

寄稿

伊勢湾および西部遠州灘へのカタクチイワシシラスの来遊と
マイワシ太平洋系群の再生産との関係中村元彦^{†1}, 内山雅史², 船越茂雄³Relationship between Anchovy (*Engraulis japonicus*) Larval Recruitment
in Ise Bay and the western Enshu-Nada, and Reproduction of Sardine
(*Sardinops melanostictus*) along the Pacific Coast of JapanMotohiko NAKAMURA^{†1}, Masashi UCHIYAMA² and Shigeo FUNAKOSHI³

We studied the relationship between anchovy (*Engraulis japonicus*) larval recruitment in Ise Bay and the western Enshu-Nada, and reproduction of sardine (*Sardinops melanostictus*) along the Pacific coast of Japan using fishery catch and egg abundance data. The anchovy larvae catch in spring increased as the stock size for immature sardine decreased. Conversely, the anchovy larvae catch in autumn increased, when the stock size for immature sardine in the following year increased. Using spawner-recruit models, we calculated the index of the environmental conditions which affect anchovy larval recruitment and the index of the environmental conditions which affect sardine reproduction. In the results, a positive correlation was found for the relationship between the environmental condition index for anchovy larval recruitment in autumn and that for sardine reproduction in the following year ($n=27$, $r=0.581$, $p<0.01$). This fact shows that the conditions in the sardine spawning and larval nursery grounds off the south coast of Japan affect not only sardine reproduction but also anchovy reproduction in autumn.

Key words: anchovy larva, sardine, reproduction, spawner-recruit model

はじめに

マイワシとカタクチイワシの資源量が長期的に逆位相で変動する現象は、魚種交替と呼ばれ、環境変動や種間競合により生じていると考えられている(Matsuda *et al.*, 1991). カタクチイワシでは、魚種交替にともない再生産様式が変化することが知られており(船越, 1990)、遠州灘から鹿島灘にかけてのシラス漁場では、カタクチイワシシラス(カタクチシラス)の来遊がマイワシ資源水準の低いときには春が主体となり、高いときには夏・秋が主体となる(船越, 1990; 村中, 1984; 三谷, 1990; 二平・土屋, 1990). 遠

州灘の春シラス漁にみられる魚種交替では、黒潮流路に対応して遠州灘沿岸における両種の産卵水準が相反して変化することが報告されている(Nakata *et al.*, 2000). このようなシラス漁にみられる魚種交替の機構解明は、重要な漁獲対象である両種の資源変動予測手法の確立に結びつくと考えられる。

マイワシ加入量やカタクチシラス来遊量への産卵水準の寄与は、産卵水準を説明変数とした回帰モデルの決定係数によると、マイワシ加入量では44%(Wada and Jacobson, 1998)、伊勢湾および西部遠州灘におけるカタクチシラス月別来遊量では5.2~28.5%(中村・藤田, 2005)で、ともに50%を下回っている。これらのことから、マイワシ加入量やカタクチシラス来遊量は、ふ化後の生残や輸送などの産卵水準以外の条件に大きく左右されると考えられる。特に、マイワシの加入量では、その変動が体長5mmから25mmにかけての仔魚の生残に大きく左右されることが輸送・成長・生残モデルにより示されている(Suda and Kishida, 2003).

マイワシ太平洋系群とカタクチイワシ太平洋系群の産卵場に関する知見を整理すると(黒田, 1991; 銭谷ら,

2004年5月7日受付, 2005年3月18日受理

¹ 愛知県水産試験場漁業生産研究所

Marine Resources Research Center, Aichi Fisheries Research Institute, Toyohama, Minamichita-cho, Chita-gun, Aichi 470-3412, Japan

² 千葉県水産研究センター

Chiba Prefectural Fisheries Research Center, Hiraiso, Chikura-cho, Awa-gun, Chiba 295-0024, Japan

³ 愛知県水産試験場

Aichi Fisheries Research Institute, Wakamiya, Miya-cho, Gamagori, Aichi 443-0021, Japan

[†] motohiko_nakamura@pref.aichi.lg.jp

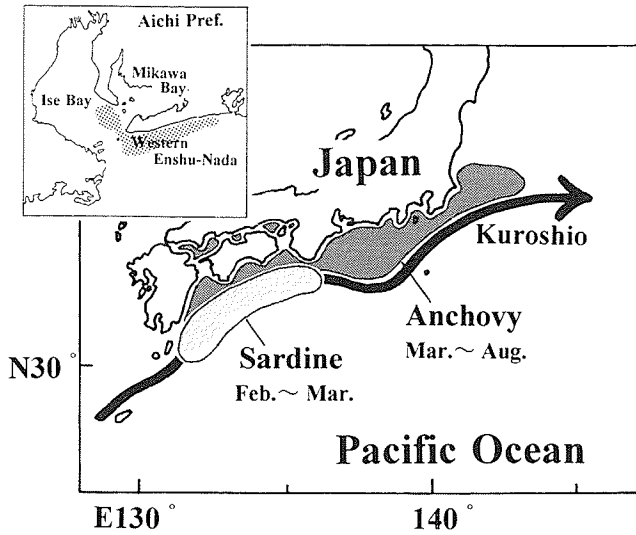


Figure 1. Sardine and anchovy spawning grounds, and studied area. The shaded area in the left figure indicates the fishing grounds of anchovy larvae off Aichi prefecture.

1995；銭谷，1998；久保田ら，1999），Fig. 1に示すように、両群の産卵はともに太平洋南岸で行われるものの、前者が2~3月の冬春季に、主に薩南海域から紀伊水道外域にかけての黒潮系水の影響が強い海域で行われるのに対して、後者は5~8月の春夏季を中心に、主に日向灘から鹿島灘にかけての内湾域を含む黒潮系水の影響が比較的弱い海域で行われる。このような産卵の行われる季節と海域の類似や相違により、両種の再生産に影響するシラス期までの生残が何らかの関連を持つと考えられるが、その関連性についての検討は十分ではない。そこで、本報では、伊勢湾および渥美外海で漁獲されるカタクチシラスの季節別来遊量の変動とマイワシ加入量の変動を、産卵一加入モデルを用いてそれぞれ産卵水準による変動と産卵水準以外の要因による変動に分離し、産卵水準以外の要因による変動について相互に関連を調べた。

資料と方法

伊勢湾および渥美外海のカタクチシラス来遊量とマイワシ太平洋系群の加入量との対応関係を調べるため、カタクチシラス来遊量の指標となる愛知県のカタクチシラス漁獲量と、マイワシ太平洋系群の加入量の指標となる未成魚越冬群資源量指数の変動を比較した。

愛知県のカタクチシラス漁獲量は、愛知県水産試験場が集計・調査した月別のシラス類漁獲量とシラス混獲率から求めた。マイワシ未成魚越冬群資源量指数（未成魚越冬群指数）は、千葉県水産試験場が三陸~房総海域で操業する大中型まき網漁業の12月から翌4月の日別操業記録を基に算出した資源量指数で（平本ら，1995）、1999年以降は資源の減少にともない著しく小さな値が見られることから、

1972~1998年の値を用いた。なお、漁獲量と未成魚越冬群指数は、変動の類似性を調べる際に、中村・上野（2002）に従って変動の水準依存性が緩和されるように立方根変換して用いた。また、カタクチシラス漁獲量は、漁獲のある4~12月を便宜的に4~6月、7~9月、10~12月の3つの期間にまとめて扱い、それぞれの期間に来遊するシラスを春シラス、夏シラス、秋シラスと呼ぶことにする。

次に、産卵一加入モデルを用いてカタクチシラス月別漁獲量およびマイワシ未成魚越冬群指数の変動を、産卵水準による変動と海況などの産卵水準以外の要因による変動とに分離した。そして、カタクチシラス月別漁獲量の産卵水準以外の要因による変動については、変動特性を調べ、月ごとの変動を相互に比較した。さらに、月ごとの変動をマイワシ未成魚越冬群指数の産卵水準以外の要因による変動と比較した。

産卵一加入モデルは、以下に示す中村・藤田（2005）のモデルを用いた。モデルではカタクチシラスの来遊量と産卵水準の関係に、妥当性を確認した上でリッカー型関数を採用しているが、マイワシ太平洋系群の再生産関係についても密度依存的な傾向があることが知られているので（Wada and Jacobson, 1998）、リッカー型関数を採用した。

t 年の来遊量 S_t は、産卵水準がモニタリングされている n 個の海域 i の産卵水準 E_{it} 、産卵水準がモニタリングされていない海域からの平均的な来遊量 c （一定）および産卵水準以外の要因で変動する係数 k_t で、

$$S_t = k_t \left[\sum_{i=1}^n \{a_i E_{it} / \exp(b_i E_{it})\} + c \right] \quad (1)$$

と表した。ここで、 a_i と b_i はリッカー型関数のパラメータである。両辺を常用対数にとると、

$$\log_{10} S_t = \left\{ \sum_{i=1}^n a_i E_{it} / \exp(b_i E_{it}) + c \right\} + \log_{10} k_t \quad (2)$$

となる。各パラメータは、 E_{it} を独立変数、 $\log_{10} S_t$ を説明変数、 $\log_{10} k_t$ を残差とする回帰分析によって推定できる。算出される $\log_{10} S_t$ の回帰推定値は産卵水準による変動を示し、残差 $\log_{10} k_t$ は産卵水準以外の要因による変動を表す。

カタクチシラスでは、中村・藤田（2005）が、 S_t を愛知県のカタクチシラス月別漁獲量に10tを加えた値、産卵水準がモニタリングされている海域を渥美外海と伊勢湾の2海域（ $n=2$ ）、 E_{it} をそれぞれの海域における卵採集数3ヶ月合計値（漁獲の月とその前月、前々月の合計）として、月毎に計算した結果を用いた。 S_t が限定された海域への来遊量であることから、残差として算出された $\log_{10} k_t$ は来遊に係わる生残・輸送条件を表すので、カタクチシラス来遊環境指数と呼ぶことにする。なお、伊勢湾および渥美外海の卵採集数は、三重県科学技術振興センター水産研究部と愛知県水産試験場が月一回の調査で丸特ネットあるいは改良ノ

ルバックネットの鉛直びきにより取得したデータを用いた。

マイワシでは、 S_t を未成魚越冬群指数、 E_t をWatanabe (1983)、森ほか (1988)、菊地・小西 (1990)、石田・菊地 (1992)、銭谷ほか (1995)、久保田ほか (1999)、中央ブロック卵・稚仔プランクトン調査研究担当者協議会(1998, 1999)による太平洋岸 (海区I~IV) の産卵量 (1972~1998年) とした。太平洋岸の産卵量がマイワシ太平洋系群全体の産卵量を表すと見なして $c=0$ とし、 E_{it} を改めて E_t と置くと、(2)式は、

$$\log_{10} S_t = \log_{10} \{aE_t / \exp(bE_t)\} + \log_{10} k_t \quad (3)$$

と書き換えられる。 E_t と S_t がそれぞれ系群全体の産卵量と加入量を表すことから、算出された $\log_{10} k_t$ は再生産に係わる生残条件を表すので、マイワシ再生産環境指数と呼ぶことにする。各パラメータは平松 (1992)に従って最尤法で推定した。

結果

カタクチシラス来遊量とマイワシ加入量の変動

愛知県におけるカタクチイワシの春シラス (4~6月) 漁獲量、夏シラス (7~9月) 漁獲量、秋シラス (10~12月) 漁獲量の各立方根変換値の変動を Fig. 2(a), (b), (c)に示した。春シラスは1970年代後半から1980年代後半に少なく、夏シラスは1990年代中頃を除いて1970年代前半以降に多く、秋シラスは1970年代前半から1980年代後半に多い。

マイワシ未成魚越冬群指数の立方根変換値の変動を Fig. 2(d)に示した。未成魚越冬群指数は1970年代中頃から1980年代後半に大きい。カタクチシラス漁獲量との関係に注目すると、カタクチイワシの春シラスは、相関は認められないが、未成魚越冬群指数が大きいと少ない傾向がある ($n=27, r=-0.354, p>0.05$)。夏シラスは、未成魚越冬群指数との間で明確な対応関係は見られない ($n=27, r=0.233, p>0.05$)。秋シラスは、未成魚越冬群指数が大きいと多い傾向があり、翌年の未成魚越冬群指数との間で強い正の相関が認められた ($n=27, r=0.675, p<0.001$)。このように、マイワシ太平洋系群の発生量が多いと、愛知県海域へのカタクチイワシ春シラスの来遊量が少なく、秋シラスの来遊量が多い。

カタクチシラス来遊環境指数の変動

中村・藤田 (2005) が、カタクチシラス月別漁獲量と卵採集数のデータに(2)式を当てはめて得た残差 $\log_{10} k_t$ (カタクチシラス来遊環境指数) の変動を Fig. 3に示した。図中には、5年を上回る中・長期変動をみるために、二項比率で重み付けした5年移動平均値の変動を示した。7~9月のカタクチシラス来遊環境指数は、標準偏差(S.E.)が0.237~0.315と小さく、他の月に比べて変動が小さい。4月、6月、10~12月のカタクチシラス来遊環境指数には、5~8

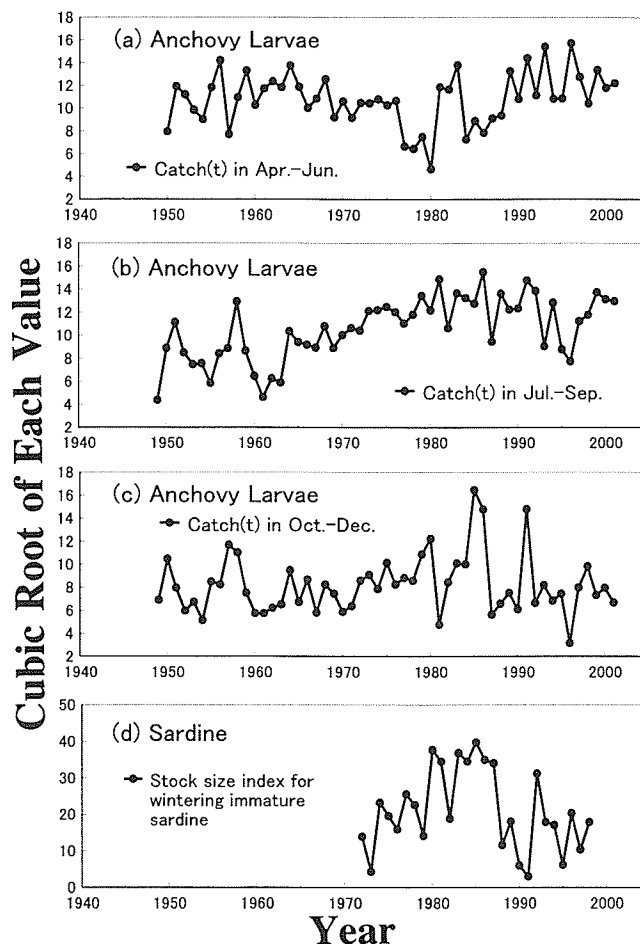


Figure 2. Annual fluctuations in recruits of immature sardine and larval anchovy. (a): The anchovy larvae catch in Ise Bay and the western Enshu-Nada in spring (April-June). (b): Summer (July-September). (c): Autumn (October-December). (d): The stock size index for the wintering immature sardine off the Joban-Boso areas in December-April. The cubic root of each value was plotted.

年程度の周期的な変動が見られる。

カタクチイワシの春シラスが1970年代後半から1980年代後半に少ない傾向は、5月と6月のカタクチシラス来遊環境指数の変動に見られ、夏シラスが1990年代中頃を除いて1970年代前半以降に多い傾向は、7月と8月のカタクチシラス来遊環境指数の変動に見られる。また、秋シラスが1970年代前半から1980年代後半に多い傾向は、10月と11月のカタクチシラス来遊環境指数の変動に見られる。

カタクチシラス来遊環境指数の経月変動を見るために、月ごとに求めた値を1つの時系列として Fig. 4に示した。なお、値が求められていない1~3月については、4~12月の値が連続的に変化していることから、12月と翌年4月の値による内挿値で補完し、二項比率で重み付けした3ヶ月移動平均値の変動を図中に示した。また、変動の時間ス

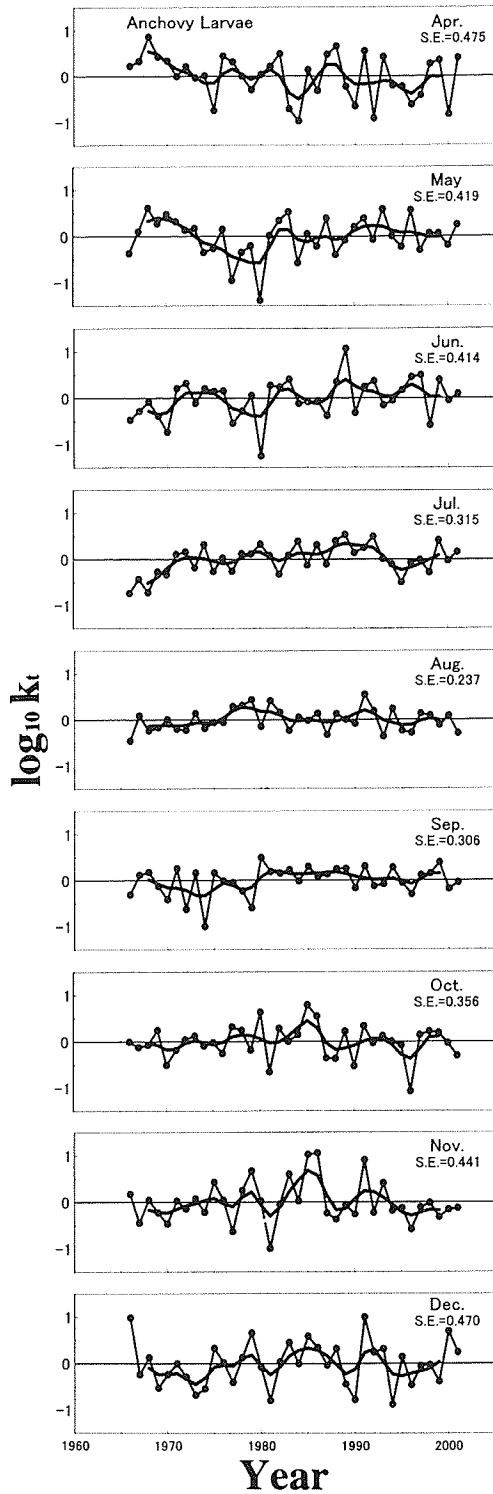


Figure 3. Fluctuations in $\log_{10} k_t$ which was calculated from the monthly catch of anchovy larvae in Ise Bay and the western Enshu-Nada, as an index of the environmental conditions which affect anchovy larval recruitment in Ise Bay and the western Enshu-Nada. Thick lines indicate running mean for five years.

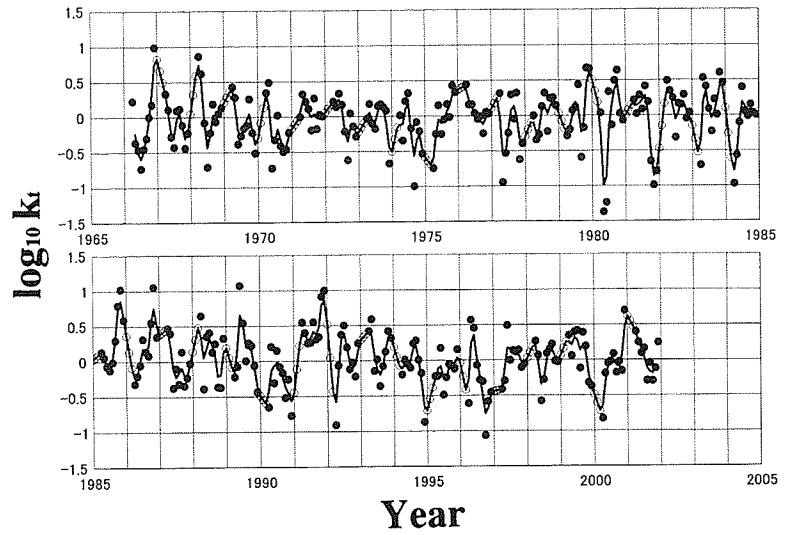


Figure 4. A time series of $\log_{10} k_t$ for anchovy larval recruitment. Open circles indicate interpolated value. Thick lines indicate running mean for three months.

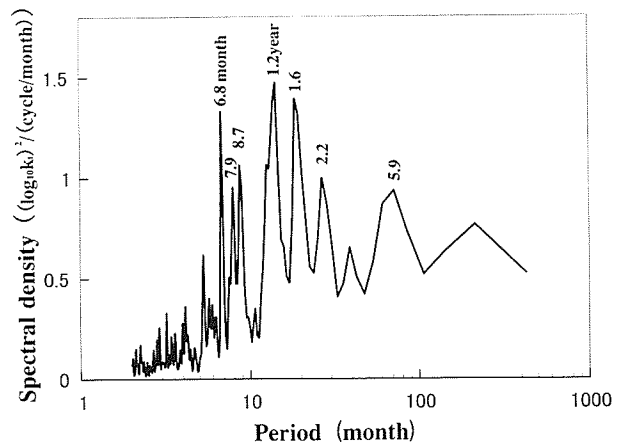


Figure 5. Spectral density on the time series of $\log_{10} k_t$ for anchovy larval recruitment (in figure 4).

ケールを調べるために、1~3月の値を補完した時系列についてスペクトル密度を求め、Fig. 5に示した。

カタクチシラス来遊環境指数は数ヶ月スケールの変動が小さく、スペクトル密度も5ヶ月以下の周期では小さい。移動平均値には周期的な変動が見られ、スペクトル密度には、8ヶ月前後、1.2年、1.6年、2.2年、5.9年にピークが見られる。

カタクチシラス来遊環境指数の相互関係

月ごとのカタクチシラス来遊環境指数の変動を相互に比較するため、12ヶ月前から12ヶ月後の値に対して相関計数を求め、Fig. 6に示した。なお、1~3月についてはFig. 4で補完した値を用いた。相関係数は前後数ヶ月の月に対して正で高く、約6ヶ月前あるいは後に負に偏る月が多い。ま

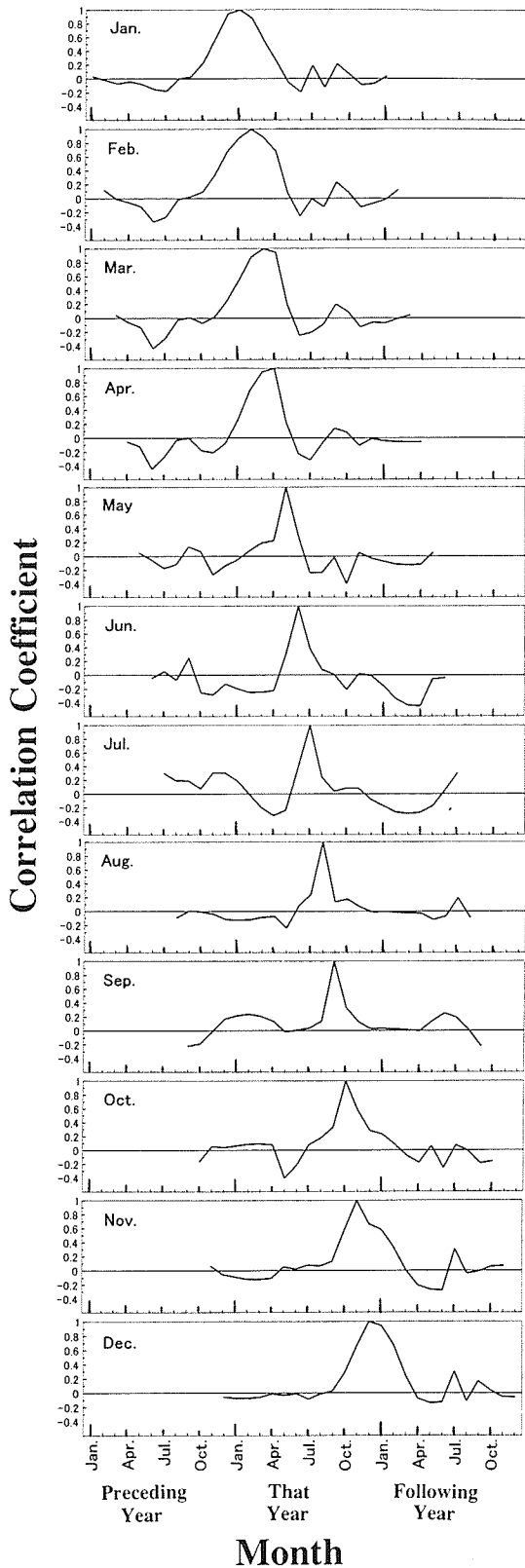


Figure 6. Correlation coefficients among $\log_{10} k_t$ for anchovy larval recruitment in 12 months. Correlation coefficient over 0.34 was significant at 5% level ($n=34$).

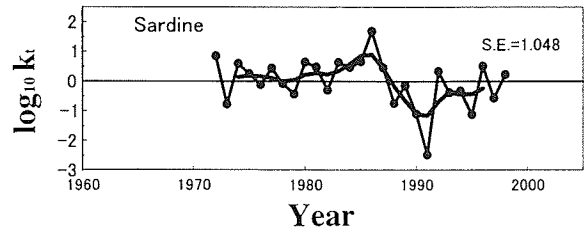


Figure 7. A fluctuation in $\log_{10} k_t$ which was calculated from the stock size index for the wintering immature sardine, as an index of the environmental conditions which affect sardine reproduction. A thick line indicates running mean for five years.

た、相関係数が負に偏る期間は基本的には4~12月のように月が進むにつれて後にシフトしていくが、2~4月では相関係数が常に当年の6~8月に対して負で、負に偏る期間が明確にはシフトしていない。

シラスの漁期ごとにみると、春シラスの4~6月は、相関係数が約4ヶ月以上前と約3ヶ月以上後に対して負に偏る傾向があり、前年10~12月に対して負に偏る傾向がある。夏シラスの7~9月は、7月を除いて正・負の偏りが小さく、他の月との関連性が弱い。秋シラスの10~12月は、相関係数が翌年の4~6月に対して負に偏る傾向がある。カタクチシラス来遊環境指数の季節間の関係は、漁獲量の季節間の関係と概ね一致している。

マイワシ再生産環境指数の変動とカタクチシラス来遊環境指数との関係

マイワシについては、未成魚越冬群指数と産卵量の関係に(3)式をあてはめた結果、次式が得られた。

$$\log_{10} S_t = \log_{10}(22.6 E_t / \exp(0.000608 E_t)) + \log_{10} k_t$$

$$n=27, R^2=0.403, p<0.001$$

算出された残差 $\log_{10} k_t$ (マイワシ再生産環境指数) の変動を、二項比率で重み付けした5年移動平均値とともに Fig. 7に示した。マイワシ再生産環境指数は、1988年以後の水準がそれ以前に比べて小さい。

マイワシ再生産環境指数と前年1月から当年12月のカタクチシラス来遊環境指数との相関を求め、Table 1に示した。なお、1~3月については Fig. 4で補完した値を用いた。マイワシ再生産環境指数は、前年12月を中心に前年10月から当年1月のカタクチシラス来遊環境指数との間で正の相関が認められ ($n=27, r=0.471\sim 0.545, p<0.02$)、当年4月から6月のカタクチシラス来遊環境指数との間では相関は認められないものの、相関係数が負に偏る傾向が見られる。

マイワシ未成魚越冬群指数との間で漁獲量変動に関連が認められたカタクチイワシの春シラスと秋シラスについては、指数間の対応関係を詳しく調べるため、前年10~12月のカタクチシラス来遊環境指数の合計値 (秋シラス来遊環境指数)、マイワシ再生産環境指数、4~6月のカタクチシ

Table 1. Correlation coefficients between $\log_{10} k_t$ for anchovy larval recruitment in each month and that for sardine reproduction. $n=27$.

Year	Month	r	p
Preceding Year	Jan.	-0.043	0.838
	Feb.	0.040	0.841
	Mar.	0.113	0.575
	Apr.	0.141	0.483
	May	-0.148	0.461
	Jun.	-0.061	0.763
	Jul.	-0.169	0.400
	Aug.	0.093	0.643
	Sep.	0.170	0.397
	Oct.	0.471	0.0132
	Nov.	0.473	0.0128
	Dec.	0.545	0.00328
That Year	Jan.	0.480	0.0113
	Feb.	0.262	0.188
	Mar.	-0.037	0.853
	Apr.	-0.220	0.270
	May	-0.224	0.261
	Jun.	-0.156	0.436
	Jul.	0.127	0.528
	Aug.	-0.315	0.109
	Sep.	-0.154	0.444
	Oct.	0.110	0.585
	Nov.	0.043	0.833
	Dec.	-0.156	0.438

ラス来遊環境指数合計値（春シラス来遊環境指数）の順に変動を Fig. 8 に示した。

前年の秋シラス来遊環境指数とマイワシ再生産環境指数は、1974~1979年の期間では負の対応関係が見られるが、その他の期間では変動がよく類似し、両者の変動に強い正の相関が認められた ($n=27, r=0.581, p<0.01$)。マイワシ再生産環境指数と春シラス来遊環境指数は、1994~1998年の期間は変動が類似するが、1974~1993年の期間には負の対応関係が見られる ($n=27, r=-0.315, p>0.05$)。前年の秋シラス来遊環境指数と春シラス来遊環境指数は、1972~1979年および1994~2001年の期間は変動が類似するが、1966~1971年および1980~1993年の期間には負の対応関係が見られる ($n=27, r=-0.341, p>0.05$)。

考 察

マイワシ太平洋系群の未成魚越冬群指数と愛知県海域における季節ごとのカタクチシラス漁獲量との間に見られる対応関係は、マイワシ再生産環境指数とカタクチシラス来遊環境指数との関係にも同様に見られることから、マイワシ加入量やカタクチシラス来遊量を左右する生残・輸送条件の対応関係を反映しているといえる (Fig. 2, Fig. 8, Table 1)。

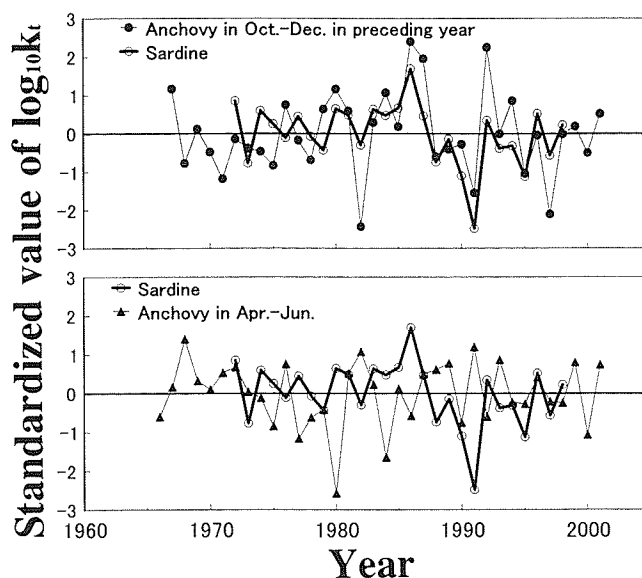


Figure 8. Comparison of fluctuation between $\log_{10} k_t$ for anchovy larval recruitment and that for sardine reproduction.

カタクチシラス来遊環境指数の経月変化は数ヶ月スケールの変動が滑らかで、8ヶ月前後、1.2年、1.6年、2.2年、5.9年に卓越周期が認められた。カタクチシラス来遊環境指数は来遊環境の良し悪しを月ごとに評価した値なので、来遊環境の季節変化（1年周期）は除去されている。友定ほか (1999) が都井岬から東経143度にかけての黒潮流軸位置の変動について周期性を調べた結果によると、カタクチシラス来遊環境指数に認められた卓越周期のうち8ヶ月前後の周期は浜名湖南方沖から野島崎南東方沖にかけて、1.6年周期はほぼ全域で、2.2年周期は野島崎南方沖で見られた。これまでも日本南岸のシラス漁場では、カタクチシラスの来遊量が黒潮流路の影響を受けることが報告されており (村中, 1984; 兪・中田, 2001)、カタクチシラス来遊環境指数に見られるいくつかの周期的な変動は、黒潮の流路変動にともなう日本南岸の海況の変化によると推測される。

7~9月のカタクチシラス来遊環境指数の変動は他の月との関連が弱い (Fig. 6)。一方、前年10~12月のカタクチシラス来遊環境指数と4~6月のカタクチシラス来遊環境指数とは、変動が類似する期間も見られたが、負の対応関係が見られる期間の方がやや長く、相互の相関係数も負に偏る傾向が見られた (Fig. 6, Fig. 8)。

生残・輸送条件は、種や季節発生群による卵期以降の分布生態の違いで、影響する環境要因や環境要因に対する応答が異なると考えられる。産卵-加入モデルを用いた回帰分析により、伊勢湾および西部遠州灘で漁獲されるカタクチシラスの主な供給海域は、4~6月が黒潮内側域、7~9月が伊勢湾、10~12月が黒潮系水の影響が強い潮岬以西沿岸と推測されている (中村・藤田, 2005)。7~9月のカタク

チシラス来遊環境指数の変動が小さい上に、5~8年程度の周期的な変動が見られる他の季節との関連が弱いのは (Fig. 3, Fig. 6), 4~6月および10~12月はシラスの主な供給源が黒潮の流路で海況が大きく変化する外海域であるのに対して、7~9月は主な供給源が閉鎖的な内湾域であるため、生残・輸送条件が比較的安定していることによると考えられる。

6ヶ月の時間差がある前年10~12月のカタクチシラス来遊環境指数と4~6月のカタクチシラス来遊環境指数との間で変動が負の対応関係を取りやすい現象は、指数に1年前後の周期性があることで説明できる。この様子は、月ごとのカタクチシラス来遊環境指数の相互関係において、相関係数の負に偏る期間が月の経過とともにシフトしていくことに現れている (Fig. 6)。ただし、2~4月は負に偏る期間のシフトが不明確になっていて、指数の周期的な変動に季節的な変化が加わっている。このことから、生残・輸送条件を左右する環境要因や環境要因に対する応答が季節発生群により異なり、そのことが前年の秋シラス来遊環境指数と春シラス来遊環境指数の対応関係に影響している可能性もある。

マイワシ再生産環境指数は、前年12月を中心に前年10月から当年1月のカタクチシラス来遊環境指数との間で正の相関が認められ、カタクチイワシの前年の秋シラス来遊環境指数 (10~12月のカタクチシラス来遊環境指数合計値) と一部の期間を除いて変動がよく類似していた。また、春シラス来遊環境指数 (4~6月のカタクチシラス来遊環境指数合計値) との間では、概ね負の対応関係が見られたが、変動が類似する期間も見られた (Fig. 8)。このことは、マイワシの生残条件の変動が、晩秋を中心として愛知県海域に来遊するカタクチシラスの生残・輸送条件と類似し、それらの条件には卵・仔魚の分布域である日本南岸の海況が影響することを示している。2~3月を主産卵期とするマイワシの再生産環境指数が春よりも秋のカタクチシラス来遊環境指数と変動がよく類似しているのは、何らかの理由でマイワシの生残条件が秋の環境に左右されるのか、あるいは、秋のカタクチシラスの主な供給源が春よりもマイワシの産卵場に近しいことが原因と考えられるが、このことについては、カタクチシラス来遊環境指数と環境要因との関係が明確にならなければわからない。今後、生残・輸送条件と関連が予想される黒潮流路等の環境要因と両指数との関係を調べ、環境要因や環境要因に対する応答の種や季節発生群による違いなど、不明な点を明らかにしていく必要がある。

謝辞

本報で用いたデータは、水産庁の委託事業である沿岸重要資源委託調査、200カイリ水域内資源調査、我が国周辺資源評価調査および資源評価調査により取得した。データの

取得に携われた研究員と調査船の乗組員の方々、英文についてご指導いただいたLinda Worland嬢に深く感謝いたします。

引用文献

- 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集, 10, 208 pp.
- 平松一彦 (1992) 最尤法による水産資源の統計学的研究 (パラメータ推定とモデル選択)。遠洋水研報, 29, 57-114.
- 平本紀久雄・鈴木達也・内山雅史 (1995) 北部太平洋海区まき網のQRYデータによる資源量指数と漁獲量の関係。千葉水試研報, 53, 1-4.
- 石田 実・菊地 弘 (1992) 日本の太平洋岸 (常磐~薩南海域) におけるマイワシ、カタクチイワシ、サバ類の月別、海域別産卵状況: 1989年1月~1990年12月。水産庁中央水産研究所, 86 pp.
- 菊地 弘・小西芳信 (1990) 日本の太平洋岸 (常磐~薩南海域) におけるマイワシ、カタクチイワシ、サバ類の月別、海域別産卵状況: 1987年1月~1988年12月。水産庁中央水産研究所, 72 pp.
- 久保田洋・大関芳沖・石田 実・小西芳信・後藤常夫・銭谷弘・木村 量 (1999) 日本周辺水域におけるマイワシ、カタクチイワシ、サバ属魚類、ウルメイワシの卵仔魚およびマアジ仔魚とスルメイカ幼生の月別分布状況: 1994年1月~1996年12月。水産庁研究所資源管理研究報告, A-2, 352 pp.
- 黒田一紀 (1991) マイワシの初期生活期を中心とする再生産過程に関する研究。中央水研報, 3, 25-278.
- Matsuda, H., T. Wada, Y. Takeuchi and Y. Matsumiya (1991), Alternative models for species replacement of pelagic fishes. Res. Popul. Ecol., 33, 41-56.
- 三谷 勇 (1990) 相模湾におけるカタクチイワシシラスの漁業資源学的研究。神奈川県水産試験場論文集, 5, 1-140.
- 森慶一郎・黒田一紀・小西芳信 (1988) 日本の太平洋岸 (常磐~薩南海域) におけるマイワシ、カタクチイワシ、サバ類の月別、海域別産卵状況: 1978年1月~1986年12月。東海区水産研究所資料集, 321 pp.
- 村中文夫 (1984) シラスの漁獲量変動と環境, "イワシ類シラスの魚種交替現象の生物学的解明", 昭和55~57年度指定研究総合助成事業3ヶ年とりまとめ報告書, 水産庁, 314 pp.
- Nakata, H., S. Funakoshi and M. Nakamura (2000) Alternating dominance of postlarval sardine and anchovy caught by coastal fishery in relation to the Kuroshio meander in the Enshu-nada Sea. Fish. Oceanogr., 9, 248-258.
- 中村元彦・上野正博 (2002) 漁獲量変動の水準依存性。水産海洋研究, 66, 110-117.
- 中村元彦・藤田弘一 (2005) 伊勢湾および西部遠州灘で漁獲されるカタクチイワシシラス供給源の産卵一加入モデルによる推定。水産海洋研究, 69, 27-36.
- 二平 章・土屋圭己 (1990) 鹿島灘海域におけるカタクチイワシ漁況と海洋環境。水産海洋研究, 54, 61-66.
- Suda, M. and T. Kishida (2003) A spatial model of population dynamics of the early life stages of Japanese sardine, *Sardinops melanostictus*, off the Pacific coast of Japan. Fish. Oceanogr., 12, 85-99.
- 友定 彰・玉木信子・山田幸世 (1999) 黒潮流軸変動の統計。関東・東海ブロック水産海洋連絡会報, 25, 3-10.
- 中央ブロック卵・稚仔プランクトン調査研究担当者協議会 (1998) 1997年・1998年冬春季における主要魚種再生産状況の総括。中央ブロック卵・稚仔, プランクトン調査研究担当者協議会研究報告, 18, 119-120.

- 中央ブロック卵・稚仔プランクトン調査研究担当者協議会 (1999) 1998年・1999年春季の我が国太平洋岸の主要魚種の卵稚仔の分布についての総括. 中央ブロック卵・稚仔, プランクトン調査研究担当者協議会研究報告, **19**, 4-5.
- Wada, T. and L. D. Jacobson (1998) Regimes and stock-recruitment relationships in Japanese sardine (*Sardinops melanostictus*), 1951-1995. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **55**, 2455-2463.
- Watanabe, T. (1983) Stock assesment of common marckerel and Japanese sardine along the Pacific coast of Japan by spawning survey. *FAO Fish. Rep.*, No. 291, 57-81.
- 兪 俊宅・中田英昭 (2001) 黒潮の離接岸変動が遠州灘の春季のシラス漁況に及ぼす影響. *水産海洋研究*, **62**, 51-58.
- 銭谷 弘・石田 実・小西芳信・後藤常夫・渡邊良朗・木村 量 (1995) 日本周辺水域におけるマイワシ, カタクチイワシ, サバ類, ウルメイワシ, およびマアジの卵仔魚とスルメイカ幼生の月別分布状況: 1991年1月~1993年12月. 水産庁研究所資源管理研究報告, A-1, 368 pp.
- 銭谷 弘 (1998) 産卵期と産卵場. *マイワシの資源変動と生態変化*. 渡邊良朗・和田時夫編, 恒星社厚生閣, 65-74.