.057692	0	0	0	0	0	0	0	104
180-	0	0.51087	0.48913	0	0	0	0	0	0	0	92
200-	0	0.186441	0.762712	0.050847	0	0	0	0	0	0	59
220-	0	0.041096	0.794521	0.150685	0.013699	0	0	0	0	0	73
240-	0	0	0.670886	0.303797	0.025316	0	0	0	0	0	79
260-	0	0	0.439024	0.463415	0.04878	0.04878	0	0	0	0	41
280-	0	0	0.307692	0.538462	0.096154	0.057692	0	0	0	0	26
300-	0	0	0.1875	0.5	0.1875	0.0625	0.0625	0	0	0	16
320-	0	0	0	0.25	0.25	0.333333	0.083333	0.083333	0	0	12
340-	0	0	0	0.117647	0.176471	0.294118	0.176471	0.117647	0.117647	0	13

May and June											
Total length (mm)	Age									No. of specimen	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8		9
100-	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	-
120-	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	3
140-	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	14
160-	0	0.986111	0.013889	0	0	0	0	0	0	0	72
180-	0	0.980769	0.019231	0	0	0	0	0	0	0	156
200-	0	0.846154	0.153846	0	0	0	0	0	0	0	78
220-	0	0.425532	0.553191	0.021277	0	0	0	0	0	0	47
240-	0	0.259259	0.62963	0.111111	0	0	0	0	0	0	27
260-	0	0	0.777778	0.166667	0.055556	0	0	0	0	0	18
280-	0	0	0.5	0.25	0.125	0.125	0	0	0	0	4
300-	0	0	0.1875	0.5	0.1875	0.0625	0.0625	0	0	0	16
320-	0	0	0	0.25	0.25	0.333333	0.083333	0.083333	0	0	12
340-	0	0	0	0.117647	0.176471	0.294118	0.176471	0.117647	0.117647	0	17

Table 5-1B Age-Length Key of marbled sole in Harima Nada, Osaka Bay and northern Kii Channel.

July and Augst												
Total length (mm)	Age										No. of specimen	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
100-	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
120-	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
140-	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
160-	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	59
180-	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	130
200-	0	0.989362	0.010638	0	0	0	0	0	0	0	0	94
220-	0	0.688889	0.311111	0	0	0	0	0	0	0	0	45
240-	0	0.268293	0.658537	0.073171	0	0	0	0	0	0	0	41
260-	0	0.033333	0.8	0.133333	0.033333	0	0	0	0	0	0	30
280-	0	0	0.769231	0.153846	0.076923	0	0	0	0	0	0	26
300-	0	0	0.545455	0.272727	0.090909	0.090909	0	0	0	0	0	11
320-	0	0	0.272727	0.272727	0.318182	0.090909	0.045455	0	0	0	0	22
340-	0	0	0.074074	0.259259	0.407407	0.185185	0.074074	0	0	0	0	27

September and October												
Total length (mm)	Age										No. of specimen	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
100-	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
120-	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
140-	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
160-	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30
180-	0	0.993671	0.006329	0	0	0	0	0	0	0	0	158
200-	0	0.974138	0.025862	0	0	0	0	0	0	0	0	116
220-	0	0.705882	0.294118	0	0	0	0	0	0	0	0	51
240-	0	0.243243	0.756757	0	0	0	0	0	0	0	0	37
260-	0	0.12	0.72	0.12	0.04	0	0	0	0	0	0	25
280-	0	0	0.7	0.2	0.1	0	0	0	0	0	0	20
300-	0	0	0.545455	0.272727	0.090909	0.090909	0	0	0	0	0	11
320-	0	0	0.272727	0.272727	0.318182	0.090909	0.045455	0	0	0	0	22
340-	0	0	0.074074	0.259259	0.407407	0.185185	0.074074	0	0	0	0	27

November and December												
Total length (mm)	Age										No. of specimen	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
100-	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
120-	0.8	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
140-	0.4	0.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
160-	0.111111	0.888889	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45
180-	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	385
200-	0	0.94186	0.05814	0	0	0	0	0	0	0	0	258
220-	0	0.49	0.51	0	0	0	0	0	0	0	0	300
240-	0	0.497076	0.48538	0.017544	0	0	0	0	0	0	0	171
260-	0	0.181102	0.740157	0.047244	0.031496	0	0	0	0	0	0	127
280-	0	0.060241	0.807229	0.072289	0.048193	0.012048	0	0	0	0	0	83
300-	0	0.03125	0.65625	0.125	0.125	0.0625	0	0	0	0	0	32
320-	0	0	0.272727	0.272727	0.318182	0.090909	0.045455	0	0	0	0	22
340-	0	0	0.074074	0.259259	0.407407	0.185185	0.074074	0	0	0	0	27

Table 5-2 Fishing efforts by fishing methods related to the catch of pleuronectiformes, marbled sole, frog flounder and Japanese flounder in the Seto Inland Sea of Hyogo prefectural region in 1988.

Month	Compact trawl fishery											
	Small otter trawl			Small beam trawl			Dredge net			Danish seine		
	No. of boat	Days / boat	Boat-days	No. of boat	Days / boat	Boat-days	No. of boat	Days / boat	Boat-days	No. of boat	Days / boat	Boat-days
Jan.	334	14.1	4712	256	8.2	2089	475	10.3	4908	11	10.0	110
Feb.	329	13.6	4465	237	9.4	2236	490	13.5	6619	11	18.9	208
Mar.	213	17.8	3790	232	11.3	2615	469	14.3	6707	20	22.5	450
Apr.	491	16.5	8111	442	12.1	5344	173	12.2	2104	30	19.1	574
May	652	16.6	10820	614	13.3	8178	72	13.4	965	64	23.3	1494
Jun.	677	16.3	11061	583	13.2	7669	61	13.3	812	61	24.1	1469
Jul.	683	18.5	12644	616	15.9	9822	85	14.8	1268	68	24.2	1648
Aug.	705	17.0	12004	593	15.7	9330	90	14.8	1321	56	21.4	1197
Sep.	648	15.9	10284	497	12.2	6048	86	16.7	1440	45	20.2	911
Oct.	593	16.4	9746	342	15.2	5202	153	11.2	1715	38	19.5	740
Nov.	402	17.9	7170	267	11.7	3116	307	15.2	4678	16	19.1	306
Dec.	310	19.9	6177	269	13.7	3688	490	18.7	9154	11	18.6	205
Total	6037	200.6	100984	4949	151.8	65337	2950	168.5	41691	431	241.1	9312

Month	Gill net fishery			Long line fishery			Small set net fishery		
	No. of boat	Days / boat	Boat-days	No. of boat	Days / boat	Boat-days	No. of boat	Days / boat	Boat-days
	Jan.	186	10.1	1890	87	9.6	839	92	9.6
Feb.	219	11.1	2434	117	14.2	1654	82	7.1	583
Mar.	275	11.4	3148	113	16.9	1908	68	10.2	689
Apr.	354	12.8	4520	122	17.4	2124	120	14.5	1746
May	458	14.5	6652	130	16.7	2173	133	19.5	2582
Jun.	490	15.6	7616	120	18.5	2226	95	24.6	2344
Jul.	490	15.8	7763	111	18.6	2052	108	19.6	2116
Aug.	452	14.7	6645	106	18.1	1921	108	20.4	2203
Sep.	411	12.9	5285	99	16.0	1587	99	19.4	1922
Oct.	349	14.2	4946	77	16.5	1267	118	18.7	2204
Nov.	288	13.4	3861	92	14.2	1307	105	19.3	2027
Dec.	233	14.0	3265	97	14.2	1381	97	18.3	1765
Total	4204	160.6	58025	1271	190.9	20439	1224	201.2	21068

Table 5-3 Catches (kg) of pleuronectiformes, marbled sole, frog flounder and Japanese flounder by fishing method and by month in 1988.

Month	Compact trawl fishery												Total		
	Small otter trawl			Small beam trawl			Dredge net			Danish seine			Marbled sole	Frog flounder	Japanese flounder
	Marbled sole	Frog flounder	Japanese flounder	Marbled sole	Frog flounder	Japanese flounder	Marbled sole	Frog flounder	Japanese flounder	Marbled sole	Frog flounder	Japanese flounder			
Jan.	6533	5243	1405	9595	10157	784	30476	9705	1829	0	0	0	46604	25105	4018
Feb.	8077	5124	963	12020	9038	651	27559	10951	2421	70	150	0	47726	25263	4035
Mar.	8000	4502	526	9809	8339	631	15511	16182	3006	0	0	0	33320	29023	4163
Apr.	12134	8389	1527	15643	19271	2844	7874	6065	754	200	150	60	35851	33875	5185
May	7171	3722	4133	11730	16414	2489	2506	1438	517	180	50	50	21587	21624	7189
Jun.	7242	4558	903	9568	12947	2304	2803	696	405	200	60	0	19813	18261	3612
Jul.	10024	5005	2117	13569	17510	2219	5771	1418	154	200	70	0	29564	24003	4490
Aug.	5146	5242	463	15137	17465	1678	5370	1137	104	120	100	40	25773	23944	2285
Sep.	6285	4362	458	12309	13148	1843	5025	2311	174	50	50	20	23669	19871	2495
Oct.	4190	4842	474	11002	12834	1712	3554	1756	323	150	80	0	18896	19512	2509
Nov.	4083	6683	1753	7880	5309	1753	7749	12977	1374	250	100	0	19962	25069	4880
Dec.	10568	3907	4136	9516	5945	3053	45622	12235	2685	0	0	0	65706	22087	9874
Total	89453	61579	18858	137778	148377	21961	159820	76871	13746	1420	810	170	388471	287637	54735

Month	Gill net fishery			Long line fishery			Small set net fishery			Other fisheries			Total		
	Marbled sole	Frog flounder	Japanese flounder	Marbled sole	Frog flounder	Japanese flounder	Marbled sole	Frog flounder	Japanese flounder	Marbled sole	Frog flounder	Japanese flounder	Marbled sole	Frog flounder	Japanese flounder
	Jan.	13617	239	259	827	0	0	2843	56	747	827	10	577	64718	25410
Feb.	7834	1127	72	7397	1	0	914	31	554	1120	0	425	64991	26422	5086
Mar.	6880	943	223	12416	0	0	969	6	774	1839	8	612	55424	29980	5772
Apr.	11378	1864	477	12591	9	0	1886	17	1174	917	38	534	62623	35803	7370
May	18750	1991	1213	6673	4	0	2586	7	1410	432	30	279	50028	23656	10091
Jun.	26165	1662	942	3682	0	0	3038	10	853	342	0	659	53040	19933	6066
Jul.	19192	1772	525	2522	0	0	2672	10	395	909	3	98	54859	25788	5508
Aug.	7108	1090	655	3104	0	0	3714	0	609	729	2	68	40428	25036	3617
Sep.	7095	877	1045	1711	0	0	2435	6	553	855	6	67	35765	20760	4160
Oct.	8224	985	1585	2982	0	0	1094	8	1008	638	175	155	31834	20680	5257
Nov.	4858	2976	1103	4805	0	0	1226	16	2518	580	31	604	31431	28092	9105
Dec.	6459	1442	1268	2940	0	0	1918	508	1955	1280	1	509	78303	24038	13606
Total	137560	16968	9367	61650	14	0	25295	675	12550	10468	304	4587	623444	305598	81239

小底 1 種は 6～8 月を中心とする夏期に漁獲努力量が多いのに対し、小底 3 種は冬季の漁獲努力量が大きかった。年間の平均的な 1 隻あたりの出漁日数は小底 1 種が最も多く 240 日に達していた。これは小底 1 種の漁場が岸に近く、気象条件に余り左右されずに出漁できるためと考えられる。板びき網の年間出漁日数は約 200 日、小底 2 種は約 150 日、小底 3 種では約 170 日であった。刺網の年間出漁日数は約 160 日で、6、7 月を中心とする夏期に努力量が多かった。延縄の年間出漁日数は約 190 日で、5 月を中心とする春季～初夏に努力量が多かった。小型定置網の年間出漁日数は約 200 日で、年間を通して操業されているが、水温が低くなる 1～3 月の操業は他の月に比べて少ない。

漁獲量 Table 5-3 に漁業種類別の異体類 3 種（マコガレイ、メイタガレイ、ヒラメ）の漁獲量を示す。1988 年のマコガレイ漁獲量は 623 トンであった。内訳は、小型底びき網が最も多く全体の 62% を占めた。続いて刺網が 22%、延縄が 10%、小型定置網が 4% であった (Fig. 5-7)。小型底びき網のうち、小底 1 種の漁獲量が少ないが、これは操業隻数が少ないことと、漁法の特性によるものと考えられる。マコガレイ、メイタガレイ、ヒラメの魚種別漁獲重量比率は、小型底びき網がそれぞれ 1: 0.74: 0.14 であるのに対し、刺網では 1:

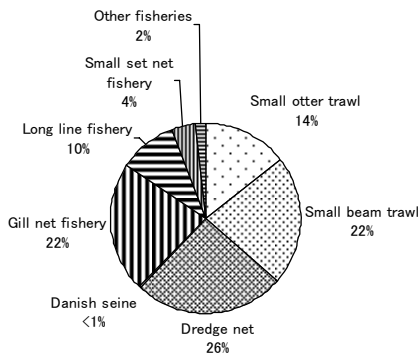


Fig. 5-7 Percent catch of marbled sole by fishing method in 1988. Total catch was 623 tons.

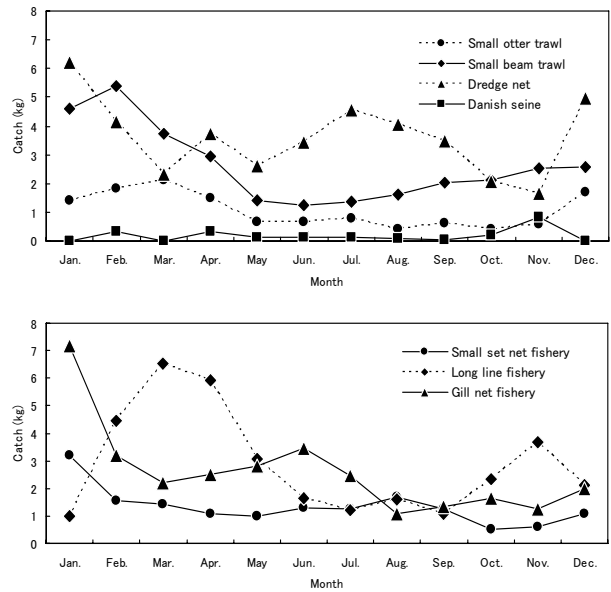


Fig. 5-8 Seasonal changes in the catch of marbled sole per boat-day.

0.12: 0.07, 延縄では 1: 0: 0, 小型定置網では 1: 0.03: 0.5 であった。このことから、カレイ対象の延縄は漁獲物がほぼマコガレイに限られること、小型定置網ではメイタガレイはあまり漁獲されないことがわかる。

Table 5-4 に異体類 3 種について各漁法別の 1 操業日あたりの漁獲重量を示す。小底 3 種の操業 1 日あたりのマコガレイの漁獲重量は 1.66～6.21kg であり、小型底びき網の中では最も多い。次いで小底 2 種 (1.25～5.38kg)、板びき網 (0.43～2.11kg)、小底 1 種 (0～0.82kg) の順となっている。漁具の特性からみて、この結果に示されているように小底 2 種と小底 3 種のマコガレイに対する漁獲能率は、板びき網や小底 1 種に比べて高いと推測される。一方、小底 2 種と小底 3 種の差は小さく、どちらの漁獲能率が高いかの判断は難しい。両漁法は漁業調整上、操業範囲がそれぞれ決められており、小底 2 種は明石海峡を中心とする底質が硬い海域、また小底 3 種は播磨灘および紀伊水道北部の底質が泥～砂泥の海域が主漁場となっている。このような操業区分は底質の硬さに対する漁具の適性を反映した結果でもあり、同一漁場での漁獲能率の比較は難しい。

Fig. 5-8 に各漁業種の 1 操業日あたりのマコガレイ

Table 5-4 Catches (kg) per boat-day of marbled sole, frog flounder and Japanese flounder.

Marbled sole									
Month	Compact trawl fishery				Gill net fishery	Long line fishery	Small set net fishery		
	Small otter trawl	Small beam trawl	Dredge net	Danish seine					
Jan.	1.39	4.59	6.21	0	7.2	0.99	3.21		
Feb.	1.81	5.38	4.16	0.34	3.22	4.47	1.57		
Mar.	2.11	3.75	2.31	0	2.19	6.51	1.41		
Apr.	1.5	2.93	3.74	0.35	2.52	5.93	1.08		
May	0.66	1.43	2.6	0.12	2.8	3.07	1		
Jun.	0.65	1.25	3.45	0.14	3.44	1.65	1.3		
Jul.	0.79	1.38	4.55	0.12	2.47	1.23	1.26		
Aug.	0.43	1.62	4.07	0.1	1.07	1.62	1.69		
Sep.	0.61	2.04	3.49	0.05	1.34	1.08	1.27		
Oct.	0.43	2.11	2.07	0.2	1.66	2.35	0.5		
Nov.	0.57	2.53	1.66	0.82	1.26	3.68	0.6		
Dec.	1.71	2.58	4.98	0	1.98	2.13	1.09		

Frog flounder									
Month	Compact trawl fishery				Gill net fishery	Long line fishery	Small set net fishery		
	Small otter trawl	Small beam trawl	Dredge net	Danish seine					
Jan.	1.11	4.86	1.98	0	0.13	0	0.06		
Feb.	1.15	4.04	1.65	0.72	0.46	0	0.05		
Mar.	1.19	3.19	2.41	0	0.3	0	0.01		
Apr.	1.03	3.61	2.88	0.26	0.41	0	0.01		
May	0.36	2.01	1.49	0.03	0.3	0	0		
Jun.	0.41	1.69	0.86	0.04	0.22	0	0		
Jul.	0.4	1.78	1.12	0.04	0.23	0	0		
Aug.	0.44	1.87	0.86	0.08	0.16	0	0		
Sep.	0.42	2.17	1.6	0.05	0.17	0	0		
Oct.	0.5	2.47	1.03	0.11	0.2	0	0		
Nov.	0.93	1.7	2.77	0.33	0.77	0	0.01		
Dec.	0.63	1.61	1.34	0	0.44	0	0.29		

Japanese flounder									
Month	Compact trawl fishery				Gill net fishery	Long line fishery	Small set net fishery		
	Small otter trawl	Small beam trawl	Dredge net	Danish seine					
Jan.	0.3	0.38	0.37	0	0.14	0	0.84		
Feb.	0.22	0.29	0.37	0	0.03	0	0.95		
Mar.	0.14	0.24	0.45	0	0.07	0	1.12		
Apr.	0.18	0.53	0.49	0.1	0.11	0	0.67		
May	0.38	0.3	0.54	0.03	0.18	0	0.55		
Jun.	0.08	0.3	0.5	0	0.12	0	0.36		
Jul.	0.17	0.23	0.12	0	0.07	0	0.19		
Aug.	0.04	0.18	0.08	0.03	0.1	0	0.28		
Sep.	0.04	0.3	0.12	0.02	0.2	0	0.29		
Oct.	0.05	0.33	0.19	0	0.32	0	0.46		
Nov.	0.21	0.56	0.38	0	0.29	0	1.24		
Dec.	0.67	0.83	0.29	0	0.39	0	1.11		

Table 5-5 Total length compositions of marbled sole caught by compact trawl.

Total length (mm)	1988					1989					1990												Total			
	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	Jun.	Jul.		Aug.	Sep.	
<100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
100-110	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	4	0	1	0	7	
110-120	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0	1	0	6	0	1	2	19	
120-130	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	8	5	0	2	0	4	2	2	2	2	26	
130-140	0	0	2	4	4	26	0	0	0	0	0	0	0	0	11	4	1	9	1	9	8	3	1	83		
140-150	0	5	11	14	25	76	4	6	3	2	3	0	1	0	8	13	5	3	13	2	6	12	6	220		
150-160	1	34	28	46	43	111	9	3	1	1	12	9	4	2	9	11	5	8	11	4	8	17	11	7	395	
160-170	2	49	56	54	45	102	10	13	24	13	31	15	5	4	12	7	11	6	8	12	20	26	25	13	563	
170-180	2	32	42	55	63	99	17	34	40	31	61	21	10	3	9	16	10	10	2	6	25	40	29	23	680	
180-190	4	16	35	50	64	92	45	54	44	72	111	46	9	15	11	25	19	22	5	16	33	36	35	25	884	
190-200	13	8	34	53	55	70	41	62	74	90	102	42	26	15	34	46	50	33	5	17	37	55	26	30	1018	
200-210	16	19	42	54	45	41	40	42	71	105	134	58	32	32	42	47	51	53	8	22	61	44	28	31	1118	
210-220	17	22	56	47	41	33	30	33	83	87	104	38	22	25	54	51	34	65	12	28	58	32	23	16	1011	
220-230	13	22	56	45	53	44	18	25	55	72	73	32	10	13	49	50	42	61	11	30	52	28	27	13	894	
230-240	16	33	60	38	36	37	18	21	25	65	55	13	9	21	55	41	34	32	7	24	42	27	16	12	737	
240-250	12	32	53	51	31	19	17	15	32	46	28	9	7	8	45	34	16	25	14	17	38	27	22	9	607	
250-260	6	20	46	37	29	22	8	7	17	22	22	5	6	8	28	29	14	21	15	13	29	22	13	4	443	
260-270	8	21	26	31	20	12	7	7	12	9	8	3	6	3	20	19	7	12	8	8	22	9	7	12	297	
270-280	6	9	23	23	22	9	8	3	9	15	7	6	0	2	12	16	13	16	5	5	14	15	4	6	248	
280-290	0	6	22	17	15	13	5	5	6	2	9	1	1	2	7	11	5	9	3	6	11	10	5	4	175	
290-300	2	8	21	16	14	5	3	2	2	6	5	1	0	1	1	9	9	4	3	2	5	10	3	3	135	
300-310	2	5	10	8	11	4	3	2	2	5	3	3	0	1	6	7	5	3	3	6	3	2	3	2	99	
310-320	0	1	8	11	3	3	3	1	0	1	4	2	1	1	7	4	5	2	2	1	1	1	1	1	0	63
320-330	1	2	7	7	5	2	7	2	3	3	2	0	0	0	2	4	1	2	1	0	0	0	1	0	52	
330-340	0	3	1	8	4	0	2	2	1	2	4	3	0	0	3	4	3	1	0	0	1	0	0	1	43	
340-350	1	1	5	4	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	2	0	0	0	0	0	2	20
350-360	0	2	3	3	1	0	1	1	1	0	0	1	0	0	3	2	0	0	1	0	0	0	1	1	21	
360<	0	1	2	4	2	0	1	0	1	0	0	0	0	0	5	3	1	1	0	0	3	1	2	1	28	
Total	122	351	649	680	632	820	297	342	507	649	779	308	149	156	423	477	350	390	151	221	492	424	295	222	9886	

漁獲量の季節変化を示す。小底 3 種では産卵期の 12 月と 7 月頃の 2 回の漁獲ピークが認められる。小底 2 種では漁獲のピークは 2 月前後の 1 回だけである。刺網では産卵期に漁獲重量が大きく増加するが、これは産卵のために集群してくるマコガレイが漁獲されるためと考えられる (第 3 章 4 節)。また刺網では 7

月頃にも小さな漁獲の山が認められる。延縄では 3~4 月を中心とする時期に最も漁獲量が多くなる。この時期は産卵後におけるマコガレイの **Recovering** 期であり (第 3 章 2 節), 摂餌が活発になるため延縄で多く漁獲されると考えられる。また、延縄では 11 月にもやや小さい漁獲ピークが認められる。

Table 5-6 Total length compositions of marbled sole caught by gill net.

Total length (mm)	1988				1989				Total
	Dec.	Apr.	May	Jun.	Dec.	Apr.	May	Jun.	
<100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
100-110	0	0	0	0	0	0	0	0	0
110-120	0	0	0	0	0	0	0	0	0
120-130	0	0	0	0	0	0	0	0	0
130-140	0	0	0	0	0	0	0	0	0
140-150	2	0	0	0	0	0	0	2	2
150-160	0	1	0	0	0	0	0	1	1
160-170	4	1	0	0	0	0	0	5	5
170-180	5	4	0	1	10				10
180-190	10	3	2	4	19				19
190-200	15	13	6	12	46				46
200-210	18	11	15	23	67				67
210-220	27	4	15	20	66				66
220-230	16	4	12	17	49				49
230-240	6	5	11	9	31				31
240-250	1	5	15	7	28				28
250-260	0	1	12	3	16				16
260-270	0	2	7	2	11				11
270-280	0	1	5	2	8				8
280-290	0	0	0	0	0				0
290-300	0	0	1	0	1				1
300-310	0	0	0	0	0				0
310-320	0	0	0	0	0				0
320-330	0	0	0	0	0				0
330-340	0	0	0	0	0				0
340-350	0	0	0	0	0				0
350-360	0	0	0	0	0				0
360<	0	0	0	0	0				0
Total	104	55	101	100	360				360

Table 5-7 Total length compositions of marbled sole caught by long line.

Total length (mm)	1989				Total
	Feb.	Mar.	Apr.	Jul.	
<100	0	0	0	0	0
100-110	0	0	3	0	3
110-120	0	1	3	0	4
120-130	0	2	6	0	8
130-140	9	12	24	0	45
140-150	19	15	27	0	61
150-160	25	28	28	0	81
160-170	20	21	20	0	61
170-180	13	18	23	0	54
180-190	10	38	24	0	72
190-200	10	35	24	2	71
200-210	12	35	15	14	76
210-220	7	26	28	28	89
220-230	12	32	20	28	92
230-240	10	22	15	15	62
240-250	10	16	21	7	54
250-260	8	22	21	5	56
260-270	11	10	19	3	43
270-280	6	5	12	1	24
280-290	3	5	13	0	21
290-300	6	4	8	0	18
300-310	1	3	5	0	9
310-320	0	3	2	0	5
320-330	0	0	0	0	0
330-340	0	0	2	0	2
340-350	0	1	0	0	1
350-360	0	0	0	0	0
360<	0	0	0	0	0
Total	192	354	363	103	1012

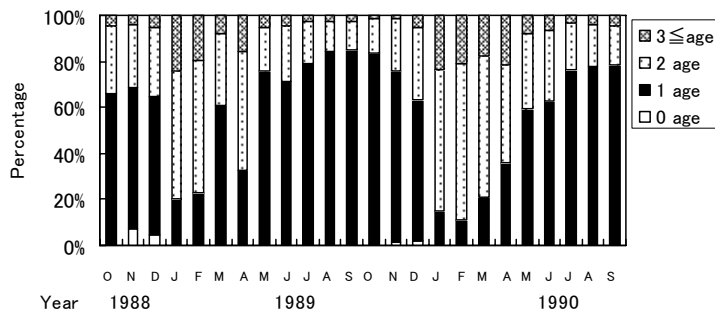


Fig. 5-9 Monthly change in the age composition of marbled sole caught by compact trawl in Harima Nada and Osaka Bay

Table 5-8 Age composition of marbled sole caught by compact trawl in 1988-1990.

Age	Number
0	17031
1	1350459
2	951675
3	196725
4	42118
5	23970
6	8688
7	2775
8	1236
9	0
Total	2594678

資源解析 小型底びき網，刺網および延縄で漁獲されたマコガレイの全長組成を Table 5-5～5-7 に示す。同一月で比べると小型底びき網よりも刺網で漁獲されるマコガレイのサイズはやや大きい傾向が認められた。また，延縄では小型のマコガレイの漁獲割合が高かった。 Fig. 5-9 に小型底びき網漁獲物の年齢組成の季節変化を示す。0歳魚は11～12月に漁獲されるが，その割合は小さい。1歳魚の漁獲割合は1月以後月を追って増加し5月頃には60%以上に達する。このような年齢組成の推移から，マコガレイは生後10ヶ月の11月頃から小型底びき網で漁獲され始め，生後16ヶ月となる満1歳の5月頃までに大半が漁獲加入すると推察される。Table 5-8 に1988-1990年の年齢組成から求めた年間の年齢別漁獲尾数を，また，年齢と漁獲尾数の対数値との関係を Fig. 5-10 に示す。2歳魚以上の各年齢の漁獲尾数のプロットはほぼ右肩下がりの直線的傾向を示すが，1歳魚はこの直線的傾向のやや下方にあり，完全加入年齢は2歳と判断された。計算の結果，1歳魚の利用度は0.556となった。これは，第5章3節で示すように商品サイズに達していない投棄魚が多く存在することも原因の一つと考えられる。完全加入年齢を2歳として Table 5-8 より平均年齢法(木本2001)により計算した全減少係数(Z)の値は1.39となった。 $S=e^{-Z}$ より1980年代後半の生残率(S)として0.250を得た。本調査で確認したマコガレイの最高齢

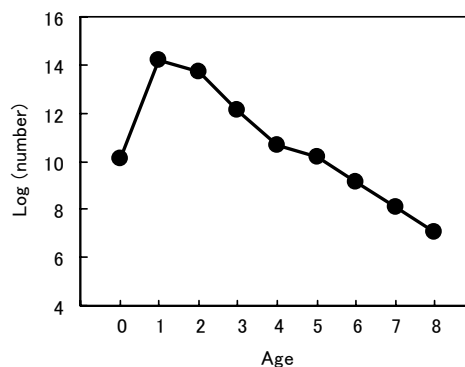


Fig. 5-10 Age composition of marbled sole in 1988-1989.

は8歳であるが，実際の寿命はこれよりも長いと考えられる。周防灘産マコガレイの寿命について木本ほか(1990)は，周防灘における漁獲物の最高年齢である9歳は寿命より相当若齢であるとし，寿命を12歳としている。根拠は明確でないが同じ海域で山口県ほか(1987)は寿命を10歳，また辻野ほか(1997)は大坂湾産のマコガレイの寿命を10歳として資源解析を行っている。本研究では，標本魚の最高齢が8歳であったことから木本ほか(1990)と同様，寿命はこれよりも高齢と推定されること，および瀬戸内海の他の報告例を参考に，寿命を10歳とした。

マコガレイの資源解析にあたって木本ほか(1990)は複数の方法で自然死亡係数(M)を推定し，その平均的な値として0.598(生残率55%)を採用している。本報では木本ほか(1990)が計算に用いた方法のうち，寿命時の残存バイオマス量が1歳時の10%となる生残率を計算した。この計算で得られた生残率56%(自然死亡係数は0.578)を漁獲死亡が無い場合の生残率(S_0)とした。漁獲死亡係数(F)は $Z=F+M$ の関係より0.812を，また，漁獲率(E)は $E=F/Z(1-e^{-Z})$ により0.438を得た。

Table 5-9 に1980年代後半の播磨灘・大阪湾・紀伊水道北部におけるマコガレイの資源状態を示す。推定資源尾数は840.8万尾，漁獲対象資源尾数は594.8万尾と計算された。他の漁業の漁獲物の年齢組成が小型

Table 5-9 Status of marbled sole stock caught by compact trawl in Harima Nada and Osaka Bay in the late 1980s.

Age (year)	Total stock		Available stock		Catch		Adult (female)		Number of spawning ($\times 10^4$)
	Number ($\times 10^3$)	Weight (t)	Number ($\times 10^3$)	Weight (t)	Number ($\times 10^3$)	Weight (t)	Number ($\times 10^3$)	Weight (t)	
1	5543.33	400.62	3083.74	222.86	1350.46	97.60	0.00	0.00	0.0
2	2149.50	415.04	2149.50	415.04	941.33	181.76	1173.62	172.36	4712.8
3	536.46	177.46	536.46	177.46	234.93	77.71	337.97	91.15	2808.6
4	133.89	59.85	133.89	59.85	58.63	26.21	87.03	33.40	1103.1
5	33.41	18.18	33.41	18.18	14.63	7.96	22.39	10.64	366.5
6	8.34	5.12	8.34	5.12	3.65	2.24	6.25	3.42	121.2
7	2.08	1.39	2.08	1.39	0.91	0.61	1.56	0.93	33.6
8	0.52	0.37	0.52	0.37	0.23	0.16	0.39	0.25	9.0
9	0.13	0.09	0.13	0.09	0.06	0.04	0.10	0.06	2.3
10	0.03	0.02	0.03	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02	0.6
Total	8407.68	1078.14	5948.10	900.39	2604.84	394.30	1629.33	312.24	9157.7

Table 5-10 Estimated stock of marbled sole under the condition of no fishing mortality.

Age (year)	Total stock		Adult (female)		Number of spawning ($\times 10^4$)
	Number ($\times 10^3$)	Weight (t)	Number ($\times 10^3$)	Weight (t)	
1	5543.33	400.62	0.00	0.00	0.0
2	3109.91	600.49	1698.01	249.38	6818.6
3	1744.72	577.14	1099.17	296.45	9134.3
4	978.82	437.57	636.23	244.19	8064.5
5	549.14	298.84	367.92	174.88	6023.5
6	308.08	189.03	231.06	126.46	4478.1
7	172.84	115.11	129.63	77.41	2788.7
8	96.96	68.43	72.72	45.97	1674.5
9	54.40	39.68	40.80	26.77	982.2
10	30.52	22.90	22.89	15.44	569.6
Total	12588.72	2749.80	4298.44	1256.94	40534.0

底びき網と同じと仮定すると、全体の資源尾数は1350万尾、漁獲対象資源尾数は955万尾と推定される。

考 察

資源未利用時($F=0$)の資源状態を Table 5-10 に示す。現状解析の $F=0.812$ で得られる漁獲量は394トンである。加入尾数を固定して F を0.6に下げた場合(26%減)の漁獲量は375トン(5%減)、 F を1.0にした場合(23%増)の漁獲量は403トン(2%増)と F の変化に対して漁獲量の変化は小さい。このことは、 F の変化に対して等漁獲量曲線が平行に近いことを示している。一般的な事例から見て漁獲量を増加させるためには漁獲開始年齢を上げることが効果的である。つまり KAFS モデルでは低年齢の利用度を下げることである。1歳魚の利用度を0として試算すると漁獲量は527トン(34%増)となった。しかしマコガレイの場合、0歳魚から市場で流通し消費されている実態からみて

漁獲開始年齢を引き上げることは難しいと考えられる。また、仮に規制をかけたとしても小型底びき網の場合は混獲問題がより大きくなる可能性がある。このように成長乱獲を防止するための YPR (yield per recruitment) 型管理の考え方では、マコガレイの管理目標の設定は難しい。YPR 型資源管理の考え方の中には再生産は考慮されていない。資源管理の本質的な目標である持続的管理を達成するためには、再生産の観点から資源状態を評価することが重要である。しかし再生産関係が不明であるため、資源利用時と未利用時における加入1尾あたりの産卵親魚重量の比、すなわち %SPR (spawning per recruitment) の値と、一般的に推奨されている %SPR のレベルを参考に検討することとする。Table 5-9 と Table 5-10 の親魚重量から計算した %SPR の値は25%であった。松宮(1996)は %SPR に関する様々な見解を総合して、推奨する %SPR の範囲は20~60%であり、%SPR の下限(閾値)は20%程

度に保ち、特に推挙できる基準は30~40%SPRであると述べている。本研究で得られた25%SPRは推薦する範囲に入っているが下限値に近い。このことから、1980年代後半の漁獲実態は極端な乱獲ではないが、乱獲に近い状態であったと考えられる。マコガレイの補償%SPR(これより低い%SPRでは持続的な再生産は望めない)が明らかでないため、安全も考慮すると、改善の目標としては30%SPRが一つの目安と考えて良いであろう。30%SPRを達成するためには、Fを0.812から0.65に下げなければならない(漁獲努力量の20%減)。

5-3 カレイ類幼稚魚の投棄実態と再放流魚の生存率

小型底びき網では多くの魚種が同時に漁獲されるとともに、マコガレイやメイタガレイの幼稚魚をはじめ、漁獲対象サイズに達しない有用種の幼稚魚が混獲される。このような混獲魚の多くは船上での選別作業の後海中に投棄される。それらの多くは投棄前に、あるいは投棄された後に死亡していると考えられ、資源管理上大きな問題である。投棄対象魚を減らす最も標準的な手法は漁具改良である。中でも網目拡大は技術的に取り組み易く、兵庫県ではマアナゴ *Conger myriaster* (西川ほか 1994a) および小型エビ類 (西川ほか 1994b) を対象とした網目拡大の提案が行われた。しかし、カレイ類については目合に対して投棄対称サイズが大きいため、網目拡大だけでは幼稚魚保護は困難である。そこで考えられる資源管理手法が小型魚の

再放流である。この方法は経費がかからず、漁業者がすぐに取り組める点で優れているが、実施にあたっては事前に再放流魚の生存性を確認しておく必要がある。そこで本研究では小型底びき網漁船による試験操業とそれに引き続く飼育実験を行い、再放流魚の生存性を明らかにした。また、資源管理手法としての再放流の位置づけを明らかにするためには投棄実態を調べておく必要がある。小型底びき網によるマコガレイ、メイタガレイの混獲、投棄の実態については、伊東ほか(1986)、東海ほか(1985)がそれぞれ報告しているが、いずれの報告も瀬戸内海西部海域の周防灘に限られたものであり、本県の主漁場である大阪湾、播磨灘海域では明らかにされていない。そこで本研究では標本船調査により当海域におけるマコガレイとメイタガレイの投棄サイズと投棄尾数を明らかにした。

材料および方法

投棄サイズ 投棄サイズは、標本船の投棄魚と後述の生存率試験で得られた投棄魚から求めた。標本船の投棄魚は1989年3月~1990年9月の間、大阪湾で操業する小型底びき網漁船1隻(板びき網)と播磨灘で操業する小型底びき網漁船1隻(小底2種のチン漕ぎ網)から毎月1~3回収集し、魚種別に全長、体重を測定した。
投棄尾数 投棄尾数を把握するために、小型底びき網漁船の中から漁法別に27隻の標本船を設定し(板びき網: 播磨灘9隻と大阪湾5隻, 小底2種: 播磨灘・大阪湾4隻, 小底3種: 播磨灘9隻), 1988年10月~1989年9月の1年間、投棄尾数の記帳を依頼した。この資料をもとに月別の1日1隻あたりの平均投棄尾数を算

Table 5-11 Outline of the experimental hauls using a compact trawl.

Year	Date	Fishing method	Hour	No. of haul	Time / haul (min.)	Depth (m)
1989	26 Jun.	Small beam trawl	19:00-23:30	8	20	—
	5 Jul.	Dredge net	06:00-09:00	6	15	6-8
	29 Aug.	Small beam trawl	18:30-21:30	6	20	14-19
1990	10 Nov.	Small beam trawl	17:30-22:00	10	20	9-20
	8 Mar.	Small beam trawl	18:00-22:30	10	20	11-18
	16 May	Small beam trawl	18:30-22:00	7	20	11-17

出した。しかし、小型底びき網では貝殻や土砂といった大量の投棄物が入網し、これに埋もれてしまった投棄魚は見落とす可能性があり、見落としの程度を数値化して上述の平均投棄尾数を補正する必要がある。そこで、後述の生存率試験の試験曳網時に著者が直接計数した投棄尾数を投棄の実数とし、この値を同じ漁業者の標本船日誌に記載された投棄尾数で除することにより補正係数を求めた。マコガレイの補正係数は、3月が1.0、5月が12.2、6月が26.4、8月が18.0、10月が10.6であった。メイトガレイの補正係数は、3月が4.5、5月が3.7、6月が3.4、8月が2.6、10月が1.8であった。標本船の平均投棄尾数に、この時期別補正係数を乗ずることにより補正投棄尾数を求め、さらに努力量 (Table 5-2 の Boat-days) で引き延ばして県全体の投棄尾数を推定した。投棄重量は各月の投棄魚標本から平均体重を求め、投棄尾数を乗ずることにより推定した。

再放流魚の生存率 1989年6月～1990年5月に漁船による試験操業を6回実施した (Table 5-11)。このうち、1989年7月は播磨灘北西部海域で (小底3種)、それ以外は播磨灘北東部海域の高砂市沖 (小底2種) で行った。船上での選別作業に要する時間は入網物の内容によって変わるため一定ではないが、小底2種で

は約15分、小底3種ではそれよりもやや短い。この試験では漁業者に通常の操業を行ってもらったが、再放流を想定して、入網物の選別作業に入る前に、まず目についたマコガレイおよびメイトガレイの幼稚魚を船上の水槽に収容し、その後選別作業に入ってもらった。また、選別作業中に見つかった幼稚魚も全て船の水槽に収容した。船の水槽の水温はできるだけ現場の表層海水温に近づけるため (1～2℃以内)、適宜換水するとともにエアレーションを行った。1回の調査における試験操業回数は6～10回で、合計操業時間は3～4.5時間であった。

採集した試験魚はトラックで60～90分を要して水産試験場に輸送後、水槽底に砂を敷いた1トンFRP円形水槽に収容し、流水・無給時条件下で管理した。管理中は毎日朝夕2回、水温を測定するとともにへい死個体の有無を確認し、その全長を測定した。標本魚の生存率は、いずれの調査回次でも漁獲されてから20時間前後までは大きく減少するが、その後は緩やかに減少し、60時間後には横這い状態を示した。このことから、最終的な生存率は60時間後の生存尾数を採集尾数で除することにより算出した。

結 果

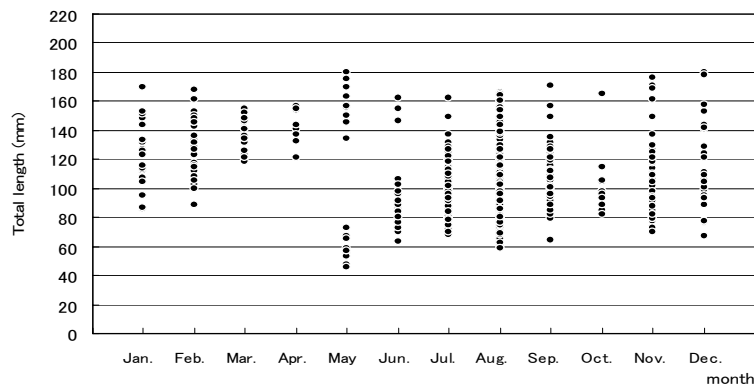


Fig. 5-11 Size distribution of marbled sole discarded from the compact trawl in Harima nada and Osaka Bay.

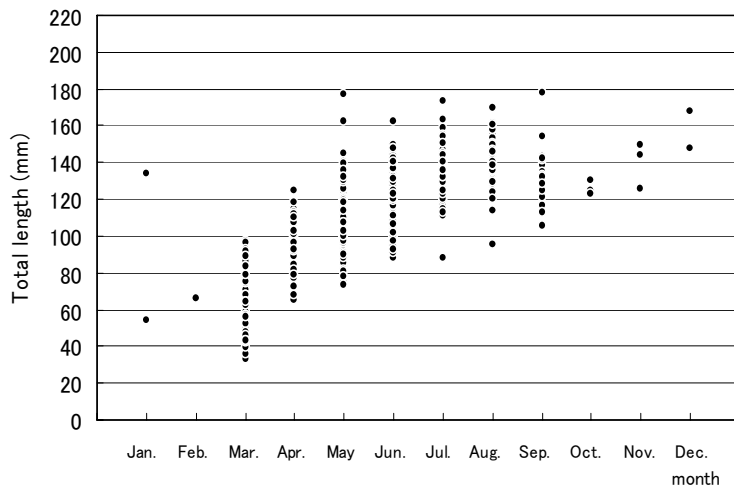


Fig. 5-12 Size distribution of frog flounder discarded from the compact trawl in Harima nada and Osaka Bay.

投棄サイズ Fig. 5-11 にマコガレイ投棄魚の全長分布を示す。投棄されるマコガレイ当歳魚の出現は5月頃で、全長40~50mmから始まる。また、この時期は140~180mm前後の1歳魚と推定される個体も投棄されている。6月になると投棄魚の下限サイズは全長約60mmとなるが、12月までは横這い状態を示す。このことは、全長60mm程度に成長した小型魚が長期にわたって入網し、投棄されていることを示している。一方、投棄サイズの上限は年間を通して160~180mmであり、これ以上に成長した個体はほぼ100%が水揚げ対象になると推測される。しかし市場調査では全長140mm前後の個体でも商品サイズとして水揚げされていることから (Table 5-5), 全長140~180mmは投棄と水揚げの重複領域である。市場調査の結果も考慮すると、投棄魚と水揚げ魚の境界は全長150~160mm前後と推察される。

Fig. 5-12 にメイトガレイ投棄魚の全長分布を示す。メイトガレイ投棄魚の出現時期については1, 2月の標本魚が少なく明確には言えないが、本格的な投棄が始まるのは3月頃と推定され、その下限サイズは全長30mm前後である。その後、下限サイズは上昇し、7月には全長100mm前後に達している。また、この間

は上限体長も上昇傾向を示しており、マコガレイに見られたような、1歳魚の投棄は見られない。7月以降は投棄サイズの上限は全長約160mmで横這い状態となる。これは成長の良い個体が商品サイズに達し水揚げされるためである。Fig. 5-12 では全長160mm前後の個体も投棄されているが、マコガレイの場合と同様に、市場調査では上限サイズをかなり下回る個体も商品サイズとして扱われていることから、全長140~150mm前後が投棄魚と水揚げ物の境界であると推定される。

投棄尾数 Fig. 5-13 と Fig. 5-14 に投棄尾数の月変化を示す。投棄尾数の増加はマコガレイでは5月から、メイトガレイでは3月から認められ、これらの時期は当歳魚が漁場へ加入し始める時期と一致する。投棄尾数がピークを示すのはマコガレイが7月、メイトガレイが6月であり、推定投棄尾数は、それぞれ約800万尾と約160万尾となった。ピーク後の投棄尾数は両種とも9月まで急激に減少する。これは投棄サイズであった個体が成長にともなって次々と商品サイズに達し、水揚げ物として漁獲されるようになるためと考えられる。マコガレイでは播磨灘の板びき網による投棄量が最も多く、全体の50%程度を占めていた。一方、メ

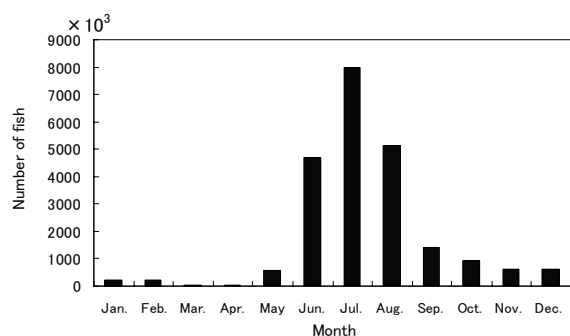


Fig. 5-13 Monthly variation in the estimated number of marbled sole discarded from the compact trawl fishery in the Seto Inland Sea of Hyogo prefectural region.

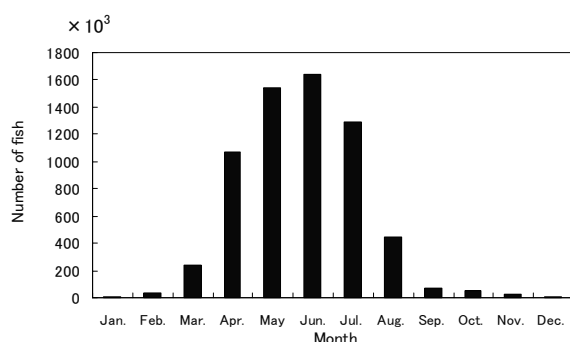


Fig. 5-14 Monthly variation in the estimated number of frog flounder discarded from the compact trawl fishery in the Seto Inland Sea of Hyogo prefectural region.

イタガレイでは全体の88%が大坂湾北部並びに播磨灘北東部で操業する小底2種による投棄であった。

再放流魚の生存率 試験結果の概要を Table 5-12 に示す。マコガレイの生存率は3月に83.3%と高い値を示したが、それ以外の調査回次では0~11.1%であり、投棄尾数の多い6-8月の生存率は0~6.8%と低い値であ

った。一方、メイタガレイはマコガレイに比べると高い生存率を示し、特に投棄尾数の多い5, 6, 7月の生存率はそれぞれ77.0%, 44.3%, 60.0%であった。Table 5-13 は得られた生存率を水温別, 体長別に整理したものである。メイタガレイの水温10.9℃における体長別生存率は, 全長30-50mmで52.9%, 同50-70mmで66.7%, 同70-90mmでは100%を示した。また, 全長70-90mmの水温別生存率は, 水温10.9℃で100%, 16.3℃で52.6%, 20.2℃では22.0%に減少した。マコガレイについても同様な傾向があると推察されるが, 全般に生存率が低く明瞭ではない。これらの結果から, 水温ならびに魚体の大きさは再放流魚の生存性を左右する重要な要因であると考えられる。

考 察

投棄されるマコガレイ当歳魚の出現は5月頃で, 全長40~50mmから始まるが, 投棄サイズの下限全長は6月以後ほぼ一定していた。投棄の下限サイズが一定値を示す原因の一つとして底びき網の網目選択性が考えられる。投棄魚の採集を行った板びき網の呼称目合は15節であり目合内径(2脚1節長, 以下同じ)は20mmである。また, 小底2種の呼称目合は12節であり目合内径は23mmである。東海ほか(1989)は小型底びき網のカレイ類に対する網目選択性を明らかにしている。それによると, 体長(I_L : mm)と目合内

Table 5-12 Survival rate of the fish discarded from the compact trawl.

Species	Date	Mean water temperature (°C)	Number of fish examined	Number of survived fish	Survival rate (%)	Mean total length of fish examined (mm)	
Marbled sole	1989	Jun.	21	1	4.8	84	
		Jul.	543	37	6.8	100	
		Aug.	162	0	0	85	
		Nov.	27	3	11.1	88	
	1990	Mar.	10.9	6	5	83.3	135
		May	16.3	13	0	0	58
Frog flounder	1989	Jun.	192	85	44.3	119	
		Jul.	5	3	60	139	
		Aug.	46	9	19.6	139	
		Nov.	20.1	2	1	50	135
	1990	Mar.	10.9	88	56	63.6	53
		May	16.3	126	97	77	104

Table 5-13 Percent survival of marbled sole and frog flounder discarded from the compact trawl. Figures in parentheses show the number of fish examined.

Species	Total length (mm)	Water temperature (°C)			
		10.9	16.3	20.5	26.1
Marbled sole	30-50		0 (2)		
	50-70		0 (10)	0 (3)	0 (19)
	70-90		0 (1)	3.5 (115)	0 (98)
	90-110			5.4 (295)	0 (31)
	110-130	100 (1)		13.5 (126)	0 (9)
	130-150	80.0 (5)		0 (4)	0 (5)
	150-170	100 (6)	100 (1)		0 (16)
	170-190	100 (2)	100 (1)	0 (1)	3.2 (31)
Frog flounder	30-50	52.9 (34)			
	50-70	66.7 (48)			
	70-90	100 (6)	52.6 (19)	20 (5)	
	90-110		80 (65)	21.2 (52)	
	110-130		81.1 (37)	46.4 (84)	37.5 (8)
	130-150		100 (5)	66.7 (51)	5.8 (38)
	150-170			68.4 (19)	31.3 (16)
	170-190	100 (1)			50 (2)

径 (m : mm) との比 I_L/m に対する網目選択率のマスターカーブから、マコガレイでは 50% 選択を示す I_L/m の値が 2.1 であることが示されている。これに従うと板びき網の 50% 選択全長は 55mm となる。また、このマスターカーブから 0% 選択および 100% 選択の

I_L/m を読み取り、それぞれの選択全長を計算すると 40mm と 66mm となる。この結果から呼称目合 15 節の板びき網では、全長 40mm 以下のマコガレイはほぼ全数が網目から抜けてしまうが、全長 40~50mm サイズの個体は分布していれば入網すると考えられる。小底 2 種についても同様に計算すると、50% 選択全長は 62mm、0% および 100% 選択全長はそれぞれ 46mm と 76mm となった。したがって、小底 2 種についても、全長 40mm 代後半から 50mm 台のマコガレイ稚魚は、分布していれば入網する可能性がある。しかし Fig. 5-11 によると 6 月以降の投棄魚の下限全長は約 60mm でありそれ以下のサイズは投棄されていない。また下限全長は横ばい傾向を示し、メイタガレイのような増大傾向は示さない。この結果は、底びき網漁場より沿岸の成育場で全長 60~70mm に成長したマコガレイ稚魚が、順次底びき網漁場に加え混獲されていることを示唆していると考えられる。一方、5 月には全長

40mm 台のマコガレイ稚魚が投棄されている。これは網目選択の下限全長に近いことから、5 月には全長 40mm より小さい個体も底びき漁場に分布していた可能性がある。この理由は明確ではないが、やや沖合に着底した稚魚が浅所の成育場に移動する過程で入網したのかも知れない。

伊東ほか (1986) は周防灘で小型底びき網の投棄魚調査を行い、マコガレイの投棄魚は 5 月中旬~下旬に出現し始め、その体長範囲は 35~50mm (第 2 章 1 節の全長-体長関係式で全長に変換すると 46~64mm, 以下同じ) であるとしており、本研究の結果とほぼ等しい。また、伊東ほか (1986) は言及していないが、周防灘の床波地区の小型底びき網の投棄魚の下限体長は 6 月後半以降 50mm (全長 64mm) 前後で横ばい傾向がみられ、これについても本研究と似た結果が得られている。また、周防灘の光市沖の小型底びき網の試験操業結果から東海・伊東 (1989) は、5 月まで水深 15m 以浅で成長したマコガレイ幼魚は、6 月には成長して体長 50mm (全長 64mm) を越えるものからこの海域を出ていくと述べている。以上の周防灘の報告および播磨灘・大阪湾における本研究の結果から、沿岸浅所に分布するマコガレイ稚魚は、全長 60~70mm に成長す

ると順次沖合いの底びき網漁場に参加すると推察される。

マコガレイの投棄魚は6~8月が多かった。これは周防灘（伊東ほか 1986）で得られている結果と同じであり、瀬戸内海では一般的な傾向と思われる。年間推定投棄尾数を Table 5-2 の小型底びき網の合計操業日数で除して1日1隻あたりの投棄尾数を求めると約100尾となった。また、小型底びき網の年間操業日数を180日とすると、1隻あたりの年間推定投棄尾数は約18000尾となる。伊東ほか（1986）が周防灘で求めた小型底びき網の年間1隻あたりの推定投棄尾数は4300~42000尾であり、調査年および標本船による差違が認められている。本研究では投棄尾数を求めるにあたって大きな補正係数を乗じており、得られた結果にはかなりの推定幅があると考えられるが、年間1隻あたりの推定値のオーダーは周防灘と大きくは違わなかった。資源状態にもよるが、これらの結果から、瀬戸内海全体では年間に莫大な数のマコガレイ稚魚が投棄されていると推察される。

幼稚魚の再放流を目的とした生存率試験は幾つかの魚種で実施されている。生存率は漁法や対象魚のサイズおよび水温などの影響を受けるため、結果の幅は大きく、マコガレイでは0-83.3%（本報）と0-86.1%（有山ほか, 2004）、メイタガレイでは19.6-77.0%（本報）、ヒラメでは43-88%（平川・田中 1997）と27-81%（青柳・後藤 1999）などの報告がある。これらのうち、マコガレイは3月を除くと生存率はそれぞれ0~11.1%、0~27%であり、他魚種と比べて低い。一方、網目拡大を想定した袋網通過後の生存率については、haddock（タラの類）では0-94%（Main and Sangster 1990）と48-89%（Sangster *et al.* 1996.）、whiting（タラの類）では52-86%（Sangster *et al.* 1996.）、vendace（シロマス）では平均50%（Suuronen *et al.* 1995）、herring（ニシン）では9%（<体長12cm）と38%（体長12-17cm）（Suuronen *et al.* 1996）、ヒラメでは70-95%、メイタガレイでは30-60%、マダイ *Pagrus major* では90%（鳥取県 1992）、

マアナゴでは97%と100%（反田・西川 2001）などの報告がある。これらの報告から、魚種によっては網目通過後もかなり死亡する場合があるが、全般的には再放流よりも生存率は高いと推察される。このように生存率の面からも網目拡大の方が合理的な管理手法といえるが、網目拡大による管理が困難でかつ再放流後の生存率が高い魚種に絞れば、小型魚の再放流も管理手法として有効と考えられる。Fig. 5-13 および Fig. 5-14 に示した投棄尾数と Table 5-12 の季節別生存率から年間平均の生存率を推定すると、マコガレイは5.7%、メイタガレイは58.5%となった。このようにマコガレイでは再放流の効果は低いが、メイタガレイは再放流に適した魚種と言えよう。

通常操業において船上に一旦揚がった投棄対象魚はすべて死亡するとすれば、今回得られた生存率は再放流の効果と見なすことができる。しかし、水温の低い季節や夜間操業などでは、通常に投棄された魚であってもその生存率は必ずしも0%ではないと考えられる。東海（1996）はこのような場合には再放流の効果が大評価になることを指摘している。したがって、再放流の効果を正確に把握するためには、再放流した場合としなかった場合の生存率の差についても明らかにしておく必要がある。

第6章 総合討論

本研究では、マコガレイ幼稚魚の成育場としての点在型藻場の構造を明らかにするとともに、その意義について論じた。また、産卵場を特定し、その形成要因の一端を明らかにした。それら成育場や産卵場は水深10m前後かそれより浅い海域に形成されることが多い。瀬戸内海のように沿岸部の開発が進んだ海域では、これまで多くの成育場や産卵場が失われてきたと考えられる。また、今後も失われていく危険性がある。マコガレイ資源を保護していくためには、現在残されている成育場や産卵場の保全が最も重要である。さらに、

今後は失われた場の回復も検討していく必要がある。本章では、まず、これまでに得られた生態的知見に基づき、幼稚魚成育場と産卵場の新たな造成手法を提案する。続いて、今後の資源管理のあり方と研究の方向について論じる。

1 幼稚魚成育場の造成

マコガレイ稚魚は、着底後しばらくの間は沿岸部の単純砂質域で生活し、全長が60~70mm前後になると、点在型藻場域に生活の場を移すと考えられた。移動の要因は明確ではないが、成長にともなう被食リスクの低下によって、点在型藻場域を棲み場(隠れ場)として利用出来るようになるかと推測した。また、点在型藻場域を棲み場として利用しつつ、より広範な摂餌活動を行うようになるかと考えられた。点在型藻場域での滞在期間は明らかでないが9月までは分布密度の上昇が確認されていることから、少なくとも秋期までは滞在すると推測される。一方、投棄魚調査で明らかになったように、小型底びき網には全長60mm未満の小型魚は入網せず、全長が60mm以上になると大量に入網するようになる。このサイズはマコガレイ稚魚が生活の場を点在型藻場へ移動させるサイズとほぼ一致する。これらのことから、水深3m前後の単純な砂質域で育った稚魚は、付近に点在型藻場のような海底構造があればいったん生活の場をそこに移してさらに成長し、その後沖合へ分布域を広げていくと考えられる。しかし、そのような海底構造が存在しない場合は、全長60~70mmに成長すると水深10m以深の底びき網漁場へ直接移動し、小型底びき網に混獲されると考えられる。海底がシルト質の沖合域への分布拡大は、潜砂実験で明らかとなったマコガレイ稚魚の成長に伴う微細粒子側での潜砂率の向上と関連しているかも知れない。このような稚魚期から幼魚期にいたる生態的な特徴を生かしたマコガレイ資源の増殖対策を以下に提案する。

マコガレイ幼稚魚が小型底びき網による不合理漁

獲にさらされる時期を遅らせることを主な目的として、点在型藻場域(人工的な"海津(あいづ)"域)を造成する。単純砂質域で大きくなった稚魚が点在型藻場域にスムーズに移動するためには両海域の地理的連続性が必要である。そのために、主に全長60mm未満の小型魚の成育場となる単純砂質域とそれより大型の稚魚の成育場となる人工的な点在型藻場域を10m以浅の水深帯に100m程度の間隔で交互に配置する。また、天然の"海津(あいづ)"に習い、藻場の基質には天然石を用い、石の点在間隔は5-10mとする。

ここで一つ注意しておかなければならない点がある。単純砂質域は海底が単調で生産性が低いように見えるが、本研究で明らかになったように、着底から全長60mmまでの稚魚にとって重要な成育場となっている点である。マコガレイに限らず魚類一般においても成長の段階に応じて多様な空間を成育場として利用していると考えられる。点在型藻場など藻場造成は一般的には有用と評価され易いが、マコガレイの例で言えば、単純砂質域を配置せずに点在型藻場を造成してしまうと、かえって成育場としての機能を低下させてしまう恐れもある。したがって、沿岸域において増殖場を設計するに当たっては対象魚の生態を良く把握した上で行わなければならない。さらに言えば、その場所を利用している種々の生物種に他する配慮も必要であろう。

本報で示した考え方に基づくマコガレイ幼稚魚の増殖場を"海津(あいづ)礁"と呼ぶことを提案する。

2 産卵場の造成

第3章4節の結果から、産卵場の造成は海底が砂質主体で潮通しの良い海域が候補地となる。具体的には中央粒径値0.5~1.9mm、シルト・粘土分10~26%、砂分33~63%、礫分18~49%、強熱減量11.6~12%が一つの目安である。水深については、深い方はそれほど厳密ではないと考えられるが、水深10mよりも浅い場所は適当でない。産卵場の海底構造の大きい特徴は天

然石が散在していることである。人工的に石を配置する場合は Fig. 3-14 のライン 2 周辺にみられるような海底構造を参考にすれば良いであろう。マコガレイには海底の構造物に対する蝟集性があることから（佐藤ほか 1990）、シルトが分布する沖合域まで石の配置を伸ばし、産卵親魚を産卵場まで導く役割を持たせることも一つの方法である。ただし、シルト域に石を配置するにあたっては、石の安定性についての検討が必要である。

産卵場周辺では、産卵期に刺網によって多数のマコガレイ親魚が漁獲される（第 3 章 4 節）。したがって、産卵場を造成する場合は、産卵期における刺網の操業禁止などの資源管理措置も併せて実施すべきである。兵庫県では漁業者によるマコガレイの受精卵放流の取り組みが行われている。これは漁獲したマコガレイ親魚から採卵し人工受精させてから卵を放流するものである。人工的に造成した産卵場はこのような受精卵放流の場所として活用することができる。

3 資源管理

第 5 章 2 節では 1980 年代後半の資源診断から 30%SPR を資源管理目標とし、それを達成するためには小型底びき網の漁獲努力量を 20%程度減らす必要があることを示した。第 5 章 1 節に示した漁獲努力量の推移をみると、1980 年代後半（1985～1989 年）の年間平均延出漁隻数は 221257(日・隻)であり、近年(1999～2003 年)のそれは 196324(日・隻)である。このように延出漁隻数は 8.9%減少している。漁業の強さ(F:漁獲係数)は $F=qX$ (q : 漁獲能率, X : 漁獲努力量)と表すことが出来る。 X は明らかに減少してきているが、 q に関わる部分である漁船性能はこの間にある程度向上してきたと考えられる。漁獲努力量が減少してきたにもかかわらず、漁獲量が増加してきたのはその表れであろう。しかし、1995 年を転換点として、漁獲量および CPUE とも減少に転じている。

この減少の要因は明らかでないが、環境要因など漁

業以外の要因について検討すべきことを第 5 章 1 節で述べた。しかし、継続的な資源管理の必要性は変わらない。以下ではマコガレイの資源管理において最も重要視すべき点について述べる。

漁獲努力量の削減については、週休日が定着するなど一定の取り組みがされており、これ以上の大幅な削減は難しいと考えられる。マコガレイの資源管理において最も大きな問題は第 5 章 3 節で明らかにした投棄魚問題である。この問題の重要度は 1980 年代後半から最近年まで、大きくは変わっていない。

マコガレイの再放流の生存率は低く 5.7%であった。もし再放流によって生き残った魚が、他の魚と同じような生残過程をたどるとすると、漁獲に上乘せされる効果も生存率と同レベルであろう。再放流魚の生存率を上げる方法として大谷ほか(1997)による流水式選別水槽がある。これは、入網物を簡易な水槽に収容してから選別作業を行うもので、生存率の改善効果が示されている。メイトガレイの場合は大量投棄時期の生存率が高いことから、再放流は管理手法として有効と考えられる。

マコガレイの小型魚は大量に混獲される場合がある。定量的な調査はほとんど行われていないが、有山ほか(1997a, 1997b)は大阪湾奥部の水深 9～15m の海域において小型底びき網に平均全長 65～70mm のマコガレイ当歳魚が大量入網したことを報告している。また漁業者の話として、夏期の潮押し(貧酸素水塊の縁辺部にみられる多獲現象)時に小型魚の大量混獲が見られるという(有山 2004)。筆者(未発表)も播磨灘北部沿岸(水深約 15m)の試験操業において全長 60～70mm のマコガレイ稚魚の大量入網を経験している。このような現象が起こるのは時期的には 6～8 月の夏期であり入網した個体はほとんど死亡していると考えられる。生態的には沿岸から沖合への生息域の拡大期にあたるが、大阪湾北部の場合は沿岸部における貧酸素水塊の発達とも関連している。このような大量入網はマコガレイ資源に大きい影響を与えていると推

察される。小型魚が大量入網し易い場所を特定し、時期を限定した保護区を設けて小型魚の保護を図ることは、マコガレイ資源の管理において最も重要で効果的な方法と考えられる。

漁具改良による資源管理の方法の一つとして袋網の目合い拡大がある。しかし、播磨灘・大阪湾で操業する小型底びき網の最も重要な漁獲対象種であるマアナゴの場合は、その漁獲実態からみて、目合内径22.5mmが網目拡大の限界であり(西川ほか1994a)、サルエビ *Trachypenaeus curvirostris* の場合は27mmである(西川ほか1994b)。このように播磨灘・大阪湾で操業する小型底びき網の目合いを規定する魚種はマアナゴであり、マコガレイを対象とした網目拡大はできない。今後は網目選択に依存しない分離漁法の開発が望まれる。

4 漁場環境の保全

瀬戸内海のように人為的な改変が行われ易い海域においては、漁場環境の保全には常に注意を払わなければならない。本論で明らかにした産卵場や点在型藻場は沿岸の水深10m前後か、それより浅い海域に形成される。播磨灘北部では、埋め立て等によって水深5m以浅の浅場面積は1936年の6823haから1978年には4997haに、2004年には4498haに減少しており(海図より推計)、その過程においてマコガレイの成育場や産卵場も失われてきたと推察される。いったん失われた場を回復するのは難しいので、現在残されている産卵場や成育場は可能な限り保全されるべきである。播磨灘と大阪湾には他にもマコガレイの産卵場があると推測されることから、第3章4節に示した調査方法を参考に、それら産卵場の分布を明らかにし、産卵場マップを作成することによって、その保全に役立てていくことが必要である。

近年、マコガレイの漁獲量は著しく減少している。マコガレイ資源の保全と管理を図っていくためには、まず減少要因を明らかにしなければならない。資源の

減少には様々な要因が関与していると想定されることから、第5章1節でも述べたように、漁業活動の視点からだけでなく、水温などの環境要因、さらにその海域の生態系も視野に入れた総合的な研究が必要である。

要 約

マコガレイは北海道から九州まで広く分布する重要な漁業資源であるが、近年、瀬戸内海も含め全国的に漁獲量の減少が著しい。本研究は兵庫県瀬戸内海の播磨灘・大阪湾におけるマコガレイの成長と食性、成熟と産卵ならびに産卵場、稚魚期の生態、および漁業と漁獲の実態を明らかにし、その生態的特性を生かした資源培養の手法を提示するとともに、資源管理と資源保護に向けて今後の課題を論じた。

1. 成魚期の成長と食性

マコガレイの相対成長、および耳石を用いた従来法(定差図法)による成長を明らかにするとともに、定差図法と最小二乗法で得られた結果の相違、および調査年代間における成長の差異について検討した。また、成魚期の食性を明らかにした。

全長と体重の関係は季節によって異なっており、両者の関係式は肥満度の季節変化を考慮し1月、2-4月、5-10月および11-12月の4期に分けるのが妥当と考えられた。

定差図法で求めた播磨灘・大阪湾と紀伊水道北部産マコガレイの成長は瀬戸内海の他の海域の結果と大きい差はなかったが、東京湾産や福島県産に比べて劣っていた。

同一データを用いて定差図法と最小二乗法により計算した成長曲線を比較した結果、定差図法は過小評価の傾向にあると判断された。1980年代後半と2000年代初頭の成長を最小二乗法により求めて比較した結果、2000年代初頭の方が成長は良かった。

未成魚（全長 10cm 以上）～成魚期のマコガレイの主餌料は多毛類であったが、成長と共にその割合は低下する傾向が認められた。

2. 成熟と産卵ならびに産卵場

生殖腺体指数（GSI）の季節変化と生殖腺の観察結果から、播磨灘・大阪湾におけるマコガレイの産卵期を明らかにするとともに、GSI 値による成熟判定基準を提示し、成熟サイズと成熟年齢を明らかにした。また、調査年代間における 1 歳魚の成熟割合の相違についても検討した。GSI、肝比重値（HSI）および肥満度（CF）の詳細な季節変化を明らかにし、当海域のマコガレイの生活年周期を示した。また、性を詳細に検討すると共に、産卵数（抱卵数）を明らかにした。さらに、播磨灘北西部において潜水調査によりマコガレイ卵を大量に採集し本邦で初めて産卵場を特定した。特定された産卵場の底質調査を行い産卵場の形成要因について検討した。

播磨灘・大阪湾のマコガレイの産卵期は、雌の GSI の季節変化と生殖腺の観察結果から 12 月中旬～2 月中旬であり、その盛期は 12 月下旬～1 月下旬と考えられた。GSI と目視による生殖腺の熟度区分との関係および GSI の分布から、雌では 12 月に GSI が 1.6 以上、雄では 0.7 以上を示す個体は当該産卵期に繁殖に加わると判断された。雌の最小成熟全長は約 180mm、雄は約 150mm と推定された。また、50%以上の個体が成熟する全長は、雌では約 185mm、雄では約 160mm と推定された。年齢別成熟割合は、雌は 1 歳魚（生後 1 年 11 ヶ月）が 91%、2 歳魚以上は 100%であった。また、雄は、1 歳魚が 98%、2 歳魚以上は 100%であった。データを 1986～1988 年と 1998～2000 年に分けて解析した結果、後者の 1 歳魚の成熟割合は雌雄とも 100%となり、調査年代間で成熟割合に差が認められた。

産卵期および肥満度の推移から播磨灘・大阪湾のマコガレイの生活年周期は Recovering（Feb.-May）、Immature & Maturing（Jun.- Nov.）および Spawning（Dec.-Jan.）の 3 区分が妥当と考えられた。

標本全体の性比（雌/全体）は 0.54 で雌の方が多かった。全長 200mm 以下では雄が多く、全長 240mm 以上では雌が多い傾向が見られた。この傾向は雌雄に成長差を与えた漁獲のシミュレーションで再現できた。年齢別には、1 歳魚で雄が多く 2 歳魚以上は雌が多い傾向が認められた。調査期間内（1986～2001 年）では性比に経年的な変化は認められなかった。抱卵数（BF）は 1 歳魚で約 14 万粒、2 歳魚で約 54 万粒、3 歳魚で約 103 万粒、4 歳魚で約 152 万粒と推定された。

播磨灘北部の水深 5.6～16m の砂泥～砂礫底で大量のマコガレイ卵を発見し、産卵場であることを確認した。産卵場の形成要因として海底に石が散在する構造が重要であると推察された。また、産卵場周辺で漁獲されるマコガレイは雄の方が多くことから、雌雄による産卵回遊の違いが推測された。

3. 稚魚期の生態

大阪湾北西部沿岸にある点在型藻場域とその周辺におけるマコガレイ稚魚の生息状況を調査し、この海域におけるマコガレイ稚魚の出現、成長、食性を明らかにし、点在型藻場の成育場としての意義について考察した。また、実験的研究によりマコガレイおよびヒラメ稚魚の底質粒度に対する選択性を明らかにした。

点在型藻場および比較海域として選んだ単純砂質域におけるマコガレイ稚魚の出現状況から、全長 15mm 前後から主に単純砂質域で過ごした稚魚は、全長 60～70mm になると主な生息場所を点在型藻場域へ移していくと考えられた。移動の要因は明確ではないが、点在型藻場はシェルターとしての役割が大きいと推測された。マコガレイ稚魚の主餌料は全長 10-19mm がカイアシ類、全長 20-39mm がクマ目とヨコエビ亜目、全長 40-79mm が多毛類と小型甲殻類であった。また、全長 80-239mm になると多毛類と二枚貝類水管が主餌料となるとともに、餌料生物種の範囲は広がった。

平均全長 35～80.6mm のマコガレイ稚魚は底質の粒子径が 0.125～0.25mm と 0.25～0.5mm の区分の砂に対し最も高い潜砂率を示した。潜砂能力は稚魚のサイズ

が大きくなるに従い増大する傾向が見られた。また、マコガレイおよびヒラメ稚魚とも底質選択率と潜砂率の間に正の関係が認められたことから、それら稚魚は潜砂し易い場所を好むと考えられた。マコガレイとヒラメを比較すると、マコガレイの方がより細かい粒子の砂を好む傾向が認められた。

4. 漁業と漁獲の実態

マコガレイの主な漁獲対象漁業である小型底びき網を中心に、漁獲量と漁獲努力量の長期的な変動を明らかにし、変動の原因について論議した。1980年代後半の漁業実態を明らかにすると共に、KAFSモデルに基づく資源解析を行い資源状態について評価した。また、カレイ類幼稚魚の投棄実態を明らかにするとともに再放流魚の生存率を明らかにした。

兵庫県瀬戸内海の小型底びき網の漁獲量は1952年から1995年頃まで単調に増加し、それ以後は減少していることが明らかとなった。“その他のカレイ類”漁獲量も1995年頃以後減少しており、マコガレイでその傾向が著しいことがわかった。

マコガレイの0歳魚は11月頃から小型底びき網によって漁獲され始めるが、0歳での漁獲は僅かであり、本格的に漁獲加入するのは満1歳を経過した5月頃からと推定された。1歳魚の利用度は0.556であった。1980年代後半の生残率は0.250、漁獲率は0.438であった。また、資源利用時と未利用時における加入1尾あたりの産卵親魚量の比(%SPR)は25%であった。

小型底びき網によるマコガレイ幼稚魚の年間投棄尾数は千万尾のオーダーに達する可能性があり、投棄が最も多いのは6~8月であった。投棄され始めるサイズは全長40~60mm以上であり、投棄サイズと水揚げサイズの境界は全長150~160mmであった。一方、メイタガレイの年間推定投棄尾数は数百万尾のオーダーに達する可能性があり、投棄が最も多いのは6月であった。

再放流を想定したマコガレイの生存率は3月を除けば0~11.1%と低く、年間では5.7%であった。一方、

メイタガレイの生存率は投棄尾数の多い5~7月において50%前後の生存率を示し、年間では58.5%であった。この結果からマコガレイについては再放流の効果は期待できないと考えられた。

5. 総合討論

本研究によって明らかとなったマコガレイの生態的な特徴を生かした資源培養の方法を提示するとともに、資源管理と資源保護について論じた。

単純な砂質域で過ごしたマコガレイ稚魚は、近傍に点在型藻場のような海底構造があれば、生息場所をそこに移し、さらに成長してから沖合域へ分布を広げると考えられた。一方、そのような海底構造がなければ、全長60mm以上に達した稚魚はそのまま沖合いの底びき網漁場に移動し、混獲され死亡する可能性が高まると考えられた。そこで、底びき網漁場への加入時期を遅らせる目的で人工的な点在型藻場の造成を提案した(“海洋(あいづ)礁”)。

産卵場については、本研究で明らかとなった海底構造(石が散在する砂質海底)を参考に、産卵親魚の産卵場への誘導も考慮した人工的な産卵場の造成を提案した。

漁獲努力量が減少しつつある漁業実態から、資源管理については漁獲係数Fの管理よりも、マコガレイ幼稚魚の大量混獲の防止が最も重要であり、具体的には大量混獲される時期と場所を明らかにし保護区を設定することや漁具改良の必要性を論じた。

最後に漁場環境保全の重要性について、早急に産卵場マップを作成し産卵場や成育場の保全を図るべきこと、また、マコガレイ資源の減少の原因を明らかにするためには、漁業活動の視点に加えて、水温や底質などの環境要因、さらにその海域の生態系も視野に入れた総合的な研究が必要であることを述べた。

謝 辞

本研究をまとめるにあたり、ご指導、ご鞭撻を賜り

ました京都大学フィールド科学教育研究センター教授 田中 克博士に深く感謝の意を表します。本論文の校閲の労をとられ、多くの有益なご助言を賜りました同 山下 洋博士、並びに京都大学大学院農学研究科教授 中原紘之博士に厚く御礼申し上げます。また、成熟と産卵期の項については東北大学大学院農学研究科教授 南 卓志博士に校閲の労を賜りました。さらに成長および産卵場の項については兵庫県立農林水産技術総合センター・水産技術センター 五利江重昭主任研究員に原稿の校閲とご助言を頂きました。また、同・但馬水産技術センター 宮原一隆博士には原稿の校閲のほか、数々のご助言とご助力を賜りました。ここに深く御礼申し上げます。

兵庫県立農林水産技術総合センター・水産技術センター 八橋忠良所長には終始暖かい励ましとご理解を頂きました。また、終始ご鞭撻を頂いた同・但馬水産技術センター所長 島本信夫博士に感謝致します。本研究は同・水産技術センターの職員の方々の協力なくしては成し遂げられませんでした。特に、本研究の初期から数多くの調査に同行・協力して頂いた中村行延主任研究員と岡本繁好主任研究員には心より御礼申し上げます。西川哲也主任研究員、さらに漁業環境調査船「新ひょうご」の中筋晴喜船長ほか船員の方々には、資源調査の実施にあたって多くのご協力を頂きました。深く御礼申し上げます。また、直接的、間接的に様々なご助力を賜った全ての職員の皆様に対し、心より感謝申し上げます。

本研究の主要課題である資源管理の調査は、兵庫県水産課職員の皆様の協力を得て進めることができました。特に歴代の資源管理担当の方々に厚く御礼申し上げます。また、現場調査の実施にあたっては、兵庫県下の多くの漁業者の方々、並びに漁業協同組合の職員の皆様のご協力を頂きました。この場を借りて厚く御礼申し上げます。

最後になりましたが、現場調査並びに論文の執筆について終始ご協力とご助言を頂いた株式会社海洋生

態研究所の西 潔氏並びに長井隆一氏には一方ならぬお世話を頂きました。深く感謝いたします。

文 献

- Aida, K., Phan-Van-Ngan and T. Hibiya (1973a) Physiological studies on gonadal maturation of fishes- I. Sexual difference in composition of plasma protein of ayu in relation to gonadal maturation. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.*, **39**, 1091-1106.
- Aida, K., K. Hirose, M. Yokote, and T. Hibiya (1973b) Physiological studies on gonadal maturation of fishes- II. Histological changes in the liver cells of ayu following gonadal maturation and estrogen administration. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.*, **39**, 1107-1115.
- 赤嶺達郎 (2004) 魚類の成長式における検定とモデル選択. *水産海洋研究*, **68**, 44-51.
- 青森県水産試験場 (1973) 昭和47年度日本海栽培漁業漁場資源生態調査結果報告書, 1-125.
- 青柳和義・後藤勝彌 (1999) 餌料板びき網で漁獲されたヒラメの生存性. *福島水試研報*, **8**, 51-57.
- 有山啓之・矢持 進・佐野雅基 (1997a) 大阪湾奥部における大型底生動物の動態について I. 甲殻類と魚類の種類数・個体数・質重量の季節変化. *沿岸海洋研究*, **35**, 75-82.
- 有山啓之・矢持 進・佐野雅基 (1997b) 大阪湾奥部における大型底生動物の動態について II. 主要種の個体数・分布・体長組成の季節変化. *沿岸海洋研究*, **35**, 83-91.
- 有山啓之 (2003) 大阪湾中部沿岸域におけるマコガレイ稚魚の分布および食性について. *大阪水試研報*, **14**, 17-28.
- 有山啓之 (2004) 大阪湾におけるマコガレイの生態および資源 ②当歳魚, 1歳魚の現存量および小型魚再放流の評価. *大阪水試研報*, **15**, 36-39.
- 有山啓之・日下部敬之・大美博昭・辻村浩隆 (2004)

- 石桁網で漁獲されたマコガレイ小型魚の再放流後の生残について. 大阪水試研報, **15**, 17-21.
- 厚地 伸・増田育司・赤毛 宏・伊折克生 (2004) 耳石横断薄層切片を用いた鹿児島県近海産ヒラメの年齢と成長. 日水誌, **70**, 714-721.
- Clemens, H.P. and F.B. Grant (1964) Gonadal hydration of carp (*Cyprinus carpio*) and goldfish (*Carassius auratus*) after injection of pituitary extracts. *Zoologica*, **49**, 193-210.
- Emlen, S. T. and L. W. Oring (1977) Ecology, sexual selection, and the evolution of mating systems. *Science*, **197**, 215-223.
- 藤 紘和・林 功 (1975) カレイ類の漁場資源生態研究第Ⅲ報. 昭和 48 年度福岡県豊前水産試験場研究業務報告, 57-78.
- 藤 紘和・多故信良 (1972) カレイ類の漁場資源生態研究. 昭和 46 年度福岡県豊前水産試験場研究業務報告, 29-50.
- 藤田真二 (1998) 砂浜海岸と河口域浅所との比較. 水産学シリーズ 116 砂浜海岸における仔稚魚の生物学 (千田哲資, 木下 泉編), 恒星社厚生閣, 東京, 42-51.
- 福永辰広 (1976) マコガレイの種苗生産, とくに稚魚期までの水槽による一貫飼育について. 栽培技研, **5**, 37-44.
- 五利江重昭 (2001) MS-Excel を用いた成長式のパラメータ推定. 水産増殖, **49**, 510-527.
- Goto, R., T. Mori, K. Kawamata, T. Matsubara, S. Mizuno, S. Adachi and K. Yamauchi (1999) Effects of temperature on gonadal sex determination in barfin flounder *Verasper moseri*. *Fish. Sci.*, **65**, 884-887.
- Goto, R., T. Kayaba, S. Adachi and K. Yamauchi (2000) Effects of temperature on sex determination in marbled sole *Limanda yokohamae*. *Fish. Sci.*, **66**, 400-402.
- 浜田尚雄 (1979) 播磨灘, 大阪湾におけるイカナゴ発生量変動に関する研究-X 隣接海域との関係. 兵庫水試研報, **19**, 1-6.
- Hashimoto, S., H. Bessho, A. Hara, M. Nakamura, T. Iguchi and K. Fujita (2000) Elevated serum vitellogenin levels and gonadal abnormalities in wild male flounder (*Pleuronectes yokohamae*) from Tokyo Bay, Japan. *Marine Environ. Res.* **49**, 37-53.
- Hatanaka, M. and S. Iwahashi (1953) Studies on the populations of the flatfishes in Sendai Bay III. The biology of *Limanda yokohamae* (GÜNHETER). *Tohoku J. Agr. Res.*, **3**, 303-309.
- 平川英人・田中利幸 (1997) 小型底びき網における再放流ヒラメの生存率. 月刊海洋, **29**, 376-379.
- 堀 豊・藤澤邦康・藤沢節茂・天真正勝 (2005) 播磨灘. 瀬戸内海ブロック浅海定線調査観測 30 年成果集. 独立行政法人水産総合研究センター瀬戸内海区水産研究所, 広島, 38-59.
- 兵庫県 (1991) 兵庫県資源培養管理推進指針 (瀬戸内海区), 1-117.
- 兵庫県漁業協同組合連合会 (1993) 兵庫県広域資源管理計画-瀬戸内海区-, 1-5.
- 兵庫県漁業協同組合連合会 (1998) 兵庫県広域資源管理計画-瀬戸内海区-. 平成 9 年度資源管理型漁業推進総合対策事業報告書 (広域回遊資源), 瀬戸内海東区兵庫県, 16-19.
- 飯島憲章・植松一眞・下川真理子・石井優子・大嶋雄治・藤井一則・橋本伸哉・原 彰彦・山田 久 (2001) 瀬戸内海周防灘及び広島湾のマコガレイに対するエストロゲン様内分泌攪乱物質の影響実態. 環境毒性学会誌, **4**, 45-53.
- 池川正人 (1999) 異なる算出方法によるマコガレイ成長式の比較. 東北水研研報, **61**, 1-5.
- 石田 修・田中邦三・佐藤秀一・庄司泰雅 (1977) ヒラメの資源生態調査-II 館山湾における若令期の生態. 千葉水試研報, **36**, 23-31.
- 石田力一・北片正章 (1982) アカガレイ *Hippoglossoides dubius* (Schmidt) の雌魚の性成熟に関する研究. 東海

- 水研報, **107**, 61-105.
- 石野健吾・三原栄次 (1995) マコガレイ (地域重要資源; 回遊型). 平成6年度北海道立函館水産試験場事業報告書, 269-279.
- 石野健吾・佐野満廣 (1996) マコガレイ (地域重要資源; 回遊型). 平成7年度北海道立函館水産試験場事業報告書, 234-248.
- 石野健吾・佐野満廣 (1997) マコガレイ (沿岸特定資源). 平成8年度北海道立函館水産試験場事業報告書, 219-233.
- 伊東 弘・東海 正・正木康昭・山口義昭 (1986) 周防灘におけるマコガレイ資源の動態. 昭和 59・60 年度近海漁業資源の家魚化システムの開発に関する総合研究 (マリーナランディング計画) プログレスレポート, 135-140.
- 岩井 保 (1985) 水産脊椎動物Ⅱ 魚類. 恒星社厚生閣, 東京, 213-217.
- 岩崎 学 (2006) 統計的データ解析入門 単回帰分析. 東京図書, 東京, 1-131.
- 岩手県水産試験場 (1973) 昭和 47 年度太平洋北区栽培漁業漁場資源生態調査報告書, 1-48.
- 香川県水産試験場・岡山県水産試験場・福岡県豊前水産試験場・大分県浅海漁業試験場・山口県内海水産試験場 (1975) 昭和 46~49 年度魚類放流技術開発調査カレイ類総括報告書, 1-51.
- 上城義信 (1986) 別府湾北部海域におけるマコガレイ卵・稚仔とその他の生物種組成. 第 18 回南西海区ブロック内海漁業研究会報告, 南西海区水産研究所, 59-81.
- 狩谷貞二・白旗総一郎 (1955) マコガレイ卵の成熟過程について. 日水誌, **21**, 476-482.
- 加藤史彦・沖山宗男・田島迪生 (1974) 日本産マコガレイ属 2 種 (マコガレイおよびマガレイ) の外部形態の比較と識別. 日水研報告, **25**, 63-87.
- 木島明博・朴 重淵 (1989) マコガレイ属マガレイおよびマコガレイの種内における遺伝的分化と集団構造. 昭和 61~63 年度海洋生物集団の識別等に関する先導的評価手法の開発事業報告書 アイソザイムによる魚介類の集団解析, (社) 日本水産資源保護協会, 436-444.
- 菊池喜彦・小林徳光・永島 宏・小林一郎・児玉純一・佐藤孝三 (1990) 仙台湾におけるマコガレイの分布について. 宮城水試研報, **13**, 30-42.
- 木本秀明・畔野尚史 (1990) KAFS モデルによる実践水産資源力学. 日本エヌ・ユー・エス株式会社, 横浜, 1-218.
- 木本秀明・林 泰行・檜山節久・上城義信・小川 浩・林 功・石田雅俊・有江康章・伊東 弘・正木康昭 (1990) 周防灘産マコガレイの資源管理. 日水誌, **56**, 207-215.
- 木本秀明 (2001) KAFS. 資源解析手法教科書, 日本水産資源保護協会, 129-150.
- 近畿農政局兵庫統計情報事務所 (1952~2001) 兵庫県農林水産統計年報.
- 近畿農政局神戸統計・情報センター (2002, 2003) 兵庫県農林水産統計年報.
- 木下 泉 (1998) 砂浜海岸の育成場としての意義. 水産学シリーズ 116 砂浜海岸における仔稚魚の生物学 (千田哲資, 木下 泉編), 恒星社厚生閣, 東京, 122-133.
- 岸田 達 (1990) 瀬戸内海中西部におけるサワラの成長と個体群密度の関係. 南西水研研報, **23**, 35-41.
- 小坂昌也 (1956) カレイ類の棲息場所選択と環境の評価についての実験的研究. 日水誌, **22**, 284-288.
- 小山次朗・角埜 彰 (2000) 海産魚. 水産学シリーズ 126 水産環境における内分泌攪乱物質 (川合真一郎, 小山次朗編), 恒星社厚生閣, 東京, 97-108.
- Kume, G., T. Horiguchi, A. Goto, H. Shiraishi, Y. Shibata, M. Morita and M. Shimizu (2006) Seasonal distribution, age, growth, and reproductive biology of marbled sole *Pleuronectes yokohamae* in Tokyo Bay, Japan. *Fish. Sci.*, **72**, 289-298.

- 桑村哲生(2004)性転換する魚たち. 岩波新書 909, 岩波書店, 東京, 1-205.
- Main, J. and G. I. Sangster (1990) An assessment of the scale damage to and survival rates of young gadoid fish escaping from the cod-end of a demersal trawl. *Scottish Fisheries Research Report*, **46**, 1-28.
- 真鍋武彦(1991)瀬戸内海東部海域における堆積物の汚染について. 海と空, **67**, 1-9.
- 正木康昭・伊東 弘・東海 正・山口義昭(1986)周防灘産マコガレイの年令と成長. 日水誌, **52**, 423-433.
- 正木康昭・伊東 弘・上城義信・横松芳治・小川 浩・山口義昭・東海 正(1987)周防灘産マコガレイの成熟と産卵期. 日水誌, **53**, 1181-1190.
- 益田一・尼岡邦夫・荒賀忠一・上野輝彌・吉野哲夫編(1984)日本産魚類大図鑑, 東海大学出版会, 東京, 338.
- 松江吉行編(1965)水質汚濁調査指針. 恒星社厚生閣, 東京, 180-182.
- 松宮義晴(1996)水産資源管理概論. (社)日本水産資源保護協会, 東京, 1-77.
- 松宮義晴(1997)再放流・投棄魚の諸研究と資源管理との関連. 月刊海洋, **29**, 327-332.
- 松村真作(1972)マコガレイの標識放流による移動. 栽培技研, **1**, 25-30.
- 松村真作・服部洋年・寺島 朴(1973)I マコガレイ放流技術開発調査. 瀬戸内海栽培漁業事業 魚類放流技術開発調査事業 昭和 47 年度経過報告(マコガレイ・ガザミ), 4-48.
- 松村真作・服部洋年・篠原基之・寺島 朴(1974)播磨灘北西部水域におけるマコガレイおよびイシガレイの資源・生態. 昭和 48 年度瀬戸内海栽培漁業事業 魚類放流技術開発調査事業経過報告(カレイ・ガザミ), 岡山県水産試験場, 5-41.
- 松浦修平(1969a)マコガレイの成熟・産卵型について. 文部省特定研究 内海性海域における生物群集の生産の動態に関する研究-43 年度研究実績報告, 31-33.
- 松浦修平(1969b)イシガレイおよびマコガレイの産卵に関する実験的観察. 文部省特定研究 内海性海域における生物群集の生産の動態に関する研究-43 年度研究実績報告, 38-45.
- 南 卓志(1981)マコガレイの初期生活史. 日水誌, **47**, 1411-1419.
- 南 卓志(1984)異体類の初期生活史Ⅲ 卵の形質. 海洋と生物, **30**, 46-49.
- 宮城県水産試験場(1975)昭和 47,48,49 年度総括 太平洋北区栽培漁業漁場資源生態調査報告書, 1-64.
- 宮城県水産試験場・山口県内海水産試験場・大分県浅海漁業試験場(1982)昭和 56 年度放流技術開発事業(マコガレイ)総合報告書, 宮 1-30.
- 水野篤行(1968)水質底質調査入門. 地下の科学シリーズ 13, ラテイス, 東京, 1-214.
- 水田洋之介(1973)仔稚魚期におけるマコガレイとイシガレイの形態的相違. 栽培技研, **2**, 33-38.
- 森本晴之(1998)成熟. 水産学シリーズ 119 マイワシの資源変動と生態変化(渡邊良朗・和田時夫編), 恒星社厚生閣, 東京, 45-53.
- 睦谷一馬(1988)人工飼育におけるマコガレイ仔稚魚の成長と変態について. 水産増殖, **36**, 27-32.
- 睦谷一馬(2004)大阪湾におけるマコガレイの生態と資源変動 3.マコガレイ栽培漁業の現状と問題点. 大阪水試研報, **15**, 46-49.
- 中神正康・高津哲也・松田泰平・高橋豊美(2000)北海道津軽海峡沿岸におけるマコガレイ稚魚によるハルパクチクス目の捕食. 日水誌, **66**, 818-824.
- 中神正康・高津哲也・中屋光裕・高橋豊美(2001)函館湾におけるマコガレイ仔稚魚の時空間分布. 水産海洋研究, **65**, 85-93.
- 中込 淳(1980)東京湾南部におけるマコガレイの漁獲量と魚体特性の変動. 神奈川水試研報, **1**, 91-97.
- Nakai, Z (1962) Studies of influences of environmental

- factors upon fertilization and development of the Japanese sardine eggs with some reference to the number of their ova. *Bull. Tokai Reg. Fish. Res. Lab.*, **9**, 109-150.
- 中島昌紀 (2004) 大阪湾における環境の経年変動と特異年. 大阪水試研報, **15**, 30-32.
- 中村雅人・岩本哲二 (1975) マコガレイ・イシガレイ・マアナゴ・シログチ・キスの食性について. 山口内海水試報, **4**, 1-17.
- Nakaya, M., T. Takatsu, M. Nakagami, M. Joh and T. Takahashi (2004) Spatial distribution and feeding habits of the shrimp *Crangon uritai* as a predator on larval and juvenile marbled sole *Pleuronectes yokohamae*. *Fish. Sci.*, **70**, 445-455.
- 日本魚類学会 (1981) 日本産魚名大辞典. 三省堂, 東京, 324.
- 西川輝昭 (1995) ナメクジウオ. 日本の希少な野生水生生物に関する基礎資料 (II). (社)日本水産資源保護協会, 東京, 135-142.
- 西川輝昭 (1998) 日本の希少な野生水生生物に関するデータブック (水産庁編). (社)日本水産資源保護協会, 東京, 62-63.
- 西川哲也・反田 實・長浜達章・東海 正 (1994a) 大阪湾の小型底曳網におけるマアナゴの網目選択性. 日水誌, **60**, 735-739.
- 西川哲也・反田 實・長浜達章 (1994b) 大阪湾の小型底曳網 (板曳網) におけるサルエビの網目選択性. 兵庫水試研報, **31**, 1-8.
- Nishikawa, T. and M. Yamaguchi (2006) Effect of temperature on light-limited growth of the harmful diatom *Eucampia zodiacus* Ehrenberg, a causative organism in the discoloration of *Porphyra thalli*. *Harmful Algae*, **5**, 141-147.
- 野口栄三郎・尾藤方通 (1953) サバ肝臓の重量及脂肪量の季節的変化. 日水誌, **19**, 525-529.
- 野村 稔 (1963) ニジマスの人工採卵に関する基礎研究—V 生殖巣の発達と初産魚の大きさ. 日水誌, **29**, 976-984.
- 落合 明・田中 克 (1986) 魚類学 (下), 恒星社厚生閣, 東京, 1106-1109.
- 小川弘毅・早川 豊 (1975) 昭和 47~49 年度太平洋北区栽培漁業漁場資源生態調査結果総合報告書, 青森県水産増殖センター, 47-51.
- 岡山県水産試験場 (2002) マコガレイ漁獲量の減少について. 水試だより, **280**, 1-2.
- 大分県浅海漁業試験場・山口県内海水産試験場・山口県内海栽培漁業センター (1985) 昭和 59 年度放流技術開発事業 (マコガレイ) 総合報告書, 総 1-25.
- 大分県浅海漁業試験場・大分県栽培漁業センター (1987) 放流技術開発事業報告書, 1-67.
- 大美博昭 (2004) 大阪湾におけるマコガレイの生態および資源 ③漁獲実態と資源解析. 大阪水試研報, **15**, 40-44.
- 大森迪夫・畑中正吉・北森良之助 (1970) 仙台湾底魚群集の生産構造. 北方冷水海域における生物群集の生産に関する総合研究 (仙台湾) 昭和 44 年度研究報告, 59-71.
- 大森迪夫 (1974) 仙台湾における底魚の生産構造に関する研究—I マコガレイの食性と分布について. 日水誌, **40**, 1115-1126.
- 大森迪夫 (1975) 仙台湾における底魚の生産構造に関する研究—II 生息場および食物をめぐる魚種間の関係. 日水誌, **46**, 615-629.
- 大森迪夫 (1979a) 仙台湾における底魚の生産構造に関する研究—III 環境条件の異なる海域間の魚類相の比較. 西水研研報, **52**, 91-129.
- 大森迪夫 (1979b) 仙台湾における底魚の生産構造に関する研究—IV 底魚群集の生産構造. 西水研研報, **52**, 131-168.
- 尾城 隆・日比谷 京 (1981a) 完熟に伴うマコガレイ卵母細胞の吸水とろ胞破裂の促進について. 日水誌, **47**, 835-841.
- 尾城 隆・日比谷 京 (1981b) マコガレイ卵母細胞

- の完熟過程で起こる卵黄球の融合・溶解と吸水現象との関係について. 日水誌, **47**, 1123-1130.
- 大谷徹也・反田 實・西川哲也・佐藤泰弘(1997) 小型底曳網混獲幼稚魚の生残率を高めるための流水式選別水槽の使用例とその効果. 月刊海洋, **29**, 380-384.
- 佐伯光広・菊池喜彦(2000) 宮城県沿岸域における異なる海域間で漁獲されたマコガレイの成長, 産卵期及び遺伝的差異について. 宮城水産研報, **16**, 61-70.
- Sangster, G. I., K. Lehmann and M. Breen (1996) Commercial fishing experiments to assess the survival of haddock and whiting after escape from four sizes of diamond mesh cod-end. *Fisheries Research*, **25**, 323-345.
- 佐藤孝三・小林一郎・菊池喜彦(1990) 礁近傍におけるカレイ類の蝸集機構. 宮城水試研報, **13**, 21-29.
- 佐藤羊三郎(1972) マコガレイ(日出シロシタガレイ)の水槽内自然産卵について. 水産増殖, **19**, 183-186.
- 佐藤羊三郎(1976) マコガレイ(日出シロシタガレイ)の水槽内自然産卵生態について—II—. 水産増殖, **23**, 33-35.
- Seikai, T., I. Kinoshita, and M. Tanaka (1993) Predation by crangonid shrimp on juvenile Japanese flounder under laboratory conditions. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **59**, 321-326.
- 瀬戸内海東ブロック資源培養管理対策推進協議会(1991) —豊かな海を創設する—瀬戸内海東ブロック資源管理指針, 和歌山県・大阪府・兵庫県・岡山県・香川県・徳島県, 1-59.
- Shafieipour, M.M., T.Takahashi, K.Ishino, Y.Konno, H.Nakao and M.Samo (2004) Annual life cycle of adult marbled sole *Pleuronectes yokohamae* in the coastal waters around Kikonai Bay, Hokkaido, Japan. *Suisanzoshoku*, **52**, 351-358.
- 清水昭雄(1999) 環境エストロジェンが魚類の成熟再生産に及ぼす影響. 中央水研研報, **13**, 79-97.
- Solomon, G., M.Sano, M.Shimizu and Y.Nose (1987) Age and growth of the pleuronectid flounder *Limanda yokohamae* in Tokyo Bay, Japan. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **53**, 711-716.
- 杉浦暁裕・本田和民(1986) 東京湾産マコガレイ *Limanda yokohamae* (GÜNTER) の産卵期について. 南西外海の資源・海洋研究, **2**, 71-80.
- 水産庁・独立行政法人水産総合研究センター・(社)全国豊かな海づくり推進協会(2006) 平成16年度栽培漁業種苗生産, 入手・放流実績(全国), 1-107.
- Suuronen P., T. Turunen, M Kiviniemi and J Karjalainen (1995) Survival of vendace (*Cregonus albula*) escaping from a trawl cod end. *Can. J. Fish.Aquat. Sci.*, **52**, 2527-2533.
- Suuronen P., D. L. Erickson and A. Orrensal (1996) Mortality of herring escaping from pelagic trawl codends. *Fisheries Research*, **25**, 305-321.
- 田畑和男(1992) マコガレイの兵庫県瀬戸内海域における漁獲群と人工生産群のアイソザイムによる集団解析. 水産育種, **17**, 71-80.
- 高木美枝子・モハマド・メディ・シャフィプール・今野幸広・中尾博巳・佐野満廣・高橋豊美(1997) 木古内湾とその周辺海域におけるマコガレイと他の底生魚類との食物関係. 北水試研報, **51**, 67-76.
- 高橋清孝・星合愿一・安部洋士(1986) 石巻湾および万石浦におけるマコガレイ浮遊期仔魚の分布と移動. 水産増殖, **34**, 1-8.
- 高橋豊美・斉藤重男・前田辰昭・木村 大(1983) 陸奥湾におけるマガレイとマコガレイ成魚の生活年周期. 日水誌, **49**, 663-670.
- 高橋豊美・前田辰昭・土屋康弘・中谷敏邦(1987) 陸奥湾におけるマガレイおよびマコガレイの分布と食性. 日水誌, **53**, 177-187.
- Takashima, F., T. Hibiya, T. Watanabe and T. Hara (1971) Endocrinological Studies on Lipid Metabolism in Rainbow Trout— I . Differences in Lipid Content of

- Plasma, Liver and Visceral Adipose Tissue Between Sexually Immature and Mature Females. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.*, **37**, 307-311.
- 隆島史夫 (1974) 成熟と脂質代謝. 水産学シリーズ 6 魚類の成熟と産卵 (日本水産学会編), 恒星社厚生閣, 東京, 76-87.
- 竹森弘征・山田達夫 (2003) 瀬戸内海東部域におけるサワラの資源水準と成長の関係. 香水試研報, **4**, 1-9.
- 谷田圭亮・五利江重昭 (2004) 播磨灘北東部で採集されたナメクジウオについて. 南紀生物, **46**, 2004.
- 田中昌一 (1985) 水産資源学総論. 恒星社厚生閣, 東京, 165-167.
- 反田 實・中村行延・柴 宏有 (1987) ヒラメ人工種苗の放流地としての神戸市地先海域の評価. 兵庫水試研報, **25**, 15-24.
- 反田 實 (1988) 人工生産ヒラメの潜砂能力. 水産増殖, **36**, 21-25.
- 反田 實・中村行延・岡本繁好・吉岡三良・八橋忠良・飯田英喜・小林孝司・橋本静雄・高木英男 (1989) 昭和 62・63 年度広域型増殖場造成事業調査結果報告書 (大阪湾北西部地区:マコガレイ), 兵庫県, 1-60.
- 反田 實 (1998) イカナゴと底質. 沿岸の環境圏 (平野敏行監修), フジテクノシステム, 東京, 348-355.
- 反田 實・西川哲也 (2001) 小型底びき網の袋網から逃避したマアナゴの生残率. 兵庫水試研報, **36**, 15-20.
- 田代征秋・一丸俊男 (1995) 長崎県近海域におけるヒラメの漁業生物学的特性. 長崎水試研報, **21**, 37-49.
- 東海 正・伊東 弘・正木康昭・山口義昭 (1985) 周防灘におけるメイタガレイの投棄の実態. 漁業資源研究会議西日本底魚部会報, **13**, 7-17.
- 東海 正・伊東 弘・山口義昭 (1988) 周防灘におけるカレイ類をとりまく群集構造の解明. 昭和 61~63 年度「近海漁業資源の家魚化システムの開発に関する総合研究」(マリーンランシング計画プロセス・レポート ヒラメ・カレイ (3)), 南西海区水産研究所, 29-45.
- 東海 正・伊東 弘 (1989) 周防灘におけるカレイ類の生態と漁業実態. 海洋牧場マリーンランシング計画 (農林水産技術会議事務局編集), 恒星社厚生閣, 東京, 138-156.
- 東海 正・伊東 弘・正木康昭・上城義信・横松芳治・安東欣二 (1989) 小型底びき網 (手繰第 2 種, エビ漕ぎ網) のカレイ類に対する網目選択性. 南西水研報, **22**, 35-46.
- 東海 正 (1993) 瀬戸内海における小型底びき網漁業の資源管理—投棄魚問題と網目規制—. 南西水研報, **26**, 31-106.
- 東海 正 (1996) 管理方策としての再放流. 月刊海洋, **28**, 627-633.
- 富山 昭・陣之内征龍 (1974) カレイ類の標識放流試験. 栽培技研, **3**, 23-30.
- 鳥取県 (1992) 平成 3 年度資源管理型漁業推進総合対策事業報告書 (広域回遊資源), 26-61.
- 辻野耕實・安部恒之・日下部敬之 (1997) 大阪湾におけるマコガレイの漁業生物学的研究. 大阪水試研報, **10**, 29-50.
- 和田恵子・堀 義彦・富永 敦 (1997) 茨城県沿岸のマコガレイの成熟と年齢・成長について. 茨城水試研報, **35**, 19-23.
- 和田時夫 (1998) 親潮域での回遊範囲と成長速度. 水産学シリーズ 119 マイワシの資源変動と生態変化 (渡邊良朗, 和田時夫編), 恒星社厚生閣, 東京, 27-34.
- 鷲尾圭司・島本信夫・堀 豊・岡本繁好・上田隆敏 (2005) 兵庫県における栄養塩環境の変化とノリ養殖漁業の盛衰. 海洋と生物 **158**, **27**, 238-245.
- 渡部泰輔 (1987) マイワシ 1980 年卓越年級群をめぐって. 水産海洋研究会報, **51**, 34-39.
- Werner, E. E., J. F. Gilliam, D. J. Hall and G. G. Mittelbach (1983) An experimental test of the effects of predation risk on habitat use in fish. *Ecology*, **64**, 1540-1548.

- 山岸 宏(1987)成長の比較生物学. 動物の成長と発育(猪 貴義・後藤信男・星野忠彦・佐藤 博編), 朝倉書店, 東京, 194-218.
- 山口県(1983)放流技術開発事業(マコガレイ)総合報告書, 宮城県・山口県・大分県, 山1-山23.
- 山口県, 福岡県, 大分県(1987)昭和59~61年度周防灘海域漁業管理適正化方式開発調査事業最終報告書, 1-298.
- 山平寿智(2003)Ⅲ. 環境と性発現 6. 遺伝性決定と環境性決定. 水産学シリーズ136 水産動物の性と行動生態(中園明信編), 恒星社厚生閣, 東京, 89-104.
- 山本栄一(1995)ヒラメの人為性統御とクローン集団作出に関する研究. 鳥取水試報告, 34, 1-145.
- 山本喜一郎(1954)海産魚類の成熟度に関する研究Ⅱ クロガレイの雌魚の成熟度について. 北水研報, 11, 68-77.
- 山本孝治(1939)マコガレイ卵の発生に及ぼす水温及鹽分の影響に就いて. 日水誌, 8, 102-106.
- 山西良平(1979)かきませ法によるメイオベントス抽出の効率. ベントス研連誌, 17/18, 52-58.
- 山崎 淳・大木 繁・内野 憲・葭矢 護(1999)京都府沖合海域のアカガレイの生態に関する研究Ⅳ 産卵期の分布様式. 京都府立海洋センター研報, 21, 1-7.
- 山下 洋・山本和稔・長洞幸夫・五十嵐和昭・石川 豊・佐久間修・山田秀秋・中本宣典(1993)岩手県沿岸における放流ヒラメ種苗の被食. 水産増殖, 41, 497-505.
- 山下 洋(1994)被食. 水産学シリーズ98 魚類の初期減耗研究(田中 克, 渡邊良朗編), 恒星社厚生閣, 東京, 60-71.
- 安永義暢・輿石裕一(1980)ヒラメ増殖上の諸問題に関する基礎的研究. 日水研報告, 31, 17-31.
- 吉原喜好・岡本英能・片岡大作(1999)沿岸域におけるメジナ稚仔魚の体長-体重関係について. 水産増殖, 47, 343-348.
- 吉原友吉・久保伊津男(1969)水産資源学 改訂版. 共立出版, 東京, 1-482.
- 吉村圭三・川下正巳(2003)天然稚魚と比較したヒラメ人工種苗の体型, 脊椎骨および鰭条数の特徴. 北水試研報, 64, 105-111.
- Yusa, T. (1960) Eggs and larvae of flatfishes in the coastal water of Hokkaido-Ⅳ Embryonic development of mud dab *Limanda yokohamae* GÜNTHER. *Bull. Tohoku Reg. Fish. Res. Lab.*, 17, 15-30.