

志々伎湾のマダイに対する
イリジウム (Ir) 標識放流実験

加藤 守*・首藤 宏幸**・畔田 正格***・松宮 義晴****

Field experiments of Iridium marking
for red sea bream in Shijiki Bay

Mamoru KATO*, Hiroyuki SUDO**, Masanori AZETA***
and Yoshiharu MATSUMIYA****

Abstract

Iridium (Ir) marked red sea bream, 50,000 and 40,000 in number, were released at August 1983 (Group A) and June 1984 (Group B) in Shijiki Bay, Nagasaki Prefecture, respectively. Average fork length and body weight were 49mm and 2.4g in Group A and 60mm and 4.1g in group B, respectively.

Young red sea bream were sampled by one operation per month in 17 periodic sampling stations and number of samples was 11,499 in total from August 1983 to September 1985.

Ir were detected from scale samples by activation analysis using atomic reactor. Of 1,676 samples in Group A and 1,766 in Group B, 589 and 606 Ir marked fish were detected. Average Ir contents (ppm) in scale decreased from 8.0 at end of Ir feeding to 0.04 after 14 months in Group A and 5.4 to 0.03 after 16 months in Group B. Ir were detected from fish sampled at 26 months after marking in maximum.

Time and space distributions of Ir marked fish were described as follows:

They moved from the inner to mid parts of the bay in fall to winter, then left for outside in next February-March in age 1 fish. They returned again to the bay, and were distributed in the whole area in summer. It was estimated that most of them escaped for outside of the bay after fall in age 2 fish.

The proportions of Ir marked fish in total samples by month was 20-30% in age 1 fish.

Growth of Ir marked fish was as follows:

They increased rapidly 10-15mm and 6-7g in fork length and body weight per month from June-August to October-November in age 0 fish, then slowly 4mm and 3-6g from December to May and again greatly 9mm and 18-22g from June to September-October.

1990年2月1日受理 遠洋水産研究所業績 第270号

* 中央水産研究所 (National Research Institute of Fisheries Science)

** 西海区水産研究所 (Seikai National Fisheries Research Institute)

*** 養殖研究所 (National Research Institute of Aquaculture)

**** 三重大学 (University of Mie)

Using recovery data of Ir marked fish, parameters of mortality were estimated in Group A : Total mortality coefficient (Z) was 0.007 per day, fishing mortality coefficient (F) 0.001-0.002 and natural mortality coefficient including escapement (M) 0.006-0.007. Estimated number of Ir marked fish decreased from 50,000 at release to 2,800 at August 1984 and 700 at February 1985. Abundance of red sea bream of 1983 year-class including Ir marked fish was estimated to be 225,000 in number at August 1983, 13,000 at August 1984 and 3,600 at February 1985.

Ir was judged to be one of the useful marking elements on physical characteristics of activation analysis such as abundance ratio of parent nuclide, cross section, half life, gamma-ray energy of photo-peak and emission rate. Ir marking could be easily used for young red sea bream in large number and for long period of time more than two years without fade-out of marking and death by marking. Ir marking was proved to be much effective for fish marking in field experiment.

1. はじめに

金属元素イリジウム (Ir) がマダイに対して長期間にわたり有効な標識であることは飼育実験により実証された (加藤, 1990)。マダイ幼魚 (投与終了時の平均体長 102 mm, 平均体重 24 g) に経口投与された Ir 標識は鱗, 肝臓, 脊椎骨等の器官に蓄積され易く, 最大 1,480 日間追跡することができた。この間, 顕著な死亡, 成長の停滞等の生理的障害は全く起きなかった。Ir 標識は飼育実験段階ではマダイの標識として十分使用可能と判断されたので, 次に実用化を目的とした開発研究を行うこととした。実用化に際しての研究課題として, ①一般の放流種苗 (体長 30~40 mm) に対する標識の有効性の解明, ②標識投与期間の短縮, ③大量標識付け技術の開発等が考えられた。以上の課題を研究するために適切な実験フィールドが必要となった。西海区水産研究所及び長崎大学・京都大学は長年にわたりマダイのフィールド研究を長崎県平戸島志々伎湾において計画的に行ってきた。同研究所及び同大学は志々伎湾内に定点を設け, 月 1 回~数回の割合で試験操業を行い, 標本採集, 環境の調査を行ってきた。この結果, 志々伎湾の環境特性, 生物群集の構造, マダイの生活様式等の解明がなされてきた。更に, ここでマダイ幼魚の大量標識放流実験を行うことにより, 放流魚の分布・回遊, 成長, 生残, 天然魚との関係等が明らかとなり, 最終的には種苗放流の効果判定が可能となる。このように, 志々伎湾におけるマダイの大量標識放流実験は単に標識放流技術の開発に留らず, 種苗放流による資源培養技術の開発に大きな役割を果たすと考えられる。

2. 材料と方法

研究分担は, 西海区水産研究所及び長崎大学が種苗の飼育, イリジウム (Ir) 標識投与, 放流, 標本魚の採集, 魚体の測定等を行い, 遠洋水産研究所が分析試料の作成及び放射化分析による標識魚の検出を行った。

この放流実験は次の 2 年級群に対し行われた。

(1) 1983 年標識放流群 (A 群とする)

この放流群は日本栽培漁業協会上浦事業場で 1983 年 6 月に産卵, 孵化したマダイ稚魚に基づく。このマダイに同事業場の飼育イセスで 7 月 25 日から 8 月 8 日までイリジウム (Ir) 混合飼料 (Ir 含有濃度約

2,000 ppm) を 15 日間投与し、標識付けを行った。1983 年 8 月 8 日に A 群に対する Ir 投与を終了した。投与終了時から 2, 4, 6, 8, 10, 24, 43 及び 72 時間後に計 8 回の標本(各回 10 尾, 72 時間のみ 50 尾)採集を行い、採鱗を行った。この標本は Ir 投与終了直後のマダイ体内における Ir 含有濃度の時間的変化を調査する目的で採集した。Ir 投与を終了した稚魚は船で同事業場から志々伎湾まで輸送し、8 月 10 日に志々伎湾奥部の潮見鼻沖の地点(図 1)に放流した。放流尾数は 50,800 尾で、放流時の平均尾叉長は 49(37~63)mm, 平均体重は 2.4(0.1~3.9)g であった。Ir 標識魚以外の放流は行わなかった。

(2) 1984 年標識放流群 (B 群とする)

この放流群は 1984 年 4 月に長崎県漁業公社で産卵、孵化したマダイ稚魚に基づく。飼育イネスで 5 月 31 日から 6 月 14 日まで Ir 混合飼料 (Ir 含有濃度約 2,000 ppm) を 15 日間投与し、標識付けを行った。Ir

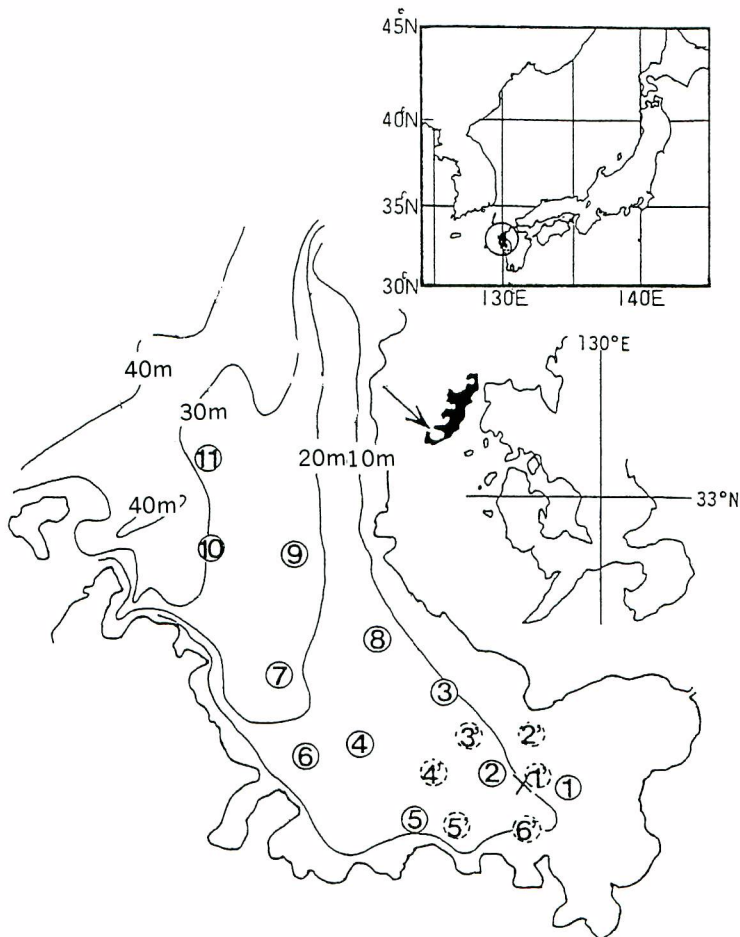


Fig. 1. Sampling locations of red sea bream in Shijiki Bay, 1983-1985.

Open circle : periodic sampling station

Dotted circle : additional station

X : released position of red sea bream

投与を終了した稚魚は6月15日にA群と同じ地点に放流した。放流尾数は40,300尾で、放流時の平均尾又長は60(47~75)mm, 平均体重は4.1(1.5~7.1)gであった。Ir標識魚以外の放流は行わなかった。

Ir混合飼料はマダイ用粉末飼料に4塩化イリジウム (IrCl_4) を添加した。飼育中はこの混合飼料と魚肉を混合し、ミンチにして投与した。A群に投与したIr混合飼料中の平均Ir含有濃度は2,166 ppm(標準偏差266 ppm)であった。

標識魚以外にIrを体に保有したマダイが存在するかどうかを確かめる目的で以下のようにバックグラウンド標本の採集を行った。1983年7月25日にIr投与直前のA群から20尾のマダイ稚魚(平均尾又長22mm, 平均体重0.14g)を採集し、鱗を採取した。1983年8月12日に、志々伎湾でマダイ幼魚30尾を採集した。この幼魚の平均尾又長は82mm及び平均体重は10.2gで、魚体の特徴からみて、天然魚と判断された。この幼魚から鱗、脊椎骨及び肝臓標本を採集した。

A群及びB群の放流後、放流魚の追跡のため、志々伎湾内に標本採集定点を設け、ほぼ月に1回の割合で吾智網等の操業を行い、マダイの標本採集を行った。ただし、1983年8月及び1984年6月にはそれぞれ5回の採集が行われた。標本採集は、11の定点及び追跡調査用の6点、計17点において行われた。漁具は吾智網を使用した。図1に定点は①、②のよう及び追跡調査用追加定点は①'、②'のように表示してある。標本採集は1983年8月に始まり、1985年9月に終了した。採集尾数は1983年に、3,970尾、1984年に5,594尾及び1985年に1,862尾、合計11,426尾であった。月別では、1983年8月に2,818尾及び1984年6月に1,816尾が採集され、その他の月では46~647尾が採集された。

図2に1983年8月から1985年9月までの月別の採集されたすべての個体(天然魚を含む)の尾又長

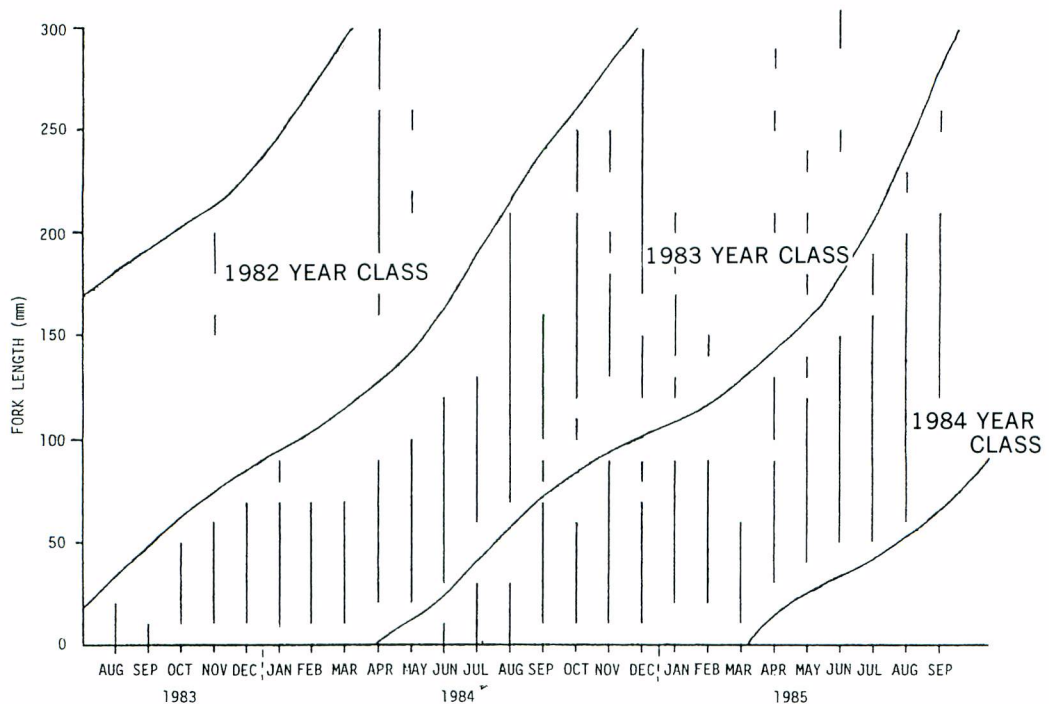


Fig. 2. Change of fork length of red sea bream by age class of 1982, 1983 and 1984 in Shijiki Bay, 1983 to 1985.

範囲を示した。この図から採集個体は 1982 年、1983 年及び 1984 年産の 3 年級群から成っていることが示される。各個体がどの年級群に属するかの区分は、図 2 に示す境界線により行った。境界線付近の一部の個体については鱗読により年級群を確定した。このうち、1983 及び 1984 年級の個体を Ir 標識検出標本として用いた。Ir 標識魚発見のためには、採集標本全てを分析することが望ましいが、分析能力に限界があるため、分析尾数を 1 年級群当り月に約 300 個体と限定した。採集標本数がこれを越えた場合には、ランダムに標本抽出を行った。1983 年級群の分析個体数は月別に 0~310 尾、合計 1,676 尾であり、1984 年 1 月の 310 尾及び 4 月の 300 尾が最大であった。1984 年級では、月別に 26~218 尾、合計 1,776 尾であり、1984 年 9 月の 218 尾が最大であった。ただし、1983 年 8 月の標本においては、Ir 標識魚は外部形態により天然魚と明瞭に区別できたので、分析は一部の個体のみについて行われた。

Ir 標識の検出器官として鱗が用いられた。鱗は Ir が高濃度に、しかも長期間蓄積し (加藤, 1990)、標本採集・輸送・保存・試料作製が容易なこと等の理由により、標識検出用器官として利点が多い。分析に用いた 1 尾当りの鱗試料重量は 1983 年級群で Ir 投与開始直前の 7 月 25 日の個体で 0.1~0.2 mg、投与終了直後の 8 月 11 日の個体で 5.3~45.9 mg、9 月 13 日で 32.0~53.0 mg、10 月 18 日以降で 77~105 mg であった。1984 年級群では 6 月 18 日の個体で 14.0~74.3 mg、7 月 19 日で 11.5~58.2 mg、8 月 11 日に 34.2~103.5 mg 及び 9 月 19 日以降で 100~110 mg であった。

これらの鱗標本は秤量後ポリエチレン袋にシーム封入し、個体番号を記入し、分析用試料とした。鱗試料を封入したポリエチレン袋 50~100 個を 1 本の円筒形ポリエチレン製カプセル (長さ 135 mm、直径 30 mm) に封入した。同時にカプセル内に Ir 標準体 (2 μ g) 1 個を封入した。

試料入りポリエチレン製カプセルは日本原子力研究所 (茨城県東海村) の実験用原子炉 JRR-2 号炉の炉心タンク内重水反射領域の照射孔 (熱中性子束最大 $5.4 \times 10^{13} \text{n/cm}^2 \cdot \text{sec}$) に気送管を用いて送り、熱中性子を 20 分間照射し、放射化した。

放射化した試料は実験室に運ばれ、冷却を行った。冷却期間は目的核種であるイリジウム (Ir) の放射性同位元素 ^{192}Ir の半減期 (72 d) を目安とした。冷却を終った試料を Ge (Li) 半導体放射線検出器とマルチチャンネル・ガンマ線波高分析機を用い、核種の同定・定量を行った。1 試料当りの測定時間は 100 秒 (Live time) であった。 ^{192}Ir の測定は加藤 (1990) と同様の方法でなされた。

3. 結果と考察

(1) バックグラウンド標本の分析

1983 年 7 月 25 日に Ir 標識を目的として採集したマダイ稚魚の鱗及び 1983 年 8 月 12 日に採集した天然マダイ稚魚の鱗、脊椎骨及び肝臓を分析した結果、 ^{192}Ir は検出されなかった。これにより、Ir 投与直前の稚魚及び志々伎湾の天然幼魚には Ir が存在しないことを確認した。

(2) 鱗の Ir 濃度の時間的变化

Ir 投与終了直後から 72 時間まで：1983 年 8 月 8 日の投与終了から 2 時間後の鱗の平均 Ir 含有濃度 (ppm、以下 Ir 濃度とする) は 25.8、4 時間で 22.9、6 時間で 19.1、8 時間で 17.1、10 時間で 11.7、24 時間で 9.2 と急激に減少したが、43 時間で 9.7 及び 72 時間で 13.2 と若干増加傾向を示した (図 3)。

Ir 投与終了直後では鱗中の Ir は代謝により急激に外へ出て行く。しかし、一定時間後に他の器官 (消化器官、肝臓、筋肉等) から排出した Ir が再び鱗に吸収されたため、鱗の Ir 濃度は再び上昇したと推定される。

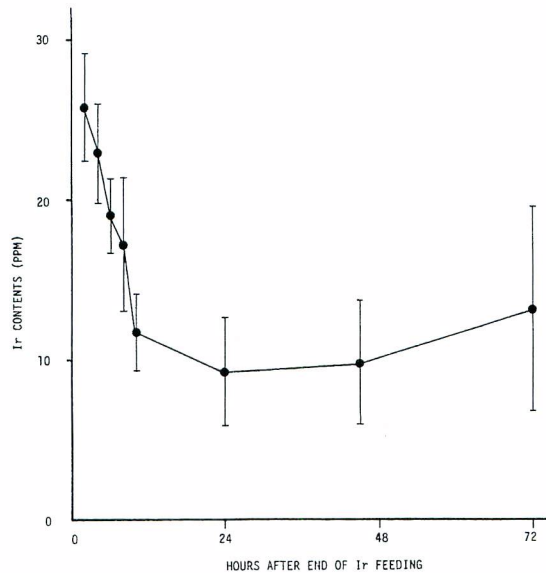


Fig. 3. Change of Ir contents in scales of red sea bream from 2 to 72 hours after end of Ir feeding in Group A, August 1983.

A群における長期間の変化：図4にA群の長期間にわたる鱗の月別平均Ir濃度の変化を示す。ただし、曲線は各平均値に当てはまるようフリーハンドで描いたものである。平均Ir濃度 (ppm) は1983年8月8日の8.0、25日の6.7から10月の0.15に急激に減少した(月当り2.6)。その後、1984年5月の0.09までゆるやかに減少し(月当り0.09)、1984年6月以降では減少傾向がやや強まり(月当り0.012)、同年9月に0.04となった。

B群における長期間の変化：図5にB群の長期間にわたる鱗の月別平均Ir濃度の変化を示す。平均Ir濃度 (ppm) は1984年6月に5.39、7月に0.73及び8月に0.13と急激に減少した(月当り1.75)。9月から1985年2月までIr濃度は0.13から0.08までゆるやかに減少し(月当り0.006)、1985年3月以降は減少傾向がやや強まり(月当り0.08)、9月に0.03となった。

標識魚の体成長の項で述べるように、A及びB群の成長は夏から年末まで大きかったのに対し、年末から翌年晩春にかけて停滞した。鱗の月当りIr濃度の減少割合の変化は体成長の変化と一致した。鱗中のIr重量は一定であるので、体成長に伴う鱗重量の増大は、鱗のIr濃度の減少を引き起こす。それゆえ、体成長の増加割合と鱗のIr濃度の減少割合が負の相関を示すと推測された。

A群の鱗の平均Ir濃度はIr投与終了後14ヵ月で0.04 ppm及びB群のそれは同じく16ヵ月で0.03 ppmとなった。これらの値は飼育マダイの実験結果であるIr投与終了24ヵ月後のIr濃度0.04 ppm(加藤, 1990)とほぼ等しかった。現在の分析能力では0.01 ppmまで十分検出可能なのでIr標識は2年以上使用可能であることを示した。加藤(1990)の飼育魚では、Ir投与期間が40日及び投与終了時の体重が24 gに対し、放流魚では投与期間が15日及び体重は2~3 gであった。ゆえに、投与終了時のIr蓄積量の絶対値は両者で大きく相異したとみられる。しかし、鱗のIr濃度は鱗重量当りのIr重量という相対値を示しているため、両者に大きな相異がみられなかったと考えられる。

(3) Ir標識魚の月別、採集地点別出現状況

A群(1983年8月～1985年1月, 図6-1～3)

A群は8月～10月には放流地点付近の湾奥部(水深10mあるいはそれ以浅)に分布した。11月～12月の分布は湾奥部から湾中央部に, 更に翌年1月には水深30m付近の湾口部まで広がった。2月～3月の主な分布は水深30～40mの湾口部にあり, 湾奥部及び湾中央部には少なかった。4月～6月の分布は再び湾全体に広がり, 7月～8月には主な分布は湾奥部及び湾中央部にみられた。9月～12月には湾中央部にはまばらに分布がみられ, 翌年1月には湾口部にのみ分布した。

B群(1984年6月～1985年9月, 図7-1～3)

B群は6月～7月に湾奥部に, 8月～12月に湾奥部及び湾中央部に分布した。翌年1月～2月の分布は主に湾中央部及び湾口部にみられたが, 3月には湾のどの部分にもみられなかった。4月～9月に再び湾全体に広くみられたが, 8月～9月ではまばらな分布状態を示した。

A群及びB群の月別分布の変化からマダイの0年魚は秋から冬にかけて湾奥部から湾口部に移動し, 翌年2～3月には多くは一度湾外へ去る。4月には再び湾内に戻り, 夏には広く湾内に分布する。1年魚となった幼魚の大部分は秋以降次第に湾外へ移動し, 外洋生活に向う。しかし, 1年魚の極めて小数の個体は更にもう1冬を湾内で越すことが確認された。

(4) Ir標識魚の検出尾数

表1にA群及び表2にB群の月別標本尾数, 分析尾数, Ir標識魚尾数及びIr標識魚の出現割合を示した。

A群: 分析した1,676尾中Ir標識魚と判断された個体数は定点で476尾及び追跡調査用追加点で113尾, 合計589尾であった。

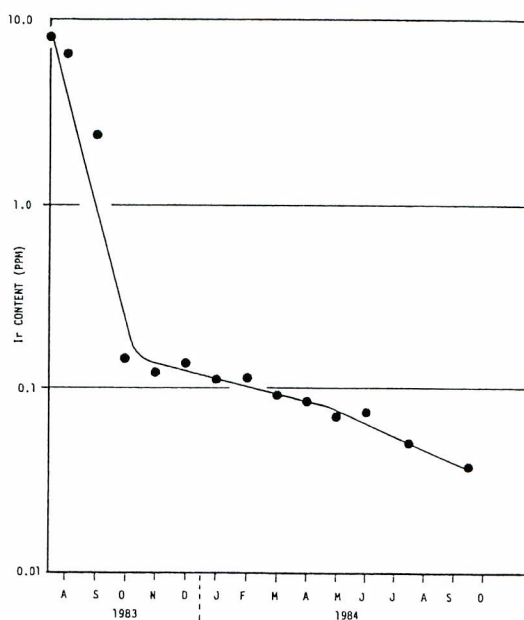


Fig. 4. Change of average Ir contents (ppm) in scales of red sea bream of Group A, 1983 to 1984.

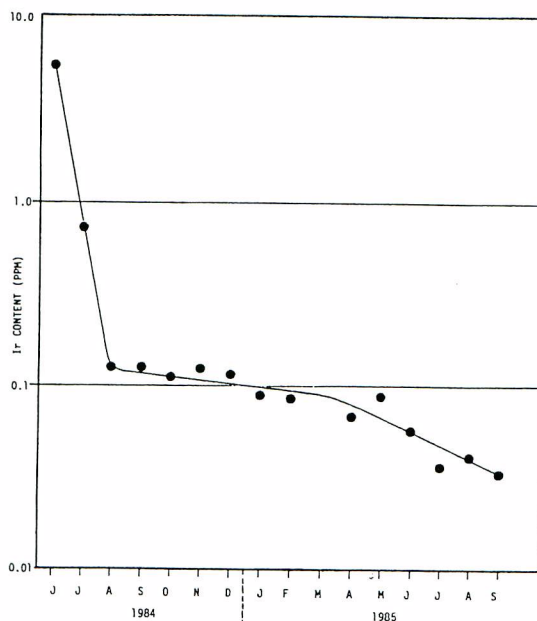


Fig. 5. Change of average Ir contents (ppm) in scales of red sea bream of Group B, 1984 to 1985.

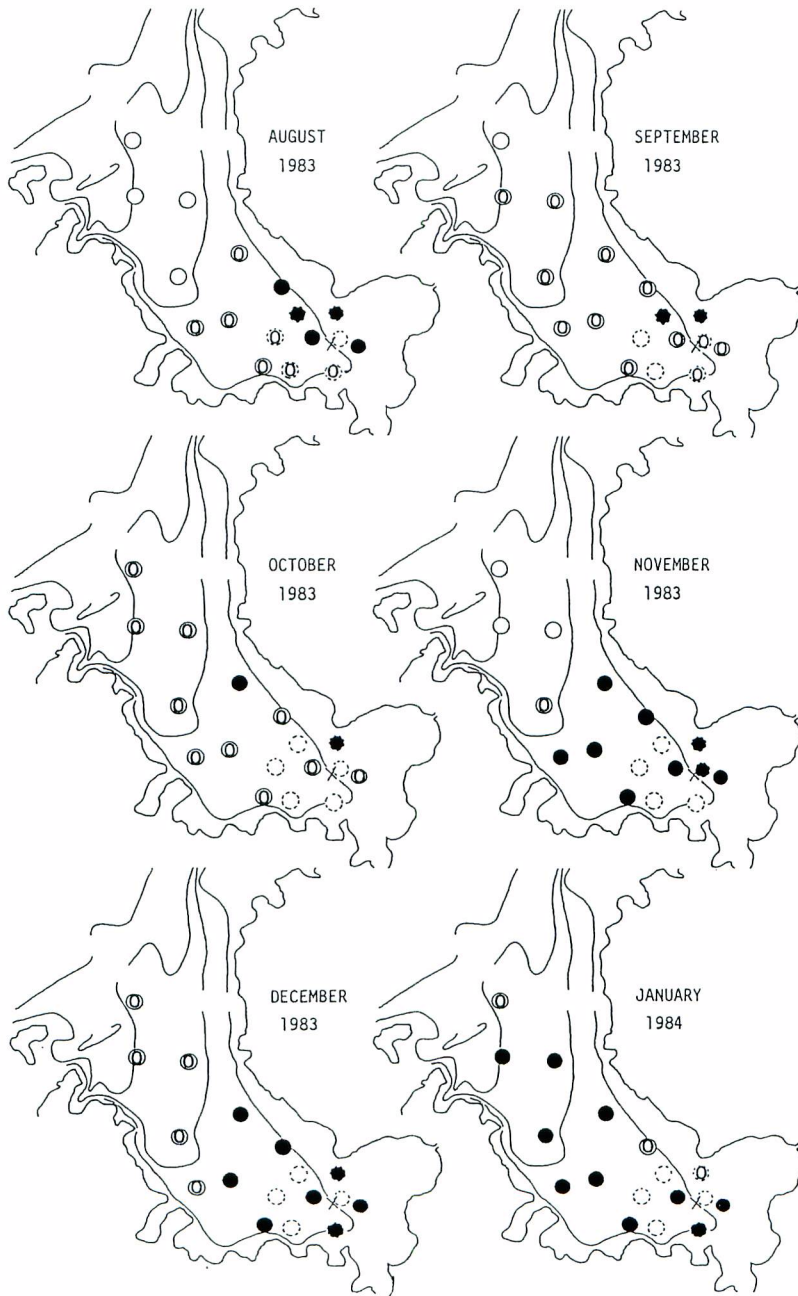


Fig. 6-1. Seasonal distribution of Ir marking red sea bream, Group A, by month in Shijiki Bay, August 1983 to January 1985.

Open and dotted circle : sampling locations. Closed circle : locations where Ir marked fish were caught. 0 means no catch.

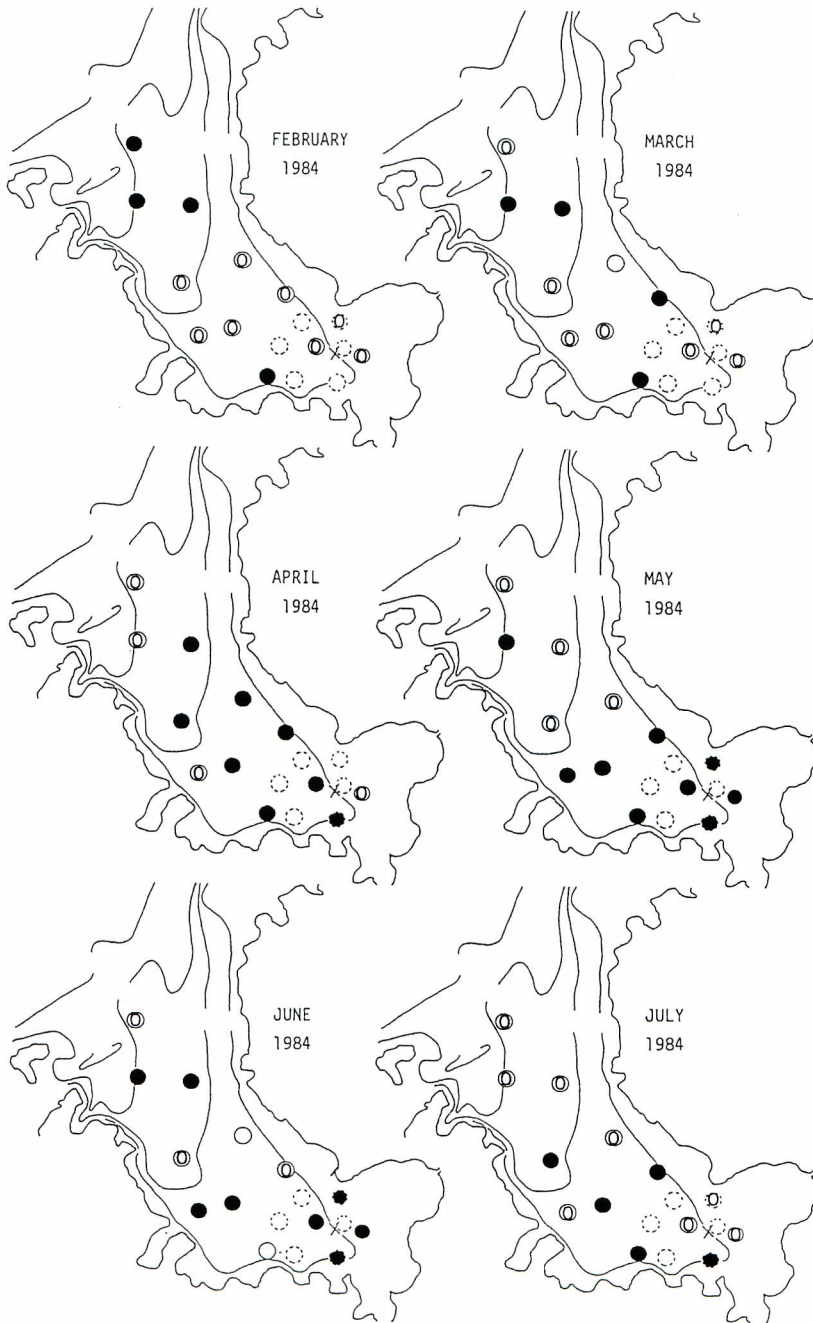


Fig. 6-2. Followed.

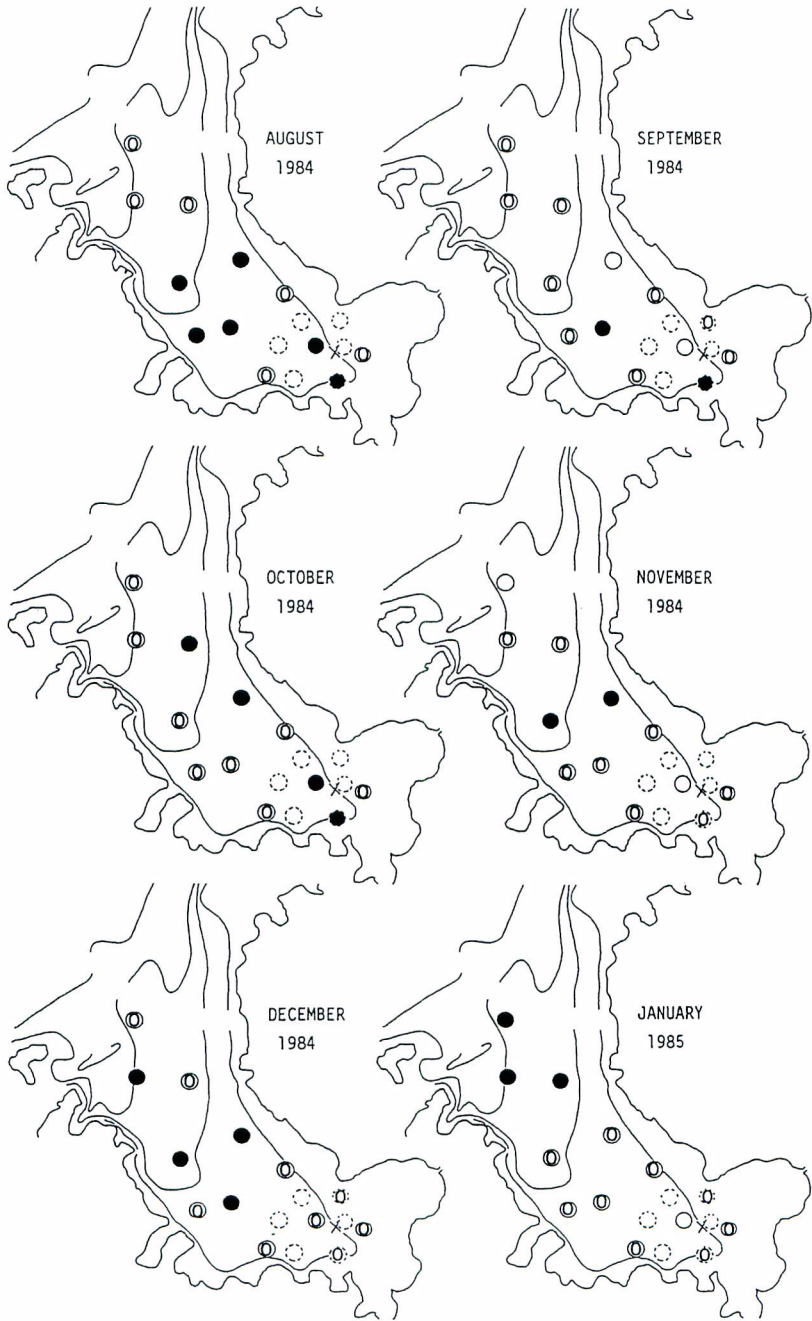


Fig. 6-3. Followed.

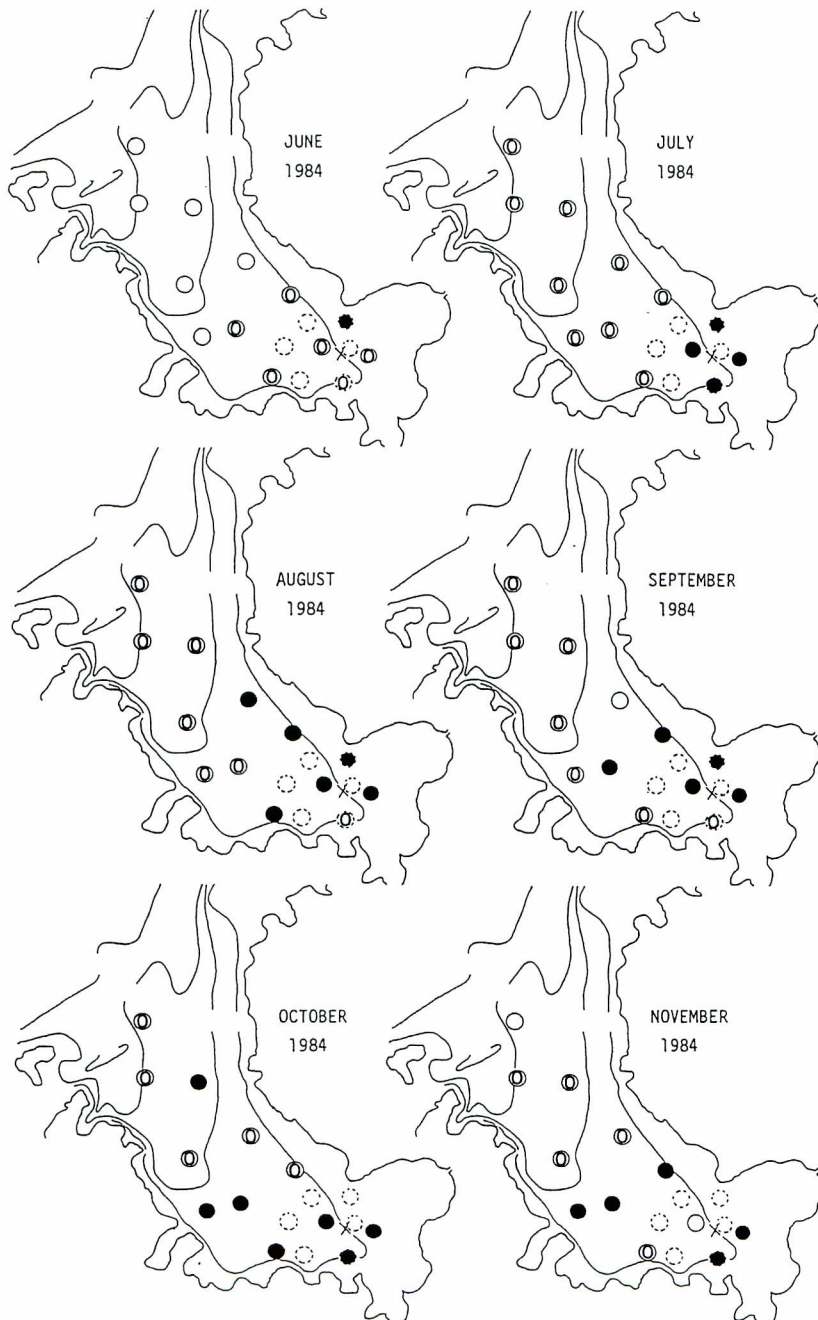


Fig. 7-1. Seasonal distribution of Ir marking red sea bream, Group B, by month in Shijiki Bay, June 1984 to September 1985.

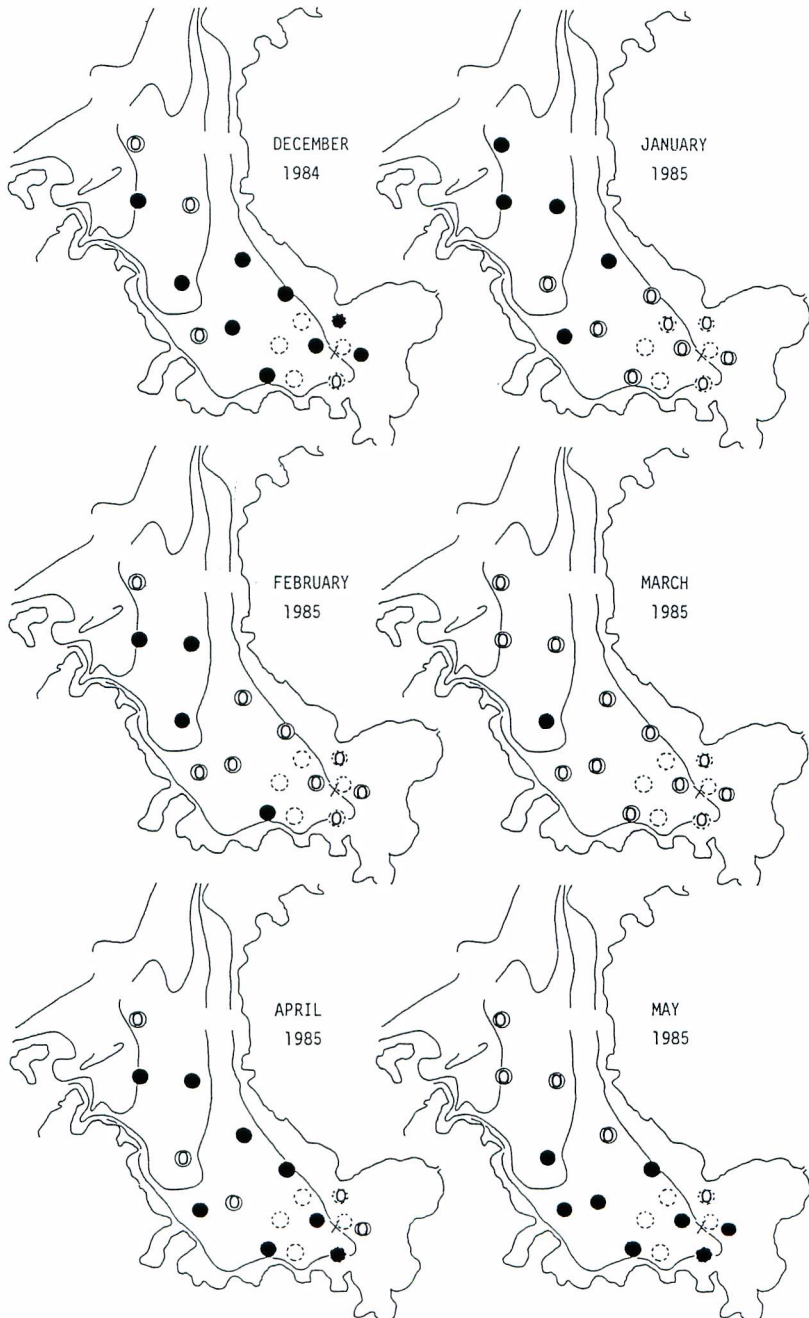


Fig. 7-2. Followed.

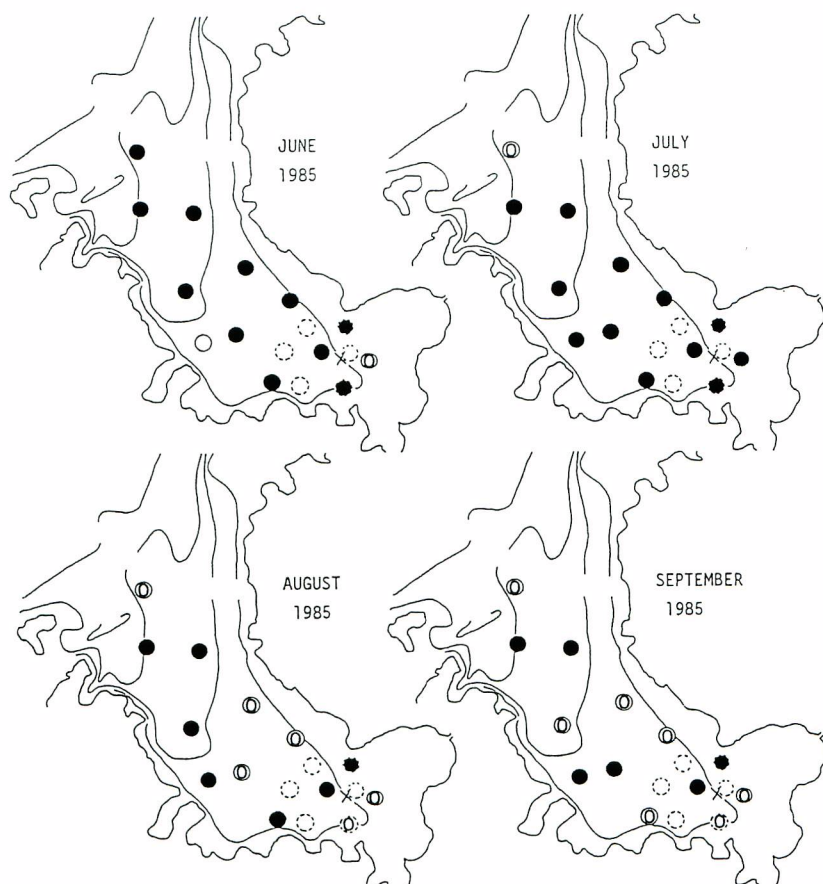


Fig. 7-3. Followed.

湾全域の標本の分析が行われた 1983 年 11 月以降の月別 Ir 標識検出尾数は 1984 年 6 月まで 15~136 尾 (月平均 62.8 尾), 7 月から 1985 年 6 月まで 2~18 尾 (8.3 尾) 及び 1985 年 2 月から 6 月まで 0~1 尾 (0.8 尾) であった。1984 年 3 月の Ir 標識魚数 (15 尾) はその前後の月 (48 及び 75 尾) と比べて非常に少なかった。

B 群: 分析した 1,766 尾中 Ir 標識魚と判断された個体数は定点で 493 尾及び追跡調査用追加点で 113 尾, 合計 606 尾であった。1984 年 6 月から 1985 年 7 月までの月別 Ir 標識検出尾数は 8~64 尾 (月平均 40.9 尾) 及び 8 月から 9 月まで 18~19 尾 (18.5 尾) であった。1985 年 3 月の Ir 標識魚数 (8 尾) はその前後の月 (29 及び 41 尾) と比べて非常に少なかった。

A 群において放流 26 カ月後の標本から Ir 標識が発見された。この標本は最も長く Ir 標識が追跡された個体であった。夏以降 2 年魚は湾外へ逸散するため, これ以上の Ir 標識魚の追跡は不可能であった。

標本採捕努力量を一定とみなすと, 各月の Ir 標識魚数の変化は放流マダイ数量の湾内における消長を示す。A 及び B 群は放流後約 1 年間は Ir 標識魚再捕数に大きな変化はなく, この間に死亡あるいは逸散が非常に少なかったことを示す。両群とも放流翌年の 2~3 月に再捕尾数は大きく減少し, 3~4 月に元の値に戻った。このことは, 放流マダイの多くが 2~3 月に短期的に湾外へ移動したことを示す。木曾

Table 1. Number of samples caught, number of samples analysed, number of fish with Ir marking and proportion of fish with Ir marking of red sea bream by month in Group A of Shijiki Bay. August 1983 to June 1985.

Year	Month	No. samples caught (A)	No. samples analysed (B)	No. fish with Ir marking (C)	Proportion of fish with Ir marking (C/B) (%)
1983	August	2,818	26	26	100.0
	September	647	8	8	100.0
	October	210	36	10	27.8
	November	99	80	42	52.5
	December	196	186	78	41.9
	S. total	3,970	336	164	
1984	January	353	310	136	43.9
	February	248	195	48	24.6
	March	302	44	15	34.1
	April	469	298	75	25.2
	May	220	185	63	34.1
	June	122	122	42	34.4
	July	46	41	9	22.0
	August	51	37	13	35.1
	September	18	18	2	11.1
	October	70	47	6	12.8
	November	23	15	4	26.7
	December	72	6	2	33.3
S. total	1,994	1,318	415		
1985	January	12	9	6	66.7
	February	2	1	1	100.0
	March	0	0	0	—
	April	3	1	0	0.0
	May	5	5	1	20.0
	June	6	6	2	33.3
	S. total	28	22	10	
G. total	5,992	1,676	589		

(1985)によると、志々伎湾のマダイ0年魚は放流翌年の1～3月に湾奥及び湾中央部を中心に分布した。本研究では2～3月のマダイ0年魚の主たる分布は湾口あるいはそれより外部にあることを示した。湾内の分布・移動は各年における水温、飼料条件等に影響されたものとみられるが、越冬場が湾口よりわずかに離れた湾外に存在する可能性を示している。放流後満1年以降では採集尾数及びIr標識魚数は急激に減少した。このことは、放流マダイの多くが、逸散あるいは死亡したことを示す。この時期のマダ

Table 2. Number of samples caught, number of samples analysed, number of fish with Ir marking and proportion of fish with Ir marking of red sea bream by month in Group B of Shijiki Bay. June 1984 to September 1985.

Year	Month	No. samples caught (A)	No. samples analysed (B)	No. fish with Ir marking (C)	Proportion of fish with Ir marking (C/B) (%)	
1984	June	1,816	38	38	100.0	
	July	468	61	29	17.9	
	August	224	122	36	29.5	
	September	399	218	47	21.6	
	October	335	126	50	39.7	
	November	176	76	35	46.0	
	December	182	155	51	33.0	
	S. total	3,600	796	286		
	1985	January	311	173	64	37.0
		February	215	149	29	19.5
March		154	65	8	12.3	
April		242	92	41	44.6	
May		185	145	25	17.3	
June		497	171	55	32.2	
July		148	115	62	54.1	
August		48	34	19	56.3	
September		34	26	17	64.7	
S. total		1,834	970	320		
G. total	5,424	1,766	606			

イのサイズ(平均体長 100 mm, 平均体重 30 g)からみて, 死亡率が急に高くなるとは考えられない。成長に伴う生理的・生態的要因により湾外へ移動を開始したものと推測される。

(5) Ir標識魚の出現割合

分析尾数中のIr標識魚の出現割合から湾内のマダイに占める放流魚の生態的位置を検討する。放流直後の1~2カ月においては, 放流魚は外部形態(松宮・金丸・岡・立石, 1984)により明瞭に天然魚と区別できたので, 放流魚と確認された採集個体については放射化分析なしにIr標識魚とみなした。また, ランダムサンプリングを行った場合には次の式により修正Ir標識魚尾数を計算した。

$$\text{修正Ir標識魚尾数} = \text{標本尾数} \times (\text{Ir標識魚尾数} / \text{分析尾数})$$

表3にA群及び表4にB群の月別1回操業当りの標本尾数, 分析尾数, Ir標識魚尾数, 修正Ir魚尾数及び天然魚尾数を示した。

大部分の月では全定点での操業は1回しか行われなかった。1983年8月, 1984年6月及び7月では全

Table 3. Number of samples caught by one operation, in each station, number of samples analysed, number of fish with Ir marking, corrected number of fish with Ir marking and number of natural fish of red sea bream by month in Group A of Shijiki Bay, August 1983 to February 1985.

Year	Month	No. of samples caught in one operation (A')	No. of samples analysed (B)	No. of fish with Ir marking (C)	Corrected no. of fish with Ir marking (C'=A'(C/D))	No. of natural fish (A'-C')
1983	August	769	26	26	*410	359
	September	647	8	8	*109	538
	October	210	36	10	58	152
	November	99	80	42	52	47
	December	196	186	78	82	114
1984	January	353	310	136	155	198
	February	248	195	48	61	187
	March	302	44	15	103	199
	April	469	298	75	118	351
	May	220	185	63	75	145
	June	122	122	42	42	80
	July	46	41	9	10	36
	August	51	37	13	18	33
	September	18	18	2	2	16
	October	70	47	6	9	61
	November	23	15	4	6	17
	December	72	6	2	24	48
1985	January	12	9	6	8	4
	February	2	1	1	2	0
Total		3,929	1,664	586	1,344	2,585

* Including fish judged to be with Ir making by sighting.

定点において複数回の操業が行われた。この場合、最大採捕尾数のあった操業を資料として用いた。各調査点の操業は月により必ずしも完全に行われたわけではないが、特に修正を加えなかった。上記以外の時期においていくつかの調査点で複数操業が行われた場合には、その平均値を取った。修正再捕尾数はA群で1983年8月から1985年2月まで月当たり0~410尾、合計1,344尾及びB群で1984年6月から1985年9月までに月当たり19~1,430尾、合計2,567尾であった。

放流魚の湾内における月別出現割合は、A群では11月から翌年1月まで40~50%台であったが、その後若干低下し、3月から8月まで20~30%台を示した。即ち、放流直後を除く約1年間はその割合に大きな変化はみられなかった。9月から11月まで10~20%台に減少したが、12月から翌年1月では30~60%台の高率を示した。

Table 4. Number of samples caught by one operation in each station, number of samples analysed, number of fish with Ir marking, corrected number of fish with Ir marking and number of natural fish of red sea bream by month in Group B of Shijiki Bay, June 1984 to February 1985.

Year	Month	No. of samples caught in one operation (A')	No. of samples analysed (B)	No. of fish with Ir marking (C)	Corrected no. of fish with Ir marking (C = A'(C/D))	No. of natural fish (A' - C)
1984	June	1,452	38	38	* 1,430	22
	July	222	61	29	106	116
	August	224	122	36	66	158
	September	399	218	47	86	313
	October	335	126	50	133	202
	November	176	76	35	81	95
	December	182	155	51	60	122
1985	January	311	173	64	115	196
	February	215	149	29	42	173
	March	154	65	8	19	135
	April	242	92	41	108	134
	May	185	145	25	32	153
	June	497	171	55	160	337
	July	148	115	62	80	68
	August	48	34	19	27	21
	September	34	26	17	22	12
Total		4,824	1,766	606	2,567	2,257

* Including fish judged to be with Ir marking by sighting.

B群では、月別割合は放流直後の8月から翌年1月まで主に20~40%台を示し、2月から3月に10~20%台に減少した。4月から6月では10~40%台を示したが、7月以降では急激に増加し50~60%台の高率を示した。

以上をまとめると、1983年夏から1985年秋まで放流魚は湾内の0年魚の20~30%及び1年魚の30~50%をしめた。放流魚の割合が0年魚より1年魚で高いことは、放流魚の0年魚における生残率が高かったこと、あるいは1年魚の湾内残留性が高かったことのどちらかを示すと考えられる。マダイ幼魚の死亡率は加入後数ヶ月で安定すると考えられるので、0年魚全期間を通じて常に放流魚の生残率が天然魚より高いとは考えられない。天然魚では湾外への逸散率が高いことあるいは放流魚では湾内残留性が高いことを示すのかも知れない。

(6) Ir標識魚の成長

Ir標識魚の月別尾叉長及び体重の変化から、その成長の過程を検討した。A群及びB群の尾叉長の平均値と範囲を図8に、体重の平均値と範囲を図9に示した。

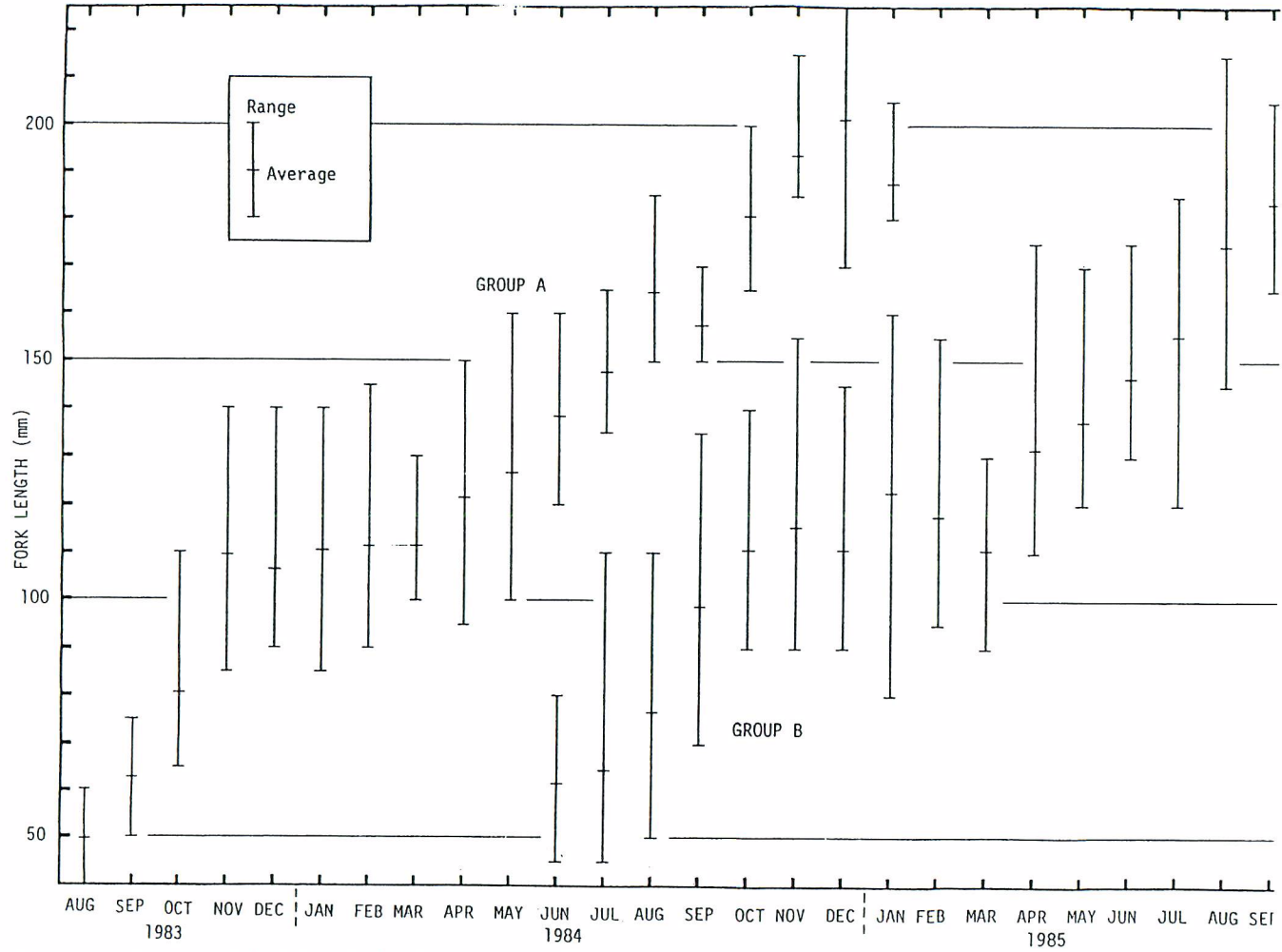


Fig. 8. Seasonal change of fork length of red sea bream with Ir marking in Shijiki Bay, Group A : August 1983 to January 1985. Group B : June 1984 to September 1985.

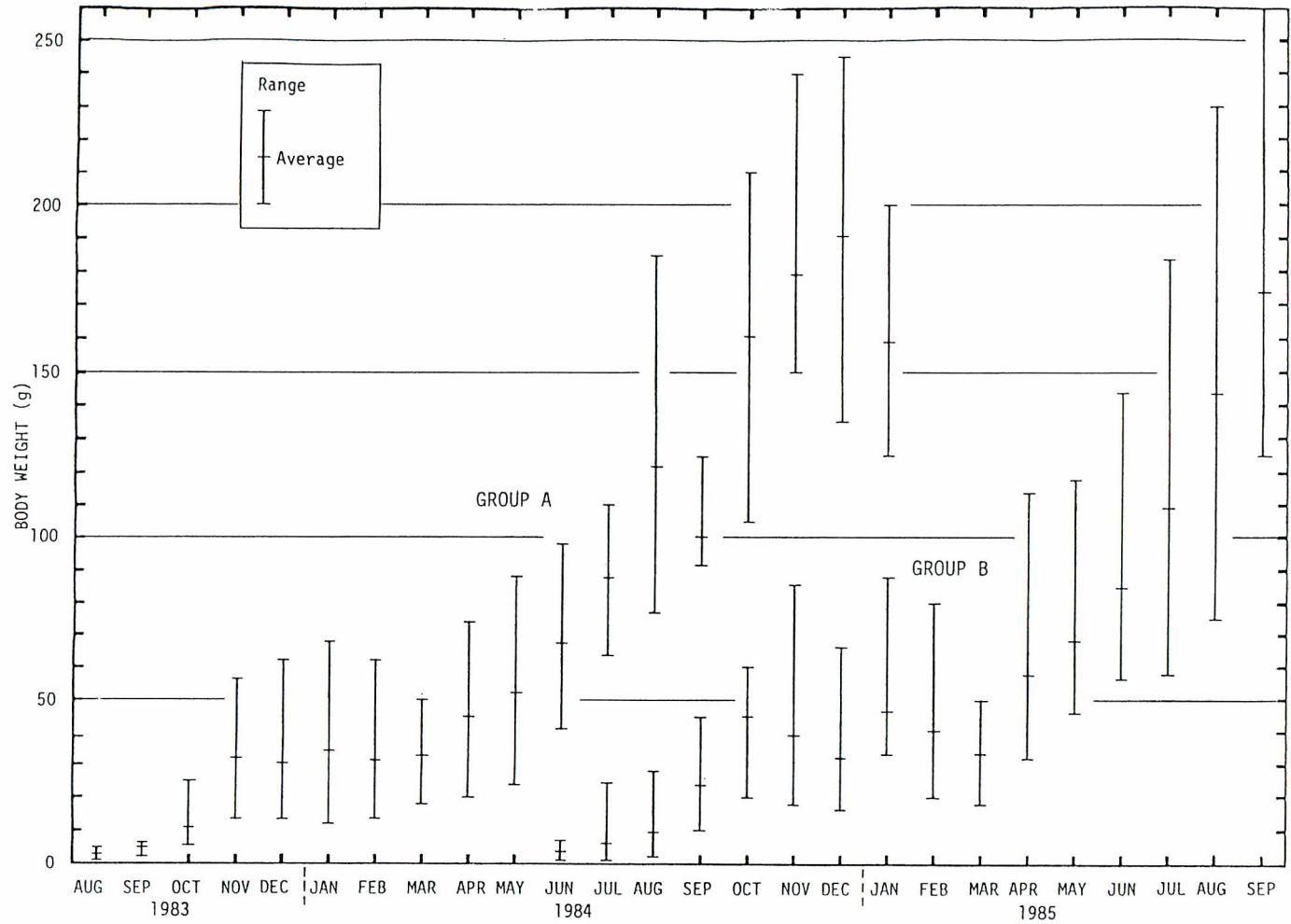


Fig. 9. Seasonal change of body weight of red sea bream with Ir marking in Shijiki Bay, Group A : August 1983 to January 1985. Group B : June 1984 to September 1985.

尾 叉 長

A群：平均尾叉長は1983年8月に50 mm, 10月に80 mm及び11月に109 mmと急激に増加した(月平均増加割合15 mm)。12月から翌年5月では106から127 mmにわずかに増加した(月平均4 mm)。1984年6月に138 mm, 8月に164 mm, 10月に181 mm及び12月に201 mmと再び大きく増加した(月平均9 mm)。

B群：平均尾叉長は1984年6月に61 mm, 8月に77 mm, 10月に111 mmと大きく増加した(月平均10 mm)。11月から翌年5月では112から137 mmにわずかに増加した(月平均4 mm)。1985年6月に147 mm, 8月に175 mm及び9月に184 mmと再び大きく増加した(月平均9 mm)。

体 重

A群：平均体重は1983年8月に3 g, 10月に11 g及び11月に32 gと大きく増加した(月平均7 g)。12月から翌年5月まで34から54 gにわずかに増加した(月平均3 g)。1984年6月に67 g, 8月に122 g, 10月に161 g及び12月に191 gと急激に増加した(月平均18 g)。B群：平均体重は1984年6月に2 g, 8月に10 g及び10月に34 gと大きく増加した(月平均6 g)。11月から翌年5月まで32から68 gにわずかに増加した(月平均5 g)。1985年6月に85 g, 8月に144 g及び9月に173 gと急激に増加した(月当たり22 g)。

体成長の季節変化は両群とも同様の傾向を示した。放流時から年末にかけて大きく成長し, 年末から2年目の晩春(5月)までは成長が停滞した。放流後2年目の夏から年末までは再び大きく成長した。成長の季節的变化は体重において著しかった。

体成長の変化は単純に水温の影響によっているとは考えられない。季節的には11月から3月までは低水温であり, 4月以降は水温は急激に上昇する。餌料生物の発生もこの水温と連動する(木曾, 1980: 1982: 1985)。木曾(1985)によると, 1975~1976年の志々伎湾の天然マダイは11月~3月の期間ほとんど成長しなかったが, 4月~5月では再び成長を開始した。一方, 本研究では放流マダイの成長は放流翌年の4月から5月において殆ど停滞し, 木曾(1985)と異なった結果となった。これは4月, 5月に大型魚が湾外へ逸散したことによるみかけ上の結果かも知れない。

(7) Ir標識魚の生残過程の検討

標識魚の再捕状況から, 放流魚の死亡率, 資源量等を推定し, 志々伎におけるマダイ放流魚の生残過程を分析した。

基礎試料として月別の修正再捕尾数を用いた(表3及び4)。

月を単位として放流後の時間と再捕数の相関をみると, A群では相関係数 $r = 0.8356$ 及びB群では 0.5146 であった。再捕過程に指数分布を仮定した場合, A群はこれを満足したが, B群はこれを満足しなかった。放流魚は1年魚の夏までは湾内に生活し, 秋以降急速に湾外へ移動した。従って秋以降1年魚の再捕尾数は大きく減少した。A群の資料はこの部分を含んでいるのに対し, B群の資料は含んでいない。このことが, 両者の相関関係が大きく異なった理由と考えられる。

死亡係数の推定

標識放流の再捕結果から死亡係数の推定を行うために, 田中(1985)の指数関数モデルを用いた。 N_0 を放流尾数, N_t を放流後の経過時間 t における標識魚の生残尾数, F を漁獲係数及び M を逸散を含む自然死亡係数及び全減少係数を $Z(F+M)$ とすると,

$$N_t = N_0 e^{-(F+M)t}$$

となる。単位時間間隔 t 中の再捕尾数を m_t とすると,

$$m_t = N_{t-1} \frac{F}{F+M} (1 - e^{-(F+M)})$$

となる。漁獲利用率を E とおくと、

$$\ln m_t = \ln E N_0 - (F+M)(t-1)$$

となり、この回帰式から F 及び M を推定した。

指数関数を満足した A 群の資料を用いて計算した結果、1 日当りの Z は 0.0074, F は 0.0002 及び M は 0.0072 であった。また、Paulik による最尤法 (北田, 1985) を用いて計算した結果、 Z は 0.0066, F は 0.0010 及び M は 0.0056 であった。

他のマダイ稚魚の標識放流実験の結果 (日本栽培漁業協会, 1987) をみると、1978~1981 年の三浦半島西岸海域) では M は 1 日当り 0.0011~0.0017 (田中の方法) 及び 0.0014 (Paulik の方法)、また、北田 (1985) によると、1980 年の瀬戸内海で 0.0102 (Paulik の方法) ~0.0123 (田中の方法) であった。本研究の値は上記 2 者の中間的な値を示した。しかし、各実験とも標識法、放流魚の年齢や体長・体重、放流海域等が異なるので、真の生残率に相違があったかどうかは明確ではない。A 群の減少の原因は逸散によるものも大きいとみられ、本研究におけるマダイの真の死亡係数は明らかではない。また、資料とした採捕尾数に基本的な問題点があった。即ち、放流直後ではマダイ稚魚は集群性が強いので、1 回毎の採捕尾数にバラツキが大きくみられたこと、放流後数ヶ月間は陸岸付近の浅海域に主として分布したこと、冬期 (2, 3 月) では 1 時的に湾外へ逸散する個体が多かったこと等、採捕尾数が放流魚の分布全体を必ずしも十分に代表しなかった可能性がある。

現存量の推定

A 群の全減少係数は田中の方法で月当り 0.2206 であった。ゆえに、A 群の推定資源量は次の式で表わされる。

$$N_t = 50,000 e^{-0.2206t} \quad (t \text{ は月単位})$$

この式から、A 群の現存量は放流直後の 50,000 尾から、8 月に 40,000 尾、9 月に 32,000 尾と急速に減少し、1984 年 8 月に 2,800 尾 (当初の 5.7%) 及び 1985 年 2 月に 700 尾 (当初の 1.5%) となったと推定された。

表 3 に全採捕尾数から Ir 標識魚尾数を差し引いた天然魚採捕尾数を月別に示した。天然魚に新たな加入がなかったと仮定し、時間と採捕尾数の相関をみると、相関係数 $r = 0.7907$ であった。前述と同じ田中の方法による天然魚の全減少係数は 0.2168 と推定された。また、全採捕尾数と全標識魚再捕尾数の関係から 1983 年 8 月の標識魚放流時の天然魚の現存量は 175,000 尾と推定された。ゆえに、天然魚の推定現存量は次の式で表わされる。

$$N_t = 175,000 e^{-0.2168t} \quad (t \text{ は月単位})$$

この式から、天然魚の資源量は 1983 年 8 月に 141,000 尾、9 月に 113,000 尾と急速に減少し、1984 年 8 月に 10,000 尾及び 1985 年 2 月に 2,800 尾となったと推定された。

以上から志々伎湾における 1983 年発生のマダイの資源量は 1983 年 8 月の標識魚放流直後で 225,000 尾、1984 年 8 月で 13,000 尾及び 1985 年 2 月で 3,600 尾と推定された。

7 月中・下旬の志々伎湾の 0 年魚の資源量について、松宮 (1980) は 1975~1977 年に 6~42 万尾及び木曾・松宮 (1980) は 1977 年に 18 万尾と推定し、志々伎湾内のマダイ資源量は年により大きく変動することを示した。本研究の推定値は上記の範囲に入っているが、資源量の推定方法と経年的変化については今後さらに詳細な検討がなされなければならないと考える。

4. 論 議

Ir標識法を用い志々伎湾のマダイの分布・回遊、成長、資源状態等を解明した。このIr標識魚放流実験は、飼育実験の結果有効とされたIr標識法(加藤, 1990)を、実際のフィールドに応用したものである。Ir標識の使用により、他の方法では困難だった体長 30~60 mm, 体重 2~4 gの小型魚に大量に標識付けを行い、しかも最大 26ヵ月の長期間、標識魚の追跡を行うことができ、標識放流実験として十分な成果を上げることができた。また、起源の明白な標識魚を長期間追跡することにより、志々伎湾におけるマダイの時空間的移動、成長の過程、死亡・逸散等の資源動向の一面を把握することができた。

過去において魚類に対する複数の標識元素による複数魚種への投与実験が行われた。希土類元素¹⁵²Euはシロザケに対し(渋谷・米盛・加藤・西野・小林・阿部, 1978; 加藤, 1985), 同じく¹⁶⁰Tbはヒラメに対し(加藤・興石・吉田, 1987)及び金属元素¹⁹²Ir(加藤, 1990及び本報告)はマダイに対し有効な標識元素核種として認められた。一方、希土類元素¹⁵³Sm(米盛・加藤・西野・小林・渋谷・奥野, 1975)はシロザケに対し及び同じく¹⁷⁵Yb(加藤・渋谷・結田・大滝・増村, 1981)はマダイに対し有効な標識元素核種として認められなかった。標識元素核種が有効であるためには多くの条件を満たす必要がある。即ち、標識元素核種が放射化分析法を用いるのに適合した物理的特性を持っていること、自然状態では殆ど存在しないこと、生物体に吸収され易く、その後器官・組織に蓄積すること等である。

Ir標識魚の再捕結果から、1983年及び1984年人工放流マダイの湾内における季節的成長と回遊をまとめると、10月に平均尾叉長 80~100 mm, 平均体重 20~30 gの0年魚は翌年1月にかけて湾奥部から湾口部に移動し、110~120 mm, 30~40 gに成長した後、2~3月に大部分は一度湾外へ去った。4月に1年魚となった未成魚は再び湾内に戻り、5~7月には広く湾内に分布した。7月に150~160 mm, 90~110 gに成長したマダイ未成魚はしだいに湾外へ移動し、8~9月に大部分は170~180 mm, 120~140 gに成長し、湾外へ去った。少数の個体(200 mm, 180 g以上)は10月~翌年1月まで湾内で過し、おそらく2~3月以降外洋生活に向うものと見られるが、極めて少数の個体は2年魚となり、春~夏を湾内で過すことが示された。

以上の回遊パターンは木曾(1985)が1975~1978年のデータを用いて報告したものと大きな相異はなかった。木曾の報告は天然魚のデータを用いている点及び必ずしも同一発生群を追跡したわけではない点でこの報告と異なっているが、結果的には人工放流魚と天然魚で季節的回遊に大きな相異がなかったことを示した。また、首藤(1987)はIr標識魚及び同時に採集された天然魚のデータを基に、尾叉長が天然魚より小さい時には、両者は異なった水域に生活し、天然魚が人工放流魚を追い払う行動を示したりしたが、同一サイズになると同一水域で生活するようになったと報告した。おそらく、マダイ幼魚・未成魚は同一成長段階に達すると、人工・天然の区別なく同一群を形成し、行動・回遊を行うものと見られる。

体内標識である元素標識はタグ・ピンやチューブ・タグのような外部標識と異なり、小型マダイに標識付けを行っても、摂餌、攻撃、逃避等の行動を妨げることは全くない。Ir標識魚は天然魚と全く異和感なく同一群を形成し、行動・回遊を行ったものと推測される。

放流後100日~500日におけるIr標識魚の尾叉長は天然魚とほとんど相違がなく(首藤, 1987)、成長において人工放流魚が天然魚におとらないことを示した。また、1983年人工放流魚の全減少係数(月当たり0.2206)は1983年発生天然魚のそれ(0.2168)とほぼ等しく、死亡率(逸散を含む)において両者に差のないことを示した。

このように、1983年及び1984年に放流された人工マダイは放流数ヵ月以降、湾を去るまで生態及び生物学的特性において天然魚と匹敵する地位をしめていたことが明らかとなった。

Ir標識付人工放流魚の追跡により、同一発生・同一放流マダイの長期間における季節回遊パターン、成長が明らかとなり、また、人工放流魚と天然魚との関係についても若干の知見を得ることが出来た。今後さらに資料を分析することにより、人工放流魚とかかわりを持った天然魚の生態、生物学的特性についての詳細が明かにされるものと期待される。

従来から多くの標識放流法が開発されてきたが、すべてを満足する方法は発見されていない。IrやEuを用いる元素標識法の利点として、比較的小型稚魚に対し容易にしかも大量に標識付けができる、標識検出器官(鱗)の採集が簡単であり、標識の脱落や標識死亡がなく、かなり長期間標識の追跡ができる等の特徴をもっている。逆に、欠点として外見では標識の発見が不可能なこと、個体識別が不可能なこと、標識の検出に原子炉のような大掛かりな装置が必要なこと、厚生省等が食品である魚への添加物の投与に厳しい制限をつけていること等がある。元素標識法を水産研究に応用するためには、上記の欠点をできるだけ解決する必要がある。

要 約

西海区水産研究所・長崎大学・遠洋水産研究所は、1983年8月(A群とする)及び1984年6月(B群とする)に同年生まれのそれぞれ50,000及び40,000尾にイリジウム(Ir)標識付けを行ったマダイ稚魚を長崎県志々伎湾に放流した。

放流時の平均体長・体重はA群で49 mm, 2.4 g及びB群で60 mm, 4.1 gであった。

マダイ幼稚魚の標本採集は1985年9月まで湾内の17カ所の定点で概ね月1回の割合で行い、合計11,499尾を採集した。

標本魚から鱗を採取し、実験用原子炉を用いた放射化分析法によりIr標識の検出を行った。1983年級の1,676尾及び1984年級の1,766尾を分析したところ、それぞれ589尾及び606尾のIr標識魚が発見された。

同湾に生活する天然マダイの鱗、肝臓及び脊椎骨を分析したが、Irは全く検出されなかった。鱗中の平均Ir含有濃度(ppm)はA群で投与終了時の8.0から14ヵ月後に0.04及びB群で5.4から16ヵ月後に0.03に減少した。Ir標識は放流後26ヵ月のマダイからも検出された。

Ir標識魚の時空間的分布をみると、放流年の秋から冬にかけて湾奥部から湾口部に移動し、翌年2～3月に一度湾外へ去り、4月に再び湾内に戻り、夏には広く湾内全域に分布した。1年魚の大部分は秋以降湾外に逸散するものと推測された。

採集個体中のIr標識魚の割合は0年魚の20～30%及び1年魚の20～50%を示した。

Ir標識魚の成長をみると、放流年の6～8月から10～11月まで平均体長で月間10～15 mm, 体重で6～7 gと急速に、12月から翌年5月まで4 mm, 3～6 gとゆっくり及び6月から9～10月まで9 mm, 18～22 gと大きく成長した。

A群の再捕資料からIr標識魚の資源特性値パラメータの推定を行った。1日当りの全減少係数Zは0.007, 漁獲係数Fは0.001～0.002及び自然死亡係数(逸散を含む)Mは0.006～0.007と推定された。標識個体数は放流直後の50,000尾から1984年8月に2,800尾及び1985年2月に700尾に減少したと推定された。また、放流魚を含む1983年級のマダイ稚魚の資源量は1983年8月に225,000尾, 1984年8月に13,000尾及び1985年2月に3,600尾と推定された。

^{192}Ir は母核種の存在比，中性子捕獲断面積，半減期，光電ピーク数・エネルギー及び放出割合等の放射化分析上の物理的特性に関して有効な標識元素と判断された。

Ir 標識はマダイ小型幼稚魚に容易にしかも大量に標識付けされ，標識の脱落や標識死亡がなく，2年の長期にわたり標識として使用可能等の特長を持つことが明らかとなり，標識元素としての有効性が確認された。

文 献

- 加藤 守 1985：シロザケに対するヨーロッパウム標識技術に関する最近の知見。サケ・マス増養殖の強化。In：1982年UJNR水産増殖専門部会第11回日米合同会議シンポジウム。漁政叢書，(15)，55-70，東京。
- 加藤 守 1990：マダイに対するイリジウム標識の開発研究。遠水研研報，(27)，11-29，遠水研。清水。
- 加藤 守・渋谷政夫・結田康一・大滝高明・増村和彦 1981：魚類に対するアクチバブル・トレーサーの応用技術の開発研究(3)。昭和55年度原子力成果，1-9，遠洋水研。清水。
- 加藤 守・興石裕一・吉田範秋 1987：底魚類に対するアクチバブル・トレーサーの応用技術の開発研究(4)。In：昭和61年度国立機関原子力試験研究成果報告書，(27-107)，1-5，科学技術庁。東京。
- 木曾克裕 1980：平戸島志々伎湾におけるマダイ当歳魚個体群の摂餌生態-I。成長に伴う餌料の変化とその年変動。西水研研報，(54)，291-306，西水研。長崎。
- 木曾克裕 1982：平戸島志々伎湾におけるマダイ当歳魚個体の摂餌生態-II。食物を中心にみた生息場所の利用について。西水研研報，(57)，31-46，西水研。長崎。
- 木曾克裕 1985：平戸島志々伎湾におけるマダイ未成魚の分布様式と摂餌生態。西水研研報，(62)，1-17，西水研。長崎。
- 木曾克裕・松宮義晴 1980：平戸島志々伎湾における資源量推定のためのマダイ当歳魚の標識放流。西水研研報，(54)，307-314，西水研。長崎。
- 北田修一 1985：標識放流再捕データからパラメータを推定する方法，その理論と応用の留意点。日裁協研究資料，(28)，1-20，日裁協。東京。
- 松宮義晴・遠藤義文・畔田正格 1980：志々伎湾におけるマダイ当歳魚の資源量推定。西水研研報，(54)，315-320，西水研。長崎。
- 松宮義晴・木曾克裕 1982：平戸島志々伎湾における人工マダイ放流魚の動向と順応過程。西水研研報，(58)，89-98，西水研。長崎。
- 松宮義晴・金丸彦一郎・岡 正雄・立石 賢 1984：マダイ人工放流魚と天然当歳魚の外部形態の比較。日水誌，50(7)，1173-1178。
- 日本栽培漁業協会 1987：太平洋中区海域のマダイ資源の培養。さいばい叢書，(2)。日裁協，146 pp。東京。
- 渋谷政夫・米盛 保・加藤 守・西野一彦・小林哲夫・阿部進一 1978：アクチバブル・トレーサー法によるシロザケの標識追跡法の確立。昭和52年度原子力成果，27-34，農技研，東京。
- 首藤宏幸 1987：マダイ種苗放流の生態学的側面。昭和61年度水産増養殖研究推進会議・議事要録，19-22，東北水研。塩釜。
- 田中昌一 1985：水産資源総論。恒星社厚生閣，381 pp。東京。

米盛 保・加藤 守・西野一彦・小林哲夫・渋谷政夫・奥野忠一 1975：さけ類に対するアクチバブル・トレーサーに関する研究(5)，1-3，遠洋水研. 清水.