

## 審査の結果の要旨

氏名 八木 達紀

本研究は、異なる大きさの不確実性のもとでの水産資源管理において複数の管理目的を効果的に達成する最適な漁獲制御ルール (harvest control rule: HCR) の形を明らかにするとともに、最適な HCR を再現する関数式を提示することを目的としたものである。HCR は水産資源の管理において世界的に採用されている管理戦略ツールであり、適切な HCR の設定が水産資源の持続的な利用の達成度を大きく左右する。

本研究ではまず、さまざまな大きさの観測誤差のもとで、3つの異なる管理目的 (長期的な平均漁獲量の最大化、漁獲量変動の抑制、最低資源量の確保) を効果的に達成する最適な HCR の形について、仮想的な資源動態モデル (operating model: OM) を用いた管理戦略評価 (management strategy evaluation: MSE) によって検討した。その結果、観測誤差がゼロのときに漁獲量を最大化する HCR は、 $x$  切片が  $B_{MSY}-MSY$  に等しい傾き 1 の直線、すなわち、獲り残し資源量一定方策 (constant escapement strategy: CES) を実現する HCR であった (ここで、 $MSY$  は最大持続生産量、 $B_{MSY}$  は  $MSY$  を与える資源量)。一方、観測誤差の増大に伴い、漁獲量を最大化する HCR は、点  $(B_{MSY}, MSY)$  を中心に全体の傾きを小さくするものとなった。さらに、漁獲量変動を抑制する HCR は  $y$  軸に沿って圧縮されたものとなり、高い資源量では漁獲量一定方策 (constant catch strategy: CCS) に近づいた。最低資源量を確保する HCR は、全体を右方向に移動させることで得られることが判明した。そして、従来型 HCR の形および管理効果 (パフォーマンス) との比較を通して最適 HCR の特徴を明らかにした。

次に、最適 HCR をコンピュータによる複雑な数値シミュレーションによらずに簡便に求められるよう、3つのパラメータを調節するだけで最適 HCR を再現できる関数式を作成した。Tsallis statistics の  $q$ -logarithm 型関数を基にして、各管理目的と、異なる観測誤差の大きさに対応した最適 HCR を再現する関数式をそれぞれ作成し、まとめると以下の式が得られた。

$$(\tilde{C}_t - \tilde{B}_t^\alpha) \left( \frac{\tilde{C}_t}{\tilde{C}_\infty} - 1 \right) = \left( \frac{1}{k\tilde{B}_{MSY}} \right)^{\frac{1}{\alpha}} [ (k\tilde{B}_{MSY})^\alpha - 1 ]$$

ここで、 $t$ 年における漁獲量を $C_t$ 、資源量を $B_t$ とすると、 $\tilde{C}_t$ 、 $\tilde{B}_t$ 、 $\tilde{B}_{MSY}$ 、 $\tilde{C}_\infty$ はそれぞれ、 $\frac{C_t}{MSY}$ 、 $\frac{B_t}{MSY}$ 、 $\frac{B_{MSY}}{MSY}$ 、 $\frac{C_\infty}{MSY}$ で与えられる。 $\alpha$ 、 $k$ 、 $C_\infty$ は、観測誤差の大きさに対応した曲線全体の傾き、最低資源量の水準、漁獲量変動の大きさをそれぞれ調節するパラメータである。この式は $\tilde{C}_t$ に関する2次方程式であり、 $\tilde{C}_t$ の解が最適HCRを与える。なお、解が負となる領域では $\tilde{C}_t = 0$ とする。

さらに、求めた関数式をよりシンプルな形で表すために、相対的リスク回避度一定 (constant relative risk aversion: CRRA) 型効用関数を導入した場合の最適なHCRの形を明らかにし、その結果を基に、先に作成した最適HCRを表す関数式に改良を加えた。CRRA効用関数 $u(x)$ を用いて漁獲量 $x$ の効用を表すと、以下のようになる。

$$u(x) = \begin{cases} \frac{(x+1)^{1-q} - 1}{1-q} & (q \neq 1) \\ \log(x+1) & (q = 1) \end{cases}$$

ここで $q$ は相対的なリスク回避度を表し、 $q$ の値が大きいほど漁獲量変動をより抑制することが選好される。よって、 $q$ の値を大きくしたときの最適HCRは漁獲量変動をより抑制するHCRとなる。 $q$ の値の大きさに対応した調節パラメータ $\beta$ を導入して検討を行った結果、以下の最適HCRの式が得られた。

$$\begin{cases} \max[0, \tilde{C}_t = \beta(\tilde{B}_t^\alpha - (k\tilde{B}_{MSY})^\alpha) + 1] & (\text{if } \beta(k\tilde{B}_{MSY})^\alpha \geq 1) \\ \tilde{C}_t = \beta\tilde{B}_t^\alpha & (\text{if } \beta(k\tilde{B}_{MSY})^\alpha < 1) \end{cases}$$

ここで $\max[a, b]$ は、 $a$ 、 $b$ のうちの大きな数を返す関数である。この最適HCRは先に作成したHCRよりもさらにシンプルな式となっており、現実の資源管理により適用しやすく、パフォーマンスにも問題ないものであることが結論された。

最後に、本研究によって得られた結果を総観し、現実の資源管理にどのように最適HCRを適用すべきかや、最適HCRを資源管理で使用することによって期待される効果などについて議論した。

これらの研究成果は、学術上応用上寄与するところが少なくない。よって、審査委員一同は本論文が博士(農学)の学位論文として価値あるものと認めた。