

寄稿

イワシ類およびイカナゴの資源生態研究と その資源管理型漁業への応用

船越 茂雄^{*1}

Studies on the Mechanisms Behind the Species Replacement Between Sardine and Anchovy Populations and the Ecology of Sandeel for the Management of Fishery Resources

Shigeo FUNAKOSHI^{*1}

Abstract

This study discusses what methods for stock management are appropriate to control the abundance fluctuations of sardine, anchovy and sandeel, economically important stocks for the coastal fisheries in Ise Bay, Mikawa Bay and the Enshu-nada Sea, with special reference to the mechanisms of the fluctuations of these stocks. The causes behind the abundance fluctuations in the order of difficulties of artificial control are as follows:

- (1) Long-term regime shift of pelagic stocks.
- (2) Influences of the Kuroshio meander and climate changes on the reproductive environments.
- (3) Habitat destruction due to reclamation of tidal flats and seagrass beds and due to environmental pollution.
- (4) Over-exploitation.

These above four factors, interacting mutually, influence the life cycles of sardine, anchovy and sandeel. In addition, their differential responses to the changes in the environments cause a species-specific complicated fluctuation pattern. It is supposed that the long-term fluctuations in abundance of sardine and anchovy called "dominant species alternation" would be mainly caused by (1), and short-term and local fluctuations caused mainly by (2). But we cannot artificially control (1) and (2). In fisheries aiming at these pelagic fishes, it is important to consider the timing for investment to fishing boats and the operation that would be able to gain the maximum economic value from recruited group. On the other hand, it is supposed that the fluctuations in sandeel abundance would be caused by (2), (3) and (4), and there is possibility to avoid (3) and (4). In sandeel fishery, about 270 fleets are participating in operation, accompanied by severe competition for the preemptive right, which often results in over-exploitation. To secure stable revenue annuity, it is therefore important to avoid over-exploitation and actually several stock management programs are successfully executed by fishermen.

本論では、日本近海における主要な漁獲対象魚であるマイワシ、カタクチイワシ、イカナゴについて、資源量変動メカニズムに触れながら、その人為的制御の可能性に応じて、どのような資源管理方策をとればよ

いか、について考察した。資源量の人為的制御の可能性の低いマイワシ、カタクチイワシについては、主として魚種交替のメカニズムについて記述し、資源管理の可能性のあるイカナゴについては、資源量変動メカニズムと資源管理方策について記述した。

1998年5月29日受付

^{*1} 愛知県農業水産部水産振興室

Fisheries Promotion Division, Department of Agriculture and Fisheries, Aichi Prefectural Government
3-1-2, San-no Maru, Nakaku, Nagoya 460-8501, Japan

1. 魚介類の資源量変動の原因

「魚介類の資源量は何故増えたり減ったりするのか？」
これについて漁業者も私達も強い関心をもっている。

この原因については、いろいろな整理の仕方がある。例えば資源管理では、その可能性と限界の評価が重要であり、それらは漁業者のやる気にも関係してくる。例えば、原因を人為的に制御しにくい内容から列挙していくと以下ようになる。

- 1 レジーム・シフト
- 2 黒潮流路、冷夏など局地的な海況・気象、それらに伴う餌料豊度や密度効果による初期減耗、産卵ポテンシャルの変化
- 3 干潟・藻場など沿岸域の埋立てと汚染
- 4 乱獲

1と2は人為的に制御できないが、3と4は人為的に回避できる可能性がある。魚介類の資源量の複雑な変動パターンは、これら1～4が相互に影響し合いながら生まれる。また、種によって生活様式が異なるために、環境変化に対する応答の仕方も異なり、種に特有の資源量変動パターンが出現する。魚介類の資源量が減少した場合、とかく漁業者による乱獲が原因とされるが、生態系内の種間関係なども含む環境変化が主原因である場合も多く、客観的で冷静な原因分析が必要である。例えば、近年、日本の漁業生産量がかつての1,000万トンの大台を割り、平成8年度には680万トンまで減少し、政府も業界も危機感をつのらせているが、これには自然現象であるレジーム・シフトによるマイワシやスケソウダラ資源の減少、200海里問題などの国際関係が複雑に関係している(川崎, 1996)。伊勢・三河湾では、戦後ハマグリがほとんど姿を消し、約10年前には大アサリで親しまれてきた産業的重要種ウチムラサキが、そして、近年、バイガイがほとんど獲れなくなってしまった。これらは深刻な問題となりつつある環境ホルモンの影響も含む生息環境の変化に原因があると考えられる。

戦後の日本の沿岸漁業は、①豊かな魚介藻類を育んできた生産性の高い沿岸漁場、②安い燃油、漁業用資材、③高度経済成長による魚価上昇の3つの条件に支えられ発展してきたが、これらはいずれも沿岸域の環境破壊、オイルショック、低経済成長時代の到来と200海里、円高問題に端を発した水産物輸入の急増によって、失われてきている。とくに東京湾、伊勢・三河湾、瀬戸内海などの内湾、内海では、長年にわたる大規模な干潟・藻場の埋め立て、汚濁負荷の増加などにより多くの魚介類の生息の場が奪われ資源量が減少している(船越, 1998)。こうした環境収容力の衰退に過剰な漁獲努力が加わり、資源の減少が起こっている

のが、多くの場合、沿岸漁業の実態ではないかと考えられる。

本論で取り上げるマイワシ、カタクチイワシ、イカナゴは、日本の沿岸漁業の中で重要な位置を占め、とくに伊勢・三河湾、遠州灘海域においては主要な漁獲対象魚種である。前2者の資源量変動には、主に1～2が、後者イカナゴの資源量変動には、後で具体的に述べるが、主に2～4が原因として関係していると考えられる。

2. イワシ類の魚種交替と資源管理

筆者は、太平洋側におけるイワシ類の主要な再生産の場である遠州灘、伊勢・三河湾において1970年代から1980年代にかけて研究を行い、魚種交替の具体的プロセスの一端を現場において見る事ができた。この時期は、1972年のマイワシの卓越年級群形成から、その後の沿岸回遊型→沖合回遊型→沖合大回遊型へと進む生活範囲の拡大によって1980年代の大豊漁期を迎えていくほぼ中間点に位置していた。また、この時期、産卵場は伊豆諸島から房総海域→遠州灘→薩南海域へと大きくシフトした。すなわち資源量の急激な増加が生活域の南西方向への拡大を促した時期に研究を行ったことになる。

このようなローカルな海域の出来事から魚種交替のメカニズムの全体像に迫ることは困難であるが、具体的プロセスの一端を明らかにすることは全体像を知る有力な手がかりになりうると考えられる。

(1) 日本周辺における魚種交替

イワシ類は魚種交替と呼ばれる資源量の長期変動をくり返してきた。魚種交替は、日本近海においては、およそマサバ→マイワシ→サンマ、カタクチイワシ、スルメイカ→マサバ・マイワシのような順序で進行してきたが、我々が観測したのは2サイクル、100年程度の期間であり、この順序が必然的で定まったものなのかどうかは不明であり、後世の研究課題として残されている。この中でマイワシの資源量は、50年周期説が提唱されるほどの長期変動を示し(坪井, 1988)、変動幅も約450倍とカタクチイワシの約3倍に比べて大きく、変動の時空間スケールはカタクチイワシやイカナゴに比べて桁違いに大きい(Fig. 1; 船越, 1990; FUNAKOSHI, 1992)。

このような魚種交替現象は、数十年の時間スケールと地球規模の空間スケールをもった大気-生物系の基

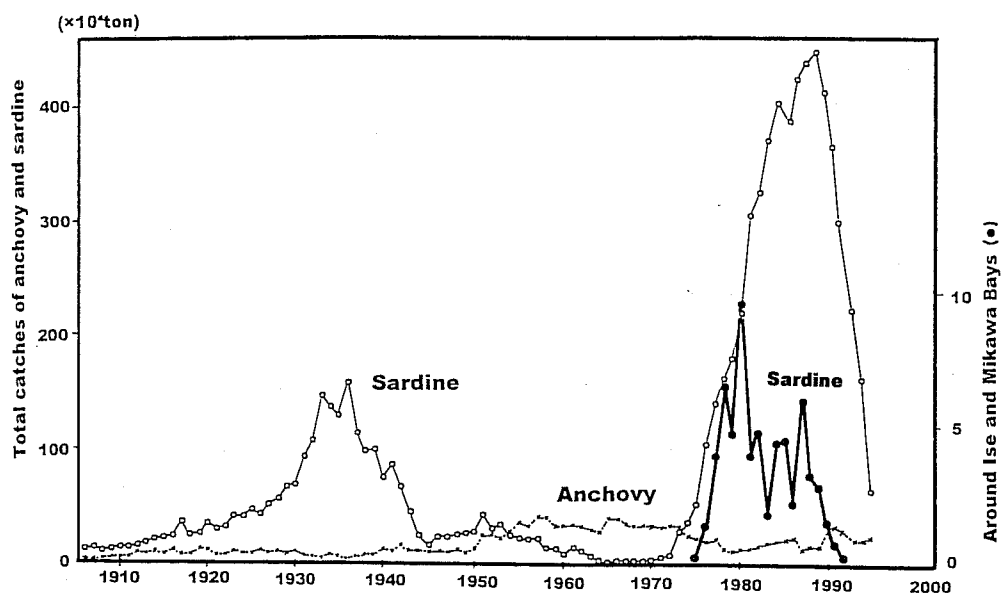


Fig. 1. Long-term fluctuations of catches of the Japanese anchovy and sardine in the coastal waters of Japan and western Enshu-nada, Ise Bay and Mikawa Bay, 1906–1995.

本構造が段階的・不連続的に転換する現象であるレジーム・シフトによって起こっていると考えられる (LLUCH-BELDA, *et al.*, 1989; 川崎, 1994). レジーム・シフトのメカニズムやそれを魚種交替との関連で説明したものについては諸説があるが (BAKUN, 1993; KAWASAKI, 1991; SCHLESINGER *et al.*, 1994), 生活史との関連で論述したものは少ない。

太平洋岸における魚種交替の原因を考える上での重要なポイントの1つは、浮魚類の最大の索餌海域である東北海域の環境である。この海域の環境は、親潮第1分枝の南下位置と黒潮との混合域の広さなどによって場の基本的な特性が決められている。1972年のマイワシ卓越年級群は、親潮第1分枝が1972年まで続いた北退モード期から1980年以降の南進モード期へ移行した時期 (小川, 1989) に対応し、相対的に温暖期から低温期へ向かう移行期及び低温期にあった (渡部, 1993)。戦前のマイワシ豊漁期も、東北海域は低温期であったことが報告されている (友定, 1988)。一方、1988年以後のマイワシ減少期には、親潮第1分枝の北上と混合域の温暖化及び黒潮統流域の水温上昇などが観測されている (海老沢・木下, 1997など)。

しかしながら魚種交替は、必ずしもこうした環境変化と直接の連動をもって進むものではない。例えば、マイワシの増加が顕著となった1972年よりも前の1960

年代半ばから末にかけて、すでにカタクチイワシの春季の産卵主群である成魚大型群の肥満度、生殖腺熟度係数が傾向的に低下し、逆に夏秋季の産卵主群である成魚小型群のそれが傾向的に増加するなど、再生産様式が春型から夏秋型へと大きく変化する前兆現象が観察されていた (船越, 1990)。このような前兆現象は、1990年代のカタクチイワシの増加においても観察され、魚種交替には、ある程度の時間をかけた生物的变化が先行する事例として注目される。

(2) 遠州灘、伊勢・三河湾における魚種交替 —魚種交替の始まりとその特徴—

1976年春の魚種交替の始まりは、マイワシの増加とカタクチイワシの減少が、どのようなプロセスをたどって開始されたかという点で重要な意味をもっている。直接のきっかけは、黒潮流路がそれまでのN型からA型基調へと不連続的に変化する中で (Fig. 2)、沿岸域の環境が沖合化し、後述するように冬春季のマイワシの産卵にとって好適な表面水温15°C以上の環境が形成され、一方、カタクチイワシの産卵にとっては高温・高塩分の不適な環境が形成されたことである。この結果、卵・仔魚の分布においては、部分的な重なりは見られたものの、基本的には時空間的競合は回避されていた (Fig. 3; 船越, 1990)。両種のシラスの長期的な

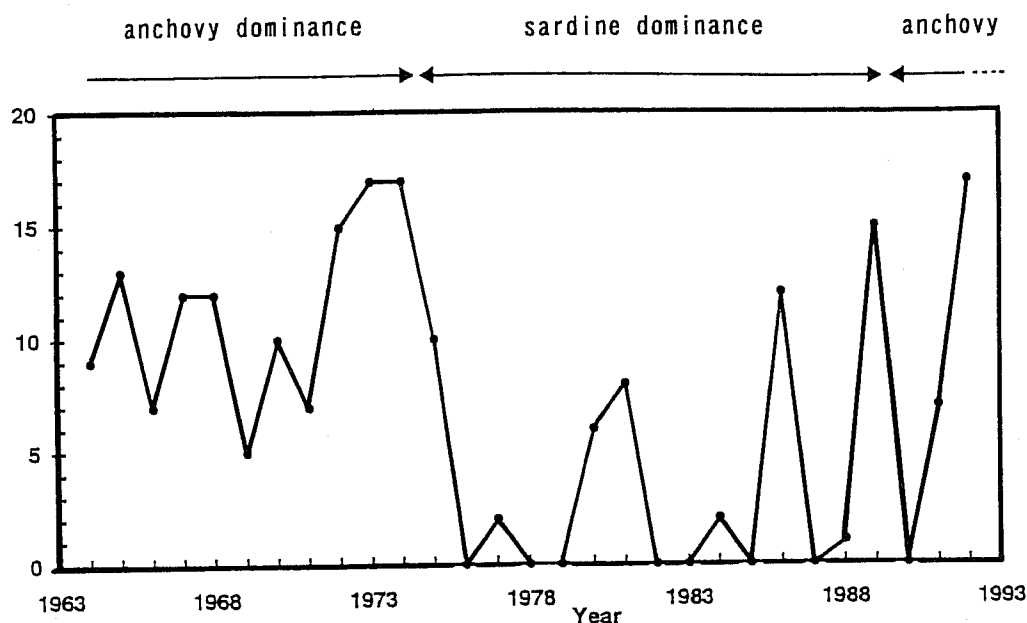


Fig. 2. Annual changes in the frequency of the occurrence of N-Type Kuroshio path, 1964-1992(Redrawn from FUNAKOSHI, 1990).

出現傾向を見ると、カタクチイワシの出現時期は、冬春季のマイワシの出現に連動して変化し、マイワシが主導的役割を果たしているような印象を受ける(Fig. 4)。産卵時期が早く、また、成長速度も速いマイワシが餌の先獲りによってカタクチイワシに対して優位な位置を占めていった可能性も全く否定はできないが、これらは上述した経過から推測すると、各々の産卵環境の違いを媒介とした独立した動きと考えられる。遠州灘、伊勢・三河湾においては、こうした経過をたどりながらカタクチイワシ春季発生群は減少し、夏秋季の産卵を軸とした新たな生活年周期が形成され、再生産様式は夏秋型再生産へと移行していった。

ーマイワシ資源の爆発的増加とそのメカニズムー

マイワシ資源量が爆発的に増加していった時期に遠州灘で観察したマイワシの再生産様式は、2つの点で特徴的であった。1つは、2～3月の年間の最低水温期に集中的に産卵したことである。この時期はHydromedusae, Siphonophora, Decapoda larvae (Crustacea), 浮遊性腹足類などの食害生物やカタクチイワシを始めとした多くの魚類競合種の現存量が年間で最も少なく(Fig. 5; 1978-1980), 春季のブルームと引き続く動物プランクトンの大増殖期に対応し、この時期の動物プランクトン現存量は年間で最大を示し、

また群集は年間で最も単純化し、*Calanus sinicus*など少数種が優占する。このことは現存量の増大とあいまって同一種によるパッチの形成頻度を高め、ふ化仔魚にとっての摂餌条件を有利にする可能性をもっている(船越・柳橋, 1983)。一方、カタクチイワシは、マイワシとは対照的に、資源構造と再生産様式のもつ多様性によって、食害生物、競合種の多い季節においても再生産を成功させ比較的資源量を安定させている(船越, 1990)。2つ目は、第1の特徴とも関連して産卵場が、黒潮流路がAs型をとることで高温・高塩分となった内側域の表面水温15.1～17.6℃の海域、とくに*Thalassiosira subtilis*, *Chaetoceros sociale*などの珪藻濃密分布域に形成されたことである(船越・柳橋, 1983)。これは空間的に春季のブルームとの遭遇を裏付けている。また、産卵場の生物環境には珪藻類以外に動物プランクトン相においても特徴的な海域分布が見い出され、*C. abdominalis*, *N. miliaris*, *A. omorii*などの内湾性プランクトンや*Neocalanus*, *Eucalanus*を始めとした外洋性プランクトンの濃密分布域には産卵場は形成されず、それらがともに重複出現するような中間海域に主として形成され、こうした海域は捕食者である*Sagitta*の現存量が少なく、相対的に*P. parvus*, *C. sinicus*現存量が多かった。

このようにマイワシの産卵時期と産卵場所は、ふ化

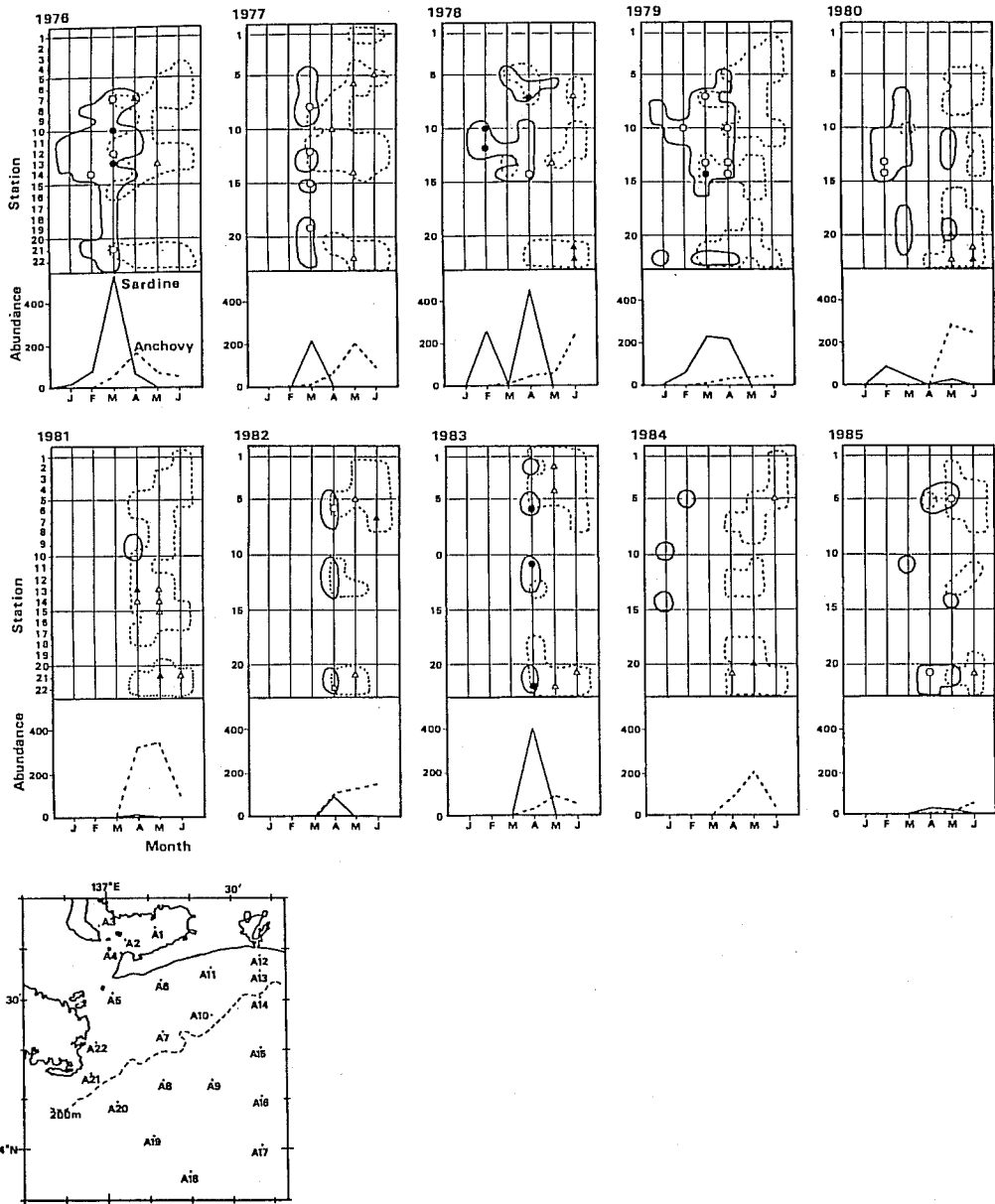


Fig. 3. Monthly changes in distribution (upper panel) and abundance (lower one) of eggs of the Japanese anchovy and Japanese sardine in western Enshu-nada and Mikawa Bay, 1976-1985(after FUNAKOSHI, 1990).

Anchovy eggs ▲ >100 no. · haul⁻¹
 △ 30-99
 ... 1-29

Sardine eggs ● >100 no. · haul⁻¹
 ○ 30-99
 — 1-29

仔魚の餌料条件の確保と卵仔魚捕食者現存量、競合種現存量という3者のバランスがマイワシという種の再生産にとって有利な特徴をもっていた。マイワシはこ

のような条件の中で集中産卵を行うことで資源量を爆発的に増大させた。こうした状況が遠州灘だけでなく、太平洋側や日本近海など広い海域においても見られた

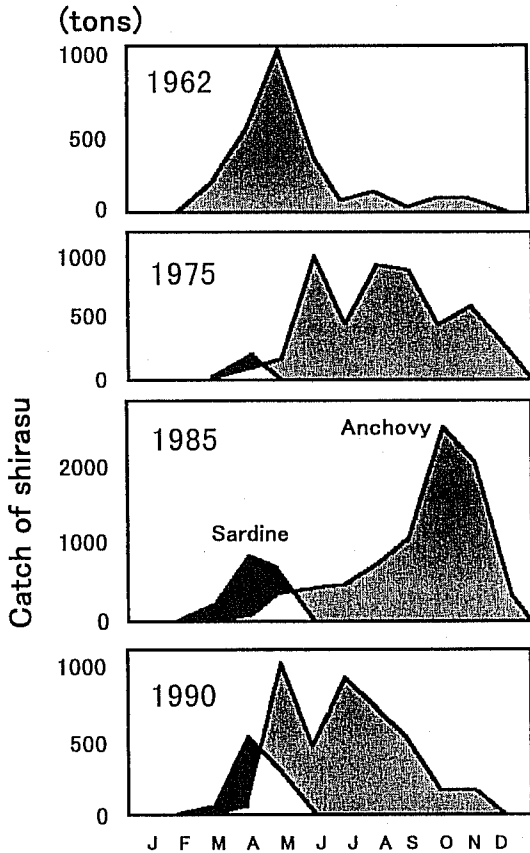


Fig. 4. Changes in the seasonal pattern of the anchovy 'shirasu' catch responding to increase of the sardine 'shirasu'.

かどうかは不明であるが、産卵時期の情報などから推測するとその可能性は強い。

マイワシが遠州灘まで回遊し、このように2～3月に集中的な産卵を行うためには、生物環境の季節変化とマイワシの生活年周期がうまく対応しなければならない。

初期減耗理論の1つとしてのMatch—Mismatch説(CUSHING, 1975)では、比較的時間スケールの短い仔魚と餌料生物との遭遇を問題にしているが、いま数年以上の時間スケールで考えた場合、生物環境の季節変化とマイワシの生活サイクルがある程度の必然性をもってMatchするようなメカニズムが、マイワシ資源量の増加期には、継続的に働いた可能性が強い。そのメカニズムこそ前述したレジーム・シフトが起こった直接の原因であろうと考えられる。

生物環境の季節変化に関して、柳橋(1984)は、この海域のマクロプランクトン群集が、季節的に6つに類型化され、2～3月のマイワシ再生産期はちょうど珪藻増殖期から*Calanus sinicus*群集に対応することを明らかにした。このような伊勢・三河湾、遠州灘海域におけるマクロプランクトン群集の季節的サイクルが、イギリス海峡のプリマス沖で観測されたラッセルサイクル(SOUTHWARD, 1980)のように年代によってパターンが変化するものなのかどうかは、残念ながら継続的データがないために不明である。マイワシが2～3月に集中産卵するためには、前年夏秋季の索餌期に十分に脂肪を蓄積しておくことが不可欠であり(平本, 1981), それによって翌年の冬春季の産卵回遊が可能となる。そのためには索餌生活をする東北海域の親潮と沿岸水の混合域ないしは親潮と黒潮の混合域が、そうした餌料条件を満たしていなければならない。こうした環境は、親潮第1分枝の南下と寒冷化、黒潮との広大な混合域の形成によって生み出されたと考えられる。このような海流系のパターンは、移行期を含めおよそ1972年から1988年の17年間継続し、この間にマイワシの生活史と資源量は複雑な経過をたどって変化していった。

—伊勢・三河湾へのマイワシの来遊と低次生産への影響—

伊勢・三河湾へのマイワシの来遊は、この海域の漁業生産の変動を直接的に左右した。マイワシのほとんどは当歳魚であったが、とくに来遊量の多かった1980年、1987年には、夏期のマクロプランクトン現存量は著しく減少した(Fig. 6; 船越, 1996)。マイワシ来遊量のオーダーは 10^8 とカタクチイワシの 10^4 に比べ1桁大きく、しかも未成魚の成長期である夏期の体重増加量もカタクチイワシに比べ数倍多いことから、摂餌行動を通じて沿岸・内湾域の生態系における物質循環に大きな影響を及ぼした可能性がある。実際、マイワシ来遊量は、この海域のマクロプランクトン現存量に影響し(Fig. 7)、餌をめぐる密度効果によってマイワシの成長量も影響を受けた(Fig. 7)。ボックスモデルによる三河湾の物質循環の研究(SUZUKI *et al.*, 1987)は、マイワシの大量の来遊が湾内の物質循環に大きな影響を及ぼすことを示唆している。また、アメリカのロードアイランド州ナラガンセット湾の生態系シミュレーションは、湾内へ大量に来遊した大西洋ニシンが、二次生産の大部分を消費してしまうことを示した(J.N.

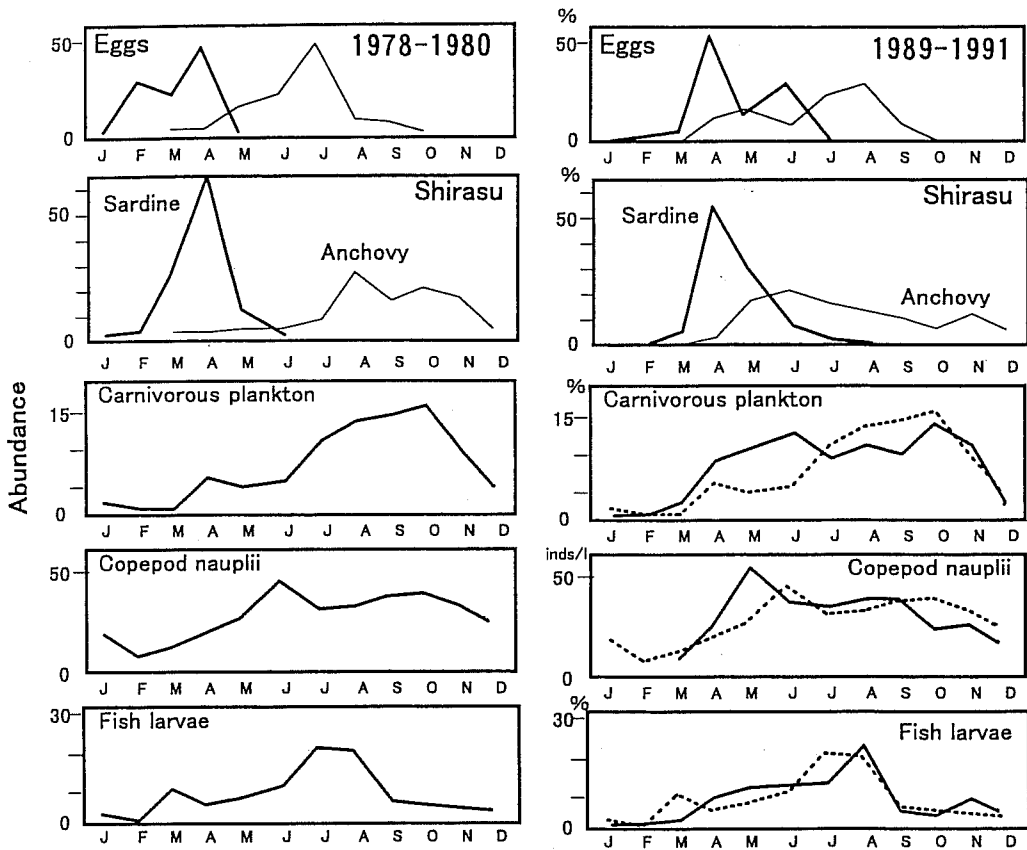


Fig. 5. Comparison of the seasonal patterns of various biological properties including sardine and anchovy abundance in egg and larval stages between the late 1970s(1978-1980) and the late 1980s-early 1990s(1989-1991) in the shelf waters of western Enshu-nada.

クレーマーほか, 1987). これらのことはマイワシが, カタクチイワシを始め他の魚介類の再生産に影響を及ぼしながら, 魚種交替において主導的役割を果たしている可能性を示唆している。

(3) マイワシ資源の減少とそのメカニズム

遠州灘では, 大卓越年級の形成された1980年を境に産卵場は衰退し, 太平洋側における産卵場の中心は薩南海域に移動した。これは特異な黒潮流路であるAs型の消滅と沿岸域の低温化に対応した。また, 資源量が過密化するとともに成熟年齢もそれまでの1~2歳から3歳へと高齢化し, 密度効果の存在が示唆された。しかし, 太平洋側におけるマイワシ資源量は, 薩南海域における大産卵場の形成とともにさらに増加し続け, 索餌回遊の北限にあたる道東沖には大漁場が形成され, こうした生活様式は1990年代前半まで観察された。

1920年代のマイワシ豊漁期にも, いくつかの断片的情報から類似の生活様式があったことが推測され(NAKAI, 1962), マイワシ豊漁期の1つのパターンとも考えられる。

マイワシ資源量の減少は, 1988年のシラス期以降の加入の失敗を直接の契機としているが, そこに至るまでには資源の過密化にともなう成長や成熟年齢の遅れ, 肥満度の低下などの生物的变化が起こっていたことは見逃せない。

1990年代の遠州灘では, 産卵時期の遅れと分散によって食害生物との遭遇機会の増加, カタクチイワシなどの競合の強まりが観察され(Fig. 5; 1989-1991), また, 相模湾ではほぼ周年にわたってマイワシ卵が採集されるなど産卵様式が集中型から分散型に変化した(工藤, 1991)。これらは1970年代の資源量増加期に見られた安定した生活年周期が崩れていったことを意味

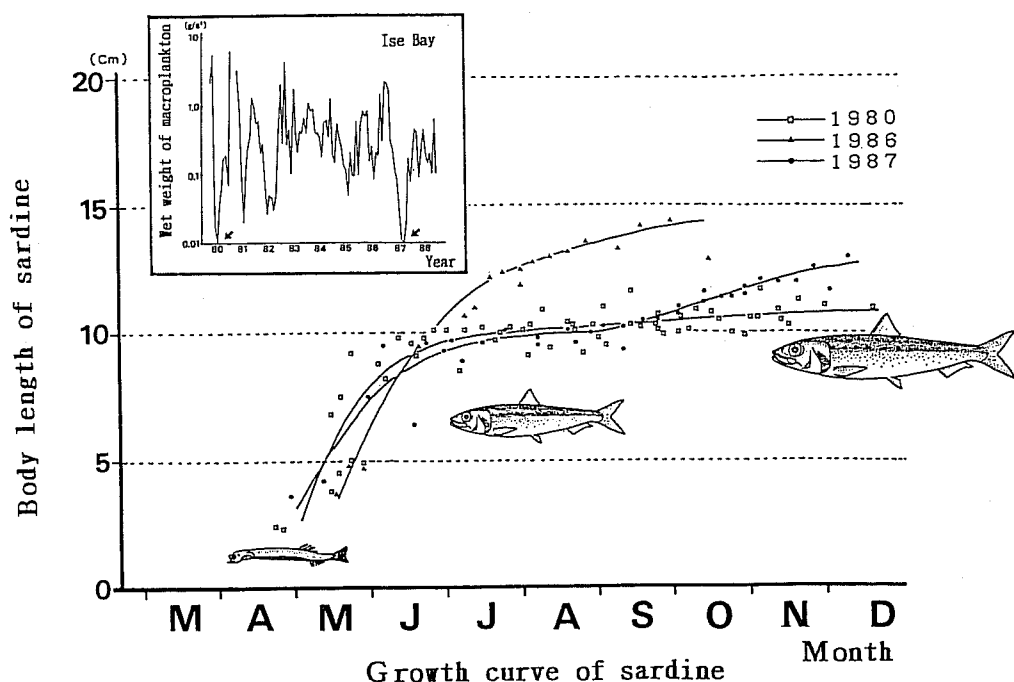


Fig. 6. Fluctuations of macroplankton abundance in wet weight and growth curves of sardine in Ise Bay.
Arrows indicate the good catch year of sardine.

した。これらに関連した環境変化として、最大の索餌海域である東北海域の環境が、親潮第1分枝の北上と混合域の温暖化などマイワシに不利な方向に変化した可能性が上げられる(海老沢・木下, 1997)。一方、遠州灘海域でも、1988年を境にしてマクロプランクトン現存量が、それまでの減少傾向から増加傾向に転じ、基礎生産の基本構造に変化が起こった可能性が示唆される(船越未発表)。一方、これらと平行して薩南に形成されていた大産卵場の沖合化(菊池ほか, 1992)、生活型の変化も観察され、生活様式全体が明らかに資源量の増加期とは異なる方向に変化した。

(4) 近年のカタクチイワシ資源の回復経過

マイワシ加入量が1988年を1つの境として減少する一方、1990年から1991年にかけてカタクチイワシの増加が日本列島周辺全域の広い海域でみとめられた(近藤, 1990; 山口ほか, 1990; 銭谷ほか, 1997)。その中で注目すべき現象として、カタクチイワシ豊漁期においても確認されていなかったオホーツク海沿岸や道東での成魚大型群(1988年級群中心)を中心とした大魚群の

発見がある。また、マイワシの減少が顕著となる1988年以前の1983年頃から北西太平洋の黒潮系表層水の魚類プランクトン組成においてカタクチイワシの増加が観察され(V.V. Novikov *et al.*, 1991)、同様に1988年以前から日本海沿岸や東シナ海中央部でも高い水準の産卵や大魚群の発見が確認されている(日水研及び中国側情報)。

カタクチイワシの資源量が多かった1950年代から1960年代には、生活域、再生産の場は、東北海域、日本海、東シナ海の沖合に広がり(小達, 1957; 西海区水研, 1966-1967)、現在では想像できないほど広がった。また、興味深いことに日本沿岸域でカタクチイワシの漁獲量が減少した1970年代後半においても日本海中央部において広大な産卵場が観測されていた(小川ほか, 1981)。

海洋や資源調査の多くは、頻度や海域とも沿岸域に集中しているので、イワシ類などの浮魚類の分布生態の多くを見落としている可能性が高い。1991年の突然の卵稚仔の増加、成魚の増加は、まず長い時間をかけた沖合域資源の蓄積があり、次に資源量増加にともな

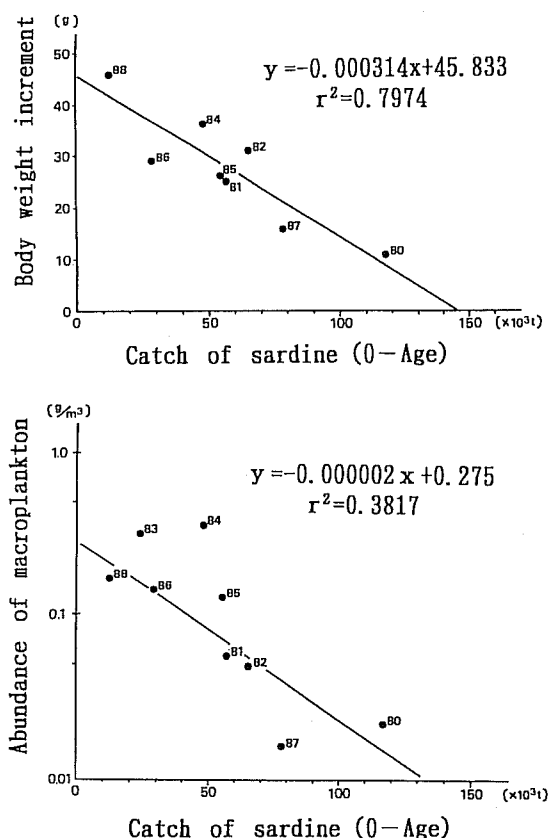


Fig. 7. Relationships between 0-aged sardine catch and macroplankton abundance and between 0-aged sardine catch and body weight increment in Ise Bay and Mikawa Bay (after FUNAKOSHI, 1996b).

う分布域拡大というプロセスによって沿岸域への成魚来遊量の増加があらわれている。1960年代から1970年代の魚種交替過程と同様、1980年代から1990年代への魚種交替過程でも、前述した数年間に及ぶ前兆現象が観測されている。これらの事実、魚種交替が、一時的な加入量の増減によって起こるのではなく、数年以上の準備期間を経て表面化してくる現象であることを示している。

(5) 魚種交替と生活史、資源構造の変化

カタクチイワシは、資源量水準が高かった1950年代から1970年代前半は、大回遊型の高齢大型魚を中心にした春型再生産を行っていたが、資源量水準の低下した1970年代から1980年代には、沿岸・内湾生活型の若

齢小型魚中心の夏秋型再生産へと移行した。寿命の長い春季発生群が減少する一方、寿命の短い小卵多産の夏秋季発生群が増加したために、資源量の減少過程では、産卵量は比較的安定していたのに対して、漁獲量は傾向的に減少していった (Fig. 8; 船越, 1990)。

マイワシは、資源量が急増した1970年代には、2月から3月の年間の最低水温期に集中産卵し、食害生物や多くの魚類競合種との競合を回避しながら、春季のブルームと引き続き動物プランクトンの大増殖期に爆発的に資源量を増加させた。こうした再生産様式により、豊漁期の資源量の大きさをカタクチイワシに比べて著しく大きくすることが可能となった。しかし、カタクチイワシのように地理的に異なる環境条件に適応した多くの地方的個体群 (Fig. 9) や地方的個体群の各々を構成する異なる季節に産卵する複数の季節的発生群をもたないために、生活環境が地理的、季節的に大きく変化すると、環境と生活年周期のタイミングのずれが生じ、資源量が急激に減少する特徴をもっている。前述した両種に見られる漁獲量の変動幅は、このような再生産様式や資源構造の違いに由来していると考えられる。

カタクチイワシにおける産卵数とシラス漁獲量との強い相関や資源量の変動にともなう成熟、寿命、分布、資源構造の変化 (船越, 1990)、マイワシにおける1988年のシラス期以降のヒラゴ、未成年の減耗、1990年代の集中産卵型から分散産卵型への再生産様式の変化などは、魚種交替がそれぞれの生活史全体の変化をとまっていることを示している。

1991年以降も紆余曲折はあるものの魚種交替が進んでいる。これは1990年から1991年にかけての突然のカタクチイワシの増加とは異なるメカニズムで進んでいる可能性もある。カタクチイワシの再生産様式が、夏秋型から春型に移行するためには、夏秋季発生群の親魚から春季発生群が生み出される新たな生活年周期の形成が必要である。もともと季節的発生群は、時間的・空間的連続性をもって産み出された一連の卵群に起源をもち、資源量水準や種間関係などによって相互移行の可能性をもったグループであることから (船越, 1990)、餌料条件の好転、マイワシとの競合関係や密度効果の緩和など、一定の条件が整えば可能であると考えられる (中田ほか, 1995)。最近の魚種交替についての作業仮説を Fig. 10 に提案した。1996年のカタクチイワシ全国漁獲量は34万トンを超え、ついにマイワシの32万トンを超えた。

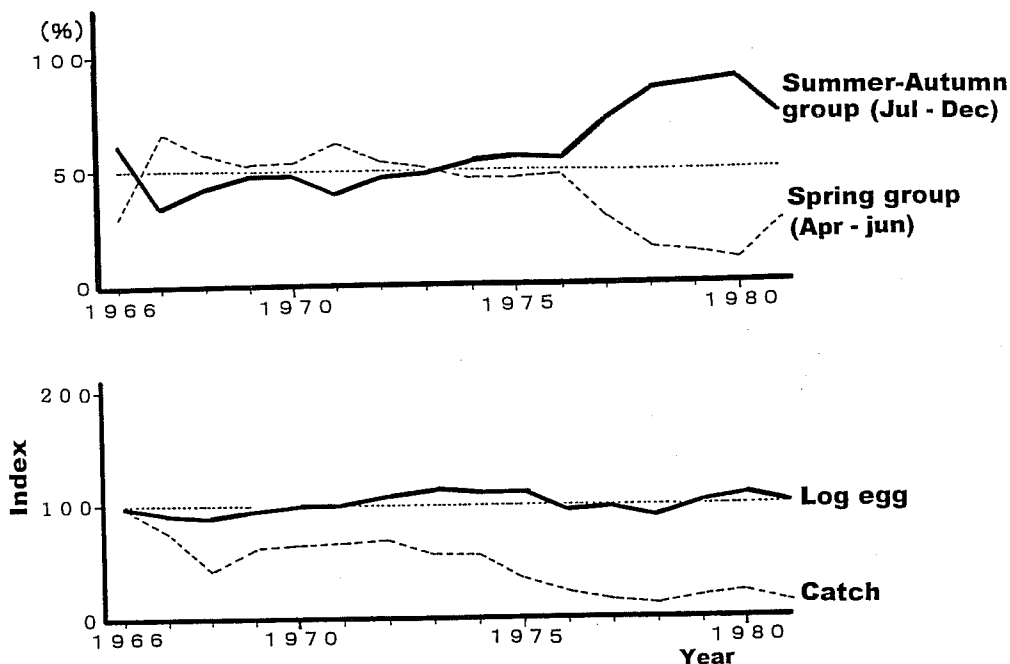


Fig. 8. Relationship between egg abundance(based on vertical collection with a 45 cm-plankton net)and shirasu catches of the Japanese anchovy in Suruga Bay, Enshu-nada, Ise Bay and Mikawa Bay, 1975-1986 (after FUNAKOSHI, 1990).

(6) ローカルなメカニズムと全体的なメカニズムの関係

日本近海においてマイワシやカタクチイワシの資源量の増減が、具体的に親潮や黒潮などの海流系の変化を含む海洋生態系の中で、どのようにして起こったのか、とくに遠州灘、伊勢・三河湾のようなローカルな海域の現象とどのように結びついているのか、が重要な問題である。自然は、相互に関連をもった時空間スケールの異なるいくつかの階層から成り立っている。したがって、魚種交替を引き起こす自然のしくみも同様な階層構造から成り立っていると考えられる。日本近海や太平洋岸における海洋及び資源の変動と遠州灘のようなローカルな海域の海況と漁況の関係解明こそレジーム・シフトの本質に迫る重要な研究課題である。

時空間スケールの大きな現象である親潮、黒潮などの海流系パターンの変化は、各海域の水塊配置や魚類の生活史に対してさまざまな影響を及ぼしていく。これに資源量の変化なども加わるにより、マイワシやカタクチイワシなどの魚類の回遊経路や回遊範囲、さらには産卵、索餌、越冬サイクルなどの生活年周期

や再生産様式が変化していく。ダイナミックかつ複雑な経過をたどる、こうした全体的動きの中では、遠州灘などのローカルな海域の調査研究にも大きな限界が存在することになる。したがって、魚種交替の全体像に迫るためには、各海域で得られた各断面についての知見をつなぎ合わせ、時空間スケールの小さな現象と時空間スケールの大きな現象とを絶えず比較対照しながら、回遊経路や回遊範囲も含むマイワシやカタクチイワシの生活史の全体像を描き出していく必要がある。例えば、「親潮・黒潮などの海流系パターン」→「水塊配置パターン」→「プランクトン群集パターン」などの環境条件に対して、「発育段階・生活年周期と回遊パターン」→「再生産パターン」→「生残りパターン」などの生物学的特徴を整理していく必要がある。

一方、環境条件や資源の大きさが変化していく中で、遠州灘などのローカルな海域においてもレジーム・シフトの具体的かつ普遍的プロセスの一端を示す現象がとらえられる場合がある。1976年から1980年の期間の環境と生物の関係が、まさにそのようなケースの1つである。この時期、親潮第1分枝が北退モードから南

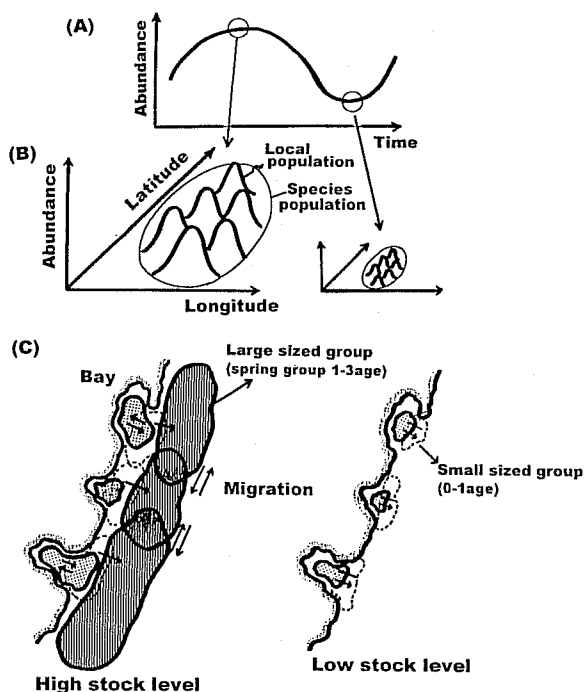


Fig. 9. Model showing the dynamic relation between stock levels and population structure (after FUNAKOSHI *et al.*, 1997).

a) changes in abundance, b) distribution and stock level of local populations, c) distribution of various seasonal groups and year classes (after FUNAKOSHI, 1990).

退モードに移行し、黒潮流路がN型からA型基調へと不連続的に変化する中で、遠州灘海域が太平洋岸における主要な産卵場の1つとなり、この間の資源量の蓄積が1980年以降の分布域の拡大と薩南海域における大産卵場の形成、資源量の飛躍的増大へとつながっていった。マイワシの増大とカタクチイワシ減少の節目となったこの間の遠州灘では、前述したように冬春季の集中産卵によるマイワシの爆発的な資源量増加、高温・高塩分環境の出現にともなうカタクチイワシの春型から夏秋型再生産への変化、マイワシとの卵仔魚分布の時空間的競合の回避、さらにはマイワシ資源量の過密化にともなう成熟の遅れ、また、その後の1990年代におけるマイワシ資源量の減少に対応した集中産卵から分散産卵への変化とその生物学的特徴、などが明らかにされた。これらの知見は、レジーム・シフトの本質的内容の一端を示すものと考えられる。

(7) イワシ類の資源管理

レジーム・シフトなど環境主導で資源量が変動するマイワシ、カタクチイワシなどのイワシ類の資源管理は、現在のところきわめて困難であると考えられる。しかし、系群・種レベルにおいて商品価値の低い未成魚の漁獲規制などをいっせいに行えば、資源量の減少速度を緩和できる可能性は否定できない。一方、遠州灘、伊勢・三河湾などの局地的海域においては、地先への来遊群から最大の経済価値を得るような操業、漁業管理の実施が現実的である。1980年代のマイワシ大豊漁時代には、市場の処理能力や需要を越えた漁獲が可能であったために、大漁貧乏の克服が大きな課題となった。このため愛知県では、ぱっち網漁業、まき網漁業などのイワシ漁業において、プール制による操業と経営の共同化が行われた。その1つ豊浜地区では、45隻の漁船が参加した大規模なプール制が組織され、運搬船の共有や鮮度保持努力、鮮魚、加工、餌料などの仕向別需要に応じた水揚げが行われ大きな成果を上げた(船越, 1985)。しかし、1990年代のマイワシの減少は、計画的な漁獲の必要性という直接的な動機を失わせ、プール制は解散された。プール制は獲る努力をすればいくらかでも獲れる時代に生まれた1つの経営方式であった。

3. イカナゴの資源管理の可能性と限界

資源量の人為的制御の可能性の低いイワシ類に対して、資源管理の可能性のあるイカナゴについては、資源量変動のメカニズムをふまえた適切な資源管理方策の実行が重要である。

伊勢湾およびその周辺海域のイカナゴは、この海域で1つのまとまりをもった独立した資源である。12~1月に伊勢湾口域の夏眠場周辺の産卵場でふ化した仔魚は、季節風や潮流によって湾奥に運ばれる。餌の豊富な湾内で索餌期を過ごし成長した未成魚は、水温が約20℃を越える6月頃に夏眠に入る。夏眠場の底質選択性は強く(中村ほか, 1997)、夏眠中は摂餌しないものの、夏眠末期の11月末頃に成熟し、成熟とともに夏眠から醒め、水温低下を契機として産卵する。安定した成熟・産卵には、夏眠前の栄養の蓄積が重要であり、肥満度4.5が1つの基準となる(柳橋ほか, 1997)。仔魚は強い飢餓耐性をもっているが(山田, 1994)、発生量は、ふ化後数日までの間に大きく変動し、漁場への加入尾数は15~814億尾で変動幅は54倍にもなる(船越ほか, 1997)。エルニーニョの発生や暖冬との関係は必ず

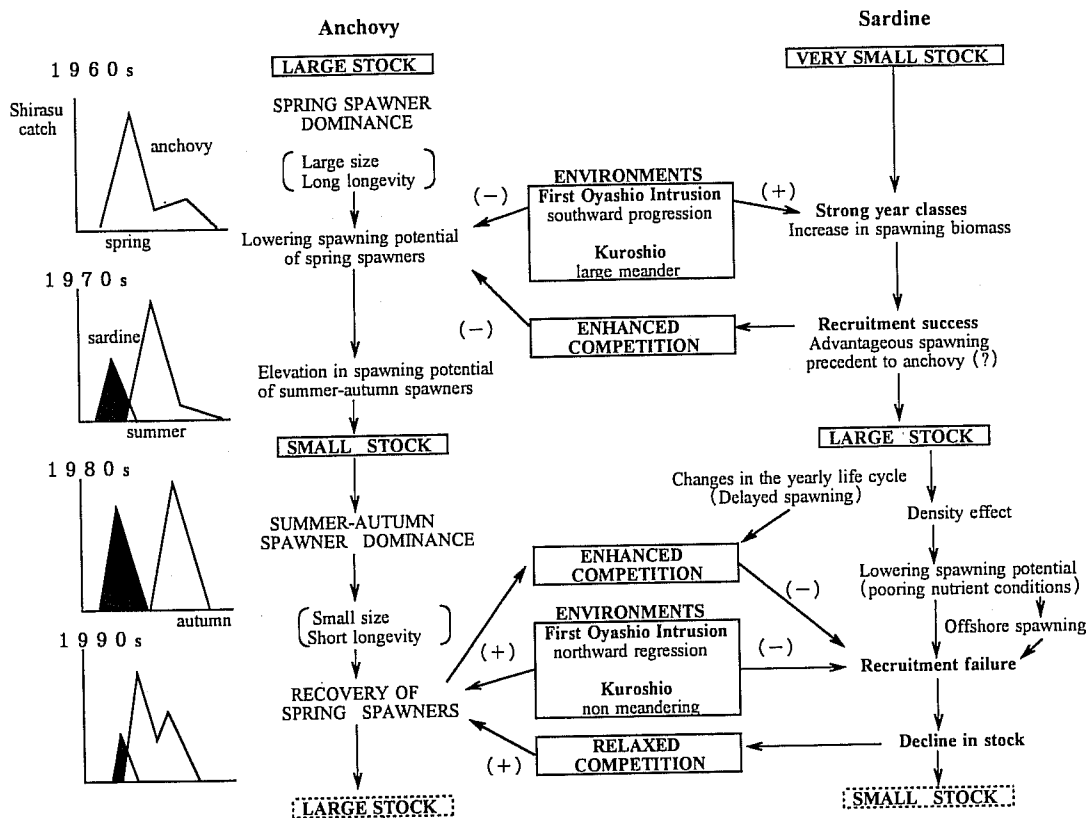


Fig. 10. Schematic representation of dominant species replacement between sardine and anchovy populations.

しも明瞭ではないが、1月の伊勢湾内の水温が低い年に豊漁になる傾向がある。

このようなイカナゴ資源量の変動原因は、およそ以下のように整理される。

- 1 伊勢・三河湾内への来遊量を左右する黒潮内側反流、季節風の強度
- 2 餌料豊度や密度効果による初期減耗、成熟・産卵ポテンシャルの変化、共喰い
- 3 夏眠場所の面積、底質の変化
- 4 乱獲

1～2は毎年の漁況に影響を及ぼし、3はイカナゴ資源量の中長期変動に影響を及ぼす。このうち1、2の人為的制御は困難であるが、3は環境保全の取り組みによって、4は資源管理によって、それぞれ回避することが可能である。このように資源管理は、イカナゴ資源量の変動に関わる原因の一部を制御しようとしているに過ぎず、可能性とともに大きな限界が存在することになる。

漁業の面から資源管理によって実現の期待される課

題は、毎年、漁獲量の90%以上を占める当歳魚発生量の安定化であり、そのためには上記4の乱獲の回避、具体的には一定数の親魚の確保とその保護が重要な課題となる。また、漁場へ加入以後の当歳魚の有効利用も漁業経営上重要である。これらは過当競争と過剰投資の悪循環を断ち切り、漁業者自身の責任である乱獲を人為的に回避していく取り組みである。

(1) 資源管理の概要

イカナゴ漁業は、愛知県と三重県の許可漁業であり、主漁場は伊勢湾および三河湾である(Fig. 11)。この漁業には、入会漁場を舞台として両県の約20の漁業協同組合所属漁船が参加し、漁船数は約270船団、1000隻にもおよび、主漁期の3～4月の水揚げ金額は15～30億円である。イカナゴ漁業は、1978年から1982年にかけて5年間にもおよぶ大不漁に陥り、漁業の崩壊に直面した多くの漁業者は、これをきっかけに資源管理の道を歩み始めた。著しく減少した資源を元通りに回復させる方法が漁業者や研究者の間で模索された結果、

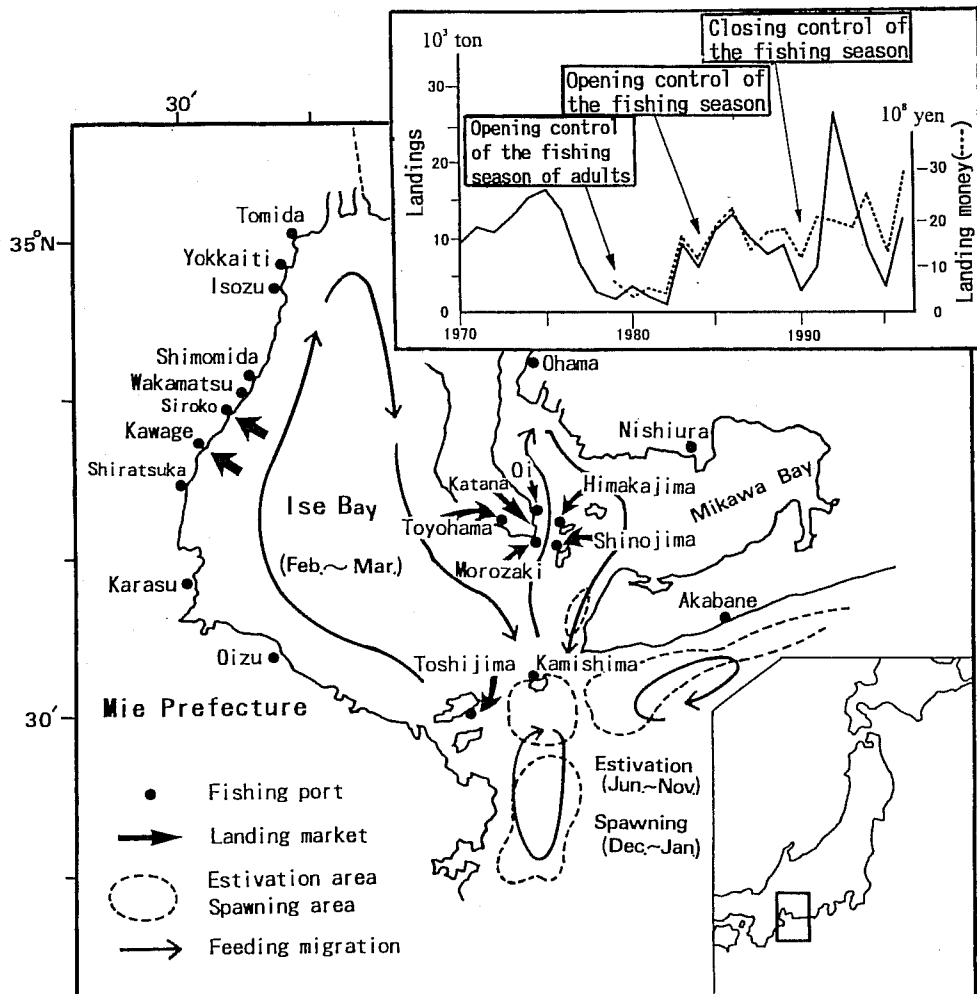


Fig. 11. Life cycle of sandeel and distribution of the fishing and landing ports for 'Ikanago' fisheries, and annual fluctuation of landings of sandeel with special reference to the regulations of fisheries management in Ise Bay and Mikawa Bay.

一連の資源管理措置がとられてきた(Fig. 11).

現在の漁期中における資源管理の一連の流れをFig. 12に示す(船越, 1996). 資源管理の主要な取り組みは、(1) 産卵親魚の保護、(2) 加入群から最大の経済価値をひきだす解禁日の決定、(3) 終漁日の決定による資源の再生産管理の3つから成り立っている。

このうち解禁日の決定は、かなり以前から主に操業秩序の維持を目的として勘や経験にもとづいて行われてきたが、失敗が多く、また、漁獲開始サイズをめぐる、主にチリメン加工用のシラス漁に経済的価値をおく愛知県漁業者と養殖餌料用の未成魚漁に経済的価値をおく三重県漁業者の対立も根強くあった。これら

の問題を解決するために「イカナゴ漁業管理モデル」を開発し、現地でデモンストレーションをしながら、加入群から最大の経済価値を実現する操業方法についての漁業者の理解と合意形成を得ることに努めた。「イカナゴ漁業管理モデル」では、資源量、成長速度、魚価の3つの予測データから解禁日別の水揚げ額の予測値を計算し、その最大値を実現する日を最適解禁日の目安としている(船越, 1996a)。

終漁日の決定による資源の再生産管理では、当歳魚の夏眠中の自然死亡率が低い値で安定していること(柳橋ほか, 1997)に着目し、リッカー型再生産式や発生頻度を考慮した再生産式(Fig. 13)を根拠として、

Month	Regulations of fisheries management (Decision under tomo-sengi)	Research and monitoring activities (by research institute and fishermen)
Jan.	(1) Opening the fishing season of adults (2) Decision on the opening day of the fishing season of larvae	- Observations to confirm the spawning - Monitoring the catch number
Feb. - Mar.	(3) Opening the fishing season of larvae	- Bongo-net survey by research vessel - Forecast through Fisheries Management Model - Experimental operation by fishermen
Mar. - Apr.	(4) Temporary prohibition of the fishing	Monitoring the catch number
Apr.	(5) Opening the fishing season of juveniles	Monitoring the growth
Apr. - Jun.	(6) Closing the fishing season of larvae	Monitoring the catch number

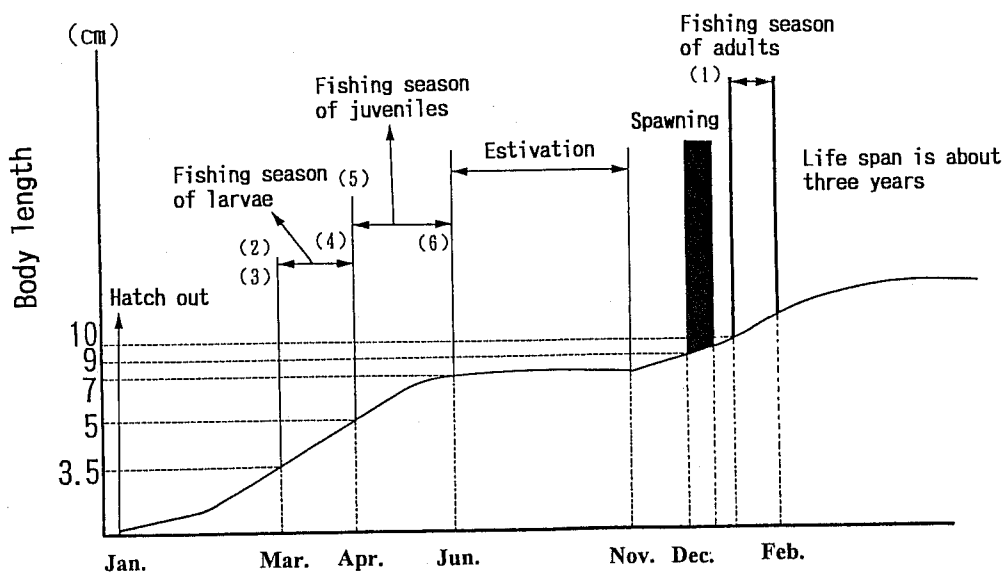


Fig. 12. Regulations for fisheries management during the fishing season of 'Ikanago' fisheries in relation to life cycle (upper) and growth of sandeel (lower).

漁期末に一定数の当歳魚を獲り残し、翌年の親魚を確保するようにしている(船越ほか, 1997)。

以上の3つの資源管理の取り組みと平行して、日々の操業においては、地域の加工処理能力に見合った水揚量規制、小型魚保護や翌年大型で肥満度の高い良質の親魚を確保するための禁漁区と漁場区の設定、チリメンサイズから餌料サイズまでの移行期の禁漁措置など資源や市況に合わせた柔軟なとりくみが行われている。

イカナゴのように成育にともなって回遊をする魚種の資源管理では、所属の異なる多数の漁船の入会操業の管理、利害調整が問題となる。イカナゴ漁業では、

こうした役割を愛知県、三重県それぞれの漁業の自主的組織が担い、これにより270船団もの漁船が秩序正しい操業を行っている。このように漁業者が自分達で決めお互いに厳しく守り行動していくことを「とも詮議」と呼んでいる。とも詮議の決定はある場合には法律よりも効力が強く、日本の漁村社会では、古くからこうした共同体的規制が存在してきた。

(2) イカナゴの資源管理型漁業の総括

イカナゴの資源管理型漁業は、「もうかる漁業」の実現を目標としてきた。この点から近年の水揚げ金額を見ると、15～30億円、平均約20億円と高い水準で推移

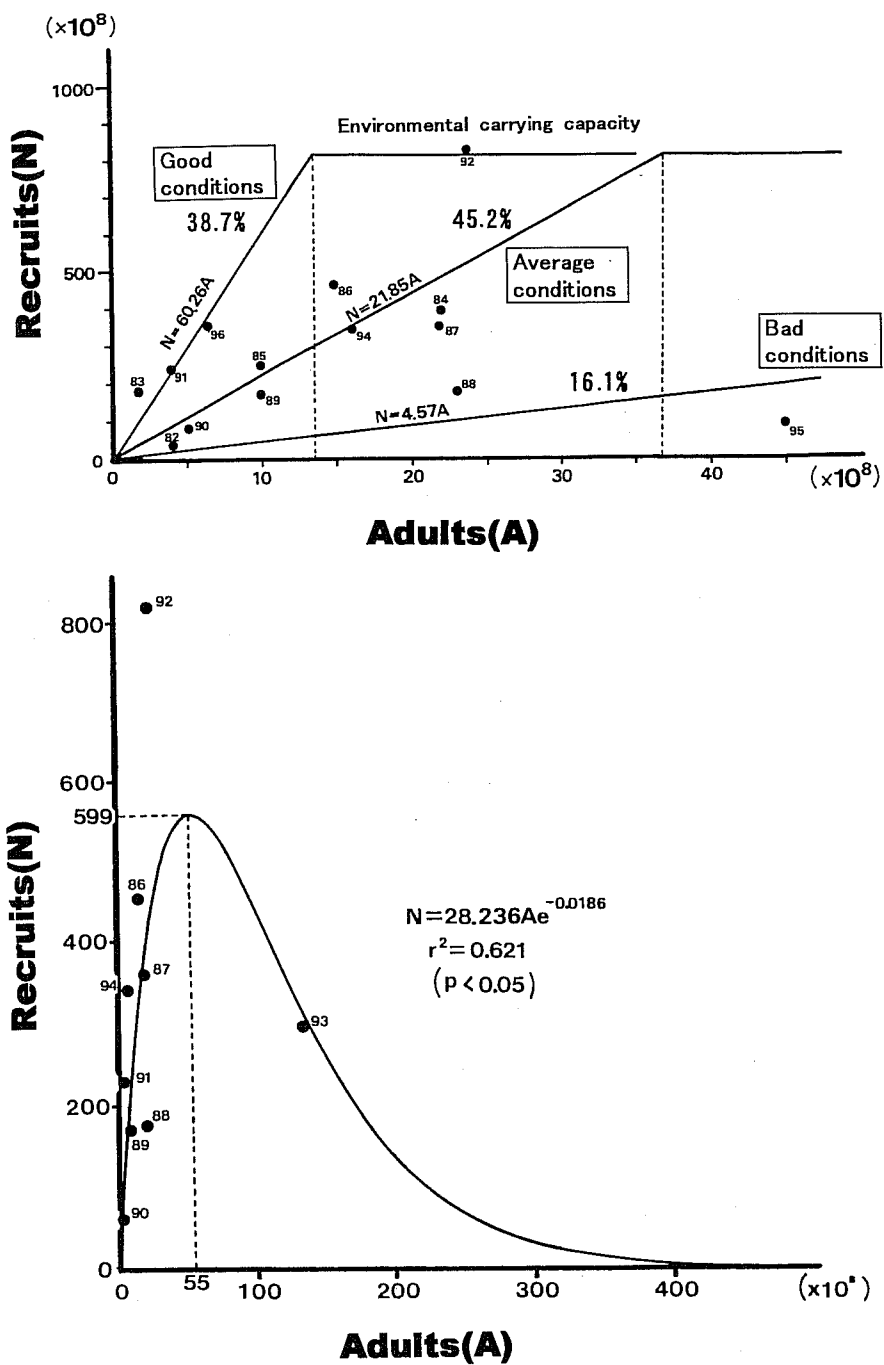


Fig. 13. Relationship between abundance of adults and that of larvae of the sandeel (after FUNAKOSHI *et al.*, 1997).

Upper : Three formulae estimated on a probability basis.

Lower : Reproduction curve (Ricker type)

しており、とりあえず目標をクリアーしてきたと言える。一方、「資源の持続的利用」という視点から見ると、毎年の当歳魚発生尾数の変動幅は、資源管理実施前後で約8.5倍とほとんど変化はないものの、資源管理実施後では発生尾数の大きな落ち込みは、1990年、1995年のように単発的であり、資源管理実施前に比べて安定している。この点についてイカナゴの加工業者・流通業者も「原料確保の持続性、安定性」という面から評価しており、全体の76%がイカナゴの資源管理型漁業に賛成している(全漁連, 1997)。

多くの資源管理は、MSYやMEYの理念にもとづいて海の生態系の制御をめざしているが、このような複雑系を人為的に制御することは困難である。しかも、イカナゴでは親魚の回遊異変(富山, 1996)、共喰い(山田, 1995)、低次生産の変化(中田, 1996)など海洋環境及び資源をめぐる新しい現象が次々と起こってきている。今後、イカナゴ漁業が、さらに発展していくためには、新しい事態への対応方法、そして、何よりも不漁時の研究機関の対処の仕方が重要である。がまんの結果が不漁でもうからないのでは、イカナゴの資源管理型漁業に経済的利益を期待して参加している270船団もの漁業者の合意形成が崩れかねない。何故、不漁になったのか? 科学的に十分な説明ができるよう日常的な海洋と資源についてのモニタリング体制を整えておかねばならない。

4. あとがき

イワシ類とイカナゴは、いずれも沿岸漁業にとって重要な魚種である。しかし、資源の変動特性の違いから、資源管理における人為的制御の可能性には著しい違いがある。イワシ類を対象とした漁業の場合には、生産性の高い大型の漁船が必要とされることから、設備投資のタイミングが重要であり、それが失敗しないよう「長期的な漁況予測の精度向上」がもとめられている。このような資源の長期変動の解析には、それにふさわしい漁業についての長期データが必要であり、一過性の研究では、資源量変動のメカニズムには迫れない。また、ローカルな海域で操業する多くの沿岸漁業者にとっては「地先への来遊群から最大の経済価値を上げる操業方法」の研究と実践が何よりも重要である。

一方、資源量の大きさに対して漁獲圧の強いイカナゴの場合には、漁業の崩壊を避けることが重要な資源管理目標である。そして、資源管理はやってみないと

理論や仮説の正しさが実証できないことから、漁業者の経済論理にまさる説得力が必要となる。

引用文献

- BAKUN, A. (1993) *In. Stress, Mitigation, and Sustainability of Marine Ecosystems*, ed. K. SHERMAN *et al.*, Am. Assoc. Advancement Sci., Washington, D. C. 199-224.
- CUSHING, D. H. (1975) *Marine Ecology and Fisheries*. Cambridge University Press, Cambridge, 278pp.
- 海老沢良忠・木下貴裕 (1997) 親潮系冷水の南下とマイワシの資源変動について。水産海洋学会研究発表大会講演要旨集, 89-90.
- 船越茂雄 (1985) 沿岸漁船漁業における経済生産性の解明(中型まき網漁業、ぱつち網漁業)。愛知水試Cしゅう, 59, 77pp.
- 船越茂雄 (1990) 遠州灘、伊勢・三河湾およびその周辺海域におけるカタクチイワシの再生産機構に関する研究。愛知水試研究業績Bしゅう, 10, 208pp.
- FUNAKOSHI, S. (1992) Relationship between stock levels and the population structure of the Japanese anchovy. *Mar. Behav. Physiol.*, 21, 84pp.
- 船越茂雄 (1994) 三河湾および渥美外海に出現する魚卵稚仔。愛知水試研報, 1, 19-39.
- 船越茂雄 (1996a) 伊勢湾イカナゴ資源の管理。全漁連資源管理型漁業手引きシリーズ5, 全漁連, 57pp.
- 船越茂雄 (1996b) 伊勢・三河湾における動物プランクトンの変動。月刊海洋, 28, 142-149.
- 船越茂雄 (1998) 内湾漁場。沿岸環境科学事典(上)。フジ・テクノシステム, 東京。(印刷中)
- 船越茂雄・中村元彦・柳橋茂昭・富山 実 (1997) 伊勢湾産イカナゴの再生産関係と資源管理。愛知水試研報, 4, 11-22.
- 船越茂雄・柳橋茂昭 (1983) 遠州灘沿岸の渥美外海域におけるマイワシ産卵場および産卵期の環境特性。水産海洋研究会報, 44, 29-43.
- 平本紀久雄 (1981) マイワシ太平洋系群の房総およびその周辺海域における発育と生活に関する研究。千葉水試研報, 39, 46-47.
- J. N. クレーマー・S. W. ニクソン (1987) 沿岸生態系の解析。中田喜三郎監訳。生物研究社, 166-169.
- KAWASAKI, T. (1991) Effects of global climatic change on marine ecosystems and fisheries. *In. Climate Change: Science, Impacts and Policy, Proceedings of the Second World Climate Conference*, eds. J. JAGER and H. FERGUSON, Cambridge University Press, Cambridge, 291-299.
- 川崎 健 (1994) 浮魚生態系のレジーム・シフト(構造的転換)問題の10年-FAO専門家会議(1983)からPICES第3回年次会合(1994)まで。水産海洋研究, 58, 321-333.
- 川崎 健 (1996) 世界の漁業生産量の停滞は乱獲の結果なのか? 漁業経済研究, 41, 114-139.
- 工藤孝浩 (1991) 相模湾におけるマイワシ秋シラスの急増について。神奈川水試研報, 12, 73-82.
- 菊池 弘・森慶一郎・中田 薫 (1992) 潮岬以東海域におけ

- るマイワシ卵, 仔魚出現域の沖合化. 日水誌, **58**, 427-462.
- 近藤恵一 (1990) ソ連邦調査船ギザール号同乗記. 水産海洋研究, **54**, 451-455.
- LLUCH-BELDA, D., R. J. M., CRAWFORD, T. KAWASAKI, A. D. MACCALL, R. A. PARRISH, R. A. SCHWARTZLOSE and P. E. SMITH (1989) World-wide fluctuations of sardine and anchovy stocks; the regime problem. *S. Afr. J. mar. Sci.*, **8**, 195-205.
- NAKAI, Z. (1962) Studies relevant mechanisms underlying the fluctuation in the catch of Japanese sardine, *Sardinops melanosticta* (T. et S). *Jap. Jour. Ichthy.*, **9**, (1-6), 115pp.
- 中田英昭・船越茂雄・中村元彦 (1995) 遠州灘におけるイワシ類の魚種交替 (実態と機構). 月刊海洋, **27**, 422-427.
- NOVIKOV, V. V., A. N. IVANOV and N. V. BULATOV (1991) 北太平洋における浮魚資源の動向. 水産海洋研究, **55**, 63-72.
- 中村元彦・船越茂雄・向井良吉・家田喜一・石川雅章・柳橋茂昭 (1997) 伊勢湾産イカナゴの夏眠場所. 愛知水試研報, **4**, 1-9.
- 中田 薫・富山 実・山田浩且 (1996) 冬季伊勢湾における低次生産構造(2)微小動物プランクトンの重要性. 水産海洋学会講演要旨集, 講演36.
- 小川嘉彦 (1989) 親潮第一貫入南限緯度の変動. 東北水研報, **51**, 1-9.
- 小川喜彦・中原民男・川本英雄 (1981) 対馬海峡における1979年秋発生のカタクチイワシ現存量の推定. 昭和54年度卵稚仔特定調査報告書, 107-118.
- 小達 繁 (1957) 東北海区におけるカタクチイワシについて. 東北区水研報告, **9**, 111-128.
- SCHLESINGER, M. E. and N. RAMANKUTTY (1994) An oscillation in the global climate system of period 65-70 years. *Nature*, **367**, 723-726.
- SOUTHWARD, A. J. (1980) The western English Channel an inconstant ecosystem? *Nature, London*, **285**, 361-366.
- SUZUKI, T., K. ISHII, K. IMAO and Y. MATSUKAWA (1987) Box model analysis on phytoplankton production and grazing pressure in a eutrophic estuary. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **43**, 261-275.
- 西海区水研 (1966) 九州西海域, 東シナ海域における主要魚種の卵稚仔分布-II. 75pp.
- 西海区水研 (1967) 九州西海域, 東シナ海域における主要魚種の卵稚仔分布-III. 62pp.
- 坪井守夫 (1988) 本州・四国・九州を一周したマイワシの主産卵場(3). さかな (東海区水研業績C集), **40**, 37-49.
- 友定 彰 (1988) 水温の長期変動とマイワシ漁獲量の長期変動. 東海区水研報, **126**, 1-9.
- 富山 実・山田浩且・中田 薫 (1996) 冬季伊勢湾における低次生産構造(1)イカナゴの生残とプランクトン量・組成. 水産海洋学会講演要旨集, 講演35.
- 渡部泰輔 (1993) 多獲性浮魚類の魚種交替について. 月刊海洋, **277**, 410-420.
- 柳橋茂昭 (1984) 渥美外海接沿岸域のマクロプランクトン分布特性とシラス漁場形成の関係について. 関東東海ブロック水産海洋連絡会報, **6**, 33-52.
- 柳橋茂昭・船越茂雄・向井良吉・中村元彦 (1997) 伊勢湾産イカナゴの夏眠期における生き残りと成熟. 愛知水試研報, **4**, 23-31.
- 山口幹人・山岸吉弘 (1990) 1990年春季にオホーツク海北海道沿岸域の定置網で漁獲された浮魚類について. 水産海洋研究, **54**, 455-457.
- 山田浩且 (1994) 伊勢湾におけるイカナゴ. 水産学シリーズ, **98**, 恒星社厚生閣, 109-121.
- 山田浩且・津本欣吾・久野正博 (1995) イカナゴ仔魚期における親魚による共食について. 日本水産学会秋季大会講演要旨集, 講演516.
- 銭谷 弘・木村 量 (1997) 太平洋岸域のカタクチイワシの資源回復に伴う2~3月産卵量の増加. 日水誌, **63**, 665-671.
- 全漁連 (1997) 関連産業者意識調査報告書 (伊勢湾イカナゴ漁業), 101pp.