

京都府立海洋センター研究論文

第 6 号

平成12年12月

SPECIAL REPORT No. 6

Kyoto Institute of Oceanic and Fishery Science

December 2000

魚鱗情報によるマダイの移動・
回遊の解析に関する研究

戸 嶋 孝

Studies on Movement and Migration of Red Sea Bream,
Pagrus major, Based on Scale Reading

by
Takashi TOJIMA

研究論文集 第6号 平成12年12月
京都府立海洋センター

SPECIAL REPORT No. 6, December 2000
KYOTO INSTITUTE OF OCEANIC AND FISHERY SCIENCE
Odasyukuno, Miyazu City, Kyoto 626-0052 Japan

目 次

Abstract	1
序 章	4
(1) マダイの生態に関する既往研究の概要	5
(2) 研究の目的	6
(3) 謝 辞	6
第1章 京都府沿岸海域におけるマダイ当歳魚の出現状況	6
(1) 研究材料と方法	7
(2) マダイ当歳魚の出現時期と漁獲尾数	7
(3) マダイ当歳魚の尾叉長組成	8
(4) 考 察	8
第2章 マダイ鱗の第1輪径組成の海域差	10
(1) 研究材料と方法	11
(2) 対馬暖流域におけるマダイ1歳魚の第1輪径組成	12
(3) 第1輪径と水温との関係	13
(4) 考 察	13
第3章 マダイ鱗の第1輪径組成の年齢による変化	14
(1) 研究材料と方法	15
(2) 海域別第1輪径組成とその年齢変化	16
(a) 石川県沿岸海域	16
(b) 京都府沿岸海域	17
(c) 山口県沿岸海域	18
(3) 漁期別にみた第1輪径の変化	19
(4) 考 察	20
第4章 若狭湾西部海域におけるマダイ群の移出入量の推定	21
(1) 研究材料と方法	22
(a) 移出入量の推定-I：第1輪径組成の年齢間比較	22
(b) 移出入量の推定-II：第1輪径組成に対する正規分布型の分離	23

(2) 解析結果	23
(a) 推定-Iによる結果	23
(b) 推定-IIによる結果	26
(3) 若狭湾西部海域における移出入個体の割合	28
(4) 考 察	28
(5) 結 論	29
第5章 移動・回遊情報の成長解析への利用	29
(1) 研究材料と方法	30
(2) 鱗径-尾叉長関係	30
(3) 個体群ごとの成長式の推定	30
(4) 考 察	32
第6章 総合考察	33
(1) 若狭湾西部海域におけるマダイ資源の現状	33
(2) マダイ資源管理への提言	35
要 約	36
文 献	38

Studies on Movement and Migration of Red Sea Bream, *Pagrus major*, Based on Scale Reading

Takashi TOJIMA

Abstract

Red sea bream, *Pagrus major*, is one of the most important fishery resources, with over two million released each year for stock enhancement in the western Japan Sea. Therefore, the comprehensive management of red sea bream stocks, which consist of natural fish stock and released fish stock, becomes necessary. In this study I wish to clarify the movement, migration and distribution of 0-age fish in the western Japan Sea, describe a tentative method for separating the local populations by means of the radius of the first annual ring on the scales, and consider the necessary stock management strategies for sustainable use of this commercially important population. The results were summarized as follows.

1. The appearance of 0-age red sea bream in waters off Kyoto Prefecture

The time of appearance and fork length change of 0-age red sea bream caught by set net fishery in waters off Kyoto Prefecture were examined. The 0-age fish appeared in the last ten days in June when they are 35–45 mm in fork length, and more abundantly from July to August at 40–70 mm sizes, in September with 80–90 mm sizes, and in October with 100 mm and longer length. It is believed that greater quantities of 0-age fish were caught by set net fishery as their area of distribution expanded as they grew. In September when the number of the fish tails decreases, it is thought that 0-age fish began to move from the fishing ground of set net.

In the western Japan Sea, the size of the 0-age red sea bream, which appears from the summer to the autumn, was the same in Wakasa Bay from the western part of San'in Coast, however, 0-age fish, which appears in the area around the Noto Peninsula, are smaller than these fish, revealing slight differences in the growth among 0-age fish red sea bream in every area of sea of the western Japan Sea.

2. Regional differences in the first ring radius on the scale of the red sea bream in the Tsushima Warm Current Area

The possibility of group separation for red sea bream was demonstrated, based upon the first ring radius observed on the scales of the 1st-age fish collected from six areas of the Sea of Japan. The radius showed various sizes, and the size compositions by area could be separated into three groups such as north area (off Aomori, Akita and Ishikawa prefectures), central area (off Kyoto and Shimane prefectures) and south area (off Nagasaki Prefecture).

There is a positive correlation (0.939) between the mean radius of the first ring on the scales and mean temperature at the depth of zero meters. And it was found that a significant relationship exists between the mean radius of the first ring and the duration in day for which the fish were thought to have developed in more than 18 degrees Celsius water temperature. The smallest radius in the north area corresponds to the shortest period while the largest radius in the south area to the longest period. The appearance of these considerable variations in the scale size was suggested to be mainly due to differing growth conditions, namely the temperature difference, during the fish larval and post-larval periods in each area of the Tsushima Warm Current.

3. The change by the age of the first ring radius on the scale of red sea bream

The compositions of the first ring radii on the scales at the age of fish caught in waters off Ishikawa, Kyoto, and Yamaguchi prefectures were examined. In the sea off Ishikawa Prefecture, little change occurred in the composition of the first ring radii, even if the age increased. There were many with a first ring radius of less than 3.00 mm in any age group. Lee's phenomenon was

observed in the compositions of the first ring radii on the scales of the age of fish caught in the sea off Kyoto Prefecture, and the percentage occurrences of those with large first ring radius increased as they get older in the sea off Yamaguchi Prefecture.

Lee's phenomenon is apparent in the first ring radii on the scale readings of fish 1 to 4 years of age caught from the sea off Kyoto Prefecture. The mean first ring radius increased from spring (April–June) to autumn (September–December) and decreased from autumn to spring in the following year, and the percentage occurrences of small first ring radius increased with their ages. The causes of Lee's phenomenon have not been identified yet. Based upon the regional differences in the first ring radius on the scale of 1st-age fish in the Tsushima Warm Current, it is partly caused by their movement and migration toward the northern or southern area.

If the changes in the first ring radii on the scales of red sea bream in a given area reflecting the extension of their habitat are associated with their growth, the differences in the first ring radii on the scales can be a key to their migration. Using the result of the change of the first ring radius and the tagging experiments, the course of the movement and migration in the western Japan Sea was estimated as follows. The part of the northern population distributed over the area around the Noto Peninsula moves south to Wakasa Bay. In Wakasa Bay, the transition of the local population of the red sea bream is caused with the movement, moreover, the fish that emigrated from Wakasa Bay move south to the western part of the San'in Coast. This population mixes with the south population, which moved north from the western part of Kyushu.

4. Transition of local population of red sea bream in Western Wakasa Bay, estimated from the first ring radius on the scale

Based on the changes in the radius composition of the first ring on the scale with the age of red sea bream its migration, or immigration and emigration patterns in Western Wakasa Bay, was estimated using fish 1 to 6 years of age in the 1991 year group, fish 1 to 5 years of age in the 1992 year group and fish 1 to 4 years of age in the 1993 year group. In the compositions of the first ring radii on the scales in younger age groups (fish less than 3 or 4 years old), it was revealed that the percentage occurrences of those with the small first ring radius (northern population) increased with their ages, while the large first ring radius (southern population) decreased. Based upon the regional differences in the size of the first ring radius on the scale of 1st-age fish, it is suggested that the northern population migrates into Western Wakasa Bay and possibly mixes with the local population (the medium first ring radius) in the Bay.

It is thought that among the first ring radius by age, fish with a ring radius of 3.4 mm or less which had an increasing appearance rate were immigrant fish. The changes were approximate in the following equation in the increase rate ϕ_{i+1}/ϕ_i by the age i .

$$\phi_{i+1}/\phi_i = 0.3533 \exp^{-0.4517i} \quad (\text{Coefficient of correlation } 0.8224)$$

The exchange percentage of the immigrant fish and the emigrant fish estimated from this approximate equation is 22% from 1 to 2 years of age, 14% from 2 to 3 years of age and 9% from 3 to 4 years of age.

The composition of the first ring radius on the scales of 1st-age fish collected from six areas in the Sea of Japan could be separated into three Gaussian distributions in which the average radius and the standard deviations are 4.44 ± 0.33 mm (Type A; western part of Kyushu), 3.66 ± 0.31 mm (Type B; from western part of San'in Coast to Wakasa Bay) and 2.68 ± 0.28 mm (Type C; off Noto Peninsula and northward) by means of the Cassie method and the Taylor method. Based upon the change in the estimated catch in numbers by age and three types of radius (Types A, B and C) in the 1991 year group, at least about 10% to 40% of red sea bream at 4 years of age might participate in their immigration or emigration in Western Wakasa Bay.

5. The analysis of the age and growth of red sea bream based upon the movement and migration ecology

Age and growth of red sea bream were estimated from scales of 2,292 specimens collected from the sea off Kyoto Prefecture. Scale radius (SR in mm) was related to fork length (FL in mm) in the 1991 year group as expressed by the following equation,

$$\ln FL = 1.055 \ln SR + 3.449 \quad (\text{Coefficient of correlation } 0.984)$$

The information of the movement and migration of red sea bream was used. The von Bertalanffy's growth equations were estimated for each group for fish belonging to three types of radius (Type A, B and C) which were separated from the size with the

first ring radius on the scale, Type A: $L_i = 614.1 (1 - \exp^{-0.1589(i+0.7724)})$, Type B: $L_i = 577.7 (1 - \exp^{-0.1727(i+0.3739)})$ and Type C: $L_i = 536.3 (1 - \exp^{-0.1915(i+0.0190)})$, where L_i is the estimated fork length at full age i in years.

The estimated fork length of fish belonging to Type A with the large first ring radius was longer than fish belonging to Type C with the small first ring radius, suggesting that the growth in the early stages influences subsequent growth. Also, differences of 20–30 mm were observed in the estimated fork length of each type. In Western Wakasa Bay, it is thought that fish showing three such growth curves existed.

6. Discussion

The present situation of the management of red sea bream stocks in the western Japan Sea was discussed in consideration of the effectiveness of stock management in protecting 0-age fish. In the western Japan Sea, for the more effective stock management of red sea bream, it is necessary to establish an appropriate management area to have adjusted to the area of the movement and the migration. For stock management to fulfill its function effectively for fishery resources, a reformed management system is indispensable.

序 章

マダイ *Pagrus major* は分類学上、スズキ目 *Perciformes*, スズキ亜目 *Percoidae* のタイ科 *Sparidae* に属し、北海道以南の日本沿岸各地、東シナ海、南シナ海および台湾周辺海域に分布する。日本では、西日本沿岸、特に長崎県、山陰沿岸および瀬戸内海に多く産する。日本周辺に分布するタイ科の魚種としては、本種のほかにキダイ *Dentex tumifrons*, チダイ *Evynnis japonica*, ヒレコダイ *Evynnis cardinalis*, タイワンダイ *Argyrops bleekeri*, ヘダイ *Sparus sarba*, クロダイ *Acanthopagrus schlegeli*, キチヌ *Acanthopagrus latus* などが報告されている。これらのうち、マダイは産業的に最も重要な魚種の一つになっており、底曳網、定置網、刺網、釣・延縄、吾智網など多くの漁法で漁獲されている。

石川県から山口県までの日本海西部の沿岸海域におけるマダイの漁獲量の経年変化 (Fig. 1) をみると、1960年代前半では4,000~5,000トン記録していた。しかし、1960年代後半には、マダイ全体の漁獲量は減少傾向に転じた。1970年代後半には漁獲量は3,000トンを下回り、さらに1980年代後半以降には2,500トン前後にまで落ち込んだ。その後、漁業関係者によるマダイ資源の保護意識の高まりや人工種苗放流事業の推進などにより、1994年頃までの漁獲量は2,000~2,500トンで推移したものの、長期的には漸減傾向を示していた。1995年以降は、日本海西部海域での漁獲量は増加傾向を示しているが、漁獲の中心は若齢の未成魚であり、現在の同海域におけるマダイの資源状態はまだ低水準にあるといえよう。なお、日本海西部海域におい

てマダイを対象とした漁業の操業形態は、各海域の海底地形や海況などの特性によって異なる。例えば、水深 200 m までの比較的平坦な灘の広がる石川県沿岸海域と島根県から山口県沿岸海域では、底曳網や船曳網による漁獲が多い。また、リアス式海岸が多く、環流の形成により海況が変化に富む福井県および京都府沿岸の若狭湾海域や兵庫県沿岸海域では、定置網による漁獲が多くなっている。

さらにマダイは、海産魚類のなかで最も早くから栽培漁業の対象種として、種苗生産および放流技術が開発され、全国的な規模で人工種苗放流が行われている。近年の実績では、日本沿岸において年間20,000千尾以上のマダイ人工種苗が生産、放流されている (Fig. 2)。しかし、放流種苗が天然海域で成長し再び漁獲される、いわゆる人工種苗放流の効果に関しては、鹿児島湾 (椎原, 1986) など地域的には高い再捕率を示す海域も認められているが、全体の漁獲量に占める人工種苗起源の漁獲量が明瞭に区分できるほどの効果は得られていない。また、放流種苗を含むマダイ当歳魚が種々の漁具、漁法で多量に混獲され、その多くは海上投棄されているとの指摘があり、マダイ資源の効率的な利用と放流資源育成の妨げとなっている (石川県ほか, 1990)。

海洋生物の今後の利用については、1994年に発効された国連海洋法条約において、日本は「最良の科学的データに基づいて生物資源を維持し、管理していく義務」を負っている。このような状況下においては、放流資源も含めたマダイ資源全体の合理的且つ持続可能な利用を目指した資源管理に関する研究の必要性が高まっている。

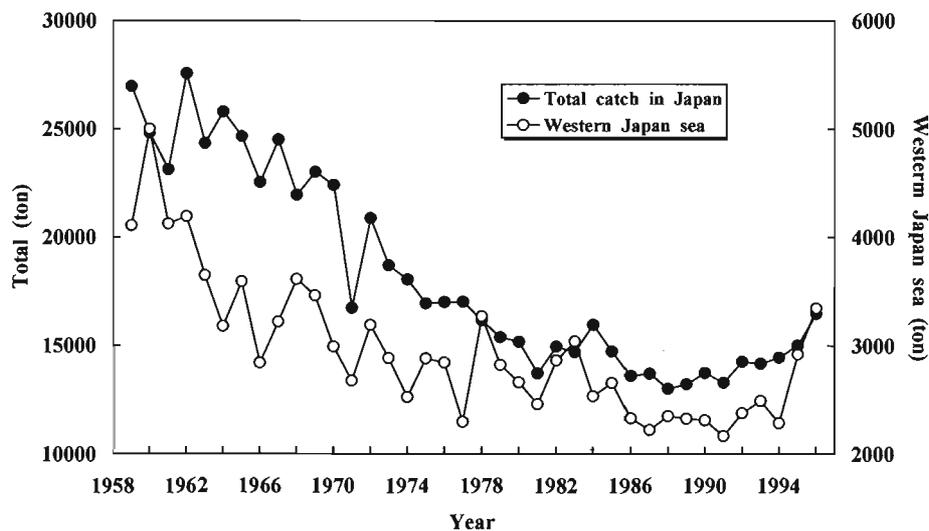


Fig. 1. Annual catch of red sea bream.

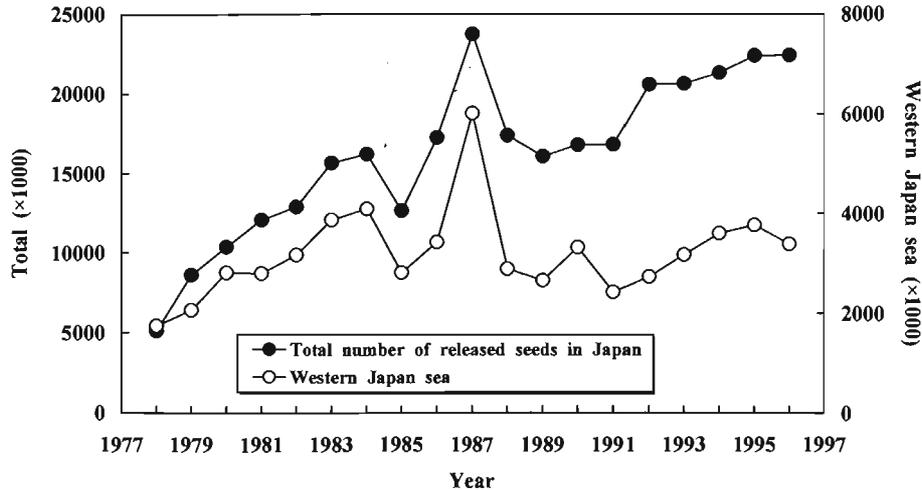


Fig. 2. Number of seeds of red sea bream artificially released.

(1) マダイの生態に関する既往研究の概要

マダイの研究は、1900年代以降全国各地で多くの研究者により行われてきた。1930年代には、太平洋および瀬戸内海におけるマダイの成長、産卵生態等に関する研究報告がなされている(中村, 1935; 海老名, 1936)。その後、1940年代から1950年代には、瀬戸内海を中心に、マダイの資源生態に関する知見が集積されている。この中では、マダイの系統群に関する研究(海老名, 1940)や、マダイ漁況と気候的環境変動との関係(土井, 1955)などについても調査が行われている。

1950年代後半から1960年代に入って、瀬戸内海だけでなく、日本海の若狭湾や九州海域、東シナ海・黄海産マダイ資源についても、分布・回遊(真道, 1963; 岡田, 1967)、年齢・成長(赤崎, 1960; 三尾, 1962; 村上・岡田, 1967)、産卵(真子, 1957)、食性(岡田, 1965)等に関する調査が行われるようになった。特にマダイの成長については、生息海域によって差が認められることが明らかになり、三尾(1962)は、それぞれの海域における水温の相違による初期成長量の違いが、その主な要因になることを示した。また、1960年代には、マダイは栽培漁業の最重要魚種に取り上げられ、種苗生産技術を開発するために種々の調査研究が全国的に行われ、マダイの生物学的知見は飛躍的に充実した。

1970年代半ばには、マダイの大量種苗生産が可能になり、自然海への放流が試みられ始めた。天然海域でのマダイ仔稚魚の成長、分布、食性などに関する情報が集積され始めたのもこの頃である。小林ほか(1974)は、稚魚網に

よるマダイ仔稚魚の月別採集を行い、分布密度の時間変化の把握を試みている。また今林ほか(1977)は、瀬戸内海における幼稚魚の食性を調査し、ヨコエビ類のマダイ稚魚の生残と成長における重要性を論じている。1980年代になると、各県の水産試験場によって「回遊性魚類共同放流実験調査事業」が実施され、種苗生産技術の向上とともに、放流種苗の放流後の分散、移動、成長、生残等の知見に基づく放流技術の開発が行われた(島根栽セほか, 1985; 秋田栽セほか, 1985; 太平洋中区栽培漁業推進協議会技術部会, 1987)。さらに、1980年代後半から1990年代前半にかけて「資源培養管理対策事業」や「資源管理型漁業推進総合対策事業」と継続的な調査が多くの水産試験場で行われ、漁獲対象になる大きさのマダイについての資源生物学に関する莫大な知見が集積されている。また、これら一連の事業では、マダイの分布、回遊、産卵場、育成場などの知見を得ることを目的に、多くの標識放流とその後の追跡調査が行われた。これらの調査により、各個体の移動時期や回遊経路等に関して、いつ、どこまで移動したかなどの質的な情報は数多く得られているが、個体群(ここでいう「個体群」とは、生物学で用いられる「集団; population」と同義)の生活圏の把握、さらに生活圏内におけるマダイ群の移動に関して量的に把握するまでには至っていない。そのため最近では、分布域が重複している個体群の分離を質的および量的に把握する目的で、アイソザイムやmtDNAによる遺伝的解析なども試みられている(田畑, 1994; Tabata and Mizuta, 1997)。

以上のようなこれまでの研究結果をまとめると、マダイの基本的な生態特性については、多くの成果が得られてき

ているが、マダイ資源の広域的、且つ合理的な利用に深く関連する個体群の移動、回遊に関する量的な問題や海況との関係については、解明されていない。特に、卵仔稚魚の移動範囲、保育場と産卵場との関係、索餌場内での種内関係など資源管理に必要な生物学的知見の蓄積は十分とはいえない。

(2) 研究の目的

本研究の目的は、日本海西部海域におけるマダイ当歳魚の分布、マダイ鱗による個体群の識別、マダイ鱗に形成される輪紋径の海域別年齢変化などを解析し、マダイの移動様式にもとづく資源の動向を明らかにすることにより、現在行われているマダイの資源管理をより効果的に推進するための展望を示すことにある。

第1章では、京都府沿岸海域におけるマダイ当歳魚の出現状況や大きさを調べ、日本海西部の他海域における状況との比較を行うことにより、マダイ当歳魚の分布に関して検討した。

第2章以降においては、1歳魚以上のマダイの移動・回遊情報を得るために、硬組織である魚鱗を用いた手法を試みた。まず、第2章では、資源管理を行う上で基本的且つ不可欠な生物学的基礎情報である個体群の識別に関して、鱗の輪紋径による解析を行った。その結果、鱗に形成される第1輪紋径の海域による違いを比較することによって、成長の異なる局所的な個体群を分離できることが明らかになった。

第3章では、日本海西部海域の3つの海域における1歳魚以降のマダイ鱗の第1輪紋組成を調べ、第1輪紋組成の年齢による変化を海域ごとに把握し、第2章で示した鱗の第1輪紋の解析結果や過去の標識放流による結果も加えながら、マダイの移動、回遊と第1輪紋との関係について総合的に検討した。さらに、第1輪紋組成の変化と標識放流の知見から想定されるマダイ群の動きを海域ごとに示した。

第4章では、マダイ鱗の第1輪紋組成の年齢による変化を詳細に検討し、これまであまり研究されていなかったマダイ群の広域的な移動、混合の状況を量的且つ時系列的に把握することを試みた。そして、若狭湾西部海域におけるマダイ群の移動・回遊および海域内外での移出入の状況に関して考察した。

第5章において、第4章までに示したマダイの移動・回遊情報の利用例として、若狭湾西部海域におけるマダイの年齢と成長についての解析を行い、第6章では総合考察として、マダイの広域性、回遊性を考慮した資源の現状把握と、日本海西部海域全体でさらに効果的な資源管理を行う

ために必要な要因について考察した。

(3) 謝辞

本研究をとりまとめるにあたり、終始温かく励ましてくださったとともに懇切な御指導と原稿の御校閲を賜った京都大学大学院農学研究科教授 坂本 亘博上に深く感謝申し上げます。

さらに、本研究のとりまとめに際し、有益な御助言をいただくとともに、原稿の校閲をいただいた京都大学大学院農学研究科教授 田中 克博士、同教授 中原紘之博士、温かい励ましと有益な御助言をいただいた京都大学大学院情報学研究科助教 荒井修亮博士に厚く御礼申し上げます。

また、長崎県総合水産試験場、島根県水産試験場、秋田県水産振興センター、青森県水産試験場の各水産試験場の方々には、調査に多大なる御協力をいただいた。さらに、山口県水産研究センターの小林知吉氏、石川県水産総合センターの宇野勝利氏には、鱗の測定資料の提供などに多大な御協力をいただいた。これらの方々には厚く御礼申し上げます。

本研究をとりまとめる機会を与えていただくとともに、懇切な御指導と御鞭撻をいただいた京都府立海洋センター所長 桑原昭彦博士に心から感謝します。また、本研究をすすめるにあたり、常に適切な御指導、御助言と温かい励ましをいただいた同センター前所長 篠田正俊博士に心から御礼申し上げます。本研究の遂行にあたり御協力と御鞭撻を計っていただいた同センター海洋調査部の方々に感謝します。

最後に、本研究に係わる調査を実施するに際しては、京都府立海洋センターに所属する平安丸およびみさき丸の船員各位には多大の御協力をいただいた。これらの方々には心から感謝します。

第1章 京都府沿岸海域におけるマダイ当歳魚の出現状況

マダイ資源の動態研究においては、当歳魚期における分布や成長過程を明らかにする必要がある。マダイ当歳魚の生態については、1970年代から1980年代にかけて各地で多くの調査が行われ、浮遊生活期の稚仔魚の生態や着底過程、底生生活期における分布様式などに関する知見が蓄積されている(立石, 1976; 田中, 1979, 1980; 森, 1980; 花淵, 1980; 畔田ほか, 1980; Tanaka, 1985)。このうち、底生生活に移行したマダイ当歳魚は、形態学的にみて遊泳力の増大や生活様式の転換を保證する体構造が確立

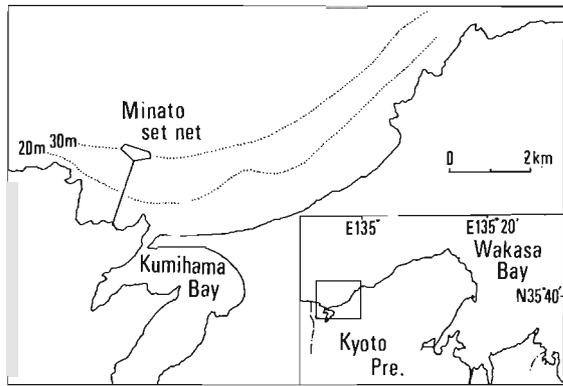


Fig. 3. Locations of Minato set net fishing grounds to the western part of Kyoto Prefecture.

しており (Matsuoka and Iwai, 1984; Matsuoka, 1985; Fukuhara, 1985), 内湾や外海に面した沿岸域など多様な生息場所に分布し, 急速に成長する (立石, 1976)。また, 千葉県から三重県にいたる太平洋沿岸において, 着底後のマダイ当歳魚の成長は, 海域によって差があることが示されている (三重県ほか, 1975)。

日本海西部海域に属する京都府沿岸海域におけるマダイ当歳魚では, 春季の仔魚期の分布や着底時期および着底場所, あるいは秋季以降の越冬場への移動についての概括的な知見 (宗清・傍島, 1981; 鈴木・桑原, 1983; 京都海七, 1984) はあるが, 浅海域に分布する春季から秋季の出現状況についてはほとんど調べられていない。同海域のマダイ当歳魚は, 浮遊生活期には若狭湾内の表層域に分布し (鈴木・桑原, 1983), 6月上旬には底生生活に入る (京都海七, 1984)。その後, マダイ当歳魚は沿岸域に敷設されている定置網により大量に漁獲される (戸嶋ほか, 1994)。また, 定置網で大量に漁獲される時期には, マダイ当歳魚は底曳網などの他の漁具によって漁獲されていない。定置網への魚群の入網機構は, 主として魚の回遊に伴う移動や索餌, 日周活動リズムなどの行動様式と密接に関連している。したがって, 京都府沿岸海域の定置網で漁獲されるマダイ当歳魚の季節的な漁獲変化は, 定置網が敷設されてい

る海域周辺でのマダイ当歳魚の移動, 回遊と密接に関係しているものと考えられる。

本章では, 京都府沿岸海域の定置網で漁獲されたマダイ当歳魚を時期別に採集し, その出現時期や尾叉長変化についての知見を得るとともに, 日本海西部の他海域における状況との比較を行うことによって, 個体群の特性を明確にするうえで重要である海域ごとのマダイ当歳魚の出現状況, 特に成長の違いを明らかにすることを目的とした。

(1) 研究材料と方法

マダイ当歳魚の定置網による漁獲は, 京都府沿岸では西部海域に位置する漁場で始まり, その後次第に東部海域を含めた府沿岸のほぼ全域で見られるようになる (藤田ほか, 1996)。そこで, 本調査では, 京都府沿岸海域の最も西部に位置する湊漁業協同組合所属の大型定置網 (設置水深 33 m; 以下湊定置網とする) で漁獲されるマダイ当歳魚を対象とした (Fig. 3)。湊定置網の魚捕部の目合 (2脚長の内径) は 15.8 mm で周辺の定置網では最も小さく, 小型個体に対する目合の選択作用による影響 (戸嶋・藤田, 1994) は比較的少ないと考えられる。なお, 湊定置網の網型は二段落し網型である。調査期間は, 1992年5月から1994年9月までの1月から4月を除く期間とし, 主として6月から9月を中心にマダイ当歳魚の漁獲量調査を毎月1~8回の割合で行った。調査日には定置網に入網した漁獲物の採集中, もしくは陸上に水揚げされた定置網漁獲物の選別作業中に発見されたマダイ当歳魚を全て採集した。採集したマダイについて, 尾数の計数と尾叉長の測定を行った。また, 調査月ごとの全採集尾数と調査日数から1日あたりの採集尾数を求め, これを漁獲尾数とした。

(2) マダイ当歳魚の出現時期と漁獲尾数

湊定置網における1日あたりのマダイ当歳魚の漁獲尾数を月別に Table 1 に示した。湊定置網では, マダイ当歳魚の漁獲は5月には認められず, 各年とも6月下旬頃から始まっていた。1992年では1日あたりの漁獲尾数は6月から7月にかけて増加し, 7月に181.2尾/日と最も多かった。

Table 1. Number of individuals per haul of 0-age red sea bream.

Year/Month	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.
1992	0.0	140.5	181.2	70.7	24.0	69.3	*	*
1993	0.0	10.7	87.8	9.0	7.3	13.4	27.9	34.0
1994	*	15.0	236.3	245.9	165.0	*	*	*
1992-1994 Mean	0.0	82.0	100.3	245.3	35.4	25.8	27.9	34.0

*: No data.

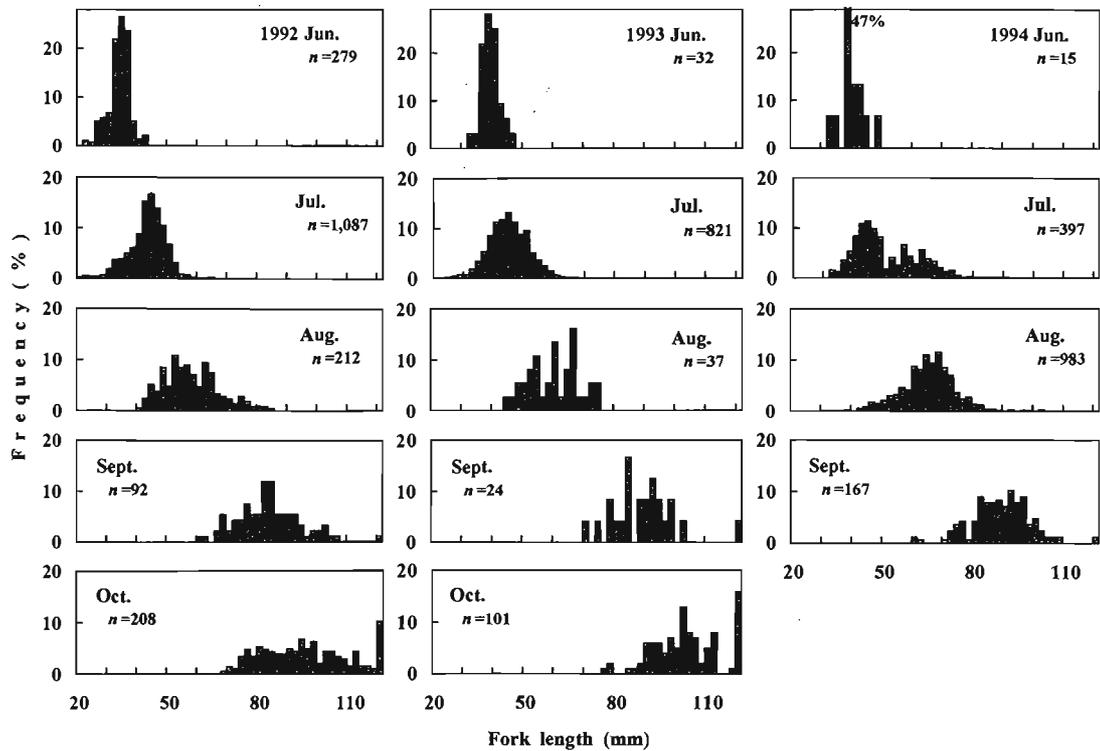


Fig. 4. Fork length distributions of 0-age red sea bream caught by Minato set net from 1992 to 1994.

8月には漁獲尾数は減少し、11月にはマダイ当歳魚の漁獲は認められなくなった。1993年では7月に最も多く漁獲され、9月以降12月までの漁獲尾数は7.3~34.0尾/日であった。1994年の漁獲尾数は、7月から8月にかけて56.7~306.3尾/日と多く、9月には減少していた。なお、3ヶ年の平均では6月82.0尾/日、7月100.3尾/日、8月245.3尾/日および9月35.4尾/日であり、7月と8月が共通して3ヶ年とも特に多くなっていた。

(3) マダイ当歳魚の尾叉長組成

1992年から1994年におけるマダイ当歳魚の尾叉長組成をFig. 4に示した。湊定置網で漁獲されたマダイ当歳魚の月別尾叉長組成の推移は、1992年から1994年まで比較的類似しており、以下のような共通性がみられた。

- 定置網に漁獲され始める6月(下旬)のマダイ当歳魚は尾叉長22~50 mmの範囲であり、35~40 mmのものが主体であった。
- 漁獲尾数が多かった7月から8月までは、それぞれ尾叉長40~50 mm、50~70 mmの2つの群が出現していた。
- 9月には尾叉長80~90 mmのものが多くなり、資料が得られなかった1994年を除くと、10月には尾叉長100

mm以上の個体が全体の40~65%を占めていた。

漁獲されたマダイ当歳魚の月別平均尾叉長をTable 2に示した。3ヶ年における6月から9月の平均尾叉長をみると、6月で33~40 mm、7月で43~50 mm、8月で56~65 mm、9月で83~89 mmであった。また、月ごとの平均尾叉長の差は、6月と7月では5~10 mm、7月と8月では13~16 mm、8月と9月では24~29 mmであり、どの調査年においても平均尾叉長は8月から9月にかけて最も大きく推移した。

また、6月から9月におけるマダイ当歳魚の尾叉長は、おおよそ直線的に増加する(小嶋, 1981)ことから、この間の成長を時間に対する直線で近似した(Fig. 5)。各年の成長は、次式で示される。

$$1992年; FL = 5.341T - 11.677 \text{ (相関係数} 0.874)$$

$$1993年; FL = 5.623T - 10.353 \text{ (相関係数} 0.785)$$

$$1994年; FL = 6.422T - 11.326 \text{ (相関係数} 0.832)$$

FL, 尾叉長 (mm), T, 4月上旬を0とした旬数

(4) 考 察

一般に、定置網はマアジ *Trachurus japonicus* やマイワシ

Table 2. Monthly changes in mean fork length and standard deviations of red sea bream. upper : mean fork length (mm), lower : standard deviation (mm).

Year/Month	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.
1992	*	33.1	42.7	55.8	83.3	96.1	*	*
	*	3.79	6.23	9.33	10.42	16.22	*	*
1993	*	39.2	44.5	60.1	89.4	104.9	107.0	119.6
	*	3.14	6.45	8.33	11.19	13.56	15.86	19.57
1994	*	39.7	49.9	65.3	89.0	*	*	*
	*	3.83	10.06	9.27	9.68	*	*	*

* : No data.

Sardinops melanostictus といった浮魚類に代表される表層回遊魚を誘導し、入網してきたものを漁獲する漁具とされる。しかし、二段落し網型の定置網では、浮魚類だけでなくマダイやヒラメ *Paralichthys olivaceus* などの底魚類についても落し網に導入する機能を有するため、非常に多くの魚種が入網して漁獲対象となる。また、マダイ当歳魚の定置網への入網機構は明らかではないが、1歳前後のマダイ未成魚では、網地に沿った上下運動を行うことにより定置網に入網するとされる(市原, 1977)。底生生活期のマダイ当歳魚では遊泳機能が完成されている(矢野・小川, 1981) ことから、定置網に対する上記のような対網行動が漁獲に関連している可能性は高い。

今回の調査結果から、マダイ当歳魚が湊定置網で漁獲され始めるのは6月下旬頃であり、その大きさは尾叉長35~40 mmであったことが明らかになった。京都府沿岸海域において、マダイの着底時の大きさは尾叉長10~20 mmであり、着底時期は6月上旬頃、着底場所は水深10~15 mの砂質帯である(京都海セ, 1984)。着底後のマダイは、生息環境にもよるが約0.7 mm/日前後で成長し(畔田ほか, 1980; 尾形ほか, 1980; 大内, 1986)、成長に伴い生活水深は深くなる(畔田ほか, 1980; 田中, 1986)。これらのことから、マダイ当歳魚は着底から1ヶ月以内に着底場所から沖合に移動し、その過程で定置網に遭遇、入網し始めると考えられる。その後、マダイ当歳魚は7月には主として尾叉長40~50 mm、8月には50 mm以上となり、定置網で大量に漁獲された。このことはマダイが稚魚期以降、集群性を獲得したことを示している。9月以降には、定置網でのマダイ当歳魚の漁獲尾数は減少した。9月以降における漁獲尾数の減少は、定置網周辺域での個体数の密度低下によるものと考えられ、この頃よりマダイ当歳魚の定置網漁場からの逸散が開始されているものと判断できる。

日本海西部の他の海域におけるマダイ当歳魚の出現状況

をみると、島根県沿岸海域と鳥取県沿岸海域では、7月下旬から8月に尾叉長50~70 mm、9月には80~100 mmの個体が出現し、10月以降に出現するマダイ当歳魚の尾叉長はほとんどが100 mmを超える(島根水試, 1989, 1990; 鳥取水試, 1993)。また、若狭湾に面する福井県沿岸海域におけるマダイ当歳魚は、7月に尾叉長約50 mmで出現し、8月に60~70 mm、9月には約80 mmとなり、10月には100 mm以上に成長する(福井裁セ, 1982)。一方、若狭湾よりも北に位置する石川県沿岸海域では、マダイの着底時期は7月上旬であり、7月下旬に尾叉長20~40 mmのマダイ当歳魚が出現する(尾形ほか, 1980)。同海域における当歳魚の尾叉長は、8月に30~50 mm、9月に60~70 mmとなり、尾叉長80 mm以上の個体が出現する時期は10月以降である(尾形ほか, 1980)。今回調査を行った京都府沿岸海域におけるマダイ当歳魚の时期的な大きさは、島根県沿岸海域、鳥取県沿岸海域および福井県沿岸海域でのそれとほぼ同じであり、石川県沿岸海域よりも大きかった。日本海西部海域で夏季から秋季にかけて出現するマダイ当歳魚の大きさは、山陰沿岸から若狭湾沿岸海域にかけてはほぼ一致するが、能登半島周辺海域ではこれらの海域よりも小さいことになる。

京都府沿岸海域で定置網により漁獲されたマダイ当歳魚の発生時期は、Fig. 5に示した成長直線のX切片を産卵盛期と仮定すれば、4月下旬から5月上旬と推定できる。これは、同海域における成魚の成熟状況(戸嶋, 未発表)と一致し、山陰沿岸海域のマダイの産卵時期とほぼ同様である(藤川・竹森, 1988)。一方、能登半島周辺海域におけるマダイの産卵時期は5月下旬から6月上旬であり、京都府沿岸海域に比べると約1ヶ月遅くなっている(尾形ほか, 1980)。すなわち、山陰沿岸から若狭湾沿岸海域と、能登半島周辺海域における当歳魚の出現状況の違いは、基本的には両海域におけるマダイの産卵時期のずれに対応していることがわかる。また、当歳魚期の海域による成長差

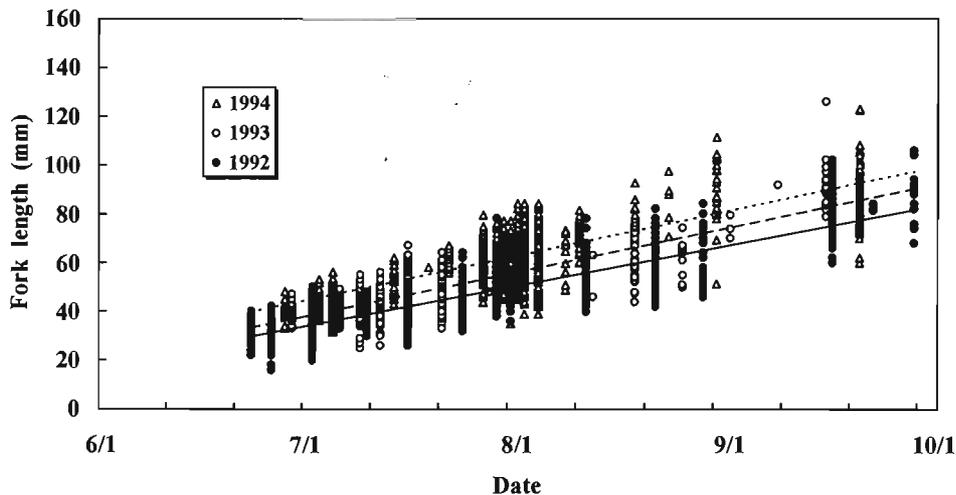


Fig. 5 Changes in fork length of 0-age red sea bream from 1992 to 1994. The solid (1992), broken (1993) and dotted (1994) lines represent regression lines between days and fork length.

は、日本海西部海域におけるマダイ群の構造を解明するうえで注目すべき結果であり、次章以降では1歳魚を用いてさらに詳細な検討を行う。

第2章 マダイ鱗の第1輪径組成の海域差

魚類の移動・回遊状況を推定するためには、漁獲対象となる魚種がどのような時空間的分布と組成をもった個体群から構成されているのかをまず明らかにしなければならない。複数の個体群が混合している魚群では、それぞれの個体群を分離、識別するための何らかの指標が必要となる。従来からの個体群識別法としては、体節形質の比較といった形態的特徴（浅見・花岡, 1957; 林・鈴木, 1959）、相対成長の違い（鉄・檜山, 1957; 渡部, 1970）、アイソザイムや mtDNA などによる遺伝学的分析手法（藤尾ほか, 1985; 西田ほか, 1996）等、いくつかの方法が多くの研究者によって試みられてきた。特に近年、遺伝学的分析手法の開発が精力的に行われ、マダイについても mtDNA 分析による個体群間の差異検出などの興味深い成果が報告されている（Tabata and Mizuta, 1997）。しかし、この方法は長い年月にわたり隔離された群相互の識別には優れているが、各地先海域間における群の移入・逸散の定量的解析や局所的な個体群の分離に対してはあまり適していない。

一方、同じ回遊環境履歴を持つ個体群の識別に対しては、近年、耳石や鱗などの硬組織を利用した解析や安定同位体比分析が行われている。一般に、海洋生物の硬組織は環境変動の影響を受けながら継続的に形成されるため、硬

組織には生物の過去の履歴情報が蓄積されている可能性が高い。例えば鱗では、魚鱗の成長と魚体の成長との間には高い正の相関があり、鱗に形成される隆起線の間隔は、体成長が大きいほど広がる（池田ほか, 1973; Bilton, 1975; Fisher and Percy, 1990）。マダイの鱗は露出部に小歯を備える楡鱗であり、被覆部には鱗の中心から同心円状に隆起線が配列している。鱗上に現われる隆起線の乱れ（不連続性）または隆起線の密度集合等により形成される輪紋の年齢指標としての有効性は、既に検証がされている（三尾, 1962）。従来から行われてきた鱗によるマダイの年齢と成長に関する研究結果（赤崎, 1960; 三尾, 1962; 村上・岡田, 1967; 国行ほか, 1975; 阪本, 1984）を比較すると、推定されたマダイの年齢ごとの体長は、海域によって異なっている。また、第1章で示したように、京都府沿岸海域と石川県沿岸海域では、同時期に出現する当歳魚の大きさは異なっている。海域ごとに生後1歳時までの成長差が生じている場合、それは各海域における個体の成長履歴の差として鱗の第1輪径に現われる。

日本海沿岸の地先海域に生息するマダイは、遺伝学的分析手法による個体群解析では、現在のところ、明確な区別はされていない（田畑, 1994; 新潟県, 1996; Tabata and Mizuta, 1997）。しかし、標識放流では府県地先海域間における移動が多数確認されており、遺伝学的には日本海沿岸の大きな1つの個体群に属しているが、成長に伴って異なった回遊経路をたどるマダイ群の存在が示唆される。本章では、このような時空間的に小規模な個体群（局所個体群; local population）を識別することを目的に、マダイ1

歳魚の鱗に形成される第1輪径組成の解析を行った。

(1) 研究材料と方法

マダイ鱗の第1輪径を測定するために、1992年には Fig. 6 に示した長崎県伊万里湾、島根県大社沿岸、京都府沿岸、石川県加賀沿岸、秋田県男鹿沿岸の5海域から合計1,308個体の1歳魚を収集し、1993年には京都府沿岸と青森県大戸瀬沿岸の2海域から合計357個体の1歳魚を収集した。各海域のマダイの調査個体数、調査年月日、漁業種類および尾叉長を Table 3 に示した。

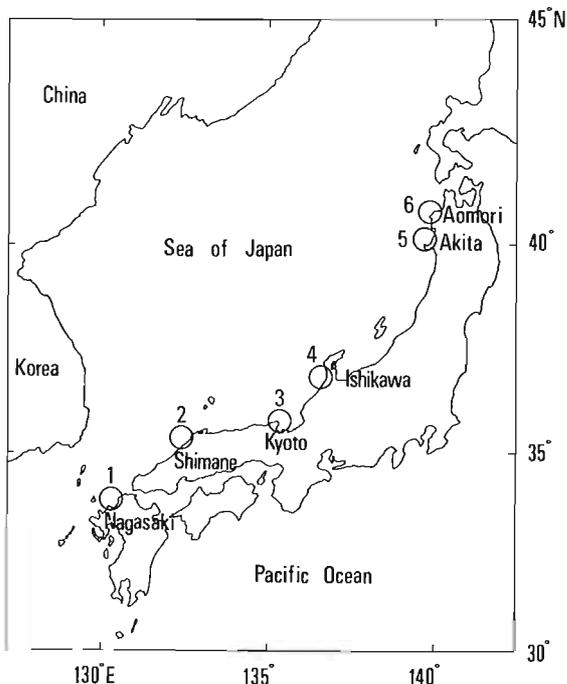


Fig. 6. Sampling areas of red sea bream. Numbers 1-6 indicate locations where the fish specimens were collected.

採鱗部位は、左体側中央部の側線下方とし、1個体から5~10枚の鱗を採集した後に、3%水酸化カリウム溶液に浸漬し、十分に水洗いをして汚物を除き2枚のスライドガラスに挟んで標本とした。なお、収集したマダイについては尾叉長の測定を行うとともに、鱗については鱗径と第1輪径 (Fig. 7) の測定を行った。第1輪径の判断基準は、三尾 (1962) および村上・岡田 (1967) の方法に従い、鱗

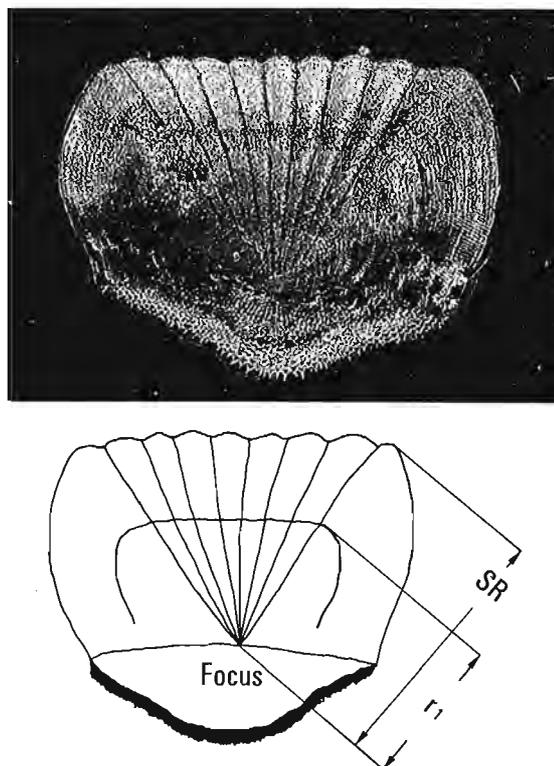


Fig. 7. Method used to measure scale radius and ring radius. SR: scale radius, r_1 : first ring radius.

Table 3. Sampling areas, number of samples, date, gear, and fork length (FL) ± standard deviation (S.D.) in 1992 and 1993.

Sampling areas	Number of samples	Date	Gear	FL ± S.D. (mm)
Imari Bay, Nagasaki	198	Jun. 3, 1992	Gochi-trawl	164 ± 12.7
Taishya area, Shimane	199	Jun. 21, 1992	Beach seine net	152 ± 9.9
off Kyoto Prefecture	481	Sep.-Nov., 1992	Set net	183 ± 23.7
off Kyoto Prefecture	143	Sep.-Nov., 1993	Set net	181 ± 22.3
Kaga area, Ishikawa	238	Sep. 19, Oct. 1, 1992	Danish seine	136 ± 12.7
Oga peninsula, Akita	192	Oct. 1, 1992	Danish seine	153 ± 6.7
Otose area, Aomori	214	Nov. 15, 23, 25, 1993	Set net	165 ± 10.7

縁辺部とはほぼ平行に連続してみられる隆起線の乱れを基準とした。測定軸は、鱗の焦点から被覆部にある基軸角までの直線とし、測定軸が初輪と交わるまでの距離を第1輪径(r_1)とし、鱗の縁辺部に達するまでの距離を鱗径(SR)とした。また、隆起線間隔が粗く、隆起線の乱れの部分が測定軸に対して幅を持つ場合には、その外縁までを測定した。再生鱗を除いた5枚の鱗について0.01 mm単位まで測定し、その平均値を各個体の代表値とした。

また、社団法人漁業情報サービスセンター速報より漁獲地点近傍の水深0 mの月平均水温を求め、これから年間平均水温を計算した。

(2) 対馬暖流域におけるマダイ1歳魚の第1輪径組成

1992年に調査を実施した5つの海域におけるマダイ鱗の

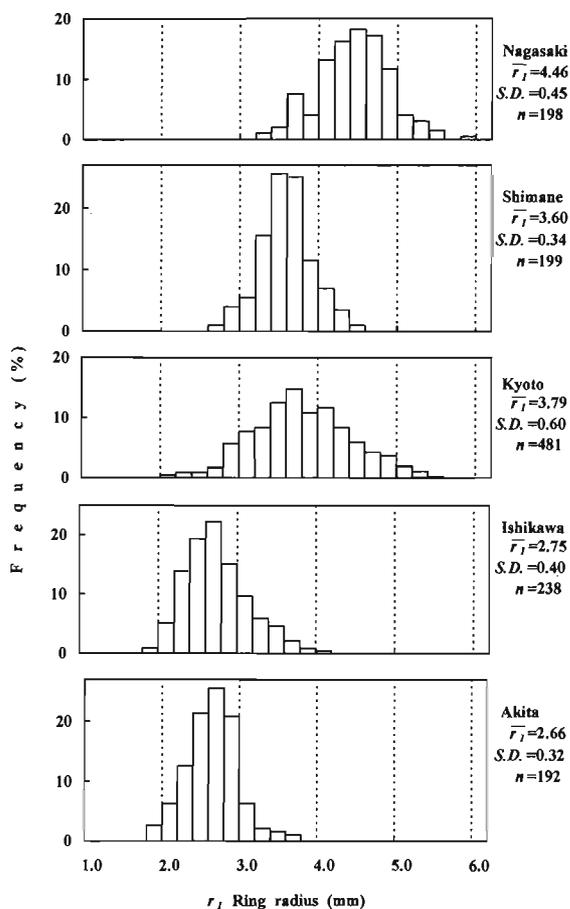


Fig. 8. Frequency distributions of the first ring radius (r_1) on the scales of red sea bream from the 5 areas in 1992. \bar{r}_1 : mean radius of first ring, S.D.: standard deviation, n: number of samples.

第1輪径組成を Fig. 8 に示した。第1輪径組成はどの海域においても左右対称な正規分布型に近い分布を示しており、石川県沿岸を除く全ての海域の第1輪径組成は、 χ^2 検定により95%信頼度で正規分布であることが認められた。長崎県沿岸海域で漁獲されたマダイの第1輪径のモードは4.4~4.6 mmで、平均第1輪径は4.46 mm、標準偏差は0.45 mmであった。島根県沿岸海域の第1輪径組成では、モードは輪径3.4~3.6 mmにあり、平均第1輪径は3.60 mm、標準偏差は0.34 mmであった。京都府沿岸海域の場合には、第1輪径の出現範囲は2.0~5.6 mmであり、モードは輪径3.6~3.8 mm、平均第1輪径および標準偏差は3.79 mm および 0.60 mm であった。京都府沿岸海域における第1輪径組成では、標準偏差は島根県沿岸海域のそれと比べて大きい、モードは島根県沿岸海域と近い距離にあり、両者の平均第1輪径の差も0.2 mm以下であった。石川県沿岸海域と秋田県沿岸海域の第1輪径組成では、いずれの海域においても、モードは輪径2.6~2.8 mmにあり、平均第1輪径も2.75 mmと2.66 mmでほぼ同じ大きさであった。また、両海域の第1輪径組成に違いがあるかどうか調べるために、Mann-WhitneyのU検定を行ったが、1%の有意水準で差は認められなかった。この結果は、両海域に分布する1歳魚が、ほぼ同じ成長をする群に属していたことを示している。

次に、1993年に調査を実施した京都府沿岸海域と青森県沿岸海域の第1輪径組成を Fig. 9 に示した。両海域の第

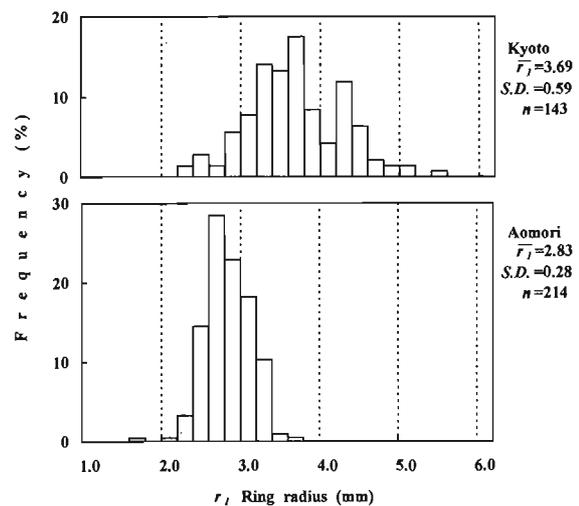


Fig. 9. Frequency distributions of the first ring radius (r_1) on the scales of red sea bream from the sea off Kyoto and Aomori prefectures in 1993. \bar{r}_1 : mean radius of first ring, S.D.: standard deviation, n: number of samples.

1 輪径組成についても、 χ^2 検定により正規分布で近似しうると判定された。京都府沿岸海域の第 1 輪径組成では、モードは輪径 3.6~3.8 mm に出現し、平均第 1 輪径は 3.69 mm、標準偏差は 0.59 mm であり、モード、平均値および標準偏差とも 1992 年の結果と類似していた。青森県沿岸海域における第 1 輪径組成のモードは輪径 2.6~2.8 mm で、平均第 1 輪径は 2.83 mm、標準偏差は 0.28 mm であった。

なお、1992 年と 1993 年に調査を行った京都府沿岸海域の第 1 輪径組成に対して、Mann-Whitney の U 検定を行った結果、両年の第 1 輪径組成には 1% の有意水準で差は認められなかった。また、1993 年の青森県沿岸における第 1 輪径組成と、1992 年の石川県および秋田県沿岸における第 1 輪径組成の 3 つの組成について、Kruskal-Wallis の検定を実施したところ、1% の有意水準で差異は認められなかった。

(3) 第 1 輪径と水温との関係

調査海域における水深 0 m の年平均水温と平均第 1 輪径との関係を Fig. 10 に示した。各海域におけるマダイ 1 歳魚の平均第 1 輪径は、年平均水温と有意な正の相関があった ($F=37.145$, $P=0.0017$)。

(4) 考 察

魚類の体長組成は、年齢、発生時期、漁場等で十分に層化された後では、正規分布をする。今回、各海域におけるマダイ鱗の第 1 輪径組成が正規分布を示したことは、マダイ鱗の第 1 輪径が生後 1 年間の成長によって規定されることを表しており、それぞれの第 1 輪径組成で示されるマダイ群は、層化された単位群であると考えられることができる。

Fig. 8 および Fig. 9 に示した京都府沿岸海域の第 1 輪径組成をみると、1992 年と 1993 年の組成に差が認められなかったことから、同海域においては両年とも同じ第 1 輪径組成を有するマダイ 1 歳魚が分布していたと考えられる。京都府沿岸海域と島根県沿岸海域では、第 1 輪径の平均的な大きさはほぼ同じであった (Fig. 8)。このことは、第 1 章で示したように、両海域に出現する当歳魚の成長状況と一致する。また、両海域における第 1 輪径の標準偏差に違いが認められたことは、標準偏差の大きい京都府沿岸海域では、島根県沿岸海域に比べて個体間の成長差が大きいことを示している。石川県沿岸海域については、傍島・宗清 (1982) が、1979 年に石川県加賀沿岸で漁獲されたマダイに関して調査を実施しており、1 歳魚の第 1 輪径組成のモードが 2.4~2.5 mm に出現したことを報告している。1992 年の今回の調査においても、石川県沿岸海域における第 1 輪径組成のモードは輪径 2.6~2.8 mm にあり (Fig. 8)、1979 年の調査結果と比較して大きな差異はみられなかった。さらに、石川県沿岸海域以北の 3 つの海域では、第 1 輪径組成に差が認められなかった (Fig. 8, Fig. 9) ことから、これらの海域では、漁獲された年の違いはあるが、同じ第 1 輪径組成を有するマダイ 1 歳魚が生息していることがわかる。

以上の結果をもとにして、長崎県から青森県までの対馬暖流域におけるマダイ 1 歳魚の第 1 輪径について整理すると、第 1 輪径組成のモードが 4.4~4.6 mm で、平均第 1 輪径が 4.46 mm と最も大きい長崎県沿岸海域、平均第 1 輪径が 3.00 mm 以下で、第 1 輪径組成が海域内でほとんど同じである石川県沿岸以北の海域および平均第 1 輪径が 3.60~3.80 mm であり、上記の南北 2 海域と比較して中間的な大きさの第 1 輪径組成を持つ島根県から京都府沿岸

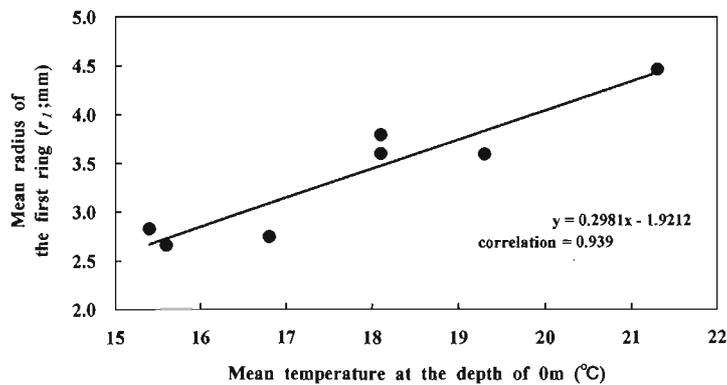


Fig. 10. Relationship between mean temperature at the depth of zero meter and mean first ring radius on the scales of red sea bream. Solid circle represents each sampling area.

海域の3つの海域に大別することができた。

第1章で述べたように、日本海西部海域におけるマダイ当歳魚は、海域によって産卵時期のずれに起因する出現状況の違いが認められた。ただし、鱗の輪紋形成時期は、各海域におけるマダイの産卵時期とほぼ一致するため、(秋田栽セ, 1982; 石川増試, 1984; 烏根栽セほか, 1985; 京都海セ, 1986), 第1輪径に差がみられた海域間では、生後1年間のマダイの成長は異なっていることになる。このように海域によってマダイ鱗の第1輪径、すなわち成長に差が現われる要因には、一般的には水温との関係が考えられている(三尾, 1962; 阪本, 1984)。今回は、現場海域の水温データを得ることができなかった。このため、第1輪径とマダイの生息水温との関係を直接、比較検討することはできないが、調査を行った各海域の水深0mの平均的な水温と平均第1輪径には明瞭な正の相関がみられた(Fig. 10)。また、各海域において、水深50mの水温がマダイの成長を促進する18°C以上(松原・落合, 1976)となる年間日数を推定すると、長崎県沿岸海域では約210日、鳥根県沿岸海域および京都沿岸海域では約150日、石川県沿岸海域から青森県沿岸海域では約120日以下となる(長沼・市橋, 1993; Tojima and Fujita, 1996)。これらの日数と今回の結果から、第1輪径の大きい海域では、マダイの成長に適した期間はより長くなっていることが分かる。さらに、鱗の隆起線形成と水温との関係や、マダイの耳石に含まれる微量元素分析などの結果においても、水温はマダイの成長を規定する大きな物理的要因であることが示されている(荒井・坂本, 1995; Arai et al., 1996; 戸嶋・荒井, 2000)。これらのことから、マダイ鱗の第1輪径に

示される海域差の原因として、各海域における0m深の年平均水温や50m深の水温が18°C以上となる日数、つまり水温の影響が指摘できる。

第3章 マダイ鱗の第1輪径組成の年齢による変化

マダイに関しては、従来から鱗に形成される輪紋径を用いて成長の解析が行われている(赤崎, 1960; 三尾, 1962; 村上・岡田, 1967; 岡行ほか, 1975; 阪本, 1984; 沢田ほか, 1985)。日本海沿岸における海域ごとのマダイの年齢と成長に関する報告は少なくないが、それらの報告では、高齢魚の輪紋径が低年齢魚の輪紋径に比較して小さくなる、いわゆるLee現象やその逆の反Lee現象が現れていることが指摘されている(秋田栽セ, 1982; 京都海洋セ, 1986; 戸嶋ほか, 1993, 1996; 佐藤, 1993)。Lee現象の原因については、体長従属的な要因など幾つかの考え方が提案されている(Robertson, 1936; Ricker, 1969; Chen, 1971; Vaughan and Burton, 1994)が、未だ定説は得られていない。幾つかの仮説の中で、Stanley(1980)が、オーストラリア南部に分布しマルズズキ科 *Arripidae* に分類される Australian salmon *Arripis trutta esper* の鱗にみられるLee現象に対して指摘した、漁場への加入、逸散は、最も考慮しなければならない要因の一つであろう。成長するにしたがい、移動・回遊により生息海域を広げることが、特定漁場への複数個体群の加入を促し、漁獲組成を複雑にしている。さらに個体群の漁場への来遊を推定することは、府県地先海域で行われている人工種苗放流事業の効果を知らううえでも重要である。

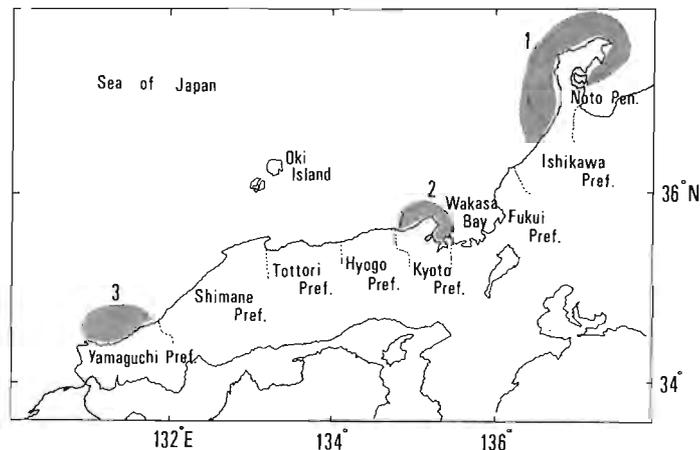


Fig. 11. Sampling areas of red sea bream. The shaded parts indicate fishing grounds, and numbers 1-3 indicate the locations where the fish specimens were collected.

前章において、マダイ1歳魚の鱗の第1輪径組成を比較した結果、対馬暖流域では海域ごとに成長速度の異なる個体群が存在していることが明らかになった。本章では、マダイ鱗の第1輪径と個体群の移動、回遊との関連を明らかにすることを目的に、日本海西部の石川県沿岸海域、京都府沿岸海域および山口県沿岸海域における第1輪径組成を年齢別に調べ、第1輪径組成の年齢による変化から推定されるマダイの動きについて、標識放流による知見を加えて検討した。さらに、京都府沿岸海域のマダイ鱗について、

漁期別の第1輪径組成を調べ、マダイの季節的な移動との関連を検討することによって、発生海域の異なる個体群の加入がLee現象を引き起こすことを示した。

(1) 研究材料と方法

試供魚には、1992年から1997年にかけて、日本海西部の石川県沿岸海域、京都府沿岸海域および山口県沿岸海域において漁獲されたマダイを用いた (Fig. 11, Table 4)。採集した全てのマダイについて尾叉長の測定を行うとともに

Table 4. Sampling areas, year group, age, number of samples, gear, minimum and maximum fork length of red sea bream.

Sampling areas	Year group	Age	Number of samples	Gear	Minimum and maximum fork length
off Ishikawa Prefecture (Noto peninsula)	1992	1	263	Danish seine	115-194
		2	123	Danish seine	151-229
		3	31	Danish seine	214-272
		4	108	Set net and Gill net	237-346
		5	87	Handline and Gill net	267-341
	Total	612			
off Kyoto Prefecture	1991	1	657	Set net and Handline and Longline	109-266
		2	653		140-333
		3	323		186-381
		4	322		244-438
		5	211		273-453
		6	126		321-491
	Total	2,292			
	1992	1	366	Set net and Handline and Longline	100-244
		2	311		153-332
		3	228		188-391
		4	207		268-442
		5	143		303-482
	Total	1,255			
	1993	1	248	Set net and Handline and Longline	118-262
		2	76		147-323
3		82	282-438		
4		60	302-444		
Total	466				
off Yamaguchi Prefecture	1992	1	155	Danish seine and Oki-tateami	150-231
		2	158		164-279
		3	129		182-347
		4	72		325-380
		5	67		347-454
	Total	581			

に、鱗を採集し、スライド標本とした後に年齢査定を行った。年齢査定を行ったマダイは、1991年、1992年および1993年発生群（以下それぞれ、91年級群、92年級群および93年級群とする）に区別し、鱗径（SR）および第1輪径（ r_1 ）を万能投影機を用いて0.01 mm単位まで測定した。なお、採鱗部位、標本処理および輪径の判断基準は、第2章と同様である。ただし、鱗径と第1輪径の測定において、京都府沿岸海域の標本は著者が直接測定したが、他の2海域については測定者が異なったため、測定値に以下の処理を行った。

採鱗部位がずれることによって生じる鱗径の誤差については、著者が測定した京都府沿岸海域におけるマダイの鱗径と尾叉長の関係式の95%信頼限界値を求め、その範囲内の測定値のみを採用することにより、鱗径の統一化を図った。さらに、輪径の判断基準は、測定者による差が生じることを防ぐため、各海域で採取された20個体の鱗の第1輪径を、著者と他海域の測定者2名が同時に読み取り、それぞれの輪径値に差がないことを予め確認した。

今回の調査に用いた個体数は、石川県沿岸海域では92年

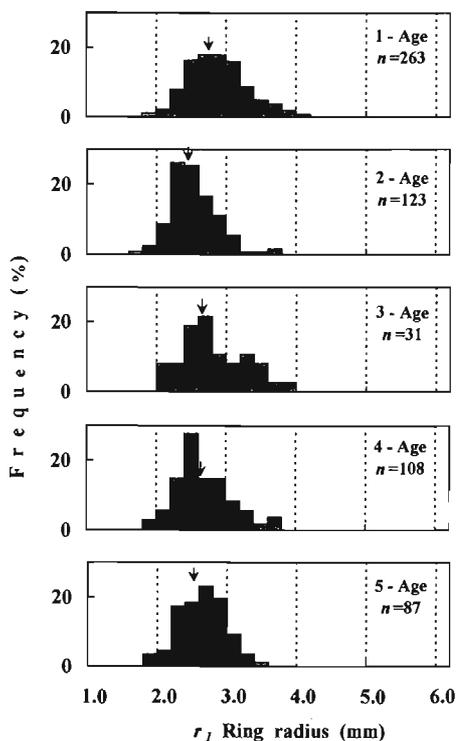


Fig. 12. Frequency distributions of the first ring radius (r_1) on the scales of 1992 year group from the sea off Ishikawa Prefecture. Arrows indicate averages.

級群の1歳魚から5歳魚の合計612個体、京都府沿岸海域では91年級群の1歳魚から6歳魚の合計2,292個体、92年級群の1歳魚から5歳魚の合計1,255個体および93年級群の1歳魚から4歳魚の合計466個体であり、山口県沿岸海域では92年級群の1歳魚から5歳魚の合計581個体であった (Table 4)。

(2) 海域別第1輪径組成とその年齢変化

(a) 石川県沿岸海域

石川県沿岸海域のマダイ鱗の年齢別第1輪径組成を Fig. 12 に示した。1歳魚の第1輪径組成では、出現範囲は輪径 1.8~4.4 mm、モードは輪径 2.6~2.8 mm にみられ、平均第1輪径は 2.88 mm であった。92年級群における1歳魚の第1輪径組成の出現範囲およびモードは、91年級群 (第2章 Fig. 8) のそれと比較して差異は認められなかつ

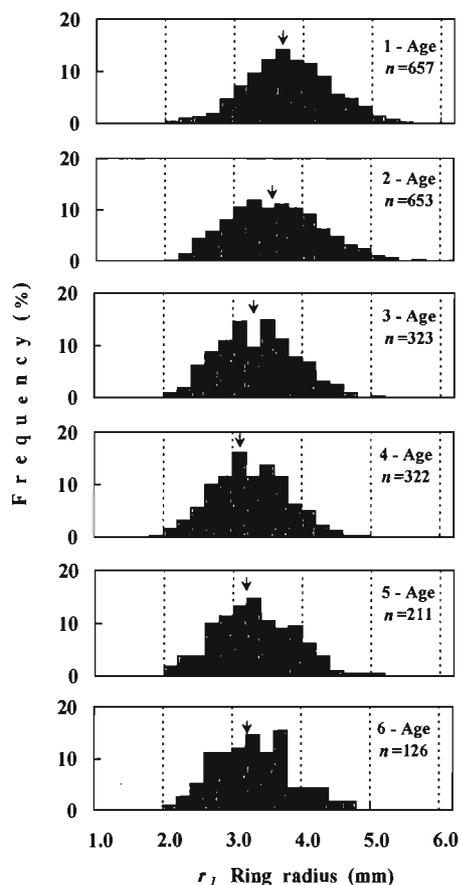


Fig. 13. Frequency distributions of the first ring radius (r_1) on the scales of 1991 year group from the sea off Kyoto Prefecture. Arrows indicate averages.

た。2歳魚では組成のモードは2.2~2.4 mm 付近に出現し、平均値は2.53 mmであった。2歳魚の輪径組成では3.8 mm を超える輪径値を持つ個体はなく、1歳魚に比較すると輪径3.0 mm 未満の個体の割合は約28%増加していた。3歳魚になると、組成のモードは2.4~2.6 mm 付近に出現し、平均値は2.82 mm であった。3歳魚以上の第1輪径組成では、組成のモードはどの年齢群においても輪径2.4~2.6 mm に出現し、年齢による変化は認められなかった。また、4歳魚および5歳魚の平均第1輪径は、それぞれ2.68 mm および2.64 mm であった。

年齢別第1輪径組成に占める輪径1.0 mm 範囲ごとの出現個体の割合を求めると、輪径2.0 mm 以上3.0 mm 未満の個体の割合は62~88%であり、どの年齢群においても最も高かった。輪径3.0 mm 以上4.0 mm 未満では、1歳魚と3歳魚では30~35%であったが、他の年齢群では20%以下であった。輪径2.0 mm 未満の個体の割合はどの年齢群においても3%以下であり、輪径4.0 mm 以上

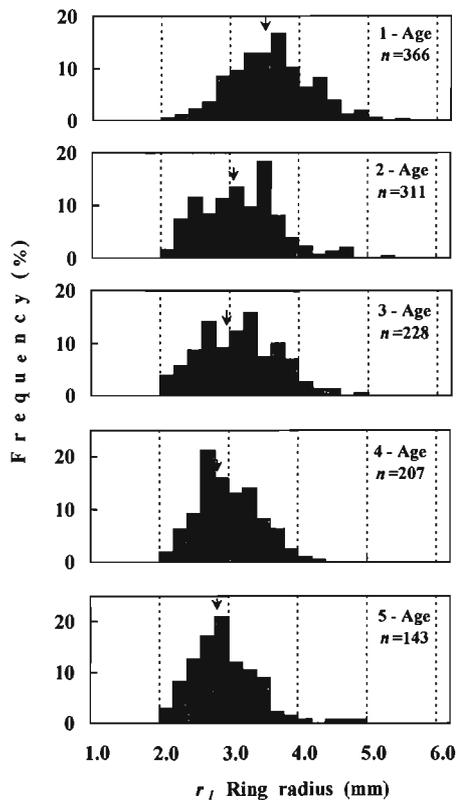


Fig. 14. Frequency distributions of the first ring radius (r_1) on the scales of 1992 year group from the sea off Kyoto Prefecture. Arrows indicate averages.

の個体は2歳以上魚では出現しなかった。

以上のように、石川県沿岸海域のマダイでは、第1輪径組成のモードや平均値は年齢が増加しても変化は少なく、どの年齢群においても輪径3.0 mm 未満の個体の割合が多くなっていた。すなわち、同海域の第1輪径組成には明瞭な Lee 現象は認められなかった。

(b) 京都府沿岸海域

京都府沿岸海域で漁獲された91年級群、92年級群および93年級群のマダイ年齢別第1輪径組成を Fig. 13, Fig. 14 および Fig. 15 に示した。91年級群 (Fig. 13) では、1歳魚の第1輪径の出現範囲は輪径2.0~5.6 mm、モードは輪径3.7 mm、平均第1輪径は3.79 mm であった。第1輪径組成に占める輪径範囲ごとの出現個体をみると、輪径3.0 mm 未満の個体の割合は全体の9%、輪径3.0 mm 以上4.0 mm 未満では55%、輪径4.0 mm 以上5.0 mm 未満では34%、輪径5.0 mm 以上では2%であった。2歳魚では組成のモードは、輪径3.2~3.4 mm 付近に出現し、平均値は3.58 mm であった。輪径組成に占める輪径3.0 mm 未満の個体の出現割合は19%であり、1歳魚のそれと比較して10%増加していた。また、2歳魚の平均第1輪径は、1歳魚のそれよりも有意に小さかった (t test, $p < 0.01$)。3歳魚になると、輪径3.0 mm 未満の個体の出現

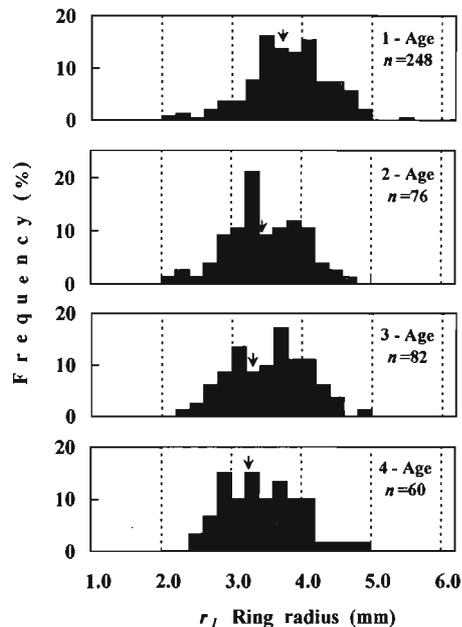


Fig. 15. Frequency distributions of the first ring radius (r_1) on the scales of 1993 year group from the sea off Kyoto Prefecture. Arrows indicate averages.

割合は28%となり、2歳魚のそれより約10%増加していた。また逆に、輪径4.0 mm以上の個体の割合は13%で、2歳魚と比較して減少していた。3歳魚の平均第1輪径は3.35 mmであり、2歳魚よりも小さくなっていった (*t* test, $p < 0.01$)。4歳魚の第1輪径組成では、モードは輪径3.1 mmに出現し、輪径3.0 mm未満の個体の出現割合は32%、輪径4.0 mm以上では9%であった。5、6歳魚の第1輪径組成については、3、4歳魚に比較して出現範囲や組成のモードに大きな変化はみられず、輪径3.0 mm未満および輪径4.0 mm以上の個体の出現割合は、両年齢魚ともにそれぞれ31%および12%であった。また、4歳魚、5歳魚および6歳魚の平均第1輪径は、それぞれ3.25、3.31 mmおよび3.32 mmであった。これらの第1輪径組成の差の有意性について検定を行ったところ、1歳魚と2歳魚および2歳魚と3歳魚の第1輪径組成にはそれぞれ有意差が認められた (Mann-Whitney's U test, $p < 0.01$)。しかし3歳魚から6歳魚の第1輪径組成については、有意差は認められなかった (Kruskal-Wallis test, $p > 0.05$)。

92年級群 (Fig. 14) では、1歳魚の第1輪径組成のモードは輪径3.7 mmであり、91年級群における1歳魚の組成と同じであった。ただし、輪径3.0 mm未満および輪径3.0 mm以上4.0 mm未満の個体の出現割合は、それぞれ16%および62%であり、91年級群の1歳魚に比べて輪径の小さい個体の割合が多い傾向がみられた。2歳魚の第1輪径組成は、1歳魚に比較して全体的に小さい方に偏っており、輪径3.0 mm未満の個体の出現割合は40%であった。3歳魚の第1輪径組成は、2歳魚に比較すると明瞭な違いはみられなかったが、4歳魚になるとモードは輪径2.6~2.8 mm付近に出現し、輪径3.0 mm未満の個体の出現割合は55%に増加していた。5歳魚では、輪径3.0 mm未満の個体の出現割合は62%に達したが、組成のモードは輪径2.8 mm付近にあり、4歳魚とあまり変わらない位置に出現した。また、1歳魚から5歳魚までの平均第1輪径は、それぞれ3.58、3.15、3.13、2.99 mmおよび2.91 mmであった。なお、年齢ごとの第1輪径組成の差を検定した結果、1歳魚と2歳魚および3歳魚と4歳魚で、それぞれの組成に有意差が認められた (Mann-Whitney's U test, $p < 0.01$)。しかし、4歳魚と5歳魚の第1輪径組成については、有意差は認められなかった (Mann-Whitney's U test, $p > 0.05$)。

さらに93年級群の第1輪径組成 (Fig. 15) をみると、1歳魚に比較して2歳魚、3歳魚および4歳魚では、輪径4.0 mm以上の個体の割合が約15~20%減少し、逆に輪径3.0 mm未満の個体の割合は約10~20%増加していた。ま

た、1歳魚の平均第1輪径は3.80 mmであったが、2歳魚から4歳魚まではそれぞれ3.46、3.53 mmおよび3.44 mmであり、1歳時よりも小さくなっていった。

このように、京都府沿岸海域における第1輪径組成の年齢による差異は、91年級群、92年級群および93年級群の全てに認められ、どの年級群においても第1輪径は年齢が増加するにしたがい、小さくなる傾向がみられた。

(c) 山口県沿岸海域

山口県沿岸海域のマダイ鱗の年齢別第1輪径組成を Fig. 16 に示した。1歳魚の第1輪径組成の出現範囲は輪径2.0~4.8 mmであり、モードは輪径3.2 mm付近にみられた。また、輪径2.6 mm付近には小さな山が認められた。1歳魚の第1輪径組成では、組成に占める輪径3.0 mm以上4.0 mm未満の個体の出現割合が61%と最も多く、次いで輪径2.0 mm以上3.0 mm未満では27%、輪

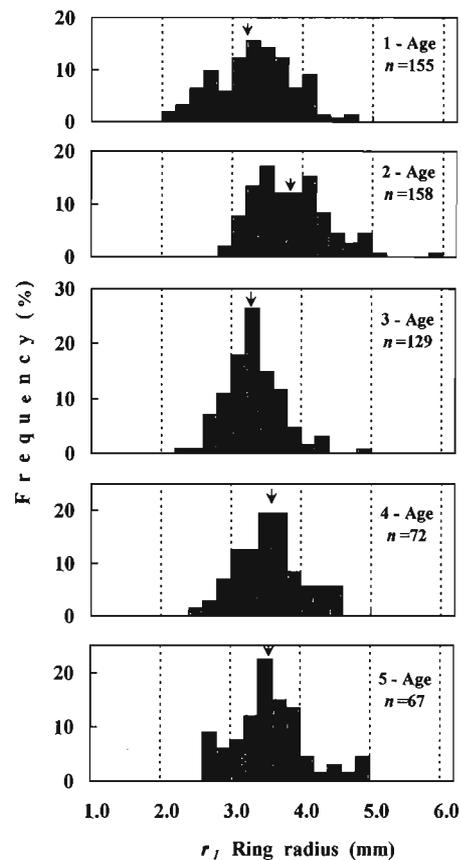


Fig. 16. Frequency distributions of the first ring radius (r_1) on the scales of 1992 year group from the sea off Yamaguchi Prefecture. Arrows indicate averages.

径 4.0 mm 以上では12%であった。2歳魚では輪径 3.0 mm 未満の個体は 2%以下とほとんどみられなかったが、4.0 mm 以上の輪径を持つ個体の割合は、1歳時の3倍の36%に増加し、5.0 mm を超える輪径値を持つ個体も出現した。また、平均第1輪径は1歳魚では 3.26 mm であったが、2歳魚では 3.82 mm であった。3歳魚の第1輪径組成をみると、輪径 4.0 mm 以上の個体の割合は 6%と2歳魚に比較して極端に減少しており、逆に輪径 3.0 mm 未満の個体の割合は20%まで増加した。組成のモードは1歳魚と同様の輪径 3.2 mm に出現し、平均第1輪径は 3.33 mm であった。4歳魚および5歳魚では、組成のモードは 3.4~3.6 mm と両年齢魚とも同じ位置に出現し、平均第1輪径についても差は認められなかった (t test, $p > 0.05$)。また4、5歳魚では、輪径 4.0 mm 以上の個体の割合が3歳魚のそれより約10%増加しており、両年齢魚の第1輪径組成は3歳魚に比較して全体的にやや大きい方に偏っている傾向が認められた。

以上のように、山口県沿岸海域のマダイの第1輪径組成は、どの年齢群においても輪径 3.0 mm 以上 4.0 mm 未満の個体の割合が61~75%を占めていたが、2歳以上魚の組成では1歳魚に比べて輪径の大きい個体の割合が多い傾向がみられた。このような1歳時と比較した輪径の大型化は、特に2歳魚において顕著であった。

(3) 漁期別にみた第1輪径の変化

日本海西部海域を生活の場としている魚類の漁況は、対馬暖流の消長と密接に関連しているとされており、水温と回遊形態との関係から昇温期と降温期の2回の主漁期を持つ魚種は多い(岡地, 1958, 1963)。京都府沿岸海域にお

けるマダイについても、その主漁期は4~6月の春季と9~12月の秋季にみられ、各漁期に漁獲されるマダイの大きさや年齢構成などは異なることされている(宗清・傍島, 1981)。京都府沿岸海域における91年級群と92年級群のマダイについて、春季と秋季にそれぞれ漁獲された個体を区別して集計し、年齢別漁期別の平均第1輪径を調べた(Fig. 17)。

91年級群の平均第1輪径は、1歳魚では春季と秋季で明瞭な差は認められなかったが、1歳魚の秋季から2歳魚の春季にかけては、3.80 mm から 3.49 mm と小さくなり(t test, $p < 0.01$)、2歳魚の春季から秋季にかけては、逆に 3.49 mm から 3.63 mm と大きくなっていった(t test, $p < 0.01$)。平均第1輪径の秋季から翌年春季にかけての減少は、2歳魚と3歳魚および3歳魚と4歳魚の間にも同様に認められた(t test, $p < 0.01$)。また、4歳魚の秋季以降における平均第1輪径には、漁期による有意な差は認められなかった(ANOVA, $p > 0.05$)。92年級群では、1歳魚の平均第1輪径は、春季よりも秋季で大きくなっていった(t test, $p < 0.01$)。また、1歳魚の秋季から3歳魚の春季までの平均第1輪径の推移は、91年級群と同様の季節的な変化が認められた(t test, $p < 0.01$)。

以上のように、91年級群および92年級群の平均第1輪径は、それぞれ絶対値の違いはあるものの、1歳魚の春季から4歳魚の春季までの全般的な変化の傾向は良く類似していた。すなわち、両年級群ともに1歳から3歳魚の平均第1輪径は、春季から秋季にかけて増加しているのに対して、秋季から翌年の春季にかけては減少していた。さらに、4歳魚の秋季以降の平均第1輪径には、それ以前にみられた全般的な減少傾向や漁期による違いは認められず、

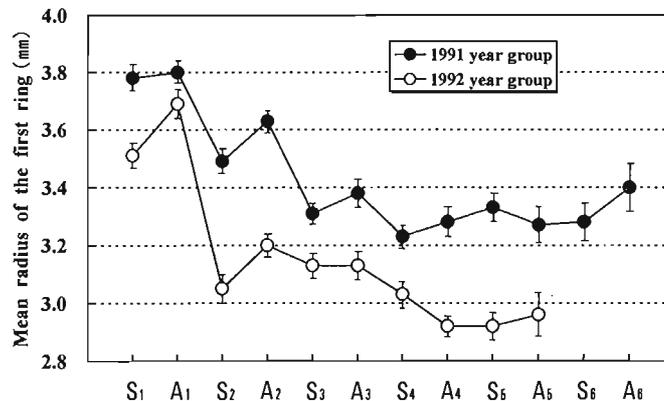


Fig. 17. Mean and standard error of the first ring radius on the scales of red sea bream from the sea off Kyoto Prefecture in the spring and autumn fishing seasons classified by age. S₁-S₆: 1- to 6-age fish in spring (April-June), A₁ A₆: 1- to 6-age fish in autumn (September-December).

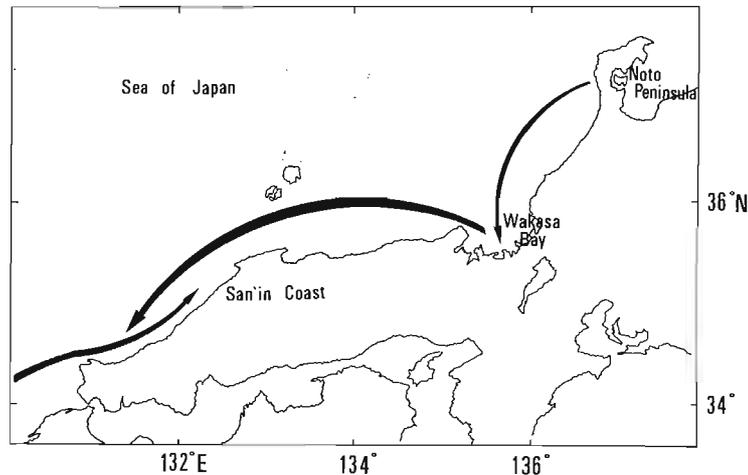


Fig. 18. A schematic representation of the migration, or immigration and emigration, of young red sea bream in the western Japan Sea. Arrows indicate the movement of the local population.

横這い傾向になっていた。

(4) 考 察

海域別第1輪径組成からみたマダイの動き 今回の調査で、日本海西部におけるマダイ鱗の第1輪径組成の年齢による変化は、海域によって異なる傾向を示すことが明らかになった。そこで、各海域における第1輪径組成の年齢による変化を整理し、2歳魚および3歳魚を主体とする天然未成魚の標識放流の知見を加えて、日本海西部海域におけるマダイ未成魚の回遊経路を巨視的に想定した (Fig. 18)。

能登半島周辺海域 石川県沿岸海域におけるマダイの第1輪径組成 (Fig. 12) では、年齢による組成の変化は少なく、どの年齢群においても比較的小さい輪径を持つ個体が占められていた。能登半島以北の北部日本海 (富山県から青森県まで) 沿岸で放流されたマダイでは、能登半島周辺海域まで南下して再捕された事例は報告されていない (秋田裁せほか, 1985; 佐藤ほか, 1993)。これらのことから、能登半島周辺海域では、隣接海域からのマダイの北上あるいは南下移動に伴う大規模な移入はないと判断され、基本的に同海域のマダイ群は能登半島沖合の産卵場 (尾形ほか, 1980) に由来する1つの群を形成していると考えられる。ただし、後述するように、隣接する若狭湾海域では第1輪径組成の小型化により同湾以北海域からの移入が推定されること、能登半島周辺海域で放流されたマダイが若狭湾海域で再捕されている (秋田裁せほか, 1985; 石川県ほか, 1988) ことなどから、能登半島周辺海域の未成魚群の一部は、若狭湾海域に南下移動しているものと考えられる。

若狭湾西部海域 若狭湾西部海域に面する京都府沿岸海

域における年齢ごとの第1輪径組成は、91年級群、92年級群および93年級群のいずれにおいても、第1輪径の小さい個体の割合が、2, 3歳魚で特に増加する傾向が認められた (Fig. 13, Fig. 14 および Fig. 15)。これは、単に輪径形成年の違いによる変動に起因するのではなく、2歳から3歳にかけて、若狭湾以北海域に由来する比較的小さい第1輪径を有したマダイが、若狭湾西部海域に南下してくることを示唆する。また、若狭湾周辺海域におけるマダイは、4歳以上でその大部分が成熟するとされている (藤田ほか, 1996)。したがって、若狭湾以北海域からのマダイの南下移動は、主として未成魚期に起こっていることになる。さらに、4~6歳魚の第1輪径組成では、1, 2歳魚のそれに比較して、輪径の小さい個体の占める割合は高かった。このことは、若狭湾西部海域で漁獲されるマダイ成魚群に、未成魚期に同海域へ南下移動してきた個体が加入していることを示している。

山陰西部海域 山口県沿岸海域の第1輪径組成 (Fig. 16) では、3歳魚までの未成魚期に第1輪径値の増減が認められ、4歳以上魚の第1輪径組成では1歳時に比較して輪径の大きい個体の割合が増加していた。山口県沿岸海域における4, 5歳魚の第1輪径は、調査を行った3海域の中で最も大きくなっており、他海域とは異なる輪径分布を示した。標識放流の結果によると、山口県沿岸海域を含む山陰西部海域においては、西方では対馬、五島列島へ続く海域、東方では若狭湾から鳥取県沿岸海域に由来するマダイ群との交流が推察されている (島根裁せほか, 1985)。1~3歳魚の第1輪径の変化をみても、山陰西部海域では未成魚期におけるマダイ群の移動が示唆され、同海域以東

からの西方（南下）移動と、九州西部海域からの東方（北上）移動による未成魚群の混合が起こっているものと考えられる。

移動・回遊と Lee 現象 今回調査を行った海域のうち、京都府沿岸海域で漁獲されたマダイでは、第1輪径は概ね3歳魚から4歳魚までは、年齢が増すにしたがって小さくなっていた (Fig. 13, Fig. 14 および Fig. 15)。このように高齢魚ほど輪径が小さくなる現象に関しては、従来、物理的に鱗の既成部分そのものが成長に伴って収縮しているか、または体長の大きな個体ほど漁獲され易い、あるいは魚体が大きくなるほど漁獲圧が高まるとする「体長従属的な漁獲選択性」を主要因とする考え方が多く提案されている (Robertson, 1936; Ricker, 1969; Chen, 1971; Vaughan and Burton, 1994)。

しかし、今回の調査結果では、京都府沿岸海域におけるマダイの場合、第1輪径は全体としては年齢を経るにしたがい小さくなる傾向がみられたが、漁期ごとに細分化して調べてみると、その傾向は必ずしも普遍的な現象ではなかった (Fig. 17)。すなわち第1輪径は、1歳魚から3歳魚程度までは、春季から秋季にかけて大きく、秋季から翌年春季には小さくなる傾向がみられた。また4歳魚の秋季以降の第1輪径には、いわゆる Lee 現象は認められていない。さらに、石川県沿岸海域においては年齢の増加とともに第1輪径が小さくなる現象は認められなかったし (Fig. 12)、山口県沿岸海域では1歳魚よりも2歳魚の方が第1輪径は大きくなる傾向がみられる (Fig. 16) など、マダイ鱗の第1輪径と年齢の関係は、海域によって異なっていた。これらの結果は、時間の経過とともに鱗の第1輪径が物理的に縮小する可能性を否定している。

さらに、京都府沿岸海域における第1輪径は、同海域のマダイに対する漁獲圧が高まる春季から秋季にかけて (藤田ほか, 1996) 増加しており、魚体の大きさによる選択漁獲の影響が現れ易いと考えられる4歳魚以降には明瞭な Lee 現象はみられない。これらのことから、京都府沿岸海域のマダイにみられる Lee 現象を「体長従属的な漁獲選択性」だけで説明することはできないと考える。

一方、広域的に移動、回遊する魚種に対して、漁場への加入、逸散は、Lee 現象を引き起こす要因の1つとして考慮しておく必要がある (Stanley, 1980)。マダイは、その成長過程において、春季と秋季を移動期とする季節的な回遊生態を持つとされる (椎原, 1986)。若狭湾海域で放流された未成魚の一部は、春季から秋季にかけて北上し、秋季から翌年春季にかけては南下して再捕されるケースが多いが、年間を通してみると全体としては南下傾向を示す (宗清・傍島, 1981; 藤田ほか, 1996)。また、能登半島周

辺海域で放流されたマダイでは、放流後北上した個体は報告されておらず、隣接する若狭湾海域に南下して再捕された事例が多い (秋田哉七ほか, 1985; 石川県ほか, 1988)。これらの再捕結果は、例えば若狭湾海域におけるマダイの場合、春季から秋季は南からの北上期、秋季から翌年の春季は北からの南下期にあたり、秋季には相対的に成長の良い南の海域 (藤田ほか, 1996) からの群が、春季には成長量の小さい北の海域からの群が主体となって来遊する可能性が高いことを示唆している。ここで、第2章 Fig. 8 および Fig. 9 で示したように、鱗の第1輪径に海域差があることを考慮すれば、若狭湾に海域を特定してマダイの第1輪径を調べた場合には、季節によってその大きさに差が生じることになる。すなわち、若狭湾以西 (南) 海域から比較的大きな第1輪径を有した個体が来遊する春季から秋季にかけては、平均第1輪径は大きくなる。逆に若狭湾以北海域から比較的小さな第1輪径を有した個体が来遊してくる秋季から翌年春季にかけては、平均第1輪径は小さくなる。さらに、成長するとともに南下移動、回遊が大規模なものとなれば、全体としては年齢を増すごとに小さな第1輪径を有する個体が多くなると推察される。また、標識放流の結果では、1歳時にはあまり大きな移動・回遊をしないと報告されており (尾形ほか, 1980)、このことは今回の京都府沿岸海域における91年級群の1歳魚の春季と秋季で、第1輪径にほとんど差がみられなかったことと一致している。以上のことから、成長の異なるマダイ群の南北方向への広域的な移動、回遊は、京都府沿岸海域で認められた第1輪径組成の変化、すなわち Lee 現象を引き起こしている主要因であると考えられる。

マダイ鱗の第1輪径組成の年齢や季節による変化は、例えば若狭湾西部海域では第1輪径の小さい個体が年齢とともに増加していくといった群組成変化に起因するなど、発生海域の異なるマダイの広域的な移動、回遊実態を反映していることがわかった。次章では、このような第1輪径組成と移動、回遊との関係をもとに、海域内外におけるマダイ群の移出入状況について検討する。

第4章 若狭湾西部海域におけるマダイ群の移出入量の推定

第3章において、マダイ鱗の第1輪径組成と移動・回遊との関連について指摘した。重要なことは、そのような移動、回遊の結果、海域間におけるマダイの連続的な移出入により、発生海域の異なる個体が年齢ごとに違った割合で混在することである。このことは、人工種苗放流も含めたマダイ資源全体の適正管理を行ううえで考慮すべき問題で

あろう。

本章では、年齢別の資料が揃っている若狭湾西部海域を中心としたマダイ群の移出入量を把握することを目的として、同海域で得られた個体の年齢別第1輪径組成と、対馬暖流域におけるマダイ1歳魚の第1輪径組成を用いた移出入量の推定方法について検討する。

(1) 研究材料と方法

用いた資料は、若狭湾西部海域に面する京都府沿岸海域で漁獲された1991年、1992年および1993年発生群（以下それぞれ91年級群、92年級群および93年級群とする）のマダイの年齢別第1輪径組成（Fig. 13, Fig. 14 および Fig. 15）である。

Table 5. Estimated yearly catch in numbers ($\times 10^3$) of red sea bream by age in Western Wakasa Bay.

Age/Year	1992	1993	1994	1995	1996	1997
0	36	27	39	46	27	31
1	165	257	89	303	133	219
2	99	190	67	119	177	90
3	56	89	45	59	91	61
4	21	25	16	26	26	22
5	15	14	11	18	16	15
6-	11	21	15	22	25	23
Total	406	625	282	593	495	461

移出入個体の割合を量的に換算するために、若狭湾西部海域における年別年齢別漁獲尾数を使用した。京都府沿岸海域で漁獲され舞鶴・宮津両市場に水揚げされた全てのマダイの尾叉長測定を毎月4~6回以上実施した。これより、age-length keyの作成および漁獲物年齢組成の推定を行い、若狭湾西部海域全体の漁獲量を漁獲尾数に変換して、年別年齢別漁獲尾数を推定した。なお、若狭湾西部海域の漁獲量資料には、京都府農林水産統計年報を用いた。推定された若狭湾西部海域における1992年から1997年の年別年齢別漁獲尾数をTable 5に示した。

若狭湾西部海域で漁獲されたマダイの第1輪径組成は、加齢にしたがい、第1輪径の大きい個体が減少し、逆に輪径の小さい個体は増加する傾向が認められた（Fig. 13, Fig. 14 および Fig. 15）。ここでは、若狭湾西部海域内外におけるマダイ群の移出入量を推定するにあたって、次に示す条件を設けた。

- 条件1) マダイ群の移出入がない場合、同一年の発生群の第1輪径組成は、年齢によって変化しない。
- 条件2) 第1輪径の大きい個体、すなわち、輪紋形成時の魚体が比較的大きく成長の良い個体が優先的に海域外に移出し、替わって小さい第1輪径を有する個体が新たに移入する。
- 条件3) 移入量と移出量は等しい。

(a) 移出入量の推定-I：第1輪径組成の年齢間比較

若狭湾西部海域のマダイについて、第1輪径組成を測定した*i*年齢群 ($i=1\sim 4$)の総個体数を n_i とし、年齢別漁獲

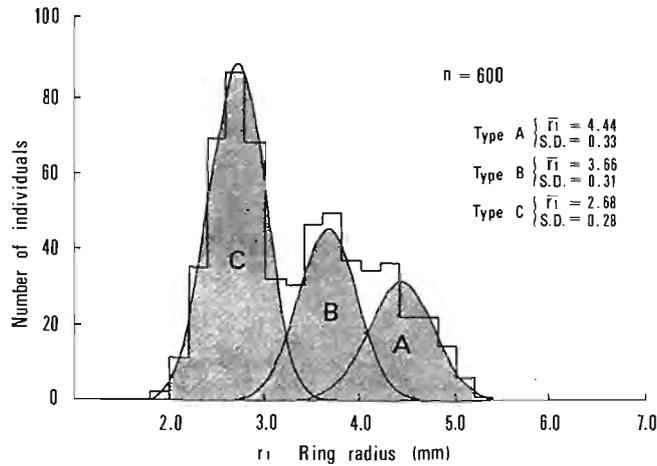


Fig. 19. Radius composition of the first ring on the scales of 1-age fish collected from 6 areas as shown in Fig 6, with best fitting Gaussian distribution (A, B and C). Type A: large radius (western part of Kyushu), Type B: medium radius (from western part of San'in Coast to Wakasa Bay), Type C: small radius (off Noto Peninsula and northward).

尾数を C_i とする。第 1 輪径組成を輪径階級幅 0.2 mm とする輪径階級 j ($j=1\sim 25$, 輪径階級 1=1.0~1.2 mm, ... , 25=5.8~6.0 mm) に分け, i 齢群の輪径階級 j に含まれる個体数 (観測値) を n_{ij} とすると, i 齢群の輪径階級 j に属する個体の割合 (出現割合) は n_{ij}/n_i で示される。さらに, i 齢群の輪径階級 j ごとの漁獲尾数は, 比例配分により $C_i n_{ij}/n_i$ で求められる。

ここで, 1 歳魚の第 1 輪径組成における出現割合 n_{1j}/n_1 を R_j とすると, 若狭湾西部海域内外において個体の移出入がないと仮定したときの i 齢群の輪径階級 j ごとの漁獲尾数は, 条件 1) により, $C_i R_j$ で求められる。したがって, 2 歳から 4 歳魚の各年齢群において, 他海域からの移入によって増加した個体の漁獲尾数 Q は,

$$Q = \sum_{i=2}^4 \sum_{j=1}^{25} (C_i n_{ij}/n_i - C_i R_j) \quad \text{ただし, } C_i n_{ij}/n_i - C_i R_j \geq 0$$

で求められる。

(b) 移出入量の推定-II: 第 1 輪径組成に対する正規分布型の分離

第 2 章で示したように, 対馬暖流域における 91 年級群マダイ 1 歳魚の鱗の第 1 輪径組成には海域差があり, 長崎県沿岸海域, 島根県~京都府沿岸海域および石川県~青森県沿岸海域ではそれぞれ輪径が異なっていた (Fig. 8, Fig. 9)。ここでは, 対馬暖流域のマダイ群を, 第 1 輪径の大きさから 3 群に分離し, 若狭湾西部海域の年齢別第 1 輪径組成と組み合わせることにより, 移出入の状況を検討した。

対馬暖流域における基本的な第 1 輪径組成を推定するために, 第 2 章で用いた長崎県から青森県沿岸海域で採捕したマダイ 1 歳魚について, 海域ごとに 100 個体を無作為に抽出して作成した第 1 輪径組成に対して正規分布を当てはめ (堤・田中, 1988), 第 1 輪径の大きさの異なる 3 つの分布型 (A~C 型) に分離した (Fig. 19)。次に, 任意の第 1 輪径を持つマダイが, 分離された 3 つの分布型のどれに属するのかを確率的に判断するために, 輪径分布の平均値と標準偏差から, 輪径階級幅 0.2 mm とする輪径階級 j ごとの各分布型の出現確率 p_{Aj} , p_{Bj} , p_{Cj} を計算した (Table 6)。

さらに, 京都府沿岸海域における 91 年級群の年齢別第 1 輪径組成 (Fig. 13) について, A~C 型の出現確率を第 1 輪径組成の出現割合に乘じ, i 齢群 ($i=1\sim 6$) の輪径組成に占める各分布型の構成比率 P_{iA} , P_{iB} , P_{iC} を次式により求めた。

$$P_{ix} = \sum_{j=1}^{25} p_{xj} n_{ij}/n_i \quad \text{ただし, } x \text{ は A~C 型を表す添字}$$

得られた年齢ごとの A~C 型別構成比率に, 91 年級群の年齢別漁獲尾数 (Table 5) を乗じることにより, 第 1 輪径

Table 6. Frequency occurrences of red sea bream for the first ring radius from each normal curve shown in Fig. 19.

Class (j)	First ring radius (r ₁ ; mm)	Type A (p _{Aj})	Type B (p _{Bj})	Type C (p _{Cj})
1	1.0-1.2			1.0000
2	1.2-1.4			1.0000
3	1.4-1.6			1.0000
4	1.6-1.8			1.0000
5	1.8-2.0			1.0000
6	2.0-2.2			1.0000
7	2.2-2.4			1.0000
8	2.4-2.6			1.0000
9	2.6-2.8			1.0000
10	2.8-3.0			1.0000
11	3.0-3.2		0.0626	0.9374
12	3.2-3.4		0.8329	0.1671
13	3.4-3.6	0.0201	0.9799	
14	3.6-3.8	0.0771	0.9229	
15	3.8-4.0	0.2560	0.7440	
16	4.0-4.2	0.5978	0.4022	
17	4.2-4.4	0.8710	0.1290	
18	4.4-4.6	0.9699	0.0301	
19	4.6-4.8	1.0000		
20	4.8-5.0	1.0000		
21	5.0-5.2	1.0000		
22	5.2-5.4	1.0000		
23	5.4-5.6	1.0000		
24	5.6-5.8	1.0000		
25	5.8-6.0	1.0000		

が A 型, B 型および C 型に属するマダイの年齢別漁獲尾数をそれぞれ求めた。

(2) 解析結果

(a) 推定-I による結果

91 年級群, 92 年級群および 93 年級群の第 1 輪径組成において, 出現割合の年齢群による差 ($n_{(i+1)j}/n_{i+1} - n_{ij}/n_i$) を求め, Fig. 20 に示した。91 年級群の第 1 輪径組成では, 1 歳から 2 歳にかけて 3.4 mm 未満の個体の割合が増加し, 3.4 mm 以上の個体の割合は減少していた。2 歳から 3 歳にかけての変化をみると, 輪径 3.2~3.4 mm の個体の割合は 2.2% 減少していたが, 3.4~3.6 mm および 3.2 mm 未満の個体では, 割合は増加していた。また, 1 歳から 2 歳にかけての変化と同様に, 輪径の大きい個体の割合は減少していた。3 歳から 4 歳では, 出現個体の増減はどの輪径階級においても 2% 未満であり, 3 歳魚までの変化と比

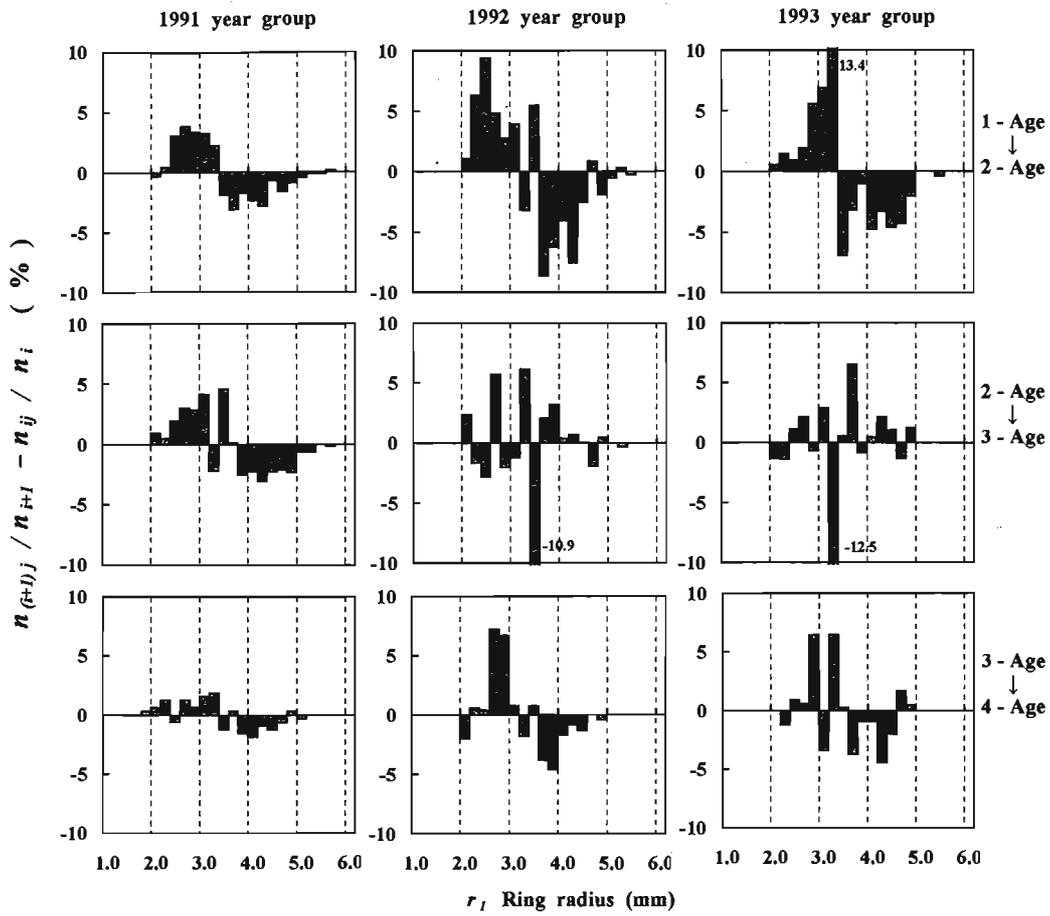


Fig. 20. Differences in frequencies of the first ring radius on the scales of 1991–1993 year groups ($n_{(i+1)j}/n_{i+1} - n_{ij}/n_i$). n_{ij} denotes the number of individuals in class j at an age of i .

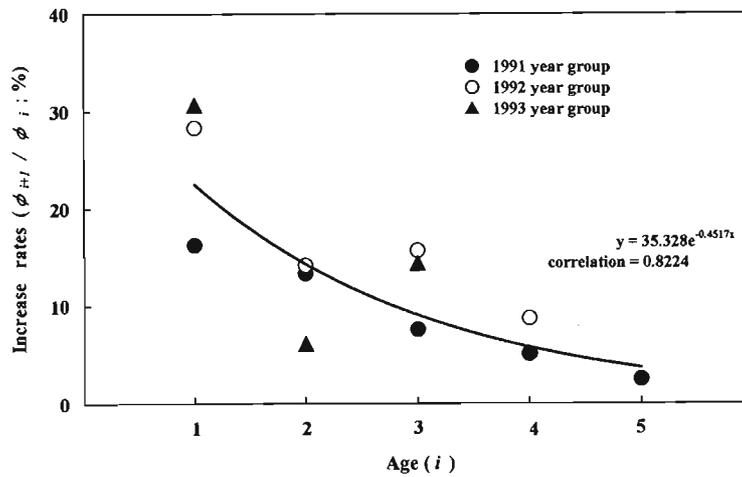


Fig. 21. Increase rates (ϕ_{i+1}/ϕ_i) of the first ring radius on scales classified by year groups. $\phi_{i+1}/\phi_i = \sum_{j=1}^{12} (n_{(i+1)j}/n_{i+1} - n_{ij}/n_i)$. See Fig. 20 and Table 6.

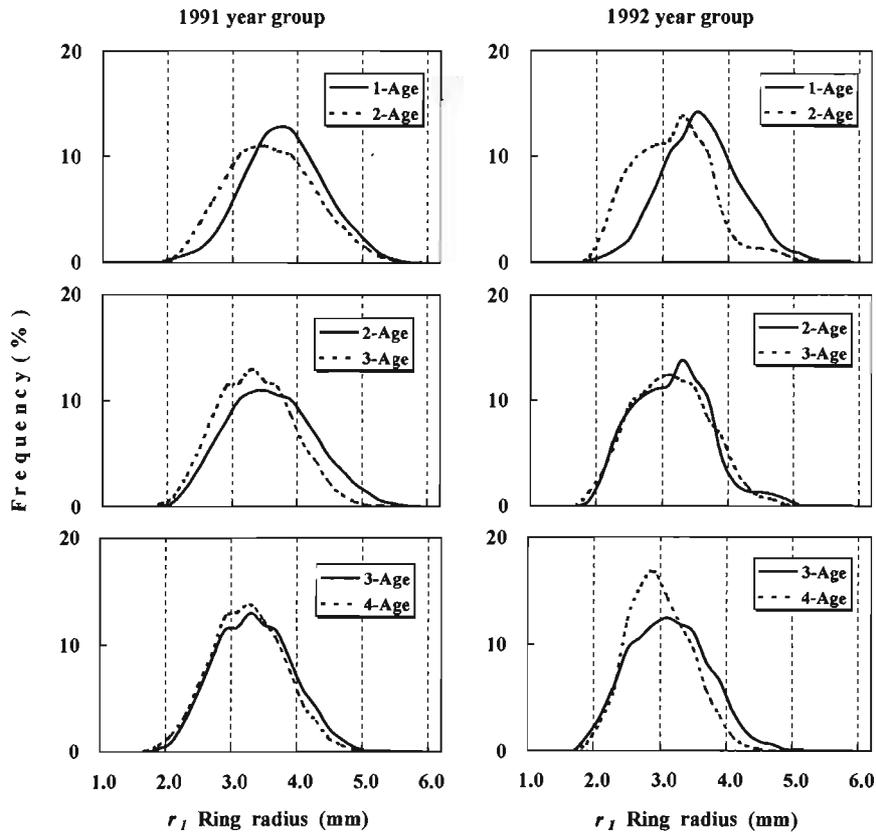


Fig. 22. Frequency distributions of the first ring radius on the scales of 1991 and 1992 year groups smoothed by three-point moving average.

較して小さかった。輪径 3.4 mm 未満の個体の割合は概ね増加していること、輪径 3.8 mm 以上ではほとんどが減少していることなどについては、3 歳魚までの変化とほぼ同じであった。92 年級群では、1 歳から 2 歳にかけて輪径 3.2 mm 未満の個体の割合が増加しており、特に 2.4~2.6 mm では 10% 近い増加が認められた。2 歳から 3 歳にかけての変化には、あまり明瞭な傾向はみられなかったが、3 歳魚と 4 歳魚では輪径 2.2~3.2 mm の個体の増加および 3.6~4.6 mm の個体の減少がみられた。さらに 93 年級群では、標本数の少ない 2 歳魚以降の変化はあまり明瞭でないが、1 歳から 2 歳にかけては輪径 3.4 mm 未満の個体の割合が増加していた。

以上のように、年齢別第 1 輪径組成を比較すると、どの年級群においても概ね輪径 3.4 mm 未満の個体の割合が増加していた。また、各年級群における輪径 3.4 mm 未満の個体の割合を合算して、これを増加割合とし、その変化を Fig. 21 に示した。増加割合は、1 歳から 2 歳にかけて最も大きく、92 年級群と 93 年級群の 3 歳から 4 歳にかけ

ての値を除くと、どの年級群においても徐々に減少する傾向がみられた。また、全年級群を対象とした増加割合の変化は、次式で近似された。

$$\phi_{i+1}/\phi_i = 0.3533 \exp^{-0.4517i} \quad (\text{相関係数 } 0.8224)$$

$$\phi_{i+1}/\phi_i, \quad i \text{ 歳から } i+1 \text{ 歳にかけての増加割合}$$

出現割合が増加した個体の第 1 輪径の大きさを推定するために、標本数の多い 91 年級群と 92 年級群の年齢別第 1 輪径組成を 3 点移動平均によって平滑化し、得られた輪径分布について年齢群間の比較を行った (Fig. 22, Fig. 23)。平滑化された第 1 輪径組成における出現割合の年齢群による増減 (Fig. 23) をみると、出現割合が増加した個体では、91 年級群ではどの年齢群間においても、概ね 2.6~3.0 mm の第 1 輪径を有するものが最も多かった。同様に 92 年級群において増加していた個体の第 1 輪径は、1 歳から 2 歳にかけては輪径 2.4~2.6 mm、3 歳から 4 歳にかけては輪径 2.6~3.0 mm が多かった。さらに、1 歳から 2 歳にかけて増加していた個体の第 1 輪径値 (Fig. 23 の a

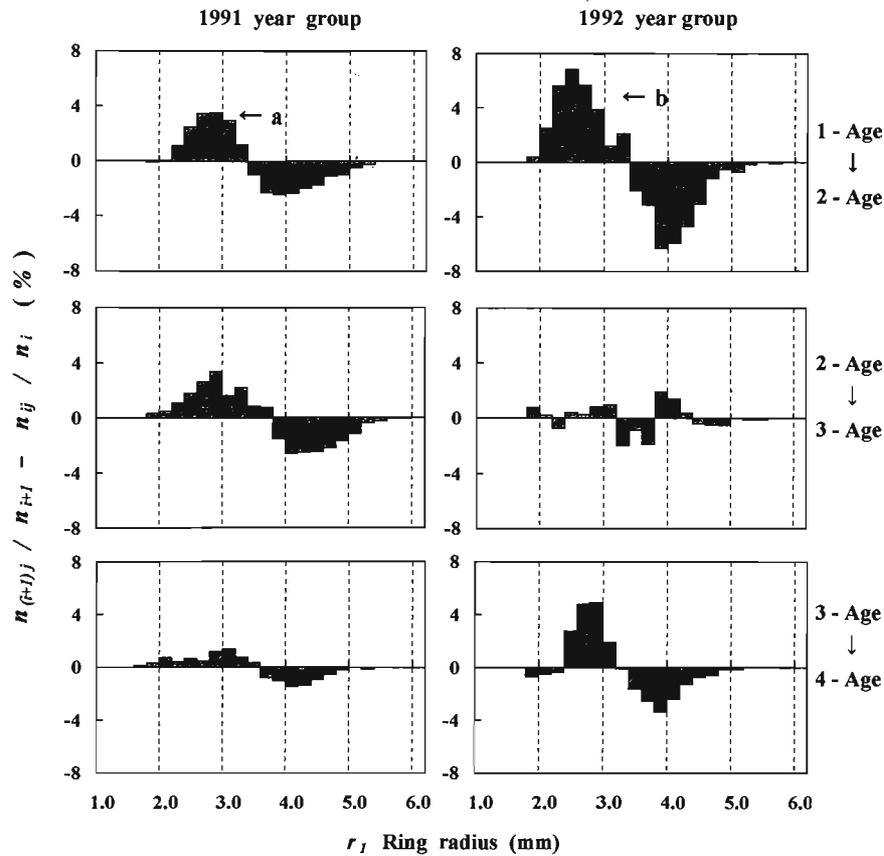


Fig. 23. Differences in frequencies of the first ring radius on the scales ($n_{(i+1)j}/n_{i+1} - n_{ij}/n_i$) of 1991 and 1992 year groups at each age shown in Fig. 22. **a** and **b** indicate individuals for which $n_{2j}/n_2 - n_{1j}/n_1$ is zero or positive in the 1991 and 1992 year groups.

およびb)は、若狭湾以北の石川県沿岸海域における1歳魚の第1輪径組成と比較して、出現範囲や組成のモードが酷似していた (Fig. 24)。

次に、3点移動平均による平滑化を行った91年級群と92年級群の年齢別第1輪径組成について、他海域からの移入により増加した個体の漁獲尾数 Q を計算し、輪径範囲とともに Table 7 に示した。1歳時に比較して、2歳魚群において移入により増加した個体の漁獲尾数は、91年級群では27,912尾、92年級群では18,714尾と計算された。同様に3歳魚群では、91年級群で12,700尾、92年級群で16,870尾の移入個体が漁獲されたものと計算され、4歳魚までの移入個体の合計漁獲尾数は、91年級群で約49,000尾、92年級群で約46,000尾と推定された。また、移入により増加した個体の第1輪径は、91年級群の2歳魚で2.0~3.4mm、他は全て1.8~3.4mmであった。

(b) 推定-IIによる結果

対馬暖流域におけるマダイ1歳魚の第1輪径組成に対して、正規分布の当てはめを行った結果、91年級群の第1輪径組成は、以下の3つの分布型に大別できた (Fig. 19)。

A型 (九州西海域)

平均第1輪径4.44±標準偏差0.33mm

B型 (山陰西部海域から若狭湾海域)

平均第1輪径3.66±標準偏差0.31mm

C型 (能登半島周辺以北海域)

平均第1輪径2.68±標準偏差0.28mm

各正規分布の平均値と標準偏差から計算された各分布型の出現確率 (p_{A_j} , p_{B_j} , p_{C_j}) を Table 6 に示した。この計算結果によれば、第1輪径が2.8mm未満の個体は全てがC型に属し、輪径4.6mm以上であれば全てA型に属することになる。また、2.8mm以上3.4mm未満の第1輪径を持つマダイの場合にはB型かC型に、輪径3.4mm

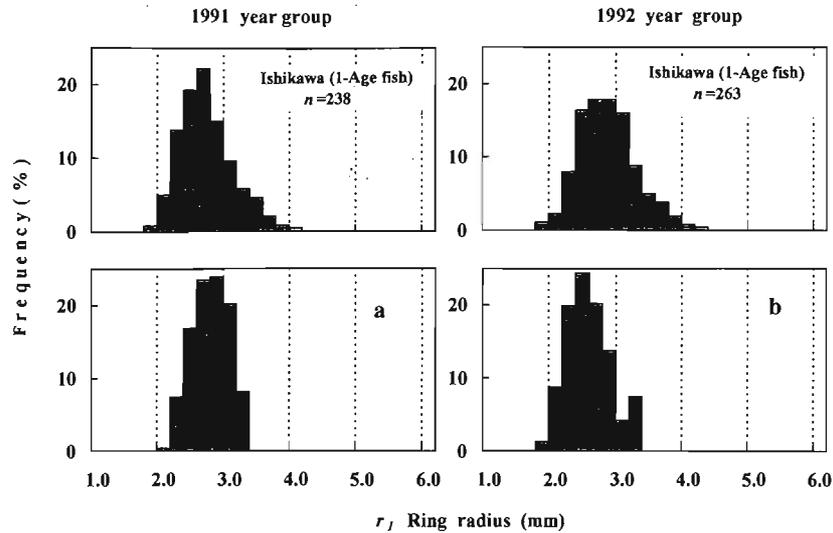


Fig. 24. Comparison between a or b shown in Fig. 23 and radius composition of the first ring on the scales of 1-age fish from the sea off Ishikawa Prefecture.

Table 7. Estimated ranges of the first ring on the scales (r_1) and number of catches of immigrant fish (CI) in Western Wakasa Bay.

Age	1991 year group		1992 year group	
	r_1 (mm)	CI	r_1 (mm)	CI
2	2.0-3.4	27,912	1.8-3.4	18,714
3	1.8-3.4	12,700	1.8-3.4	16,870
4	1.8-3.4	8,720	1.8-3.4	10,787
Total		49,332		46,371

以上 4.6 mm 未満の場合にはA型かB型に属していることになる。

次に、91年級群の年齢別第1輪径組成に占める各分布型の構成比率 (P_{iA} , P_{iB} , P_{iC}) を Fig. 25 に示した。各分布型の構成比率の増減をみると、C型の比率は1歳魚の第1輪径組成では全体の15%であったが、2歳魚では27%に増加した。さらに3歳魚の第1輪径組成では、C型の比率は39%に増加していた。4歳魚、5歳魚および6歳魚のC型の比率は、それぞれ44, 41%および40%であり、1歳魚のそれよりも25%以上増加した。一方、B型の構成比率は、どの年齢群においても45~50%で推移し、年齢による大きな違いは認められなかった。また、A型の構成比率は1歳魚では35%であったが、その後はC型の比率の変化と逆に推移し、4歳魚で10%以下に減少した後、5歳魚および6歳魚ではともに12%であった。

91年級群の年齢別漁獲尾数に、Fig. 25 に示した年齢別

のA~C型の構成比率を乗じることにより、若狭湾西部海域における91年級群の年齢ごとのA~C型別漁獲尾数を求めることができる (Fig. 26)。第1輪径がA型に属する個体の漁獲尾数は、1歳魚では56,440尾、2歳魚では49,660尾、3歳魚から5歳魚では全て10,000尾以下と計算された。B型の漁獲尾数は、1歳魚84,660尾、2歳魚89,770尾、3歳魚22,080尾、4歳魚12,220尾および5歳魚7,360尾と計算され、2歳魚における漁獲尾数が最も多かった。第1輪径の小さいC型の漁獲尾数は、1歳魚では24,900尾であり、A型およびB型のそれよりも少なかった。しかし、2歳魚になるとC型の漁獲尾数は51,570尾と計算され、2歳魚以降5歳魚までのC型の漁獲尾数は、A型のそれを全て上回っていた。

条件2) に示したように、第1輪径が大きいA型やB型に属する個体が海域外へ移出し、替わって能登半島周辺以北海域に多く存在するC型の第1輪径を持つ個体に移入した場合、若狭湾西部海域におけるC型の漁獲尾数は増加することになる。海域内での移動がないと仮定したときの漁獲尾数は、条件1) により、1歳魚のA~C型の構成比率を年齢別漁獲尾数に乗じることによって計算できる。したがって、移入によって増加したと推定されるC型の漁獲尾数は、移動を想定しない場合のC型の漁獲尾数との差によって、2歳魚では23,397尾、3歳魚では11,155尾、4歳魚では7,540尾と計算される。すなわちこの場合、1歳時に比較して、2~4歳魚群において移入により増加した個体の漁獲尾数は、約42,000尾と推定された。

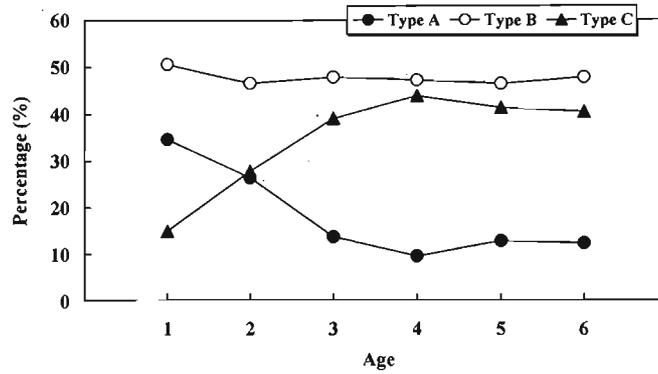


Fig. 25. Percentage changes in radius compositions of the first ring on the scales by 1991 year group of three radius types (A-C). Type A: large radius, Type B: medium radius, Type C: small radius.

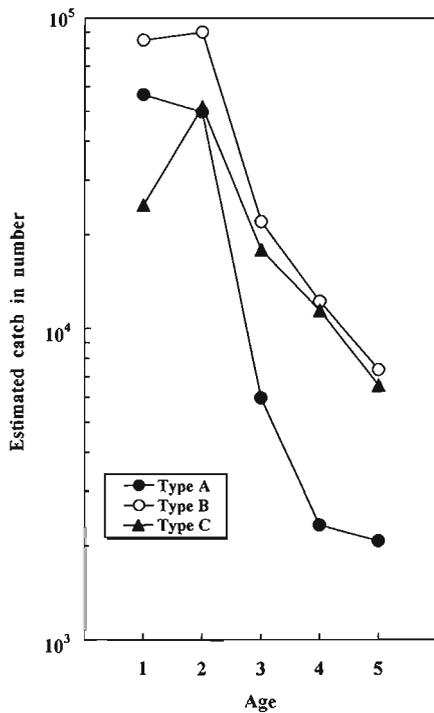


Fig. 26. Estimated catch in number of 1991 year group classified by age and radius types (A-C). Type A: large radius, Type B: medium radius, Type C: small radius.

(3) 若狭湾西部海域における移出入個体の割合

若狭湾西部海域で漁獲される2歳魚から4歳魚における移出入個体の割合は、それぞれの推定方法で計算された増加個体の漁獲尾数が、年齢別総漁獲尾数に占める割合で推定できる (Table 8)。2つの推定方法で計算した91年級群における移出入個体の割合をみると、2歳魚での移出入個

Table 8. Percentage frequency of red sea bream emigrating from other areas or immigrating in Western Wakasa Bay based on the change in the estimated catch in number (Method-I using the values of Table 7 and Method-II using the values of Fig. 26) for each age.

Age	Method-I	Method-I	Method-II
2	15	28	12
3	28	29	24
4	34	42	29
Year group	1991	1992	1991

体の割合は推定方法別にそれぞれ15%および12%と計算された。同様に移出入個体の割合は、3歳魚では28%と24%、4歳魚では34%と29%であり、推定方法による大きな違いはみられなかった。また、92年級群における移出入個体の割合は、2歳魚で28%、3歳魚では29%、4歳魚では42%であった。

(4) 考察

若狭湾西部海域のマダイ鱗の第1輪径組成において、移入個体の第1輪径は1.8~3.4 mmであり、この値は石川県沿岸におけるマダイ1歳魚の第1輪径の出現範囲と合致していることがわかった (Fig. 24, Table 7)。このことは、若狭湾西部海域に移入する個体が若狭湾以北の能登半島周辺海域に由来することを示しており、第3章で示したマダイの移動経路 (Fig. 18) と一致する。第1輪径の出現割合に比例配分して求めた漁獲尾数 Q は、いくつかの条件はあるが、第1輪径組成の年齢による変化が移動・回遊状況を良く反映している点において妥当性を持つと考えら

れる。

ここで、第1輪径の大きい階級における出現割合の減少はマダイ群の南下、すなわち移出によって起こり、小さい階級での増加は北の海域からの移入によって起こっていると仮定するならば、第1輪径が3.4mm未満の個体の増加割合 (Fig. 21) は、年齢群間における移出入の割合、すなわち群の交換率として表すことができる。若狭湾西部海域のマダイについて近似式を用いて推定すると、平均的には1歳から2歳にかけて約22%、2歳から3歳では約14%、3歳から4歳では約9%の移入、移出があったことになる。

一方、対馬暖流域におけるマダイ1歳魚の第1輪径組成は、平均値と分散の異なる3つの正規分布型に分離された (Fig. 19)。すなわち、対馬暖流域においては、海域別に固有の、平均的成長速度と個体差を示すマダイ群の存在が考えられる。荒井 (1995) は、日本海沿岸におけるマダイ鱗の隆起線の形成からみた成長に、若狭湾周辺を境界とした南北海域による違いがあることを報告している。これによると、長崎県沿岸海域では隆起線間隔の変動が小さく、一年を通じて一定の割合で成長するのに対し、石川県沿岸や秋田県沿岸海域では季節による隆起線間隔の変動が認められ、成長の季節変化が大きいと推定されている。また、第2章で述べたように、水温から判断する限りでは、対馬暖流域では北の海域ほどマダイの成長にとって厳しい環境となっており、それは各海域に生息するマダイの成長速度や生残に影響をおよぼすであろう。第1輪径が最も大きいA型と最も小さいC型の輪径分布には、このような南北海域における成長履歴の違いが反映されていると考えられる。また、今回の解析結果では、A型とC型の中間的な第1輪径を示すB型の存在が明らかになった。B型の輪径分布には、平均的な成長速度が同じである島根県沿岸や京都府沿岸海域のマダイが属する (第2章 Fig. 8)。京都府沿岸海域で漁獲されたマダイ鱗の隆起線形成には、上記の南北海域における両方の特徴がみられており (荒井, 1995)、B型の輪径分布は、対馬暖流域におけるマダイの分布の中間域としての特徴を示しているものと考えられる。

マダイ鱗の第1輪径組成を用いた解析では、2つの推定方法による計算結果 (Table 8) から、若狭湾西部海域におけるマダイは、未成魚期の移動、回遊に伴って、少なくとも、2歳魚で10%から30%、3歳魚で約30%、4歳魚では30%から40%が移出入個体であると考えられた。今回は若狭湾西部海域を調査対象としたが、このような解析は年齢別第1輪径組成を精査することによって日本海西部の他の海域や、マダイ当歳魚の成長に海域差がみられる太平洋沿岸海域 (三重県ほか, 1975) などでも応用が可能である。

さらに、日本海沿岸のヒラメでは、北と南の海域で耳石の第1輪径組成に差が認められており (竹野ほか, 1997)、背鰭および臀鰭の鱗条数の違いといった形態学的手法 (前田ほか, 1995) などと組み合わせて検討することで、資源構造を明らかにできる可能性がある。

(5) 結論

- 若狭湾西部海域におけるマダイ鱗の第1輪径組成を解析した結果、同海域のマダイ群の移出入による群の交換率は、平均的には1歳から2歳にかけて約22%、2歳から3歳では約14%、3歳から4歳では約9%であると推定された。
- 対馬暖流域におけるマダイ1歳魚の鱗の第1輪径組成に対して、正規分布の当てはめを行った結果、第1輪径組成は以下の3つの分布型に大別できた。
 - A型 (九州西海岸)
平均第1輪径4.44±標準偏差 0.33 mm
 - B型 (山陰西部海域から若狭湾海域)
平均第1輪径3.66±標準偏差 0.31 mm
 - C型 (能登半島周辺以北海域)
平均第1輪径2.68±標準偏差 0.28 mm
- 若狭湾西部海域におけるマダイは、未成魚期の移動、回遊に伴って、少なくとも、2歳魚で10%から30%、3歳魚で約30%、4歳魚では30%から40%が移出入個体であると考えられた。
- マダイ鱗の第1輪径組成を用いた移動・回遊の解析は、日本海西部の他の海域やマダイ当歳魚の成長に海域差がみられる太平洋沿岸海域、あるいは同じ硬組織である耳石の第1輪径が、海域によって異なっている日本海沿岸のヒラメなどでも応用が可能である。

第5章 移動・回遊情報の成長解析への利用

年齢と体長との関係は、水産資源解析と管理のための基本情報である。マダイ鱗は年齢査定を行うための有効な年齢形質であり、マダイの成長解析は、鱗の輪紋を指標として得られた年齢と体長との関係を数式で表示した成長曲線を推定することが行われる。マダイの成長に関する従来の研究では、広範囲での同時採集調査が難しいため、ごく限られた採集地がモデル海域として選ばれ代表値とされる。モデル海域では、マダイは生まれてから高年齢になるまでこの海域外への大規模な移動は行わず、また成長が異なる他海域からの移入はないことを前提としている。

若狭湾西部海域においても、海域内で採集された若齢魚から高年齢までの鱗による年齢査定と計測体長を用いて成

長過程を推定してきた(赤崎, 1960; 京都海七, 1986)。しかし, 第3章および第4章の結果に示すように, 初期成長量の異なる能登半島周辺海域と若狭湾西部海域の間には, マダイ群の交流があることが明らかになった。本章では, 若狭湾西部海域におけるマダイの成長に関する正確な情報を得るために, 移動・回遊情報をもとに, マダイの年齢と体長, 体重との関係や成長曲線を再検討した。

(1) 研究材料と方法

鱗による年齢査定には, 1992年5月から1997年12月までの, 京都府沿岸海域の定置網および釣・延縄漁業で漁獲された1991年発生群の2,292個体のマダイを用いた(Table 4)。採集した全てのマダイについて, 生鮮な状態で尾叉長と体重の測定を行うとともに, 鱗を採集し, スライド標本とした。万能投影機で鱗の輪紋数を読み取り, 年齢査定を行った。マダイの年齢は, 赤崎(1960)が行った若狭湾産マダイの年齢査定の結果から, 輪紋形成時期を年1回, 4月として推定した。年齢査定を行ったマダイは, 鱗径(SR)および第1~第6輪径(r_1 ~ r_6)の測定を行った。なお, 採鱗部位, 標本処理および輪径の判断基準などについては, 第2章と同様である。再生鱗を除いた5枚の鱗について0.01 mm単位まで測定し, その平均値を各個体の代表とした。

(2) 鱗径-尾叉長関係

採鱗を行ったマダイについて, 鱗径と尾叉長の関係をFig. 27に示した。鱗径(SR; mm)に対する尾叉長(FL; mm)の関係式は次式で表される。

$$\ln FL = 1.055 \ln SR + 3.449 \quad (\text{相関係数} 0.984) \quad (1)$$

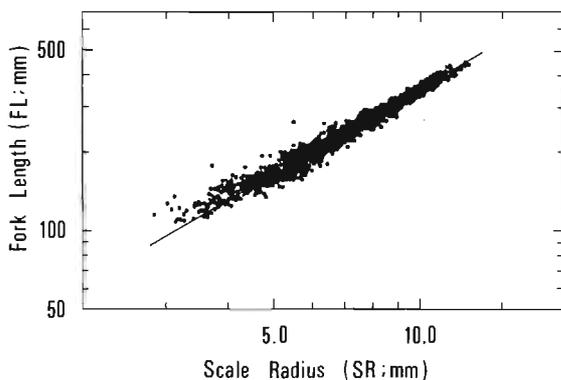


Fig. 27. Relationship between scale radius (SR) and fork length (FL) of 1991 year group.
 $\ln FL = 1.055 \ln SR + 3.449$ (Coefficient of correlation = 0.984).

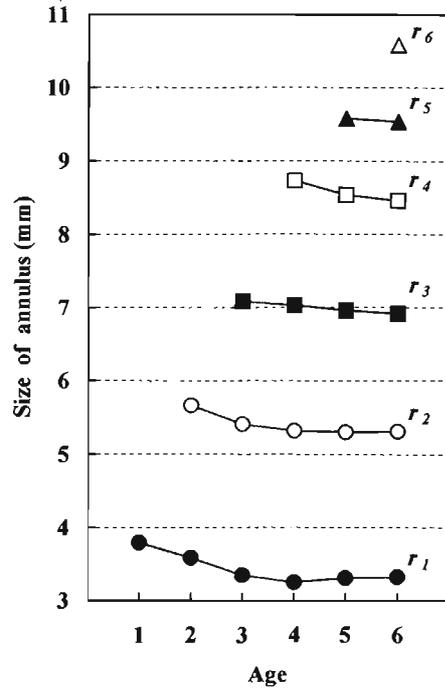


Fig. 28. Mean annulus radii of age groups of red sea bream. r_i indicates the annulus radius of i .

次に, 輪群別の平均輪径をプロットし, 年齢別平均輪径の変化としてFig. 28に示した。第1輪径の平均値は, 1歳魚で3.79 mm, 2歳魚で3.58 mm, 3歳魚で3.35 mm, 4歳魚で3.25 mmであった。第2輪径の平均値をみると, 2歳魚で5.66 mm, 3歳魚で5.41 mm, 4歳魚で5.32 mm, 5歳魚で5.30 mmであった。同様に第3輪径の平均値は, 3歳魚では7.08 mmであったが, 6歳魚では6.91 mmとなっており, 第1輪径および第2輪径と同様に高齢魚ほど小さい傾向が認められた。さらにこの傾向は, 第4輪径および第5輪径の平均値においても認められた。京都府沿岸海域で漁獲されるマダイ鱗の第1輪径にLee現象がみられることは, 第3章において既に示したとおりであるが, 同様の現象は, 第2~第5輪径についても起こっていることが分かった。

(3) 個体群ごとの成長式の推定

6輪群までの全個体の平均輪径を用いて, (1)式により輪紋形成時の計算尾叉長を求め, Walfordの定差図を作成した(Fig. 29)。各点は一直線上に並び, von Bertalanffyの成長式にあてはまる。この関係式は次のようになる。

$$l_{m+1} = 0.8503 l_m + 87.9 \quad (\text{相関係数} 0.995) \quad (2)$$

l_m , 第 m 輪形成時の計算尾叉長 (mm)

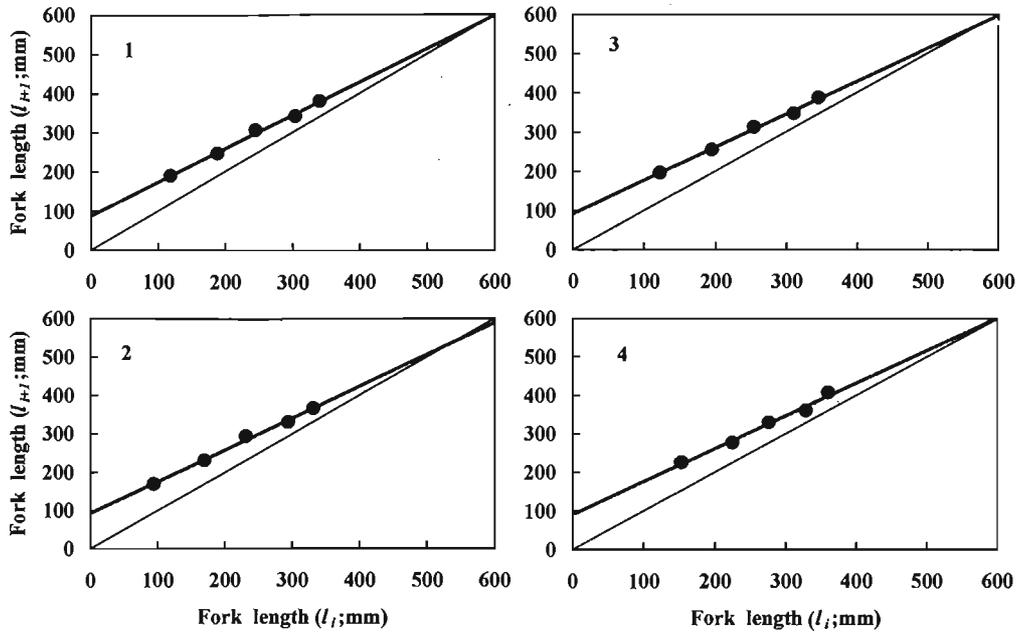


Fig. 29. Walford's diagrams of back-calculated fork lengths of red sea bream. The numbers indicate different groups of the first ring radius on the scales, 1: All, 2: Type A, 3: Type B, 4: Type C, see Fig. 19.

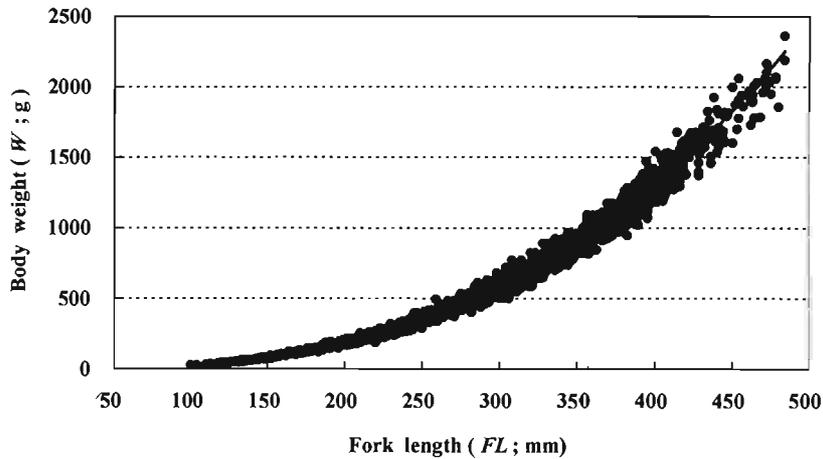


Fig. 30. Relationship between fork length (FL) and body weight (W) of red sea bream.
 $W = 5.016FL^{2.8502} \times 10^{-5}$ (Coefficient of correlation = 0.997).

(2) 式から von Bertalanffy の成長式のパラメータを推定し、次式を得た。

$$L_i = 587.3 (1 - \exp^{-0.1622(i+0.3952)}) \quad (3)$$

L_i , 満 i 歳時の推定尾叉長 (mm)

次に尾叉長 (FL ; mm) と体重 (W ; mm) について、次の関係式を得た (Fig. 30)。

$$W = 5.016FL^{2.8502} \times 10^{-5} \quad (\text{相関係数} 0.997) \quad (4)$$

(3) 式から i が整数時の推定尾叉長を求め、その値を (4) 式に代入することにより推定体重を得た (Table 9)。採鱗を行った全個体を試料として求めた満 1 歳時から 6 歳時までの推定尾叉長は、1 歳魚 119 mm, 2 歳魚 189 mm, 3 歳魚 249 mm, 4 歳魚 299 mm, 5 歳魚 342 mm および 6 歳

Table 9. Estimated fork length and body weight of red sea bream.

	Groups of first ring radius	Number of samples	Age					
			1	2	3	4	5	6
Fork length (mm)	Type A	418	151	219	277	326	369	405
	Type B	1,134	122	194	255	306	349	386
	Type C	740	95	172	235	288	331	367
	All	2,292	119	189	249	299	342	379
Body weight (g)	Type A	418	81	235	459	730	1,040	1,356
	Type B	1,134	44	166	363	610	887	1,182
	Type C	740	22	118	287	513	763	1,024
	All	2,292	41	154	339	571	837	1,122

魚 379 mm, 推定体重は1歳魚 41 g, 2歳魚 154 g, 3歳魚 339 g, 4歳魚 571 g, 5歳魚 837 g および6歳魚 1,122 g であった。

第4章で示したように, 若狭湾西部海域では成長の異なるマダイ群が混在している。したがって, 同海域のマダイ成長解析は, 従来のように平均的な1つの関係式で表現するのではなく, 初期成長量の異なる個体群ごとに行われる必要がある。そこで, 第4章で示した第1輪径の大きさから分離した3つの分布型(A~C型)に属するマダイを対象として, 若狭湾西部海域における個体群ごとの成長を推定した。各分布型は正規分布にしたがうので, ここでは各分布型における第1輪径の違いを, 分布の交点を基準にして求めた (Fig. 19)。第1輪径が4.1 mm 以上のものをA型, 3.2 mm 以上 4.1 mm 未満のものをB型, 3.2 mm 未満のものをC型とした。分布型ごとに集計した個体の年齢別平均輪径から, (1)式により輪紋形成時の計算尾又長を求め, Walford の定差図を作成した (Fig. 29)。これらの関係式は次のようになる。

$$\text{A型}; l_{m+1} = 0.8531l_m + 90.2 \quad (\text{相関係数}0.995) \quad (5)$$

$$\text{B型}; l_{m+1} = 0.8414l_m + 91.6 \quad (\text{相関係数}0.996) \quad (6)$$

$$\text{C型}; l_{m+1} = 0.8257l_m + 93.5 \quad (\text{相関係数}0.987) \quad (7)$$

l_m , 第 m 輪形成時の計算尾又長 (mm)

(4)~(6)式から von Bertalanffy の成長式は次のようになる。

$$\text{A型}; L_i = 614.1 (1 - \exp^{-0.1589(i+0.7724)}) \quad (8)$$

$$\text{B型}; L_i = 577.7 (1 - \exp^{-0.1727(i+0.3739)}) \quad (9)$$

$$\text{C型}; L_i = 536.3 (1 - \exp^{-0.1915(i+0.0190)}) \quad (10)$$

L_i , 満 i 歳時の推定尾又長 (mm)

(3)式および(8)~(10)式による各分布型の満年齢時における推定尾又長と推定体重を Table 9 に示した。さら

に, (4)式および(8)~(10)式を図示すると Fig. 31 のようになり, 全個体およびA~C型に属する個体を試料とする各成長曲線が得られた。第1輪径の分布型ごとに求めた成長曲線を見ると, 若狭湾西部海域における2歳魚以降の尾又長は, 第1輪径が大きい分布型に属するマダイほど大きくなっていった。A型とB型およびB型とC型の各分布型の満年齢時における推定尾又長は, どの年齢魚でもそれぞれ20~30 mm の差がみられた。特に, 第1輪径の大きいA型と小さいC型に属する個体を比較すると, 推定尾又長では38~56 mm, 推定体重では59~300 g の差が認められた。

(4) 考察

若狭湾西部海域における従来のマダイの成長解析 (赤崎, 1960; 京都海セ, 1986) では, 標本採集が行われる期間内に同海域に出現する様々な大きさのマダイを対象として, 平均的な成長傾向を表現する理論式を導き出すことが行われている。また, 三尾 (1962) は, 日本沿岸におけるマダイの成長を比較し, ふ化後1年間を除いた年間成長率には海域による差はほとんどなく, 初期成長量とその後の成長を決定するとしている。したがって, 海域内外において初期成長量の異なるマダイ群の移出入が起こっている場合に, 従来の方法で得られた解析結果は, いくつかの個体群が混在した状態で漁獲されたマダイの年齢と体長との関係を断片的に捉えただけになっている可能性があり, 対象とすべき個体群の成長様式を正しく反映したものではないことになる。また, 若狭湾西部海域のマダイでは, Fig. 28 に示したような Lee 現象による輪径の小型化が輪紋形成時の計算尾又長に影響するため, 全個体の平均値のみを用いた結果には問題がある。

今回の解析では, マダイの移動・回遊状況を考慮することにより, 混在する個体群ごとの成長を推定することがで

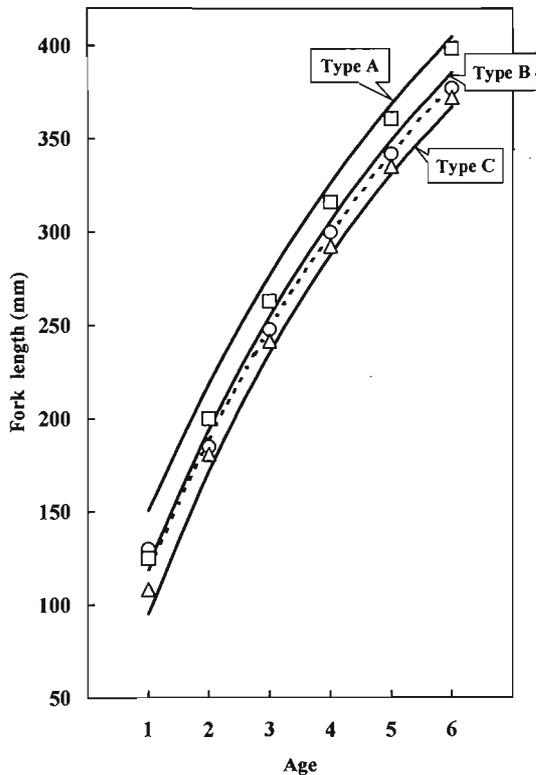


Fig. 31. Comparison of theoretical growth curves of red sea bream. Solid and broken lines indicate different groups of first ring radius on scales, Type A, Type B, Type C and All. Δ : Noto Peninsula (Ishikawa Pref. Mar. Cul. Stn., 1984). \circ : Western Wakasa Bay (Kyoto Inst. Ocea. Fish. Sci., 1986). \square : western part of San'in Coast (Yamaguchi Pref. Fish. Exp. Stn., 1987).

きた。今回の結果を従来の報告（石川増試，1984；京都海セ，1986；山口外海，1987）と比較すると（Fig. 31），A型に属するマダイでは，3歳魚以上の大きさが山陰西部海域に近く，C型に属するマダイの成長は，能登半島周辺海域とはほぼ同様であった。また，全個体による結果や過去の報告（京都海セ，1986）で示されるマダイの尾叉長は，A型およびC型のそのほは中間に位置するB型のマダイよりも小さく推定されていた。

若狭湾西部海域におけるマダイ1歳魚は第1輪径の大きい個体が多く（第3章），これらの個体の平均的な体長は，若狭湾以西の山陰沿岸海域に出現する同年齢魚の大きさに近かった（Fig. 31）。このことは，若狭湾から山陰沿岸海域における当歳魚の成長状況とも一致する（第1章）。しかし第4章で示したように，同海域では，年齢の増加に伴

い，C型に代表される小さい第1輪径値を有する個体の割合が増加するため，2歳魚以降は，能登半島周辺海域のマダイに酷似する成長様式を示す個体が増える。4歳以上魚では40%以上の個体がC型の第1輪径値を持つことから，若狭湾西部海域の成魚群については，1歳時には少なかった能登半島周辺海域と同じ大きさのマダイが多く分布していると考えられる。

第6章 総合考察

第1章から第4章で，日本海西部海域のマダイ群の移動，回遊と若狭湾西部海域での移出入状況について検討してきた。その結果，能登半島周辺海域，若狭湾海域および山陰沿岸海域では，未成魚期の南下移動に伴って，海域間におけるマダイ群の連続的な移出入が起こっていることがわかった。また，第5章では，こうしたマダイの移動・回遊情報をもとに，若狭湾西部海域におけるマダイの成長を再検証した。本章では，マダイ群の移出入の動向から若狭湾西部海域におけるマダイの資源状態を考察し，これにもとづいてやや規模を拡大した日本海西部海域のマダイ資源管理について提案する。

(1) 若狭湾西部海域におけるマダイ資源の現状

若狭湾西部海域におけるマダイの完全加入年齢は，漁獲物年齢組成（Table 5）から1歳と判断される。そこで1歳から5歳の漁獲データの得られている1991年発生群および1992年発生群（以下それぞれ91年級群および92年級群とする）について，年齢別漁獲尾数から対数回帰法で全減少係数 Z を推定した。全減少係数 Z は，91年級群は0.668，92年級群は0.659と計算され，両年級群とも類似した値が得られた（Fig. 32）。また，Fig. 32をみると，両年級群における相関係数は0.95および0.97と高い値を示しており，若狭湾西部海域における全減少係数は安定しているものと考えられる。若狭湾西部海域から能登半島周辺海域におけるマダイの自然死亡係数 M は，バイオマス解析により0.36と推定されている（石川県ほか，1991）。したがって漁獲係数 F は， $F=Z-M$ から，91年級群は0.308，92年級群は0.299となる。以上のようにして得られた資源特性値をTable 10に整理した。Table 10には，過去の知見も整理して，若狭湾と隣接する能登半島周辺海域におけるマダイの資源特性値も併せて記載した。若狭湾西部海域における完全加入後の漁獲による減耗は，年間22%程度であり，能登半島周辺海域のそれと比較して低い値となっている。これは，若狭湾西部海域では，マダイを漁獲する漁業種類としては定置網と釣・延縄が主体であり，能登半島周

辺海域でマダイを多獲している底曳網や吾智網等による漁獲がほとんどないことによるものと考えられる (藤田は

か, 1996)。

Table 10 に示した資源特性値から, 若狭湾西部海域に

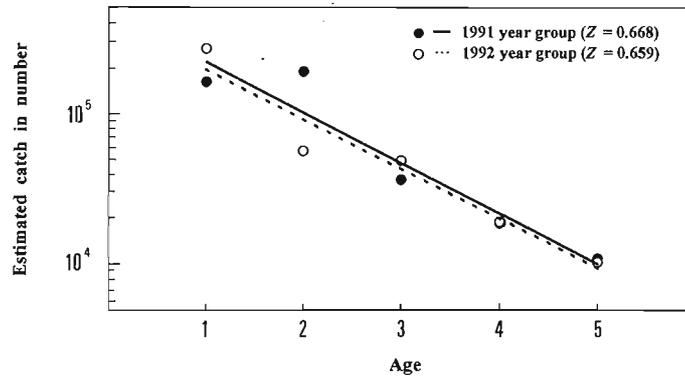


Fig. 32. Estimation of total mortality coefficient.

Table 10. List of parameters of red sea bream for the analysis, total mortality coefficient (Z), survival rate (S), natural mortality coefficient (M), fishing coefficient (F) and exploitation rate (E).

Areas		Z	S	M	F	E
Western Wakasa Bay	1991 year group	0.668	0.513	0.360	0.308	0.225
	1992 year group	0.659	0.517	0.360	0.299	0.219
Noto peninsula*		0.820	0.440	0.360	0.460	0.310

*: Ishikawa pref. Mar. Cul. Stn., 1992

Table 11. Estimated population size in number of individuals ($\times 10^3$) for each age in Western Wakasa Bay from 1992 to 1997.

Age/Year	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1992-1997 Mean
1	752	1,170	403	1,378	607	994	884
2	451	866	304	542	803	410	562
3	254	406	206	267	412	277	304
4	93	114	73	116	118	102	103
5	68	66	49	83	73	69	68

Table 12. Estimated population size in number of individuals at 2 to 4 years of age (N_2-N_4 ; $\times 10^3$) and emigrant or immigrant fish number of individuals at 2 to 4 years of age (El_2-El_4 ; $\times 10^3$) in Western Wakasa Bay from 1992 to 1997, respectively.

Year	N_2	El_2	N_3	El_3	N_4	El_4	N_2-N_4 total	El_2-El_4 total
1992	451	82	254	69	93	33	798	184
1993	866	158	406	110	114	40	1,386	308
1994	304	56	206	56	73	26	583	137
1995	542	99	267	72	116	41	925	212
1996	803	147	412	111	118	41	1,333	300
1997	410	75	277	75	102	36	788	185
Mean	562	103	304	82	103	36	969	221

おける1992年から1997年の年別年齢別の資源尾数を計算し、Table 11 に示した。さらに、91年級群と92年級群における移出入個体の割合 (Table 8) の平均値から、若狭湾西部海域では2歳魚で18.3%、3歳魚で27.0%、4歳魚で35.0%の個体の移出入が行われていると考えられるので、各年齢群の資源尾数が分かれば、若狭湾西部海域における移出入群の資源尾数を推定することができる (Table 12)。Table 12 から、1992年から1997年の若狭湾西部海域における2歳魚から4歳魚の資源尾数は、およそ60~140万尾、平均値では約97万尾と推定されているので、移出入群の年齢別資源尾数は2歳魚で6~16万尾、3歳魚で6~11万尾、4歳魚で3~4万尾の合計14~31万尾となる。すなわち、若狭湾西部海域では、平均的には少なくとも2歳魚で10万尾、3歳魚で8万尾、4歳魚で4万尾のおよそ22万尾以上の個体が若狭湾以北海域から移入してくるとともに、同規模の群が若狭湾以西海域に移出していることになる。

以上のように、若狭湾西部海域に移出入するマダイ群の規模は、同海域における2歳から4歳魚の資源量の約23%以上を占めているものと考えられる。ここでの移入群は、鱸の第1輪径組成の変化から、若狭湾以北の能登半島周辺海域から南下回遊してきたものと判断して良い (第4章)。能登半島周辺海域における2歳魚から4歳魚の資源量は、Table 10 に示した資源特性値と、近年 (1994~1997年) の推定漁獲尾数 (石川水総セザ料) から、概ね450万尾と推定できる。したがって、若狭湾西部海域に南下、移入するマダイ群は、能登半島周辺海域の資源全体の約5%と考えられる。

(2) マダイ資源管理への提言

日本海西部海域では、漁獲された当歳魚の再放流が共通のマダイ資源管理手法として提唱されているが、保護対象とする魚体サイズが府県によって異なるなど、資源管理の定着度や実施状況は一様ではない。このように、地先海域を対象とした府県単位の資源管理が中心となっている現状においては、管理実行者に直接的に還元される効果を算定し、それが漁獲規制措置を伴うような資源管理を実行するに見合うものであるかどうかを、地先海域ごとに判断していくことが求められる。

例えば、若狭湾西部海域で漁獲されたマダイ当歳魚が、再放流等によって資源に100%加入した場合に得られる漁獲量を、Table 10 に示した資源特性値と簡単な漁獲モデルによって試算してみる。第1章の結果から、若狭湾西部海域における定置網によるマダイ当歳魚の漁獲尾数は、6月から9月までの平均漁獲尾数が1日当たり約130尾であったので、これを定置網の実操業日数 (27日/月) と統

数 (大型、小型併せて約160万尾) で引き延ばすことにより、約160万尾と推定することができる。これらのマダイを加入量とし、1歳魚以上の漁獲率 E を一定、 i 歳魚の漁期当初の資源尾数を N_i 、 i 歳魚の平均体重を W_i とすれば、漁獲尾数 C_i および漁獲重量 Y_i は以下の式で示すことができる。

$$C_i = N_i \cdot E \quad (1)$$

$$Y_i = C_i \cdot W_i \quad (2)$$

さらに、 $i+1$ 歳魚の漁期当初の資源尾数 N_{i+1} は、自然死亡係数を M 、漁獲係数を F とすると、以下の式で表される。

$$N_{i+1} = N_i \cdot \exp[-(F+M)] \quad (3)$$

ただし、当歳魚の自然死亡係数 M_0 は、1歳以降のそれを月数で比例配分した値 ($M_0 = M \cdot 6/12 = 0.18$, $M = 0.36$) とした。また、年齢ごとの平均体重 W_i は、第5章の成長解析によるA~C型の分布型別年齢別推定体重 (Table 9) を、第4章で示した年齢別第1輪径組成に占める分布型別構成比率 (Fig. 25) で比例配分して求めた平均体重 ($W_1 = 53$ g, $W_2 = 171$ g, $W_3 = 347$ g, $W_4 = 579$ g) とした。Table 10 から $E = 0.22$, $F = 0.30$ とすると、6月から9月に漁獲されたマダイ当歳魚を1歳魚に成長するまで保護した場合、4歳魚までに得られる漁獲の上積分は、(1)~(3)式により約92トンと計算される。ここで、 i 歳から $i+1$ 歳にかけての移出入による群の交換率を ϕ_{i+1}/ϕ_i とした場合、管理効果の直接的な対象となる資源尾数は、移出の影響を受けることにより、 $N_i - (N_i \cdot \phi_{i+1}/\phi_i)$ となる。第4章の結果から、 $\phi_2/\phi_1 = 0.02$, $\phi_3/\phi_2 = 0.14$ および $\phi_4/\phi_3 = 0.09$ と仮定すると、上積分92トンのうち地先海域の管理効果として直接に評価される漁獲量は、約69トンとなる。

これらの結果からみて、若狭湾西部海域内だけでマダイの資源管理を行った場合には、マダイ群の移出入による影響を考慮しても、現在の同海域における漁獲量 (約120トン) を1.6倍増加させる程度の効果を期待することができる。しかし、若狭湾西部海域の4歳以上の成魚群には、能登半島周辺海域から移入してきた未成魚群が加入していることから (第4章)、若狭湾西部海域における資源管理効果を当該海域だけで完結させるのではなく、マダイ群の生活領域内で評価していくことが重要であろう。加えて、再生産等にも配慮を加えた個体群全体の資源形成を図るような管理を考えていく場合には、管理対象海域は若狭湾レベルに限定するのではなく、より広域的な資源管理の実施が必要となってくるであろう。

要 約

さらに、マダイは栽培漁業の対象種として、既に多くの府県で人工種苗放流事業が行われている (Fig. 2)。栽培漁業は「栽培技術を現存する生産の仕組みに導入し、天然資源と放流資源を包括的に管理しながら、生産効果とその安定性の向上を目指す漁業の形態」(日本栽培漁業協会, 1999)と位置付けられており、天然資源と放流資源を込みにした資源全体の生産効率や再生産効率を高めることが、栽培漁業の最大の目標であるといえる。日本海西部海域におけるマダイ資源の有効利用を図るためには、栽培漁業の持つ加入増や再生産力強化による資源構築機能を十分に活用し、人工種苗放流事業と関連した包括的資源管理を進めていく必要がある。そのためには、各地先海域で行われた人工種苗放流を含む資源管理が、隣接する海域の資源に対してどの程度貢献しているかといった、管理効果の影響範囲に関する問題を無視する訳にはいかない。広域型の魚種に対する資源管理を今以上に推し進めるためには、各府県地先海域で行われる資源管理が互いの海域にもたらす質的および量的な影響を出来る限り詳細に把握し、それらの結果にもとづいて、再放流等の実施内容や人工種苗放流の規模などについての府県間調整が図られなければならないだろう。

本研究において、能登半島周辺海域、若狭湾海域および山陰沿岸海域では、マダイ未成魚群の南下移動に伴う連続的な移出入が起こっているものと考えられた。このような状況下では、それぞれの海域における資源管理体制について見直しを図る必要がある。若狭湾海域を例にとると、当歳魚の出現状況やマダイ群の移動・回遊情報を利用した検討結果から、同海域のマダイ資源管理については、当歳から1歳魚期には若狭湾より西の山陰沿岸海域を共通のエリアとした管理体制を整備する必要があるし、2歳魚以降から成魚期においては、資源の一部を利用するものとして若狭湾以北の能登半島周辺海域における資源管理の一端を担う必要があるだろう。

本研究では若狭湾を中心とした日本海西部海域を調査対象としたが、当海域を始めとする日本沿岸のマダイ資源管理に関する調査・研究においては、もはや、当歳魚の保護や人工種苗放流などの加入増による資源の構築や、再生産力の強化といった管理効果を検証していかなければならない段階にある。そのためには、マダイ群の動きに合わせた適切な管理海域の設定を行い、マダイ資源を対象とするモニタリング・システム全体の基本構造を再構築することが望まれる。とりわけ、マダイの広域性、回遊性を考慮した資源の現状解析と、それに基づく資源利用体系についての十分な議論が必要である。

マダイは、わが国沿岸漁業の重要な栽培漁業対象種であり、全国各地で人工種苗放流が行われている。そのため、天然資源と放流資源とからなるマダイ資源全体の総合的管理が必要となっている。本研究では、日本海西部海域におけるマダイ当歳魚の分布、マダイ鱗による局所個体群の識別、マダイ鱗に形成される輪紋径の海域別年齢変化などを解析し、局所個体群の移動・回遊に関する情報を得るとともに、その結果をもとにして、マダイ資源管理を効果的に推進するための展望を示した。これらの結果の要約は次のとおりである。

1 京都府沿岸海域におけるマダイ当歳魚の出現状況

(1) 京都府沿岸海域の定置網におけるマダイ当歳魚の出現時期や尾叉長変化を調べた。定置網で漁獲されるマダイ当歳魚は6月下旬から出現し、その尾叉長範囲は35~45 mmであった。マダイ当歳魚は7~8月に尾叉長40~70 mmの個体が最も多く漁獲され、9月には尾叉長80~90 mm、10月には100 mm以上の個体が出現した。マダイ当歳魚は成長に伴う分布域拡大の過程で、定置網によって多量に漁獲されているものと推察され、漁獲尾数が減少する9月以降には、定置網漁場から逸散し始めるものと考えられた。

(2) 日本海西部の他海域における出現状況との比較結果から、海域ごとのマダイ当歳魚の分布、成長には違いがあることが分かった。特に、日本海西部海域で夏季から秋季にかけて出現するマダイ当歳魚の大きさは、山陰沿岸から若狭湾沿岸海域にかけてほぼ一致するが、能登半島周辺海域ではこれらの海域よりも小さく、海域による顕著な成長差が生じていることが明らかになった。

2 マダイ鱗の第1輪径組成の海域差

(1) 硬組織であるマダイ鱗には、年齢指標として成長の年周期に伴い定期的に輪紋が形成される。青森県から長崎県までの対馬暖流域に生息するマダイ1歳魚は、生後1年目の鱗に形成される輪紋、すなわち第1輪径の大きさから、第1輪径組成のモードが4.4~4.6 mmで平均第1輪径が4.46 mmと最も大きい長崎県沿岸海域、平均第1輪径が3.00 mm以下で第1輪径組成が海域内で同じである石川県沿岸以北の海域、および平均第1輪径が3.60~3.80 mmであり、上記の南北2海域と比較して中間的な大きさの第1輪径を持つ島根県から京都府沿岸海域の3海域に大別された。このようなマダイ鱗の第1輪径の海域による差を比較検討した結果、対馬暖流域のマダイでは、

海域ごとに成長速度の異なる局所的な個体群が存在していることが明らかになった。

(2) 調査海域における水深 0 m の年平均水温とマダイ 1 歳魚の鱗の平均第 1 輪径には、有意な正の相関関係が認められた。水温はマダイの成長を規定する大きな物理的要因の 1 つであり、鱗の第 1 輪径が大きい海域ではマダイの成長に適した日数がより長くなっていることなどから、マダイ鱗の第 1 輪径に示される海域差の原因として、環境水温の影響が指摘された。

3 マダイ鱗の第 1 輪径組成の年齢による変化

(1) マダイ鱗の第 1 輪径と個体群の移動、回遊との関連を明らかにするために、日本海西部の石川県沿岸海域、京都府沿岸海域および山口県沿岸海域における第 1 輪径組成を年齢別に調べた。石川県沿岸海域のマダイでは、第 1 輪径組成のモードや平均値は年齢が増加しても変化が少なく、どの年齢群においても輪径 3.0 mm 未満の個体の割合が多かった。京都府沿岸海域におけるマダイ鱗の第 1 輪径組成では、第 1 輪径は概ね 4 歳魚程度まで年齢が増すにしたがって小さくなる、いわゆる Lee 現象がみられた。また、この現象は 1991 年発生群、1992 年発生群および 1993 年発生群の全てに認められた。山口県沿岸海域のマダイ鱗の第 1 輪径組成は、どの年齢群においても輪径 3.0 mm 以上 4.0 mm 未満の個体が主体であり、2 歳以上魚の組成では 1 歳魚に比べて輪径の大きい個体の割合が多かった。このような第 1 輪径の大型化は、2 歳魚において顕著に認められた。

(2) 京都府沿岸海域におけるマダイの主漁期である 4～6 月の春季と 9～12 月の秋季にそれぞれ漁獲された個体について、年齢別漁期別の平均第 1 輪径を調べた。京都府沿岸海域のマダイの場合、第 1 輪径は全体としては年齢を経るにしたがって小さくなる傾向がみられたが、漁期ごとの第 1 輪径は、春季から秋季にかけて大きく、秋季から翌年春季には小さくなる季節的な変化が認められた。

(3) 第 1 輪径組成の生息海域による特徴と標識放流結果を用いて、日本海西部海域におけるマダイの移動・回遊経路を以下のように推定した。能登半島周辺海域に生息するマダイの一部は、若狭湾海域に南下する。若狭湾海域では、同湾以北からの南下移動に伴う群の移出入が起こっており、同海域から移出した群は、さらに山陰西部海域まで南下する。これらの南下（西方）群は、山陰西部海域で九州西部海域から北七（東方）してきた未成魚群と混合する。

(4) 鱗や耳石などの年齢形質に形成される輪紋径が高年齢魚ほど小さくなる Lee 現象の原因究明は、魚類の年齢

と成長などを研究するうえで重要な課題となっている。Lee 現象の原因には、鱗の既成部分の縮小、体長従属的な漁獲選択性の影響などが考えられている。しかし、京都府沿岸海域で漁獲されたマダイ鱗の第 1 輪径にみられた Lee 現象の場合は、マダイの季節移動と第 1 輪径との関係を解析した結果から、マダイの広域的な移動・回遊に伴う群内の加入・逸散が、見かけ上 Lee 現象が起こる主要因の 1 つであると考えられた。

4 若狭湾西部海域におけるマダイ群の移出入量の推定

(1) マダイ鱗の第 1 輪径組成の年齢や海域による変化は、発生海域の異なるマダイ群の広域的な移動・回遊を反映しているものと考えられた。このようなマダイ鱗の第 1 輪径組成と移動・回遊との関連をもとに、若狭湾西部海域を中心としたマダイ群の移動・回遊に伴う移出入状況の把握を試みた。若狭湾西部海域のマダイ鱗の第 1 輪径組成は、加齢にしたがい、第 1 輪径の大きな個体が減少し、逆に輪径の小さい個体が増加する傾向が認められた。年齢別第 1 輪径組成の輪径階級ごとの出現割合を比較検討した結果、出現割合が増加した個体の第 1 輪径は 1.8～3.4 mm であり、この値は石川県沿岸海域におけるマダイ 1 歳魚の第 1 輪径の出現範囲と良く一致していた。

(2) 年齢別第 1 輪径組成において、出現割合が増加していた輪径 3.4 mm 未満の個体を移入群と考え、その年齢 i による増加割合 ϕ_{i+1}/ϕ_i の変化を次式で近似した。

$$\phi_{i+1}/\phi_i = 0.3533 \exp^{-0.4517i} \quad (\text{相関係数 } 0.8224)$$

$$\phi_{i+1}/\phi_i, \quad i \text{ 歳から } i+1 \text{ 歳にかけての増加割合}$$

この近似式で表される出現割合の変化から、若狭湾西部海域におけるマダイの移出入による群の交換率は、1 歳から 2 歳にかけて約 22%、2 歳から 3 歳では約 14%、3 歳から 4 歳では約 9% であると推定された。

(3) 長崎県から青森県沿岸海域におけるマダイ 1 歳魚の鱗の第 1 輪径組成に対して、正規分布の当てはめを行った結果、対馬暖流域のマダイ群は、第 1 輪径の大きさから以下の 3 群に分離された。

A 型（九州西海岸）

平均第 1 輪径 4.44 ± 標準偏差 0.33 mm

B 型（山陰西部海域から若狭湾海域）

平均第 1 輪径 3.66 ± 標準偏差 0.31 mm

C 型（能登半島周辺以北海域）

平均第 1 輪径 2.68 ± 標準偏差 0.28 mm

(4) 第 1 輪径の異なる 3 つの正規分布型と若狭湾西部海域で漁獲されたマダイの年齢別漁獲尾数との関係を解析することにより、若狭湾西部海域における移出入個体の割合を推定した。その結果、同海域のマダイは、未成魚期の移

動・回遊に伴って、少なくとも2歳魚で10%から30%、3歳魚で約30%、4歳魚では30%から40%が移出入個体であると考えられた。

(5) マダイ鱗の第1輪径組成を用いた移動・回遊の解析方法は、日本海西部の他の海域やマダイ当歳魚の成長に海域差がみられる太平洋沿岸海域、あるいは同じ硬組織である耳石の第1輪径が、海域によって異なっている日本海沿岸のヒラメなどでも応用が可能である。

5 移動・回遊情報の成長解析への利用

(1) 若狭湾西部海域では、初期成長量の異なるマダイ群が混在している。資源管理に必要なマダイの年齢と成長についての正確な情報を得るために、マダイの移動・回遊生態にもとづく成長解析を行った。マダイの移動・回遊情報を利用し、第1輪径の大きさから分離した3つの分布型(A～C型)に属するマダイを対象として、混在する個体群ごとの成長式を推定した。

$$\text{A型}; L_i = 614.1 (1 - \exp^{-0.1589(i+0.7724)})$$

$$\text{B型}; L_i = 577.7 (1 - \exp^{-0.1727(i+0.3739)})$$

$$\text{C型}; L_i = 536.3 (1 - \exp^{-0.1915(i+0.0190)})$$

L_i : i 歳時の推定尾又長 (mm)

(2) 若狭湾西部海域における2歳魚以降の推定尾又長は、どの年齢魚でも分布型によって異なり、鱗の第1輪径が大きい分布型に属するマダイほど大きかった。特に、A型とC型に属する個体では、推定尾又長で38～56mm、推定体重で59～300gの差が認められた。

(3) 今回得られた結果について、日本海西部海域で過去に報告されているマダイの成長解析の結果と比較した。第1輪径がA型に属するマダイでは、3歳魚以上の大きさが山陰西部海域に近く、C型に属するマダイの成長は、能登半島周辺海域とはほぼ同様であった。また、若狭湾西部海域で過去に推定されているマダイの大きさは、B型のマダイよりも小さかった。

(4) 若狭湾西部海域では、年齢の増加に伴い、小さい第1輪径値を有するマダイの割合が増加する。したがって、同海域の成魚群については、1歳時には少なかった能登半島周辺海域のマダイと同じ大きさの個体が多く分布していると考えられた。

6 総合考察

(1) 第5章までに得られたマダイの移動・回遊情報を活用し、若狭湾西部海域におけるマダイ群の移出入の動向にもとづいた資源の現状分析を行った。若狭湾西部海域に移出入するマダイ群の規模は、同海域における2歳から4歳魚の資源量の約23%以上を占めているものと考えられた。

また、若狭湾西部海域への移入群は、若狭湾以北の能登半島周辺海域から南下回遊してきたものと判断され、その規模は、能登半島周辺海域のマダイ資源の約5%と推定された。

(2) 日本海西部海域の府県地先海域で行われているマダイ資源管理の現状を整理し、当歳魚保護による資源管理効果について考察した。若狭湾西部海域では、マダイ群の移出入による影響を考慮しても、当歳魚保護によって現在の同海域における漁獲量を1.6倍増加させる程度の効果を期待できることが分かった。しかし、再生産等にも配慮を加えた個体群全体の資源形成を図るような管理を考える場合には、管理対象海域を若狭湾レベルに限定するのではなく、より広域的な資源管理の実施が必要である。

(3) 日本海西部海域で効果的なマダイ資源管理を行うためには、マダイの移動・回遊に合わせた適切な管理海域の設定が必要であり、そのためには、現在府県単位で実施されているモニタリング・システムの見直しが不可欠であることが指摘された。

文 献

- 赤崎正人. 1960. 若狭湾産マダイの年令と成長. 日水誌, **26**: 217-222.
- 秋田県栽培漁業センター. 1982. 昭和56年度回遊性魚類共同放流実験調査事業報告書(日本海中部海域マダイ班), pp.10-51.
- 秋田県栽培漁業センター・新潟県栽培漁業センター・石川県増殖試験場・福井県栽培漁業センター・京都府立海洋センター・京都府栽培漁業センター. 1985. 回遊性魚類共同放流実験調査事業総括報告書日本海中部海域マダイ班, 54 pp.
- 荒井修亮. 1995. マダイ硬組織内の縞形成と環境水温. 海洋理工学会誌, **1**: 31-37.
- 荒井修亮・坂本 亘. 1995. マダイ鱗の隆起線形成に及ぼす水温の影響. 日水誌, **61**: 316-319.
- Arai, N., Sakamoto, W. and Maeda, K.. 1996. Correlation between ambient seawater temperature and Strontium-calcium concentration ratios in otoliths of red sea bream *Pagrus major*. *Fisheries Sci.*, **62**: 652-653.
- 浅見忠彦・花岡松子. 1957. 「いわし」類の脊椎骨数について—とくに種族または発生環境を検討しうる可能性について. 南海水研研報, **5**: 59-73.
- 畔田正格・池本麗子・東 幹夫. 1980. 志々伎湾における底生生活期マダイ当歳魚の分布と成長. 西水研研

- 報, 54: 259-278.
- Bilton, H.T.. 1975. Factors influencing the formation of scale characters. *Bull. Int. North. Pacific Fish. Comm.*, 32: 102-108.
- Chen, L.C.. 1971. Systematics, variation, distribution, and biology of rockfishes of the subgenus *Sebastes* (Pisces, Scorpaenidae, Sebastes). *Bull. Scripps Int. Ocean. Univ. Calif.*, 18: 1-107.
- 土井長之. 1955. 瀬戸内海におけるマダイ資源について. 日水誌, 21: 320-334.
- 海老名謙一. 1936. 真鯛の成長に就て. 日水誌, 4: 320-334.
- 海老名謙一. 1940. 真鯛の系統に関する研究Ⅲ. 日水誌, 8: 295-297.
- Fisher, J.P. and Pearcy, W.G.. 1990. Spacing of scale circuli versus growth rate in young coho salmon. *Fish. Bull.*, 88: 637-643.
- 福井県栽培漁業センター. 1982. 昭和56年度回遊性魚類共同放流実験調査事業報告書 (日本海中部海域マダイ班), pp. 107-145.
- 藤川裕司・竹森昭夫. 1988. 隠岐島周辺海域におけるマダイ漁獲物の年齢組成と産卵. 西海区ブロック魚類研究会報, 6: 5-11.
- 藤尾芳久・佐々木信行・佐々木實・小金澤昭光. 1985. ヒラメのイソクエン酸脱水素酵素アイソザイムによる自然集団と放流集団との差異. 東北水研研報, 47: 51-57.
- 藤田眞吾・戸嶋 孝・山崎 淳・内野 憲・桑原昭彦. 1996. 日本海西部海域におけるマダイの資源管理. 水産研究叢書, 45, 92 pp. 日本水産資源保護協会, 東京.
- Fukuhara, O.. 1985. Functional morphology and behavior of early life stages of red sea bream. *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.*, 51: 731-743.
- 花淵信夫. 1980. 油谷湾におけるマダイ幼魚の分布. 西水研研報, 54: 79-91.
- 林 繁一・鈴木秀弥. 1959. カタクチイワシの脊椎骨数算定について. 東海水研研報, 26: 43-50.
- 市原忠義. 1977. 魚類の垂直行動に関する考察. 海洋科学, 9: 35-40.
- 池田弥生・尾崎久雄・安田秀明. 1973. キンギョの鱗の成長. 日水誌, 39: 25-33.
- 今林博道・花岡 資・矢野 実. 1977. 生物群集内における稚魚期および若魚期のマダイの摂食状態, 個体群の種内関係. 西水研研報, 10: 87-100.
- 石川県増殖試験場. 1984. 昭和58年度回遊性魚類共同放流実験調査事業報告書 (日本海中部海域マダイ班), pp. 99-123.
- 石川県増殖試験場. 1992. 平成2年度事業報告書, 135 pp.
- 石川・福井・京都・兵庫・鳥取・島根・山口県. 1988. 資源培養管理推進事業栽培資源調査全体計画書 (マダイ), 日本海西ブロック, 51 pp.
- 石川・福井・京都・兵庫・鳥取・島根・山口県. 1990. 平成元年度日本海西ブロック広域型資源培養管理推進事業報告書, 88 pp.
- 石川・福井・京都・兵庫・鳥取・島根・山口県. 1991. 平成2年度日本海西ブロック広域型資源培養管理推進事業報告書, 53 pp.
- 小林克一・角 建造・伊藤正博・河辺克巳. 1974. マダイ栽培漁業資源生態調査. 昭和47年度福岡水試研究業務報告, pp. 45-66.
- 小嶋喜久雄. 1981. 油谷湾における若齢期マダイの成長. 西水研研報, 56: 55-70.
- 国行一正・矢野 實・川西正衛. 1975. 広島県中部海域におけるマダイ未成魚の年令と成長. 南西水研研報, 8: 81-100.
- 京都府立海洋センター. 1984. 昭和58年度回遊性魚類共同放流実験調査事業報告書 (日本海中部海域マダイ班), pp. 170-201.
- 京都府立海洋センター. 1986. 昭和60年度回遊性魚類共同放流実験調査事業報告書 (日本海中部海域マダイ班), pp. 16-42.
- 前田経雄・内田喜隆・吉松隆夫・木下 泉・田中 克. 1995. 日本海におけるヒラメの再生産構造-IV, 稚魚の背鳍条数の17道府県 (鹿児島～北海道)間の地理的変異. 平成7年度日本水産学会秋季大会講演要旨集, 71.
- 真子 渺. 1957. 資源の生物学的研究, 成熟, 産卵及び稚魚. 東海・黄海における底魚資源の研究, 4: 55-60.
- 松原喜代松・落合 明. 1976. 魚類学 (下). 水産学全集 第19巻, 707 pp. 恒星社厚生閣, 東京.
- Matsuoka, M. and Iwai, T.. 1984. Development of the myotomal musculature in the red sea bream. *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.*, 50: 29-35.
- Matsuoka, M.. 1984. Osteological development in the red sea bream, *Pagrus major*. *Japan. J. Ichthyol.*, 32: 35-51.
- 三重・静岡・神奈川・東京・千葉県. 1975. 太平洋中区栽培漁業漁場資源生態調査結果概要, 87 pp.

- 三尾真一. 1962. 九州における沿岸魚類の資源生物学的研究-IV, マダイの年齢および成長. 九大農学部学芸雑誌, **19**: 507-520.
- 森 慶一郎. 1980. 油谷湾における浮遊期, 底生生活初期のマダイの生態. 西水研研報, **54**: 59-78.
- 宗清正廣・傍島直樹. 1981. 京都府沿岸域におけるマダイ群の回遊パターン. 京都海セ研報, **5**: 1-16.
- 村上子郎・岡田啓介. 1967. 東シナ海・黄海産マダイ資源の研究-III, 年齢と成長. 西水研研報, **35**: 23-40.
- 長沼光亮・市橋正子. 1993. 日本海における表面・50 m・100 m・200 m 各深水温の月別累年 (1961~1990) 平均値とその標準偏差. 日本海ブロック試験研究集録, **26**: 1-117.
- 中村秀也. 1935. 日本産魚類の産卵期表. 水産研究誌, **30**: 21-32.
- 日本栽培漁業協会. 1999. 栽培漁業による漁業資源の再構築とその持続的管理. 栽培資源調査検討資料, No. 15, 79 pp.
- 新潟県. 1996. 平成7年度資源管理型漁業推進総合対策事業報告書, 38 pp.
- 西田 陸・大河俊之・藤井徹生. 1996. 集団構造「ヒラメの生物学と資源構造」, 水産学シリーズ116, pp. 41-51. 恒星社厚生閣, 東京.
- 尾形哲男・伊東 弘・加藤史彦. 1980. 能登近海におけるマダイ資源の補給機構. 資源培養方式開発のための沿岸域における若令期タイ類補給機構に関する研究 (特別研究成果シリーズ, 129), pp. 9-50. 農林水産技術会議事務局, 東京.
- 岡地伊佐雄. 1958. 漁獲統計からみた日本海産魚族の分布構造-I, 対馬暖流系魚族の来遊の消長. 日水研年報, **4**: 1-13.
- 岡地伊佐雄. 1963. 漁獲統計からみた日本海産魚族の分布構造-III, 回遊型. 日水研報告, **11**: 23-32.
- 岡田啓介. 1965. 黄海産若令マダイの摂餌生態について. 日水誌, **31**: 999-1005.
- 岡田啓介. 1967. 東シナ海・黄海産マダイ資源の研究-II, 分布と回遊. 西水研研報, **35**: 1-21.
- 大内康敬. 1986. 幼魚の生態とその漁業. 「マダイの資源培養技術」, 水産学シリーズ59, pp. 75-90. 恒星社厚生閣, 東京.
- Ricker, W.E.. 1969. Effects of size-selective mortality and sampling bias on estimates of growth, mortality, production and yield. *J. Fish. Res. Bd Canada.*, **26**: 479-541.
- Robertson, J.A.. 1936. The occurrence of Lee's phenomenon in the sprat, and the size-relation between fish and scale. *J. Cons. Int. Expl. Mer.*, **11**: 219-228.
- 阪本俊雄. 1984. 紀伊水道外域産マダイの年齢と成長. 日水誌, **50**: 1829-1834.
- 佐藤雅希. 1993. 山形県沿岸域におけるマダイの年齢と成長について. 日本海ブロック試験研究集録, **27**: 5-17.
- 佐藤雅希・鎌田 稔・鈴木裕之・中鉢孝明. 1993. 標識放流結果からみた北部日本海のマダイの系群について. 日本海ブロック試験研究集録, **29**: 9-15.
- 椎原久幸. 1986. 鹿児島湾における放流の成果と問題点. 「マダイの資源培養技術」, 水産学シリーズ59, pp. 106-126. 恒星社厚生閣, 東京.
- 島根県栽培漁業センター・山口県外海・福岡県福岡・長崎県・熊本県・鹿児島県水産試験場. 1985. 回遊性魚類共同放流実験調査事業九州西海・日本海西部海域総合報告書, 60 pp.
- 島根県水産試験場. 1989. 平成元年度島根県水産試験場事業報告書, 291 pp.
- 島根県水産試験場. 1990. 平成2年度島根県水産試験場事業報告書, 325 pp.
- 真道重明. 1963. 漁業生物. 以西底びき網漁業に関するシンポジウム, 日水誌, **29**: 550-562.
- 傍島直樹・宗清正廣. 1982. 加賀沖マダイ1歳魚の系群分離の試み. 京都海セ研報, **6**: 51-52.
- Stanley, C.A.. 1980. Lee's phenomenon in the western subspecies of the Australian salmon, *Arripis trutta esper*. *Aust. J. Mar. Freshwater Res.*, **31**: 13-19.
- 鈴木重喜・桑原昭彦. 1983. 若狭湾西部海域におけるマダイ仔魚の鉛直分布と食性. 水産海洋研究会報, **42**: 10-16.
- 田畑和男. 1994. マダイの友ヶ島水道周辺海域における漁獲群と放流用人工種苗のアイソザイムによる集団解析. 水産増殖, **42**: 85-91.
- Tabata, K. and Mizuta, A.. 1997. RFLP analysis of the mtDNA D-loop region in red sea bream *Pargus major* population from four locations of Western Japan. *Fisheries Sci.*, **63**: 211-217.
- 太平洋中区栽培漁業推進協議会技術部会. 1987. 太平洋中区海域のマダイ資源の培養. さいばい叢書2, 146 pp. 日本栽培漁業協会, 東京.
- 竹野功電・浜中雄一・宮嶋俊明. 1997. 京都府沿岸海域におけるヒラメの資源構造に関する研究-II, 日本海沿岸におけるヒラメ1歳魚の背鰭・臀鰭・鱗条数と耳石初輪径の地理的変異. 京都海セ研報, **19**: 65-

- 71.
- 田中 克. 1979. マダイ稚魚の浮遊生活から底生生活への移行過程について. 水産土木, **16**: 47-57
- 田中 克. 1980. 志々伎湾におけるマダイ仔稚魚の生態に関する研究-丁, 浮遊生活期仔魚の水平分布. 西水研研報, **54**: 231-258.
- Tanaka, M.. 1985. Factors affecting the inshore migration of pelagic larval and demersal juvenile red sea bream *Pagrus major* to a nursery ground. *Trans. Am. Fish. Soc.*, **114**: 471-477.
- 田中 克. 1986. 稚仔魚の生態. 「マダイの資源培養技術」, 水産学シリーズ59, pp. 59-74. 恒星社厚生閣, 東京.
- 立石 賢. 1976. マダイ放流種苗の追跡. 「種苗の放流効果」, 水産学シリーズ12, pp. 102-114. 恒星社厚生閣, 東京
- 鉄 健司・檜山義夫. 1957. 太平洋赤道水域産キハダの外部形態について. 日水誌, **23**: 388-393.
- 戸嶋 孝・桑原昭彦・船田秀之助・山崎 淳・藤田眞吾・内野 憲. 1993. 京都府沿岸海域におけるマダイの鱗の年齢別初輪径について. 京都海セ研報, **16**: 18-21.
- 戸嶋 孝・山崎 淳・藤田眞吾・内野 憲. 1994. 京都府西部海域における定置網による当歳マダイの漁獲実態. 京都海セ研報, **17**: 24-29.
- Tojima, T. and Fujita, S.. 1996. On the radius of the first ring on the scale of red sea bream *Pagrus major* as a character for stock separation in the Sea of Japan. *Bull. Natl. Res. Inst. Aquacult., Suppl.*, **2**: 99-103.
- 戸嶋 孝・藤田眞吾. 1997. 箱網揚網実験によるマダイ幼魚の網目選択性. 日水誌, **63**: 333-339.
- 戸嶋 孝・荒井修亮. 2000. 対馬暖流域におけるマダイ耳石のストロンチウム濃度変動. 日水誌, **66**: 25-32.
- 鳥取県水産試験場. 1993. 平成5年度鳥取県水産試験場年報, 195 pp.
- 堤 裕昭・田中雅生. 1988. 体長頻度分布データからの世代交代. 資源解析プログラム集, pp. 189-207. 東海区水産研究所, 東京.
- Vaughan, D.S. and Burton, M.L.. 1994. Estimation of von Bertalanffy growth parameters in the presence of size-selective mortality: A simulated example with Red Grouper. *Trans. Am. Fish. Soc.*, **123**: 1-8.
- 渡部泰輔. 1970. マサバの発育初期における形態・生態ならびに資源変動に関する研究. 東海水研研報, **62**: 1-283.
- 山口県外海水産試験場. 1987. 昭和61年度回遊性魚類共同放流実験調査事業報告書 (九州西海・日本海西部海域海域マダイ班), pp. 1-21.
- 矢野 勲・小川良徳. 1981. マダイ稚仔魚の遊泳速度. 養殖研研報, **2**: 49-54.