

論文の内容の要旨

論文題目	国際排出権取引市場におけるエージェントベース シミュレーションの時系列データの分析法
学 位 申 請 者	仲田 知弘

近年、計算機能力の大幅な向上により、多様なシミュレーションモデルを駆使したシミュレーションが可能になってきた。また、センサとシミュレータを組み合わせて、様々な出力データを取得できるようになり、シミュレーション対象の出力とシミュレーションモデルの出力の比較が可能になりつつある。

従来のシミュレーションモデルは、対象の出力に一致することでモデルの正当性・信頼性を確保してきたため、対象世界の出力との比較が重要であった。最近、生態系や経済のように、未知な世界や将来予測などの対象の出力が得られない状況を取り扱うシミュレーションが出現し、仮説に基づくモデル構築をおこない、思考実験としての役割を担うシミュレータが出現しつつある。そのシミュレーションの一つに Agent-based Simulation (ABS) がある。ABS はエージェントを人間に見立てて、その相互作用からシステム全体として現象を造りだすことが可能で、社会や経済システムの分析方法として着目されている。しかし、この ABS の構築方法と出力の関係が明らかでないため、擬似的な意思決定モデルを構築して、その相互作用の現象を分析することが必要である。

本研究は、この ABS を用いて未知なる国際排出権取引市場の参加国モデルと遵守制度を構築し、遵守制度の導入が排出権取引市場の価格にどのように働くかを知るために取引市場の価格変動を分析する。また、ABS モデルの出力は、相互作用の影響を受けることから複雑な現象となり、計算機モデルの複数の出力から一致によって判定することが難しいため、距離に基づく分析方法を提案し、ABS モデルの出力を類似や相違によって分類できるかどうか検討する。すなわち、提案した ABS モデルが造り出す現象をシナリオ分析して、遵

守制度の特徴を抽出する。さらに、取引市場の価格変動のような時系列データを分類するため、距離に基づく分析方法として Bayesian analysis method (BAM)を提案する。さらに、提案したABSモデルの設計方法と分析手法の有効性を次の手順によって確認する。

- 1) ABSにおける参加国の意思決定モデルと遵守制度を構築し、遵守制度の有無と削減目標の割合を変更してシミュレーションを実施する。
- 2) そのシミュレーション結果をシナリオ分析し、遵守制度の有無や削減目標の割合の境界条件、ベストケース、ワーストケースなどから特徴を抽出する。
- 3) 距離に基づいた分析方法BAMが、複数のシミュレーション結果を用いて類似と相違に分類できるかどうか試みる。また、先行研究である離散フーリエ変換を用いた定量化手法(DAM)と比較し、BAMとDAMの特徴を理解する。その結果、本研究によって以下の知見が得られた。

- 1) 仮説に基づいて構築したABSモデルは、シナリオ分析によって境界条件、ベストケース、ワーストケースなどが明らかになった。特に、削減目標と遵守制度の有無による違いが、ABSモデルの出力(排出権の市場価格、参加国のガス排出量)に影響を示した。また、提案したABSモデルは、削減目標の1%の違いを現すことから、地球温暖化防止の一つの取り組みである国際排出権取引市場の分析に役立つ。

- 2) BAMとDAMによる分析手法は、時系列データを単純に図示する方法に比べ、ABSの差異が明確に現せた。

- 3) BAMによる提案手法は、変動する時系列データが類似と相違に分かれる場合、類似のグループと相違のグループを比較することで、シナリオ分析による境界条件の候補を提示する可能性がある。

- 4) BAMの視覚化は、上下左右による二次元の表示が、複数の時系列データの類似と相違を距離で示し、理解しやすい。なぜなら、1次元は長さを示すだけで類似と相違の判断を分析者らがおこなう必要があり、3次元は比較するデータによって座標の位置がわかりにくく、類似と相違の判断がしにくい。

以上のように、提案した国際排出権取引市場の参加国モデルと遵守制度は、排出権の市場価格と参加国のガス排出量の変動特性が分析できることを示した。また、提案したBAMによる分析手法は、時系列データの変動を距離で表す分析法として有効性を示した。このことから、本研究はABSにおける社会システムの設計と分析の方法論の展開に貢献できた。

論文審査の結果の要旨

学位申請者氏名 仲田 知弘

審査委員主査 渡辺 成良

委員 吉浦 裕

委員 高玉 圭樹

委員 西野 哲朗

委員 高橋 裕樹

委員

委員

本論文は、第六章の構成からなり、各章の概要は次のようになる。

第一章では、背景、目的と方法、論文の構成に分けて説明する。背景では、国際排出権取引市場を概観するとともに、従来のシミュレーションでは十分対応できないモデルの出力の正当性や信頼性などの問題を提示する。そして、本研究は、エージェントベースシミュレーション (ABS) における人工市場の従来研究を取り上げ、研究の位置づけを明らかにする。

第二章：エージェントベースシミュレーションと時系列データの分析法では、まず ABS について概説し、シミュレーションモデルとして用いられてきた経緯やその特徴について説明する。そして、本研究が着目する国際排出権取引市場や遵守制度と ABS における制度設計について概説する。次に、従来の時系列データの分析法について概説し、その特徴について説明する。そして、これまでの ABS における時系列データの分析方法と比較し、本研究における分析手法について概説する。

第三章：国際排出権取引市場の参加国モデルと遵守制度では、シミュレーション対象の出力が得られないシミュレーションモデルを構築するため、創設されて間もない国際排出権取引市場とその規則である遵守制度を取り上げる。参加国モデルは、報酬の最大を求めていくと仮定し、意思決定に強化学習を用いることで参加国モデルの行動が変化する。また、遵守制度は、それぞれの参加国の状況に応じて制約するために、個々の参

加国モデルに対して制約を課せることができる。個々の参加国モデルの振舞いから、需要と供給に基づいて排出権取引市場の排出権の価格変動を造りだせる。そこで、このようなモデルの仮定や制約を課す方法について詳細に説明する。

第四章：距離に基づく分析とシナリオ分析では、シミュレーションモデルの出力の分析方法について取り上げ、第三章で提案したモデルによるシミュレーション結果を分析する。シミュレーションモデルの出力が対象の出力と比較できない場合、そのモデルの類似や相違は対象の出力に基づいて判定ができず、正当性や信頼性を得るのが難しい。そこで、少なくともシミュレーションモデルの中で、類似や相違を明らかにすることで、モデルの出力の結果を検討していくことがシミュレーションモデルの発展に重要である。そこで、シミュレーションモデルの一部を変更して、距離に基づく分析とシナリオ分析をおこない、それぞれの結果について説明する。

第五章：考察では、第三章の国際排出権取引市場における参加国モデルと遵守制度を用いて、第四章で提案した時系列データの分析法による結果から考察する。複数のモデルの出力は、分析方法(DAMとBAM)によって類似と相違を距離によって示すことが可能となる。そこで、複数の時系列データを並べて比較するより複数の時系列データを距離による判別が容易になるため、分析者の負担を軽減した。そして、シナリオ分析によって、この計算機モデルによる出力の特徴を検討した。

第六章：結論では、本研究の成果を取りまとめ、今後の課題について述べる。本研究は、計算機モデルの出力と対象の出力が比較できない場合の分析手法を提案し、その例として国際排出権取引市場におけるABSによる検証をおこなった。その結果、複雑な時系列データをそれぞれの分析によって、その計算機モデルの出力の特徴を分類可能なことが分かった。したがって、本研究は、ABSによる社会システムの設計と分析方法の展開に貢献できたといえる。しかし、距離によって分類されたデータの性質や機能説明までは明らかにできず、今後の課題もある。なお、この距離に基づく分析手法は、計算機モデルの出力に限った手法ではなく、他の分野に応用可能である。

以上から本論文は博士の学位に値すると判定した。