

氏名	丸谷照彦
学位の専攻分野の名称	博士（経済学）
学位記番号	甲経第35号（文部科学省への報告番号甲第311号）
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
学位授与年月日	2010年1月28日
学位論文題目	Economic and Biological Aspects of Renewable Resources Management
論文審査委員	（主査）教授 福尾 洋一 （副査）教授 河野 正道 教授 新海 哲哉 教授 東田 啓作

論文内容の要旨

本論文の目的は、数理モデルを利用して再生可能資源管理の経済学的・生物学的側面を探求することである。経済学的側面は、主に割引現在価値最大化の文脈において考察され、生物学的側面は、その最大化行為によって引き起こされる資源動態との関連において考察される。第1章と第2章では水産資源管理、第3章、第4章および第5章では森林資源管理、第6章の補論では、これら再生可能資源管理とは対照的な鉱物資源管理が扱われる。

第1章：「漁業は生態系を攪乱しない範囲で行うべきである。」が現代水産資源管理の中核概念であり、それは「生態系重視の水産資源管理（EBFM）」と同義である。しかし、複雑な多種生態系に関する我々の現時点での知識レベルはEBFMを具体化できるほど高くない。従って、単一種に基づく伝統的な水産資源管理モデルは、今なお、その重要性を保ち続けている。本章で考察される成長生残モデル（dynamic pool model）は、実務学術両面で広く利用されてきた代表的な単一種モデルである。しかし、それをを用いた分析の大半はコンピューター分析であり、理論分析は必ずしも十分に行われてこなかった。著者の主たる関心は理論分析にある。

本章では、単一種の成長生残モデルが、クラーク・モデルに基づいて考察され、次の二点において特徴をもつ。

第1に、魚類が寿命を持つという事実に着目し、クラーク・モデルでは無限時間視野問題であったモデルを有限視野問題に組み替えた。第2に、目的関数を比較するための標準的手法（Euler's problem）と、終点値自由かつ終点時刻有限自由の最適制御問題に対応する横断条件と、線積分の3つを組み合わせる手法が考案され、それを活用して、（1）経済的に最適な漁獲スケジュールに関する無限時間視野型のクラーク・モデル（1976）に対して、有限時間視野の観点から、一意的最適解経路の存在が厳密に証明されるとともに、（2）ある海域を主要生息域とするある年級群が、最大生物量に達する前に当該海域から去ってしまうという場合の最適漁獲スケジュールが特定される。

上記（1）と（2）の結果に加え、さらに進んで、（3）ある特定時点での逃走集団の生物量が特定水準以上であることを要求される場合の最適漁獲スケジュールが特定される一方、（4）気温・水温・海流などを含む外生環境の変調が顕在化する中で、魚類生態学者と環境科学者が共同で逃走集団生物量の望ましい水準を決定することがいかに重要であるかについて、社会科学の立場から明らかにされる。

第2章：漁場におけるオープンアクセスの弊害、すなわちコモンズの悲劇を回避するための具体策とし

て、譲渡可能漁獲割当 (ITQs) と水揚げ税の2つが有力であることはよく知られている。そして、漁業先進国であるアイスランド、オーストラリア、カナダ、ニュージーランドはITQsを採用し、概ね成功している。しかしITQsはどの国に対しても適合するとは限らない。例えば、開発途上国や最貧国では、やや複雑な制度と背景を伴うITQsについての漁業者の理解と、それに対する信頼を確立することは困難を極めるであろう。また日本においては、個人の熟練による対価が制限されかねないという概念から、近海漁業に携わる職人的漁業者たちはITQsの導入に強く反発するかもしれない。このような状況の下で資源の持続的利用可能性を確保しようとするれば、規制当局がとり得る選択肢は水揚げ税に限られる。しかし水揚げ税に関する研究はこれまで必ずしも十分に行われてこなかった。事実、ITQsに関する文献は数多く存在するが、水揚げ税に関する文献は極めて少ない。

本章は、水揚げ税に関する分析である。前半では、連続時間型クラーク＝スミス・モデル (dynamic reaction model) が、最適制御理論等の標準的手法により理論分析される。その結果、最適課税スケジュールを一意的に特定することは困難であることが判明した。そこで改めて、連続時間型クラーク＝スミス・モデルを離散時間型に組み替え、Excelアドインプログラム Solver を利用するコンピューター分析により、最適課税スケジュールが特定される。

このプロセスを通じて、上記離散時間型モデルは、順応管理 (adaptive management) を実施するための道具として高い利便性をもつことが示された。しかし一方、たとえ上記に特定したような最適課税スケジュール実施したとしても、過剰資本や漁船集中といった経済非効率性の問題を解決し得ない可能性が高いという側面があることも示される。

第3章から第5章は森林資源管理に関する一連の研究である。

第3章：バイオ燃料には、従来型の作物エタノールと新しい技術による木質エタノールの二種類がある。作物エタノールの原料はトウモロコシ・サトウキビ・小麦であり、木質エタノールの原料は稲わら・間伐材・雑草である。後者は、非穀物由来という利点に加えカーボン・ネガティブという利点があるため、近年それへの注目度は著しく増している。特に日本の場合、国土の約7割が森林であり、間伐材をバイオ燃料の原料として利用できるメリットは大きい。他方、間伐を考慮した森林管理モデルの研究は未成熟である。この分野の基本的課題は、森林種別を所与として、望ましい植栽密度と、間伐の時期と量、および循環年数の3つを同時決定、すなわち最適収穫スケジュールを決定することである。

本章では、植栽量を細かく制御できる変数とする離散時間型モデルの最適収穫スケジュールの特定化が、コンピューター分析により試みられる。

考察されるモデルは、森林種別を所与とし、植栽量を細かく制御できる変数とみなして、望ましい植栽密度と、間伐の時期と量、および循環年数の4つを同時決定する最適収穫スケジュール決定のモデルである。次の二種類の離散時間モデル、すなわち、(i) 間伐の単位コストが資源量に依存する場合のモデル、(ii) 間伐の実施に固定費 (entry cost) が伴う場合のモデル、が設定される。(i) のモデルにおいては、森林の質 (サイト・クォリティー) の上昇が最適循環年数を短くするとは限らない、(ii) のモデルにおいては、森林の質の上昇が最適植栽量を増加させるとは限らない、という結果が得られた。また、両モデルに共通して、森林の質が低い場合、バイオ燃料の原料になる間伐材の入手が困難になるという結果が得られた。

第4章：間伐を考慮した森林管理モデルの分析手法の土台は、1960年代後半から、1970年代中盤にかけて築かれたが、それ自体はダイナミック・プログラミング (DP)、または最大原理、もしくは変分法の素朴な適用であった。その後、実用化への学術的方向性とコンピューターの急速な普及および性能向上が相まって、数値問題を解くためのコンピューター・プログラムの作成に適していたDPが分析手法の主流になっていく。そして現在では、パーソナル・コンピューター用の汎用最適化ソフトの性能向上により、従来規模のモデルであるならば、DPを用いなくても、対応する数値問題が直接的に解けるという状況となっている。しかし、

数値問題はあくまで数値例であって、そこから得られた結果にいくら属性が見出されようとも、その属性の一般性は何ら保証されない。以上で述べた事情から、最適収穫スケジュールの一般属性、すなわち望ましい森林管理スケジュールの一般属性を明らかにする研究は必ずしも十分に行われてこなかった。

本章では、最適収穫スケジュールの一般属性、すなわち望ましい森林管理スケジュールの一般属性の特定化への試みが理論分析により行われる。

理論分析を容易にするため、前章の第(i)モデル、すなわち間伐の単位コストが資源量に依存する場合の離散時間モデルを連続時間型に組み替えた上で、第1章と同じ手法を適用する。

得られた帰結は次のとおりである。(1) 最適循環年数は、間伐に関する特異解と皆伐に関する横断条件の2つによって定まるある3つの期間区分のうちの1つに必ず収まり、最適循環年数に対応する最適植栽量は、同様に特異解と横断条件によって定まるある3つの量区分のうちの特定の1つに必ず収まる。さらに(上記の)3つの量区分のケースの内1つを除いて、対応する最適森林管理スケジュールの形式は確定する。(2) この逆も成立する。すなわち、最適植栽量は上記の3つの量区分のうちの1つに必ず収まり、最適植栽量に対応する最適循環年数は上記の3つの期間区分のうちの特定の1つに必ず収まる。さらに3つの期間区分のケースの内1つを除いて対応する最適森林管理スケジュールの形式は確定する。

第5章：社会的な環境保全意識の高まりに伴って、森林の管理コストは増加する。例えば、絶滅危惧種の鳥が商業林に迷い込み、カラスに襲われ、ひどく傷ついたとすれば、それを保護しなければならない。当然コストが掛かる。森林管理コストの増加は育林技術の進歩によっても引き起こされる。例えば、昨今ある種の剪定方式に森林火災の規模拡大を抑制する効果のあることが確認され、その導入がいくつかの商業的森林地帯で検討されている。導入されればそれに掛かる費用は管理コストとして計上されることになるであろう。上記のような管理コストはいずれも資源量に依存し、おそらく正の相関をもつ。

本章では、上述のタイプのコストが最適森林管理スケジュールにどのような影響を与えるかが検討される。

管理コストの導入により、第4章の帰結に対して、次のような影響が観測される。(1) 管理コストの上昇により、特異解曲線と横断条件曲線は共に下方へシフトする。(2) 間伐の収益性が低い場合、管理コスト上昇により、特異解曲線は大きく下方へシフトする。(3) 間伐の収益性が低くなると、間伐を開始する時刻は僅かに遅れ、間伐を終了する時刻は早まり、また皆伐を実施する時刻も早まる。

第6章：リアル・オプション分析の基礎理論に関する文献は1990年前後に集中しており、その後、研究の中心は実用化に向けた効率のよいコンピューター・プログラム開発とモデリングに移ったようである。このモデリングに関しては新たな微妙な問題が発生する。それは、結果としてのモデルから演繹されるハミルトン＝ヤコビ＝ベルマン(H-J-B)微分方程式が明示的に可解であるか否かで、対応するコンピューター・プログラムの内容が大きく変わり、また、明示的に可解ならば、ある程度まで理論的考察が可能になり、可解でないならば、理論的考察はほとんど不可能になる。

本章では、モデルから演繹される(H-J-B)微分方程式が明示的に可解となるようなモデリングの方法が検討される。

H-J-B微分方程式が、オイラー型1次元2階非同次線型微分方程式になる場合には、非同次項が多項式であれば、可解であることが解説される。このことは、H-J-B微分方程式が多項式非同次項をもつオイラー型1次元2階非同次線型微分方程式(リアルオプション分析では、しばしば、この非同次項には、社会または企業の符号を逆にした便益関数が対応する)となるようなモデリングを行うことができれば、そのようなモデルは見通しのいい結論を導くことを示唆しており、さらに、多項式の範囲内で凹または凸関数などの多様な経済的含意を持つ便益関数を想定することは比較的容易であることから、このようなモデリング手法は非常に利便性が高いことが主張される。

論文審査結果の要旨

本論文は英文で書かれている。また、第1章と第2章は、欧文雑誌 (Reviews in Fish Biology and Fisheries, 2006, 2008) 掲載の二論文を、出版社の許可を得て転載したものである。

審査に当たっては、次の諸点に留意し、精査した。

1. 全篇を通じて、整合的・体系的構成となっているか。
2. 全篇を通じての視点および各章の論点や取り組みにおいて、独創性・新規性が十分に見られるか。
3. 各章で構築されるそれぞれのモデルにおける前提や仮定は妥当で説得力があるか。
4. 全篇を通じて、用語の定義や記号法は統一されており、適切であり、かつ誤解を生むことはないか。
5. モデルの理論分析において、前提から結論に至る演繹的論理展開は、正しく、かつ洗練されているか。
6. モデルのコンピューター分析において、諸パラメーターの数値設定や単位設定は妥当であるか。
7. 理論分析やコンピューター分析を通じて得られた結論には、先行研究に見られない新たな知見が含まれており、かつ妥当な経済学的解釈が与えられているか。
8. 理論分析やコンピューター分析を通じて得られた結論は、再生可能資源管理スケジュールの現実に対して、十分に有効な示唆を提供することができるものであるか。

それでは、各章ごとに審査のポイントを述べたい。

第1章は、クラークを嚆矢とするある任意の魚種 (特定魚種に関わる特定状況は設定しない) に関する連続時間型の数理的成長生残モデル (dynamic pool model) を取り上げる。著者は、クラークの無限時間視野モデルの基本的想定を保つ一方、魚類が寿命を持つという事実に着目することにより、(管理者が) 終端値および有限終端時刻を自由に選択できるような有限時間視野 (ミクロ・) モデルに組み換え、一意的最適経路の存在を証明した。もっとも、著者のモデルでは、目的関数を最大化する終端時刻が複数個存在する場合には最短到達時刻が選ばれるという (暗黙の価値判断を含む) 意味での一意的最適経路である。

終端値自由・終端時刻有限自由な条件付き最大値問題の必要条件を求める手続そのものは、最大原理から得られる既存定理を援用するものであるが、その必要条件が十分性を満たす部分の証明法は独特である。十分性の証明については、おそらく別の証明法も期待し得るが、いずれにせよ、証明を成功させた点は評価できる。

なお著者は、特別なケースとして、終端時刻におけるバイオマスの状態を評価する基準 (あるいは評価関数) を導入し、一定の帰結を得ているのであるが、この部分の重要性をもっと前面に出し、強調するべきではなかったか。

第2章は、クラーク = スミス・タイプのモデル (dynamic reaction model) に水揚げ税を組み入れたモデルの考察である。水揚げ税を制御変数、バイオマスと漁獲努力の状態方程式を制約条件として、漁獲からの純収益の現在から無限の将来にわたる割引現在価値関数を最大化するようなバイオマスと漁獲努力の最適時間経路 (最適漁獲スケジュール) を特定するというマクロ無限時間視野モデルである。

本章のモデルは、無限時間視野モデルであるので、有限時間視野モデルのように終端時刻での状態を評価する基準 (あるいは評価関数) を導入する必要はないが、しかし、モデルの構造は前章モデルよりも複雑である。制約となる状態方程式が2本 (バイオマスと漁獲努力) ある中で、一つの制御変数 (水揚げ税) のみで適切に処理できるのかとの疑問がすぐにも生じる。実際、最適経路 (最適課税スケジュール) の存在を演繹的に導出することは難しいとの結論に至る。そこで、著者は一転して、連続時間モデルを離散時間モデルに置き換え、コンピューター分析により最適経路の在りようを追跡し、コンピューター分析の利便性を示した。ただし、パラメーターの数値適用については、あくまでも一つの適用例であると解釈したい。

第3章から第5章は、林業企業の森林資源管理に関する一連の研究である。第3章は離散時間分析、第4

章は連続時間分析、そして第5章は両者の型の分析に充てられる。ハイライトは第4章である。また、これら三つの章で扱うモデルは、いずれも無限時間を視野に入れるものの、その本質は有限時間視野分析である。

第3章と第4章は、基本的には同一タイプのモデルである。両章はいずれも、同一種樹木の森林区において、各時刻における間伐量を制御変数として、(管理者が) 植栽量および皆伐期(循環年数)を自由に選択できる下で、樹木量状態方程式(森林成長方程式)を制約条件として、①最初の間伐収益から最後の間伐収益までに至る間伐の総収益の割引現在価値と、②皆伐期に得られる皆伐純収益とからなる総収益の割引現在価値から、③植栽費用を差し引いた(森林区から得られる)純価値(すなわち割引純収益現在価値)を表す目的関数を最大化するような樹木量の最適時間経路(最適収穫スケジュール)を特定するという、個別林業企業の主体均衡モデルを考察する。

両章の現在価値最大化問題は込み入っており、最大化のための必要条件を要領よく導くこと自体が難問である。著者は、まずは本問題を部分問題に分解し、部分問題の最適解の特性を分析した後に、本問題の特性の分析に移るといふ、最適経路特定化のための解法の手順を示す。

第3章の離散時間モデルにおいては、各期の最適間伐量を定めていく計算過程が示される。しかし、離散時間モデルにおいて、この種の最適化問題の数理解析を進めるには限界があり、結果として、コンピューター分析に向かわざるを得ず、より一般的な理論分析は次章に委ねられる。その意味では、第3章は第4章の準備的考察としての役割を担っている。

シミュレーションの結果、森林区の質が高いからといって、(1)必ずしも循環年数を長くすればよいということにはならず、また(2)必ずしも最適植栽量を増やせばよいということにはならない、との結果を得たことが主張されている。ただし、シミュレーションを行うに当たって、設定されるパラメーターや初期変数の数値次第では、結論はいかようにも変化しうるのでないか、という疑問が残る。

第4章は、間伐の単位費用が樹木量に依存する場合についての連続時間分析であり、第1章と共に、著者の問題意識がとりわけ顕示される章となっている。

結論として、少しの例外を除いて、「最適植栽量、各時刻の最適間伐量、そして最適皆伐期(循環年数)に関する最適収穫スケジュールが確定する。」という当初に期待した結果が導出されている。第1章と同様、最適経路存在の十分性の証明に関しては、別の証明法も予想されるが、著者の証明法は、それなりにユニークかつ緻密である。本章を通じて、敢えて言えば、証明プロセスが複雑でわかりにくいことである。工夫次第では、もっと見通しのよい証明が可能ではないかという点に心残りがある。もっとも、著者の貢献を損なうものではない。

第5章は、目的関数の中に樹木量によって変化する(可変的)管理コストを記述する新たな項を付け加えることにより、第4章モデルをさらに改訂発展させている。とはいえ、分析の斬新さと輝きという点に関しては、第4章が上回る。

モデルの組み立ては第4章と異なるが、基本的分析手法は第4章と同一である。ただし、最適収穫スケジュールの時間経路の特性について、理論分析とシミュレーション分析の両面からアプローチすることにより、前章よりも一歩進んだ分析となっている。可変的管理費用という新たな変数の導入は、最適スケジュールの特性に対して、前章と異なる結論を導くことは当然に予想される。そして当然のごとく、前章とは異なる各種の結論が導かれる。シミュレーション結果の一例を挙げれば、間伐の収益性が低くなると、間伐を開始する時刻は僅かに遅れ、間伐を終了する時刻は早まり、また皆伐を実施する時刻も早まる。

第6章は、非再生可能資源に関するリアルオプション分析の基礎理論に関する覚書ともいえる章である。前章までとの関連性はない。

著者は、リアルオプション分析(ここでは、鉱物資源開発における投資実施時機選択の分析)において重要な役割を果たすあるタイプの微分方程式について、その可解条件を提案するとともに、二つの例題を示す

ことにより、当該可解条件を満たす微分方程式が経済モデルに有用であることを主張する。

短い論文ながら、著者の今後の研究の方向性を示す貴重な章となっている。コンパクトにまとまっていると評価できる半面、用語、定義そして定理が、参考文献なしにすべて既知とされているため、基礎部分の論述の正確さを評価検討するための手掛かりが親切に提供されていない。省略された部分を丁寧に補足すれば、よりいっそう魅力的な論文になったのではないか。

審査委員会は、最初に述べた8点に絶えず留意しながら、本論文を審査した。ここで改めて、評価ポイントについて論評したい。第1点目について、付論（第6章）を別にすれば、まさに論文題名の沿うものであり、整合的体系を保つものであると判断できる。第2点目について、「論文内容の要旨」の内容から、著者の問題意識や独創性を窺い知ることができるだけでなく、内容はその意図に即したものとなっている。第3点目について、著者の前提や仮定は先行研究者の多くが採用するオーソドックスなものに基づいている。第4点目について、洗練さに欠けるものの、演繹的論理展開は的確であり、評価する。また、論文本体とは別に、約30ページに及ぶ数式展開の付録が提出され、審査の上で参考となったことを付言しておく。第5点目について、第1章と第2章について、記号の一貫性が保持されていないようであり、改良の余地が残されているが、誤解を招くものではない。第6点目について、コンピューター分析に関しては、応用ソフトを利用したが、その利用に当たっては十分な配慮がなされていた。第7点目について、すでに上述のとおり、前提の高度化に伴って、新規結論が得られ、新規発見が観測された。特に、第1章および第4章での最適スケジュールの特定化の論証に関しては、相当の苦労があったことが推察される。第8点目について、理論モデルが現実的運営にどのように貢献しうるかについては、性急な答えを探ることはできないが、各章で得られた帰結は、いずれも現実適用への提言と関連している。最適管理スケジュールの特定化自体は高度に抽象的な理論分析であるが、著者が最終的に意図するところは現実適用への提言である。

審査委員会は、本論文を厳格に査読した上で、本論文の内容を中心に口頭試問を実施した。その結果、著者が、学位規程第14条に記載される「専攻分野について研究者として自立して研究活動を行うに必要な高度の研究能力及びその基礎となる豊かな学識を有する」ことを確認することができた。

以上により、審査委員会は本論文提出者の丸谷照彦氏が博士（経済学）を授与されるに足る資格を有するものと認める。