

# 漁獲努力量でチューニングしたコホート解析による瀬戸内海 東部3海域のイカナゴ *Ammodytes personatus* 当歳魚の資源尾数推定

日下部敬之・保正竜哉\*<sup>1</sup>・玉木哲也\*<sup>2</sup>

## Estimation of Resource of 0-age Sand lance *Ammodytes personatus* in eastern Seto Inland Sea by tuning VPA using fishing effort data

Takayuki Kusakabe, Tatsuya Hoshio and Tetsuya Tamaki

イカナゴ *Ammodytes personatus* は瀬戸内海において12～1月に産卵し<sup>1)</sup>、2月末から5月にかけて、全長30～60mmの稚魚が機船船びき網で漁獲される。平成13年における瀬戸内海地域での本種の漁獲量は35,213トンであり<sup>2)</sup>、同海域の海面漁業全体の約15%を占める重要な魚種となっている。しかしイカナゴ漁業は、その年に新たに発生した稚魚を対象とするため、稚魚の加入量によって漁獲量が大きく左右され、変動が激しい。瀬戸内海地域では、過去10年間で、最高漁獲量と最低漁獲量の間約3.5倍の差がみられている<sup>2-10)</sup>。そのため、現在大阪府と兵庫県の漁業者は一斉解禁日を設定し、加入量が少ないと予測される年には解禁日を遅らせて1尾あたりの体重増加を待つなど、加入量変動の影響を緩和して漁獲量の安定化を図るための操業管理を行っている。しかし、現在まで当海域では加入量の定量的予測がなされたことはなく、「多い、少ない」といった定性的なものにとどまっている。今後、これまで以上に資源管理の精度を向上させ、漁獲量および漁獲金額の増加を図るためには、加入量の定量的予測が不可欠である。

そこで、加入量の定量的予測手法を開発するための第1段階として、まず過去の加入資源量を推定し

ようとした。また、イカナゴの資源管理では、翌年の親魚となる資源を一定量残す必要があることから、終漁時の資源量を把握することも重要である。そのため、努力量のデータを用いてチューニングしたコホート解析を使用し、漁の開始時と終了時の資源尾数を推定した。イカナゴ漁は漁期が短いので、旬単位の解析を行った。資源管理を行っているのが大阪府と兵庫県の漁業者であることから、解析の対象海域は彼らの操業海域である瀬戸内海東部の播磨灘、大阪湾、紀伊水道とした。なお、この海域に分布するイカナゴは、おおまかに見れば播磨灘東部を主な夏眠、産卵場とするひとまとまりの資源であると考えられている<sup>10)</sup>。

### 材料と方法

#### 1. 各海域におけるイカナゴ当歳魚の旬別漁獲尾数の推定

本解析の対象海域である播磨灘、大阪湾、紀伊水道の3海域を図1に示す。解析の対象期間は、対象海域において漁獲量、努力量の標本データが得られている1990～95年の6年間とした。推定の手順としては、まず、農林統計による漁獲量(年計)を、各海域に配置した標本漁協や標本船の漁獲量データを

\*1: ㈱日本エヌ・ユー・エス

\*2: 兵庫県立農林水産技術総合センター水産技術センター

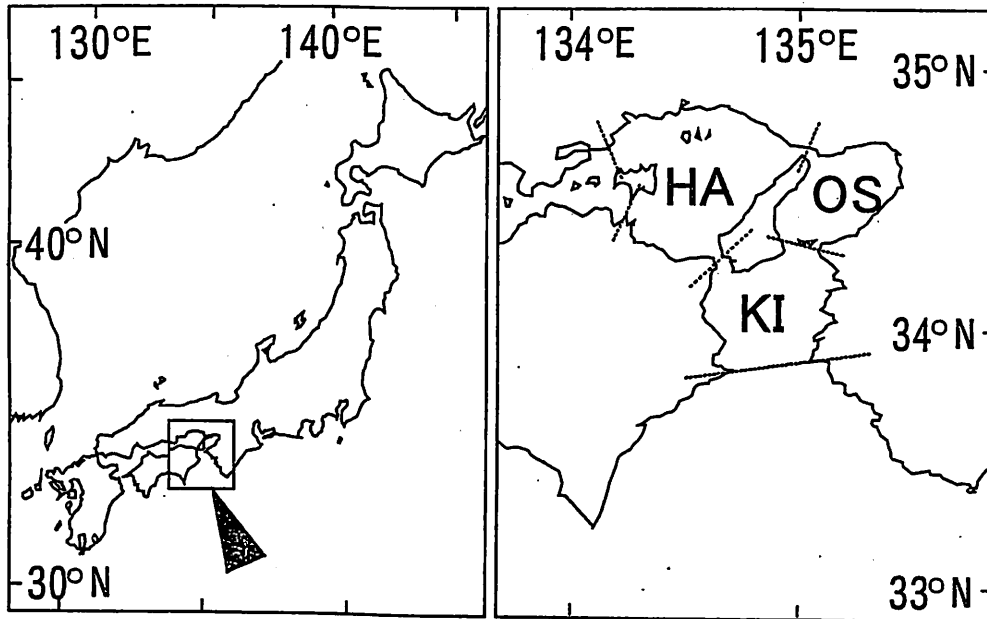


図1 調査対象海域 (瀬戸内海東部)

KI: 紀伊水道, OS: 大阪湾, HA: 播磨灘

もとに旬別に振り分けた。また、同時に1歳魚以上の漁獲を除去するなどの処理も行った。次に、漁期中定期的に漁獲物を測定して得られた各年の成長式<sup>13-18)</sup>と、鶴田・大関<sup>19)</sup>による全長-体重関係式から各年、各旬の漁獲物平均体重を与えた。その際、各旬の平均全長は旬の中央日の全長で代表させた。それらを用いて、各海域における各年、各旬の当歳魚漁獲尾数を求めた。なお、斎浦・東海<sup>20)</sup>による船びき網のカタクチイワシシラスに対する網目選択性に関する研究から、イカナゴにおいても小型魚の網目からの逸出はきわめて少ないと考え、網目から逸出して死亡する個体を考慮した漁獲死亡尾数の補正は行わなかった。

## 2. 旬別コホート解析の実行

イカナゴ当歳魚の漁獲時期は年によって多少変動するが、ほとんどの場合2~5月の間であり、それ以外の月には全く漁獲されないか、されてもほんのわずかである。そこで、全ての年において2月1日の資源尾数を初期資源尾数、6月1日の資源尾数を最終残存尾数とし、この両者の値を推定することとした。その手順を以下に記す。

手順1) 2月1日から6月1日までの間を、チューニングしたコホート解析に使用するデータ期間

(以下、解析期間と呼ぶ)と、単に自然死亡および漁獲死亡によって資源尾数を増減させるだけの期間とに分けた。まず、漁期の始めや終わりにごく少量の漁獲のある旬がみられる年については、漁獲尾数あるいは努力量が他と比較して極端に小さい旬を他と同じ重みで推定に組み入れると誤差が大きくなる可能性があるため、その年の全漁獲尾数の1%に満たない旬を解析期間から除外した。また、漁獲努力量と漁獲尾数から旬別CPUEを計算してその推移を見ると、多くの年で低い値から始まって急激に上昇し、その後ゆっくり低下していたが(図2)、CPUEが上昇過程にある時期はイカナゴが資源に完全加入していない時期である

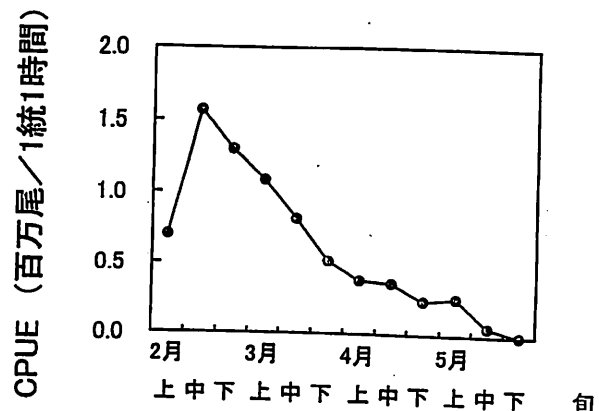


図2 漁期中のCPUE推移 (1993年の例)

と考えられるので、CPUEが上昇から減少に転ずる旬以降を解析に使用した。

手順2) 次に、通常のコホート解析の後退法<sup>2)</sup>により、その年の解析期間の最終旬から旬解析で遡って、解析期間第1旬当初の資源尾数を求めた。初期条件として、最終旬の漁獲によってすべての資源が獲りつくされると仮定し、漁獲は各旬の中央日にパルス的になされることとした。また、自然死亡係数Mの値は現在のところ推定不可能なので、暫定的に1旬の生残率が95%となる値(旬あたり $M=0.05129$ )を与えた。なお、与えるMによる初期資源尾数推定値の変動を感度解析してみたところ、Mを2倍に増加させても初期資源尾数の推定値は30%前後の増加にとどまっていた。

手順3) 通常のコホート解析後退法の手順は、過去方向に時間を遡って漁獲死亡数と自然死亡数を足し合わせていくもので、漁期始めに近くなるほど推定精度が向上する半面、漁期終わりの資源尾数は推定できない。しかし本解析では前述のように最終残存資源尾数も推定する必要があるため、引き続きその推定のためのチューニング作業を行った。まず、手順2で得られた各旬初めの資源尾数と、その旬の漁獲尾数を下記に示す通常の漁獲方程式に当てはめ、その旬の漁獲係数を求めた。

$$C_t = N_t \cdot F_t / (F_t + M) \{ 1 - \exp(-F_t - M) \}$$

$C_t$ : t 旬の漁獲尾数

$N_t$ : t 旬初めの資源尾数

$F_t$ : t 旬の漁獲係数

これによって、初期条件下でのFの旬別値が得られる。一方、漁獲係数Fと漁獲努力量Xの間には、漁具能率をqとして $F=qX$ の関係があるので、qを一定と仮定すればFとXは比例する。このことを利用して、初期条件下での第1旬のFは真のFと等しいと仮定してqの値を決め、第2旬以降のXにそのqを乗じて、「努力量からの旬別F値」を作った。そして、初期条件下での第2旬以降のF値ができる限り「努力量からの旬別F値」に近づくような最終旬終了時尾数を求めた。実際の計算にあたってはMS-DOS上で動くプログラ

ムを作成し、第2旬以降の両者のFの差の二乗和が最小になる最終旬終了時尾数を探索的に決定した。

手順4) 以上の作業によって解析期間最終旬の残存尾数を決定し、期間の始めと終わりの資源尾数を確定した後、解析期間から前後方向に向かって順に、自然死亡と、漁獲がある旬については漁獲による増減を加味していき、2月1日と6月1日の資源尾数を算出した。

### 結果および考察

対象期間中におけるイカナゴ当歳魚の旬別海域別漁獲尾数、旬別努力量(3海域計)、および海域別漁獲重量を表1に示す。年間の漁獲重量は15,635トン(1995年)~38,347トン(1992年)の範囲で変動しており、漁獲尾数は707億尾(1995年)~1,457億尾(1991年)の範囲であった。漁獲盛期は紀伊水道が最も早く、次いで大阪湾、播磨灘の順であった。

次に、手順3で行ったチューニング作業の際の、努力量の推移から作ったFと最終旬残存尾数を動かして決定したFの旬別値の比較を図3に示す。両者のグラフは全般にかなりよく一致しており、残存尾数を変動させることによってFの推移を努力量の増減パターンに近づけることができた。しかし、両者が完全には一致していないことから、時期によるイカナゴの集群状況の変化など、漁期中にqを変化させる要因が存在することも示唆された。また、今回は解析第1旬のXと初期条件下のFを用いてqを求めたが、この旬のデータに誤差があると、解析全体に大きく影響してしまう可能性がある。

最後に、推定の結果得られた初期資源尾数と最終残存尾数を、漁獲尾数、自然死亡尾数、漁獲率、自然死亡率、および2月1日から6月1日の間の生残率と共に表2に示す。また、3海域合計の漁獲重量、漁獲尾数、初期資源尾数の経年変化を図4に示す。この結果によれば、対象海域では平均して毎年1,600億尾あまりの初期資源があり、そのうち約60%が漁獲され、漁期中に30%が自然死亡し、10%あまりが生き残ることになる。また、初期資源尾数の

表1 対象期間におけるイカナゴ当歳魚の旬別海域別漁獲尾数、旬別漁獲努力量、および海域別漁獲重量

漁獲重量は1歳魚以上の漁獲を取り除くなどの処理をしているので、必ずしも統計値と一致しない。  
網掛け部分は解析に使用した期間。

1990

旬	漁獲尾数 (単位: 百万尾)				漁獲努力量 (時間・統)	
	播磨灘	大阪湾	紀伊水道	3海域計	3海域計	3海域計
2月上旬	0	0	0	0	0	0
中旬	92	0	1,831	1,923	2,054	
下旬	4,301	3,665	1,926	9,892	7,235	
3月上旬	10,813	8,124	2,427	21,364	18,469	
中旬	7,023	4,852	1,165	13,040	16,165	
下旬	5,250	1,604	186	7,040	16,057	
4月上旬	3,885	1,771	31	5,687	10,647	
中旬	4,957	1,235	0	6,192	10,486	
下旬	2,458	455	0	2,913	6,479	
5月上旬	1,580	228	0	1,808	7,263	
中旬	1,024	60	0	1,084	5,879	
下旬	0	6	0	6	794	
年計	41,384	22,000	7,566	70,950	101,528	
漁獲量 年計(トン)	22,287	6,400	694	29,381		

1993

旬	漁獲尾数 (単位: 百万尾)				漁獲努力量 (時間・統)	
	播磨灘	大阪湾	紀伊水道	3海域計	3海域計	3海域計
2月上旬	20	0	818	838	1,203	
中旬	1,428	5,728	7,239	14,395	9,172	
下旬	3,212	12,090	757	16,059	12,350	
3月上旬	8,457	13,523	4,676	26,656	24,566	
中旬	4,897	9,548	42	14,487	17,911	
下旬	4,574	3,154	40	7,768	15,275	
4月上旬	3,083	601	101	3,785	10,049	
中旬	2,858	655	70	3,583	10,045	
下旬	1,523	77	0	1,600	6,911	
5月上旬	1,188	0	0	1,188	4,604	
中旬	70	0	0	70	1,188	
下旬	0	0	0	0		
年計	31,310	45,376	13,743	90,429	113,273	
漁獲量 年計(トン)	13,963	8,309	1,241	23,513		

1991

旬	漁獲尾数 (単位: 百万尾)				漁獲努力量 (時間・統)	
	播磨灘	大阪湾	紀伊水道	3海域計	3海域計	3海域計
2月上旬	0	0	0	0	0	
中旬	0	8	0	8	1	
下旬	1,128	15,832	768	17,728	8,322	
3月上旬	9,853	19,544	5,538	34,935	21,850	
中旬	8,789	11,671	5,725	26,185	21,715	
下旬	3,949	6,324	2,591	12,864	20,156	
4月上旬	17,439	4,851	355	22,645	20,063	
中旬	4,854	5,943	0	10,797	14,025	
下旬	7,475	1,639	0	9,114	12,583	
5月上旬	3,264	1,782	0	5,046	8,026	
中旬	3,088	1,404	0	4,492	11,353	
下旬	1,690	213	0	1,903	8,209	
年計	61,529	69,209	14,977	145,715	146,304	
漁獲量 年計(トン)	21,154	11,352	1,368	33,874		

1994

旬	漁獲尾数 (単位: 百万尾)				漁獲努力量 (時間・統)	
	播磨灘	大阪湾	紀伊水道	3海域計	3海域計	3海域計
2月上旬	0	0	0	0	0	
中旬	169	0	4,110	4,279	3,374	
下旬	3,711	18,046	2,427	24,184	15,329	
3月上旬	5,431	10,826	3,292	19,550	23,341	
中旬	7,037	5,709	0	12,746	20,834	
下旬	6,879	4,503	17	11,399	20,785	
4月上旬	2,979	450	0	3,429	6,988	
中旬	4,233	1,351	0	5,585	10,102	
下旬	2,400	28	0	2,428	5,466	
5月上旬	1,490	0	0	1,490	5,848	
中旬	82	0	0	82	1,194	
下旬	0	0	0	0		
年計	34,411	40,914	9,846	85,171	113,262	
漁獲量 年計(トン)	15,425	7,564	877	23,866		

1992

旬	漁獲尾数 (単位: 百万尾)				漁獲努力量 (時間・統)	
	播磨灘	大阪湾	紀伊水道	3海域計	3海域計	3海域計
2月上旬	2	0	45	47	253	
中旬	178	0	3,688	3,866	2,872	
下旬	7,226	14	6,757	13,997	5,641	
3月上旬	12,410	9,582	10,293	32,285	18,831	
中旬	8,879	8,052	6,955	23,886	19,677	
下旬	3,580	5,166	3,729	12,475	17,336	
4月上旬	4,934	3,485	776	9,195	16,142	
中旬	3,271	2,656	728	6,655	9,588	
下旬	5,561	1,846	0	7,407	11,279	
5月上旬	1,460	1,487	0	2,947	5,689	
中旬	2,484	860	0	3,344	7,094	
下旬	1,111	192	0	1,303	4,403	
6月上旬	16	0	0	16	99	
年計	51,112	33,341	32,970	117,423	118,903	
漁獲量 年計(トン)	21,062	12,274	5,011	38,347		

1995

旬	漁獲尾数 (単位: 百万尾)				漁獲努力量 (時間・統)	
	播磨灘	大阪湾	紀伊水道	3海域計	3海域計	3海域計
2月上旬	0	0	0	0	0	
中旬	0	0	840	840	2,358	
下旬	8,207	10,843	2,795	21,845	14,450	
3月上旬	7,622	12,576	623	20,822	19,251	
中旬	4,703	5,402	0	10,106	12,881	
下旬	6,489	1,354	0	7,843	15,075	
4月上旬	5,731	427	0	6,158	8,445	
中旬	3,004	16	0	3,020	3,863	
下旬	98	1	0	98	860	
5月上旬	0	0	0	0	0	
中旬	0	0	0	0	0	
下旬	0	0	0	0	0	
年計	35,855	30,620	4,258	70,732	77,182	
漁獲量 年計(トン)	11,086	4,263	286	15,635		

漁獲係数 F

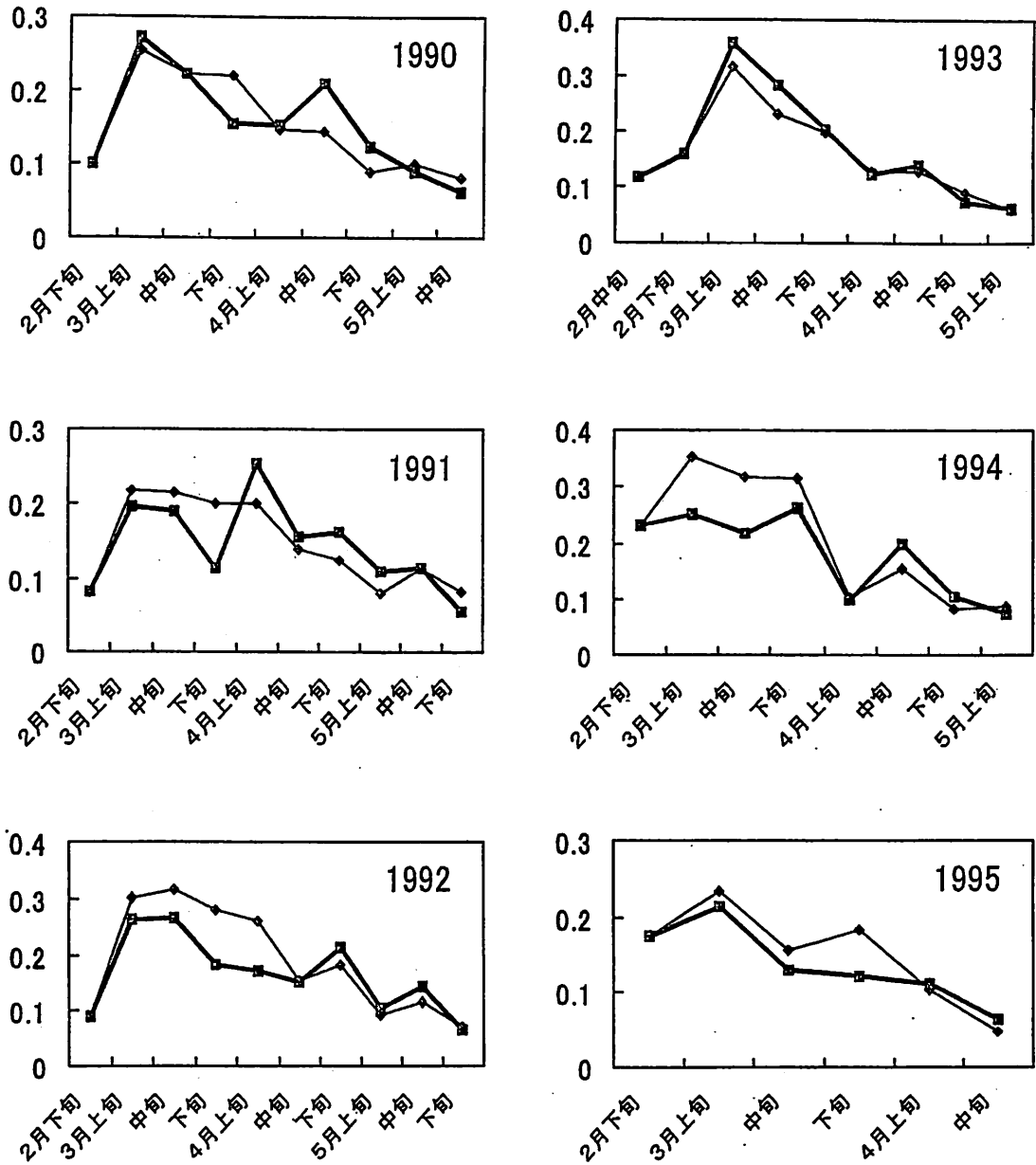


図3 努力量推移から作ったFと、それに合うよう最終旬残存尾数を動かして決定したFの旬別値の対比

◆ 努力量の推移から作ったF      ■ 最終旬残存尾数を動かして決定したF

表2 資源量推定結果一覧

尾数の単位は百万尾

年	初期資源尾数	漁獲尾数	自然死亡尾数	最終残存尾数	漁獲率	自然死亡率	生残率
1990	120,500	70,950	33,608	15,942	0.59	0.28	0.13
1991	253,185	145,715	74,902	32,568	0.58	0.30	0.13
1992	187,651	117,423	51,148	19,080	0.63	0.27	0.10
1993	140,656	90,429	33,761	16,466	0.64	0.24	0.12
1994	137,050	85,171	35,095	16,784	0.62	0.26	0.12
1995	155,005	70,732	47,510	36,763	0.46	0.31	0.24

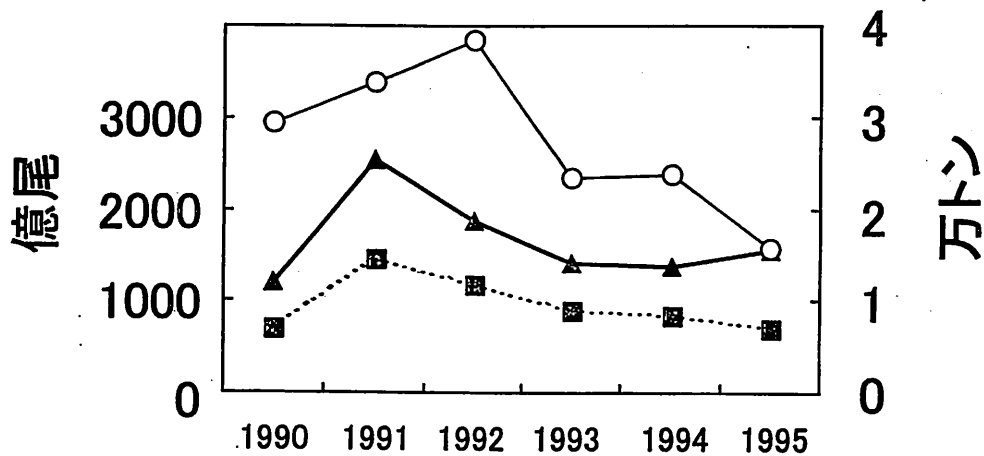


図4 漁獲重量と初期資源尾数、および漁獲尾数の経年変化  
 ○— 漁獲重量    ▲— 初期資源尾数    ■— 漁獲尾数

変動幅は1,205億（1990年）～2,532億尾（1991年）とかなり大きかった。漁業者からの聞き取りや漁業日誌調査の結果から、1991年の初期資源尾数は例年になく多かったことが窺われるので、推定結果は現実の傾向と一致している。初期資源尾数、漁獲重量および漁獲尾数の経年変化を見比べると、初期資源尾数と漁獲尾数とは1995年を除いて似かよった変動をしていたが、漁獲重量の変動パターンはそれらと異なっていた。3者の相関係数は、漁獲重量と漁獲尾数の間が0.72、漁獲重量と初期資源尾数の間が0.53、漁獲尾数と初期資源尾数の間が0.93であった。漁獲尾数と初期資源尾数の相関が高いのは、当海域のイカナゴ漁の努力量が、初漁期は少なく、その後急増して徐々に減少していくという、基本的に毎年同じパターンで増減するためと考えられる。それに対してこれら2者と漁獲重量との相関が低かったの

は、漁獲物サイズが年によって異なることが主要因であると思われる。漁開始時のサイズ差は小さくても、漁期が進むにつれて平均体重の差が広がるので、トータルの漁獲重量は尾数に比べて大きく変動するのであろう。また、成長した個体を養殖餌料用途に漁獲することがあるが、その時期の当歳魚の体重は初漁期の20倍程度に増加しているため、比較的少ない尾数で漁獲重量を大きく変動させる要因となる。これらのことから、漁獲重量はその年の初期資源尾数の多寡を知る指標とはなり得ないことが分かる。初期資源尾数を推定しないまでも、それと高相関を示す漁獲尾数の算出は必要であろう。その際、少ない標本数でいかに全体の漁獲動向を代表させ得るかが、迅速で精度の良い推定を行うためのキーになるものと思われる。なお、今回の結果では漁獲率が60%前後との結果になったが、伊勢湾における本種の

資源計算ではそれよりもかなり大きい90%以上という値が得られている<sup>2)</sup>。伊勢湾での計算は、自然死亡を考慮しないDelury法を用いているので単純に比較できないものの、今回採用したMの値や、qが漁期中一定であるという仮定については、今後とも各種のデータを参考にしながら再検討していく必要がある。

## 謝 辞

本研究を進めるにあたって標本データの収集にご協力いただいた、漁業者の方々および関係府県水産試験場の船びき網担当者の方々に厚くお礼を申し上げます。

## 文 献

- 1) 浜田尚雄 (1985) 我が国におけるイカナゴの資源と漁業 (水産研究叢書36), 水産資源保護協会, 東京, 82pp.
- 2) 農林水産省統計情報部 (2003) 平成13年漁業・養殖業生産統計年報, 354pp.
- 3) 農林水産省統計情報部 (1994) 平成4年漁業・養殖業生産統計年報, 289pp.
- 4) 農林水産省統計情報部 (1995) 平成5年漁業・養殖業生産統計年報, 296pp.
- 5) 農林水産省統計情報部 (1996) 平成6年漁業・養殖業生産統計年報, 292pp.
- 6) 農林水産省統計情報部 (1997) 平成7年漁業・養殖業生産統計年報, 309pp.
- 7) 農林水産省統計情報部 (1997) 平成8年漁業・養殖業生産統計年報, 325pp.
- 8) 農林水産省統計情報部 (1999) 平成9年漁業・養殖業生産統計年報, 327pp.
- 9) 農林水産省統計情報部 (2000) 平成10年漁業・養殖業生産統計年報, 327pp.
- 10) 農林水産省統計情報部 (2001) 平成11年漁業・養殖業生産統計年報, 326pp.
- 11) 農林水産省統計情報部 (2002) 平成12年漁業・養殖業生産統計年報, 324pp.
- 12) 大阪府・兵庫県 (1995) 天然資源調査 (2) イカナゴ. 平成6年度資源管理型漁業推進総合対策事業報告書, 瀬戸内海東区資源管理型漁業推進協議会, 50-58.
- 13) 反田 實・岡本繁好 (1991) イカナゴ漁獲状況調査. 平成元年度兵庫水試事報, 45-49.
- 14) 岡本繁好・反田 實 (1992) イカナゴ漁獲状況調査. 平成2年度兵庫水試事報, 46-51.
- 15) 反田 實・西川哲也 (1993) イカナゴ漁獲状況調査. 平成3年度兵庫水試事報, 44-49.
- 16) 反田 實・西川哲也 (1994) イカナゴ漁獲状況調査. 平成4年度兵庫水試事報, 43-48.
- 17) 中村行延・西川哲也・宮原一隆・大谷徹也 (1995) イカナゴ漁獲状況調査. 平成5年度兵庫水試事報, 45-48.
- 18) 玉木哲也・大谷徹也・宮原一隆・五利江重昭 (1996) イカナゴ漁獲状況調査. 平成6年度兵庫水試事報, 40-43.
- 19) 鶴田義成・大関芳沖 (1991) 仙台湾におけるイカナゴの再生産力の評価. 東北海域におけるイカナゴの生態と資源, 水産庁東北水産研究所, 77-82.
- 20) 斎浦耕二・東海 正 (2003) ポケット網実験から推定したカタクチワシラスに対する船曳網の網目選択性. 日水誌, 69, 611-619
- 21) Pope, J. G. (1972) An investigation of the accuracy of virtual population analysis using cohort analysis. *Intern. Comm. Northw. Atl. Res. Bull.*, 9, 65-74.
- 22) 船越茂雄・中村元彦・柳橋茂昭・富山 実 (1997) 伊勢湾産イカナゴの再生産関係と資源管理. 愛知水試研報, 4, 11-22.