

平成 21 年 3 月 31 日現在

研究種目： 若手研究 (B)  
 研究期間： 2007 ~ 2008  
 課題番号： 19710038  
 研究課題名 (和文) 行動主体の意思決定に基づく循環型社会システムの持続的発展に関する研究  
 研究課題名 (英文) A Study on Sustainable Development of Recyclable Society based on Behavior of Decision makers  
 研究代表者  
 西野 成昭 (NISHINO NARIAKI)  
 東京大学・人工物工学研究センター・助教  
 研究者番号： 90401299

## 研究成果の概要：

本研究課題では、循環型社会を形成する各行動主体の意思決定に着目し、理論・シミュレーション・被験者実験・アンケート等の手法を統合的に用いて、社会科学と工学を融合した学際的研究として経済学的な視点と心理学的な視点と両面を考慮しながら、持続的な発展が可能な社会に関する分析を進めた。具体的には、廃棄物の回収に着目したモデルをもとにして、リサイクル市場のダイナミクスや行動主体の意思決定分析を分析し、制度設計の問題についても議論している。

## 交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	900,000	0	900,000
2008 年度	700,000	210,000	910,000
総計	1,600,000	210,000	1,810,000

## 研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境学・環境影響評価・環境政策

キーワード：循環型社会，実験経済学，マルチエージェント，制度設計

## 1. 研究開始当初の背景

循環型社会の実現には、技術的解決だけでは不可能で、その内に存在する行動主体の意思決定が重要となる。例えば、消費者は購買・消費・廃棄等、生産者は生産・販売・回収・再生産等の意思決定が含まれる。処理業者は回収や処理に関する意思決定を行う一方で、政府は法律や制度に関する意思決定が成される。技術的には可能であっても、これらの組み合わせで社会が形成されるために、行動主体の自己の利益追求が社会全体の利益と相反するというジレンマが生じ、持続的に発展できる循環型社会が構築できるかどうかは明らかではない。

環境問題に関連する工学研究は、社会や経済、行動主体の意思決定などの側面を簡略化しがちで、理工系と社会科学が真に有機的に結びついた研究は未だ少ない。一方、人間の経済的意思決定に関する研究として、近年、行動経済学や実験経済学分野で盛んであるが、循環型社会に関するものはまだ多くはない。また、関連する理論的研究としては環境経済学があるが、完全情報や完全合理などを含む非現実的な仮定がなされていることが多く、そのまま実社会に適用するには困難である。

循環型社会を構築するためには、社会科学の視点を取り入れた工学研究として、実世

界に適用可能なものでなければならない。個別の専門領域内の限定されたアプローチでは、限界があるといえよう。

このような背景から、本研究は理工系と社会科学が融合した研究が必要であると考えられる。また、本研究で対象とするような行動主体の意思決定に着目した研究が、結果的に技術の問題へとフィードバックされるのである。つまり、意思決定の相互作用の結果、形成される社会がどのような技術を望むのかが明らかになるからである。例えば、製品寿命の長い製品が普及しやすい社会ならば製品耐久性を改善する技術を重点的に開発すべきであることが分かる。技術進歩だけや、行動主体の善意にだけ頼るのでは限界があり、自律的にシステムとして存在する原理を明らかにしなければならない。

## 2. 研究の目的

本研究では、循環型社会を形成する各行動主体の意思決定に着目する。社会はこれらの意思決定の単純な積み重ねではなく、その相互作用により全体の構造的秩序が形成される。すなわち、どのような意思決定がどういった社会を導くのか、そのメカニズムを明らかにしなければならない。その構造を解明し得られた知見から、社会的に受け入れられ、かつ、持続的に発展可能な循環型社会の構築のための制度を提案し、実社会での実現可能性についての評価を行うことが目的である。

それぞれの詳細は次節で述べるが、具体的には以下の項目について進めた。

- (1) 循環型社会システムの基本モデル構築と経済学的な理論分析
- (2) 被験者実験による行動主体の意思決定分析
- (3) 循環型社会システムのマルチエージェントシミュレーション
- (4) 仮想実験室での循環型社会システムの被験者実験による検証
- (5) LCAの視点を導入した社会制度の設計

## 3. 研究の方法

環境問題での行動主体の意思決定は大きく分けて、純粋に金銭的利益を追求する経済的インセンティブに基づく意思決定と、環境意識や個人の善意などの心理的な要因による意思決定がある。この2つは不可分であり、本研究は両面からアプローチし、循環型社会システムの分析と適切な制度設計を行っている。詳細は以下の通りである。

- (1) 循環型社会システムの基本モデル構築と経済学的な理論分析

完全合理的な意思決定主体からなる経済

システムとして均衡状態を明らかにし、理論的なシステムの性質を解明する。具体的には、マーケットマイクロストラクチャー理論によるリサイクルマーケットのメカニズムに対する理解、実社会における社会的ジレンマ状況下でのゲーム論的な分析である。

- (2) 被験者実験による行動主体の意思決定分析

個としての行動主体に関する、経済的インセンティブが与えられた環境下での人間の意思決定について分析する。例えば、経済的インセンティブだけで環境配慮型行動が誘発できるかどうか等である。加えて、心理的な要因に起因する意思決定を調べる。例えば、消費者がどの程度環境に優しい行動をとれるのか、どのレベルまで協力行動が許容できるかなどを、被験者実験や質問紙法等によって明らかにする。

- (3) 循環型社会システムのマルチエージェントシミュレーション

行動主体間の意思決定の相互作用をモデル化し、どのような社会が形成されるか計算機上でシミュレートする。意思決定主体の行動原理としては、上記(2)の実験から得られた特徴や、学習等の自律的に振る舞う意思決定アルゴリズム導入し、それらから創発する社会システムがどう形成されるか、その安定性解析や環境に対する影響等を考察する。

- (4) 仮想実験室での循環型社会システムの被験者実験による検証

制御された実験室環境において、仮想的な社会を構築し、実際の人間を被験者として参加させ、どのような社会が実験室で構築されるかを分析する。経済学的な視点と、心理学的な視点からの両面で現象を明らかにし、その社会システムの構造を解明する。

- (5) LCAの視点を導入した社会制度の設計

循環型社会システムを実現するための社会制度について分析を進める。特に環境評価という側面からは、LCAの手法を取り入れ、持続的な発展が可能な制度設計の問題を考える。実際の人間を利用した実験室での被験者実験やアンケートを用いて、有効性を検証する。

## 4. 研究成果

前節のそれぞれ項目に対応して得られた成果を以下に示す。

- (1) 循環型社会システムの基本モデル構築と経済学的な理論分析

経済理論の1つであるマーケットマイクロストラクチャー理論を基礎に廃棄物回収の

市場に拡張し、図1で示すように回収方法の違いから8種類のモデルを構築し、理論分析を行った。生産者、廃棄物ディーラーが回収すべきか、あるいは消費者自身が回収の役割を行うのが良いかについて分析を進めた。

均衡分析の結果から、生産者が回収すれば、他者が回収するよりは生産者自身の利益を増加することができるが、社会的余剰を最大化するには、生産者は回収せずにディーラーと消費者自身が回収できる場合であることが示された。また、廃棄物を回収しない場合と比べて、回収する場合には廃棄量が半分になることが理論的に示された。

さらに、その結果をもとにして、現在の家電リサイクルや、容器包装リサイクルの制度と比較し、理論的な観点からの考察を行ったところ、容器包装リサイクルの回収方法が非効率である可能性を示唆した。

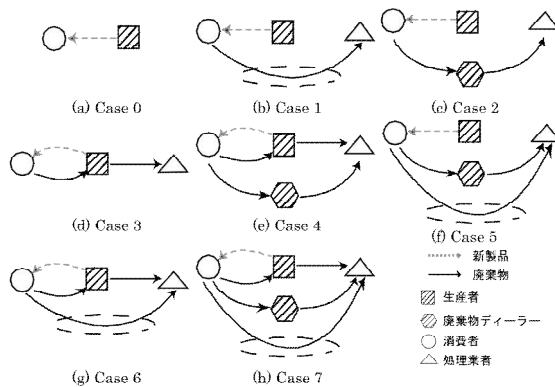


図1：8種類のリサイクル市場モデル

## (2)被験者実験による個の意思決定分析

個人の意思決定を分析するために、被験者実験とアンケートをそれぞれ実施した。被験者実験では、数人からなる社会的ジレンマを拡張したゲームの被験者実験で行動を分析し、アンケートではCO2排出と自身の金銭的利益のトレードオフに関する質問を用意し、環境配慮行動について調べた。

図2は被験者実験の結果の一例を示す。図中のECは環境配慮行動を、EHは非環境配慮行動を意味する。横軸に資源量を取り縦軸は行動を変えた回数である。プレイヤー間で共有する資源が尽きそうになると環境配慮行動へ変化している割合が多いことが分かる。この結果は、人々の共通の財産として有している天然資源や、温暖化の原因となるCO2の排出の問題などにも共通する性質であり、資源枯渇や生態系への危機感が環境配慮行動を生み出す傾向を示している。

一方、アンケートの実施により、人間が持つ環境被害に対する評価が、プロスペクト理論のようは価値関数とは異なり、客観的な期待利得を計算して価値判断をしている可能性があることが分かった。また同時に、自分

自身の利益の減少が僅かであれば、CO2削減を優先したいという環境に配慮した行動を行う傾向も明らかになった。

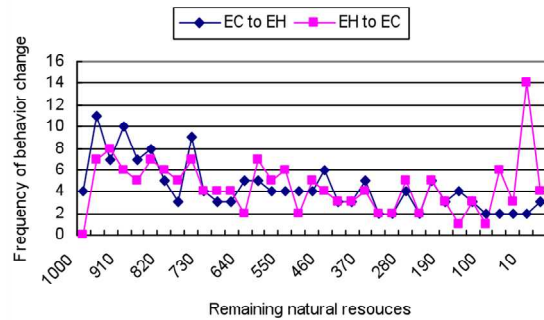


図2：環境配慮行動に関する被験者実験

## (3)循環型社会システムのマルチエージェントシミュレーション

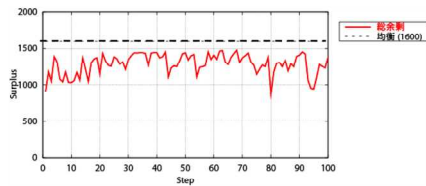
自律的エージェントとして、強化学習に基づいて意思決定を行うエージェントによるマルチエージェントシステムを構築した。シミュレーションでは、完全に合理的ではない複数のエージェント同士の相互作用の結果、どのような安定状態が得られるかについて分析を進めた。(1)で構築したモデルを基礎に、製品の耐久性を含めたモデルに拡張し、シミュレーションを行ったところ、結果として廃棄物回収を仲介するリサイクルディーラーが存在する場合に、リサイクル効率が高く維持できる社会として安定する結果が得られた。これにより、リサイクルディーラーの重要性が示された。

## (4)仮想実験室での循環型社会システムの被験者実験による検証

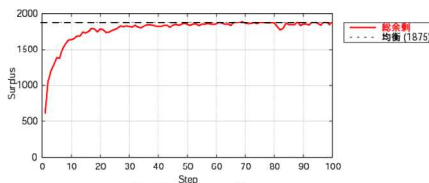
被験者実験を実施し、循環型社会システムの分析を行った。実験経済学的手法に基づき、被験者には実験で得られた得点に応じた現金報酬を与えることで、経済的なインセンティブを付与している。

被験者実験の結果からは、生産者が回収する場合に安定的な市場が形成されることが示された。一方、リサイクルディーラーがいる場合には、理論から逸脱した不安定な市場になり、社会的余剰も減少することが明らかになった(図3)。人間同士が意思決定する場合には、理論解とは必ずしも一致しないことが分かった。(3)のシミュレーションの結果とも相反する結果である。原因の1つとして、生産者とリサイクルディーラーの間の結託により、消費者と処理業者の余剰が搾取されていることに因るものだと示された。しかしながら、これらの相違については、それ以外の人間特有の限定合理性など性質が重なったために、理論と異なる行動が現れている可能性もある。要因の解明については、まだ完全

ではないため、今後のさらなる研究の発展が必要だと考えている。



(a) リサイクルディーラー回収 (Case 2)



(b) 生産者回収 (Case 3)

図 3：被験者実験結果（社会的余剰）

(5) LCA の視点を導入した社会制度の設計  
 LCA の手法を基礎にし、現在では現実社会での運用に向けて取り組まれているものとして、カーボンフットプリント（以下、CFP）がある。CFP とは、材料調達から廃棄・リサイクルまでのライフサイクルを通して排出された CO<sub>2</sub> を、1 製品あたりに換算し製品自体にエコラベルとして添付するものである。そこで、本研究で提案する制度として CFP を利用する。消費者の環境配慮型行動は、持続的発展を実現する社会には重要な要素であり、CFP を活用することで消費者側にも CO<sub>2</sub> の排出上限を設定する制度とした。図 4 に被験者実験の結果例を示す。実験室実験からは、CO<sub>2</sub> 排出量の減少傾向が確認出来ており、制度の有効性を示唆した。

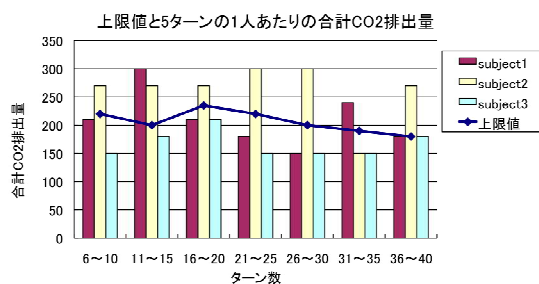


図 4：制度を導入した被験者実験結果

5. 主な発表論文等  
 （研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕(計 5 件)

N. Nishino, T. Takenaka, K. Ueda: “Product Diffusion in a Market with Network

Externalities: An Approach from the Viewpoint of Value-creation among Consumers”, Mistui, Ueda, Kimura (Eds.), Manufacturing Systems and Technologies for the New Frontier, Springer, pp.473-476, 2008 (査読有り)

西野成昭, 金子陽平, 小田宗兵衛, 上田完次: “ネットワーク外部性市場における不完全情報下での意思決定と製品普及プロセス”, 情報処理学会論文誌, Vol. 49, No. 4, pp. 1527-1538, 2008 (査読有り)

N. Nishino, Y. Okawa, S. H. Oda, and K. Ueda: “An Experimental Analysis of Environmentally Conscious Decision-making for Sustainable Consumption”, S. Takata, Y. Umeda (Eds.), Advances in Life Cycle Engineering for Sustainable Manufacturing Businesses, Springer, pp. 407-412, 2007 (査読有り)

N. Nishino, H. Nakayama, S. H. Oda, and K. Ueda: “Recycling of Durable Goods: Modeling and Experiments”, Sobei H. Oda (Ed.), Developments on Experimental Economics: New Approaches to Solving Real-world Problems (Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, Vol.590), Springer, pp.197-202, 2007(査読有り)

Y. Sato, N. Nishino, K. Ueda, “Decision-making on Resource Consumption with Incomplete Information Game using Multi-agent Simulation and Experiments with Human Subjects”, Proceedings of Third Asian-Pacific Congress on Computational Mechanics in conjunction with Eleventh International Conference on Enhancement and Promotion of Computational Methods in Engineering and Science (APCOM'07-EPMECSXI), Paper No. MS24-6-1, 2007 (査読有り)

〔学会発表〕(計 5 件)

山川秀一, 西野成昭, 上田完次: “カーボンフットプリントを導入した社会システムにおける購買者の意思決定と制度設計に関する研究”, 第 4 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集, pp. 144-145, 2009 年 3 月 5-7 日, 北九州国際会議場, (2009)

西野成昭, 小田宗兵衛, 上田完次: “廃棄物回収における行動主体の意思決定と社会制度に関する研究”, 第 3 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集, pp. 254-255, 2008 年 2 月, 名古屋大学, (2008)

N. Nishino: “Decision Making in Social Systems and Institutional Design for Sustainable Society”, International

Conference on the “Science of Design  
-Seeking Essence for Creation and  
Understanding-”, Kyoto, JAPAN, September,  
(2007)

西野成昭,大川泰幸,小田宗兵衛,上田完次:  
“マルチエージェントシミュレーションと被験者実験を用いた資源消費における環境配慮行動の分析”,合同エージェントワークショップ&シンポジウム 2007 (JAWS2007) 論文集, 2007年10月, 沖縄コンベンションセンター, (2007)

佐藤勇気,西野成昭,上田完次:“不完備情報ゲームを用いた資源消費の意思決定に関する研究”,2007年度人工知能学会全国大会(第21回)論文集(CD-ROM),Paper No.2C4-4, 2007年6月21日,ワールドコンベンションサミット(宮崎), (2007)

〔図書〕(計 1 件)

西野成昭(分担執筆):“ゲーム理論”,上田完次編著,新世紀の工学シリーズ4「創発とマルチエージェントシステム」,培風館, pp. 115-142, (2007)

## 6. 研究組織

### (1)研究代表者

西野 成昭 (NISHINO NARIAKI)

東京大学・人工物工学研究センター・助教

研究者番号: 90401299