

漁期前試験操業体長によるサクラエビ秋漁の漁獲体長予測

田中寿臣^{*1}

サクラエビ秋漁で漁獲される0歳群と1歳群の漁期を通じての平均体長（0歳群及び1歳群漁期平均体長）予測について、調査船による1995～2008年（1998年と2001年を除く）の秋漁前の試験操業データ（0歳群及び1歳群漁期前試験操業体長）を使用した予測手法について検討を行った。

その結果、0歳群漁期前試験操業体長（ x_0 ：mm）を用いた0歳群漁期平均体長（ y_0 ：mm）の予測式、 $y_0=0.594x_0+16.957$ ($r=0.846, P<0.001$) と、1歳群漁期前試験操業体長（ x_1 ：mm）を用いた1歳群漁期平均体長（ y_1 ：mm）の予測式、 $y_1=1.003x_1+1.637$ ($r=0.887, P<0.001$) が得られた。得られた予測式の1995～2008年（1998年と2001年を除く）の0歳群の残差の範囲は−1.54mm～1.61mm、1歳群の残差の範囲は−0.78mm～1.11mmとなり、従前よりも高い精度の予測式が得られた。

今後は近年漁業者が行う小型0歳群の保護（選択的漁獲）についても考慮して予測するため、同一年級群中の大型群と小型群の組成率を正しく把握することが必要と考えられた。

キーワード：サクラエビ、体長、予測、試験操業、クロスバリデーション

はじめに

サクラエビ *Sergia lucens* は、駿河湾、遠州灘、相模湾、東京湾及び台湾の北部と南部に分布が確認されている^{1,2)}が、日本では静岡県でのみ本種を対象とした漁業が行われ、その漁場のほとんどは駿河湾内である¹⁾。本種の産卵期は6月から11月まで、その盛期は夏期である。産卵後は2～3か月で死亡し、その一生は約15か月とされている¹⁾。

静岡県におけるサクラエビ漁業は年2回の漁期があり、春漁（3月下旬～6月上旬）では前年生まれの0歳群を、秋漁（10月下旬～12月下旬）では当年生まれの0歳群と前年生まれの1歳群を漁獲している。

静岡県水産技術研究所（以下、水産技術研究所）では、1970年代はじめから毎年秋漁前にサクラエビの資源動向や漁況の予測を行ってきた³⁾。1990年には、秋漁で漁獲される0歳群及び1歳群に対し、漁獲量や初漁時における平均体長等の予測が行われるようになり、1993年は、0歳群について「産卵期」と「産卵場における7～10月の水深20～150mの平均水温」の2変数を用いた重回帰式により漁期

を通じての平均体長（以下、漁期平均体長）の予測が行われた。そして、1994年以降も重回帰式による予測が改良を受けながら行われてきた^{4～6)}。現在は、0歳群及び1歳群に対し、漁期を通じてのCPUE（曳網1分あたりの漁獲尾数）と漁期平均体長の予測を行っている。

一方、水産技術研究所調査船「駿河丸」の調査（以下、試験操業）では、1995年以降Aフレームやアイザックス・キッド中層トロールネット（以下、IKMTネット）、ネットゾンデの導入によりサクラエビを安定して採捕出来るようになった。このため、秋漁直前の試験操業（以下、漁期前試験操業）採捕時の0歳群及び1歳群の平均体長データ（以下、0歳群及び1歳群漁期前試験操業体長）が、漁期平均体長の予測に利用可能と考えられる。そこで、これらの利用も含めた、より精度の高い新たな漁期平均体長の予測手法を検討した。

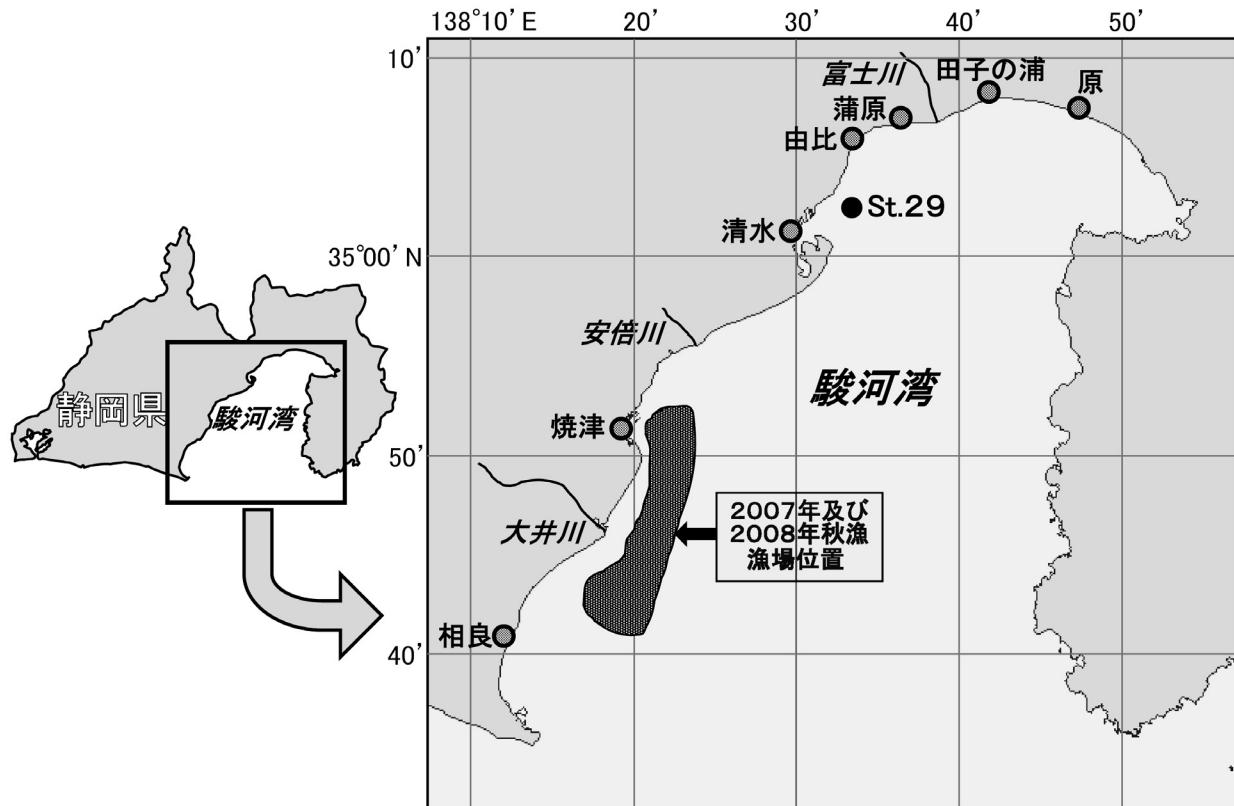


図1 駿河湾周辺図、清水沖St.29、2007年及び2008年秋漁漁場位置

材料及び方法

1 試験操業データの検討

漁期前試験操業の実施状況を表1に示した。1995～2002年（1998年と2001年についてはデータ無し）については、水産技術研究所の業務資料から漁期前試験操業の実施状況と測定結果を抽出し、各年の0歳群及び1歳群漁期前試験操業体長を求めた。2003～2008年については、10月4～14日の夜間に各年1回調査を行った。調査では、漁場が形成されやすい駿河湾内の等深線200m上付近¹⁾で魚群探知機によりサクラエビと思われる魚群を補足し、6フィート型IKMTネットとネットゾンデを使用して曳網水深を監視しながら約20分曳網した。採捕されたサクラエビは10%ホルマリン溶液を用いてその場で固定した後、各年121～2,150尾の体長を測定して0歳群及び1歳群漁期前試験操業体長を求めた。

また、2007年10月4日と2008年10月14日に実施した漁期前試験操業の採捕場所別の体長組成を比較した。2007年は田子の浦沖、富士川沖、大井川沖（図1）の3か所で、2008年は原沖、田子の浦沖、蒲原沖、焼津沖（図1）の4か所で試験操業を行い、それぞれ525～545尾の体長測定を行った。両年とも体長35mm未満の個体を0歳群として、採捕場所別に小型0歳群（25mm未満）と大型0歳群（25mm以上）

の組成の差及び0歳群と1歳群の組成の差について、Fisherの正確確率検定（両側検定、以下同じ）を行った。

さらに、2007年12月12日及び2008年12月10日の漁期中に同様に実施した試験操業（以下、漁期中試験操業）の採捕場所別の体長組成と、その直近日の漁獲物の体長組成を比較した。試験操業は2007年に原沖、由比沖、焼津沖（図1）の3か所で、2008年には清水沖、焼津沖、相良沖（図1）の3か所で行い、それぞれ436～887尾の体長測定を行った。漁獲物については、2007年12月11日に主漁場となった焼津沖（図1）の528尾と2008年12月8日に主漁場となった大

表1 漁期前試験操業の実施状況と漁期前試験操業体長

年	実施日	測定尾数 (尾)	平均体長 (mm)	
			0歳群	1歳群
1995	9月28日	837	22.8	37.8
1996	9月24, 26日	764	21.6	37.4
1997	9月29日	733	20.8	37.1
1999	9月21日, 10月7日	860	22.3	38.4
2000	10月10日	106	27.2	39.2
2002	10月10日	451	24.1	39.4
2003	10月14日	507	25.9	39.9
2004	10月14日	121	24.0	39.4
2005	10月13日	683	23.8	39.6
2006	10月10日	1,742	21.6	39.2
2007	10月4日	1,588	25.7	39.4
2008	10月14日	2,150	25.2	39.3

井川～相良沖（図1）の532尾について、サンプル採集後10%ホルマリン溶液を用いてその場で固定した後、体長測定を行った。2007年は体長40mm未満の個体を、2008年は38mm未満の個体を0歳群として、採捕場所別に漁獲物の小型0歳群（30mm未満）と大型0歳群（30mm以上）の組成の差及び0歳群と1歳群の組成の差について、Fisherの正確確率検定を行った。

2 漁期前試験操業体長を用いた漁期平均体長予測式の試作とその検証

漁期前試験操業体長に加え、これまでの予測手法⁶⁾に用いられてきた春漁5月の0歳群漁獲平均体長（以下、5月体長）と、サクラエビの主産卵場¹⁾付近である水産技術研究所海洋観測地点St.29（図1）におけるサクラエビ棲息水深¹⁾（30, 50, 100, 150, 200, 250m）の7～10月水温について、0歳群及び1歳群漁期平均体長との相關行列を1995～2008年（1998年と2001年を除く）までのデータを用いて作成し、相関の有無について検定を行った。

次に、それぞれ該当する年級群の漁期前試験操業体長を説明変数とした0歳群及び1歳群の予測式を作成した。また、その予測式に基づきクロスバリデーション（leave-one-out法）を行い、1995～2008年秋漁における漁期平均体長計算値と実際の漁期平均体長を比較して予測式の評価を行った。

さらに、現在行われている予測対象（漁期平均体長）の妥当性を検討するため、0歳群及び1歳群漁期前試験操業体長と、0歳群及び1歳群漁期平均体長、11月の漁獲物平均体長（以下、11月体長）、12月の漁獲物平均体長（以下、12月体長）との相關行列を1995～2008年までのデータを用いて作成し、相関の有無について検定を行った。

なお、水温データについては水産技術研究所が毎月行っている海洋観測結果を用い、1995～2002年までの各平均体長データについては水産技術研究所の業務資料から抽出して使用した。2003～2008年の各平均体長は、出漁日ごとに漁獲物の中からサンプルを採集して10%ホルマリン溶液で固定した後、500尾程度の体長測定を行い、各期間に測定した総数から算出した結果を使用した。また、上記の分析には全てエクセル統計2008（株式会社社会情報サービス）を用いた。

結 果

1 試験操業データの検討

1995～2008年の漁期前試験操業体長は、0歳群が20.8～27.2mm、1歳群が37.1～39.9mmであった（表1）。

図2に、2007年漁期前試験操業の採捕場所別体長組成を

示した。田子の浦沖で採捕されたサクラエビは、体長13～33mmの間に複数のモードを持つ0歳群がほとんどであったのに対し、富士川沖と大井川沖では、28～29mmにモードを持つ0歳群と、38～39mmにモードを持つ小型の1歳群及び41mmにモードを持つ大型の1歳群で構成された。小型0歳群と大型0歳群の組成の差は、富士川沖と大井川沖との間では有意（5%）ではなかったが、その他は相互に有意（1%）であった。また、0歳群と1歳群の組成の差は、相互に有意（1%）であった。

図3に、2008年漁期前試験操業の採捕場所別体長組成を示した。原沖で採捕されたサクラエビは、体長23mmにモードを持つ小型の0歳群が主体であったのに対し、田子の浦沖では23mmにモードを持つ小型の0歳群と27mmにモードを持つ大型の0歳群で構成され、蒲原沖では27～28mmにモードを持つ大型の0歳群が主体であった。焼津沖では、28mmにモードを持つ大型の0歳群と、39mmにモードを持つ1歳群が採捕された。小型0歳群と大型0歳群の組成の差は、蒲原沖と焼津沖との間では有意（5%）ではなかったが、その他は相互に有意（1%）であった。また、0歳群と1歳群の組成の差は、原沖と蒲原沖との間では有意（5%）ではなかったが、田子の浦沖と蒲原沖との間では有意（5%）であり、その他は相互に有意（1%）であった。

図4に、2007年漁期中試験操業の採捕場所別体長組成と、その直近日（12月11日）に漁獲されたサクラエビの体長組成を示した。採捕されたサクラエビは、原沖では体長23mm、28mm及び32mmにモードを持つ多峰型を示す0歳群が主体であったが、由比沖では29～32mmにモードを持つ单峰型に近い体長組成を示した。一方、焼津沖で採捕されたサクラエビと、焼津沖を中心に漁獲されたサクラエビは、それぞれ33～34mmにモードを持つ0歳群が主体の同様の体長組成を示し、原沖や由比沖と異なった体長組成を示した。小型0歳群と大型0歳群の組成の差は、原沖と由比沖の採捕物の間では有意（5%）ではなかったが、その他は相互に有意（1%）であった。また、0歳群と1歳群の組成の差は、原沖と由比沖の採捕物の間では有意（5%）ではなかったが、原沖と焼津沖の採捕物との間と、由比沖と焼津沖の採捕物との間では有意（5%）であり、漁獲物は全ての採捕物との間で有意（1%）であった。

図5に、2008年漁期中試験操業の採捕場所別体長組成と、その直近日（12月8日）に漁獲されたサクラエビの体長組成を示した。採捕されたサクラエビは、清水沖では体長19mm、25mm、29mm及び31mmにモードを持つ多峰型を示す0歳群が主体であったが、焼津沖と相良沖では28～29mmにモードを持つ小型の0歳群と31mmにモードを持つ大型の0歳群主体で構成された。また、清水沖、焼津沖及び相良沖において、40mm前後にモードを持つ1歳群が若干みられた。一

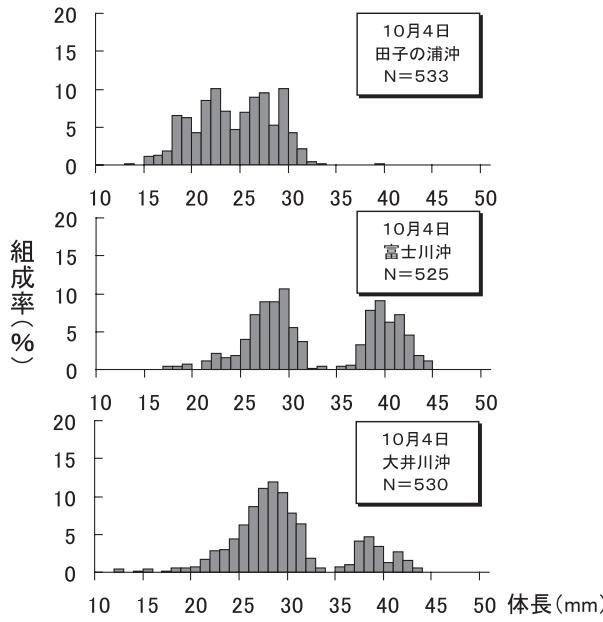
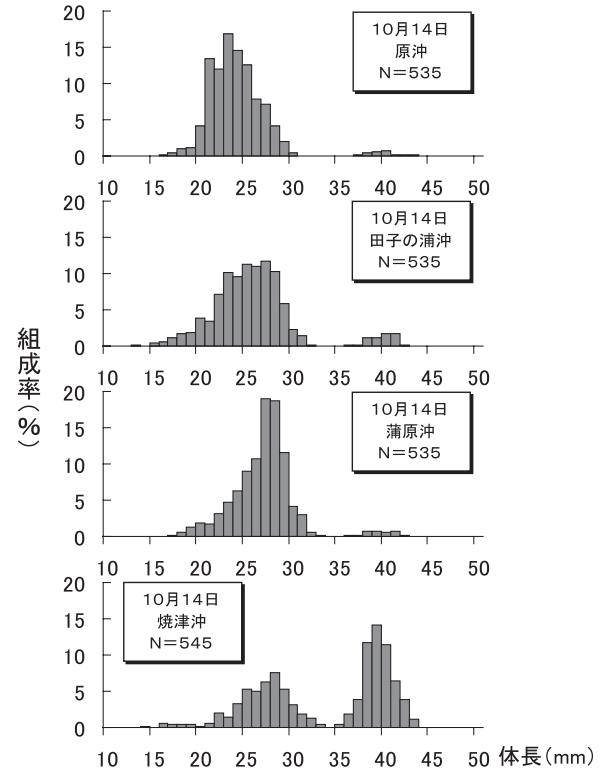
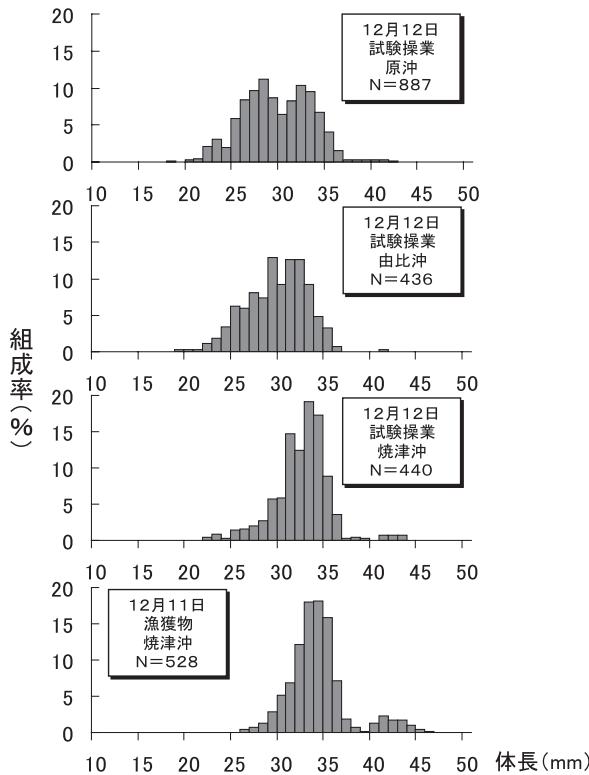
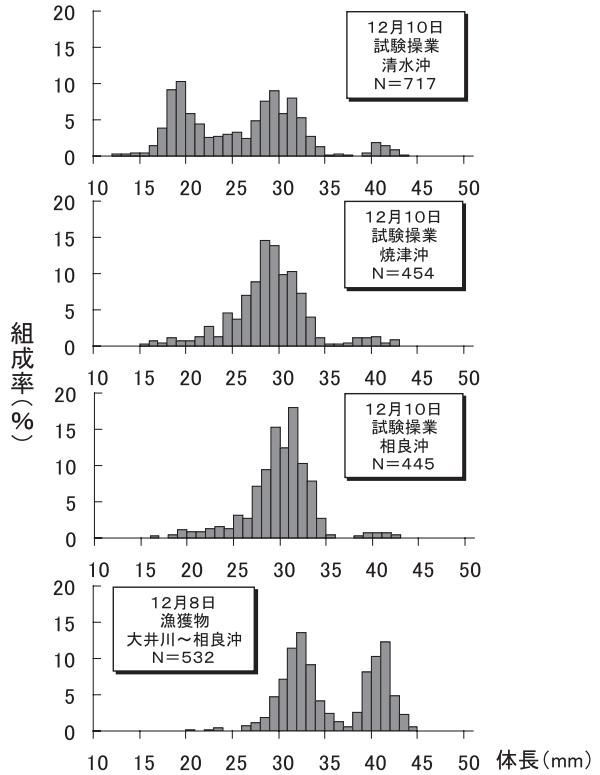
図2 2007年漁期前試験操業の体長組成
(N=測定尾数)図3 2008年漁期前試験操業の体長組成
(N=測定尾数)図4 2007年漁期中試験操業と漁獲物の体長組成
(N=測定尾数)図5 2008年漁期中試験操業と漁獲物の体長組成
(N=測定尾数)

表2 漁期平均体長と無相関行列との相關係数及び7~10月水温データとの相關係数

：上三角がそれぞれの相関係数 (r) を表し、下三角が相異の有無の検定結果 (*: 倍率5%で差異がある, **: 倍率1%で差異がある) を示す。

- 太線の囲いは0.7≤| r |を表す。

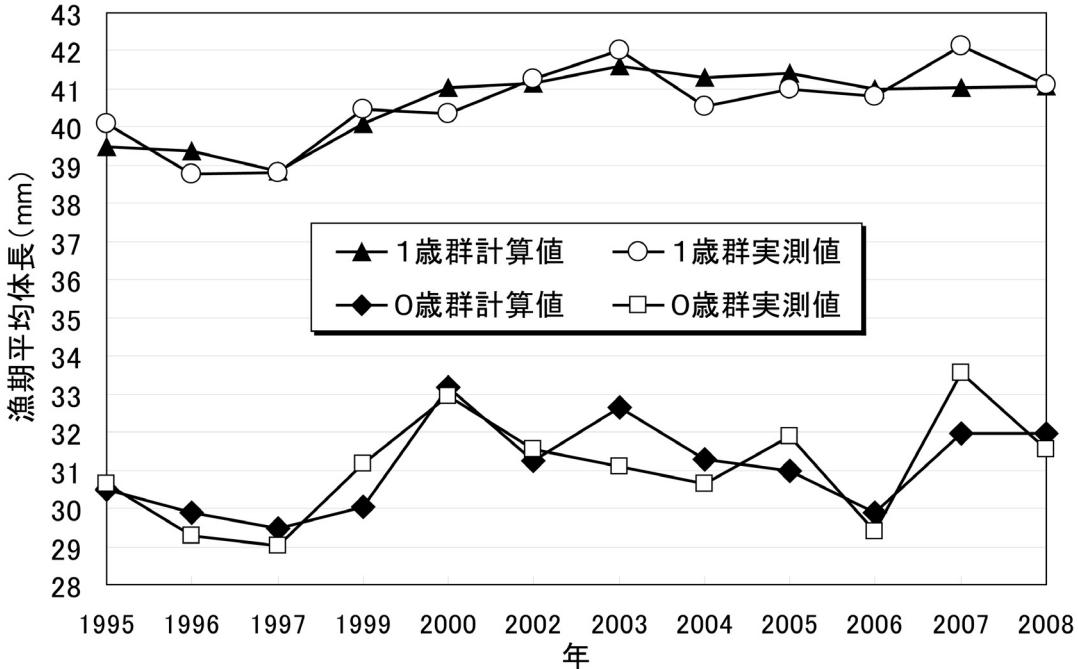


図 6 0歳群及び1歳群漁期平均体長の計算値と実測値の比較

方、大井川～相良沖で漁獲されたサクラエビは、0歳群と1歳群の組成率が試験操業のものと大きく異なり、1歳群が全体の約4割を占めた。小型0歳群と大型0歳群の組成の差は、相互に有意(1%)であった。また、0歳群と1歳群の組成の差は、採捕物では相互に有意(5%)ではなかったが、漁獲物は全ての採捕物との間で有意(1%)であった。

2 漁期前試験操業体長を用いた漁期平均体長予測式の試作とその検証

表2に、0歳群及び1歳群漁期平均体長と漁期前試験操業体長、5月体長及び7～10月水温データとの相関行列と

相関の有無について検定結果を示した。0歳群漁期平均体長は、0歳群漁期前試験操業体長と最も相関が強く、有意(1%)であった。また、1歳群漁期前試験操業体長とも有意(5%)の弱い相関が見られたが、5月体長及び7～10月の各水深の水温とは有意(5%)ではなかった。

1歳群漁期平均体長は、1歳群漁期前試験操業体長と最も相関が強く、次いで5月体長とも強い相関が見られ、これらは有意(1%)であったが、7～10月の各水深の水温とは有意(5%)ではなかった。

上記の結果から、0歳群漁期平均体長(y_0 : mm)と1歳群漁期平均体長(y_1 : mm)を、それぞれ最も相関の高い0歳群漁期前試験操業体長(x_0 : mm)と1歳群漁期前試験操

表3 漁期前試験操業体長と漁期平均体長、11月体長及び12月体長との相関行列と無相関の検定結果

		0歳群体長				1歳群体長			
		漁期平均	11月	12月	試験操業	漁期平均	11月	12月	試験操業
0歳群 体長	漁期平均	—	0.926	0.994	0.846	—	—	—	—
	11月	**	—	0.893	0.892	—	—	—	—
	12月	**	**	—	0.795	—	—	—	—
	試験操業	**	**	**	—	—	—	—	—
1歳群 体長	漁期平均	—	—	—	—	—	0.983	0.990	0.887
	11月	—	—	—	—	**	—	0.954	0.904
	12月	—	—	—	—	**	**	—	0.854
	試験操業	—	—	—	—	**	**	**	—

・上三角がそれぞれの相関係数(r)を表し、下三角が相関の有無の検定結果(**: 危険率1%で相関がある)を示す。

業体長 (x_1 : mm) を説明変数とした単相関式を求めた結果、
0歳群漁期平均体長予測式は、

$$y_0 = 0.594x_0 + 16.957 \quad (r=0.846, P<0.001) \quad \cdots (1)$$

同様に、1歳群漁期平均体長予測式は、

$$y_1 = 1.003x_1 + 1.637 \quad (r=0.887, P<0.001) \quad \cdots (2)$$

が得られた。

得られた予測式に基づきクロスバリデーションを用いて求めた0歳群及び1歳群漁期平均体長の計算値と実測値を比較した(図6)。1995~2008年(1998年と2001年を除く)の0歳群の残差の範囲は-1.54mm~1.61mm、残差の絶対値の平均は0.70mmとなり、残差の絶対値は2007年が最も大きかった。1歳群の残差の範囲は-0.78mm~1.11mm、残差の絶対値の平均は0.44mmとなり、残差の絶対値は0歳群同様2007年が最も大きかった。

表3に、最も相関の高かった0歳群及び1歳群漁期前試験操業体長と、漁期平均体長、11月体長及び12月体長との相関行列と、相関の有無について検定結果を示した。漁期前試験操業体長と漁期平均体長、11月体長及び12月体長は、0歳群及び1歳群とも有意(1%)であったが、0歳群漁期前試験操業体長との相関係数は、11月体長が $r=0.892$ 、12月体長は $r=0.795$ と、12月になると低下が見られた。1歳群漁期前試験操業体長との相関係数も同様に、 $r=0.904$ から $r=0.854$ へ低下が見られた。

考 察

今回、説明変数として利用可能な観測値の中で、最も相関が高い漁期前試験操業体長を用いた予測式(1)及び(2)式を得たが、この予測式は実際の漁期平均体長との残差(図6)から見て、これまでの予測式と比べても精度が高いものであった。これは、産卵盛期と漁場水温から漁獲体長までの成長を予測するこれまでの手法^⑥に比べ、漁期前の体長から予測することにより成長誤差が少なくなるためと思われる。また、現在の手法で説明変数として使用してきた水深100~150mの水温は、7~10月の全てで相互に有意(1%)の高い相関($r \geq 0.884$)が認められ(表2)、多重共線性^{7,8)}が懸念されることや、産卵盛期の判定のための調査頻度が低い⁹⁾等の問題点も想定される。この点でも、漁期前試験操業体長を用いた予測式はこれまでの予測式よりも優位性が高いと考えられる。

しかし、近年では翌年春漁の漁獲対象となる秋漁の0歳群保護のため、実際に曳網する直前に小型の網(以下、試験網)で少量のサンプルを漁獲し、1歳群の多い漁場や、大型の0歳群が多い漁場を探して曳網するという取り組みが行われている¹⁰⁾。2007年(図4)と2008年(図5)の漁獲物の体長組成は、漁期中試験操業の体長組成と比較して、

全ての採捕場所に対して小型0歳群が有意(1%)に少なく、且つ1歳群が有意(1%)に多かった。これは、試験網による漁場選択の影響と考えられる。さらに、予測に用いる漁期前試験操業の採捕場所別の体長組成についても、小型0歳群と大型0歳群の組成の差及び0歳群と1歳群の組成の差は、2007年(図2)では富士川沖と大井川沖の小型0歳群と大型0歳群で有意(5%)ではなかったが、その他は相互に有意(1%)であり、2008年(図3)では蒲原沖と焼津沖の小型0歳群と大型0歳群及び原沖と蒲原沖の0歳群と1歳群で有意(5%)ではなかったが、田子の浦と蒲原沖の0歳群と1歳群で有意(5%)であり、その他は相互に有意(1%)であった。

2003年以降予測に用いる0歳群及び1歳群漁期前試験操業体長は、採捕場所別にほぼ同数の体長測定を行い、それらを単純に平均して算出している。しかし、2007年は2008年と比べて採捕場所が3か所と少なく、また、田子の浦沖のように小型の0歳群が多いため(図2)、秋漁の漁場になるとは考えにくい結果を他の2か所と同様に扱って平均体長を算出したため、予測値が過小評価されて残差が大きくなつたと考えられる。また、このようなことは1歳群でも生じる可能性が考えられる。

以上のことから、漁期前試験操業体長から予測する手法では十分にサンプリングを行い、同一年級群内の組成率を正しく把握し、小型0歳群が多い採捕場所のデータは使用しないなど、漁期前試験操業結果の使用に考慮が必要であると考えられた。

また、現在は漁期平均体長を予測して公表しているが、漁期前試験操業体長との相関は、0歳群及び1歳群とも11月から12月にかけて低下している(表3)。今後予測式の精度を上げるためにには、サクラエビの成長を変化させる様々な要因を解明することが必要である。

謝 辞

本研究を行うにあたり、サクラエビのサンプル採集に御協力いただいた、県桜えび漁業組合望月 武組合長、由比港漁業協同組合宮原淳一組合長及び職員の皆様、大井川港漁業協同組合谷澤輝雄組合長及び職員の皆様、そして、サクラエビ漁業者の皆様に感謝する。

また、試験操業を実施するにあたり、深夜まで御協力いただいた静岡県水産技術研究所調査船駿河丸の歴代船長及び乗組員の方々、データを蓄積してきていただいた静岡県水産技術研究所歴代サクラエビ担当者の方々に深謝する。

文 献

- 1) 大森 信 (1995) : 総論, 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, 21~93.
- 2) 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.
- 3) 静岡県水産試験場・静岡県栽培漁業センター (2003) : 静岡県水産試験研究百年のあゆみ, 黒船印刷, 静岡, 405pp.
- 4) 花井孝之 (1999) : サクラエビ漁況の数値予測研究, 平成10年度静岡県水産試験場事業報告, 20~21.
- 5) 小林憲一 (2002) : 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, 49(2), 108~114.
- 6) 萩原快次・田中寿臣 (2007) : 沿岸定線調査結果の地域水産業への貢献－駿河湾・遠州灘の漁海況への活用, 黒潮の資源海洋研究, 8, 19~24.
- 7) 有馬 哲・石村貞夫 (1987) : 多変量解析のはなし, 東京図書株式会社, 東京, 320pp.
- 8) 丹慶勝市 (2005) : 図解雑学多変量解析, 株式会社ナツメ社, 東京, 255pp.
- 9) 静岡県水産試験場・静岡県桜蝦漁業組合 (1987) : サクラエビ増殖対策調査報告書 (II) 昭和59~61年度, 静岡県水産試験場, 静岡, 33~44.
- 10) 田中寿臣 (2007) : 2007 (平成19) 年度日本水産学会秋季大会 (日本農学大会水産部会) 講演要旨集, 社団法人日本水産学会, 東京, 19.

Prediction of sergestid shrimp *Sergia lucens* body length in the autumn fishing season from pre-season experimental data

Toshiomi Tanaka

Abstract We tested the reliability of a method of predicting the mean body length of year 0 (Y0) and year 1 (Y1)-class sergestid shrimp *Sergia lucens* that are caught in the autumn fishing season. From 1995 to 2008 (excluding 1998 and 2001), sample shrimp were caught from a research vessel before the autumn fishing season; the pre-season data were then used to predict mean body lengths of Y0 and Y1-class shrimp throughout the autumn fishing season. To determine the in-season mean body length (y_0 : mm) of Y0-class shrimp, we derived the prediction formula $y_0 = 0.594x_0 + 16.957$ ($r=0.846, P<0.001$) by using the pre-season body length data (x_0 : mm) of Y0-class shrimp. To determine the in-season mean body length (y_1 : mm) of Y1-class shrimp, we derived the prediction formula $y_1 = 1.003x_1 + 1.637$ ($r=0.887, P<0.001$) by using the pre-season body length data (x_1 : mm) of Y1-class shrimp. Application of the indexes to the predictions of mean body lengths from 1995 to 2008 (excluding 1998 and 2001) yielded residual values ranging from -1.54 to 1.61 mm for the Y0-class shrimp, and from -0.78 to 1.11 mm for the Y1-class shrimp. This result showed that the indexes yielded results with higher precision than achieved in previous attempts. Since fishery operators have begun using selective fishing to protect smaller Y0-class shrimp in recent years, these data will need to be considered in future predictions. We therefore need to determine the ratios of larger to smaller groups within the same year class.

Key words: sergestid shrimp *Sergia lucens*, mean body length, prediction, experimental fishing, cross validation