水産研究・教育機構 機関リポジトリ
FRA Japan Fisheries Research and Education Agency Institutional Repository

日本海・東シナ海におけるマイワシの長期的な資源量の推定

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 公開日: 2025-02-18 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 大下, 誠司, 檜山, 義明 メールアドレス: 所属:
URL	https://fra.repo.nii.ac.jp/records/2013302

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

日本海・東シナ海におけるマイワシの長期的な資源量の推定

大下誠二・檜山義明（西海区水産研究所）

目的

「鰯がなぜ獲れたり、獲れなかったりするのか？」、という現象は過去から続いていたことのようだ。伊東（1962）は過去に残された資料から、江戸時代から房総海域において鰯(おそらくはマイワシ)の豊凶の様子を示した。平本（1991）もまた丹念に資料を収集している。本報告は、その鰯の豊凶の原因を知るために長期間にわたる資料の整理を行い、解析を試みたものである。

マイワシ(Sardinops melanostictus)は極東アジア海域に生息し、特に日本においてその漁獲量が多い魚種である。日本海・東シナ海における漁獲量を見ると、1993 年に約 200 万トンの漁獲量を示した後、急速に減少し、2000 年にはわずか 1000 トンにまで至った。その差は約 2000 倍であり、短期間にこれほどの変動を示す魚種は他に例を見ない。当然、漁業経済的にも大きな影響を与えている魚種である。

1980 年代にマイワシ資源が増加し 1990 年代に減少する前には、1930 年代に増加し 1940 年代に減少している。日本における水産研究が開始されて以降、2 度のマイワシ資源の豊凶が経験されていることとなる。Nakai(1962)や伊東(1961)は 1930 年代～40 年代の変動期およびその後の資源低水準期における様々な知見を集約しており、このマイワシ資源の豊凶の原因は漁業活動以外にあると明言している。Nakai(1962)は資源の加入について、初期生活史における加入の失敗が原因であると述べているが、その具体的な調査例などは示されていない。1980 年代と 1990 年代におけるマイワシ資源の研究において、Watanabe et al. (1995)は、1980 年代後半に連続した加入の失敗があり、これがマイワシ資源の減少のきっかけとなったと報告した。

Kawasaki(1982)は、世界におけるマイワシの同期的な資源の増減に着目し、地球全体の環境変化がマイワシの資源変動に影響を与えると提唱した（ここではこの現象をレジームシフトとよぶ）。Chavez et al. (2003)は同様にレジームシフトについてのレビューを取りまとめ、各種の海洋環境要因とマイワシ・カタクチイワシのレジームシフトについての報告を行っているが、日本近海におけるマイワシ資源の増加については依然として謎が残るとしている。

このように、マイワシは身近な魚であるにもかかわらず資源が増減し、その増減の理由が未だに詳細に検討されておらず、依然として大きな謎が残されている。この謎を解き明かすためには、まず資源の変動様式について明らかにしなければならないと我々は考えた。これまでの論議では、漁獲量に着目して論議を行っているものが大半であり、年齢構成を用いて再生産様式や資源量などの検討を行っているものは少ない。Wada and Jacobson (1998)は、太平洋海域に分布するマイワシの資源量を 1951 年以降から求めているものの、年齢構成を用いた資源量の計算は 1976 年以降にとどまる。長期間の資源変動様式を解明することが、「謎」を解き明かす第一歩であることは間違いのないところであり、本報告では長期的な年齢査定と月別の漁獲量および月別の体長組成から年齢別漁獲尾数を推定し、VPA を用いて資源量などを計算した。

材料と方法

【年齢別漁獲尾数の推定】

日本海区水産研究所および西海区水産研究所において保存されていた鱗標本および測定台帳を用いた。

鱗については1960年代から、測定台帳については1940年代からのものが残されていたが、1940年代は年齢-体長関係が異なる可能性もある（結果参照）ので、測定台帳は1950年代以降のものを用いた。なお、この過去資料の発掘および補修・入力に約3年間を必要とした。

VPAで資源量を計算するためには、年齢別漁獲尾数を推定しなければならないので、そのために以下の作業手順にて進めた。

1) できるだけ長い期間の鱗標本を用いた年齢査定を行う。
2) マイワシは資源量の変動と成長に負の相関があるので、その検討を行う。
3) 月別に体長と年齢の関係を推定する。
4) 月別の漁獲量を代表県の漁獲統計資料から求める。
5) 月別の測定データを入力する。
6) 1)～5)までを用いて、月別に年齢別漁獲尾数を推定する。

年齢査定は、鱗を年齢形質として万能投影機を用いた。その際、第1輪の形成場所が明らかに中心部に近い個体がしばしば見受けられたが、これらの個体の第1輪は年齢として査読しなかった。

【資源量の推定】

2005年の最高齢魚(4+歳魚)の資源尾数と漁獲尾数を、それぞれ$N_{4+,2005}$および$C_{4+,2005}$としたときに、4+歳魚の資源尾数を漁獲係数($F_{4+,2005}$)と自然死亡係数(M)から次の式を用いて計算した(Pope 1972)。

$$N_{4+,2005} = \frac{C_{4+,2005} \times \exp(\frac{M}{2})}{(1-\exp(-F_{4+,2005}))}$$

0ー2歳魚の資源尾数の計算には次の式を用いた。ただし、最高年齢は年代によって異なる。

$$N_{a,y} = N_{a+1,y+1} \times \exp(M) + C_{a,y} \times \exp(\frac{M}{2})$$

この時の漁獲係数Fは次の式で計算できる。

$$F_{a,y} = -\ln\left\{1 - \frac{C_{a,y} \times \exp(\frac{M}{2})}{N_{a,y}}\right\}$$

ただし、aおよびyはそれぞれ年齢と年である。1989年～1998年までの最高年齢(5+歳魚)と4歳魚の資源尾数の計算については次の計算式を用いた。なお、1978年～1988年および1999年～2002年までの4+歳魚と3歳魚の関係も同様の式である。

$$N_{5+,y} = C_{5+,y} \times \frac{N_{4,y}}{C_{4,y}}$$

$$N_{4,y} = \frac{C_{4,y} \times N_{5+,y+1} \times \exp(M)}{(C_{5+,y} + C_{4,y})} + C_{4,y} \times \exp(\frac{M}{2})$$

なお、1998年の3歳魚と4歳魚の資源尾数$N_{3,1998}$および$N_{4,1998}$は次の式で推定した。

$$N_{3,1998} = \frac{C_{3,1998} \times N_{4+,1998} \times \exp(M)}{(C_{3,1998} + C_{4,1998} + C_{5+,1998})} + C_{3,1998} \times \exp(\frac{M}{2})$$

$$N_{4,1998} = C_{4,1998} \times \frac{N_{3,1998}}{C_{3,1998}}$$

2005 年の 0～3 歳魚の F は 2000 年～2004 年の各年齢の F の平均値とした。最高年齢とその一歳若い年齢の F は同じとし、$F_{4+,2005}$ と $F_{3,2005}$ が同じ値となるように $F_{4+,2005}$ を決めた。なお、自然死亡係数は 0.4 とした。

結果

【年齢査定および成長様式の変動】

日本海区水産研究所に保管されていた 1964 年から 1977 年までの 1969 個体と、Hiyama et. al. (1995)が推定した 2872 個体を合わせて解析を行った。図 1 に年齢と体長との関係を、本研究および Hiyama et al. (1995)の結果を示した。Hiyama et al. (1995)の年齢-体長関係は本研究に比べてばらつく傾向が認められた（理由は後述する）。図 2 に年級群ごとに 3～5 歳の 1 年間の平均体長を示した。いずれの年齢でも 1980 年級群から 1987 年級群まで成長が他の年級群に比べて劣る傾向を示した。1961 年級群から 1979 年級群および 1988 年級群から 1996 年級群の 3 歳魚の平均体長は 186.0mm から 207.0mm であり、4 歳魚は 197.3mm から 214.5mm、5 歳魚は 207.0mm から 224.8mm であった。反面、1980 年級群から 1987 年級群の 3 歳魚の平均体長は 174.6mm から 183.0mm、4 歳は 186.0mm から 192.9mm、5 歳は 197.7mm から 202.9mm であった。したがって、本研究にくらべて、Hiyama et al. (1995)の年齢-体長関係がばらついたのは、1980 年級群から 1987 年級群の成長が他の年級群に比べて著しく劣ったためと判断した。

マイワシの漁獲量は 1980 年代に急増し、1990 年代前半をピークにして、その後は減少している。成長が劣った 1980 年級群から 1987 年級群は、この資源量が急増した時の主群にあたると考えられた。その他の年級群については、多少成長にばらつきが認められるが、これは 1 年間を通しての平均体長であり(図 2)、1960 年代のように漁獲量が少ないと毎月のサンプリングが困難でデータが偏る可能性もある。ここでは、1980 年級群から 1987 年級群以外のそれぞれの平均体長を毎月求めることで、年齢別漁獲尾数が推定可能と判断した。

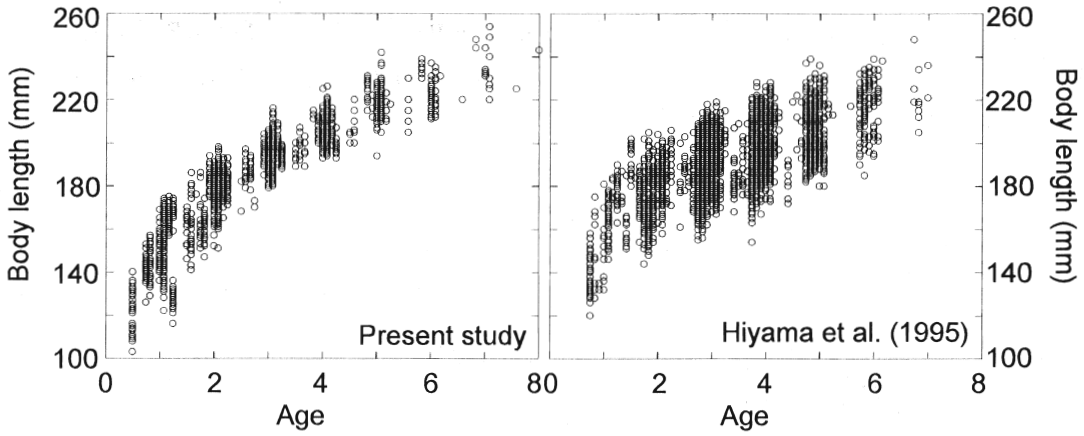

図 1　マイワシの年齢と体長との関係.：(左)本研究、(右)Hiyama et al. (1995)

【年齢別漁獲尾数と資源量の推定】

1964 年から 1999 年にかけて年齢形質の年齢査定を行った結果、漁獲量(資源量が)著しく多い 1980 年級群から 1987 年級群以外の年齢-体長関係を月別に推定し、新潟県、鳥取県、島根県および長崎県の月別の漁獲量と、青森県から鹿児島県に至るすべての府県の月別の測定結果を用いて、年齢別漁獲尾数を毎月推定できた。なお、新潟県、鳥取県、島根県、長崎県の漁獲量は日本海・東シナ海における漁獲量の 51～82%を占める。なお、この海域は韓国およびロシアもマイワシを漁獲している年があるので、その 2 国については、日本の年齢組成の割合と同じと仮定して年齢別漁獲尾数を年別に集計した。以上、資源量の計算期間は 1953 年から 2005 年までである。1952 年以前は月別の漁獲量を示すデータが無いので、資源量の計算は不可能であった。

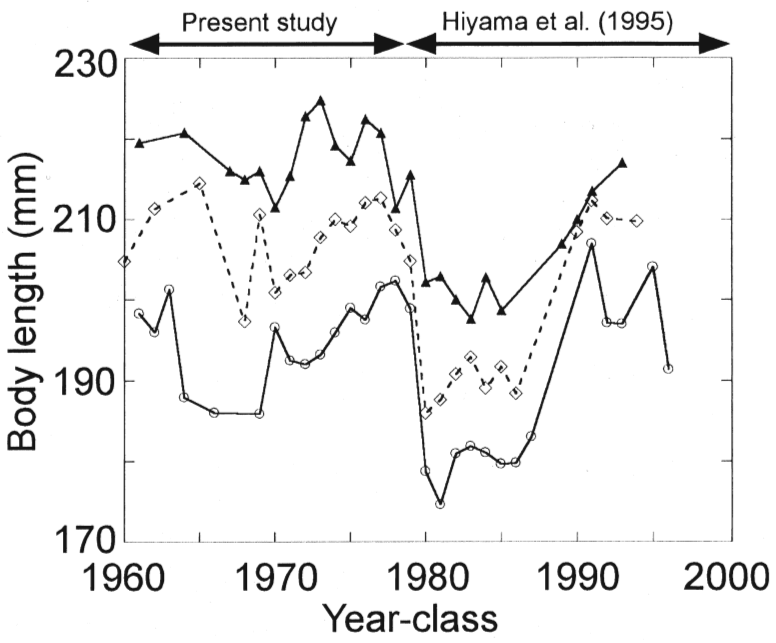

図 2　マイワシの年級群ごとの 3～5 歳の平均体長の経年変化

図 3 に VPA を用いて計算した資源量と漁獲割合(漁獲量×100÷資源量)を示した。1950 年代には資源量が 10 万トンを超えていたものの、1960 年代に減少し 10 万トン以下となった。1965 年に資源量が 1.5 万トンを示した後は増加に転じ、1972 年には再び資源量は 10 万トン以上となった。1976 年には資源量が 100 万トンを超え、1988 年に 975 万トンにまで達した後は急激に減少し、2003 年にはわずか 1 千トン程度にまで落ち込んだ。この間の漁獲割合は、概ね資源量が低水準(10 万トン以下)の場合には 40%以上を、資源量が 10 万トン以上であれば 40%以下で推移した。

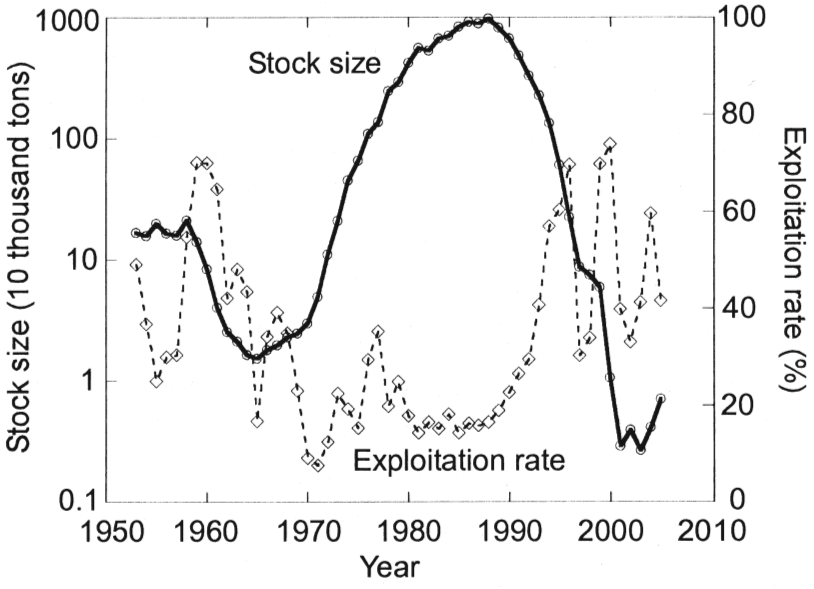

図 3　VPA により計算された日本海・東シナ海におけるマイワシの資源量と漁獲割合

図 4 に 0 歳魚の資源尾数と産卵親魚量との関係を示した。0 歳魚資源尾数と産卵親漁量の経年変化をみると、1950 年代・1960 年代は 0 歳魚の資源尾数の変化が産卵親魚量の変化はほぼ同期していたが、1970 年代には加入量の変化が産卵親魚量の変化よりも先行していることがわかった。資源量が減少した 1990

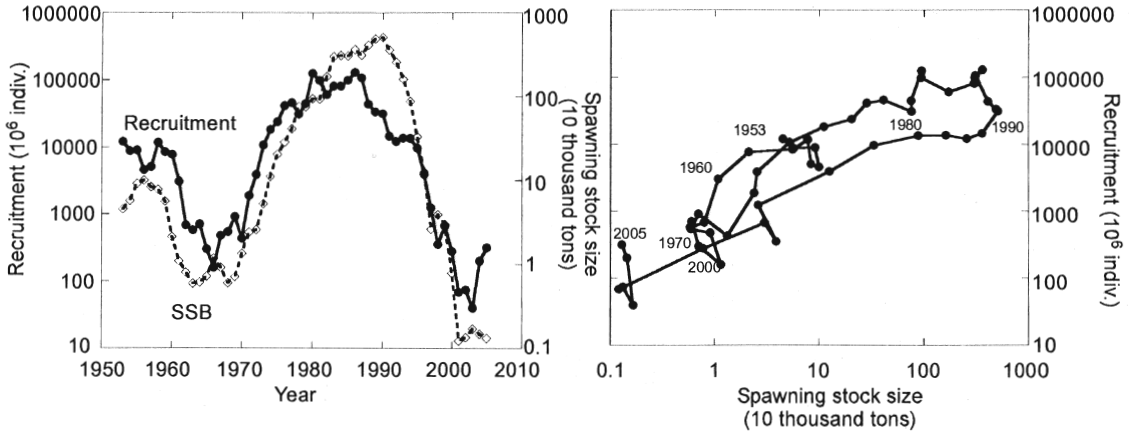

図4　日本海・東シナ海におけるマイワシの加入量・産卵親魚量の経年変化と再生産関係：(左)経年変化、(右)再生産関係

年代後半以降はまた加入尾数と産卵親魚量の変化は同期しはじめている。加入量は1960年代および1990年代に低水準であった。0 歳魚資源尾数と産卵親魚量の関係をみると、一部に重複するところがあるものの、1953 年から 1988 年までの関係と、1989 年から 2003 年までの二つの関係が見て取れた。

考察

マイワシやカタクチイワシの資源量が長期的に変動をしていることは数多く報告されており、北西太平洋においては超長期にわたる資源変動の推定が行われている(Finney et al. 2002)。ただし、これは年齢構成を考慮して行ってものではなく、現在の資源量評価とは比較できない。Deriso et al. (1996)はカリフォルニア海流域におけるマイワシ(Sardinops sagax)の年齢構成を用いた資源量を推定しているが、その期間は 1983 年から 1995 年に過ぎない。日本周辺では、Wada and Jacobson (1998)が太平洋海域におけるマイワシの資源量推定を試みている。年齢構成を考慮した資源量は 1976 年以降である。本研究では、日本海・東シナ海に分布するマイワシの長期間の資料を整理し、年齢査定を行い年齢-体長関係を求めることで、年齢構成を考慮した資源量計算を試みた。このような、資源量計算が整ってはじめて、資源変動を引き起こす要因の解明に着手できると考えている。

マイワシの成長に関する報告は数多い。太平洋海域に分布するマイワシの中期的な成長様式の変動は、Morimoto (2003)が報告している。Morimoto (2003)は 1990 年から 1996 年までのサンプルを用い、漁獲量と成長様式について解析を行い、漁獲量が大きくなると成長は劣ることを報告した。日本海においても、Nakai(1962)や Hiyama et al. (1995)は同様の現象を報告している。ただし、資源が著しく低水準であった 1960 年代および 2000 年代における成長様式についてはサンプル数が少ないこともあり、ほとんど報告されてない。本研究でも近年の 3 歳魚以上のサンプルが極端に少ないため、解析を行うことは不可能であった。ただし、1960 年代のサンプルについては本研究で扱えた。図 1 をみると、1964 年から 1977 年までの年齢-体長様式は、Hiyama et al. (1995)が報告した成長様式(図 1 右)にくらべるとばらつきが少ない。また、図 2 には年級群毎に 3 歳～5 歳魚の平均体長を示し、資源量が大きかった 1980 年代(図 3)は成長が劣り、その他の年代ではさほど変化してないことがわかった。このため、長期的な資源変動様式を求めるためには、1980 年代をのぞいた平均的な年齢-体長関係を用いても大きな問題はないと判断した。

年齢-体長関係を確定させ、月別の代表県の漁獲量と月別の体長組成から月別に年齢別漁獲尾数を推定

することが可能となった。本研究では、代表県として新潟県、鳥取県、島根県、長崎県を選択した。これらの4県のマイワシの漁獲量は日本海・東シナ海における漁獲量の過半数を占める。月別の体長組成について、漁獲量が少ない1960年代においてデータが欠損する時があった。その場合は、前後でデータがある月の体長組成を代用した。また、近年では銘柄別に漁獲量が推定されている事があるが、1950年代や1960年代ではそのような銘柄別の漁獲量を示すデータが見つからなかったため、年齢別漁獲尾数の推定は体長組成に大きく依存している。このことは、たとえば過去に若齢魚ばかり集中して測定した時代があるような場合、年齢別漁獲尾数の推定に偏りがでる可能性があるが、本研究では他に代用する方法が考えられなかったため、体長組成が資源全体を反映していると仮定せざるを得なかった。

VPAにおける欠点として、しばしば最近年の若齢魚の資源量の推定精度が劣ることが報告されている。ただし、本研究では長期的なマイワシの資源動態を把握することを主目的としているので、チューニングVPAは行わなかった。たとえ、チューニングをしたとしても、本研究の結論が大きく異なることはないと判断している。資源量は1953年から2005年まで可能であった。1940年代はマイワシ資源が大きい時代であり、本研究からわかるようにおそらく年齢-体長関係が大きく異なることが予想される(伊東1961)。また、水産研究所には1940年代の鱗が一部残存したが、その鱗の元となる測定台帳がそろってないため、1940年代以前の資源量の推定は不可能と判断した。図3に計算された資源量と漁獲割合を示した。資源量が10万トンを下回ると漁獲割合が40%を超え、10万トンを上回ると40%を下回った。この図の解釈であれば、漁獲圧がマイワシの資源変動に影響を与えているとも考えられるが、Watanabe et al. (1995)の提言どおり、各種調査によってわかったことは高水準から低水準への転換はマイワシの連続した加入の失敗にあり、漁獲圧によるものではないことを支持したい。

それを裏付けるために、図4左に加入尾数と産卵親魚量の経年変化を示した。資源が増加する1970年代および、資源が減少し始める1980年代後半には加入尾数の変化が産卵親魚量の変化を先行していることから、資源へ加入する量の変動が全体の資源の動向を決定づけていると考えられる。図4右には、日本海および東シナ海に分布するマイワシの産卵親魚量と加入尾数との関係を示した。1953年から1988年まで(1960年代後半から1970年代前半はのぞく)と、1989年から2005年までは二つの再生産関係が見て取れた。Sakuramoto(2005)は、太平洋海域に分布するマイワシの産卵親魚量と加入量に年代毎の線形の関係式を当てはめた。本研究では線形の関係では当てはまりがよくなかったが、同じ産卵親魚量からでも年代によって加入の強さが異なるということが見て取れる。おそらくは、二つの年代において加入に至るまでの生物学的・非生物学的な過程が異なることが原因だろう。

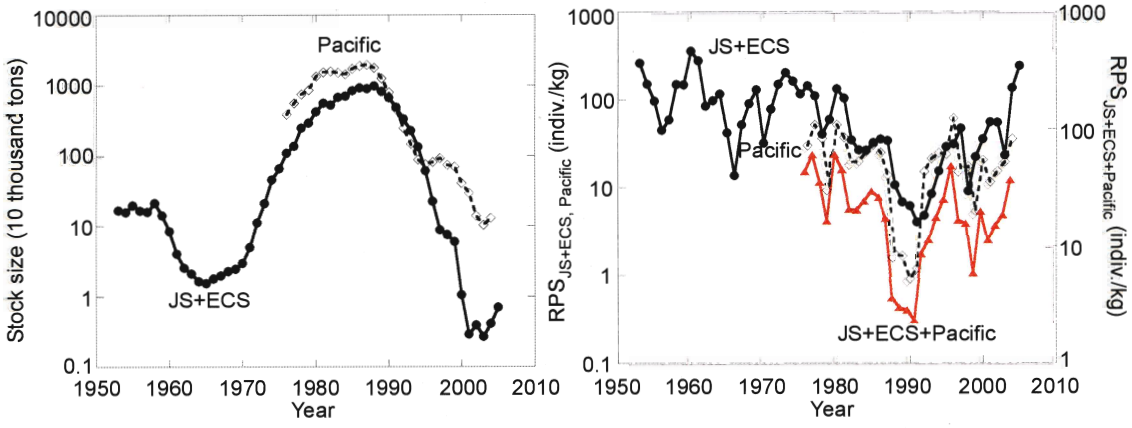

図5　太平洋海域と日本海・東シナ海海域における資源量と再生産成功率の経年変化：(左)資源量、(右)再生産成功率

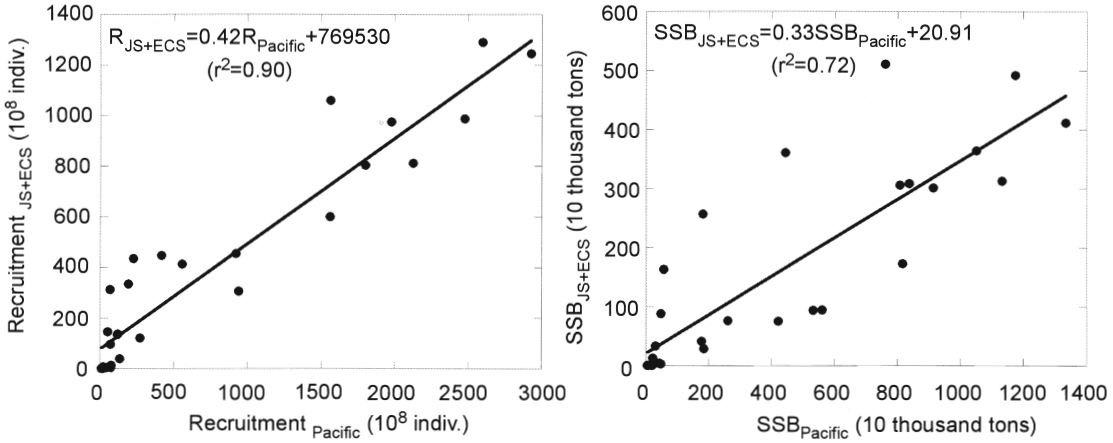

図6　太平洋海域と日本海・東シナ海海域における加入尾数と産卵親魚量の関係
(左)加入尾数、(右)産卵親魚量

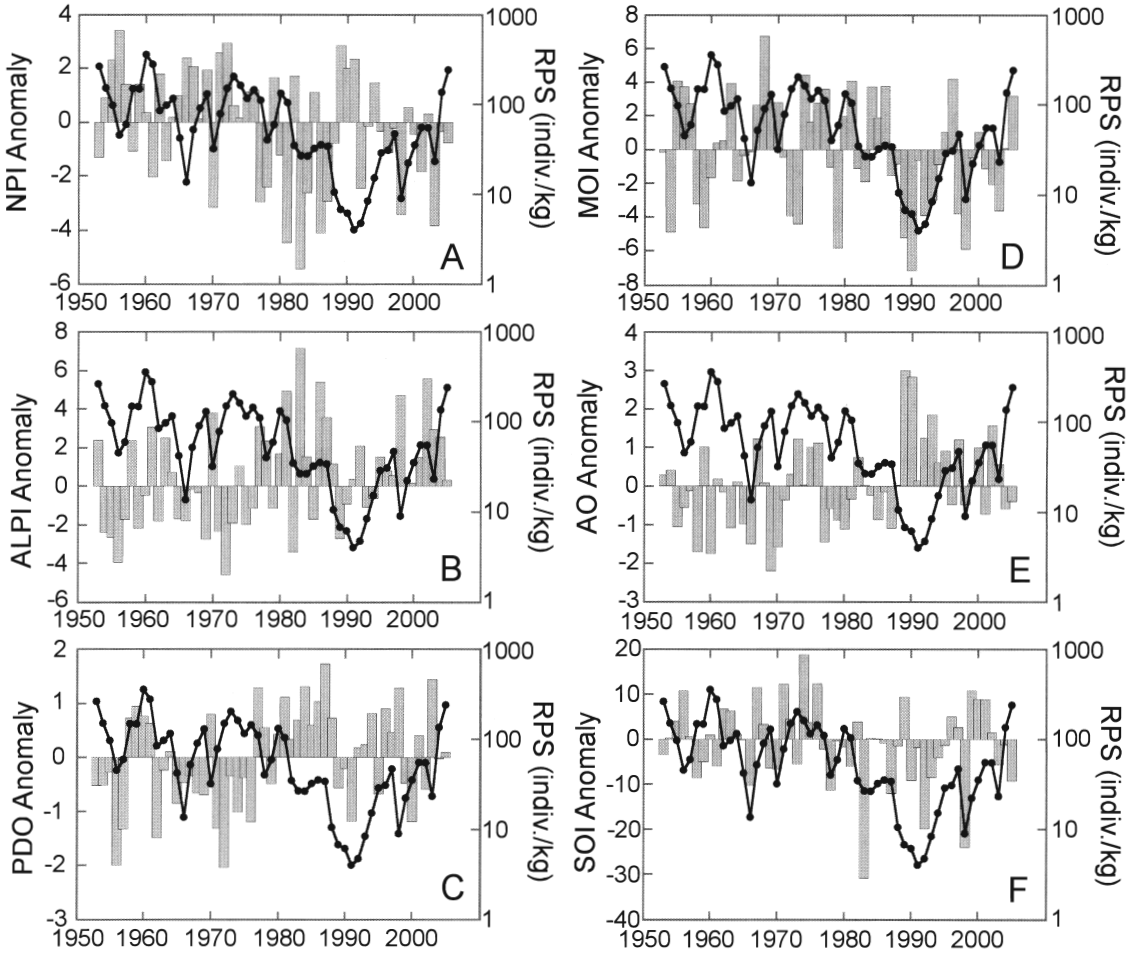

図7　気象インデックスと再生産成功率との関係：(左)MOI と再生産成功率、(右)ALPI と再生産成功率

ところで、Wada and Jacobson (1998)以降も、我が国周辺漁業資源調査による水産庁の事業により太平洋海域のマイワシの資源量は計算され報告されている。以後、本研究と太平洋海域におけるマイワシ資源の関係について考察を行う。図5に、両海域における資源量の経年変化と、再生産成功率(RPS：加入

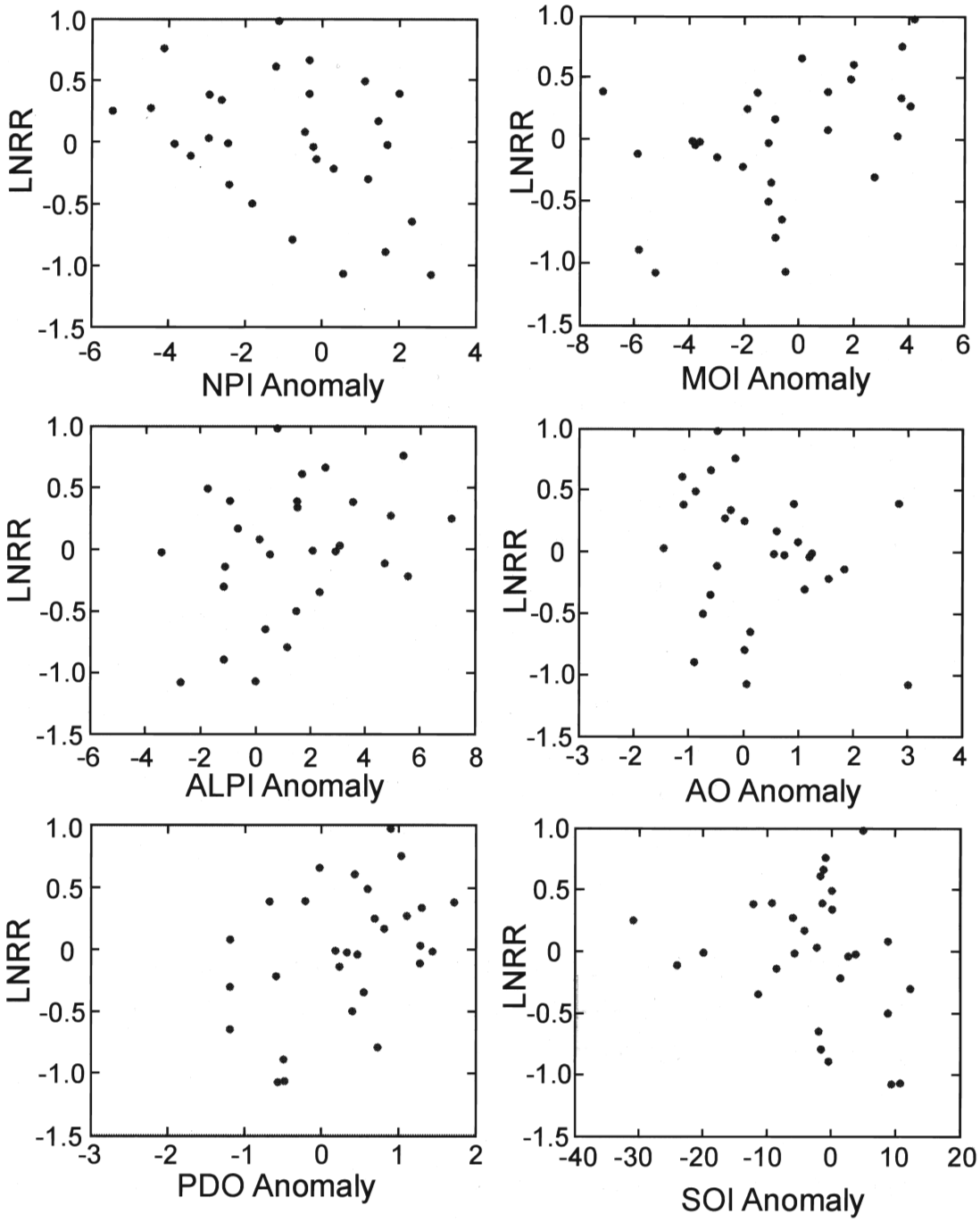

図 8　日本周辺におけるマイワシの LNRR と気象指標との関係

尾数÷産卵親魚量)の経年変化を示した。どちらの値も、両海域で似た変動傾向を示したことから、RPS では両海域の加入尾数の合計と産卵親魚量の合計を用いて、日本周辺海域全体における RPS の経年変化も示した。1960 年代半ばに RPS の落ち込み(日本海・東シナ海海域のみ)が認められ、この RPS の落ち込みが 1960 年代の資源量の落ち込みを支配したのだろう。その他は総じて高い RPS を維持しており、むしろ資源量が増大した 1980 年代の RPS は漸減傾向を示している。これは、図 4 左に示したように、産卵親魚量から効率よく加入が行われる時代に相当し、1970 年代後半から 1980 年代半ばは十分に高い産卵親魚量水準であったためと判断された。Watanabe et al. (1995)が指摘したように 1980 年代後半から連続

して著しくRPSが低い年が数年つづく様子が見て取れた。その後は、ややRPSは増加するものの、1970年以前の水準からみると依然として低いので、本格的な資源の回復にはまだ相当の時間が必要だろう。

図6には、産卵親魚量と加入尾数について、太平洋海域と日本海・東シナ海海域の値の比較を行った。どちらも、高い正の相関を示したことから、両海域はそれぞれ独立して資源変動を行っているのではなく、お互いに関係を持ちながら変動をしていることが見て取れた。ただし、漁業形態や漁場が離れていることから、同一の資源であっても管理体制を太平洋と日本海・東シナ海で別々にすることは意味があると判断する。図5や図6からもわかるように、太平洋海域と日本海・東シナ海海域の資源を別々に分けて考えるよりも一緒にして考えたほうが全体の資源動向についてわかりやすいと判断した。図7には6つの気象指標(NPI、ALPI、PDO、MOI、AOおよびSOI)と対馬暖流域のRPSとの関係を示した。その結果、MOIの変化とRPSの変化がもっとも良く適合していた(ただし1950年代後半と1970年代前半を除く)。RPSと6つの気象指標について統計的な有意性を検討した結果、MOIとAOでは95%信頼限界において有意な相関が認められたが、その他の指標とは認められなかった。

一方、対馬暖流域と太平洋域を一つの資源として見た場合、Yatsu et al. (2006)が解析したようにリッカー型再生産関係からの対数の残差(LNRR)と気象指標との関係を解析したほうが良いと考えた。その結果(図8)、もっとも良い相関はMOIとLNRRとで認められ(p値=0. 012)、その他にNPIとPDOで有意な相関が認められた。これら二つの関係から、対馬暖流域を含むマイワシの加入にはMOIの影響がもっとも効いていると判断した。MOIはイルクーツクと根室の気圧差であり、冬季には季節風の強さとして考えることができる。Hiyama et al. (1995)は水温とRPSとに負の相関を見いだしており、その関係は本研究でも同様であったため、MOIが高く季節風が強い年には水温が低下するため良い加入が見込まれるという結果となる。ただし、水温の変化から加入の変化までには、まだいくつかの過程(たとえば動物プランクトンの組成の変化など)があるため、今後はその過程について詳細に調査をするべきと考えた。

謝辞

この研究は水産庁事業「資源動向要因分析調査」の一環として行われた。各種資料を保存してくださった水産研究所・水産試験場の諸先輩方に感謝申し上げる。また、年齢査定の資料を提供していただいた日本海区水産研究所の木下貴裕室長に感謝申し上げる。

引用文献

Chavez, FP., Ryan, J., Lluch-Cota, SE., Niquen, M. (2003) From anchovies to sardines and back: multidecadal change in the Pacific Ocean. Science, 299, 217-221.

Deriso, RB., Barnes, JT., Jacobson, LD., and Arenas, PR. (1996) Catch-age analysis for pacific sardine (Sardinops sagax), 1983-1995. CalCOFI rep., 37, 175-187.

Finney. BP., Eaves, IG., Douglas, MS., Smol, JP. (2002) Fisheries productivity in the northeastern Pacific Ocean over the past 2,200 years. Nature, 416, 729-733.

平本紀久雄 (1991) 私はイワシの予報官. 草思社, pp277.

Hiyama, Y. Nishida, H., Goto T. (1995) Interannual fluctuations in recruitment and growth of the sardine, Sardinops melanostictus, in the Sea of Japan and adjacent waters. Res. Popul. Ecol., 37, 177-183.

伊東佑方 (1961) 日本近海におけるマイワシの漁業生物学的研究. 日本海区水産研究所報告, 9, 1-227.

Kawasaki, T. (1983) Why do some pelagic fishes have wide fluctuations in their numbers? - biological basis of

fluctuation from the viewpoint of evolutionary ecology., p. 1065-1080. In GD. Sharp and J. Csirke (eds.), Reports of the Expert Consultation to Examine Changes in Abundance and Species Composition of Neritic Fish Resources. FAO Fish. Rep. 291 (2, 3): 1224 p.

Morimoto, H. (2003) Age and growth of Japanese sardine Sardinops melanostictus in Tosa Bay, south-western Japan during a period of declining stock size. Fish. Sci., 69, 745-754.

Nakai, Z. (1962) Preliminary studies on fluctuation in the Japanese sardine stock, mainly for the prewar preod. Bull. Tokai Reg. Fish. Res. Lab., 9, 1-22.

Pope, JG. (1972) An investigating of the accuracy of virtual population analysis using cohort analysis. Int. Comm. Northwest Atl. Fish. Res. Bull., 9, 65-74.

Sakuramoto, K. (2005) Does the Ricker or Beverton and Holt type of stock-recruitment relationship truly exist? Fish. Sci., 71, 577–592.

Wada, T., Jacobson, LD. (1998) Regimes and stock-recruitment relationships in Japanese sardine (Sardinops melanostictus), 1951-1995. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 55, 2455-2463.

Watanabe, Y., Zenitani, H., Kimura, R. (1995). Population decline of the Japanese sardine Sardinops melanostictus owing to recruitment failures. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 52, 1609-1616.