

3すくみ理論を用いた神奈川県における 小型浮魚類の漁獲量に関する将来予測

船木 修

Catch Forecast on Alternative Model for Species Replacement of
Small Pelagic Fishes in Kanagawa Prefecture

Osamu FUNAKI*

Abstract

Judging from the past fishery statistics, Sardin, *Sardinopus melanostictus*, Anchovy, *Engraulis japonicus* and Mackerel, *Scomber japonicus* emerge sequently not only in Kanagawa Prefecture but also in all of Japan. It is considered that they compete with each other for their prey. The results of estimation of catch indicate that the next abundant term will occur in 2023-2025 for sardin, in 2010-2012 for chub mackerel. This is very close to the result of fish-feeding plankton model.

緒 言

神奈川県における漁業生産量は、昭和40年代まで遠洋マグロ漁業を中心として遠洋漁業が主要な位置を占めていた。しかし、諸外国が相次いで200海里体制を確立させて以降、漁場の制約を受けるようになり、次第にその生産量が減少していった。又昭和40年代頃から、伊豆諸島における寒サバ漁により活況を呈し、漁法も「はね釣り」から「たもすくい網」漁法に変わったことで、サバ漁を中心とした沖合漁業による総生産量が急激に増加した。その結果、昭和40年代後半には遠洋漁業による総生産量を上回り、神奈川県の主要な漁業として位置づけられるようになった。

しかしながら、資源水準の高い時代には6.2万トンあったマサバの漁獲量が、昭和51年には2.6万トンまで急激に減少し、それ以降沖合漁業による総生産量も急減した。

一方、沿岸漁業は、昭和55年にマイワシの漁獲量が1万トンを超え、急激な総生産量の増加が見られ、昭和59年には遠洋・沖合漁業による総生産量を上回ったが、マイワシの漁獲量の急減とともに暫減傾向で現在に至っている。

昨今の国際的な漁業規制から、遠洋漁業による漁獲の増加が見込めないなか、本県の漁業において沖合および沿岸漁業に対する期待並びに重要性は益々増大するもの

と思われる。政策的には、1997年より全国でTAC制度(漁獲可能量制度)が導入され、マイワシ、サバ類をはじめとする8魚種について漁獲量の上限が定められ、資源の維持増大を図っているところである。これらの魚種のうち、特にマイワシ・マサバは本県の定置網及びまき網漁業の主たる漁獲対象魚種であることから、将来にわたり漁獲量動向を把握することが重要である。

本研究では、上記2魚種に、カツオ竿釣漁船の餌いわしとして重要なカタクチイワシを加えた3魚種について将来の漁獲量予測について試みた。

材料と方法

対象魚種のマイワシ、カタクチイワシ及びマサバについて、神奈川県水産統計年報(神奈川県農林統計協会、1964~2000)から各々の過去の漁獲量を求めた。

モデル

3種(あるいはそれ以上)からなる競争系では、共存する安定周期解を持ちうることが知られている(Gilpin¹⁾, May and Leonard²⁾)。そこで、本県におけるこれまでの漁獲量の変遷から、多獲性浮魚類の相対的な漁獲量の増減が、3魚種間の餌をめぐる競争により起こる現象と仮定し、次に示す松田³⁾の3すくみモデルにより、Microsoft社Excelのソルバーを用いてモデルと観測値

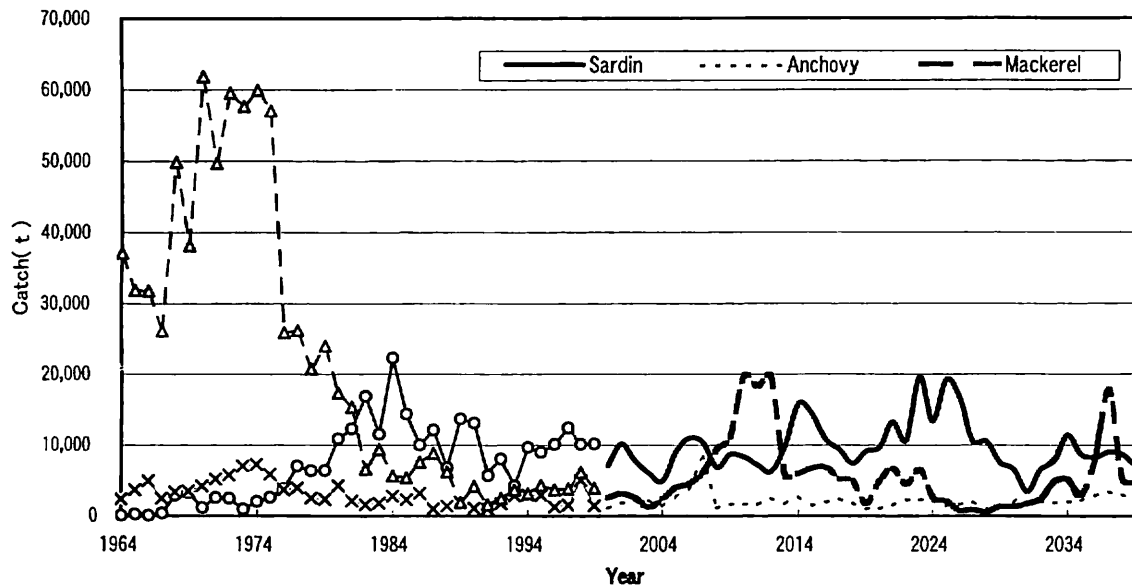


Fig.1 Estimated catches and fitted trajectories of three small pelagic fishes

の残差平方和を最小化するパラメーターを推定した。

$$N_1' = N_1 \exp[r_1(t) - a_{11}N_1 - a_{12}N_2 - a_{13}N_3]$$

$$N_2' = N_2 \exp[r_2(t) - a_{21}N_1 - a_{22}N_2 - a_{23}N_3]$$

$$N_3' = N_3 \exp[r_3(t) - a_{31}N_1 - a_{32}N_2 - a_{33}N_3]$$

ここで、 N_i : 種*i*の今年の漁獲量

N_i' : 種*i*の翌年の漁獲量

$r_i(t)$: t 年における種*i*の加入量

a_{ij} : 種*i*が種*j*と競合することで受ける不利益を表す正の定数

これまでの報告で、マサバはカタクチイワシを捕食し(加藤ほか¹⁾)、マイワシやカタクチイワシは主に動物プランクトンを捕食する(木立²⁾、吉田³⁾)ことが知られている。したがって、マイワシとカタクチイワシは競合関係にあると想定し、制限条件として a の値は非負とした。また、将来の漁獲量を推定するにあたり、今後マサバ資源が増えて漁獲量の増加があっても、現在の漁業者全体の高齢化、着業数の減少傾向や景気低迷、たもすくい網漁船の大中型まき網漁船との漁場の競合等から、1975年までの漁獲水準には達しないと考え、1976年以降の漁獲統計値を用いた。なお、試算にあたっては、現在の漁労技術や幼稚魚逃避技術、社会の科学的技術水準などが急激に進歩せず、将来もあまり変わらないものとした。

Table 1 Estimated parameters for three small pelagic fishes

	1 Sardin	2 Anchovy	3 Mackerel
r_i	0.770457	0.795290	0.285071
a_{11}	0.000068	0.000018	0.000016
a_{12}	0.000000	0.000252	-0.000002
a_{13}	0.000002	0.000004	0.000019

結 果

将来予測

マイワシ、カタクチイワシ及びマサバの過去及び将来の予測シミュレーションを行い、推定されたパラメーターをTable 1に、また最終のExcel結果表をTable2に示す。

1964年以降、マイワシは低水準で推移していたが、1980年に1万トンを超えてから顕著な増加傾向を示し、1984年には過去最高の2万2千トンに達した。これ以後、漁獲量は減少傾向に転じたが、1990年代に入り、本県中型まき網船が、従来のカタクチイワシ主体から大羽マイワシ主体へ漁法転換したことから、日本周辺では各地で漁獲量の減少傾向が続いているなか、1990年代後半マイワシの漁獲量は増加し、1万トン台を維持していた。予測漁獲量は試算方法によりさまざまなパターンがあり得るが、概ね10年から数10年後にマイワシが回復することが予想された。その一例としてFig.1を示す。しばらくは現在の水準ないし若干低い水準で推移するが、2014年頃から一旦増加した後、2023~2025年にかけて2万トン弱の第六豊漁期になると推定された。

マサバは、1975年まで伊豆諸島近海の銭洲や大室出しでの「たもすくい網」漁が活況を呈し、毎年5~6万トンの漁獲が継続したが、1976年に2万トン台に急激に低下してからは低水準で推移して、1990年代には3~4千トン台となっていた。試算した将来の予測漁獲量の一例では、2003年までさらに減少を続け、これ以後増加傾向となり2010~2012年にかけてマイワシ同様2万トン弱の豊漁期が出現すると推定された。3すくみ仮説によれば、カタクチイワシの豊漁期はやがて終わり、次にマサバが増え始めることが予想された。

カタクチイワシは、前2種に比べると漁獲量変動が小さい魚種である。最高でも1973及び1974年の7千トンで、毎年概ね1~3千トン台で推移している。試算した結果

Table 2 MS Excel Results

パラメーター			0.77046 0.79529 0.28507 6.8E-05 0.00025 1.9E-05 0 3.6E-06 1.6E-05 2E-06 1.9E-05 -2E-06			3種残差平方和 → 12.3 2.903 4.36 5.034			1 0.761 0.818 0.263 0.355 0.435 0.467			
区分	Sardin	Anchovy	Mackerel	Sardin	Anchovy	Mackerel	各種残差平方			各種 r(t)		
1964	87	2,388	37,110	4	8	11						
1965	284	3,698	31,917	6	8	10	0.244	0.144	0.075	1.265	1.174	0.559
1966	90	4,938	31,801	4	9	10	3.368	0.298	0.104	-1.06	1.341	0.607
1967	379	2,490	26,100	6	8	10	0.545	0.014	0.014	1.509	0.675	0.405
1968	2,928	3,400	49,868	8	8	11	1.831	0.06	0.748	2.124	1.04	1.15
1969	3,276	3,505	38,172	8	8	11	0.127	0.107	0.199	0.414	1.122	0.731
1970	1,210	4,240	61,884	7	8	11	2.147	0.228	0.956	-0.69	1.272	1.263
1971	2,605	5,220	49,679	8	9	11	0.042	0.528	0.483	0.975	1.522	0.98
1972	2,478	5,784	59,585	8	9	11	0.293	0.723	0.78	0.229	1.645	1.168
1973	999	7,045	57,719	7	9	11	1.928	1.255	0.734	-0.62	1.16	1.142
1974	2,033	7,282	59,966	8	9	11	0.016	1.535	0.747	0.896	2.034	1.15
1975	2,619	5,873	57,077	8	9	11	0.066	1.162	0.7	0.514	1.873	1.121
1976	3,796	3,704	25,910	8	8	10	0.011	0.229	0.003	0.666	1.273	0.338
1977	7,027	3,949	26,189	8	9	10	0.025	0.134	0.077	0.928	1.162	0.563
1978	6,384	2,524	20,746	9	8	10	0.111	5E-04	0.008	0.437	0.774	0.377
1979	6,395	2,362	24,013	9	8	10	0.085	1E-03	0.129	0.48	0.764	0.644
1980	10,869	4,282	17,317	9	8	10	0.06	0.362	0.003	1.016	1.397	0.234
1981	12,288	2,131	15,318	9	8	10	0.017	0.022	0.009	0.9	0.647	0.378
1982	16,898	1,601	6,593	10	7	9	0.175	0.067	0.407	1.188	0.537	-0.559
1983	11,529	1,819	9,347	9	8	9	2E-04	0.006	0.214	0.784	0.873	0.747
1984	22,334	2,808	5,668	10	8	9	0.485	0.121	0.178	1.467	1.143	-0.14
1985	14,330	2,307	5,371	10	8	9	0.103	0.024	0.016	1.092	0.951	0.413
1986	10,007	3,223	7,554	9	8	9	0.02	0.167	0.15	0.63	1.204	0.673
1987	12,138	1,045	8,812	9	7	9	0.015	0.8	0.029	0.891	-0.1	0.456
1988	6,822	1,442	6,229	9	7	9	0.25	0.003	0.072	0.27	0.845	0.018
1989	13,687	1,979	1,932	10	8	8	0.163	0.001	1.508	1.175	0.831	-0.94
1990	13,079	1,107	4,192	9	7	8	0.015	0.376	0.555	0.893	0.182	1.03
1991	5,824	1,009	1,617	9	7	7	0.46	0.121	0.896	0.092	0.447	-0.66
1992	8,013	1,792	2,517	9	7	8	0.003	0.022	0.079	0.72	0.944	0.566
1993	4,275	2,898	3,692	8	8	8	0.717	0.088	0.075	-0.08	1.092	0.558
1994	9,676	2,975	3,165	9	8	8	0.119	0.003	0.093	1.116	0.85	-0.02
1995	8,989	2,956	4,311	9	8	8	0.031	0.02	0.056	0.593	0.936	0.521
1996	10,121	1,314	3,692	9	7	8	9E-04	0.458	0.047	0.741	0.118	0.068
1997	12,436	1,560	3,819	9	7	8	0.018	0.008	3E-04	0.904	0.706	0.267
1998	10,101	5,034	6,156	9	9	9	0.015	1.034	0.216	0.649	1.812	0.75
1999	10,181	1,478	3,923	9	7	8	0.004	0.293	0.214	0.71	0.254	-0.18
2000							19,842	1,499	4,462	1.37	0.592	0.367
2001							4,883	1,722	8,633	-0.04	0.905	1.065
2002							7,169	2,644	7,489	0.735	0.986	0.1
2003							12,990	5,990	9,709	1.099	1.646	0.515
2004							7,001	1,415	15,261	0.288	0.345	0.839
2005							13,103	3,667	16,799	1.136	1.495	0.5
2006							22,352	2,182	7,200	1.463	0.711	-0.32
2007							18,682	926	6,573	1.361	0.139	0.399
2008							17,144	1,256	7,064	1.202	0.913	0.507
2009							13,842	2,720	8,368	0.97	1.437	0.581
2010							5,704	2,989	12,454	0.075	1.07	0.778
2011							8,990	3,459	20,190	0.87	1.051	0.809
2012							7,885	1,929	17,183	0.524	0.529	0.366
2013							12,168	1,738	7,877	1.007	0.592	-0.33
2014							9,655	2,574	4,303	0.615	1.087	-0.26
2015							10,640	2,745	10,340	0.765	0.91	1.111
2016							11,133	2,074	11,790	0.792	0.648	0.497
2017							5,228	2,249	6,410	0.028	0.855	-0.21
2018							12,234	997	4,836	1.22	-0.13	-0.08
2019							8,114	1,432	3,753	0.434	0.861	0.036
2020							12,050	3,524	2,741	0.957	1.427	-0.11
2021							12,918	2,429	5,545	0.898	0.752	0.946
2022							18,750	3,102	4,021	1.265	1.119	-0.01
2023							12,140	1,316	929	0.853	0.291	-1.09
2024							13,256	1,083	1,247	0.918	0.368	0.507
2025							10,987	2,438	2,915	0.719	1.338	1.087
2026							8,998	2,915	1,828	0.556	1.01	-0.24
2027							13,870	5,253	2,006	1.051	1.499	0.269
2028							17,617	1,771	1,884	1.19	0.503	0.192
2029							6,808	2,589	1,969	0.255	1.164	0.363
2030							8,474	3,822	2,507	0.688	1.177	0.385
2031							5,480	1,408	4,187	0.148	0.132	0.692
2032							8,907	2,995	2,515	0.868	1.228	-0.34
2033							9,359	3,449	1,907	0.663	1.072	-0.09
2034							7,070	859	1,842	0.362	-0.34	0.147
2035							10,879	1,226	1,293	0.917	0.711	-0.21
2036							14,176	1,933	1,429	1.01	0.973	0.3
2037							5,190	2,037	1,660	-0.03	0.811	0.404
2038							8,532	2,090	1,444	0.855	0.642	-0.03
2039							11,771	2,774	1,103	0.907	0.975	-0.11

推定漁獲量

過去漁獲量

漁獲量からのLN値

理論式からのLN値

NORMINV (rand(),0.76,0.36) NORMINV (rand(),0.82,0.44) NORMINV (rand(),0.26,0.47)

の一例では、今後と同様な漁獲水準が続くと予測されたが、2007年頃に8千トン程度の豊漁期が出現すると推定された。

以上のことから、魚種ごとによる加入量の大きさは、カタクチイワシ>マイワシ>マサバの順であった。

種内関係

試算したモデルで種間関係をみると、マイワシ自身の種内競合効果は a_{11} が0.000068で最も大きく、マサバとの競合効果(a_{13})と比べずっと強かった。カタクチイワシとの競合効果は無いと計算されたが、これは制限条件を非負としたからである。カタクチイワシはマイワシ同様、自身の種内競合効果($a_{22}=0.000252$)が最も大きく、次いでマイワシによる影響を受け、マサバによる影響が一番小さかった。マサバは、自身の種内競合効果とマイワシによる影響と同程度であった。カタクチイワシとの関係では負の値であった。このことはカタクチイワシが増えればこれを捕食するマサバも増加することを示唆しており、食物連鎖から考えると妥当であると思われる。

考 察

3すくみ説とは、3魚種が交替に卓越して出現する現象が、3種間の競争関係により起こると仮定した説である。卓越種は、必ず1種のみで、同時に複数種が卓越することはない。

水産研究所魚種交替研究チーム⁷⁾は、自己振動モデル、3すくみモデル、魚食性プランクトンモデル、安定戦略モデル、餌条件モデルを使い、マイワシ、マサバ、サンマの漁獲変動を検討した。本報で求めたモデルは、このうち魚食性モデルと極めて近いものであった。魚食性モデルでは、次の資源量ピーク時をマイワシで2027年、マサバで2014年と推定した。これに対して、本研究の結果では、マイワシが2023~2025年、マサバが2010~2012年と推定された。いずれも、魚食性プランクトンモデルと比べて、2~4年早くピークが来ると予測された。

これは、本県沿岸がマイワシやマサバの産卵場に近接しているためであろう。つまり、本県沿岸の東京湾、相模湾は、マイワシ及びマサバの主要な産卵海域である伊豆諸島海域に極めて近い位置にある。これらの魚種の資源増加期には、伊豆諸島海域に近い関東近海の漁場から漁獲が開始される。本県におけるマイワシ及びマサバの漁獲量が高くなる時期は、太平洋系群全体の資源量が最高に達する時期よりも数ヶ年早く出現すると考えられる。前回の第五回豊漁期におけるマイワシ太平洋系群の最も高い資源量水準であった時期は1988年であったが(水産研究所魚種交替研究チーム⁷⁾)、本県のマイワシ漁獲量は1984年が最も高く、それよりも4年早かった。マイワシは昔から豊凶を繰り返してきており、その周期は約70年とも言われている。(坪井⁹⁾ 第五豊漁期は約50年でピークが来ている。次期豊漁期は約40年の周期と試算されたが、第四期と第五期豊漁期との間隔が短くなってきていることから、この周期は妥当な試算といえる。また、

2000年以降の魚種交替の順番は、マサバ→マイワシ→カタクチイワシと予測されたが、過去の魚種交替での出現順や魚食性プランクトンモデルでの結果とも一致していた。

2000年になり、カタクチイワシは依然高水準を維持しているが、マイワシはいよいよ資源的に危険な状況になってきていると言わざるを得ない。この広い海で多くの卵を産むマイワシ資源量が皆無になるとは考えにくい。本県での漁獲量は前年までの1万トン台から一気に約6千トン(鈴木,未発表)まで落ち込み、これは全国でも同様で16万トン弱(中央水産研究所黒潮研究部⁹⁾)とピークだった1988年の3%強にまで減少している。

現在の資源水準だと2歳時までに殆どが漁獲され、3歳以上の魚は極端に少なくなる。1998年級群は最近の中では比較的資源豊度が高かったが、1歳時にやはりまき網に多獲された。1999年の全国漁獲量は前年を上回り、新聞紙上でもマイワシ復活か、と話題を呼んだが、その翌年の2000年には、大羽マイワシが極めて少なくなり漁獲量は前年を大きく下回る結果となった。

マサバは、1992年及び1996年に卓越年級群が発生したが、その多くが大規模なまき網操業により初産卵年齢以前の0~2歳時に漁獲されたので、3歳以上の成魚資源の増加に結びつかなかった(中央水産研究所¹⁰⁾)。これは、Matsuda et al.¹¹⁾が指摘したように、サバ資源の回復を大幅に遅らせた。

マイワシまたはマサバの資源水準が非常に低くなると、自然での産卵でのみ資源回復が図られる。したがって、少なくとも1度は産卵させるために、未成魚の漁獲を差し控えることが望まれる。国でもTAC制度に加え、TAE(漁獲努力可能量)制度の実施が考えられている。しかし問題もある。例を挙げると、定置網の場合、小型魚(例えばマイワシの幼魚ヒラゴ)を保護する意味で目合いを大きくするにしても、本県三浦半島周辺の定置網は昔からカツオ船の餌いわしとしてカタクチイワシを対象としている。よって、目合いを大きくすることは難しい。まき網にしても、成魚がここまで減り、漁業経営維持には未成魚も漁獲対象となり、資源回復は厳しい。資源水準が極めて低くなったマイワシ及びマサバ資源に対して、今のように未成魚を獲る状況が続けば、なかなか資源の回復は期待できず、今回のモデルで試算された次期豊漁期も、さらに遅れることが予想される。国も県においても、このような状況を鑑みて、資源が回復するまでの措置として、従来の「とも補償」という形ではなく、完全な「休業補償」というものを真剣に考える時が来ているのではないかと。

摘 要

1. 本県の小型浮魚類のうち、マイワシ、カタクチイワシ及びマサバの漁獲量について将来予測を行った。
2. 予測にあたって、相対的な漁獲量の増減が餌をめぐる3すくみで起こると仮定し、3すくみ理論式を用いた。

3. 試算の結果、マイワシは2023~2025年に、マサバは2010~2012年に次期豊漁期が来ると試算された。
4. 2000年以降の魚種交替の順番は、マサバ→マイワシ→カタクチイワシとなった。
5. この結果は、水産研究所魚種交替研究チームが検討した5つのモデルのうち、魚食性プランクトンモデルの結果と極めて近いものであった。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、東京大学海洋研究所助教授松田裕之博士には、3すくみ理論式に係る多大なご指導・ご助言を頂きました。また、本報告をまとめるにあたり、神奈川県水産総合研究所三谷勇博士に多大なご助言を頂きました。ここに記して、心から御礼申し上げます。

文 献

- 1) Gilpin M.E.(1975) : Limit cycles in competition communities. *Am.Nat.*, 109, 51-60
- 2) May R.M.and Leonard W.J.(1975) : Nonlinear aspects of competition between species. *SIAM J. Appl. Math.*, 29, 243-253
- 3) 松田裕之(2000) : 環境生態学序説. 共立出版, 12
- 4) 加藤光宏・荻野隆太・樋田史郎・三谷勇(2000) : 関東周辺のマサバの食性について. 関東近海のマサバについて (平成11年の調査および研究成果), 104-109
- 5) 木立 孝(1969) : 本州太平洋系群カタクチイワシの食性について. 東海区漁場海況概報, 38,38-45
- 6) 吉田英雄(1987) : 道東~三陸沖における春・夏季のマイワシの分布と食性. 水産海洋研究会報, 51, 324-329
- 7) 水産研究所魚種交替研究チーム(1997) : 魚種交替の長期予測研究報告書. 水産庁, IV+96pp.
- 8) 坪井守夫(1987) : 本州・四国・九州を一周したマイワシ主産卵場 (3). さかな. 東海区水研,37-49
- 9) 中央水産研究所黒潮研究部(2001) : 全国資源評価報告書 (マイワシ), 3
- 10) 中央水産研究所(2001) : 全国資源評価報告書 (マサバ). 平成12年度の指摘事項 (マサバ2000年級群の管理) の経過, 1
- 11) Matsuda, H., K. Fukase, I. Mitani and K. Asano (1996) : Impacts Per Unit Weight in Catch by Two Types of Fisheries on a Chub Mackerel Population, *Res. Popul.Ecol.*, 38, 219-224