

マルチエージェント・シミュレーションを用いた東京都排出量取引制度の研究

2011年3月修了

環境システム学専攻

47-096682 原田 考太

指導教員 松橋隆治 教授

Keyword：排出量取引、マルチエージェント・シミュレーション、時系列分析

1. 序論

地球温暖化の防止に向けた取り組みの1つである排出量取引制度は、温室効果ガス削減の確実性・費用効率性が比較的高い手段であることから、EUやアメリカなどで実施され、わが国でも環境省や東京都による排出権取引制度が開始した。しかし、排出量取引制度は発展途上段階の制度であることから、制度設計に関する知見は少ない。今後予想される排出量取引制度の本格的な整備に備え、制度設計や参加者の行動が市場に与える影響を考察しておくことは重要である。

そこで本研究では、昨春から導入された東京都の排出量取引制度（以下、都制度）に焦点を当て、今後の有効な制度設計を考察する為に、マルチエージェント・シミュレーションを用いた東京都排出量取引市場モデルを構築した。そして、市場参加者の行動や制度の変更が市場へ与える影響を分析する事で、東京都排出量取引市場の今後の有効な制度設計を考察する。

2. 研究方法

2.1. マルチエージェント・シミュレーション

マルチエージェント・シミュレーションは、エージェント同士の相互作用から、人口市場または人口社会における振る舞いをコンピュータ内でモデル化するシミュレーション手法である。「エージェント」は、自律的に行動する参加主体をモデル化したもので、周囲の環境を知覚し、自ら意思決

定を行う。系全体の挙動は、これらエージェントの相互作用に基づいて決まる。

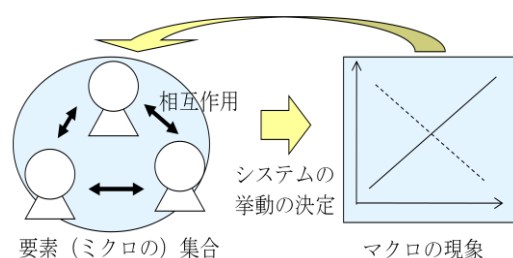


図1：マルチエージェント・シミュレーションのイメージ

2.2. 東京都排出量取引制度モデルの概要

本研究では、渡邊¹⁾を参考に、市場参加者をエージェントとしてモデル化し、売買のモデルを組み合わせることで排出権取引市場を構築する。尚、想定する取引制度は東京都制度に沿って、参加者に排出量の上限が定められたキャップ&トレード方式を採用する。

(1) 売買モデル

売買は1日1回、T日を1期としてシミュレーションを行う。エージェントは、期の初めに割り当てられた排出削減量の達成を目指す。

(2) 取引の流れ

①市場データの知覚

エージェントが市場情報を取り込む。

②価格の予想

エージェントが市場情報から価格を予想する。

③戦略決定・入札

各エージェントが予想価格から最適な注文量を計算し、入札を行う。

④約定処理

全エージェントの入札を基に、板寄せ方式で約定処理を行い、市場価格と取引量を計算する。

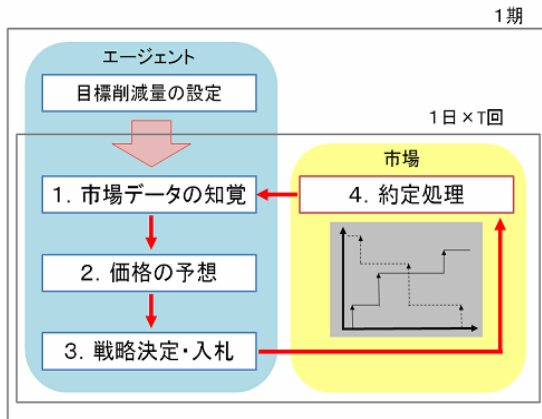


図2:取引の流れ

(3) エージェント

エージェントは東京都の排出量義務対象となっている民生業務部門・産業部門の大規模事業所を想定し、対象事業所の排出データを参考に、削減目標を持つ100体のエージェントのモデル化を行った。

◇キャップの設定

各事業所のキャップ（義務排出量）は、東京都の「地球温暖化報告書制度」における排出データ²⁾を基に基準排出量を定め、都制度で定める削減義務率（民生業務部門：8%、産業部門等：6%）に従って設定した。

◇限界削減費用曲線の設定

各エージェントの限界削減費用曲線は、環境省発行の省エネ対策技術一覧³⁾の削減ポテンシャルと削減費用のデータを東京都の対象事業所の数値に補正することにより作成した。各エージェントはそれぞれ異なる限界削減費用曲線を持ち、排出削減投資と市場による排出権の売買を経済合理性に基づいて行う。排出削減費用 $MC(t)$ は、累積削減量 $ACR(t)$ と業種に固有のコスト値 C 、コスト初期値

C_0 に基づいて定まるものとした。

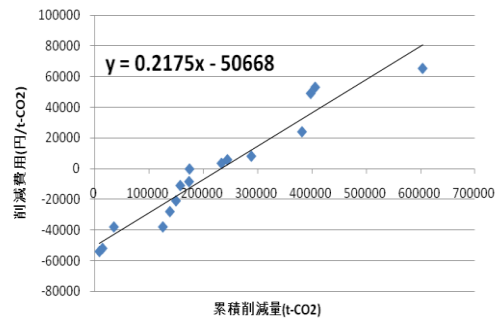


図3:民生業務部門の限界削減費用曲線

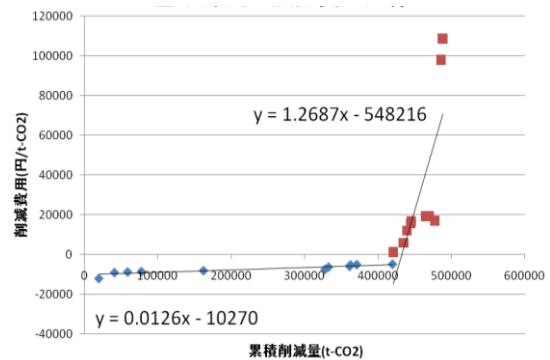


図4:民生業務部門の限界削減費用曲線

◇参加者の価格予想タイプ

各エージェントは、排出量の予想価格 $exP(t)$ を過去の市場価格等から予想する。なお、価格の予想には以下の2種類の手法を用いる。また、学習機能として、各エージェントがどの価格予想手法を使うかの判断は、毎回の取引の終了後に各手法の中で実際に取引された価格との差が最も小さいものを適用するものとした。

①EUA価格参照型

European Climate Exchange で取引されるEUA価格(Dec10·Sett) 直近158週分と79週分のデータ⁴⁾から同定したARIMA(2,1,2)とARMA(4,4)の2つの時系列モデルを用いて予想価格を算出する。

②モデル価格取得型

東京都モデルの市場価格のみを取得し、当期の市場価格を予測する。

(4) パラメータ

本研究での分析に用いる主なパラメータは以下の通りである。

表1:入力変数

| 入力値 | |
|------------------|------------------------|
| 情報誤差 σ | エージェントの価格認知の誤差の大きさを表す。 |
| クレジット初期保有量 R_0 | 外部クレジットの制度への供給量を表す。 |
| 学習機能保有割合 | 学習機能を持つエージェントの割合を表す。 |

表2:出力変数

| 出力値 | |
|------|------------------------------|
| 取引価格 | t期における排出量の均衡価格 |
| 取引量 | t期に取引された排出量の総量 |
| 理論価格 | 全ての義務削減量を自主対策により削減した際の限界削減費用 |

これらの出力値を基にして、以下に示す効率性指標を評価することで、様々な条件下でのエージェントの行動や制度設計の市場への影響評価を行う。

表3:効率性指標一覧

| 評価指標 | |
|-------|---------------------------|
| 価格指数 | 市場の経済効率性の指標。低いほど経済効率的な市場。 |
| 変動係数 | 価格変動の大きさの指標。市場の安定性を評価する。 |
| 注文約定率 | 注文が約定した割合を表す、取引の効率性指標。 |
| 取引継続率 | 取引が継続した率。価格の大幅な下落の有無を示す。 |

3. シミュレーション結果

入力変数を様々に変化させた場合の制度の効率性の変化を、算出された効率性指標を基に評価した。モデルに乱数が含まれており、同一条件下での各試行の結果が異なるため、効率性指標は100回ずつの試行の平均値を比較した。

3.1. 情報誤差の分析

エージェントの価格予想のバラつきとして乱数項を含む情報誤差の大きさ σ を定義し、各エージェントの σ を変化させた場合の制度の効率性の変動を評価した。なお、その他の条件は $R_0=50,000$ 、学

習機能保有割合は2/3とした。

シミュレーションにより得られた各指標の一元配置分散分析の結果は表4の通りである。

表4:分散分析の結果

| 評価指標 | F値 | p値 |
|----------|--------|-------|
| 価格指数 | 0.263 | 0.608 |
| 変動係数 | 1.43 | 0.232 |
| 注文成約率(%) | 0.0922 | 0.762 |

表4より、 σ を変化させた場合の評価指標の平均値に有意な差は見られず、エージェントの予想価格の誤差は制度の効率性に大きな影響を与えるとは言えないことが示された。

3.2. クレジット供給量の分析

次に、制度への外部クレジットの供給量 R_0 を変化させたときに、制度の効率性にどのような影響があるかの分析を行った。 $\sigma=0.001$ 、学習機能保有割合=2/3の時の各指標の平均値の分散分析結果は表のようになった。

表5:分散分析の結果

| 評価指標 | F値 | p値 |
|----------|------|-----------------------------|
| 価格指数 | 1090 | $<2.20 \times 10^{-16}$ *** |
| 変動係数 | 1.03 | 0.310 |
| 注文成約率(%) | 778 | $<2.20 \times 10^{-16}$ *** |

価格指数と注文成約率の平均値に有意な差が確認された。

2指標の推移は図の通りである。

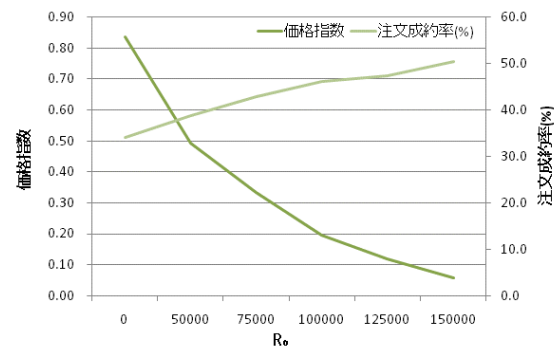


図5: 価格指数と注文成約率の推移

これより、クレジット供給量が増加するにつれて

価格指数は低下し、注文成約率は上昇することが分かった。一方で、取引継続率の推移をみると、 $R_0=100,000$ 付近以上では価格の大幅な下落が起こる確率が上がることが分かった。

3.3. 学習効果の分析

学習機能を持つエージェントの割合を変化させ、それに伴う制度の効率性の変化を評価した。各指標の分散分析の結果は、表の通りである。

表 6：分散分析の結果

| 評価指標 | F値 | p値 |
|----------|------|-----------------------------|
| 価格指数 | 186 | $<2.20 \times 10^{-16}$ *** |
| 変動係数 | 1.73 | 0.190 |
| 注文成約率(%) | 10.4 | 1.40×10^{-3} ** |

これより、価格指数と注文成約率の変動に有意性があることが確認された。2指標の推移を見ると、

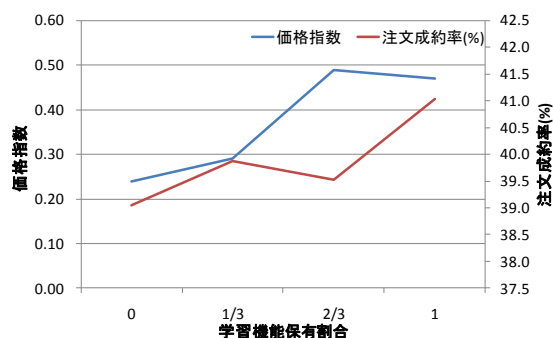


図6：価格指数と注文成約率の推移

学習機能保有割合が増えると注文成約率は増加するが、価格指数も同時に増加し、制度の経済効率が低下していることが分かる。これは、学習機能によって多くのエージェントが同一の価格予想タイプを選択することで、不規則な価格変動が起こっていることによると考えられる。

4. まとめと今後の課題

本研究では、仮想的に構築した東京都排出量取引市場モデルにおける各事業所の行動や市場制度の違いが市場に与える影響を考察する事で、排出量取引市場の有効な制度設計の示唆を得る事を目指

した。

その結果、完全な価格予想が行われても制度の効率性は向上するとは限らないことが示された。また、クレジット量の分析により、最適なクレジット供給量を示すことができた。

本研究では、マルチエージェント・シミュレーションを用いて東京都排出量取引制度モデルを構築し、制度の効率性に関する分析を行った。これにより多くの有用な結果が得られたが、一方で、実際の制度参加者の行動特性など、未だはっきりと分かっていない部分も多く、モデルの精度には改善の余地があると言える。今後、社会調査などで得られた情報を本モデルに組み込むことで、更に精度の高いシミュレーションが可能になると考える。

5. 参考文献

- 1) 渡邊吉浩, エージェントベースシミュレーションを用いた排出権取引市場に関する研究, 東京大学修士論文, 2010
- 2) 地球温暖化対策計画書制度, 計画書の公表と集計結果,
http://www6.kankyo.metro.tokyo.jp/tochou_2/Wroot/asp/W201.asp
- 3) 中央環境審議会地球環境部会, 「目標達成シナリオ小委員会」中間とりまとめ, 2001
<http://www.env.go.jp/council/06earth/r062-01/index.html>
- 4) European Climate Exchange, ECX Historical Data;
<http://www.ecx.eu/ECX-Historical-Data>