

駿河湾における1998-2007年級のサクラエビの資源量推定

佐久間拓也*1,*4・福井 篤*2・保正竜哉*3・魚谷逸朗*2

Abundance estimation of Sergestid shrimp *Sergia lucens* of 1998-2007 year classes in Suruga Bay

Takuya SAKUMA, Atsushi FUKUI, Tatsuya HOSHO and Itsuro UOTANI

Abstract

Stock abundances of 1998-2007 year classes of Sergestid shrimp in Suruga Bay were estimated by virtual population analysis using the length frequency and catch data. The number (N_1) and biomass (B_1) at recruit of each year class were estimated to be 46.1-119.2 (mean \pm SD 82.6 \pm 23.7) $\times 10^8$ individuals and 801-2,577 (1,888 \pm 585) t, respectively. The numbers at recruit (N_1) were about 1/40-1/3 of 1961-1965 year classes. The reproduction rate (N_1/N_4 and B_1/B_4 , where N_4 and B_4 indicate the number and biomass, respectively, of the previous year class) were correlated with the average water temperatures during the spawning season, the rates tended to increase as the average water temperatures become higher during the spawning season. Accordingly, the water temperatures affected the survivals of the eggs and larvae. The poor catches of the autumn fishing of 2004 year resulted from the following causes: (1) delayed recruit of age 0 cohort (2004 year class) due to large-meander of the Kuroshio path and (2) smaller abundance of age 1 cohort (2003 year class).

Keywords: Sergestid shrimp, *Sergia lucens*, Abundance estimation, Suruga Bay

緒 言

サクラエビ *Sergia lucens* は体長 40-50mm に成長する小型の遊泳性甲殻類で、駿河湾、相模湾、東京湾湾口、および台湾北東部と南西部に分布する (Omori, 1969; 大森, 1970; 大森・志田, 1995; 田中, 2007)。本種の産卵期は 6-10月で、卵や幼生は水深 50 m 以浅に分布する。成体は顕著な成群性と日周移動性を有し、昼間では水深 200-350 m に生息するが、夜間になると水深 20-100 m に浮上する (Omori, 1969; 大森・志田, 1995)。本種は駿河湾の代表的な地域特産品で、1894年から漁業が始まった。古くから資源管理が行われ、1912年には産卵期である夏季が禁漁期となり、揚操網方式から漁獲効率の高い船曳網方式に切り替わった翌年の1977年には水揚げ金額を均等分配

するプール制が導入された (中村・津久井, 1982; 大森・志田, 1995)。近年の漁期は 3月下旬-6月上旬 (春漁期) と 10月下旬-12月下旬 (秋漁期) である。1976年以降の年間漁獲量は 843-3,803トン (春漁期では 423-2,567トン, 秋漁期では 294-1,896トン) で推移している (大森・志田, 1995)。サクラエビの年級群は秋漁期に漁獲加入し、翌年の春漁期を経て秋漁期まで漁獲される (Omori, 1969; 大森, 1970; 津久井, 1982; 大森・志田, 1995)。年級群によっては、翌々年の春漁期でも少数が漁獲されることもある (平井, 1993)。

合理的な資源管理を実施する上で、資源量の推定は不可欠である。しかしながら、本種の資源量については 1961-1965年級 (田中・河井, 1967) と 1998-2001年級 (福井ほか, 2004) の報告があるだけで、従来、資源量の指標としては努力量当たり漁獲量 (CPUE) が用いられてきた

2010年3月31日受付 2010年7月14日受理

*1 東海大学大学院海洋学専攻水産学専攻 (Course of Fishery Science, School of Marine Science and Technology, Tokai University)

*2 東海大学海洋学部水産学科 (Department of Fisheries, School of Marine Science and Technology, Tokai University)

*3 日本エヌ・ユー・エス株式会社 (Japan NUS Co., Ltd.)

*4 大川水産株式会社 (Ohkawasuisan Inc.)

(Omori *et al.*, 1973; 津久井, 1987; 杉本ほか, 2009). 本研究では, 福井ほか (2004) の推定法を再検討し, 1998-2007年級の資源量を推定した. そして, 加入を決定する要因を検討した.

材料および方法

試料と測定方法 本研究で用いたサクラエビは, 1998年秋漁期から2009年春漁期まで (計22漁期), 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, 漁獲物の一部から採取した. 1出漁日当たり, 雌雄それぞれ100-200個体の体長 [眼窩の後縁 (額角の基部) から尾節の末端までの長さ] と体重を電子ノギス [ミットヨ (株), CD-15C] と電子天秤 [ワイエムシィ (株), MK-60 E] を用いて測定した. 福井ほか (2004) に従い, 標本の体長組成を用いて商業的漁獲物の年級群を分離した. 各月の体長組成は2峰形あるいは単峰形とみなした. 漁期中の各月において, 雌雄ともに2峰形の場合, 2つの年級群より構成されるとして扱った. この場合, 年級群分離のための基準となる体長を与え, この基準体長より小さい体長を持つ個体を0歳群 (採集年が y 年であれば, 秋漁期の場合 y 年級群, 春漁期の場合 $y-1$ 年級群), 大きい体長を持つ個体を1歳群 (採集年が y 年であれば秋漁期の場合 $y-1$ 年級群, 春漁期の場合 $y-2$ 年級群) とした.

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 に示した. 誕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, 7: 1歳春漁期, 8: 死亡するまでの夏季休漁期. 漁の開始日からあるいは終了日まで, 調査できない場合があった. この場合, 調査開始日あるいは終了日には, それぞれ対応する漁期の数値に記号'あるいは"を付加した. 例えば, 0歳春漁期 (3) の場合, 調査開始日を3', 調査終了日を3" (Fig. 1 では省略) と表記した. また, 漁開始日から調査開始日までの期間を3', 調査終了日から漁終了日までの期間を3"とした. 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_{λ} : 寿命, W : 1尾当たりの体重, Z : 全減少係数. これらのうち, 期間ごとに変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 analysis (VPA) を用いて推定した (Gulland, 1983). VPA に必要なデータあるいはパラメータは M , ひとつの年級群の最後の漁期にかかる F (ターミナル F), および各期間の C である. 1日当たりの M は, t_m と t_{λ} を用いて, 陳ほか (1989) に従い以下のように推定した.

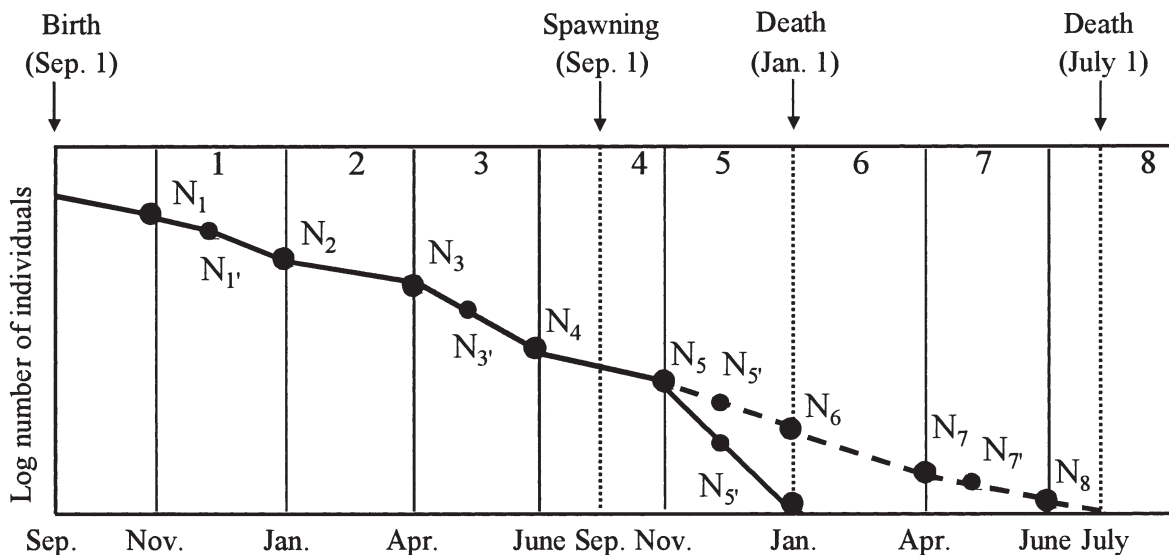


Fig. 1 Schematic illustration of decreasing process of a Sergestid shrimp cohort. Solid and broken lines indicate life span of age 1.3 and 1.8, respectively. The numerical values indicate the following periods: 1, autumn fishing season at age 0; 2, winter closed season at age 0; 3, spring fishing season at age 0; 4, summer closed season at age 0-1; 5, autumn fishing season at age 1; 6, winter closed season at age 1; 7, spring fishing season at age 1; 8, summer closed season at age 1-2, respectively. N and N' indicate the stock abundance in numbers on the first day of the fishing period and the survey period, respectively

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

寿命 (t_λ) は体長組成から設定した。近年のサクラエビ卵の出現量のピークは8月上旬から9月下旬までにあることが多いので(静岡県水産技術研究所, 2008), その中央の9月1日を誕生日とした。成熟年齢 (t_m) は1.0歳とした(福井ほか, 2004)。ターミナル F は体長組成から生残率を推定する方法(Beverton and Holt, 1957; 田中, 1985)を基に推定した。寿命1.3歳(寿命の推定については後述)のターミナル F ($F_{5'6}$) は次のように計算した。最初に, 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 $L_{5'}$ と同時期の平均体長 $\bar{L}_{5'6}$ から $Z_{5'6}$ を推定した。

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

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

ここで $\bar{L}_{5'6}$ は実測の平均値で代用し, $L_{5'}$ 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,

$$F_{5'6} = Z_{5'6} - M_{5'6} \text{ となる。}$$

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 $N_{5'}$ を

$$N_{5'} = C_{5'6} / E_{5'6} \text{ より求めた。}$$

漁獲尾数は漁獲量と標本重量における年級群の重量割合の積を1尾当たりの平均体重で除すことによって求めた(Appendix)。より若齢期の N はVPAにより次々と与えた。この際、各期間の長さが不等なことを考慮した。各漁期の資源重量 (B) は対応する資源尾数 (N) と1尾当たりの体重 (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および標本採集時期で

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 (k , L_∞ , および t_0) 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、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を用いて、年級群ごとに推定した。パラメータ ($w = aL^n$ の a と n) は、体長と体重を対数変換した後に、回帰分析より求めた。資源量は福井ほか(2004)では雌雄をまとめて推定したが、1歳以降のサクラエビの成長には雌雄差があるので、雌雄ごとに行った。Table 1に資源量推定に必要なデータを示した。水温については静岡県水産技術研究所より提供を受けた駿河湾沿岸定線観測における三保灯台沖(St. 29の水深20, 30, 50, 75, 100, 125, 150, および200 m)のデータ、および黒潮流路については一都三県漁海況速報のデータ(神奈川県水産技術センターホームページ)を使用した。

Table 1 Data for stock estimation of each year class (1998-2007)

1998 class	Male	1998					1999					2000		
		T ^{11'}	T ^{1'2}	T ²³	T ^{33'}	T ^{3'3''}	T ^{3''4}	T ⁴⁵	T ^{55'}	T ^{5'6}	T ⁶⁷	T ^{77'}	T ^{7'8}	
Duration (days)		42	11	97	—	62	—	151	5	50				
Catch in numbers (×10 ⁸ individuals)		6.18	2.94	—	—	21.04	—	—	0.19	3.57				
L (mm)			32.7	—		35.9	—			38.7				
\bar{L} (mm)			33.9	—		36.5	—			39.0				
W (mg)			266.0	—		326.0	—			450.3				
\bar{W} (mg)			296.5	—		380.0	—			518.0				
	Female	1998					1999					2000		
		T ^{11'}	T ^{1'2}	T ²³	T ^{33'}	T ^{3'3''}	T ^{3''4}	T ⁴⁵	T ^{55'}	T ^{5'6}	T ⁶⁷	T ^{77'}	T ^{7'8}	
Duration (days)		42	11	97	—	62	—	151	5	50				
Catch in numbers (×10 ⁸ individuals)		6.37	3.04	—	—	20.62	—	—	0.11	2.19				
L (mm)			32.0	—		36.0	—			40.0				
\bar{L} (mm)			33.5	—		36.9	—			40.4				
W (mg)			246.1	—		360.4	—			499.0				
\bar{W} (mg)			296.2	—		387.7	—			584.5				

Table 1 continued

1999 class	Male	1999		2000						2001			
		T ^{11'}	T ^{1'2}	T ²³	T ^{33'}	T ^{3'3''}	T ^{3''4}	T ⁴⁵	T ^{55'}	T ^{5'6}	T ⁶⁷	T ^{77'}	T ^{7'8}
	Duration (days)	5	50	96	5	59	—	153	2	48			
	Catch in numbers (×10 ⁸ individuals)	0.52	10.06	—	0.24	19.48	—	—	0.06	3.71			
	L (mm)		30.2	—		35.6	—	—		39.4			
	\bar{L} (mm)		31.5	—		36.5	—	—		39.7			
	W (mg)		231.6	—		375.2	—	—		507.6			
	\bar{W} (mg)		218.8	—		413.9	—	—		530.6			
	Female	1999		2000						2001			
	Duration (days)	5	50	96	5	59	—	153	2	48			
	Catch in numbers (×10 ⁸ individuals)	0.58	11.24	—	0.22	17.71	—	—	0.06	3.53			
	L (mm)		28.9	—		36.3	—	—		40.8			
	\bar{L} (mm)		30.9	—		37.6	—	—		41.0			
	W (mg)		201.5	—		404.6	—	—		573.4			
	\bar{W} (mg)		246.9	—		455.2	—	—		600.0			
2000 class	Male	2000		2001						2002			
		T ^{11'}	T ^{1'2}	T ²³	T ^{33'}	T ^{3'3''}	T ^{3''4}	T ⁴⁵	T ^{55'}	T ^{5'6}	T ⁶⁷	T ^{77'}	T ^{7'8}
	Duration (days)	2	48	93	4	65	—	148	11	44	93	10	23
	Catch in numbers (×10 ⁸ individuals)	0.09	6.13	—	0.15	18.74	—	—	0.33	2.47	—	0.23	0.54
	L (mm)		32.1	—		36.2	—	—		39.5	—		40.7
	\bar{L} (mm)		33.1	—		37.4	—	—		40.3	—		40.8
	W (mg)		280.7	—		393.2	—	—		502.1	—		544.2
	\bar{W} (mg)		299.5	—		431.9	—	—		516.2	—		598.2
	Female	2000		2001						2002			
	Duration (days)	2	48	93	4	65	—	148	11	44	93	10	23
	Catch in numbers (×10 ⁸ individuals)	0.09	5.52	—	0.01	17.48	—	—	0.29	2.19	—	0.27	0.74
	L (mm)		32.5	—		36.8	—	—		40.6	—		42.0
	\bar{L} (mm)		33.2	—		38.4	—	—		42.0	—		42.2
	W (mg)		287.1	—		411.4	—	—		547.1	—		606.6
	\bar{W} (mg)		305.0	—		466.4	—	—		582.1	—		675.0
2001 class	Male	2001		2002						2003			
		T ^{11'}	T ^{1'2}	T ²³	T ^{33'}	T ^{3'3''}	T ^{3''4}	T ⁴⁵	T ^{55'}	T ^{5'6}	T ⁶⁷	T ^{77'}	T ^{7'8}
	Duration (days)	11	44	93	10	59	—	147	36	20			
	Catch in numbers (×10 ⁸ individuals)	0.99	7.45	—	1.52	12.85	—	—	0.37	0.93			
	L (mm)		32.3	—		35.8	—	—		38.0			
	\bar{L} (mm)		32.6	—		36.5	—	—		38.3			
	W (mg)		269.9	—		387.3	—	—		478.0			
	\bar{W} (mg)		267.0	—		423.9	—	—		504.4			
	Female	2001		2002						2003			
	Duration (days)	11	44	93	10	59	—	147	36	20			
	Catch in numbers (×10 ⁸ individuals)	0.99	7.43	—	1.28	11.11	—	—	0.33	0.85			
	L (mm)		32.4	—		36.4	—	—		39.7			
	\bar{L} (mm)		32.6	—		37.3	—	—		40.1			
	W (mg)		268.5	—		404.6	—	—		545.2			
	\bar{W} (mg)		270.7	—		471.4	—	—		574.9			
2002 class	Male	2002		2003						2004			
		T ^{11'}	T ^{1'2}	T ²³	T ^{33'}	T ^{3'3''}	T ^{3''4}	T ⁴⁵	T ^{55'}	T ^{5'6}	T ⁶⁷	T ^{77'}	T ^{7'8}
	Duration (days)	36	20	91	—	70	—	148	7	48	93	—	70
	Catch in numbers (×10 ⁸ individuals)	1.50	3.84	—	—	17.34	—	—	0.46	2.90	—	—	4.88
	L (mm)		28.6	—		34.6	—	—		39.3	—		40.9
	\bar{L} (mm)		30.5	—		37.0	—	—		39.0	—		41.4
	W (mg)		187.8	—		338.3	—	—		501.4	—		568.8
	\bar{W} (mg)		241.3	—		416.2	—	—		510.2	—		600.3
	Female	2002		2003						2004			
	Duration (days)	36	20	91	—	70	—	148	7	48	93	—	70
	Catch in numbers (×10 ⁸ individuals)	1.47	3.76	—	—	16.57	—	—	0.37	2.32	—	—	4.70
	L (mm)		28.2	—		35.2	—	—		40.4	—		42.2
	\bar{L} (mm)		30.6	—		37.7	—	—		40.3	—		42.6
	W (mg)		174.0	—		351.8	—	—		547.9	—		627.3
	\bar{W} (mg)		241.5	—		435.6	—	—		567.8	—		654.7

Table 1 continued

2003 class	Male	2003		2004						2005			
		T ^{11'}	T ^{1'2}	T ²³	T ^{33'}	T ^{3'3''}	T ^{3''4}	T ⁴⁵	T ^{55'}	T ^{5'6}	T ⁶⁷	T ^{77'}	T ^{7'8}
	Duration (days)	7	48	93	—	70	—	153	—	51			
	Catch in numbers (×10 ⁸ individuals)	0.36	2.29	—	—	11.86	—	—	—	1.63			
	L (mm)		30.8	—	—	35.5	—	—	—	38.6			
	\bar{L} (mm)		30.9	—	—	36.1	—	—	—	38.8			
	W (mg)		238.4	—	—	372.6	—	—	—	486.0			
	\bar{W} (mg)		239.3	—	—	396.3	—	—	—	497.0			
	Female	2003		2004						2005			
	Duration (days)	7	48	93	—	70	—	153	—	51			
	Catch in numbers (×10 ⁸ individuals)	0.50	3.24	—	—	10.64	—	—	—	0.72			
	L (mm)		28.9	—	—	35.9	—	—	—	39.5			
	\bar{L} (mm)		30.1	—	—	36.9	—	—	—	39.6			
	W (mg)		194.2	—	—	395.5	—	—	—	538.0			
	\bar{W} (mg)		220.3	—	—	429.6	—	—	—	539.9			
2004 class	Male	2004		2005						2006			
	Duration (days)	—	51	97	5	56	4	151	1	54	89	—	71
	Catch in numbers (×10 ⁸ individuals)	—	3.08	—	0.25	15.58	0.84	—	0.10	2.72	—	—	2.87
	L (mm)		28.8	—	—	35.2	—	—	—	39.3	—	—	40.4
	\bar{L} (mm)		30.2	—	—	36.2	—	—	—	39.3	—	—	40.6
	W (mg)		185.2	—	—	360.4	—	—	—	516.6	—	—	567.2
	\bar{W} (mg)		225.2	—	—	380.5	—	—	—	563.8	—	—	612.7
	Female	2004		2005						2006			
	Duration (days)	—	51	97	5	56	4	151	1	54	89	—	71
	Catch in numbers (×10 ⁸ individuals)	—	5.35	—	0.24	15.23	0.82	—	0.09	2.44	—	—	3.54
	L (mm)		27.6	—	—	35.4	—	—	—	40.5	—	—	41.9
	\bar{L} (mm)		29.4	—	—	36.5	—	—	—	40.9	—	—	42.1
	W (mg)		164.3	—	—	372.5	—	—	—	579.8	—	—	651.9
	\bar{W} (mg)		208.3	—	—	389.3	—	—	—	638.0	—	—	699.1
2005 class	Male	2005		2006						2007			
	Duration (days)	1	54	89	—	71	—	146	—	56	98	—	65
	Catch in numbers (×10 ⁸ individuals)	0.09	2.38	—	—	11.96	—	—	—	3.85	—	—	3.94
	L (mm)		31.3	—	—	35.0	—	—	—	38.3	—	—	39.5
	\bar{L} (mm)		31.6	—	—	35.5	—	—	—	38.8	—	—	39.6
	W (mg)		273.4	—	—	393.2	—	—	—	520.0	—	—	575.5
	\bar{W} (mg)		280.2	—	—	411.8	—	—	—	554.9	—	—	565.9
	Female	2005		2006						2007			
	Duration (days)	1	54	89	—	71	—	146	—	56	98	—	65
	Catch in numbers (×10 ⁸ individuals)	0.08	2.36	—	—	9.89	—	—	—	3.46	—	—	5.07
	L (mm)		30.8	—	—	35.3	—	—	—	39.4	—	—	40.7
	\bar{L} (mm)		31.5	—	—	35.9	—	—	—	40.4	—	—	40.9
	W (mg)		259.4	—	—	400.4	—	—	—	559.3	—	—	632.3
	\bar{W} (mg)		273.7	—	—	425.7	—	—	—	624.2	—	—	632.3
2006 class	Male	2006		2007						2008			
	Duration (days)	—	56	98	—	65	—	151	2	46			
	Catch in numbers (×10 ⁸ individuals)	—	1.39	—	—	12.04	—	—	0.01	1.84			
	L (mm)		27.2	—	—	32.9	—	—	—	38.2			
	\bar{L} (mm)		29.3	—	—	34.1	—	—	—	38.7			
	W (mg)		176.7	—	—	315.6	—	—	—	495.7			
	\bar{W} (mg)		228.0	—	—	353.2	—	—	—	510.6			
	Female	2006		2007						2008			
	Duration (days)	—	56	98	—	65	—	151	2	46			
	Catch in numbers (×10 ⁸ individuals)	—	1.31	—	—	8.85	—	—	0.01	1.76			
	L (mm)		27.0	—	—	33.5	—	—	—	39.6			
	\bar{L} (mm)		29.3	—	—	34.5	—	—	—	40.2			
	W (mg)		170.2	—	—	332.4	—	—	—	560.7			
	\bar{W} (mg)		226.0	—	—	369.9	—	—	—	586.6			

Table 1 continued

2007 class	Male	2007		2008						2009			
		T ^{11'}	T ^{1'2}	T ²³	T ^{33'}	T ^{3'3''}	T ^{3''4}	T ⁴⁵	T ^{55'}	T ^{5'6}	T ⁶⁷	T ^{77'}	T ^{7'8}
	Duration (days)	2	46	102	—	60	—	156	—	51	93	—	66
	Catch in numbers (×10 ⁸ individuals)	0.05	6.77	—	—	15.69	—	—	—	3.84	—	—	2.83
	L (mm)		30.6	—		34.9	—			37.8	—		38.7
	\bar{L} (mm)		31.6	—		35.6	—			38.1	—		38.8
	W (mg)		243.0	—		372.4	—			484.2	—		523.1
	\bar{W} (mg)		266.0	—		413.9	—			505.1	—		530.7
	Female	2007		2008						2009			
		T ^{11'}	T ^{1'2}	T ²³	T ^{33'}	T ^{3'3''}	T ^{3''4}	T ⁴⁵	T ^{55'}	T ^{5'6}	T ⁶⁷	T ^{77'}	T ^{7'8}
	Duration (days)	2	46	102	—	60	—	156	—	51	93	—	66
	Catch in numbers (×10 ⁸ individuals)	0.05	6.34	—	—	14.43	—	—	—	3.25	—	—	2.56
	L (mm)		30.8	—		35.2	—			38.7	—		39.9
	\bar{L} (mm)		31.6	—		36.5	—			39.5	—		40.0
	W (mg)		252.5	—		391.5	—			529.2	—		584.6
	\bar{W} (mg)		268.9	—		450.0	—			565.9	—		587.9

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_{s'} (body length at the first day of the survey in autumn fishing season at age 1): 1998 year class, male 38.8 mm, female 40.1 mm;

1999 year class, male 39.4 mm, female 40.8 mm; 2001 year class, male 38.2 mm, female 40.0 mm;

2003 year class, male 38.6 mm, female 39.5 mm; 2006 year class; male 38.3 mm, female 39.7 mm

L_{s''} (body length at the first day of the survey in spring fishing season at age 1): 2000 year class, male 40.7 mm, female 42.1 mm;

2002 year class, male 40.9 mm, female 42.2 mm; 2004 year class, male 40.4 mm, female 41.9 mm;

2005 year class, male 39.5 mm, female 40.7 mm; 2007 year class, male 38.7 mm, female 39.9 mm

—: no data

Blank: no appearance of the year class

結 果

体長組成 1998年12月から2009年6月までの月別の体長組成を Fig. 2 に示した。秋漁期(10-12月)の体長組成は全ての年において2峰形で、0歳(y年級)群と1歳(y-1年級)群から構成された。0歳群と1歳群のどちらが多いかは年により異なった。0歳群が占める割合は1998-2002, 2004, および2007年では61-88%であったが、2003, 2005, および2008年では約50%, 2006年では約30%に過ぎなかった(Table 2)。1998-2007年級の0歳秋漁期11月における平均体長は約31 mmで [オス 31.4±1.0 (標準偏差) mm, メス 30.9±1.6 mm], 最大であったのは2001年(オス 32.9 mm, メス 33.1 mm), 最小であったのは2004年(オス 29.8 mm, メス 29.0 mm)あるいは2008年(オス 28.9 mm, メス 29.4 mm)であった(Table 2)。2000, 2003, 2004, および2006年の12月では、雌雄ともに11月の最小体長(オス 25.1-28.6 mm, メス 23.1-28.2 mm)よりも小さな個体が出現し、サクラエビは漁期中も継続的に加入していた。

春漁期の体長組成は年(あるいは月)により異なり、単峰形あるいは2峰形であった。単峰形は1999-2001, 2003, 2005, および2008年で、これらの年は0歳群のみから構成された。2峰形は2002, 2004, 2006, 2007, および2009年で認められた。これらの年は2002年を除いて春漁期終了ま

で雌雄ともに明瞭な2峰形で、0歳群と1歳群から構成された。個体数は0歳群が多く、1歳群の割合は月の経過とともに減少した(3月の17.0-51.0%から6月の10.0-21.2%; Table 2)。2002年では、4月だけが雌雄ともに2峰形であった。

以上の体長組成の推移から、寿命を次のように設定した。1998, 1999, 2001, 2003, および2006年級では1.3歳(死亡日は1歳秋漁期終了後の1月1日)、2000年級では1.7歳(1歳春漁期の5月1日)、2002, 2004, 2005, および2007年級では1.8歳(1歳春漁期終了後の7月1日)とした。

成長式 von-Bertalanffyの成長曲線および成長式を Fig. 3 に示した。各年級とも、体長約35 mm以降でメスがオスよりも大きくなった。体長と体重の関係および関係式を Fig. 4 に示した。

パラメータと資源尾数 N (重量 B) の推移 推定された各漁期のパラメータ、資源尾数、および資源重量を Table 3 に示した。1998-2007年級の0歳群秋漁期の初資源尾数(N₁)の範囲は雌雄を合わせて46.1-119.2 (平均±標準偏差82.6±23.7) 億尾、初資源重量(B₁)の範囲は801-2,577 (1,888±585) トンであった。N₁とB₁は過去10年級では増減を繰り返していた(Fig. 5)。N₁が70億尾(B₁ 1,800トン)以下の低水準となった2001および2006年級では、次年級のN₁は約90億尾(B₁ 2,161トン)以上に回復した。一方、同じく低水準であった2003年級

(N_1 47.2億尾； B_1 1,028トン)の翌年の2004年級では N_1 (90.6億尾)は回復したものの、 B_1 は1,578トンに留まった。0歳群と1歳群を合算した総資源尾数と総資源重量の推移をFig. 6に示した。一年間のうち総資源尾数が最多となる時期は2003年の春漁期開始時を除いて秋漁期開始時にあり、ピーク時の総資源尾数の範囲は67.3-122.5 (91.8±17.6)億尾であった。一方、総資源重量が最多となる時期は2002-2004年および2006年では春漁期開始時あるいは冬季休漁開始時、他の年では秋漁期開始時にあった。総資源重量の範囲は1,942-2,974 (2,509±346)トンであった。

加入を決定する要因の検討 水温と親子関係にある資源量の加入比 N_1/N_4 (B_1/B_4) との関係を図7に示した。ここで、水温は産卵期である6-10月における卵や幼生の分布層である水深20-50m層の平均値とした。 N_4 (B_4)はy-1年級の夏季休漁期開始時の資源尾数(重量)、 N_1 (B_1)はy年級の秋漁期の初資源尾数(重量)である。資源尾数、重量ともに、平均水温と加入比には正の相関が認められた ($p < 0.05$)。平均水温が高くなるにもない加入比は増加する傾向が認められ、 N_1/N_4 (B_1/B_4)比は平均水温18.8-19.2°Cで1.6-3.8 (0.6-2.3)、20.2-21.2°Cで1.2-25.4 (0.7-10.4)、23.6°Cで23.8 (9.6)に達した。平均水温20.2-21.2°Cでは加入比は大きく変動した。この水温範囲で、加入比が最小であったのは2003/2002年 (Fig. 7の×)、最大であったのは2002/2001年 (Fig. 7の▲)であった。親世代の資源量は、前者 [2002年級の N_4 (B_4)]では38.3億尾 (1,571トン：過去10年級で最多)であったのに対し、後者 [2001年級の N_4 (B_4)]では4.7億尾 (208トン：少ないほうから2番目)に過ぎなかった。

考 察

サクラエビの生残率は海洋環境や被食などによって変化すると考えられる (大森, 1970; Omori *et al.*, 1973; 大森・志田, 1995)。しかし、本種の生残率に関するデータは海域、飼育下を問わず不足している。そこで、資源量の推定に必要な自然死亡係数 M は陳ほか (1989) に従って求めた。静岡県水産技術研究所によってサクラエビの産卵調査が長年、実施されている (津久井, 1987)。しかし、本種の卵期が約1日半で終了すること (Omori, 1969; 大森, 1970; 大森・志田, 1995) を考えると、その採集努力は十分とは言えない。そこで、成熟年齢や寿命の起点となる誕生日はすべての年級で9月1日と仮定した。以上の方法は福井ほか (2004) と同様であった。1998年級以降、2002, 2004, 2005, および2007年級のサクラエビは1歳の春漁末期まで出現した。このような寿命の延長は1962-1990年級のうち10 (1965, 1966, 1967, 1969, 1970, 1974, 1977, 1988, 1989, および1990) 年級で認められていた (平井, 1993)。2000年級では寿命を1.7歳として資源量を再計算したが、1.3歳として推定した福井ほか (2004)

との相対差はごくわずかであった (N_1 では両者は等しく、 B_1 では+2.3%)。本報告では雌雄別に資源量を推定したが、雌雄をまとめて求めた1998-2001年級 (福井ほか, 2004) との差もわずかであった (N_1 では-7.1+3.3%, B_1 では-3.0+4.1%)。1998年以降のサクラエビ漁では、年間の出漁日数は30-45日 (春漁期では17-26日, 秋漁期では11-21日) と少なく、一日の操業時間も数時間程度で終了することが続いていた。このような漁獲努力の制限下にあるにもかかわらず、1998-2007年級の漁獲率は1961-1965年級に比べ高かった。ちなみに、春漁期の漁獲率は1998-2007年級ではオス0.41-0.78, メス0.35-0.84であったのに対し、1961-1965年級では0.23-0.35 (田中・河井, 1967) に過ぎなかった。1998-2007年級の0歳秋漁期の初資源尾数 N_1 は46.1-119.2億尾で、1961-1965年級における N_1 (400-2,000億尾; 田中・河井, 1967) の1/40-1/3の水準に留まっていた。ピーク時の総資源尾数(重量)の年較差は N_1 (B_1) の年較差に比べ小さく、この傾向は総資源重量で明瞭であった (Fig. 6)。これは、同時期に存在する前年生まれの1歳群 (前年級の N_5 , B_5) が多い場合に N_1 (B_1) が少なくなり、前年級の N_5 (B_5) が少ない場合に N_1 (B_1) が多くなることを意味する。年較差が小さいことと漁獲努力の制限を考えると、過去10年の総資源尾数(重量)のピーク時の値である約125億尾 (約3,000トン) は近年の漁業下で駿河湾に現存できる資源の上限であることが示唆された。

サクラエビの産卵期における卵や幼生の分布層 (水深20-50m層) の平均水温と加入比 (N_1/N_4 と B_1/B_4) には正の相関が認められた (Fig. 7)。従って、子世代の加入量を決定する要因には産卵期の平均水温があり、卵や幼生期の生残に水温が強く関与していることが示唆された。飼育下によるサクラエビ幼生の成育の適水温は18-25°Cの範囲内にあるとされている (Omori, 1971)。平均水温20°C以下では加入比が小さいので、自然界における卵や幼生の適水温は20°C以上であることが考えられた。一方、平均水温20.2-21.2°Cでは加入比は大きく変動した。加入比の最大値 (2002/2001年, Fig. 7の▲) と最小値 (2003/2002年, Fig. 7の×) は親世代の資源量の多少に対応し、前者では親世代の資源量が少なく、後者では多かった。それ故、密度効果の影響があることが示唆された。本研究の平均水温と加入比との関係は、以下の過去の知見からも支持される。Omori *et al.* (1973) によれば、産卵期における水深50mの平均水温と各年級のCPUEには正の相関がある。津久井 (1987) によれば、1974-1985年におけるCPUEの親子関係の比と水温18-25°Cの水塊の厚さとは密接な関係がある (比が2以上の年では水塊の厚さの年偏差はプラス、1/2以下の年ではマイナス)。一方、高水温は成体の成長も促進させる。飼育水温10-22°Cの範囲では、水温上昇にもない脱皮の頻度は高くなる (福井ほか, 2003)。過去30年間の体長データを用いた数理モデルでは、24.5-

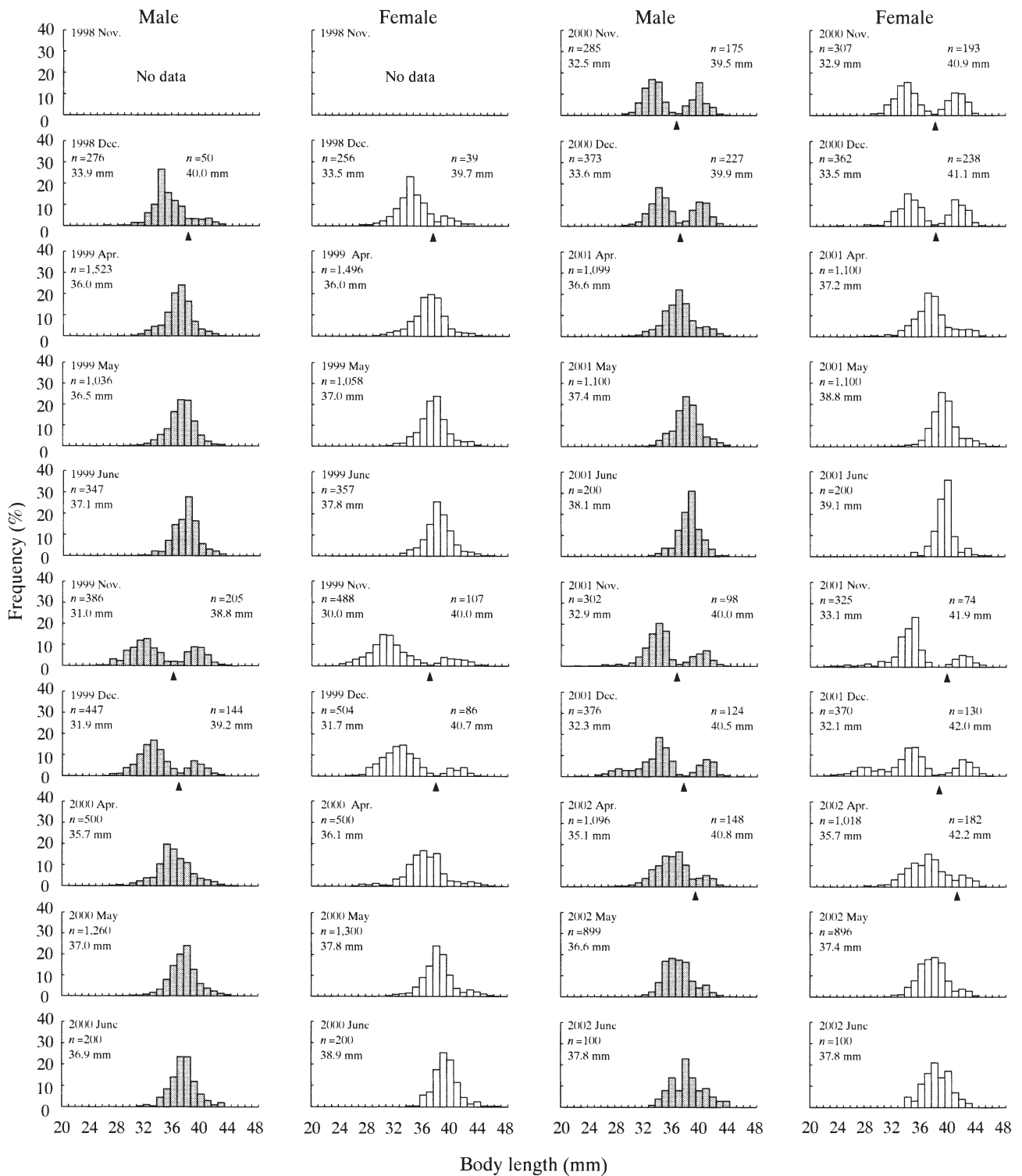


Fig. 2(1) Length frequency distributions of Sergestid shrimp (November 1998–June 2002). The values and triangles indicate average body lengths and border lengths for distinguishing two year classes, respectively

サクラエビの資源量推定

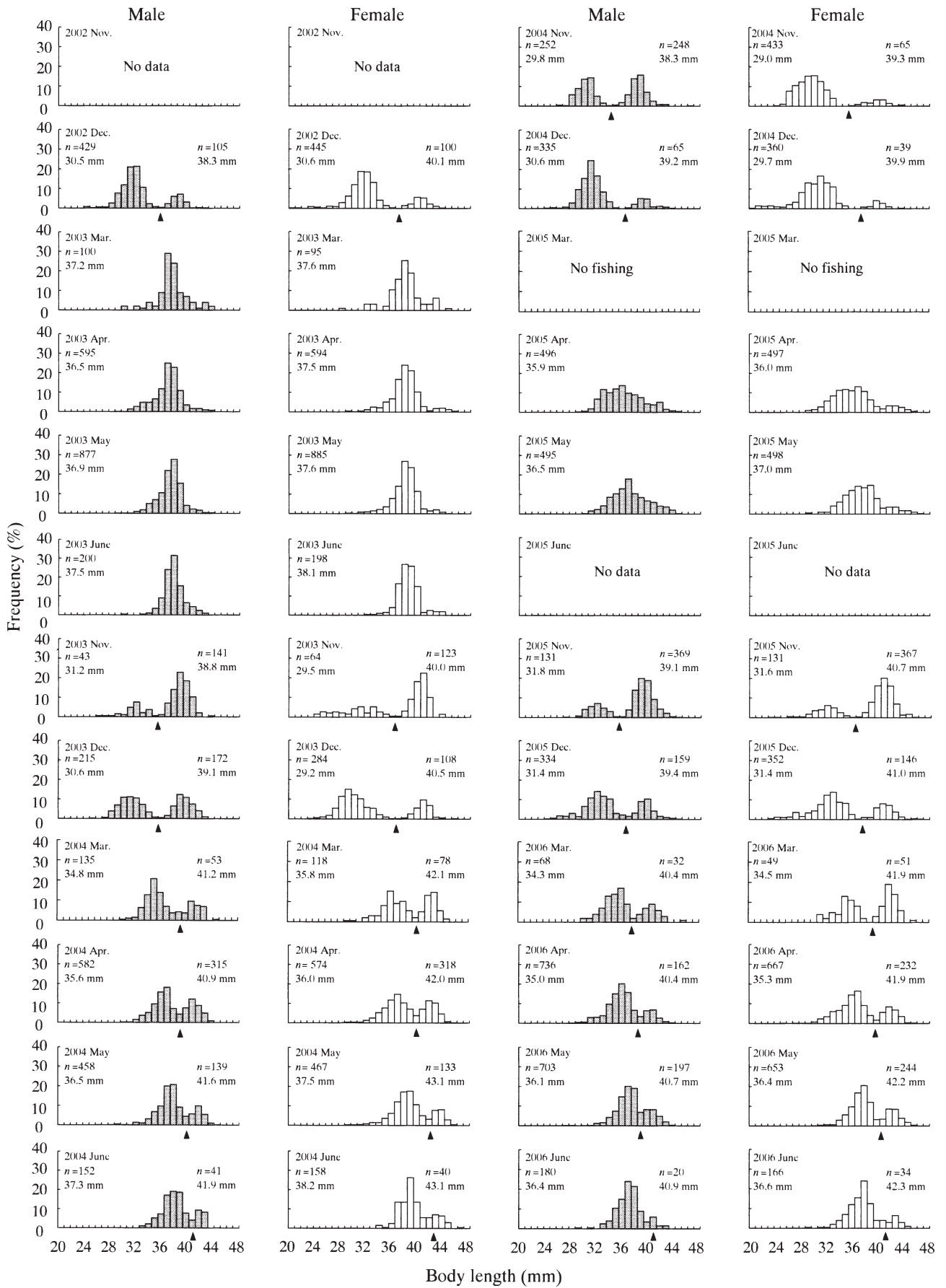


Fig. 2(2) Length frequency distributions of Sergestid shrimp (November 2002–June 2006). The values and triangles indicate average body lengths and border lengths for distinguishing two year classes, respectively

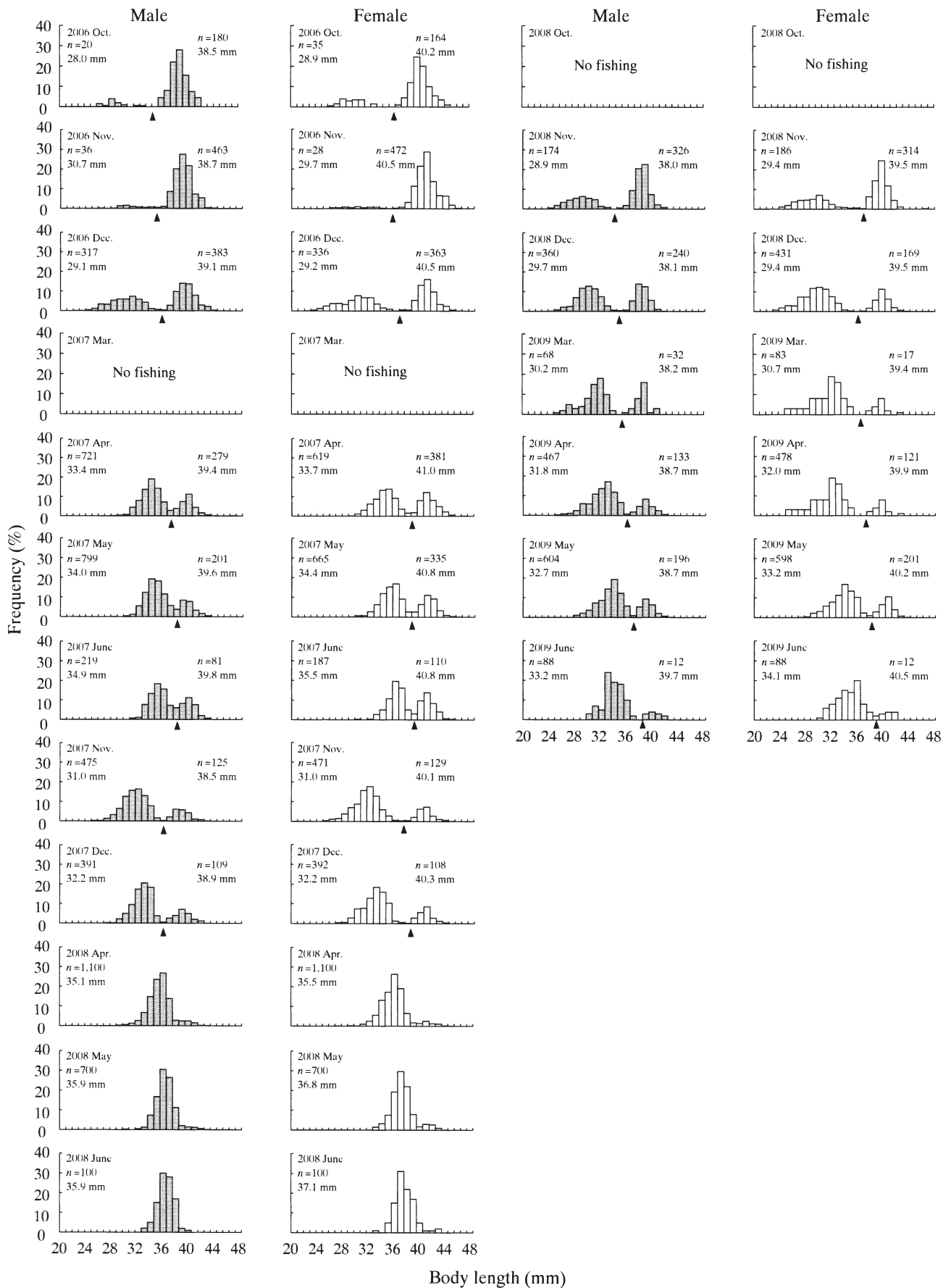


Fig. 2(3) Length frequency distributions of Sergestid shrimp (October 2006–June 2009). The values and triangles indicate average body lengths and border lengths for distinguishing two year classes, respectively

Table 2 Year class composition (%) of Sergestid shrimp based on the length frequency distribution

Year	Fishing season	Year class							
		y		y-1		y-2			
		Male	Female	Male	Female	Male	Female		
1998	Autumn	Nov.	— (—)	— (—)	— (—)	— (—)			
		Dec.	84.7(33.9)	86.8(33.5)	15.3(40.0)	13.2(39.7)			
		Total	84.7	86.8	15.3	13.2			
1999	Spring	Apr.			100 (36.0)	100 (36.0)			
		May			100 (36.5)	100 (37.0)			
		June			100 (37.1)	100 (37.8)			
		Total			100	100			
	Autumn	Nov.	65.3(31.0)	82.0(30.0)	34.7(38.8)	18.0(40.0)			
		Dec.	75.6(31.9)	85.4(31.7)	24.4(39.2)	14.6(40.7)			
		Total	70.5	83.7	29.5	16.3			
	2000	Spring	Apr.			100 (35.7)	100 (36.1)		
			May			100 (37.0)	100 (37.8)		
June					100 (36.9)	100 (38.9)			
Total					100	100			
Autumn		Nov.	62.0(32.5)	61.4(32.9)	38.0(39.5)	38.6(40.9)			
		Dec.	62.2(33.6)	60.3(33.5)	37.8(39.9)	39.7(41.1)			
		Total	62.1	60.8	37.9	39.2			
2001		Spring	Mar.			— (—)	— (—)		
			Apr.			100 (36.6)	100 (37.2)		
	May				100 (37.4)	100 (38.8)			
	June				100 (38.1)	100 (39.1)			
	Total				100	100			
	Autumn	Nov.	75.5(32.9)	81.5(33.1)	24.5(40.0)	18.5(41.9)			
		Dec.	75.2(32.3)	74.0(32.1)	24.8(40.5)	26.0(42.0)			
		Total	75.3	77.3	24.7	22.7			
	2002	Spring	Mar.			— (—)	— (—)	— (—)	— (—)
Apr.					88.1(35.1)	84.8(35.7)	11.9(40.8)	15.2(42.2)	
May					100 (36.6)	100 (37.4)			
June					100 (37.8)	100 (37.8)			
Total					93.4	91.7	6.6	8.3	
Autumn		Oct.	— (—)	— (—)	— (—)	— (—)			
		Nov.	— (—)	— (—)	— (—)	— (—)			
		Dec.	80.3(30.5)	81.7(30.6)	19.7(38.3)	18.3(40.1)			
		Total	80.3	81.7	19.7	18.3			
2003	Spring	Mar.			100 (37.2)	100 (37.6)			
		Apr.			100 (36.5)	100 (37.5)			
		May			100 (36.9)	100 (37.6)			
		June			100 (37.5)	100 (38.1)			
		Total			100	100			
	Autumn	Oct.	— (—)	— (—)	— (—)	— (—)			
		Nov.	23.4(31.2)	34.2(29.5)	76.6(38.8)	65.8(40.0)			
		Dec.	55.6(30.6)	72.4(29.2)	44.4(39.1)	27.6(40.5)			
		Total	45.2	60.1	54.8	39.9			
2004	Spring	Mar.			71.8(34.8)	60.2(35.8)	28.2(41.2)	39.8(42.1)	
		Apr.			64.9(35.6)	64.3(36.0)	35.1(40.9)	35.7(42.0)	
		May			76.7(36.5)	77.8(37.5)	23.3(41.6)	22.2(43.1)	
		June			78.8(37.3)	79.8(38.2)	21.2(41.9)	20.2(43.1)	
		Total			70.8	69.8	29.2	30.2	
	Autumn	Nov.	50.4(29.8)	86.9(29.0)	49.6(38.3)	13.1(39.3)			
		Dec.	83.8(30.6)	90.2(29.7)	16.2(39.2)	9.8(39.9)			
		Total	65.2	88.4	34.8	11.6			

Table 2 continued

Year	Fishing season	Year class						
		y		y-1		y-2		
		Male	Female	Male	Female	Male	Female	
2005	Spring	Apr.			100 (35.9)	100 (36.0)		
		May			100 (36.5)	100 (37.0)		
		June			— (—)	— (—)		
		Total			100	100		
	Autumn	Nov.	26.2(31.8)	26.3(31.6)	73.8(39.1)	73.7(40.7)		
		Dec.	67.7(31.4)	70.7(31.4)	32.3(39.4)	29.3(41.0)		
		Total	46.8	48.5	53.2	51.5		
2006	Spring	Mar.			68.0(34.3)	49.0(34.5)	32.0(40.4)	51.0(41.9)
		Apr.			82.0(35.0)	74.2(35.3)	18.0(40.4)	25.8(41.9)
		May			78.1(36.1)	72.8(36.4)	21.9(40.7)	27.2(42.2)
		June			90.0(36.4)	83.0(36.6)	10.0(40.9)	17.0(42.3)
		Total			80.4	73.2	19.6	26.8
	Autumn	Oct.	10.0(28.0)	17.6(28.9)	90.0(38.5)	82.4(40.2)		
		Nov.	7.2(30.7)	5.6(29.7)	92.8(38.7)	94.4(40.5)		
		Dec.	45.3(29.1)	48.1(29.2)	54.7(39.1)	51.9(40.5)		
		Total	26.7	28.5	73.3	71.5		
		2007	Spring	Apr.			72.1(33.4)	61.9(33.7)
May					79.9(34.0)	66.5(34.4)	20.1(39.6)	33.5(40.8)
June					73.0(34.9)	63.0(35.5)	27.0(39.8)	37.0(40.8)
Total					75.9	64.3	24.1	35.7
Autumn	Nov.		79.2(31.0)	78.5(31.0)	20.8(38.5)	21.5(40.1)		
	Dec.		78.2(32.2)	78.4(32.2)	21.8(38.9)	21.6(40.3)		
	Total		78.7	78.5	21.3	21.5		
2008	Spring	Apr.			100 (35.1)	100 (35.5)		
		May			100 (35.9)	100 (36.8)		
		June			100 (35.9)	100 (37.1)		
		Total			100	100		
	Autumn	Nov.	34.8(28.9)	37.2(29.4)	65.2(38.0)	62.8(39.5)		
		Dec.	60.0(29.7)	71.8(29.4)	40.0(38.1)	28.2(39.5)		
		Total	48.5	56.1	51.5	43.9		
2009	Spring	Mar.			68.0(30.2)	83.0(30.7)	32.0(38.2)	17.0(39.4)
		Apr.			77.8(31.8)	79.8(32.0)	22.2(38.7)	20.2(39.9)
		May			75.5(32.7)	74.8(33.2)	24.5(38.7)	25.2(40.2)
		June			88.0(33.2)	88.0(34.1)	12.0(39.7)	12.0(40.5)
		Total			76.7	78.0	23.3	22.0

Values in the parentheses indicate the average body length (mm)

—: no data

Blank: no appearance of the year class

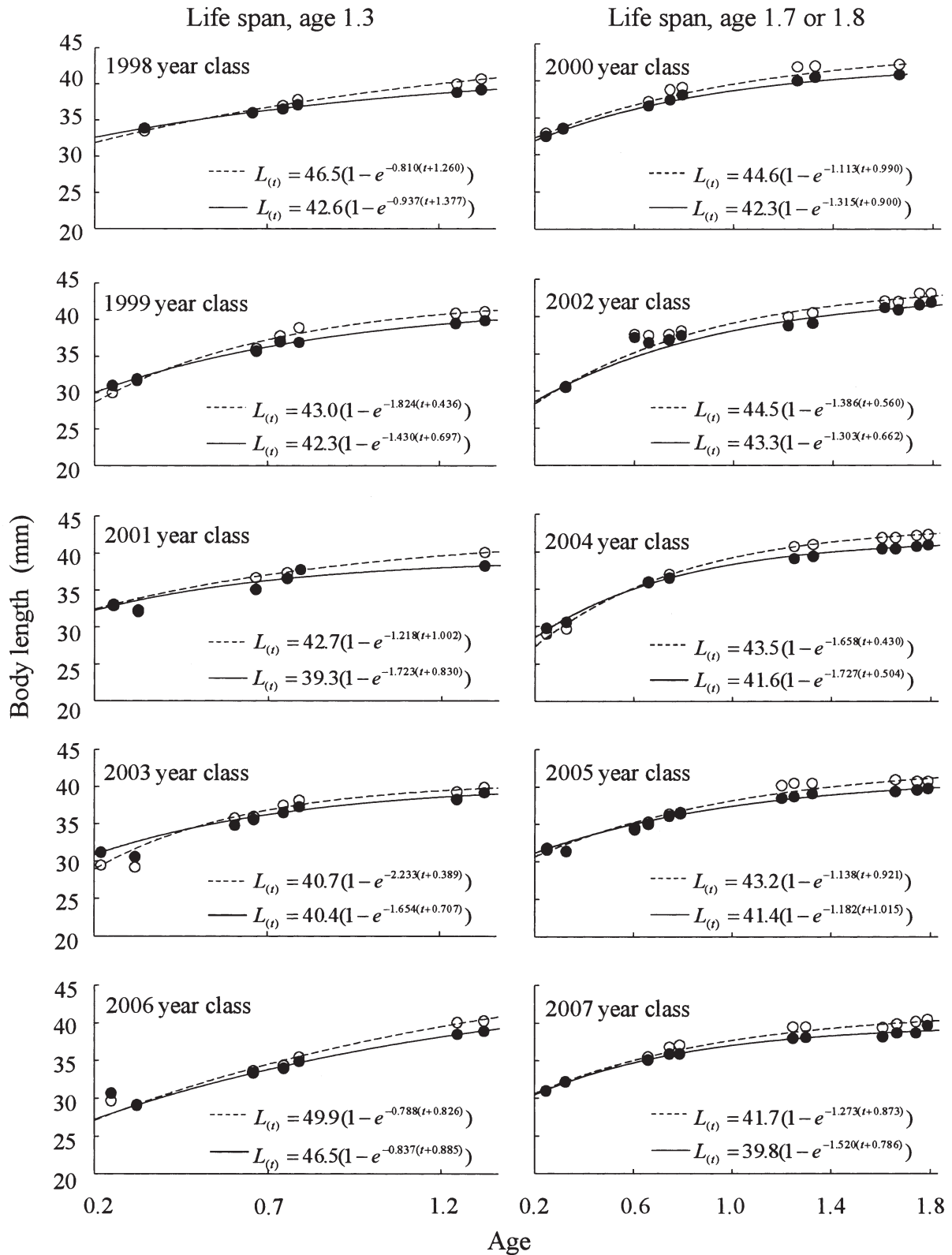


Fig. 3 Estimated von-Bertalanffy growth curves of Sergestid shrimp (solid and broken lines indicate male and female, respectively). Closed and open circles indicate male and female of average body length of samples at each month, respectively

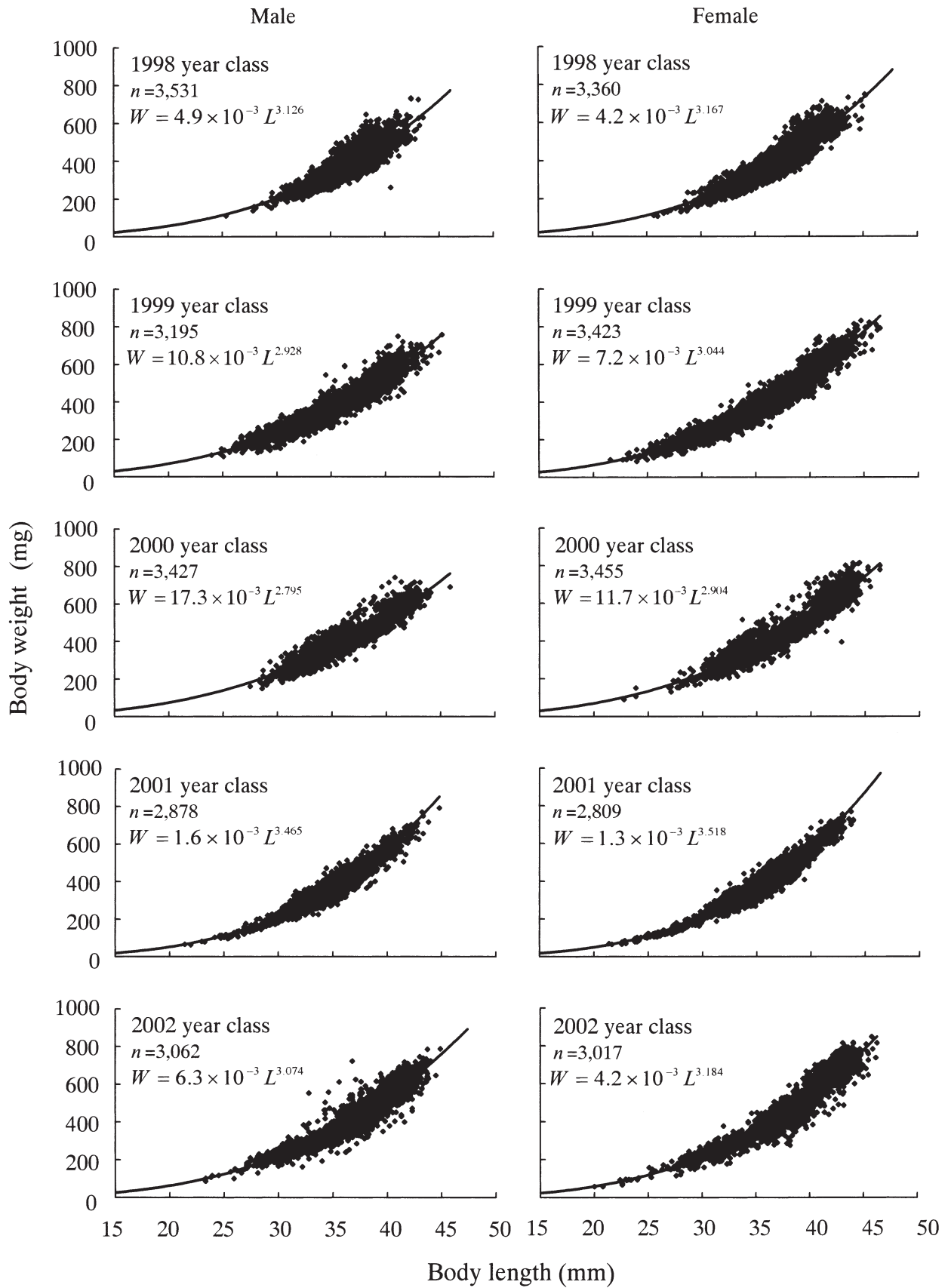


Fig. 4(1) Relationship between body length and body weight of Sergestid shrimp (1998-2002 year classes). L, body length (mm); W, body weight (mg)

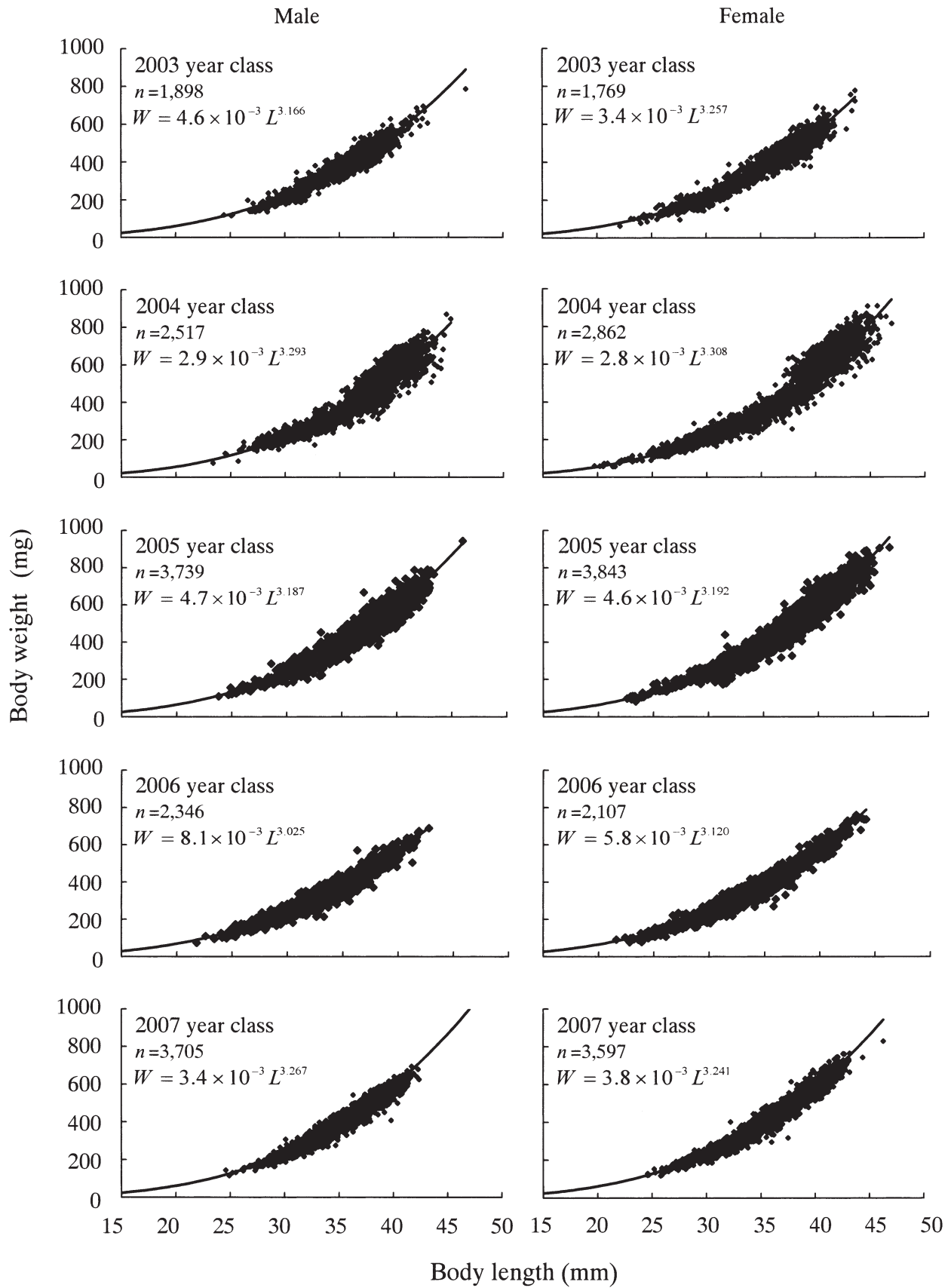


Fig. 4(2) Relationship between body length and body weight of Sergestid shrimp (2003–2007 year classes). L, body length (mm); W, body weight (mg)

Table 3 Estimated fishing parameters and stock abundance in year classes of 1998-2007

Year class			T ₁₂	T ₂₃	T ₃₄	T ₄₅	T ₅₆	T ₆₇	T ₇₈
1998	Male	F	0.20	—	1.34	—1.79			
		M	0.13	0.23	0.15	0.36	0.13		
		Z	0.33	0.23	1.49	0.36	1.92		
		S	0.72	0.79	0.23	0.70	0.15		
		E	0.17	—	0.70	—	0.79		
		N ($\times 10^8$ individuals)	53.1	38.1	30.2	6.8	4.8		
		B (t)	1,411	1,141	985	264	214		
	Female	F	0.24	—	1.80	—	2.70		
		M	0.13	0.23	0.15	0.36	0.13		
		Z	0.37	0.23	1.95	0.36	2.83		
		S	0.69	0.79	0.14	0.70	0.06		
		E	0.20	—	0.79	—	0.89		
		N ($\times 10^8$ individuals)	47.4	32.8	26.0	3.7	2.6		
		B (t)	1,166	944	938	149	129		
Total	N ($\times 10^8$ individuals)	100.5	70.9	56.2	10.5	7.4			
	B (t)	2,577	2,085	1,923	413	343			
1999	Male	F	0.24	—	1.29	—	1.76		
		M	0.13	0.23	0.15	0.37	0.12		
		Z	0.37	0.23	1.44	0.37	1.88		
		S	0.69	0.79	0.24	0.69	0.15		
		E	0.20	—	0.68	—	0.79		
		N ($\times 10^8$ individuals)	53.1	36.6	29.1	6.9	4.8		
		B (t)	1,229	1,057	1,092	291	242		
	Female	F	0.29	—	1.29	—	1.98		
		M	0.13	0.23	0.15	0.37	0.12		
		Z	0.42	0.23	1.44	0.37	2.10		
		S	0.66	0.79	0.24	0.69	0.12		
		E	0.23	—	0.68	—	0.83		
		N ($\times 10^8$ individuals)	50.6	33.3	26.5	6.3	4.4		
		B (t)	1,021	941	1,071	294	249		
Total	N ($\times 10^8$ individuals)	103.7	69.9	55.6	13.2	9.2			
	B (t)	2,250	1,998	2,163	585	491			
2000	Male	F	0.17	—	1.39	—	1.19	—	1.78
		M	0.10	0.19	0.14	0.31	0.11	0.19	0.07
		Z	0.27	0.19	1.53	0.31	1.30	0.19	1.85
		S	0.76	0.83	0.22	0.73	0.27	0.83	0.96
		E	0.15	—	0.71	—	0.66	—	0.81
		N ($\times 10^8$ individuals)	42.5	32.4	26.7	5.8	4.3	1.2	1.0
		B (t)	1,194	1,050	1,051	252	214	60	52
	Female	F	0.16	—	1.33	—	0.95	—	1.94
		M	0.10	0.19	0.14	0.31	0.11	0.19	0.07
		Z	0.26	0.19	1.47	0.31	1.06	0.19	2.01
		S	0.77	0.83	0.23	0.73	0.35	0.83	0.14
		E	0.14	—	0.69	—	0.58	—	0.83
		N ($\times 10^8$ individuals)	40.0	30.7	25.3	5.8	4.3	1.5	1.2
		B (t)	1,147	1,023	1,041	268	234	84	74
Total	N ($\times 10^8$ individuals)	82.5	63.1	52.0	11.6	8.6	2.7	2.2	
	B (t)	2,341	2,073	2,092	520	448	144	126	
2001	Male	F	0.30	—	1.82	—	1.60		
		M	0.13	0.22	0.17	0.35	0.13		
		Z	0.43	0.22	1.98	0.35	1.73		
		S	0.65	0.80	0.14	0.71	0.18		
		E	0.24	—	0.78	—	0.73		
		N ($\times 10^8$ individuals)	35.2	23.0	18.4	2.5	1.8		
		B (t)	951	733	711	108	85		
	Female	F	0.34	—	1.81	—	1.85		
		M	0.13	0.22	0.17	0.35	0.13		
		Z	0.47	0.22	1.98	0.35	1.98		
		S	0.63	0.80	0.14	0.71	0.14		
		E	0.27	—	0.78	—	0.77		
		N ($\times 10^8$ individuals)	31.6	19.8	15.8	2.2	1.5		
		B (t)	849	638	641	100	84		
Total	N ($\times 10^8$ individuals)	66.8	42.8	34.2	4.7	3.3			
	B (t)	1,800	1,371	1,352	208	169			

Table 3 continued

Year class			T ₁₂	T ₂₃	T ₃₄	T ₄₅	T ₅₆	T ₆₇	T ₇₈
2002	Male	F	0.10	—	0.57	—	0.26	—	0.87
		M	0.11	0.18	0.14	0.30	0.11	0.19	0.14
		Z	0.21	0.18	0.71	0.30	0.37	0.19	1.01
		S	0.81	0.84	0.49	0.74	0.69	0.83	0.37
		E	0.08	—	0.41	—	0.22	—	0.55
		N ($\times 10^6$ individuals)	63.1	51.2	42.7	21.0	15.6	10.8	8.9
		B (t)	1,185	1,267	1,443	838	782	571	509
	Female	F	0.11	—	0.64	—	0.25	—	1.11
		M	0.11	0.18	0.14	0.30	0.11	0.19	0.14
		Z	0.22	0.18	0.78	0.30	0.36	0.19	1.25
		S	0.80	0.84	0.46	0.74	0.70	0.83	0.29
		E	0.09	—	0.44	—	0.22	—	0.63
		N ($\times 10^6$ individuals)	56.1	45.0	37.5	17.3	12.3	8.9	7.4
		B (t)	976	1,095	1,319	733	702	520	465
Total	N ($\times 10^6$ individuals)	119.2	96.2	80.2	38.3	27.9	19.7	16.3	
	B (t)	2,161	2,362	2,762	1,571	1,484	1,091	974	
2003	Male	F	0.12	—	1.62	—	2.65	—	—
		M	0.13	0.22	0.17	0.37	0.12	—	—
		Z	0.25	0.22	1.79	0.37	2.77	—	—
		S	0.78	0.80	0.17	0.69	0.06	—	—
		E	0.11	—	0.75	—	0.90	—	—
		N ($\times 10^6$ individuals)	25.2	19.6	15.7	2.6	1.8	—	—
		B (t)	601	577	585	110	88	—	—
	Female	F	0.20	—	2.21	—	2.52	—	—
		M	0.13	0.22	0.17	0.37	0.12	—	—
		Z	0.33	0.22	2.38	0.37	2.64	—	—
		S	0.72	0.80	0.09	0.69	0.07	—	—
		E	0.17	—	0.84	—	0.89	—	—
		N ($\times 10^6$ individuals)	22.0	15.8	12.6	1.2	0.8	—	—
		B (t)	427	439	499	54	44	—	—
Total	N ($\times 10^6$ individuals)	47.2	35.4	28.3	3.8	2.6	—	—	
	B (t)	1,028	1,016	1,084	164	132	—	—	
2004	Male	F	0.08	—	0.92	—	0.49	—	1.99
		M	0.10	0.20	0.13	0.30	0.11	0.18	0.14
		Z	0.18	0.20	1.05	0.30	0.60	0.18	2.13
		S	0.83	0.82	0.35	0.74	0.55	0.84	0.12
		E	0.07	—	0.56	—	0.37	—	0.82
		N ($\times 10^6$ individuals)	43.0	35.9	29.5	10.3	7.6	4.2	3.5
		B (t)	797	897	1,026	434	394	225	198
	Female	F	0.13	—	0.94	—	0.41	—	2.84
		M	0.10	0.20	0.13	0.30	0.11	0.18	0.14
		Z	0.23	0.20	1.07	0.30	0.52	0.18	2.98
		S	0.80	0.82	0.34	0.74	0.59	0.84	0.05
		E	0.11	—	0.52	—	0.32	—	0.90
		N ($\times 10^6$ individuals)	47.6	37.9	31.2	10.7	7.9	4.7	3.9
		B (t)	781	901	1,121	480	458	287	255
Total	N ($\times 10^6$ individuals)	90.6	73.8	60.7	21.0	15.5	8.9	7.4	
	B (t)	1,578	1,798	2,147	914	852	512	453	
2005	Male	F	0.06	—	0.61	—	0.53	—	3.23
		M	0.11	0.18	0.14	0.29	0.11	0.20	0.13
		Z	0.17	0.18	0.75	0.29	0.64	0.20	3.36
		S	0.84	0.84	0.47	0.75	0.53	0.82	0.03
		E	0.06	—	0.43	—	0.39	—	0.93
		N ($\times 10^6$ individuals)	39.7	33.5	28.0	13.2	9.9	5.2	4.3
		B (t)	1,086	1,078	1,110	583	512	281	244
	Female	F	0.07	—	0.48	—	0.39	—	2.88
		M	0.11	0.18	0.14	0.29	0.11	0.20	0.13
		Z	0.18	0.18	0.62	0.29	0.50	0.20	3.01
		S	0.84	0.84	0.54	0.75	0.60	0.82	0.05
		E	0.06	—	0.35	—	0.31	—	0.91
		N ($\times 10^6$ individuals)	40.0	33.5	28.0	15.1	11.3	6.8	5.6
		B (t)	1,036	1,056	1,120	694	629	401	353
Total	N ($\times 10^6$ individuals)	79.7	67.0	56.0	28.3	21.2	12.0	9.9	
	B (t)	2,122	2,134	2,230	1,277	1,141	682	597	

Table 3 continued

Year class			T ₁₂	T ₂₃	T ₃₄	T ₄₅	T ₅₆	T ₆₇	T ₇₈
2006	Male	F	0.06	—	1.45	—	1.79		
		M	0.13	0.23	0.16	0.36	0.11		
		Z	0.19	0.23	1.61	0.36	1.90		
		S	0.82	0.79	0.20	0.70	0.15		
		E	0.05	—	0.72	—	0.81		
		N (×10 ⁸ individuals)	25.6	21.1	16.6	3.3	2.3		
		B (t)	451	477	525	123	114		
	Female	F	0.07	—	1.24	—	1.67		
		M	0.13	0.23	0.16	0.36	0.11		
		Z	0.20	0.23	1.40	0.36	1.78		
		S	0.81	0.79	0.25	0.70	0.17		
		E	0.06	—	0.67	—	0.79		
		N (×10 ⁸ individuals)	20.5	16.7	13.2	3.3	2.3		
		B (t)	350	379	440	132	128		
Total	N (×10 ⁸ individuals)	46.1	37.8	29.8	6.6	4.6			
	B (t)	801	856	965	255	242			
2007	Male	F	0.16	—	0.81	—	0.64	—	2.03
		M	0.10	0.21	0.12	0.31	0.10	0.19	0.13
		Z	0.26	0.21	0.93	0.31	0.74	0.19	2.16
		S	0.77	0.81	0.39	0.73	0.48	0.83	0.12
		E	0.14	—	0.53	—	0.45	—	0.83
		N (×10 ⁸ individuals)	47.4	36.5	29.8	11.7	8.6	4.1	3.4
		B (t)	1,152	1,056	1,179	482	415	206	178
	Female	F	0.17	—	0.86	—	0.63	—	2.53
		M	0.10	0.21	0.12	0.31	0.10	0.19	0.13
		Z	0.27	0.21	0.98	0.31	0.73	0.19	2.66
		S	0.76	0.81	0.38	0.73	0.48	0.83	0.07
		E	0.15	—	0.55	—	0.45	—	0.88
		N (×10 ⁸ individuals)	42.4	32.4	26.4	10.0	7.3	3.5	2.9
		B (t)	1,072	974	1,034	435	385	193	169
Total	N (×10 ⁸ individuals)	89.8	68.9	56.2	21.7	15.9	7.6	6.3	
	B (t)	2,224	2,030	2,213	917	800	399	347	

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
—: no data
Blank: no appearance of the year class

25.0°C の水温範囲が成長を促すとされる (大西, 2004).
2004年秋漁期の漁獲量は301トンに過ぎず, プール制が導入された1977年以降, 最低であった1997年並み (294トン) に低下した. この原因の一つに, 2004年から2005年にかけて発生した黒潮の大蛇行が考えられている. 杉本ほか (2009) は, 黒潮の大蛇行により生じた駿河湾内への暖水波及によって幼生の一部が逸散するなどによって, 0歳群 (2004年級) 秋漁期の CPUE が低下したことを報告した. 2004年秋漁期の0歳群の平均体長は例年に比べ小さいことなどから, 0歳群の秋漁期の加入は明らかに遅れていた. 一方, CPUE の低下は当年級の資源尾数の減少を示していたわけではなかった. 2004年級の N_1 は過去10年級の平

均 N_1 (82.6億尾) よりやや多い90.6億尾が存在していた. このことは, 湾内への暖水波及が終了した8月末以降 (神奈川県水産技術センターホームページ) に生まれた卵が翌春まで続いた高水温と2003年級の低い資源量のために, 順調に加入していたことを示している (9月から翌年3月までの水深 20-200m の平均水温は1999年-2008年では16.2±0.7°Cに対し, 2004年-2005年では17.8°C). しかし, 小型化した漁獲サイズのために, B_1 (1,578トン) は平均 B_1 (1,888トン) を下回っていた. 2004年秋漁期には, 1歳群として2003年級も漁獲される. 2003年級の N_1 (B_1) は, 親世代の豊富な資源量にもかかわらず, 著しく少なく (Fig. 5), 2004年秋漁開始時には過去10年級で最低 (N_5

サクラエビの資源量推定

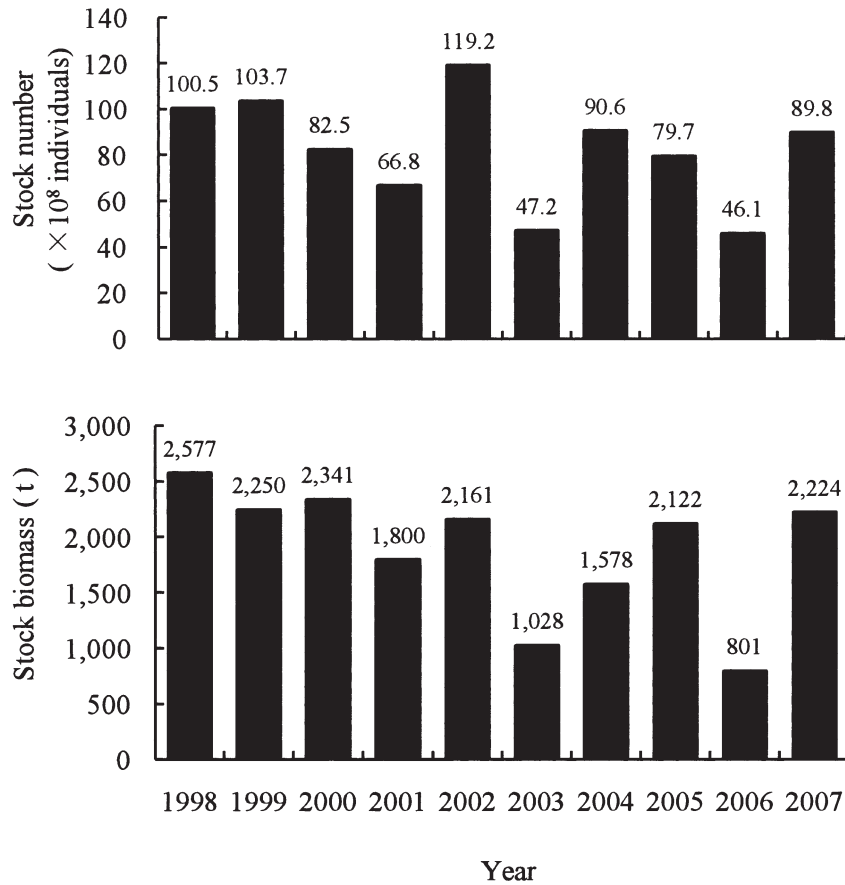


Fig. 5 Numbers (N_i) and biomass (B_i) of Sergestid shrimp stock at recruit (the first day of the autumn fishing season)

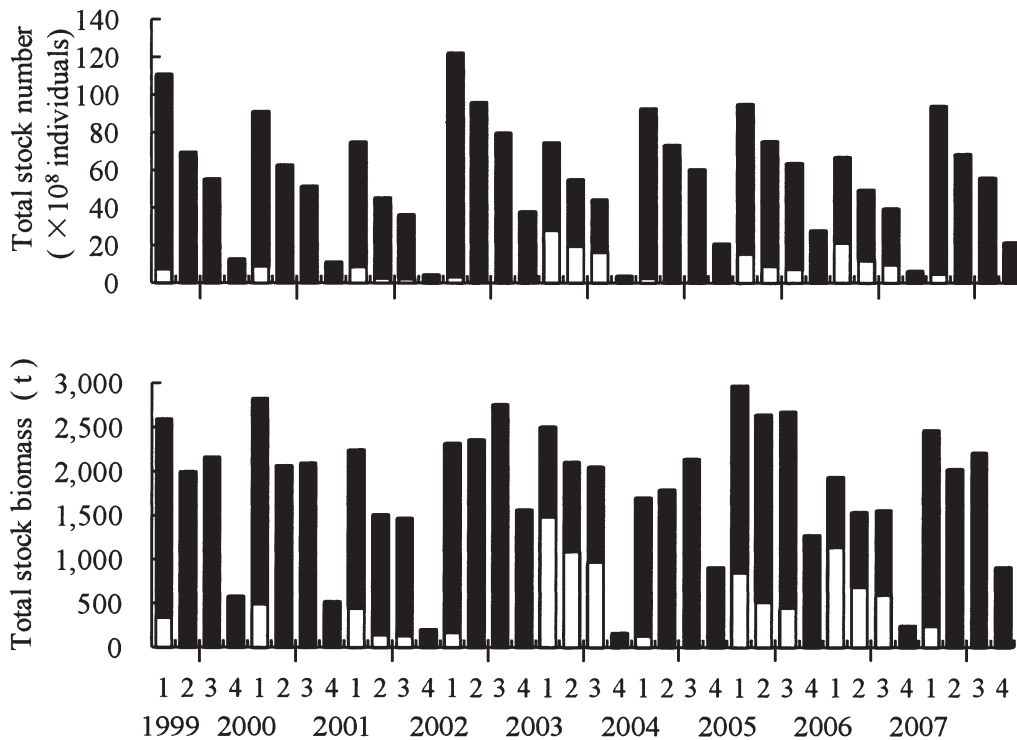


Fig. 6 Total numbers and biomass of Sergestid shrimp stock. Closed and open bars indicate age 0 and 1, respectively. Values indicate the first day of the following season : 1, autumn fishing season; 2, winter closed season; 3, spring fishing season; 4, summer closed season

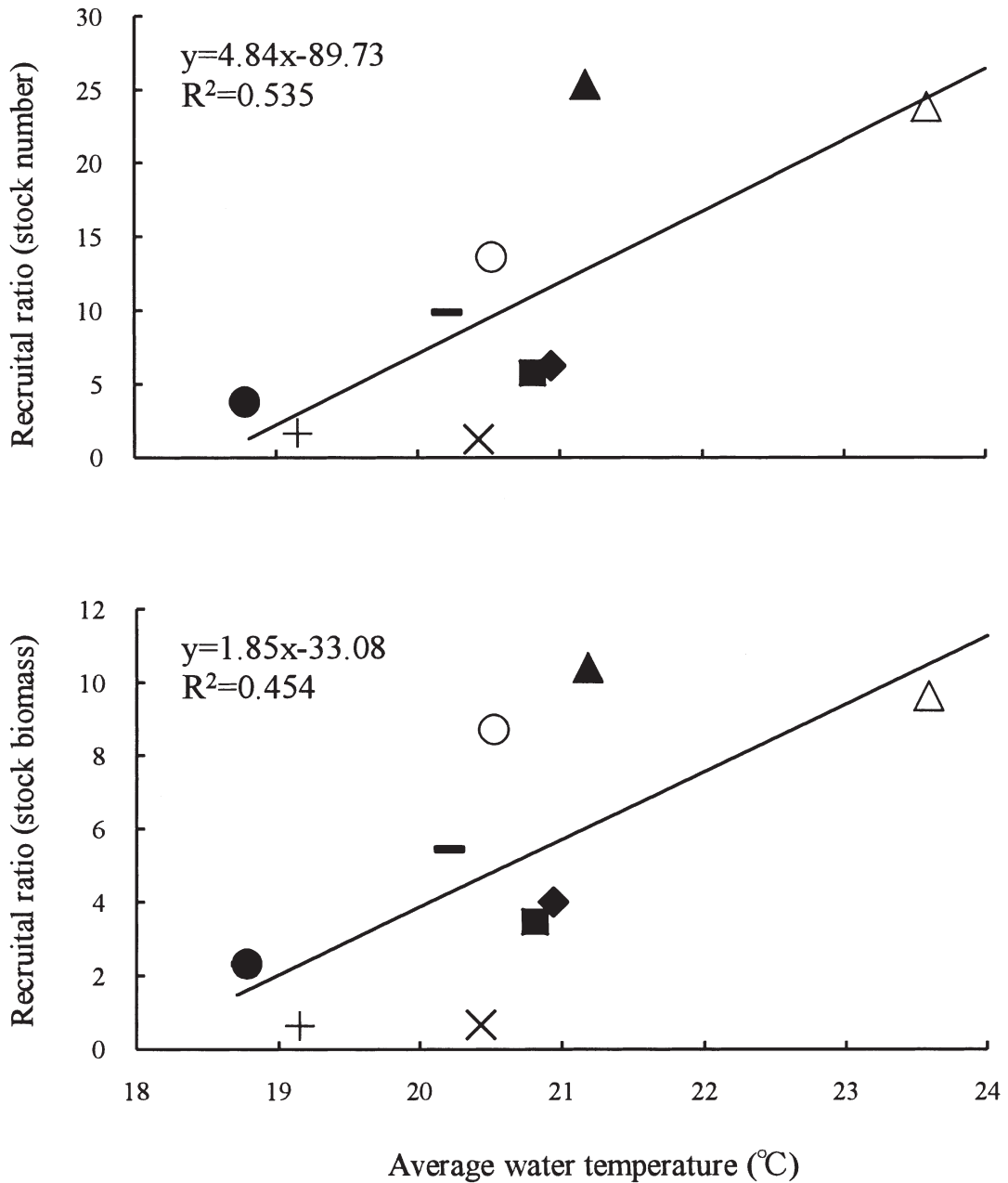


Fig. 7 Relationships between the water temperature and the reproduction rate (N_1/N_4 in above, B_1/B_4 in below). The water temperatures are the average values from June to October at the depth of 20-50 m off the Miho lighthouse of Suruga Bay. N_4 and B_4 indicate stock numbers and biomass on the first day of the summer closed season of $y-1$ year class, respectively. N_1 and B_1 indicate stock numbers and biomass at recruit (the first day of the autumn fishing season) of y year class, respectively. —, 1999/1998 year classes; ◆, 2000/1999; ■, 2001/2000; ▲, 2002/2001; ×, 2003/2002; △, 2004/2003; ●, 2005/2004; +, 2006/2005; ○, 2007/2006

2.6億尾; B_5 132トン)となっていた (Table 3)。以上, 2004年秋漁期の不漁の原因には, 0歳群 (2004年級) の加入の遅れに加え, 1歳群 (2003年級) の著しい資源減少も関与していた。

サクラエビ資源の加入を決定する要因は, 産卵期の水温, 密度効果, および黒潮の流路のほか, 餌環境の推移などが複雑に絡み合っている。今後, 産卵の実態や卵や幼生期の生残過程などの初期生活史を充実させ, 仮定値をより少なくした方法で資源量推定を継続する必要がある。

謝 辞

由比港漁業協同組合宮原淳一組合長, 故原剛三元組合長, 同組合の望月武理事, 草ヶ谷満理事, および故柿崎幸夫理事をはじめとする多数の方々にはサクラエビの採取に際しご協力頂きました。特に, 明神丸船主實石正則氏には, さまざまな便宜を計って頂きました。これらの方々には心より御礼申し上げます。

研究を進めるにあたり, 貴重なご意見やご援助を頂きました東海大学海洋学部環境情報工学科杉本隆成特任教授, 海洋生物学科大西修平准教授, および海洋科学科齋田邦夫教授に感謝の意を表します。駿河湾沿岸定線観測における水温データを提供して頂いた静岡県水産技術研究所に深く感謝致します。2006年以前のサクラエビの体長組成のデータは, 東海大学海洋学部水産学科福井研究室の卒業研究として取得されたものです。当時の学生の方々には深く御礼申し上げます。

引用文献

- Beverton R. J. H. and Holt. S. J. (1957): On the dynamics of exploited fish populations. *Fishery Invest.*, U. K. Ser., II, **19**, 533 pp.
- 陳賽斌・平山信夫・石野誠 (1989): 資源の動的平衡及び生物学的諸特性値間の相互関連性. *水産海洋研究*, **53**(1), 18-27.
- 福井篤・土屋崇生・神戸祐一・喜多賢治・魚谷逸朗 (2003): 飼育下でのサクラエビの脱皮について. *日本水産学会誌*, **69**(3), 376-379.
- 福井篤・原藤晃・伊藤大輔・保正竜哉・魚谷逸朗 (2004): 駿河湾におけるサクラエビの資源量推定. *日本水産学会誌*, **70**(4), 592-597.

- Gulland J. A. (1983): *Fish stock assessment a manual of basic methods*. John Wiley and Sons, New York. 223 pp.
- 平井一行 (1993): 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*, **28**, 1-5.
- 神奈川県水産技術センターホームページ: <http://www.agri-kanagawa.jp/suisoken/top.asp>
- 中村保昭・津久井文夫 (1982): 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*, **16**, 19-30.
- Omori M. (1969): The biology of a sergestid shrimp *Sergestes lucens* Hansen. *Bull. Ocean Res. Inst., Univ. Tokyo*, **4**, 1-83.
- 大森信 (1970): 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*, **26**, 242-252.
- Omori M. (1971): Preliminary rearing experiments on the larvae of *Sergestes lucens* (Penaedia, Natantia, Decapoda). *Mar. Bio.*, **9**, 228-234.
- Omori M., Konagaya T. and Noya K. (1973): History and present status of the fishery of *Sergestes lucens* (Penaidea, Decapoda, Crustacea) in Suruga Bay, Japan. *J. Cons. Int. Explor. Mer*, **35**(1), 61-77.
- 大森信・志田喜代江 (1995): さくらえび 漁業百年史. 静岡新聞社, 静岡, 305 pp.
- 大西修平 (2004): サクラエビの成長における温度の影響の評価について. 「海—自然と文化」東海大学紀要海洋学部, **1**(2), 9-14.
- 静岡県水産技術研究所 (2008): 平成20年サクラエビ調査中間報告と秋漁の見通しについて. 桜えび漁業生産技術研究会資料, 18 pp.
- 杉本隆成・仁木将人・澤本彰三・三澤宣彦 (2009): サクラエビの加入量変動機構の研究について. *月刊海洋*, **41**(3), 115-121.
- 田中昌一 (1985): 水産資源学総論. 恒星社厚生閣, 東京, 188-189.
- 田中寿臣 (2007): 台湾におけるサクラエビ漁業について. 碧水 (静岡県水産技術研究所), **120**, 1-3.
- 田中卓郎・河井智康 (1967): 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*, **50**, 17-26.
- 津久井文夫 (1982): 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*, **16**, 113-115.
- 津久井文夫 (1987): サクラエビの再生産と産卵期の水温. *静岡県水産試験場研究報告*, **22**, 1-11.

要 旨

駿河湾における1998年級から2007年級までのサクラエビの資源量を, 体長組成および漁獲量データなどに基づいて, Virtual population analysis によって推定した。各年級の初資源尾数 (N_1) は46.1-119.2 (平均±標準偏差 82.6±23.7) 億尾, 初資源重量 (B_1) は801-2,577 (1,888±585) トンと推定された。これらの N_1 は1961-1965年級の1/40-1/3の水準に留まっていた。親世代 ($y-1$ 年級の N_4 と B_4) と子世代 (y 年級の N_1 と B_1) の資源量の比 N_1/N_4 および B_1/B_4 は, 産卵期の平均水温と正の相関があり, 平均水温が高いほど増加する傾向が認められた。従って, 加入量を決定する要因に

は、産卵期の平均水温があり、卵や幼生期の生残に水温が強く関与していることが示唆された。2004年秋漁期の不漁は、黒潮の大蛇行の影響によって0歳群（2004年級）の漁獲加入が遅れたことに加え、1歳群（2003年級）の資源量が著しく減少していたことに起因した。

キーワード：サクラエビ、資源量推定、駿河湾

Appendix Number of catch ($\times 10^8$) in each year class of Sergestid shrimp

Year class	Fishing seasons				
	Autumn (age 0)	Spring (age 0)	Autumn (age 1)	Spring (age 1)	
1998	Male	9.12	21.04	3.76	
	Female	9.41	20.62	2.30	
	Total	18.53	41.66	6.06	
1999	Male	10.58	19.72	3.77	
	Female	11.82	17.93	3.59	
	Total	22.40	37.65	7.36	
2000	Male	6.22	18.89	2.80	0.77
	Female	5.61	17.49	2.48	1.01
	Total	11.83	36.38	5.28	1.78
2001	Male	8.44	14.37	1.30	
	Female	8.42	2.39	1.18	
	Total	16.86	26.76	2.48	
2002	Male	5.34	17.34	3.36	4.88
	Female	5.23	16.57	2.69	4.70
	Total	10.57	33.91	6.05	9.58
2003	Male	2.65	11.86	1.63	
	Female	3.74	10.64	0.72	
	Total	6.39	2.50	2.35	
2004	Male	3.08	16.67	2.82	2.87
	Female	5.35	16.29	2.53	3.54
	Total	8.43	32.96	5.35	6.41
2005	Male	2.47	11.96	3.85	3.94
	Female	2.44	9.89	3.46	5.07
	Total	4.91	21.85	7.31	9.01
2006	Male	1.39	12.04	1.85	
	Female	1.31	8.85	1.77	
	Total	2.70	20.89	3.62	
2007	Male	6.82	15.69	3.84	2.83
	Female	6.39	14.43	3.25	2.56
	Total	3.21	30.12	7.09	5.39

Blank: no appearance of the year class