

人工社会における制度設計の考察 —社会変化の過程と税の徴収について—

富田 真治[†] 生天目 章[‡]

[†] 防衛大学校 情報数理

〒239-0806 神奈川県横須賀市走水 1-10-20

E-mail: [†] g41044@nda.ac.jp, [‡] nama@nda.ac.jp

あらまし 各人が全体の調和を考えず、自分の満足する状態を追求することで、全体の調和は図れるというのが、市場メカニズムのもつ本質である。市場万能主義の下では、政府等による介入や制約は不要だけでなく、むしろ害だということになる。本研究では、エージェントベースアプローチ(Agent-Based Approach)という観点から、制約を加えない自由経済と、税を課す再生経済を比較するための人工社会を構築する。税の徴収の有無、また徴収する場合にはその徴収率が、社会が収容できる人数や社会全体での平均効用にどのような影響を及ぼすか観察することにより、望ましい社会ルールのあり方について考察する。

キーワード 税, S字モデル, トレードオフ

Speculation of System Design in Artificial Society — the process of a change and the levy of the tax —

Shinji TOMITA[†] Akira NAMATAME[‡]

[†] Dept. of Computer Science, National Defense Academy

[‡] Hashirimizu 1-10-20, Yokosuka-shi 239-8686, Japan

E-mail: [†] g41044@nda.ac.jp, [‡] nama@nda.ac.jp

Abstract The market mechanism has a nature that about whole pursuing his satisfaction leads social harmony without considering society. Under the market all-around principle, intervention and restriction by the government are harmful rather than unnecessary. In this research, we build the artificial society to compare the free economy which have no restriction with the self-governed economy which impose a tax to each individual. We obtain the desirable tax rule by considering the effect on efficiency and the population size using Agent-Based Approach.

Keyword tax, S letter model, trade-off,

1. はじめに

人類の活動は地球の資源を消費することによって成立している。我々の繁栄は、この消費の拡大を意味する。しかし、現代社会においては、繁栄の陰の部分である環境問題が様々なところで現れている。もし環境の保全を第一義に考えるとすると、大幅に人間の活動を縮小させる必要があるだろう。しかし、現状は縮小するどころか、それを拡大することを前提に我々の生活は成り立っている。社会変化の過程を出現・突破・成熟という3つの段階に分けて考えるS字モデル[10]によると、我々の近代文明は突破の段階を通り越して成熟の段階に差しかかっている。このままの無策な資源消費の拡大も、極端な縮小も我々、そして子孫

の幸福にはつながらないし、現実的ではないように思われる。では誰が、どのように、そしてどれくらいの規模で必要なコントロールを行えばよいのだろうか。それが簡単な作業でないことは誰の目にも明らかである。

電腦経済学では、資本主義と社会主義について、経済体制と財の形態という観点から図1のように整理している[4]。経済体制は財の所有形態(私有か公有か)とその調整原理(市場か計画か)によって、これまで資本主義(私有—市場)と社会主義(公有—計画)に二分されてきた。しかし、現実には両者の中間的な混合経済体制が広く行われてきた。それは家計部門にまで計画原理を適用することも政府部門にまで市場原理

を適用することも現実にはそぐわないからである。いずれにしても、これからの地球社会は従来の資本主義や社会主義の概念では説明も対応もできなくなると思われる。

本研究は、左上の自由経済と左下にある協議経済の領域をモデル化する。自由経済では、エージェントに何の制約も課さず、自由に財の採取・取引をさせる。一方、協議経済は緩やかな社会制度を指している。財の所有や取引に関しては、各エージェントの合理的判断に任せ、税を徴収するという一点についてだけ社会的所有という要素を加える。以後、本論文ではこれを再生経済と呼ぶ。

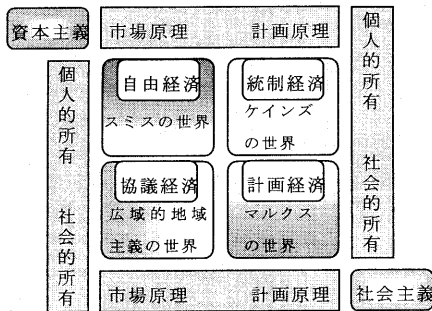


図1 経済体制と財の形態

計算機により社会現象をシミュレートしようという試みは、計算機の発明とほぼ時を同じくして始められた古いテーマである[11]。我々は計算機上に仮想世界を構築し、社会ルールである税の徴収率が、社会変化の過程における人口や社会全体の効用にどのような影響を及ぼすのか比較・評価を行う。

本論文は、以下の5章からなる。第2章では本研究で用いられるエージェントベースシミュレーションの手法を紹介し、エージェントとそれらを取り巻く環境をどのようにモデル化するかについて説明する。第3章では、税率を変化させ、人口や平均効用にどのような影響が生じるかについてシミュレーションを通じて調べ、第4章ではその結果をもとに考察を行う。第5章は、結言である。

2. 方法：エージェントベースアプローチ

エージェントベースアプローチとは、システムのモデルを個々の自律的エージェントからボトムアップに構成しようとする試みである[2]。コンピュータの進歩により個人ベースでのシミュレーションが可能になったことと、オブジェクト指向言語の登場で実装が容易になったことで、エージェントベースアプローチを社会科学の分野に積極的に利用する研究者が増えてきた。

エージェントベースのシミュレータには Swam[5]や ABS[6]のような汎用シミュレータと U-Mart[3]や

RoboCup Rescue[8]のような対象に特化したシミュレータなどがある。本研究では、Epsteinらによる汎用シミュレータの一種である Sugarscape モデル[1][9]に準拠したシステムを採用する。このモデルでは、エージェントは二次元格子上で移動し、砂糖やスパイスといった食物の採取およびその交換などを行うものであり、移動環境下での残存エージェント数や社会全体の平均効用の解析という我々の目的によく合致している。本研究では、Sugarscape モデルを Java 言語により実装したシミュレータを用いる。

2.1 環境

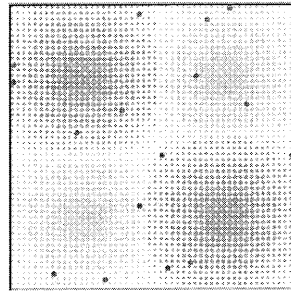


図2 Sugarscape モデルにおける環境

環境は、図2に示すような、エージェントが生存し続けるために必要な財の空間分布として定義される。本研究では環境に2種類の財を用意する。エージェントは必要な財を直接採取するか、他のエージェントとの物々交換することにより手に入れることができる。

環境はトーラス状の格子からなる。格子状のすべての点 (x, y) は2種類の財に関する現在量と最大量という2つの要素を持つ。財はその場所に存在するエージェントに消費されるが、それぞれの場所につき、その場所の最大容量に達するまで5期間あたり1単位の割合で回復する。

環境においては色の濃さが存在する財の量を表し、濃い場所ほど財が豊富に存在する。図1は右上と左下に財1が、左上と右下に財2が豊富にあるという環境設定を示す。エージェントはどちらかの財の蓄積がなくなった時点で死亡する。この設定においては2つの財が空間的に離れて配置されるため、エージェントは生き延びるために、2つの財が豊富にある場所を交互に訪れるか、他のエージェントと財の取引をしなければならない。この財の配置は実験を通じて共通である。

2.2 エージェント

エージェントは、環境において自身の効用を最大にすることを目的とする。各エージェントはそれぞれの内部状態と行動ルールで規定される。エージェントのとり行動は、環境内を移動し財を直接採取すること、

採取した財に応じて税金を支払うこと、隣接するエージェントと財の取引を行うこと、および隣接するエージェントと交配し子孫を残すことの4つに分けられる。以下では内部状態と4つの行動のそれぞれについて述べる。

2.2.1 内部状態

エージェントの内部状態は、環境上における現在地 (x, y) 、現在保有している2種類の財 (w_1, w_2) 、2種類の財の消費率 (m_1, m_2) 、視力 v 、および2種類の財に対する効用関数 $W(w_1, w_2)$ からなる。

消費率は、モデル実行の1ステップごとにそのエージェントが消費する財の量のことである。エージェントは2種類の財のうち、いずれかでも蓄積がなくなった時点で死亡する。消費率 (m_1, m_2) のエージェントは1ステップにつき、 m_1 位の財1と m_2 単位の財2を消費する。

視力 v のエージェントは格子上の直交4方向について、 v 単位先まで見通すことができる。後述する移動方向に合わせ、視野の方向は直交4方向とした。

効用関数は、2つの財に対するニーズを表す。エージェントが財を収穫せずにいる場合の余命期間はそれぞれの財について $\tau_1 = w_1 / m_1$ 、 $\tau_2 = w_2 / m_2$ と計算できる。 τ_1 / τ_2 は、その時点での財1と財2の相対的重要度を表す尺度である。

$m_T = m_1 + m_2$ としたとき、あるエージェントの相対的な限界評価を導く効用関数を以下のように定義する。

$$W(w_1, w_2) = w_1^{m_1/m_T} w_2^{m_2/m_T} = w_1^a w_2^{1-a} \quad (1)$$

ここで、 $a = m_1 / m_T$ である。(1)式は、コブ・ダグラス型の関数である。エージェントに(1)式を最大化させるという目的を持たすことで、エージェントは生存をより危うくしている方の財を相対的に多く集めようとする。

2.2.2 移動に関する行動ルール

エージェントは生き延びるために環境内のより望ましい場所へ移動する。 s を場所として、 x_1^s, x_2^s をその場所における財1と財2の量だとすれば、エージェントは視野にある場所 N_s を対象として、

$$\max_{s \in N_s} W(w_1 + x_1^s, w_2 + x_2^s) \quad (2)$$

が最適となるような地点へ移動する。そのような場所が複数あれば、最も近い場所を選ぶ。そのような地点がさらに複数あれば、最初に見つけた場所を選択する。なお、エージェントが移動できるのは1期間に1度だけとし、その際、エージェント同士の衝突を防ぐために移動は一人ずつ行うが、その順は毎ステップ毎異なるとする。

移動に関するルールをまとめると以下のようになる：

る：

- ・ エージェントは格子上の直交する4方向を、視力の届く範囲で見わたす。
- ・ 他のエージェントのいない場所について、効用関数が最大になる、最も近い場所を選択する。
- ・ 移動した場所にあるすべての資源を採取する。

2.2.3 税の徴収と還元に関するルール

税の徴収と還元に関する概念図を図3に示す。本研究では、税の徴収に関するルールとして、財の採取量に応じてその何パーセントかを徴収する所得税のような徴収法を設定する。

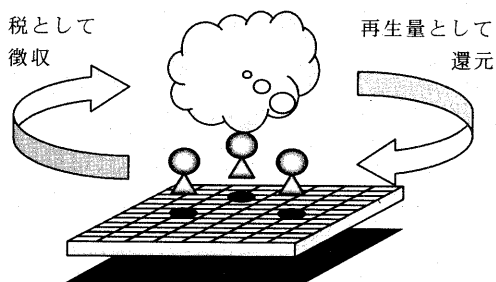


図3 税の徴収と還元

ここで採取した2種類の財をそれぞれ (g_1, g_2) 、エージェント N 人による財の総採取量を C 、税の徴収率を λ 、税の総量を T 、還元倍率を α 、還元量を R とすると、総採取量 C は、

$$C = \sum_{i=1}^N (g_1 + g_2) \quad (3)$$

税の総量 T は、

$$T = \lambda C \quad (4)$$

となり、それから還元量 R は、

$$R = \alpha T \quad (5)$$

と求まる。また、税を差し引いた実質的な効用は、

$$W = (w_1 + (g_1 - \lambda g_1))^\alpha (w_2 + (g_2 - \lambda g_2))^{1-\alpha} \quad (6)$$

となる。

税の徴収と還元に関するルールは、以下のようになる：

- ・ 全エージェントは採取した財の λ パーセントを税として徴収される。
- ・ 徴収された税は5サイクル毎に還元倍率 α 倍されて2種類の財の再生という形で還元される。

2.2.4 取引に関するルール

取引を行うためには財の内部評価をし、それによって交換する財および交換すべき量を決定しなければならない。

ミクロ経済学によれば、財の内部評価はある財の別の財に対する限界代替率(Marginal R S: 以下, MRS)によって求められる[7]. あるエージェントの財1に対する財2のMRSは, そのエージェントが1単位の財1と同じ価値を持つとみなす財2の量を示す. (1)式の効用関数を持つエージェントのMRSは以下のように表される.

$$MRS = \frac{dw_2}{dw_1} = \frac{\frac{\partial W(w_1, w_2)}{\partial w_1}}{\frac{\partial W(w_1, w_2)}{\partial w_2}} = \frac{m_1 w_2}{m_2 w_1} = \frac{\tau_2}{\tau_1} \quad (7)$$

エージェントAとBが遭遇すると, それぞれのエージェントは, このMRSを計算する. $MRS_A > MRS_B$ のとき, AはBよりも相対的に財1を必要としている. したがって, エージェントAは財1の買い手, 財2の売り手となり, Bはその逆となる. 異なるMRSを持てば, 財の交換を通じてエージェントの片方または両方がより満足できることが期待されるため, そのような場合には取引が行われる.

財1に対する財2の交換割合を価格と考えることができる. 上記のエージェントAとエージェントBの組み合わせを再度考える. それぞれのエージェントは自身のMRSを最大化することを目的とするので, エージェントAは財1の1単位を MRS_A 以下の財2で置き換えたいと考え, エージェントBは MRS_B 以上の価格で取り引きしたいと考える. つまり, 価格 p の存在範囲は,

$$MRS_B \leq p \leq MRS_A \quad (8)$$

となる. 以上のことをまとめると, エージェントの取引ルールは以下になる:

- ・ エージェントとそのエージェントに近接するエージェントがそれぞれのMRSを計算する. これらが等しければ終了し, そうでなければ次のステップへ進む.
- ・ MRSの高いエージェントの財2と, MRSの低いエージェントの財1を取引により交換する.
- ・ 双方のMRSから求めた価格を p とする.
- ・ $p > 1$ ならば財1の1単位に対し財2の p 単位を, $p < 1$ ならば財2の1単位に対して財1の $1/p$ 単位を交換する.
- ・ この取引が双方のエージェントのMRSを向上させ, かつそれによりMRSの大小関係が反転しなければ, 最初に戻る. そうでなければ取引を終了する.

3番目のステップにおける価格については, (7)式で表される存在範囲に収まっていれば両方のエージェントにとって少なくとも同意する価値のある価格だといえる. そこで, 本研究では市場メカニズムによる価格を用いた交渉ルールによりシミュレーションを行った.

2.1.5 交配に関するルール

本研究におけるエージェント集団は自然淘汰にさらされる. 財産を失うエージェントが死亡するため集団ではその数を減らす, 一方で優秀なエージェント間での交配によりその数は増える. 初期財産のない新生児はそのままではすぐに死んでしまうため, 親はその子に自身が生まれたときに持っていた財産の半分を与えるとする. このため, 親になるエージェントは財産分割によって自身が困窮することのないよう, 少なくとも一定量の財産を持つ必要がある. 交配に関するルールは, 以下のようになる.

- ・ その近傍が交配可能なエージェントであり, 少なくとも一方のエージェントの近傍に子を配置するための空の場所があれば, 1人の子供が生まれる.
- ・ すべての近隣に対し, これを繰り返す.

新生児の初期財産以外の属性は, 2種の財に対する消費率, 視力, 効用関数などの内部状態は, それぞれについてどちらかの親から受け継ぐものとする.

2.3 社会変化の過程

社会変化の過程を出現・突破・成熟の3局面からなるとする「S字波」の概念モデルを図4の①に示す. 横軸は時間, 縦軸は進化の活力を表している.

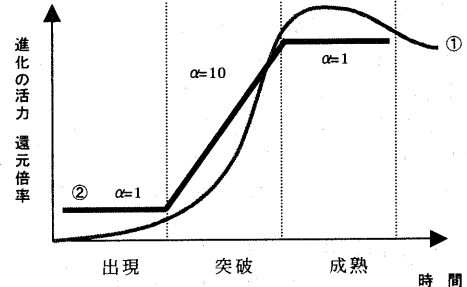


図4 S字モデル

このモデルにおいて, 進化の活力=還元倍率 α と考えることができる. 還元倍率 α は, 徴収された税が環境に還元されるときの倍率である. α が大きいということは, エージェントから見ると, 税としての社会への負担が α 倍プラスされて利益として返ってくることを表している. 社会が発展している右肩上がりの段階(突破)において α は大きく, 逆に初期段階及び, これ以上の発展の見込まれない横ばいの段階(出現・成熟)において α は小さいと考えられる. $\alpha=10$ を突破段階の社会, $\alpha=1$ を出現・成熟段階の社会(図4の②), エージェント一人あたり財50を採取すると仮定して, 人口を変えた場合の税率と還元量の関係を図5に示す.

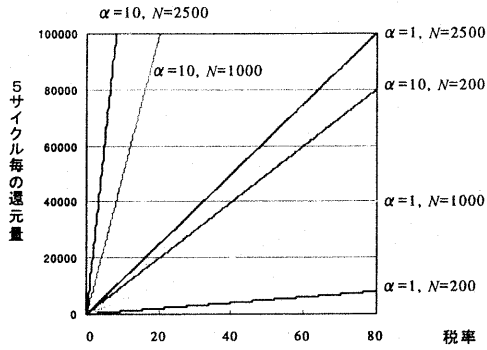


図5 税率と還元量の関係

図5から、税率 λ と還元倍率 α が高いほど、また人口が多いほど還元量も多くなることがわかるが、税率を高くすれば生存できるエージェント数が減り、人口が増えすぎれば利用可能な財が不足する可能性がある。

3. 実験

税率 λ を0%（自由経済）、5%、10%、20%、30%（再生経済）と変更したとき、 $\alpha=10$ （突破）と $\alpha=1$ （出現・成熟）の2つの過程について人口と平均効用がどのような推移をするか、シミュレーションを行った。

パラメータについては以下のように設定した。環境のサイズは、 50×50 とし、財の分布は2.1節で述べたように、北西と南東に財1が密集する地帯を、北東と南西に財2が密集する地帯を形成した（頂上部分の財の量100、底辺部分の財の量10）。初期人口密度を1%、子の生成に必要な財産を5、消費率 m を1から4の一樣分布、視力 v を1から6の一樣分布、エージェントの初期財産を4から8の一樣分布、財の再生は5サイクルに1ポイントを基本とし、3000ステップまで行った。（ $\alpha=10$ の再生経済に対応させるため、 $\lambda=0$ の自由経済は1サイクルに2ポイント再生している。）

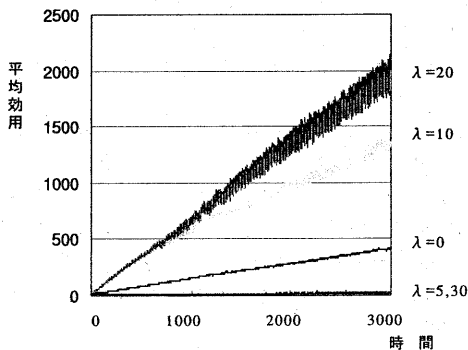


図6 平均効用 ($\alpha=10$)

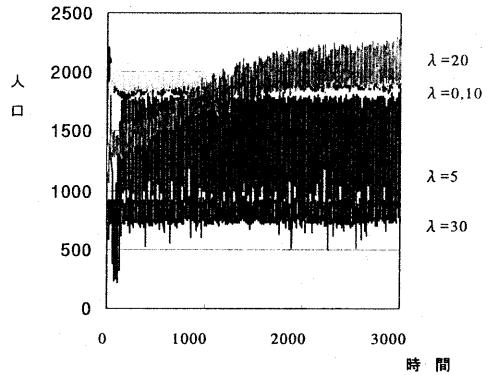


図7 人口の推移 ($\alpha=10$)

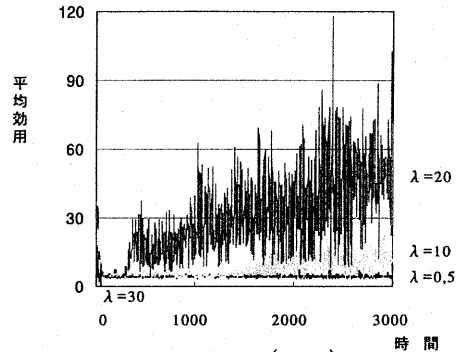


図8 平均効用 ($\alpha=1$)

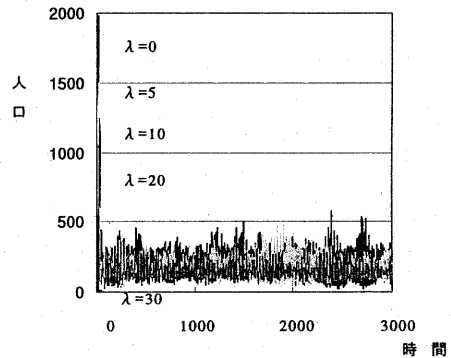


図9 人口の推移 ($\alpha=1$)

還元倍率 $\alpha=10$ （突破）において税率 λ を変化させた場合、人口、平均効用ともに対照的である。

平均効用について見ると、 $\lambda=0,10,20$ の時に右肩上がりに伸びている。これに対し $\lambda=5,30$ は、微々たるもので横ばいのままになっている（図6）。

人口について見ると、 $\lambda=5$ の場合、上下の変動が激しい（図7）。これは税率と人口に財の再生量が追いつかず、エージェントの大量餓死が発生しているからである。 $\lambda=0,10$ の場合、一気に2000人近くまで増えて、安定している。 $\lambda=20$ の場合、 $\lambda=0,10$ ほど即効性はな

いものの、1500 サイクルあたりからもっとも多くなっている。 $\lambda=30$ の場合、人口は 900 あたりで安定している。

人口、平均効用ともに、低すぎ・高すぎな課税($\lambda=5,30$) < 何も制約を加えない($\lambda=0$) < 適度な課税($\lambda=10,20$) という関係になっている。

還元倍率 $\alpha=1$ (出現・成熟) において、税率 λ を変化させた場合 (図 8, 9), 平均効用、人口推移ともに初期段階 (はじめの数十サイクル) においては、 λ が小さいほど大きくなる。これは資源に対する人口が少ない場合は、各々が何の制約もなしに、自由に行動する方がよいことを示している。

人口については、 $\lambda=30$ と高くしすぎたときには全員死んでしまうが、 $\lambda=10 \sim 20$ の範囲において社会に生存できるエージェント数に際だった差はない (図 8)。しかし、平均効用では $\lambda=0$ 、 $\lambda=5$ のときは、横ばいになっているのに対し $\lambda=10$ 、 $\lambda=20$ では右肩上がりになっている (図 9)。短期的に見れば、制約のない自由な社会の方がいいように見えるが、長期的に見ればここでも制約が必要なが分かる。

4. 考察

社会が突破段階にあるとき、適度な税率を課すことによって、社会全体の人口、効用ともに大きくなることが分かった。これは、現実社会に即した結果になっているといえる。採取量の増加 $\rightarrow$ 税の総量の増加 $\rightarrow$ 財の還元量の増加 $\rightarrow$ 人口の増加 $\rightarrow$ 採取量の増加、というように正のフィードバックが働き、社会全体が豊かになっていくのである。

社会が出現・成熟段階にあるときは、採取量が少ない $\rightarrow$ 税の総量が少ない $\rightarrow$ 財の還元量が少ない $\rightarrow$ 人口が増えない $\rightarrow$ 採取量が増えない、というように負のフィードバックが働く。この負のフィードバックが働く状況においても、 λ が 10, 20 の場合、効用平均が右肩上がりになっていることは注目に値する。成長の見込まれない停滞した社会状況にあっても、社会ルールによっては効用を大きくすることができるということを示している。

制度を比較・評価するためには、短期的に見るのか、長期的に見るのか、という観察する視点を明らかにすることが重要であることが分かった。無制約な自由経済の方が短期的には優位に見えるが、長期的に見ると、税という形での負担を全員で負うという社会ルールを設定する再生経済の方が、望ましい結果を得られるのである。

5. おわりに

本論文では、社会ルールである税率が社会変化の過

程における人口や平均効用の推移に、どのような影響を与えるかについて調べた。税という一見すると負担に思える社会的制約・ルールが、実は社会が突破段階にあるときはもちろん、出現・成熟段階においても不可欠であり、各人が自由に何の制約もなく財の採取・取り引きするよりも、結果的に社会をより望ましい方向に導く鍵になっていることが分かる。

社会が変化していく中で、限られた数世代による自由の謳歌は、後に続く多くの世代の犠牲を伴うものであり、各世代の小さな負担によってのみ社会全体の効用の増進は図られるのである。自由と制約、即効性のある制度と長期的に優位な制度は、トレードオフの関係になっているのである。

本研究では、税の徴収によって財の還元量が決まるという社会的制約を設けたが、今後、エージェントが財を消費すれば廃物がでることを考慮し、財 $\rightarrow$ エージェントによる消費 $\rightarrow$ 廃物 $\rightarrow$ エコサイクルによる還元 $\rightarrow$ 財という物質循環を基本としたトータル思考の経済モデルを構築し、環境という閉じた世界での社会の持続性について明らかにしたい。

文 献

- [1] Epstein, J. M., and Axtell, R. “人工社会”, 服部正太, 木村香代子, 構造計画研究所(1999)
- [2] 出口弘, “複雑系としての経済学”, 日科技連(2000)
- [3] 佐藤浩, ピンセント・ウンテキスーン, “エージェントベースアプローチによる移動環境下における相対取引の特性”, シミュレーション Vol.21,(2000)
- [4] 光延昂毅, “エントロピー概念を組み込んだ経済過程について—生態モデルの考え方”, エントロピー学会(1990)
- [5] Luna, F. and Stefansson, L “Economic simulations in Swarm :Agent-Based Modelling and Object Oriented Programming”, Kluwer Academic Publishers(2000)
- [6] 玉田正樹 “日本発マルチ・エージェント・シミュレーションのご紹介”, 計測自動制御学会システム工学部会第 22 回研究会予稿集, 2001
- [7] 奥野正寛, “新版ミクロ経済学入門”, 日本経済新聞社(1990)
- [8] RoboCup-Rescue 技術委員会, ロボカップ日本委員会 編 “ロボカップレスキュー—緊急大規模災害救助への挑戦”, 共立出版(2000)
- [9] 山影進, 服部正太, “コンピュータの中の人工社会”, 構造計画研究所(2002)
- [10] 公文俊平, “文明の進化と情報化”, NTT出版(2001)
- [11] von Neuman J, “Theory of Self-Reproducing Automata”, University of Illinois Press(1966)