

# 経済社会のモデルフレームワークとシミュレーションプラットフォームの構築

## Boxed Economy Project のアプローチ



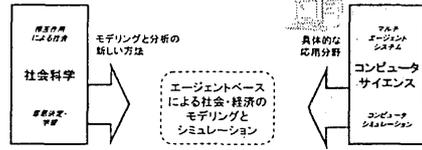
井庭 崇

iba@sfc.keio.ac.jp

千葉大学政策情報学専攻 専任教員(助手)  
 フジタ未来経営研究所リサーチフェロー  
 慶應義塾大学政策・メディア研究科

Boxed Economy Project

### The Gap



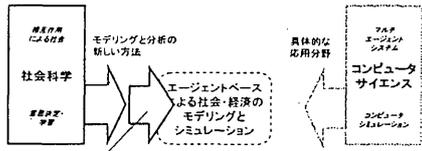
- エージェントベースによる社会・経済のモデリングとシミュレーションは、二つの側面をもっている。
- これら二つの分野からのアプローチの融合が求められるが、現状としては十分とはいえない。

### Agenda

- 1 出発点
- 2 動的で複雑なモデルを作成するための方法と戦略
- 3 シミュレーションの作成と共有のための仕組み
- 4 Boxed Economy Project の取り組み

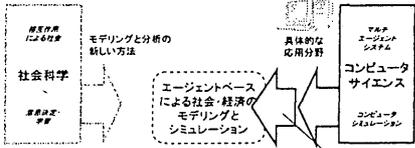
「経済社会のモデルフレームワークとシミュレーションプラットフォームの構築」

### The Gap



- エージェントベースアプローチによって社会・経済を記述するための基本語句 (primitive terms) とフレームワークの整備が必要。

### The Gap



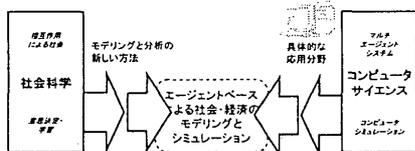
- 動的で複雑なモデルとシミュレーションを、効率的に設計・実装・保守できる仕組みが必要。

### Agenda

- 1 出発点
- 2 動的で複雑なモデルを作成するための方法と戦略
- 3 シミュレーションの作成と共有のための仕組み
- 4 Boxed Economy Project の取り組み

「経済社会のモデルフレームワークとシミュレーションプラットフォームの構築」

### The Gap → Our Solution



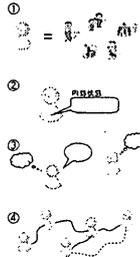
### 何を表現したいのか？ → どう記述するのか？

- モデルは、体系化された何らかの言語を用いて記述される。
- モデルで表現したいものの特徴によって、適切な記述方法は変わってくる。
- モデルの記述や蓄積を考えると、そのドメインに合った言葉や体系を整備する必要がある。

### 何を表現したいのか？

- 社会における制度・規範・知識・技術の生成と進化を円的に表現したい。
- 経済学のコンテキストでは「複合系経済学」や「進化経済学」といわれるカテゴリ。
- そのようなモデルのためには、以下の4点が組み込まれることが重要。

- ① 社会が、真実性と多様性のある主体から構成されているということ。
- ② 主体が原子論的な意味でのアトムではなく内部状態をもっているということ。
- ③ 情報や知識が生成され、伝達され、解釈されるということ。
- ④ 主体間の関係やその意味が動的に変化するということ。



### どう記述するか？

- 前述の4点を実現するためには、適用する記述方法が次の3つの要件を満たす必要がある。
  - モデルの構成要素それぞれが多様に状態を保持できること。
  - 構成要素間の関係といった「構造的な側面」と、時間とともに変化するという「動的な側面」をともに扱えること。
  - モデルの中で知識や情報を扱うための記号処理ができること。
- +
- モデル化の容易さや可読性の観点から、人間の経験的感覚との対応が取りやすいこと。
  - モデルの操作が容易であり効率的であること。



ここでは、計算的モデル、中でも特にオブジェクト指向パラダイムに注目。

### どう記述するか？→オブジェクト指向

- オブジェクト指向では、世界を構成するもの(thing)のひとつひとつを「オブジェクト」という基本単位で捉え、その状態変化や関係変化によって現象を表現する。
- それぞれ振舞い(機能)をもち自分の状態を保持しているオブジェクトがたくさん存在し、それらが相互作用しているという点が、オブジェクト指向のポイント。
- 複雑性に対処するメカニズムによって、効率的な記述も可能
  - 「クラス」による体系化や一括記述
  - 汎化や継承といったクラス間関係の記述
- オブジェクト指向の記法は、近年、UML(Unified Modeling Language: 統一モデリング言語)として標準化されている。
- プログラミング言語に置き換えて、コンピュータ・シミュレーションを行うことができる。

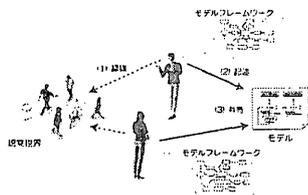
### フレームワークの戦略的導入

- 現実世界を分析・体系化する際、毎回白紙の状態から行うのは大変な作業となる。
- このような問題への戦略的なアプローチとしては、
  - 科学的研究では、概念や用語、理論などを定義し、共有する。
  - ソフトウェア工学では、ドメインに特化したフレームワークを定義し、共有することが行われている。



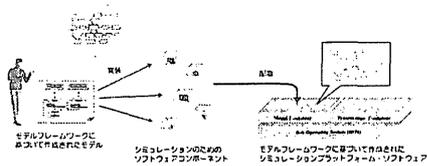
### モデルフレームワークの役割

- 現実世界の認識のための準拠枠
- モデルを記述するための語彙
- モデル作成者間のコミュニケーションのためのコード



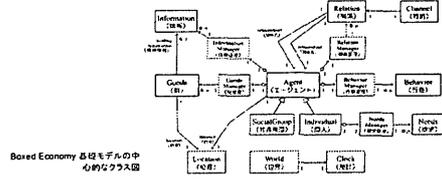
### モデルフレームワークの役割(ソフトウェアの側面)

- モデルフレームワークに基づいたアーキテクチャのソフトウェアを作成することもできる。



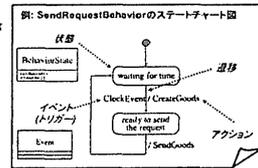
### 私たちの提案するモデルフレームワーク: Boxed Economy基礎モデル

- 現実の経済社会のもつ構造をオブジェクト指向分析によって抽象化し作成したモデルフレームワーク
- エージェントベースによる社会・経済のモデルのための基本デザインを提供する

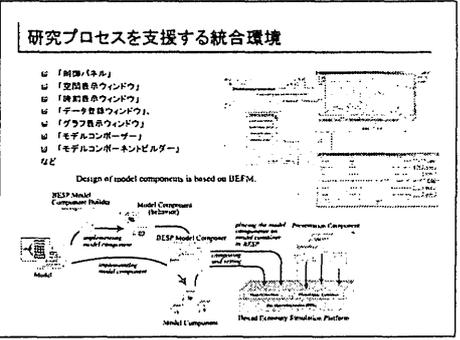
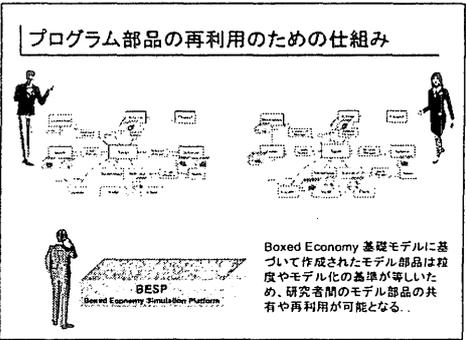
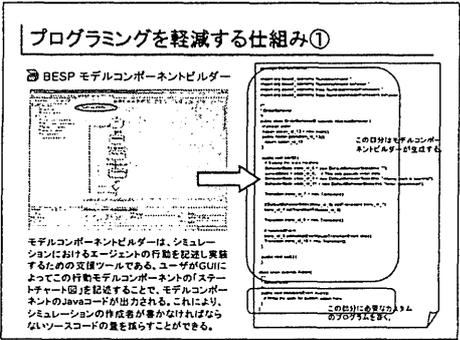
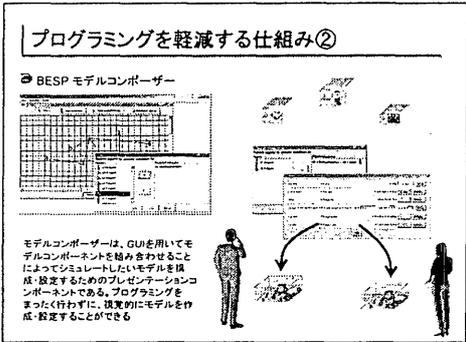
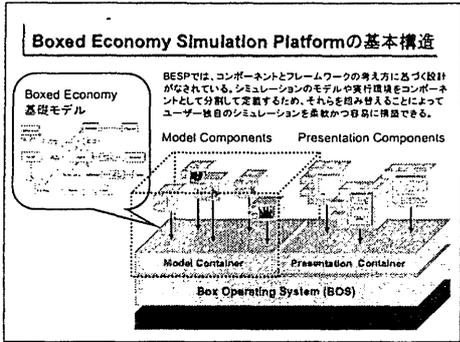


### Boxed Economy基礎モデルにおけるBehavior

- 外界のイベント(オブジェクトに影響を及ぼさざる出来事)が発生すると、現在の自分の状態に応じてエージェントの振舞いが決まる。このような動的な振舞いを実現するために、基礎モデルではエージェントの持つBehaviorを状態機械(state machine)として定義している。状態機械とは、何らかのトリガーとなるイベントを受け取って状態を遷移させながら動くシステムである。
- Agentは複数のBehaviorを並行的に実行することができる。基礎モデルでは、この行動別の内部状態をそれぞれの行動にもたせることで、エージェント内部における行動の多様な組み合わせを表現することができる。







### Boxed Economy Project

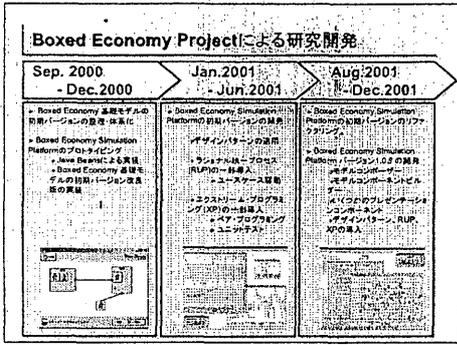
井原 崇    上原 賢一    水見 出典    高部 陽平  
 中村 俊秀    山田 悠    森久 保嗣英    北野 聖典  
 高塚 雄    深田 隆之介    青山 尚    廣美 賢治  
 松澤 秀樹    田中 義一郎    水島 敬典    渡辺 浩太郎

- 慶應義塾大学
  - 経済学部
  - 経済学
  - 経済学
  - 経済学
- 千葉商科大学
  - 経済学
- フジタ未来経営研究所
- 合資会社ニューメリック

- ### Agenda
- 1 出発点
  - 2 動的で複雑なモデルを作成するための方法と戦略
  - 3 シミュレーションの作成と共有のための仕組み
  - 4 Boxed Economy Projectの取り組み
- 「経済社会のモデルフレームワークとシミュレーションプラットフォームの構築」

### Boxed Economy Project への準備・立ち上げ

Sep. 1997 - Mar. 1999	Apr. 1999 - Mar. 2000	Apr. 2000 - Aug. 2000
<ul style="list-style-type: none"> <li>『経済学入門』(NTT出版)の出版</li> <li>先進シミュレーション研究(月報、日本語)</li> <li>『経済学入門』の出版</li> <li>『経済学入門』の出版</li> <li>『経済学入門』の出版</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>社会シミュレーションの普及の推進を目指して「In-The-Boxプロジェクト」を立ち上げる。</li> <li>『経済学入門』の出版</li> <li>『経済学入門』の出版</li> <li>『経済学入門』の出版</li> <li>『経済学入門』の出版</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Boxed Economy Projectという新しい名称のもとで再スタート</li> <li>『経済学入門』の出版</li> <li>『経済学入門』の出版</li> <li>『経済学入門』の出版</li> <li>『経済学入門』の出版</li> </ul>



### Appendix 1: オブジェクト指向

#### 計算的モデルの発展

- 近年の計算的モデルの発展は「命令から宣言へ、手続きからオブジェクトへ、逐次集中から並列分散へ」(青木 1993)という方向性にある。このような流れにあるパラダイムのひとつが「オブジェクト指向」。
- 「命令から宣言へ」
  - 「これをやっつてから、次にこれをやっつて」というように詳細な計算手順を命令的に記述するスタイルから、「これはそれとこのような関係にある」というように、計算の意味を宣言的に記述するスタイルになっている。
- 「手続きからオブジェクトへ」
  - 主に計算手順を記述するスタイルから、計算手順とデータをひとまとまりとして扱うようなスタイルになっている。
- 「逐次集中から並列分散へ」
  - 計算の実行がひとつのところで集中的に行われるというスタイルから、分散して存在する複数の実行部が、協調して計算を行うというスタイルが多くなってきた。

青木 1993, オブジェクト指向システム分析設計入門, ソフトリサーチセンター, 1993  
青木 1994, 「機械による」! オブジェクト指向分析設計テクニック, ソフトリサーチセンター, 1994

### Summary 「経済社会のモデルフレームワークとシミュレーションプラットフォームの構築」

- 1 出発点**  
エージェントベースによる社会・経済のモデリングとシミュレーションには、「社会科学」の側面とコンピュータサイエンスの側面があり、その間にはまだギャップがある。
- 2 動的で複雑なモデルを作成するための方法と戦略**  
モデルは直観を用いて記述されるが、表現したいものの特性によって、適切な記述方法は変わってくる。そのドメインに合った技法や技法を選択する必要がある。ここでは、オブジェクト指向による計算的モデルのモデルフレームワークとして、「Boxed Economy 基礎モデル」を紹介した。
- 3 シミュレーションの作成と共有のための仕組み**  
シミュレーションによる研究では、プログラムの作成が不可欠であるため、「プログラムの実行」や「プログラムの再実行の再利用のための仕組み」、「研究プロセスを一貫して支援する統合環境」の提供などが求められる。この問題を解決するシミュレーション環境として、Boxed Economy Simulation Platform (BES) を紹介した。
- 4 Boxed Economy Project の取り組み**

### 社会科学における計算的モデルの適性

- 社会科学の理論の形式化に、計算的モデルが数学的モデルよりも適している理由

N. Gilbert and K.G. Troitzsch (1998)

- 現象との対化関係の把握が容易
- 並列的なプロセスや、順序が決まっていないプロセスの扱いが容易
- モジュール性をもちやすいため容易
- 高貴で多様な主体を組み込んだモデルの構築が容易

D.E. Knuth (1985)

- 数学には2つの思考型が欠如
  - ①「複雑度」=「操作の節約」の概念
  - ②過程の状態に関する動的な概念
- コンピュータサイエンスでは
  - ①同時に実行される並列作用の相互作用を研究するときにも、状態の概念が重要
  - ②異なる多様な場合を扱うという傾向があり、本質的に均質でない概念に柔軟に対応できる

Gilbert, N. and Troitzsch, K. G., Simulation for the Social Scientist, Open University Press, 1999

### オブジェクト指向: オブジェクト

- オブジェクト指向では、世界を構成するモノ(thing)のひとつひとつを「オブジェクト」として捉え、その状態や関係の変化で社会システムや社会現象をモデル化する。
- オブジェクトとは、現実世界における有形無形のモノを、その属性(状態)と振る舞い(行動・動き)とをひとまとまりにして表現したもの。
- オブジェクト指向では、現象をオブジェクト間の相互作用としてモデル化する。
- オブジェクト指向の中心的な考え方は、それぞれ振舞い(機能をもち自分の状態を保持しているオブジェクトがたくさん存在し、それぞれ相互作用しているという点である。

### オブジェクト指向: クラスの利点

- 世界の複雑さに対処するため、オブジェクトをクラスで分類して把握する。
- 人間の認知プロセスにおける「概念化」と同じメカニズム。人間は世界のさまざまな物事を認知するとき、共通する性質に着目した「概念」を通して把握や体系化する。
- クラスを用いることによって、共通項を一括して表現できるようになるため、オブジェクトの体系的な整理が可能となる上、効率的な記述が可能となる。

### オブジェクト指向: クラス

- 「クラス」とは、共通の性質(属性の種類と振舞い)をもつオブジェクトを分類したものである。
- クラスは状態をもたないが、そのインスタンス(具体例)であるオブジェクトは必ず状態をもつ。

### オブジェクト指向(4): クラス間関係

- 人間の認知と同様に、オブジェクト指向でも複数のクラスを関係づけるメカニズムを用いて複雑性に対処する。

**オブジェクト指向(O):標準的な記述方法**

- UML (Unified Modeling Language: 統一モデリング言語)
- OMT法やBooch法など、約50ほどあった方法論や記法を、統一しようという試みがRational社のもとで行われた。
- 統一モデリング言語(UML)は、Object Management Group(OMG)で、1997年11月に標準言語として、採択された

James Rumbaugh, Ivar Jacobson, and Grady Booch, The Unified Modeling Language Reference Manual, Addison Wesley Longman, 1999  
 ジェームズ・ランバウ、イヴァー・ヤコブソン、グラディ・ブーチ、UMLリファレンスマニュアル、石坂洋次郎(監訳)、日本ラショナルソフトウェア株式会社(訳)、ピジョン・エデュケーション

**Publication [2001年①]**

- 田中 隆雄, 田中 隆雄, 田中 隆一, 上田 正一, 渡辺 文之, 佐野 昌典, 渡辺 智也, "Based Economyの記述に向けて:エージェントベース経済シミュレーションのための記述言語", 電子情報通信学会(人口知能と認知処理:情報処理学会) 第10回大会, 2001年11月
- 田中 隆雄, 田中 隆雄, 田中 隆一, 上田 正一, 渡辺 文之, 佐野 昌典, 渡辺 智也, "Based Economy 記述言語の構文設計:エージェントベース経済シミュレーションのための記述言語", 電子情報通信学会(人口知能と認知処理:情報処理学会) 第10回大会, 2001年11月
- 田中 隆雄, "The Making of...", 第10回大会発表資料集, 電子情報通信学会, 2001年11月
- 田中 隆一, 渡辺 文之, 田中 隆雄, 田中 隆雄, "Based Economy 記述言語の構文設計:エージェントベース経済シミュレーションのための記述言語", 電子情報通信学会(人口知能と認知処理:情報処理学会) 第10回大会, 2001年11月
- 田中 隆雄, "Based Economy 記述言語の構文設計:エージェントベース経済シミュレーションのための記述言語", 電子情報通信学会(人口知能と認知処理:情報処理学会) 第10回大会, 2001年11月
- 田中 隆雄, "Based Economy 記述言語の構文設計:エージェントベース経済シミュレーションのための記述言語", 電子情報通信学会(人口知能と認知処理:情報処理学会) 第10回大会, 2001年11月
- 田中 隆雄, "Based Economy 記述言語の構文設計:エージェントベース経済シミュレーションのための記述言語", 電子情報通信学会(人口知能と認知処理:情報処理学会) 第10回大会, 2001年11月
- 田中 隆雄, "Based Economy 記述言語の構文設計:エージェントベース経済シミュレーションのための記述言語", 電子情報通信学会(人口知能と認知処理:情報処理学会) 第10回大会, 2001年11月
- 田中 隆雄, "Based Economy 記述言語の構文設計:エージェントベース経済シミュレーションのための記述言語", 電子情報通信学会(人口知能と認知処理:情報処理学会) 第10回大会, 2001年11月
- 田中 隆雄, "Based Economy 記述言語の構文設計:エージェントベース経済シミュレーションのための記述言語", 電子情報通信学会(人口知能と認知処理:情報処理学会) 第10回大会, 2001年11月

Appendix 2: Based Economy Projectの発表リスト

**Publication [1999年~2000年]**

- 田中 隆雄, 田中 隆雄, 田中 隆一, 上田 正一, 渡辺 文之, 佐野 昌典, 渡辺 智也, "Based Economy Projectの発表リスト", 電子情報通信学会(人口知能と認知処理:情報処理学会) 第10回大会, 2001年11月
- 田中 隆雄, "Based Economy Projectの発表リスト", 電子情報通信学会(人口知能と認知処理:情報処理学会) 第10回大会, 2001年11月
- 田中 隆雄, "Based Economy Projectの発表リスト", 電子情報通信学会(人口知能と認知処理:情報処理学会) 第10回大会, 2001年11月
- 田中 隆雄, "Based Economy Projectの発表リスト", 電子情報通信学会(人口知能と認知処理:情報処理学会) 第10回大会, 2001年11月
- 田中 隆雄, "Based Economy Projectの発表リスト", 電子情報通信学会(人口知能と認知処理:情報処理学会) 第10回大会, 2001年11月
- 田中 隆雄, "Based Economy Projectの発表リスト", 電子情報通信学会(人口知能と認知処理:情報処理学会) 第10回大会, 2001年11月
- 田中 隆雄, "Based Economy Projectの発表リスト", 電子情報通信学会(人口知能と認知処理:情報処理学会) 第10回大会, 2001年11月
- 田中 隆雄, "Based Economy Projectの発表リスト", 電子情報通信学会(人口知能と認知処理:情報処理学会) 第10回大会, 2001年11月
- 田中 隆雄, "Based Economy Projectの発表リスト", 電子情報通信学会(人口知能と認知処理:情報処理学会) 第10回大会, 2001年11月
- 田中 隆雄, "Based Economy Projectの発表リスト", 電子情報通信学会(人口知能と認知処理:情報処理学会) 第10回大会, 2001年11月

**Publication [2001年②]**

- T. Iba, Y. Takabe, Y. Chubachi, Y. Takahashi, "Based Economy Simulation on Platform and Foundation Model", Workshop of Emergent Complexity of Artificial Markets, 10th International Conference on Computational Intelligence and Multimedia Applications, Kagoshima, 2001年12月
- T. Iba, Y. Takabe, Y. Chubachi, Y. Takahashi, R. Tsuya, S. Kikami, M. Haraoka, Y. Matsuzawa, "Based Economy Simulation Model: Toward Simulation Platform for Agent-Based Economic Simulation", In: Frontiers in Artificial Intelligence, Takao Terano, Toyoharu Niwa, Akihiro Nakamura, Satoru Tamura, Taka Ohno, Takashi Watanabe (Eds.), Springer-Verlag, 2001, pp.771-786
- Based Economy Project, "Based Economy Simulation on Platform, Software & Dictionary", CD-ROM, ソフトウェア研究会発表資料, 2001年12月
- Based Economy Project, "BESP1.0.0 ユーザーズガイド", ソフトウェア研究会発表資料, 2001年12月

**Publication [2002年]**

- T. Iba, Y. Takabe, Y. Chubachi, Y. Takahashi, M. Asada, K. Kato, "Resolving the Existing Problems by Based Economy Simulation Platform", Agent-based Approaches in Economic and Social Complex Systems, Asia Haraoka, Takao Terano, Kohei Nakano (Eds.), IOS Press, 2002, pp.25-34
- 田中 隆雄, 田中 隆雄, 田中 隆一, 上田 正一, 渡辺 文之, 佐野 昌典, 渡辺 智也, "Based Economy Simulation Platformの構築とエージェントベース経済シミュレーションのための記述言語", 電子情報通信学会(人口知能と認知処理:情報処理学会) 第11回大会, 2002年11月
- 田中 隆雄, "Based Economy Simulation Platformの構築とエージェントベース経済シミュレーションのための記述言語", 電子情報通信学会(人口知能と認知処理:情報処理学会) 第11回大会, 2002年11月
- 田中 隆雄, "Based Economy Simulation Platformの構築とエージェントベース経済シミュレーションのための記述言語", 電子情報通信学会(人口知能と認知処理:情報処理学会) 第11回大会, 2002年11月
- 田中 隆雄, "Based Economy Simulation Platformの構築とエージェントベース経済シミュレーションのための記述言語", 電子情報通信学会(人口知能と認知処理:情報処理学会) 第11回大会, 2002年11月
- 田中 隆雄, "Based Economy Simulation Platformの構築とエージェントベース経済シミュレーションのための記述言語", 電子情報通信学会(人口知能と認知処理:情報処理学会) 第11回大会, 2002年11月
- 田中 隆雄, "Based Economy Simulation Platformの構築とエージェントベース経済シミュレーションのための記述言語", 電子情報通信学会(人口知能と認知処理:情報処理学会) 第11回大会, 2002年11月
- 田中 隆雄, "Based Economy Simulation Platformの構築とエージェントベース経済シミュレーションのための記述言語", 電子情報通信学会(人口知能と認知処理:情報処理学会) 第11回大会, 2002年11月
- 田中 隆雄, "Based Economy Simulation Platformの構築とエージェントベース経済シミュレーションのための記述言語", 電子情報通信学会(人口知能と認知処理:情報処理学会) 第11回大会, 2002年11月
- 田中 隆雄, "Based Economy Simulation Platformの構築とエージェントベース経済シミュレーションのための記述言語", 電子情報通信学会(人口知能と認知処理:情報処理学会) 第11回大会, 2002年11月