

マイワシと環境

友定 彰

1. はじめに

マイワシの資源量は大きく変動し、ある時は「幻の魚」と呼ばれ、どこを探しても見つからない時期があり、また、ある時は「海の米」と呼ばれるくらい、至るところで大量に漁獲される時期がある。1980年代は、まさに後者の時期に相当し、1984、86年には、わが国周辺で400万トン以上漁獲されている。わが国周辺の全漁獲量は1200万トンであり、その1/3がマイワシで占められている。ところが、このように隆盛を誇っているマイワシも、第二次世界大戦以後（ここでは、戦後と呼ぶ）1970年代前半までは、ほとんど漁獲されることがなく、まさに「幻の魚」であった。1つ前のマイワシ漁獲量のピークは第二次世界大戦以前（ここでは、戦前と呼ぶ）の1930年代にあった。（図1）

このようなマイワシの豊凶は古文書などから1550年代までさかのぼることができ（伊東，1961），1930年代以前の豊漁は100年以上の時間スケールで繰り返されている。これに比べて、今回の豊漁期は前回から50年後に当たり、従来の繰り返しの時間スケールと比べると短い期間で豊漁期を迎えている。

マイワシは「太陽に最も近い魚である」と言われている（川崎，1983）。その理由は、他の浮魚に比べて、植物食者であり、植物プランクトンを餌としていることによる。ただし、マイワシのシラス期は主に動物プランクトンのノープリウス（幼生）を食べるが、成魚になると、植物食者としての傾向がより強くなる。植物プランクトンは窒素、磷などの有機物が光合成されてできる食物連鎖の中の低いレベルのプランクトンである。このことから、マイワシが環境変動の影響を大きく受けていることは想像に難くない。しかし、「環境」の範囲はきわめて広く、「環境」の何がどのようにマイワシに関わっているかは明らかでない。

一方で、われわれが環境を科学的に計測し始めたのは

ともさだ あきら 水産庁 東海区水産研究所

〒104 中央区勝どき5-5-1

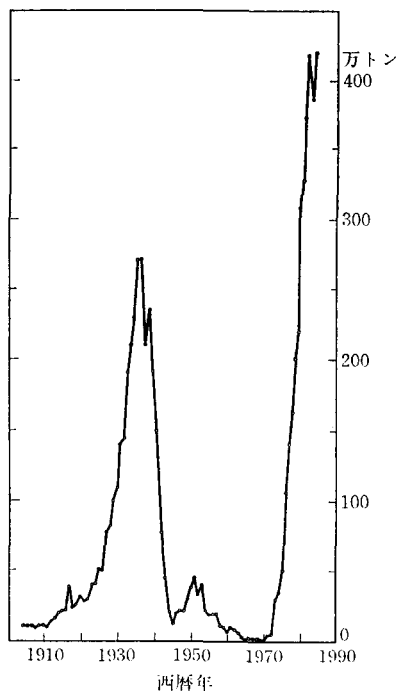


図1 1905～1986年のマイワシ漁獲量

明治維新（1868年）以後のことである。それ以前の環境は、日記等の古文書や樹木の年輪等から推定する以外にない。明治維新以後に計測されている環境としては、気温、日照時間、雲量、降水量等の気象観測結果、および海流、海水の温度、海水の塩分等の海洋観測結果が挙げられる。これらの科学的な環境データとマイワシの漁獲量を比較できるのは、戦前のマイワシ増加から減少に至る1山と現在の増加からピークに至る0.5山のわずか1.5山にすぎない。この1.5山の中で環境がどのようにマイワシに作用してマイワシが増え、また減っていったかを調べなければならない。

マイワシ資源の変動に環境の長期変動が影響をおよぼしているとする考え方と、短期変動が影響をおよぼしているとする考え方がある。見方によっては、長期変動は短期変動の積み重ねであり、両者を分離して議論するこ

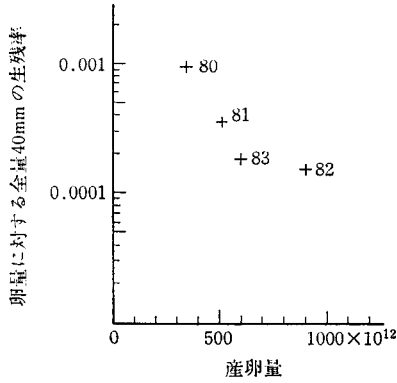


図2 太平洋側のマイワシの産卵量と卵から全長40mmまでの生き残り率
(渡部, 未発表資料による)

とはできないであろう。ここでは、特集の趣旨を生かして、気象の短期変動もマイワシ漁獲量の変動に影響しているであろうことを紹介する。

2. マイワシの初期減耗

資源がピークを迎えているマイワシは毎年冬～春に伊豆諸島海域～薩南海域で産卵し、その後索餌回遊して、夏～秋に北海道の南岸に集群し、秋～初冬に産卵のために南下回遊する。北海道の南岸で漁獲されるマイワシは100万トン前後でマイワシの全漁獲量の1/4を占めている。漁獲による間引き率、その他の間引き(捕食等)を加えても、当才魚以上の減耗率は前年のマイワシ資源量の1/10のオーダーである(第4節参照)。それに対して、卵から体長40mmまでに99.99%以上が死亡し、体長40mmまでの生き残り率は0.001～0.0001のオーダーである。この生き残り率は産卵量の多寡によって左右されているようである(図2)。産卵後、体長40mmに達する経過日数は80日前後である。したがって、この80日間に生き残る量が2倍になると、その後の資源量の増加につながる。生き残りが2倍になるということは、たとえば、0.0002の生き残り率0.0004がなることであり、発育初期の生き残りが将来の資源の動向を知る重要な鍵になっていることが想像される。しかも、体長40mmまでのシラス期は自分で遊泳する能力が少なく、海潮流によって輸送され、その途中で餌に出会わなければならない、この間に環境の影響をきわめて大きく受けることとなる。

そこで、戦前のマイワシが減少した時期に、気象の観測値に何か異常があったか否かを見ることにする。

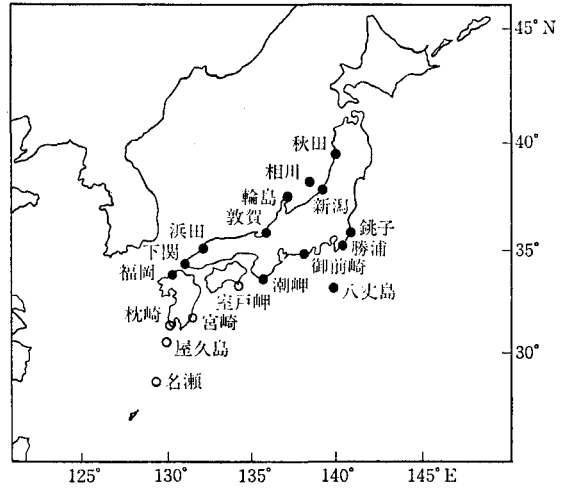


図3 1930～1940年代のマイワシ産卵場およびシラスの成育場を代表する気象観測点
注：白丸は産卵場で1～4月の平均値を、黒丸はシラスの成育場で4～6月の平均値を求めている。

3. 産卵場・シラス成育場の気象

戦前のマイワシの主要産卵場は薩南海域～四国南岸に形成されていた。また、シラスは太平洋側では本州南岸、日本海側では秋田県以西の沿岸域に分布していた(Nakai, 1962)。そこで、産卵場およびシラスの成育場の気象観測点として、図3に示す地点をよりだし、気温・降水量・曇量・日照時間を検討した。産卵期の気象として1～4月の平均を、シラス期の気象として4～6月の平均を用いている。一例として、図4に枕崎の日照時間を示す。図4を図1と比べてみても戦前のマイワシ漁獲量の増加期～最盛期～減少期で、日照時間の異常は認められない。図4と同様の図を産卵場を代表する気象観測点について描き、それから得られた知見を表1にまとめて示してある。これによると、戦前のマイワシ増加期～最盛期～減少期の産卵場の気象条件は以下のように要約される。すなわち、薩南海域～四国南岸の産卵場の産卵期の気温は平均値を下回る年が多く、日照時間は平均値より長い年が多く、降水量は平均値より少ないか平均値のまわりで変動している。したがって、産卵場の気象が1930年代のマイワシ漁獲量の変動に大きな影響をおよぼしたと考える程の異常は見当たらない。

シラスの成育場に近い御前崎の4～6月の月平均日照

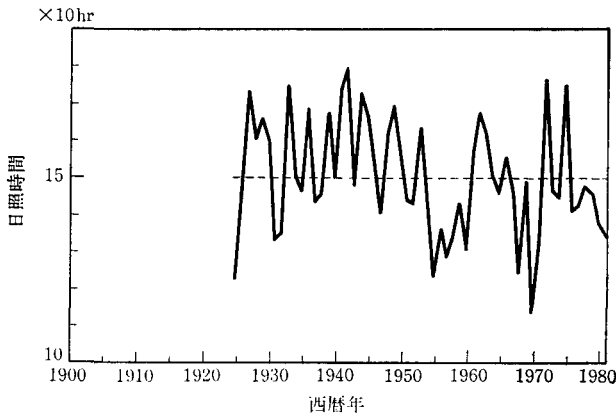


図 4 枕島 (鹿児島県) の 1~4 月の月平均日照時間

時間の時系列を図 5 に、能登半島輪島の雲量の時系列を図 6 に示す。図 5、6 で特徴的なことは 1940 年の御前崎の日照時間が観測史上最大、同年の輪島の雲量が最小であることである。太平洋側のシラス成育場の気温・降水

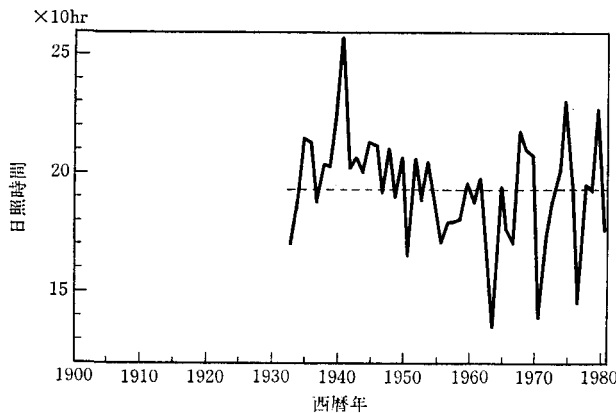


図 5 御前崎 (静岡県) の 4~6 月の月平均日照時間

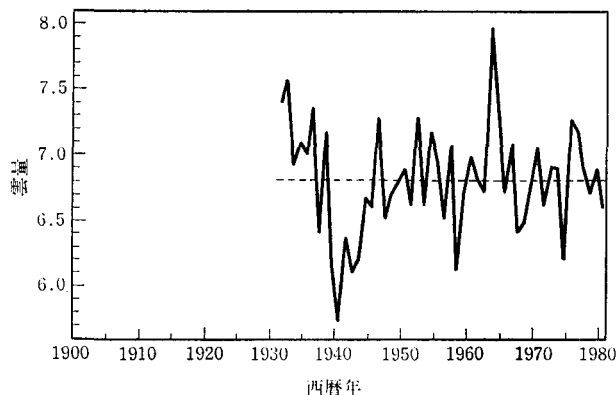


図 6 輪島 (石川県) の 4~6 月の月平均雲量

表 1 1920~1940年のマイワシ産卵場の気象の特徴 (1~4月平均)

地点名	気温	降水量	日照時間
室戸岬	平均値を下回る年が多い	1922年は多い、その他は平均値のまわりで変動	1930, 1931, 1937年は平均程度、その他は平均より大
宮崎	"	"	平均値のまわりで変動
枕崎	"	"	平均値より少ない年が多い
名瀬	"	"	1930, 1931年は平均程度、その他は平均より大
瀬	"	"	1932, 1933, 1940年は少ない、その他は平均値のまわりで変動
			1937, 1938年は平均程度、その他は平均より大

量・日照時間の特徴を表 2 に、日本海側のシラス成育場の雲量の最少年を表 3 に示す。表 2、3 をみると、1940 年の降水量が少なく、日照時間が長く、雲量が少ないことがわかる。つまり、1940年のシラスの成育場は太平洋側、日本海側ともに日照時間が長く、雲量が極端に少なかったと言える。図 1 をみると、1940年前後にマイワシの漁獲量が急激に減少していることがうかがえる。したがって、気象とマイワシの漁獲量が関連があるとすれば、1940年の異常気象が何らかの影響をおよぼして、マイワシ資源が減少していったと推定される。

東海区水産研究所で行なっている産卵調査の中から、木立 (1979) は 1968~1979年の 3 月中・下旬の房総半島南岸~鹿島灘の動物プランクトンの平均個体数の変動を種別に示している。ただし、1971年は欠測である。動物プランクトンのうちコペポダの量 (個体/㎡) を図 7 に示す。これによると、1972, 1977年のコペポダの量は多い。これら両年に産まれたマイワシは卓越年級群を形成している。コペポダの量が多い年には、そのノープリウス(幼生)も多く、これを餌とするマシラスの生き残りがよいことに結びつく。図 7 には、銚子の 3 月の月平均雲量、月平均日照時間も示されている。図 7 によると、コペポダの量は日照時間が短く、雲量が多い年に多く、逆に、日照時間が長く、雲量が少ない年に少ない傾向がある。長期間にわたって日照時間が長いことは、長期間にわたって降水量が少ないことを意味し、そのために沿岸域のマシラスの成育場への陸水の流入量

表 2 1920~1940年の太平洋岸のマシラス成育場の気象の特徴 (4~6月平均)

地点名	気 温	降 水 量	日照時間
銚子	平均値を下回る年が多い	1923, 1928, 1938年は多い, 1928年は最大, 1926, 1934, 1940年は少ない	平均値を上回る年が多い, 1940年は最大
勝浦	"	"	平均値を上回る年が多い, 1940年は最大
御前崎	"	1940年は最少	1940年は最大
潮の岬	"	1921年は多い, 1940年まで平均以下, 1940年は最少	平均値を上回る年が多い, 1940年は最大
八丈島	"	1940年は最少	1920年代は変動大, 1930年代は平均値を上回る年が多い, 1940年は最大

の減少を引き起こす。沿岸域への栄養塩類は主として陸水によって補給されるので、降水量が少ない時には栄養塩類の沿岸域への補給が減少し、そのために植物プランクトン、動物プランクトンの発生量が少なくなるものと思われる。

コペポーダの個体数と気温、降水量、日照時間、雲量との間の相関係数を表4に示す。これによると、雲量とコペポーダの個体数との相関が最もよく、相関係数は0.49である。そこで、表4の雲量とコペポーダ個体数との関係を用いて1940年のコペポーダの量を推定してみよう。平均雲量とコペポーダ個体数との間に、

$$\bar{C}_P = K \cdot \bar{C}_L \quad (1)$$

表 3 日本海側のシラス成育場における4~6月の雲量の最少年

地名	雲量最少年	地名	雲量最少年
秋田	1958, 1953, 1937	敦賀	1940
相川	1958	浜田	1940
新潟	1940	下の関	1940
輪島	1940	福岡	1940

という関係があるとする。Kは海域によって経験的に求められる平均雲量と平均コペポーダ個体数を結びつける係数で、海域によって異なる値をもつと思われるが、これについての研究はないので、ここでは銚子の雲量と房総半島沖~鹿島灘海域のコペポーダ個体数との

関係から求められるK=34で代表する。コペポーダ個体数と雲量との関係は

$$C_P - \bar{C}_P = A \times (C_L - \bar{C}_L) \quad (2)$$

で表わされる。ここに、

C_P : 各年次のコペポーダ個体数

\bar{C}_P : 平均のコペポーダ個体数

C_L : 各年次の雲量

\bar{C}_L : 平均雲量

A: 勾配

である。①を②に代入すると

$$C_P / \bar{C}_P = 1 + (C_L / \bar{C}_L - 1) \times (A / K) \quad (3)$$

が得られる。ここで、表4のK=34, A=128.3を一定

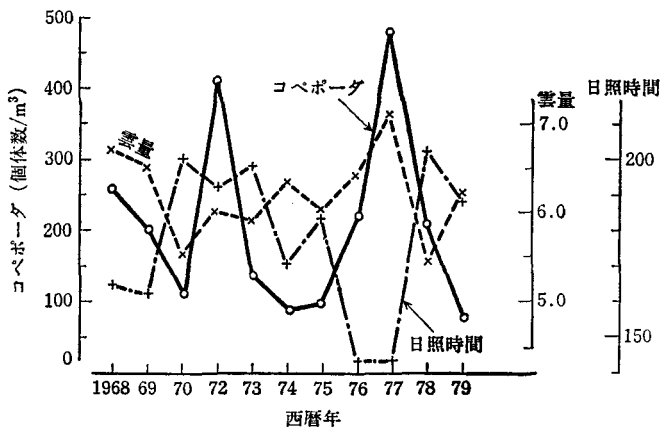


図 7 銚子(千葉県)の3月の月平均雲量, 月平均日照時間と3月中・下旬の外房~鹿島灘のコペポーダ個体数(個体/m³)。注: コペポーダ個体数は木立(1979)による。

表 4 1968~1979年コペポーダ個体数と銚子の3月の気温, 降水量, 日照時間, 雲量との関係

	コペポーダ個体数(個/m³)	気温(°C)	降水量(mm/月)	日照時間(hr/月)	雲量
平均	209	8.6	124	177	6.2
標準偏差	126	1.2	57.2	20.6	4.8
相関係数		0.40	0.37	-0.42	0.49
勾配		41.1	0.81	-2.54	128.3

注: 相関係数はコペポーダ個体数とそれぞれの要素との間の値, 勾配はコペポーダの個体数変動に対する各要素の変動との間の回帰直線の係数

表 5 マシラス成育場に近い気象観測点の雲量から推定したコペポダ個体数の平均値に対する1940年の個体数の比率

	地点名	平均雲量 (4~6月)	1940年雲量 (4~6月)	1940年のコ ペポダ個 体数(比率)
太平洋 側	銚子	7.3	6.0	0.33
	御前崎	7.1	5.8	0.31
	潮の岬	7.3	6.6	0.64
	八丈島	8.0	7.4	0.72
日本海 側	秋田	7.4	7.0	0.80
	相川	6.9	5.8	0.40
	新潟	7.1	5.9	0.36
	輪島	6.8	5.7	0.39
	敦賀	7.5	6.5	0.50
	浜田	6.8	5.7	0.39
	下の関	6.7	5.5	0.32
	福岡	7.1	5.9	0.36

として、太平洋側、日本海側の気象観測点の雲量からコペポダ個体数の平均値に対する比率を求めると表5のようになる。雲量から推定した1940年のコペポダ個体数は極端に少なかったことになる。コペポダが少ないとそのノープリウスも少なく、ノープリウスを餌とするマシラスの生き残りが悪いことにつながっている。

4. マイワシ資源の崩壊

友定(1983)は1939年前半の黒潮流路が異常であったために、卵~シラス期の生き残りが悪かったことを示唆する結果を示している。2年続けて生き残りが悪いと、マイワシ資源がどのような経過をたどるかをいくつかの仮定を置いて推定してみよう。

和田(1983)は1976~1981年のマイワシ太平洋系群の資源尾数を各年級ごとに求めている。また、東海区長期漁海況予報の議事録には各年次のマイワシ太平洋系群の産卵量が示されている。これらによると、1976~1981年の産卵量の平均は 1.72×10^{10} 粒であり、年間の平均生き残り率は

$$\begin{aligned} A(1)/A(0) &= 0.557, & A(2)/A(1) &= 0.224, \\ A(3)/A(2) &= 0.439, & A(4)/A(3) &= 0.313, \\ A(5)/A(4) &= 0.186 \end{aligned} \quad (4)$$

であり、これらの生き残り率を平均すると

$$A(n)/A(n-1) = 0.344$$

である。したがって、平均の減耗率は0.656である。こ

に、 $A(n)$ は n 年魚の資源尾数を示す。このことは、マイワシ資源の増加期~最盛期には、ある年から次の年までに平均で34%が生き残ることを意味している。④式の比率を0年魚基準にすると、

$$\begin{aligned} A(1)/A(0) &= 0.557, & A(2)/A(0) &= 0.125, \\ A(3)/A(0) &= 0.055, & A(4)/A(0) &= 0.017, \\ A(5)/A(0) &= 0.0032 \end{aligned} \quad (5)$$

になる。産卵量に対する0年魚の生き残り率は $A(0)/A(\text{卵}) = 4.23 \times 10^{-4}$ である。したがって、産卵された卵のうち、0.04%が0年魚に、0年魚の0.3%が5年魚まで生き残ることになる。このことは 10^6 個の卵の中から1尾しか5年魚まで生き残れないことを意味している。

資源量が減っていくのは、捕食、自然減耗、漁獲等によっている。ある年に、なんらかの作用が働いてすべての0年魚が1年魚になれなかったとし、1年魚になれなかった分をすべて2年魚以上でカバーするとしよう。各年齢間の平均減耗率0.656を2~5年魚で均等に受け持つと、各年級は0.131ずつの減耗分を引き受けることになる。したがって、第1年目に1年魚になれない時、前年の生き残り率から0.131を差し引いたものが生き残り率になる。このことを、④式と類似の方法で表わすと、

$$\begin{aligned} A(1)/A(0) &= 0 \quad (\text{全部1年魚になれない}) \\ A(2)/A(1) &= 0.093, & A(3)/A(2) &= 0.308, \\ A(4)/A(3) &= 0.182, & A(5)/A(4) &= 0.05 \end{aligned} \quad (6)$$

になる。これを正常時の0年魚を基準にすると、

$$\begin{aligned} A(1)/A(0) &= 0, & A(2)/A(0) &= 0.0518, \\ A(3)/A(0) &= 0.0160, & A(4)/A(0) &= 0.0029, \\ A(5)/A(0) &= 0.00016 \end{aligned} \quad (7)$$

になる。同様に、次の年もなんらかのインパクトが働いて、産卵された卵が1年魚になれなかったとすると、正常時の0年魚を基準にした生き残り率は、

$$\begin{aligned} A(1)/A(0) &= 0 \quad (\text{今年の1年魚が0}) \\ A(2)/A(0) &= 0 \quad (\text{前年の1年魚が0}) \\ A(3)/A(0) &= 0.014, & A(4)/A(0) &= 0.0021 \\ A(5)/A(0) &= 0.000047 \end{aligned} \quad (8)$$

になる。

この様子を図8に示す。再生産が正常に行なわれている時(左図)、各年級群は和田(1983)が示したように正常な分布をしている。インパクトが加わって1年目(中央図)には、卵→1年魚の間で壊滅的な打撃を受け、捕食等による減耗分を他の年級群でカバーするために、2年魚以上の各年級群の資源量は正常な再生産時に比べて半分以下~1桁小さいオーダーになっている。2年続けてインパクトが加わると(右図)、1, 2年魚がいなくな

って、5年魚もこのスケールの中に入らない量になる。2年続けて卵→1年魚の間にインパクトが加わることによって、3年魚以上の産卵親魚の生き残り率は正常時の19%に落ち込む。この年には1,2年魚がないから、その翌年と翌々年には産卵に加わる親魚(3年魚以上)の量は極端に減ることになる。極端に少ない親魚がたとえ多く産卵しても、親魚が少ない分だけ、捕食による親魚の減耗分を0年魚でカバーしなければならず、0→1年魚の生き残りは悪くなる。つまり、2年続けて0→1年魚に壊滅的な打撃を受けると、マイワシ資源は減少の一途をたどることになる。

5. おわりに

戦前のマイワシ資源の減少に気象が一役かっていたであろうことを記述した。しかし、ここで記述したような短期間の気象変動では、マイワシ資源が増加した要因を見つけることはできなかった。最近、友定(1988)は1918年以来、各都道府県の水産試験場が実施している海洋観測の中から、水温の長期変動を調べたところ、産卵場～稚仔魚の育成場の水温が平均より高く、漁場の水温が平均より低い時期にマイワシ漁獲量が増加し、逆に前者の水温が平均より低く、後者の水温が平均より高い時期に漁獲量が減少していることを示している。これは環境の長期変動がマイワシ資源の増減に関与していることを示唆する結果である。いずれにしても、どのような環境がマイワシにどのように働いているかは現在のところ明らかではなく、研究の途中である。

ここで、記述した内容は1つの考え方であるとご理解いただければ幸いである。

参考文献

- [1] 伊東祐方：日本近海におけるマイワシの漁業生物学的研究。日水研研究報告，9 (1961)，1-227。
- [2] 川崎健：漁業資源の生産力評価を行なう場合の問題点。水産海洋研究会報，42 (1983)，75-77。
- [3] 木立孝：春季、鹿島灘，外房沿岸海域におけるマクロプランクトンについて。黒潮開発成果報告書，2 (1979)，174-195。
- [4] Nakai, Z.: Preliminary studies on fluctuation in the Japanese sardine stock, mainly for the prewar period. *Bull. Tokai Reg. Fish. Res. Lab.*, 9 (1962), 1-22.
- [5] 友定彰：海洋環境の長期変動からみた場一マイワシ資源の急増・急減への環境からのアプローチ。水産海

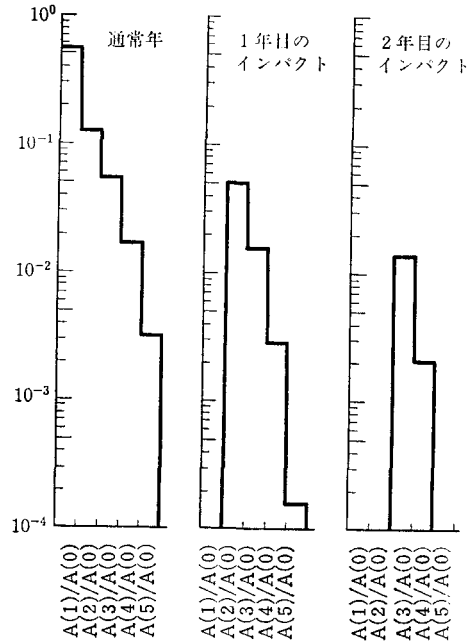


図8 2年続けて卵→1年魚になれない時に推定される海生き残り率の推移。

左図：正常時，中央図：1年目の卵→1年魚になれない時，右図：2年目の卵→1年魚になれない時。

洋研究会報，42 (1983)，63-70。

[6] 友定彰：水温の長期変動とマイワシ漁獲量の長期変動。東海水産研究報告，126 (1988)，1-9。

[7] 和田時夫：道東のマイワシ資源について。昭和57年度漁業資源研究会議第15回浮魚部会議事録，(1983)，39-55。

「論文・研究レポート」の原稿募集

ORの実践をわかりやすい事例を中心に紹介してほしいという会員からの要望がある一方で、OR理論の展開あるいは手法の開発など学術的な研究報告も忘れないでという注文も根強くあります。

本誌では「論文・研究レポート」という審査論文欄を設けております。この論文・研究レポートでは、特に、経営の実践に役立つ理論研究、手法あるいはシステムの開発、概念フレームおよび方法論等を扱った研究のご寄稿を歓迎いたします。

投稿要領：学会原稿用紙36枚(25×12行)以内(図表を含む)、投稿先はOR学会事務局OR誌編集委員会宛。(OR誌編集委員会)

なお原稿のコピーを2部添付してください。