

# エージェントベースモデリングによる問題解決 —エージェントベース社会システム科学 としての ABM—

出口 弘

本稿では、従来からの OR に比較して、エージェントベースモデリング (ABM) がどのような問題解決の技法であり、いかに社会の問題解決を支援するアプローチであるかを明らかにする。そのためにまず ABM の歴史と手法を概括し、次に今後 ABM によって取り組まれるべき社会科学の諸領域を具体的に列挙し、分析した。さらに OR と同様に分析を現実にも適用するかという実施問題が ABM 研究ではどうあるべきかについて論じ、最後に現在開発中の ABM のためのシミュレーション言語の設計について概括した。

キーワード：エージェントベースモデリング、ソフトアプローチ、ゲーミングシミュレーション、エージェントベース社会システム科学、複雑適応系

## 1. ABM の歴史と手法

本稿では、新たな社会システム科学で発展しつつある領域としての、エージェントベースモデリング (ABM) とそこでのシミュレーションの方法が、従来の OR などの問題解決の手法に対して、何を付け加え、またどのような問題に対してどのような新しい問題解決を可能とするのかについて分析を行いたい。そのためには、まず ABM の歴史と手法について手短かに述べておく必要があるだろう。Agent Based Modeling という言い方は、ここ数年一般的な言い方として世界的に定着してきた。1990 年代にはこれらは計算組織論や、人工社会などの言葉で語られてきて、領域としての明確なビジョンは形成途上にあった。ただ CAS (Complex Adaptive System) の枠組みを緩やかに共有しつつ、そこに自己組織化や Swarm のようなシミュレーションツール、さらに人工生命の研究の影響、分散人工知能の影響を受けつつも、総じて社会学、組織科学、経営学などの社会学者を中心として発展してきた研究プログラムであるということが出来る (高木, 1995; Carley, 1994; Epstein, 1996; Axelrod, 1997, 1999; Prietula, 1998; Bonabeau, 1999; 出口, 2000; Deguchi, 2004)。ABM の研究プログラムは、2000 年代に入ってからその動きを急している。

でぐち ひろし

東京工業大学 大学院総合理工学研究科  
〒226-8502 横浜市緑区長津田町 4259

この ABM の発展の過程では、これらの研究プログラムはオペレーションズ・リサーチ (OR) と交流することはほとんどなかった。それどころか、マクロな機能要件を問題とするシステム理論との交流も必ずしも十分とは言い難い。ボトムアップというコンセプトを ABM や、複雑適応系の研究プログラムは強調するあまり、組織化された複雑性に関する従来の諸知見や機能的な視点からの社会や組織のシステムの見方との結びつきを欠いてきた。しかし社会や組織を問題とし、その制度設計を論じるという視点からは何らかのマクロ的な制約充足条件を満たすという機能要件と、個々のエージェントの自律的な活動を結び付けるモデル化が必要となる。新古典派の経済学が与えたのは、合理的で一様な特性を持ったエージェントが市場での生産を含む交換を価格を指標にして行うことによって、パレート最適な資源配分が行われるという枠組であった。これに対して、現在の我々は、内部モデルを持ち学習するなどの多彩な意思決定原理をエージェントに対し認める。その上でシステムの機能要件としてパレート最適以外の様々な目的を認めた上で、何らかの制度的境界条件を動かすことによって、エージェントの自律的な活動を前提として組織目的を達成したり、社会的な機能要件を満たすような制度設計枠組を求める必要がある。現在の ABM は、このような制度の設計論を一方で模索しつつある。だが、他方で取りあえず社会や組織をシミュレーションして現象を再現することを目的とした記述的シミュレーションも多く用いられている。

現状は参入する研究者の数が増えるにつれて、様々な領域が互いにクロスしながら急速に発展しつつあるという状況であろう。しかしその研究プログラムは、理論的な側面とコンピュータシミュレーションによる分析との間が必ずしもうまく接続しているとはいえない。いわゆる複雑適応系の研究プログラムが何であるかを簡単にいうことは難しいが、そこでは既にセルオートマトンとそのシミュレーションといった研究プログラムと、遺伝アルゴリズムのような進化や学習を扱うモデルの間にギャップがあり、手法として提供されているシミュレーションツールと、モデリングの作法、さらにCASで問題となっている学習や進化のモデルの間には多くの齟齬がある。

理論的には遺伝アルゴリズムや強化学習が重要な意味を持つが、シミュレーションツールとしては、セル上の空間を移動するタイプのシミュレーションが未だに大きな比重を占めている。むしろ空間的に移動するエージェントを用いたシミュレーションは、領域によっては非常に重要となる。例えばテーマパークの顧客誘導などは大きな応用領域である。しかしより広範な制度デザインのためのツールとしては十分に発達しているとはいえない。

例えば社会的な地位や、ネットワーク上の移動に関しては、標準型ができていくわけではない。またこの種の社会シミュレーションでどの程度まで大規模なものが可能となるのか、現在数十万のエージェントを用いたシミュレーションも一部では行われているが、多くは数百程度のエージェントでのシミュレーションとなっている。

ABMのシミュレーションツールとしては、SwarmやStar Logoのような初期のツールから、ブルッキング研究所の開発したAScapeやシカゴ大学とアルゴンヌ国立研究所の開発したRepast、さらに教育用に日本でデザインされたMASや我々の研究室で制度デザインを強く意識して開発されたSOARSなど多くのものが登場してきている。

## 2. ABS<sup>3</sup>研究のミッションと解くべき問題

社会の様々な主体（エージェント）の必ずしも合理的とは限らない多様な意思決定基準や模倣、相互学習を前提とし、エージェントからなる組織や社会経済システムをボトムアップに記述するアプローチと、様々な社会的な制約条件や目標などから機能的（トップダウン）に分析するアプローチを融合させたエージェン

トベース社会システム科学（ABS<sup>3</sup>）を構築することが今後の複雑な社会の制度設計には不可欠となる。このような学問体系の基礎を作り、新たな実学としてのエージェントベース社会システム科学のディシプリンを提供しそれを社会に普及させることがABM研究の大きなミッションとなる。

ABMは、現在社会の具体的問題を前にして、問題解決型のアプローチが求められるステージに到達しつつある。これは同時に、ORが最適化の科学からより広い応用へと進む際に、実施問題など多くの課題に直面せざるを得なかったと同じ状況にABMも直面せざるを得ないということでもある。

このステージで問題となるのは、競争的環境下での学習や制度デザイン、さらに様々なレベルの協調の失敗や組織の失敗を含むシステムの解析と制度の差異による構造と機能の変化（分岐）を解析するためのモデル分析である。

このような分析では、実際の領域を指定してのアプローチが重要となる。ABMによるシミュレーションは、ハードなサイエンスにおけるコンピュータシミュレーションの延長上にはない。特定の法則や合理的意思決定原理に従うとは限らないエージェントの活動に対して、十分な領域知識に基づきこれをモデル化し、具体的に様々な組織制度上の制約条件を組み込んだ領域固有のモデルが要求される。

今後ABMによる社会システム分析が対象とするであろう具体的な領域を、いくつかのカテゴリに区分して列挙し、簡単なコメントを附すことにしよう。

### (1) 経営学・組織理論的課題

- ・ビジネスゲームのABM化：ソフトエージェントと人間のプレーヤの混合シミュレーションモデル。
- ・ビジネスプロセスのパスウェイ解析：様々なビジネスモデルのプロセス解析と比較優位の検証モデル。
- ・組織の失敗・コンプライアンスの解析：組織がなぜモラルハザードを犯し、また失敗を起こすのかに関する再現モデルの構築。
- ・組織のタスク処理分析：組織が人、もの、資金、情報を効率的に組み合わせタスクを形成するプロセスの解析。
- ・組織の協調的問題解決の失敗分析：組織がどのようにして協調して機能するか、また協調の失敗はどのようにして生じるかのモデルの開発。
- ・病院内組織モデル：病院組織での標準作業の分析

や院内感染対策、業務プロセス分析。

- ・工場や生産プロセスのモデル解析：工場での生産ラインや企業間の製造プロセスの連結、川上から川下までの受注プロセス等を従来のモデルよりも現実の工場に近づけた形で行う。例えばセル生産とライン生産、混流生産の比較のモデル。

- ・組織の情報システム設計でのエージェントの活動を含むモデル：UMLによる組織の情報システム解析に、それを実際に使うエージェントを含めたダイナミックなプロセスモデル。

## (2) 経済学・産業組織論的課題

- ・産業組織論のABMによる分析：ハイテク産業の技術競争とその政策分析は、ABMの重要な応用領域となる(李, 2003)。

- ・市場の制度設計：電力市場の自由化の制度設計、排出権市場、通信市場、人工先物市場など多くの市場の制度デザインにABMは有効な手法として期待されている。既に米国のアルゴンヌ国立研究所を中心に、「Electricity Markets Complex Adaptive Systems (EMCAS)」というツールが開発されカリフォルニアの電力危機の分析等が行われている(Moore, 2001)。日本ではU-martという人工先物市場の研究が1990年代に始まっている(Sato, 2002)。

- ・国民経済計算のABMモデル：国民経済をボトムアップにモデル化して、従来の計量経済のモデルとは異なったダイナミックな計量モデルを構築する(出口, 2000)。

- ・環境経済の制度設計モデル：空き缶のデポジット、地域のエネルギー政策、ゴミ政策など内部にジレンマ問題を含む制度設計の分析とそのシミュレーションモデルを人間がプレーヤとして参加できるゲーミングとハイブリッド化することで人々に納得できる解釈を与える参加型のモデルの構築が必要とされる。

## (3) 社会学・人類学的課題

- ・共有地問題(社会的ジレンマ問題)：環境問題は社会学でも大きなテーマで、共有地の悲劇を代表例とする社会的ジレンマのモデル化要請される。

- ・社会相互作用シミュレーション：大規模な社会シミュレーションを人間をプレーヤとするゲーミングとのハイブリッドモデルとして開発する。

- ・規範の崩壊と構築：規範の崩壊の問題はアクセルロッドがノルムゲーム、メタノルムゲームとして遺伝アルゴリズムを用いてモデル化し大きな成果を挙げた領域である。規範は社会学でも大きなテーマであり、

支援とペナルティとの機能的区分の解明や、2次のジレンマ問題の解決等のために様々なモデル化が要求される。

- ・歴史人口学のデータに基づいた社会人口動態のシミュレーション分析：歴史人口学での多くの蓄積を動的なモデルとして再現することで、社会の人口動学的な構造変化を検証する。

- ・社会階層統計に基づく社会階層分析：日本の社会学は社会成層解析モデル(SSM)研究の蓄積があり、そのデータを説明できる動学モデルをエージェントベースでボトムアップに構築する意義は大きい。

- ・教育システムや施策の解析：教育プロセスとそのシステム解析は、またABMの重要な応用領域となり得る。

## (4) 法律学・行政学・政治学的課題

- ・法制度の機能デザイン：法的システムがどのように機能し、また民法、刑法がどのように当該のエージェントに影響するかについてのモデル化。

- ・医療保険制度モデル：医療保険は、医師、看護士などの病院スタッフ、病院、患者、保険組合、政府などの多様なステークホルダーの相互作用と、人口統計的側面、医学的側面を持つ複雑な相互作用をするモデルである。この制度設計にはエージェントの行為とその学習による変化を記述するABMによるモデル化が要求される。

- ・年金制度モデル：年金制度もまた多様なステークホルダーを持ち、人口動学的な側面と予算制約の複雑に折り重なったモデル化が必要でABMの適用領域となる。

- ・公衆衛生・感染のモデル：米国では、9.11テロ後にバイオアタックに関する研究に多くの資源が投入されるようになり、ブルッキング研究所のグループが、天然痘のバイオアタックに対するモデルを、カーネギーメロンのキャサリン・カーリーらのグループが、炭疽菌に対するモデルを開発している(Epstein, 2002)。感染のモデルは医療的のみならず、様々な組織が関与する複合的な対策を必要としABMの大きな適用領域となる。後述するように、筆者もSARSの感染モデルをABMで開発している。

## (5) 国際政治学的課題

- ・政治的合従連衡：アクセルロッドのランドスケープ理論に見られるように、国際政治は複雑な合従連衡を常としそれを解析するためには、ABMによるモデル化が有力視される。

・天然資源の利用問題：これについてはフランスを中心の CORMAS という国連の研究プロジェクトが ABS と人間のロールプレイングを用いたモデルを開発している。

・国際公共財や国際的な共有財、公開財の供給管理問題：インターネットのガバナンスや国際的な共有財のガバナンスの問題、さらに国際公共財の供給問題等は国、有力な民間のステークホルダー、地域などが複雑に相互作用する問題であり、その制度設計の解析には ABM のアプローチが必要とされる。

### (6) 心理学, 認知科学的課題

・内部モデルに基づいた意思決定や行動のモデル化の拡張：経済学ではリスク選好に関する内部モデルがプロスペクト理論等の形で研究されているが、より多彩な内部モデルや認知地図とその学習を含むエージェントの動的モデルの分析が求められている。

・模倣と意思決定と学習に関する多彩なシミュレーション実験：エージェントの相互参照や内部モデルの模倣等多彩な学習のプロセスを解析し、あるいは学習を支援する枠組みをデザインすることは、エージェント集団の制度デザインでは必須となり ABM の大きなテーマとなる。

・災害時のパニック行動などのシミュレーション分析：これは既に、例えば ABM を用いた、明石歩道橋の事故解析などが行われており、ABM による解析が有効である領域である。

我々は問題をとりあえずいくつかのカテゴリ化した。個々の問題は一つの学問領域だけで扱える範囲を超えた課題を含んでいることが多い。ABM の扱う問題領域は、文理融合というだけではなく、領域透過的なアプローチを必要とする。

我々は今日、より複雑な意思決定基準を持ち、内部モデルを持ち学習するエージェント集団に対し、学習のプロセス、政策的な支援や罰則、法的な制度、技術的境界条件など様々な制約条件下で、多属性の目標充足条件を満たすように制度を設計するという課題に答えなければならない。これら多彩な問題領域で領域透過的な課題に答えるためには、エージェントベースのシミュレーションが次第に必須のツールとして用いられるようになるだろう。

そこでは問題解決のための分析手法としてのみならず、次節で述べるように、社会的な合意形成の道具としても ABS は重要な役割を果たすことが期待される。

我々が目指す ABS<sup>3</sup> でのシミュレーションは、従来の例えば純粋経済学的ないわば高所大局からのモデルではなく、複雑な制約条件、境界条件で運営されている様々な社会経済システムに対してより直接的な政策提言を行うことをその目的とする。従来のハード OR のモデルと異なり、これらのモデルには人間の集団としての活動が組み込まれている。そのモデルに組み込まれたエージェントは、様々な自己目的や局所最適化行動を行うが、当然のことながら従来経済学で仮定してきた長期的で合理的な意思決定を行うエージェントではない。

日本でも、様々な領域でこのような政策指向のエージェントシミュレーションの試みが行われるようになってきた。共通していえるのは、よい OR のモデルがそうであるように、モデルは数理であろうがシミュレーションであろうが、対象となる領域知識を十分に持った研究者によって開発されねばならないということである。その意味では、この種の研究プログラムは、サイバネティクスやシステム理論、OR の正当な後継プログラムである。ただその扱う範囲がよりソフトな社会人間の現象を含むようになることが期待されており、その意味でソフトなアプローチに対する視座をも欠くことはできない。

### 3. ABM を用いた問題解決：新たなソフトアプローチの必要性

ABM を用いた問題解決や制度設計では、対象のモデル化とその分析というハードな問題と、問題解決のための認識の共有というソフトな問題の結びつきをどのように行うかが課題となる。これは、ABM のモデルに対してどのようにそのリアルワールドグラウンディングを行うかという課題でもある。

OR が最適化を解くべき問題にしたのに対し、我々の目指す ABS<sup>3</sup> ではマネージメントを含む形で制度の分析を行い、制度選択の基準を比較するといった議論を可能とするモデルを ABM で構築する必要がある。現代の我々にとって政策課題の多くは、意思決定原理や基準を変えることでその決定が変わる可能性を含んでいる。例えば医療システムの目標は生きている時間の最大化からクオリティオブライフに変わりつつある。また例えば河川管理は、洪水を防ぐという単純な治水目的から、流域の生態系の維持や生活の潤いなど多くの価値軸を合成した問題の把握と解析を必要とするものへと変化してきている。同様に環境政策など

多くの政策領域では個人合理性と全体合理性が背反するジレンマ問題を程度の差はあれ抱えている。これらの問題をきちんと見える形で表現し、そこでの様々なシステム特性を理解し、合意形成のための社会学習を助けるために、ABSは有用な手段を提供してくれる可能性がある。

この社会学習のためのツールとしてのシミュレーションという領域の開拓は、ABS<sup>3</sup>が将来に向けて展開すべき大きな研究テーマとなる。シミュレーションは、与えられた境界条件と意思決定基準の中で状況をモデル化することにより、意思決定として実現結果可能なシナリオを我々に提示してくれる。その結果としてかつてORが直面したのと同様の解の実施問題が生じる。つまり解が提示されたとしてもそれに基づいて実際のシステムを変化させるのは誰でどう行うのかという実施のジレンマが生じるのである。これ自体は極めて政治的なプロセスである。だがこれを切り離し合理的解だけを提示するのでは、社会科学にはならない。

シミュレーションの場合には、数理的なORのモデルよりも扱う問題領域の複雑性が高く、ABMに基づくシミュレーションであってもその恣意性は高くなる。与えられた結論を出すためのモデルというものも、やりようによってはかなり容易に作ることができる。

そこでシミュレーションの場合にも、合意形成や社会学習のためのソフトな手法が要求されることになる。ソフトORの技法としては、チェックランドのSSM(ソフトシステム方法論)などいくつもの手法が知られている。シミュレーションの場合にはその特質を生かしたゲーミングという手法がある(Greenblat, 1988)。ゲーミングとABMとのハイブリッドモデルは、プレーヤが自ら参加し体験し、別シナリオについても検討し、さらにプレーヤ間で討議することを可能とする新しい時代のソフト的なアプローチの有用な手法となり得る(新井, 1998; Deguchi, 2003)。

#### 4. ABS<sup>3</sup>のための新たなシミュレーション技法

ABMではシミュレーションによる分析をその手段として多用する。シミュレーションツールとしては、その初期にはサンタフェ研究所のSwarmが喧伝されたが、その後ブルッキング研究所でJava上のツールキットとしてAScapeが発表され、またこの数年はシカゴ大学とアルゴンヌ国立研究所が共同開発したRepastというこれもJavaの上のモデリングフレー

ムワークが米国では普及しつつある。

我々の研究室では、この従来のABMのツールとしてのシミュレーションモデルの限界を踏まえ、より制度設計や社会システムの記述に適したシステムモデルをデザインするという視点から、新しいシミュレーション言語を設計した(出口, 2004)。これは医科学研究所の清水との協同プロジェクトで、SARSの院内感染を中心としたシミュレーションを行うためのモデルを構築する過程で、言語もあわせて設計され実装されたものであるが、言語自体はABS<sup>3</sup>が目的とする社会の制度設計やエージェントの複雑な変化を記述するためのシステムモデル概念に基づいた汎用のものとなっている。ここでは、その言語の設計の概要とそこでのシステム記述概念を示し、既に述べたような社会経済組織の制度設計に関するABS<sup>3</sup>研究のパーспекティブを明らかにしたい。

SOARS (Spot Oriented Agent Role Simulator) 言語は、エージェントが社会的なネットワークの中で行う役割行為を適切に表現することを目的とする三階層のモデリングフレームワークである。SOARSは下層にJava言語を持ち、中層にエージェントの役割行為を記述するためのSOARSスクリプト言語を持つ。また上層には、領域知識を持つ専門家であるがプログラミングの知識のないユーザがモデルを開発するための開発実験環境であるモデルビルダをGUI環境として持つ。SOARSには従来の様々な離散時間のシミュレーション言語にはないいくつかの特色がある。特にシミュレーションモデルの静的構造を特徴づける『スポット』『レゾルバ』『情報オブジェクト・物理オブジェクト』等の諸概念と、その動的な制御構造を表す『ステップ』『ステージ』『フェーズ』『ターン』などの時間、順序概念、エージェントの役割行動を記述するスクリプト言語、ルール間の干渉制御の方式等はSOARSを特徴づけており、そのABMのためのシミュレーション言語としての固有のモデル作法を与えてくれる。ここでは紙幅も限られるので、このSOARSの設計思想としてこれらの諸概念の簡単な説明を行う。

SOARS言語はもともと、東京大学医科学研究所の清水研究室と東京工業大学知能システム科学専攻の出口研究室の共同プロジェクトとしてSARSのようなワクチンのない感染症の組織対策、とりわけ院内感染対策のためのシミュレータ作成のためのツールとして開発された。病院のような複雑な組織では、医師、看護師、技師、患者、事務職員など多くの関係者が、受

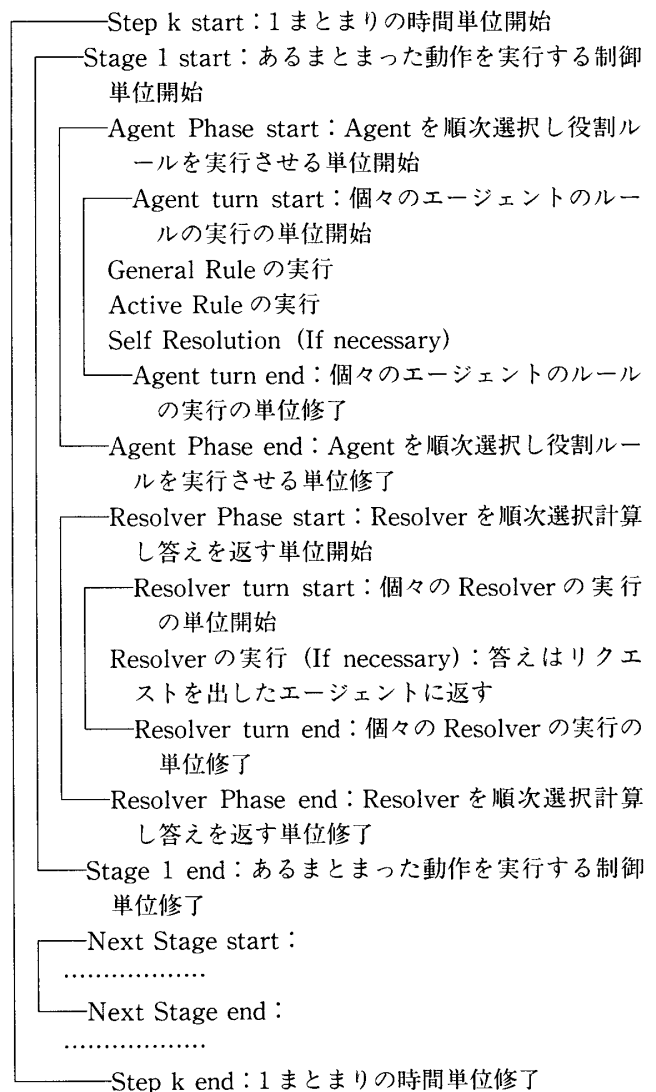
付, 待合室, 診察室, 病棟, 医局, 食堂, 検査室, 事務室, ナースステーション, 病室など多様な場を移動してその役割行為を遂行する社会システムである。従来のセル的なシミュレーションではこうした場の構造を表現したり, 複雑な役割行為を表すことは困難である。さらに感染対策としては, 組織的な制度変更を伴う発熱患者用のゲートを設けること, 専用病室を設けること, ウィルス検査キットの導入, 感染防御のためのマスク着用, 手洗い, 機材や場の消毒, 家での家族隔離等多彩な組織的感染対策が必要であり, これらは役割や組織構造の変化を要求する。このような制度や役割の変更による対策の効果を経済面まで含めて検証するには, 組織や役割構造など多くのパラメータを変化させた比較実験が必要となる。SOARS 言語は, このような組織の構造や役割の動的表現を目的として開発されており, そのモデルビルダは多様な実験計画をサポートするように開発され, 現在その改良が進行中である。

SOARS 言語では, エージェントが移動したり相互作用する場としての社会的ネットワークは『スポット』という概念で表現される。レゾルバは, エージェントからのリクエストで, 複数のエージェントの意思決定や相互作用の調整を行う干渉制御のための仕組みである。相互作用を記述するためのメソッドはレゾルバに記されており, レゾルバ要求により実行され, 結果はリクエストを出したエージェントに戻される。エージェントの状態やその変化については, エージェントの状態を表現する物理オブジェクト, 情報オブジェクトによりその計算がなされる。レゾルバによってエージェントの相互作用はスポット単位で分割される。広範囲の相互作用を記したいときは, 例えばブロードキャストスポットのようなグローバルスポットを用いてこれを記すこともできる。

エージェントは生成時に ID 番号が割り当てられ, アクティブ役割タイプ名を属性として持ち, スクリプト言語で記述される役割に従って活動する。エージェントの活動はこのルールで記述されるが, より複雑な意思決定が必要なときはセルフレゾルバというエージェント固有のレゾルバにメソッドが記され, それ呼び出されて処理を行う。スポット名, エージェント名, 役割タイプ名は文字列として管理され, 参照される。

エージェントの動的な構造では, ステップと呼ばれる時間の単位が離散時間ダイナミカルシステムの基本単位を表現する。SOARS 言語ではこの 1 ステップの

内部がさらに構造化されており, それによりルールの適用順序などの動的な干渉の制御が行われる。各ステップは, ステージというサブステップに分割され, 各ステージが, 役割変更, 移動, メインの相互作用, 状態の更新, データ収集などの固有の役割のルールを選択し遂行する。ステージの内部はエージェントのリクエスト処理のフェーズとスポットでの相互作用処理のフェーズに分かれ, 各々のフェーズではエージェントとスポットが逐次処理される。各ステップでのプログラムの進行は次のようになる。



SOARS スクリプト言語で, 例えば前述の病院の例では, エージェントを患者とする移動ステージでのルールとして, 『診察室に今おり, 診察が終了してその結果が入院であれば, 病棟へ移動する』というルールは, 『patient, move, is Consultation=end && is request=in\_hospital, <診察室> isSpot, <病棟> move』のように記される。同様にして役割取得のステージ, 感染のステージなどステージにわけて個々のステップでのエージェントの役割が記述される。

## 5. 結語

ABMは、シミュレーションを活用した新しい社会的問題解決の技法として今後急速に発展していくであろう領域である。多彩な意思決定基準や内部モデルを持つエージェントが、学習し相互作用するなかで、ボトムアップに構成されるシステムの性質を複雑適応系としてシステム分析する新しいエージェントベース社会システム科学の中核となる研究プログラムがABMである。ABS<sup>3</sup>のリサーチプログラムでは、ABMに基づき学習や進化プロセスを加味した競争的でコンフリクト環境下でのマルチエージェントの相互作用を扱うエージェントシミュレーションの技術、合理的意思決定を超えて曖昧さや学習を含み、競争やコンフリクトのある環境下でのエージェントの学習やそのダイナミクス、推論・探索メカニズム等多くの工学的、システムのアプローチと社会科学的な視座が融合したプログラムとなる。ものの見方の枠組みを与えることを基本的なミッションとするのが、社会科学の基本的立場である。これに対して狭義の工学は社会的に与えられた課題に答える形で、解くべき問題を発見し、それを解く方法を開拓することをミッションとする。その意味では、我々の目指すエージェントベース社会システム科学のリサーチプログラムを構築する作業は、多様な意思決定基準や学習を行うエージェントからなる組織や社会の制度設計を、エージェントからのボトムアップなシステム分析と多面的な目標充足を目的とする機能的なアプローチを融合する形で文理融合型の社会システム科学を構築することとなる。

**謝辞** この研究を行うにあたって、科学技術融合財団と文部省科学研究費の助成を受けた。ここに謝意を表す。

### 参考文献

- [1] 新井潔, 出口弘, 他: 『ゲーミングシミュレーション』, 日科技連, 1998.
- [2] R. Axelrod: *The Complexity of Cooperation*, Princeton University Press, 1997 (『対立と協調の科学—エージェント・ベース・モデルによる複雑系の解明』, ダイアモンド社, 2003.)
- [3] R. Axelrod, and M. D. Cohen: *Harnessing Complexity*, The Free Press, 1999.

- [4] R. L. Axtel: "Population growth and collapse in multiagent model of Kayenta Anasazi in Long House Valley", *PNAS*, 2003.
- [5] E. Bonabeau, M. Dorigo, and G. Theraulaz: *Swarm Intelligence: From Natural to Artificial Systems*, Oxford University Press, 1999.
- [6] K. M. Carley, and M. J. Prietula (eds.): *Computational Organization Theory*, Hillsdale, N. J.: Lawrence-Erlbaum Assoc, 1994.
- [7] 出口弘: 『複雑系としての経済学』, 日科技連出版, 2000.
- [8] H. Deguchi: "Agent-Based Modeling Meets Gaming-Simulation: A perspective to the future collaborations", *ISAGA 2003 Proceedings*, pp. 1173-1182, 2003.
- [9] H. Deguchi: *Economics as an Agent Based Complex System*, Springer-Verlag, 2004.
- [10] 出口弘, 田沼英樹, 清水博: "SOARS: Spot Oriented Agent Role Simulator の設計と応用", 第32回システム工学会資料, 計測自動制御学会, 2004.
- [11] J. Epstein, and R. Axtell: *Growing Artificial Societies*, The MIT Press, 1996.
- [12] J. M. Epstein, D. A. T. Cummings, S. Chakravarty, R. M. Singa, and D. S. Burke: "Toward a Containment Strategy for Smallpox Bioterror: An Individual-Based Computational Approach", *Center on Social and Economic Dynamics Working Paper*, No. 31, Brookings Institution, December, 2002.
- [13] C. S. Greenblat: *Designing Games and Simulations, An Illustrated Handbook*, Sage Pubns, 1988.
- [14] 李皓, 出口弘: "ハイテク産業の技術競争と政策—エージェントベースシミュレーションによる分析—", 経営情報学会誌, Vol. 12, No. 3, pp. 95-108, 2003.
- [15] A. T. Moore, and L. Kiesling: "Powering Up California: Policy Alternatives for the California Energy Crisis", *Reason Public Policy Institute (RPPI)*, Policy Study No. 280, February, 2001.
- [16] M. J. Prietula, K. M. Carley, and L. Gasser (eds.): *Simulating Organizations: Computational Models of Institutions and Groups*, CA: Morgan-Kaufmann, 1998.
- [17] H. Sato, H. Matsui, I. Ono, H. Kita, T. Terano, H. Deguchi, and Y. Shiozawa: "U-Mart Project: Learning Economic Principles from the bottom by Both Human and Software Agents", *New Frontiers in Artificial Intelligence*, pp. 121-131, Lecture Notes in Computer Science, Springer-Verlag, 2002.
- [18] 高木晴夫, 木嶋恭一, 出口弘 (監修・著): 『マルチメディア時代の人間と社会』, 日科技連出版, 1995.