

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 21 日現在

機関番号：32663  
 研究種目：基盤研究（C）  
 研究期間：2009～2011  
 課題番号：21530665  
 研究課題名（和文） マルチエージェントによる人工社会の基礎モデル構築  
 研究課題名（英文） Basic Modeling of artificial society by multi-agent simulation  
 研究代表者  
 池田 誠（IKEDA MAKOTO）  
 東洋大学・国際地域学部・教授  
 研究者番号：70328649

研究成果の概要（和文）：本研究では、コンピュータ上に人工的に作り出した社会を用いて、様々な社会現象を再現したり、試行実験を行ったりするための基礎モデルを構築した。そのために、人間の代わりとなる多数の主体（マルチエージェント）による相互作用をモデル化する手法としてマルチエージェント・シミュレーション（MAS）を用いた。本研究では、多主体間の相互作用によって様々な社会科学分野の基礎的な現象に関するモデルを構築した。

研究成果の概要（英文）： In this study I made some basic social science models about artificial societies. Artificial society is the multi-agent based computer simulation. The aim of this study is to construct basic models referred to interaction with multi-agents, in order to model the social scientific phenomena.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2010 年度	700,000	210,000	910,000
2011 年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：社会科学

科研費の分科・細目：心理学・社会心理学

キーワード：マルチエージェント、性格 5 因子、仮想世界

1. 研究開始当初の背景

マルチエージェント・シミュレーション（MAS）は、これまで人文社会科学で用いられてきた線形・非線形のコンピュータ・シミュレーションとは全く異なる「複雑系」という新しい考え方に基づいている。

複雑系による MAS の定義は多様であるが、本研究の出発点ともいえる J. M. エプスタ

インと R. アクステルの『人工社会：複雑系とマルチエージェント・シミュレーション』（原著 1996、邦訳 1999）を参考にすれば、「単純な行動ルールに基づく多数のエージェントを、シミュレートする環境にばらまいて、巨視的な社会パターンが現れるのを待つこと」、すなわち、「社会構造の創発」（ボトムアップによる集合構造の出現）ということができる。

換言すれば、「多数の個人の動きから社会全体の特徴的な動きが創発することをコンピュータによってシミュレーションし、その際の条件や含意を明らかにするという新しい方法論に基づいた研究である」といえる。

日本の社会科学分野においてMASによる人工社会研究を中心的に牽引されてきた東京大学の山影進教授は、2002年に『コンピュータの中の人工社会』を編著し、その後、人文社会科学の研究者でも簡単に利用できるMAS用ソフトartisocを開発し、その解説書ともいえる『人工社会構築指南』(2007)を著すなど先端的な研究を進めてきた。このような先駆的な研究やソフトの開発によって、日本における人工社会の研究環境や研究基盤そのものが、数理学やコンピュータの専門家ではない人文社会科学の研究者にもようやく開けてきたといっても過言ではないものといえよう。

本研究の代表者である池田も、線形・非線形の計量モデルによるコンピュータ・シミュレーションを用いて数多くの社会モデルを研究・教育・実務的応用面などで作成してきたが、artisocの出現によってようやくMASへの道を開かれた一人である。

## 2. 研究の目的

本研究は、社会科学における基礎概念や基礎理論などを包括的に複雑系マルチエージェント・シミュレーションの手法によってコンピュータ・モデルとして構築し、グローバル化や情報化、リスク社会化における人々の社会生活や持続可能な発展に関する新しい社会システムのシミュレーションを行うことを目的として実施したものである。

本研究では、人文科学的な「人間」をパソコン(PC)上に代理人(エージェント)として作成し、それらの多数の代理人(マルチエージェント)が相互作用を行うPC上の仮想的な社会(人工社会)を作成した。その人工社会において様々な条件や環境要因を変化させて模擬実験(シミュレーション)を行うという新手法(マルチエージェント・シミュレーション:MAS)を用いて、人文社会科学の様々な概念や理論が創発される(ボトムアップ的に集合行動や集合構造が出現する)ことを検証し、人文社会科学全般の基礎モデルを構築した。

## 3. 研究の方法

池田の専門は、メドウズらの『成長の限界』で有名になった非線形フィードバック・ループを中心とするシステム・ダイナミクス(SD)を用いた社会モデルである。(著書、論文等参照)SD研究においてもSDの専用ソフトにMASが利用可能な機能が付加され、SDとMASという全く異なる発想を統

合した研究が進められ、内外のSD学会でも発表や論文が出始めた。しかし、このようなSD専用ソフトに付加されたMAS機能では、池田にとっても、おそらく多くの人文社会科学の研究者にとっても操作性に問題があると言わざるを得ないのが実情である。

本研究で使用するartisocは、人文社会科学の研究者等にも簡単に利用できるように山影教授が中心となって開発したいいわゆる簡易型MAS専用ソフトである。これによって、MAS研究が新たな段階に入ったのは前述のとおりである。それに加えて、本研究では、これまで池田の企画で開発されたST/SD用の簡易ソフトSimTaKNでグラフィカルな操作で作成したモデルをartisocに自動的に変換してシミュレーションを行うことができるSimTaKN2artisocを開発しモデルリングとシミュレーションの一覧性や透明性・操作性・効率性を高めた。

また、本研究の独創的な方法として、人文社会科学の研究全般に利用可能なMASの基礎モデルを構築するという当初の目的のために、エージェントに人格すなわち心理学的な性格5因子(いわゆるビッグファイブ)を導入し、従来の生物的なエージェント(代謝や交配、適応や遺伝などの機能を有するエージェント)に「心」を持たせて「より人間らしいエージェント(本研究ではこれを「ヒューマノイド(Humanoid、人間もどきの意)」と呼んでいる)を基礎にMASによるモデル構築を行った点である。

## 4. 研究成果

人工社会の代表的な先行研究のモデルから、人工社会を研究するための人口学、心理学、社会心理学、社会学、政治学、経済学等に関する基礎モデルを作成し、その内容を池田のホームページで報告書『人工社会の基礎モデル集』(158頁PDF版)として公開し、報告書内の全てのモデル(artisoc版100本、SimTaKN2artisoc版8本)も公開している。また、人工社会システムの全体を総括する報告書として1万年の人類史をベースに『創発する地球市民社会(MASによる人工人類(ヒューマノイド)の1万年と未来のシミュレーション)』(221頁、PDF版、出版準備中)もホームページで公開し、その中の全てのMASで作成したモデル(artisoc版94本、SimTaKN2artisoc版35本)も公開している。

前者の報告書『人工社会の基礎モデル集』の目次は次の通りである。作成したモデルの項目に対応しているため、目次=作成モデルとして紹介する。

### 第1章 人工社会の代表的な先行研究

1-1. エプスタインとアクステルの『人工社会』SugarScape(ジニ係数、文化、ネット

ワーク、疾病、戦争、スパイスと砂糖の交換)  
1-2. Generative Social Science (創発的社会科学)

## 第2章 人口学的 Humanoid モデル

2-1. 人口増加モデル(SDタイプ、ユニバース・タイプ、エージェント・タイプ)

2-2. 人口の自然増加モデル(出生と死亡のモデル化(SDタイプ、MASタイプ、死亡率・出生率モデル、死亡原因))

2-3. 出生モデル(性別年齢別3区分、年齢ごとの死亡率と出生率による人口モデル、配偶者を見つけて結婚・出産)

2-4. 異なる地域の人口増加(X軸で地域を表現、地域の人口統計に構成比、婚姻モデルの人口統計)

2-5. 社会増加(転入と転出)

## 第3章 心理学的 Humanoid モデル

3-1. 認知心理学(Q学習(マルコフ決定過程、分散学習、一人荷物あり、シュガースケープへの応用))

3-2. 行動特性モデル(人格・性格、人間の行動特性を簡単に表現するモデル、5因子のグラフ表現、男女別の性格をグラフ化)

3-3. 性格の5因子Big5から文化価値類型CuIVへ(文化価値類型を人口統計型に変更、MASによる5因子モデル)

3-4. 個人における5因子の形成と発達

3-5. ゲーム論的な5因子人工社会MASモデル

3-6. 5因子人工社会モデルの意味と今後の課題

## 第4章 社会心理学的 Humanoid モデル

4-1. 5因子の社会心理学的モデル

4-2. 5因子モデルの一般システム論的な対応関係

4-3. 定常人口社会モデル(日本の200年間)

4-4. 定常社会の文化価値類型モデル(シユプランガー)

4-5. 封建的な文化価値類型から近代的な文化価値類型への変化

4-6. 国際社会に対抗・対応した国内体制の検討

4-7. 人間行動の時間的、空間的、社会的なシミュレーション

★注:シユワルツの文化価値類型に最終的には変更したので本編参照。

## 第5章 社会学的 Humanoid モデル

5-1. 行為論・・・心理学的モデル参照

5-2. 相互作用論・・・社会心理学(+ゲーム論)モデル参照

5-3. 集団論:集合行為と個人行動の比較モデル(収穫逡減)

5-4. フリーライダーと組織管理のモデル

5-5. 社会資本の供給

5-6. フリーライダー(納税回避者)

5-7. 同盟の経済理論のモデル

## 第6章 経済学的 Humanoid モデル

6-1. 1財と2財の消費モデル

6-2. 消費と生産

6-3. 消費と生産と交換

6-4. 生活者自らの意志決定

6-5. 組織化の生産性(企業行動)

6-6. 一人ずつチームに参加

6-7. 消費者行動

6-8. 10人ずつチームに参加

第7章:仮想世界ゲーミングのモデル(フェーズI.食糧、労働、企業+性格)

第8章 水道事業のSDモデル:SD-AHP-MASモデル

第9章 マーニーとカバナのニュージーランド・ワイン産業モデル

第10章 1万年の文明モデル(2010年4月時点の中間レポート)

後者の報告書『創発する地球市民社会』の目次は次の通りである。作成したモデルの項目に対応しているので、目次=作成モデルとして紹介する。

## 第1章 社会システム・モデルの基礎

1.1. 点型人間=ヒューマノイドの歩み

1.2. ヒトは歳をとる

1.3. 個人差=マルチ Agt らしさ

1.4. 性別の導入

1.5. 死亡のモデル化

1.6. 出生のモデル化

1.7. 食欲を導入するための代謝モデル

1.8. 食料-自然 Agt の導入

1.9. 家族 Agt の導入

1.10. 人口統計モデル

1.11. 食料の検討

## 第2章 人間の行動特性5因子モデル

2.1. 人間の行動特性モデル(Big5=5因子モデル)

2.2. 人間の行動特性5因子

2.3. モデル化のための仮定等

2.4. Big5と社会との関係性

2.5. Big5と職業適正・文化価値・交流分析

2.6. 個人主義-集団主義と経済発展

2.7. 日本と欧米における自己と文化の相互構成システム

2.8. Big5と個人レベルの価値構造

2.9. 個人の価値構造と Big5

2.10. メタ分析による個人主義と集団主義の否定

2.11. Big5と文化価値

参考1:5因子とパターン変数

参考2:図 日本の1870年(明治維新後)から2070年までの200年間における世代交代と5因子の変化(農耕型から競争型へ)

参考3:環境変化ゼロから激変下でQ学習モデルの報酬累積値

## 第3章 農耕から都市文明モデル

3.1. はじめに

- 3.2.4 万分の1のモデル化
- 3.3. 社会的条件
- 3.4. 気候変動
- 3.5. 農耕の開始：農業生産性 0.04%モデル
- 3.6. 余剰労働力
- 3.7. 地域的な集団の形成
- 3.8. 食料の山と視力(食物を Agt 化したモデル)シュガースケープ
- 3.9. 視力・体力が移動、食物採取に影響するモデル
- 3.10. 餓死の大量発生と餓死の恐怖からの開放を図るモデル
- 3.11. 必要性に応じてヒトが判断するモデル
- 3.12. ヒューマノイド・モデル (改訂版)
- 3.13. 1 万年前から 5,000 年前までのモデル
- 3.14. 農業の設定
- 3.15. 長期的な農地拡大可能面積と現状の差を農業従事者数で割ってその分の農地を開拓するモデル
- 3.16. 結婚について
- 3.17. 個人のエージェントの人口移動モデル
- 3.18. 地域エージェントによる都市形成モデル
- 3.19. まとめ
- 参考：ミレニアム開発目標 (MDGs:)
- 第4章 地球規模の相互作用 (協調・交易と非協調・戦争)
- 4.1. シミュレーションの目的と期間、地域区分
- 4.2. モデルの構造
- 4.3. ゲーム論による社会集団の形成と社会の存続について (ベース：狩猟採集時代モデル)
- 4.4. 10 地域の 2,000 年間のデータ
- 4.5. 1 万年前から 8,000 年前までの世界の人口と経済
- 4.6. 気温の変化で人口の増加を変更した 10 地域モデル
- 参考：異常気象と人口・経済 (『災害の人類学』から)
- 4.7. 生態学的許容量 (エコロジカル・フットプリント) の 10 地域集計
- 4.8. 1 万年の文明モデルの交流ネットワークの設定
- 参考：水島司著『グローバル・ヒストリー入門』から
- 4.9. 1 万年の文明交流モデル
- 参考：5 因子と A. スミスの国際関係モデルの可能性
- 4.10. シミュレーションの前提条件の設定方法 (1) 協調と非協調
- 4.11. シミュレーションの前提条件の設定方法 (2) 交通手段と人口・経済規模の影響
- 第5章 エネルギー革命と国際共生社会はじめに
- 5.1. 世界の所得水準はいつ同等になるか？

- 5.2. エネルギーの可能性
- 5.3. 食糧と環境の可能性
- 5.4. 日本の食糧生産について石油との関係
- 5.5. 日本の一人当りエネルギーについての将来推計値

結論

## 第6章 地球市民社会システムの創発

- 6.1. 5 因子による相互作用とランダムな利得行列によるゲーム化・・・ 176
- 6.2. モデルの概要
- 6.3. シミュレーションの結果について
- 6.4. シミュレーション結果の例示
- 6.5. 将来への応用
- 6.6. 世界モデルによる前提条件の整理
- 6.7. 世界モデルによる人口変化の3通りとパターン変数の合体・・・ 194
- 6.8. 結論：地球市民社会の創発にむけて
- 補：SimTaKN2artisoc の基本的な動作

以上のように全体は6章構成になっており、章別に概要を紹介すると次の通りである。

第1章の「社会システム・モデルの基礎」では、人工人類 (点型人間=ヒューマノイド) の年齢、性差、死亡、出生、代謝、食糧、家族に関するモデリングとシミュレーションを紹介している。ここでは、家族や人口の生態学的な均衡などをシミュレーションしており、近親婚を排除した家族形成のモデル化と、この家族モデルを用いて晩婚化をシミュレーションすると 20 歳から 22 歳程度の晩婚化を文化的に導入できると人口が均衡することなどが得られる。

第2章の「人間の行動特性 5 因子モデル」では、ヒューマノイドに心理学的な性格モデル (行動特性 Big5) を導入し、シュワルツの社会的な文化価値構造の類型をもとに近代と前近代を検討する基礎を紹介している。行動特性の 5 因子は悲観・楽観、外向・内向、好奇心・経験、協調・競争、合理・直観を表わす情動・活動・遊戯・関係・統制の 5 つの因子からなっている。これらをエージェントに持たせることで、個々のエージェントの人格 (パーソナリティ) とした。さらに、エージェントの行動特性をシュワルツの文化価値類型に近似した形で集計することによって各社会システムの文化価値類型をモデルで再現しているものと見なした。(後述するように、パーソンズなどの近代と前近代の対比を用いて、近現代文明後の将来の文明を「脱近代文明」、「共生社会」、「還流文明」、「地球市民社会」などと呼んでいる。)

第3章の「農耕から都市文明モデル」では、仮定的な気候変動による食糧生産の変化や、農耕の開始、農業生産性 0.04%モデル、余剰労働力、地域的な集団を形成するモデルを作成した。コーエンの『新人口論』からおおよそ 1 万年前の農耕牧畜に適した動植物の発

生以降の食糧生産性が年 0.04%程度で増加すると仮定するとおおよそ 1,850 年間で生産性が倍増し、8,000 年前頃に農耕牧畜だけで自給可能な社会システムが出現し、6,000 年前頃に農耕牧畜による食糧生産で食糧生産に携わらない人口（現代的な表現では第二次・第三次産業従事者）がほぼ同数になり、5,000 年前頃に都市革命や文明が勃興してくることになる。これらをヒューマノイド・モデル（改訂版）を用いて、1 万年前から 5,000 年前までの農業のモデルや長期的な農地モデル、個人のエージェントの人口移動モデル、地域エージェントによる都市形成モデルによる 1 万年のシミュレーションを紹介した。人口移動が発生すると生態学的に均衡していた地域も簡単に崩壊することが再現され、周辺からの人口流入が頻繁に発生する交流結節点にある地域は、外部からの人口流入を阻止する生活形態（＝都市）や能力（＝防衛力）を持つ必要性が高かったことと、それにも関わらず頻繁に滅亡した可能性が高いことなどが分かった。

第 4 章の「地球規模の相互作用（協調・交易と非協調・戦争）」では、ゲーム論による社会集団の形成と社会の存続（狩猟採集時代モデルをベース）による再検討を行う。マディソンによる地域の 2,000 年間のデータを用いて紀元後の世界と、1 万年前から 8,000 年前までの世界 10 地域のモデルをシミュレーションした。ここでは、生態学的許容量（エコロジカル・フットプリント）の 10 地域集計や、1 万年の交流ネットワークを想定した 10 地域の文明交流モデルを紹介した。なお、参考として「5 因子と A. スミスの国際関係モデル」の可能性を検討した結果も紹介した。その結果は、アクセルロッドのゲーム戦略選手権モデルと同様に協調的な国は国内でも高い利得を得ているが、非協力的（競争的）社会と国際関係を持ち始めるとその国の利得は減少し、非協調的な国の利得が増大することとなる。このモデルでは、アダムスミスの『道徳感情論』のモデルも用いて、非協調的な国との交流によって協調的な国も非協調的な価値観に態度変容することを用いているが、その詳細な説明は省略している。10 地域のシミュレーションも、ゲーム論的な交流を行うことでシミュレーションしているが様々な結果が生じることから、多様性を表わしているものと解することも可能であり、比較的人類史に近いパターンを紹介した。

第 5 章の「エネルギー革命と国際共生社会」では、SD の世界モデルを総合的に見直すことにはならないが、一人当りの GDP が人口増加に大きな影響を及ぼしていることから、世界の所得水準が同等になる時期の官位推計やエネルギーの可能性、食糧と環境の可能性、日本の食糧生産について石油との関係、

日本の一人当たりエネルギーについての将来推計値などについて、簡単な推計による検討結果を紹介した。石油が可採埋蔵量の最大値を超えるピークオイルと呼ばれる状態に既に入っている可能性や今後 10 年、20 年程度で限界に達する可能性について文献資料を基に推計すると、ピークオイルは消費する石油の状況によって時期がずれるだけで、もし先に伸びれば伸びるだけ残存埋蔵量は激減し、ピークオイル後の減少が激化するだけであることなどが分かった。なお、エネルギー人口論についても再試算しており、一つの目安となることが分かった。

第 6 章の「地球市民社会システムの創発」では、5 因子による相互作用とランダムな利得行列によるゲーム化とそれによるモデルの概要を示し、シミュレーションの結果について概説する。結論は、近代的な文化価値類型の利得がプラスになることもマイナスになることもありうる。従って、近代的な文化価値類型が有利な今日的な状況は、一つの結果でしかないことなどが分かった。近代と前近代＝地球市民社会（ここでは、前近代を脱近代、共生社会、還流文明などと同一と見なすと仮定している）が交互に登場することを示すシミュレーション結果の中から、発生した一例として紹介した。また、将来への応用として、世界モデルによる人口変化の 3 通り（成長・停滞・崩壊）とパターン変数を合体させたモデルも紹介した。

以上のような研究報告書と合わせて『人工社会シミュレーション：SimTaKN2artisoc で作る人工社会構築指南（導入編・応用編）』（51 頁、PDF 版）もホームページで公開し、モデル（artisoc 版 21 本、SimTaKN2artisoc 版 35 本）も公開している。SimTaKN2artisoc は、本研究で開発されたグラフィカルインターフェースを用いた SD から MAS への変換も可能なソフトである。このソフトの操作説明と操作例用のモデルも公開している。作成したモデルの項目に対応しているので、目次＝作成モデルとして紹介する。

#### 導入編

1. エージェントを動かす
2. エージェントに判断させる
3. エージェントに周囲の環境を調べさせる
- 3-2. コントロールパネルを作る
- 3-3. 1 種類のエージェントだけに注目する（第 6 章）

#### 応用編

4. 立ち話、5. 分居モデル
6. 空気感染モデル
7. プランクトンの捕食モデルから食料採集モデル
8. ボイド・モデルから問題群回避のモデルへ、問題群回避のモデル、問題解決と性格（行

動特性) モデル

9. 六角モデルで帝国モデル
10. アクセルロッドのゲーム戦略選手権モデル
11. ゲーム戦略選手権モデルの模倣による学習のルール化
12. 適者生存のルール化

以上のような研究成果を学会やホームページなどで内外に公開して、様々な情報交換等の機会を利用して本研究の更なる充実を図りたいと考えている。

#### 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 2 件)

- ① 池田誠 「環流文明とマルチエージェント・シミュレーション」2011年11月『比較文明』比較文明学会 学会誌 Vol.27、pp.74-88 (査読なし)
- ② 池田誠 「四大文明のシミュレーション・モデルの研究」2009年「システムダイナミクス」システムダイナミクス学会日本支部学会誌 Vol.8、pp.61-76 (査読有り)

[学会発表] (計 4 件)

- ① 畑圭輔・森俊勝・池田誠 「文科系大学生の仮説検証力向上に向けたシミュレーターソフト artisoc の活用」教育システム情報学会第6回研究会、2012年3月17日、大阪工業大学
- ② 池田誠 「原発被災地域の復旧・復興と西洋と東洋の文明観」比較文明学会、2011年11月20日、中央大学理工学部後楽園キャンパス
- ③ 池田誠 「エネルギー人口論と国際共生社会」比較文明学会、2011年10月22日、東洋大学白山第二キャンパス
- ④ 池田誠 「人類文明のモデリング・シミュレーション試論」比較文明学会、2009年11月29日、立教大学

[図書] (計 1 件)

- ① 池田誠 『人類社会1万年のシミュレーション：人口社会システム研究ノート』書籍工房早山、2012年6月28日発行(予定)、221頁

[その他]

ホームページ等

<http://www2.toyo.ac.jp/~mikeda/>

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

池田 誠 (IKEDA MAKOTO)

東洋大学・国際地域学部・教授

研究者番号：70328649

##### (2) 研究分担者 (0)

##### (3) 連携研究者

山影 進 (YAMAKAGE SUSUMU)

東京大学大学院・総合文化研究科・教授

研究者番号：10115959