

水産振興

マグロ類の資源管理問題の解決 に向けて

—MSY理論に代わるべき新しい資源変動理論—

東京海洋大学

名誉教授 櫻本和美

第 605 号

(第52巻 第5号)

編集
発行

一般財団法人 東京水産振興会

「水産振興」発刊の趣旨

日本漁業は、沿岸、沖合、そして遠洋の漁業といわれるが、われわれは、それぞれが調和のとれた振興があることを期待しておるので、その為には、それぞれの個別的な分析、乃至振興施策の必要性を、痛感するものである。坊間には、あまりにもそれぞれを代表する、いわゆる利益代表的な見解が横行しすぎる嫌いがあるのである。われわれは、わが国民経済のなかにおける日本漁業を、近代産業として、より発展振興させることが要請されていると信ずるものである。

ここに、われわれは、日本水産業の個別的な分析の徹底につとめるとともにその総合的視点からの研究、さらに、世界経済とともに発展振興する方策の樹立に一層精進を加えることを考えたものである。

この様な努力目標にむかってわれわれの調査研究事業を発足させた次第で冊子の生れた処以、またこれへの奉仕の、ささやかな表われである。

昭和42年7月

財団法人 東京水産振興会
(題字は井野碩哉元会長)

目次

マグロ類の資源管理問題の解決に向けて —MSY理論に代わるべき新しい資源変動理論—

第605号

第1章	本稿の概要	1
第2章	資源管理の基本的な概念	8
第3章	シミュレーションによる検討	16
第4章	実データによる検討	19
第5章	シミュレーションの結果	20
第6章	実データの分析結果	32
第7章	考察	41
第8章	おわりに	49
謝辞		52
文献		52

さくらもと かず み
櫻 本 和 美

【略歴】

▷1952年大阪生まれ。1979年東京水産大学大学院修士課程修了。同大学助手、教授を経て、2003年東京海洋大学教授。2018年定年退官。米国ロードアイランド大学訪問教授、国際捕鯨委員会科学委員会委員、水産政策審議会会長等を経て、現在、神奈川県漁業調整委員会会長。専門は、水産資源動態学、水産資源管理学。農学博士（東京大学）。

マグロ類の資源管理問題の解決に向けて

－ MSY 理論に代わるべき新しい資源変動理論 －

東京海洋大学

名誉教授 櫻本 和美

第1章 本稿の概要

1-1. 何が問題か？

マグロ類の資源管理が大混乱に陥っている。日本沿岸の定置網等で漁獲された太平洋クロマグロの未成魚の漁獲量が、2018年1月時点で国際管理機関の一つである中西部太平洋マグロ類委員会（以下、WCPFC）が設定した漁獲枠の90%を超えてしまった。これを受け、水産庁は1月23日、急遽すべての沿岸漁業者に対し操業自粛要請を出す事態となった。しかし、自分たちの都府県の漁獲枠がまだ残っている沿岸漁業者は33都府県にも及び、しかも、第3管理期間は2017年7月から2018年6月までの1年間であるから、操業自粛要請は5ヶ月以上もの長期間にわたって続くことになる。獲ろうとしなくても勝手に定置網に入ってきてしまうクロマグロ未成魚にどう対処すればいいのか、現場は大混乱となっている。

また、2017年、WCPFCは突然メバチ資源の評価を「乱獲状態にある」から「これまでずっと健全な状態であった」と、全く正反対の資源評価に変更した。使用する成長曲線や海区区分を変えたことが資源評価が変わった原因ということである。しかし、変更した成長曲線や変更した海区区分の方が妥当であるという根拠等に対する説明が一切なかったことから、漁業関係者の間でWCPFCへの不信感が急速に高まっている。

いったいどうしてこのような事態が生じてしまうのであろうか？ その根本原因を一言でいうと、「資源管理が間違った資源変動理論に基づいて実

施されているから」というのが私の見解である。現在は MSY（最大持続生産量）理論と言われる基本理論に基づいて管理が実行されている。MSY 理論とは、ある資源水準に資源を維持しておけば、毎年・毎年最大の漁獲量（MSY）が得られるという理論である。この MSY の達成が可能となる資源水準を「MSY 資源水準」と呼んでいる。国連海洋法条約でも資源を MSY 資源水準に維持し、MSY を達成することを管理目標として奨励している。従って、MSY 理論は国際的な標準的概念ということになる。

しかし、実はこの MSY 理論なるものが「マユツバ」のものであり、「MSY 理論に基づいて管理を行おうとすること自体が、むしろ管理を失敗させる主因になっている」というのが私の主張である。そのことを以下のような例え話をういて説明すれば、なぜ「MSY 理論に基づいて管理を行うこと」が問題なのか、よくご理解いただけると思う。話は、実はとても簡単である。

日本全国から偏りなく 10 万人の成人を選んできて、ガンなどの重大な病気にかかる率（罹患率）と体重との関係について 30 年間追跡調査をしたとする。調査の結果、体重が 60kg の人は、ダントツで罹患率が低いことがわかったとする。この結果にもとづき、「体重は 60kg（MSY 資源水準に相当する）に維持すべき」ということが提唱され、それを実現するために食事量や運動量が細かく規定されたとする。これは予防医学的にみて至極妥当な対応であるし、このような提言を行うことに何の問題もない。しかし、もし、研究の結果、体重と罹患率との間にいかなる因果関係も認められないにも関わらず、「体重は 60kg に維持し、食事量や運動量はこうすべきである」と提言したとしたら……。そんなナンセンスな提言を聞き入れる人などいないだろう。残念ながら、マグロ類の管理を実施している国際管理機関の主張は、このナンセンスな後者の提言と全く同じである。「世界中の優秀な資源研究者が多数集まっている国際管理機関で、そんな馬鹿げた主張がなされるわけがない！」と誰もが思うだろう。しかし、本当に残念だし、また、なぜそんなことになってしまうのか不思議でもある

のだが、これが WCPFC の資源研究者達が実際に主張している内容である。

体重と罹患率の関係に相当するものが、再生産関係と言われる親と子供の関係である。再生産関係については後ほどまた詳しく説明するが、太平洋クロマグロも大西洋クロマグロの西資源も東資源も「再生産関係は不明」とそれぞれの国際管理機関が認めている。それにも関わらず、WCPFC の資源研究者達は「初期資源量の 20% が MSY 資源水準であり、それを管理目標にせよ（先述の例え話だと、体重と罹患率の関係は不明であると認めていながら、体重を 60kg にせよ、ということである）」と何のデータの裏付けもなく主張して譲らないのであるから、とても「科学的な議論をしている」などと言えたものではない。

さらに言えば、「罹患率が体重によって決定される」というのと同様に前提自体が誤っているということである。後ほど詳しく述べるが、実際の再生産関係のデータが再生産モデルに全く合わない理由は、再生産モデルが実態を表しておらず、誤っているからである。MSY 理論は再生産モデルから導出される。従って、誤った再生産モデルから導かれた MSY 理論も当然誤っていることになる。実際、ある資源水準（MSY 資源水準）を維持すれば、持続的に利用できる漁獲量（持続生産量）を最大にすることができるという MSY 理論の考え方は、単なる仮定であって実証されたこと

【コラム 1】MSY 理論の考え方は、単なる仮定であって実証されたことなど一度もない

このような発言をすると、「温度等を一定にした試験管の中でパンの酵母菌や大腸菌などを育てると、その個体数の増加の様子はきれいな S 字状の曲線を描く。これは、密度効果によって個体数が制御されたことを示しており、MSY 理論が正しいことは実験で確かめられている」と真顔で反論する研究者が必ずいる。しかし、残念ながらこの研究者は、諸条件を一定に保った試験管の中で起こったことが、時々刻々ダイナミックに変動する海の中でも起こると単純に信じている様である。

など一度もない（コラム1）。データの裏付けもなく妥当か否かも分からない仮定を信奉してかたくなに議論を進めているわけであるから、WCPFCの資源研究者達の姿勢には大きな疑問を感じざるを得ない。

後に詳しく説明するが、WCPFCの資源研究者達は「資源変動を決定する主要因は密度である」と固く主張して譲らないのであるが、私は、主要因は密度ではないと考えている。先述の例え話に引き寄せると、「罹患率は体重に関わらず、バランスの取れた食事や適度な運動、十分な睡眠等によって決定され得る」といったような、より現実的な前提に基づいて議論しようというのが、本稿での新しい資源変動理論提言の主旨である。もちろん、その前提の妥当性については、実データを用いた科学的な分析を行い、既に確認済である。すなわち、新しい資源変動理論は「資源変動の主因は密度ではなく、環境変動である」という考え方に基づいている。この新しい考え方をを用いると、マイワシ太平洋系群の再生産関係も、再生産関係が不明といわれ続けている太平洋クロマグロの再生産関係も再現が可能になる。その再現例については、本稿でも後ほど述べることにする。

MSY理論に固執している限り、資源管理に成功することは決してない。一刻も早くMSY理論が誤りであることを謙虚に認め、資源変動に対する新しい考え方に基づいた資源管理を実施する必要がある。本稿の目的は、MSY理論が誤りであることを科学的に論証し、MSY理論に代わる新しい資源変動の考え方について解説することである。

1-2. 本稿の構成

本稿ではまず、2-1節で、再生産関係について解説した。再生産関係とは親と子供の量的な関係のことを言う。これまで提案されてきた再生産関係は密度効果の存在を前提に導出されたものである。ここで言う密度効果とは、密度（個体数）が増大することにより生じるマイナスの効果の事である。個体数の増大により1個体当たりの餌の量や1個体当たりの占有

面積が減ることにより、成長率の悪化や、死亡率の上昇等、マイナスの効果が発生することをいう。

2-2節では、2-1節で解説した再生産関係と水産資源管理の中心的概念である最大持続生産量 (Maximum Sustainable Yield、その頭文字をとってMSYと呼ぶ) との関係について説明した。MSYは再生産関係から導出された概念であり、MSYと再生産関係とは、本質的に同じ内容を異なる視点から表現したものである。従って、視点の相違にかかわらず、これまでの資源変動に対する考え方では「密度効果の存在」が極めて重要で、「密度効果の存在こそが再生産関係の形状を決定し、MSYの存在を正当化する最重要な概念としてとらえられていること」を理解しておく必要がある。つまり、この「密度効果を重視した考え方が過っており、いろいろな問題を引き起こす原因になっている」ということが、これからお話しする議論のポイントである (コラム2)。

2-3節では、多くのマグロ類資源の管理に標準的に用いられている「神戸チャート」について説明した。後ほど詳しく説明するが、神戸チャートとはMSYを基準にした資源評価法である。しかし、再生産関係が不明であると、MSYも不明になるので、神戸チャートは使用できないはずである。しかるに再生産関係は不明と自ら述べておきながら、そんな事などお構いなしに、何の躊躇もなく神戸チャートを使用し、資源管理を論じているのが現在のマグロ類の国際管理機関の実態である。すなわち、マグロ類の管理における致命的な問題点とは、再生産関係が不明であるにも関わらず、MSYを無理・無理定義し、神戸チャートを何の疑いもなく用いて資源評価を行っているという「非科学性に問題がある」ということである。上記の例え話に戻れば、「体重と罹患率の間の関係は不明である」ということを認めておきながら「体重を60kgにせよ」と迫っているのと同じである。

3-2節では、密度効果を前提にした従来の再生産モデルの動態とは全く異なるメカニズムによって再生産関係の形状が決定されることを、簡単

【コラム2】なぜ、密度効果はこんなにも人々に愛されるのか？

なぜ、密度効果という概念がこんなにも人々に愛されているのか？ 換言すると、密度効果というマインド・コントロールはなぜこんなにも強力なのか？ 不思議に思うことがしばしばある。おそらくそれは、我々が「間引き」という現象を体験的に知っているからではないだろうか？ 植木鉢に多めに花の種をまいたとする。出てきた苗をそのままにしておくと、栄養分が十分行き渡らないので（密度効果の影響で）大きく成長しないのは明らかであるから、我々は「間引き」をする。メロンは一つの枝に1個だけメロンの実を残し、後は「間引」いてしまうそうである。そうしないと、大きくておいしいメロンはできないから。このように、密度効果は我々の経験や知見ともよく合っており、常識中の常識ということになる。「それを否定するなんて、頭がおかしいのではないか」と思う方が普通かも知れない。しかし、想像はしづらいが、植木鉢の大きさが時々刻々10倍になったり、10分の1になったりする場合を考えてみよう。メロンの場合は一つの枝の太さが（栄養分の供給が）時々刻々10倍になったり、10分の1になったりする場合を想像してみよう。10分の1になったら密度効果が働くが、10倍になったら、苗の数が10倍あっても密度効果は働かない。つまり密度効果が働くか否かは、個体数によって決まるのではなく、環境によって決まるということである。植木鉢の大きさが時々刻々10倍になったり、10分の1になったりすることはないが、海の中では色々な条件が、時々刻々10倍になったり、10分の1になったりすることの方がむしろ普通に起こる。密度効果によって個体数がコントロールされているのではなく、環境変動が個体数変動をコントロールしているということである。

なシミュレーションを用いて説明した。すなわち、環境変動の周期の長さ
と成熟年齢の長さが再生産関係の形状を決定する2大要素であることにつ
いて解説した。環境変動の周期が同じであれば、成熟年齢の低い魚の再生
産関係は時計回りの軌道を描き、また、再生産関係の傾きは1に近い正の
値となる。魚の成熟年齢が大きくなるに従い、再生産関係の傾きは小さく
なり、やがて0になる。さらに、魚の成熟年齢が大きくなり環境変動の周
期の半分を超えると、再生産関係は、今度は反時計回りの軌道を描き、再
生産関係の傾きはマイナス1に近い負の値をとる。魚の成熟年齢が大きく

なるに伴い、再生産関係の傾きはマイナス1から0に近づいていく。さらに魚の成熟年齢が大きくなると、再生産関係の傾きは再びプラスに転じる。

これまでの資源研究に於いては、再生産関係にループが出現することに注目する人は皆無であった。従って、当然のことながら再生産関係にループが出現するメカニズムについて分析した論文等も全くないのが現状である。しかし、3-2節で示したシミュレーションを用いると、再生産関係にループが出現するメカニズムや再生産関係がいろいろな形状を示すメカニズムがうまく説明できる。また、シミュレーションの結果は実データの分析結果ともよく一致した。すなわち、太平洋クロマグロの再生産関係は反時計回りで傾きはゼロになる。これに対し、大西洋クロマグロ西資源は時計回りで傾きは正となるが、同じ大西洋に生息する大西洋クロマグロ東資源は、傾きは負となり、西資源と全く正反対の形状を示した。ただし、大西洋クロマグロ東資源については、実データがインターネット上に公表されていないので、時計回りか反時計回りかの分析はできなかった。これに対し、マイワシ太平洋系群は時計回りで傾きは正となり、大西洋クロマグロ西資源の再生産関係と似た形状を示した。これらの相違点や類似点は全て環境変動の周期の長さや成熟年齢の長さとの関係から説明することが可能であり、3-2節で示したシミュレーション結果ともよく符合した。

既に述べたように、密度効果を前提にした従来の再生産モデルでは、「再生産関係は不明」という結論しか得られていない。それに対し、ここで示した新しい資源変動の考え方を用いると、「再生産関係の説明（再現）が可能」になる。上記のことから、「密度効果を前提にしたこれまでの再生産モデルの方が誤って」おり、従ってまた、「密度効果を前提に構築された従来の再生産モデルから導き出されたMSY理論も誤りである」と結論することができるだろう。

上記に述べたことを第2章以降で科学的に詳しく説明していくことにする。科学的に論証しようとするれば、どうしても面倒くさい説明をしなければ

ばならなくなってしまうが、要は、上記で述べた内容について表現を変えて論証しようとしているだけである。わかりづらい箇所があっても、「上記で述べたことを科学的に表現する」という話になるのだな・・・」ぐらいに考えて、読み飛ばしていただいても全く問題はない。説明の方法は異なっても結論は同じなのだから・・・。

第2章 資源管理の基本的な概念

2-1. 再生産関係

親（産卵親魚量）とその子供（加入量）との量的な関係を再生産関係と言う。漁獲量をコントロールすることによって、親をどれだけ残しておけばどれだけ次世代の子供（再生産）が期待できるかを知ること、すなわち、再生産関係を明らかにすることは、水産資源を管理する上で極めて重要な課題と言える。

再生産関係を表す代表的なモデルとしてこれまでいろいろなモデルが提案されてきた。代表的な再生産モデルとしてリッカーモデル^[1]やベバートン・ホルトモデル^[2]などがある。産卵親魚量があまり多くない場合は産卵親魚量の増大に伴って加入量も増大する。しかし、産卵親魚量が過度に増大すると、密度効果の影響で逆に加入量が減少してしまうというのがリッカーモデルである(図1)。ここで密度効果とは、既に述べたように、密度(個体数)の増大に伴い、死亡率の増大や成長率の低下など、マイナスの効果が生じる現象をいう。

ベバートン・ホルトモデルはある産卵親魚量レベルまでは、産卵親魚量の増大に伴って加入量も増大していくが、それ以上産卵親魚量が増大すると、密度効果の影響で加入量はそれ以上増大せず、一定値に漸近するというモデルである。ホッケースティックモデル^[3]は1980年代になって提案された比較的新しいモデルで、ある産卵親魚量レベルまでは加入量は親魚

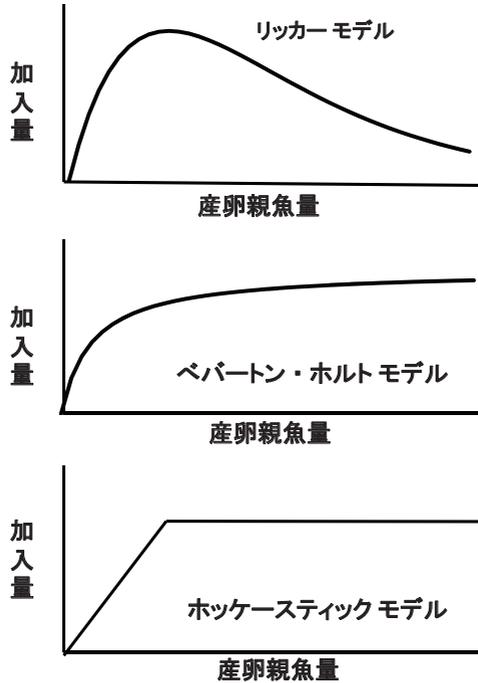


図1 密度効果を仮定した代表的な再生産モデル

上から順に、リッカーモデル、ベバートン・ホルトモデル、ホッケースティックモデルを示す。

量の増大に伴って直線的に増大し、それより親魚量レベルが増大すれば、密度効果の影響で加入量が一定値となるというモデルである。ベバートン・ホルトモデルをより簡略化して、2つの直線で近似したモデルと言ってもよい。ホッケースティックに形が似ているので、この名前で呼ばれている。既に述べたように、いずれのモデルも再生産関係の形状は密度効果によって決定され、密度効果が再生産関係を決定づける極めて重要な要素と見なす点に特徴がある。しかし、リッカーモデルとベバートン・ホルトモデルの2つのモデルは発表以来、既に60年以上にも渡っていろいろな魚種・

系群に適用されてきたが、データ（観測値）がうまくモデルに当てはまったケースはほとんどない。ほとんどすべてのケースで観測値とモデルの乖離がとてつもなく大きいのが通例である。

2-2. 再生産関係と MSY 理論の関係

水産資源を管理する上での中心的概念として、最大持続生産量（MSY）がある。図2に示したように MSY は再生産関係から導出される。図2の置換生産量とは、この直線上にあると産卵親魚量は増加も減少もしない加入量を示す。例えば1組の夫婦（2人）が2人の子供を産めば人口は増加も減少もしない。200組の夫婦（400人）が400人の子供を産めば人口は増加も減少もしない。その関係を表す線が置換生産量に相当する。従って、再生産を示す曲線（再生産曲線）と置換生産量の差が次世代で増加する個体数（自然増加量）になる。自然増加量分だけを漁獲していれば、ちょうど銀行の利子だけを使っているのと同じで、産卵親魚量（元金）は増えも減りもしないので毎年・毎年同じ漁獲量（持続的な生産量）が得られる。この持続的な生産量の最大値が最大持続生産量（MSY）である。置換生産量を示す直線と平行な直線が再生産曲線と接する点が MSY になる。従って、再生産関係が不明であれば、当然、MSY も不明ということになる。

図3a、b、cは太平洋クロマグロ、大西洋クロマグロの西資源と東資源の再生産関係をそれぞれ示したものである。^[4-6]太平洋クロマグロの再生産関係のばらつきは大きく、産卵親魚量の増大に伴って加入量が多くなるとか、逆に減少してしまうといった関係は認められない。大西洋クロマグロ西資源の再生産関係は、産卵親魚量が多いと加入量も多く、密度効果によって加入量の低下が起こるといった傾向は全く認められない。ドーム型（リッカーモデルやベバートン・ホルトモデルのように上に膨らんだ山形の曲線）の形状というよりはむしろ、それとは全く逆の下にへこんだU字型の形状を示しているようにも見える。大西洋クロマグロ東資源の再生産

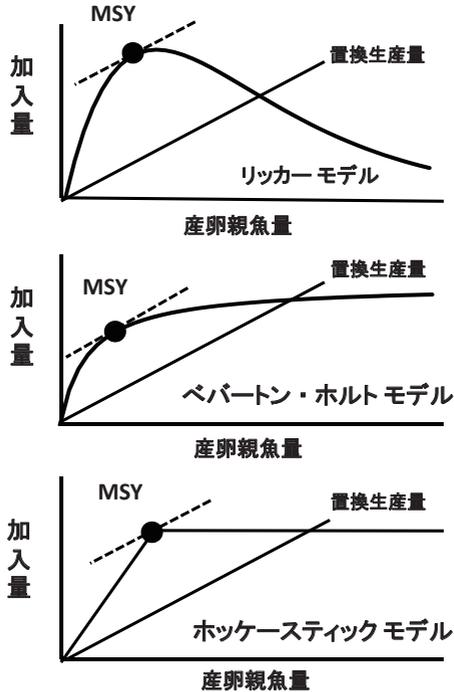
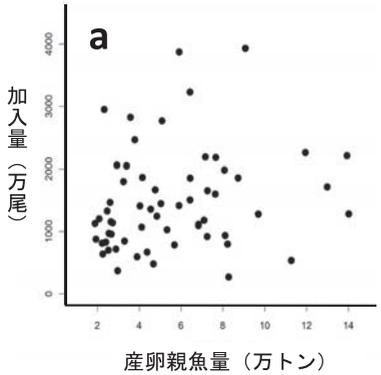


図2 再生産モデルと最大持続生産量 (MSY) の関係

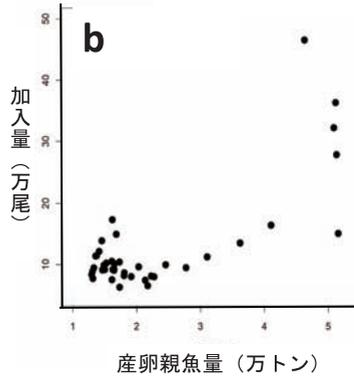
再生産関係を表す曲線（再生産曲線）と置換生産量の差が自然増加量。自然増加量ぶんだけ漁獲すると資源は増加も減少もしないので、この漁獲量を持続生産量と呼ぶ。持続生産量の最大値が最大持続生産量 (MSY)。

関係は、産卵親魚量が多いと加入量は一方的に減少するばかりである。すなわち、上記3つのクロマグロの再生産関係はいずれも図1で示したどの再生産モデルにも全く当てはまっていないことがわかる。事実、マグロ類を管理している国際機関である地域漁業管理機関 (RFMO) においても再生産関係は不明という判断を下している^[4,5]。再生産関係が不明であれば、MSYも特定することができないことはすでに述べたとおりである。それにも関わらず、図3で示した再生産関係に、ベバートン・ホルトモデルや

太平洋クロマグロ



大西洋クロマグロ (西資源)



大西洋クロマグロ (東資源)

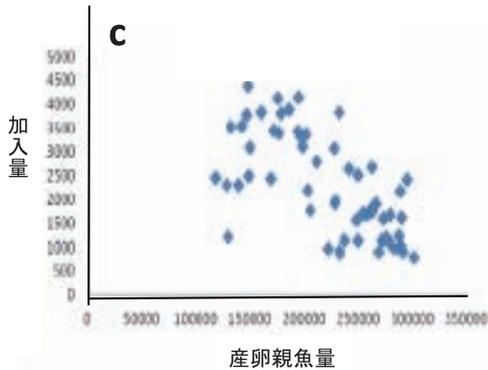


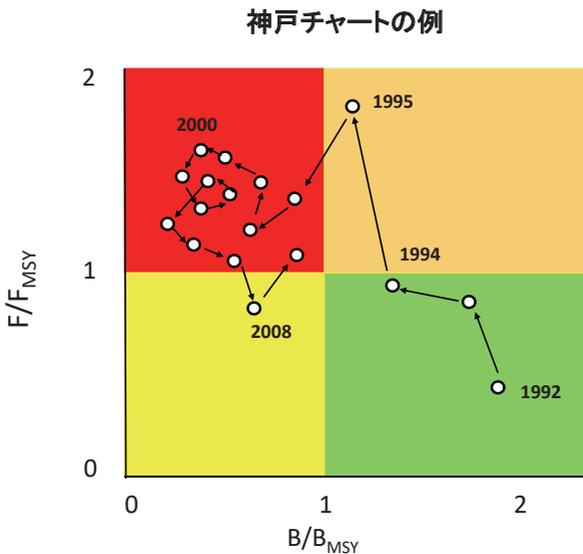
図3 クロマグロの再生産関係

a: 太平洋クロマグロの再生産関係。再生産関係は大きくばらついており、加入量は産卵親魚量とは無関係に変動しているように見える。 b: 大西洋クロマグロ西資源の再生産関係。産卵親魚量の増加に伴ってU字型に加入量が増加しているように見える。 c: 大西洋クロマグロ東資源の再生産関係。加入量は産卵親魚量の増加に伴って減少するのみである。以上の3つの資源の再生産関係は図1で示したどの再生産モデルとも全く異なる形状を示すことがわかる。

ホッケースティックモデル等を無理・無理あてはめ、最大持続生産量 (MSY) を無理・無理定義し、資源管理を議論しているわけであるから、「非科学的である事甚だしい！」と言わざるを得ない。

2-3. 神戸チャートとは何か？

RFMO で、資源管理を議論するときによく使用されているものに、「神戸チャート」と呼ばれるものがある (図4)。神戸で2007年に全世界の5つのRFMOの合同会議が開催された時に提案された方法であるため、神戸チャートと呼ばれるようになった。神戸チャートとは、MSYを実現す



緑で示した領域は資源量がMSYを与える資源水準 (B_{MSY}) より大きく、かつ、漁獲係数がMSYを与える漁獲強度 (F_{MSY}) より小さいため、乱獲状態ではなく、資源は健全な状態にあると考えられる。それに対し、赤で示した領域は資源量が B_{MSY} より小さく、かつ、漁獲強度が F_{MSY} より大きいので、乱獲状態にあり、資源は危険な状態であると判断される。数字は年を示す。

る資源水準 (B_{MSY}) と現在の資源水準 (B) の比 (B/B_{MSY}) を X- 軸にとり、MSY を実現する漁獲係数 (F_{MSY}) と現在の漁獲係数 (F) の比 (F/F_{MSY}) を Y- 軸にとり、現在の資源の状態と漁獲の強度を評価しようとするものである^[5]。漁獲係数とは漁獲の強さを表す係数である。 B/B_{MSY} が 1 より大きく、 F/F_{MSY} が 1 より小さい領域 (図 4 で緑で示した領域) は、現在の資源水準は MSY を与える資源水準より高く、漁獲の強さも MSY を与える漁獲の強度より低いので、健全な領域と判断される。反対に、 B/B_{MSY} が 1 より小さく、 F/F_{MSY} が 1 より大きい領域 (図 4 で赤で示した領域) は、現在の資源水準は MSY を与える資源水準より低く、かつ漁獲の強さも MSY を与える漁獲強度より大きいので、乱獲状態にあると判断される。現在の資源がこの領域にある場合は、漁獲の圧力を下げて、すなわち、漁獲量を削減して、資源の回復を図るべきということになる。しかし、これは MSY を基準にした評価方法であり、上記で述べたように、再生産関係が不明で MSY が推定できない太平洋クロマグロや大西洋クロマグロに対して、神戸チャートを使うことに科学的正当性があるとはとても思えない。

2-4. なぜ神戸チャートの使用をやめたのか？

ところで、2017 年になって、大西洋マグロ類保存国際委員会 (ICCAT) は大西洋クロマグロに対して、「再生産関係が不明であり、MSY の推定や長期の加入量変動の予測ができないため」との理由で神戸チャートを使うことを中止した^[7]。残念ながら、神戸チャートの使用を取りやめたのはクロマグログループだけであって、他のマグロ類グループは依然として使用しているが・・・。「再生産関係が不明である」のは今に始まったことではないが、新しい知見が得られたわけではないのに、なぜ長年使い続けてきた神戸チャートの使用を 2017 年になって突然やめたのか、その理由は不明である。ICCAT が神戸チャートの使用を取りやめたことに対して、鈴木治郎氏は神戸チャートの使用をやめた理由を明確に説明しようとしな

ICCAT の姿勢を批判している^[8]。しかし、私は ICCAT が神戸チャートの使用を取りやめた明確な理由を説明することはないだろうと考えている。なぜなら、神戸チャートの使用を取りやめた明確な理由を説明しようとする、それは今まで科学的根拠がないままに神戸チャートを使用してきた過ちを自ら告白することになってしまうからである。いずれにしろ不明なものを不明として使用を取りやめた ICCAT (クロマグログループ) の対応は、太平洋クロマグロの管理を実施している中西部太平洋マグロ類委員会 (WCPFC) など他の RFMO よりもはるかに賢明であり、かつ科学的な対応であるという点で私はその決断を支持したいと思う。

本稿の目的は、水産資源の変動メカニズム、すなわち、再生産関係を制御している真のメカニズムとして新しい考え方を提示し、密度効果を重視した従来の再生産モデルが生物学的に妥当なものではないことを、さらには密度効果をベースとする MSY 理論そのものが誤った概念であることを示すことにある。このことはまた、神戸チャートの使用もちろん無意味であり、やめるべきという結論を導くことでもある。上記の主張の正当性については、より複雑なモデルを用いたシミュレーション実験や 32 の系群に対する実データを用いて、既に論証済である^[9-17]。しかし、これまで発表した論文は複雑であり、新しい概念のポイントをつかむことはそう容易ではなかった。そこで、本稿では、新しい概念を容易に理解していただくことを最優先に考え、可能な限り簡略化したシミュレーションを実行し、実例を多く入れながら、より詳しく説明することによって、上記理論のポイントを解説することを目的とした。逆に、冗長になってしまった分、わかりにくさは一向に改善されていないかもしれないが・・・。

第3章 シミュレーションによる検討

3-1. 資源変動を決定する2つのプロセス

資源変動は2つのプロセスが交互に繰り返されることによって起こる(図5)。第1のプロセスは0歳魚で新規に加入してきた魚が成長して親になるまでのプロセスである。親になるまでには多くの苦難が待ち受けている。まず、魚の場合は特に小さいうちに多くのものが他の魚等の餌となっ

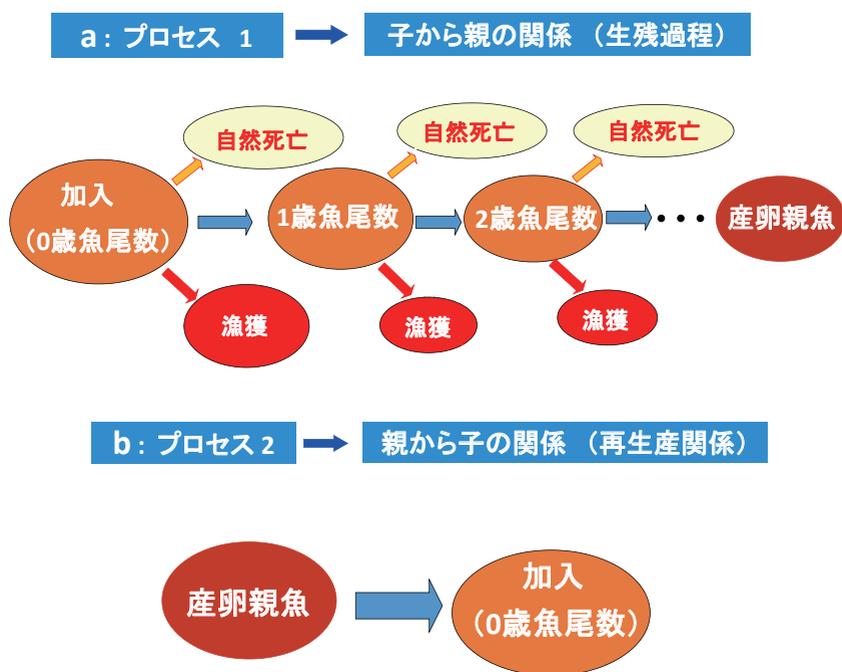


図5 資源変動を決定する2つのプロセス

a: 子から親の関係で、生残過程と呼ばれる。0歳で加入してきた魚は自然的要因と漁獲による死亡により減少する。成熟年齢まで生き残った魚が産卵親魚となり、卵を産むことが出来る。b: 親から子で関係で、再生産関係と呼ばれる。資源変動は2つのプロセスが繰り返された結果生じる。

て食べられてしまう。このような要因による死亡を自然死亡と呼んでいる。さらに、0歳魚といえども漁獲の脅威にさらされる魚種も多い。例えば、太平洋クロマグロなどは0歳魚のうちに、全年齢で漁獲される尾数の65%以上が漁獲されてしまう。1歳になっても状況は変わらない。常に他の生物に食われるか、人間に漁獲されるかの脅威にさらされている。それらの脅威から何とか生き延びて、めでたく成熟年齢を迎えた魚が産卵親魚として産卵し、次世代に寄与することができる。これらのプロセスは、まさに生き残る過程であり、「生残過程」と呼ばれている。もう一つのプロセスは親が新しく0歳魚を再生産するプロセスである。このプロセスは、既に述べたように「再生産関係」と呼ばれている。子が親になり、親が子を産み、また、その子が親になり子を産む、という循環が延々とつづき、そのプロセスの結果が資源変動という形になって現われることになる。

自然死亡は人間が関与できない自然的現象である。その魚を餌とする捕食者の資源量が多いか少ないかや、好適な海洋環境か否かなどによっても自然死亡量はもちろん変わる。しかし、生残過程における自然死亡率はそれほど極端な大変動はしないと考えられている。漁獲による死亡は唯一人間がコントロールできる資源の変動要因である。漁獲量を決めてしまえば、第1のプロセス(生残過程)は比較的単純に比例的に決まると考えてもよい。それに対して、第2のプロセス(再生産関係)は、人間が関与できないのは自然死亡と同じであるが、この第2のプロセスをどうとらえるかで、資源変動に対する考え方は180°異なる。リッカーモデルやベバートン・ホルトモデル等に代表される密度効果を重視する考え方は、この第2のプロセス(再生産関係)が産卵親魚の密度によって決定されるという立場をとる。これに対し、ここで提案している新しい資源変動理論では、この第2のプロセス(再生産関係)は環境変動の影響を大きく受けて決定されるという立場をとる。従って、シミュレーション・モデルも後者の立場を前提として構成した。

3-2. シミュレーション・モデル

本論文では、説明を簡単にするために、「加入量（子）から産卵親魚量」に至るプロセス、いわゆる生残過程のみを取り上げ、「産卵親魚量から加入量」のプロセスを無視して議論した。しかし、再生産関係とは、「産卵親魚量から加入量」のプロセスであるから、以下で述べるシミュレーションの設定は再生産関係を議論する場合の設定としては適切ではない、あるいは、誤っているのではないかと思われる方がいるかも知れない。しかし、再生産関係を議論する場合には、「産卵親魚量から加入量」のプロセスだけではなく、「加入量から産卵親魚量」のプロセスも同時に議論しなければ本当は意味がないことに気が付いている人は意外と少ないかも知れない。上記2つのプロセスを考慮したシミュレーションは既に実施しているが^[11]、本質的な結果は変わらないので、説明を簡単にするために、ここでは「加入量から産卵親魚量」に至るプロセスのみを仮定したシミュレーションを用いて説明する。

本稿で用いるシミュレーション・モデルは以下の通りである。すなわち、加入量は環境変動の影響で周期的な変動をしており、産卵親魚量は加入量の周期変動が成熟年齢分ずれて同じ周期変動をするものとする。通常、加入量は尾数であり、産卵親魚量は重量であること、また、自然死亡や漁獲死亡等により、産卵親魚尾数は加入尾数より減少する。従って、加入量（尾数）と産卵親魚量（重量）の値（縦軸の値）は当然異なることになるが、縦軸の値が両者で一致するようにうまくスケールリングしてやると、加入量と産卵親魚量のY軸の値を見かけ上同じとしても、ここで検討しようとしている課題を議論する上で本質的な問題は生じない。従って、簡単のため、加入量と産卵親魚量のY軸上の値は同じ値として説明することにする。

シミュレーションに用いた式を図6に示した。図6で、 R_t と S_t は t 年の加入量と産卵親魚量を示す。 T は環境変動の周期を示し、シミュレーショ

$$R_t = \cos((\pi/T) \cdot t) + 6 \quad \dots (1)$$

$$S_t = \cos((\pi/T) \cdot (t - m)) + 6 \quad \dots (2)$$

$$\bar{m} = \sum a B_a / \sum B_a \quad \dots (3)$$

$$B_a = N_3 \exp\{-(a-3) \cdot M\} w_a u_a \quad \dots (4)$$

$$L_a = 2.54 [1 - \exp\{-0.517 \cdot (a - 0.561)\}] \quad \dots (5)$$

$$w_a = 1.71 L_a^{3.03} / 100,000 \quad \dots (6)$$

$$E_a = 35.1 \cdot \exp(0.209 \cdot a) \quad \dots (7)$$

$$\bar{m} = \sum a m_a E_a N_a / \sum m_a E_a N_a \quad \dots (8)$$

図6 シミュレーション・モデルと平均成熟年齢の計算式

R_t は t 年の加入量、 S_t は t 年の産卵親魚量、 T は環境変動の周期、 m は成熟年齢。 B_a 、 L_a 、 w_a 、 E_a はそれぞれ a 歳の産卵親魚量、体長、体重、産卵数を示す。 \bar{m} は平均成熟年齢。

ンでは $T = 8$ 年とした。 m は成熟年齢を示し、シミュレーションでは $m = 0$ 歳、1 歳、2 歳、 \dots とした。(1) 式、(2) 式の中の数字 6 は、加入量と産卵親魚量が負の値にならないようにするための補正項である。

第 4 章 実データによる検討

マイワシ太平洋系群、太平洋クロマグロ、大西洋クロマグロ西資源、大西洋クロマグロ東資源の加入量や産卵親魚量、および、再生産関係を分析し、シミュレーション結果と比較する。

4-1. 使用するデータ

マイワシ太平洋系群の加入尾数と産卵親魚量データ^[18, 19]、太平洋クロマグロの加入尾数と産卵親魚量データ、自然死亡係数、漁獲係数、成長曲線、

体長と体重の関係式^[5]を用いた。また、大西洋クロマグロの再生産関係を図示するために、大西洋クロマグロ西資源の加入尾数と産卵親魚量データ^[5]を用いた。大西洋クロマグロ東資源の加入尾数と産卵親魚量データは、インターネット上から引用することができなかつたので、文献 [6] の図を引用した。

4-2. 太平洋クロマグロの平均成熟年齢の計算

2つの方法により、太平洋クロマグロの平均成熟年齢を求めた。第1の方法として、年齢別の産卵親魚重量の相対値 B_a を計算し、年齢別の産卵親魚重量で重みづけして、平均成熟年齢を求めた (図6)。図6で、 N_3 は成熟が始まる3歳の個体数 (相対値)、 u_a 、 w_a は a 歳の成熟率、および平均体重である。年齢別平均体長、年齢別平均体重はWCPFCに従い、図6に示した (5) 式、(6) 式から求めた。^[5] また、 M は自然死亡係数 (自然的要因で死亡する割合を表す係数) を示し、3歳以上はすべて同じ値 $M=0.25$ とした。成熟率は3歳で20%、4歳で50%、5歳以上は100%とした。^[5]

第2番の方法として、年齢別の産卵数 E_a を計算し、年齢別の産卵総数で重みづけして、平均成熟年齢を求めた。図6の (5)、(6) 式を用いると、太平洋クロマグロは5歳で体重が67.8キログラム、16歳になると体重は276キログラムになる。産卵数は5歳で100万粒、16歳で1000万粒といわれている^[20]。体重が約4倍になると、産卵数は10倍になる。この関係を利用し、 a 歳の1個体当たりの産卵数が図6の (7) 式で表されるものと仮定し、(8) 式により平均成熟年齢を計算した。

第5章 シミュレーションの結果

5-1. 加入量と産卵親魚量の周期変動と再生産関係

図7aは成熟年齢が0歳の場合の加入量と産卵親魚量の軌道を示したも

のである。図 6 に示した (1) 式、(2) 式からわかるように、成熟年齢が 0 歳の場合は加入量と産卵親魚量は完全に一致し、1 つの同じコサインカーブで表されることになる。このケースの場合、4 年から 12 年までの 1 周期 8 年について加入量と産卵親魚量の軌跡を見ると、2 つの期間に分けることができる。すなわち、最初の 4 年間 (4-5 年、5-6 年、6-7 年、7-8 年) は加入量、産卵親魚量とも増加する期間であり、次の 4 年間 (8-9 年、9-10 年、10-11 年、11-12 年) は加入量、産卵親魚量とも減少する期間となる。前者の期間を P1、後者の期間を P2 と呼ぶことにする。X- 軸に産卵親魚量を取り、Y- 軸に加入量をとった再生産平面上の一点 (S_t, R_t) が再生産平面上どの方向に移動するかは、 t 年が P1、P2 のどちらの期間にあるかによって決まる。すなわち、P1 においては、産卵親魚量は増加するので X- 軸方向 (水平方向) の右方向に移動し (赤の矢印)、加入量も増加するので Y- 軸方向 (垂直方向) の上方向に移動する (青の矢印)。従って、点 (S_t, R_t) は、図 7a の上部に示したように合成された緑の矢印の方向、すなわち、右上の方向に移動する。これに対して、P2 においては、産卵親魚量は減少するので X- 軸方向 (水平方向) の左方向に移動し (赤の矢印)、加入量も減少するので Y- 軸方向 (垂直方向) の下方向に移動する (青の矢印)。従って、点 (S_t, R_t) は、合成された緑の矢印の方向、すなわち、左下の方向に移動する。

図 8a は図 7a の 1 周期分の期間について、すなわち、 $t = 4 \sim 11$ までの (S_t, R_t) を順に線で結んでプロットしたものである。 $t = 12$ は $t = 4$ と一致するので省略した。図 8a を見ると、8 つの点は傾きが 1 の直線上に並ぶことが分かる。すなわち、 $t = 4$ の時の点 (S_4, R_4) から出発し、 $t = 8$ の時の点 (S_8, R_8) までは傾き 1 の直線上を (右上の方向に) 増大し、その後、 $t = 8$ の時の点 (S_8, R_8) から $t = 11$ の時の点 (S_{11}, R_{11}) までは傾き 1 の直線上を (左下の方向に) 減少する。

図 7b は成熟年齢が 1 歳の場合の加入量と産卵親魚量の軌道を示したも

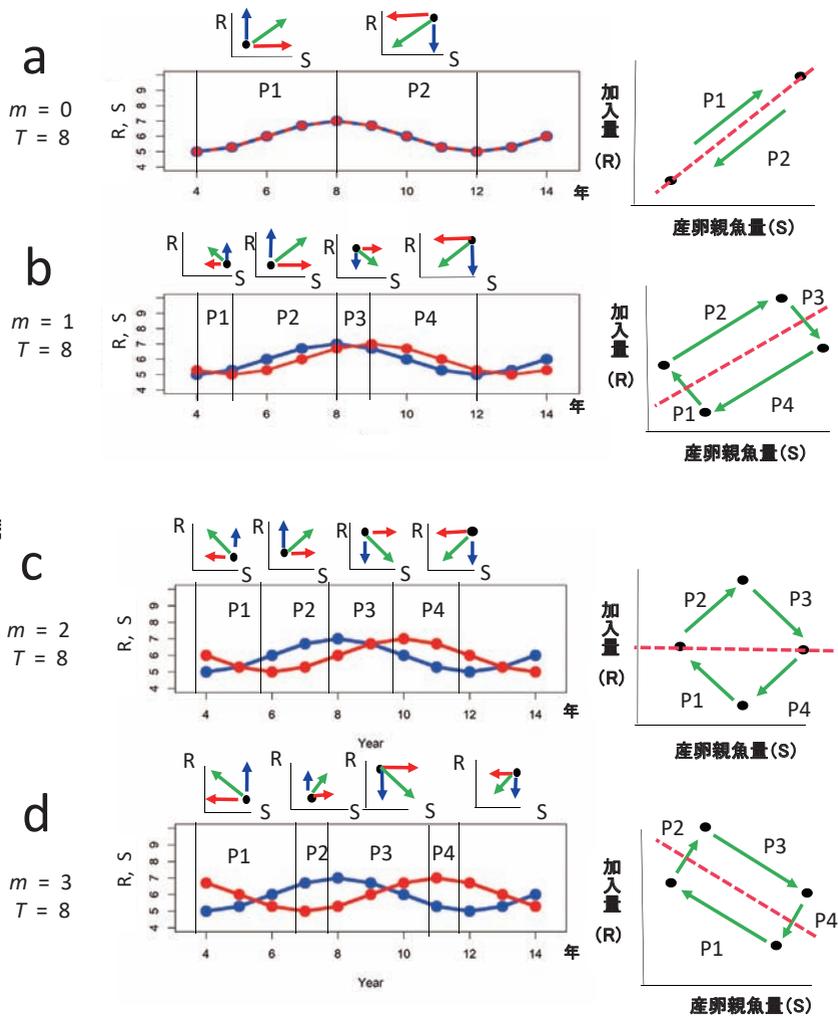


図7 シミュレーションで設定した加入量と産卵親魚量の軌跡

a: 成熟年齢が0歳、b: 成熟年齢が1歳、c: 成熟年齢が2歳、d: 成熟年齢が3歳、e: 成熟年齢が4歳、f: 成熟年齢が5歳、g: 成熟年齢が6歳、h: 成熟年齢が7歳。環境変動の周期は全てのケースで8年と設定した。

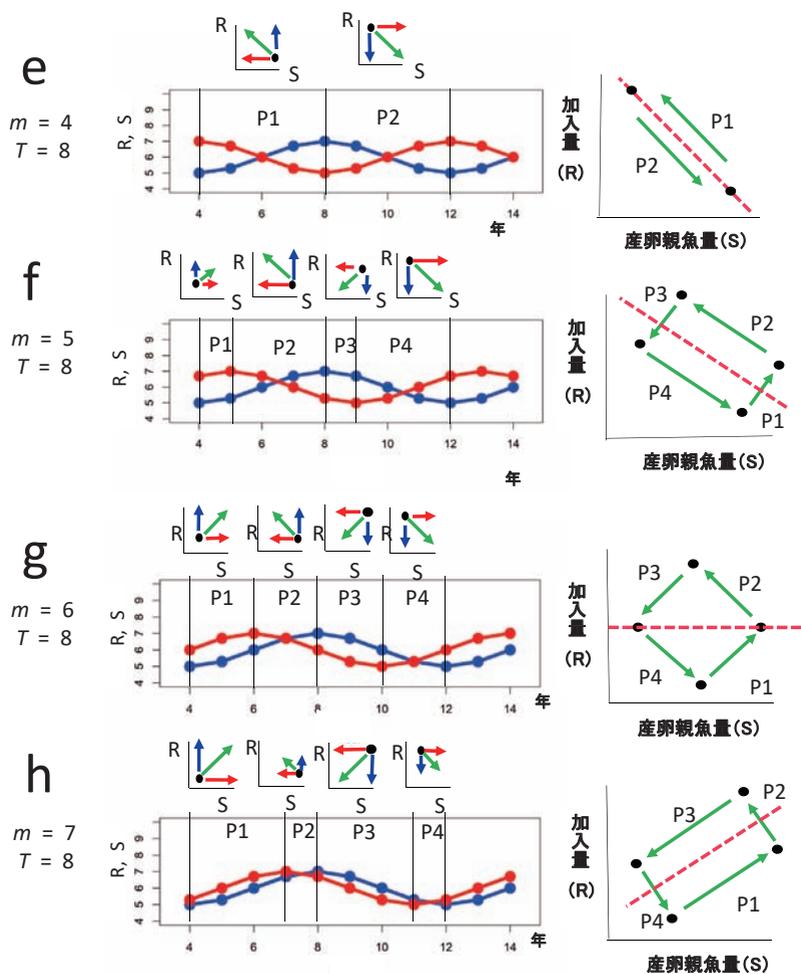


図7 (つづき)

のである。青い線で示したコサインカーブが加入量変動を、赤い線で示したコサインカーブが産卵親魚量の変動を示す。青い線（加入量）を1年右にずらすと赤い線、すなわち産卵親魚量になる。このケースの場合、4年から12年までの1周期8年について加入量と産卵親魚量の軌跡を見ると、

4つの期間 (P1、P2、P3、P4) に分けることができる。すなわち、最初の1年間 (P1) は加入量が増加、産卵親魚量は減少する。X-軸に産卵親魚量を取り、Y-軸に加入量をとった再生産平面上の一点 (S, R) は産卵親魚量が減少するのでX-軸方向 (水平方向) の左方向に移動し、加入量は増加するのでY-軸方向 (垂直方向) の上方向に移動する。従って、点 (S, R) は、図7bの上部に示したように合成された矢印の方向、すなわち、左上の方向に移動する。

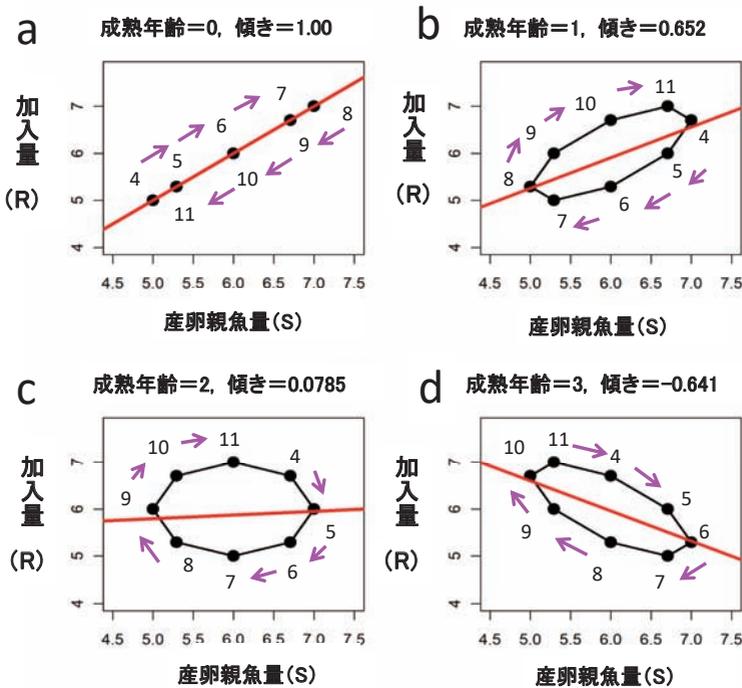


図8 シミュレーションにより得られる再生産関係の8つのパターン

シミュレーションで導出した加入量と産卵親魚量の値を用いて再生産関係をプロットしたもの。直線は再生産関係に当てはめた回帰直線。a: 成熟年齢が0歳、b: 成熟年齢が1歳、c: 成熟年齢が2歳、d: 成熟年齢が3歳、e: 成熟年齢が4歳、f: 成熟年齢が5歳、g: 成熟年齢が6歳、h: 成熟年齢が7歳、環境変動の周期は全てのケースで8年と設定した。

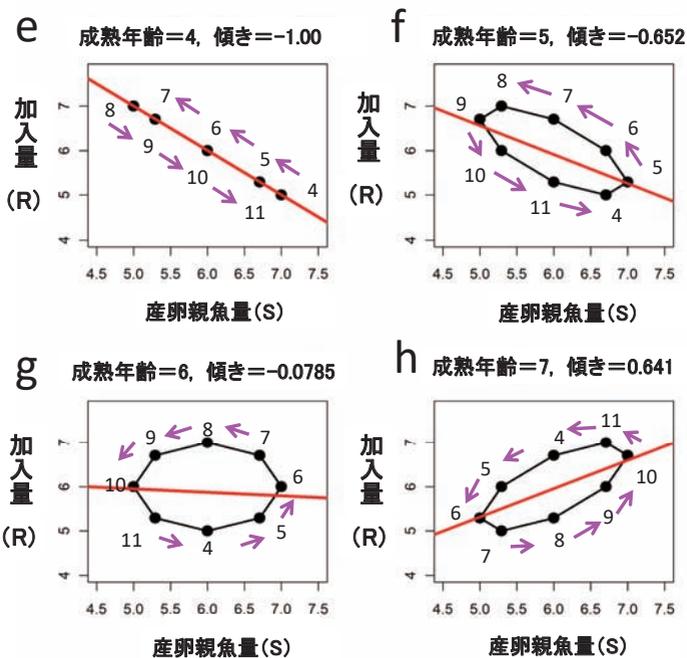


図8 (つづき)

これに対して、次の3年間 (P2) は、加入量、産卵親魚量ともに増加するので、再生産平面上の一点 (S, R) は産卵親魚量は増加するので X- 軸方向 (水平方向) の右方向に移動し、加入量も増加するので Y- 軸方向 (垂直方向) の上方向に移動する。従って、点 (S, R) は、図 7b の上部に示したように合成された矢印の方向、すなわち、右上の方向に移動する。次の1年間 (P3) は加入量は減少、産卵親魚量は増加するので、再生産平面上の一点 (S, R) は産卵親魚量は X- 軸方向 (水平方向) の右方向に移動し、加入量は減少するので Y- 軸方向 (垂直方向) の下方向に移動する。従って、点 (S, R) は、図 7b の上部に示したように合成された矢印の方向、すなわち、右下の方向に移動する。

最後の3年間 (P4) は、加入量、産卵親魚量ともに減少するので、再生産平面上の一点 (S_t, R_t) は産卵親魚量が減少するので X- 軸方向 (水平方向) の左方向に移動し、加入量も減少するので Y- 軸方向 (垂直方向) の下方向に移動する。従って、点 (S_t, R_t) は、図 7b の上部に示したように、合成された矢印の方向、すなわち、左下の方向に移動する。

以上のことをまとめると、1 周期が経過すると、図 7b の右側に示したように、最初の1年間 (P1) は再生産平面上の一点 (S_t, R_t) は左上の方向に移動し、次の3年間 (P2) は、再生産平面上の一点 (S_t, R_t) は右上の方向に移動し、3 番目の1年間 (P3) は再生産平面上の一点 (S_t, R_t) は右下の方向に移動し、最後の3年間 (P4) は、再生産平面上の一点 (S_t, R_t) は左下の方向に移動する。それぞれの矢印の長さは、それぞれの期間の長さを表している。1 周期が経過すると、P2、P4 の矢印が長いので、再生産平面上の一点 (S_t, R_t) は時計回りで長軸方向の傾きを持った、すなわち、正の傾きを持ったループを描く。

図 8b は図 7b の1 周期分の期間について、すなわち、 $t = 4 \sim 11$ までの (S_t, R_t) を順に線で結んでプロットしたものである。図 8b を見ると、8 つの点は図 7b の右側の図で示したように、傾きが正の時計回りのループを描くことが分かる。これに回帰直線を当てはめると、回帰直線の傾きは 0.652 となり、正の値を示した。

図 7c は成熟年齢が2 歳の場合の加入量と産卵親魚量の軌道を示したものである。このケースの場合も、1 周期8 年は P1、P2、P3、P4 の4 つの期間に分けることができる。それぞれの期間における加入量と産卵親魚量の増減は図 7b と全く同様であり、点 (R_t, S_t) の移動方向も図 7b と同じである。しかし、図 7c の場合は各期間の長さがいずれも2 年で同じである。従って、図 7c の右側に示したように、1 周期が経過すると、矢印の長さが等しい時計回りのループが形成される。

図 8c は図 7c の1 周期分の期間について、 (R_t, S_t) を順に線で結んでプロッ

トしたものである。図 8c を見ると、8 つの点は図 7c の右側の図で示したように、傾きがほぼゼロの時計回りのループを描くことが分かる。これに回帰直線を当てはめると、回帰直線の傾きは 0.0785、その 95% 信頼区間は (-0.498, 0.654) となり、統計的に傾きはゼロと有意に異ならないという結果になった。(コラム 3)

【コラム 3】 95% 信頼区間とは？

95% 信頼区間から 2 つのことが分かる。1 つは信頼区間の幅から推定値の精度が分かる。95% 信頼区間が狭ければ狭いほど、推定値の精度が高い。幅が広いと推定精度が悪く、推定値は信頼できないということになる。他の 1 つとして、信頼区間の範囲も重要な意味をもつ。太平洋クロマグロのように、産卵親魚量と加入量に何らかの関係があるかないか(相関があるか無いか)が問題になっている場合、再生産関係の傾きを推定し、その 95% 信頼区間が例えば (-0.1, 0.3) のように 0 を含んでいると、再生産関係の傾きは統計的には 0 と見なされ(「傾きは 0 と有意に異ならない」という表現を使うのが一般的であるが)、「親と子の間にはいかなる関係も認められない(無相関)」と判断される。もし、95% 信頼区間が例えば (0.3, 0.8) のように 0 を含まない正の範囲であると、再生産関係の傾きは統計的に正の値を持つと判断され、親と子の関係には正の関係(親が多いと子も多いという関係)があると判断される。

以下、d から h まで、ほとんど同様の説明が続くので、図だけ見れば説明は不要という方は、図 7d ~ h、図 8d ~ h と表 1 をみて、↓で示した 5-2 節 (p.31) に進んで下さい。念のため、説明は以下に続けておきますが…。

図 7d は成熟年齢が 3 歳の場合の加入量と産卵親魚量の軌道を示したものである。このケースの場合、1 周期 8 年は P1、P2、P3、P4 の 4 つの期間に分けることができる。それぞれの期間において、加入量の増加・減少傾向と、産卵親魚量の増加・減少傾向は、図 7b、c と同じである。従って、点 (S_i, R_i) の移動方向も図 7b、c と同じである。従って、1 周期が経過す

ると、図 7d の右側に示したように、最初の 3 年間 (P1) は点 (S_t, R_t) は左上の方向に移動し、次の 1 年間 (P2) は点 (S_t, R_t) は右上の方向に移動し、3 番目の 3 年間 (P3) は点 (S_t, R_t) は右下の方向に移動し、最後の 1 年間 (P4) は、点 (S_t, R_t) は左下の方向に移動する。1 周期が経過すると、P1、P3 の矢印が長いので、 (S_t, R_t) は時計回りで長軸方向の傾きを持った、すなわち、負の傾きを持ったループを描く。

図 8d は図 7d の 1 周期分の期間について、 (S_t, R_t) を順に線で結んでプロットしたものである。図 8d を見ると、8 つの点は図 7d の右側の図で示したように、傾きが負の時計回りのループを描くことが分かる。これに回帰直線を当てはめると、回帰直線の傾きは -0.641 となり、負の値を示した。ただし、95% 信頼区間は $(-1.124, -0.159)$ となり、統計的には -1 と有意に異なる結果となった。

図 7e は成熟年齢が 4 歳の場合の加入量と産卵親魚量の軌道を示したものである。すなわち、成熟年齢がちょうど環境変動の周期の半分になっている場合である。このケースの場合、加入量と産卵親魚量の軌跡はちょうど位相が半周期分ずれたコサインカーブになっている。このケースの場合 1 周期 8 年の加入量と産卵親魚量の軌跡を見ると、2 つの期間に分けることができる。すなわち、最初の 4 年間 (4-5 年、5-6 年、6-7 年、7-8 年) は加入量は増加、産卵親魚量は減少する期間であり、次の 4 年間 (8-9 年、9-10 年、10-11 年、11-12 年) は加入量は減少、産卵親魚量は増加する期間となる。前者の期間を P1、後者の期間を P2 と呼ぶことにする。P1 においては、産卵親魚量は減少、加入量は増加するので点 (S_t, R_t) は、図 7e の上部に示したように、左上の方向に移動する。これに対して P2 においては、産卵親魚量は増加、加入量は減少するので点 (S_t, R_t) は、右下の方向に移動する。

図 8e は図 7e の 1 周期分の期間について、 (S_t, R_t) を順に線で結んでプロットしたものである。図 8e を見ると、8 つの点は傾きが -1 の直線上に

並ぶことが分かる。すなわち、 $t = 4$ の時の点 (S_t, R_t) から出発し、 $t = 8$ の時の点 (S_8, R_8) までは傾き -1 の直線上を（左上の方向に）増大し、その後 $t = 8$ の時の点 (S_8, R_8) から $t = 11$ の時の点 (S_{11}, R_{11}) までは傾き -1 の直線上を（右下の方向に）減少する。

図 7f は成熟年齢が 5 歳の場合の加入量と産卵親魚量の軌道を示したものである。このケースの場合、1 周期 8 年は P1、P2、P3、P4 の 4 つの期間に分けることができる。それぞれの期間において、加入量の増加・減少傾向と、産卵親魚量の増加・減少傾向は、図 7b、c とは逆になる。すなわち、P 1 では、加入量、産卵親魚量とも増加するので、点 (S_t, R_t) は右上に移動する。P2 は加入量が増加、産卵親魚量は減少するので、点 (S_t, R_t) は左上に移動する。P3 は加入量、産卵親魚量とも減少するので、点 (S_t, R_t) は左下に移動する。P4 は加入量が減少、産卵親魚量は増加するので、点 (S_t, R_t) は右下に移動する。従って、1 周期が経過すると、P2、P4 の矢印が長いので、点 (S_t, R_t) 反時計回りで長軸方向の傾きを持った、すなわち、負の傾きを持ったループを描く。

図 8f は図 7f の 1 周期分の期間について、 (S_t, R_t) を順に線で結んでプロットしたものである。図 8f を見ると、8 つの点は図 7f の右側の図で示したように、傾きが負の反時計回りのループを描くことが分かる。これに回帰直線を当てはめると、回帰直線の傾きは -0.652 となり、負の値を示した。ただし、95% 信頼区間は $(-1.058, -0.245)$ となり、統計的には -1 と有意に異ならない結果となった。

図 7g は成熟年齢が 6 歳の場合の加入量と産卵親魚量の軌道を示したものである。このケースの場合も、1 周期 8 年は P1、P2、P3、P4 の 4 つの期間に分けることができる。それぞれの期間における加入量と産卵親魚量の増減は図 7f と全く同様であり、点 (S_t, R_t) の移動方向も図 7f と同じである。しかし、図 7g の場合は各期間の長さがいずれも 2 年で同じである。従って、図 7g の右側に示したように、1 周期が経過すると、矢印の長さが

等しい反時計回りのループが形成される。

図 8g は図 7g の 1 周期分の期間について、 (S_t, R_t) を順に線で結んでプロットしたものである。図 8g を見ると、8 つの点は図 7g の右側の図で示したように、傾きがほぼゼロの反時計回りのループを描くことが分かる。これに回帰直線を当てはめると、回帰直線の傾きは -0.0785 、その 95% 信頼区間は $(-0.654, 0.497)$ となり、統計的に傾きはゼロと有意に異ならないという結果になった。

図 7h は成熟年齢が 7 歳の場合の加入量と産卵親魚量の軌道を示したものである。このケースの場合、1 周期 8 年は P1、P2、P3、P4 の 4 つの期間に分けることができる。それぞれの期間において、加入量の増加・減少傾向と、産卵親魚量の増加・減少傾向は、図 7f、g と同じである。従って、点 (S_t, R_t) の移動方向も図 7f、g と同じである。従って、1 周期が経過すると、図 7h の右側に示したように、最初の 3 年間 (P1) は点 (S_t, R_t) は右上の方向に移動し、次の 1 年間 (P2) は点 (S_t, R_t) は左上の方向に移動し、3 番目の 3 年間 (P3) は点 (S_t, R_t) は左下の方向に移動し、最後の 1 年間 (P4) は、点 (S_t, R_t) は右下の方向に移動する。1 周期が経過すると、P1、P3 の矢印が長いので、点 (S_t, R_t) は反時計回りで長軸方向の傾きを持った、すなわち、正の傾きを持ったループを描く。

図 8h は図 7h の 1 周期分の期間について、 (S_t, R_t) を順に線で結んでプロットしたものである。図 8h を見ると、8 つの点は図 7h の右側の図で示したように、傾きが正の反時計回りのループを描くことが分かる。これに回帰直線を当てはめると、回帰直線の傾きは 0.641 となり、正の値を示した。ただし、95% 信頼区間は $(0.159, 1.124)$ となり、統計的には 1 と有意に異ならない結果となった。

成熟年齢が周期 8 年と同じ 8 歳になると、加入量と産卵親魚量の軌跡は成熟年齢が 0 歳の場合 (図 7a) と全く同じになる。従って、成熟年齢が 8 歳の場合の再生産関係は、成熟年齢が 0 歳の場合のそれ (図 8a) と全く同

じになる。同様に、成熟年齢が9歳の場合も、加入量と産卵親魚量の軌跡は成熟年齢が1歳の場合（図7b）と全く同じになる。従って、成熟年齢が9歳の場合の再生産関係は、成熟年齢が1歳の場合のそれ（図8b）と全く同じになる。以上の結果を表1にまとめた。

表1 成熟年齢と環境変動の周期（T）との比率が再生産関係の傾き、再生産関係のループの向きを決定する。また、それらの比率に該当すると考えられる資源を示した。

成熟年齢	成熟年齢/周期	再生産関係の傾き	ループの向き	該当する資源
0	0	$b = 1$	時計回り	
1	$1/T = 0.125$	$0 < b \leq 1$	時計回り	マイワシ太平洋系群
2	$2/T = 0.25$	$b = 0$	時計回り	
3	$3/T = 0.375$	$-1 \leq b < 0$	時計回り	
4	$4/T = 0.5$	$b = -1$	反時計回り	
5	$5/T = 0.625$	$-1 \leq b < 0$	反時計回り	大西洋クロマグロ東資源
6	$6/T = 0.75$	$b = 0$	反時計回り	太平洋クロマグロ
7	$7/T = 0.875$	$0 < b \leq 1$	反時計回り	
8	$(8-T)/T = 0$	$b = 1$	時計回り	
9	$(9-T)/T = 0.125$	$0 < b \leq 1$	時計回り	大西洋クロマグロ西資源
.	.	.	.	
.	.	.	.	



ここまで読み飛ばしてください。

5-2. 太平洋クロマグロの平均成熟年齢の推定結果

図6の(4)式を用いて計算した年齢別産卵親魚量を図9aに示した。図9aに示した年齢別産卵親魚量で重みづけをした平均成熟年齢は9.79歳となった。図6の(7)式を用いて計算した年齢別産卵数を図9bに示した。すなわち、1個体あたりの年齢別産卵数は5歳で100万粒、16歳で1000万粒を通る指数関数で表わされると仮定した。年齢別総産卵数は図9cに示したような分布となり、年齢別の総産卵数で重みづけをした平均成熟年齢は13.8歳となった。

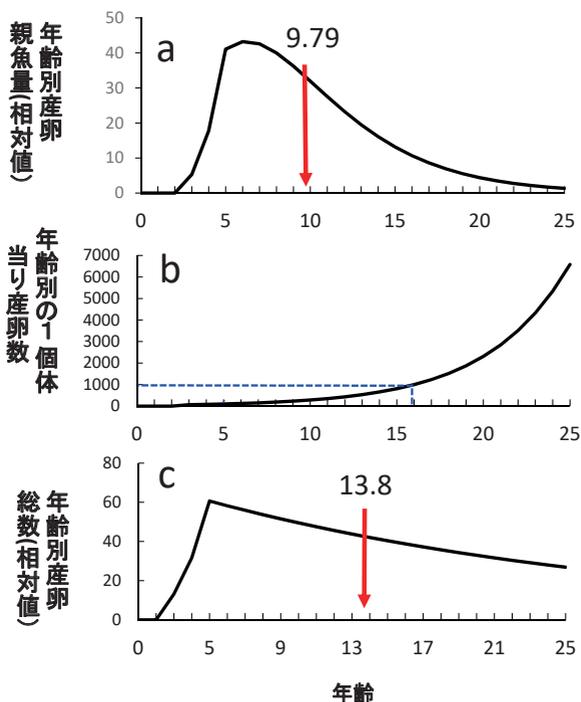


図9 平均成熟年齢

a: 年齢別産卵親魚量の分布と平均成熟年齢 (9.79 歳)。b: 年齢別 1 個体当り産卵数の分布。c: 年齢別総産卵数を考慮して計算した平均成熟年齢 (13.8 歳)。

第 6 章 実データの分析結果

6-1. マイワシ太平洋系群の加入量、親魚量の経年変動と再生産関係

図 10 はマイワシ太平洋系群の加入量、産卵親魚量の 62 年間の経年変動を示したものである。ただし、以後は加入量、産卵親魚量とも対数変換した値を示す。データが大きく変動している場合は対数変換をすると、データの変動が見やすくなるからである。図 10 を見ると加入量、親魚量とも

低水準期（赤）、高水準期（青）、中水準期（緑）の3つの期間に大きく分けられることが分かる。図中の点線はそれぞれの期間での平均値を示す。図11はマイワシ太平洋系群の再生産関係を示したものである。図11の赤、青、緑で示した再生産関係は図10の低水準期（赤）、高水準期（青）、中水準期（緑）にそれぞれ対応している。それぞれの期間で1つのループが形成され、また、それぞれのループは時計回りのループになっていることが分かる。全体の再生産関係に回帰直線を当てはめると、その傾きは、0.764、95%信頼区間は（0.634, 0.874）となった。すなわち、傾きは1に近い正の値で、かつ、時計回りのループとなることがわかる。

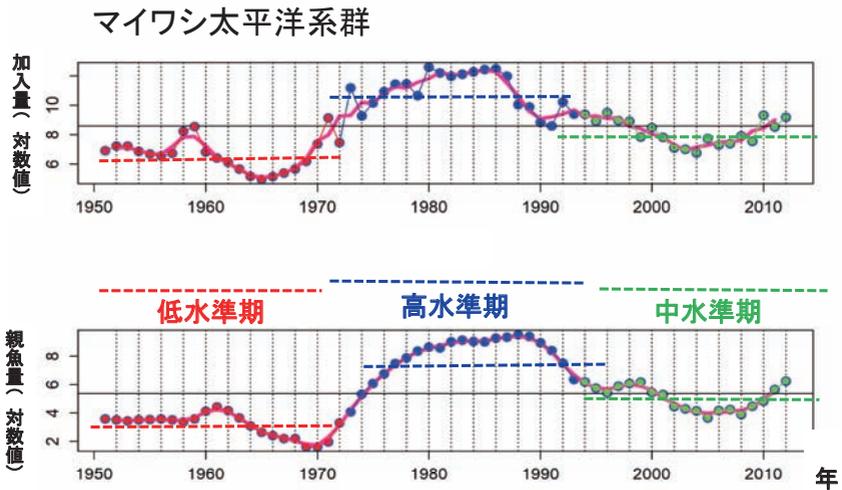


図10 マイワシ太平洋系群の加入量と産卵親魚量の時系列

62年間の加入量、産卵親魚量の時系列は低水準期（赤）、高水準期（青）、中水準期（緑）の3つの期間に分けられる。黒の実線は全体の加入量、産卵親魚量それぞれの平均値、赤、青、緑の点線は、それぞれの水準での平均値を示す。ただし、加入量、産卵親魚量とも対数変換した値を示す。対数変換する理由は、加入量、産卵親魚量とも変動が大きいので、対数変換した方が全体の変動がよくわかるため。

マイワシ太平洋系群

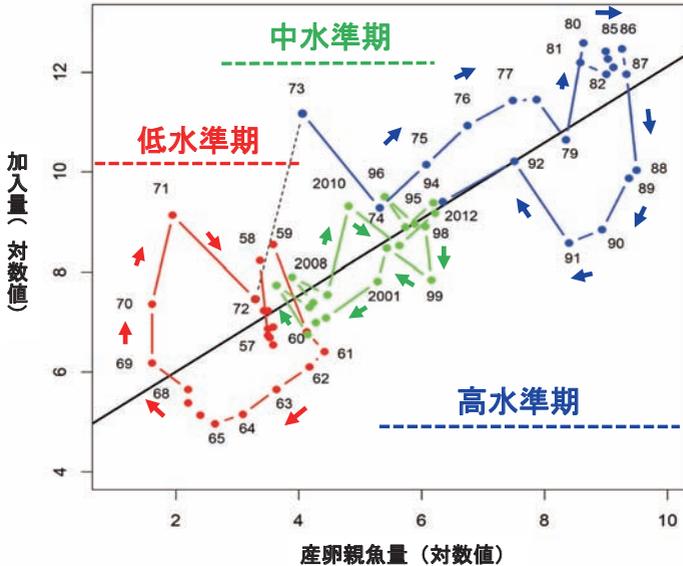


図 11 マイワシ太平洋系群の再生産関係

図 10 の低水準期 (赤)、高水準期 (青)、中水準期 (緑) の 3 つの期間に対応して、再生産関係にも 3 つのループが出現する。全体の再生産関係に対する回帰直線の傾きは 0.764、その 95% 信頼区間は (0.634, 0.874) となった。すなわち、傾きは 1 に近い正の値で、右回りのループが認められた。従って、マイワシ太平洋系群の再生産関係は図 8 の b に相当することがわかる。

6-2. 太平洋クロマグロの加入量、親魚量の経年変動と再生産関係

図 12 は太平洋クロマグロの加入量と産卵親魚量の 61 年間の経年変動を示したものである。図 12 を見ると加入量、親魚量とも高水準期 (赤)、低水準期 (青)、中水準期 (緑) の 3 つの期間に大きく分けられることがわかる。図中の点線はそれぞれの期間での平均値を示す。図 13a は太平洋クロマグロの再生産関係を示したものである。図 13a の赤、青、緑で示した再生産関係は図 12 の高水準期 (赤)、低水準期 (青)、中水準期 (緑) にそれぞれ

れ対応している。全体の再生産関係に回帰直線を当てはめると、その傾きは、0.211、95%信頼区間は(-0.048, 0.471)となった。すなわち、回帰直線の傾きは統計的には0と見なしてもよく、産卵親魚量と加入量は無相関という結果となった。図13bは図13aの高水準期と低水期を取り出して図示したものである。それぞれの点が何年のデータであるかを記入し、連続する年を線で結んでみると、2つの期間いずれも反時計回りのループが形成されていることがわかる。また、赤と青で示した直線は高水準期と低水準期それぞれに対して回帰直線を当てはめたものであるが、いずれも回帰直線の傾きも統計的に0と見なされた。図13cは図13aの中水準期を取

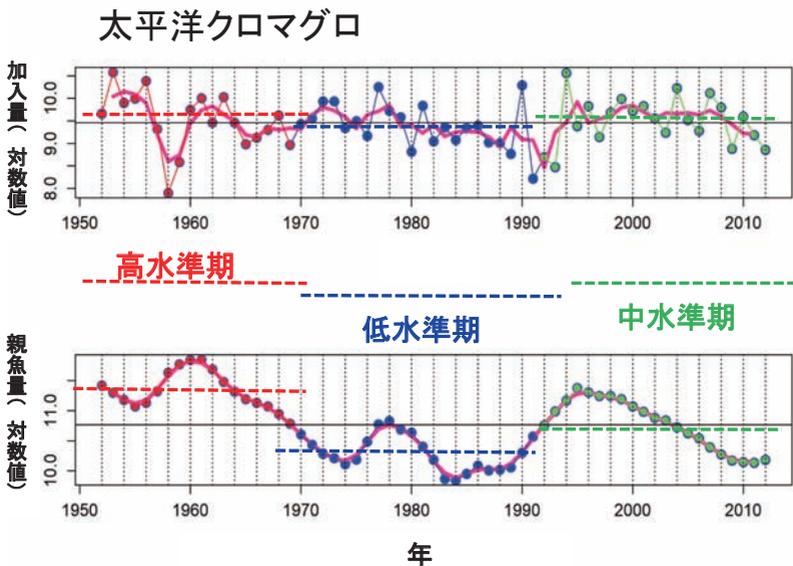


図12 太平洋クロマグロの加入量と産卵親魚量の時系列

61年間の加入量、産卵親魚量の時系列は高水準期(赤)、低水準期(青)、中水準期(緑)の3つの期間に分けられる。黒の実線は全体の加入量、産卵親魚量それぞれの平均値、赤、青、緑の点線は、それぞれの水準での平均値を示す。ただし、加入量、産卵親魚量とも対数変換した値を示す。

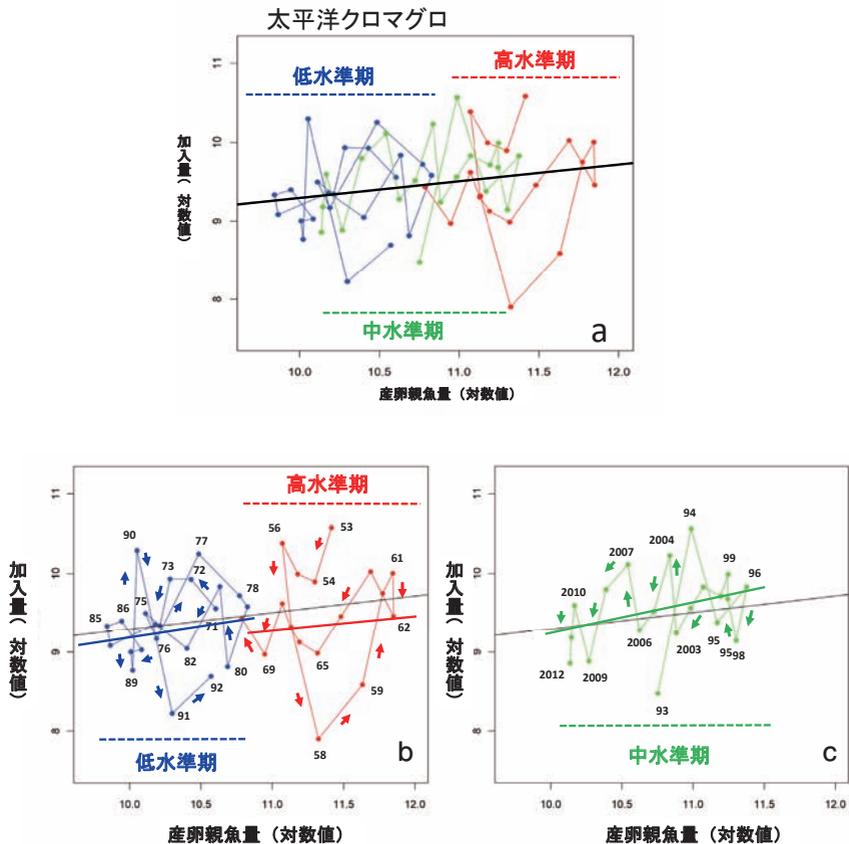


図 13 太平洋クロマグロの再生産関係

a: 図 12 の高水準期 (赤)、低水準期 (青)、中水準期 (緑) の 3 つの期間に対応して、再生産関係も 3 つのループが出現する。全体の再生産関係に対する回帰直線の傾きは 0.211、その 95% 信頼区間は $(-0.048, 0.471)$ となった。すなわち、傾きは 0 (統計的には 0 と見なされる)。b: 高水準期 (赤) と低水準期 (青) の再生産関係のループの向きを示す。いずれも、反時計回りのループが認められる。c: 中水準期 (緑) の再生産関係のループの向きを示す、反時計回りのループ (一部) が認められる。以上のことから、太平洋クロマグロの再生産関係は傾きが 0 で反時計回りのループが認められ、図 8 の g に相当することができる。

り出して図示したものである。この期間においても反時計回りのループ(の一部)が形成されていることが分かる。また、回帰直線の傾き(緑の直線)は統計的に0と見なされた。すなわち、太平洋クロマグロの再生産関係は傾きが0で、かつ、反時計回りのループを示すことがわかる。

6-3. 大西洋クロマグロ西資源の加入量、親魚量の経年変動と再生産関係

図14は大西洋クロマグロ西資源の加入量と産卵親魚量の経年変動を示したものである。加入量、産卵親魚量を高水準期から低水準期に変化する

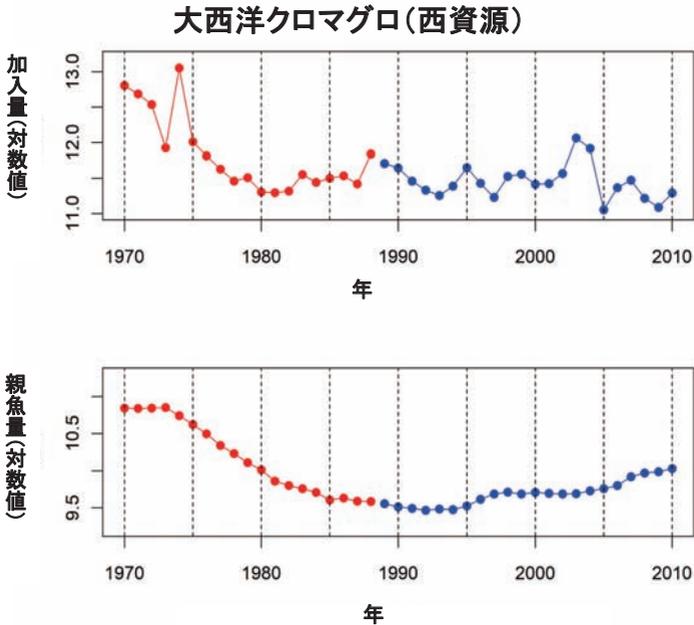


図14 大西洋クロマグロ西資源の加入量と産卵親魚量の時系列

加入量は高水準期から低水準期に変化する前半の19年間(赤)と、低水準期を維持している後半の22年間(青)に分けて図示した。産卵親魚量も高水準期から低水準期に変化する前半の19年間(赤)と、低水準期を維持している後半の22年間(青)に分けて図示した。

前半の19年間（赤）と、低水準期を維持している後半の22年間（青）に分けて図示した。図15aは大西洋クロマグロ西資源の再生産関係を示したものである。再生産関係に回帰直線を当てはめると、その傾きは、0.719、95%信頼区間は(0.478, 0.959)となった。図15bは大西洋クロマグロ西資源の1970年から1988年までの再生産関係を示したものである（図14の赤で示した期間に対応）。経年的に結んだ線は下にへこんだU字型の曲線を示し、ループは時計回りの方向を示した。図15cは大西洋クロマグロ西資源の1989年から2010年までの再生産関係を示したものである（図14の青で示した期間に対応）。経年的に結んだ線の変動は大きい、全体的には時計回りの方向を示している。すなわち、全期間について、再生産関係の傾きは1に近い正の値となり、時計回りのループ（の一部）を示すことがわかる。

6-4. 大西洋クロマグロ東資源の加入量、親魚量の経年変動と再生産関係

図16は、図3のaとbについては対数変換をした場合の図を示した。ただし、大西洋クロマグロ東資源については加入量と産卵親魚量のデータが使えなかったため、Cárdenas^[6]の図をそのまま引用した。従って、再生産関係の傾きやループの向き等については検討できなかったが、図中に赤の点線で示したように、再生産関係には明らかに、負の傾きを持つ回帰直線が引けることがわかる。太平洋クロマグロは反時計回りで傾きが0であるから、シミュレーション結果の図8gに相当する。大西洋クロマグロ西資源は時計回りで傾きが正であるから、シミュレーション結果の図8bに相当する。大西洋クロマグロ東資源はループの向きはわからないが、成熟年齢が太平洋クロマグロに近いので、恐らく反時計回りになることが予想され、傾きが負であることから、シミュレーション結果の図8fに相当するものと考えられる。

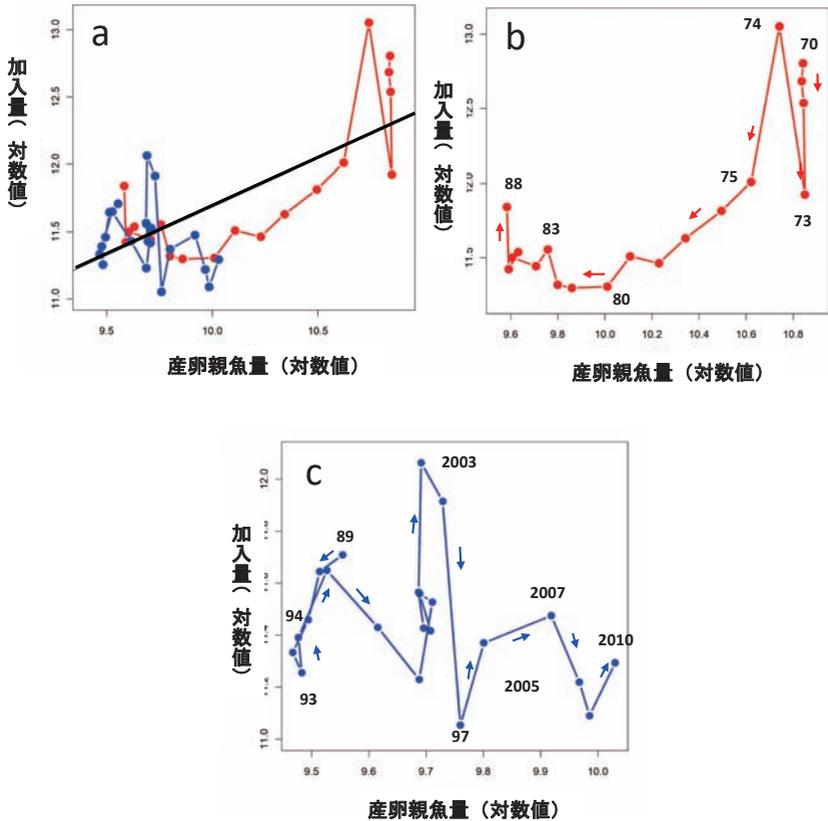


図 15 大西洋クロマグロ西資源の再生産関係

a: 大西洋クロマグロ西資源の再生産関係を示す。再生産関係に回帰直線を当てはめると、その傾きは 0.719、95% 信頼区間は (0.478、0.959) となった。b: 大西洋クロマグロ西資源の 1970 年から 1988 年までの再生産関係を示した (図 14 の赤で示した期間に対応)。完全なループは形成されていないが、ループ (の一部) は時計回りの方向を示した。c: 大西洋クロマグロ西資源の 1989 年から 2010 年までの再生産関係を示したものである (図 14 の青で示した期間に対応)。この期間も完全にはループ状にはなっていないが、時計回りの方向を示している。すなわち、全期間について、再生産関係の傾きは 1 に近い正の値となり、時計回りのループが認められ、図 8 の b の場合に相当することがわかる。ただし、成熟年齢は 1 歳ではなく、9 歳 (1 周期 8 年 + 1 年) の場合に相当する。

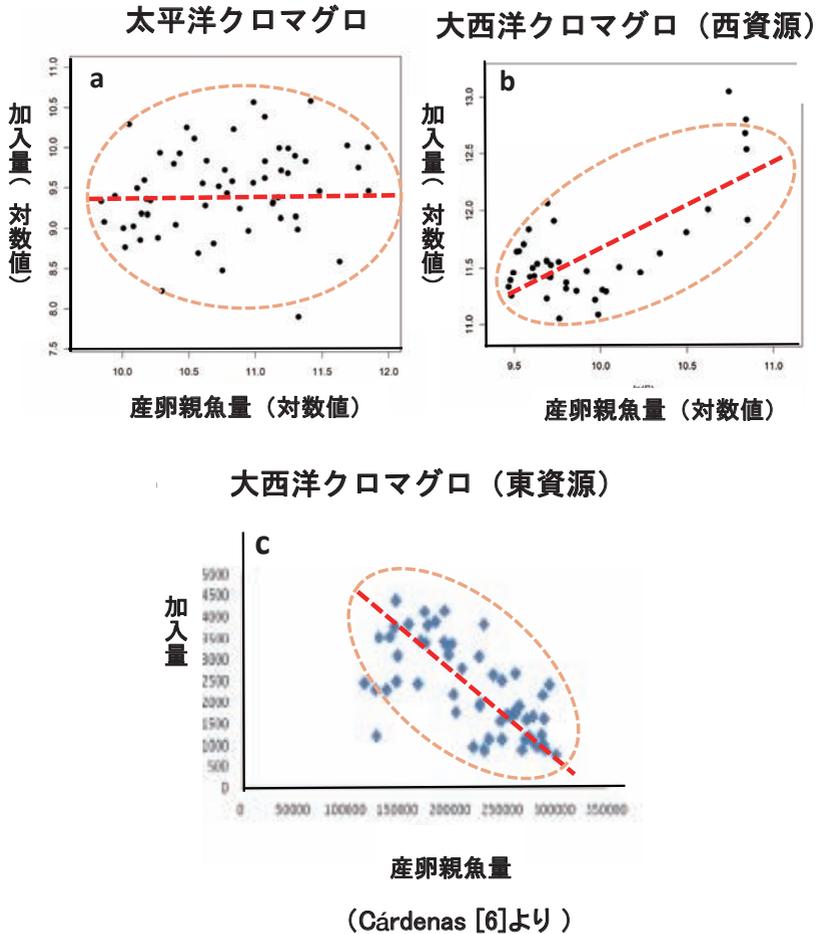


図 16 再生産関係の 3 つのパターン

図 3 の再生産関係と同じものを示す。ただし、太平洋クロマグロの再生産関係 (a) と大西洋クロマグロ西資源の再生産関係 (b) は対数値に変換して示した。a: 太平洋クロマグロの再生産関係は傾きが 0 で反時計回りのループを描く。b: 大西洋クロマグロ西資源の再生産関係は傾きが正で時計回りのループを描く。c: 大西洋クロマグロ東資源の再生産関係では加入量は産卵親魚量の増加に伴って減少するばかりである。以上の 3 つの資源の再生産関係は図 1 で示したどの再生産モデルとも全く異なる形状を示すことがわかる。

第7章 考察

7-1. 新しい資源変動理論

既に述べたように、本稿では、説明を簡単にするために、生残過程（子から親のプロセス）のみについてシミュレーションを実施し、その結果を説明した。方法の節で述べたように、本来は、生残過程（子から親のプロセス）と再生産過程（親から子のプロセス）の両方を考慮して議論しなければならない。しかし、生残過程と再生産過程の両方を考慮したシミュレーション・モデル（図17に示した(9)式、(11)式)を用いた場合も、本論文で示した結果と本質的には同じ結果が得られることが既にわかっている。^[11]

新しい資源変動モデルの再生産関係：
加入量変動 = 産卵親魚量 × 環境変動 … (9)
密度効果を重視した従来の再生産関係：
加入量変動 = 産卵親魚量 × 密度効果 … (10)
生残過程：
産卵親魚量 = 加入量に比例して決まる … (11)

図17 新しい資源変動モデル

新しい資源変動モデルでは、加入量は産卵親魚量に比例して決まる部分と、環境変動に強く影響されて決まる部分から構成されるという考え方を(9式)とする。密度効果を重視した資源変動モデルでは加入量は産卵親魚量に比例して決まる部分と、密度効果によって決まる部分から構成されるという考え方を(10式)とする。相違点はそこだけである。生残過程(11式)は、どちらも相違はない。

すなわち、成熟年齢が環境変動の周期の半分（半周期）より小さい場合は、時計回りのループを描く年が多く現れ、成熟年齢が環境変動の周期の半分（半周期）より大きい場合は、反時計回りのループを描く年が多く現れた。また、再生産関係に当てはめた回帰係数の傾きが成熟年齢によって決定される点も同じであった。このシミュレーションでは、環境変動の周期の長さを20年と設定しているが、成熟年齢が12年と13年の場合に、太平洋クロマグロと似たパターンが出現した。すなわち、再生産関係の傾きが0で、反時計回りのループが出現した。^[11]

また、上記のシミュレーションではマイワシ太平洋系群で見られたような、お団子が3つ串刺しになったような再生産関係が形成されることも再現している。^[11] 図10を見ればわかるように、マイワシ太平洋系群の場合、62年間で3つの期間（低水準期、高水準期、中水準期）にわかれることは既に述べたが、それぞれの期間が1つの周期に対応し、1つの周期に対して1つのループが形成される。マイワシ太平洋系群の場合は再生産関係が

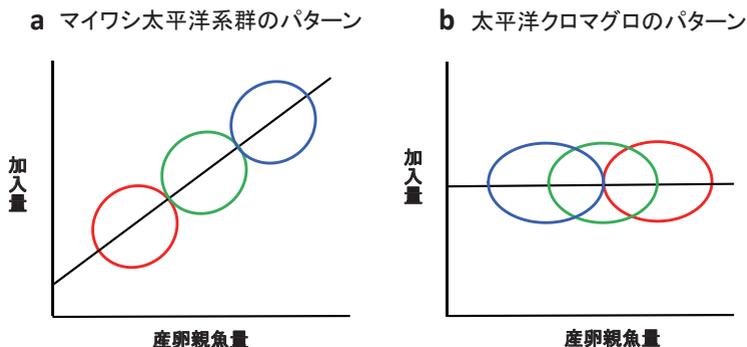


図18 再生産関係のパターン

a: マイワシ太平洋系群のパターン。マイワシ太平洋系群の再生産関係は正の傾きを持ち62年間に3周期が存在する。1周期に対して1つループが形成されるので、3つの周期に対して3つのループが形成され、お団子を串刺しにしたようなパターンが現れる。b: 太平洋クロマグロの再生産関係は傾きを持たないので、同じく3つの周期があり、3つのお団子が形成されるが、横に広がったお団子状になっている点異なる。

正の傾きを持つ、すなわち、最初の2つの周期で低水準から高水準に大きく増加しているのので、産卵親魚量の低いところで1つ、産卵親魚量の高いところで1つのループが形成される。その後、3つ目の周期で加入量、産卵親魚量とも、中水準まで低下しているのので、産卵親魚量の中水準のところで1つループが形成される。すなわち、増加減少傾向が大きい場合は、周期の数の分だけお団子が串刺しになった状態が現れるということである(図11、図18)。これに対して、太平洋クロマグロの場合は、再生産関係は全体的に傾きを持たないので、同じく3つの周期がありお団子状にはなっているものの、横に広がったお団子状になっているため、マイワシ太平洋系群の場合のようにはっきりとは認識されにくいことになる(図13、図18参照)。

7-2. 再生産関係に認められるループと再生産関係の傾き

本稿のシミュレーション結果から、再生産関係の形状(傾きとループの向き)は、成熟年齢と環境変動の周期との比で決まることがわかった(表1)。従って、ここで重要になるのが成熟年齢のとらえ方であるが、シミュレーションで設定した成熟年齢とは平均成熟年齢という意味と考えるべきであろう。何故なら、100%成熟年齢(100%の魚が成熟する最小年齢)よりも産卵親魚全体を考慮した平均成熟年齢の方が、資源に与える貢献度から考えてより重要であると考えられるからである。本稿では、太平洋クロマグロについて、年齢別産卵親魚量や年齢別総産卵数を用いて平均成熟年齢を試算し、9.79~13.8歳という値を得ている。従って、100%成熟年齢が5歳である太平洋クロマグロの平均成熟年齢はその約2倍から2.8倍となることから類推すると、成熟年齢が8歳の大西洋クロマグロ西資源の平均成熟年齢は、その約2倍から2.8倍の16~22.8歳程度となる可能性が考えられる。大西洋クロマグロ西資源は太平洋クロマグロよりもさらに寿命が長く、20歳から30歳と言われているので、大西洋クロマグロ西資

源の平均成熟年齢は上記の推測値よりもさらに高い方にずれるかもしれない。一方、成熟年齢が4歳の大西洋クロマグロ東資源の平均成熟年齢は8～11.2歳程度と推測される。もし、環境変動の周期が $T = 20$ 年程度であるとすると、西洋クロマグロ西資源の平均成熟年齢と環境変動の周期との比は $(23-T)/20 = 0.15$ 、西洋クロマグロ東資源のそれは $11.2/20 = 0.56$ 、太平洋クロマグロのそれは $13.8/20 = 0.69$ となり、表1の成熟年齢が9歳、5歳、6歳の場合の成熟年齢と環境変動の周期との比、0.125、0.625、0.750に近いと考えられた。

環境変動の周期は地域によっても異なるし、同じ地域であっても時代や時期によっても異なる。また、平均成熟年齢は年齢別の体重や年齢別の産卵数、死亡係数や寿命等にも大きく影響される。現時点ではそれ等に関する詳細なデータを持ち合わせていないので、算定はかなり雑であることはお許しいただきたいが、シミュレーション結果と実データとの関係は、定性的には極めてよく符合していると考えてもいいだろう。

7-3. 密度効果を主要因として導き出されたこれまでの再生産モデルは誤りである

以上みてきたように、ここで示した4つの資源どれ1つをとっても、リッカー型をはじめとする従来型の再生産モデルとは、全く異なる形状を示すことがわかった。なぜここで検討した4つの資源全てがどの再生産モデルとも全く合わないのか、その原因はもはや明らかではないだろうか？それは「密度効果を主要因として導き出されたこれまでの再生産モデルそのものが事実に合っていないから」であり、「これまで提案されてきた再生産モデルが誤りであるから」ということである。このことは、既に述べたように、密度依存的再生産モデルから導き出されてきたMSY理論そのものも誤りであるということと同時に示している。従って、MSY理論に基づく神戸チャートももちろん誤りであり、神戸チャートに基づく資源管理も

何ら意味をなさないということになる。

RFMO では世界中の多くの優秀な資源研究者が集まって、長年にわたり熱心な議論がなされてきたようである。しかし、いずれのクロマグロ資源においても未だに再生産関係すら明らかにされていないのが現状である。「その原因は、資源研究者たちが、従来の密度効果を中心とした再生産関係やそれから導き出された MSY 理論に異常なまでに固執してきたからである」というのが私の見解である。誤った理論に基づいていくら議論をしても、時間と経費が無駄なだけである。そこから導かれる見当違いの結論は効果がないばかりでなく、社会を混乱させる大きな原因ともなっている。研究者たちは「再生産関係は不明」と言いながら、思い付きで好き勝手なこと言っていればそれで済むかもしれないが、被害を受けるのは見当違いの結果に振り回される漁業者である。WCPFC のメバチのように、「資源は乱獲状態にある」といって漁獲規制強化を主張していたと思ったら、その舌の根も乾かぬうちに、今度は「資源はいままでもずっと健全であった」と全く正反対のことを主張するわけであるから……。しかも、その変更の根拠を説明しようとしてもしないのであれば、不信感を持たれても当然であろう。日本かつお・まぐろ漁業協同組合の山下組合長は変更の理由について以下のように不信感を露わにしている。「成長式を変えたなら、なぜ成長式を変える必要があり、なぜ、新しい成長式がいいといえるのか。海区についても変更されたが、今までの海区にどういう問題があり、新しい海区になってその問題が改善されたのか、何の説明もない」。^[21] もっとも、MSY 理論に基づいて資源分析を行っている限り、資源評価を変更した根拠を説明することなどできないだろうと私は思うけれども。

7-4. 「初期資源量の 20% を管理目標にする」に意味はあるか？

ここでは長くなるので詳細な説明は省略するが、「初期資源量の 20% を管理目標にする」などというバカげた議論も是非やめていただきたいもの

である。一体いつの時代の資源量を初期資源量と見なせばいいのか、生物学的にきちっと説明できる人などいないだろう。図 19 は地中海の定置網で漁獲された大西洋クロマグロ（東資源）の漁獲量の経年変動を分析し、資源量の推移を指数で示したものである。^[22] これら 300 年間の変動はサインカーブに似た周期変動をしながら大きく変動していることがわかる。著者は大西洋クロマグロの資源は、ほぼ 100 年周期の大きな変動と 20 年周期ぐらいの短期の変動を繰り返しているとも述べている。果たしてこの図をみて「ここが初期資源ですよ」と言える人がいるのだろうか。

もともと、初期資源量という概念は MSY 理論から導かれた架空の概念であり、生物学的な根拠があるわけではない。MSY 理論が正しくなければ、初期資源量は架空の概念というよりは誤った概念に過ぎない。100 歩譲って、例え MSY 理論が正しいとしても、すでに述べたように再生産関係が

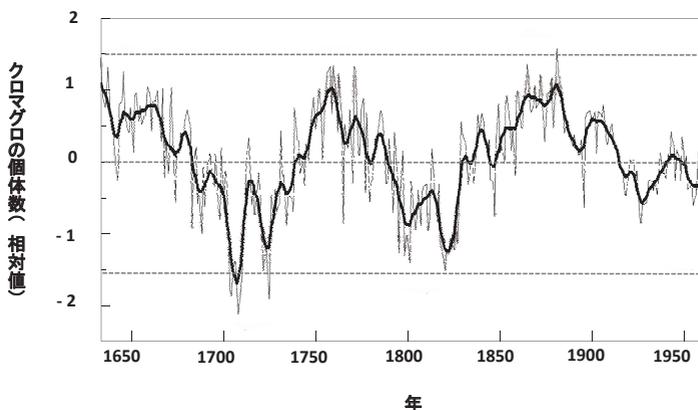


図 19 大西洋クロマグロ東資源の経年変動 (Ravier and Fromentin [22] より)

地中海の定置網で漁獲された大西洋クロマグロ（東資源）の漁獲量の経年変動を分析し、資源量の推移を指数で示したもの [22] これら 300 年間の変動はサインカーブに似た周期変動をしながら大きく変動していることがわかる。著者らは大西洋クロマグロの資源は、ほぼ 100 年周期の大きな変動と 20 年周期ぐらいの短期の変動を繰り返しているとも述べている。

不明であれば、MSY も不明であり、初期資源量も推定できない。科学的合理性などお構いなしの RFMO もさすがに初期資源量は推定していない（推定できないから）。しかし、どうしても初期資源量が使いたいのだろう。漁獲がないと仮定したときに計算される産卵親魚量を初期資源量の代替品として使うことを提案している。この値は、資源量を推定した後、もし漁獲がなければ、資源量はどのぐらいの値になるかを試算すれば簡単に求まる。しかし、その値を初期資源量の代替品として使用してもよいという生物学的保証はどこにもない。なぜなら、この値を計算するプロセスの中に、密度効果という概念が全く入っていないからである。先ほども言ったように、初期資源量という概念は MSY 理論から導かれた概念である。MSY 理論は密度効果を前提にしないと成り立たない概念である。密度効果を前提にしないと成り立たない概念から導かれた初期資源量を、密度効果を仮定しないで計算しておいて、その値を密度効果を前提とする MSY 理論で使おうというわけであるから、科学的整合性は全くない。さらには、再生産関係が不明と自ら認めているクロマグロ資源に対し、上記のようにして求めた（代替）初期資源量の 20% が MSY 水準だと勝手に決めて、これを管理目標にしようというのであるから、「科学的」などととても言えないだろう。

残念ながら、2017 年の WCPFC の会議で、「次期管理目標として、初期資源量の 20% を管理目標にする」ことをなんと日本側が提案し、了承されたという珍事 (?) も起きている。これまでずっと「初期資源量の 20% を管理目標にする」ことに反対してきた日本が、である。「MSY ありき」の資源研究者が多数を占める国際会議の場で科学的に正しいことを主張し続けることの困難さは想像に難くない。水産庁の苦勞も理解はできるが、「それにしても・・・」である。どのような事情があったかは知らないが、科学的に正しかった主張を自ら変更してしまったことは、返す返すも残念である。

7-5. 日本沿岸の太平洋クロマグロの未成魚の漁獲規制の問題点

最後に、日本沿岸の太平洋クロマグロの未成魚の漁獲規制についても少し触れておきたい。太平洋クロマグロの0歳魚、1歳魚の漁獲尾数は全漁獲尾数の90%以上を占めている。過度の漁獲圧が0、1歳魚にかかっていることは疑う余地がない。未成魚の漁獲規制を強化することは妥当な判断だと思われる。問題はそのやり方である。2015年から始めた漁獲規制は2002年から2004年までの3年間の30キログラム未満の未成魚の漁獲量の平均を計算し、その半分(50%)を漁獲枠として規制するというものである。日本の場合は4,007トンになる。しかし、このように漁獲枠を固定してしまったことが現在の大混乱を引き起こすことになった最大の原因である。

なぜ、こんなバカげた決定をしてしまったのか不思議であるが、おそらく、資源研究者は、今現在、実際に起こっている加入量の増大を全く予想していなかったのではないか。MSY理論に基づけば、現在の産卵親魚量がここ60年間で最低の水準に近いにもかかわらず、加入量が増大することなどあり得ないと考えていたのかもしれない。漁獲量を規制し、その結果として産卵親魚量が増えて、初めて加入量が増える、すなわち、加入量が増大するのは、まだまだ先のことと考えていたのではないだろうか。MSY理論に基づけば、その想定は正しいということになるが、実際はそうではなかったということである。加入量が環境変動によって数倍程度変動することなど決して珍しいことではないし、本稿で示した資源変動理論は、今後、産卵親魚量が増大期に移行する可能性を2015年時点で指摘していた(文献[11]、459ページ)。産卵親魚量が増大すれば加入量も増大する。すなわち、加入量が増大する可能性も考慮した対策を立案しておくべきであったということである。

50%という数字が妥当な数字であるか否かは別にして、もしやるとすれば、「漁獲の強さを、例えば、2002年から2004年の3年間の30キログ

ラム未満の未成魚に対する漁獲係数の50%に規制する」にすべきであった。こうしておけば、加入量が倍になれば、漁獲枠も倍になるし、加入量が3倍になれば、漁獲枠も3倍になるので、現在のような大混乱は防げたはずである。なお、0-3歳魚の漁獲係数の50%を漁獲枠として規制しても、十分に管理効果が表れることは、既にシミュレーションによって確認済である。^[12-14] 興味がある方は [12-14] もご参照いただきたい。上記のような加入量予測の判断を誤らせた原因も、もとはと言えば「誤ったMSY理論に基づいて管理をしようとしているから」というのが私の見解である。

第8章 おわりに

本稿では3つのクロマグロ資源の再生産関係の傾きがゼロ、正、負と三者三様、全く異なる形状を示すことを紹介した(図16)。そして、それらは従来のいずれの再生産モデルにも当てはまらないこと、RFMOにおいても、再生産関係は不明とされていることを述べた。しかし、本稿で解説した新しい資源変動の考え方をを用いると、形状の全く異なる3つの再生産関係がすべて同じ1つのロジックで説明可能になることを示した。また、クロマグロ類は生態学的には高次捕食者(大型の肉食動物や魚類などをいう)であり、他の生物の餌となるマイワシなどとは生物学的にも生態学的にもかなり異なっているはずである。それにもかかわらず、高次捕食者である大西洋クロマグロ西資源と餌生物であるマイワシの再生産関係が同じようなパターンを示すという予想外の結果となったが、それについてもここで述べたロジックで説明可能であることを示した。これらのことは、本稿で提示した資源変動の考え方の妥当性を示すものと考えてもよいだろう。

いつまでもMSY理論に固執しては、今後も「再生産関係は不明」という状態が(未来永劫)続くだけである。再生産関係を明らかにするこ

とは資源研究者の責務であるはずであるが、それにもかかわらず、「再生産関係は不明」と恥じることもなく主張し、非科学的なことを好き勝手に言うのは、もういいかげんにやめにして、是非、ここで紹介した新しい考え方を参考に科学的議論をしていただきたいものである。ここで紹介した新しい考え方をを用いると、再生産関係は不明などではなく、マイワシ太平洋系群や太平洋クロマグロの再生産関係も再現可能である。図 20 はマイワシ太平洋系群の再生産関係を^[9]、図 21 は太平洋クロマグロの再生産関係を再現したものである^[11]。黒がデータ、赤がシミュレーションによる再現値である。もちろん、大きく外れている年もあり、ドンピシャと合致し

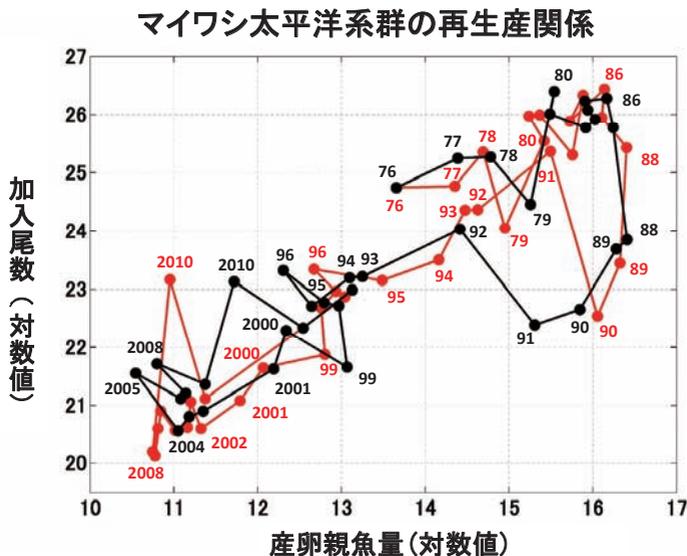


図 20 マイワシ太平洋系群の再生産関係の再現

マイワシ太平洋系群の再生産関係を再現したもの（文献[9]の図3を対数変換して表示）。黒がデータ、赤がシミュレーションによる再現値である。年齢別漁獲尾数のデータが1976年以降からしか利用できないため、再生産関係の再現は1976年から実施されている。1991年の加入尾数が過大推定されているが、その以外は、再生産関係は比較的うまく再現されている。

太平洋クロマグロの再生産関係

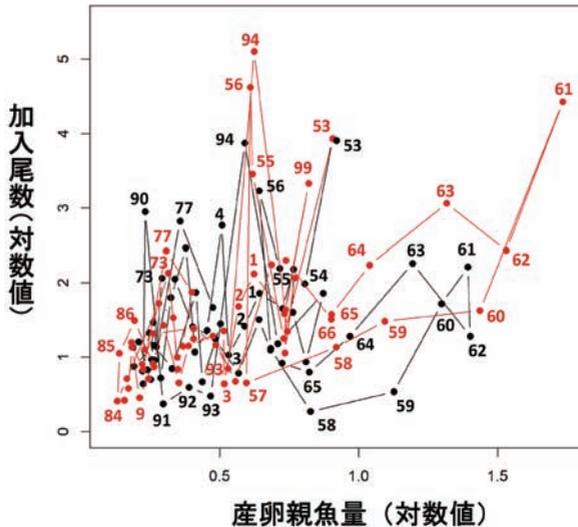


図 21 太平洋クロマグロの再生産関係の再現

太平洋クロマグロの再生産関係を再現したもの [11]。黒がデータ、赤がシミュレーションによる再現値である。図 3a や図 16a に示したように、ほとんど無相関に見えていた太平洋クロマグロの再生産関係も、赤（再現値）は黒（データ）の変動パターンを概ね再現していると言える

【コラム 4】 MSY を仮定する必要のない資源管理方式

田中昌一博士は MSY を仮定する必要のない資源管理方式を提案している。^[26] この管理方式は「モデル非依存型フィードバック管理方式」と呼ばれ、MSY や再生産モデル等のモデルを一切仮定する必要のない管理方式である。すなわち、資源量の増加・減少傾向と目標として定めた資源水準と現在の資源水準の差を考慮して漁獲量をコントロールしていくという方式である。資源量の絶対数の代わりに資源量の相対値を用いても適用可能であり、極めて柔軟な方式である。この田中昌一博士のモデル非依存型フィードバック管理方式をひげ鯨類に当てはめた場合については、国際捕鯨委員会において 5 年間にもわたって膨大な量のシミュレーションテストが実施されており、その管理手法としての有効性が確認されている。^[26 - 28]

ている訳ではないが、マイワシ太平洋系群の再生産関係が傾きが正の右回りのループを描きながら、変動する様子や、太平洋クロマグロの再生産関係のパターンなども、概ね再現できているとみてもよいだろう。再生産関係は決して不明などではない（コラム4）。

本稿の主要な部分については、英語版の論文を作成し、既にインターネット上に公開済みである。^[23] 興味がある方はそちらの方もご参照いただきたい。また、論文 [16-17] で32系群の再生産関係について、ここで提案した考え方が成り立つことを示したが、さらに、世界の33系群の再生産関係を追加し、上記の考え方が適用可能であることを確認している。^[24] その結果も近く論文として発表する予定である。

謝辞

本稿を作成するにあたり、鈴木治郎博士、佐藤力生氏には、貴重なご助言を賜った。ここに厚く御礼申し上げたい。

文献

1. Ricker, W. E. *J. Fish. Res. Board Can.* **11**. 1954: 559-623.
2. Beverton, R. J. H. & Holt, S. J. *Fishery Investigations Series 2*, 19, HMSO, London. 1957.
3. Shepherd, J.G. A versatile new stock-recruitment relationship for fisheries, and the construction of sustainable yield curves. *Journal du Conseil International Pour Exploration de la Mer.* 40: 1982: 67-75.
4. Pacific Bluefin Tuna Working Group (PBFWG). 2014. Stock assessment of Pacific bluefin tuna 2014. Report of the Pacific Bluefin Tuna Working Group. International Scientific Committee for Tuna and Tuna-like Species in the North Pacific Ocean. 1-121. (2014)
5. ICCAT Report of the standing-committee on research and statistics (SCRS).

Madrid, Spain, 2 to 6 October 2017.

6. Cárdenas, E. Comment on the eastern Atlantic and Mediterranean bluefin tuna. Collect. Vol. Sci. Pap. ICCAT. 716): 2798-2804 (2015).
7. ICCAT Report of the standing-committee on research and statistics (SCRS). Madrid, Spain, 2 to 6 October 2017.
8. 鈴木治郎：神戸チャート不掲載に説明を (2017.11.1. 水経塾). 日刊水産経済新聞. 2017
9. Sakuramoto, K. A recruitment forecasting model for the Pacific stock of the Japanese sardine (*Sardinops melanostictus*) that does not assume density-dependent effects. *Agricultural Sciences*. 4, 6A. 2013: 1-8; DOI:10.4236/as.2013.46A001 (2013).
10. 桜本和美：生態学における密度効果という幻想. アクアネット. 2014年12月. 34-37.
11. Sakuramoto, K. A Stock-recruitment Relationship Applicable to Pacific Bluefin Tuna and the Pacific Stock of Japanese Sardine. *Amer J of Clim Chan*. 4. 2015: 446-460.
12. Sakuramoto, K. A Simulation Model of the Spawning Stock Biomass of Pacific Bluefin Tuna and Evaluation of Fisheries Regulations. *Amer J of Clim Chan*. 5. 2016: 245-260.
13. 桜本和美：太平洋クロマグロの産卵親魚量の減少は日本海のまき網漁業が原因か？アクアネット. 2016年4月. 40-46.
14. 桜本和美：新しい水産資源の管理に向けて. 季報. 水産資源保護協会. 2016. 548号
15. 桜本和美：MSY理論は誤りである. アクアネット. 2016年12月. 62-67.
16. Tanaka K, Suzuki N. and Sakuramoto K. 2017. Clockwise loops and anticlockwise loops observed in a stock-recruitment relationship. Open Access

- Library Journal, 4: e3688.
<https://doi.org/10.4236/oalib.1103688>
17. Sakuramoto, K. Are 20% B0, 20% Bunfished, and BMSY Valid as Reference Points for Fisheries Resource Management? Open Access Library Journal, 4: e3897.
<https://doi.org/10.4236/oalib.1103897> (2017)
 18. Yatsu A, Watanabe T, Ishida M, Sugisaki H, Jacobson LD. Environmental effects on recruitment and productivity of Japanese sardine *Sardinops melanostictus* and chub mackerel *Scomber japonicus* with recommendations for management. *Fish Oceanogr* 2005; 14: 263-78.
 19. Kawabata, J., Honda, S., Watanabe, C., Okamura, H. and Ichinokawa, M. (2014) Stock Assessment and Evaluation for the Pacific Stock of Japanese Sardine (Fiscal Year 2013). In *Marine Stock Fisheries Stock Assessment and Evaluation for Japanese Waters (Fiscal Year 2013/2014)*, Japan Fisheries Research and Education Agency, 15-46.
 20. マグロの種類. 国立研究開発法人 水産研究・教育機構.
<https://www.fra.affrc.go.jp/kseika/maguro/type/index.html> (2018.1.17)
 21. 山下 潤：メバチ資源管理、放っておけないー漁業者が理解できる説明をー (2018.1.15. インタビュー). *日刊水産経済新聞*. 2018
 22. Ravier, C. and Fromentin, J.M. Long-term fluctuations in the eastern Atlantic and Mediterranean bluefin tuna population. *ICES J. M. Sci*, 58: 1299-1317 (2001).
 23. Sakuramoto, K. The true mechanism that controls the stock-recruitment relationship.
Open Access Library Journal, *Open Access Library Journal*, 5: e4341.
<https://doi.org/10.4236/oalib.1104341> (2018).
 24. 田中 圭：成熟年齢に着目した再生産関係について. 東京海洋大学大

- 学院修士論文. 1-99. (2018).
25. Tanaka, S. A theoretical consideration on the management of a stock-fishery system by catch quota and on its dynamic properties. 日本水産学会誌. 46 (12) 1980: 1477-1482.
 26. Sakuramoto K. and Tanaka S. A simulation study on management of whale stocks considering feedback systems. Rep. int. Whal. Commn, Special Issue 11. 1989: 199-210.
 27. 田中昌一. 鯨類資源の改訂管理方式. I. 鯨研通信. 1996: 391. 1-6.
 28. 田中昌一. 鯨類資源の改訂管理方式. II. 鯨研通信. 1996: 392. 1-7.

平成30年5月1日 発行（非 売 品）

「水産振興」 第605号

編集兼発行人 井 上 恒 夫

発行所 〒104-0055 東京都中央区豊海町5-1

豊海センタービル7階

電 話 (03) 3533-8111

F A X (03) 3533-8116

一般財団法人 東京水産振興会

印刷所 株式会社 創基

（本稿記事の無断転載を禁じます）

ご意見・ご感想をホームページよりお寄せ下さい。

URL <http://www.suisan-shinkou.or.jp/>

平成三十年五月一日発行（毎月一回一日発行）六〇五号（第五十二卷五号）