

東京内湾におけるマコガレイの長期資源変動について

一色竜也

Long term fluctuations in the stock of marbled sole *Pleuroectes yokohamadae* in Tokyo Bay

TATSUYA Isshiki*

Abstract

Stock size fluctuations were analyzed using virtual population analysis (VPA) on marbled sole *Pleuroectes yokohamadae* in Tokyo Bay during 1980 - 2013. The stock size fluctuated from 320×10^4 to 923×10^4 individuals in 1980 - 1987. After remarkable decrease in 1988, the stock fell to lower level of 92×10^4 - 194×10^4 individuals in 1988 - 1998. Furthermore, the stock decreased in a level of 13×10^4 - 85×10^4 individuals in 1999 - 2013. The spawning biomass declined from 213 tons in 1987 to 11 tons in 1988, and shifted from high level of 166 tons - 409 tons in 1980-1987 into low level of 4.7 tons - 28 tons in 1988 - 2013. The percent spawning per recruit (%SPR) fluctuated from 13.3% to 33.9% in 1980 - 1987. The %SPR declined to lower level of 3.2% - 9.9% in 1988 - 2004, except 12.0% and 28.2% in 1989 and 1991. It was recognized that the stock was under great fishing pressure in the long term, over 17 years. Then, the %SPR improved to over 20 % in 2008 - 2013, except 15.5% in 2012. Especially, the %SPR reached a high value of 40.1% in 2009. However, no recovery trend was still observed in the stock.

緒言

神奈川県の東京湾内湾沿岸漁業においてマコガレイは重要な水産資源である。マコガレイを含む東京内湾におけるカレイ類の漁獲量は、1980年代後半までは400~800tで推移したが、1991年代以降200t前後、1999年以降100t以下へと段階的に減少した¹⁾。

本県では2007年3月に東京内湾海域小型機船底びき網漁業包括的資源管理計画の策定を行い、シャコ漁の休漁を主体にマコガレイも含めた東京内湾における水産資源の回復に取り組んできた。これに伴い、横浜市漁業協同組合柴支所所属の小型機船底びき網漁業（以下、小型底びき網漁業という）の年間延べ出漁日数は、2006~2009年にそれまでの7割弱に減少したことが確認されている²⁾。さらに2011年には横浜市漁協、横須賀市東部漁協において資源管理計画を策定し、取り組みを継続している。しかし、こうした資源管理の取り

組みにも関わらず、マコガレイは1980年代の漁獲量に未だ回復できていない。

資源回復を達成するには、実効性のある資源管理方策が不可欠である。そのためには資源解析を行い、その変動特性や資源管理に対する漁獲抑制効果を明らかにする必要がある。そこで本研究では、1980年から今日にまでの30年間の長期に亘る年齢別漁獲尾数を推定し、VPAによる資源尾数を求めた。さらにこれらを基にして、再生産成功率（RPS）による再生産状況を明らかにし、加入量当たり産卵資源量（SPR）を求め、休漁等による資源管理が資源変動に与える影響を分析した。

材料及び方法

銘柄別漁獲尾数の推定

東京内湾におけるマコガレイの資源解析のためには、湾全体の漁獲量が必要となる。しかし、それらを長期に亘つ

て網羅するような統計値は存在しない。農林水産統計においても、マコガレイを含めた「かれい類」として統計値が取りまとめられている。本県では横浜市漁業協同組合、横須賀市東部漁業協同組合の小型底びき網漁業及び刺網漁業等がマコガレイを漁獲している。このうち横浜市漁業協同組合柴支所については銘柄別の水揚げ資料が整理されており、1980年代から現在に至るまでの長期的な漁獲量の変遷を把握することができる (Fig. 1)。またそのマコガレイ漁獲量は、東京内湾の県内農林水産統計における「かれい類」漁獲量の41%を占め、両者は高い相関関係 ($r=0.93$) にあるとされている¹⁾。そこで本研究では、東京内湾全体の指標として同支所のデータを基に資源解析を行った。

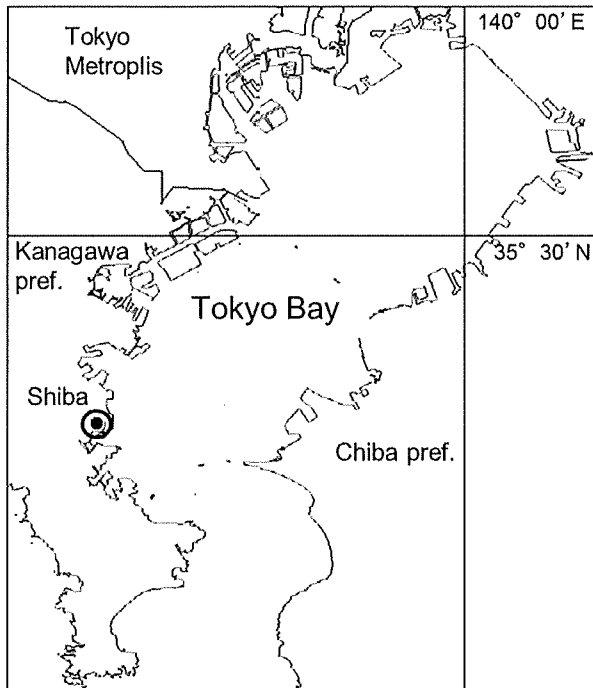


Fig. 1 Location of Shiba Branch, Yokohama City Fisheries Cooperative Association in Tokyo Bay, Japan, where the sampling survey was conducted.

1988～1999年分については、当水産技術センターが過去に調べた小型底びき網の年別銘柄別漁獲量を用いた。

銘柄は全長のサイズ別に区分され、大きさ順に「丸小」(16.5～20.0cm)、「小」(20.0～23.0cm)、「中」(23.0～26.5cm)、「大」(26.5cm～)の4段階であった。2000～2013年の年別銘柄別漁獲量は、同支所の水揚げ電算システムから抽出した。同漁獲量の銘柄は「丸小」、「小」、「中」、「大」(26.5～

28.5cm)の4段階に「特大」(28.5cm～)を加えた5段階であった。2000～2009年の小型底びき漁業と全体の漁獲量との関係を直線回帰式にあてはめて、1988～1999年における同支所全体の銘柄別漁獲量を推定した。これらを結合して1988～2013年の銘柄別漁獲量を整理した (Table 1)。

年別年齢別漁獲尾数の推定

2007～2009年度に横浜市漁業協同組合柴支所において魚体測定調査を実施した²⁾。同調査は水揚げされたマコガレイを銘柄別にサンプリングし、全長及び体重測定と雌雄判別、耳石の摘出を行い。これら調査データを基に銘柄別平均体重、銘柄別雌雄比を求めた (Table 2)。一方、摘出した耳石は輪紋の表面観察で年齢査定を行った。銘柄別年齢別の雌雄別平均全長及び標準偏差を求めた。

1988～2013年の銘柄別漁獲重量を用いて、雌雄別銘柄別漁獲尾数を(1)式で推定した (Table 1)。

$$C_{k,i,j} = \frac{Y_{i,j}}{W_j} S_{k,j} \quad (1)$$

ここで雌雄 k 、 i 年、 j 銘柄の漁獲尾数は $C_{k,i,j}$ 、年別銘柄別漁獲重量は $Y_{i,j}$ とし、 W_j は銘柄別平均魚体重、 $S_{k,j}$ は銘柄別雌雄比を示す。なお、2000～2009年の活魚の出荷尾数を銘柄別漁獲量とは別に漁協の電算システムから抽出した。活魚出荷の個体は体重900g以上の大型魚である。マコガレイは雌雄で成長差があり、標準体長320mm以上は雌のみであるとされている³⁾。標準体長320mmを体長体重関係式⁴⁻⁵⁾で体重に換算すると、どの式においても900gを下回った。そのため、活魚で水揚げされる魚体はすべて雌と判断され、雌のLL銘柄の漁獲尾数に加算した。

1988～2013年の雌雄別銘柄別漁獲尾数を基に、銘柄組成による年齢推定法⁶⁾⁷⁾を用いて、雌は4歳まで、雄は3歳までの雌雄別年齢別漁獲尾数を推定した。計算に必要な年齢別の銘柄組成は、各銘柄の全長範囲と雌雄別平均全長及び標準偏差から求めた (Table 3)。同計算過程は繰返し計算が必要なため、MS-Excel上で自動計算可能なアプリケーションを開発した。繰返し回数を10回として計算した。

これら1988～2009年の年齢別漁獲尾数に朴³⁾が推定した1980～1987年のデータを引用して付け加え、1980～2009年の年齢別漁獲尾数とした (Table 4)。

資源尾数の推定

1980～2013年の雌雄別年齢別漁獲尾数を用いて、VPAにより雌雄別資源尾数を求めた (Table 5)⁸⁾。資源尾数推定式として(2)式に示したPopeの近似式を用いた。ここで雌雄 k 、 i 年、 a 歳の資源尾数 $N_{k,i,a}$ 、漁獲尾数 $C_{k,i,a}$ 、自然死亡係数 M とする。

$$N_{k,i,a} = N_{k,i+1,a+1} \exp(M) + C_{k,i,a} \exp\left(\frac{M}{2}\right) \quad (2)$$

2013年における各年齢の資源尾数 $N_{k,2013,a}$ は(3)式で推定した。

$$N_{k,2013,a} = \frac{C_{k,2013,a} \exp\left(\frac{M}{2}\right)}{1 - \exp(-F_{k,2013,a})} \quad (3)$$

各年のプラスグループ $N_{k,i,a+}$ を(4)式で計算した。

$$N_{k,i,a+} = N_{k,i+1,a+} \exp(M) + C_{k,i,a+} \exp\left(\frac{M}{2}\right) + C_{k,i,a-1} \exp\left(\frac{M}{2}\right) - N_{k,i,a-1} \quad (4)$$

自然死亡係数 M は雌は $M = 0.250$ で雄は $M = 0.313$ とした³⁾。漁獲係数 $F_{k,i,a}$ は(5)式で示した。

$$F_{k,i,a} = \ln \left\{ \frac{N_{k,i,a}}{N_{k,i+1,a+1}} \right\} - M \quad (5)$$

2013年のプラスグループを除く漁獲係数 $F_{k,2013,a}$ は、同一年齢群における過去3年間の平均値とした。これら計算は全て表計算ソフトMS-Excel上で行い、最後に2013年のプラスグループより1歳若い年齢群の F と等しくなるように、ソルバーを用いてターミナル F を探索的に求めた。

RPSと%SPRの計算

雌の年齢別資源尾数 $N_{i,a}$ に年齢別平均重量 w_a 及び年齢別成熟率 r_a を乗じて年齢別産卵親魚量を求めた。年齢別成熟率 r_a は1980年代半ばと2000年代とでは異なるとされており、前者は0歳魚で5%、1歳魚で95%、2歳魚以上の個体で100%、後者は1歳魚で6.7%、2歳魚で58.3%、3歳魚以上の個体で100%とされている^{3),7)}。そこで1980~1987年は前者の値を、1988~2013年は後者の値を用いた。これら年齢別産卵親魚量の合計値を産卵親魚量 SSB_i とした (Table 5)。

$$SSB_i = \sum (N_{i,a} \times W_a \times r_a) \quad (6)$$

加入資源である0歳魚の資源尾数 $N_{i,0}$ を SSB で除し、再生産成功率RPSを求めた。

$$RPS_i = \frac{N_{i,0}}{SSB_i} \quad (7)$$

漁獲のないときのSPRに対するSPRの比を%SPRとして求めた^{9),10)}。

$$\%SPR_i = \frac{SPR_i}{\sum_{k=0}^{4+} [\exp\{-\sum_{k=0}^a (F_k + M)\} \times W_a \times r_a]} \times 100 \quad (8)$$

$$\%SPR_i = \frac{SPR_i}{\sum_{k=0}^{4+} [\exp\{-\sum_{k=0}^a M\} \times W_a \times r_a]} \times 100 \quad (9)$$

結果

漁獲尾数の推移

漁獲尾数の推移をみると、対象期間中の1988年と1999年に大きな減少がみられた。それらを境に漁獲尾数は、1980~1987年、1988~1998年、1999~2013年と段階的に減少した。1980~1987年の最大尾数は1986年の335万尾で、最低尾数は1982、1984年の80万尾であった。1988~1998年の最高尾数は1990年の95万尾で、最低尾数は1991年の17万尾であった。同期間の最高尾数は1980~1987年の最低尾数と同等レベルに低下した。1999~2013年はさらに減少し、最高尾数は2007年の33万尾、最低尾数は2011年の3万尾であった (Fig. 2)。

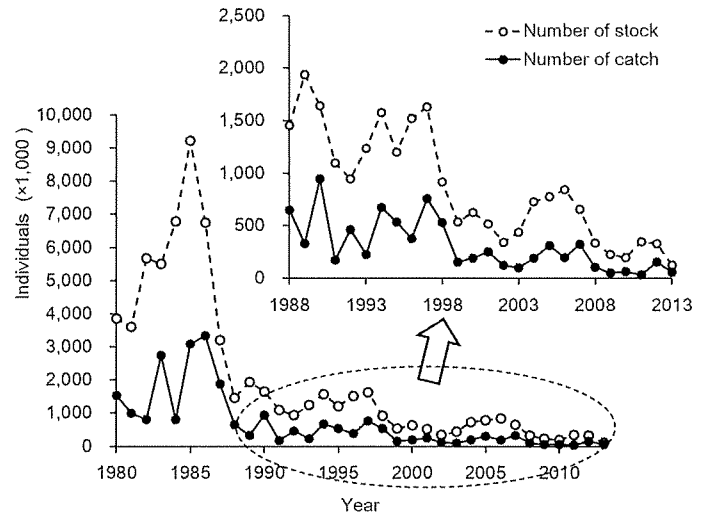


Fig. 2 Annual fluctuations of estimated catch (closed circle) and stock (open circle) of marbled sole at the Shiba Branch, Yokohama City Fisheries Cooperative Association, in Tokyo Bay, Japan, between 1980 and 2013.

漁獲尾数の年齢組成をみると、2011年を除いては全体的に1歳魚が主体である。1980~1987年まで0歳魚の割合は低かったが、1988~2007年にはやや目立つようになり、特に1994~1998年は12~20%を占めるようになった。その後、2008~2011年はほとんどみられなくなった。一方で3+歳魚は、2008年以降に頻度が高くなり、2010年には全体の半分を超えた (Fig3)

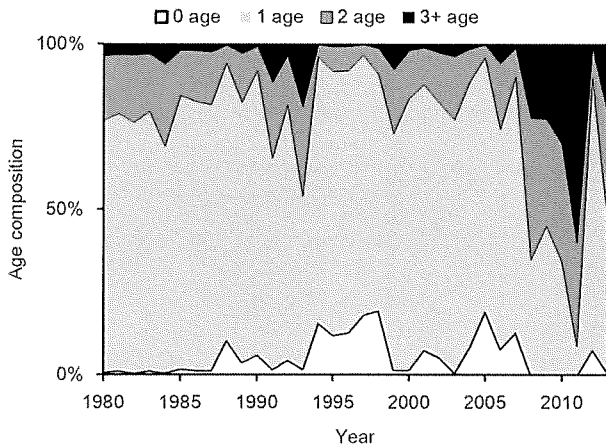


Fig. 3 Age Composition of catch of marbled sole at the Shiba Branch, Yokohama City Fisheries Cooperative Association in Tokyo Bay, Japan, between 1980 and 2013.

資源尾数の推移とRPS、%SPR

資源尾数も1988、1999年に大幅な縮小がみられ、1980～1987年は320～923万尾、1988～1998年は92～194万尾、1999～2013年は13～85万尾で推移した (Fig. 2)。資源尾数の年齢組成をみると、どの年も0、1歳魚が主体であり、全体の55.3～97.7%を占めた。

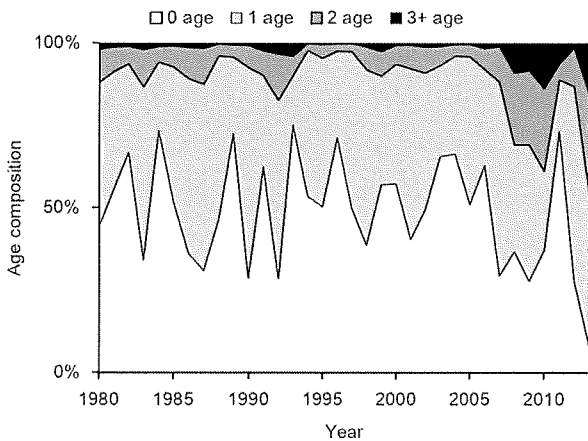


Fig. 4 Age composition of estimated stock of marbled sole in Tokyo Bay, Japan, between 1980 and 2013.

加入資源である0歳魚の組成は、8.4～75.2%と年によって大きく変動した (Fig. 4)。

産卵親魚量は1980～1987年に166.1～409.3tであったが、1988～1998年は6.9～27.7tと1/20に縮小した。1999～2013年は4.7～17.1tで推移した (Fig. 5)。

再生産成功率RPSは、1980～1987年に最低値が1983年の5.0尾/kg、最高値は1984年の25.2尾/kg平均11.3尾/kgとなった。1988～1998年は最低値が1992年の9.7

尾/kg、最高値は1986年の157.1尾/kg、平均63.2尾/kgであった。1999～2013年は最低値が2013年の1.1尾/kg、最高値は2004年の90.9尾/kg、平均33.3尾/kgであった。このようにRPSは資源状態の良い1980～1987年が、資源状態の悪い1988～1998年よりも最も低かった (Fig. 6)。

%SPRの年変動をみると、1980～1987年では15.8～33.9%で推移した。1988～1998年では1989年の12.0%、1991年に28.2%と10%を上回る年もあったが、1992年以降は10%を下回って推移した。1999～2013年では2004年まで引き続き10%を下回っていた。2005～2007年は再び10%を上回って11.8～12.8%、2009～2011年、2013年には20%を上回って、21.1～40.1%で推移した (Fig. 7)。

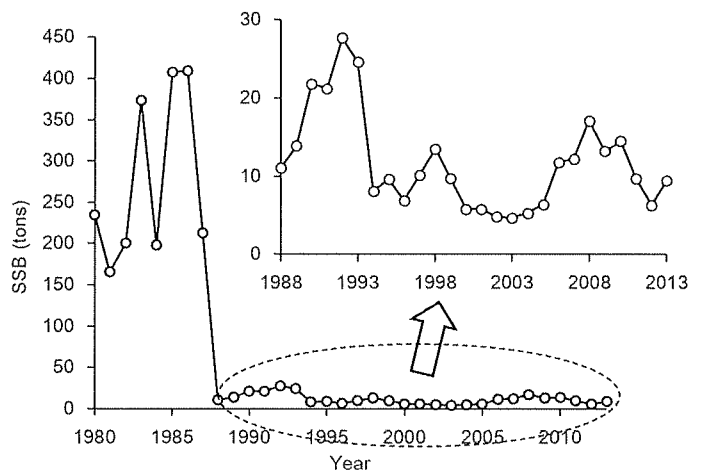


Fig. 5 Annual fluctuations of estimated Spawning biomass of marbled sole in Tokyo Bay, Japan, between 1980 and 2013. Data from the Shiba Branch, Yokohama City Fisheries Cooperative Association, in Tokyo Bay, Japan,.

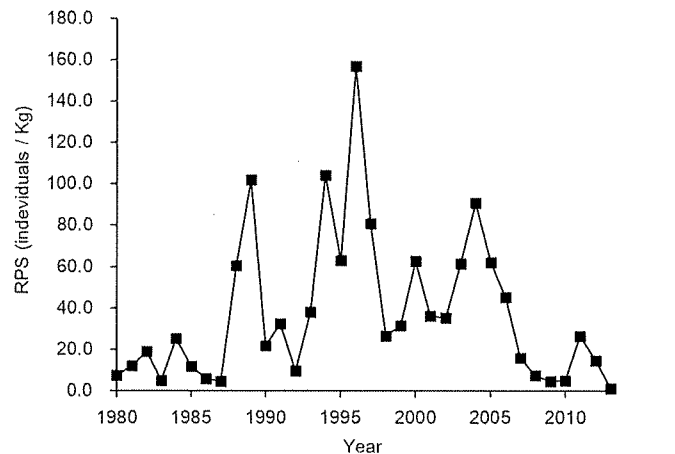


Fig. 6 Recruit per spawning (RPS) of marbled sole in Tokyo Bay, Japan, between 1980 and 2013..

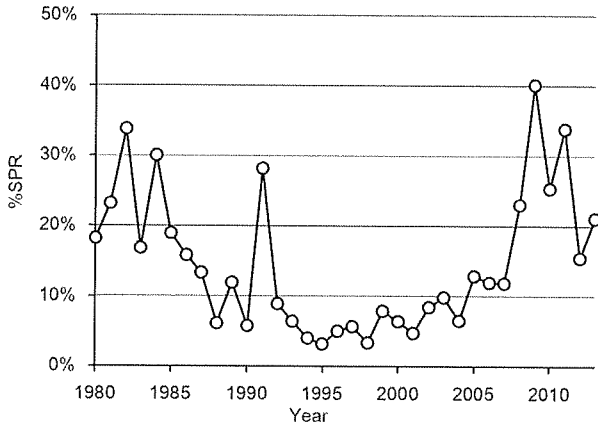


Fig. 7 Percent spawning per recruit (%SPR) of marbled sole in Tokyo Bay, Japan, between 1980 and 2013..

考察

東京湾のマコガレイは本県のみならず、千葉県においても漁獲されている。千葉県のかい類の漁獲量は、1980年代後半に最大1,700tの漁獲がみられたが、その後減少し、1999年以降は概ね200~300t台で推移した¹⁾。一方で本県のかい類の漁獲量は1980年代後半まで400~800t、1991年以降200t前後、1999年以降は100t以下で推移した²⁾。本県の漁獲量は千葉県のおよそ半分程度であるが、どちらも1980年代の後半に高い漁獲量がみられ、その後減少し1999年以降はさらに低下するなど、同様の変動傾向を示している。本研究では横浜市漁業協同組合柴支所の漁獲量のみから資源尾数を推定したが、それら変動は同機していると思われるため、資源の相対的な評価は可能と考えた。今後、本県の他の地域と千葉県のデータを加え、東京湾全域の漁獲量から資源量を推定し、より精密な評価を行うことが望ましい。

今回、推定した資源尾数をみると、1980~2013年は全体的に右肩下がりで変動した。そのなかで1988年と1999年に急激に資源が落ち込む年があり、それを境として資源水準が段階的に縮小した。こうした急激な変化は、同資源の年齢組成が0、1歳魚を主体としているため、加入資源が減少すると資源全体が一気に縮小する資源構造を持つことが原因と考えられた。

再生産成功率RPSの変動をみると、その特徴として1980~1987年において資源量は格段に大きいだが、その後の期間と比べてRPSは低かったことが挙げられる。1980年代は密度効果により、2000年代に比べ成長率が低かったとされており¹²⁾、こうした密度効果は成長抑制のみならず、同期における再生産にも影響を与え、加入を抑える方向に効いたのではないかと思われた。

一方で1988~1998年においては、RPSの高い年が複数みられたが資源量の回復に繋がらなかった。これは産卵親魚量SSBが低かったことによると思われた。さらに1999~2013年においては、RPS、SSBとも1988~1998年より低調であったため、資源はさらに悪化していったと考えられた。

これらRPSの変動の一つの要因として、東京湾内におけるカレイの分布状況を左右する貧酸素水塊(DO 2.5ml/l以下)の動向が挙げられている。貧酸素水塊の長期変動を湾奥の船橋から沖合にかけての海域で検討した報告では、1966~1987年以前は広範囲に及んだが1988~1996年は縮小し、2000年以降再び拡大したとしている¹³⁾。マコガレイのRPSをみると1980~1987年は低く、1988~1998年は高い年が複数年存在し、1999~2013年は再びやや低く推移したため、貧酸素水塊の動向との関連性が示唆された。

%SPRをみると、1986~2007年では1991年の28.2%を除き、いずれも20%を下回り、特に1992~2004年まで3.3~9.9%と10%を満たない状況で推移した。資源管理上は20%が下限で、望ましい状態として30~40%が挙げられている¹⁴⁾。比較的高いRPS下でも資源が好転しなかったのは、高い漁獲圧で資源回復に十分な産卵親魚資源を残せていなかったためと考えられた。一方、2005年以降は再び%SPRは10%を超えて増加傾向に転じ、2008年以降、2012年を除くと%SPRは20%を超えて推移した。%SPRが改善した理由として、2007年に策定された「東京内湾海域小型機船底びき網漁業包括的資源回復計画」による禁漁区、体長制限等の資源管理が挙げられる。小型底びき網漁業の延べ出漁隻数も2005年以降減少がみられており、2006~2009年は2004年以前の7割弱に縮小したことが報告されている²⁾。また、近年では小型底びき網の主漁獲対象がタチウオに転換し、マコガレイへの漁獲圧が低下したと思われる。しかし漁獲圧が低下した一方で、RPSは2008~2010年の3年間にわたって5.0~7.3尾/kgと低位に推移した。このため漁獲圧削減による資源回復効果はみられなかった。1988~1998年と1999~2013年のSSBとRPSを散布図にプロットとすると、1988~1998年($R^2=0.60, P<0.01$), 1999~2013年($R^2=0.46, P<0.01$)とも負の相関関係が認められた(Fig. 7)。これが密度効果¹⁵⁾によるものかは定かではないが、1999~2013年は1988~1998年に比べ、SSBに対するRPSは低位にあり、加入資源に対する環境収容力が低下したためであると思われた。環境収容力の低下となると、1980~1987年の資源水準への回復は、親魚保護による資源管理だけでは不可能であり、現在の状況では1988~1999年への資源回復さえ困難であるかもしれない。

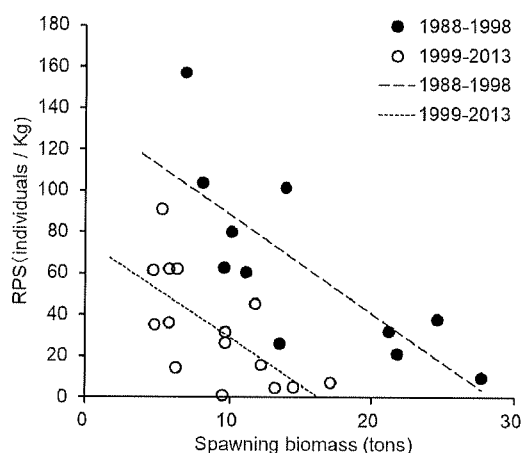


Fig. 7 Relationship between spawning biomass and recruit per spawning (RPS) for marbled sole in Tokyo Bay, Japan.

環境収容力の低下については、底質の悪化によるマコガレイ産卵場の縮小や、貧酸素水塊の拡大による稚魚分布域の減少、マコガレイの餌料生物であるベントスの分布の変化等が考えられるが、今後、これらの漁場環境とRPSの因果関係について検討する必要がある。

海域の加入資源に対する環境収容力が低下したとしても、資源の回復にはSSBをできるだけ回復させ、資源を安定させておく必要がある。すぐには漁獲増といった効果は得られ難いが、漁獲量の削減しか今のところ対策はなく、今後も資源管理の取り組みの継続が望まれる。

謝辞

本研究を進めるにあたり、神奈川県職員OBの上条清光氏にはMS-Excel上で銘柄組成による年齢推定法の自動計算可能なアプリケーションを開発していただいた。また元神奈川県水産技術センター非常勤職員の小林美樹氏にはデータのとりまとめを助力いただいた。マコガレイの漁獲量調査並びに市場調査には横浜市漁業協同組合柴支所の職員の方々にご配慮、ご協力いただいた。ここで記して感謝を申し上げる。

引用文献

- 1) 一色竜也・李 正勲・大山政明・児玉圭太・堀口敏郎 (2010) : 神奈川県における水揚情報を基にした東京湾におけるマコガレイの資源構造, 東京湾の漁業と環境, 1, 9-14.
- 2) 一色竜也・片山知史 (2011) : 東京内湾における

マコガレイの資源状況, 黒潮の資源海洋研究, 12, 53-55.

- 3) 朴 鍾洙(1988) : 東京湾のマコガレイ資源に関する研究, 東京大学大学院学位論文, 126pp.
- 4) Kume G., Horiguchi T., Goto A., Shiraishi H., Shibata Y., Morita M., and Shimizu H. (2006) : Seasonal distribution, age, growth, and reproductive biology of marbled sole *Pleuronectes yokohamae* in Tokyo Bay, Japan, Fish Sci, 72, 289-298.
- 5) Solomon G., Sano M., Shimizu M., Nose Y. (1987) : Age and Growth of the Pleuronectid Flounder *Limanda Yokohamae* in Tokyo Bay, Japan. Nippon Suisan Gakkaishi, 53(5), 711-716.
- 6) 真子 渉・松宮義晴 (1996) : 銘柄組成による年齢組成推定法, 西海区水研報, 50, 1-8.
- 7) 相沢 康・倉田健太郎 (1999) : 神奈川県横須賀市大楠漁業協同組合で水揚げされたマダイの年齢組成の推定方法について, 神水研報, 4, 19-25.
- 8) 国立研究開発法人 水産研究・教育機構 (2014) : 水産資源解析マニュアル.
(https://www.fra.affrc.go.jp/kseika/guide_and_manual/afr/ 2017年4月取得)
- 9) 井本有治・木村 博・吉岡直樹・銭谷 弘 (2007) : 加入量当たり産卵資源量を用いた周防灘マコガレイ資源管理, 日水誌, 73(4), 684-692.
- 10) 桜本和美 (1998) : 「漁業管理のABC-TAC制がよくわかる本」. 成山堂書店, 200pp.
- 11) 千葉県 (2017) : 平成 28 年度千葉県資源管理指針, 千葉県, 38pp.
- 12) Lee J., Kodama K., Oyama M., Kume G., Takao Y., Shiraishi H., Horiguchi T. (2009) : Change in growth of marbled sole *Pleuronectes yokohamae* between high and low stock-size periods in Tokyo Bay, Japan, Fish Sci, 75, 929-935.
- 13) 石井光廣・長谷川健一・柿野 純 (2008) : 千葉県のデータセットから見た東京湾における水質の長期変動, 水産海洋研究, 72(3), 189-198.
- 14) 松宮義晴 (1996) : 水産研究叢書 46 「水産資源管理概論」, 日本水産資源保護協会, 東京.
- 15) 田中栄次 (2015) : 「水産資源管理学 一水産資源の持続的利用とその管理一」.
(www2.kaiyodai.ac.jp/~hermit/水産資源管理学.pdf 2017年11月取得)