

ブリ (*Seriola quinqueradiata*) の産卵, 回遊生態及び その研究課題・手法について

山本敏博^{*1}・井野慎吾^{*2}・久野正博^{*3}・阪地英男^{*4}・檜山義明^{*5}・岸田 達^{*6}・石田行正^{*7}

On the Spawning and Migration of Yellowtail *Seriola quinqueradiata* and Research Required to Allow Catch Forecasting

Toshihiro YAMAMOTO, Shingo INO, Masahiro KUNO, Hideo SAKAJI,
Yoshiaki HIYAMA, Tatsu KISHIDA and Yukimasa ISHIDA

Abstract Since the yellowtail *Seriola quinqueradiata* is an important fish stock for the fixed net and purse seine fisheries around Japan, accurate forecasts of the landing at each location and fisheries management are required. In this paper we review the spawning and migration biology of the yellowtail and discuss what research is required to achieve these objectives. Spawning biology of yellowtail was reviewed from the growth of larvae and the maturation of spawning adults as well as from past data on egg and larval net surveys. The migration pattern differed with the growth stage and a large scale migration from north to south occurs after maturation. The area of distribution especially in the wintering season seems to depend on the marine environment. We consider that clarification of the relationship between the migration and environmental conditions is necessary to improve the accuracy of forecasts of landings and we discuss the research required to enable effective forecasts.

Key words: *Seriola quinqueradiata*, yellowtail, spawning, migration, environment

第1章 はじめに

ブリは, 神事にも使われるなど, 古来より我が国の人々に親しまれてきた魚である。漁業養殖業統計年報(農林水産省統計部)によれば, 平成14年のブリ養殖魚生産は10万8千トン, ぶり類海面漁業生産は5万1千トンと, ブリ鮮魚生産に養殖魚の占める割合が高い

が, 冬季に漁獲される大型のブリを始め, 各地の特徴的な漁獲物によって, 海面漁業漁獲物(天然魚)は地域文化・産業の重要な位置にある。

ブリは, 養殖種苗用のモジャコ採捕から大型ブリまで, 東シナ海から北海道沿岸域の広域で定置網, まき網, 釣りなど多様な漁業によって漁獲される。漁獲統計上, ブリはカンパチ, ヒラマサと合わせてぶり

2006年11月1日受理 (Received on November 1, 2006)

^{*1} 国際農林水産業研究センター (日本海区水産研究所から転籍) 〒305-8686 茨城県つくば市大わし1-1 (Japan International Research Center for Agricultural Sciences, 1-1, Owashi, Tsukuba, Ibaraki 305-8686, Japan).

^{*2} 富山県水産試験場 〒936-8536 富山県滑川市高塚364 (Toyama Prefectural Fisheries Research Institute, 364, Takatsuka, Namerikawa, Toyama, 936-8536, Japan).

^{*3} 三重県科学技術振興センター水産研究部 〒517-0404 三重県志摩市浜島町浜島3564-3 (Fisheries Research Division, Mie Prefectural Science and Technology Promotion Center, 3564-3, Hamajima, Shima, Mie, 517-0404, Japan).

^{*4} 中央水産研究所高知庁舎 〒780-8010 高知市棧橋通6-1-21 (National Research Institute of Fisheries Science, 6-1-21, Sanbashidori, Kochi, 780-8010, Japan). 現所属: 中央水産研究所 〒236-8648 横浜市金沢区福浦2-12-4 (National Research Institute of Fisheries Science, 2-12-4 Fukuura, Kanazawa, Yokohama, 236-8648, Japan).

^{*5} 西海区水産研究所 〒851-2213 長崎市多良良町1551-8 (Seikai National Fisheries Research Institute, 1551-8, Taira, Nagasaki, 851-2213, Japan).

現所属: 水産総合研究センター経営企画部 〒220-6115 横浜市西区みなとみらい2-3-3 クイーンズタワー B 15F (General Planning and Coordination Department, Fisheries Research Agency, Queen's Tower B 15F, 2-3-3, Minatomirai, Nishi, Yokohama, 220-6115, Japan).

^{*6} 日本海区水産研究所 〒951-8121 新潟市中央区水道町1-5939-22 (Japan Sea National Fisheries Research Institute, 1-5939-22, Suido, Cyuo, Niigata, 951-8121, Japan).

^{*7} 東北区水産研究所 〒985-0001 宮城県塩釜市新浜町3-27-5 (Tohoku National Fisheries Research Institute, 3-27-5, Shinhamma, Shiogama, Miyagi, 985-0001, Japan).

類として計上されることが多いが、ブリが大きな割合を占めるので、ぶり類の漁獲量変動傾向をブリのそれと見ることができる。全国のぶり類漁獲量は、統計値が得られる1989~2003年の間に、増減を繰り返しながら、全体的には増加傾向を示している（阪地，山本，2006）。しかし、日本海では1970年代から90年代半ばまで減少傾向が引き続くなど、減少傾向が著しい年代もあって（村山，北原，1992），単調に増加傾向が続いてきた訳ではない。また，海域による変動傾向の差異も認められる（木幡，1987；檜山，1990；原，村山，1992）。

このような漁獲の変遷の中で，かならずしも有効な漁獲利用が行われていないのではないかと，あるいは，漁獲圧が資源変動に影響を与えているのではないかとという問題意識が示されている（例えば，加藤，渡辺，1985）。とりわけ，モジャコ採捕は漁獲尾数が大量であるため，資源に与える影響が大きいのではないかと懸念があり，「モジャコ採捕のブリ資源に及ぼす影響に関する研究（農林水産技術会議事務局特別研究費）」が行われた（農林水産技術会議事務局，1967）。このプロジェクト研究は，モジャコの分布・移動やブリの年齢・成長などの生物学的知見を明らかにしたが，モジャコの漁獲圧について明確な結論は得られなかった。現在モジャコ採捕数は最盛期よりも減少したものの，毎年多量に採捕されており，その資源に与える影響の評価を望む声も強い。また，ブリは，まき網漁業と定置網漁業といった漁業間調整の中で，主要な漁獲対象魚種として議論されることも多い。資源評価によって漁獲圧が適正かどうかを判断し，有効な漁獲方策を提案することが望まれる。

一方，ブリの漁況が海況に大きく影響されることが，古くから意識されてきた（例えば，山寺，1935）。ブリを対象とする漁業は，能動的にブリの群れを追いかけより，地域的な来遊状況に漁模様が規定されてしまう場合が多いので，精度の高い漁況予測が求められてきた。また，漁獲量や漁獲物年齢組成などの漁業情報から資源の増減傾向を知るためには，漁況に及ぼす海況の影響をよく理解して検討することが必要である。

原（1990a）と北原，原（1990）は，日本海に來遊するブリの量の経年変動を表す指標値として，來遊量指数を提案した。その導出過程で，年*i*の漁場*j*におけるブリ漁獲量*C_{i,j}*を以下のように表した。ただし，*f*は漁獲率，*E_{i,j}*は*i*年の漁場*j-1*から*j*への逸散率，*P*は來遊量。

$$C_{i,j} = f_{i,j} \left(\prod_{k=1}^{j-1} E_{i,k} \right) P_i$$

両辺に対数をとって，

$$\log C_{i,j} = \log f_{i,j} + \sum_{k=1}^{j-1} \log E_{i,k} + \log P_i$$

を得る。この式は，漁獲量の変動が，ブリの來遊量の変動と，漁獲率や逸散率に関わる量の変動とに分離できることを示す。漁獲率や逸散率は海洋環境に大きく左右されると考えられる。また，日本海といったある海域への來遊量は，全体の資源量や回遊生態に依存するとともに，海洋環境の影響を大きく受けることが想定される。さらにこの式は，來遊量に関する情報と，漁獲率や逸散率に関わる要因としての海洋環境の情報から漁況を予測することの骨格を示している。

ブリの漁場への來遊状況が海洋環境にどのような影響を受けるかを検討した研究は，数多く存在する。三谷（1965a, b, c, 1968）は，航空観察による流れ藻量からモジャコ資源量を推定することを試み，その中で，流れ藻の出現状況が年によって大きく異なることを観察し，海流や潮目への集積が影響すると考えた。原（1990b）は，漁獲量資料と水温データから，日本海において春と夏に水深100m層の水温が10℃以上の海域が陸岸に沿って北へ広がる年ほど，より多くのブリ1歳魚が能登半島以北へ來遊すると推測した。さらに原（1990c）は，漁獲資料と対馬海峡西水道の水位差データを解析し，対馬暖流の流量が増加すれば，それに乗って日本海を北上するブリの量が増大する可能性は高いと考えた。三谷（1960）は，約24~27年の周期で，日本海北部と東シナ海の漁獲割合が増減することを示し，その原因は対馬暖流勢力の強弱と密接な関連があるとした。

このように，來遊量及び漁獲率や逸散率に関わる量の変動は，成長段階としては稚魚から成熟魚まで，時間的には数日から数十年，空間的には我が国周辺沿岸海域の大部分に渡る変動が入り混ざっているのである。これら，ブリの回遊生態とその年変動様式，それに影響を与える海洋環境の，資源評価や漁況予測において現在問題となる重要な点について，解決を図る研究を進めることが望まれる。

ブリの回遊と海洋環境の関係について新たな研究の展開を図るためには，数多く存在する既往知見を整理して問題点を抽出し，その解決方法を探ることが必要である。そこで本報告では，第2章で「産卵場，初期生活史に関する既往知見」を，第3章で「移動回遊に関する既往知見」を整理する。第4章では，これら既往知見の整理から導き出される，回遊と海洋環境の関係についての研究を進めていくうえで必要となる課題を論じ，第5章では，それらの研究を進めるための手法について，特に各種最新手法の適用可能性の観点から検討する。

本稿を作成するにあたり第1章は檜山義明、第2章は山本敏博、第3章は井野慎吾、久野正博、第4章は岸田 達、石田行正、第5章は阪地英男、山本敏博、並びに井野慎吾が主に担当した。本稿をまとめるに当たり有益な助言、指摘を頂いた東北大学大学院南 卓志教授に深謝する。

第2章 産卵場、初期生活史に関する既往知見

2-1 産卵海域と産卵期

ブリの産卵生態に関する知見は、1952年に始まった「対馬暖流水域の開発に関する調査（対馬暖流開発調査）」（農林水産業技術振興費による農林漁業試験研究補助事業）以前は非常に乏しく、稚魚の採集海域や各沿岸海域で採集された親魚の生殖腺の性状が報告され（代表的なものは木村（1952））、これらの情報から産卵海域と産卵期に関する推察が行われていたに過ぎない。一方、「対馬暖流開発調査」までの知見については三谷（1960）がその論文の中でまとめているが、本項では必要と判断される知見について再度引用し、また、現在までの知見を「東シナ海（薩南海域含む）～日本海」「東シナ海～太平洋」に分けて概観する。さらに、「成熟期にある親魚の地理的分布と出現時期」、「卵仔稚魚の地理的分布と出現時期」、「産卵好適水温」の項目について整理し、「産卵海域と産卵期の推定」を行って問題点を整理した。

東シナ海～日本海 1952年に「対馬暖流開発調査」が開始されて以来、ブリの卵や仔稚魚が多数採集され、また、大型ブリの成熟状況が報告され、東シナ海および日本海における産卵期並びに産卵海域に関する具体的資料が提供された。今井（1954, 1955）は薩南海域におけるブリ稚魚の出現傾向を明らかにし、加藤（1954, 1955）は京都府沖合におけるブリ稚魚の出現を明らかにした。内田（1954）、内田ら（1958a, b）は長崎県男女群島女島、並びに五島列島南端玉之浦沿岸水域で天然卵の採集を報告した。川村（1955）は1950年6月～1954年12月の5ヵ年間にわたる対馬海峡での稚魚採集結果を整理して、同海域におけるブリ仔稚魚の出現傾向を明らかにした（Table 1）。内田（1955）は1952～1955年にわたる表層曳稚魚網による卵仔稚魚の採集資料をまとめ、ブリの産卵は対馬暖流域では九州西岸に限られるようであるが、仔稚魚の出現は九州西岸では2～7月（盛期は4～6月）、山陰沖では4～6月、北陸では6～8月となっていること、また、九州西岸での仔稚魚の出現期間が長く3、4月に北緯30度以南の海域でも採集されていることから、産卵場がかなり南方にも広がっていることを推測した。

Shimomura and Fukataki（1957）および深滝（1958）は、1953年1月～1956年7月の間に対馬暖流開発調査の稚魚網で採集された資料に基づいて、日本海側におけるブリの産卵期や産卵場を明らかにし、それまでの調査結果を総括した（Table 1）。「対馬暖流開発調査」以降、内田、庄島（1958）は1957年3月から1958年3月の間に北部九州の沿岸（津屋崎）で流れ藻採集を行い、同海域では成長したモジャコ（45-108mmTL）が5～6月に採集されることを明らかにした。千田（1962a, b）は1957年5月から1961年11月の間に表層稚魚網を用いた隠岐周辺海域におけるブリ仔稚魚の出現傾向を示し、同海域では5～8月に出現し6～7月が中心であること、仔稚魚は沖合域にはみられず沿岸域でのみみられることを明らかにした。沖山（1965）は、1962年6月から1963年5月に佐渡海峡で採集を行い、7月にわずか1個体であるがブリ稚魚を採集している。池原（1977）は、1975年2～8月と1976年4～8月に佐渡海峡で表層稚魚網を用いて採集を行い、1975年は7、8月に4個体、1976年も7、8月に12個体を得ている。1978年からは日本栽培漁業協会が国の委託を受けて「天然ブリ仔資源保護培養のための基礎調査実験」を開始し、東シナ海から西日本の日本海にかけての産卵海域及び産卵期に関する資料が補足された。山陰西部の山口県沿岸域ではブリ仔稚魚が5月上旬から出現し始めることが藤田、森（1982）によって明らかにされた。一方1980年代以降、東シナ海で大中型まき網漁業によるブリ親魚の漁獲が急激に増加したが、村山（1992）は、1988年3、4月、及び1989年3～5月のこれら漁獲統計資料と漁獲されたブリ親魚の生殖腺および年齢を査定することによって、ブリの産卵場が大陸棚縁辺に形成されること、水温の上昇とともにその海域が大陸棚に沿って北上することを示し、また産卵に参加する親魚の年齢が3歳以上で構成されていることを明らかにした。また、村山（1992）は東シナ海に形成される産卵海域のG E K（電磁流速計）資料を解析することによって、黒潮流域およびその縁辺部で産卵された卵仔稚魚は比較的安定して太平洋側へ補給されるが、対馬暖流域に産卵された卵仔稚魚は産卵時期によって太平洋へ輸送されたり、日本海へ輸送されたり、大きく変化することを推測した。さらに、村山（1992）は山陰沿岸、九州西岸～紀伊半島にかけて加入したモジャコの日輪分析（飼育による成長と飼育日数との関係を数式化して、全長からふ化日を推定）からそのふ化日を明らかにし、G E Kの解析結果と照合して、2、3月に東シナ海で生まれた卵仔稚魚は太平洋側に、一方、4、5月に産卵された仔稚魚は対馬暖流側に輸送される可能性が高いことを示唆

Table 1. Monthly change of frequency occurrence of eggs and larvae by area. The notations used for areas are the same as Fig. 1. Upper and lower lines of each area indicates larvae and eggs, respectively. Occurrence frequency; \triangle : 1-several, \circ : dominant, \odot : predominant. Literatures by Uchida *et al.* (1958a, b) and Matsuda (1969) referred to eggs as well as larvae.

Area	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Sources
A							\odot	\triangle		Shimomura and Fukataki (1957), Fukataki (1958), Okiyama (1965), Ikehara (1977)
B					\odot	\odot	\circ			Katoh (1954, 1955), Shimomura and Fukataki (1957), Fukataki (1958)
C				\triangle	\triangle	\odot	\odot	\triangle		Shimomura and Fukataki (1957), Fukataki (1958), Senta (1962a, 1962b)
D			\triangle	\odot	\odot	\odot	\triangle	\triangle	\triangle	Kawamura (1955), Shimomura and Fukataki (1957), Uchida <i>et al.</i> (1958a, 1958b), Fukataki (1958), Uchida and Shojima (1958), Tokaiku National Fisheries Institute (1966), Tokaiku National Fisheries Institute and Nanseikaiku National Fisheries Institute (1970), Sakakura and Tsukamoto (1997), Cho <i>et al.</i> (2001), Yamamoto <i>et al.</i> ^(*1,*2)
E				\triangle	\triangle	\triangle	\circ	\triangle		Shimomura and Fukataki (1957), Fukataki (1958), Tokaiku National Fisheries Institute (1966), Tokaiku National Fisheries Institute and Nanseikaiku National Fisheries Institute (1970), Asami <i>et al.</i> (1967), Seikaiku National Fisheries Institute (1966, 1967, 1969), Yamamoto <i>et al.</i> ^(*1,*2)
F		\triangle	\triangle	\triangle						Shimomura and Fukataki (1957), Fukataki (1958), Tokaiku National Fisheries Institute (1966), Tokaiku National Fisheries Institute and Nanseikaiku National Fisheries Institute (1970), Asami <i>et al.</i> (1967), Seikaiku National Fisheries Institute (1966, 1967, 1969), Yamamoto <i>et al.</i> ^(*1,*2)
G		\triangle	\triangle							Shimomura and Fukataki (1957), Fukataki (1958), Tokaiku National Fisheries Institute (1966), Tokaiku National Fisheries Institute and Nanseikaiku National Fisheries Institute (1970), Asami <i>et al.</i> (1967), Seikaiku National Fisheries Institute (1966, 1967, 1969), Yamamoto <i>et al.</i> ^(*1,*2)
H		\triangle	\triangle	\odot	\odot	\triangle	\triangle			Uchida (1954), Shimomura and Fukataki (1958), Fukataki (1958), Matsuda (1969), Tokaiku National Fisheries Institute (1966), Tokaiku National Fisheries Institute and Nanseikaiku National Fisheries Institute (1970), Asami <i>et al.</i> (1967), Hanaoka (1995), Ishida <i>et al.</i> (1997), Seikaiku National Fisheries Institute (1966, 1967, 1969), Yamamoto <i>et al.</i> ^(*1,*2)
I		\triangle	\triangle	\triangle	\triangle	\triangle				Shimomura and Fukataki (1958), Fukataki (1958), Matsuda (1969), Tokaiku National Fisheries Institute (1966), Tokaiku National Fisheries Institute and Nanseikaiku National Fisheries Institute (1970), Asami <i>et al.</i> (1967), Hanaoka (1995), Ishida <i>et al.</i> (1997)
J			\triangle	\odot	\odot	\triangle	\triangle			Hattori (1964), Matsuda (1969), Tokaiku National Fisheries Institute (1966), Tokaiku National Fisheries Institute and Nanseikaiku National Fisheries Institute (1970), Asami <i>et al.</i> (1967), Ishida <i>et al.</i> (1997)
K					\odot	\circ	\triangle		\triangle	Hattori (1964)
L					\triangle	\circ	\triangle			Hattori (1964)
M				\triangle	\circ	\triangle	\triangle			Odate (1962, 1967), Safran (1990), Safran and Omori (1990)
N				\triangle	\triangle	\circ	\triangle			Odate (1962, 1967), Safran (1990), Safran and Omori (1990)

した。上原ら (1998) は、村山 (1992) が行った漁獲統計資料を用いた方法で、1994～1996年の東シナ海におけるブリの産卵場も東シナ海の大陸棚内縁に沿って形成されていることを確認した。Cho *et al.* (2001) は記録の少ない朝鮮半島東南岸におけるブリ仔稚魚の出現傾向を調べ、直径0.8mのタモ網で採集される小型の仔稚魚は5月に限って採集され、また、口径1.5m×1.5mの表層トロール網で採集されるやや成長した稚魚は5月を主として7月まで採集され、さらに、袖間30m×網丈10mの小型巻き網で流れ藻とともに採集される稚魚から幼魚(全長135mm以下)は5～7月、主として5、6月に採集されることを明らかにした。山本ら^{*1,*2}は、2001～2003年の2～4月に薩南海域から東シナ海全域にかけてボンゴネット斜め曳き採集、ニューストンネット採集を行い、ブリの産卵海域が東シナ海の大陸棚内縁に沿って見られること、仔稚魚は水温20℃等温線に沿って高密度でみられることを明らかにした。また、ブリ仔稚魚が表層性であることを薩南海域～太平洋沿岸では服部 (1964) が報告したが、ボンゴネットとニューストンネットの採集結果を比較して改めて明らかにした。

東シナ海～太平洋 服部 (1964) は、1954年4月から1959年12月の間に薩南海域からベーリング海にかけて採集された卵仔稚魚の情報についてとりまとめ、太平洋岸でのブリ稚魚の出現は4～6月および9月で、薩南から房総半島までの主として沿岸部でみられ、全長10mm以下の個体が4、5月を中心に出現して6月には減少することから主産卵場は黒潮上流海域・本邦南西海域にあると推定した。また、北緯35度以北の東北・北海道の沿岸では分布がみられないことも明らかにした。さらに、水平曳き採集と鉛直曳き採集結果を比較して仔稚魚が極表層でのみ採集され、鉛直曳きでは、卵仔稚魚がほとんどされないことから、ブリの産卵は表層で行われ、仔稚魚も表層性であることを明らかにした。また、松田 (1969) は、1954年1月から1963年12月までの日向灘を中心とする海域と1966年4月から1968年3月までに薩南海域から紀南沿海域で行った表層稚魚網採集による仔稚魚の出現傾向を調査し、ブリの卵は1～5月、仔稚魚は3～7月に出現し、年間を通じ4～5月に90%以上が採集されることを明らかにしている。小達 (1962) は、1949～1960年の間に東北海区(道南～房総沖)で表層稚魚網によるブリ仔稚魚の採集結果から、同海域では4～7月に採集され、6月に最も多く採集されることを明らかにし

た。また、同海域では体長7mm～90mmの断続的体長組成を持つ稚幼魚が採集されることから、同海域のブリ稚幼魚はかなり南方水域で発生して黒潮に流されたものと、伊豆方面でふ化したと推定されるものが混在して来遊すると推測した。さらに小達 (1967) は、1949～1966年の間の表層稚魚網の採集記録から、ブリは6月に最も多く採集されることを明らかにした。1963年には農林水産技術会議の特別研究「モジャコ採捕のブリ資源に及ぼす影響に関する研究」が開始されて、ブリの卵仔稚魚が多数採集され、対馬暖流域に比べて情報が乏しかった太平洋沿岸においても産卵海域や産卵期に関する具体的資料が充実し(東海区水産研究所, 1966; 東海区水産研究所, 南西海区水産研究所, 1970; 浅見ら, 1967), ブリの産卵は東シナ海中南部で2～3月、九州・四国近海で3～5月に行われ、季節が進むに従って産卵の重心が北上し、6月には四国東部近海で産卵場が形成されるとした。Safran (1990) と Safran and Omori (1990) は、小達 (1962, 1967) 以降の三陸水域の情報を補足した。花岡 (1995) は、「モジャコ採捕のブリ資源に及ぼす影響に関する研究」以降も太平洋岸で継続してモニタリングしてきたモジャコ漁場一斉調査の資料を収集して整理した。また、石田ら(1997)は、1978～1995年の間に九州西岸・薩南海域から紀南海域にかけて行われた表層曳稚魚網を用いた調査資料を整理して、当海域におけるブリ仔稚魚の分布資料を充実させた。その結果、九州西岸から三陸水域の仔稚魚の季節的分布の変遷が明らかになった。

成熟期にある親魚の地理的分布と出現時期 木村 (1952) は、1940～1945年までの6年間、九州沿岸から日本海側では島根県、太平洋側では外房沿岸までのブリ生殖腺の成熟状況について調べ、大型の個体ほど成熟が早いという傾向を見だし、2月に九州南部海域で産卵が始まり、徐々に東方へ産卵場が移っていくことを推察した。また、熊野灘から伊豆半島の沖合に産卵場が形成されることを推察した。これまでブリでは天然魚の生殖腺の組織学的観察は行われていない。三谷 (1960) は、卵巣及び卵巣卵の形態を観察し、発達程度によって5つの成長段階に分けたが、この中の熟度V(完熟期)は、その記述から吸水卵を持つ個体と判断出来る。そこで、完熟期に当たる個体は、採集海域で産卵するものとして本項では取り扱う。また、三谷 (1960) は、生殖腺指数($G_1; G_1 = \text{生殖腺重量} \times 10^4 / \text{尾又長}^3$)と卵巣の成熟段階の対応をみて、完熟期にあるものは $G_1 > 15.3$ と言う関係を明らかに

*1 山本敏博, 佐々千由紀, 小西芳信, 2005: 東シナ海におけるブリ属仔稚魚の表層分布と成長, 2005年度日本水産学会大会講演要旨集, 32.

*2 山本敏博, 佐々千由紀, 小西芳信, 2005: 東シナ海におけるブリ属卵仔稚魚の分布, 2005年度日本水産学会大会講演要旨集, 32.

した。三谷 (1960) は、1958年4, 5月に男女群島で採集した雌親魚, 1959年5月に島根県浜田沖で採集した雌親魚, 1959年5月に若狭湾で採集した雌親魚, さらに1957年4月と1959年4, 5月に熊野灘で採集した雌親魚の卵巣の熟度と G_1 をみることによって, 男女群島(4, 5月)と熊野灘(4月)での産卵を確認した。一方で三谷(1960)は島根県沿岸, 若狭湾では生殖腺が完熟期に値する生殖腺を持つ個体を得ていないが, 産卵の可能性が高いことを報告した。村山(1992)は, 東シナ海の陸棚内縁上で3~5月に漁獲されたブリの雌親魚生殖腺の G_1 をみることによって, 漁獲されたものの一部は産卵群であることを確認した。辻(2000)は, 1996年5, 6, 11, 12月, 1997年5, 6月に能登

半島沿岸でブリの雌親魚生殖腺の G_1 をみることによって能登半島周辺で6月以降の夏季に産卵の可能性があると指摘した。しかし, G_1 は1997年6月に採集した6.33の1個体が最高で, 完熟期までにはほど遠く, 能登半島周辺での産卵を裏付けるためには更に7, 8月のサンプル確保, 卵仔稚魚採集が必要である。

卵仔稚魚の地理的分布と出現時期 日本周辺海域を小海域へ区分した図を作成し (Fig. 1), 海域別に卵と仔稚魚の出現時期をまとめた (Table 1)。これまでの報告では発育段階が明確に示されているものが多くないので, ここでは発育段階を区別せず, 仔稚魚として記述した。卵の採集記録は五島灘から対馬海峡 (D) と薩南海域 (H) に限られ, その時期はそれぞれ4,

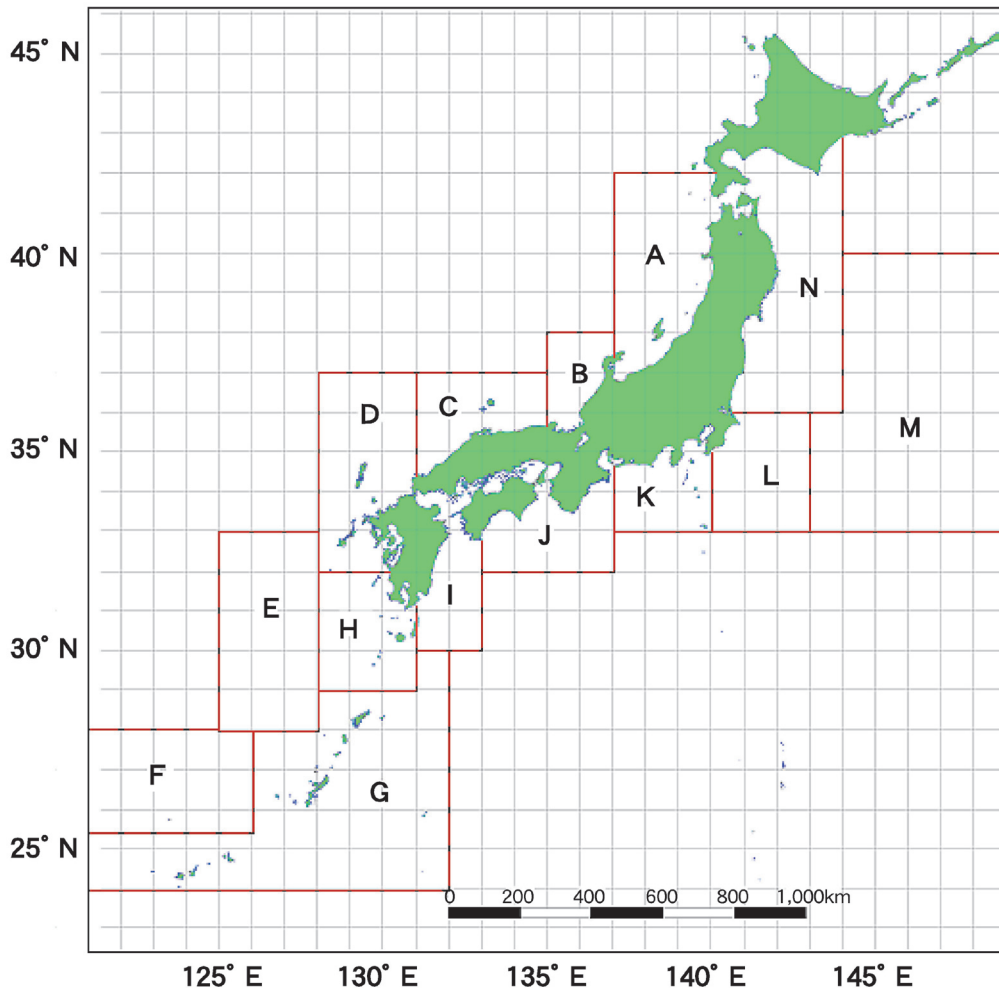


Fig. 1. A sectional map around Japan used in this paper.

A: Northern part of the Sea of Japan; B: From Wakasa Bay to off Noto Peninsula; C: San'in and Oki Islands; D: Around Goto Islands and Tsushima Channel; E: Middle part of the East China Sea; F: Southern part of the East China Sea; G: Around Nansei Archipelago; H: South of Kagoshima Prefecture; I: The Sea of Hyuga; J: South of Shikoku and Kii Peninsula; K: From the Sea of Enshu to Izu Islands; L: off Boso Peninsula; M: Kuroshio extension area; N: From off Johban to off Sanriku.

Table 2. Occurrence frequency of eggs and larvae by water temperature. The notations used for areas are the same as Fig. 1. Upper and lower lines of each area indicates larvae and eggs, respectively. Occurrence frequency; \triangle : 1-several, \circ : dominant, \odot : predominant. Literatures by Uchida *et al.* (1958a, b) referred to eggs as well as larvae.

Area	13°C~14~15~16~17~18~19~20~21~22~23~24~25~26~	Sources
A	\odot \odot \odot \odot \odot \triangle \triangle	Shimomura and Fukataki (1957), Ikehara (1977)
B	\triangle \triangle \triangle \triangle \odot \odot \odot \odot \odot \odot \circ \triangle \triangle	Katoh (1955), Shimomura and Fukataki (1957), Fukataki (1958)
C	\triangle \triangle \triangle \triangle \odot \odot \odot \odot \odot \odot \triangle \triangle \triangle	Shimomura and Fukataki (1957), Senta (1962)
D	\odot \odot \odot \odot \odot \odot \odot \odot \odot \triangle	Shimomura and Fukataki (1957), Uchida <i>et al.</i> (1958a, 1958b), Fukataki (1958), Tokaiku National Fisheries Institute (1966), Tokaiku National Fisheries Institute and Nanseikaiku National Fisheries Institute (1970), Sakakura and Tsukamoto (1997), Cho <i>et al.</i> (2001), Yamamoto <i>et al.</i> (*1,*2)
E	\triangle \triangle \odot \odot \odot \odot \triangle \triangle \triangle	Tokaiku National Fisheries Institute (1966), Tokaiku National Fisheries Institute and Nanseikaiku National Fisheries Institute (1970), Asami <i>et al.</i> (1967), Yamamoto <i>et al.</i> (*1,*2)
F	\triangle \triangle \triangle \triangle \triangle \triangle \triangle \triangle	Tokaiku National Fisheries Institute (1966), Tokaiku National Fisheries Institute and Nanseikaiku National Fisheries Institute (1970), Asami <i>et al.</i> (1967), Yamamoto <i>et al.</i> (*1,*2)
G	\triangle	Tokaiku National Fisheries Institute (1966), Tokaiku National Fisheries Institute and Nanseikaiku National Fisheries Institute (1970), Asami <i>et al.</i> (1967), Yamamoto <i>et al.</i> (*1,*2)
H	\triangle \odot \odot \odot \odot \odot \odot \odot \odot \triangle \triangle \triangle \triangle	Shimomura and Fukataki (1958), Tokaiku National Fisheries Institute (1966), Tokaiku National Fisheries Institute and Nanseikaiku National Fisheries Institute (1970), Asami <i>et al.</i> (1967), Yamamoto <i>et al.</i> (*1,*2)
I	\triangle \triangle \triangle \triangle \odot \odot \odot \odot \odot	Shimomura and Fukataki (1958), Tokaiku National Fisheries Institute (1966), Tokaiku National Fisheries Institute and Nanseikaiku National Fisheries Institute (1970), Asami <i>et al.</i> (1967)
J	\triangle \triangle \odot \odot \odot \odot \triangle \triangle \triangle	Hattori (1964), Tokaiku National Fisheries Institute (1966), Tokaiku National Fisheries Institute and Nanseikaiku National Fisheries Institute (1970), Asami <i>et al.</i> (1967)
K	\triangle \triangle \odot \odot \odot \odot \triangle \triangle \triangle	Hattori (1964)
L	\triangle \triangle \odot \odot \odot \odot \triangle \triangle \triangle	Hattori (1964)
M		
N	\triangle \triangle \triangle \triangle \triangle \triangle \odot \triangle \triangle	Odate (1962)

5月, 1~5月である。男女群島から五島南方水域 (D) では5月を中心にブリの卵が採集される。卵は、固定の状況によって査定が困難であったり、他のアジ科魚類の卵との判別の難しさから報告された海域が限られる。仔稚魚は2月に東シナ海中南部海域 (E, F) および薩南海域の陸棚側の黒潮外縁域で採集され始める。3月に入ると、対馬海流域では対馬海峡、太平

洋では紀伊水道外域 (J) まで分布する。4月に入ると、対馬海流域では隠岐周辺 (C)、太平洋ではすでに黒潮続流域、常磐沖 (N) にまで分布がみられ、一方黒潮の太平洋側の黒潮外縁域で、調査定点が少ないにせよ、この海域で仔稚魚はみられなくなる。なお、4月には対馬海流域では五島周辺海域 (D)、太平洋では薩南海域から紀伊水道外域で稚魚の出現盛期に入

る。5月に入ると、対馬海流域では4月と変わらず隠岐、山陰沿岸(C)、太平洋では北緯38度以南の三陸沖(N)にまで分布北限が延びるが、東シナ海南部海域(F)では、採集定点が少ないにせよ、仔稚魚はみられなくなる。なお、5月には対馬海流域では五島周辺海域、太平洋では薩南海域から伊豆諸島近海(K)で仔稚魚の出現盛期が終わる。6月に入ると、対馬海流域では若狭湾(B)、太平洋では北緯39度の三陸沖にまで分布北限が延びる。なお、6月には対馬海流域では対馬海峡での出現盛期が終わり、隠岐周辺から若狭湾での出現盛期が始まる。また、太平洋では三陸沖で出現盛期を迎える。7月には、対馬海流域では秋田県男鹿半島北西沖(日本海の分布北限)(A)、太平洋では北緯40度(太平洋の分布北限)を越えて分布するが、東シナ海中部域では仔稚魚がみられなくなる。なお、7月には対馬海流域では五島周辺海域で出現盛期が終わり、太平洋では全域で出現の終期となる。8月以後は、対馬海峡以東の日本海(A~D)での出現が主となり、太平洋では9月の伊豆諸島近海の採集記録のみとなる。

産卵好適水温 Table 2に海域別に卵と仔稚魚の出現水温をまとめた。卵の出現した水温の記録は男女群島から五島南方水域に限られ、その水温は19~22℃台である。仔稚魚の出現は例外的に三陸沖の12℃台から認められ、日本海側では山陰西部海域から能登半島外浦までの海域と、太平洋側での薩南海域から日向灘にかけての海域では14℃台からみられる。九州西岸域から対馬海峡並びに薩南海域では15~22℃台まで出現盛期となり、同海域では他の海域に比べ低い水温から盛期を迎える。山陰西部海域から能登半島外浦にかけての日本海西部海域と、日向灘では18℃台から出現盛期に入る。また、日本海北部海域では20℃台から突然盛期を迎え、一方紀伊水道外域から房総沿岸の太平洋岸では18℃台から出現し始め、20℃台から盛期を迎える。山陰西部海域から能登半島外浦の日本海西部海域と紀伊水道外域から房総沿岸の太平洋では23℃台まで出現の盛期があり、その後26℃台、場合によっては29℃台まで出現が認められる。東シナ海南部海域では最低でも20℃台から出現し始め26℃台まで出現する。東シナ海中部海域では17℃台から出現を始め19~22℃台まで出現盛期で、その後25℃台まで出現がみられる。分布の末端の三陸沖では21℃台まで出現がみられ、19℃台で出現盛期となる。今回の整理では、三陸沖と記録の無いまたは少ない東シナ海中部海域と黒潮続流域を除く海域で、20~22℃台に仔稚魚の出現好適水温帯が

みられたことから、産卵好適水温帯は三谷(1960)の19~21℃と考えても良いと思われる。

産卵海域と産卵期の推定 Fig. 2に産卵海域と産卵期についてまとめて記す。東シナ海中部海域におけるブリ卵の採集記録は無いが、当海域で2月に稚魚が採集されていることから2月には産卵が始まることは間違いないと考えられる。また、当海域における産卵水温は、20℃台以上である。台湾北部沿岸の表層最低水温^{*3}が約20℃(1, 2月)であることから、当海域では最も早い産卵が1月には始まると考えられる。また、薩南海域で1月に2個のブリ卵採集記録がある(松田, 1969)のは例外としても、2月は東シナ海中部海域を中心として、最も北では薩南海域でも産卵が行われている可能性があると考えられる。3月は卵の採集記録や親魚の成熟状況から、対馬海流域では男女群島以南と、太平洋では薩南以西の海域で産卵が行われていると考えられ、産卵の中心は東シナ海中部海域・クチミノセ近隣海域と推定される。さらに、4月は対馬海流域では対馬・壱岐以西の海域、太平洋では熊野灘以西の海域で産卵が行われていると考えられ、産卵の中心は東シナ海中部海域から男女群島並びに薩南海域と推定される。なお、4月に東シナ海南部海域でも仔魚が採集されていることから(山本ら^{*1})、当海域でも産卵が継続して行われていると考えられる。5月は対馬海流域では山口県見島以西の海域(山本ら未発表)、太平洋では伊豆諸島以西の海域で産卵が行われていると考えられ、産卵の中心は対馬暖流域では男女群島から対馬、壱岐にかけての島嶼沿岸、太平洋では薩南海域から伊豆諸島にかけての島嶼沿岸と推察される。なお、太平洋側での産卵は伊豆諸島近海が東限と考えられる。また、東シナ海中部海域では5月には産卵はほぼ終了すると推定される。6月は卵の採集記録が無いが、10mm未満の稚魚の採集記録と親魚の成熟状況から、太平洋では各海域で産卵が終期に入る。一方、対馬暖流域では五島列島から山口県見島で産卵が終期を迎え、隠岐周辺海域から若狭湾へ産卵海域が移ると推定される。その後、7~8月にはその中心が能登半島沿岸へ移動してブリの産卵は終了すると推定される。

産卵海域と産卵期に関する知見は、親魚の成熟状況調査や卵仔稚魚の採集調査によってかなりの点で充実した。しかし、産卵親魚の排卵後濾胞の形成過程を組織学的に確認し、漁獲された天然魚の排卵後濾胞を組織学的に確認することによって、産卵時間や産卵海域を絞り込む必要があるなどの課題も多い。

*3 独立行政法人水産総合研究センター、水産海洋データベース (http://jfodb.dc.affrc.go.jp/kaiyodb_pub/system/download1.html)

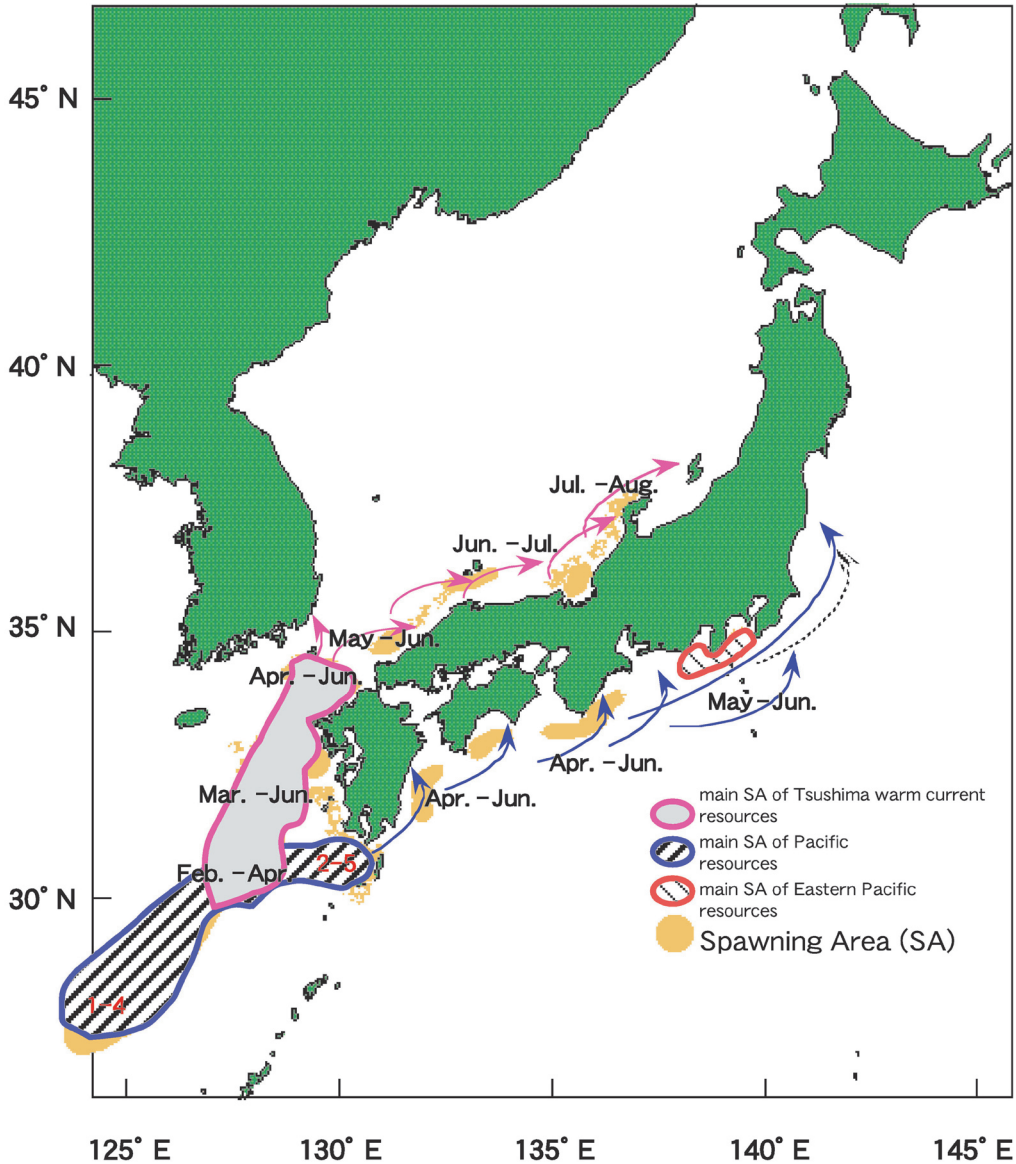


Fig. 2. Spawning month in respective areas of yellowtail estimated from past studies.

2-2 卵仔稚魚の発生と成長

ブリの卵発生および仔稚魚の形態については内田ら(1958a, b)が詳細に報告している。それによると卵は分離浮性卵で、直径は1.19~1.27mm(平均1.25mm)、卵黄内に油球(径0.30~0.33mm)が1個ある。水温18~24℃で51時間後にふ化する(ふ化後3日までの仔稚魚の形態記述は省略)。しかし、ふ化仔魚の3日以上飼育は成功しておらず、仔稚魚の形態は天然海域から得られた断続的な成長段階の標本に基づき記載された。Sakakura and Tsukamoto(1996)はふ化仔魚を用いて耳石の日周輪形成を確認し、さらに五島列島北西海域で採集した稚幼魚の日輪解析を行い、同海域における成長速度を明らかにした。上原ら(1996)と

山本ら^{*1}も耳石日輪解析を行って成長速度を明らかにした。Fig. 3にこれらの成長解析結果を示す。なお、村山(1992)は飼育した仔稚魚と飼育日数の関係を成長式としているため、個体ごとの耳石日輪解析結果とは異なる。成長式は、報告者によって全長、尾叉長、標準体長が用いられているため単純な比較は出来ないが、成長速度はそれぞれで異なる。特に上原ら(1996)と山本ら^{*1}の成長式を比較すると約1.8倍の速度差が認められた。上原らは1995年5月に土佐湾で採集された標本を用いているのに対し、山本らは2002年4、5月と2003年4月に東シナ海で採集された標本を用いている。土佐湾に5月に来遊するモジャコは東シナ海または隣接する薩南海域を起源とするものが多い(村

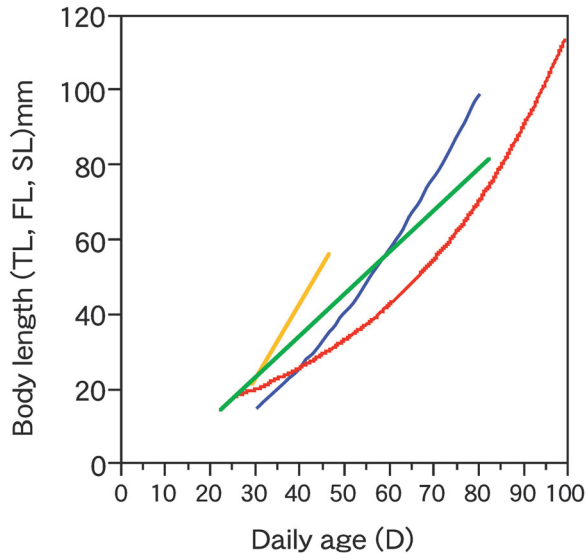


Fig. 3. Growth curves of yellowtail obtained from rearing experiments and otolith daily increment analysis.

Blue line: $TL = 4.52 - 3.23 \times 10^{-1}D + 2.49 \times 10^{-2}D^2 - 7.56 \times 10^{-5}D^3$ (Murayama, 1992).

Red line: $TL = 9.61 \times e^{(0.025D)}$ (Range: 18.1–113.8mm. Sakakura and Tsukamoto, 1997).

Yellow line: $FL = 2.029D - 38.368$ (Range: 20.72–56.08mm. Uehara *et al.* 1996).

Green line: $SL = 1.127D - 11.012$ (Range: 15.1–81.7mm. Yamamoto *et al.* *¹).

TL: Total length. FL: fork length, SL: standard length. D: days after hatching.

山, 1992; 東海区水産研究所, 1966; 東海区水産研究所, 南西海区水産研究所, 1970) ことを考えると両報告の稚幼魚の起源はほぼ同じと考えられ, 成長差は成長過程で経過した物理環境や餌料環境の違いによって生じた可能性が考えられる。

2-3 仔稚幼魚の加入と移動

日本沿岸へ来遊する魚類仔稚の輸送と流れ藻との関わりは古くから注目され, 特にブリやサンマは初期生活史と流れ藻の関係が深い魚類として知られてきた(例えば, 内田, 庄島, 1958; 内田, 1955)。吉田 (1963) は, 日本周辺各水域の流れ藻の分布について広域的に調べ, またその季節量変化と移動について漂流はがき, 漂流瓶, 流れ藻への標識調査によって明らかにし, 主に流れ藻の藻類学的知見を総括した。千田 (1965) は, 流れ藻と魚類仔稚の関係について論じ, 流れ藻の水産的効用について総括した。次いで, 東海区水産研究所 (1966), 東海区水産研究所・南西海区水産研究所 (1970), 能津ら (1967), 田中 (1967) は, 「モジャ

コ採捕のブリ資源に及ぼす影響に関する調査」の中でブリ稚幼魚と流れ藻の関係について総括的研究を行った。その中では, ブリ幼魚の標識放流, 流れ藻の標識放流等を組織的に行い, 主に太平洋岸における流れ藻の移動速度や寿命, さらにはブリの沿岸への加入機構を論じた。ところで, ブリの稚魚は体長約15mmまで浮遊生活を送り, その後, 体表への横縞の発現と同時に流れ藻への随伴性が発現することが確かめられている(東海区水産研究所, 1966; 東海区水産研究所, 南西海区水産研究所, 1970; 浅見ら, 1967; 山本ら*¹)。しかし, 体長15mmに達するまでの卵仔稚魚の生活史に関する情報は少ないのが現状である。

流れ藻の寿命は2週間~1ヵ月が平均的であることが明らかになっている(東海区水産研究所, 1966; 東海区水産研究所, 南西海区水産研究所, 1970; 浅見ら, 1967; 千田, 1965)。また, 流れ藻の移動速度は日本海・対馬暖流と太平洋・黒潮ではそれぞれ, 6~11海里/day, 10海里/dayであるが(東海区水産研究所, 1966; 東海区水産研究所, 南西海区水産研究所, 1970; 浅見ら, 1967; 吉田, 1963; 千田, 1965), 太平洋では最も移動の速いもので40海里/dayを越えるものもあり(東海区水産研究所, 南西海区水産研究所, 1970), これは黒潮流軸に取り込まれた場合と考えられる。流れ藻の移動速度とブリ幼魚の移動速度, 流れ藻の寿命から考えて, 流れ藻に随伴するブリ稚幼魚は数日ごとに近隣の流れ藻へ移りつつ, 流れ藻とともに沿岸へ来遊するものと考えられる(東海区水産研究所, 1966; 東海区水産研究所, 南西海区水産研究所, 1970; 浅見ら, 1967)。しかし, 中には流れ藻に随伴しない稚幼魚の存在も指摘されており(東海区水産研究所, 1966; 東海区水産研究所, 南西海区水産研究所, 1970; 浅見ら, 1967), この点の解明は今後の課題である。

流れ藻は主に沿岸域に分布し, 沖合域にはほとんど分布しないことが報告されている(東海区水産研究所, 1966; 東海区水産研究所, 南西海区水産研究所, 1970; 吉田, 1963; 千田, 1965)。このことから主産卵場のある東シナ海で発生したブリ仔稚魚は九州西岸域から対馬海峡並びに薩南海域の沿岸で流れ藻に随伴して日本海および太平洋の沿岸へ流れ藻とともに加入すると考えられてきた(東海区水産研究所, 1966; 東海区水産研究所, 南西海区水産研究所, 1970; 浅見ら, 1967)。しかし, 小西 (2000) は, 2000年4月に東シナ海の陸棚沖合域で流れ藻が多く分布していることを確認し, この流れ藻が中国大陸沿岸から流れてくる可能性を指摘した。同時に, ブリ仔稚魚は東シナ海の沖合域で流れ藻と出会って, 沿岸域へ加入する可能性を

報告した。今後は東シナ海沖合域の流れ藻の調査も重要と考えられる。

2-4 食性

安楽, 畔田 (1965) は, 九州西岸域から薩南海域にかけて採集されたブリ仔稚魚の食性を明らかにした。流れ藻に着く以前の稚魚は小型カイ脚類を主とする枝角類等の動物プランクトンを食しており, その後, 全長27mm前後で魚食性が発現する。全長80mmで動物プランクトンと魚類の摂餌割合は等しくなり, 全長130mmで完全に魚食性に移行することを報告した。また, 5月中旬以降に採集されたブリ稚魚の共食いについて報告している。しかし, 同じ大きさでも(わずかに)海域の異なる群れでは, 完全に動物プランクトン食の群れと魚食の割合の多い群れがあることに触れ, 海洋の物理・化学環境や餌料環境, 摂餌時間帯による差の可能性を推察している。そして, ブリ稚魚の流れ藻への随伴性と, 流れ藻による餌料供給の関係に触れてそれを否定し, ブリ稚魚の流れ藻への随伴性は逃避行動と関係があると推察した。一方, 千田 (1962b) は, 隠岐周辺で採集した流れ藻に随伴するブリ稚魚の食性を明らかにし, それらは流れ藻に産み着けられたサンマの卵を飽食していたことから, ブリは流れ藻を主に索餌の場として利用していると推察した。「モジャコ採捕のブリ資源に及ぼす影響に関する研究」(東海区水産研究所, 1966; 東海区水産研究所, 南西海区水産研究所, 1970; 浅見ら, 1967; 能津ら, 1967; 田中, 1967) では, モジャコの採捕が漁獲加入資源へ与える影響を評価するために, 初期減耗要因の解明が課題として上げられ, 主にブリの共食いに関する知見が集積された。ブリの共食いは海域によって違いがみられ, 共食い出現率は1965年の太平洋南岸の全域平均で5.39%, 九州西海域で1963年は0.5%, 1964, 1965年は0%であったことを報告している(東海区水産研究所, 1966)。その差の理由として, 太平洋南海域ではモジャコの発生時期が進むにつれて大きさの異なる個体が群れを形成し共食いを誘発するが, 九州西岸では比較的大きさの整った個体が群れを形成しているために共食いの誘発は抑えられると推察した(東海区水産研究所, 1966)。Sakakura and Tsukamoto (1996) は, 1992年5月に五島列島西岸海域で採集した流れ藻に随伴するブリ稚魚を採集し, 東海区水産研究所 (1966) の調査では共食いの見られなかった海域での共食いを確認し, 共食いの起こる群れは複数のモードを持つ群れから形成されており, 大型の群れの個体が小型の群れの個体を共食いしていることに触れ, 共食いは群れの構成員を選択するための

行動と推察した。安楽, 畔田 (1965) が報告した共食いの有無も同一群内におけるサイズ組成に依存するということで説明できると考えられる。また, 共食いによる減耗率の試算では, 1,000尾のモジャコが1月後には335(最小)~55(最大)に減少すると試算した(東海区水産研究所, 1966)。Sakakura and Tsukamoto (1996) は, 人工ふ化させたブリ仔魚を用いて, 共食いの発現時期を実験的に明らかにした。共食いは, ふ化後22日まで(9.6mmTL)はみられなかったが, 23日目から発現したことを報告している。ふ化後22-23日齢は, 仔魚から稚魚へ変態する時期と重なっており, その後共食いは39日齢日まで発達した。しかし, 途中の33-36日齢では一旦共食いが減少しており, 33日齢日には群れ形成が確認され, 個体間距離の確保が図られる行動を報告した。また, 共食いの捕食個体(X_c)と被食個体(Y_p)の全長の関係を解析し, $Y_p = 0.49X_c + 0.30$ ($r = 0.97$) の関係式を導いた。

Kohbara *et al.* (2003) は, 50gと80gの幼魚を飼育して, 水温と光に対する自発摂餌を明らかにした。ブリ幼魚は18℃以下の水温では自発摂餌は低下するが, 18℃を越えると高くなり, その後水温を上昇させてもその活性は頭打ちとなった。また, 光に対するその活性は薄暗い時間帯から夜間に高くなり, ピークは夜明け前と夕暮れ時の二度みられることを報告した。

以上のようにブリ仔稚魚の初期減耗の要因の一つに, 食性に関わっていることが示唆された。しかし, 浮遊期仔稚魚の餌料生物については不明な点が多く, 天然海域における初期餌料の解明が必要と考えられる。また, 仔稚魚期の自発摂餌と水温, 日周リズムの関係については実験的な検討が必要と考えられる。

第3章 移動・回遊に関する既往知見

3-1 対馬暖流域におけるブリの分布・移動・回遊
年齢別の分布・移動・回遊 対馬暖流域におけるブリの移動・回遊については, 渡辺 (1979) が, 主に1960年代以前に行われた対馬暖流域における標識放流結果をとりまとめて報告しているほか, 永田 (1959), 三谷 (1960), 沢田ら (1960) などの報告がある。それらを総合すると, 対馬暖流に輸送されて日本海へ入った0歳魚は, 北海道沿岸から極前線まで(山川, 1989)の日本海の広い範囲に分布し, 秋冬季の水温低下に伴い南下して, 佐渡海峡以南で越冬する(Fig. 4)。1, 2歳魚は大規模な回遊をせず, 春から夏の水温上昇期に北上し, 秋から冬の水温下降期に南下するという季節的な小規模回遊や沿岸から沖合へと深浅回遊を繰り返す。そして, 各海域の湾, 島嶼, 浅瀬, 礁付近

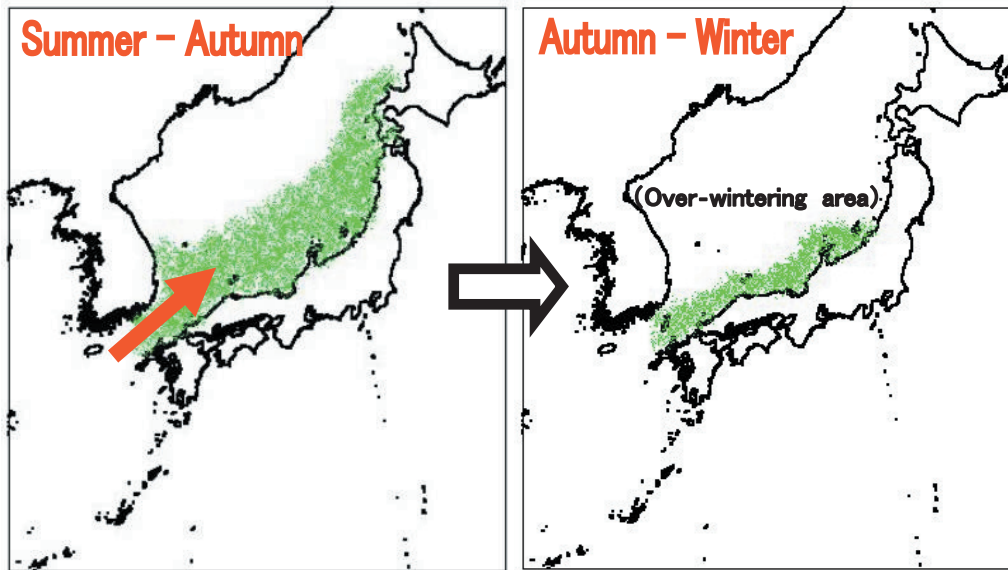


Fig. 4. A schematic diagram on distribution and migration of 0-year old yellowtail in the Sea of Japan before the 1960s (after Watanabe, 1979; Yamakawa, 1989 and Ino *et al.*, 2006).

に長期間滞留し、活発な索餌行動を行うが、1歳に比べて2歳の移動範囲が広い。

尾叉長19.0cm以下の0歳魚を、山陰沖で標識放流した結果では、再捕位置はすべて放流点よりも東の沿岸域であり、隠岐島よりも沖合側で放流された個体は富山湾以東で再捕され、本州寄りの海域で放流された個体は能登半島以西で再捕されている(村山, 1992)。稚魚は、流れ藻に付随し、海流に伴って移動するため、その移動は対馬暖流の流れの影響を大きく受けるものと推測される。流れ藻を離れ、沿岸域に加入来遊した、尾叉長21.0~40.0cmの0歳魚を標識放流した結果では、例えば富山湾で放流された個体は、殆どが富山湾内で再捕されるなど、再捕海域は放流海域およびその隣接海域に限られており(村山, 1992)、流れ藻に付随する時期と比較して移動範囲が狭い。

1歳魚の標識放流結果から渡辺(1979)は、1歳魚は移動範囲が狭く、放流点から30海里以内の再捕が圧倒的に多いとしている。村山(1992)および一丸ら(1993)によれば、1歳魚を長崎県対馬付近で標識放流した結果では、再捕位置は山陰沖から五島列島の範囲であり、大部分は放流海域付近で再捕されている。2歳魚についても渡辺(1979)は、移動範囲が狭く、山口県と島根県、若狭湾と能登西岸というように隣接海域との関連が強いとしている。また、3歳魚では、南下期に男鹿半島から北陸沿岸へと大きく移動する個体がみられ、南下期に移動範囲が拡大するとしている。

3歳の南下期以降は、生活周期が越冬期から産卵期

へと連続して移行していくために回遊範囲が広がり、本格的な季節回遊を開始する。4歳以上では、北海道沿岸から東シナ海におよぶ間を南北に回遊するようになるものと推測される。井野ら(未発表)は、1999年からアーカイバルタグ(記録型標識)を使用した標識放流調査を行い、4歳以上のブリが北海道沿岸と主産卵場である東シナ海を南北に往復回遊することを確認した。

4歳魚以上では、北海道沿岸と主産卵場である東シナ海を南北に往復回遊する個体のほか、能登半島あるいは山陰沖と東シナ海を南北回遊する個体、および1年間以上も能登半島周辺に滞留する個体が存在することが確認されている(井野ら, 未発表)。

以上を整理すると、ブリは成長段階に応じて回遊様式が変わり、0歳魚として受動的な輸送を経て、各地の沿岸域に加入した後、2歳まで小規模な回遊を行いながら成長し、3歳の南下期以降は北海道沿岸から東シナ海の大陸棚縁辺部におよぶ間を南北に往復回遊するものと推測される(井野ら, 2006)。

年代別の分布・移動・回遊 年代によってブリの分布域および移動・回遊のパターンに大きな違いが見出されることが示されているほか、それに伴うとみられる漁況の変動が生じたことも報告されている。原(1990b)は、1971~1986年の対馬から佐渡島にいたる日本海沿岸域の定置網漁業における銘柄別の漁獲量の変動から、1960年代以前と比較して、1970年代から1980年代にわたり、成魚の分布域が縮小するとともに若齢魚の分布域が西偏したことを示唆した。

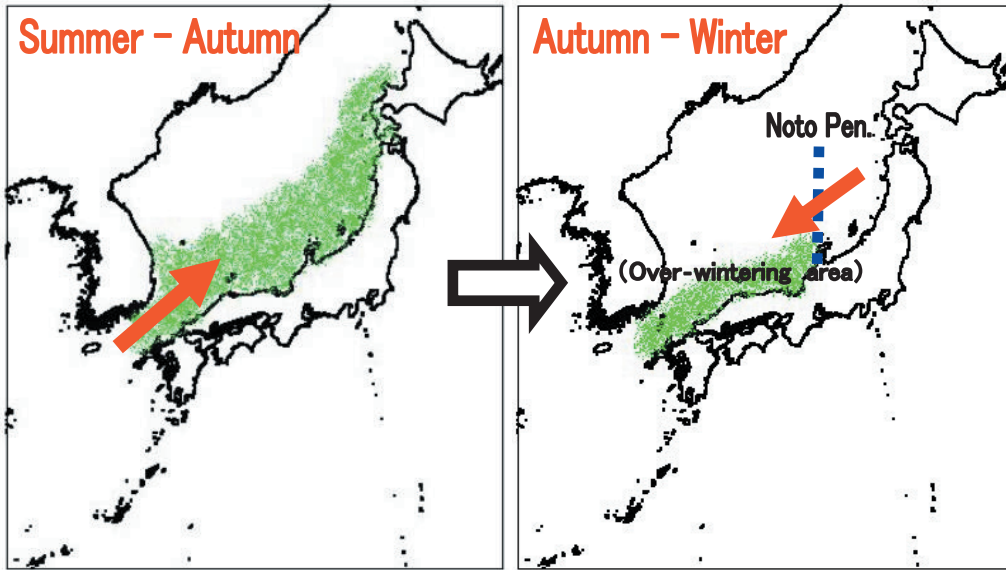


Fig. 5. A schematic diagram on distribution and migration of 0-year old yellowtail in the Sea of Japan during the 1970s and 1980s (after Watanabe, 1979; Yamakawa, 1989; Murayama, 1992 and Ino *et al.*, 2006).

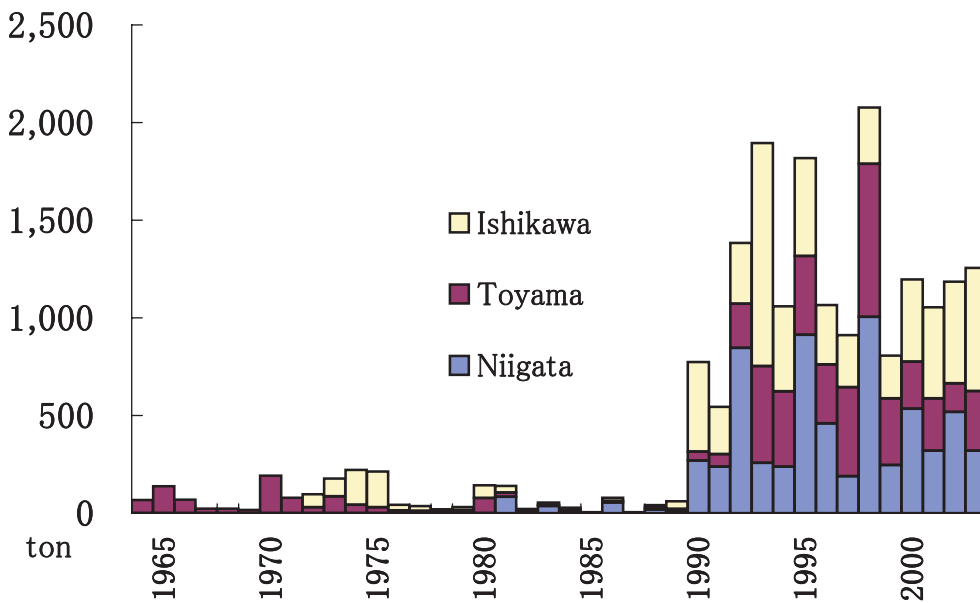


Fig. 6. Yearly catch amount of yellowtail over 2-years old caught by fixed nets in Niigata (from 1981 to 2003), Toyama (from 1964 to 2003) and Ishikawa (from 1972 to 2003) prefectures (after surveys conducted by each prefectural experimental institute).

村山 (1992) は、1950年代以前と1960~1980年代の標識放流結果を比較検討し、1950~1960年代を境にブリの回遊様式が変化したことを見出した。1950年代以前は、能登半島以北つまり日本海北部の沿岸域に來遊した0歳魚が、日本海北部で越冬したが、1970~1980年代は日本海北部で越冬せずに能登半島を越えて南下し (Fig. 5)、成長後も能登半島以北へ回遊せず、北海道

と東シナ海を南北に回遊する大型魚が減少したことを報告している。1970~1980年代には、富山湾など日本海北部の定置網で大型魚 (2歳以上) の漁獲量が低迷したが (Fig. 6)、これは、未成魚期からの分布・回遊様式の変化に伴い、日本海北部において1歳以上のブリの分布量が減少するとともに、北海道と東シナ海を南北に大回遊する個体が減少し (村山, 1992)、日

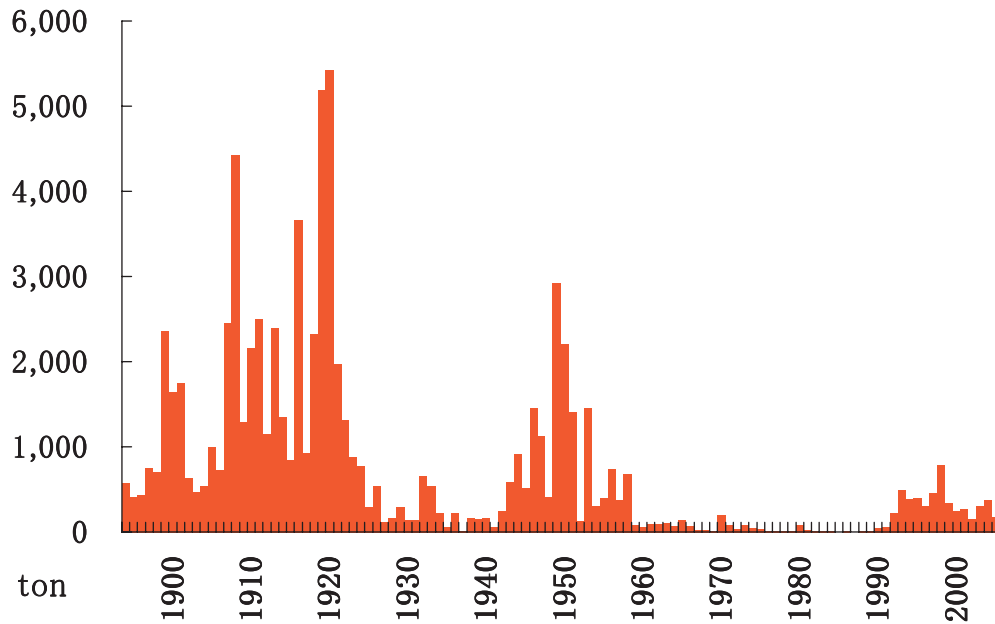


Fig. 7. Yearly catch amount of yellowtail over 2-years old by fixed net in Toyama Prefecture (after surveys conducted by Toyama Prefectural Experimental Institute and catch statistics compiled by the Ministry of Agriculture Forestry and Fisheries).

本海北部の定置網漁場へ来遊する大型魚が減少したことに伴うものと推測される（井野ら，2006）。一方，1990年代には日本海北部の定置網で大型魚の漁獲量が増大した。1990年代にも分布・回遊様式が変化したものとみられ，北海道と東シナ海を南北に大回遊する個体が増加したことによって漁況が変化したものと推測される（井野ら，2006）。

三谷（1960）は，主要な道府県におけるブリの漁獲量について解析し，漁獲量の動向には東シナ海区（福岡県～鹿児島県）と日本海北区（青森県～石川県）で相反する傾向があり，二十数年周期で変動していると指摘している。大型魚の漁況変動について，伊東（1959）は，1490年代から1940年代の丹後伊根浦（京都府伊根町）をはじめとする日本海沿岸各地（北海道～山口県，長崎県）の漁獲量について調査し，各地において，定置網漁獲量の豊凶に周期的変動がみられることを示している。さらに，富山県の定置網における大型魚の漁獲量（Fig. 7）をみると，数十年周期で漁獲量の豊凶がみられる（井野ら，2006）。

分布・移動・回遊と海洋環境 分布・回遊様式の変動は，海洋環境の変化と対応する可能性があることが報告されている。内山（1997）は，1981～1993年の対馬暖流域における銘柄別漁獲量を調べ，資源水準が大きな変化をしていないと述べるとともに，1980年代後半から富山湾の水深50m層における最低水温期（3，4月）の水温が高めに推移していることを見出した。

そして，富山湾の水温変化の特徴は対馬暖流域沿岸の水温変化の特徴を反映したものであるとした上で，1990年代の日本海北部における大型魚（2歳以上）の漁獲量の増大は，資源の増大を反映したのではなく，分布・回遊様式の変化と関連している可能性があることを指摘した。富山湾内17定点の水深50m層における3，4月の平均水温と富山県の定置網における大型魚の漁獲量（Fig. 8）をみると，水温上昇と漁獲量の増大が対応していることがわかる（井野ら，2006）。井野ら（未発表）は，アーカイバルタグを使用した標識放流調査を行い，その結果，3，4月の最低水温期に，富山湾および能登半島付近の範囲を遊泳していた標識魚（3歳および4歳）が見出された。その期間における遊泳層水温（50m層）のデータを調べた結果，標識魚が9℃以上の海域を遊泳していたことがわかった。越冬海域の形成には，最低水温期の水温が大きく影響するものと推測され，水温9℃以上の海域ならば越冬が可能であるとみられた。したがって，最低水温期（3，4月）における，水温9℃以上の海域の分布範囲が越冬海域の範囲を左右する可能性があると考えられる。1980年代と1990年代の3～4月の水温分布を比較すると（Fig. 9），1990年代は日本海北部に9℃以上の海域が拡大した傾向がみられ，これが1990年代を境にしたブリの分布・回遊様式の変動要因の一つである可能性がある（井野ら，2006）。

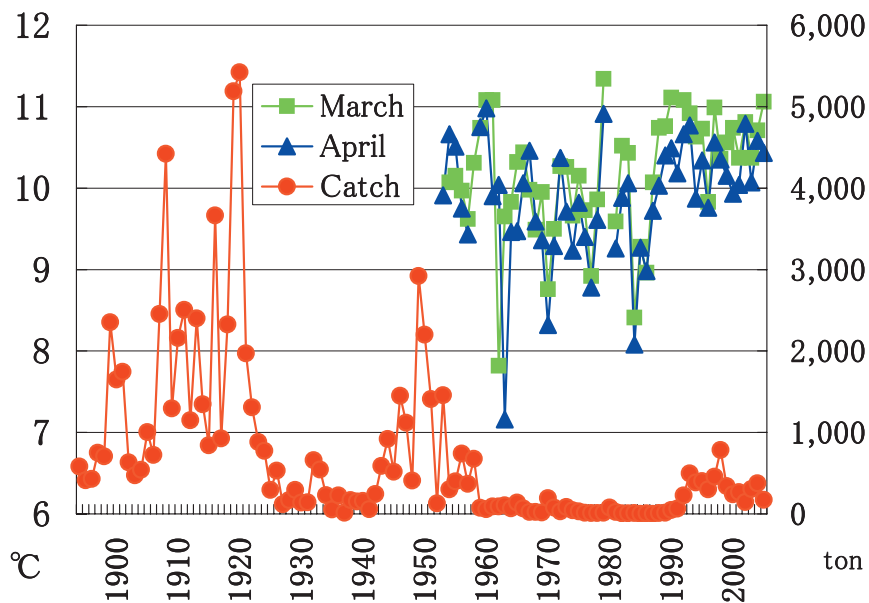


Fig. 8. Average water temperatures at 50m depth at 17 stations in Toyama Bay in March and April, and catch amount of yellowtail over 2-years old caught by fixed nets in Toyama Prefecture.

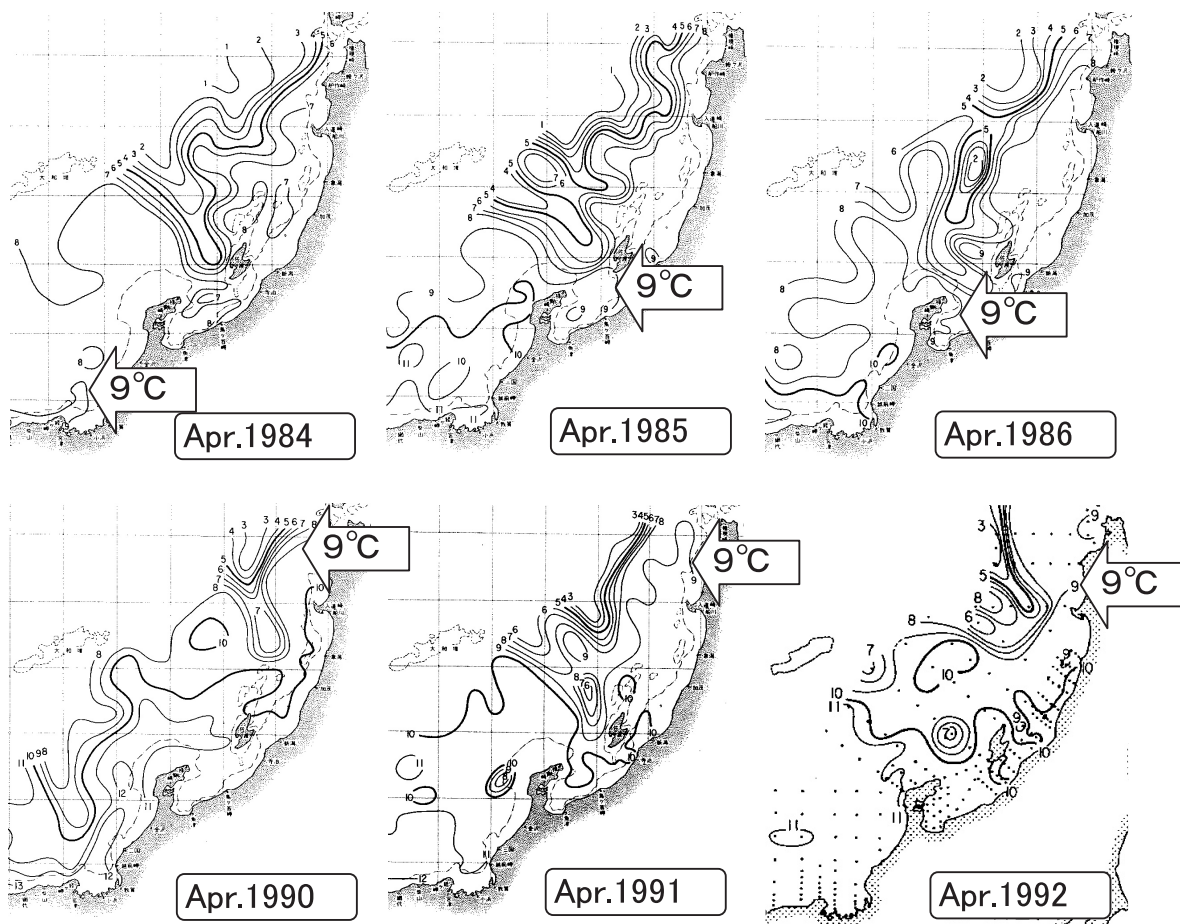


Fig. 9. Contour maps of water temperatures at 50m depth in the Sea of Japan in April, from 1984 to 1986 and from 1990 to 1992 (after Nihon-Kai Gyojyo-Kaikyo Sokuho (Japan Sea National Fisheries Research Institute)).

3-2 太平洋沿岸におけるブリの分布・移動・回遊
年齢別の分布・移動・回遊 太平洋沿岸におけるブリの分布・回遊については、田中 (1972a, b, 1973), Tanaka (1979, 1984) が、1960年代までに行われた標識放流結果および各海域における体長組成の推移等を取りまとめて報告している。また、1980~1990年代に日本栽培漁業協会が静岡県、三重県、和歌山県、徳島県および高知県に委託して実施した「天然ブリ仔資源保護培養のための調査実験」および「ブリ種苗放流技術開発調査」において0歳魚を中心に標識放流が数多く行われ、1987~1997年の結果が日本栽培漁業協会 (1999) 等に記されている。それらを総合すると、太平洋沿岸の小型魚 (0, 1歳) のうち、東北地方の群は三陸沿岸から房総半島の間を北上・南下回遊するが、相模湾以西の群は大きな移動を示さず、両群は3歳になるまで交流しないと推測される (Fig. 10)。1987~1997年に高知県~静岡県で実施された0歳魚の標識放流結果では、7月に熊野灘で放流された人工種苗魚が10月に岩手県で再捕された例など長距離移動を示した事例がごくわずかにみられるが、放流海域付近での再捕がほとんどを占めており、この海域に加入した0歳魚は大きく移動しないことがこの結果からも推測される。

1960年代までに行われた標識放流結果では、大型魚 (2歳以上) は3歳になり成熟に達すると東北地方の

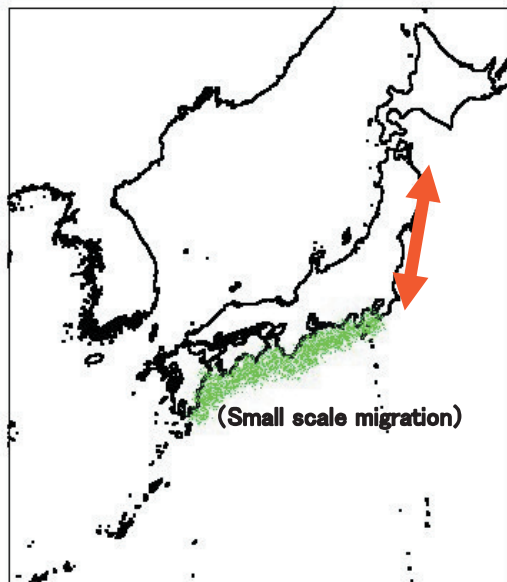


Fig. 10. A schematic diagram on the distribution and migration of 0 and 1-year old yellowtail in the Pacific coast of Japan (after Tanaka, 1972a, b, and 1973).

群と相模湾以西の群れが混合するようになり、三陸沿岸から房総半島を経て相模湾・熊野灘に回遊する群、熊野灘周辺と四国・九州を回遊する群が存在すると報告されている。近年の調査では、1990~1995年に和歌山県で標識放流した大型魚が三重県および四国へ移動した事例が確認されているのみで、遠州灘以東へ移動した標識魚はない。2004年3月、2005年2月および3月には、熊野灘北部で大型魚の標識放流が実施され、和歌山県および四国へ移動した標識魚は確認されたが、房総半島を経て東北地方へ北上した標識魚は2006年3月現在みられていない (久野, 阪地, 未発表)。

これまでの調査結果から太平洋沿岸においても、0~2歳魚は大規模な回遊をしないものとみられる。3歳魚以上では、三陸沿岸から房総半島を経て相模湾・熊野灘に回遊する群、熊野灘周辺と四国・九州を回遊する群の存在が示唆されるが、近年の標識放流記録が少ないため、詳細は不明である。また、三陸沿岸に来遊する当歳魚についてはこれまでに詳しい調査が実施されておらず、太平洋側を北上した群と日本海側から津軽海峡を越えて来遊した群がどのように分布しているか不明である。さらに太平洋側を北上した群と日本海から津軽海峡を経て太平洋側へ来遊した群がどのように南下するか等の詳しいことは分かっていない。

年代別の分布・移動・回遊 田中 (1972a, b, 1973) によると、1950年代以前は東北地方の群および相模湾~潮岬の群が三陸沿岸から熊野灘の間を北上・南下回遊し、潮岬以西の群は東海地方から九州を回遊していたが、1960年代には、東北地方の群および相模湾~潮岬の群が三陸沿岸から相模湾の間を北上・南下回遊するように変化し、東北地方の群および相模湾~潮岬の群の回遊範囲が小さくなったとされる (Fig. 11)。Tanaka (1979) は、放流年に再捕された大型魚の移動について、戦前には潮岬および足摺岬に2つの境界があり、これを越えて南下したものはわずかであったのに対し、戦後は潮岬の境界がなくなり、足摺岬の境界のみとなったとしている。これらの年代による移動・回遊の変化が海洋環境の変化によるものかは明らかにされていない。

分布・移動・回遊と海洋環境 児玉 (2003) は、金華山近海域における冬季の気温および春季の水温の長期変動と宮城県における主要魚種の水揚量推移を検討し、ブリ類は暖水期に豊漁、冷水期に不漁の傾向があることを示した。さらに、暖水年にはブリ類の分布域が三陸まで広がり、冷水年には常磐以南へ縮小し宮城県沿岸におけるブリ0歳魚の漁獲量が極めて少なくなるとしている。

ブリ成魚の漁獲量 (Fig. 12) は太平洋沿岸において

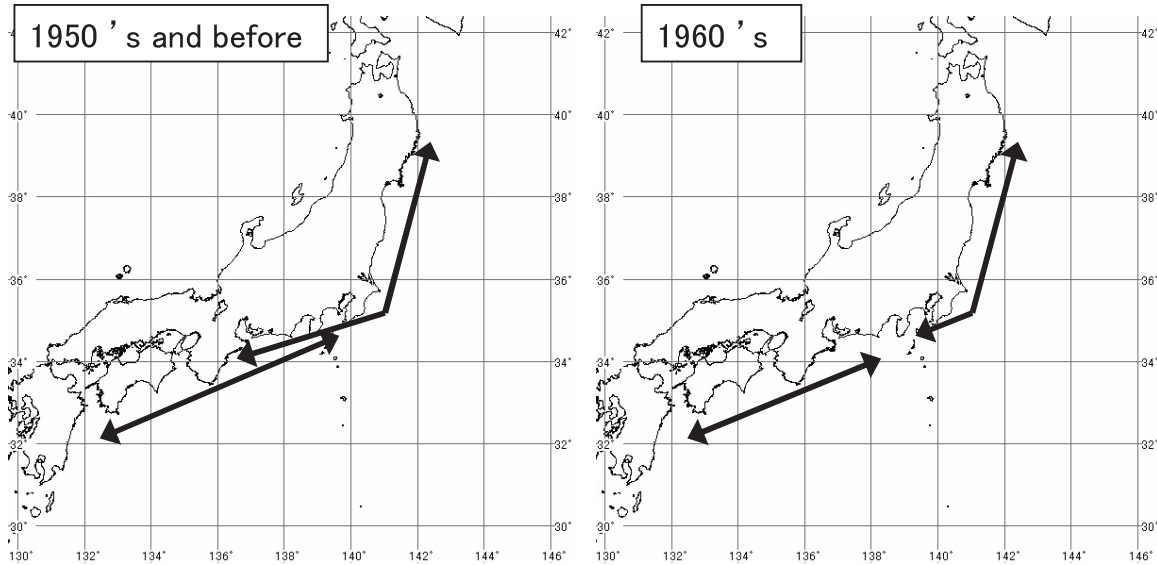


Fig. 11. A schematic diagram on the distribution and migration of over 3-year old yellowtail in the Pacific coast of Japan (after Tanaka, 1972a, b, and 1973).

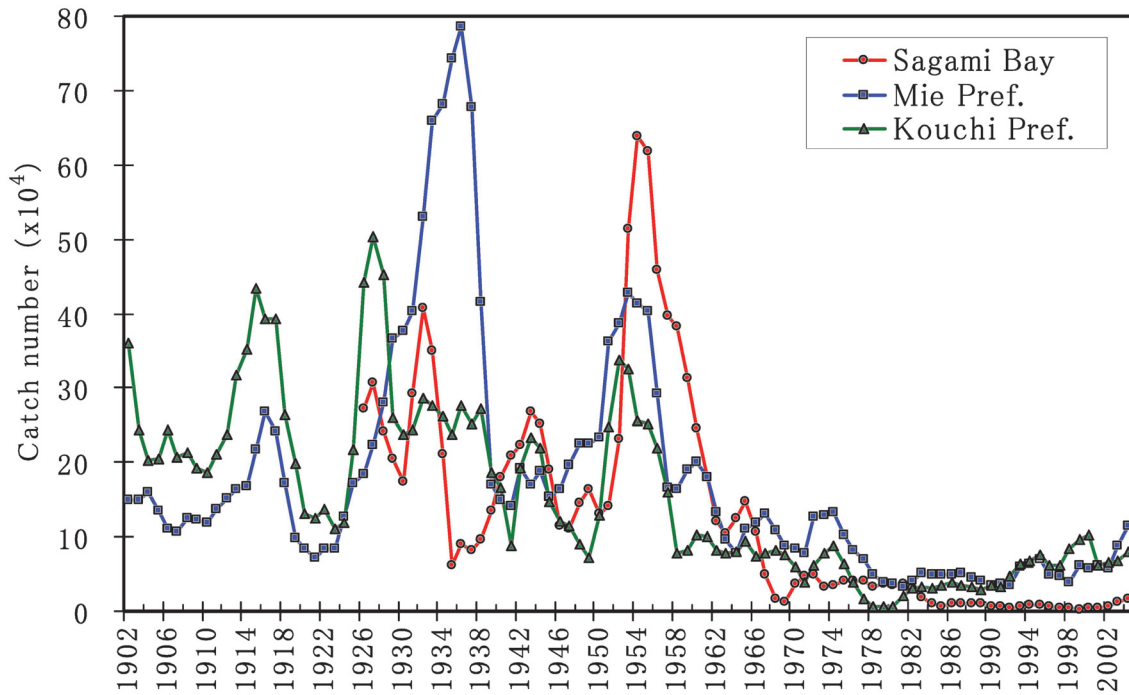


Fig. 12. Yearly catch number of Buri (yellowtail sized over 6kg) at main fixed netting areas along the Pacific coast of Japan (after Kuno, 2004 and original data). Figures are shown using three years moving average.

も、1960年代以前に比べて大きく減少するとともに、数十年の周期で豊凶がみられる(久野, 2004)。太平洋側におけるブリ成魚の資源変動は、1956年を境にそれ以前の自然要因によると推定される変動と、それ以降の人為的要因によると推定される減少傾向とに分か

れるとされるが(木幡, 1986)、相模湾で1960年代以降に大型魚の漁獲量が三重県や高知県に比べて極端に少なくなったことと、大型魚の分布・回遊様式の変化が関連している可能性もあり、今後、海況変動と漁況の変化について検討する必要があるだろう。

第4章 今後の研究課題

これまで第2章, 第3章においてブリの産卵場, 初期生活史に関するレビュー, 及び移動回遊に関するレビュー結果をみた。これらのレビューから整理された既往知見を Table 3~5に示す。

産卵生態に関して, レビューから得られた既往知見と未解明な点を Table 3に示す。産卵生態に関しては断片的な知見の集積から東シナ海, 太平洋, 日本海における産卵場の出現と移動のおおよその状況が推定されたが, データの蓄積は少なく海域別・時期別の産卵親魚の回遊時期・経路などは不明であり, 適切な資源

Table 3. Summary of review on spawning biology of yellowtail

Item	Previous knowledge	Research subjects
Spawning period and area (information from adult fish)	Large size fish spawn earlier.	Does the suitable condition for spawning and spawning area differ by age?
	Spawning area moves northward as water temperature increases in the East China Sea.	
	They spawn along the edge of continental shelf in the East China Sea, at Danjyo Islands and Pacific Ocean (the Sea of Kumano). It is possible that they also spawn in the Sea of Japan (e.g. off Shimane Prefecture, Wakasa Bay and off Noto Peninsula).	Do all spawning adults belong the same population?
	The northern limits seem off Noto Peninsula and Izu Peninsula.	
Suitable water temp. for spawning	19~22°C (Danjyo Isls.-south of Goto Isls.).	What is the relationship between water temp. and maturation spawning activity and the survival rate?
	15~23°C (West of Kyushu, Tsushima Channel, south of Kagoshima Pref.).	
	19~21°C (after Mitani, 1960)	
Spawning period and area in the Sea of Japan (from eggs and larvae)	From the sea of Goto to Tsushima Channel: the peak period is in April and May.	When and where the young fish which occur in various places along the Sea of Japan are hatched ?
	Southwest coast of Korea Peninsula: May (post-larvae)	
	Off Yamaguchi : May and after (pre- and post-larvae)	
	Off northern Kyushu: May and June (juvenile)	
	Around Oki Isls.: June and July (pre- and post-larvae)	
	The possibility that larvae spawned in the East China Sea in April and May have been transported to Tsushima Current side is high.	
	It may be distinguishable fish hatched in the Sea of Japan from fish hatched in the East China Sea by their hatching date. Fish are hatched in April and May in the East China Sea.	
Spawning period and area in the Pacific Ocean (from eggs and larvae)	South of Kagoshima Pref.: January-May	When and where the young fish which occur in various places along the Pacific Ocean are hatched?
	Main spawning area is the upper reaches of Kuroshio Current and southwestern area off Japan: pre- and post-larvae occur in April and May.	
	The Sea of Hyuga: pre- and post-larvae occur in April and May.	
	Northeastern area of Japan: pre- and post-larvae mainly occurred in June. Body length composition was intermittent (7-90mm).	How is the seasonal pattern of transportation, and how to estimate spawning area from hatching date in the Pacific Ocean area?
	Middle and southern part of the East China Sea: February and March. Off Kyushu and Shikoku: March-May. East of Shikoku: June.	
	The possibility that larvae spawned in the East China Sea in February and March have been transported to Pacific Ocean side is high.	

管理のためにはより詳細な調査・研究が必要である。産卵場の季節的な移動が引き起こされる原因については、冬～初夏にかけての水温変化であることは推測できるが、一方で適水温帯の全域が産卵場となるわけではなく、産卵場形成の必要条件については不明である。日本海側は春先から月が進むとともに産卵場が北上する様子が捉えられており、太平洋側についても明瞭ではないものの次第に西部から東部へ産卵場が移動ないし拡大する可能性がレビューの結果から示されており、産卵場に来遊する親魚の産卵回遊様式の解明については、手法の検討も含めて残された課題である。日本海側においても、太平洋側においても沿岸各地に来遊する主群が東シナ海生まれであるか、あるいは日本海、太平洋生まれであるかはっきりしたことはわかっていない。

流れ藻への随伴性を示すようになるモジャコ期の生

態については、随伴性発現、非発現のメカニズムなどが未解明の点である。0歳魚のブリがどの段階まで受動的に輸送されるのか、流れ藻に着いた個体と着かない個体で減耗率に差があるかなどが今後の課題と考えられる。

なお、今回のレビューでブリ属の卵、仔魚に関して外部形態による種査定の限界が既往知見の集約のネットワークになっていることが報告された。この問題は今後もフィールドでの標本を扱う際に問題となると考えられ、早期の査定技術開発が望まれる。

初期生活史については、食性、共食い、自発摂餌などに関する知見が得られている (Table 4)。来遊量予測技術開発や資源管理のためには、これらの成果を基礎にして更に加入量の変動機構解明に取り組む必要があるが、この分野の課題については既往成果も少なく今回は詳細なレビューの対象にならなかったが、今後

Table 4. Summary of review on early life ecology of yellowtail.

Item	Previous knowledge	Research subjects
Relationship with drifting seaweeds	A habit to follow drifting seaweeds occurs over 15mm.	
Two types, i.e. who follows and does not follow drifting seaweeds are observed.	What is the quantitative ratio of the two types?	
What is the difference of survival rate of the two types?		
Influence of juvenile catch	Juveniles (Mojoyako) are caught for aquaculture.	
Predation		
Growth	The difference of growth by school is observed (larvae produced in Tosa Bay is faster in growth).	Why does growth speed differ by regions?
Feeding habit	Small copepods etc. cannibalism occurs over 10mm.	What is the relationship between diet environment and survival rate?
Transportation	Stable from the East China Sea to the Pacific Ocean (February and March). Unstable to Tsushima Current side (May and June).	How is the process of distribution form the East China Sea to the two current?
How is the distribution rate decided?		
From where is recruitment in the sea of Japan and the Pacific Ocean supplied mainly?		
Physical environment		Is there relationship between the regime shift?
Recruitment fluctuation factor		
Spawner-recruit relationship		

取り組むべき研究方向として重要であることは言を待たない。マイワシなど浮魚類ではレジームシフトと呼ばれる環境変化と、加入量変動、資源変動の関係が示唆されているが (Chavez *et al.*, 2003), プリでも富山

湾において過去の漁況の長期変動と環境要因の長期変動の関係が示された。この現象は環境変動に伴うプリの回遊様式の変化による富山湾の漁況の変化なのか、加入量そのものの変動なのか、あるいは両方なのか、

Table 5. A summary of review on migration ecology of yellowtail

Item	Previous knowledge	Research subjects
The Sea of Japan: migration pattern by age	0-year old: spread as far as the coast of Hokkaido and the polar front. A range of movement after fish leave drifting seaweeds is small. Northern limit of wintering area is Sado Channel.	What is the suitable condition of distribution, the northern limit of migration, the condition of wintering area?
	1- and 2-year old: seasonal small scale migration, offshore and shore migration.	What is the suitable condition of distribution and the condition of wintering? Where is the northern limit of migration?
	3-year old: go south to spawning. The lower limit of water temperature in wintering area is 9°C .	What is the trigger to go to the south? Where is the southern limit of migration?
	4-year old and over: large scale migration from the East China Sea to Hokkaido is observed.	What is the relationship between migration and environment?
The Sea of Japan: fluctuation pattern of migration in decadal scale	1950s and 60s: 0-year old fish pass the winter in northern part of the Sea of Japan.	What is the relationship between long term fluctuation of environment?
	1970s and 1980s: 0-year old fish go south of Noto Peninsula in winter. They did not spread their distribution area to the north thereafter. The distribution area of adult fish reduced and young fish tend to distribute in west part of the Sea of Japan.	
	1990s: The catch of large sized fish increased in northern part of the Sea of Japan. Catch amount also increased in Toyama Bay. Water temp. was higher than the previous average.	
Pacific Ocean: migration pattern by age, by period	1960s and before: small sized fish (0- and 1-year old) seem to show two migration patterns i.e. that from Bousou Peninsula to Sanriku District and that of small scale movement in the west of Sagami Bay.	What was the migration pattern in 1970s and after?
	1950s and before: two patterns were observed fish over 3-years old, i.e. that from the sea of Kumano to Sanriku District and that from the Sea of Hyuga to Sagami Bay.	
	1960s: two patterns were observed fish over 3-years old, i.e. that from the sea of Sagami Bay to Sanriku District and that from the Sea of Hyuga to the Sea of Enshu. In Sagami Bay the catch amount of large sized fish decreased extremely.	Where are the spawning grounds?
	1970s and 80s: few data exist.	
	1990s: fish released in Wakayama Pref. went to Mie Pref. and Shikoku.	
	Catch fluctuation observed on a decadal scale.	Is the cause of catch fluctuation the change of migration pattern? What is the relationship between ocean environment and migration pattern?

今のところ明確ではなく解決すべき課題と考えられる。この課題への取り組みは過去データの収集と解析といった手法が可能である。

分布・回遊については過去の漁獲統計の解析、通常の標識放流調査、近年のアーカイバルタグを用いた標識放流の成果などから太平洋、日本海における未成魚、成魚についての知見が集積されつつあり、年齢によって分布域、回遊様式が異なること、同一年齢でも回遊様式は一通りではないこと、さらに長期間のデータを検討した場合、年代により変化が見られることなどが示されたがその詳細は課題として残されている (Table 5)。

年齢別の回遊については以下の問題点が指摘された。当歳のブリは稚幼魚期に流れ藻に付き比較的遠方まで輸送されるが、日本海側ではその後の1, 2歳時には移動範囲が狭く海域ごとに異なる回遊様式が見られるがそれは長期的に見て一定ではなく、回遊様式の詳細な把握と海洋環境との関係の解明が残された問題である。太平洋側でも相模湾以西と、北部では未成魚の回遊様式が異なる可能性もレビューされたが資料が少なく未解明の部分が多い。それぞれの海域の回遊様式の把握とその変動の解析、さらに回遊様式のあり方と海洋環境の関係の解明が課題として残されていると考えられる。

3歳に達すると日本海側については東シナ海への産卵回遊が開始されるが、太平洋側では三陸から遠州灘あるいは相模湾に分布する群と、日向灘から相模湾あるいは遠州灘に分布する群の2つがみられるのではないかと資料があり、親魚についても回遊様式の把握が必要である。さらに、産卵群として日本海から東シナ海へ回遊した群と太平洋の群の関係がこれまでの知見では必ずしもはっきりしていないという点が残された課題である。3章でみたように回遊様式に関して日本海でも太平洋側でも数十年規模の長期変動が報告されており、富山湾では、日本海西部における最低水温期の水温の長期変動と漁況の関連性が指摘されている。このように、海洋環境の変動状況とブリの回遊様式および漁況の変動状況からは、その関連性が示唆されるが、その他に、産卵場、加入量指数、モジャコ来遊量、日本海・太平洋への輸送 (配分比率) などについてもこのような長期変動が存在するのか、過去データの解析から取り組むことは有益であろう。

このような年齢別の回遊様式の詳細を把握し、それと海洋環境との関係が解明されることで、資源評価調査の成果などから得られる年齢別資源量の情報と相まって、各地の漁業者に的確な来遊期、来遊量予測情報を提供することが可能となる。また、資源評価の基礎

となる個体群の構造についても理解が深まり再生産関係の把握などに役立ち、的確な資源管理につながることも期待できる。

第5章 ブリの産卵、回遊と海洋環境の関係を解明するための調査手法

第5章では、第2章と第3章にまとめられたこれまでの知見を踏まえ、第4章にあげられた研究課題を達成するための手法について述べる。個体の発生水域の推定や回遊様式の解明のためには、耳石微量元素分析やアーカイバルタグなど近年に開発された新たな手法が重要である。一方、年代による成熟や成長の変化を解明するためには、これまでに行われてきた古典的な手法の継続とその効率的な配置が重要である。

5-1 産卵場、産卵期の推定

2章に示したように、成魚の生殖腺の観察によって推定されている産卵期は、東シナ海の大陸棚縁辺から九州南岸では2~4月、九州西岸と四国から紀伊半島の太平洋沿岸では4~5月、山陰から能登半島周辺の日本海では6月以降である (三谷, 1960; 村山, 1992; 辻, 2000)。また、大型個体が東シナ海南部で早期に産卵し、中型個体が九州西岸でそれより遅く産卵することから (三谷, 1960)、産卵場の北上が産卵群の北上を意味するものではないと考えられる (上原ら, 1998)。しかし、これらの知見には50年近く前の結果も含まれていることや、確実に産卵を確認できる方法ではなかったことから、近年の海域別の産卵実態が詳細に把握されているとは言い難い。また、大型個体ほど高齢であると考えられることから、年齢によって産卵場が異なる可能性がある。つまり、産卵場の形成要因として産卵魚の年齢構成も重要となる。このため、村山 (1992)、上原ら (1998) が行ったような大中小型まき網の漁獲統計の分析、さらには海洋環境資料との突き合わせによる検討も直ちに採りうる手法であるが、以下に示す親魚の年齢別成熟状況、卵仔稚の分布情報、海域別に来遊する当歳魚の誕生時期情報などを総合し、月別の産卵海域と産卵魚の年齢および水温を示したマップを作成することにより、近年における海域別の産卵実態を把握する必要がある。

成魚の生殖腺観察 ブリにおいて成熟状態から産卵場と産卵期を推定する場合、生殖腺の熟度階級の判定、および熟度階級と生殖腺熟度指数の対応が用いられてきた。しかし、産卵の有無を正確に判断するためには、組織学的観察により排卵後ろ胞を確認すべきである。また、ブリでは未だ成熟状態の組織学的規準

が確立されていないため、生殖周期や天然海域での一産卵期当たりの産卵数を見積もることができない。今後は、飼育魚を用いて成熟状態の組織学的規準を明らかにする必要がある。また、天然海域での産卵状況調査では、この規準を用いてより正確な情報の提示が望まれる。特に、産卵場の北縁部である若狭湾から能登半島周辺および紀伊半島から伊豆周辺での情報が重要である。また、東シナ海南部での産卵終期の確認も必要である。海域別の調査実施期間は、東シナ海中南部では2～5月、九州西岸では3～6月、日本海西部では4～7月、日本海中部では5～7月、薩南-日向灘では3～5月、四国周辺・熊野灘・伊豆周辺では3～5月が適当であろう。但し、近年では我が国の漁業の変化により東シナ海南部における標本入手が難しくなっている。

産卵魚の年齢査定には、耳石、鱗、鰓蓋骨、脊椎骨に形成される輪紋を用いる方法があるが、輪紋の観察の容易さや体長との関係のばらつきの小ささなどから、鰓蓋骨と脊椎骨が適している(三谷, 1960)。脊椎骨の場合、体長に対する成長率が最も大きいことから第15～18椎体が適している(三谷, 1960)。これまでの研究例では第17椎体を用いているので(三谷, 1960; 村山, 1992)、比較のために今後も第17椎体を使用することが望ましい。ただし、ブリでは個体の成長が5歳以上で頭打ちとなるので、上述のどの年齢形質を用いても5歳以上の年齢分解は困難である(三谷, 1960)。したがって、詳細な年齢査定のために新たな年齢形質を検討する必要がある。甲殻類(シャコ)では経時的に脳内に蓄積されるリポフシン量を測定することにより、年齢査定が可能となっている(Kodama, *et al.*, 2005)。魚類でもこのような個体の成長に因らない年齢査定法の確立が望まれる。

調査船による産卵調査および卵稚仔の同定技術の向上 月別・発生段階別の卵と仔魚の分布マップの作成により、産卵場からの卵・稚仔の分散状況を知ることができる。

水産研究所と都道府県水産試験場では、長年にわたって調査船による魚類の卵・稚仔採集調査が行われている。この調査は主に多獲性魚類であるイワシ類やサバ類の卵と稚仔を対象としたものであり、LNP(改良型ノルパックネット)の鉛直曳きによる採集が多くの定点で行われてきた。この調査ではブリの卵や仔魚の採集位置や採集数は記録されてこなかったが、実際にはブリも含まれていた可能性がある。LNPによる標本が利用できれば、卵と仔魚の分布状況を把握することが可能となる。ブリ属の卵仔稚の分布水温は19～22℃台に集中していることから、卵仔魚採集調査ではそ

の水温を示す調査水域と調査時期を中心に行うことが必要である。

ブリの卵仔稚魚の採集海域では、その他のブリ属であるヒラマサやカンパチの仔稚魚が採集される(東海区水産研究所, 1967; 東海区水産研究所・南西海区水産研究所, 1970; 浅見ら, 1967)。しかし、ブリの卵は未だ種の同定が可能となっておらず、形態学的な詳しい比較による同定の可能性を見極める必要がある。仔魚期以降では、カンパチとの判別は容易であるが、体長13mm程度まではヒラマサと酷似しており、それらの判別には注意が必要である。卵・仔魚とも形態による種判別が不可能な場合は、モノクローナル抗体による判別手法の開発やDNA等遺伝情報による判別を検討する必要がある。モノクローナル抗体を用いた種判別はアサリなど二枚貝で開発されているが(浜口, 1999)、浮遊性魚卵の同定も可能であることは大西ら(2003)によって示されている。

耳石の日周輪解析による産卵場の推定 Pannella(1971)により魚類耳石の日周輪構造が示唆されたが、ブリの耳石でも1日1本の日周輪が形成されることがわかっている(Sakakura and Tsukamoto, 1996)。これを解析することにより仔稚魚の日齢や成長履歴を推定することができる。

産卵場で生まれたブリは、流れ藻に付くモジャコとなって分散する。モジャコ採捕漁業の主漁期は、九州西岸と三重県以西の太平洋側では4～5月、日本海側と静岡県以東の太平洋側では6～7月である。耳石日周輪の解析によると、太平洋側で漁獲されるモジャコは2～3月に、日本海側で漁獲されるモジャコは4～5月に生まれたものが中心となっている(村山, 1992)。前述のように、産卵期は太平洋側で5月まで、日本海側で6～7月まで続くと考えられることから、モジャコ採捕漁業によって採捕されるものよりも遅く生まれた群も存在すると考えられる。モジャコ期を過ぎた幼魚は、初夏以降に沿岸の定置網やまき網で漁獲され始め、これらが成長と移動を行いながら各地で漁獲される、すなわち加入主群となると推察される。したがって、耳石日周輪の計数によってこれらの幼魚の誕生日組成を把握すれば、産卵生態の解明によって得られた月別の産卵海域マップから、それらの生まれた海域の範囲を推定することができる。日本海における産卵期は東シナ海と比べてかなり遅いことから、この手法は日本海で漁獲される幼魚において特に有効であろう。

ブリ未成魚の成長は水温の影響を受け、暖かいほど早く成長する(村山, 1992)。水温と初期成長の関係が耳石中心部の日周輪間隔に反映されていれば、これ

を解析することにより発生した水域の水温環境を推定することができる可能性がある。このためには、人工種苗の水温を違えた飼育実験により、耳石の輪紋間隔として残される水温度による初期成長の違いを把握する必要がある。知られている産卵場の水温度から、13~26℃の範囲にいくつかの実験区を設定するのが適当であろう。各実験区の設定水温度下において受精卵を得る技術の開発がこの実験の鍵となろう。この結果と天然魚の耳石中央部の輪紋間隔測定によって得られた初期成長を比較し、天然魚の生まれた当時の水温度環境を推定することにより、成魚の成熟状態や卵稚仔の分布によって推定される比較的広い産卵水域から、加入主群が発生した水域を絞り込むことができると考えられる。

ブリ耳石の日周輪は比較的観察しやすく、体長60mm程度までなら研磨を行う必要はない。それ以上の体長の場合は縁辺部を傷つけないようにsagittal面の研磨を行う。輪紋数が多いであろうと思われる比較的大きな個体においてはtransverse面の研磨が適しているが、研磨面の選択基準となる体サイズは決定されていない。輪紋数の計数や輪紋間隔の測定には、Latok社等の耳石解析システムを用いる。

耳石微量元素組成の解析 耳石は、魚の齢や成長履歴だけでなくその経験した環境を記録しており、微量元素組成の分析により耳石に記録された環境を推定することができる(Campana, 1999)。例えば、カタクチイワシではストロンチウム-カルシウム比の分析により発生海域の塩分が推定できる(Kimura *et al.*, 2000)。ブリにおいても、生まれた頃に形成される耳石の核付近の微量元素組成を把握することにより、産卵海域を推定することができる可能性がある。このためには、産卵海域ごとにそこで生まれたことが明らかかな標本を採集し、それぞれの耳石微量元素組成を明らかにしておく必要がある。また、太平洋側と日本海側では水温度などの環境が異なるので、発生から漁獲されるまでの回遊様式を推定できる可能性がある。この場合もそれぞれの水域で漁獲された標本の微量元素組成を明らかにしておく必要がある。

耳石微量元素分析には2つの方法がある。すなわち、EPMA (Electron Probe Micro-Analysis) では微少部分における分析が可能で、耳石上に微量元素のマッピングを行うことができる。このため、耳石上における任意の位置の情報を示すことができ、環境と魚の成長履歴との対応を見ることができる。ICP-MS (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry) はEPMAより分析精度に優れているが、試料全体の微量元素組成を示す。このため、中心部分など耳石から必要部分を摘出する技術の開発が必要である。

ポップアップアーカイバルタグを用いた産卵場推定

ポップアップアーカイバルタグは、曳航索を伴った銚先とともにタグを魚体に打ち込み、魚にタグを曳航させる方法で装着し、一定期間を経過した後に曳航索が切り離されてタグが水面上に浮上し、人工衛星を介して期間中に得られたデータと浮上位置を送信するタグである。標識個体が再捕されなくてもデータが得られる点で有用であり、マグロ類、カジキ類、サメ類の標識放流調査に用いられている(高橋, 齊藤, 2003)。また浮上した地点についてはアルゴシステムにより正確に把握することが可能である。現状ではタグ本体部の長さが約17cm、アンテナ長が17cmあるために、成魚でも魚体重が10kg台であるブリへの装着は魚体への負担が大きいと考えられていた。しかし、ダミータグを装着したブリ成魚の飼育実験では、タグの装着が魚体に与える負担はそれほど大きくないという結果が得られつつある(阪地ほか, 未発表)。このタグを産卵のために南下中の成魚に装着し、産卵期間中に曳航索が切り放されるようにセットできれば、産卵回遊と産卵場の関係解明が進むものと思われる。

5-2 卵稚仔の輸送

これについては調査船による現場での卵稚仔採集調査を挙げられる。一定の定点で定期的に採集を行う方法と、特定の水塊に含まれる卵稚仔を追跡する方法がある。これらの手法は今後も調査・研究の中心であることは言を待たないが、以下にブリに適用可能な別の手法を挙げる。

一つはデータ配信型の漂流ブイを産卵場付近に投入してその挙動を観察することが、卵稚仔の輸送過程を解明するために重要な手法である。産卵場に到達する前の親魚にポップアップタグ(前出)を装着し、産卵期間中に切り放されたものをそのまま追跡するという手法も考えられる。切り放されたタグは、電池の寿命に依存するが、浮上したまま2週間から1月程度は電波を発信可能であると思われる。

マアジでは、東シナ海から太平洋並びに対馬暖流域への卵稚仔の輸送過程をコンピュータ上で再現する試みが行われている(Komatsu and Kasai, 2005)。産卵海域での海水流動モデルが開発されれば、ブリでもシミュレーション実験が可能である。

また、間接的な方法ではあるが、沿岸各地に來遊した主群の日齢査定から誕生月を把握し、5-1で述べた月別産卵場マップと照合し輸送経路を推定することも可能かもしれない。

モジャコ期の生態 これまでにモジャコ及び流れ藻への標識放流調査が行われ、流れ藻に随伴するモジャ

コの移動が明らかにされた(農林水産技術会議事務局, 1967)。また, 航空機を用いた流れ藻量の観測によるモジャコ資源量の推定が試みられた(三谷, 1965a, b, c, 1968)。しかし, 第2章に示したとおり, 必ずしも全ての個体が流れ藻に随伴するわけではない。どの程度の個体が流れ藻には着かず, それらの個体はどのような移動を行うのかについては, 表層あるいは中層トロール網など, ある程度以上の速度を有し, 濾水量の大きな採集器具による調査が必要であろう。流れ藻への随伴性発現機構については, 照度を変えた飼育実験などの手法も考えられる。

5-3 移動・回遊の解明

漁獲統計資料および魚体測定資料の解析 ブリでは, わかし, いなだ, わらさ, ぶりなどほぼ年齢に対応する銘柄別統計が存在する地域がある。また, 主に都道府県水産試験場による体長組成データも蓄積されている。これら銘柄別漁獲量や体長組成データは地域によるブリの相対的重要性の違いによる偏在性が著しいものの, 成長段階別の分布の把握によって回遊様式の概要を推定することができる。第3章に述べた対馬暖流域における回遊様式の年代による変化は, 主にこの手法と次に述べる外部標識を用いた放流調査の結果を用いて明らかにされた。この手法は早急に開始できる点で有効であるため, 新たな資料の掘り起こしを行い, 東シナ海や太平洋における回遊様式の変化も検討するべきであろう。

外部標識を用いた放流調査 古くから, ブリは大規模な回遊を行うものとされ, 回遊の経路や時期について漁業者の関心および研究ニーズが大きく, 太平洋では1917年, 日本海においては1918年から金属製および樹脂製の外部標識を用いた標識放流調査が行われてき

た。田中(1973)は, 太平洋側の各地において1926年から1938年に行われた1,024個体の標識放流調査結果を取りまとめたほか, 田中(1972a)は, 宮崎県から岩手県の範囲において, 1963年から1965年の3年間にわたって1,422個体の標識放流調査を行った。渡辺(1979)は, 1923年から1971年にかけて対馬暖流域の各地において行われた4,592個体の標識放流調査結果を取りまとめた。現在考えられているブリの回遊様式は, これらの標識放流調査の結果と漁況や漁獲物の季節変動から推定されたものである。樹脂や金属製の外部標識による調査は, 放流から再捕にいたるまでの標識魚の行動を把握することができないため, 短期的な標識魚の移動を把握するには有効であるが, これまでに知られている以上に詳細な移動・回遊に関する知見を得ることは難しいと考えられる。

アーカイバルタグを用いた放流調査 近年, 自らの位置推定を行い, そのデータを記録することが可能な, アーカイバルタグと呼ばれる集積回路内蔵の記録型標識が開発された。これにより, 放流から再捕までの標識魚の遊泳位置, 遊泳水深および水温を連続的に把握することが可能となった。2005年現在, 得られたデータの信用性が確認されるとともに, クロマグロおよびブリの標識放流調査に用いられるなど, 我が国における使用実績を有するアーカイバルタグ (Fig. 13) は, カナダのLOTEK社製のみであり, 現行モデルのLTD2310タイプは, 本体部の長さ76mm, 直径16mm, センサーケーブルの長さ220mm, 重量45g, メモリ容量8MB, 電池寿命6.5年である。これまで, クロマグロでは尾叉長45g以上の個体に, ブリでは尾叉長52cm以上(井野ら, 未発表)の個体に装着された実績があり, その成果がInagake *et al.* (2001), Itoh *et al.* (2003a), Itoh *et al.* (2003b)によって報告

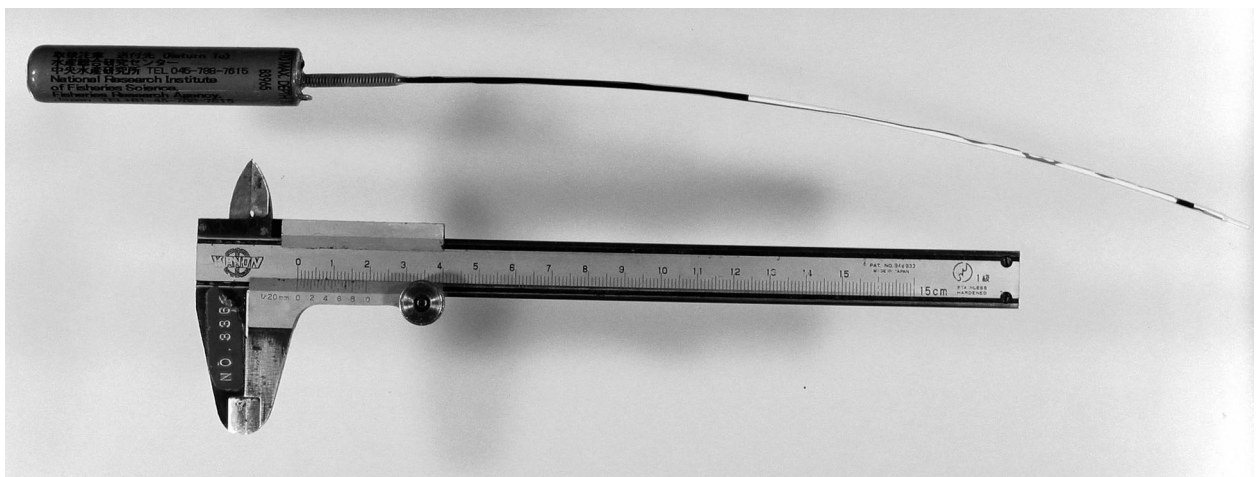


Fig. 13. Photograph of an archival tag (LTD2310).

されている。このタグによる経度の推定値は約1°の信頼性を有するが、緯度の推定値の誤差は経度誤差と比較して大きく、クロマグロにこのタグを用いた場合においては、タグから得られた経度値と水温値を表面水温の分布図と照合して緯度を推定することによって、およそ1°の誤差で緯度が推定できる (Itoh *et al.*, 2003a)。Inagake *et al.* (2001), Itoh *et al.* (2003a), Itoh *et al.* (2003b) は、このタグを用いた調査結果から、日本列島周辺におけるクロマグロ若齢魚の移動状況を示し、対馬海峡で放流した標識魚が東シナ海で冬季を過ごした後に日本海を北上し、北海道西岸沖へ移動した事例等を報告しているほか、移動や遊泳行動と水温すなわち海洋環境の関連性について検討しており、その有用性が示されている。ブリの移動・回遊状況を明らかにするための調査においても、このタグは有用であると考えられる。このほかLOTEK社からは、前述のタイプに加え、本体部の長さ37mm、直径11mm、センサーケーブルの長さ100mm、重量10g、メモリ容量384KB、電池寿命2年の小型機種(LTD2410)が2002年から製造販売されている。この機種は、これまでよりも小型の個体への装着が可能であると考えられ、キハダへの装着実験では、尾又長30cm程度の個体に装着できる可能性が示されており(新田, 2003)、その結果からみて、ブリについては、0歳魚(尾又長30~40cm)への装着が可能であろう。

5-4 海洋環境調査

ブリの産卵場・発生水域・位置等を解明するためには海洋環境との関係を分析する必要がある。分布域全体にわたる海洋環境を明らかにする必要がある。特に、回遊様式の把握においては、前述のアーカイバルタグによる回遊様式の推定精度を向上させるために、豊富な水深別の水温データが必要である。さらに、産卵場の形成要因や太平洋と日本海への仔稚魚の分配機構を明らかにし、環境による産卵場や加入量の変化を予測するためには、長期にわたる海洋環境調査が必要不可欠である。現在、水産総合研究センターをはじめ多くの研究機関が海洋観測のための定線調査などを継続して行っており、このデータを利用することが出来る。

また、各地の定置網漁場では漁況予測のために定置水温の時系列データが採取されていることが多い。ブリの回遊や行動を明らかにするためには、各地で想定されている水温と漁況の関係を一般化することも重要である。

人工衛星情報 (リモートセンシング) 人工衛星を利用した表面水温、海色、海面高度などの調査が可能であるが、ブリの産卵・回遊と環境の関係を研究する場合には表面水温の面的把握が重要である。表面水温に関して現在最も一般的に利用できるデータには米国の人工衛星であるNOAAから受信したものがある。この画像は、日本においても幾つかの機関が受信し、適宜処理を行った後有料あるいは無料で公開してい

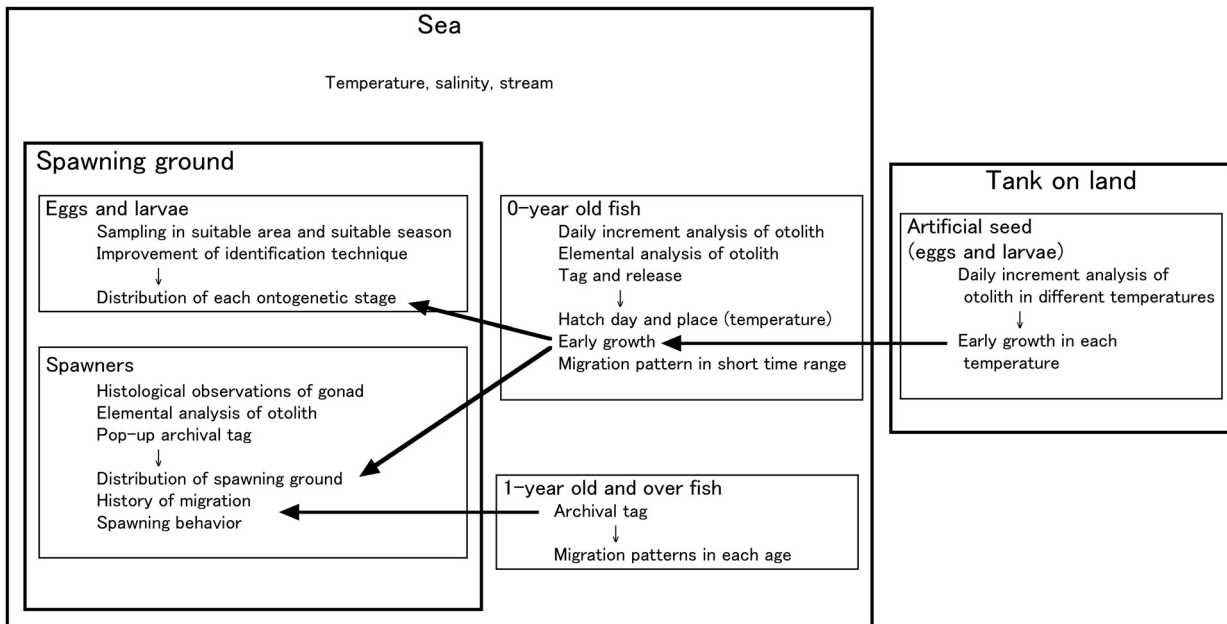


Fig. 14. Research methods for the definition of the relationship between migration and spawning pattern of yellowtail *Seriola quinqueradiata* and environmental features.

る。本州周辺の画像については水産総合研究センター日本海区水産研究所のホームページ^{*4}からもダウンロードが可能である。このデータを地理情報システムと組み合わせることで(西田ら, 2004)ブリの回遊と環境に関する研究の発展が図れるものと考えられる。

以上に述べた手法とその対象となるブリの成長段階を示す (Fig. 14)。

ブリの産卵、回遊生態を解明するためには、産卵場・産卵時期の解明、産卵場からの卵稚仔の輸送の解明、各地の来遊主群の由来の解明、沿岸各地に漂着して以降の移動・回遊の解明が必要であり、それらの課題・手法について考察を行ったが、移動・回遊については成長段階別に把握する必要がある、また海洋環境との関係の解析も不可欠であることが示された。以上のことが明らかになれば漁況予報など実用面への波及効果は大きいと思われる。漁況予測手法、資源管理手法を高度化するためには数量的な変動の把握とその要因解明についても明らかにしなくてはならないが、この部分は第2章のレビューでもわかるとおり未着手な部分が多い。Fig. 14にも示したとおり初期生態の解明には飼育実験を用いる手法も考えられるが、ブリでは親魚飼育、自然採卵の技術が確立されており、飼育実験が可能な魚種と言える。

ブリは幼魚から産卵親魚に至る様々な成長段階で漁獲されており、調査の目的や手法も成長段階毎に異なる。ブリの資源変動と海洋環境の関係を明らかにするためには、どの成長段階への調査も必要である。水産総合研究センターが中心となって、多くの研究機関や漁業関係者の協力体制を構築することが望まれる。

文 献

- 安楽正照, 畔田正格, 1965: 流れ藻に付随するブリ稚仔魚の食性, 西海水研報, 33, 13-45.
- 浅見忠彦, 花岡藤雄, 松田星二, 1967: モジャコ採捕のブリ資源に及ぼす影響に関する研究 - (特) 産卵および発生初期の生態ならびにモジャコ漁獲および減耗に関する研究-1) 産卵および発生初期の生態ならびにモジャコの標識放流に関する研究. 研究成果30, 農林水産技術会議事務局, 1-61.
- Campana S.E., 1999: Chemistry and composition of fish otoliths: pathways, mechanisms and applications. *Mar.Ecol.Prog.Ser.*, 188, 263-297.
- Chavez F.P., Ryan J., Lluch-Cota S.E., Niguen M., 2003: From anchovies to sardines and back: multidecadal change in the Pacific Ocean. *Science*, 299, 217-221
- Cho S.H., Myoung J.G., Kim J.M., and Lee J.H., 2001: Fish fauna associated with drifting seaweed in the coastal area of Tongyeong, Korea. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 130, 1190-1202.
- 藤田矢郎, 森 勇, 1982: 天然ブリ仔資源保護培養の為の基礎調査実験. 昭和56年度報告, 日裁協研究資料, 53-80.
- 深滝 弘, 1958: 対馬暖流水域におけるブリ稚魚の出現・分布について. ていち, 16, 35-45.
- 花岡藤雄, 1995: ブリの産卵とモジャコの来遊機構. 宮崎県水試研報, 146, 1-44.
- 原田輝雄, 1965: ブリの増殖に関する研究. 近大農紀要, 3, 1-291.
- 原 哲之, 1990a: 日本海へ来遊するブリ成魚の来遊量指数とその年変動. 日水誌, 56, 19-24.
- 原 哲之, 1990b: 日本海におけるブリ若齢魚漁獲量の年変動. 日水誌, 56, 1933-1939.
- 原 哲之, 1990c: 日本海沿岸域におけるブリ成魚漁獲量の年変動について. 日水誌, 56, 25-30.
- 原 哲之, 村山達朗, 1992: 日本近海におけるブリ来遊量の長期変動. 日水誌, 58, 2219-2227.
- 服部茂昌, 1964: 黒潮ならびに隣接海域における稚魚の研究. 東海区水研報, 40, 1-158. 浜口昌巳, 1999: 瀬戸内海アサリ漁場生態調査における適用方法の開発. 魚介類の初期生態解明のための種判別技術の開発, 農林水産省農林水産技術会議事務局, 東京, 66-76
- 一丸俊雄, 田代征秋, 永谷 浩, 山本憲一, 1993: 対馬周辺におけるブリ1歳魚の移動回遊と飼付漁業の漁獲量変動. 西海ブロック魚海況調査研究報告, 2, 11-23.
- 池原宏二, 1977: 佐渡海峡水域の流れ藻に付随する魚卵, 稚魚. 日水研報, 28, 17-28.
- 今井貞彦, 1954: 鹿児島大学水産学部対馬暖流開発調査資料, 1, 67-71.
- 今井貞彦, 1955: 鹿児島大学水産学部対馬暖流開発調査資料, 2, 52-75.
- Inagake D., Yamada H., Segawa K., Okazaki M., Nitta A., Itoh T., 2001: Migration of young bluefin tuna, *Thunnus orientalis* Temminck et Schlegel, through archival tagging experiments and its relation with oceanographic conditions in the

^{*4} <http://www.jsnf.affrc.go.jp/cgi-bin/naaajpg.cgi?jpg+l2006+> 日本周辺画像

- western north Pacific. *Bull. Nat. Res. Inst. Far Seas Fish.*, **38**: 53-81.
- 井野慎吾, 2003: ブリ資源の管理に向けて—アーカイバルタグを使用した回遊生態調査—. *農林水産研究ジャーナル*, **26**, 40-43.
- 井野慎吾, 河野展久, 奥野充一, 2006: 2. 海洋環境と回遊, 「水産学シリーズ 148, ブリの資源培養と養殖業の展望」, 恒星社厚生閣, 東京, 22-31.
- 石田 実, 武田保幸, 井元栄治, 平田益良雄, 田中七穂, 森由基彦, 黒木敏行, 野島通忠, 上原伸二, 1997: 1978年から1995年までの南日本太平洋沿岸の浮魚類卵仔稚の分布. *南西海区水産研究所*, 206pp.
- Itoh T., Tsuji S., Nitta A., 2003a: Migration patterns of young Pacific bluefin tuna (*Thunnus orientalis*) determined with archival tags. *Fish. Bull.*, **101**: 514-534.
- Itoh T., Tsuji S., Nitta A., 2003b: Swimming depth, ambient water temperature preference, and feeding frequency of young Pacific bluefin tuna (*Thunnus orientalis*) determined with archival tags. *Fish. Bull.*, **101**: 535-544.
- 伊東祐方, 1959: 丹後伊根浦の冬ブリ漁況の長期変動について. *日水研年報*, **5**, 29-37.
- 加藤義雄, 1954: 京都府沖合の稚魚の出現時期並びに出現傾向について. *対馬暖流開発調査第1回シンポジウム発表論文集*, 247-250.
- 加藤義雄, 1955: 京都府沖合の魚卵・稚魚について. *対馬暖流開発調査第2回シンポジウム発表論文集*, 105-108.
- 加藤史彦, 渡辺和春, 1985: 日本海におけるブリ資源の利用実態とその改善. *漁業資源研究会報*, **24**, 99-117.
- 川村久明, 1955: 東対馬水道に於ける稚魚の季節的出現傾向. *対馬暖流開発調査第2回シンポジウム発表論文集*, 83-94.
- 木村喜之助, 1952: ブリの産卵場・産卵期に関するブリ卵巣の調査. *東北水研報*, **1**, 54-62.
- Kimura, R., Secor, D.H., Houde, E.D., Piccoli, P.M., 2000: Up-estuary dispersal of young-of-the-year bay anchovy *Anchoa mitchilli* in the Chesapeake Bay: inferences from microprobe analysis of strontium in otoliths. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **208**, 217-227.
- 北原 武, 原 哲之, 1990: 回遊性資源の来遊量指数. *日水誌*, **56**, 1927-1931.
- 木幡 孜, 1986: ブリ太平洋系群成魚の長期減少傾向について. *日水誌*, **52**(7), 1181-1187.
- 木幡 孜, 1987: 太平洋主要3海域の大型定置網によるブリ成魚漁獲量の海域間相関. *日水誌*, **53**(2), 215-218.
- 児玉純一, 2003: 沿岸の環境と生態系に関するモニタリング—(2) 宮城県における海洋環境モニタリングの重要性—. *水産海洋研究*, **67**(3), 190-193.
- Kodama K., Yamakawa T., Shimizu T. and Aoki I., 2005: Age estimation of the wild population of Japanese mantis shrimp *Oratosquilla oratoria* (Crustacea: Stomatopoda) in Tokyo Bay, Japan, using lopofuscin as an age marker. *Fish. Sci.*, **71**, 141-150.
- Kohbara J., Hidaka I., Matsuoka F., Osada T., Furukawa K., Yamashita M., and Tabeta M., 2003: Self-feeding behaviour of yellowtail, *Seriola quinqueradiata*, in net cages: diel and seasonal patterns and influences of environmental factors. *Aquaculture*, **220**, 581-594.
- Komatus K., Kasai A. and Watanabe T., 2005: Modeling transport of eggs and larvae of jack mackerel in the East China Sea. North Pacific Marine Science Organization 14th annual meeting, Vladivostok, RUS, Program and abstract, 54.
- 小西芳信, 2000: 流れ藻は中国からもやってくる. *西海水研ニュース*, **103**, 11-15.
- 久野正博, 2004: ブリ資源の長期漁獲変動とレジームシフト. *黒潮の資源海洋研究*, **5**, 29-37.
- 松田星二, 1969: 南西海区水域に出現する魚卵・稚魚の研究—I. *南西海区水研報*, **2**, 49-83.
- 三谷文夫, 1960: ブリの漁業生物学的研究. *近畿大学農学部紀要*, **1**, 81-300.
- 三谷文夫, 1965a: 航空観察によって得られた流れ藻量からモジャコ資源量を推定する1つの試み—I. *日水誌*, **31**, 423-428.
- 三谷文夫, 1965b: 航空観察によって得られた流れ藻量からモジャコ資源量を推定する1つの試み—II. *日水誌*, **31**, 429-434.
- 三谷文夫, 1965c: 航空観察によって得られた流れ藻量からモジャコ資源量を推定する1つの試み—III. *日水誌*, **31**, 500-505.
- 三谷文夫, 1968: 航空観察によって得られた流れ藻量からモジャコ資源量を推定する1つの試み—IV. *日水誌*, **34**, 324-334.
- 村山達郎, 1992: 日本海におけるブリの資源生態に関する研究. *島根県水試研報*, **7**, 1-64.

- 村山達朗, 北原 武, 1992: プリ来遊量の長期傾向. 日水誌, **58**, 409-416.
- 永田俊一, 1959: 日本海におけるプリ標識放流結果について. 日水研報, **7**, 43-55.
- 日本栽培漁業協会, 1999: プリ種苗放流技術開発調査. 日裁協研究資料, **75**, 日裁協, 138pp
- 西田 勤, Meaden G., 伊藤喜代志, 2004: 海洋 GIS と空間解析 - 水産海洋分野における現状と展望 -. 月刊海洋, **407**, 340-345.
- 新田 朗, 2003: 新型アーカイバルタグ装着試験. 平成14年度日本周辺高度回遊性魚類資源調査委託事業報告書, 独立行政法人水産総合研究センター, 251-254.
- 農林水産技術会議事務局, 1967: モジャコ採捕のプリ資源に及ぼす影響に関する研究. 研究成果, **30**, 1-148.
- 能津純治, 工藤勝宏, 林 泰行, 篠田 保, 伊藤公雄, 小中邦夫, 1967: モジャコ採捕のプリ資源に及ぼす影響に関する研究 - I 産卵および発生初期の生態ならびにモジャコ漁獲および減耗に関する研究 - 2) モジャコおよび流れ藻の分布と海況. 研究成果, **30**, 農林水産技術会議事務局, 62-69.
- 小達 繁, 1962: 東北海区における稚魚の研究 II. アジ科 Carangidae. 東北水研報, **20**, 94-105.
- 小達 繁, 1967: 東北海区における稚魚の研究 IV. 出現種類と季節的出現傾向. 東北水研報, **27**, 61-75.
- 沖山宗雄, 1965: 佐渡海峡に出現する魚卵. 稚仔に関する予察的研究. 日水研報, **15**, 13-37.
- 大西庸介, 池田知司, 広石伸互, 沖山宗雄, 2003: モノクローナル抗体を用いた浮遊性魚卵の同定. Nippon Suisan Gakkaishi, **69**, 170-177.
- Pannella G., 1971: Fish otolith: daily growth layers and periodical patterns. *Science*, **173**, 1124-1127.
- Safran P., 1990: Drifting seaweed and associated ichthyofauna: floating nursery in the Tohoku waters. *La Mer*, **28**, 225-239.
- Safran P. and Omori M., 1990: Some ecological observations on fishes associated with drifting seaweed off Tohoku coast, Japan. *Mar. Biol.*, **105**, 395-402.
- Sakakura Y. and Tsukamoto K., 1996: Onset and development of cannibalistic behaviour in early life stages of yellowtail. *J. Fish Biol.*, **48**, 16-29.
- 阪地英男, 山本敏博, 2006: II. 漁業資源-5. 資源評価と管理. 「水産学シリーズ 148, プリの資源培養と養殖業の展望」, 恒星社厚生閣, 東京, 53-63.
- Sakakura Y. and Tsukamoto K., 1997: Age composition in the school of juvenile yellowtail *Seriola quinqueradiata* associated with drifting seaweeds in the East China Sea. *Fish. Sci.*, **63**, 37-41.
- 沢田郁次, 石津 峻, 田中 暉, 吉川明夫, 1960: プリ資源調査報告(1). ていち, **26・27**, 101-153.
- 西海区水産研究所, 1966: 九州西海域・東シナ海域における主要魚種の卵稚仔魚分布 - II (1965年2~7月採集). 西海区水産研究所資料集, 75pp.
- 西海区水産研究所, 1967: 九州西海域・東シナ海域における主要魚種の卵稚仔魚分布 - III (1966年1~7月採集). 西海区水産研究所資料集, 62pp.
- 西海区水産研究所, 1969: 九州西海域・東シナ海域における主要魚種の卵稚仔魚分布 - IV (1967年1~7月採集). 西海区水産研究所資料集, 57pp.
- 千田哲資, 1962a: 隠岐等近海に於ける魚卵・稚魚の出現について - I 出現する種類. 日本生態学会誌, **12**, 152-157.
- 千田哲資, 1962b: 隠岐等近海に於ける魚卵・稚魚の出現について - II 季節変化. 日本生態学会誌, **12**, 163-166.
- 千田哲資, 1965: 流れ藻の水産的利用. 水産研究叢書, **13**, 日本水産資源保護協会, 55pp.
- Shimomura T. and Fukataki H., 1957: On the year round occurrence and ecology of eggs and larvae of the principal fishes in the Japan Sea-I. *Bull. Japan Sea Reg. Fish. Res. Lab.*, **6**, 155-290.
- 高橋未緒, 齊藤宏和, 2003: ポップアップ式衛星通信型タグによるまぐろ・かじき類調査の現況. 遠水研ニュース, **112**, 18-23.
- 田中昌一, 1967: モジャコ採捕のプリ資源に及ぼす影響に関する研究 - (特) 産卵および発生初期の生態ならびにモジャコ漁獲および減耗に関する研究 - 3) モジャコ漁場における流れ藻の標識放流. 研究成果, **30**, 農林水産技術会議事務局, 70-76p.
- 田中昌一, 1972a: 標識放流結果からみた本邦太平洋沿岸のプリの回遊 - I. 日水誌, **38**, 29-32.
- 田中昌一, 1972b: 標識放流結果からみた本邦太平洋沿岸のプリの回遊 - II. 日水誌, **38**, 93-96.
- 田中昌一, 1973: 標識放流結果からみた本邦太平洋沿岸のプリの回遊 - III. 日水誌, **39**, 17-23.
- Tanaka S., 1978: Migration model and population dynamics of large-sized yellowtails in the Pacific Ocean along the Japanese coast inferred from tagging experiments - I Same year recaptures, *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.*, **45**(3), 297-303.

- Tanaka S., 1984: Migration model and dynamics parameters of large-sized yellowtails in the Pacific Ocean along the Japanese coast inferred from tag recaptures after the year of release, *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.*, **50**(8), 1341-1347.
- 東海区水産研究所編, 1966: モジャコ採捕のブリ資源に及ぼす影響に関する研究. 東海区水産研究所, 99pp.
- 東海区水産研究所, 南西海区水産研究所編, 1970: モジャコ採捕のブリ資源に及ぼす影響に関する研究報告書(続報). 東海区水産研究所・南西海区水産研究所, 99pp.
- 辻 俊宏, 2000: 能登半島沿岸で漁獲されるブリ成魚の成熟度. 石川県水産総合センター研報, **2**, 37-39.
- 内山 勇, 1997: 日本海のブリ資源. 水産海洋研究, **61**, 310-312.
- 上原伸二, 三谷卓美, 石田実, 1996: ブリの加入量・加入前資源量の把握技術の開発. 平成7年度我が国周辺漁業資源調査・特定水産資源評価技術開発調査報告書, 水産庁・6水産研究所, 95-102.
- 上原伸二, 三谷卓美, 石田実, 1998: 東シナ海におけるブリの漁獲と産卵場. 南西外海の資源・海洋研究, **14**, 55-62.
- 内田恵太郎, 1954: 対馬暖流海域の浮遊魚卵, 魚稚仔附-ホンサバ, マアジ, ブリの卵乃至稚魚について. 対馬暖流開発調査研究報告, **1**, 水産庁, 111-115.
- 内田恵太郎, 1955: 対馬暖流海域における重要魚類稚仔の分布と出現期. 対馬暖流開発調査第3回シンポジウム発表論文, 水産庁, 333-335.
- 内田恵太郎, 道津喜衛, 水戸 敏, 中原官太郎, 1958a: ブリの産卵および初期生活史. 九大農学部学芸雑誌, **16**, 329-342.
- 内田恵太郎, 道津喜衛, 水戸 敏, 中原官太郎, 1958b: ブリの産卵および初期生活史. ていち, **17**, 19-32.
- 内田恵太郎, 庄島洋一, 1958: 流れ藻に関する研究・流れ藻に伴う稚仔魚-I. 昭和32年度の津屋崎附近における調査. 日水誌, **24**, 411-415.
- 渡辺和春, 1979: 春・夏期に放流した標識魚の再捕結果からみた対馬暖流水域におけるブリの分布と回遊. 日水研報, **30**, 131-164.
- 山川文男, 1989: ブリ幼魚目視調査結果について. 第29回ブリ予報技術連絡会議議事録, 日本海ブリ予報技術研究チーム, **8**.
- 山寺敏之, 1935: 海洋歴の研究. 定置漁業界, **24**, 6-21.
- 吉田忠生, 1963: 流れ藻の分布と移動に関する研究. 東北水研報, **23**, 141-186.