

カタクチイワシ漁獲量と資源量の短期予測法

和田時夫*・浅野謙治*・岡田行親*

Short-term Forecasting of Catch and Biomass of the Japanese anchovy, *Engraulis japonicus*

Tokio WADA*, Kenji ASANO*, and Yukichika OKADA*

Abstract

A simple time-dependent stock-production model was adapted to make short-term forecasts of the catch and exploitable biomass of the Japanese anchovy, *Engraulis japonicus*. Time series of actual landings and the rate of exploitation from 1978 to 1991 were used for the forecasts from 1982 to 1992. The rate of exploitation was calculated using the actual landings and stock biomass which was estimated from annual egg production data. Residuals of predicted values from actual landings or posterior estimates of biomass averaged 25% in yield in *status quo* condition for the rate of exploitation and 31% in biomass, respectively. The residuals were relatively larger in the cases of the actual landings and/or egg production changed markedly between two successive years.

1. はじめに

翌年あるいは翌々年の漁獲量と資源量を予測することは、漁業管理のため TAC (Total Allowable Catch) 等何らかの規制措置を講じる場合に不可欠である。また、漁業経営のための漁況予測の観点からも必要である。

通常、漁獲量および資源量の短期予測は、年齢別漁獲尾数の時系列と VPA (Virtual Population Analysis) 等の資源量評価手法に基づいて行われる。VPA によって現在の年齢別資源尾数と年齢別漁獲係数がわかれば、今後も現在の加入と漁獲の状況が続くとの前提のもとに、漁獲方程式により年級別に将来の漁獲尾数と資源尾数が計算できる。しかし、長期にわたる年齢別漁獲尾数の時系列が準備されているのは、経済的に重要であり長期間にわたって調査が行われている資源に限られる。

一方、SHEPHERD (1991) は、簡単な離散型の資源動態モデルに基づき、比較的短期間の漁獲量と加入量(指数)の時系列と漁獲利用率の推定値を用いて、1、

2年先の漁獲量と漁獲対象資源量を予測する方法を提案している。

カタクチイワシはわが国周辺に広く分布するが、漁業や資源の動向を検討する場合には産卵場や漁場の分布状態に基づいて、1) 本州中部(潮岬)以北の太平洋、2) 瀬戸内海を含む本州中部(潮岬)以南の太平洋、3) 東シナ海から日本海西部、および4) 日本海中部から北部、の4つの地理的系群に分けて取り扱われている(HAYASHI, 1961; 近藤, 1969など)。このうち、本州中部から北海道太平洋岸に分布する本州太平洋系群は、大小各種のまき網漁業や船びき網漁業の重要な漁獲対象であり、過去20年間の年間水揚げ量は3万から22万トンに達している。しかしながら、寿命はほぼ2~3年と短いこと、加えて産卵盛期が春から秋におよび、漁獲対象資源が発生時期が異なる多数のグループから構成されること(HAYASHI and KONDO, 1957; 船越, 1990)から、年齢別漁獲尾数の時系列は整備されていない。したがって特定の海域を対象とした資源量評価の事例(鉄, 1967)をのぞいては、系群全体を対象としたVPAや漁獲統計資料の解析による資源量推定は行われていない。

この研究では、漁獲量と産卵量の時系列を用いて SHEPHERD (1991) の示した資源動態モデルをカタク

1995年7月19日受理

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

チイワシ本州太平洋系群に適用し、漁獲量と資源量の短期予測を試みる。産卵量の時系列は加入量の指標としてではなく、産卵親魚資源量を経由して年々の資源量および漁獲利用率を推定することに用いる。

2. モデル

SHEPHERD (1991) による資源動態モデルと予測の手順は以下の通りである。一般に、 $t+1$ 年のはじめの資源量 B_{t+1} は、 t 年のはじめの資源量 B_t の生き残り、 t 年中の加入量 P_{t+1} (便宜上 t 年の終わり、すなわち $t+1$ 年のはじめに加入すると仮定し、添字は $t+1$ とする) の和として表される。すなわち、

$$B_{t+1} = \exp(G_t - Z_t) B_t + P_{t+1} \quad (1)$$

ここで、 G_t は t 年の体重の増加係数、 Z_t は t 年の全減少係数である。 G_t は引き続き 2 つの年齢の体重比を主要な漁獲対象年齢範囲にわたり平均した値の自然対数と定義する。また、

$$h_t = \exp(G_t - Z_t) \quad (2)$$

を重量ベースの生残率と定義する。したがって(1)式は、

$$B_{t+1} = h_t B_t + P_{t+1} \quad (3)$$

と書き換えられる。これは資源量の変化を離散的に記述した一種のプロダクションモデルである。 h_t と P_{t+1} 、および初期値としての B_t がわかれば、1年後の資源量が計算可能である。

t 年のはじめの資源量 B_t に対する漁獲利用率を E_t とすると、 t 年中の漁獲量 Y_t は、

$$Y_t = E_t B_t \quad (4)$$

である。(3)と(4)式から、 $t+1$ 年の漁獲量を予測する式は、

$$Y_{t+1} = (E_{t+1}/E_t)(h_t Y_t + E_t P_{t+1}) \quad (5a)$$

$$= (E_{t+1}/E_t) Y_{sq,t+1} \quad (5b)$$

である。ここで E_{t+1} は過去 3 年間の E_t の平均値として推定する。また $Y_{sq,t+1}$ は、

$$Y_{sq,t+1} = h_t Y_t + E_t P_{t+1} \quad (6)$$

と定義され、 $t+1$ 年の漁獲利用率が t 年と同じに保たれる場合に期待される漁獲量 (*status quo yield*) である。

t 年の加入量 P_{t+1} は事後的には、

$$P_{t+1} = (Y_{t+1}/E_{t+1}) - (h_t Y_t/E_t) \quad (7a)$$

$$= B_{t+1} - h_t B_t \quad (7b)$$

で計算できる。 P_{t+1} の予測値は事後的に計算された P_{t+1} の過去 3 年間の平均値とし、これにより(6)式から $Y_{sq,t+1}$ を計算する。さらに B_{t+1} は、事前には P_{t+1} の予測値を用いて(3)式により、あるいは、

$$B_{t+1} = Y_{sq,t+1}/E_t \quad (8)$$

として計算する。

t 年の重量ベースの自然死亡率を D_t とすると、

$$1 - h_t = E_t + D_t \quad (9)$$

である。したがって個体の成長パターンが変わらず D_t が一定の場合には $h_t + E_t$ は一定で、両者はトレードオフ (二律背反) の関係にある。

3. パラメーターの推定

1) 重量ベースの生残率

完全加入以降の年齢について年齢別漁獲重量のデータが利用できれば、直接に $\exp(G-Z)$ を推定可能である。しかし、カタクチイワシではこのデータは利用できない。ここでは、まず成長式と様々な Z の値から、年齢にともなう相対的な資源量の変化を計算した。ついで漁獲物の体長組成から推定される資源の年齢組成と一致する例を探し、その時の年齢別相対資源量から推定した。

成長式は、HAYASI and KONDO (1957) による、春季に発生するグループを対象とした式である、

$$L = 14.82 [1 - \exp\{-0.142(m + 0.623)\}] \quad (10)$$

を用い、体長-体重関係式としては、船越 (1990) による

$$W = 0.007396L^{3.112} \quad (11)$$

を用いた。ここで、 L は被鱗体長 (cm)、 W は体重 (g)、 m は発生からの経過月数である。計算された様々な Z に対する年齢別相対資源量の変化を Table 1 に示す。

本州中部での 1962~1986 年にわたる漁獲物の体長組成の月別変化 (船越, 1990) から判断すると、カタクチイワシの主要な漁獲体長は 5~12cm であり、漁獲物の大半は 0~1 年魚で占められ、2 年魚以上は少

Table 1. Changes in relative abundance at age and survival rate of Japanese anchovy under the various values of total mortality coefficient. Survival rate is calculated by equation (12). (see text)

Age	Total mortality coefficient			
	Z=3.0	Z=2.5	Z=2.0	Z=1.5
0	126,002	167,793	226,105	308,205
1	47,350	90,221	174,799	344,821
2	3,240	10,035	31,572	101,061
3	171	869	4,495	23,661
Survival Rate	0.29	0.38	0.49	0.62

ないと考えられる。そこで、Table 1 の相対資源量の変化のうち、実際の平均的な資源量変化パターンに最も近いものとして年あたり全減少係数 $Z=2.5$ の場合を採用した。このときの漁獲対象年齢を通じた生残率 h を、

$$h = (B_{r1} + B_{r2} + B_{r3}) / (B_{r0} + B_{r1} + B_{r2}) \quad (12)$$

で計算し、 $h=0.38$ を得た。ここで B_{ri} は年齢 i ($i=0\sim 3$) における相対資源量である。計算された h は、近年の平均的な漁獲パターン、すなわち E_i の平均値 E_{avg} に対応する平均値である。そこで、(9)式に基づき年々の E_i に対応する h_i を、

$$h_i = (0.38 + E_{avg}) - E_i \quad (13)$$

で計算した。

2) 資源量および漁獲利用率

カタクチイワシでは産卵期が春から秋におよび、その後の成長も発生時期によって異なるが、産卵親魚の大部分は1年魚およびそれ以上の年齢群から構成される(船越, 1990)。成熟雌1尾あたりの年間産卵量を r 、成熟雌1尾の体重を W_F 、性比を1:1、および t 年の総産卵量を R_t とすると、 t 年の産卵親魚量 B_{SPt} は、

$$B_{SPt} = 2(R_t / r) W_F 10^6 \quad (14)$$

である。 B_{SPt} が全て1年魚以上の年齢群で構成されると仮定し、Table 1 に示す $Z=2.5$ のときの年齢別相対資源量 B_{ri} に基づき、 t 年の資源量 B_t を、

$$B_t = B_{SPt} \{ (B_{r0} + B_{r1} + B_{r2} + B_{r3}) / (B_{r1} + B_{r2} + B_{r3}) \} \quad (15)$$

で計算した。さらに、漁獲利用率 E_t を、(4)式を変形して、

$$E_t = Y_t / B_t \quad (16)$$

により求めた。

具体的な r および W_F の値として、齋田(1992)の飼育実験に基づく研究から、それぞれ15万粒と12gを用いた。また、1978年以降計算されている太平洋側でのカタクチイワシ産卵量(森ほか, 1988; 菊地・小西, 1990; 石田・菊地, 1992; 銭谷ほか, 1995)のうち、潮岬以東の産卵量をカタクチイワシ太平洋系群に対応するものと仮定した。漁獲量は漁業・養殖業生産統計年報(農林水産省)に基づき、三重県から岩手県にいたる各都県のカタクチイワシ年間漁獲量、および北海道の太平洋側およびオホーツク海側の各支庁の年間漁獲量の合計値とした。

4. 予測結果および考察

1978~1991年の漁獲量と産卵量を用い、 $t-2$ から t 年までの3年間のデータから $t+1$ 年の資源量、加入量、および漁獲量を予測した。(13)式で h_t を計算する場合の E_{avg} として、1978~1991年の E_i の平均値0.08を用いた。計算にはパーソナルコンピュータ上の表計算ソフトウェアを用いた。予測結果を入力データである産卵量や実際の漁獲量、事後的に計算された漁獲利用率、生残率、資源量、および加入量とあわせてTable 2に示す。また、予測値の実測値あるいは事後の計算値からの残差(絶対値)の実測値等に対する割合(%)をTable 3に示す。

資源量と加入量の予測値は、産卵量が安定している時には事後の計算値とよく一致した。しかし、産卵量が前年に比べて大きく変化する1985, 1988, 1990年には、予測値は、事後の計算値に比べて資源量で53~113%、加入量で64~580%のずれを示した。

漁獲量の予測値は、実際の漁獲量および産卵量が大きく変化する1984, 1985, 1990年に実測値から大きくはずれた。 E_t の予測値として過去3年間の平均値を用いた場合には予測値の残差(%)は、3~120%の範囲にあり平均44%であった。これに対して、 E_t が前年のままに保たれると仮定した場合の漁獲量(status quo yield)では、残差(%)は1~66%、平均25%であり、よりよい予測値であった。この理由としては、事後的に計算される漁獲利用率は平均0.08であるが、突発的に高い値を示す年をのぞくと

Table 2. Time series of estimated biomass, production, and yields of Japanese anchovy as the results of forecasts from 1982 to 1992, and time series of input data of landings and egg production from 1978 to 1992. Estimated *status quo* yield is a predicted yield under the condition that the rate of exploitation is equal to that of the previous year. Rate of exploitation, survival rate, exploitable biomass, and production are posterior estimates based on the input data.

Year	Landings (ton)	Annual Egg Production (x10 ¹²)	Rate of Exploitation	Survival Rate	Estimated Exploitable Biomass (ton)	Exploitable Biomass (ton)	Production (ton)	Estimated Production (ton)	Estimated Status quo Yield (ton)	Estimated Yield (ton)
1978	31,441	314	0.17	0.29	189,321					
1979	41,701	734	0.09	0.37	442,553		386,906			
1980	50,864	1,065	0.08	0.38	642,124		480,251			
1981	32,253	868	0.06	0.40	523,346		278,833			
1982	29,738	986	0.05	0.41	594,492	590,483	386,006	381,997	36,391	46,268
1983	31,643	1,028	0.05	0.41	619,815	625,425	376,087	381,697	31,285	39,790
1984	68,060	1,077	0.10	0.36	649,359	600,448	395,887	346,975	30,654	32,565
1985	44,124	2,159	0.03	0.43	1,301,733	616,639	1,071,088	385,993	64,631	42,319
1986	52,487	1,978	0.04	0.42	1,192,602	1,169,027	637,929	614,354	39,626	73,945
1987	55,125	1,927	0.05	0.41	1,161,853	1,197,745	665,743	701,635	52,713	72,950
1988	54,645	988	0.09	0.37	595,698	1,270,914	116,371	791,586	60,299	53,104
1989	78,663	1,069	0.12	0.34	644,536	692,724	425,160	473,347	63,545	42,300
1990	224,799	2,824	0.13	0.33	1,702,684	620,248	1,484,860	402,424	75,699	54,008
1991	201,068	7,606	0.04	0.42	4,585,911	1,233,899	4,027,475	675,464	162,907	142,229
1992	175,857	5,559	0.05	0.41	3,351,706	3,887,616	1,443,255	1,979,165	170,451	386,062

Table 3. Percentage of residuals of predicted values of exploitable biomass, production, and yields of Japanese anchovy from actual values or posterior estimates from 1982 to 1992. S.D. means standard deviation.

Year	Estimated Exploitable Biomass	Estimated Production	Estimated Status quo Yield	Estimated Yield
1982	0.7	1.0	22.4	55.6
1983	0.9	1.5	1.1	25.7
1984	7.5	12.4	55.0	52.2
1985	52.6	64.0	46.5	4.1
1986	2.0	3.7	24.5	40.9
1987	3.1	5.4	4.4	32.3
1988	113.3	580.2	10.3	2.8
1989	7.5	11.3	19.2	46.2
1990	63.6	72.9	66.3	76.0
1991	73.1	83.2	19.0	29.3
1992	16.0	37.1	3.1	119.5
Average	30.9	79.3	24.7	44.1
S.D.	36.8	161.1	21.0	31.5

0.05~0.06 で比較的安定しているためであると推察される。

(3)と(5a)および(5b)式から明らかのように、この研究で用いたモデルは、資源量および漁獲量に関し、

それぞれの前年の値の一次回帰関数の形になっている。したがって、一般に寿命が長く多数の年級で構成されている資源では、このモデルはよい予測値を与えると期待される。一方、寿命が短く毎年の漁獲量の相当部分が新規加入量に依存しているような資源では予測精度は低下するであろう。また SHEPHERD (1991) によれば、何らかの加入量の指標が利用できるときに予測精度が向上するほか、 E_t と h_t はトレードオフの関係にあるため、 E_t の推定誤差に対して、漁獲量の予測結果は比較的頑健である。

この研究でとりあげたカタクチイワシの場合、観察される産卵量と実際の漁獲量はそれぞれ短期的に大きく変動する。資源量および漁獲利用率の計算は産卵量に基づいているため、産卵量が前年に比べて大きく減少するにもかかわらず漁獲量が高水準に保たれる場合に、生残率として大きい値を仮定すると、加入量が負となる矛盾が生じる。実際に、平均的生残率として $Z=2.0$ のときの値である 0.49 (Table 1) を採用した場合、事後的に計算される 1987 年の加入量は負になった。幼魚調査等によって年々の実際の加入量の指標を得ることができれば、この指標と実際の漁獲量の時系列から、産卵量に依存せずに漁獲量と資源量の予測が可能であり、この矛盾を回避できる。しかし、カタク

チイワシでは寿命が短い上に産卵期が長期にわたるため、幼魚調査等によって資源全体の加入量の指標を得ることは困難であろう。以上から、カタクチイワシを対象とする場合、この論文で示した方法では資源量および漁獲量 (*status quo yield*) の予測値と実測値あるいは事後の計算値とのずれが大きく、予測には限界がある。しかし、他に有効な予測法がない現状では、漁獲利用率をはじめとするパラメーターの推定誤差が予測結果に及ぼす影響を評価することにより、これらの予測値をTAC設定や漁況予測に活用することができるであろう。

5. 謝辞

この論文のご校閲をいただくとともに、貴重なご助言をいただいた中央水産研究所生物生態部赤嶺達郎博士および銭谷 弘氏、さらに内容および表現について貴重なご指摘をいただいた匿名の校閲者に深く感謝する。

引用文献

- 船越茂雄 (1990) 遠州灘、伊勢・三河湾およびその周辺海域におけるカタクチイワシの再生産機構に関する研究。愛知水試研究業績Bしゅう第10号, 1-208.
- HAYASHI, S. (1961) Fisheries biology of the Japanese anchovy *Engraulis japonica* (HOULTUYN). Bull. Tokai. Reg. Fish. Res. Lab., 31, 145-268.
- HAYASHI, S. and K.KONDO (1957) Growth of Japanese anchovy IV, Age determination with the use of scales. Bull. Tokai Reg. Fish. Res. Lab., 17, 31-64.
- 石田 実, 菊地 弘 (編) (1992) 日本の太平洋岸 (常磐～薩南海域)におけるマイワシ, カタクチイワシ, サバ類の月別, 海域別産卵状況: 1989年1月～1990年12月. 南海海区水産研究所・中央水産研究所, 東京, pp. 86.
- 菊地 弘, 小西芳信 (編) (1990)日本の太平洋岸 (常磐～薩南海域)におけるマイワシ, カタクチイワシ, サバ類の月別, 海域別産卵状況: 1987年1月～1988年12月. 中央水産研究所・南海海区水産研究所, 東京, pp. 321.
- 近藤恵一 (1969)カタクチイワシの資源学的研究. 東海水研研報, 60, 29-81.
- 鉄 健司 (1967)伊勢湾におけるカタクチイワシの資源特性値について. 東海水研研報, 51, 65-80.
- 森慶一郎, 黒田一紀, 小西芳信 (編) (1988)日本の太平洋岸 (常磐～薩南海域)におけるマイワシ, カタクチイワシ, サバ類の月別, 海域別産卵状況: 1978年1月～1986年12月. 東海区水産研究所業績D集, 12, pp. 321.
- SHEPHERD, J. G. (1991) Simple methods for short-term forecasting of catch and biomass. ICES J. mar. Sci., 48, 67-78.
- 齋田義成 (1992)カタクチイワシの成熟・産卵と再生産力の調節に関する研究. 水工研研報, 13, 129-168.
- 銭谷 弘, 石田 実, 小西芳信, 後藤常夫, 渡邊良朗, 木村量 (編) (1995)日本周辺水域におけるマイワシ, カタクチイワシ, サバ類, ウルメイワシ, およびマアジの卵仔魚とスルメイカ幼生の月別分布状態: 1991年1月～1993年12月. 水産庁研究所資源管理研究報告シリーズA-1, pp. 368.