

論文の内容の要旨

論文題目 Adaptive Management Theory based on the Concepts of
Population Reproductive Potential and Target Switching.
(繁殖ポテンシャルとスイッチング漁獲による順応管理理論)

氏名 勝川俊雄

1章 緒言

不確実な情報を元に資源を持続的に利用するための管理理論が求められている。不確実性に対応するために、新しい情報を利用して意志決定を更新していく資源方策を順応管理 (Adaptive Management) と呼ぶ。順応管理には大きく分けて2つのアプローチがある。一つは、管理を実験としてとらえて、資源管理を通して生態系の動態を学習し、その知見を資源管理に還元するアプローチである。これは、Adaptive Learning と呼ばれる。もう一つのアプローチは、現在の資源量と目標資源量の差を小さくするように漁獲を行う方策であり、フィードバック管理と呼ばれている。

本論文では、順応管理の新しい手法について論じる。順応管理のためには、資源状態の把握が不可欠である。申請者は、資源状態を評価するための指標として繁殖ポテンシャルを考案した。繁殖ポテンシャルは、対象生物の生活史パラメータを利用して、資源全体の将来の産卵能力を評価する指標である。繁殖ポテンシャルを利用することで、現在の資源管理では軽視されがちな未成熟個体の繁殖力を評価することができる。本論文では2章で繁殖ポテンシャルの概念を説明し、クロマグロを例に繁殖ポテンシャルに基づく資源評価の有効性を検討した。3章では繁殖ポテンシャルを一定値に保つフィードバック管理の効果をコンピューターシミュレーションで検証した。

その時々相対資源量によって、複数の漁獲対象資源の努力量の配分比を変えていく漁獲方策をスイッチング漁獲と呼ぶ。複数の非定常な水産資源を利用する方策としてスイッチング漁獲の効果を検討した。4章では、独立に変動する2資源の間でのスイッチング漁獲の影響を数理モデ

ルで検証した。5章では魚種交代をする3種系でのスイッチング漁獲の効果を検討した。6章では総合的な考察を行った。

2章 繁殖ポテンシャルによる資源評価

資源量の指標としては、産卵バイオマス(SSB)が一般的に利用されている。しかし、SSBは、未成魚や若齢魚などの将来性はあるけれど現在の繁殖能力が低い個体の価値を軽視もしくは無視してしまう。長期的視点から資源の持続的利用を考えるためには、現存資源の長期的な再生産能力を評価する必要がある。数理生態学の分野では、Fisher(1930)の繁殖価が個体の繁殖能力の指標として幅広く用いられている。繁殖価の定義は、ある齢の個体が以後の生涯に産む産卵数の期待値である。繁殖価の概念を資源全体に拡張したものが、繁殖ポテンシャル (Population Reproductive Potential; PRP) である。PRPは対象資源の産卵の能力を次の産卵だけではなく資源が生涯に産む産卵数で評価しようという概念である。PRPはコホート解析と同じ要領で、現在の資源を将来に投射していくことで計算できる。

$$PRP = \sum_{i=1}^{t_{MAX}} N_i \sum_{j=i}^{t_{MAX}} E_j \cdot \exp\{-(F+M)(j-i+1)\}$$

(N_i : i 歳魚の個体数、 E_j : j 歳魚の個体あたり産卵数、 F : 漁獲係数、 M : 自然死亡係数、 t_{MAX} : 最高成熟年齢)

クロマグロ西大西洋系群を例に、PRPを利用した資源評価の効果を検証した。1982年から1993年までの間にSSBが50%以下に減少したために、クロマグロ西大西洋系群はIUCNの絶滅危惧種1-Aのリストに記載された。しかし、クロマグロが本当に減少したかどうかには疑問の余地が残る。確かに親魚は減少したが、未成魚は逆に増加している。クロマグロのPRPを計算したところ、1982年以降ほぼ横ばいであったことから、成魚の減少を補うだけ未成魚が増加して、資源の再生産力はほぼ一定であることが示唆された。この結果は、コンピューター・シミュレーションからも支持された。SSBを基準に資源量を評価する限り、長期的な資源の持続性にとって重要な未成魚の価値は完全に無視される。PRPは、年齢組成が不安定な資源の繁殖能力を評価するための有効な指標である。

3章 繁殖ポテンシャルを用いたフィードバック管理

資源の持続性を示す指標である繁殖ポテンシャルはフィードバック管理に利用できる。繁殖ポテンシャル(PRPP)は、漁獲係数の単調減少関数であり、繁殖ポテンシャルに目標値を設定すると目標値を実現するための漁獲係数を一義的に決定することが出来る。申請者は、繁殖ポテンシャル一定方策、SSB一定方策および漁獲率一定方策(F_{MAX})のパフォーマンスを比較し、PRP一定方策の有効性をシミュレーションで検証した。

PRP一定方策は、資源量推定の不確実性に対して頑健であり、漁獲量と努力量の変動を抑えられることが示唆された。繁殖ポテンシャルによる資源管理は、現存資源量から許容しうる漁獲可能資源を現存資源の生涯に均一に分散させて利用する。そこで、資源量の過大推定や加入の失敗

等の不測の事態により資源が減少した場合でも、その年以降に漁獲が予定されていた資源を産卵に回し、乱獲を回避することができる。目標となる産卵量を確保できるように漁獲を調節する上で、将来の漁獲予定資源が緩衝材の役割を果たし、資源と漁業の安定に貢献するのである。

PRP を資源管理の指標として用いることで、資源の長期的な産卵能力を維持することができる。さらに分散漁獲による乱獲回避効果によって、資源と漁業の安定および資源評価誤差に対する頑健性の向上が期待できる。PRP の概念は、許容漁獲量(TAC)制をはじめとする資源管理のさまざまな領域に応用が可能である。

4章 スイッチング漁獲

複数の餌生物の中からそのとき高水準なものを選択的に捕食する行動が、鯨類などの野生生物で観察されている。このような捕食行動は、低水準な餌生物の回復を助けて、生態系の安定に寄与することが知られている。単一の資源に依存した漁業は希であり、ほとんどの漁業は複数の漁獲対象資源の中から高水準の資源を選択的に利用する。複数の漁獲対象資源に対して、それぞれの資源状態に応じて努力漁を配分していく行為をスイッチング漁獲と呼ぶ。本研究では、スイッチングによる漁獲量増大効果、資源保護効果、資源評価誤差への頑健性を数理モデルで検討した。

同じ条件の資源が2つ有ると仮定する。資源*i*の現存量を B_i とすると、資源*i*への努力量の配分を決める関数 f_i および漁獲量 Y_i は次式のように表現できる。

$$f_i = \frac{(B_i)^n}{B_1 + B_2}, \quad Y_i = f_i u B_i$$

n はスイッチングの強度を決めるパラメータである。

Delay-Differential model で資源動態を表し、スイッチング強度を変化させた場合の漁獲量と資源量を比較した。寿命が4-5年で、加入の変動が大きな資源の場合、スイッチング漁獲によって漁獲量が15-30%増加した。低水準の資源を保護するスイッチング漁獲は資源崩壊率を減少させることも明らかになった。特に資源量が減っても効率的に漁獲出来る場合に、スイッチング漁獲の保護効果が顕著であった。

5章 魚種交代資源に対するスイッチング漁獲の効果

多くの多獲性浮魚資源は数十年周期的で交互に増減を繰り返すことが知られており、この現象は魚種交代と呼ばれている。魚種交代資源では少なくとも一つの資源は高水準期にあるため、スイッチング漁獲を行うことで漁獲量が安定的に増加すると期待できる。そこで、魚種交替資源に対するスイッチング漁獲の効果を数理モデルで検証した。

コンピューターシミュレーションを利用して、魚種交代をする3種系を再現した。魚種交代の原因としては気候変動および種間競争などが仮説としてあげられている。本研究ではそれぞれの仮説をもとに、2種類の再生産モデルを構築した。Tansky型スイッチング ($n = 0, 1, -1$) およびノンパラメトリックスイッチングの4通りの漁獲方策をコンピューターシミュレーションで

比較した。ノンパラメトリックスイッチングとは、その時に最も少ない資源を禁漁とし、それ以外の資源には均等に努力量が配分する戦略であり、情報が少ない場合も適用可能である。

スイッチング漁獲の効果は、変動が大きな魚種交代系で特に顕著であった。スイッチング漁獲は、最低資源量と平均漁獲量を大幅に増加させた。低水準資源を保護することで、増加期に入った資源が速やかに回復したために、漁獲量が増大した。さらに、魚種交代資源では、常に状態が良い資源が存在するので、スイッチング漁獲は漁獲量の安定にも寄与した。ノンパラメトリック・スイッチングも良好なパフォーマンスを示したことから、数量的な資源量推定が不可能な場合もスイッチング漁獲は十分に実行可能だと考えられる。

6章 総合考察

海の生態系に関する我々の知見は部分的であり、資源量や資源変動メカニズムを完全に解明することはできない。基礎研究により不確実性を減らす努力も大切だが、同時に今までに得られた知見で何ができるかを検討しなくてはならない。不確実性に対応するためには、順応的な管理システムを構築し、資源管理を通して資源動態を把握していく必要がある。また、順応管理以外の方策として、生態系アプローチ(ecological approach)および予防原則(precautionary approach)についても議論した。