

寄稿

東シナ海におけるマアジの成熟特性の長期的な変化

大下誠二[†], 依田真里, 檜山義明Long-term Changes in the Reproductive Characteristics of Jack Mackerel (*Trachurus japonicus*) in the East China SeaSeiji OHSIMO[†], Mari YODA and Yoshiaki HIYAMA

The purpose of this study was to evaluate whether the reproductive characteristics of jack mackerel (*Trachurus japonicus*) changed with the stock fluctuation. Overall, the annual catch of jack mackerel in the Sea of Japan and East China Sea increased during the 1950s, peaked during the 1960s, decreased during the 1970s, and has increased since the 1980s. We used long-term data from the Seikai National Fisheries Research Institute to analyze changes in the reproductive characteristics of jack mackerel. During the 1970s, jack mackerel stocks declined, and the fish began to spawn at a smaller size than they did during the 1960s. The spawning period in the 1960s was shorter than that in the 1970s and 1990s. The condition factor of jack mackerel was highest during the 1990s and higher during the 1970s than the 1960s.

Key words: jack mackerel, *Trachurus japonicus*, reproductive characteristics, condition factor

目的

マアジ (*Trachurus japonicus*) は、温暖性の沿岸回遊魚であり日本の周辺に広く分布する (落合, 1965)。対馬暖流域におけるマアジの長期的な漁獲量をみると (Fig. 1), 1950年代から1960年代半ばにかけて漁獲量が多く、1960年代後半から1970年代を通して漁獲量は急激に減少した。漁獲量が最低になったのは1980年であり、その後徐々に増加した。1990年代前半には対馬暖流域 (東シナ海と日本海) では約20万トン程度であったが、1990年代後半には減少した。

一方、日本周辺のマイワシ (*Sardinops melanostictus*) においても漁獲量の大きな変動が認められる。資源変動と成熟特性の変化について研究がなされており (Morimoto, 1996; 森本, 1998)、漁獲量が多いときには成熟年齢が上がり、逆に少ないときには成熟年齢が下がることが報告されている。しかしながら、マアジの漁獲量の変動と成熟特性の変化との関連に関する報告はない。本研究では、マアジの漁獲量の変動に伴う成熟特性の変化の有無を検証することを目的とした。

2003年7月17日受付, 2004年7月6日受理
水産総合研究センター西海区水産研究所
Seikai National Fisheries Research Institute, Fisheries Research Agency
1551-8 Taira-machi Nagasaki, Japan, 851-2213

[†] oshimo@affrc.go.jp

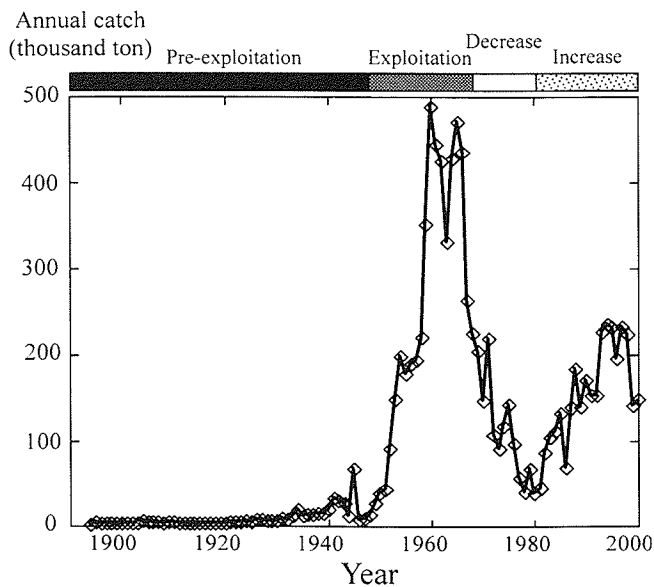


Figure 1. Annual catches of jack mackerel by Japanese fisheries in the Sea of Japan and East China Sea. In the East China Sea, purse-seine fishing has developed rapidly since the 1950s, and annual catches of jack mackerel have increased since then. Overall, the size of the annual catch peaked during the 1960s, decreased during the 1970s, and has increased since the 1980s.

材料と方法

西海区水産研究所に保管されていた1960年代からのマアジの測定資料を扱った。マアジが東シナ海において多獲されていた1962年と1963年を1960年代とし、漁獲量が減少していた1975年から1979年のものを1970年代とし、またマアジの漁獲量が増加した1998年から2000年までを1990年代とした。それぞれの年代におけるサンプルの総数は、1960年代が3,802個体、1970年代が2,299個体、1990年代が2,050個体である。1980年代についてはデータが少ないことから解析から除外した。測定項目は、各年代とも尾叉長・体重・性別および生殖腺重量である。なお、海域の違いによる生物特性の違いを除去するために、測定値はすべて東シナ海北部海域で得られた魚のもののみを用いた。

生殖腺重量指数 (Gonad Somatic Index: GSI) と肥満度 (Condition Factor: CF) は次の計算式により計算した。

$$GSI = \text{生殖腺重量 (g)} \times 100 / \text{体重 (g)}$$

$$CF = (\text{体重} - \text{生殖腺重量}) \times 1000 / \text{尾叉長}^3 \text{ (cm)}$$

マアジは成熟期以外は生殖腺が小さくなり、代わりに腹腔内に脂肪が蓄積されるため、脂肪と生殖腺の区別が難しくなる。したがって、成熟期以外については、生殖腺重量を測定できる個体が少なくなるため、成熟期の1月から6月には毎月のデータを解析できたが、7月から12月は2か月ごとにデータをまとめて解析した。各月において、GSIとCFの平均値と標準偏差を計算した。GSIは雌雄別に計算したが、CFは雌雄を合わせたもので計算を行った。なお、依田ほか (2004) は東シナ海のマアジのGSIと卵母細胞の発達段階について論じており、本論文ではその報告に従って、GSIが1.6以下を未熟期 (Immature stage)、1.6より4.6以下が発達期 (Developing stage)、4.6より大きいと産卵期 (Mature stage) とみなした。

近年、東シナ海のマアジは尾叉長約20 cm以上になると成熟することが報告されている (大下, 2000; 水田ほか, 2001)。また、成長とともに再生産に参加する個体の割合が増加することが予想される。本来であれば、年齢査定を行った上で年齢別に成熟特性について検討すべきであるが、1960年代および1970年代の標本の年齢査定をするための鱗や耳石が残されていないため、本研究ではサイズ (銘柄) 別に成熟特性の解析を行うこととした。具体的にはサイズ別に「小: 尾叉長 19.9 cm 以下」・「中: 20.0~24.9 cm」・「大: 25.0 cm 以上」に分けてそれぞれGSIの平均値に年代別の差があるかを、銘柄ごとに一元配置の分散分析によって検討した。分散分析により、5%の水準で差があると判断された場合は、FisherのPLSD検定により、各年代間における有意差の検定を行った。なお、CFについてはサイズごとに分けず、同じ月のすべての個体を一括して取り扱った。なお、それぞれの年代において月ごと、銘柄ごとの測定数が15以下のものについては分散分析を行わなかった。分散分析およびFisherのPLSD検定には、Stat

View (HULINKS社) を用いた。

結果

Fig. 2 に各年代の月別の体長組成を示した。各年代とも尾叉長15 cmから35 cm程度まで (最大は40 cm) を中心に測定されていた。ただし、1960年代の1月から3月は30 cm以上の個体を中心に測定されていたのに対し、1990年代の1月から3月には30 cm以上の個体はあまり測定されておらず、1990年代の7月から12月における20 cm未満の個体の測定が不十分であった。

Fig. 3 と Table 1・2 にマアジの雌雄の年代別および銘柄別のGSIの平均値と標準偏差を示した。雄については、銘柄「大」では、すべての年代において1月から5月にかけてのGSIが2以上であった。1月には1960年代のGSIは他の年代よりも有意に大きかった。4月には1990年代のGSIが他の年代よりも有意に小さかった。6月には1960年代のGSIが他の年代よりも有意に小さかった。11・12月には1960年代のGSIは他の年代よりも有意に小さかった。

わずかの例外を除き、銘柄「中」では、銘柄「大」より同じ月の平均GSIが小さかった。1990年代の1月を除くと、GSIの経月変化は銘柄「大」とほぼ同じであるが、銘柄「大」が1月から6月までGSIが2よりも大きいものに対し (1960年代の6月は除く)、銘柄「中」では2月から5月までが高い水準であった。また、1960年代のGSIの平均値のピークは4月にあるのに対し、1970年代および1990年代 (1月を除く) のGSIの平均値のピークは3月であった。5月には1960年代のGSIが他の年代よりも有意に小さかった。

銘柄「小」では、銘柄「大」・「中」よりもさらに同じ月の平均GSIは小さかった。サンプルの数があまり多くなく、ほかの銘柄に比べて欠測が多いため、年代によって成熟特性に変化があるかどうかの統計学的な検討を行うことが困難であるが、4月には1960年代のGSIが他の年代よりも有意に小さく、5月には1990年代のGSIが他の年代よりも有意に大きかった。1970年代には、1月から4月にかけてが他の月よりもGSIの平均値は高かった。1960年代は1月から3月までのデータがないためよく分からないが、4月から10月にかけてGSIが徐々に減少する傾向をみせた。1990年代は、4・5月にGSIの平均値が増加する傾向をみせた。

雌においては、銘柄「大」で1960年代の6月と11・12月の値を除き、1月から6月までと11・12月にGSIの平均値が2を超えていた。1月と2月には、1960年代のGSIが他の年代よりも有意に大きかった。3月には1990年代のGSIが他の年代よりも有意に小さかった。11・12月には1960年代のGSIが他の年代よりも有意に小さかった。

銘柄「中」では、銘柄「大」よりも同じ月の平均GSIは小さかった。すべての年代で1月から6月にGSIの平均

東シナ海におけるマアジの成熟特性の長期的な変化

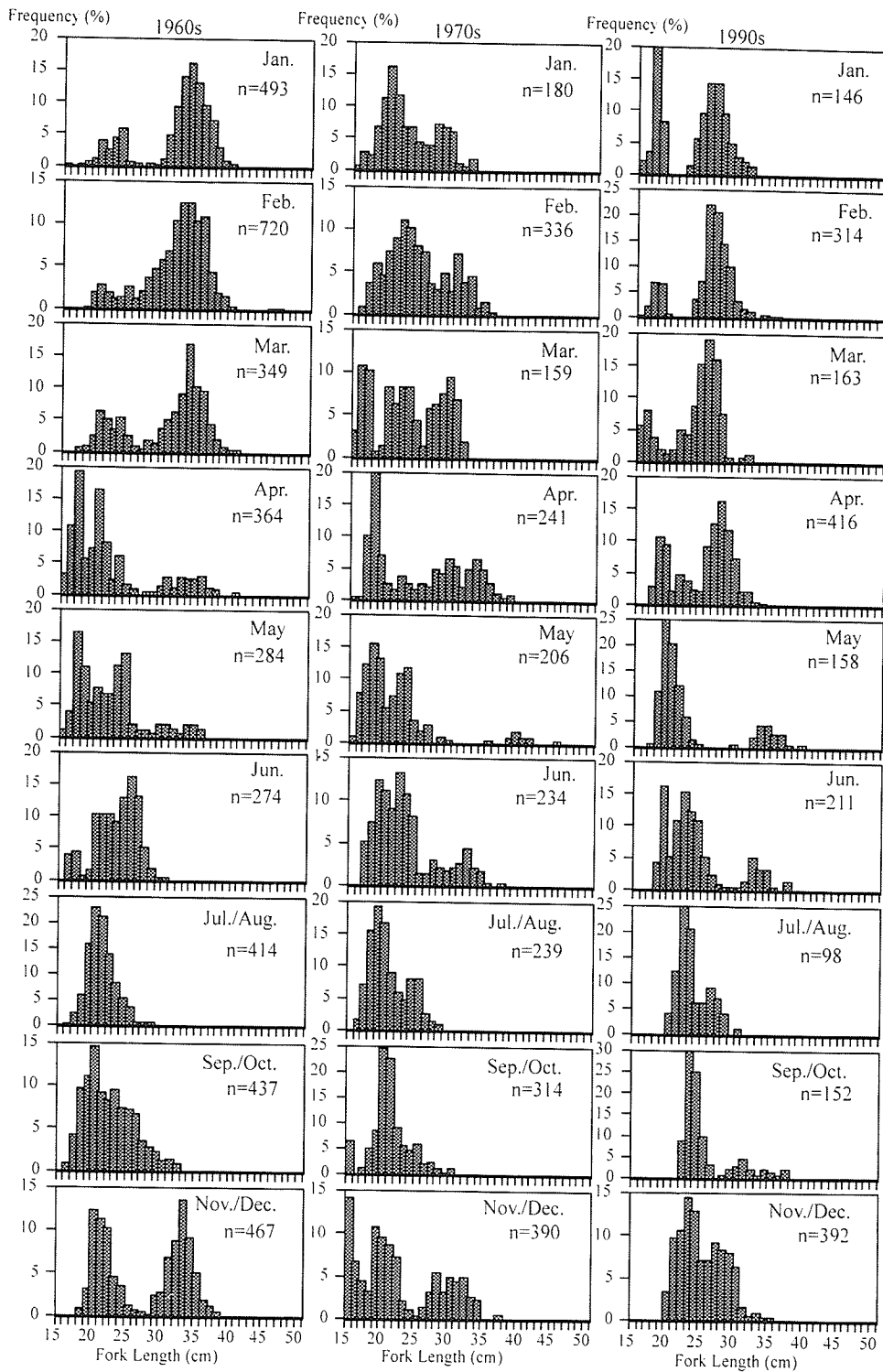


Figure 2. Fork length of specimens caught each month during the 1960s (left panels), 1970s (center panels), and 1990s (right panels).

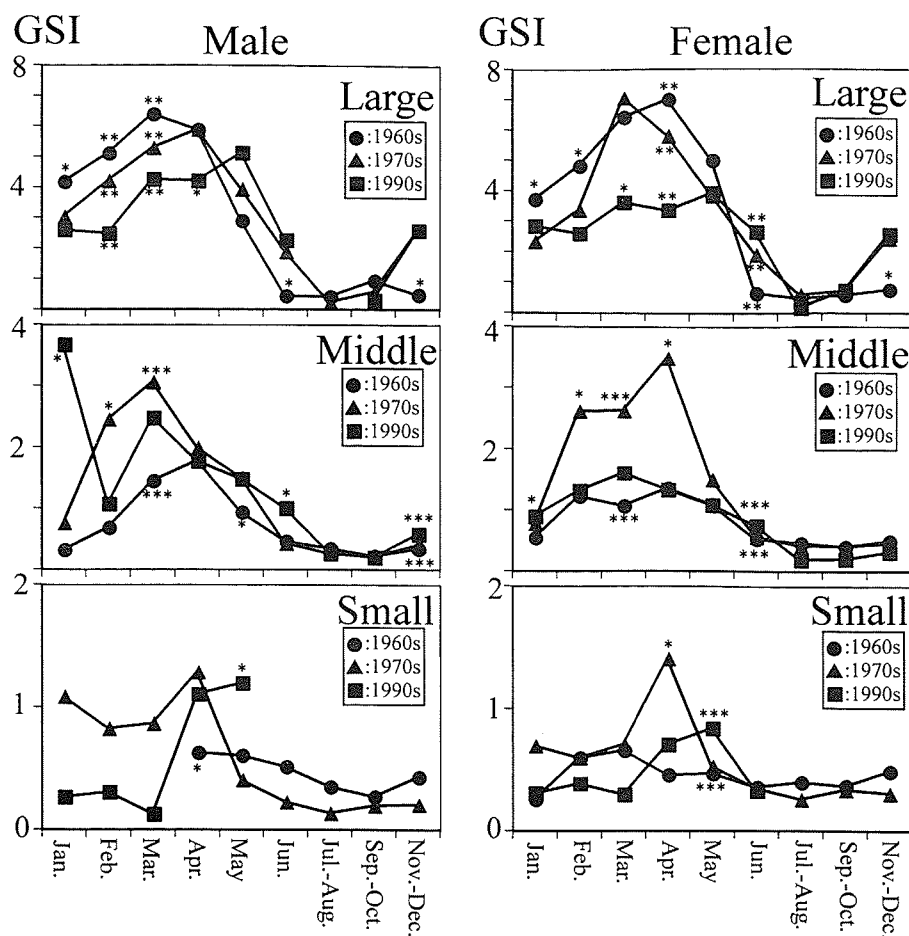


Figure 3. Monthly variation in mean gonad somatic index (GSI) of male (left panels) and female (right panels) jack mackerel. Circles, 1960s; triangles, 1970s; squares, 1990s. “Large” indicates fish whose fork length was >25 cm; “middle,” fork length 20.0 to 24.9 cm; “small,” fork length <19.9 cm. Because of the small sample size from July to December, we pooled the data for July and August, September and October, and November and December. *, symbol was significantly different ($p < 0.05$) from all other values for the decade, which did not differ from each other; **, all values differed significantly ($p < 0.05$) from each other; ***, largest and smallest values differed significantly ($p < 0.05$).

値は0.5を超え、1960年代の3月を除き、2月から5月でGSIの平均値は1を超えた。2月と4月には1970年代のGSIは他の年代よりも有意に大きかった。

銘柄「小」では、銘柄「大」および「中」に比べて、同じ月の平均GSIは小さく、1970年代の4月を除いてすべて1以下であった。銘柄「小」では、7月以降の測定個体数が少ないために分析を行わなかった。4月の1970年代のGSIは他の年代よりも有意に大きかった。

Fig. 4に雌雄毎に尾叉長とGSIとの関係を示した。雄をみると、すべての年代において尾叉長20 cmを超えるとGSIが3を超える個体が出現した。雌をみると、尾叉長20 cm以下でもGSIが3を超える個体が少数出現したが、大半は尾叉長が20 cm以上でないとGSIが3を超える個体は少なかった。

いずれの年代でも産卵盛期とみられる2~5月における、マアジの雌のGSIを依田ほか(2004)の基準に従って、未熟期・発達期および産卵期に分け、銘柄ごとの個体の割合を求めた結果(Table 3)、銘柄「小」では、いずれの年代も産卵期の段階を持つ個体は少なかった。銘柄「中」では、1970年代で産卵期の段階の個体の割合が16.67%と1960年代(4.65%)および1990年代(3.28%)を大きく上回った。銘柄「大」では、いずれの年代においても発達期以上の段階を持つ割合が多かった。

Fig. 5に銘柄別に年代ごとの肥満度の経月変化を示した。銘柄「大」では、5月と9~10月を除いて1990年代の肥満度が他の年代よりも有意に大きかった。またすべての月で1970年代の肥満度が1960年代よりも有意に大きかった。銘柄「中」では、3月にすべての年代の肥満度は有意な差

Table 1. GSI values (mean±standard deviation) of male jack mackerel in each size category. Because of the small sample size from July to December, we pooled the data for July and August, September and October, and November and December.

Month	Small			Middle			Large		
	1960s	1970s	1990s	1960s	1970s	1990s	1960s	1970s	1990s
Jan.	No data	1.08±0.86 n=26	0.26±0.16 n=18	0.31±0.27 n=14	0.75±0.82 n=42	3.66*±0.70 n=12	4.15*±1.60 n=214	3.01±1.42 n=23	2.57±1.74 n=32
Feb.	No data	0.82±0.68 n=31	0.29±0.17 n=16	0.67±0.35 n=28	2.44*±1.89 n=74	1.06±1.51 n=15	5.06**±1.86 n=285	4.18**±1.53 n=70	2.45**±1.46 n=114
Mar.	No data	0.86±0.46 n=20	0.12±0.09 n=14	1.43***±0.89 n=20	3.05***±2.23 n=27	2.46±2.42 n=14	6.35**±1.74 n=131	5.26**±1.57 n=37	4.24**±2.63 n=32
Apr.	0.62*±0.49 n=64	1.27±1.01 n=52	1.10±1.09 n=38	1.98±2.48 n=55	1.98±0.85 n=11	1.76±1.22 n=32	5.84±1.91 n=44	5.85±1.78 n=53	4.18*±1.77 n=124
May	0.60±0.60 n=39	0.40±0.34 n=49	1.19*±1.73 n=28	0.93*±1.24 n=51	1.49±0.81 n=49	1.47±1.19 n=31	2.86±1.92 n=14	3.91±2.75 n=13	5.09±1.37 n=12
Jun.	0.51±0.55 n=5	0.22±0.09 n=28	No data	0.45±0.54 n=39	0.42±0.37 n=64	0.99*±1.03 n=18	0.42*±0.33 n=37	1.86±1.42 n=21	2.24±1.56 n=29
Jul. Aug.	0.34±0.20 n=23	0.13±0.06 n=53	No data	0.33±0.40 n=78	0.25±0.27 n=52	0.26±0.14 n=12	0.39±0.35 n=10	0.21±0.06 n=15	No data
Sep. Oct.	0.26±0.11 n=26	0.19±0.11 n=38	No data	0.21±0.25 n=44	0.20±0.16 n=107	0.19±0.11 n=13	0.91±1.22 n=38	0.55±1.16 n=10	0.28±0.07 n=7
Nov. Dec.	0.42±0.30 n=3	0.20±0.08 n=73	No data	0.33***±0.25 n=65	0.39±0.67 n=53	0.57***±0.58 n=58	0.45*±0.40 n=97	2.57±1.41 n=75	2.59±1.92 n=89

*, symbol was significantly different ($p<0.05$) from all other values for the decade, which did not differ from each other; **, all values differed significantly ($p<0.05$) from each other; ***, largest and smallest values differed significantly ($p<0.05$).

Table 2. GSI values (mean±standard deviation) of female jack mackerel in each size category. Because of the small sample size from July to December, we pooled the data for July and August, September and October, and November and December.

Month	Small			Middle			Large		
	1960s	1970s	1990s	1960s	1970s	1990s	1960s	1970s	1990s
Jan.	0.24±0.09 n=4	0.69±0.62 n=14	0.30±0.13 n=15	0.53±0.27 n=45	0.77±0.75 n=37	0.88*±2.84 n=11	3.70*±2.00 n=181	2.32±1.31 n=22	2.83±2.02 n=39
Feb.	0.58±0.04 n=3	0.59±0.59 n=19	0.38±0.17 n=31	1.21±2.16 n=26	2.60*±2.36 n=79	1.06±1.30 n=19	4.81*±3.36 n=256	3.36±2.30 n=63	2.59±1.99 n=118
Mar.	0.65±0.26 n=4	0.70±0.51 n=21	0.29±0.15 n=16	1.05***±0.89 n=45	2.61***±2.58 n=29	1.66±1.59 n=41	6.40±2.73 n=126	7.04±3.11 n=25	3.77*±1.98 n=42
Apr.	0.44±0.26 n=73	1.40*±1.12 n=40	0.67±1.24 n=54	1.41±1.58 n=68	3.48*±1.83 n=18	1.88±1.32 n=31	6.98**±1.91 n=27	0.79**±1.89 n=67	3.35**±1.60 n=117
May	0.46***±0.35 n=52	0.52±0.65 n=53	0.83***±1.07 n=31	1.08±1.22 n=76	1.49±1.12 n=30	1.28±1.08 n=29	4.98±2.32 n=34	3.83±3.16 n=12	3.91±0.72 n=16
Jun.	0.35±0.44 n=12	0.34±0.25 n=31	0.32±0.25 n=17	0.52***±0.54 n=65	0.56±0.30 n=57	0.75***±0.74 n=51	0.63**±0.53 n=53	1.90**±1.46 n=28	2.64**±1.93 n=21
Jul. Aug.	0.39±0.38 n=46	0.25±0.10 n=47	No data	0.45±0.56 n=155	0.41±0.19 n=53	0.28±0.18 n=38	0.45±0.14 n=9	0.57±0.11 n=15	0.15±0.14 n=5
Sep. Oct.	0.36±0.20 n=67	0.33±0.11 n=34	No data	0.39±0.23 n=140	0.40±0.13 n=97	0.35±0.18 n=49	0.56±0.36 n=68	0.70±1.16 n=28	0.72±0.58 n=22
Nov. Dec.	0.48±0.19 n=10	0.30±0.14 n=73	No data	0.48±0.18 n=84	0.44±0.14 n=58	0.58±0.29 n=108	0.74*±0.41 n=155	2.41±1.59 n=52	2.56±2.06 n=97

*, symbol was significantly different ($p<0.05$) from all other values for the decade, which did not differ from each other; **, all values differed significantly ($p<0.05$) from each other; ***, largest and smallest values differed significantly ($p<0.05$).

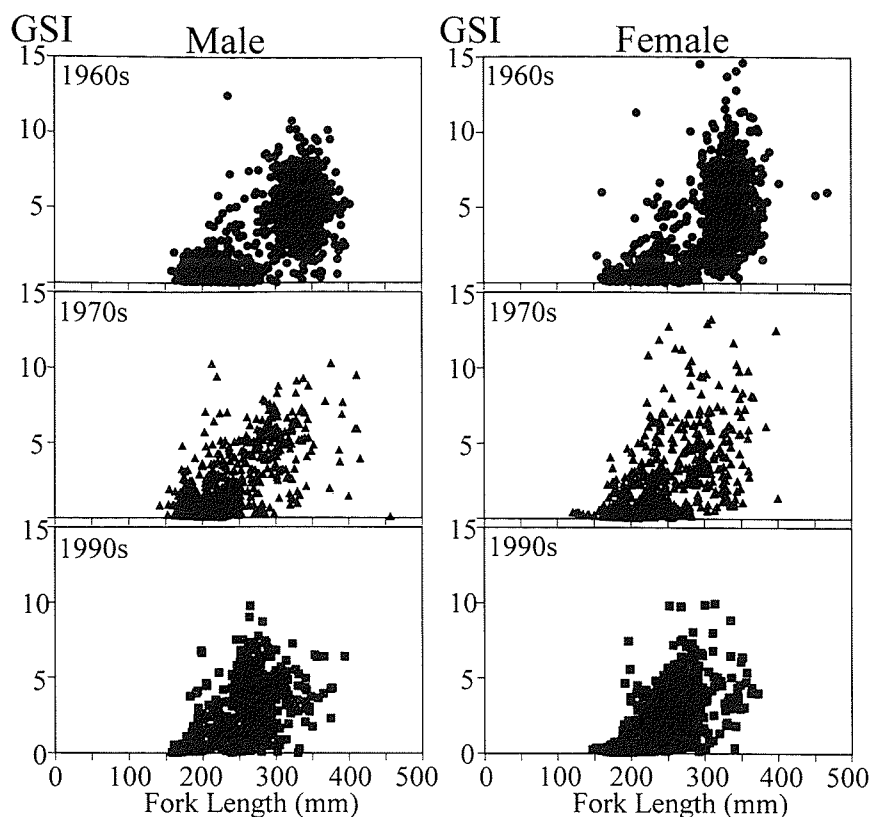


Figure 4. Relationships between fork length and GSI value of male (left panels) and female (right panels) jack mackerel.

Table 3. Percentage of maturation stages of female jack mackerel in each size category from February to May.

Stage	1960s			1970s			1990s		
	small	middle	large	small	middle	large	small	middle	large
Immature	97.75	81.86	9.18	84.38	47.44	7.78	94.85	65.57	24.32
Developing	1.50	13.49	32.96	14.84	35.90	44.91	2.94	31.15	55.48
Mature	0.75	4.65	57.87	0.78	16.67	47.31	2.21	3.28	20.21

Immature, $GSI \leq 1.6$; developing, $1.6 < GSI \leq 4.6$; mature, $4.6 < GSI$.

が認められなかった。1月と6月に1960年代と1970年代が、4月に1960年代と1990年代の肥満度に有意な差がないほかは、概ね1990年代の肥満度が最も大きく、次いで1970年代・1960年代の順であった。銘柄「小」では、1月はすべての年代で有意な差はなかった。3月と6月には1960年代の肥満度が他の年代より有意に小さかった。概ね1990年代の肥満度がもっとも大きく、次いで1970年代・1960年代の順であった。肥満度の経月変化の傾向として、すべての銘柄で6月から7・8月に大きくなる傾向を示した。

考 察

日本周辺や韓国周辺に分布するマアジの資源量については、コホート解析による解析結果が示されている(檜山, 2002; 上原ほか, 2002; Zhang and Lee, 2001)。資源量は韓国周辺では1965年以降(Zhang and Lee, 2001)が、日本周辺の対馬暖流域では1973年以降(檜山, 2002)が計算されている。残念ながら、それ以前のマアジの資源量は計算されておらず、資源量が長期的にどの程度変動しているのかは不明である。対馬暖流域のマアジの漁獲量は1940年以前には1万トン以下しかなく、多獲されるのは1950年以降である(Fig. 1)。東シナ海においてはマアジをまき網で漁

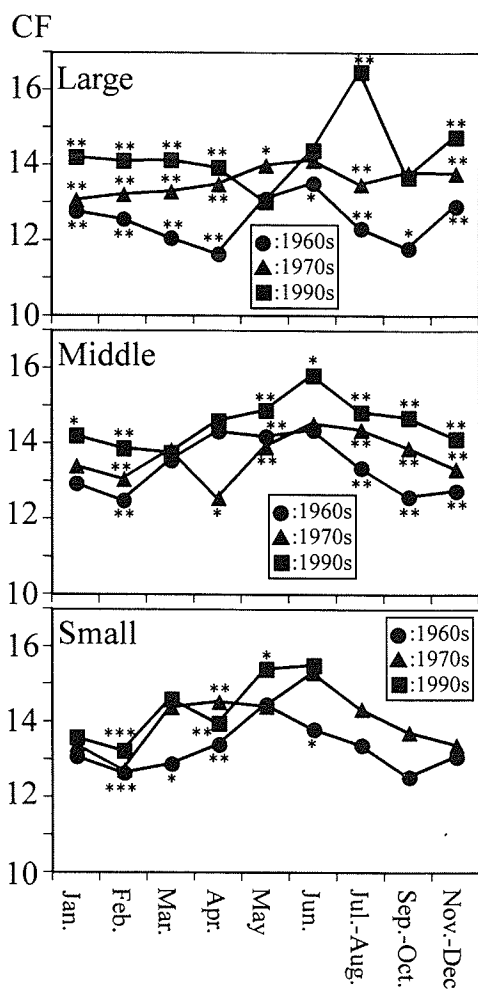


Figure 5. Monthly variation in mean condition factor (CF) of male (left panels) and female (right panels) jack mackerel. Circles, 1960s; triangles, 1970s; squares, 1990s. “Large” indicates fish whose fork length was <25 cm; “middle,” fork length 20.0 to 24.9 cm; “small,” fork length <19.9 cm. Because of the small sample size from July to December, we pooled the data for July and August, September and October, and November and December. *, symbol was significantly different ($p < 0.05$) from all other values for the decade, which did not differ from each other; **, all values differed significantly ($p < 0.05$) from each other; ***, largest and smallest values differed significantly ($p < 0.05$).

獲し始めたのが1950年代であり、1960年頃に漁獲量が急増するのは、戦後にマイワシ資源が減少し、その代替資源として東シナ海の沖合のマアジ漁場がまき網によって開拓されたためとされている（真子，1977）。このことから、1950年代、60年代にマアジの漁獲量が急増しているのは、資源が増加したことが主要因ではなく、これまで未開拓であったマアジ資源を効率よく漁獲する漁業（まき網漁業）が発達したことが主要因であると結論づけられる。このこ

とから、1945年までを開発前期、1946年から1966年までを開発期、1967年から1980年までを減少期、1981年以降を増加期とする。

日本周辺では、マイワシが顕著な資源量変動を示すことが知られている。マイワシは、近代の漁業形態になる以前から豊凶を示す文書が残っていることから、漁業活動に直接影響されない独自の資源量変動の様式があることが知られている（伊東，1961）。北西太平洋でも、過去2000年以上にわたって、マイワシやカタクチイワシが大きな資源変動をしたことが知られている（Finney *et al.*, 2002）。一方、マアジにおいては、このような資料は残っておらず、1950年より前の開発前期にマアジ資源量がどの程度変動したかは不明である。

1967年以降にマアジの漁獲量が減少したのは、高い漁獲圧のためであることが報告されており（真子，1977）、東シナ海の沿岸域・沖合域においてマアジ資源に対する高い漁獲圧は産卵親魚の資源量を減少させ、新規に資源へ加入する量を減少させたと考えられる。Cushing (1996) は、すべての水産資源において、その資源量の変動は加入量の変動によると述べている。1980年代後半以降に、日本周辺でマイワシ資源が激減した現象も連続した加入の失敗が原因であると考えられている（Watanabe *et al.*, 1995）。加入量が変動する要因の一つに、産卵親魚の量の変動があげられる。したがって、成熟特性の変化を資源の変動とともにモニタリングすることは重要である。

本研究では、マアジを三つの銘柄に分け、1960年代、1970年代および1990年代のGSIについて比較検討を行うことによって、それぞれの年代において成熟特性が異なっているかどうかを解析した。中嶋 (1982) の研究から、主産卵期におけるそれぞれの銘柄の年齢は、「小」が0+歳魚、「中」が1+歳魚、「大」が2+歳魚以上と考えられる。本研究の結果をみると、雄のGSIの経月変化では、成熟期とみなせる期間は大型の個体ほど長いことが分かった。また、1970年代および1990年代では、1960年代と異なり、11・12月にも精巣が発達することがうかがわれた。本研究では生殖腺の組織切片を作成してないが、本研究では、銘柄「大」・「中」の11月から翌年6月までの発達した精巣から排精されたので、十分に生殖能力を持つと判断された。さらに、銘柄「小」の一部の精巣からも排精されたので、一部の個体については生殖能力を持つと判断された。

雌のGSIの経月変化の結果も、雄の場合と同様に大型の個体ほど成熟期とみなせる期間が長かった。1970年代・1990年代には1960年代と異なり、11・12月にもGSIが高かった。大型の個体ほど、産卵期間が長いというこのような知見は、マイワシにおいても報告されている（松浦，1993）。水田ほか (2001) は、近年の長崎県沿岸域のマアジの産卵期が1950・60年代に観察されたマアジの産卵期（堀田・中嶋，1971）よりも早くなっていることを指摘し、

その影響について近年の表層水温が1950・60年代よりも高かったためであるとした。しかしながら、このような水温との関連は1990年代については当てはまるが、1970年代については当てはまらない(西海区水産研究所漁海況資料)。したがって、水温のみがマアジの産卵期を支配しているとは言い難い。

大下(2000)はマアジの卵巣切片の観察から、GSIが4以上の個体が再生産に参加することを報告しているが、本研究では依田ほか(2004)の基準に基づいてGSIを次の三つの段階(未成熟期・発達期・産卵期)に分けた。全ての年代で産卵盛期とみられる2~5月において、それぞれの年代および銘柄ごとに成熟段階の割合を求めたところ(Table 3)、銘柄「小」では発達期以上の段階の個体は少なく、銘柄「大」ではほとんどの個体が発達期以上であることが分かった。銘柄「中」では、1970年代において他の年代と比較して、発達期以上の段階の割合が高い傾向にあった。このことは、資源が減少期であった1970年代の1+魚が、他の年代に比べて産卵に参加する割合が高いことを意味する。

森本(1998)はマイワシの成熟開始年齢について調べ、資源量が小さくなったときに、肥満度が増加し、成熟年齢が下がることを報告した。本研究では、資源量が最も多かったと考えられる1960年代は最も肥満度が低く、成熟開始年齢が高いということは一致した。しかしながら、最も資源量が小さいと考えられる1970年代より、やや増加した1990年代のほうが肥満度が高く、1970年代のほうが若齢で産卵する個体の割合が高いということは、マイワシの例とは異なる。マアジの肥満度が1990年代に高くなったことを合理的に説明できる資料は現在ない。今後はマアジだけではなく、他の競合種の長期的な生物特性の変化と資源量の変動との関係を注意深く観察していく必要がある。

謝 辞

本研究をまとめるにあたり、長年西海区水産研究所でマアジのデータを収集していただいた方々全員に感謝を申し上げます。また、日本海区水産研究所の森本晴之氏には有意義な意見をいただいた。個々に記して感謝申し上げます。本研究は水産庁「我が国周辺水域漁業資源調査」とフロンティ

ア研究「FRECS」の予算の一部を用いて行われた。

引用文献

- Cushing, D. H. (1996) Towards a science of recruitment in fish populations. (Kinne, O. (eds.), Excellence in Ecology, 7), Ecology Institute, Luhe, pp. 1-175.
- Finney, B. P., Eaves, I. G., Douglas, M. S. and Smol, J. P. (2002) Fisheries productivity in the northeastern Pacific ocean over the past 2,200 years. *Nature*, **416**, 729-733.
- 檜山義明(2002)平成14年マアジ対馬暖流系群の資源評価。(水産庁増殖推進部編集, 我が国周辺水域の漁業資源評価), 23-37.
- 堀田秀之・中嶋純子(1971)西日本海域におけるマアジの群構造に関する研究—IV. 形態的形質からの解析, *西海水研報*, **38**, 123-129.
- 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, *日本研研報*, **9**, 1-227.
- 貞子 渺(1977)マアジ資源(日本水産学会編, イワシ・アジ・サバまき網漁業), 恒星社厚生閣, 東京, pp. 61-73.
- 松浦修平(1993)マイワシ産卵親魚の成熟状況からみた資源動態モニタリング, *水産海洋研究*, **57**, 35-42.
- 水田浩二・山本憲一・末廣喜彦(2001)五島灘周辺海域における近年のマアジの生物特性と加入変動, *西海ブロック漁海況調査研報*, **9**, 39-44.
- Morimoto, H. (1996) Effects of maternal nutritional conditions on number, size and lipid content of hydrated eggs in the Japanese sardine from Tosa Bay, southwestern Japan. (Watanabe, Y., Yamashita, Y. and Oozeki, Y. (eds.), Survival strategies in early life stages of marine resources), Balkema, Rotterdam, pp. 3-12.
- 森本晴之(1998)成熟(渡邊良朗・和田時夫編, マイワシの資源変動と生態変化), 恒星社厚生閣, 東京, pp. 45-53.
- 中嶋純子(1982)西日本海域におけるマアジの成長と年齢について, *西海水研報*, **57**, 47-57.
- 落合 明(1965)マアジ(松原喜代松・落合明編, 魚類学(下)), 水産学全集19, 恒星社厚生閣, 東京, pp. 721-730.
- 大下誠二(2000)東シナ海におけるマアジの成熟特性に関する研究, *西海ブロック漁海況調査研報*, **8**, 27-33.
- 上原伸二・三谷卓美・石田 実・阪地英男(2002)平成14年マアジ太平洋系群の資源評価。(水産庁増殖推進部編集, 我が国周辺水域の漁業資源評価), 11-22.
- Watanabe, Y., Zenitani, H. and Kimura, R. (1995) Population decline of the Japanese sardine *Sardinops melanostictus* owing to recruitment failures. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **52**, 1609-1616.
- 依田真里・大下誠二・檜山義明(2004)漁獲統計と生物測定によるマアジ産卵場の推定, *水産海洋研究*, **68**, 20-26.
- Zhang, C. I. and Lee, J. B. (2001) Stock assessment and management implications of horse mackerel (*Trachurus japonicus*) in Korean waters, based on the relationships between recruitment and the ocean environment. *Prog. Oceanogr.*, **49**, 513-537.