

温室効果ガス取引制度のエージェントシミュレーション分析

An analysis of Greenhouse Gases trading system with Agent Simulation

大堀 正人
Masato Ohori倉橋節也
Setsuya Kurahashi

筑波大学大学院ビジネス科学研究科

Graduate School of Systems Management, University of Tsukuba

Kyoto Protocol is an international agreement for greenhouse gases (GHG) reduction and it makes up the targeted reduction of a legally binding GHG for each country or region. And it enables us to buy and sell some GHG with other countries; it is the GHG trading System. But now, some Free riders, they do not accept the target, spring up all over the world, U.S., and some developing countries. The reduction of the free riders is most important thing for success of GHG trading system in current situation. The aims of this study are (1) to derive an emergence mechanism of the Free riders, and (2) to consider the reductive mechanism of the Free Riders. In order to examine a relationship between some governments, some companies, and some consumers under the social dilemma of world warming, this paper applies the agent-based approach. The experimental results have shown that (1) the reason of the Free riders emergence is the indeterminacy of the effect of their reducing GHG and (2) Free riders are able to be controlled by the consumer's behavior.

1. はじめに

1997年に採択された温室効果ガス(GHG)の国際的取り組みである京都議定書は、各国のGHGの排出枠を制限し取引できるようにすることにより、地球全体の温室効果ガス排出量を経済的手法(GHG取引)でコントロールしようというものである。しかしながら、京都議定書の執行を意味する約束第一期間^{*1}が開始された現在においても、各国^{*2}の足並みは揃っていないと言えず(表1)、地球全体のGHGをコントロールするという実効性の確保には厳しい状況である[内閣府経済社会総合研究所2004]。EUでは、京都議定書に先行し、2005年から企業に排出枠を割り当てるといったキャップ&トレード型のEU-ETS^{*3}を開始し積極的に対応しているのに対し、日本では「自主参加型の国内排出量取引制度」のような自主的な取り組みで、その参加企業数は23事業者(2006年)に留まっている。[諸富2007]。

本稿では、GHG取引制度の成功にはフリーライダーを抑制することが重要と考え、GHG取引に対する各国・各企業の取り組みを社会的ジレンマと捉え、ゲーム理論の観点からエージェントの行動ルールエージェント間の相互作用をモデル化し、下記2つのテーマについて考察した。

- テーマ1** GHG取引成功には、政府・企業の自主的な取り組みだけでは限界があるのではないのか？
- テーマ2** GHG取引成功に向けて、市民はどのように行動すればよいのか？

表1 京都議定書における各国の取り組み状況(抜粋)

| | EU | 日本 | 米国 |
|-------------|-----------------|----|-----|
| 京都議定書への対応 | 批准 | 批准 | 未批准 |
| 国の排出削減法的義務 | 有 | 有 | 無 |
| 企業の排出削減法的義務 | 有 ^{*3} | 無 | 無 |

*1 約束第一期間は2008年から2012年の5年間。

*2 この場合の各国とは、京都議定書付属書I国(先進国)とする。

*3 2005年から開始されたEU-ETSの枠組みでは、約12,000事業所に二酸化炭素排出枠を付与している。

連絡先: 倉橋節也, 大堀正人

〒112-0012 東京都文京区大塚3-29-1
kurahashi@gssm.otsuka.tsukuba.ac.jp

2. モデル

本稿では、Multi Lake Game[山下2000]の枠組みを参考に、複数の政府プレイヤー、複数の企業プレイヤー、複数の市民プレイヤーが存在する世界において、企業プレイヤーには温室効果ガス削減に対しての社会的ジレンマが発生している状況をモデル化した。各プレイヤーは、表2の戦略を保有しており、その戦略決定を遺伝的アルゴリズムにより進化させていくものとし、1世代600回のゲームを6000世代行い、政府プレイヤー、企業プレイヤー、市民プレイヤーの戦略決定推移と非協力企業(フリーライダー)数を観察した。

表2 各プレイヤーの戦略

| プレイヤー | 戦略 |
|-------|-------------------------|
| 企業 | ① GHG削減に協力・非協力 / ② 政府選択 |
| 政府 | ① 罰金額の決定 / ② 税金額の決定 |
| 市民 | ① 商品購入額の決定 |

2.1 企業における社会的ジレンマ

各企業は、一定の製品を生成し、その生成時の費用を抑えることを利得として行動するものとした。各企業は、製品生成時にGHGを排出しており、このGHGは生産非効率性を生むものとした。各企業がGHG削減に協力すると、GHGによる生産非効率性は発生しないが、協力するには一定の費用が発生する。非協力企業数がk個の場合の生産非効率性をkDとすると、全企業数m、協力時の費用Bとの関係が「 $D < B < mD$ 」が成立する場合、企業個人にとっては常に非協力を選択する方が安い費用で済むが、全企業が非協力を選択する場合は協力を選択した方が費用を安くできるため、社会的ジレンマが発生する。

2.2 政府における社会的ジレンマ

各政府は、自国に所属する全企業に対し税金を課すことが、また時刻に所属する非協力企業に対し、罰金を課すことができるものとし、この収益を利得として行動するものとした。政府個人にとっては、収益を上げるためには罰金額・税金額を上げることが望ましい選択であるが、罰金額・税金額を他政府よりも高くすると企業が他政府に移動してしまうため、社会的ジレンマが発生する。

3. 政府規制モデル

企業から排出される GHG の影響範囲を自国内のみとしたローカルモデルと、世界全体に影響するものとしたグローバルモデルとを比較することにより、テーマ1について考察した。

3.1 ローカルモデル

本モデルは、企業プレイヤーと政府プレイヤーが存在し、それぞれの利得関数は下記の通りとした。

〈協力企業の利得関数〉

$$v_j(k, t) = \begin{cases} \alpha - \left(B + m \cdot \frac{\bar{S}_i}{S_i + \bar{S}_i} \cdot D + \text{Tax}_i(k, t) \right) & \text{if } B/D \leq m \cdot \frac{S_i}{S_i + \bar{S}_i} \\ \alpha - (mD + \text{Tax}_i(k, t) + \text{Pen}_i(k, t)) & \text{otherwise} \end{cases}$$

〈非協力企業の利得関数〉

$$v_j(k, t) = \begin{cases} \alpha - \left(m \cdot \frac{\bar{S}_i}{S_i + \bar{S}_i} \cdot D + \text{Tax}_i(k, t) + \text{Pen}_i(k, t) \right) & \text{if } B/D \leq m \cdot \frac{S_i}{S_i + \bar{S}_i} \\ \alpha - (mD + \text{Tax}_i(k, t) + \text{Pen}_i(k, t)) & \text{otherwise} \end{cases}$$

〈政府の利得関数〉

$$\omega_i(\text{Tax}_i(k, t), \text{Pen}_i(k, t)) = (S_i + \bar{S}_i)\text{Tax}_i(k, t) + \bar{S}_i \cdot \text{Pen}_i(k, t)$$

K: 世代、t: ゲームの回数、 α : 固定収入、m: 全企業数、n: 政府数、B: GHG 削減設備を使用費用、D: 非効率率単位費用、 \bar{S}_i : 政府 i 所属非協力企業数 ($0 < i < n$)、 S_i : 政府 i 所属協力企業数、 $\text{Tax}_i(k, t)$: 政府 i の税金額、 $\text{Pen}_i(k, t)$: 政府 i の罰金額

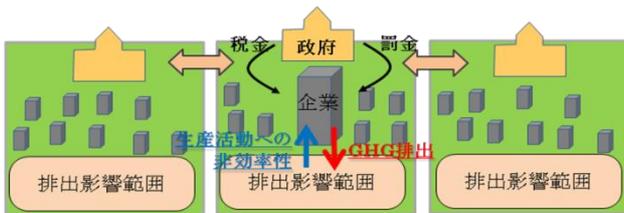


図1 ローカルモデル概念図

3.2 グローバルモデル

本モデルは、ローカルモデルの非協力企業の負の影響範囲を、所属政府内から全世界に拡張したモデルで、企業の利得関数は下記の様に変更した。

〈協力企業の利得関数〉

$$v_j(k, t) = \begin{cases} \alpha - \left(B + \sum_n \frac{\bar{S}_i}{S_i + \bar{S}_i} \cdot D + \text{Tax}_i(k, t) \right) & \text{if } B/D \leq \frac{S}{S + \bar{S}} \\ \alpha - (mD + \text{Tax}_i(k, t) + \text{Pen}_i(k, t)) & \text{otherwise} \end{cases}$$

〈非協力企業の利得関数〉

$$v_j(k, t) = \begin{cases} \alpha - \left(\sum_n \frac{\bar{S}_i}{S_i + \bar{S}_i} \cdot D + \text{Tax}_i(k, t) + \text{Pen}_i(k, t) \right) & \text{if } B/D \leq \frac{S}{S + \bar{S}} \\ \alpha - (mD + \text{Tax}_i(k, t) + \text{Pen}_i(k, t)) & \text{otherwise} \end{cases}$$

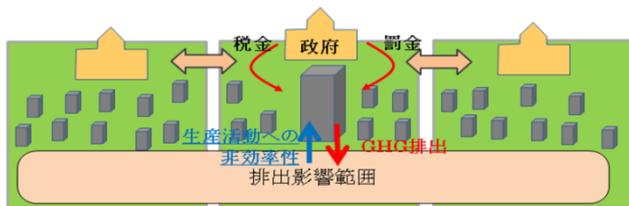


図2 グローバルモデル概念図

3.3 実験結果

図3から図6に、企業数100、政府数3として行った実験結果の一例を示す。なお、本実験は複数回実施したが、同様の傾向が見られた。

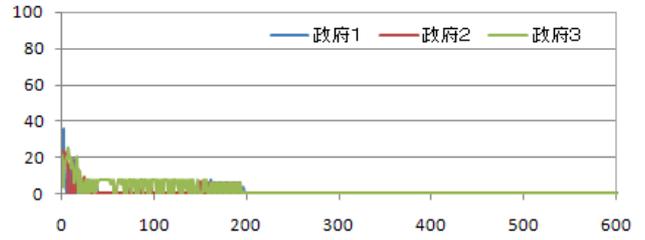


図3 6000 世代目の非協力企業数推移(ローカルモデル)
(縦軸: 非協力企業数、横軸: ゲーム回数)

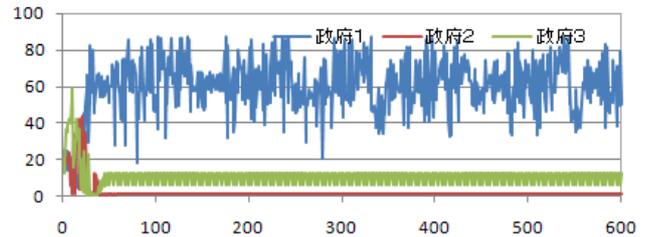


図4 6000 世代目の非協力企業数推移(グローバルモデル)
(縦軸: 非協力企業数、横軸: ゲーム回数)

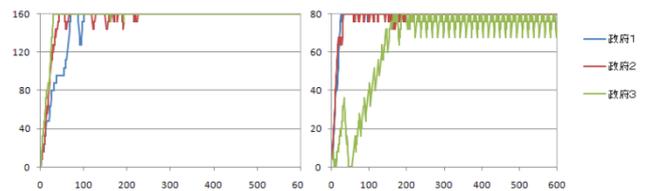


図5 6000 世代目の税金・罰金額推移(ローカルモデル)
(左図: 罰金額、右図: 税金額 横軸: ゲーム回数)

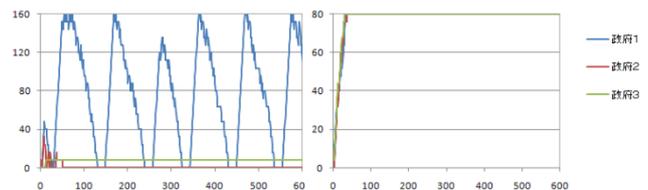


図6 6000 世代目の税金・罰金額推移(グローバルモデル)
(左図: 罰金額、右図: 税金額 横軸: ゲーム回数)

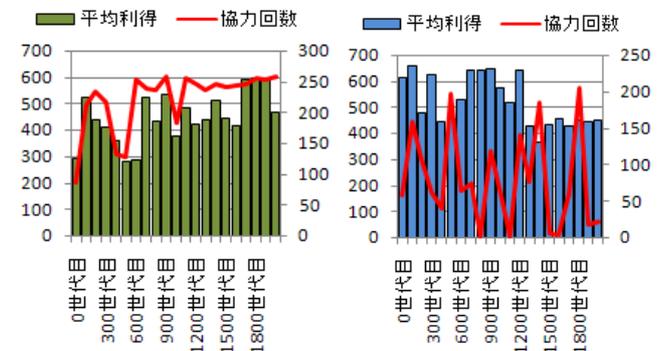


図7 2000 世代時点で総利得1位企業における
100 世代毎協力回数と平均利得との関係
(左: ローカル、右: グローバル)

3.4 考察

ローカルモデルでは、6000 世代目の各政府は、自己利得最大化するには罰金額、税金額を高くすることが重要と考え、最終的にはすべての政府が罰金額・税金額を最大にする戦略を取るようになった(図 5)。この結果、企業にとっては協力への誘因が強くなり、フリーライダー抑制につながった(図 3)。一方、グローバルモデルでは、6000 世代目の各政府は、自己利益最大化するには罰金額を少なくし、企業数を増やすことが重要と考える戦略をとる傾向が観察できた(図 6)。この結果、企業にとっては協力への誘因が強くなり、フリーライダーが増加した(図 4)。これは、図 7 より、グローバルモデルでは各企業の利得に、自政府以外の非協力企業数の影響を受けることになり、企業が自己の利得向上と協力行動との関係性を見つけることができなくなったためということが分かる。

今回の実験からは、GHG 取引制度の様に、全世界から影響を受ける問題では、企業にとって協力行動をする誘因が減少することを示すことができた。また、このフリーライダーが増加することにより、政府は罰金を減少させるという傾向を示すことができた。この実験結果からは、現在日本が行っている様な自主的な取り組みでは、GHG 取引制度を成功させることは難しいと考えることができる。

4. 市民関与モデル

本モデルでは、3.2 のグローバルモデルに企業から商品を購入する市民プレイヤーを追加した市民購買モデルを構築し、テーマ2に関して考察した。市民プレイヤーの利得関数は松本の研究[松本 2006]を参考とした。

<協力企業を好む市民の利得関数>

$$\omega_x(\text{Payoff}_x(k, t)) = (\text{Rank}_x(k, t))^{(1-R)S^R} - \text{Payoff}_x(k, t)$$

<協力企業を意識しない市民の利得関数>

$$\omega_x(\text{Payoff}_x(k, t)) = \text{Rank}_x(k, t) - \text{Payoff}_x(k, t)$$

<協力企業の利得関数>

$$v_j(k, t) = \begin{cases} \alpha - \left(B + \sum_n \frac{S_n}{S_1 + S_n} \cdot D + \text{Tax}_x(k, t) \right) + \sum_{p \in j} \text{Payoff}(k, t) & \text{if } B/D \leq \frac{S}{S+5} \\ \alpha - (mD + \text{Tax}_x(k, t) + \text{Pen}_i(k, t)) + \sum_{p \in j} \text{Payoff}(k, t) & \text{otherwise} \end{cases}$$

<非協力企業の利得関数>

$$v_j(k, t) = \begin{cases} \alpha - \left(\sum_n \frac{S_n}{S_1 + S_n} \cdot D + \text{Tax}_x(k, t) + \text{Pen}_i(k, t) \right) + \sum_{p \in j} \text{Payoff}(k, t) & \text{if } B/D \leq \frac{S}{S+5} \\ \alpha - (mD + \text{Tax}_x(k, t) + \text{Pen}_i(k, t)) + \sum_{p \in j} \text{Payoff}(k, t) & \text{otherwise} \end{cases}$$

Payoff_x(k, t): 購入額、Rank_x(k, t): 企業のゲームの利得順位(10 段階)
 S: 協力企業数(10 段階)、R: 環境配慮企業選択割合、
 $\sum_{p \in j} \text{Payoff}(k, t)$: k 世代 t 回目のゲームの企業 j 商品の市民総購入額



図8 市民購買モデル概念図

4.1 実験結果

図 9 から図 10 に、企業数 100、政府数 3、市民数 100 として行った実験結果の代表的な一例を示す。

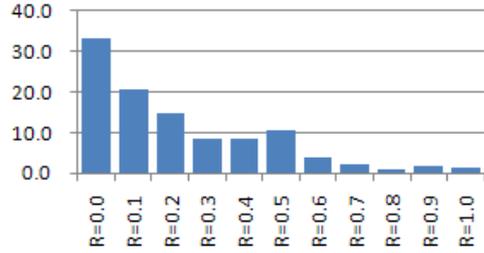


図 9 6000 世代におけるモデル毎平均非協力企業数
 縦軸：非協力企業数、横軸：環境配慮企業選択割合(R)

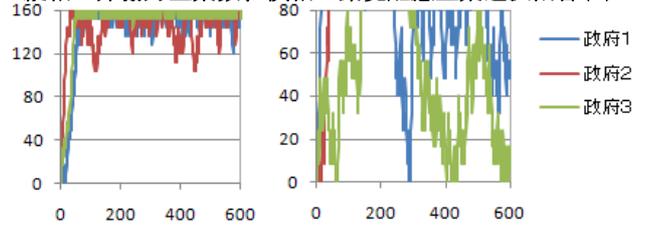


図 10 6000 世代目の税金額推移 (左: R=0.4、右: R=0.5)
 縦軸：罰金額、横軸：ゲーム回数

4.2 考察

市民購買モデルでは、フリーライダーが発生してしまうグローバルモデルに対し、特定の割合 R で環境配慮企業の商品を購入するとして、市民を追加した。その結果、市民が環境配慮企業の商品を購入する割合が増えるほど、フリーライダーを抑制できることが観察できた(図 9)。しかしながら、図 9 の R=0.4、R=0.5 の関係の様に、市民が環境配慮企業の商品購入の割合を増加させたとしても、その時の政府の罰金戦略によっては、フリーライダーが増加するケースがあることも観察できた(図 10)。

今回の実験からは、市民行動を商品行動のみとした場合、政府の動向によってはその効果を示し難い状況が生まれることを示すことができた。

5. おわりに

本稿では、GHG 取引成功には政府・企業の自主的な取り組みだけでは限界があることを示したと共に、その成功に向けて、市民の商品選択行動の有効性を示した。また、市民行動を効果的に行うためには、政府との連携が必要であることも示した。

今後は、市民モデルを洗練化し、いくつかの市民行動パターンに関して比較検討していく予定である。

<参考文献>

[内閣府経済社会総合研究所 2004] 内閣府経済社会総合研究所: 地球温暖化問題の現状と課題, 2004
 [諸富 2007] 諸富徹, 清水雅貴, 高瀬香絵: 脱炭素社会に向けた国内排出量取引制度提案, 2006 年度 WWF ジャパン報告書, 2007
 [山下 2000] 山下倫央, 鈴木恵二, 大内東: Iterated Multiple Lake Game における社会的ジレンマに対するプレイヤー群の挙動に関する考察, 計測自動制御学会論文集 Vol.36, No.2, 195/203, 2000.
 [松本 2006] 松本 光崇: 「N 人囚人のジレンマゲームにおける規範内部化と協調の関係」, 人工知能学会論文誌 21 巻 2 号 D, P.167-P.175, 2006 年.