

東京湾におけるシャコ加入量の変動要因

児玉 圭太・清水 詢道・青木 一郎

Possible Factors Causing the Fluctuation of the Recruitment of Japanese Mantis Shrimp *Oratosquilla oratoria* in Tokyo Bay

Keita KODAMA*1, Takamichi SHIMIZU*2, and Ichiro AOKI*1

Abstract

The associations between the recruitment of the Japanese mantis shrimp *Oratosquilla oratoria* and environment variables were examined in Tokyo Bay. The catch data and CPUE calculated from fishermen's logbook showed abrupt decline from 1991 to 1992, and has remained low thereafter. Multiple regression analysis took relevant lag times into account suggests that the recruitment of *O. oratoria* is significantly related with river runoff and surface temperature at the lag of three years. Relationships between the recruitment of *O. oratoria* and these environmental variables are discussed.

はじめに

シャコは横浜市漁業協同組合柴支所の小型底曳網漁業にとって最重要漁獲対象種である。近年、他の漁獲対象種の漁獲量が減少し、シャコに対する依存度はより高まってきている (Fig.1)。しかしながら、近年シャコの漁獲量も減少してきている¹⁾。特に2001年には資源状態は極度に悪化し、一時は市場へ全く出荷できなくなる期間も生じ、同漁業の経営に深刻な打撃を与えている。このような状況においては、シャコの資源量変動要因を明らかにし、精度の高い漁況予測手法を開発することが急

務である。

柴支所では独自に資源管理方策(出荷枚数制限、出漁日数制限)を講じてきたが、シャコの資源量変動をコントロールするまでには至っていない。資源量を大きく決定する要因は漁業の影響以外にあるものと考えられ、生活史初期段階における環境要因の影響が加入量を規定している可能性が考えられる。本研究では、漁獲量と環境因子の関係について解析を行い、シャコの加入量に影響を及ぼす要因についての論議を行った。

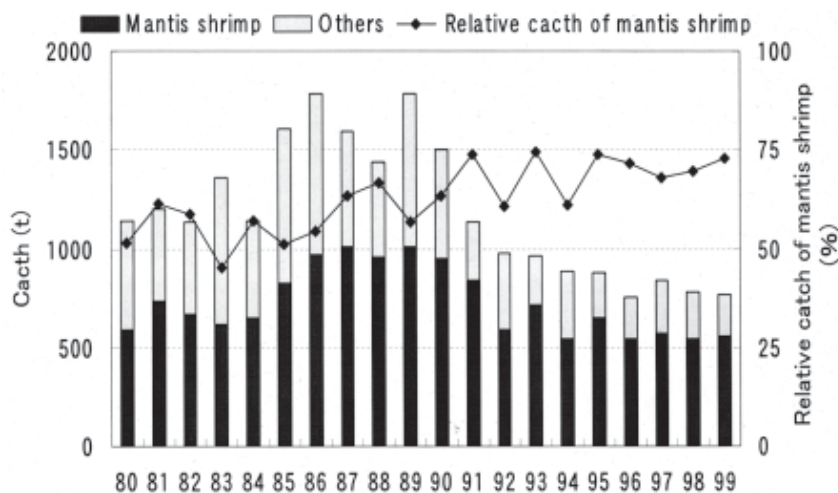


Fig.1 Annual catch of the small bottom trawl fisheries in the Shiba Branch, Yokohama City Fisheries Cooperative Association, between 1980 and 1999. Percentage of the catch of mantis shrimp is also shown.

材料と方法

漁獲量データ

1989年4月から2001年12月までの期間において、横浜市漁業協同組合柴支所における小型底曳網漁船（全54隻）から年間2～4隻の標本船を設定し、漁獲調査日誌の記帳を依頼した。この日誌より出漁した日についての

銘柄別生産枚数および操業時間についての情報を得ることができる。柴支所における月別シャコ生産枚数と標本船1隻あたりの生産枚数の間には強い相関関係がみられ（ $r = 0.97$ ； $P < 0.01$ ）（Fig.2）標本船は柴支所全体の操業状況をよく代表していると考えられる。

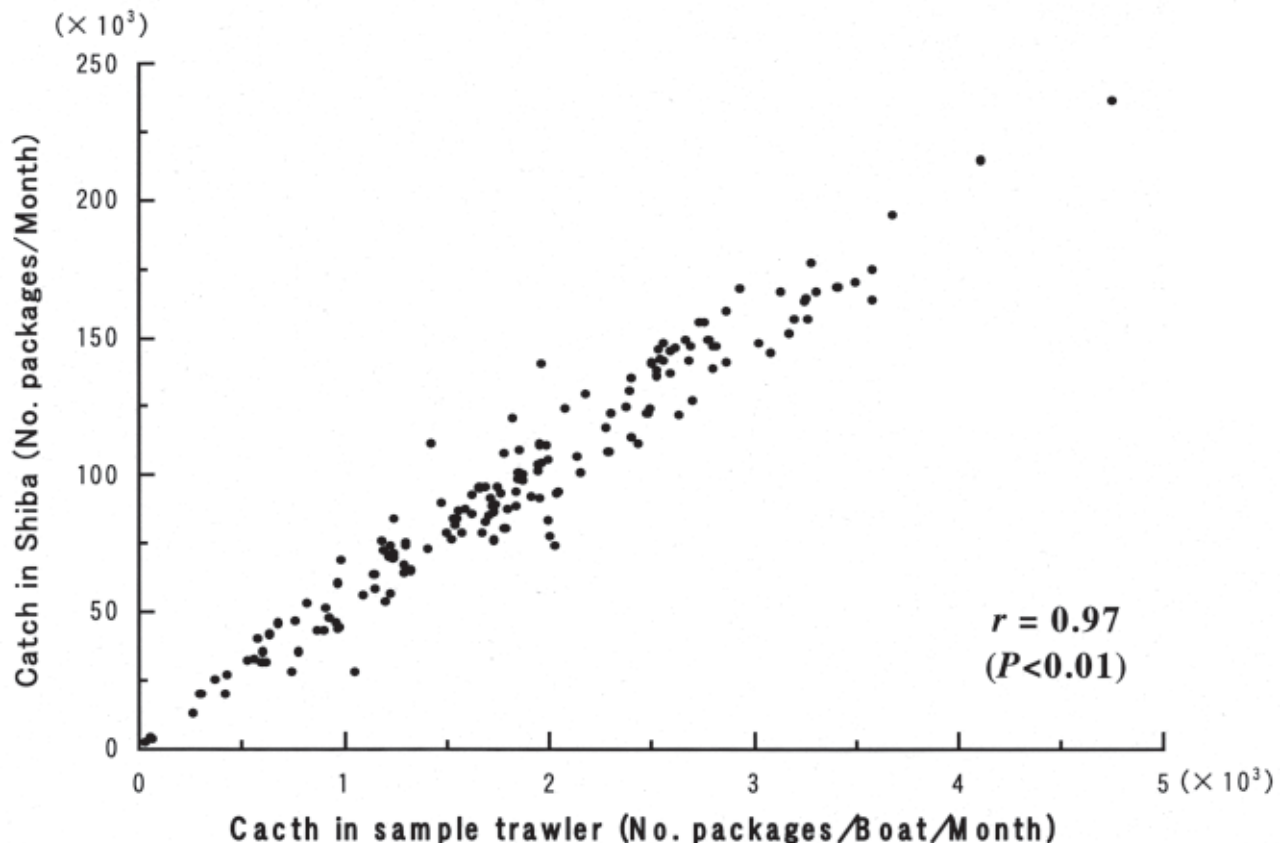


Fig.2 Scatterplot showing the relationship of the catch in number of packages between sample trawler and Shiba Branch.

各銘柄の1枚あたり尾数は決まっており（特大（LL）；8尾、大（L）中（M）；各10尾、マル中（MS）；11尾）漁獲調査日誌に記録されている銘柄別生産枚数を尾数に変換することができる。1989年から2001年について、銘柄別に曳網1時間あたり漁獲尾数（CPUE）の年間平均値を算出し、豊度指標とした。

東京湾においては神奈川県と千葉県の小型底曳網漁船がシャコを漁獲している。この中でシャコを周年にわたって主漁獲対象としているのは横浜市漁協柴支所のみであり、統計でみると柴支所は神奈川県のシャコ漁獲量の約90%以上を漁獲している。したがって、柴支所における漁獲量の推移は東京湾のシャコ資源量を反映しているものとみなした。

シャコは水揚げ後にボイル・むき身加工され、むき身のサイズにしたがって各銘柄に区分し出荷される²⁾。加工前のシャコの体長と加工後のむき身サイズの関係についての報告はこれまでに無いため、各銘柄から年齢別漁獲量を算出することはできない。各銘柄間でCPUEの相関

をとったところ、中とマル中のCPUEの間に強い相関がみられた（ $r = 0.87$ ； $P < 0.01$ ）（Table 1）。加工に用いられるシャコの最小体長は11cmであり、11cm以上のシャコは2年級存在する²⁾。このことより、中およびマル中の銘柄は加入1年目の同一年級群であると仮定して、中とマル中の年間平均CPUEの和を加入量指数として定義した。

Table 1 Correlation coefficients between annual CPUE of each market size categories.

	LL	L	M	MS
LL	—			
L	0.61*	—		
M	0.22	0.66*	—	
MS	0.15	0.63*	0.87**	—

** : $P < 0.01$, * : $P < 0.05$

加入量予測モデル

シャコの漁獲量変動と環境変動の関係を調査するにあたり次の環境因子を考慮した：表層および底層水温 ()、底層 DO(mg/l)(公共用水域水質データファイル、国立環境研究所、1985 - 1998)(観測点はKodama et al. ³⁾を参照); 河川流量 (m³/sec)(江戸川：流量年表、日本河川協会、1985 - 1999); 風速南北成分 (m/s)(横浜：気象庁月報、気象庁、1985 - 2000)。水温、河川流量については年間平均値、DO、風速南北成分については6 - 10月の平均値を算出し解析に用いた。

ある年 (t) の加入量指数に対して1年から4年のタイムラグ (t-1 ~ t-4) をとった環境因子との間で相関係数を算出した。危険率5%以下の水準で有意な相関を示した環境因子を独立変数、加入量指数を従属変数とし、変数増減法による重回帰分析を行い、加入量予測モデルを作成した。モデルの妥当性を評価するためにクロスバリデーションテストを行った。

結 果

漁獲量変化

Fig.3aに柴支所における1986年以降のシャコの年間漁

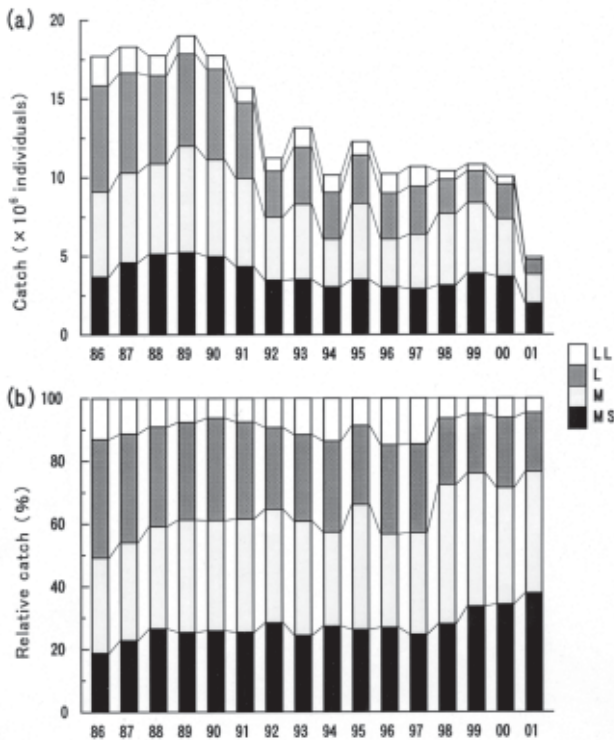


Fig.3 Yearly changes in the annual catch of mantis shrimp for market size categories in the Shiba branch, Yokohama City Fisheries Cooperative Association, between 1986 and 2001. (a) Catch in number of individuals, (b) Relative catch.

獲量の経年変化を示した。1986年から1991年にかけて平均漁獲量は 17.7×10^6 尾と高水準であった。しかし1992年には1991年以前の平均漁獲量の63.5%である 11.2×10^6 尾まで急減した。1992年以降の平均漁獲量は 10.4×10^6 尾と低水準で推移した。特に、2001年には年間漁獲量は 4.9×10^6 尾と大きく減少した。

1989年以降のCPUEの年間平均値の変動傾向も概ね漁獲量の変動とほぼ同様の傾向を示しており (Fig.4a) 1991年までの平均CPUEは332 (尾/時)と高かったが、1992年には急激に減少した。1992年以降は1993、1999年に高い値を示すが、平均CPUEは196 (尾/時)と低い水準で推移していた。さらに2001年にはCPUEは103 (尾/時)と大きく減少した。柴支所における漁獲量、CPUEについて、1991年以前と1992年以降の平均値の間において有意な差がみられた (Mann-Whitney test : 漁獲量 ; $P < 0.01$, CPUE ; $P < 0.05$)。

銘柄別の変動をみると、漁獲量・CPUEともに1997年までは銘柄組成に大きな変化はないが、1998年以降には大型銘柄 (特大、大) の占める割合が減少した (Figs 3b and 4b)。

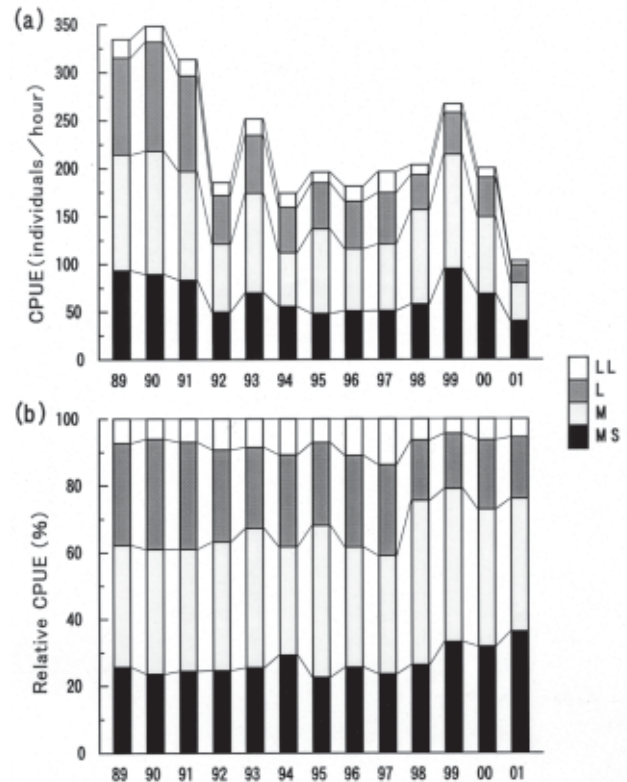


Fig.4 Yearly changes in CPUE (number of individuals caught per hour) of mantis shrimp four market size categories between 1989 and 2001. (a) CPUE, (b) relative CPUE.

加入量と環境因子の関係

加入量指数（中・マル中のCPUEの和）と環境因子との相関解析の結果をTable 2に示した。t年の加入量指数に対し、風速南北成分（t-2）、河川流量（t-3）、表層水温（t-3）、底層水温（t-4）において有意な相関が得られた。

これら4変数を独立変数、加入量指数を従属変数として変数増減法による重回帰分析を行い、加入量予測モデルを作成した。その結果、風速南北成分（t-2）、表層水温（t-3）、河川流量（t-3）が加入量予測モデルに組み入れられた（Fig.5）。モデルは危険率1%の水準で有意であり（ANOVA； $P < 0.01$ ）決定係数（ R^2 ）は0.77であった。モデルによる予測値は1995年から1997年にかけてやや精度が悪いが、概ね実測値の変動を再現した（Fig.5）。クロスバリデーションによる予測値も実測値に近い変動を示しており、このモデルは加入量指数の変動をよく再現していることが示された。偏回帰係数

の検定を行ったところ、表層水温（t-3）、河川流量（t-3）が危険率5%の水準で有意であった。標準化回帰係数は、表層水温（t-3）、河川流量（t-3）ではともに-0.46と同程度の寄与を示し、風速南北成分では0.31であった。

Table 2 Correlation coefficients between the recruitment index (t) and the lagged environmental variables (from t-1 to t-4).

	lag 1 (t-1)	lag 2 (t-2)	lag 3 (t-3)	lag 4 (t-4)
Surface water temperature	0.19	-0.36	-0.59*	-0.31
Bottom water temperature	0.50	-0.09	-0.43	-0.70**
Bottom DO	-0.24	-0.09	0.46	0.31
River runoff	0.42	0.05	-0.70**	-0.07
Wind NS-comp	-0.18	-0.56*	0.02	-0.17

** : $P < 0.01$, * : $P < 0.05$

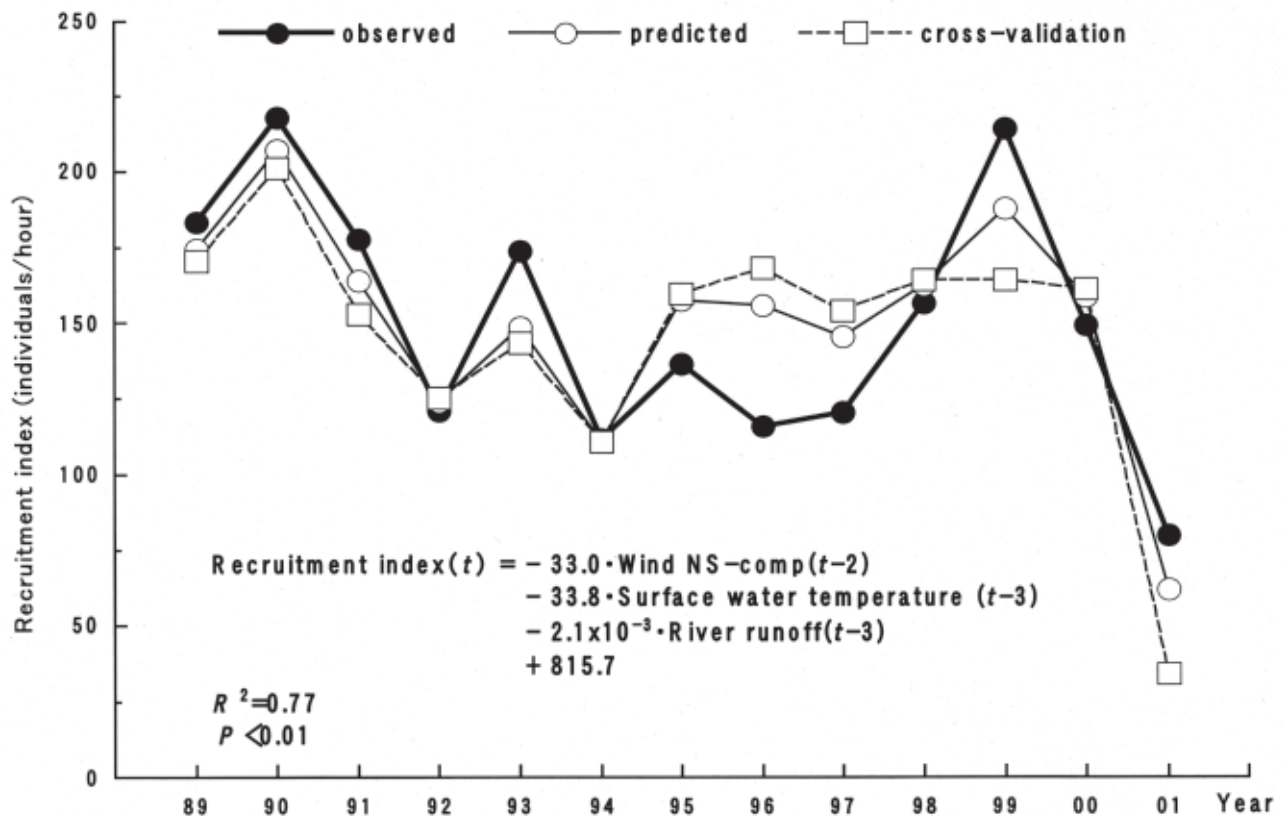


Fig.5 Time series plots of observed and predicted recruitment. The result of the cross-validation test is also shown.

論 議

漁獲量、CPUEは1991年から1992年にかけて大きく減少し、1991年以前と1992年以降で有意な差がみられた。清水¹⁾は1985 - 1990年を好漁期、1992年以降を不漁期と位置づけている。銘柄別の漁獲比率を見ると、1998年以降には大型個体の漁獲比率が減少しており、近年漁獲個体の小型化が進行していることが懸念される。

重回帰分析の結果、河川流量および表層水温が加入量変動に寄与している可能性が示唆された。また、示されたタイムラグは3年であることより、ある年に漁獲されている年級群の漁獲量は3年前の環境状態に左右されることを表す。このことはシャコが出生後3年目に加入完了し漁獲対象となることを意味する。

柴支所によるシャコ漁業においては、漁獲対象となるのは体長11cm以上のシャコである²⁾。これまでに東京湾のシャコについて行われた成長解析では、出生してから体長11cmに成長するまでに1年から2年かかることが報告されている^{5, 6)}。このことは今回得られた出生後3年目で加入完了するという結果と食い違っている。しかしながら、Hamano & Morrissy⁷⁾は、周防灘のシャコについて多量のサンプルを測定することにより体長ヒストグラムの精度を高めた成長解析を行い、出生後3年目で体長11cm以上となることを示している。またHamano & Morrissy⁷⁾は、中田⁵⁾の成長解析ではvon Bertalanffy式を用いており冬季のシャコの成長を過大推定していることを指摘している。さらに大富⁶⁾の成長解析については、使用した漁具の網目の目が大きいため小型個体の採集が不十分で、その結果成長が過大推定となっていることも指摘されている⁷⁾。もし周防灘のシャコの成長が東京湾のものと同様であるならば、今回の解析から得られた出生後3年目に加入完了するという結果と符合する。しかし、東京湾と周防灘では成長速度が異なる可能性もあり、この点に関し検討を行う必要がある。

また一方で、近年には東京湾においてシャコの成長が遅くなっている可能性もある。浮遊幼生の出現盛期は1980年代には6, 7月であったが⁸⁾、1990年代以降は8, 9月へ遅まっていることが報告されている⁴⁾。幼生の出現盛期の遅れは着底時期の遅れにつながると考えられる。Hamano & Morrissy⁷⁾の報告では、着底時期の違いにより体長に差があることが認められる。したがって着底期の遅れは結果として加入の遅れにつながると考えられ、幼生出現盛期が遅くなった1990年代以降には加入までの期間が長くなっている可能性がある。

近年甲殻類についての新たな年齢査定法として、リボフスチンを年齢形質とした年齢推定が試みられている^{9, 10, 11)}。今後、このような手法も導入し東京湾におけるシャコの年齢と成長について再評価を行う必要がある。

水温、および河川流量の影響がシャコの生活史初期段階に及び、加入量を規定している可能性がある。しかし、相関分析や重回帰分析の結果は直接的な因果関係を示すものではないため、個々の環境因子が加入量にどのように影響を与えているかを調査する必要がある。こ

では、考えるメカニズムを提示し考察を行う。

河川流量の増加がシャコの浮遊幼生期間に影響を及ぼし、加入量が減少する可能性がある。メカニズムとしては次の2つが挙げられる。(1) 幼生に低塩分耐性が無く、河川から大量に淡水流入した時に生じる低塩分環境で生残できない。(2) 河川水の流入量の増加により、表層に湾外方向の密度流が生じ、表層に分布する幼生は湾外へ輸送され、その結果として湾内漁場への加入量が低下する。

児玉(未発表)は(1)を検証するため、飼育下で幼生の塩分耐性を調査し、塩分が15‰以下に低下した場合には幼生の生残率が低下することを明らかにした。しかし、東京湾におけるシャコ浮遊幼生の主分布域は湾南部神奈川県側であり⁸⁾、その水域において15‰以下まで塩分が低下するとは考えにくい。だが、河川水が多量に流入した場合には一時的に表層において塩分が極度に低下する可能性もあるため、塩分の連続観測を行い同水域での塩分の下限を明らかにする必要がある。

(2) について、中田⁸⁾は幼生の鉛直分布の中心は6 ~ 7月には水深20 ~ 30m層にあるが、8月には10m層に移ることを示し、8月に出現する幼生は湾外に流出しやすい可能性を示唆している。ただし、1980年代中期においては幼生の出現盛期は6 ~ 7月で、8月の出現量は少ないため、8月に分布の中心が表層に移ることが資源に与える影響は小さいと推察されている⁸⁾。しかし、1990年代以降には幼生の出現盛期は8 ~ 9月に移っており⁴⁾、密度流が発達した場合に表層に分布する幼生が湾外へ流出してしまう可能性が高まっていると考えられる。

水温も河川流量と同程度の寄与で加入量に影響していることが重回帰分析から示されたが、シャコの加入量へどのように影響を及ぼしているかは現時点において不明である。また、今回の解析においては漁業の影響を考慮していない。加入前の小型個体の混獲も加入量に少なからず影響を及ぼすことが考えられる。今後は、加入量へ影響を与えられる因子について因果関係を明らかにするとともに、漁業の影響も評価した上で加入量予測モデルを作成し、漁況予測の精度を向上させていく必要がある。

要 約

1. 漁獲量は1991年から1992年にかけて急激に減少し、以降低水準で推移した。さらに2001年には漁獲量は極度に低下した。
2. 重回帰分析の結果、表層水温および河川流量が生活史初期段階に影響し、シャコの加入量を規定している可能性が示唆された。
3. 近年東京湾のシャコは、加入までに出生後3年かかっている可能性があり、成長の再評価が必要と考えられた。

引用文献

- 1) 清水 詢道(2002): 東京湾のシャコ資源について(総説)- 資源利用の概観と生活史, 神水研報, 7, 1-10.

- 2) 大富 潤(1991): 東京湾におけるシャコの資源管理に関する基礎的研究, 東京大学大学院農学系研究科博士学位論文
- 3) Kodama K, Aoki I, Taniuchi T. & Shimizu M. (2002): Long-term changes in the assemblage of demersal fishes and invertebrates in relation to environmental variations in Tokyo Bay, Japan. *Fisheries Management and Ecology*. 9. 303-313.
- 4) 清水 詢道(2000): 東京湾におけるシャコ浮遊幼生の生残率の推定, 神水研研報, 5, 55-60.
- 5) 中田 尚宏(1987): 東京湾におけるシャコの初期成長及び成長と年齢について, 水産海洋研究会報, 51, 307-312.
- 6) 大富 潤(1988): 東京湾における加入完了後のシャコの成長および寿命について, 日水誌, 54, 1935-1940.
- 7) Hamano T. & Morrissy N. M. (1992): Growth of *Oratosquilla oratoria* (de Haan, 1844) (Stomatopoda) in the sea of Suo-Nada, Japan. *Crustaceana*. 63. 263-276.
- 8) 中田 尚宏(1986): 東京湾におけるシャコの幼生の分布について, 神水試研報, 7, 17-22.
- 9) Sheehy M. R. J. (1992): Lipofuscin age-pigment accumulation in the brains of ageing field- and laboratory-reared crayfish *Cherax quadricarinatus* (von Martens) (Decapoda: Parastacidae). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 161. 79-89.
- 10) Sheehy M. R. J., Shelton P. M. J, Wickins J. F., Belchier M. & Gaten E. (1996): Ageing the European lobster *Homarus gammarus* by the lipofuscin in its eyestalk ganglia. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 143. 99-111.
- 11) Bluhm B. A. & Brey T. (2001): Age determination in the Antarctic shrimp *Notocrangon antarcticus* (Crustacea: Decapoda), using the autofluorescent pigment lipofuscin. *Mar. Biol.* 138. 247-257.