

階層化モデル管理を用いた ユーザーフレンドリーな市場構造シミュレータの開発

猪飼維斗^{†1} 板倉直明^{†1}

いろいろな市場モデルの構築や市場参加者の意思決定を、容易にわかりやすくモデル化できるマルチエージェント手法のシミュレータを提案する。このモデル構築法によれば、例えば、ネットオークションのルールのようにシステム設計の多様性に対応した市場側モジュールの構築や、市場参加者の複雑な意思決定をホワイトボックスな構造でわかりやすくモデル化できる。これによってシミュレータやプログラムの専門的な知識がなくとも利用できるようなプラットフォームとすることを目的としている。本シミュレータではモデルを階層化して構築・管理することで、モデルの自由度を維持しつつ、モデルの各部分的機能の把握が可能である。そのために、機能ごとにブロック化したモジュールの組み合わせでモデルを構築している。

Development of User Friendly Simulator about Market by Using Hierarchical Model Management

MASATO IKAI^{†1} NAOAKI ITAKURA^{†1}

We propose a simulator based on the multi-agent concept for building various market trading models which can be built easily. This simulator can support a white box modeling structure on building some complex models, e.g. an internet auction that requires both inner sub-models. They are a market rules model and a player's model. The white box modeling has the advantages of easy to understand the model structure. So, a person who is not an expert in simulation or programming, can use this simulator as a platform. This simulator manages a multi-layer modeling which allows substitute each part of model module. The whole model is made of some sub-model modules. This can provide the free modeling method and local model structures which describe some partial behavior of the targets.

1. はじめに

コンピュータの進歩に伴い、さまざまな事象に対してシミュレーション手法を用いた解析が行われている。中でも人間の社会的活動を対象としたシミュレーションは、マクロな形ではモデル化されているものの、近年より強く求められるようになったマーケティングなどではよりミクロなレベルでのモデルの妥当性の評価が要求されている^[1]。

ミクロスコピックな手法はその対象となる人間の意思決定構造の複雑さから、モデル化することが非常に困難である^[2]。同じ対象についてシミュレーションを行う際にもそのモデル化は多数の方法論が存在し、そのためその対象となる構造を実現するシミュレータもそれぞれの命題によって様々なものが提案・構築されてきた。

市場と取引を対象とした場合においても、そのモデル化のためには市場の分析と細分化、市場参加者の挙動の分析、市場ルールの設定などの多数の要素をもとに、モデル化を行う必要があり、それらの結果からより適したモデルの模索が行われている。

中でも市場ルールの設計は近年注目されているネットオークションでの入札・落札ルールなどのシステムデザインなどがあり、これらに対応したシミュレータの需要が高ま

っている。

ミクロスコピックなシミュレーションには MATES^[3]などのように道路交通モデルを基本に複合的な人車混合のシミュレーションを行うことが可能なシミュレータも存在している。ほかにも自律的主体の相互作用によって商品市場における企画競争のモデル化などが試みられている^[4]。

これらのシミュレータは MAS (Multi-Agent Simulation) という手法を用いている。MAS では内部状態と行動ルールをもった行動主体の意思決定による行動が環境に影響を与えることで、その相互作用によって複雑なシステムをシミュレートすることができる。

しかしながらこれらのシミュレータは、一つのモデルに一つのシミュレータという形で、それぞれのシミュレーションの対象に対して専用のモデルおよびそれを動かす専用のシミュレータが組み上げられている。このため一つのシミュレータの開発に時間がかかり、また優れたモデルであってもそれを運用するためのプラットフォームであるシミュレータが異なれば、それを適用し使用するためにはそのシミュレータの構築に関する専門的な知識が要求されてしまう問題がある。

シミュレーション言語として開発された GPSS などの汎用シミュレーションシステムでは、待ち合わせ理論に基づいた広範な用途でのシミュレーションが可能である。このような汎用シミュレーションに対応したシステムが MAS のモデリングにも用意できれば、簡易なシミュレーション

^{†1} 電気通信大学大学院情報理工学研究所
Department of Informatics, University of Electro Communications

を複雑なプログラミングなしに行うことができることが期待される。

そこでより簡便にさまざまなモデルを構築・再現しうるモデル構築手法とそれを運用する汎用シミュレータの開発を行った。

本稿では、この簡便なモデル構築に必要ないくつかのデータ処理構造を、マルチエージェントなモデル構築にするためのプラットフォームの構築を試みた内容を発表する。

本モデルは自動車交通シミュレータ MITRAM^[5]で用いられたネットワーク構造による意思決定モデルの構築法をもとに、その機能を拡張し、さらに多くの状況に適応可能な構造として CBRF (Cascaded Binary Relation Function) というモジュール単位とそれを包括する PWC (PatchWork Connetion) という構造を定義している。そしてそれらのモジュールを用いて実際に CBRF として移動平均や最大値の取得などをモデル化しその動作を検証した。

2. PWC 構造のシミュレータとその意義

本シミュレータではモデルの構築に PWC という構造概念を用いている。PWC はモデルの機能を一まとまりの意思決定の部分ごとにモジュール化し、それらを上位の管理部分で結合することで一つのモデルを構成する構造である。

この構造を用いることによってモデル構造を階層化して管理することが可能となり、複雑で大規模なモデルをわかりやすく構築・管理することが可能となる。モデルの各モジュールでは MITRAM で開発されたモデル構築法である FIU ネットワーク構造を用い、このモジュールの単位を CBRF と呼称している (図 1)。

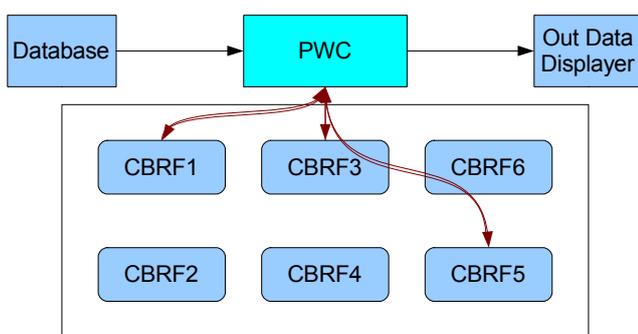


図 1 PWC によるモデル管理構造

このように CBRF を組み合わせたモデル構築法を用いることは、CBRF 以下の構造を任意に置き換えることが可能であり、さらにそれらの CBRF 相互の接続関係を CBRF レベルでの構造とは切り離して構築することが可能となる。そのため MAS でプレーヤごとに異なるモデルを用いてシミュレーションを行うといった場合にモデルの構築を容易に行える有効性がある。

実際に MAS でシミュレーションを行うにあたっては、プレーヤ一人ひとりに異なるモデルをあてがうことは無意

味に手間を増やすだけであり、それぞれのモデルの検証も考えると、そのようなシミュレーションを行うことは困難であると考えられる。そのため各プレーヤのエージェントに用いられるモデルは同一で、与えられるパラメータによってその意思決定が変わるようなモデルが望ましい。

実際 MITRAM で用いられてきた FIU ネットワークでは、個々の演算素子である FIU における推論レベルではある程度パラメータの違いによる結果の変化を反映することができたが、複数のパラメータによる特性の実現を行うためには複雑なネットワーク構造によって再現する必要があった。

それらの特性を考慮したモデルの有効性を発揮するには、パラメータの如何によってモデル全体の選択を行うという、メタレベルでの意思決定機能を持つ必要がでてくる。しかし、一つの FIU ネットワークでこのようなモデルを構築しようと試みると、モデルの大規模化のみならず、メタ判断に属する管理を行う部分までもが巨大なモデルの中に埋没してしまう危険があった。

今回提案した PWC 構造ではこういったメタレベルでの意思決定の構造を CBRF の上位の管理構造として階層化することで CBRF 以下の構造に拘泥せずにメタ判断の構造を構築することが可能である。

3. PWC 構造の実現のために必要な機能

3.1 モデルの構築手法

PWC 構造ではより大枠の理解モデルからそのモデルに必要なモジュールを設定し、個々のモジュールを CBRF で作成することによって一つのモデルを構築する。

本シミュレータで採用する MAS は、道路交通や避難経路などを取り扱う社会学分野、市場取引や商店での販売モデルを取り扱う経済学分野、生物の動態や細菌の繁殖などを取り扱う自然科学分野などに用いられる^{[6][7][8]}。これらの各分野ではそれぞれに定説となっている理論があり、それらの理論を踏まえた上でのモデル構築をおこなうことでよりもっともらしいモデルとなる。このようなモデルの構築手法には「Boxed Economy シミュレーションプラットフォーム」のようなものがある^[9]。

MAS を用いる目的には実際の構造のモデル化による解析と、仮想のモデルによる実際の構造の再現という二つの方向性がある。前者ではより簡素な条件設定でモデル化することが求められ、後者ではより複雑な意思決定を再現可能であることが求められる。

方向性の異なるこれらの命題に対して PWC 構造では CBRF 以下の構造とそれらをつなぐ PWC 構造とで分離することにより、同じ条件下で構築することが可能となる。この際、CBRF 以下の構造に一種のソフトマクロとして内部構造が構築かつ検証済みのものを利用することで、概念的な理解モデルの構造をそのままモデル化することが可能

となる。

PWC 構造では先ず概念的なモデルをもとに、必要となるモデルのモジュールを決定し、それぞれに CBRF を割り当てる。次にそのモジュールの機能にあわせて CBRF の内部構造を記述する (図 2)。

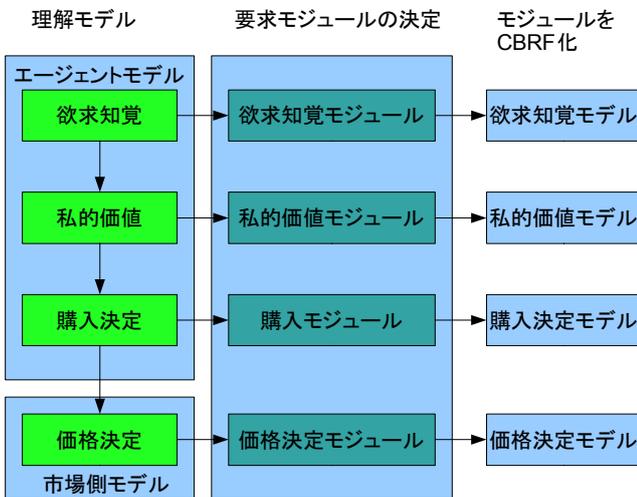


図 2 モデル化の手順

この際 CBRF の内部構造のモデルが必ずしも正しいとは限らない。しかし、PWC 構造下では CBRF への入力データと CBRF からの出力データさえ同じであればその内部構造がどのようなものであれ、上位構造部分を変えずに CBRF のみを入れ替えることが可能である。

つまり、入出力データによってやり取りされる情報を決めてやることによって CBRF 以下の下位構造の構築とそれらをつなぐ上位構造は分離して構築することが可能となる。そのため、さまざまな CBRF を用意してそれを入れ替えることでよりもらしいモデルへと近づけるという手法によってモデルの発掘を行うことが可能となる。

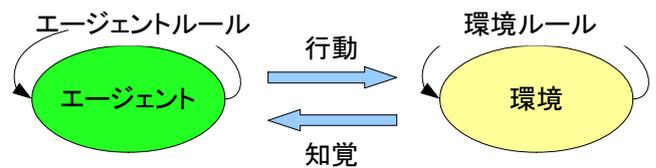
この手法は、たとえば生物体におけるゲノムの差し替えと似た概念である。

3.2 必要となるデータのフィードバック経路の実現

マルチエージェントシミュレータは、エージェント・環境そしてその相互作用を定めるルールという構成要素からなっている^[10]。PWC 構造でその要素を実現するためには

- a) 環境の知覚によって行動ルールを選択する目的の設定
- b) エージェントの行動ルールの設定
- c) エージェント行動を環境あるいは他のエージェントに出力する機能
- d) 出力されたデータをもとに環境側のルールに基づいて環境条件を変更する機能

の四つの機能が必要となる (図 3)。



エージェントと環境間での相互作用

図 3 MAS の構造

a)はメタ判断に属する意思決定であり、この要素の実現にはいくつかの意思決定パターンを切り替える機能が必要となる。

b)はエージェントの意思決定モデルなどであり、入力された情報に対する処理機能によって実現される。

c)はエージェント側のモデルから出力された情報を統合し環境あるいは別のエージェントに受け渡す機能であり、エージェントから環境側モデルや他のエージェントへの情報受け渡しによって実現できる。

d)は環境側モデルのルールをモデル化し、出力する機能によって実現できる。

PWC 構造ではこれらの様々な機能を CBRF という単位で構築し、その接続関係によって管理する。比較的単純な行動ルールを再現する CBRF の組み合わせによってプレイヤーの意思決定モデルや市場側の価格決定ルールを構築し、ある CBRF の出力から別の CBRF の入力へのデータの移動という形でこれらの CBRF の接続関係を設定、それを PWC 構造によって管理することで、自律的な知的エージェントと環境側モデルをシームレスに実現する。

PWC 構造では CBRF から CBRF 自身あるいは他の CBRF へのフィードバック関係も同様な接続関係として管理されており、これらの経路を網羅できればすべてのフィードバック関係を示すことができ、MAS において必要となるであろう要素を PWC 構造下で実現できるものと考えられる。

PWC でこれらの経路を実現しようとする、データの移動経路は通常経路と合わせて以下ようになる (図 4)。

- 1 CBRF から CBRF へ
- 2 Output から CBRF へ
- 3 Output から Input へ
- 4 他の agent から CBRF へ

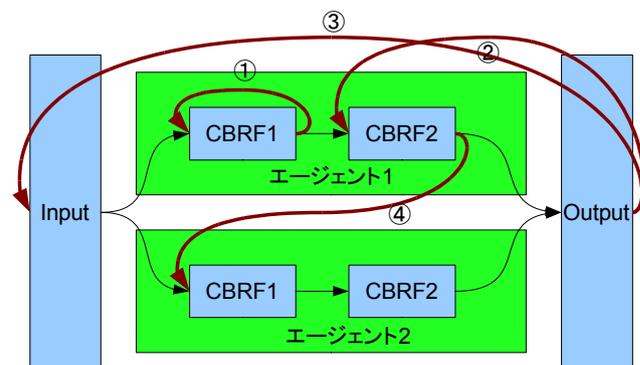


図 4 データのフィードバック経路

1はある CBRF の出力を別の CBRF の入力へと接続する経路で、通常はこの形式で CBRF を接続し、全体のモデルにする。通常モデル中でのフィードバック機能もこの経路で構築できる。

2はステップごとに出力されるデータをモデルの output から input へと受け渡す経路で、1シミュレーション中の1単位時間ごとに、初期値の代わりに変化した可変データをフィードバックする機能に用いられる。

3は複数ステップからなる1回のシミュレーションの試行結果を CSV 形式で出力するもので、このデータを解析して次のシミュレーション試行へと反映させる方法でデータがフィードバックされる。この機能は出力された CSV データを手動で PWC 構造への初期データへとすることも実現できる。

4は異なるプレーヤのモデルを構成する CBRF の出力を受け取ることができる経路で、この機能により複数のエージェントの出力情報を統合する機能などが実現できる。

これら4種類の経路を用いることで CBRF の組み合わせによる様々なモデルの実現が可能となる。PWC 構造下では、従来は多く採用された、別々にモジュールを構築して、それを結合させてデータをやり取りする構造とは異なり、エージェント側のモデルと環境側のモデルを統一的な手法で表現できるようになる。

さらにメタ的な意思決定やシミュレーションの対象となる環境のモデルをシームレスに付け加え、あるいは削除することで様々なシミュレーション対象に対応することが可能となる。

4. 具体的な CBRF

4.1 CBRF の構築

以上のようなデータ伝達経路をシミュレータ上で実現することによって、エージェント側モデルと環境側モデルの構築、そしてそれらを結節する情報伝達経路を構築することが可能となった。

さらに、シミュレーションのステップ中に他のエージェントからの情報を取り込む情報伝達経路の実装によって、これまで環境側モデルとして別個に構築しなくてはならなかった様々な機能を CBRF として取り込むことが可能となった。

エージェント側モデルと同様に環境側モデルもその機能を CBRF で構築することで、容易にモデルを改変することができ、様々な市場システムの実験などに用いることが可能となるであろう。ここでは、市場取引の環境側モデルでよく使われる統計処理の移動平均や最大値を取得するための CBRF を構築し、その機能を検証する。

4.2 移動平均のモデル化

まず、移動平均の CBRF は以下の図5のように組むことが可能である。本来、移動平均のような統計的な値は、シ

ミュレーション結果から別途算出し、次のシミュレーションの初期データとして適用することが多かった。

しかし、セリ価格のトレンドなどを参考にするためにシミュレーションのステップ中に移動平均を引用した意思決定を行う場合には、CBRF として移動平均を取る機能が必要となる。

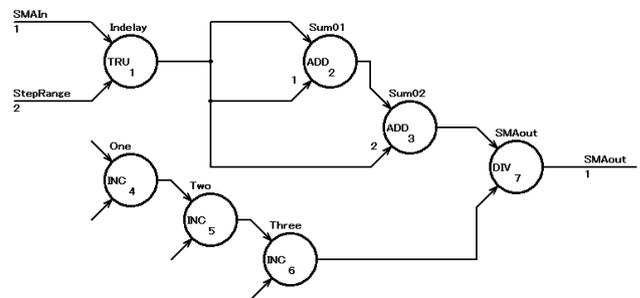


図5 CBRF (移動平均) の構造

この CBRF は入力された値を足し算する機能と、入力された回数をカウントする機能から成り立っており、足し算された結果をカウント数によって割ることで、そのステップからカウント分まで過去に遡ったの範囲の移動平均を算出している。

このカウンタの回数を組み替えることで移動平均の範囲を変えることができる。入力された情報を以降のステップにおいても記録しておくことで、時間軸的な方向での情報の統合を行っている。

4.3 最大値取得のモデル化

次に最大値の取得を行う CBRF を下の図6に示す。

本シミュレータでは1回のステップごとにエージェントの数だけモデル内で処理が実行される。最大値の取得はその際にエージェントが変わるごとに出力される入札値などを取得し、その中の最大の値を保持することで行われる。

内部は IC 回路のフリップフロップの自己保持機能と同じ構造となっており、CBRF ではこのように電子回路の機構を模倣して、ある程度複雑な挙動を再現することが可能である。

この CBRF はエージェント数のカウントと最大値を求めたい情報の値、そして各エージェントからの出力が有効であるかどうかのフラグを元に処理を行っている。

ここでは入力値をそのつど比較してより大きな値を保持する、同時にそのときのエージェントの番号をカウンタから拾い、これも同様に保持している。この処理をすべてのエージェントに対して行うことで最大の値とそのエージェントを特定することができる。さらに特定のエージェントに対するフラグを別の CBRF で管理することで、任意のエージェントを除外して最大値を算出することができる。

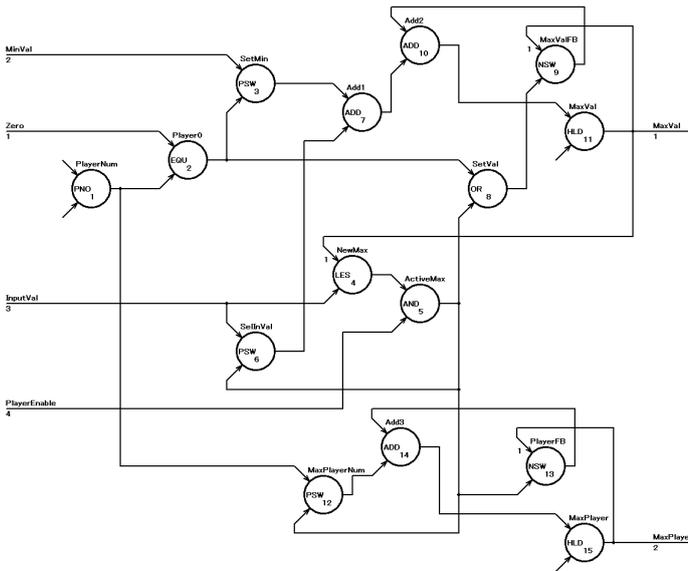


図 6 CBRF (ALLMAX) の構造

4.4 CBRF の動作結果と考察

今回実験した最大値の取得は市場参加者のエージェントである player1~5 の入札額の中から行われる (図 7)。これらの入札額は別の CBRF “入札価格” から供給されるプレイヤーごとに異なる値である。

ALLMAX と名づけた最大値を算出する CBRF は PWC 構造下で ALLMAX1 というインスタンス関数として扱われ、供給される入力情報との結節が行われる。入力された情報に対し ALLMAX1 はそれらの中から最大の値を保持し、すべてのプレイヤーについての処理が終了するとその最大値とプレイヤー番号を出力する。ここでは最も高い値を入札した player4 が選択されている。

ここで出力された player5 のフラグを off にしてもう一度 ALLMAX を実行するように二つ目のインスタンス関数を配置すると、ALLMAX2 は二番目に高い入札額とその値を出力したエージェントである player3 を抽出することができる (図 8)。

今後このような CBRF を組み合わせることでエージェントの意思決定モデルのみならず、シミュレータに必要な様々な演算・処理を PWC 構造下に組み込むことができるようになるだろう。

5. おわりに

本稿では PWC 構造によるシミュレータの実現とそのために必要な情報接続関係を実装し、PWC 構造で実現できるモデル化の例として移動平均や最大値取得などの CBRF を構築した。

これらの CBRF はエージェントの出力した情報に対して統計的な処理を行う際に有用であろうと考えられる。しか

し今回実装した CBRF のみが正しいモデルである必要はなく、様々な手法で同様な機能を実装することが可能である。

PWC 構造ではこれらの CBRF を接続してより高度なモデルを再現するため、多様なモデルの中からより優れたモデルを見出すことができるだろう。今後、エージェントによる環境の知覚など、CBRF によってさらに多様な機能を再現していくことで本シミュレータが市場構造などを対象としたマルチエージェント手法の汎用的なシミュレータとして有効であるかどうかを検討していく必要がある。

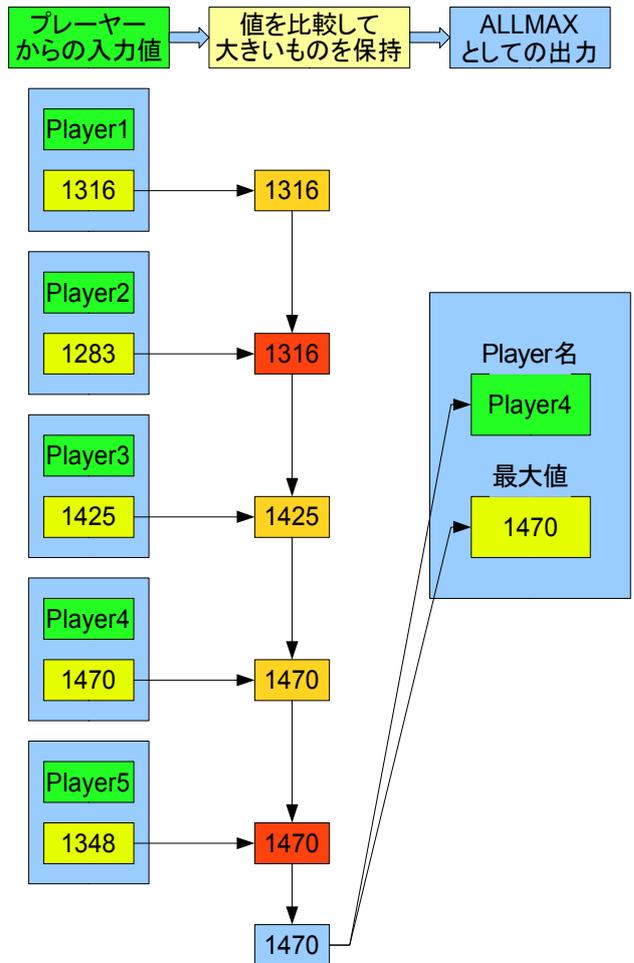


図 7 入札額の中から最大値を選択

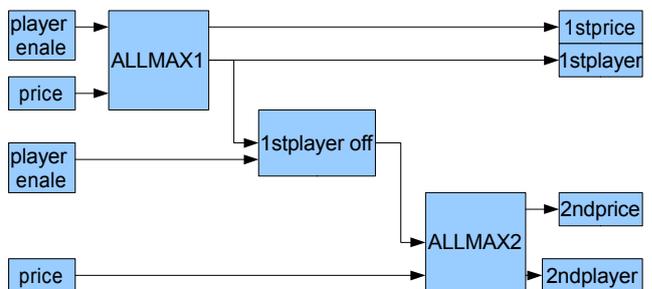


図 8 二番目の値を出力する組み合わせ

謝辞 最後に、シミュレータ構造の階層化構成についてご意見をいただいた電気通信大学情報理工学研究所の本多中二名誉教授に、謹んで感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 高階知巳,秋永利明,渡辺成良:エージェント・レベルでの妥当性評価:株式市場シミュレーションによるケース・スタディ,シミュレーション 19(1),58-67(2000)
- 2) 三上達也,松尾宏祐,武田俊男,額綱信,林芳生,宇津木到:マルチエージェントシステムを用いたシミュレーション:デタント期における米ソの第三国に対する介入を中心として,政策科学 14(2),151-169(2007)
- 3) 吉村忍,西川紘史,守安智:知的マルチエージェント交通流シミュレータ MATES の開発,シミュレーション 23(3),228-237(2004)
- 4) 井庭崇,竹中平蔵,武藤佳恭:人口市場アプローチによる家庭用VTRの規格競争シミュレーション,数理モデル化と応用,Vol.42,No.14(2001)
- 5) 猪飼國夫,本多中二,板倉直明:道路交通シミュレータのためのファジィ推論による自動車の運転モデル,日本ファジィ学会誌,Vol12,No3,pp.425-435(2000)
- 6) 菅原梢,松田聖:出品者サイドの落札価格最適化を図るネットオークションモデルの提案・検証,情報処理学会研究報告,電子知的財産・社会基盤,27-6(2005)
- 7) 南一久,村上陽平,河添智幸,石田亨:マルチエージェントシステムによる避難シミュレーション,第16回人工知能学会全国大会(2002)
- 8) 末次克也,武藤敦子,加藤昌平,国立勉,伊藤英則:環境知覚エージェントの進化による渡り行動の双発一オオカバマダラの複世代渡り,電気学会論文誌 C,Vol.131,No.12,2063-2071(2011).
- 9) IBA T. Boxed Economy Model : Fundamental concepts and perspectives, Proceedings of Computational Intelligence in Economics and Finance,(2000)
- 10) 大内東,山本雅人,川村秀憲:マルチエージェントシステムの基礎と応用,コロナ社(2002)