

## 伊勢湾産イカナゴの再生産関係と資源管理\*1

船越茂雄・中村元彦・柳橋茂昭・富山 実

Studies on the reproduction mechanisms of Japanese sandeel for the basis of the resource management system for Ikanago fisheries in and around Ise Bay

FUNAKOSHI Shigeo\*2・NAKAMURA Motohiko\*2・YANAGIBASHI Shigeaki\*3 and TOMIYAMA Minoru\*2

## Abstract

Several types of reproduction model were examined to reveal the mechanisms behind the fluctuation in stock abundance of sandeel, *Ammodytes personatus* GIRARD in and around Ise Bay. There were positive correlations between the abundances of adults (A) and eggs (E) and between larval abundance (L) and recruits (N) with 99% significant level, while there seemed to be no correlation between the abundances of eggs and larvae. The reproduction curve of Ricker type was more fittable for N-A relations than that of Beverton Holt type, and expressed by the following equation;

$$N = 28,236A \cdot e^{-0.0186A}$$

$$r^2 = 0.621 \quad (p < 0.05)$$

Other types of the reproduction model were also examined considering environmental factors. There was a strong positive correlation between the ratio N/A and the abundance of macroplankton (P) around spawning grounds as follows;

$$N/A = 0.019P - 3.767$$

$$r^2 = 0.969 \quad (p < 0.01)$$

The ratio N/A decreased with the types of Kuroshio meander change; it was maximum for type C, decreased in the order of type N, B, A and As. These suggest that the abundance of recruits is influenced by two factors; abundance of macroplankton and adults, and that the Kuroshio meander determines the abundance of macroplankton and the condition of larval transport to the nursery grounds in Ise Bay and Mikawa Bay through changing the oceanographic conditions in and around the mouth of Ise Bay. From a numerical analysis of these results, we proposed a fisheries management plan to leave 14 to 37 hundred million juvenile before estivation approximately for maintaining the good level of the spawning sandeel stock in the following year.

キーワード；イカナゴ，再生産関係，漁業管理方策

## はじめに

イカナゴは、主に北海道、東北、伊勢・三河湾、瀬戸内海で漁獲され、沿岸漁業にとって重要な魚種となっている。近年、1985年～1994年の日本列島周辺の漁獲量を漁業養殖業生産統計年報からみると、総漁獲量は75,500～141,300トンで最大約2倍の変動がみとめられる。海域別の漁獲量は、北海道周辺15,000～35,000トン、東北海域、12,100～80,200トン、伊勢湾海域、2,500～28,800トン、瀬戸内海21,000～44,400トンで、変動幅は約2～12倍と大きく、最大の変動幅は伊勢湾海域のみでみられる。このように発生量の変動は大きいものの、イカナゴには

夏眠という特異な生態があるために、個体数を人為的にコントロールする可能性が残されている。<sup>1)</sup> 伊勢湾海域では、1980年代から再生産関係を視野に入れた産卵親魚の保護及び確保を柱とした種々の資源管理のとりくみを行い、着実に成果を上げてきている。<sup>2,3)</sup>

資源管理にはさまざまな動機とレベルの違いがあるが、原点は、親を獲りすぎず適切な数を残していくことである。そのためには、再生産関係を始めた資源の個体数変動機構を解明しなければならない。すでに筆者らは、現在、伊勢湾海域のイカナゴの資源管理型漁業の理論的根拠となっている個体数変動機構及び再生産関係の研究について報告してきたが、<sup>4-6)</sup> 今回、さらに多くの資料を加えて分析した結果、新しい知見を得たので報

\* 1 平成5年度日本水産学会春季大会において口頭発表した。

\* 2 愛知県水産試験場 (Aichi Fisheries Research Institute, Miya, Gamagori, Aichi 443, Japan)

\* 3 生物生態研究社 (元愛知県水産試験場)

告する。

### 材料と方法

個体数変動機構の糸口をさぐるために、まず資源尾数のデータ等による解析から、どの発育段階で減耗が大きいかを検討した。分析を行った期間は1986年～1994年で、以下の3つの関係について考察した。

- (1) 親魚数 (1歳魚; A) と産卵量指数 (E) の関係
- (2) 産卵量指数 (E) と仔魚数 (L) の関係
- (3) 仔魚数 (L) と漁期始めの仔魚数 (N) の関係

ここで1歳魚親魚数 (A) は、前年の漁期終漁時点の尾数をディルーリの方法によってもとめた。2歳魚以上の親魚も年によっては再生産に寄与していると考えられるが情報量が少なく、今回の分析では考慮しなかった。産卵量指数 (E) は、伊勢湾口のボンゴネット調査で採集された体長4 mm以下の $m^2$ 当たり旬平均採集数の代表点2点 (Fig. 1, P6, A5) の12月下旬から2月上旬までの合計値を用いた。仔魚数 (L) は、1月～2月にかけて行った伊勢・三河湾の全湾調査18点 (Fig. 1, P1～14, A3～5, K) の $m^2$ 当たり平均採集数を用いた。漁期始めの仔魚数 (N) は、漁期中の漁獲データからディルーリの方法によってもとめた。なお、漁期始めの仔魚の平均体長は約35mmであった。

次に、再生産関係について検討した。再生産関係につ

いては、リッカー型とベバートン・ホルト型の2つの代表的な再生産式について検討するとともに、環境要因も考慮に入れた再生産関係をみるために、親魚数 (A) に対する漁期始めの仔魚資源尾数 (N) の比を発生倍率と定義し、餌料環境及び水塊の指標となるマクロプランクトン及び黒潮流路のタイプとの関係を検討した。マクロプランクトン数の計数は、1986年から1992年の期間行い、伊勢・三河湾の全湾調査による湾口部代表点3点 (Fig. 1, A5, K, T) の $m^3$ 当たり採集数の平均を用いた。黒潮流路のタイプは、海上保安庁水路部発行 (毎月2回) の海洋速報から12月～1月分を読みとり、一定の基準<sup>7)</sup>に基づきタイプ分けした。なお、A型の黒潮流路のうちS型蛇行のみられるものはAs型と定義した。

次に伊勢・三河湾内へのイカナゴ仔魚の来遊量に関わる環境要因を明らかにするために、来遊量指数 (R) を定義し、来遊量指数 (R) と御前崎沖の黒潮離岸距離との関係を考察した。

来遊量指数 (R) は、以下のように漁期始めの仔魚数 (N) と産卵量指数 (E) 及び漁期始めの仔魚数 (N) からもとめたリッカー型再生産式による回帰推定値 ( $\hat{N}$ ) との残差を、Eによる密度効果を除去するためにEで重み付けしてもとめた。

$$R = (N - \hat{N}) / E$$

黒潮離岸距離は、前述した海洋速報により1986年～1994年12月～1月の御前崎沖離岸距離を読みとり、その

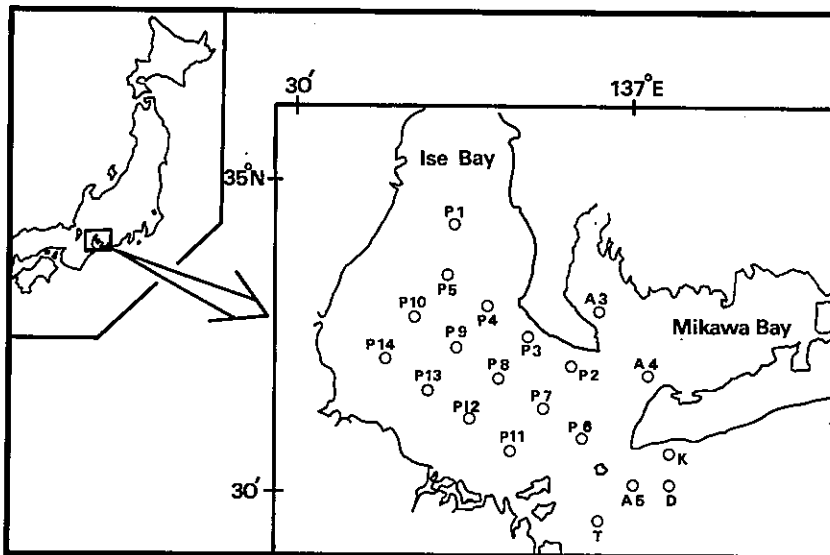


Fig.1 Station locations where sampling of larvae of sandeel and macroplankton (based on oblique collection of a 60 cm-Bongo net) were carried out, 1986-1994.

Table 1. Catches and stock parameters of sandeel used for analysis of the reproduction mechanisms.

	(A) Adults ( $\times 10^6$ )	(E) Egg index	(L) Larvae (individs./ $m^2$ )	(N) Recruits ( $\times 10^6$ individs.)	(C) Catch ( $\times 10^6$ individs.)	Catchability (%)
1981	7.9	—	—	87	83	95.1
1982	4.3	—	—	15	13	86.7
1983	1.7	—	—	185	163	88.1
1984	21.8	—	—	395	385	97.5
1985	10.5	—	—	249	234	94.0
1986	15.1	389	88.0	451	429	95.1
1987	22.5	491	74.5	361	337	93.4
1988	23.7	996	12.6	178	168	94.4
1989	9.7	271	29.0	174	169	97.1
1990	5.5	87	4.0	62	59	95.2
1991	2.9	212	25.0	227	203	89.4
1992	24.3	819	187.0	814	671	82.4
1993	142.8	1,956	62.2	299	283	94.6
1994	16.0	790	41.0	346	301	87.0
1995	45.0	—	—	95	89	93.7
1996	6.0	—	—	350	320	91.4

中から沿岸域の海況に最も大きな影響を及ぼす場合を考慮して最小値を採用した。

以上の分析に用いた基礎数値及び考察で用いた1981年から1985年、1995年から1996年を含む関連数値をTable 1に示した。

## 結 果

### 1) 漁獲量の変動と資源管理の経過

イカナゴは伊勢湾口域の砂場を夏眠場、その周辺域を産卵場としている。親魚は1月頃に湾口域のすくい網漁

業などによって漁獲される。湾内に輸送された仔魚は、2月～3月にシラスとしていかなご船びき網漁業などによって漁獲され、また、成長した未成魚は4月～5月にぱち網漁業で漁獲される。一方、遠州灘方面に輸送された仔魚は無効分散となり、再生産に加わることはないと考えられる (Fig. 2)。

イカナゴ漁獲量 (シラス及び未成魚) は、1976年頃までは10,000トン～16,000トンの範囲で比較的安定していたが、その後減少傾向を示し、1978年～1982年には1,000トン～3,000トンと激減した (Fig. 3)。この原因としては、1970年代に入ってから船びき網漁船のエンジン馬

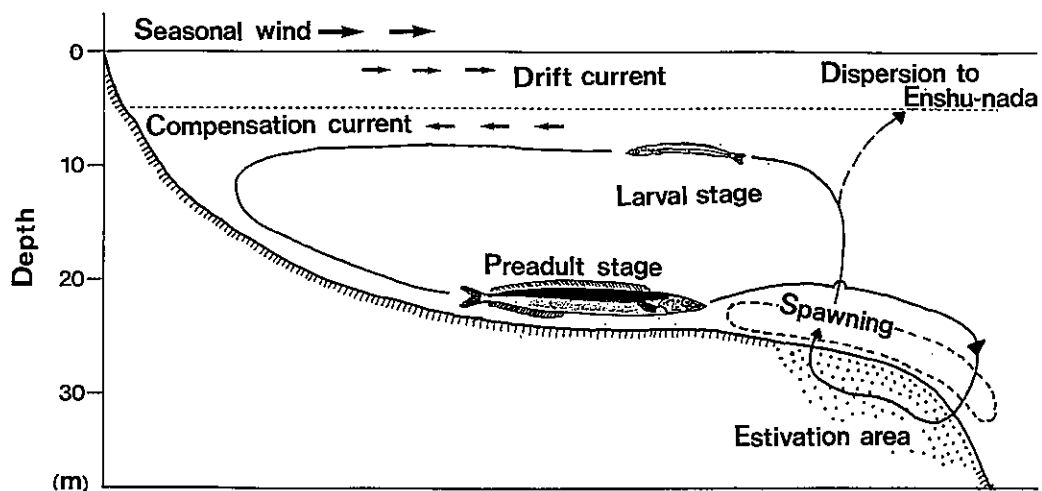


Fig.2 Schematic diagram of life history of the sandeel in and around Ise Bay.

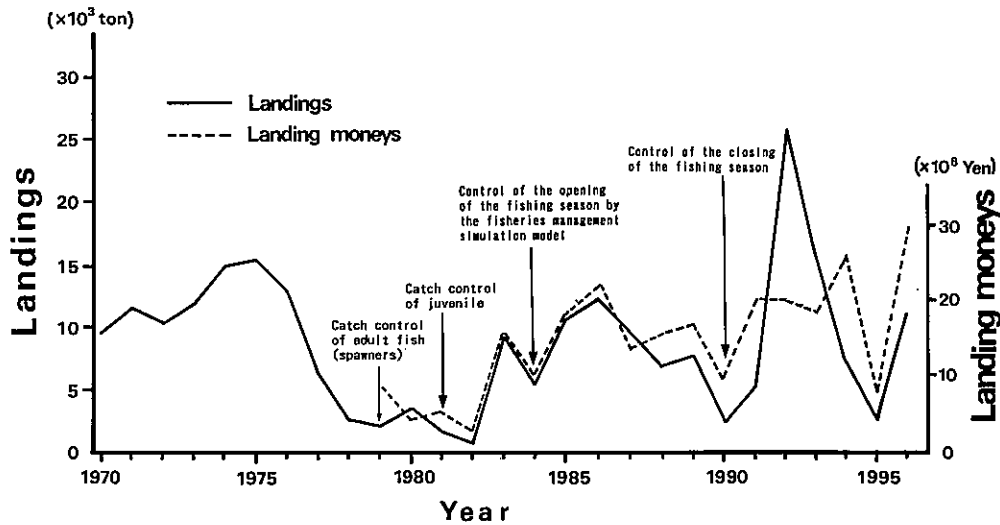


Fig.3 Fluctuations of total landing and landing money of sandeel in Aichi Pref. and Mie Pref. specially reference to the regulations of fisheries management, 1970-1996.

力及び網の大型化にともなう漁獲性能の飛躍的向上と1980年前後に集中的に起こった黒潮大蛇行による生息環境の悪化の2つが考えられる。この不漁を契機として漁業者の資源管理意識は高まり、以後、産卵親魚の保護と漁獲規制(1979年)、夏眠前の未成魚の漁獲規制(1984年)、加入群から最大の付加価値を得るための「イカナゴ漁業管理モデル」などにもとづく解禁日の決定、翌年の産卵親魚を残すための終漁日の決定などの漁業管理が次々と行われていった。この長期間の不漁の後、漁獲のウエイトは餌料用の未成魚からチリメン用のシラスに移ったために以前と比べて漁獲量の大きな伸びはないものの、漁獲量は1990年及び1995年を除けばおおむね5,000トン以上を維持し、1992年には26,000トンの空前の豊漁を記録した。一方、水揚金額は漁業管理の効果によって経年的に増加傾向を示し、1996年には30億円と史上最高を記録した。

2) 発育段階間の個体数関係

(1) 親魚数 (A) と産卵量指数 (E) の関係

ディルーリの方法から推定した産卵親魚数とボンゴネットで採集したふ化直後の体長4mm以下の仔魚採集数(産卵量指数と呼ぶ)は以下のようにべき関数で表され統計的に有意な関係が見られた。

$$E = 59.7A^{0.747} \dots\dots\dots ①$$

$$r^2 = 0.759 \quad (p < 0.01)$$

(2) 産卵量指数 (E) と仔魚数 (L) の関係

産卵量指数とふ化後数日を経過した仔魚数(体長5~

10mm)は以下のようにべき関数で表されたが、統計的に有意な関係は見い出せなかった。この結果から、この段階で両者の間にはかなりの変動要因があることが示唆された。

$$L = 0.466E^{0.708} \dots\dots\dots ②$$

$$r^2 = 0.335$$

(3) 仔魚数 (L) と漁期始めの仔魚数 (N) の関係

ふ化後数日を経過した仔魚数とイカナゴ漁業の漁獲対象となるふ化後2ヶ月前後経過した仔魚数(体長約35mm)は、親魚数(A)と産卵量指数(E)の関係同様、以下のようにべき関数で表され統計的に有意な関係が見られた。

$$N = 29.9L^{0.594} \dots\dots\dots ③$$

$$r^2 = 0.906 \quad (P < 0.01)$$

以上3つの発育段階の間の関係を比較すると、産卵量指数(E)とふ化後数日を経過した仔魚数(L)の間の関係が最も変動が大きい。それに対して他の2つの関係はかなり相関が強く、安定している。

3) リッカー型及びべバートン・ホルト型再生産式のあてはまり

$\log_e(N/A)$ とAの一回帰式をもとめると、④のように統計的に有意な強い相関が得られることから、⑤に示すリッカー型再生産式をもとめることができる(Fig.4)。

$$\log_e(N/A) = 1.4508 - 0.00807A \dots\dots\dots ④$$

$$r^2 = 0.621 \quad (p < 0.05)$$

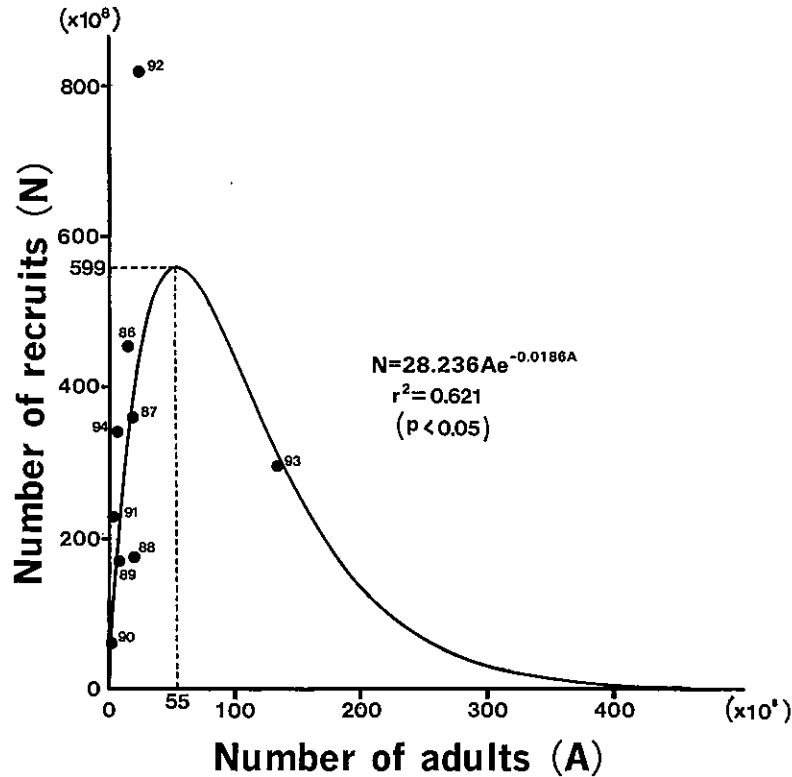


Fig.4 Reproduction curve of Ricker type for sandeel.

$$N=28.236A \cdot e^{-0.0186A} \dots\dots\dots\textcircled{5}$$

一方、1/Nと1/Aとの一次回帰式の相関は⑥に示すように低く、ベバートン・ホルト型再生産式(⑦)のあてはまりはわるい。

$$1/N=0.0033+0.0163/A \dots\dots\dots\textcircled{6}$$

$$r^2=0.145$$

$$N=A/0.0033A+0.0163 \dots\dots\dots\textcircled{7}$$

4) 環境条件を考慮した再生産関係

(1) 仔魚の発生倍率とマクロプランクトン数

湾口域のマクロプランクトン組成は、Copepoda86%、その他7.9%、Larvae5.4%、Sagitta0.8%で、優占種類はCopepodaであった(Fig.5)。さらにCopepodaの内訳をみると、Acartia32.0%、Calanus31.3%、Paracalanus24.2%で、この3分類群で全体の87.5%を占めた(Fig.6)。このうちAcartiaのほとんどはAcartia omorii、ParacalanusのほとんどはParacalanus parvusであった。

仔魚の発生倍率(N/A)は、1986年から1994年の期間に1.6~72.4倍の大きな年変動を示した。これら2種

類の現存量と発生倍率との関係を見ると、Paracalanus parvusとの間には、明確な関係は見出せなかったが(Fig.7)、Acartia omoriiの間には、統計的に有意な関係がみつめられた(Fig.8)。

$$N/A=0.080P+1.682 \dots\dots\dots\textcircled{8}$$

$$r^2=0.824 (p<0.01)$$

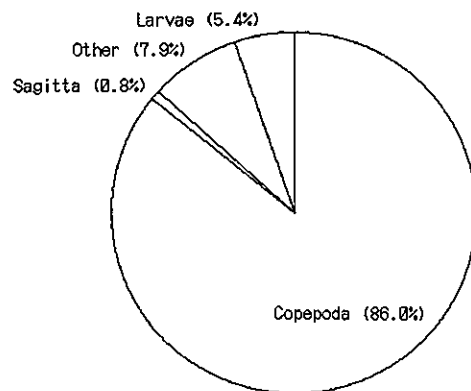


Fig.5 Composition of macroplankton in and around the spawning grounds of sandeel from Jan. to Feb., 1986-1994.

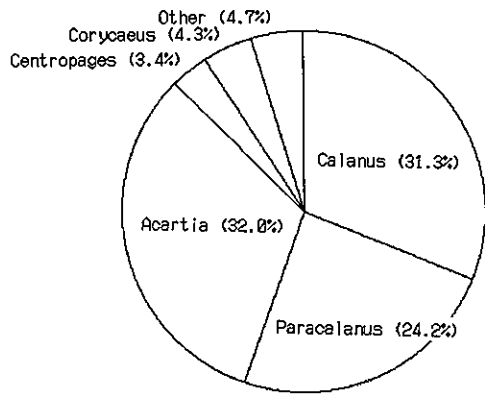


Fig.6 Composition of copepods in and around the spawning grounds of sandeel from Jan. to Feb., 1986-1994.

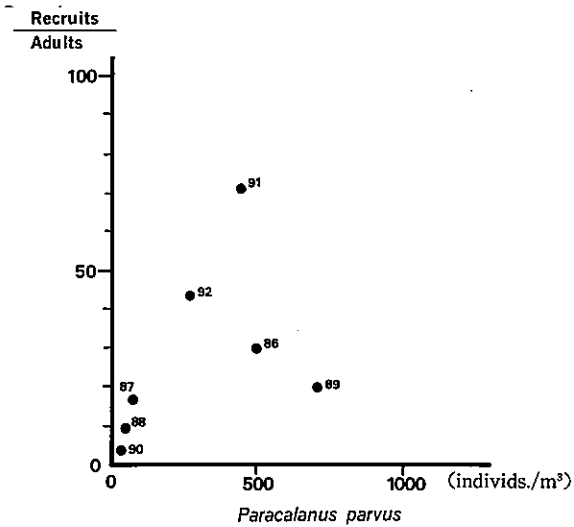


Fig.7 Relationship between abundance of *Paracalanus parvus* in and around the spawning grounds of sandeel and the ratio of recruits to adults, 1986-1994.

イカナゴ仔魚の消化管内には *Copepoda* を中心に多様な生物がみられるので、次にマクロプランクトン全体の現存量と発生倍率との関係を見ると、統計的に有意なさらに強い正の相関がみとめられた (Fig. 9)。

$$N/A = 0.019P - 3.767 \dots\dots\dots \textcircled{9}$$

$$r^2 = 0.969 \quad (p < 0.01)$$

(2) 仔魚とマクロプランクトンとの遭遇のタイミング

1987年～1992年12～1月の仔魚とマクロプランクトン現存量の変化を Fig. 10 に示した。

仔魚現存量は、1987年から1990年までは傾向的に減少

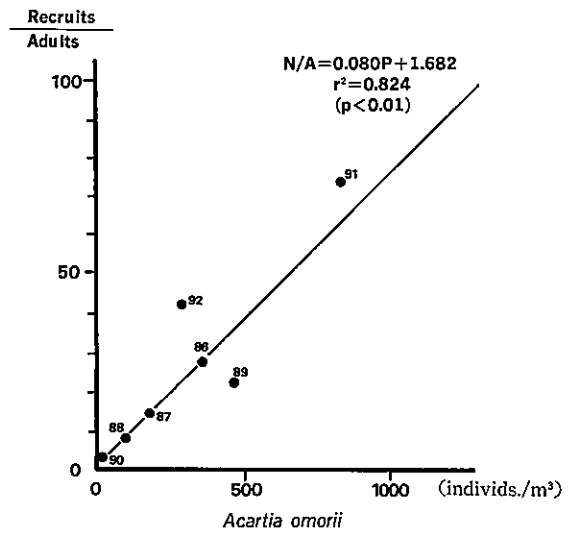


Fig.8 Relationship between abundance of *Acartia omorii* in and around the spawning grounds of sandeel and the ratio of recruits to adults, 1986-1994.

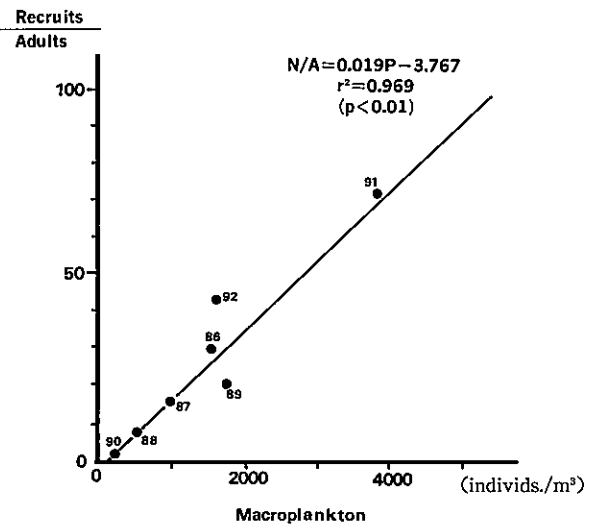


Fig.9 Relationship between abundance of macroplankton in and around the spawning grounds of sandeel and the ratio of recruits to adults, 1986-1994.

し、1990年から1992年にかけては傾向的に増加している。各年の1～2月の仔魚現存量変化は、1989年に弱い双峰型変化を示したが、ほとんどの場合、明瞭な1つのピークを形成している。

仔魚とマクロプランクトンそれぞれの現存量のピークは、1987年、1989年、1992年の場合、おおむね一致しているが、1990年には20日弱、1991年には約10日のずれがみられる。

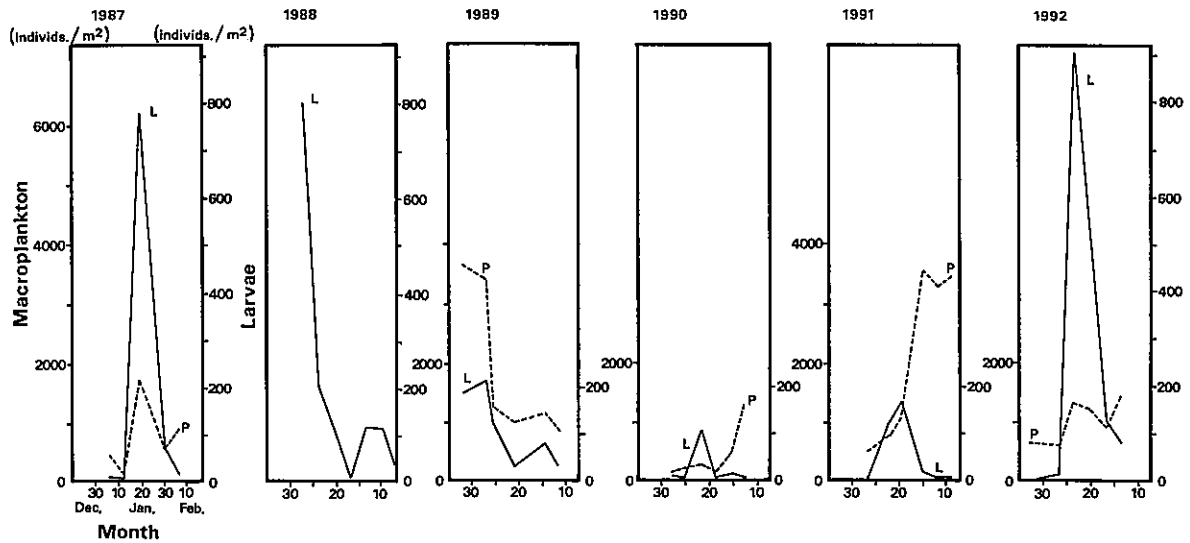


Fig.10 Abundances of larval sandeel and macroplankton in and around the spawning grounds of sandeel with special reference to a match and a mismatch of larval sandeel to their planktonic prey.

詳しくみると1989年と1991年は仔魚現存量はほぼ同レベルにもかかわらず、発生倍率には4倍近い差がみられる。これには仔魚とマクロプランクトンの出現のタイミングが関係している可能性がある。1989年は、仔魚とマクロプランクトンそれぞれの現存量のピークは時間的に一致していたが、マクロプランクトン現存量は、その後、急減している。一方、1991年は、両者のピークはややずれているものの、仔魚のピークに遅れてマクロプランクトンは急増している。ふ化後、卵黄を吸収しながら外部栄養に移行し、成長しつつある仔魚にとっては、1991年のようなタイミングの方が生き残りにとっては有利と考えられる。

Eを使った理由は、Aは1歳魚のみの推定尾数であるので、夏眠後の観測値Eの方が産卵量をより正確に反映していると考えたからである。このEには1歳魚ばかりでなく2歳魚以上の親魚の存在も反映されているために、⑩式のあてはまりは⑤式よりも若干よくなっている。なお、終漁日決定という漁業管理の現実的場面においては、後述するように夏眠前の漁業の終漁時点では、夏眠後の観測値Eは入手できないために、夏眠前の推定値Aを使わなければならない。

$$N = 1.116E \cdot e^{-0.0009E} \dots\dots\dots \textcircled{10}$$

$$r^2 = 0.638 \quad (p < 0.01)$$

(3) 仔魚の発生倍率と黒潮流路

仔魚の発生倍率とイカナゴ産卵期、初期生活期にあたる12月前半～1月後半の黒潮流路との関係を見ると、黒潮流路のタイプが、C→N→B→A→Asの順に発生倍率が77.47から1.63へと低下する傾向がみとめられる (Table 2)。C型やN型では発生倍率は高く、As型では発生倍率は極端に低くなる。これらの結果は、イカナゴの発生量が黒潮流路の影響を強く受けながら変動していることを示唆している。

(4) 来遊量指数と黒潮流路

⑤のリッカー型再生産式においてAを産卵量指数Eで置き換え、EとN/Eとの関係から再生産式をもとめ、この⑩式を使って、来遊量指数 (R) を⑪のように定義した。

Table 2. Relationship between the type of Kuroshio meander at the spawning period of sandeel and the ratio of recruits to adults, 1984-1992.

Recruits/Adults	Year	Type of Kuroshio meander			
		December		January	
		1 - 15	16 - 31	1 - 15	16 - 31
77.47	1991	C	C	C	C
43.05	1992	N	N	N	D
29.95	1986	C	D	N	N
23.73	1985	C	C	C	C
21.41	1989	C	B	B	C
18.15	1984	C	B	C	C
16.01	1987	A	As	A	A
7.51	1988	As	As	C	A
1.63	1990	As	As	As	A

$$R = (N - \hat{N}) / E$$

$$= (N - 1.116E \cdot e^{-0.00099E}) / E \dots\dots\dots(11)$$

残差  $(N - \hat{N})$  には、伊勢湾口でふ化した仔魚が伊勢・三河湾内に輸送される際に関係する内側反流などの環境条件が反映されていると考えられる。また、環境との対応を検討するために  $1/E$  で重み付けし、 $E$  の密度効果を除去した。

この来遊量指数  $R$  を使って御前崎沖の黒潮離岸距離との関係を見ると、黒潮離岸距離100マイル付近で  $R$  は最大となる (Fig. 11)。100マイルの黒潮離岸距離は、ほぼ遠州灘沖での直進型流路 (Nタイプ) に対応し、一方、100マイルより小さい、とくに50マイル以内の短い黒潮離岸距離は、黒潮流路が伊勢湾口に接近するAs型流路に対応している。また、100マイルよりも大きい黒潮離岸距離は、A型やB型などの大蛇行型に対応している。

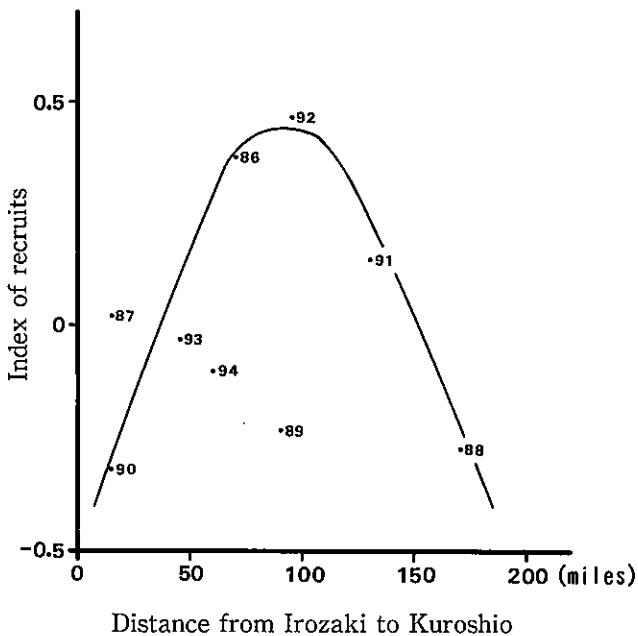


Fig.11 Relationship between the index of recruits of sandeel and the distance from Irozaki to Kuroshio, 1986-1994.

考 察

イカナゴ当歳魚の発生数が發育段階のどの段階で決まるかは、資源管理を行っていく上で重要な問題である。親魚数 (A)、産卵量指数 (E)、仔魚数 (L) の関係を分析した結果では、産卵量指数 (E) とふ化後数日を経過

した仔魚数 (L) の間の関係が最も変動が大きく、それに対して他の2つの関係はかなり相関が強く、安定していた。このことはふ化後数日の期間にイカナゴの個体数変動機構をさぐる研究の1つの糸口があることを示している。また、これら發育段階間の関係式の乗数が、いずれも1以下であったことは、個体数が決定される過程で密度効果が働いていることを示唆している。

ふ化後数日の期間においてイカナゴの個体数変動に大きな影響を及ぼしている具体的要因を解明する手がかりは、仔魚の発生倍率とマクロプランクトン現存量との関係から得られた。その結果によれば、仔魚の発生倍率は、1月の伊勢湾口域の *Acartia omorii* 現存量と関係があり、さらにマクロプランクトン現存量との間には⑨式に見るように強い正の相関をもっている。

発生倍率が、内湾系水の代表種<sup>9)</sup>である *Acartia omorii* 現存量と強い関係にあるということは、伊勢湾口域における内湾系水の勢力が強い年にイカナゴ仔魚の生き残りが良く、また、湾内への来遊量が多いことなどを示唆している。また、マクロプランクトン全体の現存量との相関が強いことも同様な内容を示唆している。おそらくイカナゴ産卵場及びふ化場が、内湾系水の強い影響下にある年は、餌料環境の面でも、また、湾内への補給の面でも、イカナゴ仔魚の生き残りにとって有利となるに違いない。

このように仔魚発生数すなわちイカナゴ当歳魚発生量の決定には、マクロプランクトン現存量で代表される餌料環境、補給条件などの海況条件と前年の当歳魚の獲り残しを中心とした親魚数が大きな影響力をもっている。同じ発生倍率の場合、分母となる親魚資源尾数が多い程仔魚発生数も多くなることから、漁業にとって十分な仔魚を確保するためには、ある程度の親魚資源を残しておく必要がある。ただし、今回の分析では親魚数として2歳魚以上の高齢魚は考慮していないが、今後の資源状態によっては、考慮しなければならない状況も生まれてこよう。また、産卵に関与する親魚の栄養状態<sup>11)</sup>や年齢なども産卵数や卵質に影響を及ぼす可能性があり、今後の研究課題である。

初期減耗理論の1つとしてのMatch and Missmatch説<sup>9)</sup>では、比較的時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、イカナゴの場合、仔魚とマクロプランクトン現存量のピークが一致しない場合 (1990年、1991年) の時間的ずれは約10~20日であった。しかし、この程度の時間的ずれは、卵黄を残したまま外部栄養へ移行し、卵黄を予備的エネルギーとして保存しておくという摂餌行動<sup>10)</sup>からみれば、乗り越えてい



くことの可能なタイムラグの範囲とも考えられる。仔魚の生残りにとっては、ある程度大きな時空間スケールでみた場合の水塊配置と餌料分布が重要と考えられる。具体的には、10~20マイルの空間的広がりをもった内湾系水の外海への張り出しや餌料となるマクロプランクトン現存量の持続的増加こそが重要な環境要素であろう。これらのバランスが崩れると、産卵後の親魚との分布の競合が起こり、共喰いなどによる大量の減耗が引き起こされる可能性がある。1995年の不漁はこうした状況によって引き起こされた可能性がある。<sup>11)</sup> 伊勢・三河湾の冬季の魚類群集はきわめて単純であり、<sup>12)</sup> この時期イカナゴは回遊魚の中で資源的にきわめて卓越した地位を占めている。したがって、イカナゴ仔魚にとってその親魚は時に最大の捕食者になりうる可能性をもっている。

ところで仔魚の発生倍率は、黒潮流路によって大きな影響を受けていることが明らかとなった。発生倍率は、黒潮流路がC→N→B→A→Asの順に低下する傾向がみとめられ、また、このことは来遊量指数(R)と御前崎沖における黒潮離岸距離との関係という別の角度からも裏付けられた。おそらく黒潮流路の変動が、内側反流の発達などを通して伊勢湾口域の局地的な水塊配置に影響を及ぼし、先のマクロプランクトン数の変動やふ化仔魚の湾内への補給条件を左右していると考えられる。

イカナゴの漁業管理では、その年の加入群から最大の付加価値を引き出す解禁日や操業方法の決定と翌年の親魚数を確保するための適切な終漁日の決定が重要である。そして、終漁日を適切に決定するためには、再生産関係についての情報が必要となる。

リッカー型及びベバートン・ホルト型再生産式のあてはまりは、④及び⑥に示したようにリッカー型の方がよかった。リッカー型では、⑤式に示すようにA=55億尾でNmax=559億尾となり、それよりも親魚数が増えると密度効果によって栄養状態が悪化し成熟率や卵質の低下、産卵数の減少など再生産にとってマイナスの影響が出てくるのが考えられる。<sup>1)</sup> また、イカナゴの場合には前述したように親魚による仔魚の捕食(共喰い)も重要な要因と考えられる。<sup>11,13)</sup>

リッカー型再生産式については、瀬戸内海及び仙台湾産のイカナゴについても検討されてきたが、いずれもあてはまりはよくない。<sup>14,15)</sup> 伊勢湾産イカナゴについては、かねてからリッカー型再生産式がもとめられてきたものの、<sup>16,17)</sup> 親魚数データのばらつきが小さいために十分な適合度の検討ができないという問題がある。また、親魚量あるいは産卵量の推定精度にも問題がある。先の報告<sup>9)</sup>では、ベバートン・ホルト型の方があてはまりが

よいという結果を得たが、この結果には、Aが小さい時、2歳魚を無視しているため、産卵量が過少評価されやすいことが影響していたことが確認された。さらに資源量の変動には、環境変動やそれに対するイカナゴ自身の生理生態的反応など複雑な要因が関係しているため、リッカー型やベバートン・ホルト型など定型的な再生産式を無理にあてはめること自体にも問題があると考えられる。

こうした定型的な再生産式とは異なるタイプのものとして⑨式がある。⑨式は、Aが十分小さい範囲すなわちリッカー型再生産式で密度効果が無視できる範囲で適用することができる。⑨式では発生倍率N/Aとマクロプランクトン現存量Pが関係づけられているので、PがわかればAは既知なのでNが推定できる。⑨式は環境要素を考慮した1つの再生産式である。しかし、Pは夏眠後の12~1月に実施する漁期前調査からは観測できるが、5~6月の漁期末(夏眠前)に予測することはむずかしい。そこでPを使わずに黒潮流路の発生頻度をもとに直接NとAの関係をもとめてみる。表2によれば仔魚の発生倍率は、12~1月の黒潮流路と関係があり、黒潮流路のタイプが、C→N→B→A→Asの順に低下している。この発生倍率は、おおむね大中小の3グループに区分でき、大(1991年, 1992年)には黒潮流路のC型あるいはN型、中(1984年~1987年, 1989年)にはA型やB型その他の流路、小にはAs型が対応している。これら3グループに対応する各黒潮流路タイプ群の発生頻度を1965年~1995年の長期間(31年間)についてもとめ、さらに3グループのN/Aの平均値(N/A=Mean)からN=Mean・Aの関係をもとめると表3に示すように、回帰係数の異なる3つの単純な一次式が得られる。それぞれの式の発生頻度は、発生倍率の高い順に38.7%, 45.2%, 16.1%となる。これらの式に過去の当歳魚発生数の最大値800億尾を上限值として与えるとFig. 12のような再生産関係が描ける。ただし、ここで設定した環境収容量の推定値ならびにそれらと再生産関係式の交差パターンは、今後の漁業管理の実践から、随時、軌道修正していく必要があることは言うまでもない。この図にはAが著しく大きかった1992年を除く1981年から1996年までの親魚尾数と加入尾数のデータ14ケースをプロットしたが、3本の直線付近へのデータの集まりは、それぞれ28.6%(4/14), 50.0%(7/14), 21.4%(3/14)となり、黒潮流路の発生頻度から推定した確率におおむね近い配分となっている。この関係式では親魚数の少ない約40億尾の範囲内での親仔関係を考えているので、リッカー型のように最大の加入量をもたらず親魚尾数は考慮されて

**Table 3.** Relationship between the number of adults and that of recruits of sandeel for the frequencies of occurrence of each types of Kuroshio meander calculated from early December to late January, 1965-1995.

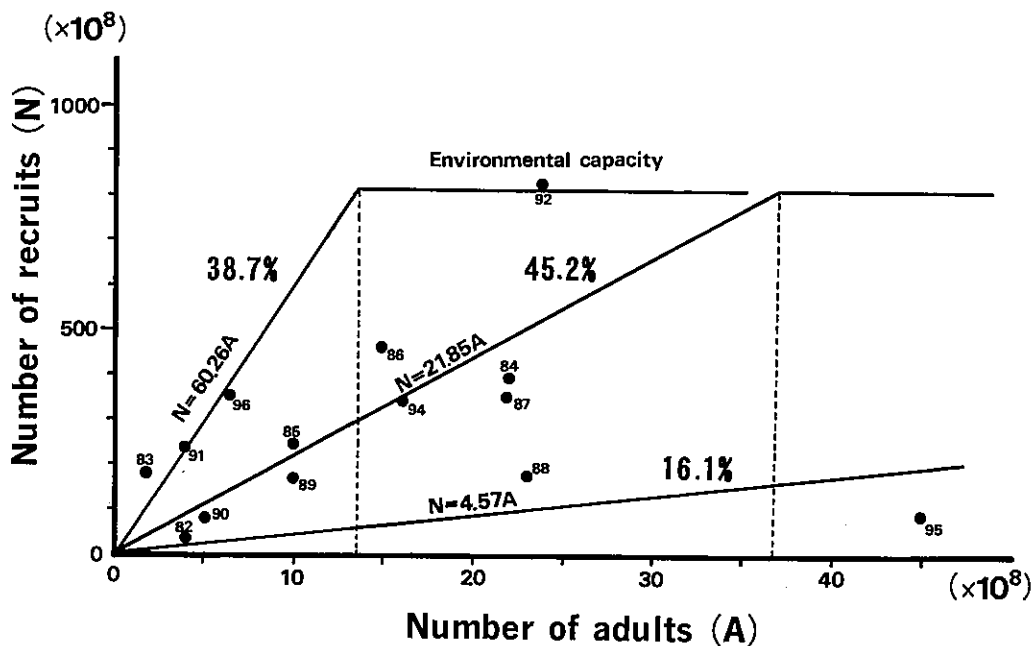
Type of Kuroshio	Frequency	Survival	Formula
As	5 (16.1%)	Bad	$N=4.57A$ (1988, 1990)
A-type	2 (6.5%)	Mean	$N=21.85A$ (1984-1987, 1989)
Other	12 (38.7%)		
	Total 45.2%		
C, N	12 (38.7%)	Good	$N=60.26A$ (1991-1992)

いないが、現実には、漁期末の資源尾数は漁獲圧が高いために、おおむねこの範囲内に収まっている (Table 1)。

この関係式から翌年の産卵親魚数を決める 1 つの方法として、発生頻度の高い上の 2 つの式 (合計 83.9%) に注目すると、約 14 億尾から 37 億尾の親魚を残せば翌年 800 億尾の発生が期待できる。伊勢湾産イカナゴの再生産にとって必要な最少産卵数は最大に見積もって約 8 兆粒と推定され、そのためには 20-50 億尾の親魚が必要であ

る。<sup>19)</sup> 現在、愛知県、三重県漁業者が行っている漁業管理では、こうした結果を踏まえて約 20 億尾以上の親を残すことを 1 つの目安にしている。

当初 10 億尾、その後約 20 億尾の親魚数確保をめざした漁業管理は、1990 年から始めたばかりであるが、このような再生産に関与する親魚数を一定にする試みは、再生産関係が毎年独立してランダムな場合には、長期的にみた平均漁獲量の最大化につながることを示されている。<sup>19, 20)</sup> しかし、イカナゴの再生産関係では、密度効果や親魚の質なども重要な要素となっているので、再生産に関与する親魚数を一定にする試みが、長期的な平均漁獲量の最大化につながるかどうかは、今のところ定かでない。むしろイカナゴの漁業管理では、再生産に必要な親魚数を残すことを前提としつつも、地域の加工能力、魚価の見通しなどをふまえて加入群から最大の付加価値 (経済的利益) を引き出すことが最も重要な目的である。そして、そのために出漁日数や操業時間の調整、市場ごとの水揚量規制、適正サイズを漁獲するための操業区域の設定などさまざまな取り組みが行われており、それらの取り組みは、資源量及び成長速度予測値、価格関数、経費関数などを組み込んだイカナゴ漁業管理モデルによって全体像が示されサポートされている。<sup>23)</sup> 自由競争下における操業では、1 日あたり損益分岐点まで漁



**Fig.12** Relationship between the recruits of sandeel and the abundance of adults, 1981-1995.

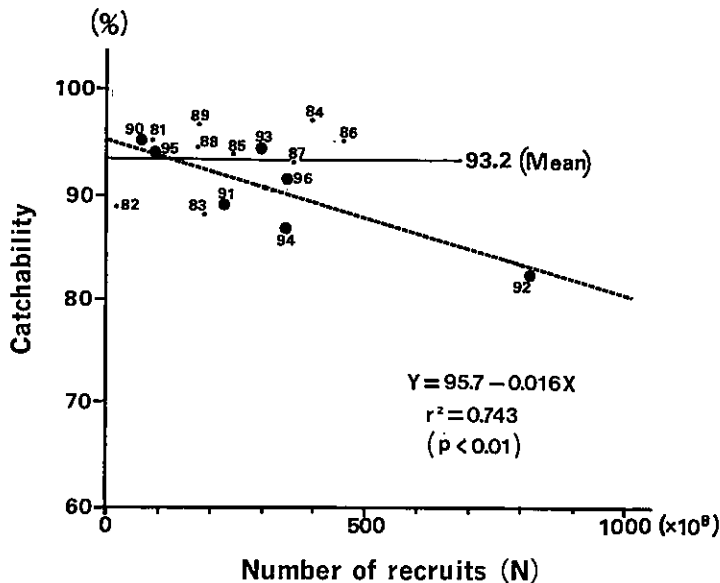


Fig.13 Relationship between the recruits of sandeel and the catchability, 1976-1995.

獲を続けるというのが漁業の経済論理であり、大発生の年には大量の漁獲努力が投入される結果、資源量に見合った漁獲が行われ、結果的に漁獲率一定方策に近い操業が行われやすいと考えられる。事実、過去の漁獲率は、1992年を除くと、発生数500億尾の範囲内においては、仔魚発生数に関係なく87~99% (平均92.2%) の範囲内におさまっている (Fig. 13)。しかし、詳細に見ると、約20億尾以上の親魚数確保をめざした漁業管理が開始された1990年以後では、漁獲率はむしろ仔魚発生数と負の関係にあり、漁業者の親魚保護の強い決意が読みとれる。

イカナゴは夏眠という特異な生態をもち、通常の場合の下においては夏眠中90%以上の高い生残率が期待できること<sup>1)</sup> また、これまでの経過からみると、漁業管理の最も重要な動機である「もうかる漁業」の実現がほぼ達成されてきていることから、現在、進めている終漁日を適切に決定し、一定数の親魚を残すという資源管理のとりくみは、今後とも有効な方策であると考えられる。

## 要 約

- ・ 個体数変動機構の糸口をさぐるために、各発育段階間の量的関係を解析した。その結果、産卵量指数 (E) とふ化後数日を経過した仔魚数 (L) の間の関係が最も変動が大きかった。

- ・ リッカー型再生産式のあてはまりはベバートン・ホルト型再生産式よりも良く、 $A=55$ 億尾で $N_{max}=559$ 億尾が得られる。

$$N=28.236A \cdot e^{-0.0186A} \quad (r^2=0.621, p<0.05)$$

- ・ 環境条件を考慮した再生産関係について検討し、発生倍率 (当歳魚発生数(N)/親魚数(A))と産卵場付近のマクロプランクトン現存量 (P) が、以下のように有意な正の相関を示すことを見出した。

$$N/A=0.019P-3.767$$

$$r^2=0.969 \quad (p<0.01)$$

- ・ 発生倍率は、黒潮流路のタイプが、 $C \rightarrow N \rightarrow B \rightarrow A \rightarrow As$ の順に低下する傾向がみとめられた。
- ・ これらのことから、イカナゴ当歳魚(仔魚)発生数が、海況条件(餌料環境、補給条件など)と親魚数によって決定されていること、また、黒潮流路の変動が、伊勢湾口域の水塊配置や餌料となるマクロプランクトン現存量の変動、ふ化仔魚の湾内への補給条件を左右している可能性が示唆された。
- ・ 発生倍率と黒潮流路の関係及び黒潮流路各タイプの発生頻度をもとにして漁期末の獲り残り尾数(親魚数)と翌年の当歳魚発生数の関係式を導いた。その結果、約14億尾から37億尾の親魚を残す漁業管理方策が示された。

## 文 献

- 1) 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、産卵機構。愛知水試研報, 4, 23-31.
- 2) 船越茂雄 (1991) 伊勢湾のイカナゴの資源管理。水産振興, 283, 1-58.
- 3) 船越茂雄 (1996) 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, pp57.
- 4) 船越茂雄・柳橋茂昭 (1993) 伊勢湾産イカナゴ当歳魚発生量の変動機構。日本水産学会春季大会講演要旨集, 310.
- 5) 船越茂雄・向井良吉・中村元彦・柳橋茂昭 (1993) 伊勢湾産イカナゴの夏眠生態。日本水産学会春季大会講演要旨集, 310.
- 6) 船越茂雄・中村元彦 (1995) イカナゴの再生産関係と資源管理。水産海洋研究, 59 (1), 73-76.
- 7) 二谷順男 (1969) 最近数年の黒潮の変動について。水産海洋研究, 14, 13-18.
- 8) 柳橋茂昭 (1984) 渥美外海接沿岸域のマクロプランクトン群集について。関・東海洋連絡報, 6, 33-52.
- 9) Cushing, D.H. (1975) Marine ecology and fisheries. Cambridge University Press, Cambridge, pp278.
- 10) 山田浩且 (1994) 伊勢湾におけるイカナゴ。水産学シリーズ, 98, 109-121.
- 11) 三重県 (1995) 平成6年度資源管理型漁業推進総合対策事業報告書, 12-16.
- 12) 船越茂雄 (1993) 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.
- 13) 岡本繁好 (1989) 播磨灘におけるイカナゴ親魚による同稚子の捕食状況について. 兵庫水試研報, 26, 65-67.
  - 14) 浜田尚雄 (1972) 播磨灘, 大阪湾におけるイカナゴの発生量変動に関する研究-VII (親と子の量的関係). 兵庫水試研報, 12, 1-5.
  - 15) 橋本博明 (1984) イカナゴ漁業と資源. 日本水産学会東北支部会報, 34, 10-24.
  - 16) 糸川貞之 (1982) 伊勢湾産イカナゴの再生産関係について. 昭和56年度沿岸重要資源委託調査成果報告書. 64-75.
  - 17) 津本欣吾 (1990) 伊勢湾産イカナゴの再生産曲線の見直し. 昭和62, 63年度沿岸重要資源委託調査成果報告書, 1-4
  - 18) 山田浩且・津本欣吾・久野正博・石川貴朗 (1995). 資源管理型漁業推進総合対策事業-III, 管理計画策定調査. 平成6年度三重県水産技術センター事業報告, 76-82.
  - 19) Reed, W.J. (1979) Optimal escapement levels in stochastic and deterministic harvesting models. *J.Envi.Econom.Manage.*, 6, 350-363.
  - 20) 松宮義晴 (1996) 水産資源管理概論. 水産研究叢書, 46, (社) 日本水産資源保護協会, pp77.