

三重水技研報
Bull. Fish. Res. Inst.
Mie
No. 7 1997

ISSN 0913-0012

BULLETIN OF
FISHERIES RESEARCH
INSTITUTE OF MIE
No. 7
DECEMBER 1997

三重県水産技術センター研究報告

第 7 号

平成9年12月

三重県水産技術センター

三重県志摩郡浜島町
FISHERIES RESEARCH
INSTITUTE OF MIE

HAMAJIMA, MIE, JAPAN

三重県水産技術センター研究報告

第 7 号

目 次

イセエビの資源評価と漁業管理

..... 山川 卓 1

Bulletin of Fisheries Research Institute of Mie

No. 7

Contents

YAMAKAWA, T. :

Stock assessment and fisheries management of the Japanese spiny lobster

Panulirus japonicus. 1

イセエビの資源評価と漁業管理**1

山川 卓

Stock Assessment and Fisheries Management of
the Japanese Spiny Lobster *Panulirus japonicus*

Takashi YAMAKAWA

In order to produce an optimal management policy for the Japanese spiny lobster *Panulirus japonicus* fishery, stock assessment was conducted for the lobster tangle net fisheries at Wagu, Mie Prefecture, Japan. Using this as an exemplified case, the optimal fishing policy is discussed for the effective and sustainable utilization of stocks.

1. Introduction

Information in the literature on the life history, ecological features, stock construction, and reproduction of the Japanese spiny lobster is summarized, and the basic requirement for the management is discussed. Because the stock structure and the quantitative relationship with reproduction are still obscure and that fisheries management measures at present vary between different localities, it is necessary to manage the recruited stock at each locality for its effective utilization and ensure the spawning per recruit.

2. Estimation of growth, age composition, and recruitment from multiple length frequency analysis

Based on the separation of different cohorts from compound multiple normal distributions, a method is proposed which can simultaneously analyze multiple length frequency data sets even when there is fluctuation in the interannual growth rate. Growth, age composition, and recruitment of the Japanese spiny lobster were estimated from the analysis. Each parameter can be estimated independently by data set or as common for some or all of the data sets. Parameters can also be selected as unknown or can be fixed. Through simultaneous analysis of the multiple data sets, accurate estimations can be carried out allowing the utilization of the full information inherent in the data. Carapace-length frequency data sets at Wagu, of 62,605 individuals over five fishing seasons from October to April of 1990–1991 to 1994–1995 were analyzed. Judging from the comparison of AIC values, optimality of the model increased through the introduction of variations to allow for interannual and seasonal growth fluctuations, shifts in the standard deviation with growth, and the total mortality coefficient for older age groups. From the estimated von Bertalanffy growth curves, the carapace length in October at each age after settlement as pueruli are calculated as: 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 a density dependent process. The most prominent age group in the catch is the 2nd age group. Size selectivity of tangle nets for spiny lobster is inferred based on the recruitment process of

**1 東京大学学位審査論文(Thesis submitted for the degree of Doctor of Agriculture at the University of Tokyo, Dec. 1995.)

the 1st age groups during the fishing season and its fluctuation between years. The estimated growth rate is compared with those from the literature.

3. Stock assessment using an expanded DeLury's method

DeLury's method is expanded to fourteen maximum likelihood models to allow for variable catchability coefficients (q_i) according to environmental factors such as water temperature, lunar cycle, and the intensity of ocean waves. Nine statistical models are introduced with different probability distribution functions. Optimality of the models was examined by AIC, and the confidence intervals of the parameters estimated with likelihood ratio statistics. Numerical optimization was performed using the quasi-Newton method. Daily catch-effort-environment data of the Japanese spiny lobster tangle net fishery at Wagu for the fishing season from October 1990 to April 1991 are analyzed. AIC values greatly improved when variable catchability coefficients were assumed. Judging from the estimated parameter values, q_i is large in conditions such as when ① the water temperature is high, ② the phase of the moon is around the new moon, and ③ ocean waves are intense. The variation in q_i is probably attributable to changes in the activity of lobsters according to the fluctuation of environmental factors. As for the statistical models, the negative binomial model was optimal. This result adequately reflects the distributional nature of spiny lobsters in the field which shows a marked degree of aggregation, coupled with other features in the fishing activity. Although the confidence intervals of the estimated parameters are rather broad in the negative binomial model, those calculated through simultaneous analysis using a three-year data set are narrower as compared to those with single-year data set.

4. Stock assessment by statistical catch-at-age analysis using auxiliary information on separability

An assessment model is proposed which treats the multi-cohort analysis (VPA) and the expanded DeLury's method in a united form, and the stock size by year, age, and sex, catchability coefficient, and the selectivity curve are simultaneously estimated. This model corresponds to a statistical catch-at-age analysis with a generalized assumption for separability. Catchability coefficient F_{ijt} by each sex (for females: $l=0$, for males: $l=1$) of age j at t th day in year i is separated into a product of elements as follows and introduced to the basic fishing equation:

$$F_{ijt} = q_{it} \times \rho(L_{ijt}) \times X_{it},$$

where q , $\rho(L)$, and X represent the catchability coefficient, selectivity by size L , and fishing effort, respectively. The likelihood is described using a product of the conditional negative binomial distribution. For the catchability coefficient, model XIV in chapter 3 is utilized. A sigmoid curve is assumed for the selectivity curve. A sex ratio at the first age and virtual relationships for the number of individuals of the successive age groups of each cohort are introduced as restrictions. For natural mortality M , two different cases are introduced: ① M is estimated together with the other parameters, ② M is given as known. Daily catch-effort-environment data for the five years from October 1990 to April 1995 are applied. Annual catch amounts to 65,000–118,000 (mean 91,000) individuals, and the total number of boats operated each year is 2,593–3,447 boats·day (mean of 2,985 boats·day). A reasonable estimation was carried out which reflects shifts in catchability coefficient caused by variations of environmental factors and shifts in selectivity caused by growth of individuals. The initial stock (number of individuals) of each group was estimated, and numbers of individuals caught, natural mortality, and survived to the next year are specified. Annual catch rates estimated are: for the 1st age groups, 16.9–27.2% (male) and 9.9–21.1% (female), for the 2nd age groups, 63.6–74.4% (male) and 52.4–66.2% (female), for age groups older than the 3rd age, 66.7–79.1% (male) and 64.2–76.8% (female). The

estimated selectivity curve indicates that recruitment commences at around 40mm carapace length, then the selectivity greatly increases from 50mm to 60mm. When M is estimated as unknown (①), it converged to an unrealistic value ($M=0$). When M is given as known (②), initial stock number increased as M becomes large, while relatively stable values were obtained for the catchability coefficient and the selectivity curve irrespective of the value of M . Estimation error would be large if the catchability coefficient is simply separated into "a factor inherent by year" and "a factor inherent by age" as in the former way. Flexible models can be selected by the present method depending on the difference of available information and unknown parameters.

5. Fisheries management based on the optimal within fishing season allocation of fishing effort

Optimal in-season allocation of fishing effort was investigated for the spiny lobster tangle net fishery for the purpose of determining the most efficient utilization of the recruited stocks. Considering the shifts in the market price, catchability coefficient, and income from incidental catch *etc.* within a fishing season, optimal allocation of the fishing effort to maximize the total benefit of fishermen was calculated using the maximum principle. If the price of lobster is independent of the amount landed, a maximum fishing effort (30 boats/day) should be undertaken when the fishery is operated, while no fishing effort should be undertaken when the fishery is recessed. If the price of lobsters is affected by the amount landed, there could be cases when an intermediate level of fishing effort is preferable. Optimal in-season strategy is to operate a fishery when a higher marginal benefit from the fishery is expected by adding a unit of new fishing effort. If the revenue from spiny lobsters is considered exclusively as the objective function, fishing efforts should be concentrated during periods when the market price is higher. If operating costs, income from incidental catch and/or profits from side fisheries are also considered, the optimal allocation would vary according to a combination of the factors to be considered.

6. Optimal fishery policy of recruited stock considering the economic value of spawners

A management model is proposed which simultaneously determines the effective utilization of the recruited stock based on a fishing effort allocated over the life span and the security of the spawning stock. A term which represents the economic value of the spawning stock, [(economic value of an egg τ) \times (stock size of females by age) \times (fecundity of each female)], is added to the objective function of the dynamic optimization model derived in chapter 5. Daily catch number of individuals is described by a similar model as in chapter 4. Analysis was conducted for two cases using a maximum principle and a non-linear optimization technique: ① when a special single age group can be selectively caught, ② when several age groups are simultaneously caught. Maximum fishing effort should be undertaken when the "present fishery value" at each time is greater than the sum of the "future fishery value" and the "reproductive value", while no fishing effort should be undertaken otherwise. A fishing effort allocated over the life span is presented for a certain τ in case ① as a combination of the schedule for fishing within a fishing season for each age. Catch should be concentrated on older age groups for a larger τ . In case ②, an optimal selectivity curve is presented in addition to the optimal within season allocation of fishing effort. Raising the age at first capture through revision of the gear and depression of the total fishing effort are required in the actual fishery. A larger selected size is required for larger τ . Spawning per recruit (SPR) increases, while yield per recruit (YPR) decreases, with the increase of τ for both cases ① and ②. An optimal fishery policy which simultaneously attains the effective utilization of the recruited stock and the security of spawning stock can be

determined by manipulating the value of τ , if the necessary number of eggs for maintaining the stock or attaining a MSY is known.

7. Discussion

Methodology for the stock assessment and determination of fisheries management policies for the Japanese spiny lobster are discussed. For effective stock assessment, the introduction and extension of more convenient assessment methods such as CIR (Change in Ratio) method are important, together with the descriptive methods developed in this paper. For optimal fisheries management, discussion concentrates on the relationship between the effective utilization of the recruited stocks and the protection of reproductive stock, and on the importance of utilizing the concept of SPR and the life history parameters. Concrete management methods and the strategy required for their introduction are also discussed. Finally, management assuming for fluctuations of recruits and the utilization of Bayesian decision making are overviewed.

目 次

第1章 序 章

1.1	はじめに	7
1.2	論文の構成	7
1.3	記 号	8
1.4	一般生態と生活史	9
1.5	系群と再生産関係	10
1.5.1	系 群	10
1.5.2	再生産関係	11
1.6	イセエビの漁業管理	12
1.6.1	三重県における現状	12
1.6.2	イセエビ漁業管理の基本的な考え方	12
1.7	調査対象地区の概要	17

第2章 体長組成データの解析による成長の推定

2.1	はじめに	19
2.2	解析モデルの構成	19
2.2.1	基本構成	19
2.2.2	成長と標準偏差, 各群の出現率を表すモデル	20
2.2.3	パラメータの設定	21
2.3	適用データ	21
2.4	結果および考察	22
2.4.1	モデルの妥当性	22
2.4.2	漁獲物の齢別組成と加入および減耗	24
2.4.3	成 長	24
2.4.4	密度従属成長	25
2.4.5	刺網の漁獲選択性	26
2.5	論 議	27

第3章 拡張 DeLury 法による資源評価

3.1	はじめに	30
3.2	モデルの構成	30
3.2.1	拡張 DeLury 法の基本モデル	30
3.2.2	漁具能率を表すモデル	31
3.2.3	各種統計モデルの導入	31
3.2.4	パラメータの推定と妥当なモデルの選択, 信頼区間の解析	32
3.3	適用データ	33
3.4	漁具能率を表すモデルの検討	33
3.5	統計モデルの比較検討	34
3.6	論 議	36

第4章	複数年級群解析による資源評価	
4.1	はじめに	38
4.2	解析モデルの構成	38
4.3	適用データ	41
4.4	解析結果	41
4.5	論議	44
第5章	漁獲努力の漁期内最適配分に基づく漁業管理	
5.1	はじめに	46
5.2	解析モデル	46
5.2.1	目的関数	46
5.2.2	最大原理による最適解の導出	46
5.2.3	数値解析	47
5.3	適用データ	47
5.4	解析結果	48
5.5	論議	50
第6章	産卵資源量の経済価値を考慮した加入資源の最適漁獲方策	
6.1	はじめに	53
6.2	単一年級群の最適漁獲方策	53
6.2.1	モデルの構成と最適解の導出および数値解析	53
6.2.2	モデルの解釈	54
6.2.3	適用データ	55
6.2.4	解析結果	56
6.3	複数年齢群の同時漁獲モデル	61
6.3.1	モデルの構成と最適解の導出および数値解析	61
6.3.2	適用データ	62
6.3.3	解析結果	63
6.4	論議	69
第7章	総合討論	
7.1	イセエビの資源評価	72
7.2	イセエビの望ましい漁業管理	72
7.2.1	加入資源の有効利用と再生産管理	72
7.2.2	具体的方策	74
7.2.3	管理方策の導入と将来に向けて	75
要約		77
謝辞		80
文献		81
付録		96

第1章 序 章

1.1 はじめに

イセエビは黒潮の影響を直接受ける太平洋沿岸の岩礁域における最も重要な水産資源のひとつである。

イセエビ属のエビ類は、日本沿岸ではイセエビ *Panulirus japonicus*, シマイセエビ *P. penicillatus*, カノコイセエビ *P. longipes*, ゴシキエビ *P. versicolor*, ケブカイセエビ *P. homarus*, ニシキエビ *P. ornatus* の6種が漁獲される(関口 1986, 1988)**。いずれの種も暖海性で、なかでも最も分布量の多いのがイセエビで、日本全体でのイセエビ類の年間漁獲量1,000~1,500トンの大部分を占める(井上 1981)。

イセエビは主に刺網で漁獲される(野中 1988)。イセエビは高価であり、沿岸漁業の対象資源のなかでもとくに重要な地位を占める。本論文で取り上げた三重県における漁獲金額は11.4億円(1993年)で、浮魚類や回遊魚を除くと魚種別ではアサリ類(25.0億)とアワビ類(18.2億円)に次ぐ金額となっている。

イセエビは定着性が強く大きくは移動しない(木下 1933, 宮村 1954, 野中 1959, Takagi 1972, 金盛・金丸 1985, 石田・田中 1985, 1986, 金盛 1988)ため、古くから漁業者同志の話し合いに基づく自主的な管理が地先ごとに実施されてきた。具体的な管理方策には様々なものがあり(例えば、木下 1933, 野中・大島 1957, 1958, 野中 1959, 大島 1962, 丸山・平井 1964, Nonaka and Fushimi 1994 など), 漁業調整上の理由によるもの, 漁業者の資源保護意識を反映したもの, 経験的な実施効果の体験に基づくものなど, 管理の導入契機や定着過程は地先ごとに異なる。

イセエビに関してはこれまで、棲所に関する生態や分布・移動, 食性, 成熟・産卵, 幼稚仔期の生態などの一般生態や飼育, 蓄養, 漁場造成, 漁獲性状などに関する研究が精力的になされてきた***。いくつかの地域においては, 資源尾数推定が試みられている(野中 1959, 石田・田中 1986, 金盛 1988, 木村・高梨 1993 など)。

しかし, 資源管理や漁業管理を直接取り扱った実証的研究は, 金盛(1987, 1988)の累積生産金額と費用直線の差に基づく検討例がみられる他は禁漁区の設定や休漁の効果の試算(野中・大島 1957, 1958, 野中 1959, 大島 1962, 丸山・平井 1964, 山川・野中 1988, Nonaka and Fushimi 1994)などごく一部に限られている。

1977年の200海里体制への移行を契機として, わが国沿岸周辺域における水産資源の管理と有効利用の重要性が再認識され, 多様な魚種において科学的な調査に基づく資源管理型漁業が全国的規模で推進・展開されるようになった。イセエビについても水産庁補助事業の資源培養管理対策推進事業(地先型)や資源管理型漁業推進総合対策事業(地域重要資源, 沿岸特定資源)などの対象として取り上げられ, 近年, 関連する調査が増加しつつある。

本論文は, イセエビの望ましい資源管理および漁業管理***のあり方に関して指針を提示することを目的(山川 1996)に, 三重県和具地区のイセエビ刺網漁業を具体例に, 資源評価手法と資源(漁業)特性値に関する検討を行い, さらに資源の有効利用を達成するための最適な漁獲方策について数値解析による検討を加えたものである。

1.2 論文の構成

本論文の構成は次のとおりである。

第1章ではイセエビの一般生態と生活史, 系群, 再生産関係について既往知見の整理を行い, 漁業管理の現状も踏まえながらイセエビ漁業管理に関する基本的な考え方について論じた。第2章では体長組成解析をもとに成長, 加入, 漁獲物の齢別組成などを検討した。第3章では漁獲量努力量データの解析に使用されるDeLury法の拡張を行い, 環境要因などによって漁具能率が変化する最尤モデルを導出した。さらに各種の統計モデルを導入し, 妥当なモデルの検討と資源評価を実施した。第4章では漁獲量努力量データに基づく資源評価のための複数年級群モデルを提示し, 漁具能率, 漁獲選択曲線, 年ごとの齢別初期資源尾数などの同時推定を行った。

**2 Kubo (1954) はこれらの他に *P. dasypus* と *P. polyphagus* を日本産イセエビ類の中に含めたが, *P. dasypus* は *P. homarus* のシノニムであり (Berry 1974), また, *P. polyphagus* は Doflein (1900) による記録があるのみで, もし日本に分布するにしてもごく稀な種であると考えられる (Kubo 1954)。したがって上記6種が日本に分布すると考えるのが一般的である。

**3 イセエビに関する国内文献目録抄。協会研究資料 43, 日本栽培漁業協会, 1990, 36pp..

**4 漁業とは社会的経済的法則に連動している人間の行為である。本論文では, 生物学的特性に立脚しながら主として水産生物資源の維持・管理を目標とする人的行為を「資源管理」, 生物学的基礎に立ちながら社会的経済的目標を設定して漁業を望ましい状態に維持しようとする管理を「漁業管理」と呼ぶ。「漁業管理」の概念は「資源管理」を内包する。

第5章では加入資源の有効利用を達成するための最適な漁獲方策について漁家経済の視点から検討を行い、漁期における漁獲努力の最適配分について論じた。第6章ではイセエビの生涯にわたる最適漁獲方策について論議した。そこでは第5章で導出した動的最適化モデルに、産卵に関与する親資源量の経済評価に関する項を導入し、産卵量を確保しつつ加入資源の有効利用を図るための漁獲努力の最適配分について検討した。最後の第7章において、全体の論議を踏まえながらイセエビの資源評価と望ましい漁業管理、および導入方法について展望した。

1.3 記号

本論文中で用いる記号は、全て関連の項でその都度説明するが、ここで一覧にして示す。(アルファベット順)

記号	定義
A	季節的成長の振幅を表すパラメータ
AIC	赤池情報量規準 (Akaike Information Criterion)
a	漁具能率式のパラメータ (第3章, 第4章)
a	価格関数式のパラメータ (第5章)
a_α	体長の標準偏差式のパラメータ (第2章)
BPR	加入あたり平均バイオマス (Biomass per Recruit)
BW	体重
b	漁具能率式のパラメータ (第3章)
b	価格関数式のパラメータ (第5章)
b_α	体長の標準偏差式のパラメータ (第2章)
C	漁獲 (除去) 尾数
C_{n+1}	n 期の終了時までには除去されなかった尾数 (第3章)
c	単位努力あたり操業経費 (第5章, 第6章)
c_α	体長の標準偏差式のパラメータ (第2章)
CIR法	Change in Ratio法
CL	頭胸甲長
CPUE	単位努力あたり漁獲量 (Catch per Unit of Effort)
d	漁具能率式のパラメータ
E	雌1個体あたりの抱卵数または産卵数
F	漁獲係数 (第6章)
F_t	最近年の漁獲係数 (terminal F) (第4章)
F_α	各体長組成データセットの個体数 (第2章)
f	漁具能率式のパラメータ (第3章, 第4章)

$f_{i\alpha}$	体長組成における階級別個体頻度 (観測値) (第2章)
g	漁具能率式のパラメータ
H	ハミルトニアン
h	漁具能率式のパラメータ
ITQ	譲渡可能個別割当制 (Individual Transferable Quota System)
i	体長階級を表す添字 (第2章)
i	期または年を表す添字
i_0	水温の変化点 (期)
j	齢を表す添字
$j_{0\alpha}$	成長式の変曲点を表すパラメータ
$j_{1\alpha}$	季節的成長の位相を調節するパラメータ
j_{max}	最高齢
j_{min}	最小齢
j_R	体長組成解析における全減少係数の導入齢
K_α	成長係数
k	負の二項分布のパラメータ
L	尤度または対数尤度
L	平均体長または平均頭胸甲長
$L_{\infty\alpha}$	極限体長
l	漁具能率式のパラメータ (第3章, 第4章)
l	雌雄を区別する添字 (雌: $l=0$, 雄: $l=1$)
l_i	体長階級の中央値 (第2章)
M	太陰月 (=29.53日) (第3章)
M	自然死亡係数 (第4章, 第5章, 第6章)
m	推定すべきパラメータ数
N	資源尾数
N_0	初期資源尾数
N_A	体長組成データセットの数 (第2章)
N_I	体長階級の数 (第2章)
\tilde{N}_T	期間終了時の取り残し資源尾数 (第5章)
P	確率
P_i	初期資源尾数 に対する漁獲率 (除去率) (第3章)
P_{n+1}	n 期の終了時までの残存率 (非除去率) (第3章)
P	総産卵数 (第6章)
P_i	各期における漁獲率 (除去率) (第3章, 第4章)
$P_{i\alpha}$	体長組成データセット内での各齢群の出現率 (第2章)
p	市場価格 (単価) (第5章, 第6章)
\bar{p}	市場価格の平均的推移傾向

$Q_{i,c}$	体長組成データセットごとの各体長階級に含まれる確率 (理論値)
q	漁具能率
R	Fisher の繁殖価 (reproductive value)
r	Richards の式のパラメータ
SPR	加入あたり産卵数 (Spawning per Recruit)
SR_1	1 齢群の性比 (雄の尾数/雌の尾数)
SSBR	Spawning Stock Biomass per Recruit
T	累積漁獲尾数 (第 3 章)
T	期間の終了時 (第 5 章)
T	寿命もしくは漁獲終了時 (第 6 章)
T_n	総漁獲尾数 (第 3 章)
t	時刻または日を表す添字
t_i	水温 (第 3 章)
\bar{t}_i	水温の 5 点移動平均値 (第 3 章)
t_{max}	一年の終了日 (第 4 章, 第 6 章)
u	漁具能率式のパラメータ
V	直接現在価
v	漁具能率式のパラメータ
v_0	10 月における最初の新月の日
w	体重 (第 5 章, 第 6 章)
w	波浪指数 (第 3 章)
X	漁獲努力量
X_{max}	漁獲努力量の上限
X^*	最適漁獲努力量
Y	漁獲量
YPR	加入あたり漁獲金額 (Yield per Recruit)
y	混獲物による単位努力あたり収入
Z	全減少係数
z	漁具能率式のパラメータ
α	データセット番号を表す添字 (第 2 章)
α	漁獲選択曲線のパラメータ
β	漁獲選択曲線のパラメータ
δ	価値の割引率
η	打撃係数 (impact coefficient)
Θ	未知パラメータ (ベクトル)
θ	未知パラメータ (成分)
λ	最大原理における補助変数
μ	平均値
π	円周率 (第 2 章, 第 3 章)
π	兼業漁業による単位努力あたり利益 (第 5 章, 第 6 章)
$\rho(L)$	平均体長 L の群に対する漁獲選択率 (相対的漁獲効率)

σ^2	dispersion parameter (第 3 章)
$\tilde{\sigma}^2$	正規分布の分散 (第 3 章)
$\bar{\sigma}^2$	対数正規分布のパラメータ (第 3 章)
σ	体長の標準偏差 (第 2 章)
τ	産出卵の経済的評価金額を表すパラメータ (第 6 章, 第 7 章)
τ	Mace の絶滅係数 (7.2.1 項)
τ_c	最大原理における補助変数 (6.2.2 項)
ϕ	漁家の所得に関する総現在価値
ϕ_c	収穫価 (将来収穫価; harvest value)
$\chi^2(1, 0.95)$	自由度 1 の 95% χ^2 値
ω	体長階級幅
%SPR	漁獲が行われないときの SPR に対する、漁獲が行われたときの SPR の比

1.4 一般生態と生活史

イセエビは通常、千葉県以南の太平洋岸、瀬戸内海を除く四国、九州全域、奄美諸島、台湾に分布する。時として茨城県あるいは福島県にまで分布することはあるが、本州日本海沿岸には殆ど分布しない (井上 1981)。また、小笠原諸島や沖縄本島にも分布しない (関口 1989)。

イセエビの産卵期は日本の分布域全体についてみると 4 月下旬から 9 月下旬に及ぶ。盛期は海域によって遅速があり、長崎県では 5 月～7 月、和歌山県では 6 月～7 月、静岡県や神奈川県では 7 月上旬～8 月上旬、千葉県では 7 月上旬～8 月中旬である (井上 1981)。抱卵エビの保護のため、産卵期間は各県の漁業調整規則によって禁漁期に定められている (図 1-1)。

県	4	5	6	7	8	9	体長cm	備考
千葉							13.0	
東京							13	・1 小笠原
神奈川							22	
静岡							13	
三重							(4.2)	
和歌山							15	
徳島							13	
高知							13	
愛媛							15	
大分							20	
宮崎							15	
鹿児島							13	・2
沖縄							18	・3
熊本							20	
長崎							15	
佐賀							15	
福岡							20	

() : 頭胸甲長
 ・1: カノコイセエビ・シマイセエビ・ゴシキエビ及びニシキエビを含む
 ・2: イセエビ類 (イセエビ・アオエビ・ニシキエビ・ゴシキエビ及びカノコイセエビをいう)
 ・3: イセエビ類 (イセエビ・ニシキエビ・ゴシキエビをいう)

図 1-1. 各県漁業調整規則によるイセエビの禁漁期間と漁獲制限体長.*

* 出典: 沿岸漁場整備開発事業 増殖場造成計画指針 マダイ・イセエビ編. p271, 増殖場造成計画指針編集委員会編, 全国沿岸漁業振興開発協会発行 (1988).

イセエビの初期生活史については、不明な点が多い。ふ化直後や初期のフィロソマ幼生は沿岸の漁場付近でネット曳きにより採集される (Harada 1956, Murano 1967, 中村 1974) が、中・後期のフィロソマの採集例は限られている (大島 1942, Murano 1971, 野中・若林 1973, 中村 1975, 税所 1983^{**5}, 金盛・吉村 1987, 野中ら 1989)。一般には、ふ化後沖合へ分散したフィロソマはプエルルス幼生として沿岸へ着底するまでの一定期間、浮遊生活を送ると考えられている (大島 1976, 井上 1979, 関口 1985)。フィロソマの期間は不明である (大島 1948, 井上 1981, 水口 1993) が、人工飼育による初期の変態成功例では307日間 (Yamakawa *et al.* 1989)、および340日間と391日間 (Kittaka and Kimura 1989) であった。最近、関根ら (1995)^{**6} は日本栽培漁業協会南伊豆事業場における1989年から1994年の飼育による219尾の変態成功例について整理し、フィロソマの期間は231~417日間、平均322.8日間であったと報告している。

天然海域におけるプエルルスの出現時期は、1980年以前の既往報告の整理 (野中ら 1980) によると、4月下旬から12月下旬にわたる。出現の盛期は報告者、海域、年により違いがある (例えば市来ら 1976, 野中ら 1980, 井上 1981, 金盛・金丸 1980, 金盛 1988 など) が、おおむね6月から10月のあいだの新月~半月期の報告例が多い。浅海の岩礁域へ着底 (伏見 1976, 1978, 野中ら 1980, Yoshimura and Yamakawa 1988, Yoshimura *et al.* 1994, Norman *et al.* 1994) したプエルルスは10~20日間程度 (Yamakawa *et al.* 1989, Kittaka and Kimura 1989, 関根ら 1995) で稚エビへと脱皮し、以後は脱皮を繰り返して成長する (服部・大石 1899, 1901, 木下 1934, Nakamura 1940, 大島 1941, 大島ら 1960, 田中ら 1985, 田中 1988, Norman *et al.* 1994)。

1.5 系群と再生産関係

資源管理の論議において根本的で最も重要な事項は、①管理対象とする資源の再生産の及ぶ空間的広がり、すなわち、系群の存在の有無とその地理的範囲、および②親仔の量的関係 (再生産関係) であろう。本節ではイセエビ資源の系群と再生産について、既往文献による考え方をもとに整理する。

1.5.1 系群

イセエビは長期間にわたる浮遊幼生期を有するため、系群の検討にあたっては幼生の移送・分散過程と沿岸への補給機構の解明が重要である。

フィロソマ幼生をもつイセエビ・セミエビ科のエビ類の中で、幼生の移送・分散・親個体群への加入過程がある程度解明されている種は、オーストラリア産 rock lobster *Panulirus cygnus* (Ritz 1972, Phillips *et al.* 1979, Rimmer and Phillips 1979, Phillips 1981, Phillips and McWilliam 1986, Pearce and Phillips 1988) やニュージーランド産 rock lobster *Jasus edwardsii* (Booth 1994) などごく一部にすぎない。

日本産イセエビの幼生の移送と資源の補給機構については、いくつかの仮説が提起されている。大島 (1976) はわが国南部の沿岸でふ化したフィロソマ幼生が黒潮に乗って本州太平洋沿海に幅広く移送される可能性が強いこと、環流域・停滞域の存在が資源の補給を考察する際に重要であることを指摘した。同様に井上 (1979) は太平洋沿岸の分布域南部から運ばれた群と地域ごとの群の存在を想定した。野中 (1982) は、イセエビ漁獲量の県間相関の検討をもとに資源の補給について考察した。黒潮や対馬暖流とそれらの反流により規定される広範囲に及ぶ場合と、沿岸の環流により規定される狭い範囲で完結する場合の二様式があり、地理的位置によりいずれかの様式が強く表われると考えた。

水口 (1978a, 1978b, 1993) はイセエビの移動分散過程について考察し、系群 (単位群) に関する作業仮説として、早期に産卵を行い、4~5ヶ月のフィロソマの期間の後に遠隔地へ着底する「回遊群 (渡り群)」と、晚期 (8月) に産卵を行い、約11ヶ月のフィロソマの期間の後に近傍へ着底する「地着き群」の2型を提起した。関口 (1985) は、フィロソマ幼生は黒潮内側沿岸水域から速やかに運び出され、その主要群は沖合の黒潮反流域に分布し、最終期フィロソマ幼生、またはプエルルス幼生として沖縄東方海域から黒潮に入り、本邦沿岸の種々の水域にこれらの幼生が輸送されるという仮説を提唱した。

しかし、これらの仮説はいずれも、未だ立証のための明確な根拠が得られておらず、仮説の域から脱していない。現状ではイセエビ幼生の移送・分散過程および沿岸への補給機構は未解明であり、したがって系群について

^{**5} 税所俊郎, 川村軍蔵, 四宮明彦: イセエビ類幼生の沿岸定着機構に関する研究, 「昭和57年度科学研究費補助金 (一般研究C) 研究成果報告書」, 1983, pp. 1-23.

^{**6} 関根信太郎, 鈴木重則, 島 康洋, 野中 忠: イセエビフィロソマ幼生の飼育-Ⅷ. フィロソマの期間と成長. 平成7年度日本水産学会春季大会講演要旨集, 1995, p. 66.

も不明として扱わざるを得ない。

近年、魚類では mt-DNA などの遺伝学的分析手法による系群の解析が精力的に行われ、興味深い成果が数多く報告されている。イセエビ類についても外国産の種では、種間の系統類縁関係の解析などにこのような手法が活用されるようになってきたが (Brasher *et al.* 1992 a, 1992 b, Ovenden *et al.* 1992, Ovenden and Brasher 1994), 日本周辺海域のイセエビ類に関しては未着手である。今後、地域別漁獲量の時系列解析などと併せて、このような手法を取り入れた、系群解析に関する実証的研究の待たれるところである。

1.5.2 再生産関係

外国産イセエビ類の再生産関係に関連しては、*Jasus edwardsii* (Saila *et al.* 1979, Anala and Esterman 1986, Breen and Stocker 1993, Yoshimoto and Clarke 1993, Booth and Breen 1994), *Jasus novaehollandiae* (Campbell and Hall 1988, Yoshimoto and Clarke 1993), *Panulirus marginatus* (Clarke *et al.* 1992), *Panulirus cygnus* (Morgan 1979, Morgan 1980, Hancock 1980, Morgan *et al.* 1982, Caputi and Brown 1993, Caputi *et al.* 1993, Yoshimoto and Clarke 1993,

Chubb 1994) などの報告がみられ、幾通りかの余剰生産量モデルをもとに漁獲努力量と持続生産量の関係が検討されている。

日本産イセエビでは降水量などの環境要因と漁獲量の関係 (久保 1940, 丸山1966), 県別漁獲量の相関 (久保 1939, Takagi 1978, 野中 1982), 黒潮流況と着底資源量の関係 (伏見 1976), 漁場面積あたり漁獲量 (野中 1988) などについての検討例はあるが、再生産関係や余剰生産量を直接扱った研究例はみられない。研究例が乏しいのは、系群や資源の補給機構が不明であることに加え、外国の研究例のように漁獲努力量に関する過去の統計資料が利用できないことや漁業開始当初の歴史の古い資料が不足していること**7 などが原因と考えられる。

日本全国のイセエビ資源は単一系群より成ると仮定し、1915年以降の全国の漁獲統計 (図 1-4 a) を用いて、 n 年の漁獲量に対する $(n+2)$ 年, $(n+3)$ 年, $(n+4)$ 年の漁獲量の関係を試作した (図 1-2)。x 軸 (n 年の漁獲量) の値が 1,000t~1,500t の間に集中しており、年代によって漁獲率が異なる可能性もあるため、再生産関係の検討を行うに十分なデータであるとはいえない。日本産イセエビについては、再生産関係は今後の検討課題である。

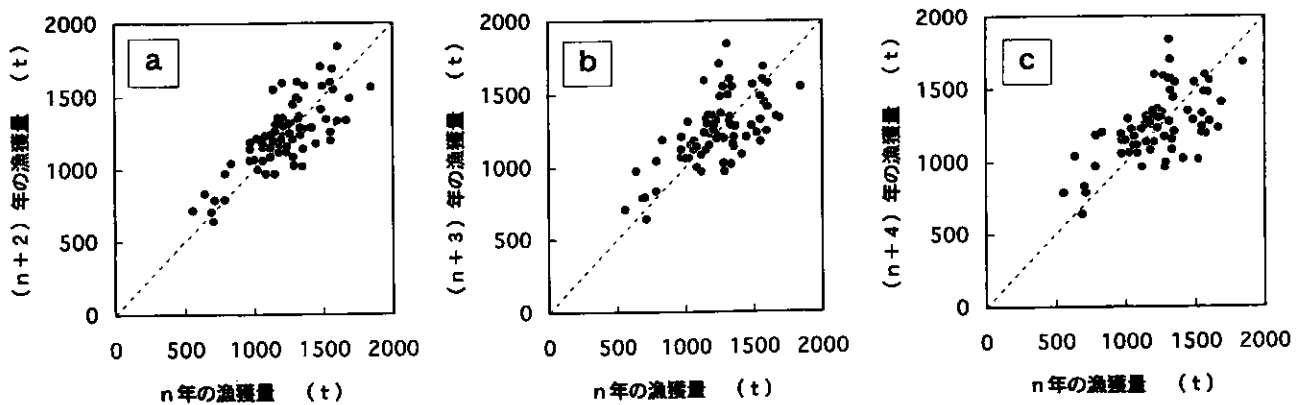


図 1-2. 漁獲統計資料をもとにしたイセエビの再生産関係の試作。
日本全体の n 年の漁獲量に対する a. $(n+2)$ 年, b. $(n+3)$ 年, c. $(n+4)$ 年の漁獲量の関係を示す。

**7 外国の例ではイセエビ類は主にカゴ (lobster pot) で漁獲され、その許可数が漁業開始当初からの漁獲努力量の統計として利用できるのに対し、日本の刺網ではそのような統計資料がない。

1.6 イセエビの漁業管理

1.6.1 三重県における現状

第9次漁業センサス^{**8}によると、イセエビを対象とする漁業管理組織は1993年11月1日現在で全国に延べ214組織あり、魚種別ではアワビ類の547組織、サザエの358組織、ウニ類の352組織に次いで多い。

イセエビ刺網漁業の具体的な管理方策には、禁漁期間や禁漁区の設定、漁獲制限体長（または頭胸甲長）の設定、漁具の制限（網の種類、網目の大きさ、糸の太さ、材質、網数など）、休漁、漁期の短縮、輪採、小型個体の再放流など様々なものがある（木下 1933, 野中・大島 1958, 野中 1959, 大島 1962, 丸山・平井 1964, Nonaka and Fushimi 1994）。禁漁期間と漁獲制限体長については、各県の漁業調整規則で定められている（図1-1）。三重県では、5月1日から9月30日が禁漁期間に定められており（ただし、鳥羽市離島地域以北の海域においては、5月1日から9月15日まで）、頭胸甲長4.2cm以下のエビは採捕および所持・販売が禁じられている。

表1-1に、三重県内の各地先におけるイセエビ刺網漁業の管理実態を、1991年と1993年に実施したアンケート調査結果により示した。三重県漁業調整規則を越えた漁獲制限サイズ（県漁業調整規則による制限は体重で60～70gに相当する）や禁漁期間を自主的に設定している地区もみられる。網の種類に関しては一枚網のみを用いている地区、三枚網のみを用いている地区、両方の網を用いている地区があり、網目の大きさ、網糸の太さ、網の高さ（掛目）、長さ、1隻あたりの使用網数なども多様である。漁場行使方法についても、漁場輪番制を採用している地区、輪採制を敷いている地区、自由操業の地区、グループによる共同操業の地区などがあり、小型エビの再放流サイズ、市場における銘柄区分も様々である。概して鳥羽・志摩など北部の地区では、①比較的大きな漁船で ②三枚網を使用し、③自由操業で ④操業水深は深く、⑤漁獲物全体に占める魚類の比重（金額）が高く、⑥再放流エビのサイズが小さい地区が多い傾向にある。一方、尾鷲・熊野など南部の地区では、①小型の漁船で ②一枚網を使用し、③漁場輪番制を採用して ④操業水深が浅く、⑤漁獲物全体に占めるイセエビの比重（金額）が高く、⑥再放流エビのサイズが大きい地区が

多い傾向にある。

綿糸一枚網からナイロン三枚網への移行は昭和20年代または30年代(1945～1965年)と回答した地区が多かった。

1.6.2 イセエビ漁業管理の基本的な考え方

資源管理には大別して、資源の再生産管理（世代間管理）と、所与の加入資源の有効利用（世代内管理）の2つの側面がある。前者は、資源の変動単位としての系群の概念を導入し、再生産関係や資源動態の制御要因を把握・利用することで資源の効果的な運用を図ろうとするもので、現在から将来にわたる複数の世代を直接または間接の管理対象とする。一方後者は、加入あたり漁獲量や漁獲金額の最大化によって所与の加入資源の効果的な利用を図ろうとするものである。管理対象は単一の世代もしくはその集合であり、世代間の量的な相互作用や系群の概念は導入しない。近年では後者の側面に加え、加入あたり産卵量 (Shepherd 1982, Overholtz *et al.* 1986, Prager *et al.* 1987, Gabriel *et al.* 1989, Clark 1991, Goodyear 1993, Mace and Sissenwine 1993, Mace 1994, Myers *et al.* 1994) の概念を導入することにより、加入資源の有効利用と乱獲の回避を同時にめざした論議が展開されるようになった。これは、いわば世代間管理と世代内管理の中間に位置し、一般に変動が大きく長期間のデータを必要とする stock-recruitment 関係の直接の評価がなくても実施可能な生物学的管理基準 (Biological Reference Points) として注目される。

日本産イセエビは既述のように、系群や再生産関係が不明である。仮に系群の範囲が特定されたとしても地先ごとに管理の形態と現状が大きく異なるため、日本全国が一体となって協調的な管理を実施できる体制や背景が整っているとはいえない。イセエビの資源管理において可能な現実的対応としては、「地先ごとの加入資源の有効利用の視点に基づく管理を主体とし、それに加入あたり産卵量の概念を組み合わせる」のが現状では妥当と考える。

加入資源の有効利用においては経済学的な視点 (Clark 1976, Clark 1985, Doll 1988, Hannesson 1993 など) が重要であろう。管理を行う主体は経済活動を営む「漁家」であることを考慮すれば、資源の有効利用の検討にあたっては漁家経営全体を視野に入れた論議が必須である。イセエビ資源から直接得られる漁獲量や漁獲

^{**8} 農林水産省統計情報部：〔Ⅱ〕漁業管理組織に関する統計。第9次漁業センサス第2報，農林水産省経済局統計情報部編，農林統計協会，東京，1995，pp. 155-211.

表1-1. 三重県内の各地先におけるイセエビ刺網漁業の管理実態。(1991年と1993年に実施したアンケート調査結果より)

地区 番号	漁業管理組織		漁業期間	休漁、月休み等		主漁場の水深		漁場行使の方法
	漁業管理組織	1隻当り乗組員数		使用漁船数	使用漁船1隻当り乗組員数	休漁、月休み等	水深	
1	海老刺網	65隻	3~10ト	2~3名	9/16~4/30	正月1~4日、土曜日、祝祭日前日、大瀬3日間	15~90m	先着順、潮時により入網時間を決定 先着順、自由操業(4時出港)
2	海老刺網	6隻	1~2.9ト	2名	9/16~9/30	悪天候の日、祭日2日前、毎星期日、月休み4日間	10~100m	自由操業、投網時間制限
3	海老刺網	36隻	3~7ト	2名	9/16~4/30	毎週土曜日	10~90m	自由操業、投網時間指定
4	海老刺網	25隻	4~10ト	1~2名	9/16~4/30	毎週土曜日(月2回程度)、悪天候日	33~45m	毎年、責任者3名を選出し、調整する
5	海老刺網	13隻	4~10ト	2~3名	10/19~12/28	毎週土曜日および祝祭日の前日	7.5~35m	先着順、投網・揚網時間指定、共同連網3日間
6	海老刺網	48隻	0.7~1.5ト	2名	12/5前後~4/30	12/31~1/5、悪天候日、月夜		先着順、投網(専用漁場)、それ以外は2時。3時投網、揚網時間を申し合わせ。
7	海老刺網	15隻	1.5~8ト	2~3名	10/1~4/30	12/21~1/6、毎週土曜日、中央市場休みの前日	7.5~22.5m	投網、揚網時間を申し合わせ。
8	海老刺網	18隻	1~5ト	2名	10/1~4/30	12/31~1/6、第2、4土曜日、旧曆15~17日	4.5~10.5m	6区による漁場輪番制
9	海老刺網	6隻	1~5ト	2名	10/1~4/30	12/30~1/4、第2、4土曜日、旧曆15~18日	5~20m	12区による漁場輪番制。残りは自由操業。
10	海老刺網	23隻	0.4~12.55ト	2名	10/1~4/30	12/30~1/3、旧曆15~18日	5~15m	7区による漁場輪番制
11	海老刺網	13隻	1.4~6.88ト	1~2名	10/1~4/29	12/30~1/4、第2、4土曜日、旧曆12~17日	3~15m	輪番漁場(7区)と自由漁場(地磯、入港)
12	海老刺網	21隻	1~1.5ト	2名	10/1~4/30	12/31~1/4、第2、4土曜日、旧曆14~16日	3~82.5m	先着順、3時出港。
13	海老刺網	36隻	5~15ト	1~3名	10/1~4/30	正月、第2、4土曜日、旧曆14~18日	15m~	先着順、3:30投網開始。
14	海老刺網	15隻	1~2ト	2名	10/1~4/30	12/30~1/4、祭日、旧曆11~20日	15~60m	4時出港
15	海老刺網	18隻	0.8~9.0ト	1~2名	10/1~4/30	12/29~1/5、祭日、旧曆14~20日、悪天候時		
16	海老刺網	40隻	0.8~1.5ト	2名	10/1~4/30	10/14, 15日、祭日	30~36m以浅	先着順、自由操業(3時出港)
17	海老刺網	51隻	1.5~5.0ト	1~2名	10/1~4/30	毎週土曜日、悪天候日、30日		3時出港、刺網団体長の指揮、4~7時揚網
18	海老刺網	7~8隻	2.5~11ト	2名	10/1~4/30	正月、祭日		自由操業
19	海老刺網	67隻	2.5~11ト	2名	12月~3/31	正月、第1、3土曜日、旧曆12~18日	7.5~30m	8区による輪番漁場と自由漁場
20	海老刺網	110隻	2~5ト	1~2名	12/1~3/31	12/29~1/5、1~3月の旧曆15~20日	7.5~45m	7区による漁場輪番制を先着順で。
21	海老刺網	28隻	0.5~3ト	1~2名	12/1~4/30(H5)	12/31~1/4、旧曆14~17日	12~45m	5区による輪番漁場と自由漁場
22	海老刺網	40(20)隻	1~5ト	1~2名	旧曆9/23~3/22	1/1~1/3、第2、4金曜日、旧曆11~20日		2時出港(世話人の旗揚げ)
23	海老刺網	69隻	1~2.5ト	1~2名	11月旧曆20日~4/30	12/30~1/5、旧曆10~18日	12~37.5m	3区による漁場輪番制
24	海老刺網		1~3ト	1~2名	11/1~4/30	12/31~1/2、旧曆13~20日		先着順(2時出港)、標旗により漁場を区分。
25	海老刺網	8(54)隻	0.56~4.68ト	2名	11/1~4/30	正月、旧曆13~19日		8区による漁場輪番制(海老刺網組合)
26	海老刺網	120隻	1~5ト	1~3名	11/1~4/30	12/30~1/8、毎週土曜日、旧曆14~16日		出港、投網時間指定、台合兼台場所設定。
27	海老刺網	39隻	1~3ト	1~3名	11月~4/30	12/30~1/7、毎週土曜日、旧曆14~16日	5~40m	6区による漁場輪番制
28	海老刺網	8隻	1~2ト	1~2名	10/1~4/30	金曜夜、旧曆11~19日	7.5~45m	8区による漁場輪番制
29	海老刺網	43隻	0.5~3.64ト	1~2名	10/1~4/30	正月、祭日、旧曆12~20日	12~82.5m	船のト数別の3区先の先着順
30	海老刺網	15隻	0~5ト	1~2名	10/1~4/30	12/31~1/3、祭日、旧曆14~17日		9組による漁場輪番制
31	海老刺網	2隻	1.2, 1.4ト	2名	10/1~4/30	12/29~1/4、毎週土曜日、月夜	8~10m	2隻による交替制
32	海老刺網	15隻	0.5~2ト	1~3名	10/1~4/30	旧曆11~20日	7.5~30m	10区による漁場輪番制
33	海老刺網	8隻	1~3ト	1~2名	10/1~4/30	旧曆13~20日	15~30m	上半期、下半期に分け、順位・漁場割りを行う
34	海老刺網	15隻	0.8~2.0ト	1名	10/1~4/30	12/30~1/4、祭日、月夜	15~30m	漁場輪番制
35	海老刺網	19隻	0.8~1.5ト	1名	10/1~4/30	悪天候日、旧曆11~20日	2~18m	漁場輪番制
36	海老刺網	16隻	0.5~1.3ト	1名	10/1~4/30	旧曆11~20日	2~27m	67所による漁場輪番制(各区域域内では先着順)
37	海老刺網	45隻	0.8~7ト	1名	10/1~4/30	1/1~1/3、祭日、旧曆10~19日		3組(×37所)による漁場輪番制
38	海老刺網	10隻	0.5~1.5ト	1名	10/1~4/30	1/1~1/31	15~30m	特別な取り決めは無し。操業量に制限。
39	海老刺網	12隻	0.6~1.2ト	1名	10/1~4/30	正月、旧曆11~21日	15~45m	漁場輪番制(3区、草業用が2区、副業用が1区)
40	海老刺網	23隻	1~3ト	1~2名	10/1~4/30	12/29~1/5、旧曆11~19日	15~45m	漁場輪番制
41	海老刺網	13隻	0.5~3ト	1~2名	10/1~4/30	月夜休み(10日間/月)	4.5~30m	26区による漁場輪番制
42	海老刺網	26隻	1~2ト	1名	10/1以降~4/30	12/29~1/4、祭日(11/2)、旧曆10~18日。		26区による共同操業、7~10制、4区の漁場を輪控
43	海老刺網	17隻	1~1.5ト	1~4名	10/1~4/30	1/1~2月未、旧曆11~18日		4隻乗の共同操業、ア・B制、4区の漁場を輪控

*注: できるだけ各地先の実態に即するよう、台併漁協については支所別に掲載した。また、回答の得られなかった地区とイセエビ漁獲量の少ない地区については掲載しなかった。

表1-1. (続き)

地区 番号	網の種類	材質	太さ (燃り数で表示)	目合* (身網)	高さ (柄目)	1隻当りの使用網数**	漁獲物全体に占める 比重の比(金額)
1	3枚網	ナロウ、モリス、ツカス	2~18本	1.6~4.2寸	5はえに制限。普通は3~4はえ。(1はえ:600間)	約1割(H4:4.4%)	
2	3枚網	ナロウ、モリス	6本	3.0寸		約2割	
3	3枚網	ナロウ	9~12本	2.5~3.0寸	18~20掛 (100/3)間×12×6籠	H2:22.1%, H4:11.6%	
4	3枚網	ナロウ	9本又は6本	2.5~2.8寸	22~28掛 15~25丈	約3割	
5	3枚網	ツカス	9本	2.3寸	外網で3目18反	8割	
6	3枚網	ナロウ	4本又は6本	2.3寸	5丈(1丈=2反)以下に制限。解禁3日後から1丈増。	8~9割	
7	3枚網	ナロウ	6本	1.8寸	20掛	42.8%(H3)	
8	3枚網	ナロウ	8本	2.2寸	27掛	約4割	
9	3枚網	ナロウ	6本	2.0寸	48反(100間37切りもの)	約1割弱	
10	3枚網	ナロウ	8本又は10本	2.0, 2.3寸	8反×6石(1反:100間37切りを基準、1石:100間27切り5反)	約5割	
11	3枚網	ナロウ	10本	2.0, 2.3寸	14丈以下(1丈=2反)。普通は12~14丈。	6~6.5割	
12	3枚網	ナロウ	9本	2.2寸	22掛 12丈以下(1丈=2反)。以前は16丈→14丈。	約6割	
13	3枚網	ナロウ	10本以上	2.2寸	25掛 15丈以下(1丈=2反)。以前は15丈以下だった。	約6割	
14	3枚網	ナロウ	8本	2.2寸以上	13丈以下(1丈=2反)。	約6割	
15	3枚網	ナロウ	8~10本	2.2寸以上	10丈以下(1丈=2反)。	約6割	
16	3枚網	ナロウ、外付	4本	2.0寸以上	29掛 10丈以下(1丈=2反)。普通は8~10丈を使用。		
17	3枚網	ナロウ、外付	4本	1.8~2.0寸	30掛 8~16丈。普通は14~15丈が多い。		
18	3枚網	ナロウ	6~8本	2.4~2.6寸	25はえ(1はえ=100間、仕立上り70m)	約6割	
19	1, 3枚網	ナロウ	4~6本	2.2~2.5寸	25~28掛 13丈以下。	約5割	
20	3枚網	ナロウ	8本	2.7寸	23丈以下。普通は18~20丈を使用。1丈=130間	約8割	
21	3枚網	ナロウ、ツカス	6~8本	2.3~2.5寸	12丈以下(1丈=1反)。	約6.5割	
22	3枚網	ナロウ	8本	2.3寸	50間ものを50枚以内(30枚前後が多い)	約6割	
23	3枚網	ナロウ	9本	2.3~2.5寸	1名乗り6丈(1丈=16間物×4)、2名乗り12丈。	32.9%(H2)	
24	3枚網	ナロウ	6~8本	2.5寸	海老刺網24間を30枚、3枚網を300間。	約7割	
25	1(3)枚網	ナロウ	8(6~8)本	2.7(2.5~2.6)寸	海老刺網:20はえ以下(1人10はえ2人乗)、3枚網:500間以内	87%(H4)	
26	3枚網	ナロウ	6, 9本	2.4, 2.6寸	6丈(24丈)、2人船は11丈(44丈)、22~25間、高さ5尺以内	38%(H2)	
27	3枚網	ナロウ	6, 9本	2.8~3.2寸	23~28掛 12反		
28	3枚網	ナロウ	8, (6)本	2.4, (2.2)寸	8丈(1丈=100間)。	8割	
29	3枚網	ナロウ	6~8本	2.3~2.5寸	6丈(沖掛は10丈)	約8割	
30	3枚網	ナロウ	8本	2.6~2.8寸	本職1名:10丈、本職2名:16丈、兼業:5丈(1丈=50間)		
31	1枚網	ナロウ	8本	3.0寸	仕立上り35間を10枚。高さ6尺。		
32	1, 3枚網	ナロウ	12~18本	2.5寸	28掛 1人3石(1石=60間)	約7割	
33	3枚網	ナロウ	8~10本	3.3寸	6枚	約8割	
34	3枚網	ナロウ	10本	2.7寸	6丈(1丈=1反)以下。	7割	
35	1枚網	ナロウ	10, 12, 14本	3.0寸	6丈(1丈=4反, 60間)。荒天時は4丈も。	約8割	
36	1枚網	ナロウ	12本	3.8寸	本業5丈、副業3丈(1丈=180間)	約9.5割	
37	1, 3枚網	ナロウ	9, 11本	2.7, 3.0寸	6丈(1丈=60間)。2人掛けは12丈まで。家族は2人10丈	6~7割	
38	1枚網	ナロウ	6~10本	2.0寸	長さ250間以内。高さ6尺以内。	約9.5割	
39	1枚網	ナロウ	10本	3.4寸	4枚	約3割	
40	1, 3枚網	ナロウ	6~10本	3.0寸	1枚網4丈、3枚網4丈(1丈=1反)。	45%	
41	1, 3枚網	ナロウ	8, 10本	3.0寸	1枚網5丈、3枚網3丈。		
42	1枚網	(綿糸)	6~12本	3.4寸	10丈(1丈=1反)。		
43	1枚網	ナロウ	3.0寸	3.0寸	5反	約8割	

*: すべて罫尺による表示。1寸は3.7875cmに相当する。
**: 1反の網地長は通常100間(=150m)に相当する。

表1-1. (続き)

地区 番号	禁漁区 箇所数	禁漁区の利用方法	稚エビ再放流	同放流実績	銘柄区分	イセエビ漁獲量 (ト) S33-H3平均 H3 最高年
1	無		甲長4.5cm(100g)以下 50~70g以下	H4:23kg(約1000尾)	700g以上を区別	1.2 1 3.7
2	無		組合が再放流		大:500g以上,中:200~490g,小:100~190g	0.1 0 0.6
3	無		甲長4.2cm以下		大:600g以上,小:600g以下	5.1 3 10.5
4	無		甲長4.2cm以下		区分なし	2.2 2 9.0
5	17所	年1~2回の操業。収益は漁協へ。	甲長4.2cm以下		大:500g以上,小:500g以下	2.7 2 5.0
6	17所	年間11回程度の操業。収益は町内会へ。参加者は組順で無報酬	甲長5cm又は100g以下	約50尾(H3)	大:800g以上,小中:100~800g	1.3 1 3.0
7	無		甲長4.2cm以下	約50尾	大:400g以上,中:120~400g,小:60~120g	2.9 2 7.0
8	47所	共同操業	甲長4.2cm(60g)以下		区分なし	4.2 3 10.3
9	17所	12月に5日程度の操業。収益は組合と半々で分配。	禁漁区へ放流		区分なし	1.5 1 9.0
10	17所	参加資格者:年間30日以上操業のこと。	60g以下		大:400g以上,中:120~400g,小:60~120g	5.5 3 9.4
11	17所	年間3日間の操業。金額には関係なし。	甲長4.2cm以下		大:380g以上,中:120~380g,小:120g以下	2.3 1 6.0
12	27所	年3~5回操業(2丈出し)。収益は海老組合の費用と不漁年の貯え	80g以下	年間約15000尾	区分なし	1.9 1 3.1
13	77所	有	80g以下	H4:1399尾	大:380g以上,中:120~380g,小:80~120g	20.5 19 38.6
14	有	年4~7日間の操業。収益は均等分配。	79g以下		大:375g以上,中:121~375g,小:80~120g	4.4 3 12.0
15	27所	共同操業。収益は均等分配。	80g以下		大:380g以上,中:130~380g,小:80~130g	3.3 4 7.0
16	107所	共同操業。収益は均等分配。端数は漁協へ貯え。	80g以下		大:350g以上,中:120~350g,小:80~120g	2.2 2 14.0
17	17所	年1回の共同操業。収益は組合へ。	甲長4.2cm(80g)以下		特大:500g~,大:380g~,中:180g~,小:80g~	3.6 2 9.3
18	無					0.4 0 2.3
19	37所	年2回操業。収益は1/3を均等分配,あとは魚礁設置資金	69g以下	約200尾(H3)	大:500g以上,中:100~499g,小:70~99g	1.3 1 3.0
20	37所		50g以下	約1500尾(H4)	大:640g以上(8掛),小:50~640g	5.9 5 10.0
21	17所	正月前に1~2日操業。(漁協の贈呈用)	100g以下	777尾(H4)	上海老,下海老	2.1 1 6.1
22	37所	投票全面禁止。	100g以下		大:150g以上,中:100~150g	1.1 1 3.0
23	17所	年1回の試験操業。水揚げは区の収益。	100g以下		大:700g以上,中:100~700g	1.8 2 4.0
24	27所	年3~4回操業。水揚げは漁協の自己収益として計上。	59g以下		大:500g以上,中:200~490g,小:60~190g	1.3 1 4.0
25	27所	毎年27所を順次禁漁にする漁場輪流制。水揚:徴収金と均等配分	100g以下	約3600尾(H3)	大:500g以上,小:100~499g	4.6 4 7.5
26	有		50g以下	2328尾(H2)	大:500g以上,小:100~490g	6.4 8 12.1
27	27所		100g以下		大:500g以上,小:100~500g	2.5 2 5.4
28	無		100g以下	約870尾(H3)	大:500g以上,中:100~500g	0.8 0 2.0
29	37所	年2回程度操業。水揚げは均等配分。	100g以下	約1000尾(H3)	大:500g以上,中:100~500g	1.4 0 4.0
30	27所	管理区を設定。	甲長4.2cm以下	約1000尾	大:500g以上,中:100~500g	1.8 2 4.0
31	17所		100g以下	1258尾(H2)	大:500g~,中:300g~,小:200g~,小々:100g~	0.3 0 4.0
32	有		100g以下		大:760g以上,中:500~750g,小:100~490g	2.1 2 4.0
33	無		甲長5cm(100g)以下		大中小	1.1 2 6.7
34	17所	毎年適当な日に解禁。収益は均等分配。	再放流実施		区分なし	2.2 2 8.0
35	有	2~3丈出しの共同操業。均等分配。その他、漁協の必要に応じた	甲長5cm以下	250~450尾/年	大:500g以上,中:100~500g以下	3.3 3 5.4
36	17所	2年に1回操業。均等配分。	再放流実施	1080,1250尾(H4,5)	区分なし	2.0 1 6.1
37	27所	年2回操業。収益は小型船組合の運営費+均等配分	100g以下	1167尾(H3)	禁漁区の1/2のみ500gを擁に上,下に区分。	3.1 0 6.0
38	37所	決められた利用方法はない。	甲長5cm以下		区分なし。	1.7 0 2.8
39	17所	3年間禁漁。4年目に2~3日間操業。1人当たり2丈使用。均等配	100g以下	558尾(H3)	大:800g以上,中:500~800g,小:200~500g	0.8 1 2.0
40	17所	平成3年度から設定。	100g以下		大:500g以上,中:100~500g	2.0 1 10.8
41	無		60g以下		大:350g以上,中:200~350g,小:60~200g	0.4 0 3.0
42	17所		100g以下		区分なし。	2.5 3 5.8
43	17所	年2~3回操業。水揚げは一部を海老網組合の運営費に。	100g以下			3.5 4 8.6

表 1-1. (続き)

地区 番号	備 考
1	昭和10年頃より3枚網を使用。F1D7網は昭和30年頃から。昭和50年頃までは船が小さく(1~2ト),網数は2はえ位であった。昭和58年頃から船の大型化と隻数の増加のため,使用網数を制限。
2	
3	昭和10年に綿糸3枚網を関西地区より導入(2隻)。昭和25年より7ミミ1枚網使用。昭和30年より3枚網を全面使用。旧来綿糸は30番手3つ然り9本。網数は33間×12×4であった。
4	
5	カゴ漁業(1/5~4/30)
6	3枚網の使用は戦前に始まる。F1D73枚網への移行は戦後になってから。糸の太さは綿糸で太かったがF1D7で細くなった。昭和10年頃までは6丈,以後は5丈
7	戦前より3枚網使用。
8	
9	昭和35年頃からF1D73枚網へ逐次移行。
10	
11	昭和35年頃からF1D73枚網へ逐次移行。
12	年間60~80日程度操業。昭和40年頃からF1D73枚網へ逐次移行。(以前は 海老:綿糸1枚網, 魚:綿糸3枚網)
13	
14	30年ほど前から3枚網へ移行。以前は綿糸1枚網→F1D71枚網。
15	昭和22~25年頃より3枚網を使用。F1D7網へは昭和27~28年頃。昭和40年以前は12丈/隻だったがF1D7で細くなったのを現在の網数(10丈)へ。
16	
17	
18	昭和23年頃からF1D73枚網へ移行。現在は実績なし。
19	昭和28年頃より3枚網を使用。F1D7網へは昭和30年頃にそれ以前の14丈/隻から現在の網数(13丈)へ。
20	昭和33年の総会で3枚網の使用禁止を決議,現在に至る。
21	昭和30年頃からF1D73枚網へ移行。太さ,目合,立上り長は以前から変化なし。
22	
23	昭和30年頃からF1D73枚網へ移行。使用網数は以前から変化なし。
24	
25	明治時代は庶網,大正初期から綿糸。昭和55年頃からF1D7網。網数は昭和58年までは12はえ,以後11はえ。63年から10はえ。なお,かご内の数字は3枚網組合,それ以外は海老網組合のもの。
26	昭和30年頃からF1D73枚網へ移行。
27	昭和20年頃より3枚網へ移行。
28	昭和30年頃より3枚網を使用。F1D7網へは昭和28~30年頃。綿1枚網の時は12丈/隻であった。かご内の数字は12~4月,それ以外は10,11月。
29	
30	
31	
32	昭和35年頃より3枚網を使用。
33	
34	昭和26,27年頃より3枚網を使用。F1D7網へは昭和23年頃。綿糸網の時は7丈/隻,20番手6本然りであった。昭和15,16年頃にそれまでの横こぎ船(4~5ト,2,3名,計7隻)からエンジン船へ。
35	以前は2人掛けを行っていた。戦後,沈子を船に変える。昭和50年代に110匁/㎡の船口ロープに。綿網は以前のちがから響へ。
36	
37	昭和49年度より3枚網も使用(当時3丈,53年度より4丈,近年は6丈)。F1D7網へは昭和46(1枚網),49年(3枚網)に導入。
38	3枚網の使用は禁止。F1D7網への移行は昭和45年頃。使用網数,太さは以前から変化なし。
39	
40	昭和30年頃より3枚網も使用。F1D7網もこの頃から。昭和50年頃から現在の網数,網の長さに。
41	昭和40年頃まで綿糸を使用。その後F1D7の網を2~3年使用。F1D7網への移行は昭和43年頃。
42	以前から綿糸1枚網を使用。平成5年からはF1D7網を使用。
43	4隻に全員が分業して共同操業を実施。水揚げ高7~9mを採用。(船代,船頭代は全員で負担,燃料代,網代は個人負担)

金額に加え、イセエビ以外の混獲物による収入や操業経費、期間中の兼業漁業による収入なども検討項目に加えられるべきであろう。第5章以降では以上の点を考慮しながら、望ましい管理方策についての解析を行う。

1.7 調査対象地区の概要

本論文では三重県のなかで最も漁獲量の多い和具漁業協同組合（図1-3，表1-1の地区番号13）を調査対象地区として取り上げた。

図1-4 a, 図1-4 b, 図1-4 cにそれぞれ、日本全国（1905年～1993年）、三重県（1904年～1993年）および和具漁協（1956年～1993年）におけるイセエビ漁獲量の経年推移を示した。全国における漁獲量は、第二次世界大戦以前（1941年以前）は一貫して増加傾向にあったが、戦後（1946年以降）は1964年のピーク（1,845トン）を迎えたあと減少し、1975年以後は1,000～1,200トンの水準で持続している。三重県における漁獲量は、戦前は全国での傾向と同様に増加した。戦後は1952年に最高の296.6tを記録した後、1970年代前半まで減少が続き、以後は100～150 tの間を推移している。和具漁協における漁獲量は、1963年に集計期間中最高の38.6 tで、1970年代前半までは県全体の傾向と同様に減少した。1979年には30 tを記録したが、以後は20 t前後を推移している。期間中の平均漁獲量と変動係数はそれぞれ、全国では

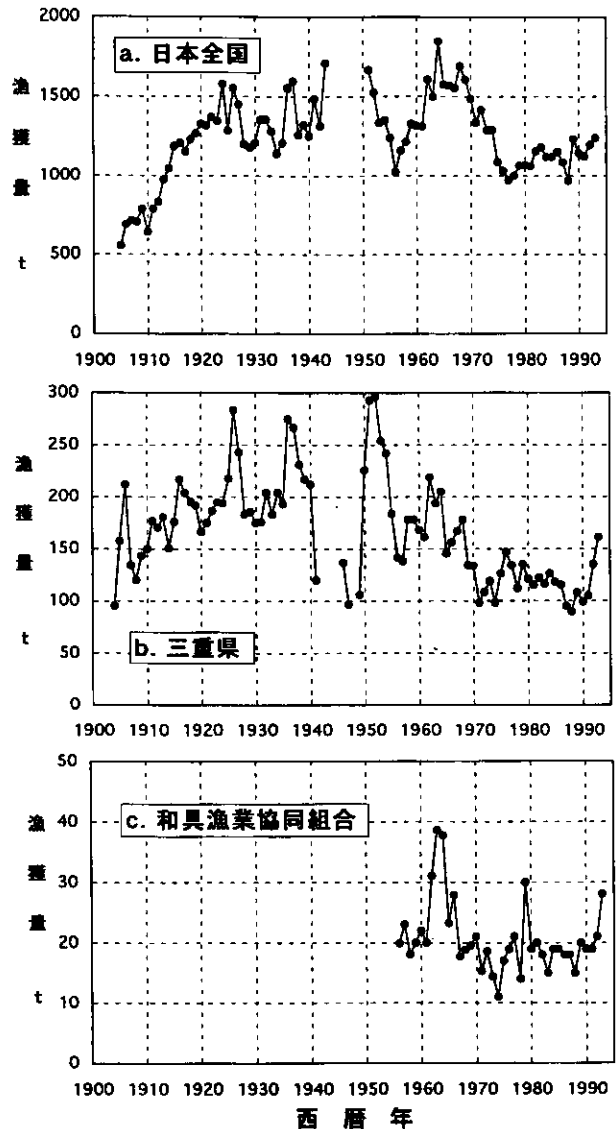


図1-4. イセエビ漁獲量の経年推移。
a. 日本全国, b. 三重県, c. 和具漁業協同組合。（資料：農林省統計表，漁業養殖業生産統計年報，三重県農林水産統計年報，三重県統計書，三重県漁業地区別統計表，和具漁業協同組合の1955年以前の資料は入手できなかったため，表示していない。）

1,238t, 20.8%，三重県全体では166.9 t, 29.9%，和具漁協では20.7 t, 28.4%であった。

和具地区では、36隻のイセエビ刺網漁業者で構成される漁業管理団体（「海老網同盟会」と称する）が漁協の下部組織として運営されており、漁業者同志の話し合いと合意形成をもとにした管理の推進母体として機能している。当地区では漁場を、休漁日以外なら会員が自由に操業できる「一般漁場」と、通常は禁漁として一定の期間だけ共同（水揚げプール制）で操業を行う「禁漁区」に区分している。そのうち、「一般漁場」での年間漁獲

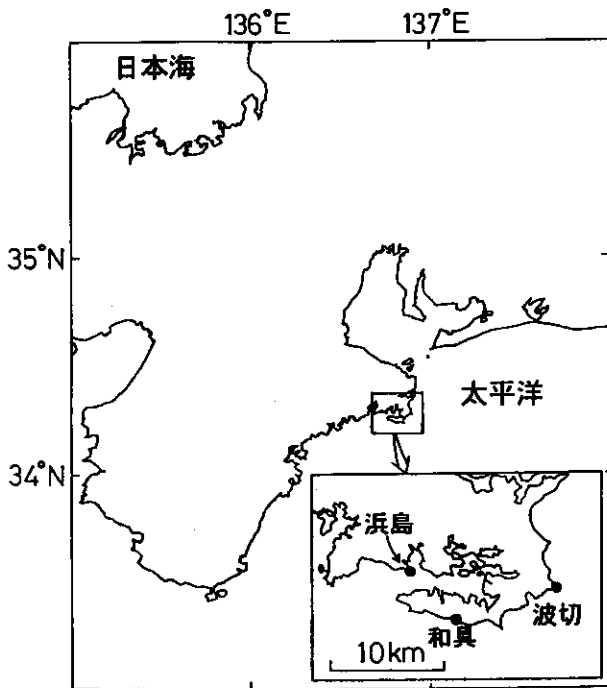


図1-3. 調査対象地区

量は全漁獲量中の70～80%を占める。

漁期は三重県漁業調整規則と同じ10月1日～4月30日である。毎月第2、第4金曜日と正月前後は休漁とするほか、近年では満月前後の旧暦14日～18日は同盟会の申し合わせによって休漁としている。

操業は、10トン前後の船（通常2名、場合によっては3名が乗船）で三枚網を使用して行う。毎日15時に一斉に港を出港後、各自が思い思いの漁場に入網して1晩放置し、翌日の早朝に揚網する。使用網数は1隻あたり13丈以下（1丈の長さは網地長で200間（≒300m）、仕立て上り長で約140m）と定めているが、漁獲量が多く、価格の低下が懸念される時期には9～10丈以下とするなど、弾力的な運用がなされている。網目の大きさは2寸3分（鯨尺；1寸は3.7875cm）以上、太さは10本撚り以上と決められている。揚網は動力ローラーを用いて網をエビごと船上に巻き取って行う。陸上へ運ばれた網は1船あたり5名～10名（平均7.7名）で捌かれ、イセエビやその他の混獲物が網から外されて仕分けされる。操業水深は3mから80mにわたり、イセエビが通常、生息する水深のほぼ全範囲を網羅しているとみなすことができる。一般漁場における水深別の延べ出漁隻数と漁獲重量を年別に集計し、図1-5に示した。

漁獲されたイセエビは大小の別なくすべてが一旦、市場へ集められる。市場職員によって「特大」（380g以上）、「中」（120g～380g）、「小」（80g～120g）、「ボロ」（脚や触角が著しく損傷した個体）の各銘柄に仕分けされる過程で、自主的な取り決めによる制限サイズ以下の小型エビが選別され、同盟会役員の手で後日、まとめて

漁場へ再放流される。小型エビの制限サイズは三重県漁業調整規則による制限サイズ（体重で60～70gに相当）より引き上げ、一般漁場では体重80g以下、禁漁区では120g以下としている。小型エビの再放流実績は毎年15,000尾程度に達する。

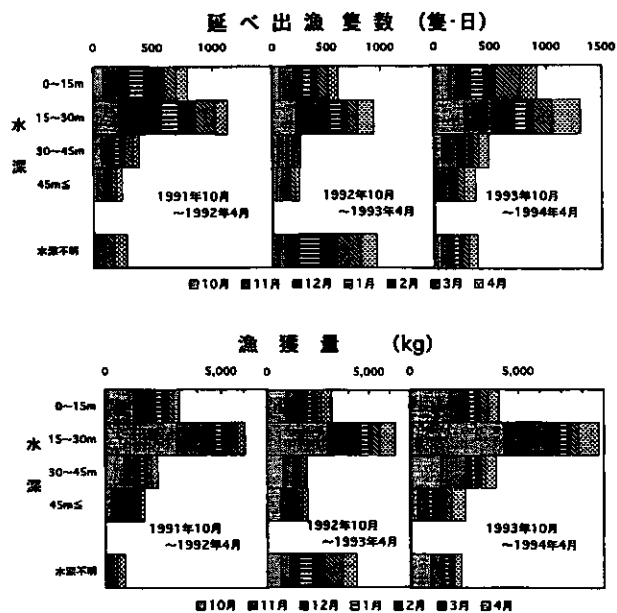


図1-5. 三重県和具地区の一般漁場における水深別の延べ出漁隻数(上)とイセエビ漁獲量(下). 1991年～1992年, 1992年～1993年, 1993年～1994年の3漁期(いずれも10月～4月)について例示した。日々の漁獲伝票と操業水深に関する全漁業者からの報告をもとに集計した。

第2章 体長組成データの解析による成長の推定

2.1 はじめに

対象生物の成長の把握は、水産資源の解析における最重要事項のひとつである。成長の推定結果によって望ましい資源管理のあり方が大きく左右されることも稀ではない。

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(増田 1954)。成長の推定は、飼育実験(大島ら 1960, 田中ら 1985, 田中 1988)、標識放流(静岡水試伊豆分場 1975^{**9}, 1976^{**10}, 石田・田中 1985, 金盛 1988)、漁獲物または採集個体の体長(頭胸甲長)組成(Nakamura 1940, 大島 1941, 大島ら 1960, 静岡水試伊豆分場 1975^{**9}, 1976^{**10}, 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が天然海域のものと同じである保証はなく、標識放流による方法も、①標識の装着が成長・生残に与える影響が不明、②解析に十分なデータ数を確保しにくい、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^{**9}, 1976^{**10})は雌雄別に集計した頭胸甲長組成の検討により、静岡県南伊豆のイセエビの成長を推定した。これは、Harding (1949)の正規確率紙を用いた方法で複合正規分布への分解を行ったものであるが、①作図による分離手法であるため客観性に欠ける、②1セットのみの測定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。

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, 山川 1997b)。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や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が可能となるなど、資源の定量的な解析への展開も期待できる。従来からの成長乱獲抑制の管理は無論のこと、近年強調

されている加入乱獲回避の管理(松宮 1996a, 1996b, 1996c, 1997, Katsukawa 1997, 勝川・松宮1997)など、資源管理への直接的な応用も可能である。

これらの手法には、①複合正規分布に基づかないもの(Shepherd 1987)、②生物学的仮定を設けずに純粋に複合正規分布へ分離するもの(Hasselblad 1966, MacDonald and Pitcher 1979, 赤嶺・加藤 1988, 堤 1990, 今井 1990, 和田 1993, 堤・田中 1994)、③age-length keyを用いるもの(真子・松宮 1977, 松宮・真子 1978, Kimura and Chikuni 1987, Matsumiya 1990b, Martin and Cook 1990, Akamine and Matsumiya 1992, 山川・松宮 1993)、④成長式を仮定してパラメータを求めるもの(Schnute and Fournier 1980, Fournier and Breen 1983, 田中 1990, Tanaka and Tanaka 1990)、⑤成長式などを仮定したうえで、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するもの(Pauly and David 1981, Pauly 1987, Sparre 1987, Fournier *et al.* 1990, 1991)など様々なものがある(山川 1997b)。

これらのうち、⑤の経時的な複数時点でのデータを一括して解析する手法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MULTIFAN(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。

本章では、経時的な複数の体長組成データの一括解析において、年などによる成長の変動があっても解析可能な手法を提示するとともに(Yamakawa and Matsumiya 1997)、イセエビの頭胸甲長組成データに適用し、漁獲物の年齢組成、成長、加入、減耗過程などを精査した(山川 1997a, 1997b)。

2.2 解析モデルの構成

2.2.1 基本構成

ある期間中に市場に水揚げされた漁獲物を母集団として、経時的に採取された複数の体長組成データを考える。各回におけるサンプリングはランダムに行われ、測定誤

^{**9} 静岡県水産試験場伊豆分場：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, 1975, pp.1-50.

^{**10} 静岡県水産試験場伊豆分場：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, 1976, pp.1-69.

差は無視できると仮定する。

第 α 番目の体長組成データセットからランダムに個体を抽出する場合に、その個体が体長階級 i に含まれる確率 (理論値) を $Q_{i\alpha}$ とする。データセット α の体長階級 i に含まれる個体頻度 (観測値) を $f_{i\alpha}$ 、データセット α の総個体数を F_α とするとき、 $|f_{i\alpha}|$ を得る確率 P は多項分布を用いて次のように表せる。

$$P = \prod_{\alpha=1}^{N_A} \left(\frac{F_\alpha!}{\prod_{i=1}^{N_i} f_{i\alpha}!} \prod_{i=1}^{N_i} Q_{i\alpha}^{f_{i\alpha}} \right) \quad (2.1)$$

ここで N_A : データセットの数
 N_i : 体長階級の数

である。

データセット α における j 年齢の体長頻度分布が正規分布 $N(L_{j\alpha}, \sigma_{j\alpha}^2)$ に従うと仮定すると、 $Q_{i\alpha}$ は複合正規分布として次のように表せる。

$$Q_{i\alpha} = \sum_{j=j_{\min}}^{j_{\max}} \frac{p_{j\alpha} \omega}{\sqrt{2\pi} \sigma_{j\alpha}} \exp\left\{-\frac{(l_i - L_{j\alpha})^2}{2\sigma_{j\alpha}^2}\right\} \quad (2.2)$$

ここで $p_{j\alpha}$: データセット α 内での j 年齢の出現率,
 ω : 体長階級幅,
 l_i : 体長階級 i の体長中央値,
 j_{\min} : 最小年齢,
 j_{\max} : 最高年齢,
 $L_{j\alpha}$: データセット α における j 年齢の平均体長,
 $\sigma_{j\alpha}$: データセット α における j 年齢の体長の標準偏差,

ただし、

$$\sum_{j=j_{\min}}^{j_{\max}} p_{j\alpha} = 1 \quad (2.3)$$

である。

以上の基本モデルに、 $L_{j\alpha}$ 、 $\sigma_{j\alpha}$ 、 $p_{j\alpha}$ を表現するいくつかの制約モデルを導入し、パラメータの同時推定を行う。最大化を行う目的関数は対数尤度 L とした。

$$L = \ln(P) = \sum_{\alpha=1}^{N_A} \left\{ \ln(F_\alpha!) - \sum_{i=1}^{N_i} \ln(f_{i\alpha}!) + \sum_{i=1}^{N_i} f_{i\alpha} \ln(Q_{i\alpha}) \right\} \quad (2.4)$$

モデルの妥当性の判定は赤池情報量規準(AIC; Akaike Information Criterion, Akaike 1973)で行った。

$$AIC = -2(\text{最大対数尤度}) + 2m \quad (2.5)$$

ここで m は推定すべきパラメータの数である。

2.2.2 成長と標準偏差, 各群の出現率を表すモデル
 成長を表すモデルには、Richards の一般式に季節的成長を導入した Akamine (1993)、赤嶺 (1995a) の標準式を用いた。年などによる成長変動があっても解析が可能なように、パラメータはデータセットごとに設定する (Yamakawa and Matsumiya 1997)。

$$L_{j\alpha} = \frac{L_{\infty\alpha}}{\left[1 + r \exp\left\{-K_\alpha(G(j, \alpha) - G(j_0, \alpha))\right\}\right]^{1/r}} \quad (2.6)$$

$$G(j, \alpha) = j + \frac{A_\alpha}{2\pi} \sin 2\pi(j - j_{1\alpha}) \quad (2.7)$$

ここで、

$L_{\infty\alpha}$: データセット α における極限体長,
 r : 式の形に関係するパラメータ,
 K_α : データセット α における成長係数,
 j_0 : 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,
 $j_{1\alpha}$: 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。

上式は $r = -1, -1/3, 0, 1$ のときにそれぞれ、von Bertalanffy 式、その 3 乗式、Gompertz の式、logistic 式と一致する (Akamine 1993, 赤嶺 1995a)。 (2.7) 式で $A_\alpha = 0$ と置いて固定すれば、季節的成長を導入しないモデルとなる。

各群の体長の標準偏差 $\sigma_{j\alpha}$ を表すモデルには様々なものが考えられる。ここでは以下の 4 通りが選択できるように設定した。

$$\textcircled{1} \sigma_{j\alpha} = a_\alpha \quad (\text{一定}) \quad (2.8)$$

$$\textcircled{2} \sigma_{j\alpha} = a_\alpha j + b_\alpha \quad (\text{線形}) \quad (2.9)$$

$$\textcircled{3} \sigma_{j\alpha} = \frac{c_\alpha}{1 + \exp\{a_\alpha(1 - b_\alpha j)\}} \quad (\text{シグモイド型; ロジスティック曲線}), \quad (2.10)$$

$$\textcircled{4} \sigma_{j\alpha} = \left[a_\alpha + \frac{b_\alpha}{2K_\alpha} \{1 - \exp(-2K_\alpha j)\} \right]^{1/2} \quad (\text{Tanaka and Tanaka 1990 の式}), \quad (2.11)$$

$a_\alpha, b_\alpha, c_\alpha$: パラメータ。

各年齢の出現率 $p_{j\alpha}$ は、

① (2.3) 式を除いて制約条件を全く仮定しない場合、
 ② ある年齢 (j_R) 以上の群では次式のように、全減少係

数 $Z_{j\alpha}$ に従って減耗すると仮定する場合

$$p_{j\alpha} = p_{jR\alpha} e^{-Z_{j\alpha}(j-j_R)} \quad (2.12)$$

の2通りについて解析を行った。ここで、加入量、および j_{jR} 以後の減耗率は年によって変動しないと仮定した。

本論文ではサイズによる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) は考慮に入れなかった。しかしサイズに従う鋭い漁獲選択性が存在すると、加入齢に達した群の漁場内に分布する個体の平均体長は、実際に漁獲された個体の平均体長とは異なるため、推定結果に偏りが生じる恐れがある。その影響を避けるため、(2.2) 式に体長 l_i に従う漁獲選択率 $\rho(l_i)$ を導入し、

$$Q_{i\alpha} = \sum_{j=j_{\min}}^{j_{\max}} \rho(l_i) \frac{p_{j\alpha} \omega}{\sqrt{2\pi} \sigma_{j\alpha}} \exp\left\{-\frac{(l_i - L_{j\alpha})^2}{2\sigma_{j\alpha}^2}\right\} \quad (2.13)$$

として解析を行うことができる。ここで $\rho(l_i)$ は、シグモイド型の曲線 (ロジスティック曲線; 4.4 式) などが仮定できる。

2.2.3 パラメータの設定

年によって成長の変動がある場合にも一括解析が可能のように、各パラメータはデータセットごとに異なる、複数の値を採りうるようにした。例えば成長変動のために成長係数 $K_{j\alpha}$ の値が年によって異なると考えられる場合には年ごとに別個の $K_{j\alpha}$ を設定できるようにし (年によってパラメータを「非共有」、と称する)、逆に成長変動が無視できる場合にはすべての年について共通の $K_{j\alpha}$ を設定 (すべての年でパラメータを「共有」) できるようにした。共有/非共有の選択は各パラメータごとに独立に行えるため、例えば、 $K_{j\alpha}$ と $j_{j\alpha}$ は年ごとに「非共有」として $L_{\infty\alpha}$ と $A_{j\alpha}$ 、 $j_{j\alpha}$ はすべての年で「共有」する、いずれのパラメータも基本的には「共有」とするが1年目と3年目は $L_{\infty\alpha}$ のみを「非共有」とする、などの自由な設定が可能である。また、「年」に限らず任意のデータセット間でパラメータの共有/非共有が選択できるため、年内の前半と後半で別々のパラメータを用いる、ことなども自由である。共有/非共有の選択は成長式に関するパラメータのみならず、標準偏差に関するパラメータや全減少係数 (およびその導入齢 j_R) についても同様に行える。この手法によればどのようなデータでも一括解析が可能となるため、データの情報量の損失を極力回避しながら頑健で弾力的な推定が行える。

一方各パラメータは、未知として推定の対象にするか、あるいは既知としてあらかじめ設定した値に固定するか

を、任意に選択できるようにした (推定/固定の選択)。例えば、極限体長 $L_{\infty\alpha}$ は年齢形質法で求めた値に固定して他のパラメータの推定に利用する、とか、成長式は固定しておいて各年齢群の出現率の推定のみを行う、などの利用が可能である。他の情報源によって推定された値を既知として導入することにより、当該の解析だけでは情報量が不足して結果が不安定になるような場合でも頑健な推定を行うことができる。なお、当手法の詳細については Yamakawa and Matsumiya (1997) も併せて参照されたい。

2.3 適用データ

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 (図2-1, 図2-2)。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ヶ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、表2-1に示したA~H, Jの9通りのモデルを仮定して、比較検討した。成長式は、(2.6) 式で $r = -1$ と置いて von Bertalanffy 式に固定した。季節的成長を導入する場合としない場合について解析し両者を比較した。標準偏差を表すモデルについては① (一定; 2.8式) と④ (Tanaka and Tanaka 1990の式; 2.11式) の2通りで比較を行った。各年齢群の出現率に関して制約条件を全く仮定しない①の場合では、年齢群数 $j_{\max} - j_{\min} + 1$ は4~6群の3通りを仮定し、全減少係数を導入した②の場合では導入齢 j_R を4齢と5齢の2通り (この場合は年齢群数はいずれも10群) とした。パラメータの共有/非共有の設定では、全てのパラメータを「共有」とする場合と、成長係数 $K_{j\alpha}$ と変曲点 $j_{j\alpha}$ のみを年ごとに「非共有」とする場合を設定した。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「齢」と称するのはプエルルスとして着底後の推定経過年数を指す**11。

2.4 結果および考察

2.4.1 モデルの妥当性

仮定したモデルの妥当性を検討するため、(2.5)式によるAICを計算し表2-1に併記した。

比較を行った9通りのモデルのうち、雌雄ともにモデルAでAICの値が最小で、妥当性が最も高いと判断された。季節的成長を導入しないモデルBでは季節的成長を導入したモデルAよりも妥当性が低下した。甲長の標準

偏差を一定とした場合(C)も、④の(2.11)式に従って標準偏差が変化すると仮定したAの場合に比べて妥当性が低下した。全減少係数を導入しないモデル(D~F)よりも導入したモデル(A, H)で妥当性が高く、さらに3齢, 5齢以上の群が全減少係数に従って減耗すると仮定したモデルG, Hよりも4齢以上の群に全減少係数を導入したモデルAで妥当性が高かった。パラメータをすべての年で共有し、成長の年変動を考慮しないモデルJでは、成長式のパラメータ K_α と $j_{0\alpha}$ を年によって非共有としたAの場合に比較して妥当性が著しく低下した。成長には年によって相当ばらつきがあることが示唆された。

表2-1. 体長組成解析において仮定したモデルの妥当性の検討結果。AICの値が雌雄ともに最小となるモデルAが最も妥当性が高いと判断された

モデル	*1	*2	*3	*4	*5	*6 AIC	
	季節的成長	標準偏差式	全減少係数	齢群数	成長の年変動	雄	雌
A	○	④	○(4齢以上)	10	○	7902.36	5846.71 *7
B	—	④	○(4齢以上)	10	○	8886.51	5977.47
C	○	①(一定)	○(4齢以上)	10	○	7991.79	5981.88
D	○	④	—	4	○	7960.62	6109.94
E	○	④	—	5	○	7938.24	6034.28
F	○	④	—	6	○	7957.94	6020.52
G	○	④	○(3齢以上)	10	○	7929.02	5861.24
H	○	④	○(5齢以上)	10	○	7904.73	5861.24
J	○	④	○(4齢以上)	10	—	8586.14	6159.32

*1 ○: (2.7)式の $A_\alpha, j_{0\alpha}$ ともに未知として推定, —: (2.7)式で $A_\alpha = 0$ と固定.

*2 ①: (2.8)式を導入して一定とする, ④: (2.11)式を導入する.

*3 ○: (2.12)式に従ってカッコ内の齢(j_R)以上の群に全減少係数 Z_α を導入する, —: Z_α を導入しない.

*4 $j_{\max} - j_{\min} + 1$.

*5 ○: 導入する(K_α と $j_{0\alpha}$ を年ごとに「非共有」とし, その他のパラメータは「共有」する), —: 導入しない(すべてのパラメータを「共有」して推定).

*6 (2.5)式による.

*7 モデルAが最も妥当性が高い.

**11 フィロソマの期間が不明で生後の「年齢」の特定ができないため、便宜的にこのような呼称を用いることにする。本論文では以下すべて同様である。なお、齢の起算はプエルルスの着底盛期である8月1日を基準に行うものとする。すなわち、8月1日を加齢日として計算する。

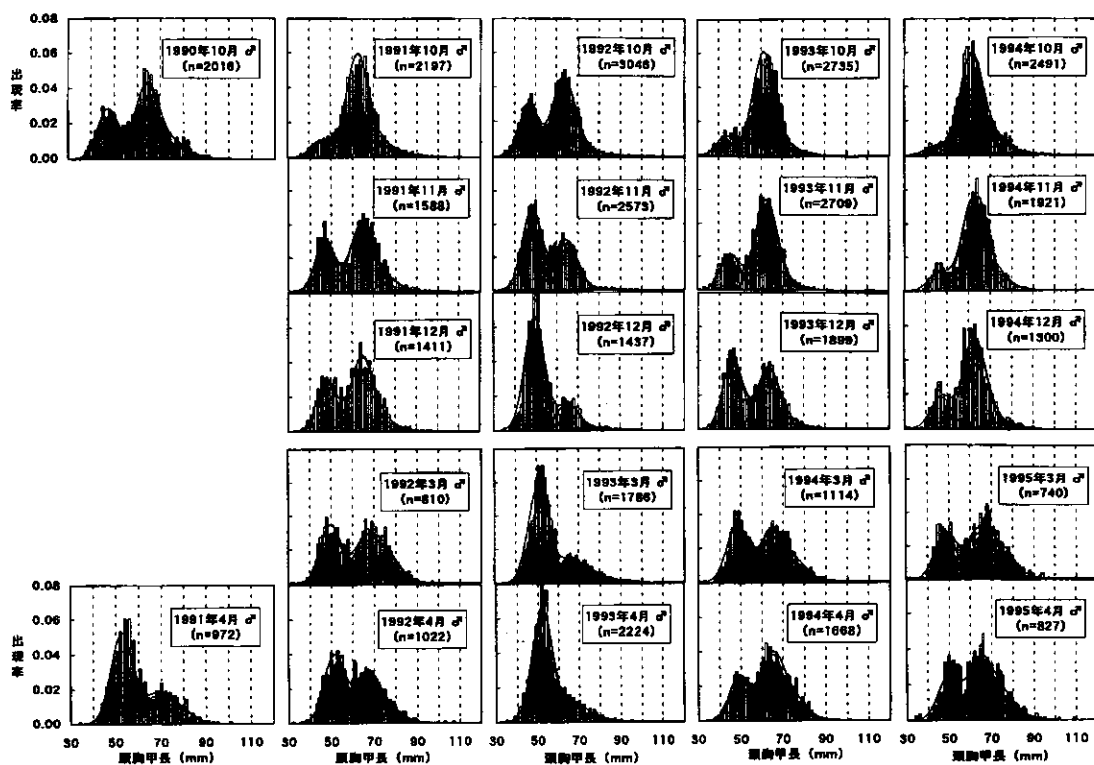


図 2-1. 体長組成解析による齢群の分離結果 (雄, モデルA). 左の列から順に, 1990年-1991年, 1991年-1992年, 1992年-1993年, 1993年-1994年, 1994年-1995年の各漁期 (いずれも10月~4月) に該当する. 各月とも頭胸甲長の小さい群から順に, 1 齢群, 2 齢群, 3 齢群, ... である. n は各月における測定個体数を表す.

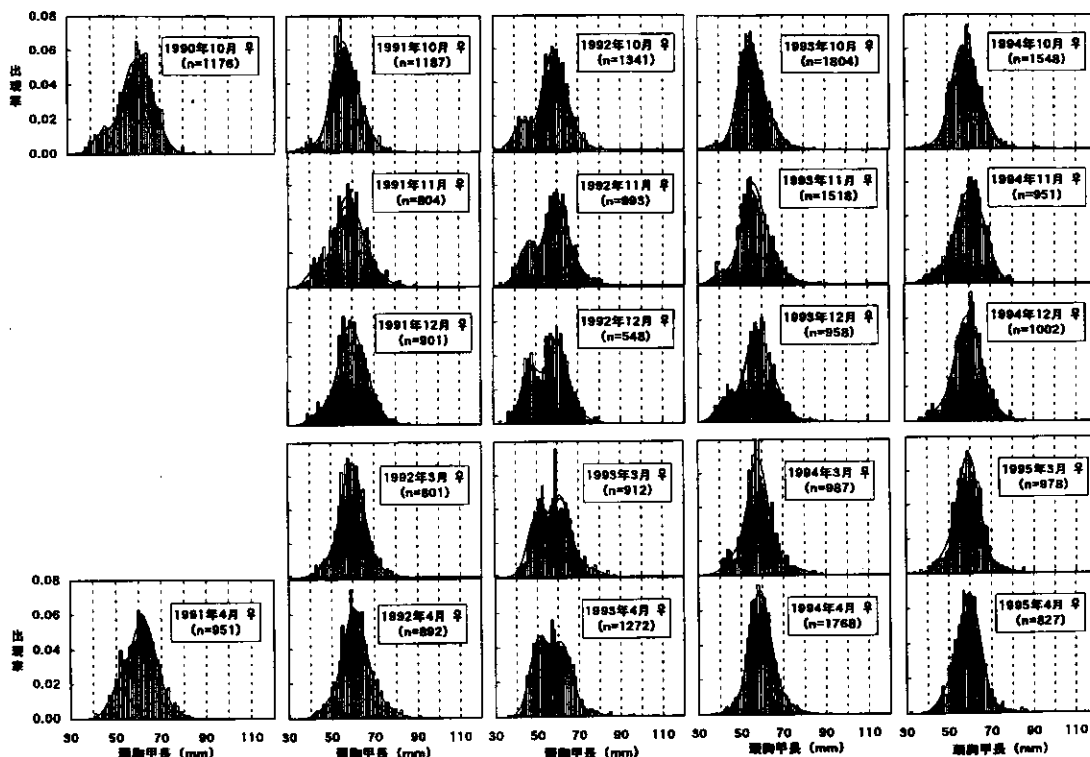


図 2-2. 体長組成解析による齢群の分離結果 (雌, モデルA). 左の列から順に, 1990年-1991年, 1991年-1992年, 1992年-1993年, 1993年-1994年, 1994年-1995年の各漁期 (いずれも10月~4月) に該当する. 各月とも頭胸甲長の小さい群から順に, 1 齢群, 2 齢群, 3 齢群, ... である. n は各月における測定個体数を表す.