

ABMによる知の蓄積方法論の提案と簿記会計を内包した 経済シミュレーションプログラムの紹介

－ A B Mによる複雑系システムにおける社会現象メカニズムの解明－

1. はじめに
2. 科学的方法論としてのABMの提案
3. ABMにより社会現象メカニズム解明が可能となる数学的考察
4. 過去の研究事例の紹介
5. ABMによる複雑系システムのメカニズム解明の方法論の提案
－社会経済現象の定性的理解から定量的理解と予測に向けて－
6. ABMモデルプログラムの紹介
7. まとめ

2023年9月1日

千葉工業大学名誉教授

荻林成章

1. はじめに――現代社会の問題山積の根本原因は何か

1. 社会的問題の複雑化

例：地球温暖化、貧富の差、社会の分断、核の問題、

2. 社会的課題は技術だけでは解決できない

3. 国家レベルでの対立と協調



- 社会経済分野において、諸現象の**因果メカニズムが不明確のまま政策決定が非科学的に行われている。**

社会的諸問題は、その因果メカニズムを正しく認識し、
あるべき論に基づいて問題解決のための政策を決定すべき。



- 理工系分野では自然システムに関わる諸現象の因果メカニズムが**実験**を通じて解明され、問題解決のための知の蓄積が実現されているのに対し、社会経済分野では系統的实验の実施が困難であるために、諸現象の**因果メカニズムの客観的理解**が進んでいない。

これまでの学問分野の特徴と問題点

自然システム系

研究の対象：自然システムの諸現象に関わる各分野

理学：諸現象の基本原理・メカニズムに関する知識の集積

原理解明に主眼があるため、問題を簡略化する。

工学：理学で得られた知識をベースに人間社会に役立てるための知識の集積、

より複雑な現実の現象を実験的に解明。

それらの実験式や実験値の集合が知となっている。

例：機械工学便覧に掲載されている内容はそれらの一例

研究アプローチ：

①メカニズムに関わる数式モデル（仮説）と**実験による検証**

②統計データの解析及び、諸現象の事実究明のための**実験**及び調査

自然科学は時空を超えて真理は一つ、の原理がなりたっている

実験によって世界的規模で知（何が真実かの知識）が蓄積されてきた。

最も重要な知とは、**因果メカニズムに関わる知識、（テクノロジー発展の源泉）**

人間社会システム系

研究の対象：社会システムの諸現象に関わる各分野（経済学、社会学）

特徴：社会現象の原因は人間行動 → 現象は文化や時代によって変わる。
時空を超えての真理は存在しない

研究アプローチ：

成功を収めている自然システム系のアプローチを踏襲。

①メカニズムに関わる数式モデル（仮説）の提案と考察

単純化のための仮説

例：経済学の多くの理論では以下が仮定されている。

- ・ 代表的消費者、代表的生産者 ・ 均衡概念
- ・ 貯蓄の主体は消費者（投資はしない）、投資の主体は生産者（生産者は貯蓄はしない）

問題点： 実験ができないため、どの理論がどのような条件の下で正しいかは知りえない。

自然システム系の工学に相当する知の体系は作りえない（

- ・ 人間系は複雑システムであり、方程式モデルで記述できるほど単純ではない。
- ・ 理論は仮説、学説であり、実験による検証は事実上不可能。
⇒ いずれの理論もその真偽は明らかではない。（真偽は時代、文化に左右されうる）
（理論の真偽はおそらく条件付き、しかしその条件は明らかにされていない。）

②現象の事実究明のための調査や統計データの解析

但し、メカニズムの特定はできない。（推論の域を出ない）

社会科学の方法論に関する論争は19世紀以降100年以上にわたる歴史がある。

マックスウェーバー、ルーマン、パーソンズ、マートン、リッカート等
適合的因果、統計的因果推論、機能的要件論、文化科学、システム論、等
参考図書：社会学と因果分析、佐藤俊樹著、岩波書店(2019)

社会学の問題点：【自然科学的概念構成の限界】（リッカート）

**観察する対象や観察者の視野にはいつてくる変数群、自体が
観察者の解釈に依存し、完全に客観的なものにはなりえない。**

⇒ 因果の特定には、法則論的知識が前提となる（ウエーバー）ため、
具体的な因果関係とされているものは、実は社会的に構成されている。

例： 「差異法」（J.S.ミル）：社会科学の事実上の標準的手法

事例1 $x_1=1, x_2=1, x_3=1, x_4=1, x_5=0 \rightarrow y_1=1$

事例2 $x_1=1, x_2=1, x_3=1, x_4=0, x_5=0 \rightarrow y_1=0$

の時、 x_4 が y_1 の原因とする。

統計モデルは差異法を体系化したもの。

前提となる仮定：

1. 結果に関わる変数がすべて観察されていること（事実上不可能）
2. 説明変数の因果の経路が予め特定されていること（事実上不可能）
3. **統計的有意差判定の基準が特定されていること（事実上不可能）**

社会科学における科学的方法論は、産業革命以来の命題であり、未だに答えが見出されないまま、因果関係の認識不在の政策決定がなされている。

日本の例：**長期経済停滞と金融緩和政策、子化問題、コロナパンデミック対策等**

文部科学省の見解はどうか？（文部科学省ホームページ政策審議会資料より）

1. **意味解釈法、統計帰納法、数理演繹法**、という3つの手法が相互に補完して全体としてのリアリティーを明らかにすることができる。即ち、人文学、社会科学、自然科学が補って全体としてのリアリティーを把握できる。
2. 実験的研究手法（社会科学の場合）
 - ・人間の行動だけでなく、その背後にある意図について形成過程や構成主体間の相互作用を明らかにする。その意味での**諸条件をコントロールする実験は困難である。**
 - ・コンピュータシミュレーション：一種の思考実験である。特に、個人間相互作用とミクロマクロリンクをモデル化できる「**マルチエージェントシミュレーション**」による**実験が今後重要な研究手法となる可能性がある。**
3. 学問的特性
 - 一見科学的に見える方法でも、**その証拠の信頼性はどれだけ多くの人がそれを真実らしいと考えてよいと納得するかに依存している。**

In macro economy, macroeconomic theories have been changing, based on the experience of **historical monetary and fiscal policies**, which worked as a series of experiments in the real world.

Five Key Questions About Macroeconomic Policy

(Paul Krugman: Economics, second edition (2009))

	Classical macroeconomics	Keynesian macroeconomics	Monetarism	Moern consensus
Is expansionary monetary policy helpful in fighting recessions?	No	Not very	Yes	Yes, except in special circumstances
Is expansionary fiscal policy effective in fighting recessions?	No	Yes	No	Yes
Can monetary and/or fiscal policy reduce unemployment in the long run?	No	Yes	No	No
Should fiscal policy be used in a discretionary way?	No	Yes	No	No, except in special circumstances
Should monetary policy be used in a discretionary way?	No	Yes	No	Still in dispute

社会システムの研究アプローチの現状と課題

【社会システムの特徴：**真理は時空を超えてただ一つの原則が成り立たない！**】

社会現象は人間によって引き起こされ、人々の行動は時間と共に変化し場所によっても変化する。真理は場所と時期によって変化する。

→ コントロールされた実験は一般に不可能（マクロ現象ほど顕著）
自然システムのような、実験的手段でメカニズムを解明することは不可能

【社会システム科学におけるメカニズム解明の必要性】

社会の問題を適宜解決していくためには、その社会現象の発生メカニズムを理解することが必須要件となる。

特に、公共的な問題を解決する場合のように、互いに利害が対立する中での集団的意思決定を行う場合、構成メンバー内で、**その社会問題に関わるメカニズムを共有しているか否か**は、コンフリクトの発生や意思決定に大きく影響するので、メカニズム解明は重要！

そのような問題に適応できる有力な手法としてエージェントベースアプローチ (ABM)がある。

以下、いかにABMが知の蓄積に有効か、いかに社会現象の因果メカニズム解明の方法論として有効か、を論じていく。

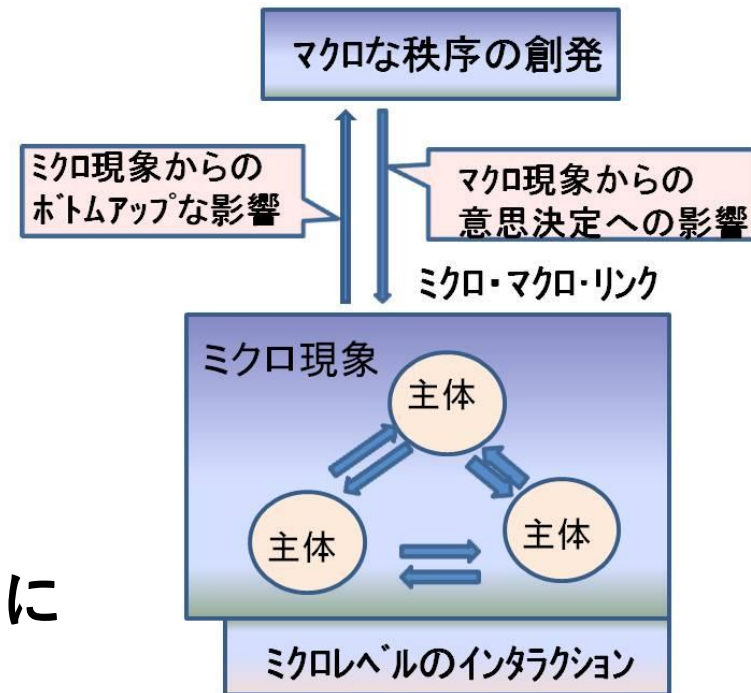
Agent-based modeling (ABM) コンピュータ上に人口社会を構成し様々な様式で行動する意思決定主体 (Agent) の行動とその相互作用によりマクロ現象を出現させるモデリングシミュレーション手法。

従来型シミュレーションモデルとの違い

- ・ 従来型モデル (多くは方程式ベース)
メカニズムを仮定してモデル構築
妥当性は実験的に検証
(但し人間系ではコントロールされた
実験は事実上不可能)

- ・ A B M

メカニズムに関わる仮定は一切置かずに
モデル構築することが可能
仮定するのは人間の行動ルールのみ
含まれる変数には人間の属性変数とシステム変数が含まれる。
システム変数は内生的に計算される。



ABMの特徴

1. コンピュータ上に、人工社会を構築し、Agentの行動とその相互作用の結果として、マクロ現象を創発させることができる。
即ち、実社会と同じ原理で動作する人工社会を構築できる
2. Agentは自律的に行動する意思決定主体である。
即ち、限定合理性、多様性の導入が可能
3. Agentの行動には、システム変数（市場価格等）が入りうる。
即ち、ミクロマクロリンクを再現したモデリングが可能
4. Agentの行動ルール以外の仮定は一切おかずにモデリング可能
即ち、100%ボトムアップなモデリングが可能
5. モデルのインプットとアウトプットを実システムと対比できる

ABMはこれまでも事実上用いられてきている。

自然システムにおけるセルラーオートマタモデル
交通シミュレーションモデル 等々

ABMの歴史

ABMの歴史はvon Neumann 著 “The Theory of Self-Reproducing Automata-”(1966)に遡る。

ABMの原理は初期には自然システム系に適用された(セルラーオートマトン、モンテカルロ法等)

①社会科学へのABMの応用のスタート:

Thomas Schellingの“Models of Segregation” (1969)

(隣人に対するわずかな嗜好の差がマクロ的な住み分けを生み出す。Abstractモデルとみなされた)

(**Abstractではなく、これが必要不可欠な要因、養親数は住分けの特徴の精緻度に依存する**)

②広範囲の社会経済現象への応用

Epstein and Axtell の “Growing Artificial Societies” (1996) 種々の社会現象を

再現できることを示した。資産は砂糖とスパイス、abstractモデル)

(資産を砂糖ではなくお金にすると会計計算が必要になり複雑になるためか?)

③妥当性に関するこれまでの主な議論

- ・ABM計算結果として得られるマクロ現象はインプット条件(パラメータ条件)に鈍感
- ・あるモデルでマクロ現象を再現できたとしても、それが唯一のモデルとは限らない。
- ・妥当性の考え方はモデルの解像度によって異なる(N,gilbert(2007))

Abstract model, middle range model, facsimile modelの区分を提案

- ・モデルの妥当性は解釈者の主観によって異なる(柴,2010)

→ 現実の諸問題解決への応用はハードルが高く、ましてや予測には使えない、との認識が広がる

ABMの認識に関する提案

1. GilbertのABMの分類（Abstract, Middle Range, Facsimile）

の分類は間違い、

- ①ABMは常に現実社会の模型（現実を再現できるモデル）であるべき
- ②ABMの分類は、定性的再現モデル、定量的再現モデル、であるべき
- ③GilbertのFacsimile modelは、定量的再現モデル

2. ABMはインプット条件に鈍感、妥当性に欠ける（R.E.Marks） は間違い

- ①インプット条件にはモデル構造とパラメータがある。
現象の定性的再現に対して、計算結果は**モデル構造に極めて敏感**

3. ABMは予測には使えない、は間違い。

予測にも使えるポテンシャルを持っている

ボトムアップなモデリングを生かした研究をすべき。

これまでのABM研究では、Abstractなモデル、Agentの多様性
Agentの活動する場の設定、等に着目したモデルが多い。

近年の世界の取り組み

1. 欧米ではABMに特化した学会ができ活動が続けられている（CSSSA、ESSA）
 - ・ 但し、ABMの特徴の内、エージェントの多様性と非合理的意思決定、に着目した研究が多く、完全ボトムアップなモデルは殆ど報告されていない。
例：金融リスクの解析（銀行のサイズ分布を仮定）即ちボトムアップではない
 - ・ 欧州では貿易までを考慮した大型モデル（EURACEモデル）が開発されているがモデルの詳細は報告されていない。
2. 日本ではABMに特化した学会は成立しておらず、既存学会活動の一環の中でABM研究が報告されているが、近年ABMの発表は極めて少ない。
 - 例：日本ゲーミングシミュレーション学会の発表は殆どがゲーミング
 - ・ 日米欧3者によるABMに関する国際会議WCSSがあったが、2014年を最後終了となった。以後米国、欧州は個別に国際会議開催、日本は開催なし
 - ・ 21世紀COEプログラムの一環で、「エージェントベース社会システム科学の創出」（東工大2002～2004）が行われたが、その後立ち消えになった。
 - ・ U-Martによる人工先物市場の制度設計（2000～2005年）その後立ち消え



日本で研究が低調となったのは、研究の軸となる理念が不在なためではないか？

社会経済システムにおける科学的方法論としてのABMの提案

社会経済システムは ミクロマクロリンクを有する複雑系システムであり、方程式ベースのモデルでは原因と結果の関係（因果関係）を記述しえない。

100%ボトムアップなABMならば記述可能（社会現象理解のための実験室）

ABMによる方法論の原理

1. 社会現象は、人間の行動とその相互作用の結果として生じる。
2. ABMはコンピュータ上に人工社会を構成し、ボトムアップに実社会と同じ原理で、個々の現象の特徴を定性的に再現することが原理的に可能。
個々の現象再現に必要な不可欠な要因を系統的計算機実験により解明することが可能。
 - ・ 解明した要因群（モデル構造＝システム構造）はその現象の原因である。
 - ・ 得られた結果は仮定したモデル構造のみに依存するので、完全に客観的である。
 - ・ モデル構造を同じにすれば、定性的には世界的規模で同じ計算結果を確認可。
3. 次に、それらの要因が何故不可欠であるかを考察することにより、社会現象創発の因果メカニズムに関する知見が得られる。
4. 一旦不可欠なモデル構造がわかれば、そのモデルを用いて政策効果等を実験的に確認できる（What if 分析）
5. 将来的には定量モデルも原理的に可能（相似則の考え方応用、変数は比で考える）

3 .ABMにより社会現象メカニズム解明が可能となる数学的考察

全ての社会・経済現象は、人間の行動とその相互作用の結果として生じる

$$S_T \rightarrow M_T$$

$S_T = \{V_1 \times V_2 \times \dots \times V_n\}$: 互いに相互作用する意思決定主体者の行動の集合

V_i : 種々のタイプの意思決定エージェント i

$$V_i = \{a_k^i, k = 1, \dots, p \mid a_k^i \in A_i, \quad b_{k,l}^i, l = 1, \dots, q \mid b_{k,l}^i \in B_i, \quad c_{k,l}^i, l = 1, \dots, q \mid c_{k,l}^i \in C_i\}$$

A_i : 各種エージェント i の行動ルール of 集合, k : エージェントの種類

B_i : 意思決定に含まれる変数の集合 (属性変数 + システム状態変数)

C_i : 変数の値の集合 (エージェントの属性変数)

n : 意思決定者の総数

$M_T = \{M_E, q = 1, \dots, p\}$: 全ての社会現象 = 定性的に異なる M_E の集合 (正、負の相関等)

$M_E = \{m_k, k = 1, \dots, s\}$: 定性的に同じある特定の社会現象 m_k の集合

m_k : 定量的に異なる社会現象の集合 (勾配が異なる正の相関の集合等)

ある特定の、定性的に同じ社会・経済現象は、ある特定の人間の行動と相互作用の結果として生じる

$$S_E \rightarrow M_E \quad S_E \subset S_T, M_E \in M_T$$

$S_E = \{V_1 \times V_2 \times \dots \times V_r\}$: 互いに相互作用する意思決定主体者の行動の集合

$V_i = \{A_i, B_i, C_i\}$: 種々のタイプの意思決定エージェント i

A_i : エージェント i の行動ルールの集合

B_i : 意思決定に含まれる変数の集合 (エージェントの属性変数 + システムの状態変数)

C_i : 変数の値の集合

$M_E = \{m_k, k = 1, \dots, s\}$: 定性的に同じある特定の社会現象 m_k : 定量的に異なる社会現象

$= \Phi_E = \{\phi_i, i = 1, \dots, s\}$: 定性的に同じ現象を特徴づける要因

上記において、相互作用に支障がない程度にエージェント数が十分に多ければ、定性的に同じ現象が起こるか起こらないか、は変数の定量値に影響されない、と仮定する。この時、上記因果関係は下記のように表される

$$S_E = \{A_E, B_E\} \rightarrow \Phi_E$$

ABMモデルと実システムとの対応

ある特定の現象の特徴集合を Φ_E ,その原因となる要因を S_E と表し、
モデルにおける夫々を Φ_M, S_M と表す時、

現象創発の因果関係

$$\text{現実システム} : S_E = \{A_E, B_E\} \rightarrow \Phi_E$$

$$\text{モデルシステム} : S_M = \{A_M, B_M\} \rightarrow \Phi_M$$

ここで、 $\{A, B\}$ は、

各種エージェントの行動ルール及び意思決定に関連する変数の集合
であり、現象創発に必要不可欠な要因である。

これをシステム構造、又はモデル構造、と呼ぶ。

**意志決定に関連する変数には、システムの状態変数を含む
(ミクロマクロリンクの原因となる)**

ABMモデルと実システムとの対応

この時、以下の命題が成立すると言える。

1) $\Phi_M = \Phi_E$ であれば、 $\{A_M, B_M\} \supseteq \{A_E, B_E\}$ である。

($\because \{A_E, B_E\}$ は Φ_E 創発に必要な不可欠な要因であるから、

もし上記関係が成り立たなければ、 $\Phi_M \neq \Phi_E$ となり、仮定と矛盾する。)

2) 上記1)において、 B_E に含まれるシステム状態変数の集合を $\{V_S\}$ 、

変数の決定に影響する現象の特徴の集合を Φ_{VS} とし、

その原因となる不可欠な要因を $\{A_{VSE}, B_{VSE}\}$ とすれば、

$$\{A_{VSE}, B_{VSE}\} \subset \{A_E, B_E\}, \{A_{VSM}, B_{VSM}\} \subset \{A_M, B_M\}$$

3) $\Phi_M = \Phi_E$ の時、モデルは実システムの準同型写像であり、

モデルにおける現象創発メカニズムは、実システムにおける

現象創発メカニズムと等しい。

上記結果は以下を意味する。

1. モデルにおいて、実システム現象の特徴が再現できれば、即ち $\phi_M = \phi_E$ の時、その現象創発に必要不可欠な要因は、モデルにおいても含まれている。
2. 意思決定にシステム変数が用いられている場合、もし、 $\phi_M = \phi_E$ であれば、そのシステム変数に関わる、マクロ現象創発に必要不可欠な要因は、モデルにおける必要不可欠な要因に含まれている。
3. $\phi_M = \phi_E$ の時、着目するマクロ現象、その原因、及び因果メカニズムの夫々について、モデルと実システムの間で一対一対応が成立している。

注釈

1. マクロ現象の原因はひとつとは限らない、故にモデルと実システムの間で、原因、メカニズム、結果(現象)が一對一に対応している保証はない、
という意見に対する反論

上記はマクロ現象の特徴はどれだけ精緻にとらえるかに関わっている。マクロ現象をの特徴を広く定義すれば、その原因もより一般的なものになる。一方、マクロ現象をより精緻にとらえれば、その原因も精緻なものになる

例1: 発熱は病気の一つの特徴である。医者は病気の特徴をより精緻に調べることにより、病気の原因を特定していく。

例2: 人種等による住み分けには夫々複数の特徴がある。それらを広く住み分けにとらえれば、特徴はShcellingの結果となる。特徴をより精緻にとらえれば、人種がいのI成因には複数の原因がある。

ABMによる、マクロ社会現象の因果メカニズム解明の基本原則

以上より、もしモデルにおいて着目する社会現象の特徴を創発するための必要不可欠な要因を明らかにすれば、得られた必要不可欠な要因は、現実システムの必要不可欠な要因と同じかそれを含む要因集合である。



- ① 即ち、着目するマクロ現象を創発するために必要不可欠な要因が、モデルにおいても実システムにおいても存在する。
- ② モデルにおいて得られた必要不可欠な要因は、現実システムにおける現象の特徴を創発する原因と同じかもしくはそれを含む要因集合である。
- ③ モデルにおいては、必要不可欠な要因が何故必要不可欠であるかは、計算結果を解析することによって必ず明らかにできる。これによりモデルにおける因果メカニズムを明らかにすることが可能。
- ④ 次に、モデルにおける、必要不可欠な要因と因果メカニズムを、実システムのそれらに置き換えることによって、実システムにおけるマクロ現象の因果メカニズムを明らかにすることができる。
- ⑤ 上記作業を基本現象から複雑現象へと順を追って行えば、より複雑な現象の因果メカニズムを解明することが可能

ある特定の定性的に同じ現象を特徴づける特性とは、例えば次のような現象である

1. 価格の均衡

- ・異なる生産者から出荷される製品の価格が特定のレンジに収斂する。
- ・但し、市場の製品価格が完全に同じ値になることはない（店舗により差あり）

2. 所得税減税によるGDP増加

- ・所得税率を低下させればGDPが増加する

3. 法人税減税によるGDP増加

- ・法人税率を低下させればGDPが増加する。

4. 景気循環

- ・GDPが周期的に増減を繰り返す。（周期は年単位以上）

5. いじめ

- ・いじめの被害者、加害者、完全な傍観者、加害者に同調する人、被害者に同調する人が、人々の相互作用の結果として自然発生する。
- ・特定の被害者が特定の加害者（しばしば複数）から繰り返し攻撃を受ける。

6. 疫病のパンデミック

- ・感染者数が次第に増加し、ピークに達し、やがて減少に転じる。
- ・ピーク時点は新規感染者数＝新規回復者数となる時点、

4. 過去の研究事例の紹介

1) 価格の均衡に必要な不可欠なシステム構造

消費者、生産者がモデルに存在することに加えて

① 消費者の低価格指向の購買行動

② 生産者の在庫管理指向の生産量・価格調整行動

この条件において生産量・価格に及ぼすサプライチェーンの影響も再現される。

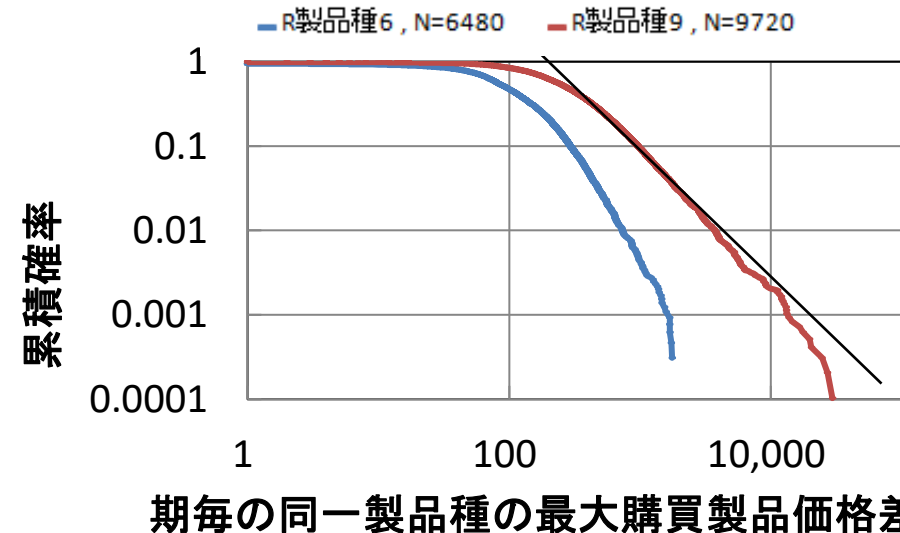
下工程の生産量・価格の上工程生産者の生産能力依存性も確認済み

価格均衡のメカニズム： 需要と供給のバランス

但し、一物一価ではない。

(出荷価格は生産者ごとに異なるため)

同一期の同一製品の購買実績価格
の最大値と最小値の差(価格差)
はべき分布に従う



2) GDP成長率と物価上昇率の関係に必要な不可欠なシステム構造

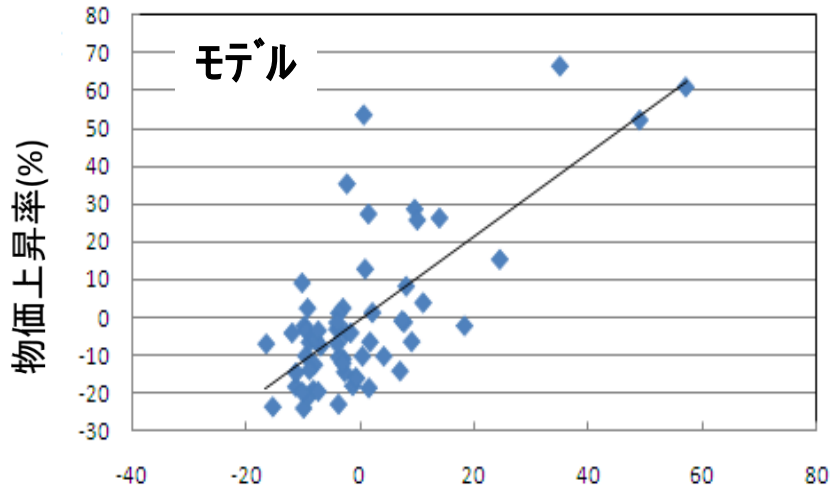
消費者、生産者がモデルに存在することに加えて

- ①消費者の低価格指向の購買行動
- ②生産者の在庫管理指向の生産量・価格調整行動
- ③生産者の設備投資行動と銀行借入

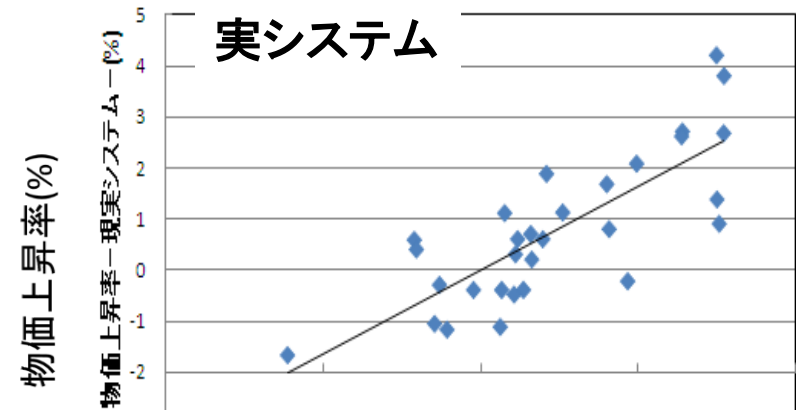


価格均衡の条件と同じ

メカニズム: 生産者の設備投資と銀行借入によって市中循環貨幣の量が増加し、生産者の労働生産性が向上し、賃金が上昇し、需要が増加する結果として賃金DPと物価はともに需要に支配され、連動して変化する。



各期のGDP成長率と物価上昇率の分布
(ABM計算値)



日本の物価上昇率とGDP成長率
(データ元: IMF World Economic and Financial Surveys, World Economic Outlook Database)

3) 景気循環に必要な不可欠なシステム構造

消費者、商品生産者、設備生産者、銀行がモデルに存在することに加えて

- ① 需要予測による投資判断
- ② 銀行借入による資金調達 (信用創造の存在)
- ③ 信用創造の上限の存在 (借りたものは返さなければならない)
- ④ 投資・借入時期のある程度の同期性

メカニズム:

価格競争力のある生産性の高い企業が生産能力upのために設備投資を行う、設備投資に必要な資金を銀行借り入れで充当すると、それにより市中の循環貨幣の量が増加し、賃金上昇、需要増、設備投資増加、銀行借入増加の好循環でGDP上昇 (高利益率企業が景気回復を主導し、全産業に波及する)

一方、借入が過剰になると、銀行借入制約で、返済資金の量 > 借入資金の量の状態となる。その結果市中を循環する貨幣の量が減少し、賃金低下、需要減少、設備投資減少、の悪循環でGDP低下。

返済がある程度進むと新たな借入超過、GDP上昇が始まる

上記メカニズムは、Veblen, Minskyの理論 (信用創造が本質的な要因との主張) に近い。

Economic theories for the mechanism of business cycles

Review by R.Onwumere, et.al(2011)

Veblen: Business cycles are caused by the **repetition of the over-expansion of credit and subsequent contraction of credit**

Marx: Recession is caused due to the extraction of labor value from workers by the owners that reduces the demand.(1936)

Schumpeter: An innovation induces investment to the point of over investment, causing a recession until a new equilibrium is reached.(1953)

Friedman: Business cycle is caused by external shocks and the time lag of government's act to compensate for the shocks(1953)

Keynes: Business cycle is caused by the changes in the marginal efficiency of capital due to the expectations and price changes.(1964)

Minsky: Business cycle is caused due to the **repetition of borrowing for investment and over borrowing that collapse in investment.**(1975)

Sherman: Downturn from expansion is caused by a slowing demand and increase in costs. A new expansion is caused by the increase in profit due to the decrease in labor cost and interest rate.(1989)

実験結果(景気循環メカニズム)のまとめ

1. 景気循環の最も本質的な原因は**信用創造**。これはVeblen、Minskyの理論と一致している。

景気循環生成の本質的メカニズム

銀行から市中へ資金流入過多となると、流入資金は誰かの収入となるため需要が増加し、GDPが上昇する。

信用創造の上限制約により、資金流入過多はいずれかの時点で市中から銀行への資金流出過多となり、需要減少、GDPが減少する。

2. 必要不可欠ではないと判明した要因

- 1) 株式市場の存在

(設備投資の際に資金を株式市場からのみ調達する場合は景気循環は起こらない)

- 2) 資本の限界効用に基づく投資判断 (Keynes説)

- 3) 新技術革新による経済成長 (Schumpeter説)

- 4) 外部ショック (Friedman説)

- 5) 労働コストと利子率の変化 (Scherman説)

2)~5)は景気循環に影響を及ぼす因子である可能性はあるが、これらは少なくとも景気循環の主要因ではない

(これらがなくても銀行借入を考慮すれば景気循環が再現できる)



種々の経済理論の是非がABMによって評価できる可能性を示している。

4) 所得税減税によるGDP上昇に必要不可欠なシステム構造

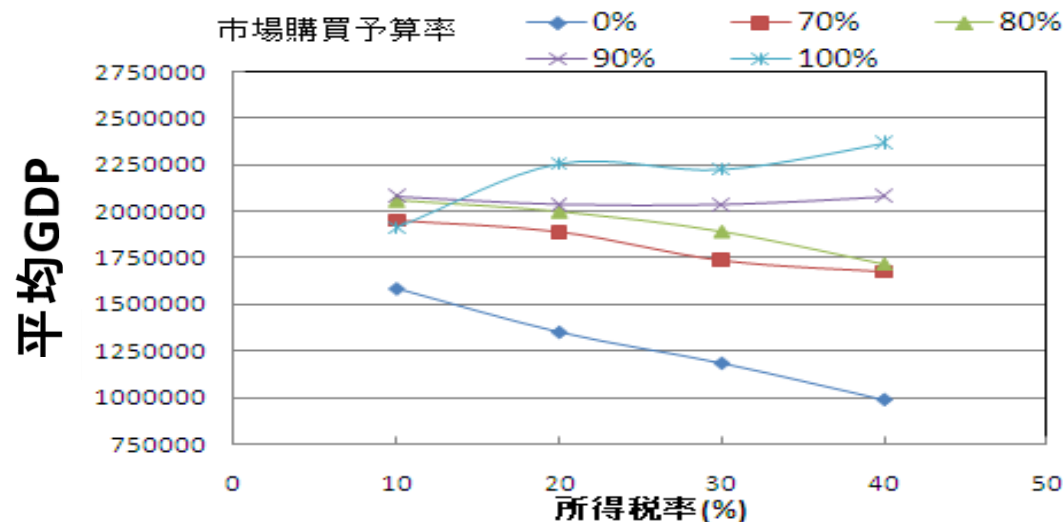
消費者、生産企業、銀行、政府の存在に加えて、**政府支出の非効率性の存在**

政府支出の非効率度： 政府支出総額の内、経済的価値を超えた支出の割合
モデルでは、 非効率度 = 企業への無目的な補助金 / 政府支出の総額
(政府支出総額 = 市場購買 + 企業への無目的な補助金)

メカニズム:

企業への補助金の一部は利益剰余金として銀行預金となり市中を循環しない。
結果として、政府支出金額の一部が貯蓄となる。

政府支出の効率度 < 消費者支出の効率度 (1 - 貯蓄率) の時に減税効果有



小

政府支出の非効率度

大

5) 法人税減税によるGDP上昇効果に必要な不可欠なシステム構造

消費者、生産企業、銀行、政府の存在に加えて

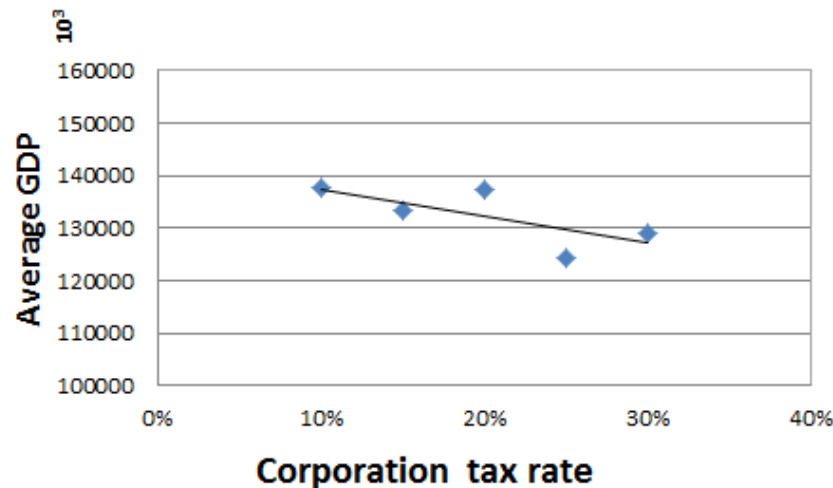
- ①政府支出の非効率性の存在
 - ②経営者報酬の存在
 - ③設備投資資金調達への自己資金利用
 - ④適度な信用創造の存在(貸出が厳しすぎないこと)
- (利益剰余金の市場への吐出し)

労働市場の存在は必要条件ではない(失業率の変化等は本質的原因ではない)

メカニズム:

減税により増加した利益剰余金が、消費者所得の増加や設備投資の増加に使われた場合に、減税効果が表れる。(利益剰余金が貯蓄に回れば×)

政府支出の効率度 < 民間支出の効率度 の時に減税効果有



Executive compensation rule	With
Internal fund rule	With
Upper limit of number of the investment	3
Labor market rule	Without

6) いじめ現象の再現に必要な不可欠なモデル構造

いじめ現象の特徴

- a)加害者、被害者、完全な傍観者、加害者に同調する人、被害者に同調する人
合計5種類のエージェントが互いの相互作用によって自然発生する。
- b)特定の加害者が、特定の被害者に対して、繰り返し排除行為を行う

上記a)の特徴を再現するために不可欠な要因

- ①人には個人の性質として他人との協調性と他人に対する排除性の二つ性質がエージェント固有の性質として存在する。
- ②他人を排除する行為は、相手が自分より少数派(仲間が少ない、力が弱い)場合に限る

また次のことが分かった。

- 1)いじめの加害者になりやすい人: 協調性が高く、かつ排除性も高い人
- 2)いじめの傍観者: 協調性が高いが排除性は低い人
- 3)いじめの被害者: 協調性は低く、排除性も低い人

これらは我々の直感的理解とも一致している。

7) 疫病パンデミックを再現するために必要不可欠なモデル構造

【モデルの概要】

感染過程はランダムな動きを仮定して簡略化

限界距離以内で感染者と遭遇すれば、感染者のウイルスの一部が取り込まれる

回復過程は医学的知見に基づき、自然免疫、抗体の作用をモデル化

ウイルス個数が限界値以下となれば回復と認定

自然免疫及び抗体によるウイルスの体外への排除率をパラメータで考慮

【パンデミック現象の特徴】

- ・感染者数は初期に次第に増加しピークをうってその後は減少に転じる
- ・感染者数がピークとなる時期は、新規感染者数＝新規回復者数
- ・様々なウイルス増殖率に対して、パンデミックは最終的に収束する

上記特徴を再現するために必要不可欠なモデル構造

医学的知見にもとづく、**自然免疫、抗体の作用に加えて、**

「ウイルス排出速度は体内のウイルス数に比例する」の仮定が必須

実システムにおける回復のメカニズム

体外への排出速度がウイルス増殖においつかないと、体温が上昇して免疫力が増加

排出速度を増加させる。この発熱効果により様々な疫病に対し人類は生存する。

ABMによる現象ごとの因果メカニズム解明の手順

1. 問題とするマクロ現象の特徴を定義する。

例1: いじめの特徴の一つは人々の相互作用の結果として、加害者、被害者、傍観者、加害者に同調する人、被害者に同調する人、が自然発生すること。

例2: 所得税減税により景気浮揚の特徴は、GDPが税率に対し負の相関持つこと。

2. 上記再現に必要な不可欠なモデル構造をコンピュータ実験により解明する

1) 再現に必要なと思われるエージェントの種類と行動ルールを案を創出する。

(本命案、対抗案等複数個)

2) 本命案で再現ができなければその原因を計算結果から推定し新たな本命案を創出する。

3) 上記1)、2)を繰り返す

3. 本命案が現象を再現できている理由(因果メカニズム)を計算結果から解析する。次に、それを現実世界に置き換える。

例1: パンデミックの特徴再現に必要な不可欠な行動ルールは、対外へのウイルス排出速度は体内のウイルス数に比例するという仮定、これを現実世界に置き換えれば感染に伴う体温上昇である。

ABMによる知の蓄積方法論

1. 社会経済現象の因果メカニズムを現象ごとに解明する。

因果メカニズム解明は、単純現象（小規模システム）から複雑現象（大規模システム）へ拡張していく。（ミクロマクロリンクが存在するために必要）



この作業を繰り返すことによって、**因果メカニズムに関する知が蓄積される**
（現象の定性的理解、単純現象から複雑現象へ）

例1：経済モデルでは実物商品の価格均衡再現に必要な不可欠なモデル構造は含まれる事

例2：金融市場モデルでは、実物経済モデルに必要な不可欠なモデル構造が含まれる事。



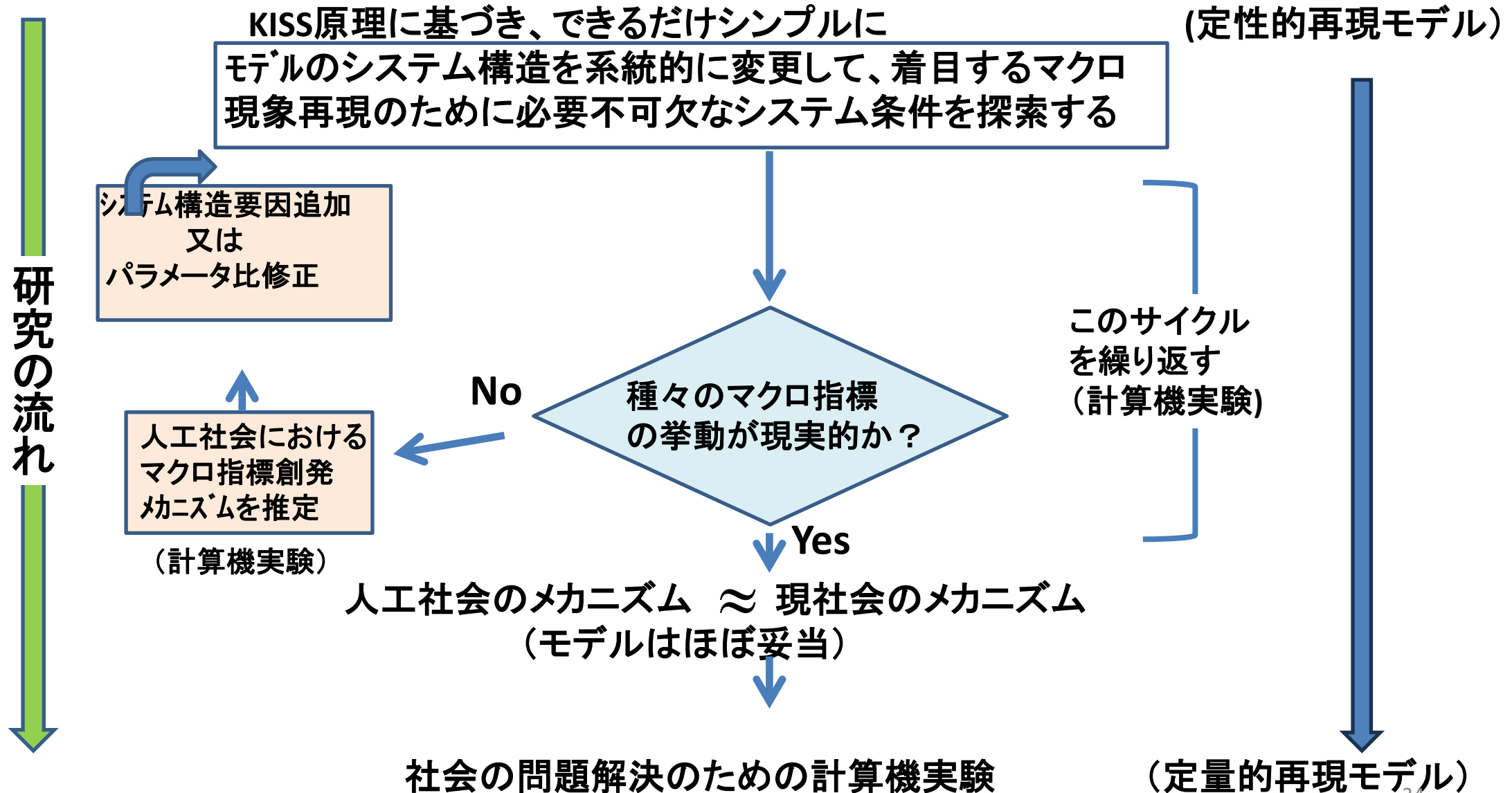
2. 社会現象が定性的に再現できるモデル構造の下で、特定の社会現象を定量的に再現するためのパラメータ条件を解明する

（パラメータ条件は、エージェントの属性変数の比、及びエージェント数の下限値）

この作業を繰り返すことによって、**社会現象予測に関する知が蓄積される**

ABM研究による知の蓄積方法論に関する提案

-- 定性レベルから定量レベルへの進歩を目指して--



ABMモデルプログラムの基本構成

■オブジェクト指向プログラム:

各種役割を持つクラス間の相互作用によって計算が進行する。

■使用言語 : C++

■クラス設計の考え方: 継承はポリモーフィズムに限定し、移譲関係を基本とする。

■各種モデルに共通な主なクラスと役割

SimulatorApp 計算の全行程を管理する

(各種オブジェクトの生成、オブジェクトの初期設定、
期首処理、期中処理、期末処理を各期繰り返す)

SimulatorContext: SimulatorConfig, Navigator等をどのクラスからも呼び出せる
ようにグローバルに設定

SimulatorConfig 計算に必要なパラメータ変数、入出力ファイルのパス、

RandomGenerator C++組み込み関数以外の各種乱数を生成する関数を保有

各種Navigator 各種オブジェクトアドレスへを返す関数を保有(
相互参照を避けるため)

計算フローの概要

1. Mainプログラムで、SimulatorContext構造体、及びSimulatorAppクラスを生成する。

SimulagtorContextは、SimulatorConfig(パラメータ情報格納クラス)のオブジェクトを保有、グローバルに定義していずれのクラスからも参照できるようにする。

SimulatorAppクラスでのrun_scenario()関数を呼び出す。

2. SimulatorAppクラスでは

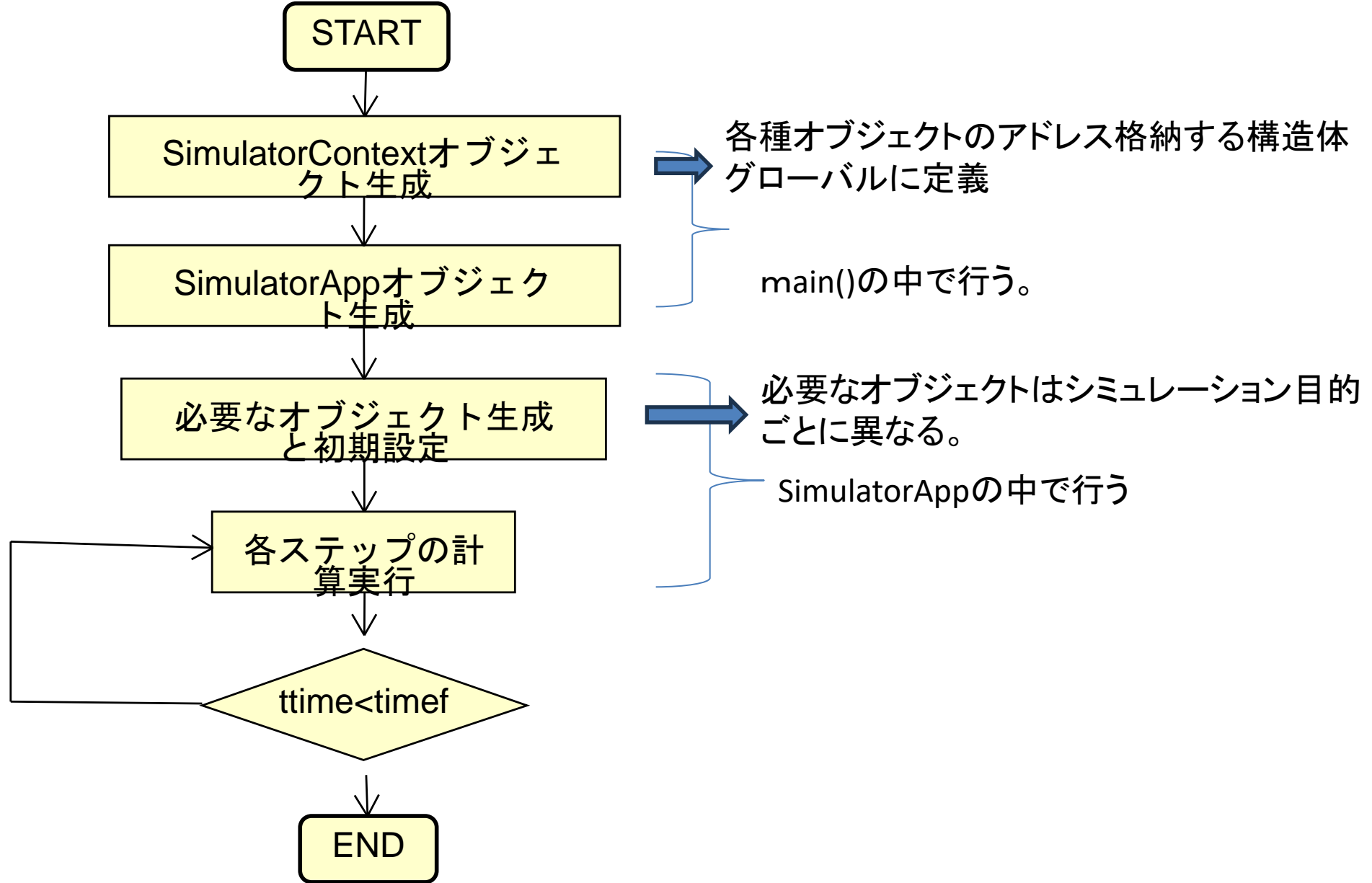
set_up() : 各クラスを生成し初期設定する。

run(): process_period()関数を所定回繰り返す

process_period() : 各クラスの期首行動、期中行動、期末行動関数を呼び出す。

計算はクラス間でメッセージをやりとりしながら進行する。

計算の基本フロー



■シミュレーション目的ごとに異なる、主なクラスと役割

1. 待ち行列モデル:

Scheduler, Customer, (Agent, Entityを継承)、ustomerAggregator, Gate、GateAggregator, 等

2. いじめモデル:

Student (Agentを継承), StudentAggregator, 等

3. パンデミックモデル:

Human, (Agentを継承)、HumanAggregator, Network、Neighbour, 等

4. 経済モデル:

Consumer, Retailer, Wholesaler, Bank、Goivernment等 (Agentを継承)

各Aggregator, 各Agentの生成、期首、期中、期末の行動を管理する

BookKeeper, (各Agentが保有、会計係、各Agentの決算データを作成する)

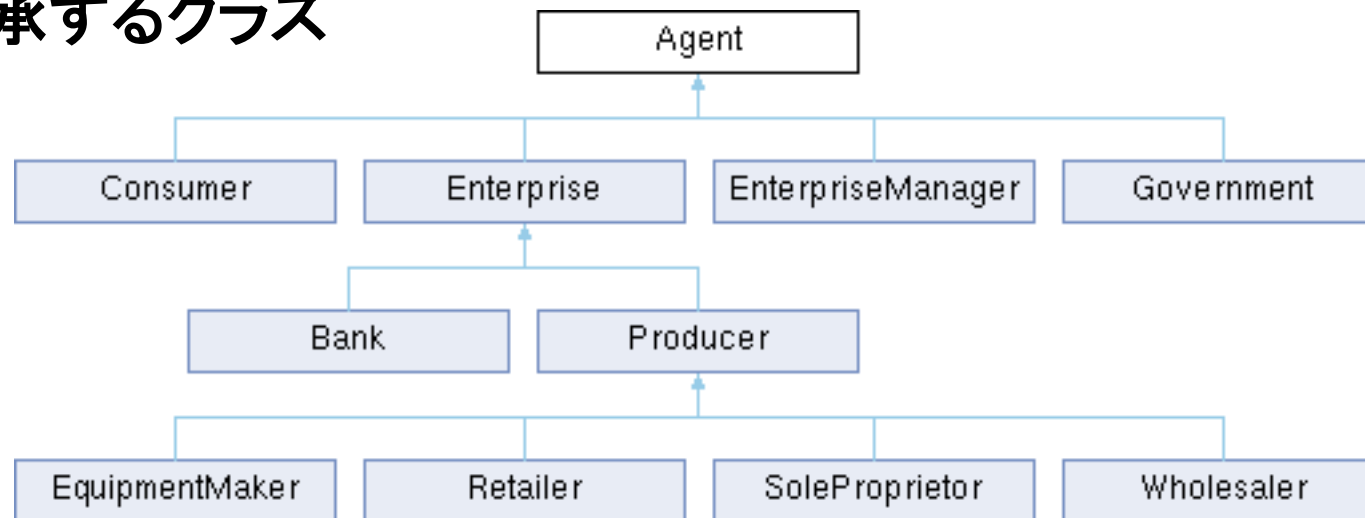
Accountant, (会計士、各Agentの会計データを集計し、産業連関表、GDPを計算する。

Item (商品クラス、価格、生産者、購入差情報を格納する、RetaileMarket、等

経済基本モデルにおける継承関係の例

各意思決定主体

Agent を継承するクラス

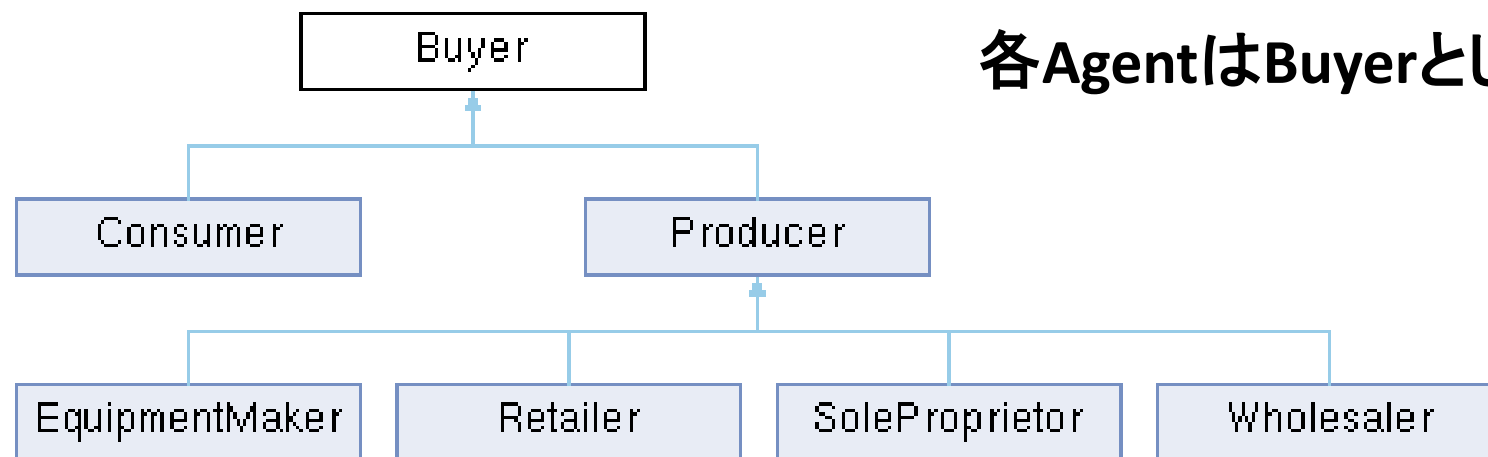


AgentAggregator を継承するクラス

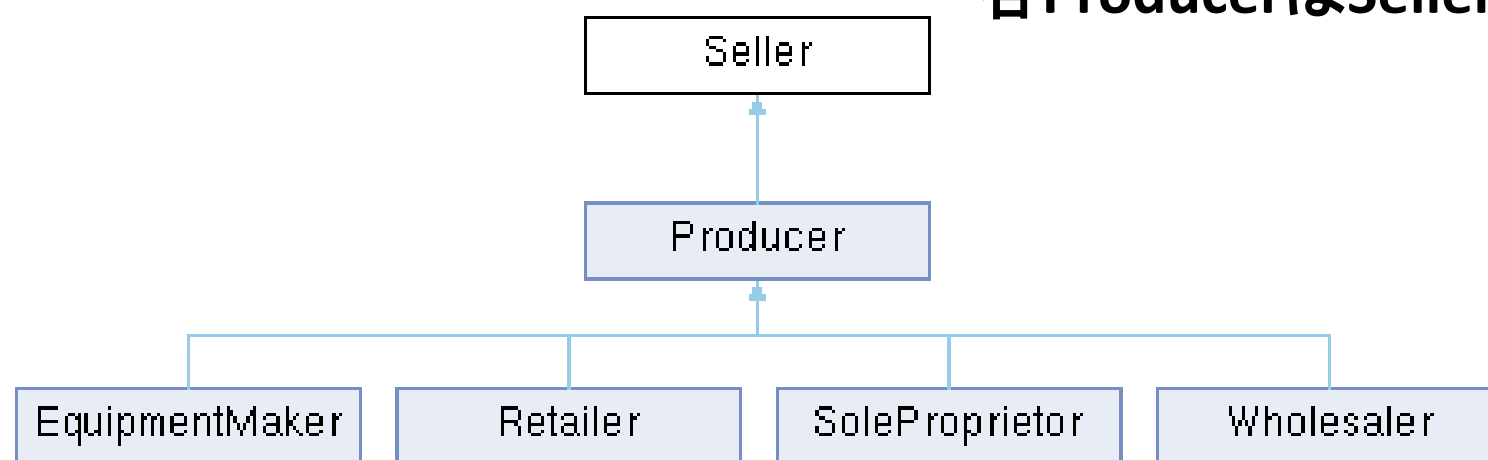
各種Agentの生成と管理



経済基本モデルにおける継承関係の例



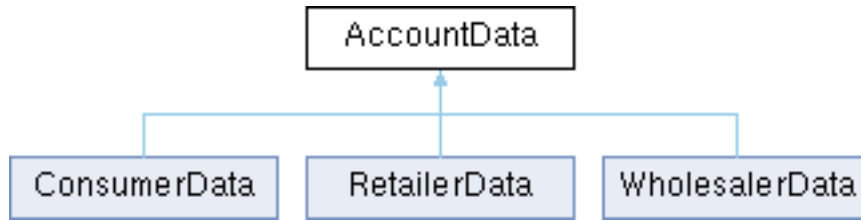
各AgentはBuyerとしての振る舞いを持つ



各ProducerはSellerとしての振る舞いを持つ

経済基本モデルにおける継承関係の例

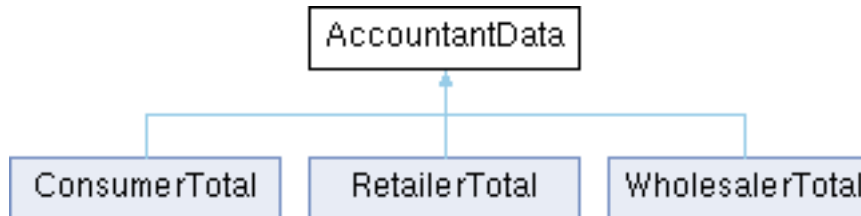
AccountData を継承するクラス



オブジェクトの実態はSimulatorConfigが保有

BookKeeperの会計データの
出力ファイルパスを保有

AccountantData を継承するクラス



オブジェクトの実態はSimulatorConfigが保有

Accountantの会計データの
出力ファイルパスを保有

Item

```
- item_type_id : int
- price : long long
- production_period : int
+ genka_per_item : long long

+ Item(item_type_id : int, price : long long)
+ ~Item()
+ set_production_period(period : int) : void
+ get_production_period() : int
+ set_genka_per_item(genka_per_item : long long) : void
+ get_genka_per_item() : long long
+ get_price() : long long
+ set_price(new_price : long long) : void
+ get_item_type_id() : int
+ set_seller(seller : Seller*) : void
+ Get_seller() : Seller
+ get_buyer() : Buyer
+ set_destination(destination : Destination*) : void
+ Get_destination() : Destination
+ get_dataAnalyzer() : DataAnalyzer
+ deal(buyer : Buyer*) : void
+ remove_from_market() : void
+ delete_self() : void
```

Itemクラス 商品

以下の関数を持つ

Get_item_type_id()

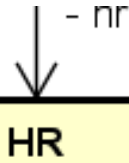
Get_price()

Get_seller()

Get_buyer()

Deal(): Buyerが購入した際に呼ばれる

Gget_



```
- employee_list : vector<int,allocator<T>>
- employee_address_list : vector<int,allocator<T>>
- employee_wage_list : vector<longlong,allocator<T>>
# agent_id : int
# agent_type : int
# n_employee : int

+ HR(agent_id : int, agent_type : int)
+ get_agent_id() : int
+ get_agent_type() : int
+ get_n_employee() : int
+ set_n_employee(n : int) : void
+ get_employee(ik : int) : int
+ set_employee_wage_list(employee_wage_list : vector<longlong,allocator<T>>) : void
+ set_up() : void
+ hire_employee() : void
+ get_employee_list() : vector
+ get_employee_wage_list() : vector
```

Hrクラス 人事部

以下の関数を持つ

```
hire_employee()
get_employee_list()
get_employee_wage_list()
set_employee_list()
set_employee_wage_list()
```

ABMによる知の蓄積方法論のまとめ

1. 人類は産業革命以降の科学技術の発展により、より豊かで便利な社会となってきたが、その一方で、国内の30年間にわたる長期経済停滞をはじめ、貧富の差拡大、世界的な地球環境問題、エネルギー問題、貧困問題、社会的分断、国家間対立、等、いまなお、大きな問題を抱えている。
2. 上記の背景には、自然システム系と社会システム系の、知の蓄積に関する著しいインバランスがある。
即ち、自然システムに対しては科学的方法論が確立して知の蓄積が進んでいるのに対し、社会経済分野では、自然科学の方法論がなりたらず、それに代わる有効な方法論も確立しないまま 学説の集合や単なるデータの蓄積に留まり、社会経済現象の因果メカニズムに関わる知の蓄積が行われてこなかったことがある。
その結果、因果メカニズムが不明のままに、力のあるものに有利なように諸政策が行われてきたことにある。
3. 社会経済分野の諸問題を合理的に解決していくためには、自然科学分野と同様に、諸現象の因果メカニズムを正しく解明することが不可欠と考える。
それに応える科学的方法論は、実システムと同じ原理で動作することが可能なABM (Agent-Based Modeling)以外にない。

ABMによる知の蓄積方法論のまとめ(続き1)

4. ABMの特徴の内、最大のものは、原理的に実システムと同じ原理で動作する人工社会をコンピュータ上に再現できる、100%ボトムアップなモデリング手法が可能な点にある。
従来のABM研究では、この点の認識が不十分であったために、モデリングの点でも知の蓄積が図られてこなかった。
(モデルの構造と現象再現との関係が不明確のまま、やったらこうなった的研究が多い)
5. 知の蓄積を可能とする新しいABM手法の基本原理は以下のとおりである。
 - ①現象ごとに、ABMで再現すべきその特徴を明確に定義する。
 - ②実現象の定性的特徴を再現するための必要不可欠なモデル構造を系統的な計算機実験により明らかにする、
 - ③モデルシステムにおいて、そのモデル構造が何故必要不可欠であることを解明することにより、因果メカニズムを明らかにする
 - ④モデルにおける因果メカニズムを実システムに置き換える。
これにより、着目する現象の因果メカニズムに関する理解が得られる。
6. 上記①～④のプロセスを、小規模現象から大規模現象へ向けて系統的に繰り返すことにより、種々の社会経済現象の因果メカニズムの解明が可能となる。

ABMによる知の蓄積方法論のまとめ(続き2)

7. 一旦実現象再現のモデル構造が明らかとなれば、そのモデルを用いて問題解決のための有効な政策を明らかにすることができる。(統計的データの解析と合わせて)
8. 個々の現象について、定性的な特徴再現のモデル構造が明らかになれば、そのモデル構造を用いて、パラメータ比を変えた系統的实验を繰り返すことにより将来的には、実現象を定量的に再現するモデル(定量的予測モデル)の実現も可能と考える。
9. ABMモデリングの基本プログラムを構築した。このプログラムは各種モデルに共通のクラスの枠組みと、モデル毎にことなるクラスで構成される。
モデリングに際しては、共通クラス枠組みの上で、モデル毎に必要なクラスを追加すればよいので、比較的容易にモデルプログラムの構築が可能である。
10. 社会経済現象は膨大な範囲に及ぶので、チームの共同作業で取り組むことが望まれる。将来は定量的予測モデルや、生命体システムモデルへの展開も可能