

東京湾におけるシャコの資源管理  
に関する基礎的研究

大 富 潤

1

東京湾におけるシャコの資源管理  
に関する基礎的研究

( Studies on the Stock Management of the Mantis Shrimp  
Oratosquilla oratoria in Tokyo Bay )

指導教官

東京大学教授 清水 誠

東京大学大学院農学系研究科水産学専攻

大富 潤



# 目 次

序 章	1
0. 1 はじめに	1
0. 2 研究の背景と東京湾のシャコ漁業	2
第1章 成熟と産卵	13
1. 1 材料と方法	13
1. 2 結果	15
1. 2. 1 成熟個体出現頻度の季節変化	15
1. 2. 2 GI-体長関係の季節変化	17
1. 2. 3 体長階級別成熟個体出現頻度の季節変化	17
1. 3 考察	20
第2章 加入完了後の成長と寿命	27
2. 1 材料と方法	27
2. 2 結果	29
2. 2. 1 体長組成	29
2. 2. 2 平均体長の経時的移行	32
2. 2. 3 加入完了後の成長	32
2. 2. 4 寿命	40
2. 3 考察	44
2. 3. 1 体長組成解析の限界	44
2. 3. 2 脱皮の時期と寿命	46
第3章 加入完了前の理論成長と成長パラメータの推定	49
3. 1 モデル	50
3. 1. 1 加入完了前の成長	50
3. 1. 2 生涯の成長	52
3. 2 東京湾のシャコへの適用	52
3. 2. 1 着底から加入完了までの間の脱皮回数の推定	52
3. 2. 2 加入完了前の脱皮成長	56
3. 2. 3 生涯の成長と成長パラメータの推定	56
3. 3 考察	62

第4章	その他の生物学的特性	67
4. 1	材料と方法	67
4. 2	結果と考察	68
4. 2. 1	漁獲個体の性比の季節変化	68
4. 2. 2	成長段階による漁獲個体の性比の違い	70
4. 2. 3	肥満度の季節変化	70
第5章	資源の分布と小型底曳網漁場との関係	75
5. 1	材料と方法	75
5. 2	結果	81
5. 2. 1	個体数分布	81
5. 2. 2	重量分布	81
5. 2. 3	標識放流実験	84
5. 2. 4	小型底曳網漁場	84
5. 3	考察	86
5. 3. 1	春から夏にかけての分布の南偏	86
5. 3. 2	資源の分布と小型底曳網漁場との関係	88
5. 3. 3	漁獲の影響を受けない個体数割合	90
第6章	産卵場	95
6. 1	材料と方法	95
6. 2	結果と考察	97
6. 2. 1	2回の産卵盛期	97
6. 2. 2	主産卵場	99
第7章	生残率と死亡係数の推定	106
7. 1	推定方法	106
7. 1. 1	自然死亡係数	106
7. 1. 2	生残率と漁獲係数	107
7. 2	東京湾のシャコにおける推定値	109
7. 2. 1	自然死亡係数	109
7. 2. 2	漁獲対象資源の生残率と死亡係数	109
7. 2. 3	資源全体の生残率と死亡係数	116
7. 3	考察	118



第8章 海上投棄を考慮した修正漁獲量と資源量の推定	120
8. 1 材料と方法	121
8. 2 結果と考察	124
8. 2. 1 海上投棄後の死亡率	124
8. 2. 2 海上投棄による死亡量と修正漁獲量	131
8. 2. 3 資源量	139
第9章 資源の診断	144
9. 1 資料と方法	145
9. 2 銘柄組成解析	145
9. 2. 1 出荷個体中に占める大型個体の割合	145
9. 2. 2 銘柄別L P U Eの経年変化	147
9. 3 等漁獲量曲線	151
9. 4 成体減少比	152
9. 5 考察	157
第10章 目合の規制による効果の検討	159
10. 1 網目試験の漁具と方法	160
10. 2 基本モデル	161
10. 3 結果	162
10. 3. 1 漁獲量と体長組成	162
10. 3. 2 海上投棄による資源の逸失の計算	167
10. 4 考察	172
第11章 総合考察	174
11. 1 シャコ的生活史	174
11. 2 問題点と今後の課題	175
摘要	178
謝辞	183
文献	185

# 序 章

## 0. 1 はじめに

ヨーロッパでは、1902年に国際海洋開発理事会 (International Council for the Exploration of the Sea; ICES) が発足したのを契機に主に底魚を対象として水産資源研究の急速な発展がみられた。その刺激を受けてわが国においても研究が盛んになったが、対象資源は魚類が中心であった。このように、約1世紀にわたる発展の主軸となった研究の多くは魚類資源を中心の対象としたものであり、水産資源学の歴史は魚類資源研究の歴史といつても過言ではない。

わが国のみならず、世界各国で多種多様な甲殻類が水揚げされ、食用とされている。それにもかかわらず、魚類に比べると甲殻類資源に関する研究例は極めて少なく、現時点での資源の解析あるいは評価の技術は必ずしも十分なものではない。その原因としては、以下の3点が考えられる。①年齢形質がなく、また脱皮による成長をするので従来の年齢査定法による成長の解析、成長パラメータの推定ができない。②しばしば商品価値のない小型の個体が大量に海上投棄されるので、漁獲死亡に関する正確な推定値が得られ難い。③同一漁業で多種が混獲されることが多いため、種ごとの漁獲圧力の評価が困難である。

甲殻類はこのような資源特性あるいは漁業上の特性を持っているが、魚類資源を対象に発展した理論的な解析や評価の技術がそのまま甲殻類に流用されているのが現状である。しかしながら、本来は対象資源の特性を十分に考慮したかたちでの解析が望まれる。そこで本研究は、現在東京湾で最も優占



する甲殻類であるシャコ *Oratosquilla oratoria* ( De Haan ) を対象として、その生物学的特性および漁業上の特性を把握した上で資源の解析、診断を行うこと、さらに適正な資源管理方策構築のための手がかりを得ることを目的とした。

なお、本論文の第1章から第4章では資源の生物学的特性のいくつかを明らかにする。第5章と第6章では資源の時空間的動態の解明を試みる。そして、それらの研究により得られた知見をもとに第7章から第9章において資源の定量解析と診断を行い、現状の把握と今後の管理目標についての議論を行う。さらに、第10章では管理目標達成のための一規制手段を提案する。

## 0. 2 研究の背景と 東京湾のシャコ漁業

シャコはわが国各地の沿岸域、黄海、東シナ海に分布し、特に内湾の泥底質の海域に多くみられる甲殻類である。本種は、石狩湾、仙台湾、東京湾、伊勢湾、大阪湾、その他の瀬戸内海各地、博多湾などで漁獲対象資源としての経済価値が認められ、小型底曳網や刺網などの漁業の重要対象種の一つとなっている。とりわけ東京湾では小型底曳網の主対象種となっており、本種の経済価値はかなり高い。都道府県別の農林水産統計年報の中で「しゃこ」としての統計があるのは、東京、神奈川、愛知、大阪、岡山、広島、香川、徳島の8都府県であった。そのうち、東京都では1970年代半ばを境に以後水揚げ量は皆無になっている。1984年から1986までの3年間の平均値でみた年間水揚げ量の上位5府県はTable 0. 1に示す通りであり、東京湾を漁場とする神奈川県は第3位に位置している。

本種の生物学的研究は Komai (1920) の精巣に関する解剖学的研究に始まり、Komai (1924)、Shiino (1942) の発生についての研究などがその後

Table 0.1 Ranking of average annual  
prefectural landing of the nantis  
shrimp from 1984 to 1986

Rank	Prefecture	Landing ( t )
1	Aichi	1,381
2	Kagawa	936
3	Kanagawa	856
4	Osaka	643
5	Hiroshima	564



続く。また、Komai and Tung (1929) は天然幼生の記載を行った。高松ほか (1966) は卵の孵化および幼生飼育を試み、成体型幼生にまで飼育することに成功した。Matsuura and Hamano (1984) は巢穴の選択性を、Hamano and Matsuura (1984) は産卵保育行動を室内飼育実験により明らかにした。また、Hamano and Matsuura (1986a, 1987a, 1987b) は、それぞれ最適餌サイズ、卵径・保育期間・幼生の形態と大きさ、実験室生まれのシャコの成長を明らかにした。さらに、Hamano (1988) は交尾行動を明らかにした。山崎・富士 (1980) は陸奥湾のシャコの生殖周期、山崎 (1985) は食物摂取に関する生理学的研究を行った。

本種の化学的研究には、菊池ほか (1966) の東京湾のシャコの脂質組成に関する研究などがある。

一方、本種の資源生物学的研究は、石狩湾では依田 (1972)、浜野・永井 (1989)、伊勢湾では愛知県水産試験場 (1972)、大阪湾では林・辻野 (1978)、石岡ほか (1981)、紀伊水道では上田ほか (1988)、瀬戸内海 (播磨灘) では千田 (1967)、千田ほか (1969a, 1969b, 1969c)、博多湾では Hamano and Matsuura (1986b, 1987b, 1987d)、Hamano et al. (1987)、および Hamano (1990) による研究がある。海外では、中国の董らによって東シナ海の大陸棚およびその周辺の漁場調査において本種が漁獲されたことが報告されているのみで (董ほか, 1986)、資源生物学的研究はみられない。

東京湾では、シャコはすでに戦前から主要漁獲対象資源として漁業者に利用されていた (鈴木, 1971)。Fig. 0, 1 に、神奈川県農林水産統計年報より調べた横浜市および現在県下でシャコ水揚げ量が最も高い横浜市漁業協同組合柴支所 (以下、柴漁協) の本種水揚げ量の経年変化を示す。東京湾では、1960年代半ばごろまでは横浜市子安浜根掘の小型底曳網漁船による水揚げが主であった。その当時の資源については、東京水産大学の久保ら (Kubo et al., 1959)、東京都水産試験場の原ら (原ほか, 1963)、神奈川県水産試験場の夏八木ら (夏八木・今井, 1969) などの研究がある。子安浜では1969年に漁業権を放棄したので、以後水揚げの中心は柴漁業協同組合 (現在の柴漁協) 所属の小型底曳網漁船になる。しかしながら、1970年代初期になると高度経済成長に伴う水質の悪化が起り、東京湾のシャコ水揚げ量は激減し、

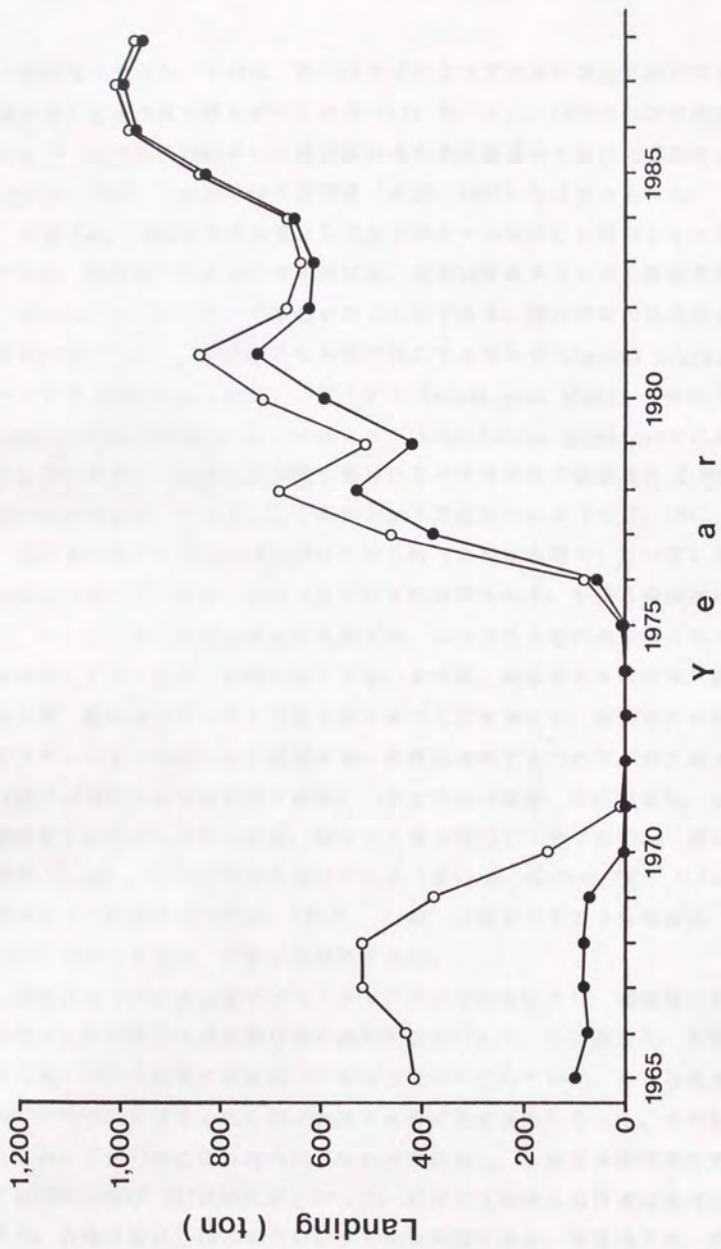


Fig. 0.1 Annual landings of the mantis shrimp of Yokohama City Fishermen's Cooperative Association (O) and the Shiba Branch (●) in Tokyo Bay.



一時皆無になった。その後、同年代半ばになって水揚げ量は急激に回復し、柴漁協では近年高水準を保っている (Fig. 0. 1)。1970年代には研究はみられず、回復後の1980年代には神奈川県水産試験場の中田による幼生の分布 (中田, 1986)、成長に関する研究 (中田, 1987) などがみられる。

柴漁協は、1982年以降単協として県下のシャコの実に9割以上を水揚げしている。柴漁協でのシャコの水揚げは、現在54隻ある5tの小型底曳網漁船 (ビームトロール) によるものがほとんどであり、湾内神奈川県水面全域が漁場になっている。同漁協では本種の他にマコガレイ *Limanda yokohanae*、マアナゴ *Conger myriaster*、アイナメ *Hexagrammos otakii*、イシガレイ *Kareius bicoloratus*、あるいはスズキ *Lateolabrax japonicus*などを対象にしているが、小型底曳網漁船1隻当たりの年間水揚げ金額は約2,000万円といわれており、そのうち約7割がシャコで占められる (中井, 1983)。

柴漁協所属の小型底曳網漁船は午前5時 (冬期は5時半) に一齐に出港し、漁場に到着すると曳網→揚網→仕分けを数回繰り返す。午後3時前後に帰港し、シャコ以外の魚種は直ちに出荷する。シャコは自宅の作業場に持ち帰り、自家加工する。まず、大型の釜で煮る。その後、漁業者とその家族、臨時雇人が一緒になってハサミで殻を切り取ってむき身にし、銘柄別に小型のプラスチックケースにつめて出荷する。銘柄は全部で5つあり、特大は8個体 (稀だが特に大きな個体は7個体)、大と中は10個体、㊦は11個体、小は12個体を1枚のケースにつめる。特大と大は大型のケース (縦23cm、横13cm、深さ1.5cm)、それ以外は小型のケース (縦21cm、横10cm、深さ1.5cm) を使用する (柴漁業協同組合, 1990)。なお、1枚当たりの平均単価は400~500円程度であるが、大きな銘柄ほど高い。

水揚げ量の単位を上記のプラスチックケースの枚数とし、柴漁協におけるシャコ水揚げ量および出漁日数の経年変化をFig. 0. 2に示した。本種水揚げ量は、1960年代後半はほぼ $10^5$ 枚の水準で安定していた。しかしながら、1970年代初期になると先に述べた通り水揚げ量は皆無になった。その後急速に回復して1977年には以前の約5倍の水準に達し、以後も水揚げ量は増加して1980年以降は $10^6$ 枚の水準となった。現在でも本種水揚げ量は漸増状態にある。出漁日数は、1970年代初期から増加状態にある。柴漁協では、水揚げ



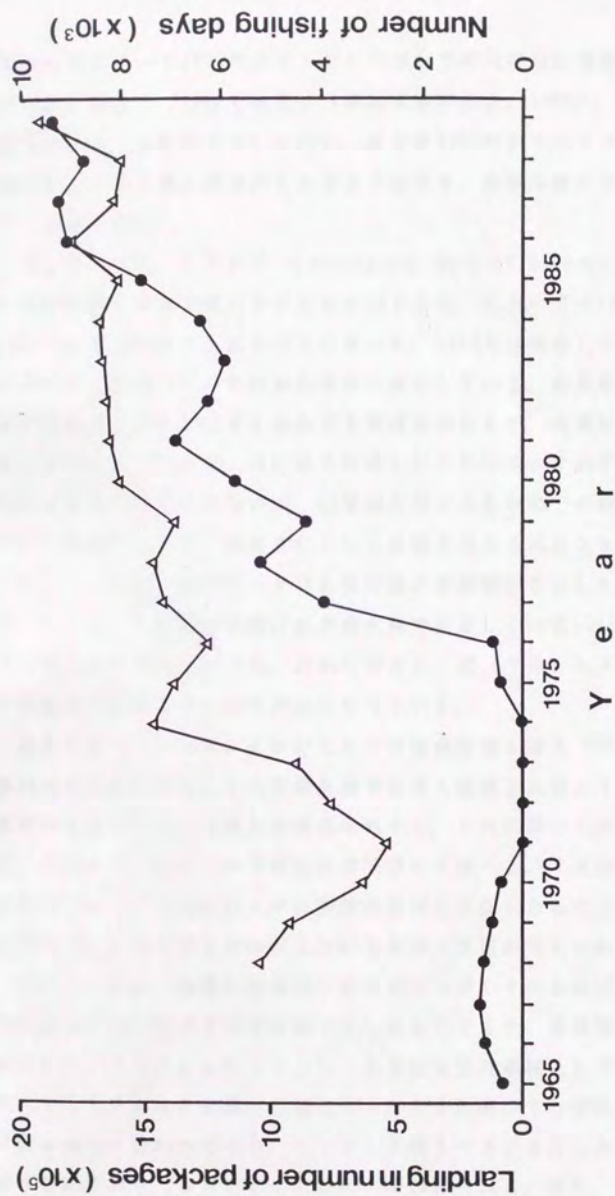


Fig. 0.2 Annual landings of the mantis shrimp (●) and number of fishing days of small bottom trawlers from the Shiba Branch of Yokohama City Fishermen's Cooperative Association (△) in Tokyo Bay.

量の急増に伴って1977年から1日1隻当たりの出荷枚数制限（現在は2人乗りの船の場合で250枚であるが（柴漁業協同組合，1990）、市場の事情や乗組員数によって変動する）を行い、さらに1978年から2日出漁したら1日休漁するという2操1休方式をとるようになり、資源保護に努めるようになった（天田，1982）。

Fig. 0. 3は、LPUE（Landing per Unit of Effort；1日1隻当たりの出荷枚数）の経年変化を示したものである。LPUEは1970年代に急増し、1986年には200枚を上回るようになった。1977年以降のLPUEの変化は、その年の1隻当たりの平均出荷枚数に対応している。出荷制限枚数はもちろん資源量の大小によっても変化する可能性があるが、市場における需要等にも左右される。Fig. 0. 3にみられるLPUEの増加は必ずしも資源量水準の向上を示すものではないが、近年は少なくとも市場での需要を満たすには十分な漁獲がみられ、漁業者にとっては魅力のある漁業となっている。

Fig. 0. 4は、最近のシャコ水揚げ量の季節変化を示したものである。なお、Fig. 0. 4は年間水揚げ量が高水準で安定している1981年から1985年までの5年間の平均をとった。月別にみると、夏（7月）と冬（12月）にピークがあり、逆に3月と10月が谷になっている。

春から夏（4～8月）にかけてシャコは産卵期を迎え（第1章参照）、漁場内の分布量も増加して小型底曳網でも多く漁獲されるようになる。やがて、産卵期を過ぎて秋になると分布量は減少し、それに伴って水揚げ量も減少する。なお、分布量については第5章で詳しく述べる。7月のピークと10月の谷はこのように漁場内のシャコ資源の密度に対応したものと考えられるが、12月のピークおよび3月の谷については別の原因が考えられる。

Fig. 0. 5は、同様に柴漁協におけるマコガレイの水揚げ量の季節変化を1981年から1985年までの平均値で示したものである。柴漁協所属の小型底曳網漁船はシャコとともにマコガレイも重要漁獲対象種としており、シャコ、マコガレイのどちらかを狙って網を曳くかでその時のそれぞれの漁獲量、水揚げ量がかなり変わってくる。マコガレイは7～8月を中心とした夏に多く水揚げされており、3月にも小さなピークがみられる。また、シャコにピークのみられる12月がマコガレイでは谷になっていることがわかる。つまり、冬

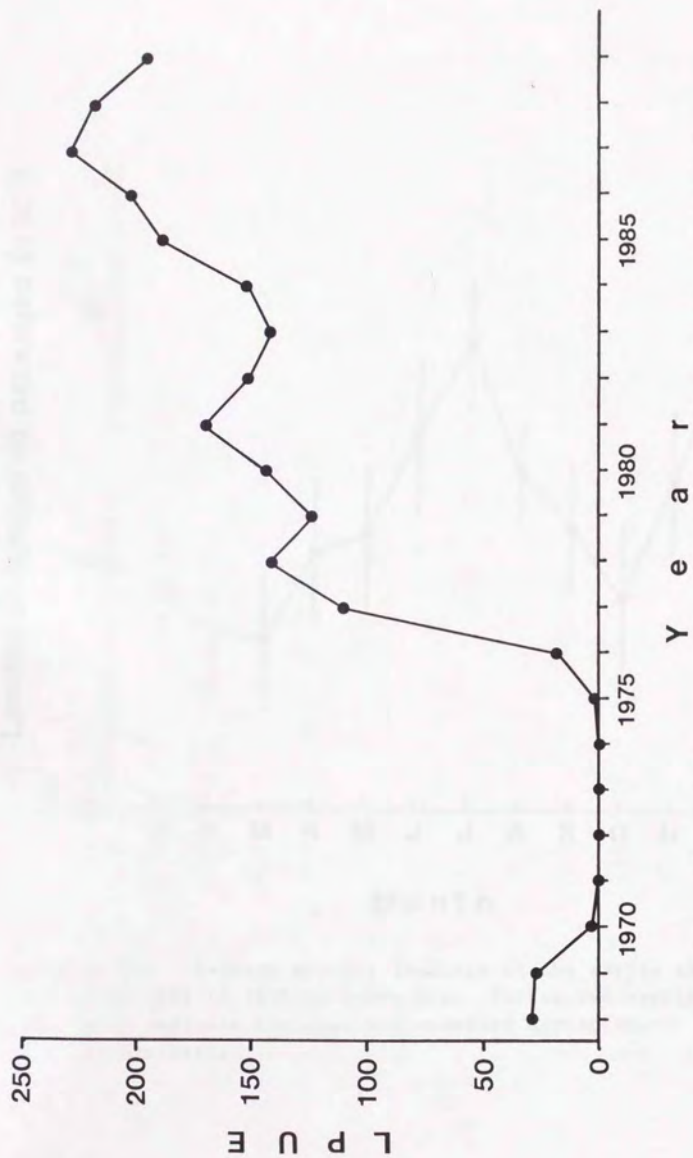


Fig. 0.3 Annual landing per unit of effort ( LPUE ) of the mantis shrimp of small bottom trawlers from the Shiba Branch of Yokohama City Fishermen's Cooperative Association in Tokyo Bay.



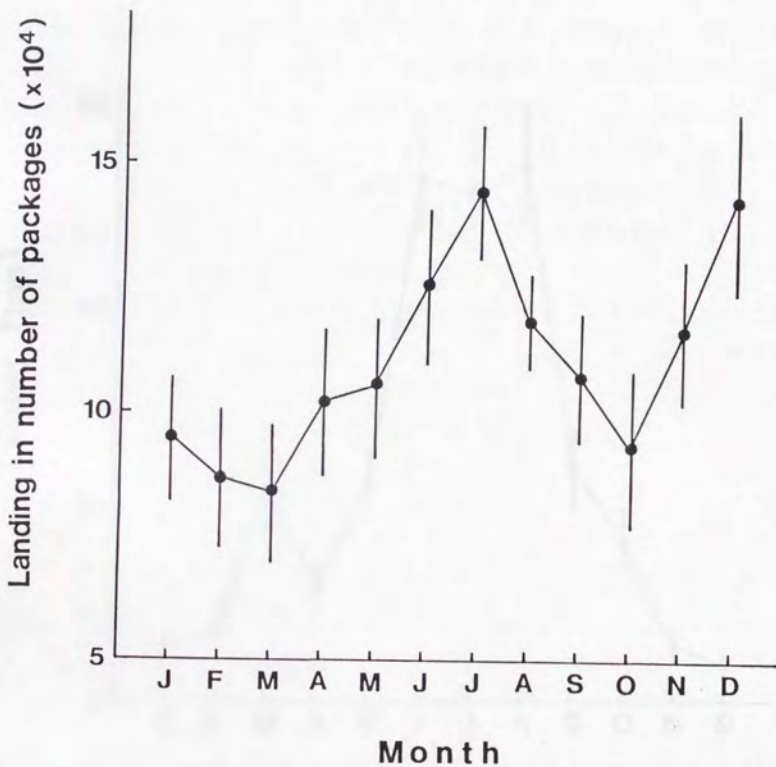


Fig. 0.4 Average monthly landings of the mantis shrimp from 1981 to 1985 in Tokyo Bay. Points and vertical bars indicate the mean and standard deviation, respectively.

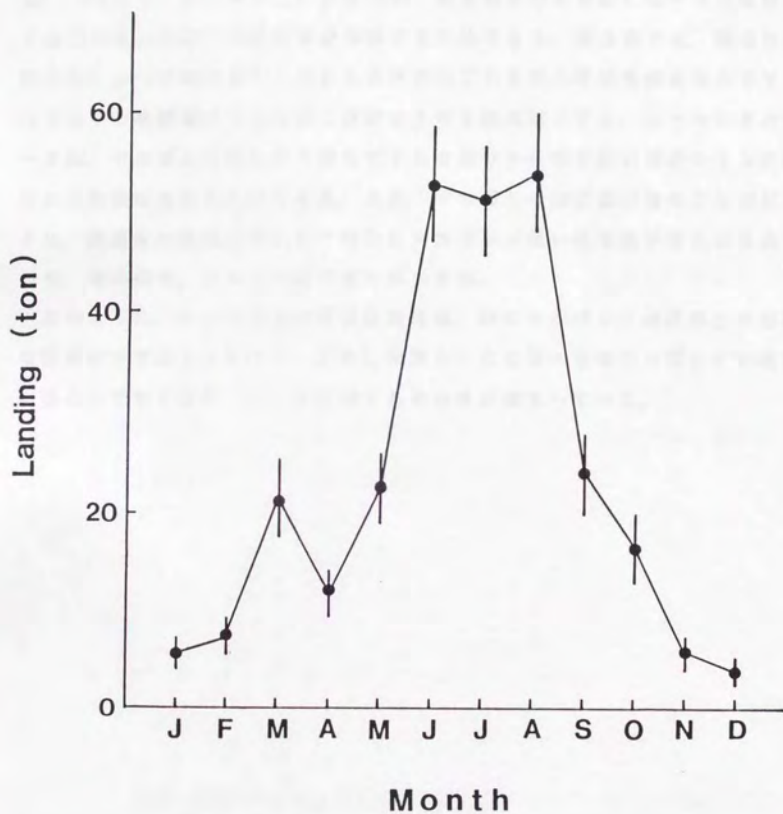


Fig. 0.5 Average monthly landings of the flounder, Linanda yokohamae, from 1981 to 1985 in Tokyo Bay. Points and vertical bars indicate the mean and standard deviation, respectively.

(12～翌3月)はシャコとマコガレイの水揚げ量が対称的になっている。冬は、小型底曳網の漁場内のシャコおよびマコガレイの密度がともに少ない時期である(第5章および朴(1989)参照)。その時期にシャコ水揚げ量が増加(10月から12月にかけて)するのは、冬は漁場内の密度にほとんど関係なく漁業者側の事情で水揚げ量が増減するためである。柴漁協では、厳密な期間は年によって異なるが1月から3月中旬ごろまで小型底曳網漁場の中でマコガレイの産卵場に当たる湾北西岸の水域を禁漁区にする。シャコの冬のピークは、マコガレイがあまり捕れずそれを補うかたちで狙い種がシャコに絞られるために生じるものである。また、マコガレイの水揚げ量の3月のピークは、禁漁区の解禁に伴って一時的にマコガレイ狙いの曳網が増えるためであり、その結果、シャコ水揚げ量は減少する。

このように、シャコの水揚げ状況は他種、特にマコガレイの漁況との密接な関係の下で変化している。しかしながら、ここ2～3年マコガレイの漁況は悪化してきており、シャコに対する依存度が高まっている。



# 第1章 成熟と産卵

本種について、現在のように安定した水揚げを将来も維持していくためには、資源構造を明らかにした上での生物学的特性を基礎とした資源管理が急務と思われる。しかしながら、水揚げ量の回復がみられて以降の資源については、幼生の分布（中田，1986）、および初期成長率、成長と年齢についての報告（中田，1987）がある他は生物学的知見に乏しく、本種資源の実態は明らかではない。そこで、まず本種資源の生物学的特性を明らかにすることを目的として一連の研究を行った。

本章では、雌成熟個体の出現頻度を調べることによって産卵期を明らかにした。なお、産卵場については第6章で述べる。

## 1. 1 材料と方法

1986年8月から1987年4月までの間に柴漁協所属の5 tの小型底曳網漁船に計20回同乗し、1,886個体のシャコを採集した。また、湾内に20の定点を設定し（Fig. 1. 1）、1986年11月から1987年9月までの間に全部あるいは一部の定点で計8回の試験底曳を行い、11,336個体のシャコを採集した。なお、試験底曳は柴漁協所属の小型底曳網漁船を備船し、漁業を行う際と同じ漁具を用いて行った。漁具は、網口の高さが0.6m、幅が5.5mで目合が5 cm、袋網の目合が3 cmの一種のビームトロールである。曳網速度は約2 ktで、

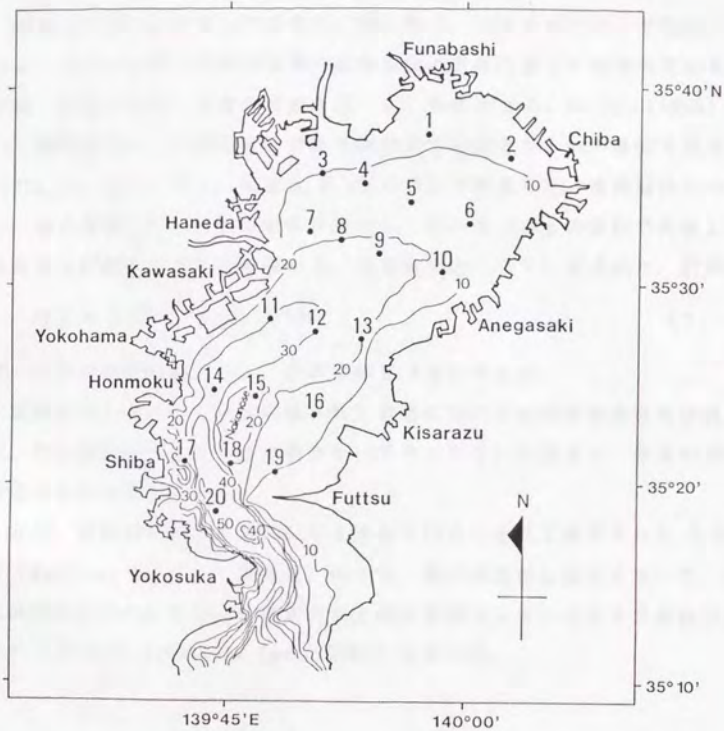


Fig. 1.1 Location of 20 sampling stations in Tokyo Bay. Large and small numbers indicate stations and water depth in m, respectively.

試験底曳の曳網時間は10分間（漁具が海底に着底して曳網を開始してから、揚網のために船が停止するまでの時間）とした。

採集した個体は氷蔵して研究室に持ち帰り、10%ホルマリンで固定、保存した。各個体は第3歩脚前基部の雄性突起の有無によって雌雄の判定を行った後、体長の測定、体重の秤量を行った。体長は Kubo et al. (1959) に習い、額角基部から尾節中央の切込み前端までの長さを1mmの単位で測定した (Fig. 1, 2)。また、体重は0.1gの単位で秤量した。産卵期推定のために、雌の個体について卵巣全体を摘出し、それを0.1gの単位で秤量した。体重および卵巣重量の秤量値から、生殖腺指数 (GI) を求めた。計算式は、

$$GI = (GW/BW) \times 100 \quad (1.1)$$

で、GWは卵巣重量 (g)、BWは体重 (g) である。

試験底曳において、多数漁獲された定点については漁獲個体数を計数した後、無作為抽出により一部の個体を10%ホルマリンで固定し、体長の測定、体重の秤量を行った。

なお、産卵期の解析には1982年4月から12月にかけて採集された2,649個体 (Martinez-Vergara, 未発表) のうち、雌の測定値も併せて用いた。また、本研究の中での計算は主に東京大学大型計算機センターのSAS統計計算パッケージ (SAS Institute Inc., 1985) を用いた。

## 1. 2 結 果

### 1. 2. 1 成熟個体出現頻度の季節変化

千田ほか (1969c) によると、雌でGIが20以上の個体は産卵直前にあり、GIが10以上の個体も産卵まで遠くない。そこで、ここではGIが10以上の



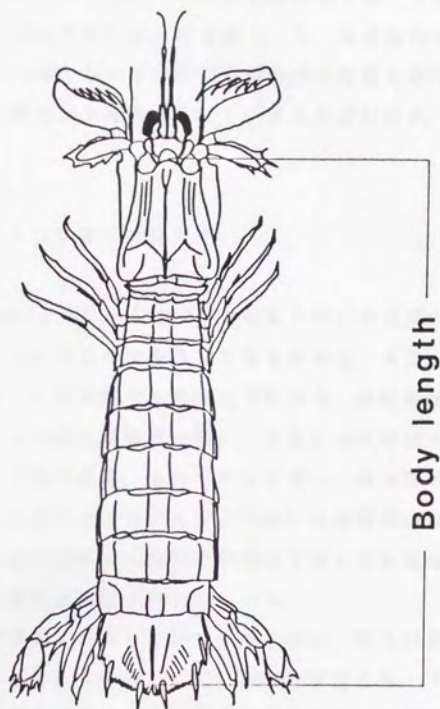


Fig. 1.2 Measurement method of the body length of the mantis shrimp.

個体を成熟個体と考え、雌の成熟個体の出現頻度の季節変化をFig. 1. 3に示す。これをみると、3月から8月にかけて比較的高い頻度を示すことがわかる。またその間、1986年は8月以降のデータのみであるが、1982年には5月、7月、8月にピークがみられ、1987年には4月下旬、8月にピークがみられる。1982年の5月と7月の間の谷は深く、7、8月間の谷は浅い。両年ともに6月から7月上旬にかけて一度成熟個体の出現頻度が下降していて、概ね4～5月、7～8月の2峰性を示していることがわかる。

#### 1. 2. 2 GI-体長関係の季節変化

Fig. 1. 4は、1986年10月から1987年9月までの12カ月間の雌のGIと体長の関係を月ごとに示したものである。これをみると、4月から8月の間が最も生殖腺が発達している時期であることがわかる。成熟個体は1月に出現しはじめるが、1～2月の出現頻度は低い。3月にやや増加するが、この時期の産卵個体はごく少数である。4月中旬になると、かなりの個体が成熟するようになる。7月から8月上旬にはGIの低い大型個体が目だつようになるが、これは産卵直後の個体の出現頻度が増加することを意味すると考えられる。9月になると成熟個体は出現しなくなる。

成熟個体の出現頻度およびGIの変化の様子から、現在の東京湾のシャコの産卵期は4～8月と考えられる。また、1982年には5月、7～8月、1987年には4月、8月と産卵期中に2回の盛期が存在する。両年とも9月には産卵は終了しており、それは1986年でも同様である。

#### 1. 2. 3 体長階級別成熟個体出現頻度の季節変化

Fig. 1. 4をみると、1987年において1月にはGIが10を上回る最小の体長（成熟体長）は約12cmである。それが2月には約11.5cm、3月には約11cm、また4月には約9.5cmになり、7月には約8cmになる。このように、成熟体

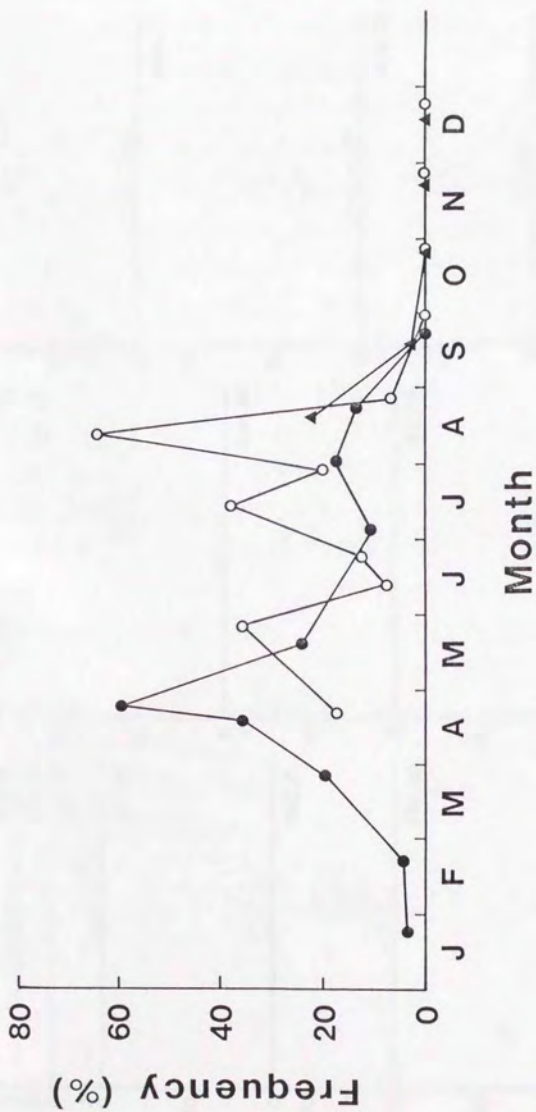


Fig. 1.3 Percentage frequency of mature females of the mantis shrimp above 8 cm in body length in Tokyo Bay. ○ 1982; ● 1986; ▲ 1987.



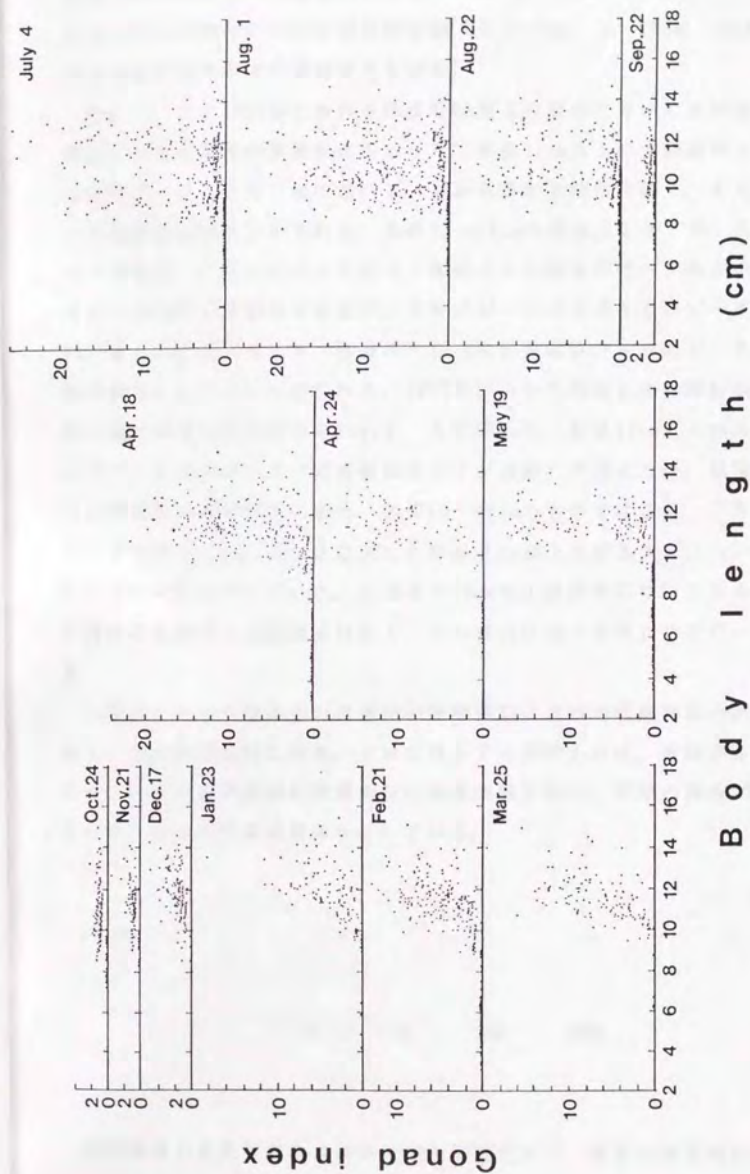


Fig. 1.4 Relationships between body length and gonad index of females of the mantis shrimp in Tokyo Bay.

長は経時的に小さくなる傾向にある。そこで、1982、1987の兩年について体長8cm以上の個体について体長階級別(8~10cm、10~12cm、12cm以上)に成熟個体の出現頻度の季節変化をみた。

Fig. 1, 5に1987年における体長8cm以上の個体について体長階級別に成熟個体の出現頻度の季節変化を示した。体長12cm以上の大型個体は4月下旬に高いピーク、8月下旬に低いピークがあるが2峰性は弱く、4月下旬のピーク以後漸減傾向とみられる。体長10~12cmの個体は4月下旬、8月上旬にピークをもつ2峰性を示しており、後者よりも前者のピークの方が高い。体長8~10cmの小型個体では逆に、8月のピークの方が4月のピークよりも高い。またFig. 1, 4より、体長8~10cmの小型個体の4月のピークはごく少数の個体によるものと思われる。1982年について同様に体長階級別に成熟個体の出現頻度の季節変化をFig. 1, 6に示した。体長12cm以上の大型個体では5月に最大のピーク(採集個体の全てが成熟)を迎えた後、以後成熟個体の出現頻度が漸減傾向にある。体長10~12cmのものでは5月、7月、8月にピークがあり、Fig. 1, 3に示した体長8cm以上の個体全てについてのものと大差ない変化をしている。体長8~10cmの小型個体についてみると、4~6月の成熟個体の出現頻度は低く、7~8月になってはじめてピークを迎える。

いずれの年も大型のものは最初の産卵盛期における成熟個体の出現頻度が高く、以後漸減傾向にある。それに対して小型のものは、最初の産卵盛期よりも2回目の産卵盛期に成熟個体の出現頻度が高い。中間の体長10~12cmのものはそれらの中間的傾向を示している。

### 1. 3 考 察

成熟個体の出現頻度およびGIの季節変化から、現在の東京湾のシャコの

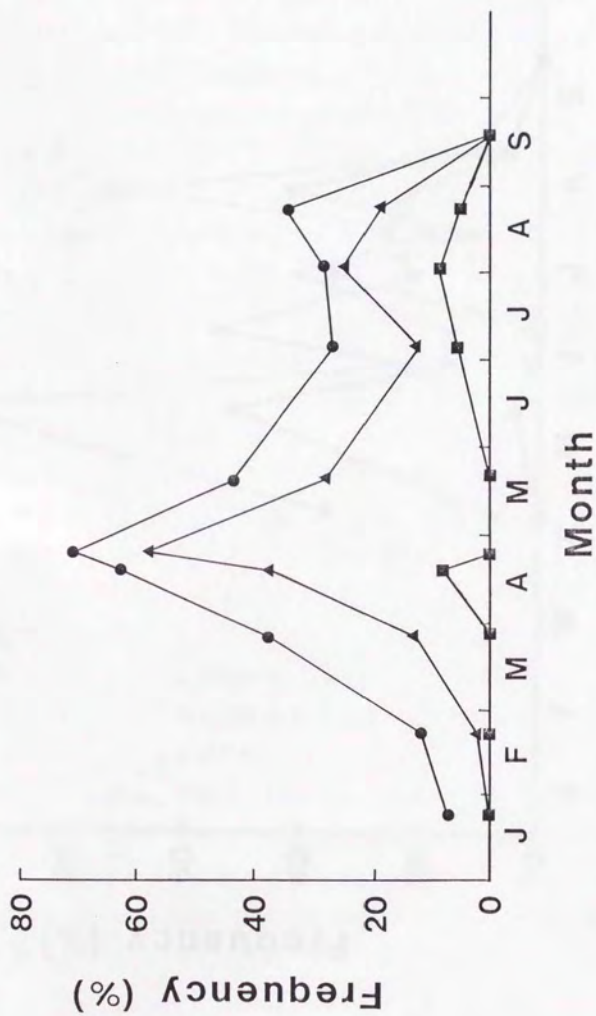


Fig. 1.5 Percentage frequency of mature females of the nantis shrimp by body length class in Tokyo Bay in 1987. ■ 8~10 cm; ▲ 10~12 cm; ●  $\geq 12$  cm.



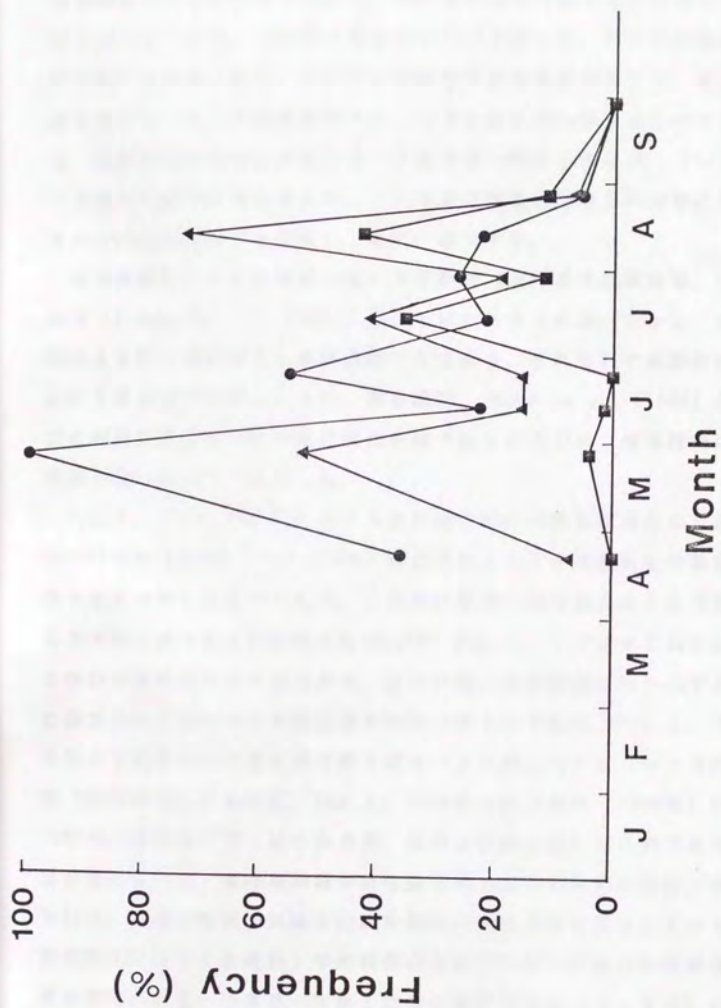


Fig. 1.6 Percentage frequency of mature females of the mantis shrimp by body length class in Tokyo Bay in 1982. Data from Martinez-Vergara (unpublished). ■ 8~10 cm; ▲ 10~12 cm; ●  $\geq 12$  cm.

産卵期は4～8月と考えられる。産卵盛期は年により若干変化し、1982年では5月と7～8月、1987年では4月と8月であった。いずれの年も産卵盛期は2回に分かれており、それぞれの盛期で成熟体長が異なる。最初の産卵盛期である4～5月の成熟個体のほとんどは体長10cm以上のものである。その後、産卵直後の個体の出現によって産卵は一時低下するが、7～8月になって2回目の産卵盛期を迎える。この時期は体長10cm以上の個体に加え、体長8～10cmの小型個体も成熟し、産卵に参加する。

体長階級による成熟時期の違いは伊勢湾（愛知県水産試験場，1972）や博多湾（Hanano et al., 1987）のシャコにもみられる。しかし、現在の東京湾のように一産卵期中に産卵盛期が2回あり、それぞれで成熟体長が異なるという報告はこれまでにない。東京湾で、Kubo et al. (1959) が体長階級別に卵巣重量の平均値の経月変化を調べたところでは、体長階級による成熟時期の違いはみられなかった。

Fig. 1. 7に、1987年における産卵期中の雌の体長組成を示した。なお、図中の曲線はHasselblad (1966) の方法によって体長組成を年齢群ごとの正規分布に分解したものである。この年の最初の産卵盛期は4月下旬であった。4月下旬における成熟体長は約10cmで、Fig. 1. 7では全て右の山に属する。2回目の産卵盛期は8月であり、この時期の成熟体長は約8cmである。8月に採集された個体の大半は体長8cm以上のものであり、Fig. 1. 7で左の山に属する個体もその多くが成熟可能サイズに達している。シャコの成長の解析（次章参照）によれば、Fig. 1. 7の左の山は前年（1986年）に生まれて1987年の産卵期で満1歳になる群、右の山は満2歳になる群である。現在の東京湾において、産卵期の前半は生後2年目以上の高齢の個体が成熟し産卵を行う。高齢の個体では徐々に成熟個体の出現頻度が減少していくが、産卵期の後半になって生後約1年の個体が産卵に加わり2回目の産卵盛期を迎えると考えられる。つまり、生後1年目の産卵期後半（7～8月）に最初の産卵を行う。

東京湾では、1920年代には抱卵個体が5月中旬から7月上旬にかけて採集され、最も多いのは5月下旬から6月にかけての期間であった（Komai, 1924）。1950年代の研究（Kubo et al., 1959）によると、当時の産卵期は

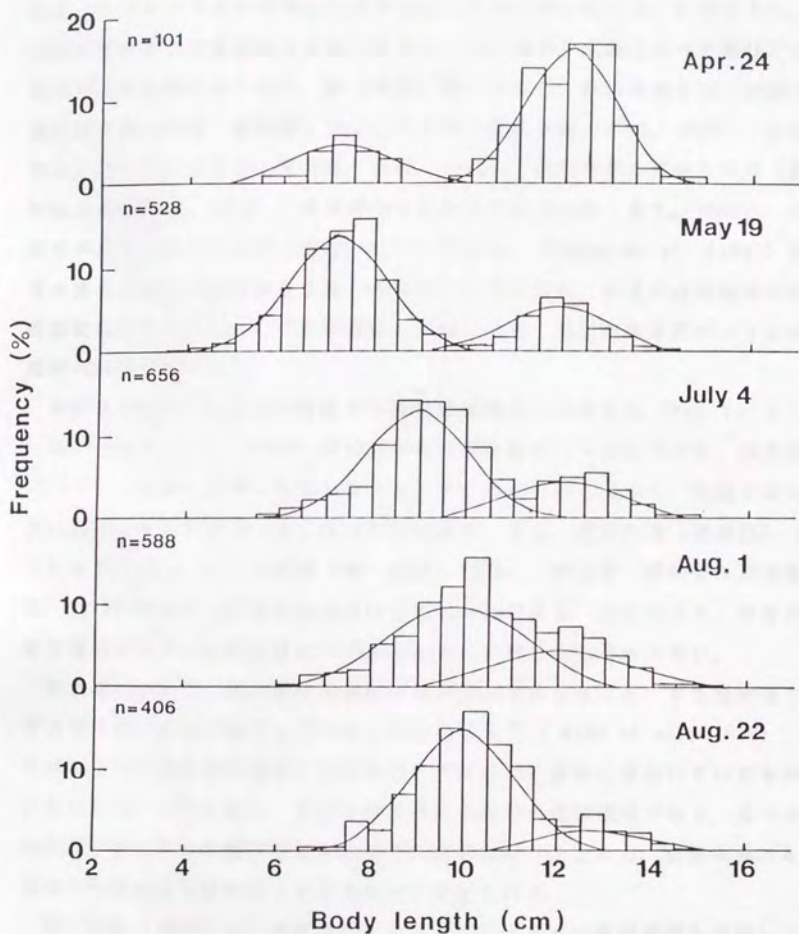


Fig. 1.7 Body length composition of females of the mantis shrimp during the spawning season in 1987.



5月中旬から7月上旬で盛期は6月、1960年代の研究(原ほか, 1963)によると、5月から8月で盛期は5月下旬から7月上旬であった。このように、1960年代以前の産卵盛期は2回ではなかった。また、当時に比べて現在では産卵の開始時期が早くなり、終了時期が遅くなった。他の海域では、本種の産卵期は瀬戸内海(播磨灘)が5月中旬から8月下旬(千田, 1967)、大阪湾が5月中旬から9月上旬(林・辻野, 1978)、伊勢湾が5月から9月(愛知県水産試験場, 1972)、陸奥湾が6月から7月(山崎・富士, 1980)、石狩湾が6月上旬から中旬(依田, 1972)である。Hanano et al. (1987)は博多湾のシャコの産卵期を4月から9月としているが、4月の成熟個体の出現頻度は極めて低い。いずれの海域と比較しても、現在の東京湾のシャコは産卵の開始時期が早い。

本研究ではGIと体長の関係から成熟体長を8cmと考えた(Fig. 1. 4)。一方、Kubo et al. (1959)は1950年代の東京湾のシャコについて、体長が10cm以下の個体は産卵に参加しないとしている。このことから、現在では以前に比べて成熟体長が小さくなったといえる。また、瀬戸内海(播磨灘)(千田ほか, 1969c)、大阪湾(林・辻野, 1978)、伊勢湾(愛知県水産試験場, 1972)のシャコの成熟体長はいずれも9cmである。これらより、現在の東京湾のシャコの成熟体長はいずれの海域と比較してもやや小さい。

東京湾において、1950年代の成熟体長が10cmであったこと、また当時は7月上旬で産卵盛期が終了していたことから考えて(Kubo et al., 1959)、当時は多くの個体が生後約2年を経過してはじめて産卵に参加していたものと思われる。これに対し、現在では8月に2回目の産卵盛期があり、多くの個体が生後1年目の産卵期後半にすでに産卵を行うことから、成熟体長の小型化は産卵開始年齢の低下によるものと考えられる。

林・辻野(1978)は、大阪湾のシャコについて2回の産卵盛期を確認している。それぞれの時期に発生した群を早期発生群、晚期発生群としており、両群は成育後も体長に差があるとしている。しかし本研究では、東京湾において2回の産卵盛期のそれぞれに発生した群の体長差を体長組成から確認することはできなかった(Fig. 1. 7)。産卵中に2回の盛期があっても、変態遅延現象(Hanano and Matsuura, 1987b)、あるいは発生時期によつ

て初期成長速度が異なる可能性があり、今後さらに検討を要するが、着底時期や加入時期に必ずしも産卵盛期に対応した2回の盛期があるとはいえないと考えられる。

## 第2章 加入完了後の成長と寿命

東京湾のシャコについて、中田(1987)は稚シャコの体長組成を複合正規分布に分解し、各峰のモードが各齢期の体長に対応すると考え、稚シャコの齢期と体長の関係を明らかにした。また、同じ論文の中で成体について von Bertalanffy(1938)の成長式の当てはめを行っているが、季節的な周期で実測値と成長曲線にずれがあることからその適合性について再考の余地があると考えられる。

本章では、小型底曳網による漁獲が可能なサイズ、つまり漁獲対象資源としてのシャコの成長について後述の3つのモデルの当てはめを行って適合性を調べるとともに、寿命についての検討も行った。

### 2. 1 材料と方法

成長の解析に用いた材料は、1986年5月から1987年4月にかけて東京湾で採集したものである(Table 2, 1)。1986年5月、11月および1987年2月は試験底曳による採集、それ以外は柴漁協所属の小型底曳網漁船に同乗しての採集である。また、脱皮時期の推定には1986年7月から1989年12月にかけての試料を用いた。漁具の仕様および試験底曳の曳網方法は前章で示した通りである。採集したシャコは氷蔵して研究室に持ち帰り、10%ホルマリンで固定、保存した。また、一部-20℃で凍結保存した個体も本研究に用いた。



Table 2.1 Summary of materials for this study

Sampling date	Number of specimens		
	Female	Male	Total
17 May, 1986	802	774	1,576
12 June, 1986	67	187	254
24 July, 1986	135	107	242
18 August, 1986	125	113	238
17 September, 1986	101	112	213
24 October, 1986	150	107	257
29 November, 1986	212	190	402
17 December, 1986	151	76	227
23 January, 1987	116	121	237
21 February, 1987	334	278	612
25 March, 1987	129	98	227
24 April, 1987	101	130	231
Total	2,423	2,293	4,716

なお、生の個体に対し、10%ホルマリンで固定した後の個体の体長に有意な差はない (Kubo et al., 1959)。各個体は第3歩脚前基部の雄性突起の有無によって雌雄の判定を行った後、体長の測定、体重の秤量を行ったが、本研究には体長の測定値のみを用いた。測定部位等は前章で述べた通りである。本研究に用いた個体数は、雌 2,423、雄 2,293、計 4,716である。また、体長範囲は雌が 2.4~15.4cm、雄が 2.6~15.6cmであった。

体長の測定値から、月別雌雄別に階級幅 5mmの体長組成のヒストグラムを作成した。成長の解析を行うために、雌雄別体長組成をHasselblad (1966)に従って複合正規分布に分解し、各峰のモードの位置を求めた。なお、複合正規分布分解には東京水産大学の田中栄次博士より提供していただいたプログラムを用いた。成長式の当てはめには HP 41 CV calculator (Vakily et al., 1986) および東京大学大型計算機センターのSAS統計計算パッケージ (SAS Institute Inc., 1985) を用いた。

## 2. 2 結 果

### 2. 2. 1 体長組成

東京湾のシャコの体長組成を、Kubo et al. (1959)の研究にある1950年代のものと、水揚げ量が高水準で安定している現在のものとで比較してみる。

まず、1986年5月から1987年4月にかけての月別体長組成をFig. 2. 1に示す。次に、1950年代半ばの月別体長組成 (Kubo et al. (1959)による)をFig. 2. 2に示す。これらを比較すると、現在に比べて1950年代のほうが大型の個体の出現割合が高かったことがわかる。現在では出現の少ない体長14cm以上の個体が以前はかなり出現していたことを示すため、両図とも便宜的に体長14cm以上の部分を黒く塗ってある。なお現在の体長組成は、1960年

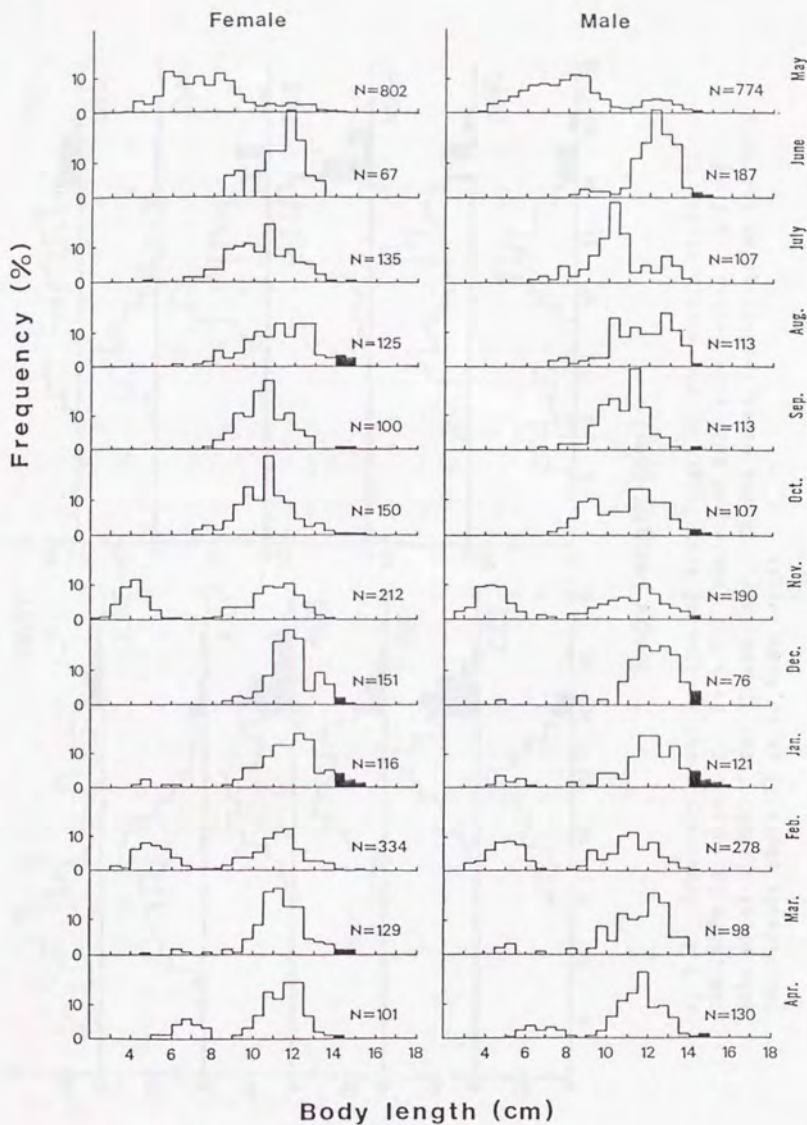


Fig. 2.1 Frequency distributions of body length of the mantis shrimp by sex in Tokyo Bay. Shaded parts in histograms indicate individuals above 14 cm in body length.



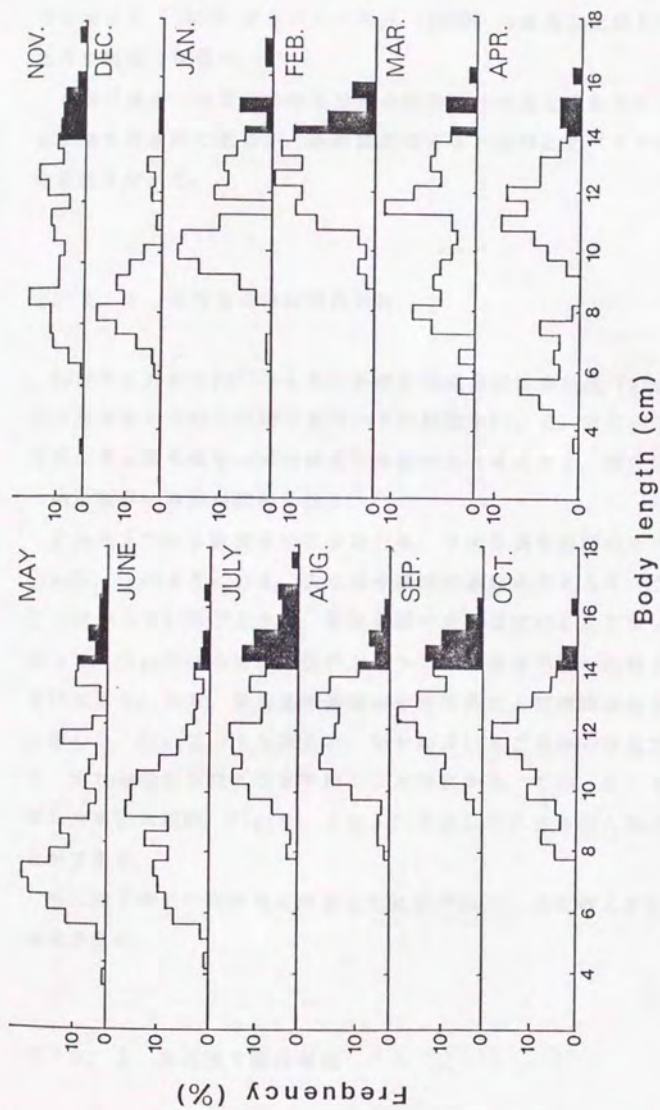


Fig. 2.2 Frequency distributions of body length of the mantis shrimp in the 1950s in Tokyo Bay. Data for female and male were pooled. (From Kubo et al., 1959: Figs. 12 and 13). Shaded parts in histograms indicate individuals above 14 cm in body length.

代の原ほか(1963)や夏八木・今井(1969)の結果と比較しても、大型の個体の出現割合は低い。

水揚げ量が一時皆無になる以前の時期に比べると現在のシャコの水揚げ量はかなり高水準にあるが、体長組成で見ると当時に比べて大型個体の出現割合は低くなった。

## 2. 2. 2 平均体長の経時的移行

1986年5月から1987年4月にかけての雌雄別体長組成(Fig. 2. 1)を複合正規分布に分解した時の各モードの位置をFig. 2. 3に示す。各モードの位置が各月各年齢群の平均体長に対応すると考えると、図中破線で結んだ3つの年齢群の存在が認められる。

これら3つの年齢群をつなぎ合わせ、平均体長を経時的にプロットするとFig. 2. 4のようになる。異なる年齢群の連結点である4、5月間が滑らかにつながっていることから、年齢群間の成長差はほとんどないと考えられる。従って、Fig. 2. 4は加入後のシャコの平均体長の移行の様子を表したものとしよう。なお、各月各年齢群の平均体長および標準偏差をTable 2. 2に示した。Fig. 2. 1をみると、シャコは11月ごろから体長5cm前後で加入し、それが翌年5月ごろまで続くことがわかる。このことより、11月から翌年5月を加入期間、Fig. 2. 4のJ\*で示した6月を加入完了月と考えることができる。

加入完了時の平均体長は雌雄ともに約10cmで、以後雌よりも雄の方がやや成長が良い。

## 2. 2. 3 加入完了後の成長

Fig. 2. 5は、加入の完了する6月(Fig. 2. 4のJ\*)以降の雌雄別の平均体長を経時的にプロットしたものである。加入完了後のシャコの成長を

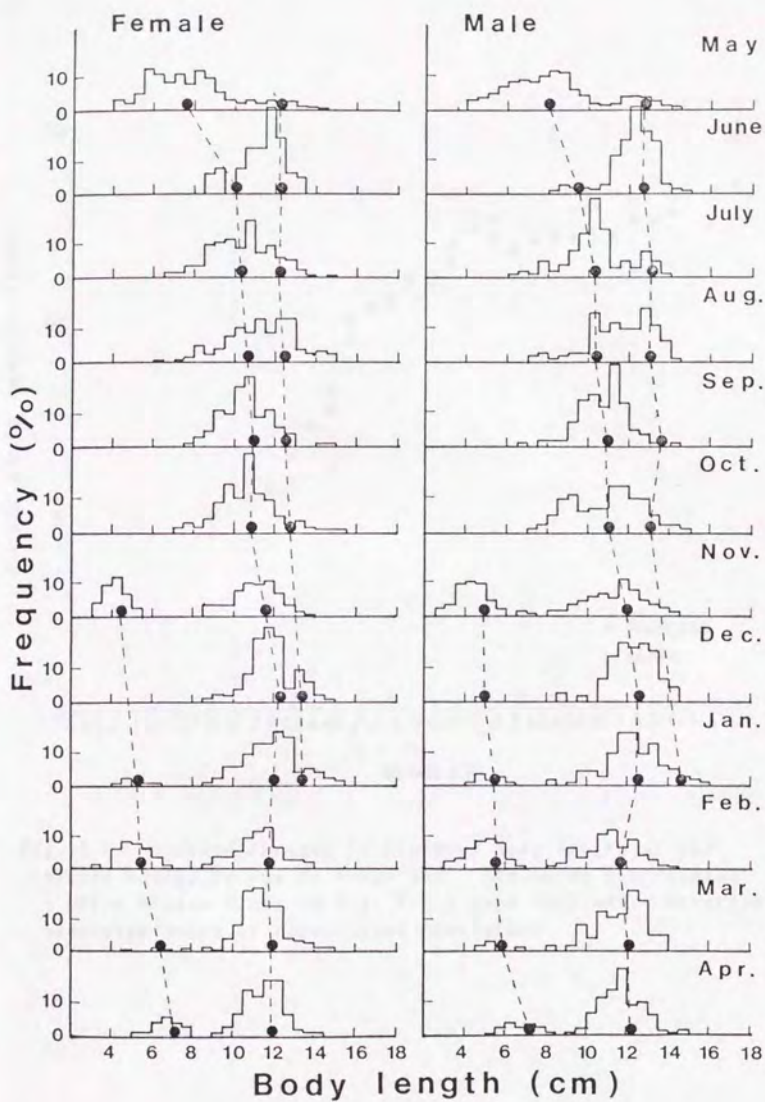


Fig. 2.3 Frequency distributions of body length of the mantis shrimp by sex in Tokyo Bay. Points show the means of the normal distributions.



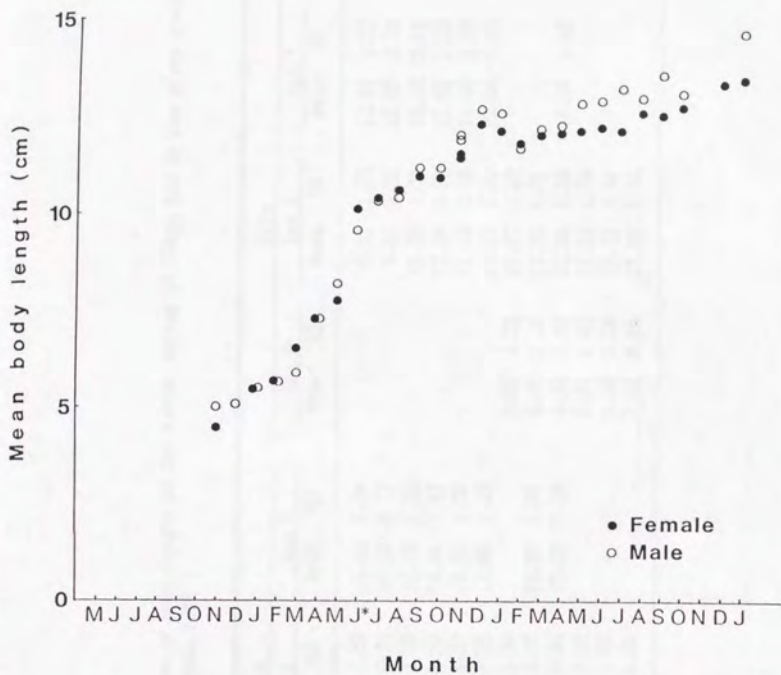


Fig. 2.4 Monthly changes in the mean body length of the mantis shrimp by sex in Tokyo Bay. The three year-class (three broken lines in Fig. 2.3) were combined. Asterisk indicates month of recruitment completion.

Table 2.2 Mean and standard deviation of body length of the mantis shrimp in Tokyo Bay by age group analysed using Hasselblad's method ( Hasselblad, 1966 )

Month	Female						Male					
	Age 0		Age 1		Age 2		Age 0		Age 1		Age 2	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
May			7.67	1.53	12.10	1.34					8.17	1.53
June			10.05	0.71	12.16	0.72					9.51	0.52
July			10.32	1.36	12.10	1.29					10.26	1.15
August			10.55	1.59	12.54	1.27					10.36	1.51
September			10.90	1.07	12.47	1.06					11.16	1.14
October			10.88	1.22	12.69	1.23					11.15	1.62
November	4.44	1.28	11.49	1.48			4.97	1.33	11.97	1.52		
December			12.26	1.07	13.26	1.35			5.06	1.16	12.67	1.01
January	5.43	1.39	12.09	1.44	13.36	1.24			5.50	1.44	12.56	1.34
February			5.67	1.12	11.80	1.16			5.64	1.12	11.64	1.34
March			6.49	1.22	11.98	1.06			5.86	1.38	12.15	1.08
April			7.24	1.00	12.02	0.90			7.24	0.85	12.25	1.04

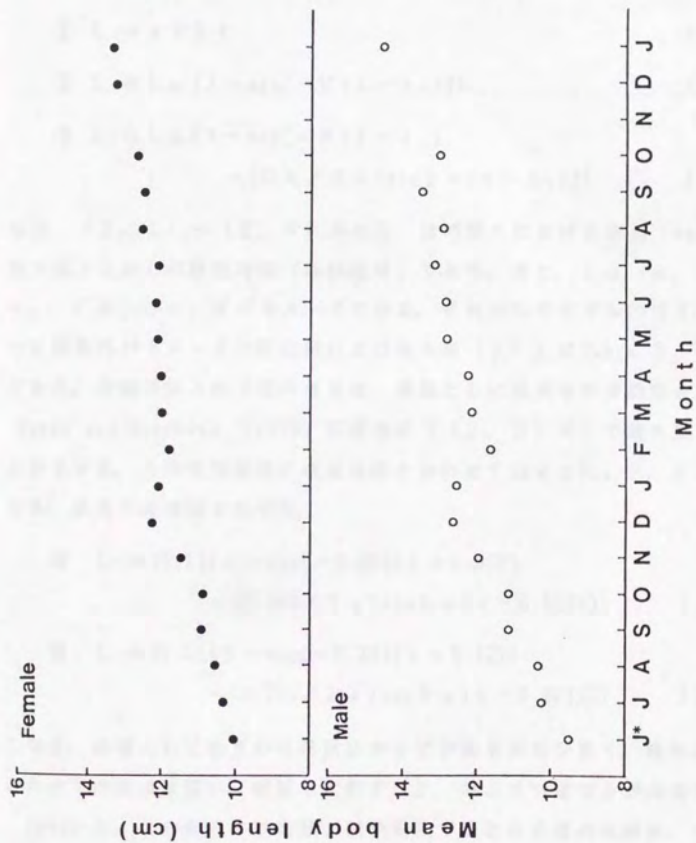


Fig. 2.5 Monthly changes in the mean body length of the mantis shrimp by sex after recruitment completion in Tokyo Bay.



記述するため、加入完了月以降の平均体長に対して以下の3つのモデルの当てはめを雌雄別に試みた。すなわち、①直線式、② von Bertalanffy (1938) の成長式、③ Pauly and Gaschütz (1979) の成長式で、それぞれ以下の通りである。

$$\textcircled{1} L_t = a + b t \quad (2.1)$$

$$\textcircled{2} L_t = L_\infty (1 - \exp[-K(t - t_0)]) \quad (2.2)$$

$$\textcircled{3} L_t = L_\infty (1 - \exp[-K(t - t_0)] - (CK/2\pi)\sin 2\pi(t - t_0)) \quad (2.3)$$

なお、(2.1)～(2.3)式の $L_t$ は時間 $t$ における体長(cm)、 $t$ は加入完了月からの経過時間(単位は年)である。また、 $L_\infty$ 、 $a$ 、 $b$ 、 $K$ 、 $t_0$ 、 $C$ および $t_0$ はパラメータである。それぞれのモデルの当てはめを行った結果のパラメータの推定値および寄与率( $r^2$ )はTable 2.3の通りである。本種の加入完了後の成長は、雌雄ともに成長率の季節差を考慮した Pauly and Gaschütz (1979) の成長式((2.3)式)で最も良く表すことができる。月別平均体長に成長曲線を合わせて示すとFig. 2.6のようになる。成長式は雌雄それぞれ、

$$\text{雌} \quad L_t = 16.12\{1 - \exp[-0.395(t + 2.667)] - (0.486/2\pi)\sin 2\pi(t - 0.323)\} \quad (2.4)$$

$$\text{雄} \quad L_t = 21.51\{1 - \exp[-0.264(t + 2.473)] - (0.232/2\pi)\sin 2\pi(t - 0.281)\} \quad (2.5)$$

となる。雌雄ともに晩夏から晩秋にかけてが最も成長が良く、晩冬から初夏にかけての成長は悪い。雌雄で比較すると、雌よりも雄の方が成長が良い。

Table 2.2の毎月の平均値±標準偏差で表される幅の両端を、平均よりも成長の良い場合および悪い場合の体長と考え、各月の体長の値からそれぞれの成長式を求めると、

成長の良い雌

$$L_t = 17.34(1 - \exp[-0.390(t + 2.877)])$$

Table 2.3 Parameters estimated and coefficient of determination for each model

1	Female	Male	2	Female	Male	3	Female	Male
a	10.48	10.31	$L_{\infty}$	16.42	20.36	$L_{\infty}$	16.12	21.51
b	0.149	0.213	K	0.398	0.312	K	0.395	0.264
$r^2$	0.866	0.859	$t_0$	-2.504	-2.227	$t_0$	-2.667	-2.473
			$r^2$	0.898	0.870	C	1.23	0.88
						$t_0$	0.323	0.281
						$r^2$	0.966	0.910

1. Linear equation.

2. von Bertalanffy equation ( von Bertalanffy, 1938 ).

3. Pauly-Gaschütz equation ( Pauly and Gaschütz, 1979 ).

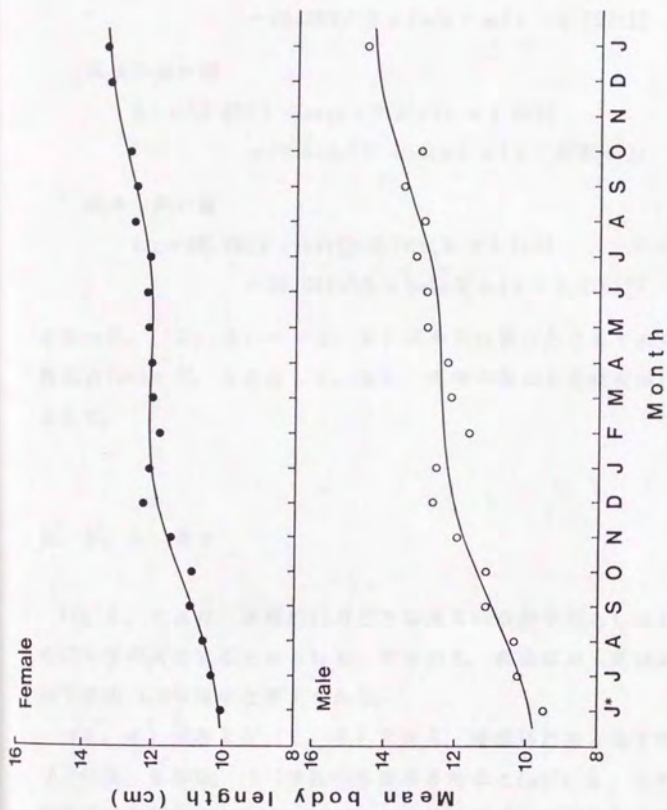


Fig. 2.6 Growth curves of the mantis shrimp after recruitment completion ( J. ) by sex in Tokyo Bay. Data points are the mean body length of each month, estimated from the frequency distributions.



$$- (0.608 / 2\pi) \sin 2\pi(t - 0.277)] \quad (2.6)$$

成長の良い雄

$$L_t = 23.77(1 - \exp[-0.229(t + 2.906) - (0.369 / 2\pi) \sin 2\pi(t - 0.257)]) \quad (2.7)$$

成長の悪い雌

$$L_t = 13.91(1 - \exp[-0.532(t + 2.052) - (0.537 / 2\pi) \sin 2\pi(t - 0.404)]) \quad (2.8)$$

成長の悪い雄

$$L_t = 20.76(1 - \exp[-0.261(t + 2.213) - (0.081 / 2\pi) \sin 2\pi(t - 0.410)]) \quad (2.9)$$

となった。(2.4)～(2.9)式から計算したそれぞれの各月齢の計算体長はTable 2.4に示した。また、雌雄の幅のある成長はFig.2.7に図示した。

#### 2.2.4 寿命

Fig.2.1より、本種は11月ごろ体長5cm前後で加入しはじめ、翌々年の冬に大半が死亡するとみられる。すなわち、寿命は加入開始後約2年、加入完了後約1.5年程度と考えられる。

(2.4)式および(2.5)式から、雌雄別に加入完了時、およびその0.5年後、1年後、1.5年後の体長を求めるとTable 2.5の通りになる。本種は産卵期が長いためTable 2.5のそれぞれの体長に対応する年齢は定め難いが、加入完了月が6月で産卵期(4～8月)の中央に位置することから仮に加入完了時を満1歳とすると、平均体長は満1歳では雌が10.1cm、雄が9.9cm、満2歳では雌が12.1cm、雄が12.6cmということになる。なお、満3歳では雌が13.4cm、雄が14.7cm、満4歳では雌が14.3cm、雄が16.3cmであるが、3歳以上の個体の出現は稀である。2歳の2月まで生きると考えると、

Table 2.4 Body lengths ( $M_{min}$ ,  $M_{mean}$ , and  $M_{max}$ ) of the mantis shrimp in Tokyo Bay at each month calculated from equations ( 2.4 ) - ( 2.9 )

Month	Age	Female			Male		
		$M_{min}$	$M_{mean}$	$M_{max}$	$M_{min}$	$M_{mean}$	$M_{max}$
June	1.0	9.01	10.09	11.13	9.03	9.90	10.81
July		9.08	10.24	11.35	9.23	10.17	11.14
August	1.5	9.26	10.51	11.71	9.46	10.53	11.63
September		9.52	10.85	12.13	9.73	10.95	12.20
October	2.0	9.85	11.22	12.55	10.02	11.38	12.75
November		10.19	11.55	12.89	10.31	11.75	13.20
December	2.5	10.50	11.82	13.12	10.60	12.05	13.49
January		10.74	11.99	13.23	10.87	12.24	13.62
February	3.0	10.90	12.07	13.25	11.09	12.35	13.61
March		10.99	12.08	13.19	11.28	12.39	13.51
April	3.5	11.02	12.05	13.12	11.44	12.42	13.40
May		11.02	12.03	13.09	11.58	12.47	13.36
June	4.0	11.03	12.06	13.13	11.72	12.59	13.47
July		11.08	12.16	13.29	11.88	12.80	13.73
August	4.5	11.18	12.34	13.53	12.06	13.08	14.12
September		11.33	12.57	13.82	12.26	13.40	14.57
October	5.0	11.53	12.82	14.09	12.48	13.73	15.01
November		11.73	13.04	14.32	12.71	14.02	15.36
December	5.5	11.91	13.22	14.48	12.94	14.24	15.59
January		12.05	13.34	14.56	13.14	14.39	15.70
February	6.0	12.14	13.39	14.57	13.31	14.47	15.69
March		12.14	13.39	14.57	13.31	14.47	15.69

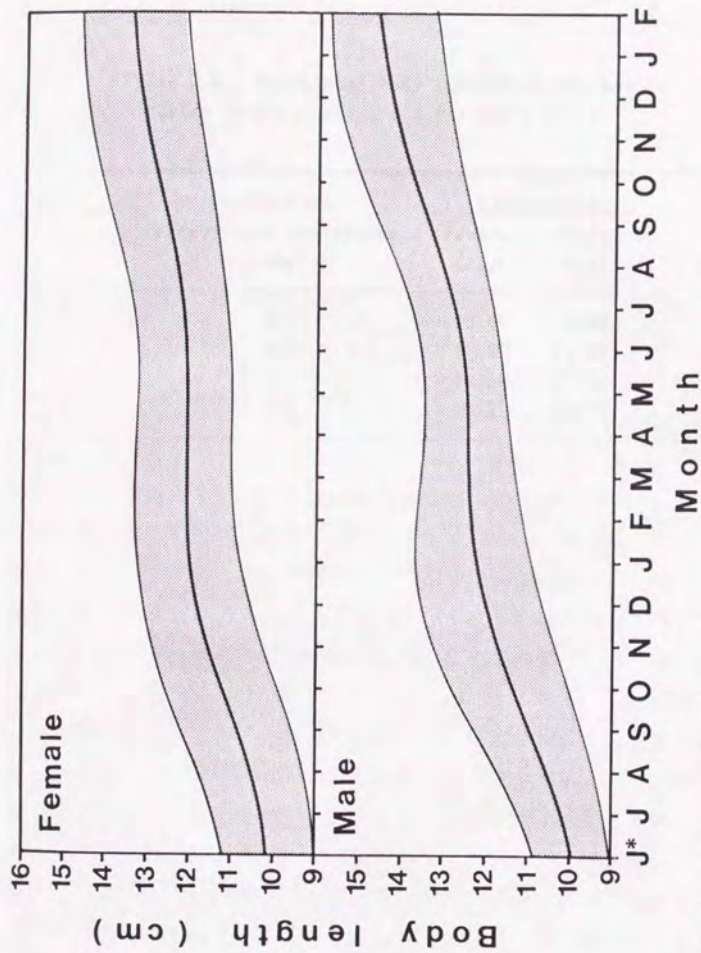


Fig. 2.7 Growth curves of the mantis shrimp after recruitment completion ( J\* ) by sex in Tokyo Bay. Female, calculated from equations ( 2.4 ), ( 2.6 ) and ( 2.8 ) and male, calculated from equations ( 2.5 ), ( 2.7 ) and ( 2.9 ).



Table 2.5 Calculated body lengths of the mantis shrimp from equations ( 2.4 ) and ( 2.5 )

Period from recruitment completion (Year)	Body length	
	Female (cm)	Male (cm)
0	10.09	9.90
0.5	11.82	12.05
1	12.06	12.59
1.5	13.22	14.24

成長の良い個体の最高齢での体長は、(2.6)式および(2.7)式で計算すると雌雄それぞれ14.6cm、15.7cmに達すると推察される。

## 2. 3 考 察

### 2. 3. 1 体長組成解析の限界

これまで、シャコの成長の解析には体長組成を複合正規分布に分解することにより年齢群ごとの平均体長を推定し、von Bertalanffy (1938)の成長式を当てはめる方法がとられてきた(中田, 1987; 林・辻野, 1978; 石岡ほか, 1981)。しかし、以下に述べる理由からこの方法は妥当ではない。

東京湾では本種の産卵期は4~8月と比較的長く(前章)、加入期間も長期にわたる。従って、加入期間中の当歳群のモードの位置の経時的移行は当歳群の個体成長のみによるものではなくなる。つまり、随時体長の小さい新規加入個体が出現するために、それが加わった体長組成のモードの位置は新規加入個体が出現しない場合よりも左(体長の小さいほう)にずれる(Fig. 2. 8)。加入完了後は、加入完了時の当歳群の平均体長が個体の平均的成長に対応して移行していく。よって体長組成の複合正規分布への分解による成長の解析は加入完了後のデータのみを扱う場合により妥当であり、加入期間中ではかなりの誤差が生じることとなる。

加入は連続的に起こるので、加入完了以前のシャコについて体長組成から成長の検討を行うには年齢ごとではなく、齢期ごとの正規分布に細かく分解するのが望ましい。中田(1987)はシャコの初期成長を、体長組成のモードが各齢期の平均体長に対応するとして、齢期と体長の関係式で表した。しかし中田はまた、体長5cm以上になると成長の個体差が大きくなり、上記の関係式は適用できないとしている。シャコは体長5cm前後で加入する。よって

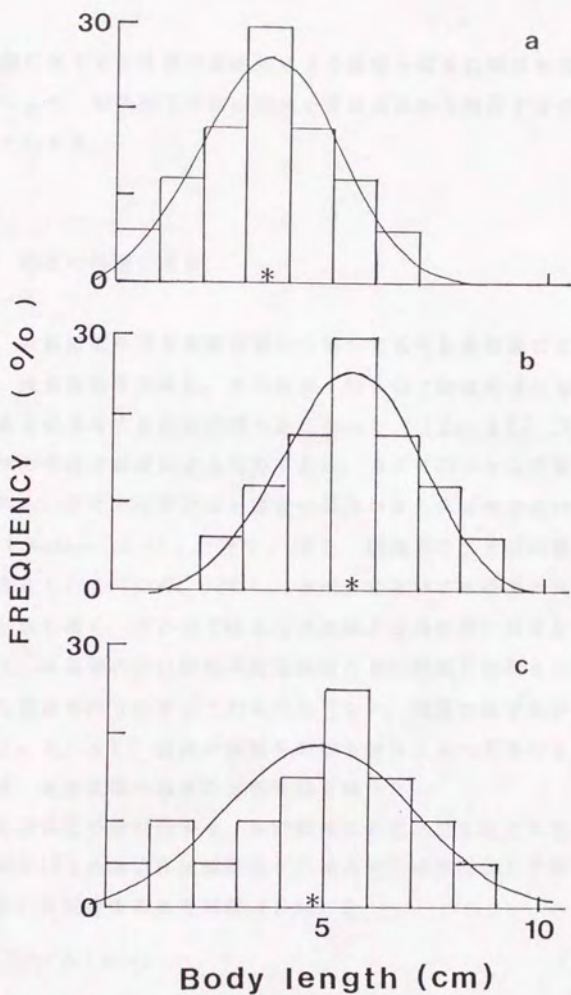


Fig. 2.8 Examples of frequency distribution of the body length in a year-class. a, in month  $n$ ; b, in month  $n+1$ ; and c, in month  $n+1$  with additional recruitment.



加入開始年齢に達すると成長の個体差により齢期と体長の関係も明瞭でなくなる。これらより、加入完了以前の成長を体長組成から解析するのは極めて困難であるといえる。

### 2. 3. 2 脱皮の時期と寿命

ここでは、体長組成を複合正規分布に分解して各月各年齢群ごとの平均体長を推定し、成長曲線を求めた。その結果、加入完了後は雌雄ともに成長率に季節差のある成長をすることが明らかになった（(2. 4)、(2. 5)式）。シャコの成長は脱皮によるものである。博多湾のシャコでは、1年のうちで9月から11月にかけてが最も脱皮の頻度が高く成長率が高いことがわかっている（Hamano et al., 1987）。また、陸奥湾のシャコの脱皮期間は8~10月とされている（山崎, 1988）。本研究においても晩夏から晩秋にかけて成長率が最も高く、その点では上記の海域と大差のない結果となった。しかしながら、成長率の高い時期は脱皮頻度の高い時期と解釈されるが、その時期のみに脱皮を行うのかどうかはわからない。成長の個体差がかなりあるので（Table 2. 4）、脱皮の頻度や時期も個体によって差があると思われる。そこで、脱皮直後の個体の出現時期を調べた。

脱皮直後の個体は甲殻が軟かく、他の個体との区別が可能である。1986年7月から1989年12月の間の採集個体のうち加入完了体長10cmを上回る個体について、毎月の軟殻個体の出現頻度（FM）を

$$FM = (N' / N) \times 100 \quad (2. 10)$$

により雌雄別に求めた。N' は軟殻個体の数、Nは全個体数である。なお、軟殻個体の区別の規準は Hamano et al. (1987) に従った。結果をFig. 2. 9に示す。雌では、軟殻個体は4月ごろから出現しはじめ、10月にピークを迎える。ピーク時の脱皮はかなり同調しているとみられ、以後脱皮直後の個体の出現率は急激に低下する。雄では、全体的に雌よりも脱皮直後の個体の出現率が高い。主ピークは雌同様10月にあるが、4~5月の出現率も比較的

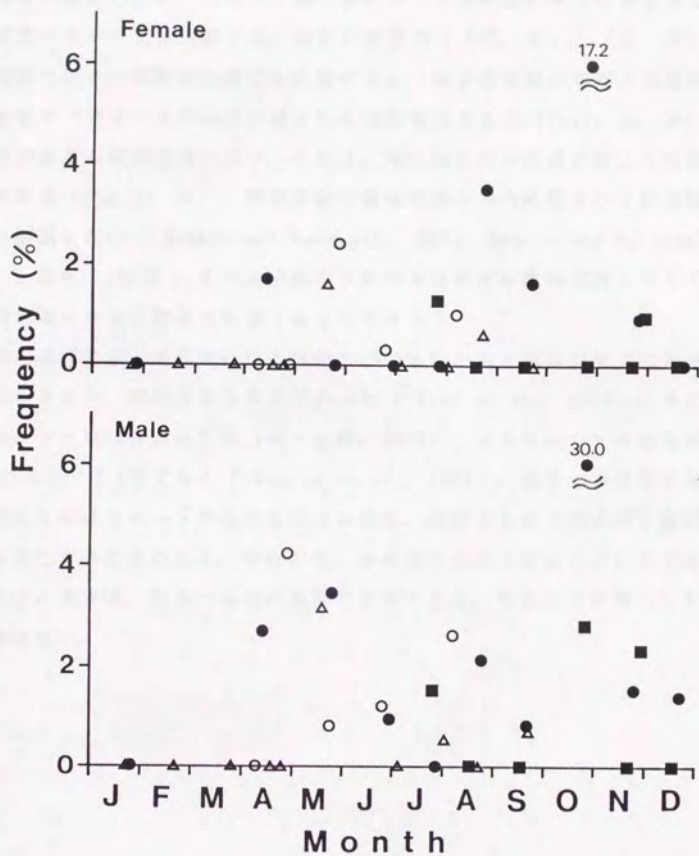


Fig. 2.9 Percentage frequency of occurrence of soft bodied mantis shrimp by sex in Tokyo Bay.  
 ■ 1986; △ 1987; ○ 1988; ● 1989.

高く雌との差が大きい。このことは、特に4～5月に雄のほうが雌よりも脱皮の頻度が高いことを示唆する。求めた成長式（(2.4)、(2.5)式）から雌雄の成長の季節差の割合を比較すると、成長の季節的周期の振幅の大きさを表すパラメータCの値が雄よりも雌の方が大きく（Table 2.3）、雌の方が成長の季節差が大きい。これは、特に春の雌の成長が雄よりも悪いためである（Fig.2.6）。産卵直後の雌は泥中の巣穴に留まって卵塊保護を行い摂餌しない（Hamano and Matsuura, 1984; Hamano and Matsuura, 1987d; 椎野, 1964）。そのため脱皮個体の出現頻度は雄ほど高くならず、産卵期の雌の成長は雄よりも悪くなるのであろう。

本種水揚げ量が一時皆無になる以前の1950年代の東京湾のシャコの寿命は、雌が3年9カ月、雄が3年5カ月であった（Kubo et al., 1959）。また、大阪湾のシャコの寿命は3年（林・辻野, 1978）、博多湾のシャコの寿命は着底後3.0～3.5年である（Hamano et al., 1987）。現在の東京湾では、体長組成におけるモードの追跡を行った結果、雌雄ともに大部分が2歳の冬までに死亡すると思われる。すなわち、寿命は2.75年と考えることができる。1950年代の東京湾、あるいは他の海域と比較すると、現在の東京湾のシャコの寿命は短い。



### 第3章 加入完了前の理論成長と 成長パラメータの推定

甲殻類には年齢形質がなく、シャコモその例外ではない。そこで、自然状態での個体の成長の解析方法としては、体長組成の複合正規分布への分解を行い、各モードの位置から年齢群ごとの平均体長を推定する方法が常法となっている（林・辻野，1978；石岡ほか，1981；中田，1987など）。しかしながら、加入期間中は体長組成におけるモードの経時的移行は個体成長を反映しないため（前章参照）、同期間中の成長についてはこれまでに妥当な結果を得た研究例がない。

甲殻類をはじめ、節足動物の成長は外骨格を形成している古いクチクラが脱ぎ捨てられ、その下にあらかじめ準備されていた表皮と新しいクチクラが硬化することによってもたらされる。このような脱皮による成長のため、節足動物の体長の増大は本来不連続なものとなる。これまでに、昆虫や甲殻類の脱皮成長に関する多くの実験的研究がなされてきた（Hiatt, 1948；

Misra, 1957；Wilder, 1953；倉田，1960；Kurata, 1962；Mauchline, 1976, 1977；Somerton, 1980；Easton and Misra, 1988など）。それらの多くは飼育実験に基づいて脱皮前後の体長の関係や、齢期と体長との関係を明らかにすることを目的としたものであったが、Kurata (1962) は数種の甲殻類の実験データを用い、平均水温と体サイズ（長さの3乗）から脱皮間隔を推定するモデルを作成し、*Porcellio scaber* (ISOPODA) の個体群への適用を試みている。

本章では、飼育実験より明らかにされた各齢期の脱皮に要する積算温度の比をもとに、野外における各齢期に相当する脱皮間隔を推定するための簡単

なモデルを作成した。そして、加入完了前の成長が明らかにされていないシヤコの脱皮成長の理論的記述、および成長パラメータの推定を試みた。

### 3. 1 モデル

#### 3. 1. 1 加入完了前の成長

脱皮成長を明らかにする場合、各齢期における平均体長と脱皮時期の両方を明らかにする必要がある。

まず、各齢期における平均体長を推定する。脱皮前 ( $n$  齢) の体長 ( $L_n$ ) と脱皮後 ( $n+1$  齢) の体長 ( $L_{n+1}$ ) の関係は、

$$L_{n+1} = a L_n + b \quad (3. 1)$$

で表される (Hiatt, 1948; 倉田, 1960; Kurata, 1962)。これを齢期 ( $n$ ) と体長の関係式に変換すると、

$$L_n = U a^n + V \quad (3. 2)$$

となる。但し、

$$U = (L_1 - b) / a - b / (1 - a) \quad (3. 3)$$

$$V = b / (1 - a) \quad (3. 4)$$

である (倉田, 1960)。 $L_1$  は、第1齢、つまりシヤコでは着底時の体長である。飼育実験のデータから (3. 1) 式および (3. 2) ~ (3. 4) 式の定数  $a$ 、 $b$  を推定し、各齢期に相当する体長を求める。

体長組成解析によりあらかじめ推定された加入完了後の成長式から求めた各月齢における計算体長を  $M_i$  とする ( $i$  は加入完了月からの経過月数)。



ここで、 $M_0$ （加入完了時の体長）の値が  $L_{p-1}$  と  $L_0$  の間にあったとすると、加入完了時は  $p-1$  齢になっている。そして、 $M_i$  が  $L_0$  を最初に上回った時の  $i$  に相当する月を加入完了後最初の脱皮を行う月 ( $t_0$ ) とする。その脱皮の直後に  $p$  齢になるので、着底 ( $t_1$ ) から  $t_0$  までの間に  $p-1$  回の脱皮を行うことになる。このようにして  $t_0$  および  $p$  を推定する。この際、飼育個体の各齢期の体長が自然状態での個体のそれと大差ないことが前提である。

次に、脱皮時期の推定を行う。脱皮の間隔を左右する要因としては体の大きさ（齢期）、水温、日照時間、栄養、成熟状況、行動等が考えられるが（Kurata, 1962; Adelung, 1971; Aiken, 1980）、ここでは発育速度に最も大きな影響を及ぼすと考えられる齢期と水温を考慮に入れることにする。

一定水温での飼育実験による脱皮間隔のデータから、一定水温下での脱皮間隔を知ることができる。すなわち、

$$(D_m; m \text{ 回目の脱皮に要した日数}) \\ = (m \text{ 回目の脱皮日}) - (m-1 \text{ 回目の脱皮日}) \quad (3.5)$$

である。飼育実験において  $p-1$  回の脱皮に要した合計の日数を  $D_T$  とし、各回の脱皮に必要な日数をそれぞれ  $D_1, D_2, D_3, \dots, D_{p-1}$  とする。ここで、発育が水温の影響を受けるとして、正常な発育が可能な水温範囲での水温変化の影響がどの齢期にも同等に及ぶという仮定を置くと、各齢期の期間中の積算温度 ( $T_m$ ) の  $p-1$  回の脱皮に要した全積算温度 ( $T$ ) に占める割合はその水温範囲内では一定となる。すなわち、

$$T_m = T \cdot D_m / D_T \quad (3.6)$$

が成り立つ。一般に、甲殻類では成長に伴って脱皮間隔が長くなるので（Hartnoll, 1985）、 $D_m$  と脱皮回数 ( $m$ ) の関係は、指数式

$$D_m = \alpha \exp(\beta m) \quad (3.7)$$

で表すことができるであろう。ここでは、発育可能な水温範囲で  $\beta$  が一定になることが上の仮定を満たすための条件になる（これについては後で議論する）。飼育実験から  $\alpha, \beta$  が明らかになれば、



$$T_m = T \alpha \exp(\beta m) / D \tau \quad (3.8)$$

から $T_m$ が求まる。 $T_m$ が求めれば、天然水域の日々の水温あるいは月ごとの平均水温から各齢期の期間がわかり、脱皮に要した日数が決定できる。なお、後でも述べるが飼育実験では環境によるストレスが懸念されるので、各脱皮間隔の積算水温の絶対値は用いるべきではない。

各齢期の体長と脱皮間隔が推定できれば、縦軸に体長、横軸に時間をとった加入完了以前の成長線が描ける。

### 3. 1. 2 生涯の成長

次に、 $t_p$ を求めたのと同じ方法で $p$ 齢以降の脱皮時期( $t_{p+1}$ 、 $t_{p+2}$ 、 $t_{p+3}$ 、……)を求める。それぞれの脱皮直後の体長( $L_p$ )を(3.2)式より求め、時間( $x$ )に対する体長( $L$ )をプロットする。それに対して成長曲線の当てはめを行い、成長パラメータを求める。

## 3. 2 東京湾のシャコへの適用

### 3. 2. 1 着底から加入完了までの間の脱皮回数の推定

飼育実験のデータは、Hanano and Matsuura (1987c) の原データの提供を受けた。なお、供試個体は博多湾産のものであるが、本種で人工孵化幼生から成体までの飼育に成功した研究例は他にない。飼育実験は水温25℃で行われ、成体(体長10cm以上; 第4章参照)になるまで生残したのは3個体で、他に9齢まで生残したものが2個体あった(Table 3. 1)。

Table 3.1 List of individuals reared in an aquarium at 25°C water temperature ( original data of Hanano and Matsuura, 1987c )

Individual	Instar at death
A	15
B	14
C	15
D	9
E	9

飼育実験で成体になるまで生残した個体A~Cの脱皮前の体長 ( $L_n$ ) と脱皮後の体長 ( $L_{n+1}$ ) の関係は、(3. 1) 式よりそれぞれ

$$A \quad L_{n+1} = 1.043 L_n + 4.449 \quad (3. 9)$$

$$B \quad L_{n+1} = 1.055 L_n + 3.835 \quad (3. 10)$$

$$C \quad L_{n+1} = 1.040 L_n + 3.741 \quad (3. 11)$$

で表すことができた。体長の単位はmmである。相関係数 ( $r$ ) は、(3. 9) 式、(3. 10) 式ともに0.997、(3. 11) 式が0.994であった(いずれも  $p < 0.001$ )。これら3式について共分散分析を行ったところ、有意差は認められなかった ( $p > 0.05$ )。そこで、共通の切片と傾きを再計算して、

$$L_{n+1} = 1.046 L_n + 4.017 \quad (3. 12)$$

を得た。これを齢期 ( $n$ ) と体長の関係 ((3. 2) 式) に変換すると、

$$L_n = 98.15(1.046)^n - 87.33 \quad (3. 13)$$

となる。なお、着底時の体長 ( $L_1$ ) には個体A~E (Table 3. 1) の平均値である 15.34 (mm) を用いた。(3. 13) 式より計算した各齢期の体長をTable 3. 2に示す。

Table 3. 2、およびTable 2. 4の  $M_{inimum}$  から、平均的には雌雄ともに  $p$  は15で、 $t_0$  は1歳の9月 ( $i = 3$ ) と推定された。産卵日を産卵期の中央である6月15日、孵化まで1カ月、浮遊期間を2カ月と仮定して着底を当歳の9月15日とすると、着底直後からの約1年間で14回の脱皮を行うことになる。

---

∴ Hamano and Matsuura (1987a) の示した抱卵期間と水温との直線関係式に今回用いた東京湾の底層水温を代入し、約1カ月で孵化すると推定した。また、中田 (1989b) は東京湾のシャコの着底を9月と考えている。



Table 3.2 The mean body length in cm  
(  $L_n$  ) at each instar (  $n$  )

$n$	$L_n$	$n$	$L_n$
1	1.53	11	7.36
2	2.01	12	8.10
3	2.50	13	8.88
4	3.02	14	9.69
5	3.56	15	10.54
6	4.12	16	11.42
7	4.71	17	12.35
8	5.33	18	13.32
9	5.98	19	14.33
10	6.66	20	15.39

### 3. 2. 2 加入完了前の脱皮成長

成体になるまで生残した個体A～C、および9歳で死亡した個体D、Eのデータ (Table 3. 1) をこみにし、脱皮回数 (m) とそれぞれの脱皮間隔 ( $D_m$ ) の関係をFig. 3. 1に示した。これらの関係は、以下に示す指数式で表すことができた ( $r^2 = 0.846$ )。

$$D_m = 4.346 \exp(0.2035m) \quad (3. 14)$$

(3. 6) 式を導く際の仮定に従えば、(3. 14) 式の0.2035は、本種においてある水温範囲内で不変の値となる。

1982年4月から1989年3月にかけての神奈川県水産試験場の調査船、うしおによる毎月の東京湾の底層水温の測定値 (神奈川県水産試験場, 1983-1990のSt.112 (水深32m) の30m層水温) から、月別の平均値を求めた (Table 3. 3)。

加入完了後の最初の脱皮は9月と推定されたが、脱皮日を9月15日として(3. 14) 式および東京湾の底層水温 (Table 3. 3) を(3. 8) 式に代入してT<sub>0</sub>を求めることによってそれぞれの脱皮時期を算出し (Table 3. 4)、これと各齢期の体長をもとに成長線を求めた (Fig. 3. 2)。

### 3. 2. 3 生涯の成長と成長パラメータの推定

加入完了後の15歳以上について、 $t_0$ を求めたのと同じ方法で雌雄別に平均的脱皮間隔を推定した。その結果、雌では1歳の11月に16歳に、2歳の9月に17歳に、そして1月に18歳になると推定された。雄では、1歳の11月に16歳に、3月に17歳に、2歳の9月に18歳に、そして1月に19歳になると推定された。この結果をもとに、雌雄別に時間 (x) に対する体長 (L) をプロットすると、Fig. 3. 3のようになった。これらにHP 41 CV calculator (Vakily et al., 1986) を用いてPauly and Gaschütz (1979) の成長式を当てはめると、雌雄それぞれ

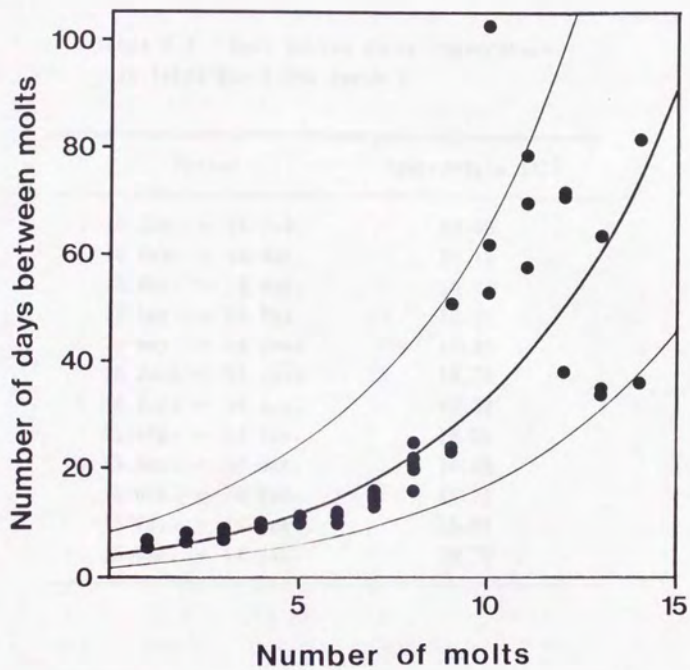


Fig. 3.1 Relationship between the number of molts and number of days between molts of the mantis shrimp.



Table 3.3 Mean bottom water temperature  
in Tokyo Bay ( 30m depth )

Period	Temperature (°C)
15 Jan. - 14 Feb.	12.69
15 Feb. - 14 Mar.	11.13
15 Mar. - 14 Apr.	10.84
15 Apr. - 14 May	12.76
15 May - 14 June	14.93
15 June - 14 July	15.20
15 July - 14 Aug.	17.34
15 Aug. - 14 Sep.	18.51
15 Sep. - 14 Oct.	18.56
15 Oct. - 14 Nov.	19.71
15 Nov. - 14 Dec.	18.84
15 Dec. - 14 Jan.	15.75

Table 3.4 Estimated date of molt, number of days between molts in Tokyo Bay, that in the aquarium ( $D_m$ ), and those difference

Instar	Date of molt	Number of days between molts	$D_m$	Difference
1	15 September	-	-	-
2	19 September	4	5	- 1
3	24 September	5	7	- 2
4	30 September	6	8	- 2
5	8 October	8	10	- 2
6	17 October	9	12	- 3
7	29 October	12	15	- 3
8	12 November	14	18	- 4
9	29 November	17	22	- 5
10	24 December	25	27	- 2
11	30 January	37	33	+ 4
12	24 March	53	41	+12
13	20 May	57	50	+ 7
14	17 July	57	61	- 4
15	16 September	61	75	-14
Total		365	384	

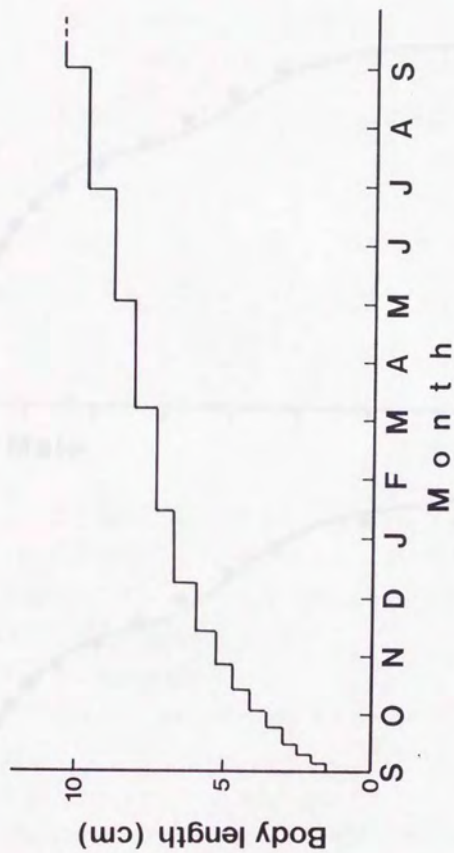


Fig. 3.2 Estimated growth in body length of the nantis shrimp in Tokyo Bay during the recruitment period.



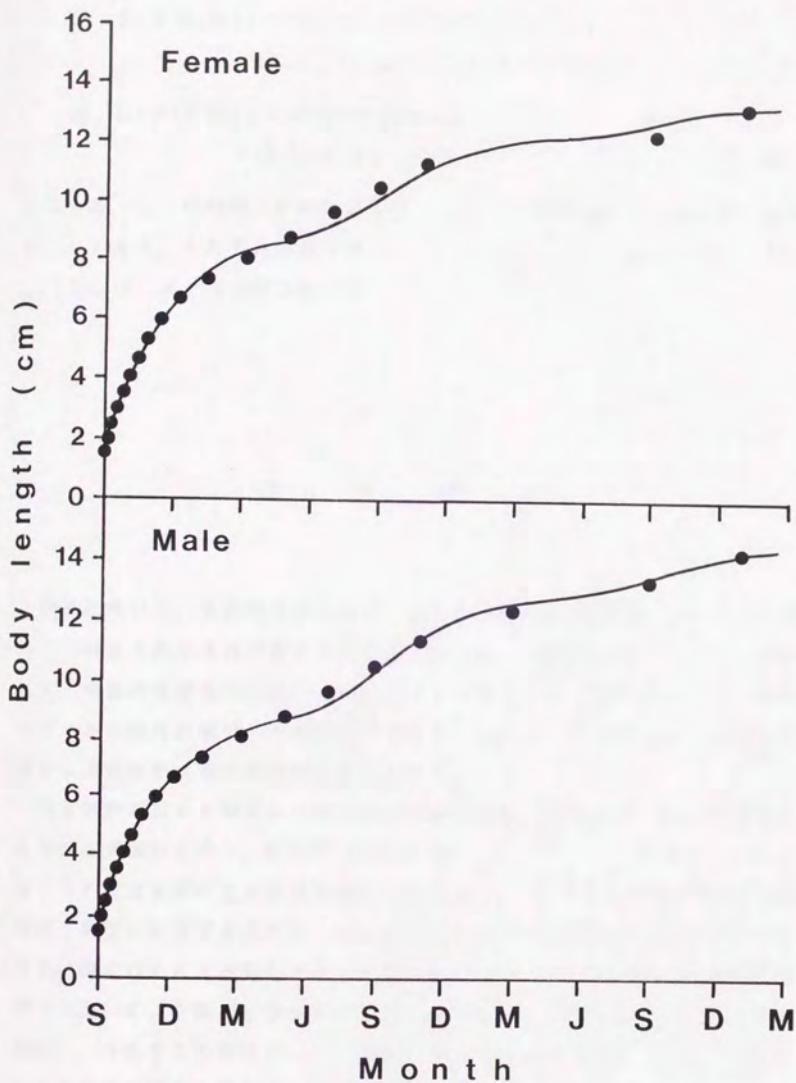


Fig. 3.3 Growth curves of the mantis shrimp by sex in Tokyo Bay. Data points are the mean body length at molts estimated in this study.

$$\begin{aligned} \text{雌 } L_x = & 13.99 \{ 1 - \exp[-1.102(x + 0.248)] \\ & - (0.827 / 2\pi) \sin 2\pi(x - 0.134) \} \end{aligned} \quad (3.15)$$

$$\begin{aligned} \text{雄 } L_x = & 15.68 \{ 1 - \exp[-0.898(x + 0.252)] \\ & - (0.566 / 2\pi) \sin 2\pi(x - 0.114) \} \end{aligned} \quad (3.16)$$

となった。 $L_x$  は時間  $x$  における体長 (cm)、 $x$  は着底後の経過時間 (単位は月) である。それぞれの寄与率 ( $r^2$ ) は、(3.15) 式が 0.989、そして (3.16) 式が 0.996 であった。

### 3. 3 考 察

前章において、体長組成解析により加入完了後の成長は明らかになったが、そこで推定された成長パラメータは加入完了前の当歳には適用することができず、今後の資源解析に用いるのは妥当ではない。そこで本研究では、野外のデータと飼育実験データを併用することによって、加入完了前の当歳をも含めた着底後の成長の理論的記述を行った。

飼育実験の結果を補正して野外での状態の解析に適用するのは、有効ではあるが必ず仮定を伴う。例えば Hanano et al. (1987) は、異なる 2 つの水温下での成長速度の比が胚発生速度の比に等しいという仮定の上で野外での状態の解析への適用を試みた。本研究では、まず飼育個体の各齢期の体長は自然状態でのそれと大差ないという仮定を行った。しかしながら、水温等の環境の違いにより脱皮前後の体長の関係が変化する可能性がある (倉田, 1960)、今後さらに実験データを蓄積する必要がある。また、種内での海域による差の有無を検討することも課題となる。

脱皮間隔は明らかに水温の影響を大きく受けると考えられる。ここでは、水温を一定とした場合の脱皮回数 ( $m$ ) とそれぞれの脱皮に要する日数

( $D_m$ ) との関係、指数式 ( (3. 7) 式) で表した。 (3. 6) 式を導くに当たつての仮定を満たすためには、 $\beta$  がある水温範囲内で一定であれば良い。シャコでは現在のところ Hanano and Matsuura (1987c) による水温 25°C での飼育実験結果しかなくデータに乏しいので、この仮定の検証はできない。しかしながら、他の甲殻類では、Templeman (1936) が Homarus americanus (DECAPODA) の幼生について、Kurata (1962) が Cyprinotus sp. (OSTRACODA) についていくつかの水温下で飼育したときの各齢期の脱皮間隔を公表している (これらは Kurata (1962) に示されている)、それら 2 種のデータを用いて上の仮定の妥当性を調べた。

(3. 7) 式は、

$$\ln D_m = \ln \alpha + \beta m \quad (3. 17)$$

と直線式に変換できる。Homarus americanus は、各水温に対して

$$19.2^\circ\text{C} \quad \ln D_m = 0.421 + 0.528m \quad (3. 18)$$

$$16.6^\circ\text{C} \quad \ln D_m = 0.858 + 0.506m \quad (3. 19)$$

$$13.7^\circ\text{C} \quad \ln D_m = 1.520 + 0.367m \quad (3. 20)$$

$$9.4^\circ\text{C} \quad \ln D_m = 2.256 + 0.396m \quad (3. 21)$$

が得られた。相関係数 ( $r$ ) は、上から 0.976 ( $p < 0.01$ )、0.918 ( $p < 0.05$ )、0.896 ( $p < 0.05$ )、0.985 ( $p < 0.01$ ) であった。これら 4 式について共分散分析を行ったところ、傾き ( $\beta$ ) に有意差はなかった ( $p > 0.05$ )。そして、共通の傾きを再計算して 0.449 を得た。Cyprinotus sp. は、各水温に対して

$$31.3^\circ\text{C} \quad \ln D_m = -1.064 + 0.304m \quad (3. 22)$$

$$26.8^\circ\text{C} \quad \ln D_m = -0.675 + 0.279m \quad (3. 23)$$

$$21.2^\circ\text{C} \quad \ln D_m = -0.249 + 0.263m \quad (3. 24)$$

$$17.0^\circ\text{C} \quad \ln D_m = 0.384 + 0.213m \quad (3. 25)$$

$$9.1^\circ\text{C} \quad \ln D_m = 2.012 + 0.054m \quad (3. 26)$$



が得られた。相関係数 ( $r$ ) は、上から 0.943 ( $p < 0.001$ )、0.927 ( $p < 0.01$ )、0.928 ( $p < 0.01$ )、0.909 ( $p < 0.01$ )、0.881 ( $p < 0.01$ ) であった。低水温で、定数の値が大きく異なる (3, 26) 式を除く 4 式で同様に共分散分析を行ったところ、やはり傾き ( $\beta$ ) に有意差はなかった ( $p > 0.05$ )。そして共通の傾きを再計算して 0.265 を得た。実際には  $\beta$  は水温の低下に伴って値が低くなる傾向があるが、それは無視できる程度のものである。このようなことから、Homarus americanus では 9.4~19.2°C、Cyprinotus sp. では 17.0~31.3°C の間で概ね  $\beta$  は一定とみて良からう。このことは、本研究における仮定を支持している。

東京湾の底層水温は 2~3 月が最も低く 10~11 月が最も高い時期であるが、概ね 10°C と 20°C の間を変化している (Table 3, 3)。自然状態では着底後約 1 年で 15 齢になると推定されたのに対し、東京湾よりも高い水温 25°C での飼育実験では 15 齢になるのに 384 日を要するという結果 (D<sub>1</sub>) になった。この原因はわからないが、飼育密度などの環境に原因があるのかもしれない。このような環境によるストレスが各齢期における発育の絶対速度に影響していることが懸念されるので、本研究では飼育実験における積算水温の絶対値を用いることを避けた。

次に、(3, 15) 式および (3, 16) 式から計算された雌雄それぞれの月齢別体長と、前章で採集個体の測定値から求めた月齢別の体長との差を調べた (Table 3, 5)。加入完了後数カ月の体長が前者でやや小さくなるのは、モデルにおいて加入完了後最初の脱皮月を  $M_1 > L_1$  とする月 (9 月) としたためかもしれない。8 月の体長は雌が 10.51cm、雄が 10.53cm (Table 2, 4)、 $L_1$  が 10.54cm なので (Table 3, 2)、8 月中に脱皮を行うと考えることもできる。

上のモデルでは、厳密には (3, 7) 式の  $\beta$  が一定にならない点にやや問題が残る。また、脱皮間隔を左右する要因として餌条件も考えられる。しかしながら、このモデルは加入期間中の成長が不明な種において、数少ない室内実験データをもとに天然水域における生涯の成長と成長パラメータを推定するための簡便法としては有効といえよう。なお、ここで推定された成長パ

Table 3.5 Mean body lengths of the mantis shrimp in Tokyo Bay at each month calculated from equations ( 3.15 ) and ( 3.16 ) ( A ) and estimated from the frequency distributions ( B ), and those difference

Month	Age	Female			Male		
		A	B	Difference	A	B	Difference
June	1.0	8.91	10.05	-1.14	8.86	9.51	-0.65
July		9.18	10.32	-1.14	9.22	10.26	-1.04
August		9.58	10.55	-0.97	9.70	10.36	-0.66
September	1.5	10.09	10.90	-0.81	10.28	11.16	-0.88
October		10.63	10.88	-0.25	10.87	11.15	-0.28
November		11.13	11.49	-0.36	11.42	11.90	-0.48
December		11.53	12.26	-0.73	11.88	12.67	-0.79
January		11.83	12.09	-0.26	12.22	12.56	-0.34
February	2.0	12.03	11.80	+0.23	12.46	11.64	+0.82
March		12.14	11.98	+0.16	12.62	12.15	+0.47
April		12.21	12.02	+0.19	12.71	12.25	+0.46
May		12.25	12.10	+0.15	12.80	12.81	-0.01
June		12.30	12.16	+0.14	12.90	12.86	+0.04
July	2.5	12.39	12.10	+0.29	13.05	13.16	-0.11
August		12.53	12.54	-0.01	13.24	12.92	+0.32
September		12.69	12.47	+0.22	13.48	13.50	-0.02
October		12.87	12.69	+0.18	13.72	13.03	+0.69
November		13.04	-	-	13.94	-	-
December	13.17	13.26	+0.09	14.13	-	-	
January	13.27	13.36	+0.09	14.27	14.58	+0.31	

ラメータは、前章で推定した値よりも  $L_{\infty}$  が小さく、 $K$  が大きくなった。加入完了後のデータのみに基づく場合（前章）は、成長率の高い若齢期のデータが含まれていない。従って、その成長曲線は若齢のデータをも含めて当てはめた場合（本研究）に比べて初期の立ち上がりが小さくなり、 $K$  は小さく、 $L_{\infty}$  は大きくなる。このために両推定値に差が出たと思われるが、当歳も含めた着底以後の成長に相当する本章での推定値は本種の成長パラメータとして妥当なものと考えられ、これらの値を資源の解析、診断に用いる。

パラメータの推定値は加入完了前の理論成長（Fig. 3, 2）に基づいているが、それは個体群の平均的成長を示すものである。幅のある推定を行うためには、着底の開始時期と終了時期、つまり Table 2, 4 に示した  $M_{\text{max}}$  と  $M_{\text{min}}$  に相当する個体の着底時期を明らかにする必要がある。それらは今後の検討課題である。



## 第4章 その他の生物学的特性

第1章から第3章では本種の成熟、成長を明らかにしてきたが、本章ではその他の生物学的特性として性比と肥満度の季節変化について検討した。

漁獲物の性比はしばしば産卵期に大きく変化し(久保・吉原, 1969)、雌雄の繁殖行動の違いなどを示す指標となる。シャコについてはこれまでに、性比の季節変化を調べることによって雌雄の繁殖行動の違いが示唆されている(林・辻野, 1978; Hanano and Matsuura, 1987d)。本研究では、繁殖行動をとる成体、および繁殖に参加しない未成熟個体の性比の差からもそれを検討した。

肥満度は、文字通り肥満の度合を示す指標である。シャコでは、特に東京湾における漁獲の大半を占める柴漁協のように加工した後製品として出荷する場合には、肥満の度合は製品の良し悪しと密接な関係がある。ここでは、肥満度の季節変化を雌雄別に調べた。

### 4. 1 材料と方法

性比および肥満度の解析に用いた材料は、東京湾において1986年5月から1987年9月までの間に小型底曳網で漁獲した計13,833個体である。採集したシャコは氷蔵して研究室に持ち帰り、10%ホルマリンで固定、保存した。各個体は第3歩脚前基部の雄性突起の有無によって雌雄の判定を行った後、体

長の測定、体重の秤量を行った。なお、体長の測定は Kubo et al. (1959) に習い、額角基部から尾節中央の切込み前端までの長さを 1 mm の単位で測定した。また、体重は 0.1 g の単位で秤量した。

性比 (SR) は、

$$SR = (NM/NF) \times 100 \quad (4.1)$$

で計算した。NM は雄の個体数、NF は雌の個体数である。

肥満度 (CF) は、

$$CF = (BW/BL^3) \times 1,000 \quad (4.2)$$

で計算した。BW は体重 (g)、BL は体長 (cm) である。

なお、計算は主に東京大学大型計算機センターの SAS 統計計算パッケージ (SAS Institute Inc., 1985) を用いて行った。

## 4. 2 結果と考察

### 4. 2. 1 漁獲個体の性比の季節変化

1986年5月から1987年9月における小型底曳網による漁獲個体の性比の季節変化を Fig. 4. 1 に示す。性比が高いほど雄の割合が高く、低いほど雌の割合が高い ( (4. 1) 式)。最大は1986年6月の 279.1、最小は同年12月の 50.3 であった。東京湾のシャコの産卵期は4月から8月である (第1章参照)。Fig. 4. 1 をみると、性比は産卵期の前半に一度高くなり、その後減少して産卵期の終わりごろに再び高くなる。また、1月には 100 を上回っているものの、概ね冬は性比が低い傾向にある。これらは、1950年代 (Kubo et al., 1959) および1980年代 (原ほか, 1983) の東京湾、播磨灘 (千田ほ

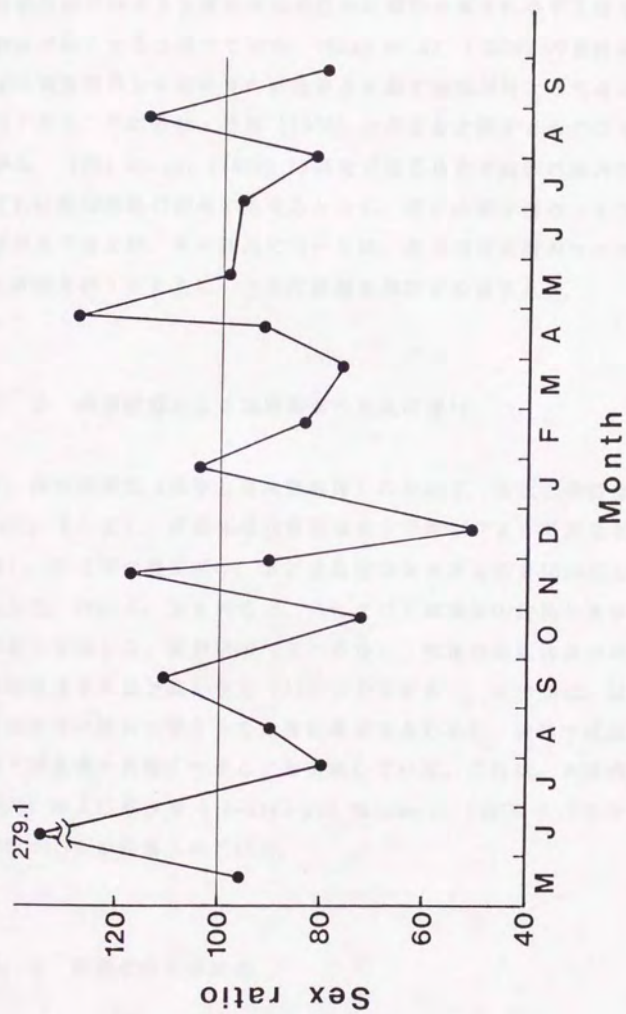


Fig. 4.1 Sex ratios of the mantis shrimp in Tokyo Bay.



か、1969c)、大阪湾(林・辻野, 1978)の結果と一致する。

林・辻野(1978)は大阪湾のシャコについて、12~3月は産卵にそなえて雌の摂餌活動が雄よりも盛んになるために雌が漁獲されやすくなり、漁獲個体の性比が低くなると述べている。Kubo et al. (1959)の食性調査によると、冬の東京湾のシャコの胃内容物重量を表す指数が雄よりも雌のほうが高くなっており、それは林・辻野(1978)の考えを支持するものである。しかしながら、Kubo et al. (1959)の研究では6月まで同様の傾向が続く。また、それは約30年前の研究であることから、現在の東京湾のシャコに適用するのは妥当ではない。冬の性比については、現在の東京湾のシャコの食性に関する研究を行うとともに、さらに詳細な検討が必要である。

#### 4. 2. 2 成長段階による漁獲個体の性比の違い

次に、成長段階別(成体と未成熟個体)に分けて、性比の季節変化を検討した(Fig. 4. 2)。成熟体長は産卵期の中で時期によって異なるが(第1章参照)、ここでは産卵期中、常に成熟体長を上回る体長10cm以上のものを成体とした。Fig. 4. 2をみると、月によつては成体の性比と未成熟個体のそれがかなり異なる。産卵期中(4~8月)、成体の性比は高いが、未成熟個体の性比はそれほど高くなく100以下の月が多い。この差は、放卵直後の雌成体が泥中の巣穴に留まって卵塊保護をするために、成体では雄に比べて雌のほうが漁獲され難くなることを示唆している。これは、大阪湾(林・辻野, 1978)および博多湾(Hamano and Matsuura, 1987d)のシャコについても同様のことが指摘されている。

#### 4. 2. 3 肥満度の季節変化

本種の肥満度は夏に低く冬に高い傾向があるといわれている(林・辻野, 1978; Kubo et al., 1959)。Fig. 4. 3に、東京湾のシャコの肥満度の季

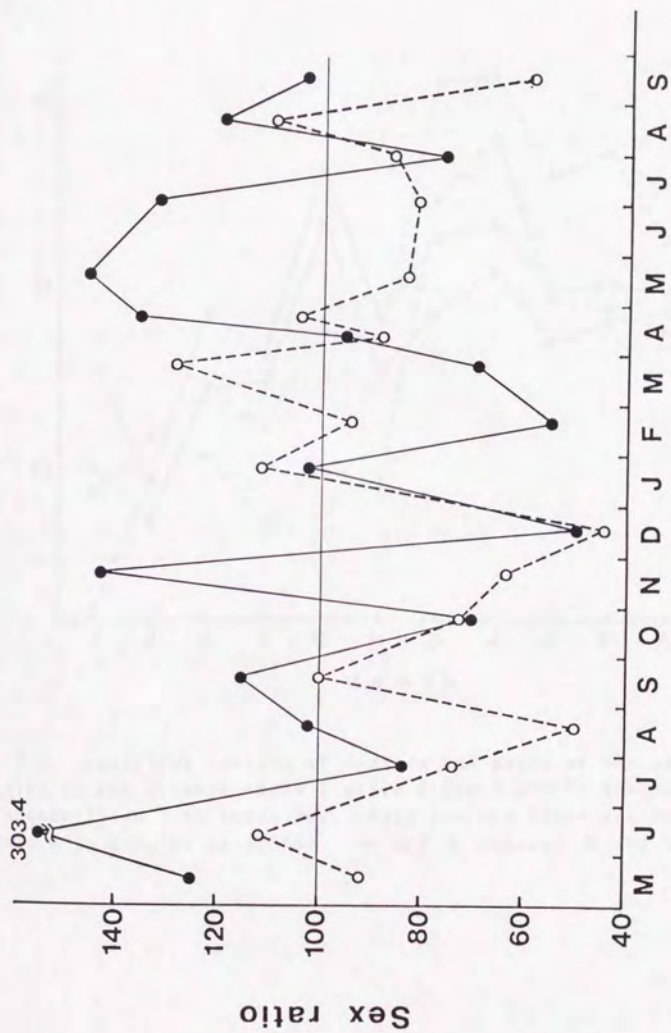


Fig. 4.2 Sex ratios of the mantis shrimp above (●) and below (○) 10 cm in body length in Tokyo Bay.

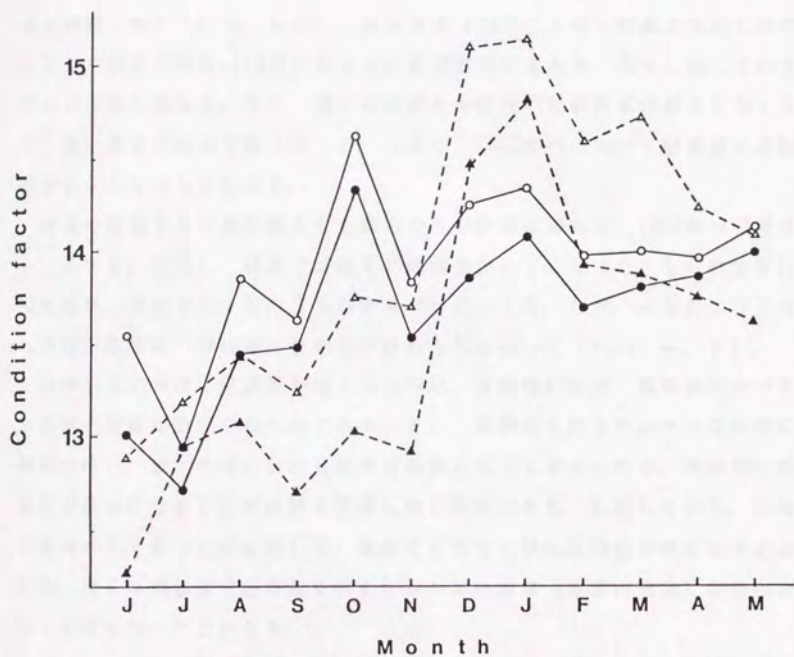


Fig. 4.3 Condition factors of females and males of the mantis shrimp in the present study ( solid lines ) and in the 1950s ( broken lines ) in Tokyo Bay. Data for the 1950s are from Table 6 in Kubo et al.(1959). ● and ▲ female; ○ and △ male.



節変化を雌雄別に示した。なおFig. 4. 3には、比較のために1950年代の結果 (Kubo et al., 1959) も併せて示した。

肥満度が最小になるのは雌雄とも以前は6月、現在は7月で1950年代の結果とほぼ一致している。しかし、以前は冬(12月、1月)に最大を示したのに対し、現在では秋(10月)にすでに肥満度が高くなり、冬を上回っていることが以前と異なる。また、現在は雌雄ともに冬の肥満度は以前より低くなり、逆に夏は以前より高くなった。つまり、1950年代に比べて肥満度の季節差が小さくなったといえる。

雌雄を比較すると周年雌よりも雄のほうが肥満度が高く、1950年代の結果と一致する。しかし、現在では毎月の雌雄差が小さくなった。t-検定を行った結果、現在では1年のうち5カ月(9月、1月、3月、4月および5月)は雌雄の肥満度の平均値に有意差が認められなかった(Table 4. 1)。

春から夏にかけて肥満度が低くなるのは、産卵期に放卵、放精後の身づまりの悪い個体が出現するためである。また、産卵期を終えたシャコは活発に摂餌を行い、秋から冬にかけて肥満度が高くなると考えられる。産卵期に肥満度が最小になることは以前も現在も同じ傾向にある。しかしながら、以前は最大が冬であったのに対して、現在ではすでに秋に肥満度が高くなることから、何らかの原因で産卵期を終えたシャコの回復(体重の充実)が現在のほうが早くなったといえる。

Kubo et al. (1959)は、体長9~17cmの範囲内での体長による肥満度の差はないと述べている。本研究では、体長2.4~15.6cmの範囲でほぼ同様の結果が認められた。これらより、シャコは体長の増大に伴う肥満度の変化はないといえよう。

Table 4.1 Comparison of condition factors by month between females and males of the mantis shrimp in Tokyo Bay with aid of t-test

Month	Female		Male		t <sub>e</sub>	Result of t-test
	No.	Mean	No.	Mean		
June	67	13.01	187	13.54	7.303	Significant ( P<0.001 )
July	135	12.72	107	12.94	2.161	Significant ( P<0.05 )
August	125	13.44	113	13.85	3.787	Significant ( P<0.01 )
September	101	13.47	112	13.62	1.317	Not significant
October	150	14.33	107	14.61	2.145	Significant ( P<0.05 )
November	117	13.52	139	13.83	2.561	Significant ( P<0.05 )
December	151	13.85	76	14.24	2.855	Significant ( P<0.01 )
January	116	14.07	121	14.33	2.048	Not significant
February	106	13.57	80	13.92	2.894	Significant ( P<0.01 )
March	129	13.80	98	13.99	1.517	Not significant
April	101	13.85	130	13.95	0.771	Not significant
May	528	13.98	522	14.12	1.633	Not significant

## 第5章 資源の分布と小型底曳網 漁場との関係

東京湾の小型底曳網漁業をより安定した漁業にするためには、漁獲対象資源の生態と漁業の実態を明らかにし、より適切な漁獲方策を確立することが必要と思われる。しかしながら、湾内におけるシャコ資源の時空間的分布とその動態、およびこれに対応する漁業の動態については知見が少ない。

そこで本章では、本種資源の時空間的動態を明らかにすることを目的として、観音崎と富津岬を結ぶ線以北の水域にほぼ均等に設定した20の定点（第1章参照）における試験底曳の漁獲結果から、東京湾におけるシャコの分布の季節変化を調べた。そして、複数の当業船に依頼した操業日誌を用いて小型底曳網漁場の季節変化を明らかにし、資源、漁場それぞれの分布の季節変化から資源の分布と漁獲との関係についての検討を行った。

### 5. 1 材料と方法

湾内に設定した20の定点において (Fig. 1. 1)、1985年5月から1987年2月までの間に季節ごとに2回ずつ、計8回の試験底曳を行った (Table 5. 1)。なお、3~5月を春、6~8月を夏、9~11月を秋、12~翌年2月を冬とした。1986年5月17日は都合により St. 20では曳網できなかった。試験



Table 5.1 List of sampling dates for this study

Season	Sampling date	
Spring	17 May, 1985	17 May, 1986
Summer	27 July, 1985	8 August, 1986
Autumn	22 November, 1985	29 November, 1986
Winter	6 February, 1986	21 February, 1987

底曳で漁獲された個体は第3歩脚前基部の雄性突起の有無によって雌雄の判定を行った後、体長の測定および体重の秤量を行った。多数漁獲された定点については、個体数を計数した後、無作為抽出により一部の個体について上記の処理を行った。

試験底曳による漁獲方法、あるいは個体の測定部位等は第1章で示した通りである。各回各定点ごとの漁獲個体数および重量について、それぞれ季節ごとの平均値を求め、シャコの分布の季節変化を調べた。

分布には春から夏にかけて著しい南偏傾向がみられたので、その原因を調べるために、柴漁協所属の小型底曳網漁船によって湾内で漁獲された個体を用いて1988年5月20日に標識放流（3,263個体、平均体長11.17cm）を行った。直径1cmのプラスチックの円板を胸節に巻きつける背骨型標識を用い（Fig. 5. 1）、Fig. 5. 5に示す地点に放流した。なお、放流地点は夏に集中分布する水域よりも北側である。放流の際、個体の識別あるいは雌雄の区別は行わなかった。

湾内の漁業者に、再捕日、再捕地点とともに「生きて獲れたか斃死したものが入網したか」に関する回答も含めて、再捕の報告を依頼した。

漁場の検討は、1986年8月から1987年7月にかけて柴漁協所属の3隻の小型底曳網漁船（5t）に依頼した操業日誌を用いた。柴漁協では漁業者によって漁場が区分されており（Fig. 5. 2）、それぞれに漁場番号が付けられている。操業日誌には、いつ、どの漁場に何回出漁したかを記入してもらうようにした。次式により、季節ごと（季節の区分は前記の通り）に各漁場の漁場利用率（ $R_i$ ）を求めた。

$$R_i = (X_i / X) \times 100 \quad (5. 1)$$

なお、 $X_i$ は漁場番号*i*への出漁回数、 $X$ はその季節における全出漁回数である。次に、漁場利用とシャコの分布との関係を検討するため、各漁場の漁場利用率をFig. 1. 1に示した定点に変換し、定点別の漁場利用率を求めた。どの漁場がどの定点に相当するかはTable 5. 2に示した。

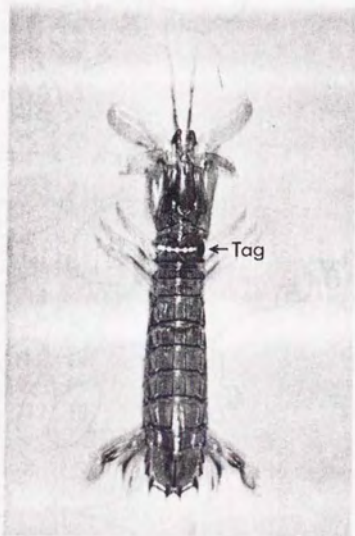


Fig. 5.1 The tag used in the mark-recapture experiment.





Fig. 5.2 The fishing grounds for small bottom trawlers of the Shiba Branch of Yokohama City Fishermen's Cooperative Association in Tokyo Bay.

Table 5.2 The correspondence  
of the fishing area with the  
station

Fishing area	Station
1, 2	17
3, 6, 7	14
4	20
5, 8	18
9,10,11	15
12,13	16
14,15	11
16,17	12
18	13
19	7

## 5. 2 結 果

### 5. 2. 1 個体数分布

Fig. 5. 3は、計8回実施した試験底曳における1曳網当たりの漁獲個体数から作成したシャコの個体数分布の季節変化を示したものである。四季を通じての漁獲個体数の違いから、湾内を4つの水域(A~D)に分けることができる。AはSts. 1~6に当たり、四季を通じて漁獲個体数が少ない水域である。BはSts. 7~10に当たり、湾全体の中で占める個体数割合は夏以外で高く、概ね東西一様の分布傾向にある。CとDは春、夏の主分布域である。CはSts. 11~13に当たり、春から夏にかけて漁獲個体数が急増する。また、東西の違いはそれほどみられない。DはSts. 14~20に当たり、Cと同様春から夏にかけて個体数が急増する。なお、東部に比べて本牧沖、小柴崎沖といった西部に多く分布している。

季節別にみると、まず春はB、Cの全域、Dの西部に多く分布している。夏になると、分布の中心はC全域、Dの西部になる。春から夏にかけての増加量は大きく、湾奥の水質が悪化する夏(清水, 1984; 矢沢・池田, 1988; 桑原・清水, 1989)には湾南部に分布が集中する。秋になると、湾内広範囲に分布するようになるが、量的にはかなり減少する。冬もやや広範囲に分布するが、分布の中心はC、Dの西部にあり、春と似た形の分布となる。ただし、量的には春よりも少ない。

### 5. 2. 2 重量分布

Fig. 5. 4は、同様に重量分布の季節変化を示したものである。結果は概ね個体数分布の場合(Fig. 5. 3)と類似しているが、季節によっては湾北部に対する南部の相対量が個体数分布の場合よりやや高いことがある。

Fig. 5. 3およびFig. 5. 4から、東京湾におけるシャコの分布は春から



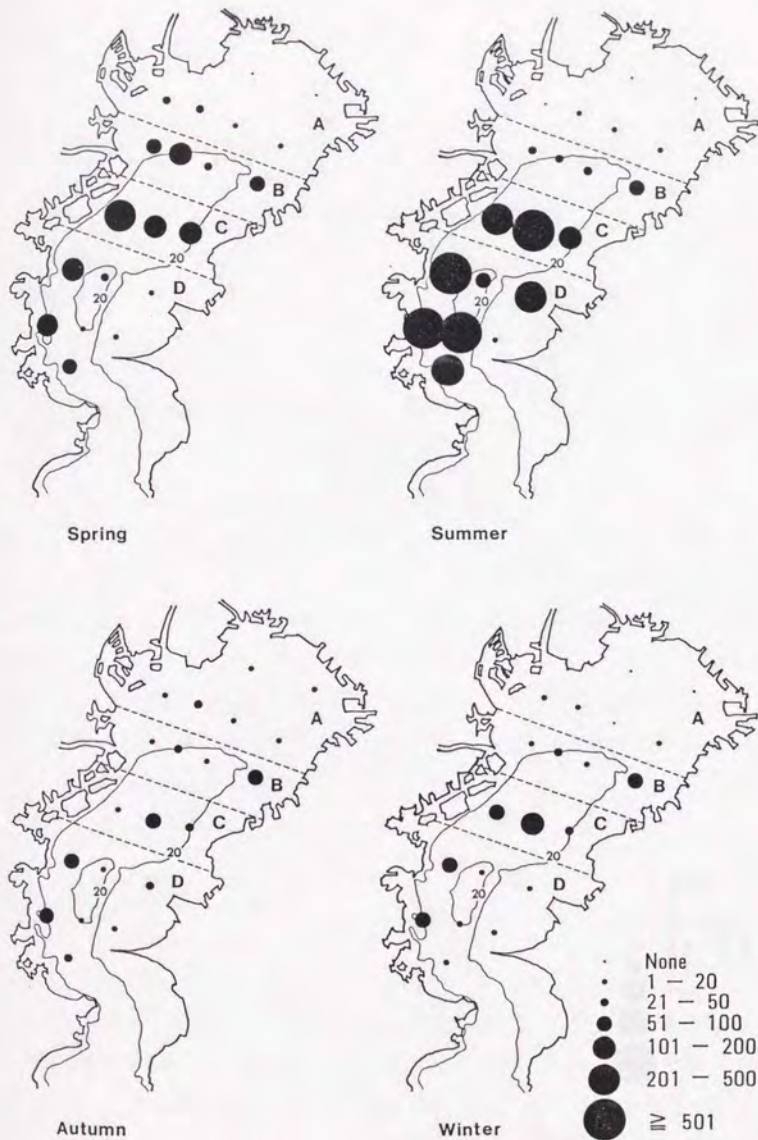


Fig. 5.3 Seasonal mean number of the mantis shrimp taken per tow at each station from May 1985 to February 1987 in Tokyo Bay.

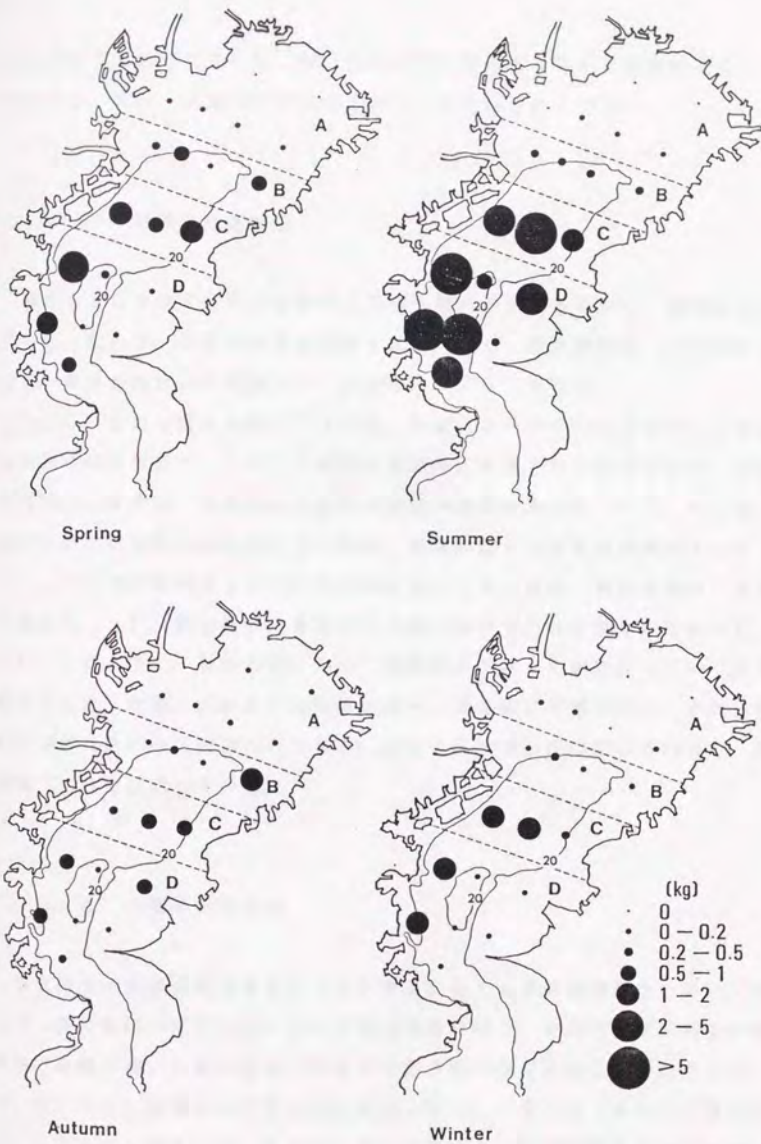


Fig. 5.4 Seasonal mean weight of the nantis shrimp taken per tow at each station from May 1985 to February 1987 in Tokyo Bay.



夏にかけて湾南部に集中し、秋、冬は湾内広範囲に分布する傾向にあることがわかる。また、水深20m以深の定点で多く漁獲されている。

### 5. 2. 3 標識放流実験

春から夏にかけて分布が南偏する原因を明らかにするために、標識放流を行った。Fig. 5. 5にその再捕結果を示す。なお、放流個体数 3,263個体に対し、再捕されたのは35個体で、再捕率は1.07%であった。

Fig. 5. 5のaは放流後10日目以内、bは11日目から30日目まで、cは31日目から60日目まで、そしてdは60日目以降に再捕された地点を示す。放流直後の10日間では、放流地点付近で4個体の再捕があった(a)。その後、30日目までには放流地点付近で3個体、湾南西部で9個体の再捕があった(b)。31日目から60日目までには放流地点付近で2個体、湾南西部で9個体再捕され(c)、放流後60日を過ぎると湾の南部でしか再捕されなかった(d)。このように、春から夏にかけて再捕地点が徐々に南に移っていく傾向がみられた。なお、35個体中33個体は春から夏の間に再捕された。それ以降に再捕されたのは2個体のみである。最後に再捕されたのは12月18日で、放流後 212日を経過していた。

### 5. 2. 4 小型底曳網漁場

東京湾で小型底曳網漁業を行っているほぼ全ての漁業協同組合において聞き取り調査を行ったところ、シャコが主漁獲対象で、その水揚げ量あるいは水揚げ金額が高い比重を占めているのは柴漁協のみであることがわかった。あとは、「少しは獲れるがほとんど出荷しない」、または「ほとんど獲れない」ということであった。そこで、概ね柴漁協の小型底曳網漁場を東京湾におけるシャコの漁場とみなすことができる。

柴漁協の小型底曳網漁場はFig. 5. 2のように区分されている。これを定



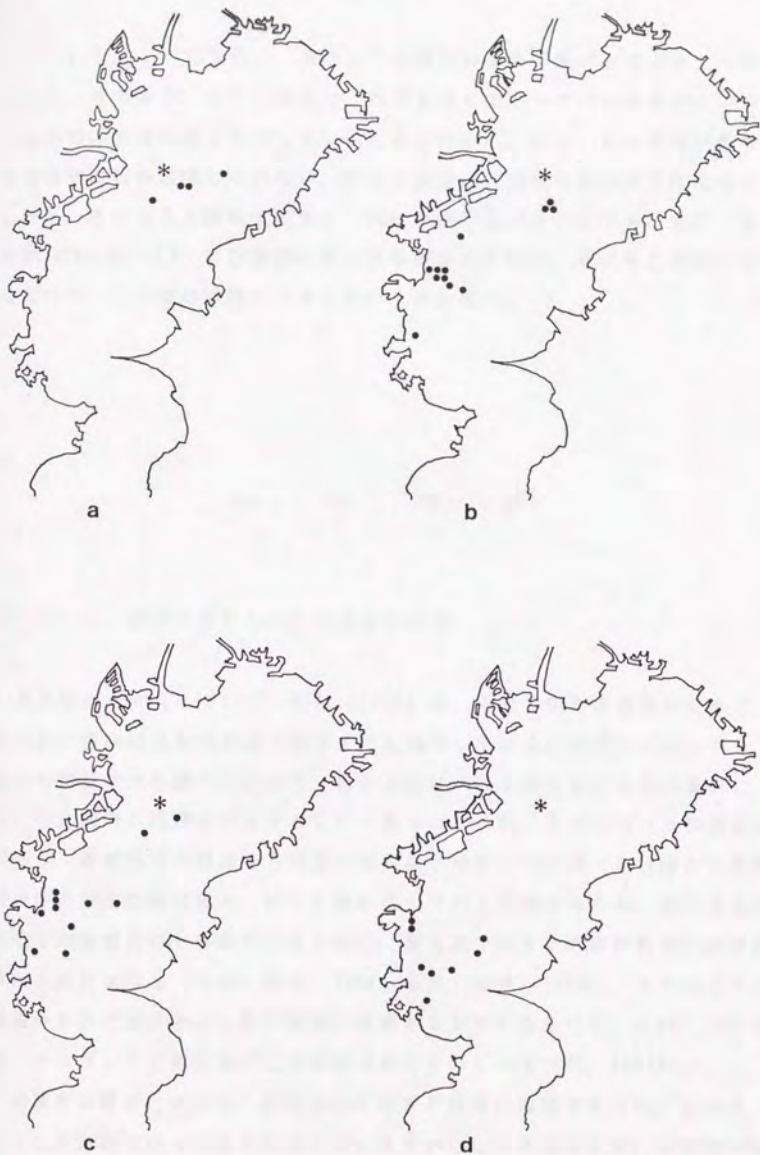


Fig. 5.5 Release point (\*) and recapture points (●) of tagged mantis shrimp. a, 0~10 days; b, 11~30 days; c, 31~60 days; and d, more than 61 days after the release ( 20 May, 1988 ).

点 (Fig. 1, 1) に変換し、定点別の漁場利用率を季節ごとに求めたものが Fig. 5, 6 である。これを見ると、周年を通じてシャコの分布量の多い水深 20m 以深の水域に多く出漁していることがわかる。夏は、最も漁場が集中し、湾西部にしか出漁していない。秋にも同様に、漁場は湾西部に集中する。しかし、冬になると漁場は拡大し、特に東西に広い分布となる。また、湾の中部 (Sts. 11~13) でも東西に広く漁場が形成される。春は冬と同様に漁場は広いが、この季節は南北方向に広い分布となる。

### 5. 3 考 察

#### 5. 3. 1 春から夏にかけての分布の南偏

東京湾のシャコについて、時村 (1985) は、分布の中心は湾南部にあり、夏以外の季節に分布域が北に拡大すると報告している。本研究においても、分布の季節変化を調べたところ、春から夏にかけて湾南部に分布が集中し、秋、冬は湾内広範囲に分布するという結果になった。5月に行った標識放流の結果、再捕地点が放流地点付近→放流地点付近と本牧沖→本牧沖と小柴崎沖→中の瀬南側縁辺部と、徐々に南に移っていく現象がみられ、春から夏にかけての本種の南下移動が示唆された。東京湾では夏に湾奥の底層で貧酸素水塊が形成される (矢沢・池田, 1988; 桑原・清水, 1989)。シャコはそれを避ける形で水質のより良い南部に移動するものと思われる。これについては、マコガレイでも同様のことが明らかにされている (朴, 1989)。

漁業者の報告によれば、再捕は全て生きた個体の漁獲であった。これは、シャコが生存可能な水域で漁業が行われていることを意味する。柴漁協の漁場は、夏、秋に湾西部に集中する。これは、特に夏に主漁獲対象であるシャコ、マコガレイの分布が南偏するために漁場もそこに集中するものと思わ

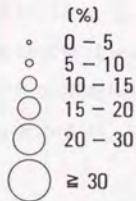


Fig. 5.6 Seasonal change in the distribution of utilization rates of the fishing grounds where the mantis shrimp is target. The numbers of fishing trips are indicated for each season.



れる。南下移動しないで湾奥に留まる個体はいたとしてもごく少数と思われるが、それらが水質悪化のために死亡するか否かは今後明らかにする必要がある。

現在のような夏の水質悪化がみられなかったと考えられる1950年代の研究 (Kubo and Asada, 1957) によると、シャコは湾内一様に分布していた。また、1960年代の研究 (原ほか, 1963) では、本種は長距離の移動は考えられず、定着性のものとされていた。しかし現在は、春から夏にかけての南下移動により、夏の分布は湾南部に集中する。これらより、1970年代半ばの水揚げ量激減後の回復以降、水質悪化を避ける行動が定常化したものと考えられる。

逆に、夏から秋にかけての分布域の拡大については、今後その時期に標識放流を行うなどして原因を解明する必要がある。この時期の標識放流実験としては、中田 (1989a) が1983年および1986年の秋に標識放流を行っている。しかし、それら2回の合計放流個体数 2,700個体に対して再捕が8個体と少なく、この結果からは解明は困難である。一方、風呂田 (1985) はこの点について、シャコは秋の酸素条件回復後に、すみやかに湾北部に進入すると考えている。

### 5. 3. 2 資源の分布と小型底曳網漁場との関係

東京湾では、シャコは水深20m以深の泥底質の水域に多く分布し (Figs. 5. 3, 5. 4)、また漁場もその水域に形成されることが多い (Fig. 5. 6)。同じ小型底曳網で漁獲している大阪湾では漁場は泥底質の水深10~20mの水域であり (林・辻野, 1978)、東京湾の漁場のほうがやや水深が深い傾向にある。石狩湾の漁場は春が水深15~20m、秋が15~25mであるが、漁獲方法は刺網である (依田, 1972)。

東京湾において、シャコが加入開始するのは11月、つまり秋である (第2章参照)。Fig. 5. 7aは、秋 (11月) における定点別の体長組成である。この時期は、体長の頻度分布から大きく2つの群に分かれる。第2章で求め

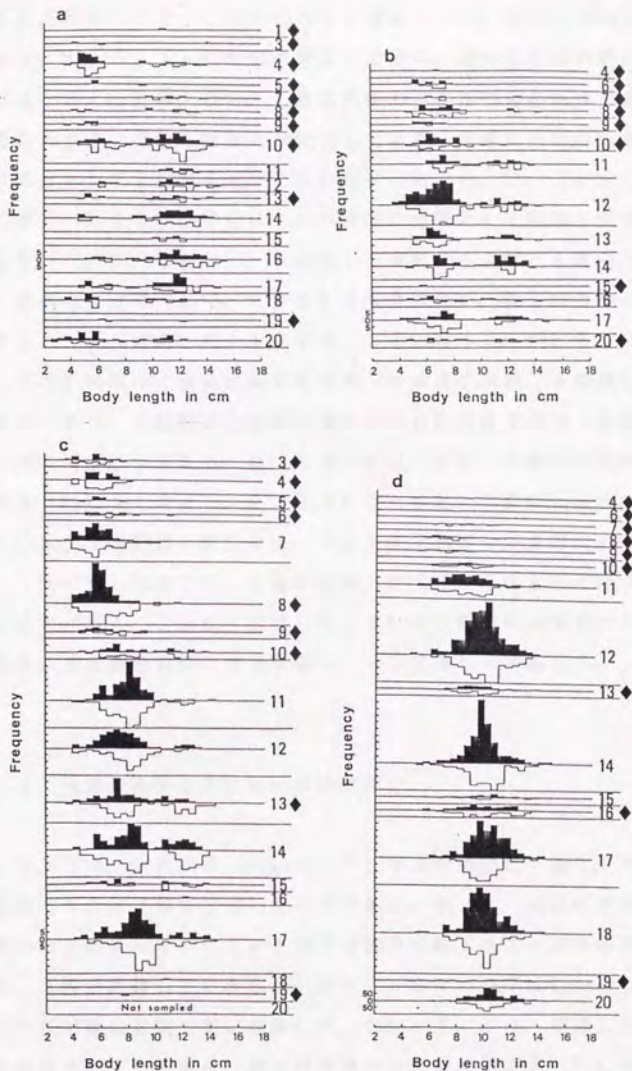


Fig. 5.7 Frequency distributions of the body length of female (black) and male (white) mantis shrimp at each station (numbers at right side). a, autumn (22 November); b, winter (8 February); c, spring (17 May); and d, summer (8 August). Stations with diamond mark are located on the outside of fishing grounds.



た成長式から計算すると、1歳の11月には雌は11.5cm、雄は11.8cmとなる。これらより、Fig. 5, 7 aの右側の群は1歳群に、従って左側の群は当歳群に相当すると考えられる。なお、1歳群の山の中には2歳群も多少含まれていると思われるが、それらは加入が完了しており、同様に出荷の対象となるのでここではあえて2歳群を分けて扱わなかった。Fig. 5, 7において、番号の右に菱形の印をつけた定点は、この時期に漁場として利用されていないことを示す (Fig. 5, 6参照)。秋には、当歳群、1歳群とも湾内広範囲に分布し、漁場内の定点 (無印) に分布する割合は低い。秋に当歳群が広範囲に分布することは、湾内に広く着底することを示唆する。Fig. 5, 7 bは同様に冬 (2月) における体長組成であるが、やはり当歳群、1歳群に明確に分けられる。冬は、1歳群は大半が漁場内の定点に分布するが、当歳群は秋と同様湾内広範囲に分布する。春 (5月) になっても、当歳群は湾内広範囲に分布する (Fig. 5, 7 c)。夏 (8月) になると、当歳群は産卵期を迎えて1歳に、また1歳群は2歳になる。そして両年齢群の体長差は小さくなる。Fig. 5, 7 dに示したように、1歳群は加入が完了するとともに漁場となる湾南部に分布が偏る。これは、前述したように南下移動によるものと思われる。もちろん2歳群も同様に南下移動し、分布は著しく南偏する。

### 5. 3. 3 漁獲の影響を受けない個体数割合

Table 5, 3は、体長組成 (Fig. 5, 7) を各年齢群に分離し、それぞれの1曳網当たりの個体数を推定したものである。秋、冬、および春は当歳群と1歳群の境界がはっきりしているので目視で分解することが可能であったが、夏は、2群が重複している定点もあり、一部についてはHasselblad (1966) の方法で複合正規分布に分解した。Table 5, 4は、季節ごとに、漁場として利用されている定点、および漁場外に位置する定点 (Fig. 5, 7) に分けてそれぞれの個体数を示し、同時に全体の中で漁場外に分布する割合を示したものである。この割合を、資源の中で全く漁獲の影響を受けない個体数割合と考える。秋は、特に当歳群が広く分布しているのに対し、漁場は



Table 5.3 Number of individuals taken per tow at each station and season by age group

Season Age group	Autumn		Winter		Spring		Summer	
	0	1	0	1	0	1	1	2
Station								
1	0	1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0
3	2	0	0	0	25	0	0	0
4	46	13	1	0	55	0	6	1
5	3	1	0	0	7	0	0	0
6	0	0	18	0	13	1	1	0
7	0	8	4	1	115	0	36	10
8	3	7	46	4	182	3	70	4
9	7	2	9	0	23	0	34	3
10	34	86	49	2	39	19	90	2
11	0	11	33	23	203	11	546	20
12	6	28	173	31	164	13	1,356*	407*
13	5	14	44	13	106	47	166	11
14	9	65	43	39	183	91	1,281*	105*
15	0	8	1	0	13	14	69	18
16	9	70	10	4	0	1	252*	98*
17	14	53	63	24	208	38	1,113*	129*
18	16	10	0	0	0	1	1,365*	133*
19	2	1	0	0	1	0	20	11
20	36	13	7	6	Not sampled		381*	27*
Total	192	391	501	147	1,337	239	6,766	979

\* : Analysed using Hasselblad's method ( Hasselblad, 1966 ).

Table 5.4 Number of individuals caught at stations located in the fishing grounds ( A ), at stations outside the fishing grounds ( B ), total ( T ) in each season by age group, and (B/T)x100 indicates the percentage in number of individuals that distribute outside of the fishing grounds

Season	Autumn		Winter		Spring		Summer	
	0	1	0	1	0	1	1	2
A	90	258	366	134	886	169	6,091	839
B	102	133	135	13	451	70	675	140
T	192	391	501	147	1,337	239	6,766	979
(B/T)x100	53	34	27	9	34	29	10	14

南に偏っているので (Fig. 5. 6)、当歳群については湾内の約半数の個体が漁場の外に分布する。冬はシャコの分布は秋とそれほど変わらないが、漁場が拡大してシャコの分布とかなり重なるようになり (Fig. 5. 6)、出荷の対象となる1歳群で特に漁場から外れる率が低くなる。当歳群は秋と同様に湾奥にも分布しているの、3割程度は漁場から外れる。春は、漁場は南北方向に広がる (Fig. 5. 6)。この時期は、柴漁協でマコガレイの成育場と思われる水域を禁漁としているのが解禁になる時期であり、Fig. 5. 6で湾北西部への出漁が目立つが、これはマコガレイを対象にしていると思われる。このように漁場が南北に広がるのに対してシャコの分布は東西に広く (Fig. 5. 3)、そのために資源の3割程度は確実に漁獲から逃れる。夏は漁場が南偏するもの、シャコの分布も著しく南に偏り (Fig. 5. 3)、資源の中で漁場外に分布する割合は低く、1歳群、2歳群ともに同程度の、かなりの漁獲圧力を受ける。

シャコは生後約1年で加入完了した後、出荷の対象となる。そして、漁獲量がピークとなる夏と冬 (序章参照)には漁場外に分布する個体は少なく (Table 5. 4)、かなりの漁獲圧力がかかる。生後2年を迎え、産卵期を過ぎると大部分の個体が冬までに死亡する。夏から秋にかけて漁獲個体数が減少するのは (Fig. 5. 3)、高齢の個体の死亡によるものかもしれないが、今後さらに検討を要する。また、シャコがU字型の巣穴に生息することは良く知られているが (権野, 1964; Matsuura and Hanano, 1984)、近縁種で本種と同様に最も北方に生息する *Squilla empusa* について、アメリカ合衆国のロードアイランド州沿岸において、夏にはU字型の夏穴を掘るが冬には避寒のためにそれとは別の縦長の冬穴を掘ることが認められている (Myers, 1979)。シャコでも同様のことがみられるとすれば、それが原因で漁獲個体数が変化する可能性もある。浜野・永井 (1989) は、本種の分布域の北限であり、冬の水温が低い石狩湾ではこのような冬穴を掘る可能性が大きいと考えている。しかし、より水温が高く避寒の必要がないであろう東京湾では季節による巣穴の形態変化は恐らくないものと思われるが、今後さらに調査の必要があろう。

Table 5. 4にあるように、加入完了前の当歳群においては、漁場外に分



布し全く漁獲の影響を受けない個体数が比較的高い割合を示す。これは、漁場の内外に広く着底するためである。このように、シャコは湾内の漁場とならない水域にも着底することによって漁獲から逃れ、加入完了後の資源に貢献しているが、漁場の拡大、あるいは大規模な埋立てなどによる海面の縮小がおこると、若齢個体への漁獲圧力が増加して資源の減少を招くことが懸念される。