

氏 名	やま もと しゅう いち 山 本 秀 一
学位(専攻分野)	博 士 (経 済 学)
学 位 記 番 号	論 経 博 第 304 号
学位授与の日付	平 成 16 年 5 月 24 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当
学 位 論 文 題 目	環境経済システムの計算理論

論文調査委員 (主 査) 教 授 植 田 和 弘 教 授 塚 谷 恒 雄 教 授 岡 田 章

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、環境保全制度の設計に関して、人工知能の技術を援用したコンピュータ・シミュレーションを行い、数学的な理論解析による結果と対比させてその理論と応用可能性について論じた意欲的な労作である。

本論文では、「湖水」モデルが環境資源と人間社会とからなる閉鎖系システムに共通の問題構造を捉えたモデルとして考察の素材にされる。その無限繰り返しゲームをコモンズ・ゲームと呼び、考察の中心にすえられる。本論文は、序章および終章を除いて、次の4章からなる。

第1章では、コモンズ・ゲームの性質が吟味され、多数の経済主体で構成されると考えるべきであること、経済主体間の直接的な相互作用はないこと、N人無限繰り返しゲームは経済主体にとって予測不可能な現象が起こりうる「環境」=動的「環境」であることが指摘される。次に、コモンズ・ゲームにおける経済主体の戦略が検討される。ナッシュ均衡に至る経済主体の意思決定プロセスをナッシュ均衡戦略と呼び、その特徴として、予測可能性、あるいはコストレスのコミュニケーションの存在を前提としていることが明らかにされ、コモンズ・ゲームにおける戦略としては不適切であることが指摘される。これらの考察をふまえてコモンズ・ゲームの戦略には、「環境」変化の予測が不可能であることを前提とすること、「環境」変化に意思決定プロセスの構造を柔軟に適応させること、意思決定の各処理プロセスには即応性が要求されること、が必要な要件であることを明らかにしている。

第2章では、経済主体の行動が遺伝的アルゴリズムによる戦略の淘汰によってモデル化される。「協調」を選択する比率は世代を経るごとに低下し、「裏切り」を選択する比率の高い行動変更ルールを持った戦略が割合を増加させ、大勢を占めるというシミュレーション結果が得られている。そして、ここで設定した経済行動仮説は、ナッシュ均衡戦略を用いた理論的分析の結果と一致することが示される。

第3章では、著者が提案する学習アルゴリズムを用いて経済主体の行動がモデル化される。1回のゲームの利得を重視して行動するルールⅠと、過去のゲームの平均的な利得の大きさを重視して行動するルールⅡが設定され、比較分析される。ルールⅠでは、ほぼ全面的に「裏切り」が選択されるという結果が得られ、ナッシュ均衡戦略による理論的な解析結果との同一性が示される。ルールⅡでは、学習が進むにつれて全体の協調率が上昇し、50～60%の範囲を推移することが観察される。また解析的な分析結果と異なり、ミクロ的な経済主体の学習過程においては、協調率が大きな変動を繰り返すことも観察される。シミュレーション結果から、内的基準を持ち、かつ長期的な利得を重要視する行動決定ルールを経済主体が取るならば、全面的に「裏切り」を選択するような事態にはならないという帰結を得たことが示される。

第4章では、E. オストロムが抽出したコモンズの長期的持続可能性の条件である「集合的な選択の取り決め」と「モニタリングの必要性」に注目し、プレーヤー間の合議による環境保全を目指す組織の導入問題が、Okada モデルをベースに分析される。組織の存在を前提とせず、参加決定段階、交渉段階、行動決定段階からなるゲームである Okada モデルと、行政府などの民主的な意思決定を反映させる組織の存在を前提とした交渉(投票)段階、行動決定段階からなる2段階ゲームモデルのそれぞれについて、解析的分析とシミュレーション分析の結果が比較され、モデルパラメータ値の取る範囲によ

って、結果が同一になる場合と異なる場合があることが観察される。結果の違いは、経済主体間のコミュニケーションの存在や学習による情報収拾能力の差に関するモデル上の想定の違いから生じることが示される。これらのモデル分析から導き出される政策的インプリケーションは、自発的な組織形成によるボトムアップ的な解決を目指すとしても国家や地方政府による支援がやはり必要となる、ということである。

以上、本論文においては、同じゲームに対する解析的分析とシミュレーション分析との比較考察により、経済主体の合理的行動仮説の違いによってメカニズムやシステムの振舞いもまた異なることが示された。人々の合理的行動は一枚岩のように単純化できるものではなく、極端な利己的行動と、社会性、公共性を含んだ行動との間に、多くの階層が存在する。それらを行動仮説として定式化し、多数の人々の行動パターンとその相互作用によって環境経済システムをとらえ、そのようなシステムの現象解明を行うことによって、より現実に役立つ環境保全制度設計への理論的な分析ができることが示唆され、結論とされる。

論文審査の結果の要旨

環境資源の管理組織や管理システムに関する研究の焦点の1つは、環境資源の利用と管理をめぐる複数主体間の相互作用や自発的協調関係の生成過程を理論的・実証的に解明し制度設計の原理や方法を明らかにすることにある。その場合に各主体の行動様式をいかに想定するかが鍵になるが、理論分析は数学的定式化がしやすい行動仮説を想定しがちである。標準的な経済行動仮説を変更しにくいために従来の理論分析は柔軟性に欠け限界があると考える著者は、「柔軟に仮説を変更することが可能な論理的推論の道具」としてエージェントベース・アプローチを用いた開拓的な研究を展開し、いわゆるコモンズ・ゲームを素材に環境保全制度の設計原理に関する理論的解析方法を豊富化させるとともに、その応用可能性に関して今後の研究の共通の基礎となる研究成果をあげた。このことは本論文の基本的な特徴であり、貴重な学術的貢献である。

研究の成果として評価できる諸点は、以下のとおりである。

第1に、標準的な経済行動仮説とは異なり、「環境」変化の予測が不可能であることを前提とし、「環境」変化に意思決定プロセスの構造を柔軟に適應させ、意思決定の各処理プロセスには即応性があるという要件を満たした行動仮説に基づくコモンズ・ゲームの分析を、人工知能の技術を援用したコンピュータ・シミュレーションを駆使して行ったことである。その分析結果と数学的理論分析による結果とを比較・考察するという手法を用いて、行動仮説の違いがもたらすゲームの論理的推論の差異について分析したことは、その結果に加えて方法論的開拓という点で著者独自の学術的貢献であり、高く評価することができる。

第2に、遺伝的アルゴリズムを用いてコモンズ・ゲームを分析したことであり、シミュレーションにより、世代を経て淘汰が進むにつれて「裏切り」を選択する比率の高い行動変更ルールを持った戦略が割合を増加させるという結果を導いている。これ自体興味深い結果であるが、同時に遺伝的アルゴリズムが蓄積された経験を次世代に継承する論理を明示的に持たないこともあって、その能力を活かせる問題領域が限定的であることをその持つ要素をふまえて明らかにするとともに、経済システムの進化過程の計算理論として遺伝的アルゴリズムを適用する際の問題点をもその有用性とあわせて指摘したことは、他の領域で発展してきた方法を経済学分野に適用する際の課題を明らかにしたことにもなり、貴重な貢献である。

第3に、人工知能研究における強化学習の考え方を導入し、ゲームのエージェントは経験を記憶しそれに基づいて「環境」変化に応じて意思決定するという学習アルゴリズムを構成し、遺伝的アルゴリズムの場合と比較してシミュレーションを行い、経済主体の内的基準によって戦略が決定されるという行動仮説の影響を検討したことである。また経験を通じて蓄積された記憶を、情報としてどのように評価・活用するか、その方法の違いによって経済学的にも短期的効率性を重視するか長期的効率性を重視するかという異なるアプローチになることを明らかにしており、興味深い。

第4に、環境保全制度は環境資源の所有と利用のレジームの問題であるとの立場から、E. オストロムらによって展開されてきた実在する（した）コモンズの制度的分析に関する議論をふまえて、新しいレジームを構築する効果のシミュレーション分析を行い、その結果を数学モデルによる解析的な分析結果と比較し、数学的アプローチとコンピュータ・シミュレーションが相補的關係にあることを明らかにしたことである。数学的な経済モデルに隠された前提を明らかにし、数学的モデルが提示する命題を実現することの困難度を推量する上でも、本論文で提示し応用した方法が役割を果たしえることを示し

たことは、環境保全制度を設計する方法論を深める上できわめて示唆的である。

同時に、本論文は未開拓な分野の先駆的な研究であるだけに、全体の研究の進展にも待つべきいくつかの論点が残されている。本論文の学習アルゴリズムは知識・経験の蓄積とその活用にとどまっており、世代を超えたその継承の問題は分析されていない。長期にわたる経済システムの進化・歴史を学習アルゴリズムの拡張で扱うことができるか否かは検討されるべき課題であろう。また、個人レベルでの利己的行動と、創意工夫を生み出す社会性、公共性を含んだ行動との組み合わせ方、すなわち行動仮説の設定は、自主的協調組織の生成や政府の行動様式とはいかなる相互作用を持つのかも深められるべき検討課題であろう。

しかしながら、これらの課題は、著者が提起し、理論的・実証的に解明した研究成果の先駆性と新たに提起した方法論や構築したモデルの意義と有効性、およびそれによってもたらされた貴重な学術的貢献を、何ら損なうものではない。

よって、本論文は、博士（経済学）の学位論文として価値あるものと認める。なお、平成15年10月29日、論文内容とそれに関連した試問を行った結果、合格と認めた。