

加入量あたり産卵資源量解析による マサバ太平洋系群の資源管理

和田時夫¹⁾, 佐藤千夏子¹⁾, 松宮義晴²⁾

Fisheries Management for the Pacific Stock of Chub Mackerel, *Scomber japonicus*, Based on Spawning per Recruit Analysis

Tokio WADA¹⁾ Chikako SATO¹⁾, and Yoshiharu MASTUMIYA²⁾

Abstract

For the persistence of a fish population, fishing should not reduce the spawning biomass per recruit (SPR) below a threshold level that is necessary for replacement. If we can adjust SPR as a reciprocal of the recruits per unit of spawning biomass (RPS) estimated from spawning-recruitment relationship, successive generations of the population will replace each other on average. The abundance of chub mackerel (*Scomber japonicus*) stock in the Pacific waters off northern Japan has decreased throughout the 1980's and in a low level at present without any fishing regulation. We simulated the changes in annual biomass and catch from 1980 to 1994 under 20 to 60%SPR conditions, and compared with those under actual fishing conditions. In the case of 40%SPR, the simulated biomass on 1994 was four times of actual value, and the average of annual catch was almost same as actual catch. 40%SPR would be appropriate as a conservative threshold level for replacement and also acceptable as a target of the fisheries management for the stock. Under 20%SPR condition, the stock almost collapsed by 1989. It was suggested that 20%SPR was not sufficient for replacement of the stock. On the other hand, 60%SPR was the most effective for maintaining the stock abundance. Under this condition, however, annual catch was controlled in a low level even in case that the stock abundance was high, therefore 60%SPR would be inadequate as a target reference point for utilization of the stock.

はじめに

マイワシやマサバをはじめとする浮魚類は加入量変動が激しく、漁業規制による資源管理の効果は低いとの考え方がある。実際、マイワシ太平洋系群における1988年から1991年にかけての連続した加入量の激減は、親魚資源量の水準が高く産卵量も多かった段階で起こっており乱獲とは無縁と考えられている (WATANABE

et al. 1995)。しかし、加入量変動が激しい浮魚類であっても、次世代の加入を省みずに親魚を大量に漁獲してしまえば「永続的に効率よく利用する」という水産資源の管理目標は実現できない。資源量が低水準にある場合には、高度に発達した現在の漁業に何らかの規制を加えなければ、簡単に資源を崩壊させる危険性がある。

資源管理の具体的目標や乱獲防止の目安を決めるための生物学的資源管理基準 (Biological Reference Point, BRP) としては、これまで成長・生残モデルによる加入量あたり漁獲量 (Yield per Recruit, YPR) に基づく $F_{0.1}$ や F_{max} , 余剰生産モデルに基づく F_{msy} などが用いられてきた。YPR に基づく資源管理は、毎年の加入量が一定である定常状態を前提としており、

1996年9月30日受理

1) 中央水産研究所 National Research Institute of Fisheries Science, 2-12-4, Fukuura, Kanazawa-ku, Yokohama, 236 Japan.

2) 東京大学海洋研究所 Ocean Research Institute, University of Tokyo, 1-15-1, Minamidai, Nakano-ku, Tokyo, 164 Japan.

加入量あたりの漁獲金額の最大化が目的である。再生産過程における密度効果が考慮されていないため、現実起こりうる加入量変動の結果として資源維持に必要な親魚資源量を確保できず資源の崩壊を招く危険性がある。 F_{msy} も資源が定常状態にあることが前提であり再生産関係の変動は考慮されていない。そこで近年、再生産関係に基礎をおく管理基準として、加入量あたり産卵資源量 (Spawning per Recruit, SPR) に基づいた漁獲係数 F の設定が注目されている。SPR の概念は YPR の概念を発展させたもので、加入資源の有効利用をはかりながら加入量あたりの親魚資源量 (産卵量) の確保を考慮することにより、加入乱獲の回避を目指す考え方である (松宮 1996 a)。

我が国周辺海域のマサバ資源は、産卵場や分布・回遊範囲に基づいて、太平洋、四国、対馬暖流南方、対馬暖流北方の4系群に分けられている (渡部 1970)。このうち、太平洋系群は潮岬から千島列島南部に分布し、主たる産卵場は伊豆諸島海域である。日本によるマサバ太平洋系群の漁獲量は、1978年に130万トン記録したのを最高に、その後減少し、1990~1992年には1~2万トンにまで落ち込んだ。1993年には、1992年級群の加入が良好であったため漁獲量は35万トンにまで回復したが、1994年には再び14万トンに減少した。

マサバ太平洋系群に対する主要な漁業は、成魚と未成魚を対象とするまき網漁業と、成魚を対象とする火光利用さば漁業 (棒受け網, はね釣り, たもすくい) である。近年は漁獲物中に占める未成魚の割合が増加しており、資源量の減少にともなって加入資源を成魚になる以前にとり尽くす傾向が顕著になっている (佐藤・和田 1995)。資源の低水準期にも特に未成魚を対象に過度な漁獲を続けることは、マサバ資源の維持と回復にとって問題であることが指摘されてきた (Matsuda *et al.* 1992, Matsuda *et al.* 1994, 松田 1995)。しかし、これまで、マサバ漁業に対して漁獲量規制などの具体的な管理措置は実行されていない。そこで、加入あたり産卵資源量の概念に基づいてマサバ太平洋系群の資源管理基準を設定し、シミュレーションによってその効果を検討した。

加入量あたり産卵資源量 (SPR) に基づく資源管理

1. 概念

余剰生産モデルや成長・生残モデルが SPR モデルといくつかの接点を持つことは、以前から示唆されてきた。しかし、SPR が資源管理の理念として具体的

に登場するのは最近になってからである。BEVERTON and HOLT (1957) は、成長・生残モデルの漁獲係数と漁獲開始年齢が SPR に与える影響の評価にも利用できることを指摘した。土井 (1973) は、適正な漁獲係数を見積もる方法として、成熟年齢以降の累積親魚資源尾数を用い、この値が漁獲が行われない場合 ($F=0$) の値の50%以上であれば、資源は良好な状態にあり、30~50%の間にあるとき最大持続生産量 (MSY) を達成する水準の近傍にあるとした。

資源管理の基準としての SPR の概念は以下のように整理される (SISSEWINNE and SHEPHARD 1987, MACE and SISSEWINNE 1993, 松宮 1996 a, 松宮 1996 b)。魚類の生活史は、産卵→加入→成熟→産卵の過程で構成される。漁獲対象資源へ加入してから寿命により死亡するまでの期間、漁獲による間引きが行われる。産卵資源量 (重量, S) と加入尾数 (R) の間で再生産関係を考える。一般的に産卵資源量は産卵量に比例するとの仮定のもとに、産卵資源量あたり加入尾数 (R/S ; Recruit per Spawning, RPS) は、ある年級における卵から親魚への生残率 (再生産成功指数) である。一方 SPR は、ある年級の加入尾数に対するその年級の生涯にわたる産卵資源量 (S') であり、その年級の加入年齢時の繁殖価に等しい。したがって、

$$\begin{aligned} S \times RPS &= R \\ R \times SPR &= S' \end{aligned} \quad (1)$$

である。RPS の変化は自然要因に拠っており人為的には調節できないが、SPR は加入以後の漁獲を通じて調節可能である。そこで、漁獲係数 F と SPR の関係に基づいて、SPR を RPS の逆数、すなわち、

$$RPS \times SPR = 1 \quad (2)$$

になるように F を調節すれば、 $S=S'$ となり、資源は増えも減りもしない。 $S' < S$ の状態が加入乱獲である。 S に対する R のプロットにおいて、プロットの50%が上、50%が下に来るような原点を通る直線の傾きはその資源の RPS の中央値である。この直線の傾きの逆数として導かれる SPR および、それに対応する漁獲係数 (F_{med} ; Jacobsen 1992) は、長期にわたって資源を安定させ、持続的に最大の生産量を上げるための資源管理目標 (必要な産卵資源量の目安) となる。SPR による資源管理は、直感的には再生産関係が良好なときには漁獲圧を強めても資源の維持には差し支えないが、不良なときには産卵資源量を確保して一定

の加入量を補償する必要があるという考え方である。

2. SPR の計算法

PRAGER *et al.* (1987) と GABRIEL *et al.* (1989) は、親魚 1 尾あたりの産卵量が体重に比例するとの仮定のもとで SPR を以下のように定義した。

$$SPR = \sum_{t=t_r}^{t_{max}} f_{rt} N_t W_t \quad (3)$$

MACE (1994) は同様の仮定のもとに、ある年齢での漁獲対象資源への一括加入と産卵期間が長期にわたる場合の SPR の近似式として以下を示した。

$$\begin{aligned} SPR &= (1/N_{t_r}) \int_{t_m}^{t_{max}} N_t W_t dt \\ &= (1 - e^{-(F+M)}) / (F+M) \sum_{t=t_m}^{t_{max}} \exp \\ &\quad \{ -(F+M)(t-t_r) \} W_t \end{aligned} \quad (4)$$

ただし、 $N_t = N_{t_r} \exp \{ -(F+M)(t-t_r) \}$ 。

ここで、 N_t : t 歳魚の資源尾数、 W_t : t 歳魚の体重、 t_r : 加入年齢、 t_m : 成熟年齢、 t_{max} : 最高年齢、 f_{rt} : t 歳における成熟割合、 F : 漁獲係数、 M : 自然死亡係数、である。 $t=t_r=t_m$ のとき、 $N_t=1$ として SPR と加入量あたり資源量 (Biomass per Recruit, BPR) が等しくなる。したがって加入量あたり漁獲量 YPR は、

$$YPR = SPR \cdot F \quad (5)$$

である。

漁獲対象資源への加入がある年齢範囲で逐次的に行われ、産卵が 1 年のある時期に集中して行われる場合の SPR は、(3) 式の N_t を、

$$N_t = N_{t-1} \exp[-\{(p_{t-1} + c p_t)F + (1+d)M\}] \quad (6)$$

として計算できる (GABRIEL *et al.* 1989)。ここで、 p_t : t 歳魚での資源への加入割合、 c : 年の初めから産卵期までの間に漁獲係数がかかる割合、 d : 年の初めから産卵期までの間に自然死亡係数がかかる割合、 F : 完全加入年齢における漁獲係数である。加入開始年齢での資源尾数 (N_t) を 1 として加入開始年齢における資源 1 尾あたりの産卵資源量が計算される。

産卵資源量 S と加入尾数 R の間に密度依存型の再生産関係が成立する場合には、資源を崩壊させる SPR の水準およびそれに対応する F の値を理論的に決定することができる (GOODYEAR 1993, MACE 1994)。原

点を通る直線と再生産曲線の交点は、ある漁獲係数 F で漁獲が行われるときの関係の平衡点を示す。直線の傾斜は、そのときの F に対応する SPR の逆数である。したがって、処女資源の加入尾数 R_0 と産卵資源量 S_0 は、再生産曲線と、原点を通り $F=0$ のときの SPR ($SPR_{F=0}$) の逆数を傾きとする直線の交点で与えられる。(3) 式から明らかなように、 F の増加につれて SPR は小さくなるから、原点を通る直線の傾きは F が増加するにつれて大きくなる。再生産曲線の原点における接線を考えると、この接線は原点以外には曲線との交点 (= 平衡点) をもたないから、その傾きの逆数として与えられる SPR 以下では資源は崩壊することになる。このときの SPR を SPR_{τ} とよぶ。 SPR_{τ} は、密度依存型の再生産関係として Ricker 型の再生産モデル、 $R = \alpha S \exp(-\beta S)$ と、Beverton-Holt 型の再生産モデル、 $R = \alpha / (\beta + 1/S)$ を考える場合には、どちらも

$$SPR_{\tau} = 1/\alpha \quad (7)$$

で計算される。 SPR_{τ} と $SPR_{F=0}$ の比 ($SPR_{\tau} / SPR_{F=0}$) を絶滅係数 τ とよび、資源の乱獲に対する抵抗性の目安である。 SPR_{τ} に対応する漁獲係数 F_{τ} は、それ以上の漁獲圧では資源が崩壊するという閾値である。 $SPR_{F=0}$ を 100 としたときの SPR の相対値が % SPR で、資源管理のため確保すべき親魚量を設定する場合の指標となる。対応する F の値は $F_{\%SPR}$ と表現される。

再生産動向と SPR に基づく資源診断

1. 資料と方法

コホート解析: マサバ太平洋系群の資源動向と再生産関係を検討するため、1970~1995年の年齢別漁獲尾数と年齢別平均体重のデータに基づき、POPE (1972) の近似式によるコホート解析を行い、年別年齢別資源尾数、年別年齢別資源重量、年別年齢別漁獲係数、および年別漁獲率を計算した。年齢別漁獲尾数のうち 1970~1989年は小滝 (1991) に従った。1990~1995年については、漁海況予報事業などを通じて各県水産試験場により収集された漁業種別漁獲量と体長組成あるいは年齢組成データに基づき、中央水産研究所で系群全体の値を計算した。年齢範囲は 1~7 歳とし 8 歳以上は 7 歳に含めた。コホート解析にあたっては、6 歳と 7 歳は linking cohort (PRAGER and MACCALL 1988) として同じ漁獲係数になるよう調節した。年齢別体重は、近年の漁獲物の平均的な値を使用した。自

Table 1. Body weight, natural mortality coefficient, rate of maturity, and rate of recruitment by age of the Pacific stock of chub mackerel.

Age	Body Weight (g)	Natural Mortality Coefficient	Rate of Maturity	Rate of Recruitment
1	252	0.4	0.0	0.25
2	434	0.4	0.2	0.44
3	610	0.4	1.0	0.62
4	672	0.4	1.0	0.79
5	811	0.4	1.0	1.00
6	912	0.4	1.0	1.00
7	1,084	0.4	1.0	1.00

然死亡係数 M は、年および年齢にかかわらず一定と仮定し、既往の研究における使用例（本間ほか 1987, 小滝1991）に準拠し 0.4 を用いた。年別漁獲率は、年別資源重量を年別漁獲重量で除して求めたが、各年の漁獲重量としては、年齢別漁獲尾数に年齢別平均体重を乗じた年齢別漁獲重量の総和を用いた。

SPR の計算と S-RPS 関係の分析： マサバ太平洋系群では、加入は 1 歳魚以降逐次的に行われる。そこで、コホート解析の結果得られる年別年齢別の F の値に基づき、1970~1995年の平均的な年齢別の資源への加入率を計算した。マサバ太平洋系群の実際の産卵期は 3 月から 6 月に及ぶ（渡部 1970）が、この報告では産卵は年の初めに起こると仮定した。渡部（1970）によれば、成熟体長は尾又長 29cm であり、2 歳魚の 25.1%、3 歳魚の 94.2%、4 歳魚以上では 100% がこのサイズに達する。ここでは、年齢別の成熟率を、2 歳で 20%、3 歳以上で 100% と仮定した。これらの年齢別加入率と年齢別成熟率および年齢別体重を用いて、 $M=0.4$ の下で (3) 式により完全加入年齢での F に対する SPR の値、あるいは SPR に対応する F の値を計算した。

コホート解析による年齢別資源尾数と年齢別成熟率から、 t 年の産卵資源量 (S_t) を計算し、加入尾数 (R_t) としては $t+1$ 年の 1 歳魚資源尾数を採用した。毎年の産卵資源量あたり加入尾数 (R_t/S_t ; RPS_t) を計算し、 $SPR_{F=0}$ の値に基づいて (3) 式の関係を満たす % SPR_t を計算した。

検討の対象とした 1970~1995 年を 3 つの期間にわけ、 $\ln(R_t/S_t)$ と S_t 関係に回帰直線をあてはめて Ricker 型の再生産式を求めた。3 つの期間のそれぞれについて、再生産式のパラメータ α から (7) 式により SPR_{τ} を計算し、(3) および (6) 式に基づく SPR と F の関係から F_{τ} (年あたり漁獲係数) を求めた。

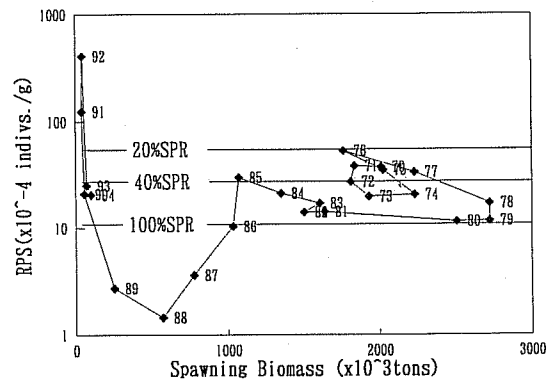


Fig. 1 Relationships between spawning biomass and number of recruits per spawning biomass (RPS) of the Pacific stock of chub mackerel from 1970 to 1994. Number of recruits is the stock abundance in number at 1-yr old of the year-class calculated by cohort analysis.

2. 結果

資源動向： Table 1 にコホート解析に使用した年齢別平均体重、自然死亡係数、および年齢別成熟率と年齢別加入率を示した。完全加入年齢は 5 歳であった。コホート解析により計算された毎年の資源重量と加入尾数を、漁獲量および漁獲率とあわせて Table 2 に示した。資源重量は、1970年代には 450~650 万トンの高い水準を示した。1970年代末からは減少に転じ 1987~1989 年にかけての著しい加入量の減少により 1991 年には 8 万トンにまで落ち込んだ。その後 1992 年級の加入が極めて良好で資源量は 1993 年には 66 万トンにまで回復したが、1993 および 1994 年級の加入量は低水準に留まり、1995 年の資源量は再び 12 万トンに落ち込んだ。漁獲利用率は、1985 年までは 0.12~0.32 の範囲で比較的安定した水準にあった。しかし、1986~1989 年および 1993 年以降は、0.38~0.62 であり、資源の減少に対

Table 2. Annual changes in stock biomass and number of recruits calculated by cohort analysis, catch, and rate of exploitation of the Pacific stock of chub mackerel from 1970 to 1995.

Year	Stock Biomass (10 ³ tons)	Recruitment (10 ⁶)	Catch (10 ³ tons)	Rate of Exploitation
1970	4,453	74,419	1,146	0.26
1971	4,787	69,754	1,207	0.25
1972	5,089	48,886	1,469	0.29
1973	4,535	38,029	900	0.20
1974	4,244	45,854	957	0.23
1975	4,040	70,657	982	0.24
1976	4,510	92,473	553	0.12
1977	6,100	73,928	1,162	0.19
1978	6,523	46,457	1,796	0.28
1979	5,397	31,781	1,468	0.27
1980	4,109	28,741	1,333	0.32
1981	3,015	23,275	596	0.20
1982	2,735	21,170	329	0.12
1983	2,645	27,336	511	0.19
1984	2,521	28,443	675	0.27
1985	2,297	31,732	511	0.22
1986	2,387	10,628	917	0.38
1987	1,484	2,779	576	0.39
1988	787	830	363	0.46
1989	316	682	196	0.62
1990	87	1,195	23	0.26
1991	83	5,129	6	0.07
1992	201	18,757	21	0.11
1993	662	1,792	364	0.55
1994	276	2,053	172	0.62
1995	118		55	0.47

し漁獲努力量の削減が遅れたことにより結果的に漁獲圧が強まったこと、1992年級に対し1歳魚の段階から漁獲が集中したことを示した。

再生産関係の動向： Fig.1 に、 S_t に対する RPS_t のプロットと20, 40, および100% SPR 水準を示した。SPR_{F=0} は 920.2 g/尾であった。1970年代には加入量水準が比較的高く RPS_t も $12\sim 52 \times 10^{-4}$ 尾/g の範囲にあり、資源を維持するために必要な産卵資源量の水準は概ね20~30% SPR であった。1980年代には産卵資源量が減少するにもかかわらず加入量が減少し RPS_t も $2\sim 30 \times 10^{-4}$ 尾/g に低下した。特に1987~1989年にかけては著しく低く、資源維持に必要な産卵資源量水準は300~700% SPR に達しており、仮に漁獲を全面的に停止しても必要な産卵資源量を確保できないほど生活史初期の生残が悪かったことが示唆された。1990年以降は産卵資源量は低水準にとどまっているも

の RPS_t は回復し、1991, 1992年には、それぞれ125 および 412×10^{-4} 尾/g で、9 および 3% SPR_t の水準に達した。しかし、1993, 1994年には RPS_t は再び $20\sim 25 \times 10^{-4}$ 尾/g に低下し40% SPR 前後の水準にとどまった。

S_t - RPS_t プロットから、再生産関係を1970~1980年, 1981~1985年, 1986~1994年の3つの期間に区分し、それぞれ Ricker 型の再生産式をあてはめた。ln (R/S) と S 関係への回帰直線のあてはめは、1970~1980年と1981~1985年では、それぞれ1%および5%水準で統計的に有意であった。1986~1994年では、Fig.1 から明らかなように再生産関係は年により大きく変動し、5%水準で有意な結果は得られなかった。1986~1994年も含めて、得られた回帰直線から Ricker 型の再生産式 $R = \alpha S \exp(-\beta S)$ を求めると、S : 産卵資源量 (10³トン) R : 加入尾数 (10⁶尾) として、

Table 3. SPR_t , ratio of the SPR_t to $SPR_{F=0}$ (%SPR), and F_t with the range and average of actual F value at the maximum age for the Pacific stock of chub mackerel by period. SPR_t and F_t were calculated by eqs. (7) and (3) in the text, respectively, based on the Ricker type stock-recruitment equations (eq. (8)). Actual F values were based on the cohort analysis. $SPR_{F=0}$ is 920.2g/recruits.

Period	SPR_t	% SPR	F_t	F at maximum age		
				Max.	Min.	Average
1970-1980	34.3	3.7	4.34	1.67	0.35	0.85
1981-1985	90.3	9.8	2.47	1.23	0.40	0.64
1986-1994	241.2	26.2	1.10	4.35	0.63	1.73

1970-1980年: $R=291.3S \exp(-0.00114S)$
 1981-1985年: $R=110.7S \exp(-0.00125S)$ (8)
 1986-1994年: $R=41.5S \exp(-0.00285S)$

であった。Table 3に、再生産式のパラメータ α から年代別に計算した SPR_t , % SPR, F_t , およびコホート解析による最高年齢 (7歳) での F の値 (F_7) を示した。 α が年代とともに大きく減少するのにもない、 SPR_t と % SPR は増加し F_t は減少した。 F_t と F_7 を比較すると、1970~1980年および1981~1985年では、 F_t が F_7 を大きく上回った。しかし、1986~1994年では、年によっては F_7 が F_t を大きく上回っており、資源の再生産能力を大幅に上回る漁獲強度が加えられたことが示唆された。

SPR による管理効果の検討

1. 方法

資源管理基準として20~60%まで10%きざみの% SPR 水準を採用し、それぞれに対応する年あたり漁獲係数として $F_{20\%SPR}$ (1.43), $F_{30\%SPR}$ (0.96), $F_{40\%SPR}$ (0.67), $F_{50\%SPR}$ (0.48), および $F_{60\%SPR}$ (0.34) のもとの毎年の資源量と漁獲量を計算し、コホート解析により計算された実際の資源量と漁獲量の経年変化と比較した。1980年を起点として1994年まで、年齢別の体重、成熟割合、および加入割合が Table 1 の値に従うと仮定してシミュレーションした。先に述べたように、マサバ太平洋系群の再生産関係には Ricker 型の再生産式のあてはめが有意であり、産卵資源量あたり加入量 (RPS) が密度依存的に変化することが示された。そこで、管理の結果、産卵資源量が変化することによる密度効果を考慮して、 t 年における管理基準 i のもとの $RPS_{t,i}$ と加入量 $R_{t,i}$ を、

$$RPS_{t,i} = \exp[\ln(R_{t,o}/S_{t,o}) + (S_{t,i} - S_{t,o})\beta] \quad (9)$$

$$R_{t,i} = RPS_{t,i} S_{t,i} \quad (10)$$

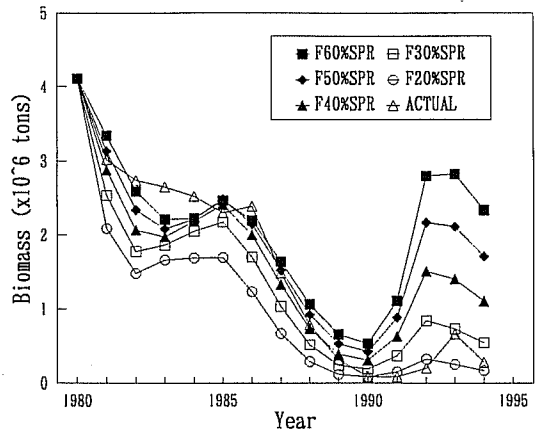


Fig. 2 Annual changes in simulated stock biomass of the Pacific stock of chub mackerel under six different targets of the fisheries management, $F_{20\%SPR}$, $F_{30\%SPR}$, $F_{40\%SPR}$, $F_{50\%SPR}$, $F_{60\%SPR}$, and actual from 1980 to 1994.

で計算した。ここで、 $S_{t,o}$: コホート解析結果に基づく t 年の親魚資源量, $R_{t,o}$: コホート解析結果に基づく $t+1$ 年の1歳魚資源尾数, β : Ricker型の再生産式のパラメータである。具体的な Ricker型再生産式の β の値としては、1970~1980年 (-0.00114) および1981~1985年 (-0.00125) の平均値である -0.00120 を用いた (式 (8) を参照)。

2. シミュレーション結果

5つの管理基準の下での資源量と漁獲量の経年変化を、コホート解析による実際の資源量と漁獲量の変化とあわせて Fig. 2, 3 に示した。資源量と漁獲量は、1980年代を通じて RPS が低下する傾向にあるため、いずれの管理基準の場合も、1980年以降はほぼ一貫して減少し1990年に最低となった。1991年以降は増加に転じたが1993年以降は再び減少した。

各基準の間での管理効果を比較するため、シミュレ-

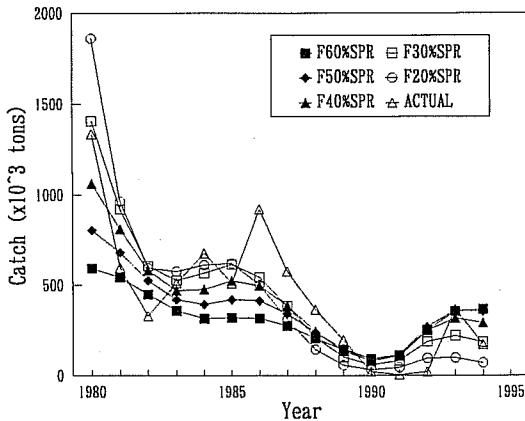


Fig. 3 Annual changes in simulated catch from the Pacific stock of chub mackerel under six different targets of the fisheries management, $F_{20\%SPR}$, $F_{30\%SPR}$, $F_{40\%SPR}$, $F_{50\%SPR}$, $F_{60\%SPR}$, and actual from 1980 to 1994.

シ ョ ン 期 間 中 の 最 小 資 源 量 と 最 終 (1994年) 資 源 量, 漁 獲 量 の 平 均 値 と 変 動 係 数, お よ び 漁 獲 率 の 平 均 値 を 検 討 し た (Table 4). 最 小 資 源 量 お よ び 最 終 資 源 量 は, $F_{20\%SPR}$ で 実 況 を 下 回 る の を 除 い て, い ず れ も 実 況 を 2 ~ 8 倍 上 回 っ た. 平 均 漁 獲 量 は, $F_{20\%SPR} \sim F_{40\%SPR}$ で は 実 況 と 同 じ か わ ず か に 下 回 る 水 準 を 示 し た が, $F_{50\%SPR}$ と $F_{60\%SPR}$ で は, そ れ ぞ れ 実 況 の 84, 71% に と ど ま っ た. 漁 獲 量 の 変 動 係 数 と 平 均 漁 獲 率 は, $F_{20\%SPR}$ で 実 況 を 上 回 り, $F_{30\%SPR}$ で 実 況 と ほ ぼ 等 し く, $F_{40\%SPR}$ 以 下 で は, 実 況 を 20 ~ 50% 下 回 っ た.

議 論

密 度 依 存 型 の 再 生 産 関 係 が 定 式 化 で き る 場 合, 絶 滅 防 止 の 閾 値 SPR_{τ} は, 再 生 産 曲 線 の 原 点 で の 接 線 の 傾 斜 の 逆 数 と し て 定 義 さ れ る. し か し な が ら SPR_{τ} を 目 標 と し て 管 理 を 行 っ た 場 合, 資 源 は 絶 滅 は し な い も の

の 限 り な く 低 い 水 準 に 落 ち 込 む こ と に な り, 必 ず し も 現 実 的 で は な い. ま た, こ こ で 示 し た マ サ バ の よ う に 変 動 が 激 し い 浮 魚 資 源 で は, 年 代 に よ っ て 再 生 産 関 係 が 大 き く 異 な る 事 例 が 頻 繁 に 観 察 さ れ て い る (渡 部 1983). し た が っ て, 長 期 間 に わ た っ て 一 つ の 再 生 産 式 を あ て は め る こ と は 困 難 で あ る. そ こ で, 乱 獲 防 止 と で き る だ け 高 い 漁 業 生 産 を 達 成 す る た め の よ り 現 実 的 な 管 理 目 標 の 目 安 が 必 要 に な る.

MACE and SISSENWINE (1993) は, 再 生 産 関 係 の デ ー タ が 利 用 可 能 で あ っ た ヨ ー ロ ッ パ と 北 米 の 27 魚 種 91 資 源 に つ い て RPS の 中 央 値 に 対 応 す る SPR 水 準 を 計 算 し た. 小 型 浮 魚 類 で は 40 ~ 60% SPR と 比 較 的 高 い 値 が 得 ら れ, 乱 獲 に 対 し て 弱 い こ と を 示 し た. さ ら に, 検 討 し た 資 源 の 8 割 で 30% SPR 以 下 で あ り, 乱 獲 防 止 の 保 守 的 な 基 準 と し て は 30% SPR が 妥 当 で あ る と し た. ま た, MACE (1994) は, 乱 獲 の 閾 値 と し て 広 く 受 け 入 れ ら れ て い る $F_{20\%SPR}$ は, $\tau > 0.2$ の 場 合 に は, F_{τ} を 上 回 る 場 合 が あ る の で 注 意 を 要 し, $F_{40\%SPR}$ で は, τ の 範 囲 が 0.005 ~ 0.2 程 度 で F_{msy} と 一 致 し, $\tau > 0.4$ ま で F_{τ} を 越 え る こ と が な か っ た の で, 情 報 が 少 な い 場 合 の 当 座 の BRP と し て 妥 当 で あ る と し た. 一 方, MYERS *et al.* (1994) は 利 用 可 能 な 魚 類 20 種 72 資 源 の 20 年 以 上 に わ た る 再 生 産 関 係 の 時 系 列 を 用 い, そ れ ぞ れ Beverton-Holt 型, Ricker 型, Shepherd 型 の 再 生 産 モ デ ル を あ て は め て, 再 生 産 関 係 維 持 に 必 要 な 産 卵 資 源 量 の 閾 値 に つ い て 検 討 し た. い ず れ の 再 生 産 モ デ ル に お い て も, 最 大 加 入 量 の 50% の 加 入 を 見 込 め る 産 卵 資 源 量 が, 低 水 準 期 の 資 源 量 デ ー タ し か 利 用 で き な い 場 合 で も 比 較 的 頑 健 で, 最 も 信 頼 で き る 基 準 で あ る と の 結 果 を 得 た. ま た, GOODYEAR (1993) は, 再 生 産 関 係 を 維 持 す る た め に 必 要 な SPR に つ い て 検 討 し, 再 生 産 関 係 が 不 明 な 場 合 の 閾 値 と し て $F_{20\%SPR}$ を 提 案 し た. CLARK (1991) は, 底 魚 を 対 象

Table 4. Comparisons of simulated results under the various F values as the target reference points in the fisheries management for the Pacific stock of chub mackerel from 1980 to 1994.

Target F	Stock Biomass		Catch (10^3 tons)		Average Rate of Exploitation
	Minimum (10^3 tons)	1994 (10^3 tons)	Average (10^3 tons)	Coefficient of Variation	
ACTUAL	83	276	440	0.79	0.32
$F_{20\%SPR}$	87	166	439	1.07	0.41
$F_{30\%SPR}$	190	547	441	0.80	0.32
$F_{40\%SPR}$	308	1099	415	0.62	0.25
$F_{50\%SPR}$	423	1709	371	0.51	0.20
$F_{60\%SPR}$	532	2337	313	0.45	0.15

に典型的な自然死亡係数と成長方程式の係数の値を仮定し, 想定される範囲で再生産関係を変化させた場合の親魚資源量と漁獲量の関係を検討した。その結果, 親魚資源量を漁獲がない場合の 20~60% に保てば MSY の 75% 以上の漁獲量が達成できること, この範囲に親魚資源量を維持するための漁獲係数としては $F_{35\%SPR}$ が最も妥当であることを示した。

ここで検討した 5 つの管理基準では, 資源量水準維持の観点からは, 30% SPR 以上で管理効果が認められた。一方, 平均漁獲量は, 最大であった 30% SPR においても実況とほぼ同じ水準であり, 平均漁獲量増加の観点からは管理効果は期待できなかった。漁獲量の年変動を押さえる観点からは, 40% SPR 以上で効果が認められた。以上から 5 つの基準の中では, 40% SPR が, 最終的な資源量を実況よりも十分高い水準に保ちながら, 平均漁獲量も実況に比べて遜色がなかったことから, 具体的な資源管理効果があり, 漁業者にとっても十分受け入れ可能な方策であると判断される。管理が成功した理由は, 漁獲係数を $F_{40\%SPR}$ で一定としたことで 1980 年代後半の資源減少期に漁獲圧が増加することを押さえ, 産卵親魚量をより高い水準に維持した結果, 1990 年代の再生産関係の回復を有効に利用して資源量水準を回復させることができたことにある。Fig. 1 から明らかなように, 40% SPR は 1970 年代の平均的な RPS に対応した親魚資源量の水準であり, $F_{40\%SPR}$ は, 1970 年代の F_{med} に対応する。1970~1995 年全体の S-RPS 関係 (Fig. 1) に基づいて F_{med} を求めると, ほぼ $F_{50\%SPR}$ となる。50% SPR では, 資源高水準期の漁獲量が抑制されるため平均漁獲量は実況および 40% SPR を下回るが, 資源量水準の維持についてはより高い効果がある。

20% SPR は, 資源高水準期の漁獲量確保の観点からは良いが, 再生産関係が悪い状況の下で資源量を維持するには大きすぎる値である考えられる。 $F_{20\%SPR}$ は GOODYEAR (1993) が提案した乱獲防止の閾値に相当する。年々の RPS (Fig. 1) に対応する % SPR がこれを上回るのは 1991 と 1992 年のみであり, マサバ太平洋系群の場合では, 良好な再生産関係が持続しない限りは資源の維持は難しいと考えられる水準である。また, 1986~1994 年では MACE (1994) が指摘したように F_{τ} を上回った。30% SPR は, 漁獲量最大化の観点からは検討した基準のうちで最善であり, 資源量維持の点でも一応の効果が認められた。しかし, 効果

は 40% SPR や 50% SPR に比べて小さく, 特に資源低水準期における再生産関係の大きな変動 (Fig. 1) を考慮すると, 十分な管理基準ではない。60% SPR は親魚資源保護の観点からは最も強い管理効果があり, 年々の漁獲量の変動も小さい。しかし, 資源高水準期の漁獲量が押さえられ, 資源の有効利用の観点からは問題がある。

マイワシ太平洋系群 (WATANABE *et al.* 1995) や, ここで示したマサバ太平洋系群のように, 再生産関係が大きく変動し, 数年間連続して著しい加入量の低下が起こるような浮魚資源を管理する上でのポイントは, 資源の高水準期には漁獲規制を緩めてできるだけ高い漁獲量を達成し, その一方で, 低水準期の資源量水準をできるだけ高い水準に維持して, 再生産関係の好転の機会を待つことである。MATUDA *et al.* (1992) は, 同じマサバ太平洋系群を対象に, 簡単な資源動態モデルを用いて毎年の産卵量と漁獲量の時系列から資源量と RPS の変化を再現し, 1975~1988 年について様々な資源管理方策を比較検討した。その結果, 管理終了時点での資源量と累積漁獲量の最大化の観点からは, 取り残し親魚資源量一定方策 (Constant Escapement Strategy, CES) か, 資源量がある水準を下回る場合に禁漁とし, それ以外は一定の漁獲率で漁獲する方策が, 本報で用いた漁獲率を一定とする方策 (Constant Harvest Rate Policy, CHR) よりも効果的であることを示した。しかし, 資源量が基準値を下回る 1981~1985 年には連続して禁漁が必要となった。

一方, FREDERICK and PETERMAN (1995) は, 資源量推定値に誤差があるとき, 平均漁獲量最大化の点で, CHR は CES に遜色なく, しかも CES のように資源量が基準値以下の場合に禁漁にする必要がなく, 管理方策としては実際的であるとした。 $F_{\%SPR}$ は CHR に属するが, 毎年の実際の RPS に基づいて $F_{\%SPR}$ の値を細かく調整することができれば, さらに良い結果が得られると期待される。しかし, 浮魚の場合には, 加入量変動の背景には地球規模での気候や海洋変動があるといわれており (LLUCH-BELDA *et al.* 1992, 川崎 1994 など), 実際に RPS を高い精度で予測することは難しい。再生産関係が変動し予測が困難なマサバ太平洋系群に対して, $F_{40\%SPR}$ や $F_{50\%SPR}$ は, 加入乱獲に陥るリスクを回避しながら出来るだけ高い生産をあげるための, 一つの有効な管理目標であると考えられる。

謝 辞

この報告をまとめるにあたり、九州大学理学部（現在、東京大学海洋研究所）松田裕之博士には、内容および表現に関し数々の貴重なご助言をいただいた。中央水産研究所生物生態部の岸田 達、赤嶺達郎、浅野謙治、木下貴裕の各氏には、マサバをはじめとする浮魚類の資源管理問題について色々ご議論いただいた。これらの方々には深く感謝する。

文 献

- BEVERTON, R. J. H. and S. H. HOLT (1957) On the dynamics of exploited fish populations. U.K. Min. Agric. Fish. food, Fish. Invest. (Ser. II), 19, 533p.
- CLARK, W. G. (1991) Groundfish exploitation rates based on life history parameters. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 48, 734-750.
- 土井長之 (1973) 東シナ海・黄海産マダいの適正漁獲係数を見積る簡便法. 日水誌, 39, 1-5.
- FREDERICK, S. W. and R. M. PETERMAN (1995) Choosing fisheries harvest policies: when does uncertainty matter? Can. J. Fish. Aquat. Sci., 52, 291-306.
- GABRIEL, W. L., M. P. SISSEWINNE, and W. J. OVERHOLTZ (1989) Analysis of spawning stock biomass per recruit: an example for Georges Bank haddock. North American J. Fish. Manage., 9, 383-391.
- GOODYEAR, C. P. (1993) Spawning stock biomass per recruit in fisheries management: foundation and current use. p.67-81. In S. J. Smith, J. J. Hunt and D. Rivard[ed.] Risk evaluation and biological reference points for fisheries management. Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci., 120.
- 本間 操, 佐藤祐二, 宇佐美修造 (1987) コホート解析によるマサバ太平洋系群の資源量推定. 東海水研報, 121, 1-11.
- Jakobsen, T. (1993) The behaviour of Flow, Fmed and Fhigh in response to variation in parameters used for their estimation. p. 119-125. In S. J. Smith, J. J. Hunt and D. Rivard[ed.] Risk evaluation and biological reference points for fisheries management. Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci., 120.
- 川崎 健 (1994) 浮魚生態系のレジーム・シフト (構造的転換) 問題の10年—FAO 専門家会議 (1983) から PICES 第3回年次会合 (1994) まで. 水産海洋研究, 58, 321-333.
- 小滝一三 (1991) 漁況の予測解析 (数値化) モデル: 太平洋系群マサバの解析モデル, 平成2年度長期予測高度化技術開発試験報告書, p. 81-100. 漁業情報サービスセンター.
- LLUCH-BELDA, D., R. A. SCHWARTLOSE, R. SERRA, R. PARRISH, T. KAWASAKI, D. HEDGECOCK, and R. J. M. C RAWFORD (1992) Sardine and anchovy regime fluctuations of abundance in four regions of the world oceans: a workshop report. Fish. Oceanogr. 1, 339-347.
- MACE, P. M. (1994) Relationships between common biological reference points used as thresholds and targets of fisheries management strategies. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 51, 110-122.
- MACE, P. M. and M. P. SISSEWINNE (1993) How much spawning per recruit is enough? p. 101-118. In S. J. Smith, J.J. Hunt and D. Rivard[ed.] Risk evaluation and biological reference points for fisheries management. Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci., 120.
- 松田裕之 (1995) 4. マサバ資源の再生産率の年変動と資源管理方策, 変動する資源の管理システムに関する数数学的検討. 水産海洋研究, 59, 77-81.
- MATSUDA, H., T. KISHIDA, and T. KIDACHI (1992) Optimal harvesting policy for chub mackerel (*Scomber japonicus*) in Japan under a fluctuating environment. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 49, 1796-1800.
- MATSUDA, H., I. MITANI, and K. ASANO (1994) Impact factors of purse seine net and dip net fisheries on a chub mackerel population. Res. Popul. Ecol., 36, 201-207.
- 松宮義晴 (1996 a) 水産資源管理概論 (水産研究叢書46), 日本水産資源保護協会, 東京, 76pp.
- 松宮義晴 (1996 b) 再生産情報を重視した水産資源管理の理論と実践. 水産資源管理談話会報, 16, 34-44. 日本鯨類研究所資源管理研究所.
- MYERS, R.A., A.A. ROSENBERG, P.M. MACE, N. BARROWMAN, and R. RESTREPO (1994) In search of thresholds for recruitment overfishing. ICES J. mar. Sci., 51, 191-205.
- POPE, J. G. (1972) An investigation of the accuracy of virtual population using cohort analysis. Res. Bull. Int. Comm Northwest. Atlant. Fish., 9, 65-74.
- PRAGER, M. H., J. F. O'BRIEN, and S. B. SAILA (1987) Using lifetime fecundity to compare management strategies: a case history for striped bass. North American J. Fish. manage., 7, 403-409.
- PRAGER, M. H. and A. D. MACCALL (1988) Sensitivities and variances of virtual population analysis as applied to the mackerel, *Scomber japonicus*, Can. J. Fish. Aquat. Sci., 45, 539-547.
- 佐藤千夏子, 和田時夫 (1995) マサバの資源状況と生物学的管理基準について, サバ長期漁況予測 (東北海区), 47, 147-151. 東北区水産研究所・中央水産研究所.
- SISSEWINNE, M.P. and J.G. SHEPHERD (1987) An alternative perspective on recruitment overfishing and biological reference points. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 44, 913-918.
- 渡部泰輔 (1970) マサバの発育初期における形態・生態ならびに資源変動に関する研究. 東海水研報, 62, 1-283.
- 渡部泰輔 (1983) 1. 卵数法, 9-29. 水産資源の解析と評価 (石井丈夫編), 恒星社厚生閣.
- WATANABE, Y., H. ZENITANI, and R. KIMURA (1995) Population decline of the Japanese sardine *Sardinops melanostictus* owing to recruitment failures. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 52, 1609-1616.