

日本海西部海域におけるマイワシの成長と成熟

安達 二郎
(島根県水産試験場)

I まえがき

マイワシの成長に関する知見として重要なものの1つに、戦前(1935~1940年)の大漁時代と戦後(1947~1960年)の資源の減少期の成長度には相違がみられ、同一年令魚(Ⅲ才魚)では、戦後の成長度が極めて大きいことがある(Nakai 1962, 伊東 1961)。戦前のマイワシの成長について、数量的に示されたものは見られないが、戦後では日本産マイワシについて Nakai・Hayashi (1962), 東海・常盤海域のマイワシについて近藤ほか(1976)の報告がある。

また、マイワシの成長は年級によって異なる(北水研 1955)といわれている。魚類の成長は種の適応性の一つであり、それは年々の資源量の大きさと生活諸条件によって変化するもので、各年級ごとのマイワシの成長を知ることは資源量の大きさや環境条件を知る上で役に立つと考えられる。ここでは、日本海西部海域におけるマイワシの1974年級から1980年級までの7年級群の成長式を推定し、各年級群の成長について検討を行った。あわせて1976年級と1979年級の成熟状態を比較したので報告する。

II 資料と方法

用いた資料は、1974年から1983年までの沿岸重要漁業資源調査と200カイリ水域内漁業資源調査によるマイワシ体長組成記録(山口外海水試, 島根水試, 鳥取水試), および1978年, 1981年の2月に採集したマイワシ雌の体重と卵巣重量の測定記録である。

成長式を推定するにあたり、あらかじめ体長組成からその年級を推定したが、その方法は以下のとおりである。すなわち、季節ごとのマイワシの銘柄別の出現状況をみると、7~11月には小羽イワシ, 12月から翌年6月頃までは大, 中羽イワシが現われる(島根水試1984)。7~11月の小羽イワシは体長からみて0年魚と判断される。12月から翌年の3~4月にかけての大, 中羽イワシは、その体長組成に大, 小2つのモードが現われることが多い(島根水試1984)ので、モードの違いを年級の相違と判断し、さらに5~6月に現われる中羽イワシは1年魚と仮定した。このようにして、それぞれの標本の年令を分離し、年級ごとに時系列的にプロットすると3年魚までの体長の成長状態を追跡することができる。

成長式は Bertalanffy の式を用い、パラメータの推定方法は Gulland (1959) によった。これはデータが等時間間隔に得られていない場合の推定方法である。この報告では、1~3月を

産卵期と仮定し、それ以後3カ月間を1ピリオドとして、各年級群について、13~15ピリオドに基づいてパラメータを推定した。各ピリオドの数値は、3カ月間に現われたモードを単純平均したものである。パラメータ推定の計算例を表1に示す。

成熟についての検討方法は、体重と卵巣重量との関係を回帰分析することによった。

表1 1975年級の成長式の推定

	$\bar{\ell}$ (mm)	T	$X = \frac{\ell_{i+r} + \ell_i}{2}$ (mm)	$Y = \frac{\ell_{i+r} - \ell_i}{T}$ (mm)	$\frac{1}{2} K_1 T = a_1$	$\frac{a_1}{\tan ha_1}$	$\frac{a_1}{\tan ha_1} \cdot y$									
1975.	4~6	}	—	1	83.5	31.0	0.11485	1.00	31.0							
	7~9									113.0	28.0	0.11485	1.00	28.0		
	10~12									127.0						
1976.	1~3	}	—	2	148.5	21.5	0.2297	1.02	21.9							
	4~6									170.4	1	175.0	10.0	0.11485	1.00	10.0
	7~9									180.0						
1977.	10~12	}	—	3	188.0	5.3	0.34455	1.04	5.5							
	1~3									195.5	2	202.0	6.5	0.2297	1.02	6.6
	4~6									195.5						
7~9	—															
1978.	10~12	}	—	2	213.5	4.5	0.2297	1.02	4.6							
	1~3									—	2	213.5	4.5	0.2297	1.02	4.6
	4~6									217.5						
				$y = 52.1233 - 0.2297x$		$K = 0.2297$										
				$(r = -0.9744)$		$l_{\infty} = 226.9$										

III 結果と考察

1. 各年級の体長の成長

図1-1から図1-7は、1974年級から1979年級までの体長組成のモードを年級ごとに時間に対してプロットしたものである。先に述べたように、各年の12月から翌年の5月までは2つのモードが現われるため、それぞれのモードを対応する年にプロットしてある。各図から明らかのように各年とも5~6月頃から0年魚が出現し、時間の経過とともに体長が大きくなっていく。もともと成長をみる場合、同一発生群の成長を追跡することが最も望ましいが、そのことはこのような資源調査データでは不可能であるため、マイワシのように産卵期間の比較短かい種類では発生時期に若干の違いがあったとしても、多くの標本の平均あるいはモードを追跡することにより同一年級群の巨視的な成長を追跡できる。したがって、図1に示された各年級群の時間の経過とともに体長が大きくなっていく現象は、日本海西部海域に來遊するマイワシの体長の成長を示していると考えてもさしつかえないであろう。

このような考え方に基づいて各年級群の成長式を推定し、それを各図中に示した。上側の成長式は3カ月の時間単位の成長量をもとにして計算した成長式で、下側は12カ月の時間単位、

すなわち、年単位の成長に変換した成長式である。また、得られた成長式から画いた成長曲線をも各図中に示した。

各年級群の成長曲線を見ると、1974年級から1979年級までの6年級群では、2年魚始めの体長が190mm前後であるが、1980年級群では約180mmである。また、3年魚始めでは各年級とも体長は200mm前後にあって、ほとんど差は見られない、このように成長曲線からみると、1980年級の成長は2年魚の始めまでは他の6年級群よりも劣っていることがわかる。このことを明らかにするため、各年級群の成長式から満年齢に達したときの計算体長を求め、成長量を比較したのが表2である。これによって1980年級の満2才までの成長が他の年級群よりも劣っていることがはっきりと示され、満3才以後では他の年級群の成長に追いついていることがわかる。

表2 各年級の計算体長

年級	満1才	満2才	満3才	満4才	満5才	満6才
1974	142.6	193.7	217.3	228.1	233.2	235.5
1975	147.2	195.1	214.2	221.8	224.8	226.0
1976	151.2	193.5	210.8	217.8	220.7	221.8
1977	149.8	194.3	207.0	210.5	211.6	211.8
1978	150.4	193.7	207.3	211.5	212.8	213.3
1979	147.9	194.1	206.4	209.7	210.5	210.8
1980	136.5	187.6	210.2	220.1	224.5	226.4

mm

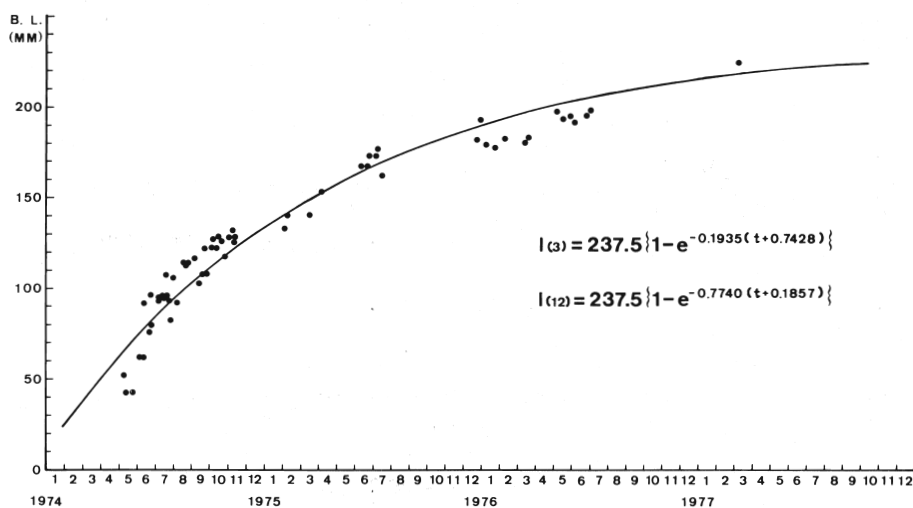


図1-1 1974年級の成長

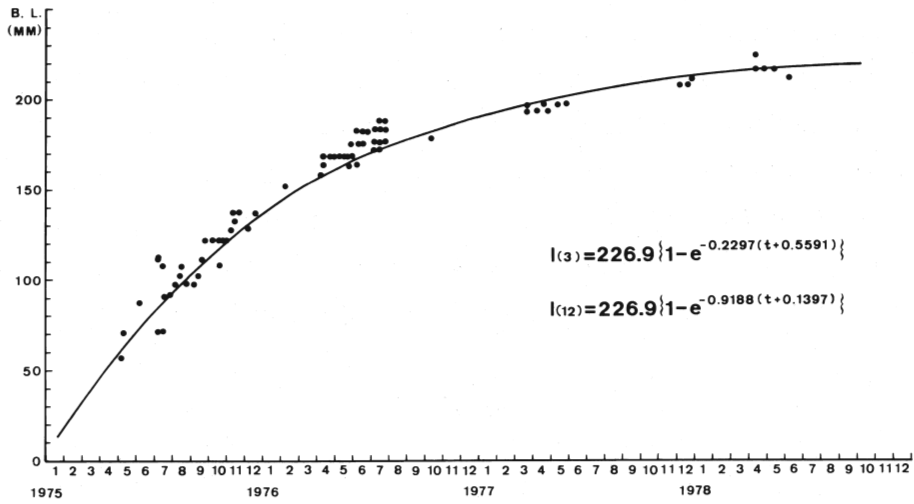


図1-2 1975年級の成長

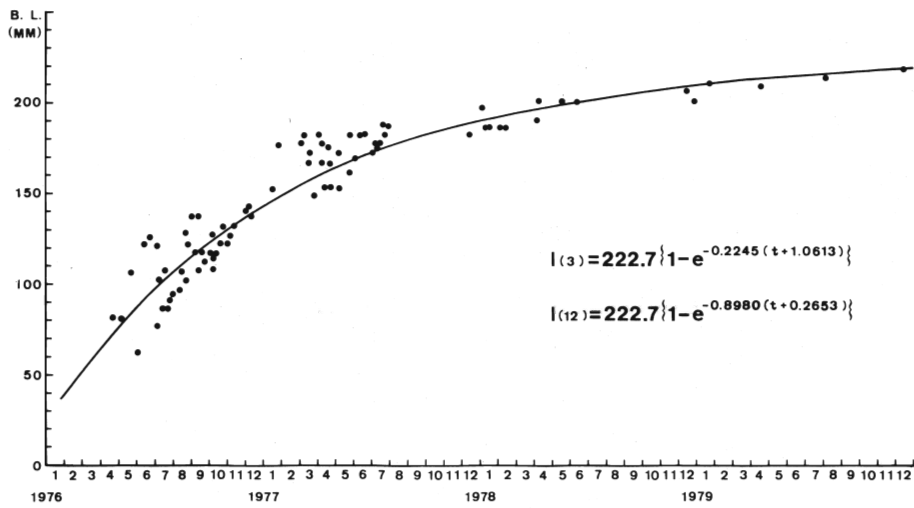


図1-3 1976年級の成長

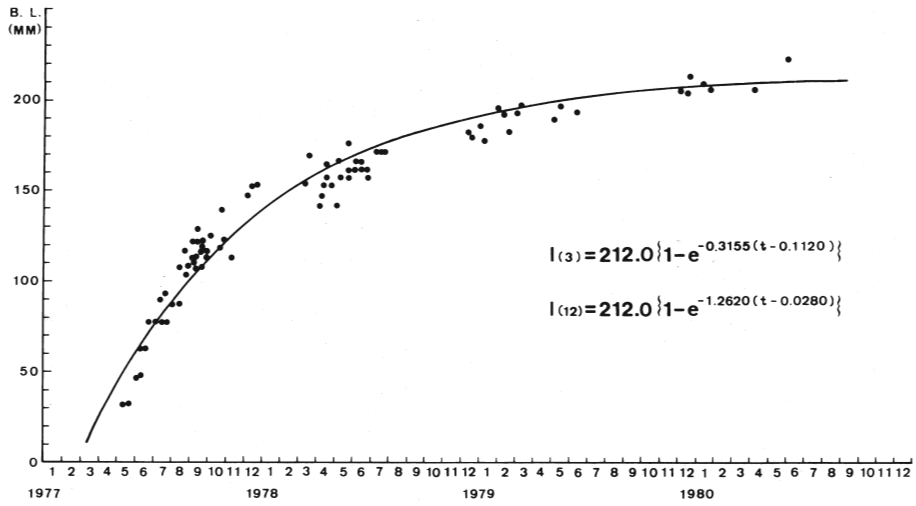


図1-4 1977年級の成長

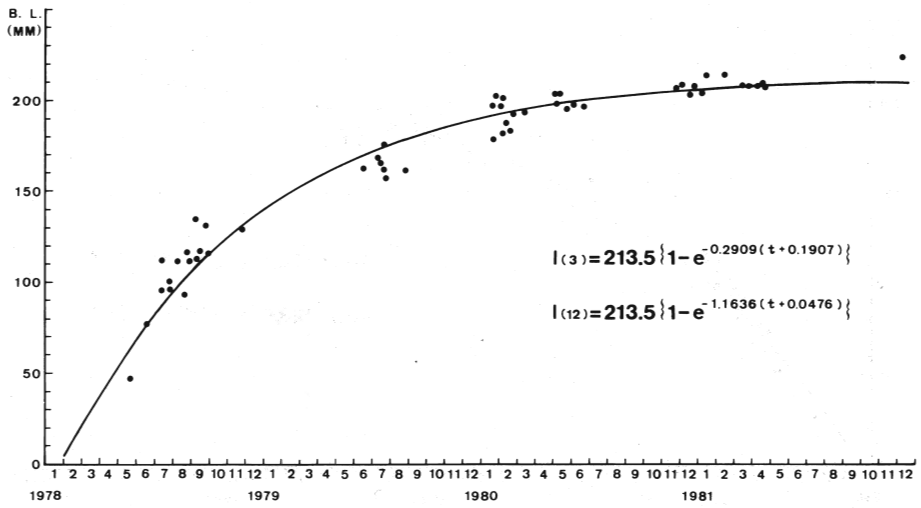


図1-5 1978年級の成長

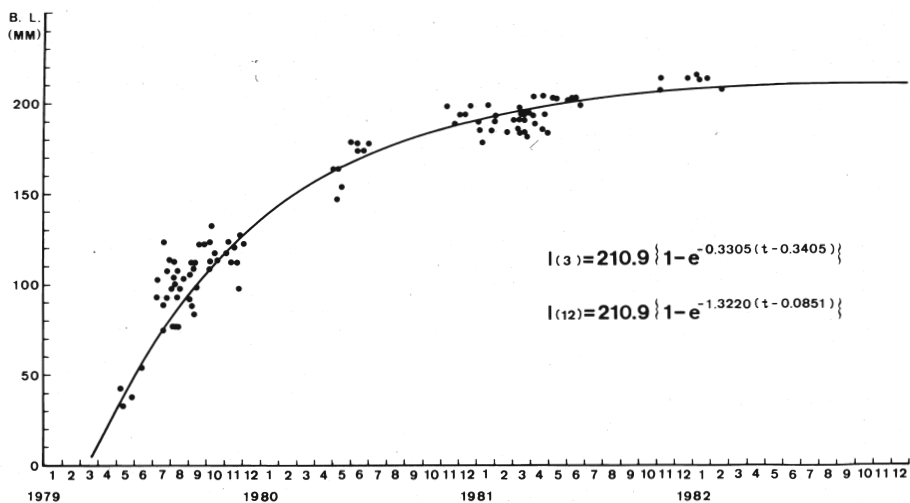


図1-6 1979年級の成長

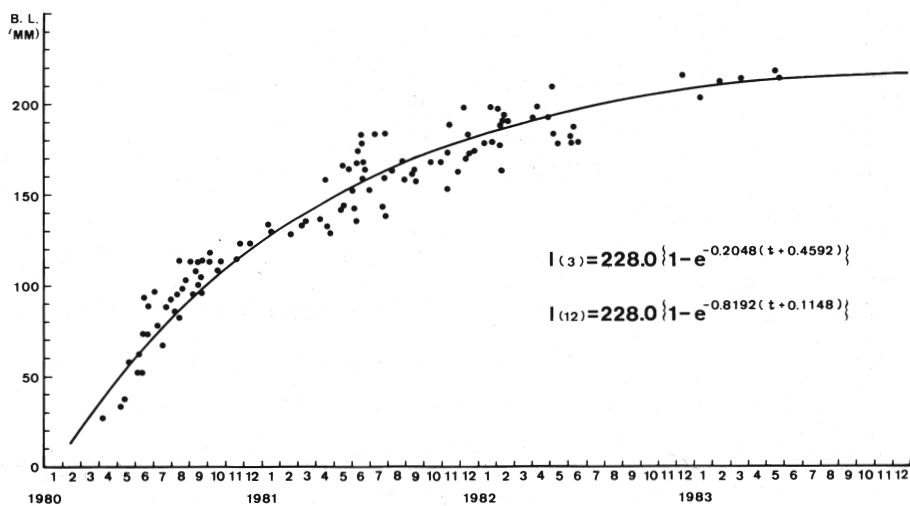


図1-7 1980年級の成長

2. 成長式のパラメータの検討

前項で求めた成長式および Nakai・Hayashi (1962), 近藤ほか (1976) の成長式のパラメータ K , l_{∞} を一括して表3に示した。表3から1977年級, 1978年級, 1979年級の K の値がきわめて大きく, l_{∞} の値の小さいことが特徴的であることがわかる。この K と l_{∞} の関係は -0.948 という相関係数を持つ負の相関関係があり, このことは Beverton・Holt (1959) が報告している一般的な両者の関係と一致しているので, 妥当な結果であろう。

表3 マイワシの同化(a), 異化(b)作用係数の推定

年級 パラメータ	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1949 Nakai & Hayashi (1962)	1972 近藤ほか (1976)
K	0.7740	0.9188	0.8980	1.2620	1.1636	1.3220	0.8192	0.87	0.96
l_{∞} mm	237.5	226.9	222.7	212.0	213.5	210.9	228.0	223.9	223.9
a	12.9001	14.6299	14.0341	18.7751	17.4342	19.5657	13.1073	(13.88)	(15.00)
b	2.3220	2.7564	2.6940	3.786	3.4909	3.966	2.4576	2.61	2.88

() 内は b と a の関係式からの計算値 $a = 3.0784 + 4.14 b$ ($a = \alpha + \beta \cdot b$)
 $n = 7, r^2 = 0.998$

一方, パラメータ K の持つ意味は, 数学的には時間 t の増加にともなう体長 l の増加の減少率を支配するパラメータであり, 具体的には K の値が大きければ曲線の立ちあがりが大きく, K の値が小さければ立ちあがり小さいことである。また, 生物学的には, K が大きければある体長に達するまでの時間が短いことを示し, その体長で成熟するならば, 成熟に達する時間も短くなることを示すと考えられる。

このことについて, 河井 (1970) は魚類の K と成熟年令 tm との積が一定とし, K が変化したら tm も変化するとしてマイワシをとりあげ, 戦前3才, 戦後2才というマイワシの成熟年令の相違を説明している。しかし, 河井 (1970) は戦後のマイワシの K の値を0.6としており, Nakai・Hayashi (1962), 近藤ほか (1976), そして前項で求めた1974年級から1980年級の K の値と比較すると, 河井 (1970) の値はかなり小さい。河井 (1970) の考え方によると, 近年のマイワシの成熟年令はさらに低くなっていることになる。このことを確かめるため, 著者は水産庁研究部 (1979) の資料を用いて, 改めて成熟年令 tm と K との関係を計算し図2に示した。河井 (1970) と同様の関係は得られたが定数は異なっている。図2の双曲線上にマイワシのパラメータ K をプロットすると, 1977年級から1979年級の成熟年令は1才となり, Nakai・Hayashi (1962), 近藤ほか (1976) の場合は1~2才の間になる。いずれにしても成熟年令

tm と K との関係からは、近年のマイワシの成熟年齢は、1~2才ということになる。

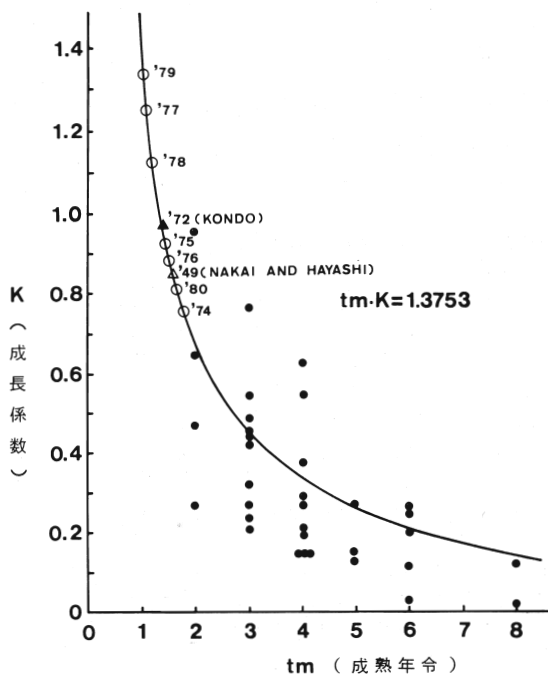


図2 魚類の成熟年齢 (tm) と成長係数 (K) の関係

しかし、図2にプロットされた各魚種の K の値はバラツキが大きいこと、また、マイワシの場合成熟年齢が低いことから、 K 値の大小によって成熟年齢の変化を判定することは困難と思われる。先に述べたように K は l_{∞} と密接な関係にあり、 K の値だけが l_t (体長) を規制しているわけではないので、 K の値のみで成熟年齢を論ずるべきでもなからう。

一方、このような K と l_{∞} の変動を Bertalanffy の理論に基づいて検討してみた。Bertalanffy は生物の成長を物質代謝の面からみて、同化作用量は栄養物の吸収面 (体重の $\frac{2}{3}$ 乗) に比例し、また異化作用量は体重に比例し、その差だけ体重が増加するとして次の式を与えた。

$$\frac{dw}{dt} = aw^{\frac{2}{3}} - bw \quad (\text{ただし, } a; \text{同化作用係数, } b; \text{異化作用係数, } w; \text{体重, } t; \text{時間}).$$

この式は体長と体重との関係を $w = k l^3$ とすれば、最終的には $l_t = l_{\infty} (1 - e^{-k(t-t^0)})$ と展開され、その過程において、 $a = 3k l_{\infty} k^{\frac{1}{3}}$ 、 $b = \frac{1}{3} K$ が得られる。また、マイワシの体長-体重関係式は、 $W = 0.0000128 l^{3.0}$ と表わされる (近藤ほか, 1976) ので、マイワシについての a 、 b の値を推定することができる。このようにして推定した同化作用係数、異化作用係数を表3に示した。1977年級から1979年級の場合は、同化作用係数も大きければ、異化作用係数も大きく他の年級群と Nakai・Hayashi (1962)、近藤ほか (1972) では各係数値が小さい。このことは、Bertalanffy の理論が生物学的に正しいとするならば、1977年級から1979年級では物質代謝量が多く、他の年級群では少ないということになる。このことを海洋環境との関係としてとらえることが必要であるが、論議するための環境資料が少ないため、この相違は該当する年の環境が異なっていたのであろうという推察にとどめたい。

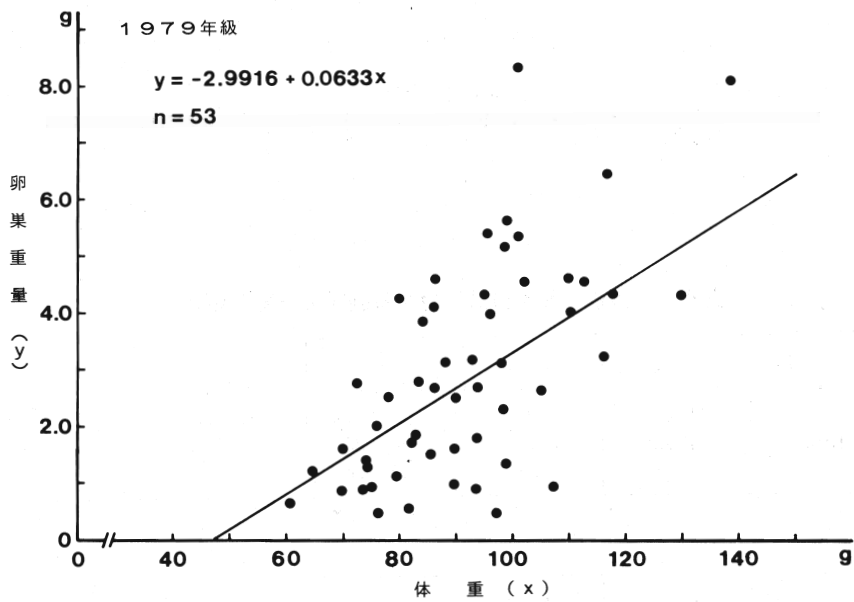
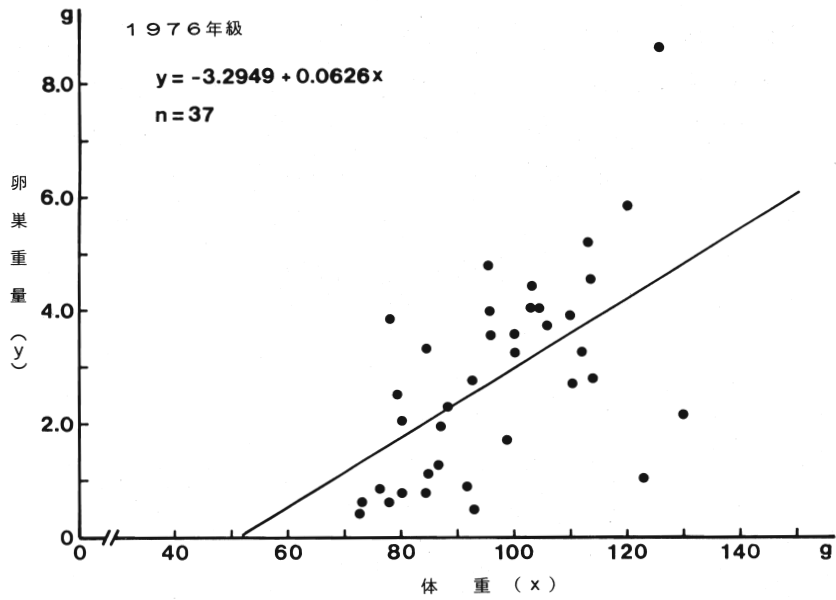


図3 体重 (x) と卵巣重量 (y) の関係

3. 1976年級と1979年級の成熟状態の比較

前項においてパラメータKと成熟年令の関係を論議したが、ここではKの値の大小と成熟に達するまでの時間との間に関係があるかどうかを検討した。

大きなKの値を持つ年級の代表としては1979年級を、小さなKの値を持つ年級の代表として1976年級を用いた。用いた資料はそれぞれの年級群の中で満2才と考えられるもので、同一経過時間において成熟に差がみられない場合は、パラメータKの大小によって成熟に達するまで

表4 回帰分析のための統計量

	1976年級	1979年級
n	37	53
$\sum x$	3558.0	4936.0
$\sum y$	102.9	154.1
$\sum x^2$	357494.0	474214.0
$\sum y^2$	410.17	652.51
$\sum xy$	10577.2	15271.0
$S (xx)$	9554.973	14514.0755
$S (yy)$	123.9967	204.4569
$S (xy)$	598.6810	919.3471
Sr	37.5112	58.2330
Se	86.4855	146.2239
Ve	2.4710	2.8671
a	-3.2949	-2.9916
b	0.0626	0.0633
$\hat{\sigma} (a)$	0.0161	0.0141
$\hat{\sigma} (b)$	1.5807	1.7675

表5 体重の卵巣重量に対する回帰の分散分析表

年 級	$s \cdot v$	$d \cdot f$	$s \cdot s$	$m \cdot s$	F
1976	Reg.	1	37.5112	37.5112	15.1805**
	Res.	35	86.4855	2.4710	
	T	36	123.9967		

年 級	$s \cdot v$	$d \cdot f$	$s \cdot s$	$m \cdot s$	F
1979	Reg.	1	58.2330	58.2330	20.3107**
	Res.	51	146.2239	2.8671	
	T	52	204.4569		

** 有意水準 1 %

の時間は変わらないと判定される。このような考え方に基づいて、図3に体重と卵巣重量の関係を示した。マイワシは経験的に雄が早く成熟すると推察されるが、産卵ということを考慮したため、雌の成熟を基準とした。

マイワシの体重と卵巣重量の関係は、1976年級、1979年級の両者とも回帰関係が認められ(表5)、言いかえれば、体重の増加にともない卵巣重量も直線的に増えていくという関係がある。さらに、2つの年級の回帰に差があるかどうかを検定すると(表4、5)、回帰直線の傾斜、位置とも差があるとは認められないで、1976年級と1979年級の卵巣の発達状態には差異が認められないということになる。すなわち、パラメータKの大小にかかわらず、成熟状態は変わらないと推定される。

ここで上述の2つの回帰に差のないことが明らかになったので、2つの回帰を併合したのが図4である。図中には回帰の逆推定をするため、回帰直線の95%信頼帯を示してある。卵巣の成熟は、その重量が3~4gと報告されている(伊東 1961)ため、図4から卵巣重量3~4g時の体重を逆推定すると90~130gとなる。すなわち1976年級と1979年級が成熟に達していたのは、体重が90~130g以上であったと推定される。図3に示されるように、これらの標本の体重が130gを越える個体は1個体しかいないため、成熟に達した時の体重は90~130gの間であったと考えられる。また、図4に示した回帰式 $y = 0.0631(x - 49.5)$ からは卵巣重量が0gの時の体重が49.5gと推定され、卵巣の発達は平均的に体重50g前後から始まるものと考えら

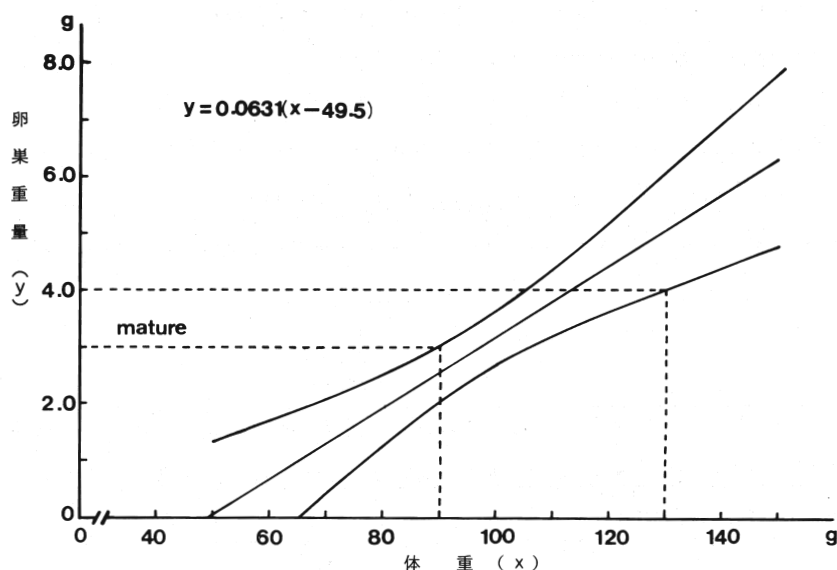


図4 体重(x) - 卵巣重量(y)の回帰およびその逆推定

れる。なお、マイワシの体長—体重関係式（近藤ほか1976）から、それぞれの体長を推定すると、成熟に達する時の体長は191mm～212mm、卵巣の発達開始時の体長は156mmとなる。したがって、近藤ほか（1976）が述べている2年魚始めの成熟体長、18.29cmとほぼ一致し、少なくとも1976年級と1979年級の成熟状態は太平洋側の1972年級とほぼ同じであったと推定される。また、表2の各年級の計算体長から推して、1979年級以前の各年級の成熟状態はほぼ同じであると考えられる。

Ⅳ 要 約

1974年5月から1983年6月までのマイワシ体長測定記録から、各年級群ごとの成長式を推定した。また、1976年級と1979年級の成熟状態を比較した。得られた結果は次のとおりである。

1) 1974年級から1980年級までの各年級群ごとの体長の成長式は次のように推定された。

$$1974\text{年級}; \ell t = 237.5 (1 - e^{-0.7740(t+0.18577)})$$

$$1975\text{年級}; \ell t = 226.9 (1 - e^{-0.9188(t+0.1397)})$$

$$1976\text{年級}; \ell t = 222.7 (1 - e^{-0.8980(t+0.2653)})$$

$$1977\text{年級}; \ell t = 212.0 (1 - e^{-1.2620(t-0.0280)})$$

$$1978\text{年級}; \ell t = 213.5 (1 - e^{-1.1636(t+0.0476)})$$

$$1979\text{年級}; \ell t = 210.9 (1 - e^{-1.3220(t-0.0851)})$$

$$1980\text{年級}; \ell t = 228.0 (1 - e^{-0.8192(t+0.1148)})$$

2) 計算体長から、1980年級群の体長の成長は、満2才までは他の年級に比較して悪く、他の各年級の体長の成長はほぼ同じであると推定された。

3) Bertalanffyの成長式のパラメータKと ℓ_{∞} の関係は負の相関がある。

4) 1976年級と1979年級の満2才における卵巣の発達状態は変わらないと推定された。各年級群の満2才の体長から推して1979年級以前の成熟状態はほぼ同じであると考えられる。

5) 1976年級と1979年級の雌が成熟に達したときの体重は、90～130gの間であったと推定される。

終りに、この報告を御校閲下さった、日本海区水産研究所企画連絡室長服部茂昌博士、この研究にご指導いただいた島根県水産試験場長児島俊平博士、資料の整理に御協力いただいた谷野一江氏に心から感謝します。

文 献

- Beverton, R. J. and Holt, S. J. (1959). in ^s Ciba Foundation Colloquia on Ageing, 5^s (ed. by Wolstenholme, G. E. W. and O'Connor, M. J.), A Churchill Ltd, London: 142~180.
- Gulland, J. A. and Holt, S. J. 1959). Estimation of growth parameters for data at unequal time intervals. J. Cons. perm. int. Explor. Mer, 25 (1) : 47~48.
- 北海道区水産研究所 (1955). 北海道調査要報, (1).
- 伊東祐方 (1961). 日本近海におけるマイワシの漁業生物学的研究. 日水研報告, (9) : 1~227.
- 近藤恵一・堀 義彦・平本紀久雄 (1976). マイワシの生態と資源. 日本水産資源保護協会, (30) : 1~68.
- 河井智康 (1970). 生長理論と生長曲線. 日本水産学会誌, 36 (3) : 289~296.
- Nakai, Z. (1962). Studies relevant to mechanisms underlying the fluctuation in the catch of the Japanese sardine, *Sardinops melanosticta* (Temminck & Schlegel). Japanese Jour. Ichthy., 9 (1-6), 1~115.
- Nakai, Z. and S. Hayashi (1962). Growth of the Japanese sardine—I. A note on the growth rate, 1949 through 1951, Bull. Tokai Fish. Res. Lab., (9) : 85~95.
- 水産庁研究部 (1979). 我が国漁船の漁獲対象魚種の漁獲量と生物特性. (I), (II), (III).
- 島根県水産試験場 (1984). 海洋資源調査概報.