

メカニズム指向 ABM シミュレーション研究部会

萩林成章（千葉工業大学名誉教授）

Causal Mechanism Oriented ABM Simulation Research Group
Shigeaki Ogibayashi Emeritus Professor of Chiba Institute of Technology

キーワード： ABM, モデル構造, 因果メカニズム, 社会現象, シミュレーション

1 新設部会の背景

近年の様々な社会問題の根源には、テクノロジーが各段に進歩している一方で、種々の社会現象についてメカニズム理解が不十分なまま対処療法的に種々の政策が決定されている実態がある。これは国内問題だけでなく国際的問題においても然りである。その背景には自然システムと社会システムの根本的な相違がある。

著者は、この相違点を克服し、社会現象の因果メカニズムを解明するためのエージェントベース（以後 ABM）による方法論を提唱している。即ち、ABMは 100%ボトムアップなモデル構築が可能のため、ABMによる人工社会において現象創発を再現するための必要不可欠なモデル構造を実験的に求めることによって、因果メカニズムを解明することが原理的に可能である。筆者はこれまでの実証研究によって、この原理を種々の社会経済現象について確認すると共に、多くの研究者が参入できるようにオブジェクト指向プログラム構築を進めてきた。このたび、この方法論の妥当性検証と、汎用性のあるプログラム開発の目途が付いたので、多くの研究者の参入を呼びかけると共に、種々の社会経済現象のモデル条件と因果メカニズム解明に関する知見の蓄積を目指す。

2 社会科学における科学的方法論の取り組みの現状

社会システムにおける諸現象は人間の行動とその相互作用の結果として引き起こされ、これが二つの点で自然システムと根本的に異なる特徴をもたらしている。第一に、社会システムはミクロマクロリンクが存在する複雑系システムであり、諸現象の原因と結果の関係は方程式ベースのモデルで示せるほど単純ではない。また要素還元指向は有効ではなく原因と結果の関係を思考するにはシステム思考が必要である。第二に人間の行動は時代や文化、地域等の影響を受けるため、真実は時空を超えて真の原則は成り立たない。そのため、現象がマクロであればあるほど一般にコントロールされた実験は不可能であり、よって自然科学におけるような、実験によって仮説を検証することができない。

このような矛盾を背景に科学哲学においては批判的実在論が最も科学的なアプローチとされている。その要点は演繹、帰納、アブダクションによる推論である。推論は仮

説であり、どの推論が正しいかを判定できる方法論は既存の社会学の体系には存在しない。

一方、この大きな矛盾は、100%ボトムアップな ABM によって克服することが可能である。しかしながら、これまでの ABM はアブストラクたなモデルかもしくは 100%ボトムアップではないモデルが主流であった。そしてモデルの妥当性もモデルの精緻度によって異なるという考え方（Gilbert, 2008）が主流である。

本研究部会では ABM は現実社会の忠実な模型であるべきという考え方の下に、アブダクションによる推論をモデルによって検証することによって、社会科学における種々の現象の因果メカニズム解明が可能であることを示し、その知見の蓄積及びプログラム汎用化を目指す。

3 ABM による因果メカニズム解明の原理と手順

全ての社会現象は人間の行動とその相互作用の結果としてボトムアップに生じる。この際、現象創発の原因となるものは、現象に関わる意思決定主体の種類とその行動様式及び意思決定に関わる変数（以後システム構造、又はモデル構造と呼ぶ）である。一方、ABM は、コンピュータ上に人工社会を構築し実システムと同じ原理で 100%ボトムアップに実現現象の創発を再現することが原理的に可能である。実現現象の創発を再現するためには、原因としてのモデル構造が実システムのシステム構造と類似であることが必要である。即ち従来からのアブダクション等による推論に基づき人工社会のモデル構造をプログラムモデルとして構築し、その結果が実現現象を再現すれば仮定した推論は正しい、再現できなければ推論を見直し修正して同じ操作を繰り返す。このプロセスをコンピュータ実験として繰り返すことによって、着目したマクロ現象を再現するために必要不可欠なモデル構造が実験的に得られる。

この原理を利用して社会現象の因果メカニズムを解明する方法論は以下の通りである。

- (1) 着目する社会現象の定性的特徴を定義する。
- (2) 当該マクロ現象の成因を推論し、推論に基づきモデル構造を仮定し、モデルを構築する。
- (3) モデルに基づきシミュレーション計算を実行し、着目する特徴が再現できなければ上記(2)にもどる。再現できればステップ(4)に進む

- (4) 仮定したモデル構造が何故必要不可欠であるかを考察することにより、人工社会における因果メカニズムが判明できる。
- (5) 人工社会における因果メカニズムを実システムに置き換えることにより、実システムにおける因果メカニズムについて知見が得られる。

4 メカニズム指向 ABM のこれまでの研究事例 (現象再現に必要な不可欠なモデル構造と因果メカニズム) (必要不可欠なモデル構造は下記箇条書きの各項目)

4.1 経済現象の再現 (Ogibayashi, 2022)

4.1.1 価格均衡の再現

- ① 消費者の効用最大化・低価格指向に基づく商品選択
 - ② 生産者の在庫調整指向に基づく価格・生産量決定
- 価格均衡のメカニズム:** 需要と供給がバランスするように生産量と価格が市場によって自動調整される

4.1.2 景気循環 (GDP の周期的変動) の再現

- ① 生産者の需要予測による生産量拡張の投資判断
- ② 投資のための銀行借入
- ③ 銀行借入の上限制限
- ④ 市場における設備投資の同期生の存在

景気循環のメカニズム: 銀行借入れによる信用創造の存在下において、銀行から市中へ資金が流れる間は景気は上昇、市中から銀行に資金が流れる時は景気後退

4.1.3 所得税率低下による GDP 増加の再現

- ① 政府支出の非効率性が消費者貯蓄性より大
- GDP 上昇のメカニズム:** 非効率率が高い政府支出の資金を消費者に移転することにより消費が増大

4.1.4 法人税率低下による GDP 増加の再現

- ① 政府支出の非効率性
- ② 経営者報酬の存在
- ③ 投資資金の一部が内部留保によって賸されること
- ④ 銀行の貸出が厳しすぎないこと

上記を総括すると政府支出の非効率性が法人の貯蓄性より大であるために必要な条件といえる。

GDP 上昇のメカニズム: 非効率率が高い政府支出の資金を法人に移転することによる消費増大

(注) 法人の貯蓄性向が高ければ GDP は増加しない。

4.2 いじめ現象の再現 (Ogibayashi & Shinagawa, 2020)

いじめ現象の特徴を、いじめの加害者、被害者、完全傍観者、加害者同調者、被害者同調者の 5 種類のエージェントが相互作用により自然発生すること、と定義した場合、

- ① 人にはその固有の性質として協調性がある。
- ② 人にはその固有の性質として排除性がある。
- ③ 他人の排除は相手が自分より力が弱い時に限る

いじめのメカニズム: 協調性が高いほど仲間を作りやすい。逆も真。よって協調性が高く排除性の高い人が加害者となり、協調性が低い人が被害者となり、協調性が高く排除性が低い人が傍観者となる。

4.3 パンデミック現象 (拡大と収束) の再現 (Ogibayashi, 2023)

パンデミック現象の特徴を、新規感染者数、新規回復者数、感染者数がそれぞれ、増大しピーク後減少し、新規回復者数は、新規感染者数の増加に遅れて増大し、ある時点で新規感染者数を上回り、その時点で感染者数はピークをなす、と定義した場合、

- ① 感染者はウイルスを保有し、時間経過と共にその一部割合は呼吸等によって体外 (但し系内) に放出され、一部割合は免疫により系外に排出される。
- ② 感染者が呼吸等によって系内に放出したウイルスの一部割合は近隣の第三者に移転される。
- ③ 上記①及び②における一部割合はエージェント固有である。
- ④ 体内残存ウイルス数は一定の割合で増殖する。
- ⑤ 免疫によって単位時間に体外に排出されるウイルス数はその時点の体内のウイルス数が多いほど程大 (実システムの発熱の効果に相当する) 、

パンデミック現象のメカニズム: 感染拡大と収束のプロセスは健常者が感染者と接触する確率に支配され。拡大収束は新規回復者数が新規感染者数を上回ることによって生じ、その原因は体温上昇による免疫力向上効果により、クローズドシステムの場合には系内のウイルス総数が時間と共に低下することによる。なお、抗体発生はパンデミック収束を早める効果はあるが必要不可欠な条件ではない。

5 使用プログラムの概要

現状は、Microsoft Visual Studio を使用し、C++ オブジェクト指向プログラムでモデルを構築している。各種意思決定主体は各種エージェントのクラスで表され、その行動ルール及び属性変数は、クラスの関数、及び変数で表される。システム状態変数は計算の結果得られる。

その他に、計算の全行程を管理するクラス、パラメータ変数を管理するクラス、乱数を管理するクラス等が基本構成として含まれ、その他のクラスは計算目的ごとに新たに設定する。また経済プログラムでは各エージェントの会計計算を行うクラス、及びそれらの会計データをエージェントごとに集計するクラスが存在し、会計計算は会計取引毎に仕訳伝票を作成し複式簿記会計に基づいて計算される。

6 謝辞

本方法の発見及び妥当性検証に際し、高島幸成氏 (白鳳大学)、有賀裕二氏 (中央大学) に有益な議論をいただいた。ここに謝意を表する。

参考文献

- Gilbert, N. (2008) *Agent-Based Models*, SAGE Publications
- Ogibayashi, S. (2022) Model structure of Agent-Based Artificial Economic System Responsible for Reproducing Fundamental Behavior of Goods Market. In Yuji Aruka (ed), *Digital Designs for Money, Markets, and Social Dilemmas*, pp89-141, Springer
- Ogibayashi, S. and Shinagawa, K. (2020) Model Structure of Agent-Based Artificial System for Reproducing the Emergence of Bullying Phenomenon, *Proceedings of the 2018 Conference of the Computational Social Science Society of the Americas*, Springer, pp229-250
- Ogibayashi, S. (2023) An Agent-Based Model of Infectious Diseases That Incorporates the Roles of Immune Cells and Antibodies, In Yvette S. Brewer (Ed), *Infectious Diseases: From Prevention to Control*, Chapter 2, pp.123-169