

大阪湾のシャコ資源量の推定とその評価

石岡 清英・土井 長之*・林 凱夫**

The Stock Assessment of Mantis-Shrimp (*Oratosquilla oratoria*) in Osaka Bay

Kiyohide ISHIOKA, Takeyuki DOI*, Yoshio HAYASHI**

The mantis-shrimp, *Oratosquilla oratoria* (Stomatopoda, Squillidae) is one of main target species of the small sized trawlers in Osaka Bay of the Seto Inland Sea. The stock of the mantis-shrimp was estimated based on the published informations on the life history and the data obtained through the survey of the fisheries production by the Osaka Prefectural Fisheries Experimental Station.

The results obtained are as follows.

1. The mean growth curve of mantis-shrimp is estimated as the following formula (Fig. 5).

$$L_t = 19.57 \{1 - e^{-0.0664 (t - 0.665)}\}$$

where L_t is the standard length at time t in centimeters. (the length is from base of the rostrum to anterior edge of the median notch of the telson), and t is the age in months and starts from June.

2. The survival rate on a yearly basis of the virgin stock ($S=0.45$) was estimated through the mantis-shrimp production in 1967 at Okayama Prefecture, where the stock condition was considered not to be exploited fully. The natural mortality coefficient ($M=0.799$) was converted from the above obtained survival rate (S) (Fig. 7).

On the other hand, the total mortality rate ($Z=0.799$) was calculated based on the age composition estimated from standard length distributions of the mantis-shrimp obtained under the experimental survey at Osaka Bay. The mortality coefficient before recruitment ($M' + M_0$) was estimated from natural mortality coefficient and the fecundity of each age group, where it is assumed that the stock is equilibrium level under stable fishery conditions.

3. The stock of this species was calculated from these estimated parameters and the catch data in Osaka Bay, taking the life history and the fishery conditions (Fig. 6) in considerations (Table 4).
4. Through the theoretical model for the assessment of the stock conditions, it is judged that the present fishing intensity for the mantis-shrimp stock in Osaka Bay is nearly in optimum level (Fig. 12).

シャコは、本邦各地に分布しているが、瀬戸内海沿岸では、20年位前までは、あまり重要な資源とは考えられていなかったようである。大阪府下では1960年頃から一部の小型底曳網漁船がシャコを主要な漁獲対象

1980年12月16日受理, 南海海区水産研究業績 第106号

* 東海区水産研究所 (Tokai Regional Fisheries Research Laboratory)

** 大阪府水産試験場 (Osaka Prefectural Fisheries Experimental Station)

としての操業を始めるようになったと言われる。それ以前は価格も低く、主要な漁獲対象とはならなかった¹⁾。しかし、1960年頃からガザミ、クルマエビ、ヨシエビ等の激減や、流通事情の改善と市場の拡大によるジャコの販売価格の上昇にともない、瀬戸内海各地の小型底曳網漁業の主要漁獲対象魚種となってきた²⁾、1972～1977年の大阪湾の小型底曳網漁獲物の5.3～9.9%を占めている³⁾。多くの魚種を利用している小型底曳網にとっては、単一魚種としてはジャコの比重はかなり大きいと言えよう。

筆者らは、1977年より関西空港漁業環境影響調査の一つとして、ジャコの資源解析と資源診断を試みた。資源量を検討するには、現在利用できる資料が少く、完全な結果を得るのは困難である。今回の報告は、自然死亡係数M等のように、かなり大胆な仮定のもとに導かれている部分も多いが、ジャコ資源の全体像を概観するためにあえて取り入れたものであり、より詳細な値が得られたら当然それを用いて再計算を行うべきであろう。

本報のとりまとめにあたっては、南西海区水産研究所、企画連絡室多々良薫室長、内海資源部倉田博部長、同内藤一郎室長に本文の校閲と、助言をいただいた。大阪府水産試験場、吉田俊一氏、辻野耕実氏、西海区水産研究所、大森迪夫氏には、とりまとめの検討過程で、貴重な助言をいただいた。これらの方々に感謝いたします。

材料および方法

既往文献と、大阪府水産試験場で過去に調査されたジャコの体長測定資料を素材とし、筆者らの論義の中で、資源解析のモデルを組み立てて計算を行なった。

成長に関しては、KUBO *et al.*¹⁾、原ら⁵⁾、千田ら^{2),6),7),8)}を参考にした。大阪府水産試験場の体長組成資料は、1971年5月～12月の間毎月、および1976年3月から12月の間3ヶ月毎がある。なお、同資料のジャコの測定は、KUBO *et al.*にしたがい、標準体長(Standard length=S. L.)として、rostrumの基部から、telsonの中央の切れ込み前端までを、ノギスを用いて測定している。体長・体重関係および産卵数の推定は、林・辻野¹⁾を引用した。計算の基礎となる生活史のモデルの設定には、推定された成長曲線や、既往の文献、筆者らの知識からの総合判断等によった。漁獲量統計は、瀬戸内海灘別漁獲統計累年表³⁾を用いた。自然死亡係数の推定には、千田ら²⁾を参考にし、全減耗係数の推定には、前記の大阪府水産試験場の体長組成資料を用いた。計算方式は、主として土井⁹⁾、土井¹⁰⁾、土井・川上¹¹⁾、BEVERTON¹²⁾、BEVERTON and HOLT¹³⁾等の一部変更して適用した。主な計算はHewlett-Packard 9830Aを用い、BASIC言語のプログラムにより実行した。等漁獲量曲線はHeriot-Watt大学(英国)のJ. C. Eilbeck博士に提供していただいた等高線を描くプログラムを一部変更し、同9862A Plotterを用いて描いた。

結果および考察

1. 成長の検討

甲殻類の通性として、ジャコも年令形質が知られていない。KUBO *et al.*⁴⁾は東京湾のジャコの推定成長曲線を報告している。しかし、この成長曲線は大阪水試の体長組成資料にはうまくあてはまらない。そこで、他の文献を検討した。

原ら⁵⁾は東京湾の二水域においてジャコの体長組成の月変化を調査している。これをFig. 1にパーセント単位で示した。原らは、これらの図から明確な成長曲線を描いていないが次のように成長を推定している。「12月頃体長5 cmの新加入群が出現し、1年間に6 cm程度成長する。大型群(前々年発生群)は4～8月の間に3 cm成長し、16～17 cmとなり以後消滅する。主漁獲対象は前年発生群で、前々年発生群は、4～8月の間のみ漁獲される。」

筆者らは、上記の調査結果から次のような方法で成長曲線を推定した。Fig. 1で、月別に体長組成の度数分布の主要なモードと見られる所に丸印、あまりはっきりしないモードに×印をつけた。これを横軸に月、

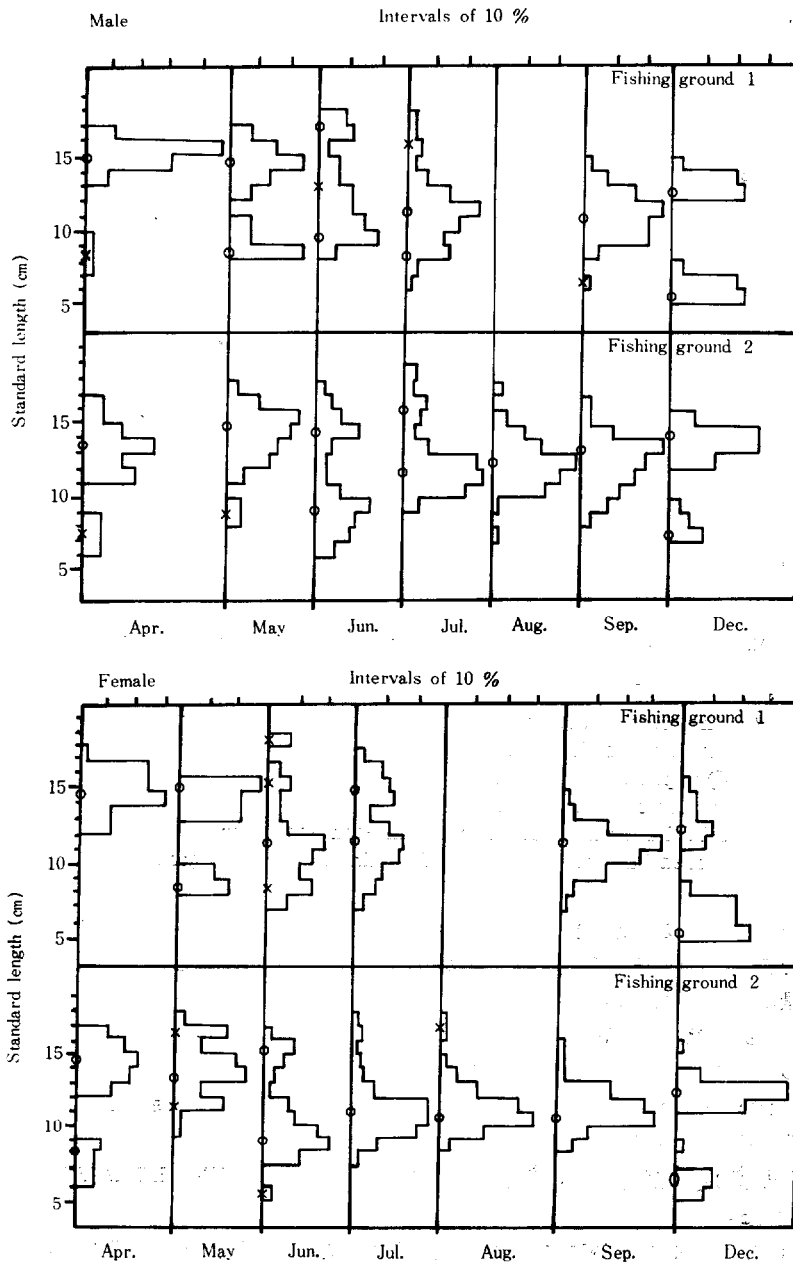


Fig. 1 Percentage distributions of mantis-shrimp at different fishing ground in Tokyo Bay. (from HARA *et al.*⁵⁾)

- : main mode of the distribution
- × : speculated mode of the distribution

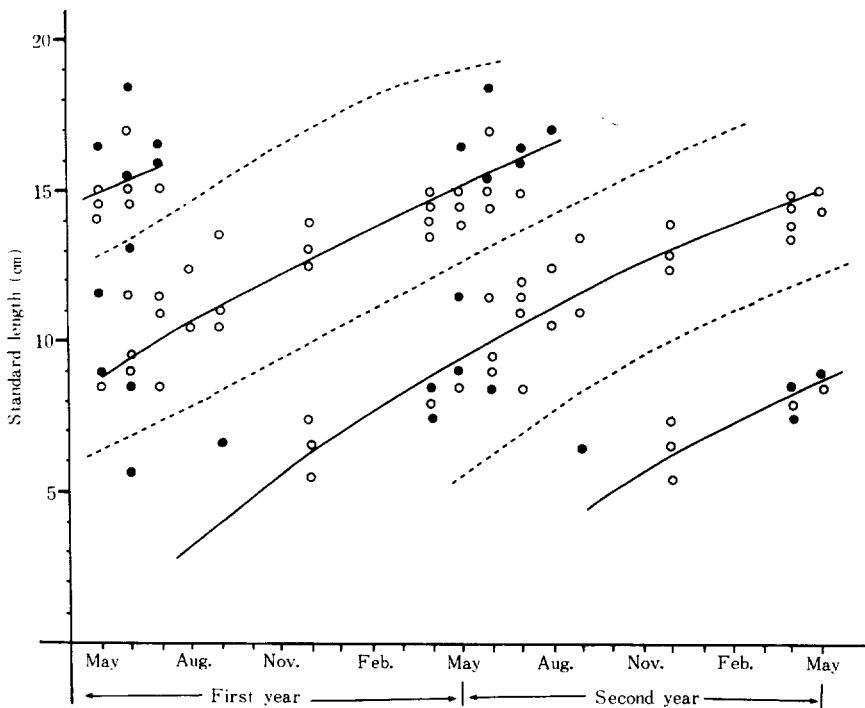


Fig. 2 The growth curve of mantis-shrimp in Tokyo Bay estimated from size distributions shown in Fig. 1.

○ : open circle in Fig. 1.

● : cross mark in Fig. 1.

solid line : mean growth curve in each age group

dashed line : speculated boundary line in each age group

縦軸に体長をとり、Fig. 2 にまとめた。ただし、横軸は2年分とし、同じデータを2ヶ所に印した。あきらかに、破線で示すような成長群が分離できる。これは原らの主張する群分けと大体同じであるが、短期間における成長量の評価は異なっている。

大阪水試の体長組成資料を、Fig. 3, Fig. 4 に示す。雌雄による成長差は、どちらの資料からもあきらかでなかったので区別しなかった。この図だけでは東京湾の例のような成長群の分離は困難であった。そこで次のような点を総合的に判断して、Fig. 5 に示すような巾をもった群成長を推定した。第1に東京湾と大阪湾では成長に大きな差はない。

第2に成長の季節変化は無視する。すなわち、体長2〜3 cm以降は、VON BERTALANFFY の成長曲線にあてはまると考える。

第3に Fig. 3, Fig. 4 の体長組成の山や谷が月ごとに移動する様子を全体的に見て成長のつながりを判断する。

第4に、9月以降に見られる体長5—9 cmの群は当年発生群と考える。この理由は、瀬戸内海における産卵期が5月中旬〜9月上旬であること^{1),7),8)}、9月頃に毎年体長5 cm前後の稚シャコがとれはじめること等である。Fig. 5 の成長曲線を用いて、Fig. 3, および4の体長組成を年令別に機械的に分けて図中にぬり分けてみた。必ずしも分布の山の形と年令区分が合致していない。この理由は、実際には大阪湾の産卵期が長

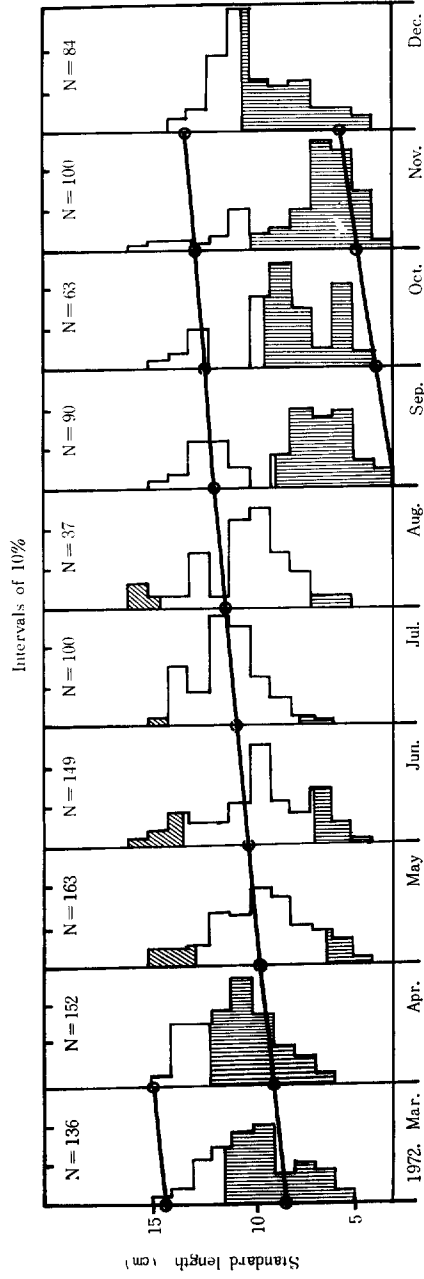
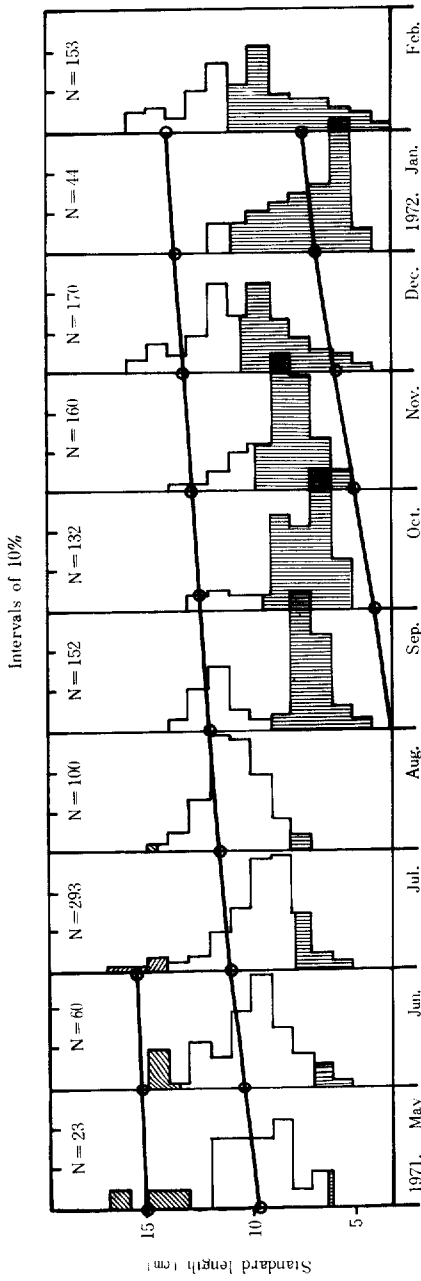


Fig. 3 Distributions of the standard length on the mantis-shrimp in Osaka Bay from May, 1971 to December, 1972. Histograms differentiated from formulas (1) and (3) described in the text show each age group, and solid line is mean growth curve of each age group derived from formula (2). N is the number of the specimen.

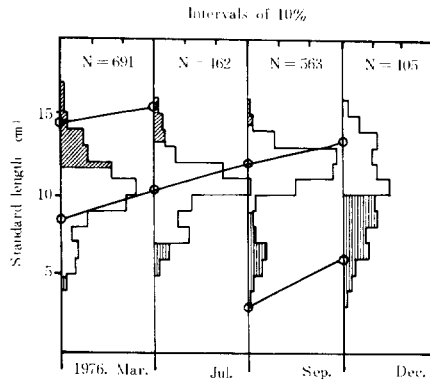


Fig. 4 Distributions of the standard length on the mantis-shrimp in Osaka Bay from March to December, 1976. The expression is the same as those in Fig. 3.

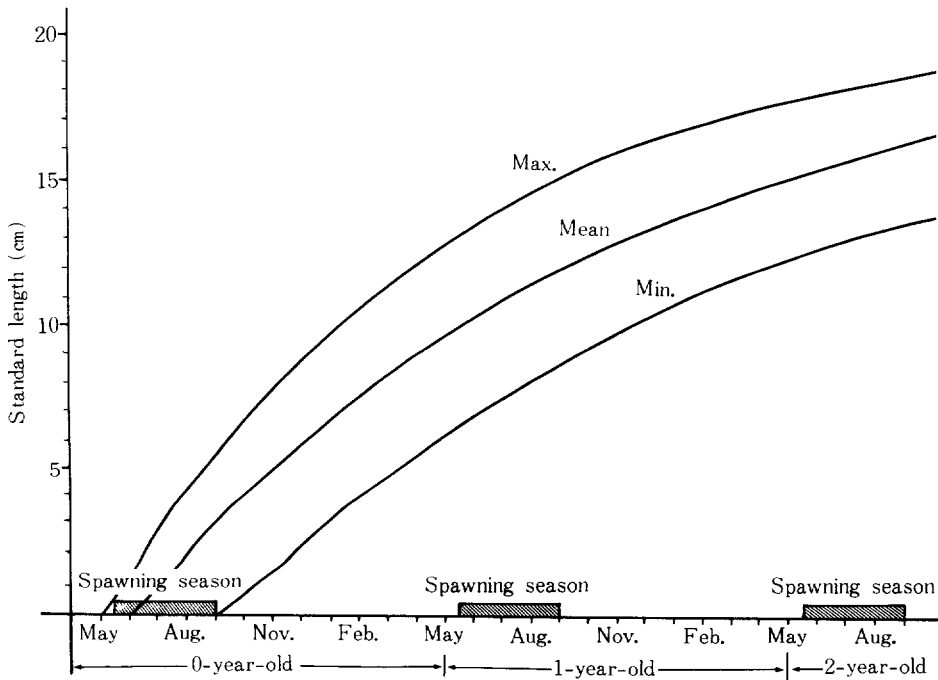


Fig. 5 Estimated growth curves of mantis-shrimp in Osaka Bay. Curves of Max. Mean and Min. were calculated from formulas (1), (2) and (3) respectively.

期にわたること、したがって体長範囲が広がり、種々の漁獲状況によって体長組成が異なってくることによると思われる。なお、東京湾の産卵期は5月～7月と推定されている^{4),5)}。

以上のようにして推定された成長曲線を、VON VERTALANFFY の成長式にあてはめると次のようになる。

$$\text{群の最大: } Lt = 20.89 \{1 - e^{-0.0821(t+0.611)}\} \quad (1)$$

$$\text{群の平均: } Lt = 19.57 \{1 - e^{-0.0664(t-0.665)}\} \quad (2)$$

$$\text{群の最小: } Lt = 18.95 \{1 - e^{-0.0558(t-3.880)}\} \quad (3)$$

$t=0$ は 6 月, t は月単位, Lt は t 時の体長 (cm)

2. 体長・体重関係および産卵数

体長 L と体重 W の関係式は, 林・辻野¹⁾ により, 次式が求められている。(単位: g , cm)

$$\text{雌 } W = 0.01298 \cdot L^{3.0011} \quad (4)$$

$$\text{雄 } W = 0.01111 \cdot L^{3.0760} \quad (5)$$

後の計算が容易となるように, 次のようにしてこの式を 3 乗式に変更した。体長 5~14cm まで 1cm ぎざみで (4), (5) 式により雌雄別に計算体重を求めた。この体長体重の値を用いて, $W = A \cdot L^3$ の式へあてはめた。係数 A は次式により定めた¹⁴⁾。雌雄別にするほどの差はないので雌雄こみの式とした。

$$A = \frac{\sum W_i \cdot L_i^3}{\sum L_i^6} \quad (6)$$

結果は次のとおりである。

$$W = 0.01326 \cdot L^3 \quad (7)$$

一般的に言って体長・体重関係は, データを図にプロットした場合, 曲線上にきれいに乗ることはなく, 非常にばらつきの多いものである。シャコの資源解析に用いる場合, 上述の (4), (5), (7) の三つの関係式のいずれを用いても計算体重には大きな差はなく, 後の結果に大きな影響はないと言えよう。以下の解析には, 取り扱いの容易な 3 乗式を用いることにする。

一尾の雌の産卵数 P と体長 L の関係式は, 林・辻野¹⁾ により, 孕卵数の測定から次式が求められているのでこれを用いる。

$$P = (1.208 \cdot L - 6.2) \times 10^4 \quad (8)$$

以上の結果から年令別, 月別, 体長, 体重, 産卵数を整理すると Table 1 のようになる。

3. 生活史

以上の結果からシャコの生活史としては, Fig. 6 に示すようなモデルを考えた。すなわち, シャコの産卵期は 5 月~9 月であるが, 計算を容易にするために, モデルとしては 6 月とした。以下, このように単純化を行なっている。6 月における計算体重から計算すると, Table 1 に示すように, 1 尾の雌の産卵数は, 1 才で 6.2 万個, 2 才で 12.4 万個である。卵は約 1 ヶ月間雌親に抱かれて保護される。孵化したアリマ幼生はプランクトン生活を行ない, その期間は約 1 ヶ月, 体長は 0.4~2 cm である^{7), 8)}。8 月には体長 2 cm の稚シャコとなり底生生活に移る。採集標本の大きさや, 商品サイズから考えて次のように想定した。体長 4.9 cm となる 11 月迄の間は漁獲されない。11 月から体長 8.3 cm となる 3 月までは, 漁獲されるが商品サイズとならず投棄される。投棄されたものは全て斃死していることとして扱う。翌年の 4 月に体長 9.0 cm となり, 漁獲されるものは商品として扱われるようになる。1 才および 2 才の 6 月に産卵し, 2 才シャコは 8 月まで生存の後, 寿命となり全て死滅する。なお, プランクトン期には海流により流され移動するが, 底着したものは移動回遊はしないと考えた。

Table 1. The estimated growth and fecundity of mantis-shrimp in Osaka Bay.
(calculated from formulas (2), (7) and (8))

Age in years	Calendar month	Standard length (cm)	Body weight (g)	Numbers of egg by a female ($\times 10^4$)
0	June	—	—	—
	September	2.8	0.3	—
	December	5.8	2.6	—
	March	8.3	7.6	—
I	June	10.3	14.5	6.2
	September	12.0	22.9	—
	December	13.4	31.9	—
	March	14.5	40.4	—
II	June	15.4	48.4	12.4
	August	15.9	53.3	—

4. 自然死亡係数の検討

資源量解析を行なうときに、常に当面する問題は、信頼できる自然死亡係数が得られないということである。ここでは大雑把な推定方法として、処女資源の年齢別資源重量 (biomass) を用いる方法を検討した⁹⁾。

シャコに対する漁獲圧力が0の時は、シャコは自然死亡のみで減少していたはずである。岡山県でシャコが漁獲対象になってきたのは、1959～'60年以降の比較的最近のことである²⁾。千田ら²⁾は、1967年4～5月に、岡山県日生港において小型底曳の板曳網、小型底曳のえび漕網および柵網の漁獲物の銘柄組成を調査

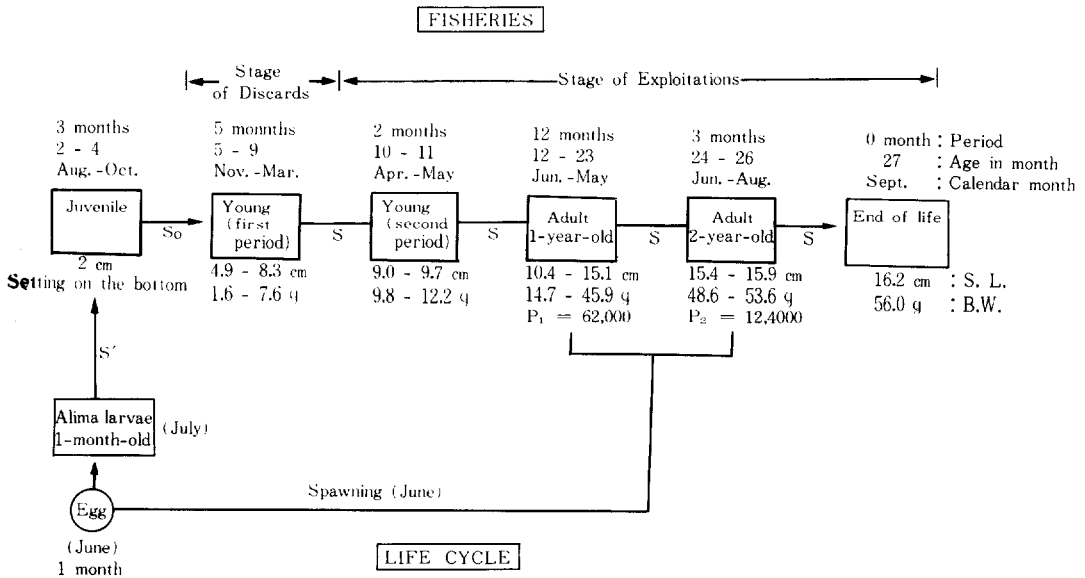


Fig. 6 The life cycle model of mantis-shrimp and fishing conditions in Osaka Bay.

S' , S_0 and S : survival rate for each stage S.L.: standard length

B.W.: body weight P_1 and P_2 : numbers of egg spawned by a female for each age

している。前述の生活史および、成長曲線からすると、この時期は0才と1才が生息しており、その分離できる体長は13cmと考えられる。このことから千田らの調査した銘柄別の漁獲重量組成を年令別の漁獲重量組成に変換すると、板曳網では0才が46%、1才が54%であり、えび漕網ではそれぞれ、43%および57%である。桁網漁獲物はこれとはかなり異なるが、別の要因が働いているようである。すなわち産卵時には接岸移動がみられるために、大型群にかたよると推定されている。同じ年の食性調査では、シャコの胃内容物として共喰が多く観察されており、自己の体長の60%のものを喰べている例が報告されている⁶⁾。東京湾における Kubo et al.⁴⁾の報告では共喰は全く認められておらず、原ら⁵⁾においても一例の報告にすぎない。これらのことから、1967年頃の岡山県のシャコは、比較的処女資源の状態に近かったと思われる。生残率(全減少率)をSとすると、0才の尾数 N_0 と1才の尾数 N_1 の関係は、次式で示される。

$$N_1 = N_0 \cdot S \quad (9)$$

5月のシャコの大きさは、式(2)および(7)から計算すると、0才で12.2g、1才で45.9gであるから、全資源重量(0才と1才の合計)に対する0才の資源重量の割合 P_0 は次式で示される。

$$P_0 = \frac{12.2 \cdot N_0}{12.2 \cdot N_0 + 45.9 \cdot N_1} \times 100 \quad (10)$$

(9)式を代入して整理すると

$$P_0 = \frac{12.2}{12.2 + 45.9 \times S} \times 100 \quad (11)$$

となる。S と P_0 の関係を(11)式より計算し、Fig. 7 に示す。

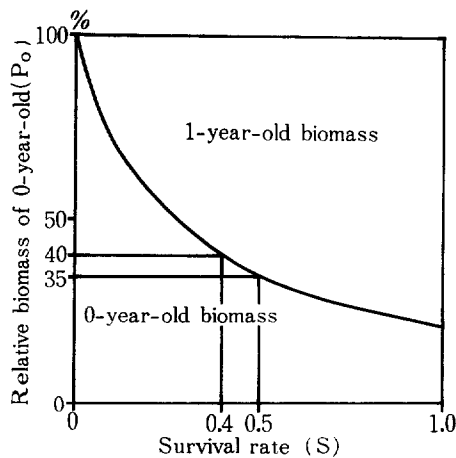


Fig. 7 The relative biomass of the 0-year-old mantis-shrimp (P_0) in the total stock in May and the survival rate (S) from 0-year-old to 1-year-old. (calculated from formula (11))

千田らの報告では、前述のように、0才の割合は、43~46%であった。しかし、1967年頃は、シャコ資源の利用がかなり増大してきていた時点でもあった。そこで真の処女資源では、0才の割合は、もう少し低かったと思われるので35~40%であったと考えた。これは Fig. 7 から見ると、 $S=0.4\sim0.5$ に対応する。ここでは、一応 $S=0.45$ を処女資源の生残率として採用することとし、この値を自然死亡率として扱う。した

がって自然死亡係数Mは次の値を用いる。

$$M = -\log_e S = 0.799$$

5. 加入以前の自然死亡係数

ここで平衡状態にある資源の加入以前における 生残率がどの程度と考えられるかを検討してみる。Fig. 8

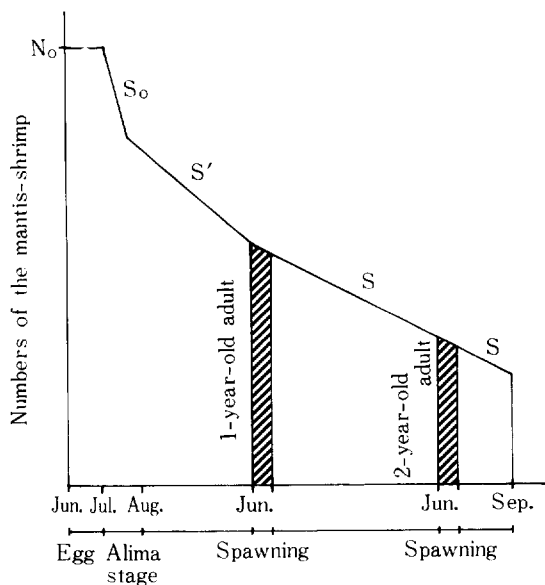


Fig. 8 Theoretical number of population in same year class.
S', S₀ and S: survival rate in each period

に生残過程と産卵群数の模式図を示す。総産卵数を N_0 、アリマ幼生の期間の生残率を S' 、その後1才迄の生残率を S_0 、1才以降の年間生残率を S とすると、次のようになる。

$$1 \text{ 才の初めの尾数} \quad N_0 \times S' \times S_0$$

$$2 \text{ 才の初めの尾数} \quad N_0 \times S' \times S_0 \times S$$

ここで資源が平衡状態にあるということは、総産卵数が同じレベルにあることと考える。すなわち、ある年の産卵群は一定の数の卵を産み、その産まれた卵からの子孫が一定の減耗の後、また前と同じ尾数の産卵群となり、以前と同数の卵を産むということである。雌を全体の1/2とすると、次の平衡式が成立する。

$$N_0 = \frac{1}{2} (N_0 \cdot S' \cdot S_0) \cdot P_1 + \frac{1}{2} (N_0 \cdot S' \cdot S_0 \cdot S) \cdot P_2 \quad (12)$$

P_1 、 P_2 は1才および2才オシッコの一尾当りの産卵数であり、ここでは一定とする。上式を整理すると次のとおりである。

$$S' \cdot S_0 = 2 / (P_1 + P_2 \cdot S) \quad (13)$$

ここで、産卵数の推定値は前述のように、 $P_1 = 6.2$ 万および $P_2 = 12.4$ 万である。前節で推定した処女資源の

自然死亡率 $S = 0.45$ を代入して上式を解けば、

$$S' \cdot S_0 = 1.6978 \times 10^{-5}$$

となる。これは処女資源においては 100 万粒の卵から 1 才のシャコになるのはわずかに 17 尾しかいないということである。 $S' \cdot S_0$ に対応する自然死亡係数を $M' \cdot M_0$ とすると、次のとおりである。

$$M' + M_0 = -\log_e (S' \cdot S_0) = 10.984$$

式(13)に示すように、平衡状態にある資源では 1 才のシャコになるまでの生残率 $S' \cdot S_0$ は、1 尾当りの産卵数に変化がなければそれ以後の生残率 S から計算できる。ここで S が 0 ~ 1 に変化した場合、 $S' \cdot S_0$ がどの程度変化するかを(13)式を用いて計算し、Fig. 9 に示した。1 才以降の生残率 S が、0 ~ 1 と大きく変化しても、加入前の生残率 $S' \cdot S_0$ が、 $1.1 \sim 3.2 \times 10^{-5}$ の範囲で変化すれば、資源の平衡は保たれることになる。

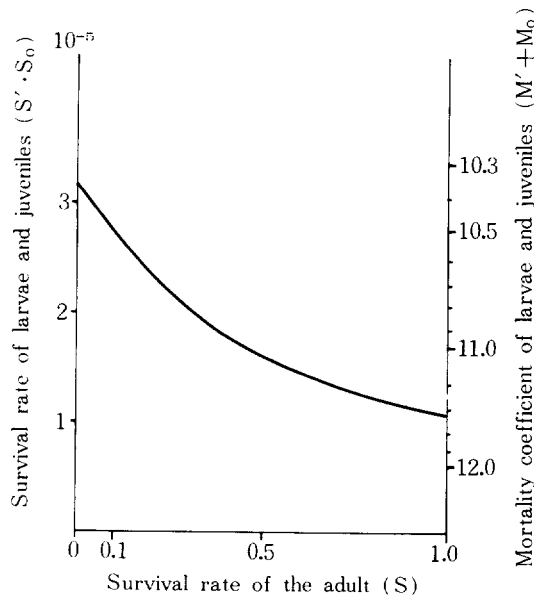


Fig. 9 The relationship between the survival rate of larvae and juveniles ($S' \cdot S_0$) and that of the adult (S) in the case of the stock in equilibrium. (calculated from formula (13))

次にアリマ幼生期を終了し、海底に定着したシャコの自然死亡係数 M_0 が親と同じく年単位で 0.799 と考えた場合のアリマ幼生期の生残率を検討してみる。定着後 1 才までの期間は 10 ヶ月であるので、 M_0 は次のようになる。

$$M_0 = 0.799 \times \frac{10}{12} = 0.667$$

したがって M' は次のとおりである。

$$M' = (M' + M_0) - M_0 = 10.984 - 0.667 = 10.318$$

親に保護されている 1 ヶ月間は、自然死亡はほぼ無視できるので、この M' をアリマ幼生期約 1 ヶ月間の自

然死亡係数と見なしてよいであろう。

生残率 S' は

$$S' = e^{-M'} = 3.30 \times 10^{-5}$$

となる。このことは孵化した 100 万粒の卵のうち、アリマ幼生を終了し、稚シャコになった時点では、33尾しか残っていないと言うことである。

6. 年令組成からの生残率の推定と資源量の検討

現在の大阪湾におけるシャコの生残率を推定するために、大阪湾のシャコ全体の、かたよりのない年令組成をつかむ必要がある。Fig. 3, 4 に示したように、季節や標本採集の場所により、推定される年令組成が異なるため、今回は次のような取り扱いを行なった。なるべく多くの個体の測定結果を利用することから、大阪府水試によって1976年に大阪湾で行なわれた小型底曳網の一種である石桁網の試験操業による漁獲シャコの測定結果を用いた。資料は3ヶ月ごとに得られているが、そのうち3月と6月のものは加入が完了した後の時期のものと考えられる。9月と12月は0才群の一部がまだ小さいので漁獲されない。このことから、3月と6月の体長組成を Fig. 5 による成長曲線を用いて、前年発生群（3月に0才、6月に1才）、前々年発生群（3月に1才、6月に2才）に分けた（Table 2）。境界として3月は11.5cm、6月は12.5cmと

Table 2. Differentiation of distributions in the standard length into age groups.

Standard length in centimeters	March			June		
	Age in years			Age in years		
	0 + I	0	I	I + II	I	II
2 ~						
3 ~						
4 ~	10	10				
5 ~	30	30		5	5	
6 ~	35	35		22	22	
7 ~	24	24		50	50	
8 ~	59	59		33	33	
9 ~	141	141		52	52	
10 ~	162	162		144	144	
11 ~	110	55	55	101	101	
12 ~	56		56	28	14	14
13 ~	50		50	14		14
14 ~	12		12	11		11
15 ~	1		1	2		2
16 ~	1		1			
Total	691	516	175	462	421	41

した。境界の含まれる級は半々に分けた。前々年発生群の尾数を、前年発生群の尾数で割ったものが、年間生残率と考えた。しかしその値は3月では $175/516=0.339$ 、6月では $41/421=0.0974$ で大きく異なる。そこでここではとりあえず3月と6月のそれぞれ対応する年令の尾数を加え合わせたもので計算した年間生残率とした。すなわちこれが現在の生残率である。前節で求めた自然死亡係数 $M=0.799$ （年間自然死亡率 $S=0.45$ ）を用いてその他の係数を次のようにして計算した。（年単位で計算）

現在の生 残 率 $S = (175+41) / (421+516) = 0.231$

〃 全減耗係数 $Z = M + F = -\log_e S = 1.467$

〃 自然死亡率 $D = \frac{M}{Z}(1 - S) = 0.419$

〃 漁獲係数 $F = Z - M = 0.669$

〃 漁 獲 率 $E = \frac{F}{Z}(1 - S) = 0.351$

すなわち初期資源量(尾数)の35.1%が漁獲され、41.9%が自滅死亡、23%が翌年に残ることになる。なお、2才のシャコは産卵後9月に寿命となると考える。

シャコは漁獲されて後、投棄されるもの(すでに斃死している)がかなりあると言われているが、この実態については現在のところ数量把握は困難であり、調査されていないので、推定するしかない。しかし、大阪湾では比較的小型のものから利用されており、前述のようにここでは一応発生翌年の4月以降(体長9cm以上)は利用されると考える。初期の生態と加入、漁獲の関係は Fig. 6 の生活史のモデルに示してある。なお、充分成長したシャコでも殻がやわらかい等の理由で投棄されるものもあるが、ここでは無視することとする。加入時期は、小型底曳網で漁獲されはじめる体長5cmを考慮して、計算体長が3.9cmとなる11月とした。

以上で各種係数が定められたので、これを用いて資源量の計算を行なった。自然死亡係数、漁獲死亡係数は月単位に変換して計算した。式は次のとおり。但し、 t は月数、 N_0 は初期尾数である。

$$\text{生 残 率} \quad S = e^{-(F+M)t} \quad (14)$$

$$\text{終 期 尾 数} \quad N_e = N_0 \cdot S \quad (15)$$

$$\text{漁 獲 尾 数} \quad N_E = N_0 \cdot \frac{F}{F+M} \cdot (1 - S) \quad (16)$$

$$\text{自然死亡尾数} \quad N_D = N_0 \cdot \frac{M}{F+M} \cdot (1 - S) \quad (17)$$

なお、月令5ヶ月—9ヶ月の間は漁獲されたものは全て死亡して投棄されたと考えた。漁獲重量は、BEVERTON and HOLT の平衡年漁獲重量の式¹³⁾を一部変更した次式を用いた。

$$Y_w = F \cdot N_0 \cdot W_\infty \sum_{n=0}^3 \frac{\Omega_n \cdot e^{-nK(t_s - t_0)}}{F+M+nK} \left\{ 1 - e^{-(F+M+nK) \cdot (t_e - t_s)} \right\} \quad (18)$$

ここで(18)式は、月令 t_s 時の資源尾数 N_0 が、月令 t_e までに漁獲される重量 Y_w を求めるものである。 W_∞ 、 K 、 t_0 は、VON BERTALANFFY の成長曲線の係数、 $\Omega_0 = -\Omega_3 = 1$ 、 $-\Omega_1 = \Omega_2 = 3$ である。すでに求められている自然死亡係数 $M = 0.799$ /年、(0.0666/月) 漁獲死亡係数 $F = 0.699$ /年、(0.0583/月) および成長式(2)、体長体重関係式(7)を用い、加入量 N_0 が100万尾の場合の資源変化を、(14)~(18)式により計算し、Table 3 に示した。

Fig. 10 には、加入一尾当りの等漁獲量曲線図を示した。ただし、加入月令は5ヶ月、体長(S. L.)=4.9cmで、月令 $t_s = 5$ ヶ月から $t_e = 27$ ヶ月まで漁獲死亡係数 F は一様に作用するが、利用開始月令 t_u までは小型のため商品サイズとならず、漁獲されても斃死後投棄されるため総漁獲量からは除いた。したがって(18)式は一部変更した次式となる。

$$Y_w/R = F \cdot W_\infty \cdot e^{-(F+M) \cdot (t_u - t_s)} \sum_{n=0}^3 \frac{\Omega_n \cdot e^{-nK(t_u - t_0)}}{F+M+nK} \left\{ 1 - e^{-(F+M+nK) \cdot (t_e - t_u)} \right\} \quad (19)$$

Table 3. Changes of the stock in each age group. (calculated from formulas (14)–(18))
 Number in parentheses represents the stock included in the discarded portion because of the small size. * represents the stock included in the natural death.
 $N_0 = 1,000,000$ $F = 0.0583/\text{month}$ $M = 0.0666/\text{month}$ $W_\infty = 99.38$ $K = 0.0664$
 $t_0 = 0.665$ $t_e = 27$

Age in years	0		I	II	Total
Calendar month	Nov.—Mar.	Apr.—May	Jun.—May	Jun.—Aug.	
Age in months	5—9	10—11	12—23	24—26	
Period in months	5	2	12	3	
Mean length of the group (cm)	4.9—8.3	9.0—9.7	10.4—15.1	15.4—15.9	
Condition of the fishery	Recruit and Discards	Exploitation			
Initial stock in numbers (N_s)	1,000,000	535,529	417,154	93,191	
Catch in numbers (N_E)	(216,803)	55,254	151,217	13,594	220,065
Catch in weight (Y_w) (kg)	(1,015.8)	668.1	4,167.1	708.4	5,543.6
Mean body weight of the catch (Y_w/N_E) (g)	4.7	12.1	27.6	52.1	25.2
Natural mortality in numbers (N_D)	247,668	63,121	172,745	15,529	499,063
Final stock in numbers (N_e)	535,529	417,154	93,191	*64,069	

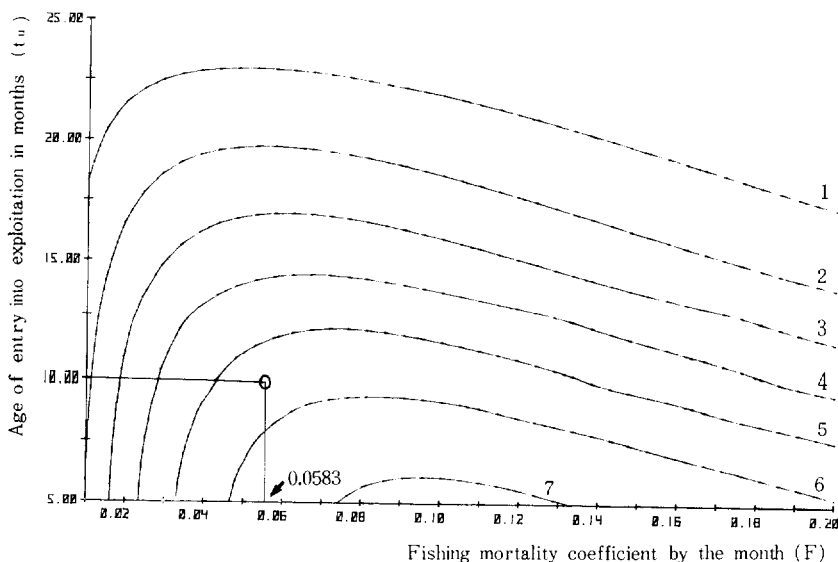


Fig. 10 The yield isopleth diagram of the mantis-shrimp in Osaka Bay. (1) The isopleth represents the magnitudes of yield in grams (Y_w/R) in each condition. The point P represents the present condition. (calculated from formula (19))
 $M = 0.0666/\text{month}$ $W_\infty = 99.38$ $K = 0.0664$ $t_0 = 0.665$ $t_s = t_r = 5$ $t_e = 27$

すなわち、漁獲開始月令 t_s は常に加入月令 t_r と同じ5ヶ月であり、縦軸は利用開始月令 t_u を示す。月令 t_s から t_u までの間は漁獲死亡係数 F も加わって資源は減少するが、漁獲量には計上されない。Fig. 10 から判断すると、利用開始月令 t_u を引き下げない限り、現在の F の水準は、ほぼ最大漁獲量を与えるものである。

通常の漁獲開始が利用開始であるとするモデル、すなわち、加入月令 t_r が5ヶ月とし、漁獲開始 t_s が利用開始 t_u と同時とした等漁獲量曲線を、Fig. 11 に示す。計算式は次のとおりである。

$$Y_w/R = F \cdot W_{\infty} \cdot e^{-M(t_s - t_r)} \sum_{n=0}^3 \frac{\Omega_n \cdot e^{-nK(t_s - t_0)}}{F + M + nK} \cdot \{1 - e^{-(F+M+nK) \cdot (t_u - t_s)}\} \quad (20)$$

すなわち、加入後利用開始まで(19式)は Z で減少し、(20式)は M で減少する式である。

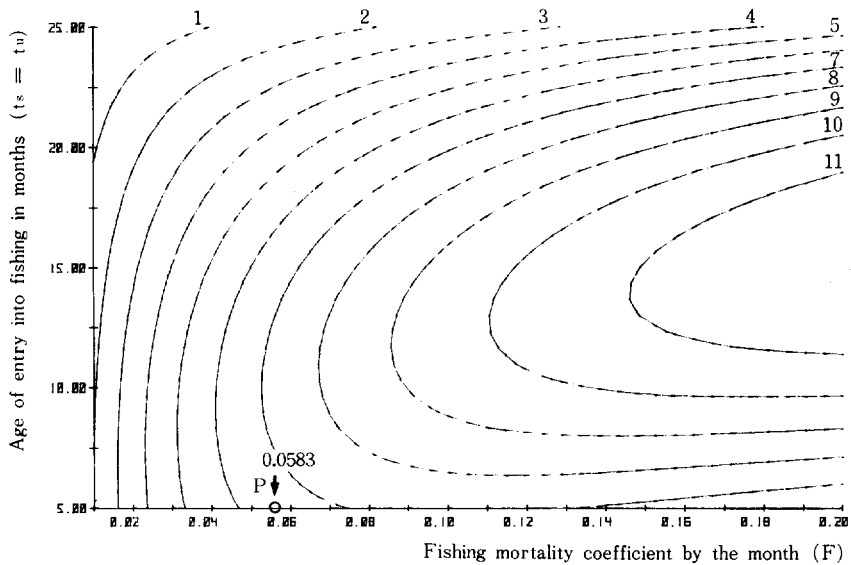


Fig. 11 The isopleth diagram of the mantis-shrimp in Osaka Bay. (2)
 The isopleth represents the magnitudes of yield in grams (Y_w/R) of each F and t_s ($=t_u$).
 The point P represents the present condition. (calculated from formula (20))
 $M=0.0666/\text{month}$ $W_{\infty}=99.38$ $K=0.0664$ $t_0=0.665$ $t_r=5$ $t_u=27$

投棄されるものも含んだ総漁獲量を増加させるには、漁獲開始期 t_s を月令で10~14ヶ月に引き上げ、また漁獲努力量を増やすのがよいことになる。ただし、漁獲開始期を引き上げなければ、漁獲努力を増大させることによって増える漁獲量は、わずかであり、しかも Fig. 10 に見るように、利用できるシャコの漁獲量は増加しない。すなわち、増加する部分は、現状では投棄される小型のシャコである。

大阪湾のシャコの漁獲量は1972~'77年の間で447~719 tonであった³⁾。平均値としては、558 tonである。Table 3 に示すように、加入量が100万尾の場合の漁獲量は5,543.6 kgであるので、558 tonの漁獲がある場合の加入量は、

$$1,000,000 \text{尾} \times \frac{558 \text{ton}}{5.54 \text{ton}} = 100,700,000 \text{尾}$$

Table 4. The estimation of mantis-shrimp stock in Osaka Bay.

$N_0=85.2 \times 10^6$, other parameters and symbols are the same as those in Table 3.

(units : 10^6 and ton)

Age in years	0		I	II	Total
Calendar month	Nov.—Mar.	Apr.—May	Jun.—May	Jun.—Aug.	
Condition of fishery	Recruit and Discards		Exploitation		
N_s	100.7	53.9	42.0	9.4	
N_E	(21.8)	5.6	15.2	1.4	22.2
Y_w	(102.3)	67.3	419.7	71.4	558.4
N_D	24.9	6.4	17.4	1.6	50.3
N_E	53.9	42.0	9.4	*6.5	

となる。同様にひきのぼしを行ない、Table 4 に示す。すなわち、月令で5ヶ月となる11月に加入する尾数は100,700,000尾であり、翌年の3月までにこのうちの21,800,000尾が漁獲され投棄される。4月(月令10ヶ月)には53,900,000尾が存在する。利用される尾数の合計は22,200,000尾である。加入尾数の22.0%が利用されている。

7. 資源診断

資源状態が健全であるのか乱獲であるのかについて、再生産力の減少割合から検討した。再生産力の指標としては総産卵数を用いた。他に判断基準がない場合、一般的な再生産曲線の形からいって、再生産力が処女資源の50~70%の間にあるのが適正な資源状態であり、70~100%では未開発、50%以下では乱獲であるといわれている¹⁰⁾。総産卵数Eは次式で計算される。

$$E = \frac{R}{2} \left(e^{-t_1 Z} \cdot P_1 + e^{-t_2 Z} \cdot P_2 \right) \quad (21)$$

ここで、Rは加入尾数、 t_1 、 t_2 は加入後1才および2才の産卵期までの月数、Zは全減耗係数(月単位)、 P_1 、 P_2 は1才および2才の産卵数である。

また、単位努力当り漁獲量の指標となる、漁獲対象の年平均資源尾数 \bar{P}_N 、年平均資源重量 \bar{P}_W は BEVERTON¹²⁾によると次のとおりである。但し、投棄サイズも含む。(年単位で計算)。

$$\bar{P}_N = \frac{R}{Z} \left\{ 1 - e^{-(F+M) \cdot (t_e - t_s)} \right\} \quad (22)$$

$$\bar{P}_W = R \cdot W_\infty \sum_{n=0}^3 \frac{\Omega_n \cdot e^{-nK(t_s - t_0)}}{F + M + nK} \cdot \left\{ 1 - e^{-(F+M+nK) \cdot (t_e - t_s)} \right\} \quad (23)$$

年平均漁獲尾数 Y_N 、年平均漁獲重量 Y_W は次のとおりである。投棄サイズは除く。月単位で計算した。

$$Y_N = R' \cdot \frac{F}{F + M} \cdot \left\{ 1 - e^{-(F+M) \cdot (t_e - t_u)} \right\} \quad (24)$$

$$Y_W = F \cdot R' \cdot W_\infty \cdot \sum_{n=0}^3 \frac{\Omega_n \cdot e^{-nK(t_u - t_0)}}{F + M + nK} \cdot \left\{ 1 - e^{-(F+M+nK) \cdot (t_e - t_u)} \right\} \quad (25)$$

ここで $R' = e^{-(F+M) \cdot (t_u - t_s)}$ である。

Table 5. Calculated numbers for the assessment of the stock conditions. (calculated from formulas (21)–(25))
 $R=10,000$ $t_1=7$ $t_2=19$ $M=0.799/\text{year}$ (0.0666/month) $P_1=62,000$ $P_2=124,000$ $t_s=5$ $t_u=10$ $t_e=27$
 $W_{\infty}=99.38$ $K=0.0664$ $t_0=0.665$

Fishing mortality coefficient by the year (F)	Total numbers of spawned egg (E) ($\times 10^6$)	Average stock size in numbers during a year (\bar{P}_N)	Average stock size in weight during a year (\bar{P}_W) (kg)	Equilibrium annual catch in numbers (Y_N)	Equilibrium annual catch in weight (Y_W) (kg)
0.0	370	9,627	192	0	0
0.1	333	8,986	172	551	16
0.2	301	8,410	155	1,000	28
0.3	272	7,888	139	1,364	37
0.4	247	7,417	126	1,655	44
0.5	225	6,989	114	1,885	49
0.6	205	6,600	103	2,065	53
0.7	187	6,246	94	2,203	56
0.8	171	5,922	85	2,304	57
0.9	157	5,626	78	2,376	58
1.0	145	5,355	71	2,422	58
1.1	139	5,227	68	2,438	58
1.2	123	4,876	60	2,457	57

以上の式にもとづいて計算した結果を Table 5 に示す。加入量 $R=10,000$ とし、成長式は前と同じものを用い他の係数の値は表頭に示した値を用いた。この表から $F=0$ の時の総産卵数 E 、年平均資源尾数 N 、年平均資源量 W をそれぞれ 100 とした相対値を計算し、Fig. 12 に示した。この図から判断すると、現在の $F=0.669$ は総産卵数すなわち再産産力が処女資源の50%に近い位置にある。同時に、これ以上 F を増大させても漁獲重量が大きくは増大しない位置である。従って、現在の漁獲水準はシャコにとってほぼ適正な状態であると判断できよう。しかしこれ以上の漁獲努力の増大は好ましくない。一方、Fig. 10 の等漁獲量曲線からも、利用開始月令を下げなければ、現在の F はほぼ最大の漁獲量を上げる水準にあると言えよう。

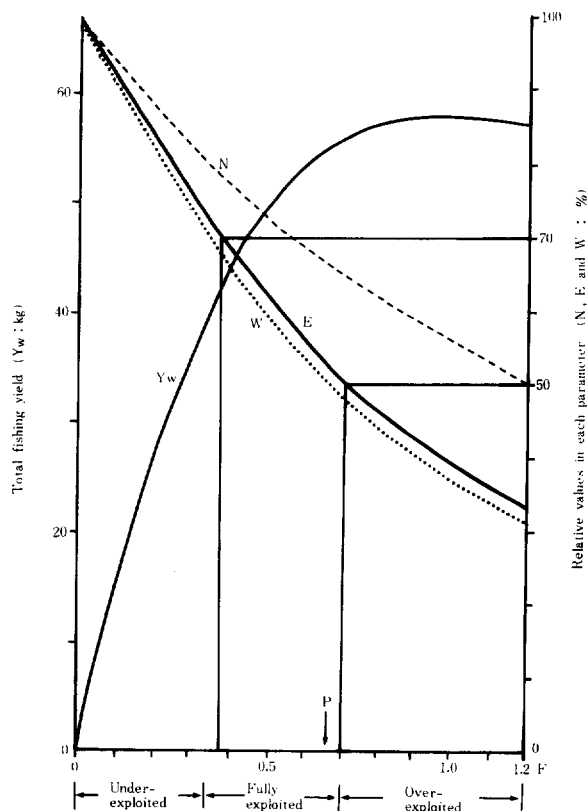


Fig. 12 Theoretical diagrams for the assessment of stock conditions. (calculated from formulas (21)–(25)) Parameters are the same as those in Table 3.

N : mean annual population size in numbers

W : mean annual population size in weight

E : numbers of total egg spawned by the population

Y_w : total fishing yield in weight (exclusive of discards) when the number of the recruitment is ten thousands

F : fishing mortality coefficient by the year

論 議

大阪府のシャコの漁獲量については、Table 6 に示すように1956年から統計が得られている。ただし1963年迄は「その他の水産動物」として分類されているがこれはすべてシャコであると説明されている。(1963年2月付の内海区水研林資源部長宛の大阪水産統計課長の回答文書による。)したがって大阪府では、かなり古くからシャコが漁獲されていたようである。しかし瀬戸内海の多くでは、岡山県のように比較的近年になって食用とされるようになった。(福岡県豊前海、愛媛県燧灘等での聞き取りによる。)大阪府の20年以上の水揚統計から見ると、大阪湾のシャコは年変動はあっても、比較的安定した資源と言えよう。

Table 6. Annual catch of mantis-shrimp in Osaka prefecture.

		(ton)			
Year	Catch	Year	Catch	Year	Catch
		1960	399	1970	399
		'61	249	'71	498
		'62	571	'72	622
		'63	365	'73	445
		'64	434	'74	403
		'65	509	'75	433
1956	397	'66	559	'76	402
'57	337	'67	675	'77	502
'58	445	'68	291	'78	
'59	308	'69	527	'79	

大阪湾の環境悪化や、漁獲強化の影響により、小型底曳網の漁獲物は、高級魚種の減少や小型化により質の低下が著しい¹⁶⁾。その中で比較的安定していたシャコは、小型底曳網の主要な対象魚種の一つとなり、それに対する漁獲努力は近年増大する傾向にあるので今後の変化には注意せねばならないだろう。

成長曲線の推定は資源解析の中で重要な部分であるが、今回の報告では、まだ検討が不充分な点がある。KUBO *et al.*⁴⁾ は体長組成を HARDING¹⁷⁾ の方法によって正規分布に分解し、群分けを行ない、それぞれ対応する群をまとめてつなげることによって、成長曲線を求めている。HARDING の方法または CASSIE¹⁸⁾ の方法による体長組成の正規分布への分解は、標本数が多く、度数分布の級分けを多くし、各群がかなり正規分布に近い分布をしている場合は、うまくゆぐが、そうでない場合は、正規確率紙上での変曲点の位置の決定が微妙であり、客観的な群識別ができない。最近は大規模計算機を用いてくりかえし近似計算によって、体長組成を年齢組成に分ける方法が提唱されているが、各群の分散が大きい場合や、データが正規分布から大きくはずれている場合等はやはりうまく分解できないようである(嶋津)¹⁹⁾。シャコの体長組成資料では、一般に、年齢別のはっきりしたピークが出現せず、HARDING 法を適用した場合、群を多く分けすぎる傾向が見られる。そのために、KUBO *et al.* の結果は成長が遅く、寿命は長く推定していると思われる。加入以前の成長については、標本採集が困難なことから、まだはっきりしない点がある。KUBO *et al.*⁴⁾、千田ら²⁾ は筆者らの見解より半年～1年遅いと見ている。

成長の季節変化を無視して解析したが、季節により成長の遅速があるようである。現時点では研究者により見解が異なる。すなわち、千田ら⁶⁾ は冬期も活発に摂餌していると報告しているが、原ら⁵⁾ は12月～4月の成長は遅く、4～6月の成長は急速であるとしている。林・辻野¹⁾ は肥満度の変化から、産卵後の8月頃が、脱皮・成長が一番盛んであろうとしている。

筆者らは、本論文をまとめる過程で、多くの研究者の意見を参考にし、モデルの変更を行ってきた

が^{20),21),22)}, 現在の知識水準は必ずしも充分でない。なお, 千田ら^{2),6),7)} はシャコの体長として, 穿孔法のために telson の中央の切込み後端までを測定している。前段までを測定する標準体長より, 約 1.2%長いと言う。しかし他の資料と比較する場合に, 問題とする程の値ではない。

自然死亡係数 M および全減耗係数 Z は非常に簡便な方法で推定しており, 今後より詳細な調査が必要である。その他, 産卵期, 投棄されるもの, 漁獲努力, 交尾や産卵期の移動と関連した生態等についての知見は充分とは言えず, これらをあきらかにするとともに資源解析のモデルに組み込んで行く必要がある。

要 約

大阪湾のシャコについて既存の資料を中心に生活史を整理し, 入手可能な限られた資料をもとに資源状態の概要を推定した。またそれを用いて, 資源診断を行なった。

1. 平均的な成長曲線は, 次式を推定した。(Fig. 5)

$$L_t = 19.57 \{1 - e^{-0.0664 (t - 0.665)}\}$$

L_t : t 時の体長 (単位: cm), t : 月令, $t=0$ は 6 月

また, 産卵は 1 才および 2 才で行ない, 2 才の産卵後寿命となる。(Fig. 6)

2. 開発初期の資源状態を示していると考えられる 1967 年の岡山県のシャコの漁獲物の銘柄組成を年令組成に変換し, それを年令別資源重量 (biomass), と見なした。それから処女資源の年間生残率 $S=0.45$ を推定し, それに対応する $M=0.799$ を自然死亡係数とした。(Fig. 7) 一方, 試験操業による漁獲物標本を, 推定された成長曲線によって年令組成に分割し (Table 2), それから全減耗係数 $Z=1.467$ を求めた。

推定された自然死亡係数と, 年令別産卵数から, 平衡条件を前提として, 加入以前の死亡係数 $M' + M_0$ についても検討した。(Fig. 9)

3. 成長および減耗に関する推定された係数を用いて, 生活史のモデル (Fig. 6) にそって計算し, 大阪湾の漁獲量から, 実際の資源の動態を計算した。(Table 4).
4. 以上の係数をもとに, 資源診断図表 (Fig. 12) を作製し, シャコにとっては現在の漁獲水準は, ほぼ適当な状態であろうと判断した。

文 献

- 1) 林凱夫・辻野耕實, 1978: 大阪湾産シャコの漁業生物学的研究. 大阪水試研究, 5, 116—135.
- 2) 千田哲資・清水昭・原田徳之, 1969 a: 岡山県東部におけるシャコ漁業. 岡山水試昭43事業報告, 5—12.
- 3) ANON. 1980: 瀬戸内海漁業灘別漁獲統計累年表. 中四国農政局 (監修), 227 pp.
- 4) KUBO, I., S. HORI, M. KUMEMURA, M. NAGANAWA and J. SOEDJONO, 1959: A biological study on a Japanese edible mantis-shrimp, *Squilla oratoria* DE HAAN. J. Tokyo Univ. Fish., 45(1), 1-25.
- 5) 原武士, 他, 1963: 東京湾産シャコについて. 東京水試調研要報, 38(II), 1—22.
- 6) 千田哲資・清水昭・原田徳三, 1969 b: シャコの食性, 特に共食いについて, 岡山水試昭43事業報告, 13—19.
- 7) 千田哲資・清水昭・原田徳三, 1969 c: 瀬戸内海のシャコ卵巣の季節変化. 同誌, 20—29.
- 8) 千田哲資, 1967: 瀬戸内海におけるシャコ幼生の出現と垂直分布. 日水誌, 33(6), 508—512.
- 9) 土井長之, 1977: メキシコ産アワビの資源診断. 日本水産資源保護協会, 月報(154), 5—13.
- 10) 土井長之, 1972: 実戦数理資源学概論. 第3部, 東海区水研, 61—98.
- 11) 土井長之, 川上武彦, 1979: 日本近海産スルメイカの生物生産と漁業の管理. 東海水研報, 99, 65—82.
- 12) BEVERTON, R. J. H. 1954: Notes on the use of theoretical model in the study of the dynamics

- of exploited fish populations. Miscel. Cont. No. 2. U. S. Fish. Lab., Beaufort, North Carolina 138 pp.
- 13) BEVERTON, R. J. H. and S. J. HOLT, 1957: On the dynamics of exploited fish populations. H. M. Stationery Off., London, Fish. Invest., Ser. II, 19, 533 pp.
 - 14) 土井長之 1978: 鯨の体重所論. 鯨研究通信, 318, 57-64.
 - 15) ANON. 1957-1978: 大阪府水産統計年報. (1956-1977), 農林省大阪統計情報事務所.
 - 16) 林凱夫, 1974: 大阪湾の漁場環境と底生生物相について. 大阪水試研究, 4, 42-75.
 - 17) HARDING, J. P. 1949: The use of probability paper for the graphical analysis of polymodal frequency distributions. K. Marine Biol. Ass. U. K., 28, 141-153.
 - 18) CASSIE, R. M. 1954: Some uses of probability paper in the analysis of size frequency distributions. Australian J. Marine and Freshwater Res., 5, 513-522.
 - 19) 嶋津靖彦, 1980: 体長組成から年令組成を推定する一方法. 昭和54年度GSK(西日本底魚)会議報告, 水産庁, 36-46.
 - 20) 石岡清英, 1978: 大阪湾のシャコ資源の解析(予報). 昭和52年度同誌, 36-48.
 - 21) 石岡清英・土井長之・林凱夫・吉田俊一, 1978: 大阪湾シャコの資源解析と資源診断. 昭和52年度関西国際空港漁業環境影響調査報告, 第三分冊, 漁業生物編, 日本水産資源保護協会, 471-487.
 - 22) 石岡清英, 1980: 資源量推定の考え方について—大阪湾のシャコを例として. 昭和54年度南西海区ブロック内海漁業研究会報告, 南西水研, 85-92.