

複数体長組成データの解析による イセエビの成長と齢別組成および加入の推定

山 川 卓*

Growth, Age Composition, and Recruitment of the Japanese Spiny Lobster *Panulirus japonicus* Estimated from Multiple Length Frequency Analysis

Takashi YAMAKAWA*

Abstract

Growth, age composition, and recruitment of the Japanese spiny lobster, *Panulirus japonicus*, were estimated from simultaneous analysis of multiple length frequency data sets. Carapace-length frequency data sets of *Panulirus japonicus* at Wagu, Mie Prefecture, Japan, of 62,605 individuals over five fishing seasons from October to April of 1990-1991 to 1994-1995 were analyzed. Von Bertalanffy growth curves with seasonal growth oscillation were estimated for each sex. The estimated carapace length in October for each age after settlement as pueruli was: for males, 45.0mm for the 1st age, 62.4mm for the 2nd age, and 74.1mm for the 3rd age, and for females, 42.3mm for the 1st age, 56.2mm for the 2nd age, and 64.7mm for the 3rd age. Growth fluctuated from year to year, which suggests the presence of density dependent process. The most prominent age group in the catch was the 2nd age group. Mortality rates after the 2nd age were estimated up to ca. 70-80% per year on average. Size selectivity of tangle nets for spiny lobster is inferred based on the recruitment process of the 1st age groups during the fishing season and its fluctuation between years. The estimated growth is compared with those in the literature.

はじめに

パーソナルコンピューターの発達と普及に伴い、体長組成解析のための手法やソフトウェアが急速に進歩しつつある (SHEPHERD *et al.* 1987, MAJKOWSKY *et al.* 1987, MORGAN and PAULY 1987)。体長組成解析法によると、年齢形質の利用できない種でも成長の推定が行えるほか、年齢組成の推定を通じて、加入・減耗などの資源特性の把握やコホート解析へのデータ提供などが可能となる。産卵ポテンシャルによる資源管理 (松宮 1996, KATSUKAWA 1997, 勝川・松宮 1997) や年齢組成情報などに基づく簡易 SPR 管理¹⁾への応用

1997年1月10日受理

* 三重県水産技術センター (Fisheries Research Institute of Mie, Hamajima, Shima, Mie 517-04, Japan)。

¹⁾ 勝川俊雄, 松宮義晴 (1996) 基本的な情報 (CPUEおよび年齢組成データ) による簡易SPR管理。共同利用シンポジウム「資源管理の数理的研究の展開」講演要旨集, 東京大学海洋研究所, 東京, p. 17。

も期待できる。

提示されてきた手法のうち、経時的な複数時点でのデータを一括して解析する手法 (PAULY and DAVID 1981, PAULY 1987, SPARRE 1987, FOURNIER *et al.* 1990, 1991) は個別の解析に比べて、推定に用いる仮定の相互比較と妥当なモデルの選択, 信頼区間の推定などが見通し良く行え, 安定した結果を得ることができる。なかでも体長組成解析ソフト ELEFAN (PAULY and DAVID 1981, PAULY 1987) や MULTI-FAN (FOURNIER *et al.* 1990, 1991) は世界的に普及しているが, 成長が一定ではなく年ごとに変動する場合などには個別の解析に拠らざるを得ないため, データのもつ情報量を十分には活用できない。YAMAKAWA and MATSUMIYA (1997) は, 成長の年変動があっても複数データの一括解析が可能な手法を提示した。当手法に拠るとあらゆる場合の一括解析が可能で, データに内在する情報量を有効に活用して精度の高い推定

を行うことができる。

本論文では YAMAKAWA and MATSUMIYA (1997) の一括解析法を三重県和具地区におけるイセエビ *Panulirus japonicus* の頭胸甲長組成データに適用し、成長と漁獲物の齢別組成および加入減耗過程について精査するとともに、成長に関して既往文献との比較検討を行った。

材料と方法

経時的に採取された複数の体長組成データを一括して解析した。解析には YAMAKAWA and MATSUMIYA (1997) の手法を用いた。成長変動があっても一括解析が可能ないように、各パラメータは「データセットごとに独立に設定」するか、あるいは「一部またはすべてのデータセットに共通に設定」するかの選択が個々に行えるほか、データの質と量に応じた柔軟な解析に対応できるように、各パラメータを「未知として推定」するか、あるいは「既知として固定」するかの選択がパラメータごとに自由に行える。仮定したオプション間の妥当性の比較は赤池情報量規準AICで行う。解析には表計算ソフト *MS-Excel* ((株)マイクロソフト) を利用し、アドインツールの “*Solver*” で非線形最適化を行った。*MS-Excel* は複数のワークシートを “*book*” 形式で保管できるため、1つのワークシートが1つのデータセットに対応するようにした。

三重県和具地区の禁漁区を除いた一般漁場で、刺網によって漁獲されたイセエビの頭胸甲長 (以下甲長と記す) 組成データを用いた (Figs. 1, 2)。用いたデータは5年分 (1990年-1991年, 1991年-1992年, 1992年-1993年, 1993年-1994年, 1994年-1995年の各漁期) で、漁期開始の10月から漁期終了の4月までの期間のうちの5ヶ月分のデータ (10月, 11月, 12月, 3月, 4月) から成る。1月と2月はイセエビの水揚げが少なく、低水温のために成長も停滞するので、データは収集しなかった。1990年-1991年漁期については、11月から3月のデータはなく、10月と4月の2か月分のデータのみを用いた。

甲長は、ノギスを用いて0.1mm単位で個体ごとに測定した。解析は、雌雄別に集計した1mm間隔の階級区分ごとの出現個体数 (頻度) を基に行った。測定個体数は合計で62,605個体 (雄: 38,486個体, 雌: 24,119個体) であった。これは、調査期間中に一般漁場で漁獲された全個体数のおおよそ14%に相当する。

解析には、YAMAKAWA and MATSUMIYA (1997)

で最も妥当性の高いと判断されたモデルAを仮定した。成長の推定は季節的成長を導入した von Bertalanffy 式に従った。

$$L_{ja} = \frac{L_{\infty a}}{\{1 + re^{-K_{\alpha}(G(j, \alpha) - G(j_{0a}, \alpha))}\}^{1/r}} \quad (1)$$

ここで、

$$G(j, \alpha) = j + \frac{A_{\alpha}}{2\pi} \sin 2\pi(j - j_{1a}), \quad (2)$$

- L_{ja} : データセット α における j 齢群の平均甲長,
- $L_{\infty a}$: データセット α における極限甲長,
- r : 式の形に関係するパラメータ (ここでは $r=-1$ として固定),
- K_{α} : データセット α における成長係数,
- j_{0a} : データセット α における成長式の変曲点を表すパラメータ,
- A_{α} : データセット α における季節的成長の大きさ (振幅) を表すパラメータ,
- j_{1a} : データセット α における季節的成長の位相を調節するパラメータ,

である。

齢別の甲長の標準偏差 σ_{ja} は TANAKA and TANAKA (1990) の式を用いて表した。

$$\sigma_{ja} = \left[a_{\alpha} + \frac{b_{\alpha}}{2K_{\alpha}} \{1 - \exp(-2K_{\alpha}j)\} \right]^{1/2}, \quad (3)$$

a_{α}, b_{α} : パラメータ。

齢群数は10群とし、4歳以上の高齢群の出現率に年あたりの全減少係数 Z_{α} を導入した。パラメータの共通/独立の設定では、成長係数 K_{α} と変曲点 j_{0a} のみを年ごとに「独立」とし、その他のパラメータは「共通」とした。仮定したパラメータは固定せずに全てを未知として推定した。

なお、ここではプエルルスとして着底後の推定経過年数を「齢」と称する*2。使用漁具、出漁隻数、操業時間などの三重県和具地区におけるイセエビ刺網漁業の詳細に関しては YAMAKAWA *et al.* (1994) などを参照されたい。

結果

1. 漁獲物の齢別組成と加入および減耗

体長組成解析によるデータセット別の各齢群への分離結果を、雌雄別に Fig. 1 と Fig. 2 に、パラメータ

*2 フィロソマの期間が不明で生後の「年齢」が特定できないため、便宜的にこの呼称を用いる。齢の起算はプエルルスの着底盛期の8月1日から行う。

イセエビの体長組成解析

Table 1. Estimated parameter values using the multiple length frequency analysis of Yamakawa and Matsumiya (1997) applied to five-years' data of the Japanese spiny lobster from Wagu, Mie Prefecture, Japan. Seasonal growth oscillation, shift of standard deviation, and the total mortality coefficient for groups older than 4th age are introduced. Growth parameters K_a and j_{0a} are set as "independent" by year, while other parameters were set as "common" for all data sets

Fishing period	Parameters to be estimated								
	von Bertalanffy growth parameters			Seasonal growth		Standard deviation		Total mortality	
	K_a	j_{0a} (year)	$L_{\infty a}$ (mm)	A_a	j_{1a} (year)	a_a	b_a	Z_a (/year)	
1990-1991	0.408	-0.199	98.5	0.727	0.001	0.13	5.103	0.843	
1991-1992	0.403	-0.153							
♂ 1992-1993	0.390	-0.241							
1993-1994	0.395	-0.118							
1994-1995	0.367	-0.235							
1990-1991	0.488	-0.653	78.3	0.548	"common"		0.146	4.972	0.238
1991-1992	0.482	-0.447							
1992-1993	0.527	-0.321							
♀ 1993-1994	0.481	-0.167							
1994-1995	0.454	-0.647							

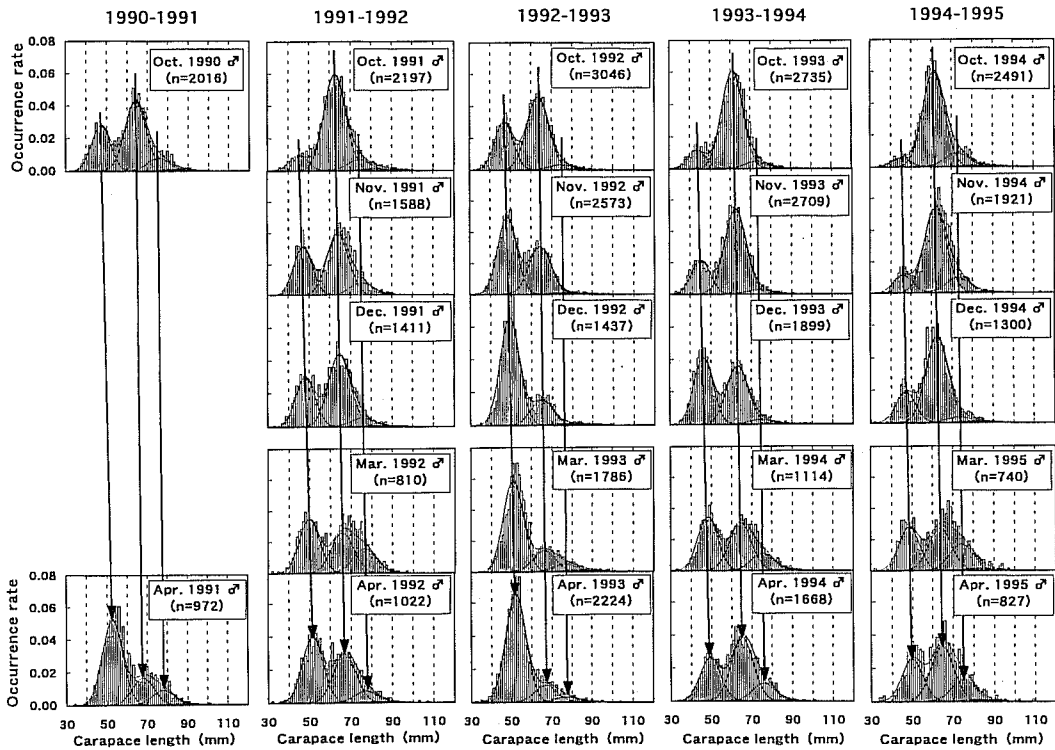


Fig. 1. Estimated age composition for the catch of male Japanese spiny lobster *Panulirus japonicus* at Wagu, Mie Prefecture, Japan, from the multiple length frequency analysis. Model A of Yamakawa and Matsumiya (1997) was utilized. Columns correspond to the fishing seasons (1990-1991, 1991-1992, 1992-1993, 1993-1994, and 1994-1995) from October (upper) to April (lower). Vertical arrows connect modes of the 1st age group, the 2nd age group, and the 3rd age group, respectively, derived from the model. The symbol "n" means the total number of individuals measured for each month.

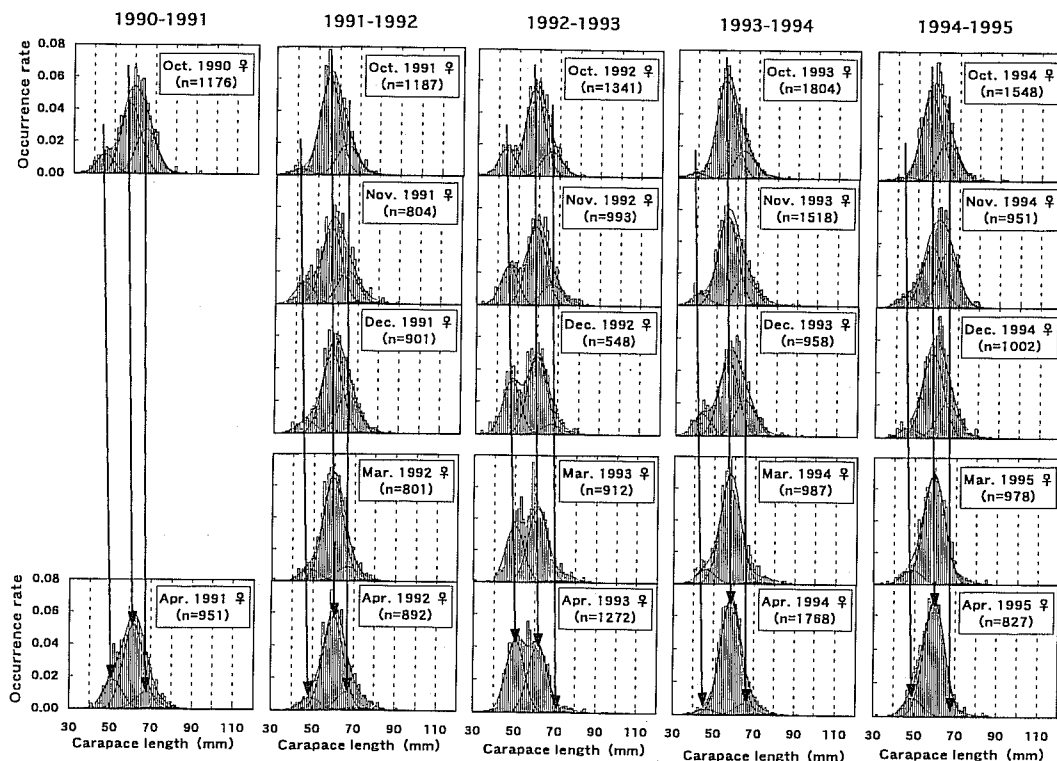


Fig. 2. Estimated age composition for the catch of female Japanese spiny lobster *Panulirus japonicus* at Wagu, Mie Prefecture, Japan, from the multiple length frequency analysis. Model A of Yamakawa and Matsumiya (1997) was utilized. Columns correspond to the fishing seasons (1990–1991, 1991–1992, 1992–1993, 1993–1994, and 1994–1995) from October (upper) to April (lower). Vertical arrows connect modes of the 1st age group, the 2nd age group, and the 3rd age group, respectively, derived from the model. The symbol “n” means the total number of individuals measured for each month.

の推定結果を Table 1 に示した。各年齢群の出現率の詳細な明示は省略した（1 年齢群と 2 年齢群については Fig. 5 を参照）。

和具地区での漁獲の主群は雌雄ともに 2 年齢群であった。漁獲への加入は 1 年齢群では不完全で、漁期の進行とともに加入の増加が認められた。雌の 1 年齢群の加入は雄に比べて遅れる傾向にあった。3 年齢以上の高齢群の出現率は低く、ピークは不明瞭であった (Fig. 1, 2)。

1 年齢群の加入状況は年によって相違していた。例えば雄では、1991年-1992年漁期の前半には 2 年齢群が漁獲の主群であったのに対し、1992年-1993年漁期では 10月時点でも相当数の 1 年齢群が加入しており、漁期の進行に伴って大部分が 1 年齢群で占められるようになった (Fig. 1)。雌では、1991年-1992年漁期には 1 年齢群の加入は少数であったが、1992年-1993年漁期では相当数の 1 年齢群の加入が認められた (Fig. 2)。

加入の完了したと考えられる 2 年齢群について、3 年齢までの生残率を計算すると、全データセットの平均値で雄：25.0%、雌：28.5%となった。すなわち、自然死亡と漁獲による減耗を合わせて年間 7～8 割の減耗率ということになり、拡張 DeLury 法による推定漁獲率の値 (65%; YAMAKAWA *et al.* 1994a, 1994b) も考慮に入れ、2 年齢以上の群に対する漁獲圧が相当高いことがわかる。

2. 成長

成長のパラメータの推定結果を Table 1 に、推定された成長曲線を Fig. 3 に示した。

成長には雌雄差があり、雌より雄の方が速く成長すると推定された。季節的な成長変動がみられ、冬季には雌雄ともに成長が停滞した。年によって成長に差があり、1992年-1993年漁期では他の年より雌雄ともに

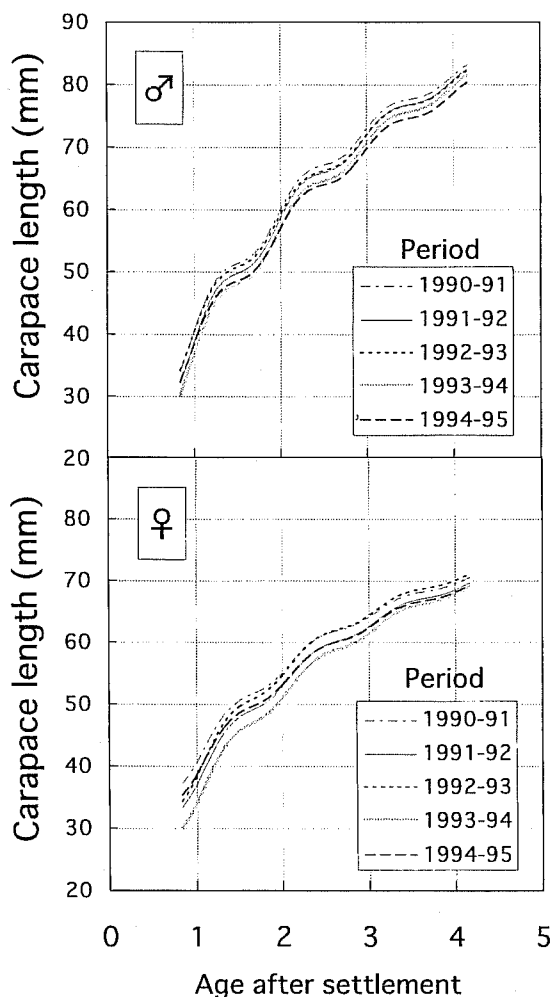


Fig. 3. Estimated growth curves of the Japanese spiny lobster *Panulirus japonicus* at Wagu, Mie Prefecture, Japan, from the multiple length frequency analysis. Model A of Yamakawa and Matsumiya (1997) was utilized. Upper: males, lower: females. Age means the duration of years after settling as pueruli, not years after hatching. The initial date for reckoning age was set at August 1st. For a detailed explanation of the model, see the present text or Yamakawa and Matsumiya (1997).

甲長が大きく、逆に1993年-1994年漁期には雌雄とも小さい傾向がみられた (Table 1, Fig. 3)。パラメータをすべての年で共通とし、成長の年変動を考慮しないモデル (YAMAKAWA and MATSUMIYA (1997) のモデル J) で解析した AIC の値は、雄では8586.14、雌では6159.32であり、成長式のパラメータ K_{α} と $j_{0\alpha}$ を年

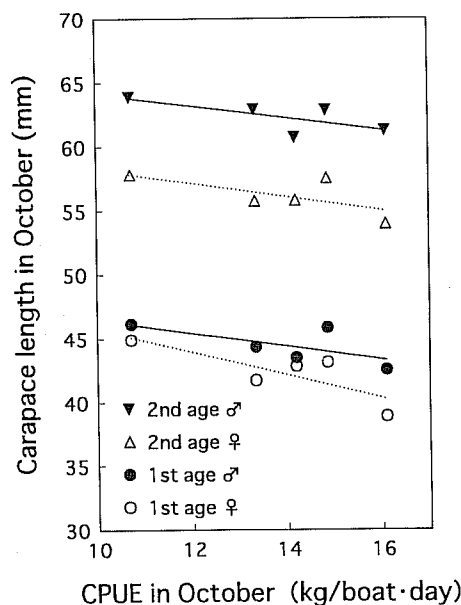


Fig. 4. Effect of density dependence on growth of the Japanese spiny lobster. Estimated average length of the 1st and the 2nd age groups in October, as an index of the growth rate for each year, is plotted against the CPUE (total catch in the fishing ground per total number of boats operating) in October, as an index of stock density in the ground. From testing the null hypothesis that the slope of regression line is zero for each group, a significant correlation was recognized at the 5% level of significance ($P=0.027$).

によって独立とした今回の結果 (雄の AIC=7902.36, 雌の AIC=5846.71) に比較して妥当性が著しく低下した。

各年齢群の平均甲長の推定値は、雄では1 齢43.2mm~46.7mm (45.0mm), 2 齢60.8mm~64.0mm (62.4mm), 3 齢72.4mm~75.6mm (74.1mm), 雌では1 齢38.9mm~44.9mm (42.3mm), 2 齢54.0mm~57.8mm (56.2mm), 3 齢63.3mm~66.0mm (64.7mm) (いずれも三重県で漁期が始まる10月1日時点での値, カッコ内は5年間の平均値) であった (Fig. 3)。推定された成長を、三重県 (1992)* の求めた甲長 (CL, mm) 一体重 (BW, g) の関係式

$$BW=0.001005 CL^{2.9601} \text{ (雄)}$$

$$BW=0.001525 CL^{2.9667} \text{ (雌)}$$

*3 三重県 (1992) 平成3年度資源管理型漁業推進総合対策事業報告書 (地域重要資源)。鈴鹿地区マアナゴ, 和具地区イセエビ。三重県, 81pp.

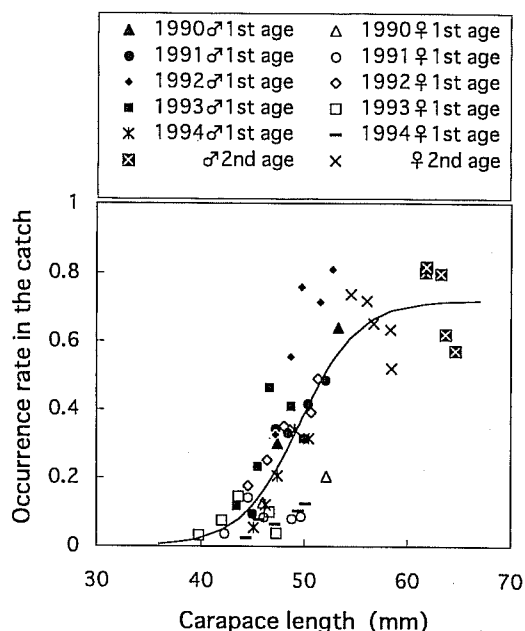


Fig. 5. Examination of the size selectivity for the Japanese spiny lobster by tangle nets. Occurrence rate of the group at recruit (1st age group) in the catch is plotted against the mean length of the group. Each point represents the data for one month for each sex. Data for the 2nd age groups in October are also plotted for comparison. The solid line is a sigmoid curve (logistic curve) fitted by non-linear least squares method.

を用いて体重に換算して表示すると、雄では1齢が69.7g~87.8g (78.7g), 2齢が192g~223g (207g), 3齢が322g~365g (344g), 雌では1齢が55.1g~83.1g (70.1g), 2齢が141g~172g (158g), 3齢が223g~251g (237g) (いずれも10月1日時点での値, カッコ内は5年間の平均値)となる。

3. 密度従属成長

年によって成長に差異が生じる原因について、密度従属的な成長変動の可能性を検討した。Fig. 4には、横軸に漁場における資源密度の指標としての10月における平均CPUE (一般漁場におけるkg単位の総漁獲重量/延べ出漁隻数)の値を、縦軸に各年の成長の遅速を示す尺度としての10月における1齢群と2齢群の推定平均甲長をとり、雌雄別に5年分の各点をプロットした。

いずれの場合も10月のCPUEが高い年には体長が小さい傾向がみられ、資源密度の高い年ほど成長が劣

ることが示唆された。1齢群と2齢群の雌雄の各群における回帰直線の傾きがすべて0であるという帰無仮説 (密度独立的な成長) を検定すると、このような観測値が得られる確率Pの値は0.027となり、危険率5%の水準で仮説は棄却された (第1自由度が4, 第2自由度が12の分散分析)。したがって、10月における平均CPUEと各群の推定平均甲長の間には有意な負の関係が認められ、イセエビには密度従属的な成長変動が存在すると考えられた。

4. 刺網の漁獲選択性

漁期内での1齢群の加入の進行と加入状況の雌雄差、年による変動が生じる原因について明らかにするため、イセエビのサイズによる刺網漁具の漁獲選択性について検討した。

加入群の平均甲長と、漁獲物中での各群の出現率の関係を Fig. 5 に示した。漁獲物中での加入群の出現率は、各群の漁獲履歴や他の群の出現状況によっても左右されるが、この値の変化をもとに、サイズに伴う加入の進行や漁獲選択性の変化についておおよその傾向を知ることができる。

40mm前後の群はほとんど漁獲されないのに対して、45~50mmに成長すると急激に漁獲されるようになり、さらに60mmを越える群では加入はほぼ完了していると考えられた。雄に比べて成長の遅い雌は加入が遅れる傾向にあり、1992年のように他の年に比べて成長が良好な年には加入が進んでいる傾向もみられた (Fig. 5)。

このような加入過程はサイズ別の行動様式の相違によっても生じることが考えられるが、目合の異なる刺網を用いた試験操業結果によると、目合の相違によって漁獲されるイセエビの大きさが異なる (山川, 未発表データ) ことから、このような加入過程は刺網の漁獲選択性に起因している可能性が高い。成長の速いグループほど、早期から加入が始まることが考えられる。雌雄による加入時期の差異や年による加入状況の相違も、各グループの成長と漁獲選択性の関係で理解できる。漁期の進行に伴う1齢群の加入の増加も、漁期内でのイセエビの成長と漁獲選択性の関係によって解釈できる。

考 察

イセエビは脱皮によって硬組織を更新するため、魚類の耳石、鱗、脊椎骨や貝類の殻などに相当する有効な年齢形質が発見されていない。成長の推定は、飼育実験（大島ほか 1960, 田中ほか 1985, 田中1988）、標識放流（静岡水試伊豆分場1975^{*4}, 1976^{*5}, 石田・田中1985, 金盛1988）、漁獲物または採集個体の体長（甲長）組成（NAKAMURA 1940, 大島 1941, 大島ほか 1960, 静岡水試伊豆分場 1975^{*4}, 1976^{*5}, NORMAN *et al.* 1994）などに基づいて行われてきた。しかし、飼育実験で得られた成長は天然海域のものとは異なる可能性があり、標識放流による方法も、①標識の装着が成長や生残に与える影響が不明で、②解析に十分なデータ数を確保しにくく、③得られる情報が放流時と再捕時のものに限られるため季節的成長を把握し難い、などの問題点がある。

静岡水試伊豆分場（1975^{*4}, 1976^{*5}）は雌雄別に集計した甲長組成の検討により、静岡県南伊豆におけるイセエビの成長を推定した。正規確率紙による複合正規分布への分解法（HARDING 1949）を用いたものであるが、①作図による手法であるため客観性に欠け、②1セットのみのデータに基づく推定であるため信頼性に疑問が残る、などの難点がある。これに対して本論文の手法では、複数データの一括解析を行うことでデータに内在する情報量を有効に活用し、精度の高い推定を行うことができる。

既往の文献によるイセエビの成長の推定結果と本論文での解析結果を比較してFig. 6 に示した。b) のNAKAMURA (1940) による成長は、刺網漁業へ加入する前の小型群の成長に関して論議するために、報告されたデータを YAMAKAWA and MATSUMIYA (1997) の手法を用いて再度、解析したものである。飼育実験による h) 田中ら (1985) および i) 田中 (1988) の成長は他の天然海域での報告例に比べて明らかに小さい。Harding の方法による d) 静岡水試伊豆分場 (1975)^{*4} の値も他より小さいが、前述の理由により信頼性に疑問が残る。これらの3例 (d, h, i) を除

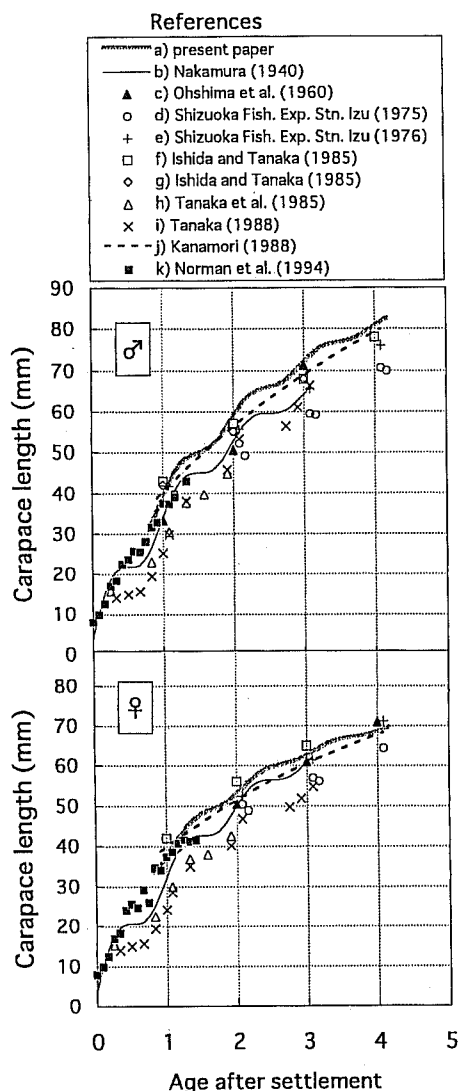


Fig. 6. Comparison of the estimated growth rate of the Japanese spiny lobster *Panulirus japonicus* reported in the literature. Only the reports with descriptions of growth for both sexes are used. Upper: males, lower: females. The initial date for reckoning age was set at August 1st. Results are based upon: a) present paper (Wagu, Mie Prefecture; 1991-1992 fishing season), b) re-analysis of the data of Nakamura (1940) using the present model (Kominato, Chiba Prefecture), c) modes in carapace length frequency (Misaki, Kanagawa Prefecture), d, e, f) analysis of carapace length frequency data by Harding's graphical method (d, e: Minamiizu, Shizuoka Prefecture, f: Ohara, Chiba Prefecture), g) tag-recapture (Ohara, Chiba Prefecture), h, i) rearing experiment (Chiba Prefecture), j) tag-recapture (Kinan, Wakayama Prefecture) k) monthly samples of individuals sampled via diving survey (Banda, Chiba Prefecture).

*4 静岡県水産試験場伊豆分場 (1975) 昭和49年度大規模増殖場開発事業調査報告書 (下田, 南伊豆地区; イセエビ). 静岡県水産試験場伊豆分場, pp. 1-50.

*5 静岡県水産試験場伊豆分場 (1976) 昭和50年度大規模増殖場開発事業調査報告書 (南伊豆地区; イセエビ). 静岡県水産試験場伊豆分場, pp. 1-69.

けば、本論文による成長の推定結果と既往の報告の成長は大きくは異ならず、若干の成長差は海域や資源密度の相違に起因すると考えることができる。

一般に体長組成解析の問題点として、出現ピークの不明瞭な高齢群の成長に関して推定精度が低いことが挙げられる。田中(1954)は正規分布をする二群の混合した分布型について、bimode となる条件とこぶの出る条件を求めた。これらの条件が満たされない場合、体長組成データからの年齢群の分離は困難となる。一方、年齢形質が利用できる種については、高齢群の成長に関する情報を年齢形質で補足しながら解析を進め、信頼性の高い結果を得ることが可能である。例えば、極限体長 L_{∞} は年齢形質から推定された値に固定して解析したり、体長組成解析の尤度に年齢形質の測定結果から得られる尤度を組み込んで目的関数とすることなどが考えられる。イセエビでは有効な年齢形質が発見されていないため、高齢群の成長に関する推定精度を高めるためには、漁獲圧力が低いため高齢群が漁場内に多く残っている場所でのデータを収集することなどが有効であろう。将来の詳細な検討によって、より妥当な L_{∞} の値を求める必要がある。

本論文では刺網の漁獲選択性に起因する、加入群の平均体長の偏り (FOURNIER *et al.* 1990, YAMAKAWA and MATSUMIYA 1997) は考慮に入れなかった。サイズによる鋭い漁獲選択性が存在する場合、加入齢に達した群のうちでも成長の速い大型個体ほど漁獲される確率が高くなる。実際に漁獲された個体の平均体長と漁場内に残存する個体の平均体長が異なり、加入齢付近での成長の推定結果に偏りが生じる可能性がある。

甲殻類は脱皮によって成長するため、個体ごとの外殻の成長は不連続となる。このため、脱皮あたりの成長量をもとにした不連続モデルが利用されてきた (HIATT 1948, WILDER 1953, KURATA 1962, MAUCLINE 1976, 1977, SOMERTON 1980, EASTON and MISRA 1988, 大富・清水 1994 など)。本論文では、イセエビの集団の成長に連続モデルを適用した。シャコの成長の推定 (大富・清水 1988, HAMANO 1990) などに同様の適用例がみられる。ただし、イセエビ類の雌では抱卵期間中である夏季には脱皮を行わない (猪野 1950, CHITTLEBOROUGH 1976a) ため、成長が一時的に停滞することも予想される。例えば春季と秋季に成長が速くなり、夏季には成長が停滞するモデルなど、ここで用いた季節的成長のモデルより妥当性の高いモデルが提示できる可能性がある。

イセエビの成長は密度従属的な要因も加味され、年ごとに変動することが示された (Fig. 4)。他のイセエビ類でも密度従属的な成長に関しては多くの報告があり (*Panulirus cygnus*, CHITTLEBOROUGH 1976b; *Jasus lalandii*, POLLOCK 1987; *Jasus edwardsii*, BREEN and BOOTH 1989; *Panulirus marginatus*, POLOVINA 1989; *Jasus tristani*, POLLOCK 1991), 利用可能な餌の量や棲息空間に関する制約が主な成因として考えられている。密度従属的な成長変動のある場合は資源管理方策のあり方や管理効果にも大きく影響を与えるため、密度従属的な死亡や成熟に関する内容も加えて、更に詳細な検討を行う必要がある。

イセエビ刺網漁業ではサイズによる漁獲選択性の存在が示唆され、加入過程にシグモイド型の曲線をあてはめた (Fig. 5)。刺網の漁獲選択曲線について、「刺し漁獲」が主体の魚種では一般にはドーム型の曲線があてはめられる (石田 1962, KITAHARA 1971, KAWAMURA 1972, 梨本 1979, 松岡ほか 1995 など)。三枚網の内網のたるみ等に関連して「絡まり漁獲」の要素が入ると大型群の選択率が上昇し、選択曲線は右に尾を引く形状 (小池・竹内 1985, 小池・松田 1988, 藤森ほか 1990) や双峰性の曲線 (MATSUOKA 1991) となる。イセエビでは棘や付属肢の存在のために絡まり漁獲の要素が大きく、右に尾を引く形状の曲線が予想される。サイズによる漁獲選択性は資源管理を推進する上でも重要な知見を与えるため、実験的手法なども活用しながら詳細な検討を加える必要がある。

要 約

経時的な複数の体長組成データの一括解析によってイセエビ *Panulirus japonicus* の成長、齢別組成、加入過程などを明らかにした。三重県和具地区の 1990-1991 年漁期から 1994-1995 年漁期 (10 月～翌年 4 月) の 5 年分、62,605 個体のイセエビ頭胸甲長組成データを用いた。成長の季節変動を導入した von Bertalanffy 式が雌雄別に推定された。プエルルスから起算した各年齢群の 10 月の推定甲長は、雄では 1 齢 45.0 mm, 2 齢 62.4 mm, 3 齢 74.1 mm, 雌では 1 齢 42.3 mm, 2 齢 56.2 mm, 3 齢 64.7 mm であった。年ごとに成長が異なり、密度従属性が示唆された。漁獲対象の主群は 2 齢群であった。2 齢以降の減耗率は年間にして平均 7～8 割と見積もられた。漁期内での 1 齢群の加入の進行状況と年変動に基づき、刺網の漁獲選択性を推算した。成長の解析結果について既往文献との比

較検討を行った。

謝 辞

本論文をまとめるにあたり、懇切な御指導と御校閲を賜った東京大学海洋研究所の松宮義晴教授に深く感謝申し上げる。調査にご協力いただいた和具漁業協同組合の職員の方々と漁業者の方々と、三重県水産技術センターおよび三重県栽培漁業センターの職員の方々と、南勢志摩県民局伊勢農林水産事務所水産部普及員室の方々と、志摩町水産農林課の方々と、有益なご助言をいただいた水産庁西海区水産研究所の皆川恵博士と吉村拓主任研究官、ならびにご校閲を賜った千葉大学のChristopher Paul Norman 博士と匿名の査読者に厚く御礼申し上げます。

文 献

- BREEN, P. A. and J. D. BOOTH (1989) Puerulus and juvenile abundance in the rock lobster *Jasus edwardsii* at Stewart Island, New Zealand. *N. Z. J. Mar. Freshwater Res.*, **23**, 519-523.
- CHITTLEBOROUGH, R. G. (1976a) Breeding of *Panulirus longipes cygnus* George under natural and controlled conditions. *Aust. J. Mar. Freshwater Res.*, **27**, 499-516.
- CHITTLEBOROUGH, R. G. (1976b) Growth of juvenile *Panulirus longipes cygnus* George on coastal reefs compared with those reared under optimal conditions. *Aust. J. Mar. Freshwater Res.*, **27**, 279-295.
- EASTON, M. D. L. and R. K. MISRA (1988) Mathematical representation of crustacean growth. *J. Cons. int. Explor. Mer*, **45**, 61-72.
- FOURNIER, D. A., J. R. SIBERT, J. MAJKOWSKI, and J. HAMPTON (1990) MULTIFAN a likelihood-based method for estimating growth parameters and age composition from multiple length frequency data sets illustrated using data for southern bluefin tuna (*Thunnus maccoyii*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **47**, 301-317.
- FOURNIER, D. A., J. R. SIBERT, and M. TERCEIRO (1991) Analysis of length frequency samples with relative abundance data for the Gulf of Maine northern shrimp (*Pandalus borealis*) by the MULTIFAN method. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **48**, 591-598.
- 藤森康澄・松田 皎・L. P. Losanes・小池 篤 (1990) 水槽実験による刺網の漁獲効率と網目選択性. *日水誌*, **56**, 2019-2027.
- HAMANO, T. (1990) Growth of the stomatopod crustacean *Oratosquilla oratoria* in Hakata Bay. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **56**, 1529.
- HARDING, J. P. (1949) The use of probability paper for the graphical analysis of polymodal frequency distributions. *J. Mar. Biol. Ass. U. K.*, **28**, 141-153.
- HIATT, R. W. (1948) The biology of the lined shore crab (*Pachygrapsus crassipes* Randall). *Pacif. Sci.*, **2**, 135-213.
- 猪野 峻 (1950) イセエビ (*Panulirus japonicus* (v. Siebold)) の産卵回数に関する観察. *日水誌*, **15**, 725-727.
- 石田昭夫 (1962) 刺網の網目選択曲線について. *北水研報*, **25**, 20-25.
- 石田 修・田中種雄 (1985) 大原地先海域におけるイセエビの移動・成長及び放流効果. *千葉水試研報*, **43**, 41-50.
- 金盛浩吉 (1988) 和歌山県紀南海域におけるイセエビの資源生態と漁業管理の研究. 昭和61年度和歌山水試事報. pp. 109-209.
- KATSUKAWA, T. (1997) Introduction of spawning potential: improvement in the threshold management theory. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, **7**, 1-5.
- 勝川俊雄・松宮義晴 (1997) 産卵ポテンシャルに基づく水産資源の管理理論. *水産海洋研究*, **61**, 33-43.
- KAWAMURA, G. (1972) Gill-net mesh selectivity curve developed from length-girth relationship. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **38**, 1119-1127.
- KITAHARA, T. (1971) On selectivity curve of gillnet. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **37**, 289-296.
- 小池 篤・松田 皎 (1988) 三枚網の内網のたるみ, 内網の網目の変化と漁獲. *日水誌*, **54**, 221-227.
- 小池 篤・竹内正一 (1985) 三枚網の内網の網目の大小が漁獲に及ぼす影響. *日水誌*, **51**, 895-901.
- KURATA, H. (1962) Studies on the age and growth of crustacea. *Bull. Hokkaido Reg. Fish. Res. Lab.*, **24**, 1-115.
- MAJKOWSKY, J., J. HAMPTON, R. JONES, A. LAUREC, and A. A. ROSENBERG (1987) Sensitivity of length-based methods for stock assessment: report of working group III, in "Length Based Methods in Fisheries Research" (ed. by D. Pauly and G. R. Morgan), ICLARM Conf. Proc. No.13, Manila, pp. 363-372.
- 松宮義晴 (1996) 水産資源管理概論, 日本水産資源保護協会, 東京, 77 pp.
- MATSUOKA, T. (1991) A tank experiment on selectivity components of a trammel-net for *Tilapia mossambica*. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **57**, 1331-1338.
- 松岡達郎・杜 勝久・斉藤良仁 (1995) 刺し網のサイズ選択性の計算法とその水槽実験による検証. *日水誌*, **61**, 880-888.
- MAUCLINE, J. (1976) The Hiatt growth diagram for crustacea. *Mar. Biol.*, **35**, 79-84.
- MAUCLINE, J. (1977) Growth of shrimps, crabs and lobsters—an assessment. *J. Cons. int. Explor. Mer*, **37**, 162-169.
- MORGAN, G. R. and D. PAULY (1987) Analysis of length-frequency data: some available programs and user's instructions, in "Length Based Methods in Fisheries Research" (ed. by D. Pauly and G. R. Morgan), ICLARM Conf. Proc. No.13, Manila, pp. 373-462.
- NAKAMURA, S. (1940) Ecological studies on the spiny lobster, *Panulirus japonicus* (v. Siebold), with special

- reference to its conservation, I. J. Imp. Fish. Inst., **34**, 101-113.
- 梨本勝昭 (1979) 刺網の漁獲選択性, 「漁具の漁獲選択性」(日本水産学会編), 水産学シリーズ 28, 恒屋社厚生閣, 東京, pp. 65-81.
- NORMAN, C. P., H. YAMAKAWA, and T. YOSHIMURA (1994) Habitat selection, growth rate and density of juvenile *Panulirus japonicus* (Von Siebold, 1824) (Decapoda, Palinuridae) at Banda, Chiba Prefecture, Japan. *Crustaceana*, **66**, 366-383.
- 大島泰雄 (1941) イセエビの生態に関する二, 三の点. 水産学会報, **8**, 231-238.
- 大島泰雄・井上正昭・小津寿郎・高橋玄宣 (1960) イセエビの蓄養について. 水産増殖, **7**, 11-24.
- 大富 潤・清水 誠 (1988) 東京湾における加入完了後のシャコの成長および寿命について. 日水誌, **54**, 1935-1940.
- 大富 潤・清水 誠 (1994) 東京湾産シャコの加入完了前の理論成長および成長パラメータの推定. 水産海洋研究, **58**, 21-27.
- PAULY, D. (1987) A review of the ELEFAN system for analysis of length-frequency data in fish and aquatic invertebrates, in "Length Based Methods in Fisheries Research" (ed. by D. Pauly and G. R. Morgan), ICLARM Conf. Proc. No. 13, Manila, pp. 7-34.
- PAULY, D. and N. DAVID (1981) ELEFAN I, a BASIC program for the objective extraction of growth parameters from length-frequency data. *Meeresforschung*, **28**, 205-211.
- POLLOCK, D. E. (1987) Simulation models of rock-lobster populations from areas of widely divergent yields on the Cape west coast. *S. Afr. J. mar. Sci.*, **5**, 531-545.
- POLLOCK, D. E. (1991) Spiny lobsters at Tristan da Cunha, South Atlantic: inter-island variations in growth and population structure. *S. Afr. J. mar. Sci.*, **10**, 1-12.
- POLOVINA, J. J. (1989) Density dependence in spiny lobster, *Panulirus marginatus*, in the Northwestern Hawaiian Islands. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **46**, 660-665.
- SHEPHERD, J. G., G. R. MORGAN, J. A. GULLAND, and C. P. MATHEWS (1987) Methods of analysis and assessment: report of working group II., in "Length Based Methods in Fisheries Research" (ed. by D. Pauly and G.R. Morgan), ICLARM Conf. Proc. No. 13, Manila, pp. 353-362.
- SOMERTON, D. A. (1980) Fitting straight lines to Hiatt growth diagrams: a re-evaluation. *J. Cons. int. Explor. Mer*, **39**, 15-19.
- SPARRE, P. (1987) A method for the estimation of growth, mortality and gear selection/recruitment parameters from length-frequency samples weighted by catch per effort, in "Length Based Methods in Fisheries Research" (ed. by D. Pauly and G. R. Morgan), ICLARM Conf. Proc. No.13, Manila, pp. 75-102.
- TANAKA, E. and S. TANAKA (1990) A method for estimating age-composition from length-frequency by using stochastic growth equation. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **56**, 1209-1218.
- 田中昌一 (1954) 体長組成中にあらわれるモードの意義について—I. 正規分布をする二群の混合した分布型. 日水誌, **20**, 681-688.
- 田中種雄 (1988) 飼育によるイセエビの成長(続報). 千葉水試研報, **46**, 15-16.
- 田中種雄・金子信一・石田 修 (1985) 飼育によるイセエビの成長. 千葉水試研報, **43**, 51-57.
- WILDER, D. G. (1953) The growth of the American lobster (*Homarus americanus*). *J. Fish. Res. Board Can.*, **10**, 371-412.
- YAMAKAWA, T. and Y. MATSUMIYA (1997) Simultaneous analysis of multiple length frequency data sets when the growth rates fluctuate between years. *Fisheries Sci.*, **63** (in press).
- YAMAKAWA, T., Y. MATSUMIYA, M. NISHIMURA, and S. OHNISHI (1994a) Expanded DeLury's method with variable catchability and its application to catch-effort data of spiny lobster gillnet fishery. *Fisheries Sci.*, **60**, 59-63.
- YAMAKAWA, T., Y. MATSUMIYA, and S. KITADA (1994b) Comparison of statistical models for expanded DeLury's method. *Fisheries Sci.*, **60**, 405-409.