

平成21年6月26日現在

研究種目： 基盤研究 (C)

研究期間： 2007~2008

課題番号： 19530221

研究課題名 (和文) 不確実性下における順応的資源管理：理論と実際

研究課題名 (英文) Renewable Resource Management under Uncertainty : Theory and Practice

研究代表者

柿中真 (KAKINAKA MAKOTO)

国際大学・国際関係学研究科・准教授

研究者番号：40421234

研究成果の概要：

外来種管理など資源管理にかかる最適管理問題は、生態系破壊や農業被害にかかる最重要課題である。まず、捕獲効率の相違が最適戦略に与える影響を、決定論的動学離散時間モデルを構築した上で、解析的分析と数値計算実験に基づき理論的に考察した。また、他の資源管理問題と同様に外来種管理においても不確実性が存在し、それら不確実性を事前に考慮した管理戦略についてモデルを拡張しつつ考察した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2008年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,400,000	720,000	3,120,000

研究分野：資源管理

科研費の分科・細目：経済学・応用経済学

キーワード：最適資源管理、動学最適制御問題、過程誤差、測定誤差、生物経済モデル

1. 研究開始当初の背景

希少生物の絶滅や外来種による生態系破壊を未然に防ぎ、農作物をシカやサルの増殖から守るための適切な施策はどのようなものがあるのか。このような問題に向けた生物資源管理の方法への模索は、日本のみならず世界中で現在も政策担当者を中心に活発に議論されており、また、学術的にも数理生物学、生態学、資源・環境経済学等の分野で、資源管理方法に関する膨大な数の研究が存在している。それにも関わらず、なぜ我々は未だに適切な管理をすることができずにいるの

だろうか。

その主な原因の1つに、これまでの理論の多くは、資源管理に必然的に付随する不確実性を十分に考慮に入れていなかったことが挙げられる。つまり、現実の我々は不確実な将来に直面しているにも関わらず、これまでの理論は、現時点では予測不可能な気候変動や、複雑な生態系から偶然生じる事象を無視し、決定論的なモデルを基礎に議論されているために、不適切な資源管理を繰り返してきたと考えられる。戦後の捕鯨管理問題は、その

代表的な例である。資源管理における不確実性の重要性を指摘した上で、不確実性はさらに以下のように分類される。

(1) 過程誤差 (Stock Uncertainty) : 気候変動等のランダムな要素により資源量自体が受ける誤差。

(2) 実行誤差 (Implementation Error) : 管理目標を設定してもそのとおりに管理されない誤差。

(3) 測定誤差 (Measurement Error) : 資源量測定に伴う誤差。

将来開発されるべき資源管理理論は、こういった様々な不確実性を考慮した上で、議論されるべきである。その代表的なものが、「ある一定の頻度で資源量をモニタリングし、それ以降の時期において適切な管理手法をその都度策定する」という「順応的管理 (adaptive management)」があげられる。

一方、従来の資源管理理論で中心的な役割を果たしてきたものは、将来にわたる動学的収穫に伴う便益最大化問題における「取り残し一定理論 (Constant Escapement Rule)」である。ある t 時点での資源量を $R(t)$ とする。長期的な視野での最適な資源管理手法は、ある R^* が存在し、現在の資源量 $R(t)$ がその R^* よりも多ければ $R(t) - R^*$ だけ捕獲し、少なければ全く捕獲しないという政策である。この政策に基づけば長期的には R^* だけ毎時取り残す結果となるため「取り残し一定理論」と呼ばれている。この取り残し一定理論は、Reed (79) により、不確実性のない場合のみならず、上述した過程誤差 (Stock Uncertainty) を考慮した場合においても、ある適当な条件の下で、支持される事が証明されている。この理論は分かりやすく明瞭であるため、多くの資源管理問題に適用されている。

しかし、「取り残し一定理論」を議論するにあたって、幾つかの重要な問題を抱えている。その中でも特に最近指摘されているのは、過程誤差以外の誤差 (実行誤差と測定誤差) が存在する場合には、資源管理手法としてふさわしくないということである (Clark and Kirkwood (1986), Sethi. et. al (2005))。Sethi. et. al (2005) は、従来の決定論的モデルに実行誤差と測定誤差を加えた場合でも、取り残し一定理論が最適な管理手法であるかどうかを分析した。彼らの研究結果は、以下のようにまとめられる。

1. 過程誤差と実行誤差は、取り残し一定理論に決定的な影響を与えない。

2. しかし、測定誤差がある一定以上存在する場合、取り残し一定理論は最適な管理手法でなくなる。

3. 更に、測定誤差が存在する場合において、取り残し一定理論を適用した場合と彼らの提示した新たな最適管理手法を適用した場合では、新たな管理手法の方が対象種を絶滅させる確率を小さくし、且つ経済的利潤を増す事を示している。

本研究は、Sethi. et. al (2005) の動学的経済利益最大化問題に関する研究を受け、測定誤差の導入が既存の資源管理理論、特に外来種等に伴う動学的経済コスト最小化問題にどのような影響を与えるのか、理論的かつ実証的分析を行う。過去に資源管理理論において、測定誤差を取り上げたものは、私の知る限り、既に引用した Clark and Kirkwood (1986) と Sethi. et. al (2005) である。しかし、彼らの研究は分析対象を特定の漁業管理に絞り、且つ測定誤差の設定は実際のデータから導きだされたものではないため、現実へのインプリケーションは乏しい。測定誤差は対象資源の種類や測定方法によって確率分布の違いが大きい為、資源管理政策に役立たせるためには現実に即した設定をし直す必要がある。漁業のみならず、シカの個体数制御問題や外来種侵入問題等、多くの資源管理問題においても測定誤差は無視することの出来ない問題である。

本研究は測定誤差についてのより現実的な考察を元に、漁業以外の資源管理問題に分析対象を広げ、「確率論的な動学的最適制御問題」を考察することによって、「決定論的に導出されてきた既存の最適資源管理手法」を再検証する。そこに、本研究の独創性と貢献があると考えられる。

2. 研究の目的

本研究では、(1) 気候変動等不確実な要因による資源量自体が受ける過程誤差、(2) 管理目標を設定してもそのとおりに管理されない実行誤差、及び (3) 資源量測定に伴う測定誤差、などの誤差に着目した上で、将来開発されるべき不確実性下の資源管理である「順応的資源管理」に関して理論的かつ実証的な考察を行う。特に、各種不確実性の導入が既存の資源管理理論、また、外来種管理等に伴う動学的経済コスト最小化問題にどのような影響を与えるのかを理論的かつ実証的分析を行う。さらに、各種誤差に関する考察を基に、「確率論的な動学的最適制御

問題」を分析することによって、「決定論的に導出されてきた既存の資源管理手法」を再検証する。

具体的には、資源管理問題をより政策的に捉えるために、外来種等の捕獲費用が捕獲個体数のみならず、その時点での存在するストック数に依存する、つまり、1個体当りの捕獲効率はストックに依存することを仮定する。Reed(1979)や Clark(1990)で分析されているように、捕獲効率は数理生物学等の分野で、現実的な資源管理を行う上で、重要な要素と考えられている。このような捕獲効率を考慮しつつ、理論的・実証的分析を行うことは学術的のみならず実務的にも政策的インプリケーションを導出する上で有益と考えられる。

3. 研究の方法

外来種捕獲に伴う捕獲効率を考慮した動学的経済コスト最小化問題における決定論（不確実性のない場合）的な理論モデルを構築し、最適政策に関する理論的研究を行う。また、各種不確実性を新たに仮定した場合、それらがどのように最適政策に影響を与えるのかを理論的に解明する。さらに、以上の理論的考察を基にして、政策的なインプリケーションを導出する。

以上の目的を達成するために、本研究は概ね以下の重要な研究課題を通じて実施する。

（レビュー）

過程誤差、測定誤差及び実行誤差が重要と思われる資源管理問題に関する理論・実証研究のレビューを行う。また、同時に、現実の資源管理問題から事例を特定・選定する。

（理論研究 I）

外来種捕獲に伴う捕獲効率を考慮した動学的経済コスト最小化問題における決定論的（不確実性のない場合）な理論モデルを構築し、最適政策に関する理論的研究を行う。特に、不確実性を議論する前段階として、不確実性の伴わない決定論的な枠組みで、理論的考察を行う。

具体的には、(a) 捕獲効率を考慮し、動学的最適制御理論を資源管理問題（経済コスト最小化問題）に応用した理論モデルを構築し、最適政策を導出する；(b) 捕獲効率が動学的な最適政策にどのように影響を与えるかを考察する；(c) 理論モデルを理解するために、解析的な解の導出だけでなく、シミュレーション等数値計算を同時に併用する；(d) 導出された最適政策が、「取り残し一定政

策」や「根絶政策」を含めた「既存の資源管理理論」と一致するかどうかを検証する。ここで、捕獲効率は数理生物学等の分野で、現実的な資源管理を行う上で、重要な要素と考えられている。

（理論研究 II）

上述した決定論的理論モデルを各種誤差（過程誤差、実行誤差、測定誤差）の存在を仮定した場合に拡張する。つまり、過程誤差、測定誤差及び実行誤差を新たに仮定した場合、それらの誤差がどのように最適政策に影響を与えるのかに関する理論的研究を行う。不確実性の下で導出された最適政策が、「既存の資源管理理論」と一致するかどうかを検証する。

各種誤差を考慮した理論モデルでは、解析的に問題を分析出来ない事が十分予測される。そのため、最適政策に関する数値解を導出する確率的動学資源管理モデルを構築する。そのモデルと手法は、動学計画法を適用し開発されたものである。それらの誤差を導入した際の最適資源管理政策を自ら導出する一方で、その理論モデルのシミュレーションコードを開発する。シミュレーションコードの開発は、Matlab プログラミングを使用する。

4. 研究成果

研究成果は後述する 5 点の論文雑誌にまとめられている。主な研究結果は以下のとおりである。

- ① 捕獲効率の相違が最適戦略に与える影響を、決定論的動学離散時間モデルを構築した上で、解析的分析と数値計算実験に基づき理論的に考察した。最適戦略が捕獲効率に依存していることを理論的に示した上で、一般に最適と考えられている取り残し一定戦略に注目しつつ、導出された結果の経済的含意を検討した。
- ② 次に、他の資源管理問題と同様に外来種管理においても不確実性が存在し、それら不確実性を事前に考慮した管理戦略についてモデルを拡張しつつ考察した。特に、外来種が翌期にどの程度増殖するか分からないとする「過程誤差」及び政策決定者が現状の外来種個体数について不正確にしか把握できないとする「測定誤差」という二つの不確実性が最適戦略にどのように影響を及ぼすのかを不確実性動学離散時間モデルを構築し、解析的分析と数値計算実験に基づき理論的に検証した。

③ 過程誤差のみが存在する場合においては、基本的に取り残し一定戦略が概ね最適となるものの、過程誤差及び測定誤差の両誤差が存在する場合においては、取り残し一定戦略が最適とはならないことが示された。特に、測定誤差が存在すると最適戦略の解析的特徴付けが難しくなり、数値計算実験が有効な分析手法であった。また、それら二つの不確実性（誤差）の程度が変化するにつれて、最適戦略がどのように影響されるのかに関する検証も行った。

④ さらに、動学的評価関数で表される長期的社会厚生が不確実性の程度の変化によりどのように影響を受けるのかについても分析を行い、最適管理政策の具体的政策含意について議論を行った。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 5 件)

- ① 小谷浩示、柿中真、松田裕之、不確実性下の外来種管理、三田学会雑誌、100(3): 165-189、2007、査読有.
- ② Koji Kotani, Makoto Kakinaka, and Hiroyuki Matsuda, Optimal Escapement Levels on Renewable Resource Management under Process Uncertainty: Some Implications of convex Unit Harvest Cost, *Environmental Economics and Policy Studies*, 9(2): 107-118, 2008, 査読有.
- ③ Koji Kotani, Makoto Kakinaka, and Hiroyuki Matsuda, Dynamic Economic Analysis on Invasive Species Management: Some Policy Implications of Catchability, *Mathematical Biosciences*, 220(1): 1-14, 2009, 査読有.
- ④ Koji Kotani, Makoto Kakinaka, and Hiroyuki Matsuda, Adaptive Management for Eradication of Exotic Species, *Population Ecology*, forthcoming, 査読有.
- ⑤ Koji Kotani, Makoto Kakinaka, and Hiroyuki Matsuda, Optimal Programs on Invasive Species Management under

Growth Uncertainty and Measurement Error, GSIR Economic Analysis and Policy Series EAP07-1, International University of Japan, 2007, 査読なし.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

柿中 真(KAKINAKA MAKOTO)

国際大学・国際関係学研究科・准教授

研究者番号：40421234

(2) 研究分担者

Kim, Donghun

国際大学・国際関係学研究科・准教授

研究者番号：60387313

小谷 浩示(KOTANI KOJI)

国際大学・国際関係学研究科・講師

研究者番号：80422583

(3) 連携研究者