駿河湾におけるサクラエビの資源量推定

福井 篤,^{1*} 原 藤晃,¹ 伊藤大輔,¹ 保正竜哉,² 魚谷逸朗¹

(2003年6月17日受付, 2004年3月2日受理)

¹東海大学海洋学部水産学科²日本エス・ユー・エス株式会社環境事業本部Abundance estimation of sergestid shrimp *Sergia lucens* in Suruga BayATSUSHI FUKUI,^{1*} TOKO HARA,¹ DAISUKE ITO,¹TATSUYA HOSHO² AND ITSURO UOTANI¹¹School of Marine Science and Technology, Tokai University, Shimizuorido, Shizuoka 424-8610, ²Japan NUS Co., Ltd, Minato, Tokyo 108-0022, Japan

Abundances of 1998-2001 year classes of sergestid shrimp in Suruga Bay were estimated by virtual population analysis using the data of length frequency and catches. The numbers (biomass) of recruits were estimated to be 97.3×10^8 indiv. (2,475 t), 103.0×10^8 indiv. (2,195 t), 82.5×10^8 indiv. (2,288 t), and 71.9×10^8 indiv. (1,856 t) in 1998, 1999, 2000, and 2001, respectively. The estimated numbers of recruits were about 1/20-1/4 of the levels of 1961-1965 year classes.

キーワード：サクラエビ, 資源量推定, 駿河湾

サクラエビは駿河湾を代表する地域特産品である。本種を対象とした漁業は1894年から行われ、1976年には揚操網方式から漁獲効率の高い船曳網方式に替わった。¹⁻⁴⁾ 1977年には、資源管理の一環として、水揚げ金額を均等分配するプール制が導入された。現在、3月下旬～6月上旬までの春漁と10月下旬～12月下旬までの秋漁が設定されている。サクラエビは夏季に産卵し、ほとんどが1年数ヶ月で死亡する。¹⁻³⁾ 生まれた年の秋漁期に漁獲加入し、翌年の秋漁期まで漁獲される。¹⁻³⁾ 年間漁獲量は1976年以降、843～3,803トンで変動している。³⁾ 本種の資源に関しては、年級群構造^{5,6)}や資源量推定⁷⁾などが報告され、近年では静岡県水産試験場によって各漁期前に漁獲されるサクラエビの体長や体重の予測も行われている。^{8,9)} しかしながら、資源量推定が行われたのはプール制導入以前の揚操網方式で漁獲された1961～1965年級のみである。⁷⁾ 合理的な資源管理を行う上で、資源量の推移を把握しておくことは重要である。そこで、1998～2001年級の資源量を推定することを目的とした。

Fig. 1 Schematic illustration of a process showing a decrease in numbers of individuals for a cohort of Sergestid shrimp. The numerical values show the following periods: 1, autumn fishing season at 0 age; 2, winter closed season at 0 age; 3, spring fishing season at 0 age; 4, summer closed season at 0-1 ages; 5, autumn fishing season at 1 age; 6, winter closed season at 1 age, respectively. N shows the stock abundance in numbers on the first day of the period.

材料および方法

本研究で用いたサクラエビ標本は、1998 年秋漁期から 2002 年秋漁期までの計 9 漁期に、原則として毎日、由比港漁業協同組合所属のサクラエビ漁船に乗船し（以下、調査と呼ぶ）、漁獲物の一部から採取した。1 出漁日当たり 200～400 個体に対して、体長（mm）と体重（湿重量；mg）を測定した。体長は額角の基部から尾節の末端までとした。体重は電子天秤（ワイエムシィ㈱、MK-60E）によって測定した。

資源量推定の方法と必要なデータ サクラエビのある年級群の資源尾数の減少過程の模式図を Fig. 1 に示す。

出生から寿命までの期間を漁業の実態および調査期間に基づき、以下のように区分した。1：0 歳秋漁期，2：0 歳冬季休漁期，3：0 歳春漁期，4：0-1 歳夏季休漁期，5：1 歳秋漁期，6：1 歳冬季休漁期（死亡までの期間）。また、各漁期内の調査期間は対応する漁期の数値に記号'を付加して、漁期と調査期間を区別した（例えば、1'：0 歳秋漁期内の調査期間）。ただし、2002 年春漁期だけ

は、漁の最終日まで調査できなかったため、調査日以降の漁期間には記号"を付加した。また、例えば、0 歳秋漁開始時から同期間内の調査開始時までの期間を 11' と表記した。

資源量推定に関わる変数あるいは定数に対して、以下の記号を用いた。 B ：資源重量， C ：漁獲尾数， E ：漁獲率， F ：漁獲係数， k ：von-Bertalanffy の成長式での成長速度に関するパラメータ， L ：体長， L_{∞} ：von-Bertalanffy の成長式での極限体長， M ：自然死亡係数， N ：資源尾数， S ：生残率， T ：該当期間の日数， t_m ：成熟年齢， t_k ：寿命， W ：体重， Z ：全減少係数。これらのうち、期間ごとに变化する量には以下の表記を用いた。例えば、 N は期間 i 開始時の資源尾数、 $\bar{L}$ は期間 i の平均体長、 S は期間 i から j までの生残率である。

資源量は Virtual population analysis¹⁰⁾を用いて推定した。この方法に必要なデータあるいはパラメータは M 、最終年齢（本論文では期間 5'6 に相当）のターミナル F 、および各期間の C である。1 日当たりの M を t_m と t_k を用いて、陳らの方法¹¹⁾によって以下のように推

Fig. 2 Length frequency distributions of Sergestid shrimp (Nov. 1998–Dec. 2002). The values and triangles show average body lengths and border lengths for discriminating two year classes, respectively.

Table 1 Data for estimation of stock biomass by year classes of 1998–2001

1998 year class	1998		1999						
	T _{11'}	T _{1'2}	T ₂₃	T _{33'}	T _{3'3"}	T _{3'4}	T ₄₅	T _{55'}	T _{5'6}
Duration (days)	40	13	97	—	62	—	151	5	50
Catch in numbers (10 ⁸ Indiv.)	12.5	5.9	—	—	41.3	—	—	0.2	5.4
L (mm)		32.4	—		36.0	—		39.3	
$\bar{L}$ (mm)		33.7	—		36.7	—		39.6	
W (mg)		254.4	—		353.3	—		466.7	
$\bar{W}$ (mg)		301.5	—		386.8	—		542.1	
1999 year class	1999		2000						
	T _{11'}	T _{1'2}	T ₂₃	T _{33'}	T _{3'3"}	T _{3'4}	T ₄₅	T _{55'}	T _{5'6}
Duration (days)	5	50	96	5	59	—	153	2	48
Catch in numbers (10 ⁸ Indiv.)	1.3	20.5	—	0.5	37.1	—	—	0.1	7.3
L (mm)		29.4	—		36.2	—		40.1	
$\bar{L}$ (mm)		31.1	—		37.3	—		40.3	
W (mg)		213.2	—		400.3	—		544.0	
$\bar{W}$ (mg)		254.2	—		434.7	—		566.2	
2000 year class	2000		2001						
	T _{11'}	T _{1'2}	T ₂₃	T _{33'}	T _{3'3"}	T _{3'4}	T ₄₅	T _{55'}	T _{5'6}
Duration (days)	2	48	93	4	65	—	148	11	44
Catch in numbers (10 ⁸ Indiv.)	0.1	13.5	—	0.3	36.1	—	—	0.4	4.6
L (mm)		32.1	—		36.8	—		40.7	
$\bar{L}$ (mm)		33.1	—		37.9	—		41.1	
W (mg)		277.5	—		410.0	—		547.6	
$\bar{W}$ (mg)		302.5	—		449.1	—		548.3	
2001 year class	2001		2002						
	T _{11'}	T _{1'2}	T ₂₃	T _{33'}	T _{3'3"}	T _{3'4}	T ₄₅	T _{55'}	T _{5'6}
Duration (days)	11	44	93	10	52	7	147	36	20
Catch in numbers (10 ⁸ Indiv.)	2.4	15.3	—	3.6	23.5	2.7	—	1.4	1.3
L (mm)		31.4	—		35.9	—		38.8	
$\bar{L}$ (mm)		32.2	—		36.6	—		39.1	
W (mg)		258.3	—		405.0	—		524.9	
$\bar{W}$ (mg)		263.7	—		438.6	—		535.8	

Abbreviations are as follows: L (W), body length (body weight) at the first capture of the fishing season; $\bar{L}$ ($\bar{W}$), average body length (body weight) of samples of the fishing season. $L_{5'}$ (body length at the first day of the survey in the autumn fishing season at 1 age) are as follows: 39.3 mm, 40.1 mm, 40.9 mm and 39.0 mm in 1998, 1999, 2000 and 2001 year classes, respectively.

定した。

$$M = (\text{Log}_e t_\lambda - \text{Log}_e t_m) / (t_\lambda - t_m) / 365$$

寿命 (t_λ) は大森に従い²⁾16 ヶ月とした。産卵の盛期は8月上旬から9月下旬までにあることが多いので,⁸⁾その中央の9月1日を誕生日とし, 成熟年齢 (t_m) を1.0歳とした。1日当りの $F_{5'6}$ は体長組成から生残率を推定する方法^{12,13)}を基に推定した。つまり, von-Bertalanffyの成長式のパラメータ k と L_∞ , さらに期間5'6開始時の体長 $L_{5'}$ と同期間の平均体長 $\bar{L}_{5'6}$ から以下のように推定した。

$$Z = k(L_\infty - \bar{L}_{5'6}) / (\bar{L}_{5'6} - L_{5'})$$

$$Z_{5'6} = ZT_{5'6}/365$$

ここで $\bar{L}_{5'6}$ は実測の $\bar{L}_{5'}$ で代用し, $L_{5'}$ は von-Bertalanffy の成長式 (推定方法は後述) から求めた。 $T_{5'6}$ などの漁期間は由比港漁業協同組合の漁獲資料より与えた。そこで,

$$F_{5'6} = Z_{5'6} - M_{5'6}$$

次に $S_{5'6}$ と $E_{5'6}$ を

$$S_{5'6} = e^{-Z_{5'6}}$$

$$E_{5'6} = F_{5'6}(1 - S_{5'6}) / Z_{5'6}$$

と求めた。そこで $N_{5'6}$ を

$$N_{5'6} = C_{5'6} / E_{5'6}$$

より求めた。より若齢期の N は Virtual Population Analysis により次々に与えた。この際, 各期間の長さ

Fig. 3 Relationship between body length and body weight of Sergestid shrimp. L, body length (mm); W, body weight (mg).

が不等なことを考慮した。

各期間の漁獲尾数は以下のように推定した。まず、標本の体長組成を用いて、商業的漁獲物の年級群分離を試みた。この組成はどの期間でも単峰形あるいは2峰形であった (Fig. 2)。そこで、漁獲物は最大でも2つの

Fig. 4 Estimated von-Bertalanffy growth curves of Sergestid shrimp. Closed circles show average body length of samples at each month.

年級群よりなるとみなした。体長組成が2峰形の場合、年級群分離のため基準となる体長を与え (Fig. 2), この基準体長よりも小さい体長, 大きい体長を持つ個体をそれぞれ0歳群 (採集年が y 年であれば y 年級群), 1歳群 (採集年が y 年であれば $y-1$ 年級群) とし, 標本重量における各年級群の重量割合を求めた。これらの割合を用いて商業的漁獲重量を標本の平均体重で除して, 年級群別漁獲尾数を与えた。

各漁期初の資源重量 (B) は対応する資源尾数 (N)

と1尾当りの体重 (W) の積により与えた。この W は von-Bertalanffy の成長式, および体長と体重の関係式より求めた。

von-Bertalanffy の成長式は年級群ごとに推定した。用いたデータは年級群別の標本平均体長と標本採集時期であった。仮定した誕生日 (9 月 1 日) と採集時期から, 対応する年齢を与えた。このようにして得た年齢別平均体長と成長式からの期待値の相違を最小にするように, 最小二乗法を用いて成長式のパラメータを推定した。推定値の探索には, シンプレックス法を用いた。

体長と体重の関係式は年級群ごとに与えた。用いたデータはある年級群に属するとみなした全個体の体長と体重のデータであった。この関係式を $W=aL^b$ とし, パラメータ a と b は, W と L を対数変換した後に, 回帰分析より求めた。資源量推定に必要な以上のデータを Table 1 に示す。

結 果

体長組成 1998 年 12 月から 2002 年 12 月までのサクラエビの体長組成を, 月ごとに Fig. 2 に示す。秋漁期 (11~12 月) では2峰形を示し, 体長の大きな前年生まれと小さな当年生まれの2年級から構成されていた。春漁期 (4~6 月) では単峰形で, 前年生まれのみから構成されていたとみなした。

体長と体重の関係 体長 (mm) と体重 (mg) の関係式は以下の通りであった (Fig. 3)。

$$1998 \text{ 年級: } W=4.4 \times 10^{-3} L^{3.152} \quad (n=6,897)$$

$$1999 \text{ 年級: } W=8.4 \times 10^{-3} L^{3.001} \quad (n=6,621)$$

$$2000 \text{ 年級: } W=14.6 \times 10^{-3} L^{2.841} \quad (n=6,554)$$

$$2001 \text{ 年級: } W=2.4 \times 10^{-3} L^{3.362} \quad (n=5,241)$$

成長式 von-Bertalanffy の成長式は以下の通りであった (Fig. 4)。ここで L_t は t 歳 (年) 時の体長 (mm) である。

$$1998 \text{ 年級: } L_t=44.4 \quad (1-e^{-0.859(t+1.344)})$$

$$1999 \text{ 年級: } L_t=42.0 \quad (1-e^{-1.899(t+0.458)})$$

$$2000 \text{ 年級: } L_t=44.4 \quad (1-e^{-1.238(t+0.856)})$$

$$2001 \text{ 年級: } L_t=40.4 \quad (1-e^{-1.674(t+0.718)})$$

資源量推定 N , B , および各漁期のパラメータの推定結果を Table 2 に示す。0 歳秋漁期初資源尾数 N_1 (資源重量 B_1) は 1998 年級で 97.3 億尾 (2,475 トン), 1999 年級で 103.0 億尾 (2,195 トン), 2000 年級で 82.5 億尾 (2,288 トン), および 2001 年級で 71.9 億尾 (1,856 トン) と推定された。

全減少係数 Z (漁期当たり) 0 歳秋漁期では 0.31~0.44, 0 歳春漁期では 1.54~2.12, 1 歳秋漁期では 2.32~2.92 であった。

漁獲係数 F (漁期当たり) 0 歳秋漁期では 0.19~0.31, 0 歳春漁期では 1.39~1.95, 1 歳秋漁期では 2.18~

Table 2 Estimation of fishing parameters and biomass in year classes of 1998-2001

Year class		T ₁₂	T ₂₃	T ₃₄	T ₄₅	T ₅₆
1998	F	0.23	—	1.62	—	2.18
	M	0.13	0.23	0.15	0.36	0.13
	Z	0.35	0.23	1.76	0.36	2.32
	S	0.70	0.80	0.17	0.70	0.10
	E	0.19	—	0.76	—	0.85
	N (10 ⁸ Indiv.)	97.3	68.5	54.4	9.4	6.5
	B (tons)	2,475		1,924		305
1999	F	0.26	—	1.39	—	2.55
	M	0.13	0.23	0.15	0.36	0.12
	Z	0.39	0.23	1.54	0.36	2.67
	S	0.68	0.80	0.21	0.70	0.07
	E	0.21	—	0.71	—	0.89
	N (10 ⁸ Indiv.)	103.0	70.1	55.8	12.0	8.3
	B (tons)	2,195		2,235		453
2000	F	0.19	—	1.61	—	2.48
	M	0.12	0.22	0.16	0.35	0.13
	Z	0.31	0.22	1.77	0.35	2.61
	S	0.73	0.80	0.17	0.70	0.07
	E	0.16	—	0.75	—	0.88
	N (10 ⁸ Indiv.)	82.5	60.5	48.6	8.3	5.9
	B (tons)	2,288		1,991		320
2001	F	0.31	—	1.95	—	2.78
	M	0.13	0.22	0.16	0.35	0.13
	Z	0.44	0.22	2.12	0.35	2.92
	S	0.65	0.80	0.12	0.71	0.05
	E	0.25	—	0.81	—	0.90
	N (10 ⁸ Indiv.)	71.9	46.4	37.2	4.5	3.2
	B (tons)	1,856		1,508		166

Abbreviations are as follows: F, fishing mortality coefficient; M, natural mortality coefficient; Z, total mortality coefficient; S, survival rate; E, exploitation rate; N (B), stock number (stock biomass) at the first day of the fishing season.

2.78 であった。

漁獲率 E (漁期当たり) 0 歳秋漁期では 0.16~0.25, 0 歳春漁期では 0.71~0.81, 1 歳秋漁期では 0.85~0.90 であった。

考 察

田中, 河井⁷⁾は漁期間の CPUE (努力量は月別総操業統数) の推移から全減少係数を求め, 1961~1965 年級のサクラエビの漁獲加入尾数を 400~2,000 億尾と推定した。サクラエビ漁は, 1976 年以降には揚操方式から漁獲効率の高い船曳網方式に切り替わり,⁴⁾ その後, 漁獲努力の高い年が続いた。⁶⁾ しかし, 1990 年以降, 漁獲努力は低下し, 1990~1992 年の延べ曳網時間は 1978~1982 年の 1/10~1/20 程度にまで減少した。⁶⁾ そして,

Fig. 5 Changes in relative stock biomass of Sergestid shrimp, where biomass at the time of recruitment is set to be 100. Solid and broken lines show simulated change in the case of no fishing and estimated change for the 2000 year class, respectively.

現在でも1日の操業は数時間で終了することが続いている。このような漁獲努力の制限下にあるにもかかわらず、1998年級から2001年級までの漁獲加入尾数（0歳秋漁期初資源尾数 N_1 , 71.9~103.0億尾）は1960年代⁷⁾の1/20~1/4程度の水準に過ぎない。

現在の漁業形態のもとで、加入資源がどの程度、有効に利用されているかを検討するため、2000年級を例に、実際の相対資源量（バイオマス）の推移と、漁業をまったく行わなかったと仮定した場合の相対資源量の推移をFig. 5に示す。一般に漁業が行われない場合、加入資源尾数は自然死亡によって減少するが、1個体の体重が増加していくので、バイオマスはFig. 5の実線のように加入後に増加してある時点でピークとなり、そして減少する。理論的には、バイオマスがピークとなった時点で漁獲すれば、加入資源から最大の漁獲量が得られ、加入資源を有効に利用していることになる。漁業を行わなかった場合のバイオマスのピークはFig. 5に示すように0.4歳時（2月）であるが、現実には資源の大半を漁獲しているのは0.6歳時（Fig. 5に“3”で示した春漁期）である。したがって、バイオマスと漁獲量の関係から言えば、4~5月が主体となっている現在の春漁期を2月頃にずらすほうが資源を有効に利用できるようになる。しかし、現実には真冬の時期は海況が悪く、出漁できる日数が少なくなる可能性がある。また、漁業を行わなかった場合の現在の春漁期（0.6歳時付近）のバイオマスは、ピークである0.4歳時と比べ著しく減少しているわけではない。したがって、現在の漁期は妥当な時期に設定されており、資源を有効に利用しているといえる。ここでは、2000年級を例として考察したが、他の3年級についてもまったく同様な傾向が得られている。

2001年級の資源量は1998~2000年級に比べ減少し

ていたが、この原因は明らかではない。少なくとも、漁獲努力が制限下にあることや漁期が妥当な時期に設定されていることから、漁獲による直接的な影響ではないと考えられる。しかし、近年の春漁の漁獲係数（1.39~1.95）は資源水準の低下によって1960年代（0.43~0.73）⁷⁾に比べ著しく大きくなっているため、今後も引き続き資源管理を十分に行うことが必要である。その一方、サクラエビ資源の年変動には幼生期の生残率が最も関係し、幼生期の生残率は駿河湾の海況によって決定されると指摘されているので、³⁾ 資源の年変動と海況についても詳細に解析していくことが必要である。

謝 辞

由比港漁業協同組合宮原淳一組合長、原 剛三元組合長、同組合山崎稔理事、同組合故柿崎幸夫理事をはじめとする多数の方々にサクラエビの採取に際しご協力頂いた。明神丸船主実石正則氏には、さまざまな便宜を計って頂いた。また、当時の東海大学海洋学部水産学科の学生には調査に協力して頂いた。これらの方々に心よりお礼申し上げる。

文 献

- Omori M. The biology of a sergestied shrimp *Sergestes lucens* Hansen. *Bulletin of the Ocean Research Institute, University of Tokyo* 1969; 1-83.
- 大森 信. 海洋動物プランクトンの生産生態研究の問題さくらえび研究に関連して. *日本海洋学会誌* 1970; **26**: 242-252.
- 大森 信. サクラエビの生物学「さくらえび, 漁業百年史」(大森信・志田喜代江編) 静岡新聞社, 静岡. 1995; 64-81.
- 中村保昭, 津久井文夫. 駿河湾産サクラエビの漁獲努力の質的变化がその資源に及ぼす影響. *静岡県水産試験場研究報告* 1982; **16**: 19-30.
- 津久井文夫. 駿河湾産サクラエビ (*Sergia lucens*) の年級群別漁獲尾数. *静岡県水産試験場研究報告* 1982; **16**: 113-115.
- 平井一行. 1988~1992年漁期におけるサクラエビの年級群構造と資源水準について. *静岡県水産試験場研究報告* 1993; **28**: 1-5.
- 田中卓郎, 河井智康. 駿河湾におけるサクラエビ資源の診断. *東海区水産研究所報告* 1967; **50**: 17-26.
- 静岡県水産試験場. 平成14年サクラエビ調査中間報告と秋漁の見通し. サクラエビ漁業生産技術研修会資料. 2002; 9.
- 小林憲一. 駿河湾のサクラエビ漁業と漁獲量の年変動. *日本プランクトン学会報* 2002; **49**: 108-114.
- Gulland JA. *Fish stock assessment: a manual of basic methods*. John Wiley and Sons, New York. 1983; 223.
- 陳 賽斌, 平山信夫, 石野 誠. 資源の動的平衡および生物学的諸特性値間の相互関連性. *水産海洋研究* 1989; **53**: 18-27.
- Beverton RJH, Holt SJ. On the dynamics of exploited fish populations. *Fishery Invest. U.K. Ser., II* 1957; **19**: 1-533.
- 田中昌一. 「水産資源学総論」恒星社厚生閣, 東京. 1985; 188-189.