

# 論文

## マルチエージェントモデルによる社会シミュレーション

三上達也

- I. 研究背景
- II. 社会科学とシミュレーション
- III. コンピュータモデル（知識表現モデル）
  - 1. プロダクションルールモデル
  - 2. ブラックボードモデル
  - 3. フレーム型モデル
  - 4. オブジェクト指向モデル
  - 5. マルチエージェントモデル
- IV. 社会シミュレータ
  - 1. 社会問題に対するゲーミングの効用
  - 2. ゲーミングシミュレーションプラットフォームとしてのSARA
  - 3. マルチエージェントシステムによる社会シミュレーション
- V. 今後の課題

### I. 研究背景

コンピュータが我々の身近にあり、簡単に使えるようになって何年が経つだろうか。その端緒をWindows 95に置くならば、たかだか10年あまりということになる。しかし、この10年という年月を長いとみるか短いとみるかは人それぞれであろうが、いわゆるネットワーク社会の形成という捉え方ならばあつという間の出来事だと、多くの人が感じているのでは無かろうか。

最初は、コンピュータというものが、机の上の出来損ないの冷たい機械と感じていた人も、日に日に慣れ親しんで、あるいは半強制的に仕事上やむなく使わされて、いつのまにかある程度使いこなすようになり、気がつけばネットワークに繋がらないメンテナンスの日などはイライラし仕事にならないと悪態をつくようになる。立派なネットワーク依存症患者の誕生である。しかし、また一方で初志貫徹し徹頭徹尾コンピュータから遠ざかってきた人々も少なからずいる。ネットワークから得られる情報は信頼性の点から全てを鵜呑みにしてはならないということとを考慮に入れても、その圧倒的な情報量から身を遠ざけることは現代の社会生活を送る上で

決して得策ではないだろう。これはデジタルデバイドと呼ばれている現象であるが、長い目で見たときに、それが個人にとっても社会全体にとってもいいことなのか悪いことなのかは、現時点では評価のしようもない。

我々コンピュータサイエンスの研究者の先輩たちが、国立大学の大型計算機センターを利用しないと研究が進まなかった時代、すなわち1980年代は、理系のほんの一部の人間しかコンピュータを研究に使ってこなかった。あるいは、使いたくても使える環境とかインストラクターや専門家のアドバイザーなど周りの利用しなければという雰囲気も無かった。当たり前ではあるが、コンピュータ応用での成果も研究所や企業内ではあったのであろうが多くは公開されておらず、どの専門業界もコンピュータを使う有効性などは信用し期待するはずも無かった。それが、1990年代に入りパソコンという言葉が定着したと同時に、爆発的にコンピュータの台数が増え、一部のコンピュータ特権階級＝研究者／技術者たちから、一般市民へネットワーク化が急激に広がり、多くのコミュニケーション用ソフト、メディアソフト、ビジネスソフト、教育用ソフトなどが開発され、競争を生み、進化し続け、現在では相当使いやすくなっている。しかしながら、文章を書いたり、イラストを描いたり、プレゼンテーションやコミュニケーションのサポートを行うなど、人間が知的に考えるためのツールは用意してくれるが、肝心要の「考えること」はしてくれないのである。あれだけ「記憶力」が良く「頭の回転」が早いのに、その能力を人間が考えるというそのものに利用しないのは、環境問題を通して日本を文化的に世界に紹介する言葉として有名になった「もったいない」ことである。

また、当時からであるが、コンピュータによるシミュレーションというものは、学問的に比較的近い親類であるはずの理工学系各分野、例えば、建築／土木、機械、電気、化学等々の分野でも、実実験主流ゆえかとても相手にされず、何か机上の空論的な扱いを受けていたように感じる。それは、現在の社会学／社会科学でも同じ雰囲気、今は理工学系でこそ市民権と信頼を認められようとしているが、ともすれば「人間社会というものはそんなに簡単な構造ではなく複雑怪奇なものだ」的な反論に出会うこともしばしばである。確かに、人間の実社会を正確／精密に表すほどコンピュータモデルやシミュレータが満足に成長している訳ではなく、現在時点で、局所的なシミュレーションは除いて、総合的でかつ複雑な社会問題を解決するための支援を行えるようなものは存在しない。だからといって、言語的あいまいさを内包したままのある一定の人間のみが理解できて利用できるいわゆる「知見／見識」レベルで放って置いていいものであろうか [高木、99]。

政策科学が扱う領域、すなわち現実世界である国や県、市町村などの地域社会では、当たり前だが政策を施行して「実験」する訳にはいかない。とりあえずやってみましたが、数年でこの結果を招き失敗してしまいましたでは済まないのである。いや、済まないはずであるが、日頃のニュースなどでは結構耳に入ってくる。今述べたように、実験は出来ないから当然前例主義のような経験則に則った一見無難な方に流れる。あるいは前例主義を盾にして思考停止と責任放棄を行っているように見える。失敗をするために施行しているとさえ思えてくる。現実を出来るだけ鋭く観察し正確に測り、出来るだけ精度を上げたモデルによるシナリオを用意し、

未来を予測して、将来に向けた政策を提言し実践し続けてこそ、持続型社会を実現できるのではなかろうか。本稿は、その「政策」を提言するためのオプションの一つとしてコンピュータによるシミュレーションによる予測が有効なのではないかと問うものである。現在あるいは自分たちの世代では実現不可能かもしれないが、将来的に可能になるだろうその日まで、人間社会の精密なシミュレーションを目指すことは科学的態度なのであると考える [渡、98] [三上、98]。

## Ⅱ. 社会科学とシミュレーション

社会学あるいは社会科学においては、社会というものの姿を出来るだけ精密に記述することが至上命題の一つで、学問的歴史の本流はまさにこれだと言っても良いと考えられる。数多くの先人達の、自分の足で、眼で、耳で稼いできた情報と知識の膨大な断片の集積が、その学問の証であろう。さらに、その大量な情報などから抽象化を行い、有意義な知見を引き出す努力が続けられてきた。その抽象化で用いる仮説となるモデルを分類してみると以下のようになる [高木、99]。

- 1) 言語によるモデル
- 2) 数理モデル
- 3) コンピュータモデル

上記のうち1)の言語モデルは、現在でも社会学における研究の主流であるが、言語の持つ特性である「意味内容のあいまい性」により、これをベースとした論理の構築ではいつまでたってもそのあいまい性は残ってしまう。人間がコミュニケーションし、争ったり、和したりする生活の上では、この言葉の持つあいまい性は重要なところで、厳密に定義するならば、まずその定義そのものでもめるだろうし、お互いに身動きが取れなくなり、最終的には人間同士いがみ合うばかりになるであろう。使っている言葉の意味内容があいまいが故に、お互いに何となく理解し合っていると感じて日常生活を平穩に送っていられるのである。しかし、現実をなるべく正確に測り精密な未来予測のもとに案出すべき「政策」については、このあいまい性は出来るだけ排除せねばならないのである。

また、2)でいう数理モデルというものは、もともと物理現象を記述するために線形数学の発達とともに発展してきたものである。経済学や心理学においては、時系列的解析や確率論的分析が多く行われている。人間の行動をマクロで記述するのならば、その粒度をかなり大きく取ればあるいは線形数学にのるかもしれない。また、世界システムの、モノや情報の流通が今ほど激しく変化しないような時代であれば、数理モデルの可能性はあったのかもしれない。あるいは、現在でも、逆にミクロ的な局所世界では一部線形のモデルが通用するかもしれない。しかし、膨大な数の非線形的言動を示す人間が織りなす社会というものは、全体を線形で扱うには少し無理があるのではなかろうか。将来、人類の知見がより進んで科学的な見通しが今より良くなれば、あるいは新しい数理モデルが誕生するかもしれないが、今はコンピュータというツールが人間の手に入りつつあるので、まだまだ可能性が広がっているこのツールを有効利

用すべき時ではないかと考える。

そこで3)のコンピュータモデルであるが、ここでこのカテゴリに分類されるものは、回帰式など線形の数理モデルや特定目的のための数値シミュレーションを除いたものである。古くは、局所探索のヒューリスティックモデル [人工知能学会、90]、IF~THEN~ ルールで表されたプロダクションルールモデル [石塚、87]、応用人工知能の研究により知識の階層性に着目して作られたブラックボードモデル [Feigenbaum,89]、人間の脳神経回路網学の知見から産み出された学習機構であるニューラルネット、遺伝学の実験者達の長年のフィールドワークと研究的蓄積により発想された遺伝的アルゴリズム [Goldberg,89]、人間や自然環境のような大量の同じ種類の概念と類似性のあるものの集合の表現から生まれた分類型階層モデルであるオブジェクト指向モデル [Graham,94]、モノやコトの互いの変化する関係性で世界は成り立っているとするマルチエージェントモデル [Wooldridge,97] [Wooldridge,02] など、多くのモデルとシステムやシミュレータが研究されている。これらの研究は、コンピュータの能力のうち、大量記憶の正確性と繰り返し演算などの速さを利用し、人間が得意なアナログの方程式計算と異なる次元での計算や、その計算力ゆえ均一モデルを必要としないことなど、人間とは違う能力やメリットを生かした、先に述べた「知的能力そのものの支援」を目指すものである [人工知能学会、90]。

### Ⅲ. コンピュータモデル (知識表現モデル)

#### 1. プロダクションルールモデル

初期のころの、機械システムの故障診断や医療における特定感染症診断などの意思決定支援システムには、IF~THEN~という形で、IF~節を条件部と呼び THEN~節を結論部とする多数のルールの集合体で書かれたプロダクションルールモデルが採用されている。Fig.1は知識工学では初期のころのMYCINという血液感染症診断エキスパートシステムから抜粋したルールモデルの例である。これは、全ての合致した条件部について結論部が実行され、さらにその結論部があらたなルールの条件部と合致したらその結論部が実行されるという前向き推論型と、その逆の結論として証明したい事実から始め、結論の証明に貢献するルールの適用を探していく後ろ向き推論型とがある [石塚、87]。

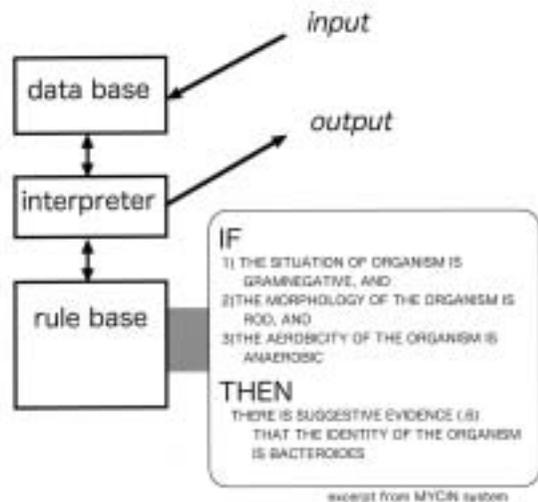


Fig.1. A concept of production system.

## 2. ブラックボードモデル

エキスパートシステムとしては一定の応用可能性を示した、1980年カーネギーメロン大学 (CMU) で作られた音声理解システムであるHEARSAY IIの基本フレームワークとして提案された階層的知識表現モデルが、ブラックボード (黒板) モデルである [大須賀, 93]。概要はFig.2.に示すが、階層化されたワーキングデータベースであるブラックボードと、それを監視し、それぞれで反応を返す知識源 (knowledge source) とで基本的には構成されている。それぞれの知識源は、上述したプロダクションルールで書かれ特定のレベルでの監視を行っている。

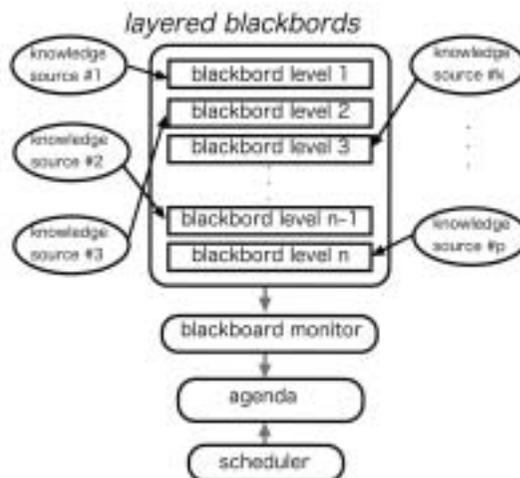


Fig.2. The outline of HEARSAY II system as a concept of black-board model.

ブラックボードには問題空間の状態や中間仮説などが記述される。各知識源では、ブラックボードより与えられる条件でルールが発火し、そのルールはアジェンダに入れられる。スケジューラはアジェンダを考慮し最適なルールを選択する。抽象度の低いレベル 1 側のルールを優先するならばボトムアップ処理で、抽象度の高いレベル  $n$  側のルールを優先するならばトップダウン処理ということができよう。

このようなフレキシブルな推論を実行できうるブラックボードモデルの特徴は、

- 1) ドメインの階層的なモデルを持つ。
- 2) 各階層ごとの知識源を持つ。
- 3) 緩く結合した複数の知識源による協調分散問題解決を実現する。

ということになる。すなわち、集められたデータや情報を解釈するなどの分類型の問題領域で、データ／情報が階層的に構成されていて、知識の信頼性が乏しいと考えられるような場合に、様々な観点からデータ／情報の解釈を行いたい場合の問題解決に適している。Fig.3.は、著者が15年くらい前の大学院の学生時代からASTEMの研究者時代に構築していた人間アレンジャーの如くメロディの編曲を行うシステム：MUSASの全体の概観である [三上, 91]。残念ながら、様々な理由から、全部ではなく一部しか実装されなかったが、研究開発を止めたわけではなく一時中断しており、3年前からようやく研究は再開している。中止した大きな理由は、「作曲」という人間の創作活動に関してはまだ現在の科学でも結論が出ておらず、そのためある程度論理的変形技術 (ルール) の協調問題解決構造であろう「編曲」を対象に選んだわけであるが、音楽構造が高度な音楽であるジャズ／クラシックになると「編曲」と言えども、結果的には一定の制約下の「作曲」となり、編曲者がそれらをただの「編曲」の産物として放置するわけではなく、「作曲」という創作の域に入ってしまうためであった。その後、著者の研究も「感情」「感性」といった人間の脳活動の一番魅力的かつ研究の進んでいない領域に発展し、その間の脳

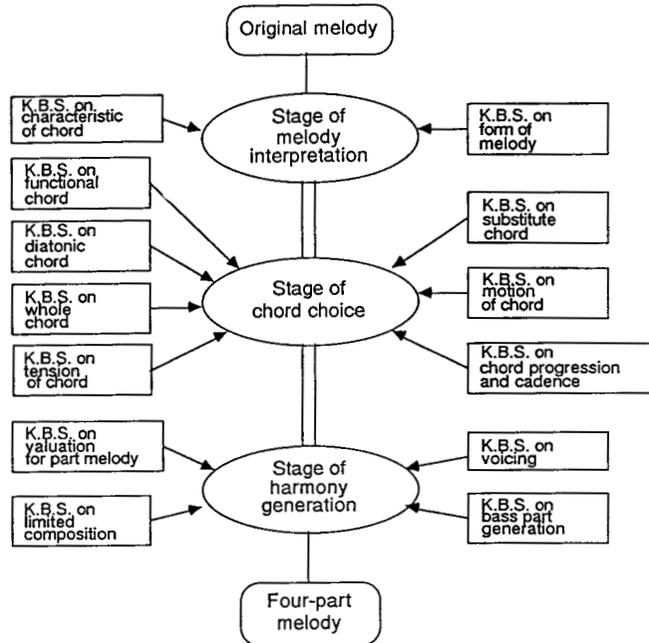


Fig.3. The outline of MUSAS: MUSical Arrangement System.

科学、大脳生理学などの周辺科学分野の研究成果などもあり、現在再開するに到ったわけである。

### 3. フレーム型モデル

フレームというのは我々が知的に物事を解決する際に必要とする情報あるいは知識を意味づけて表現するモデルである。その論理的根拠はフレーム理論であるが、シーンの理解やシナリオの理解に関する認知心理学的な概念に関する関係性と抽象-具体の階層的知識構造を考慮した理論である。

一般的知識には、大別すると、分類学的階層構造を持つ概念と、連想的な意味ネットワーク構造を持つ概念がある。分類学的階層構造の例を図示すると、Fig.4.のようになる。われわれ人間の記憶構造は、逐一すべてのラベル付けされた項目にそれぞれの性質を具体的に表す属性とその値が付与されているのではなく、類似性を考慮した、例えば動物なら鳥であろうがほ乳類であろうがすべて動く、という個人的に最適化され体系的に整理された構造である。

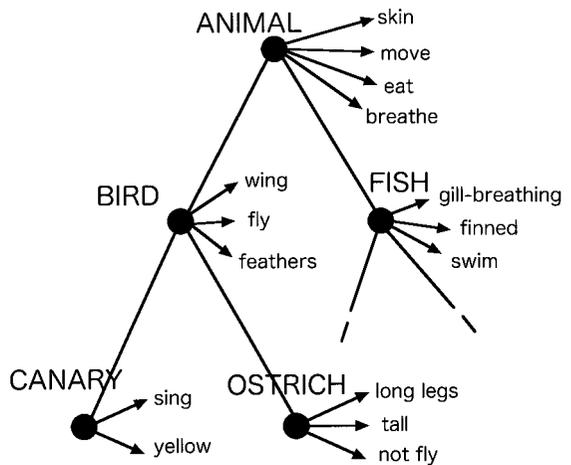


Fig.4. A concept of semantic network model.

また、連想的な概念の例として、Fig.5.にWinstonの類似ネットワークを示す。フレーム表現を用いて類似を表しておく、ある知識を探していく上で例え探索に失敗してもニアミスと呼ばれる類似の知識の推論が効率的に行える。

Fig.6.は、上記のフレーム理論の概念に基づくフレーム型知識表現モデルの例である。これは、絵で表されたような「Aの部屋」をフレームで表したものであるが、例えばロボットが家庭に入って家事を行うような場合を想定して貰えれば良い。実際にロボットが動くためには、この数百倍数千倍の物や事を表現しておかなくてはならない [石塚、87] [人工知能学会、90]。

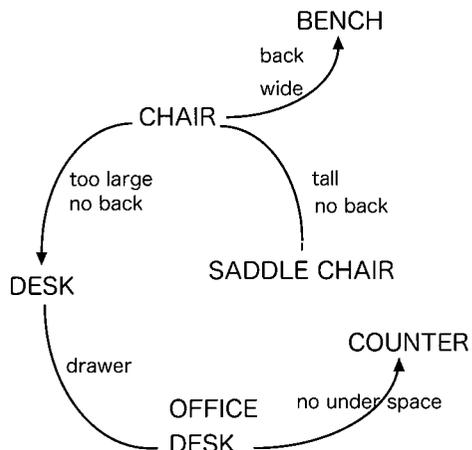


Fig.5. Winston's network model based on the similarity.

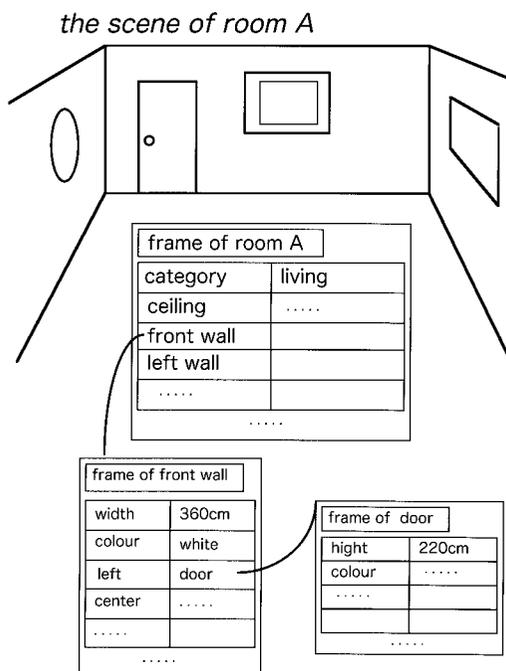


Fig.6. An example of frame model notation illustrated the room "A".

#### 4. オブジェクト指向モデル

このオブジェクト指向モデルという概念は、本稿の一連のストーリー、すなわち知識を表現するモデル、知識指向のモデルとは少し異なる概念である。フレーム表現と同じような属性の表し方があり、属性継承など性質も似ている。ただ概念が少し違うのでいろいろな構成要素の

呼称も少し違うので注意が必要である。ここでは詳細には触れないが、ひと言で言うならば、コンピュータ上でシミュレーションを行うために対象となるオブジェクトを表すがその中には階層性や類似性があり、クラスという集合的な概念などがシミュレーションプログラミング言語の制御構造にもあらかじめ備わっていた方が良いので、LOGOやSMALLTALKなどの言語をベースにしなが出来上がってきたシミュレーション用プログラミング言語ということが出来よう。Fig.7.はオブジェクト指向モデルで「大学院」という概念をを表した例である。今では、C++やJAVAなどいくつかの言語ファミリーがある[Graham,94]。

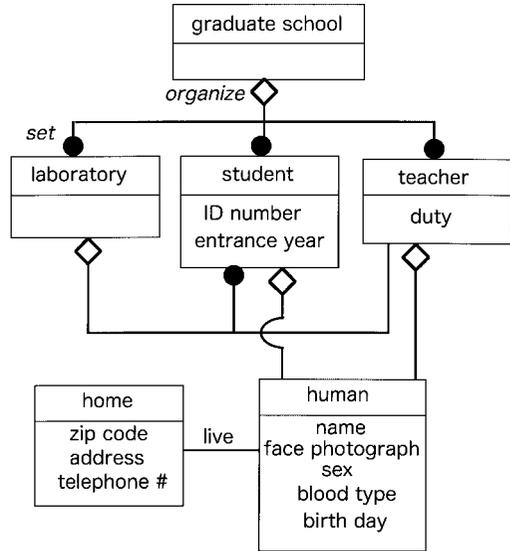


Fig.7. A concept of object-oriented model.

### 5. マルチエージェントモデル

本稿で扱うエージェントとはコンピュータあるいはコンピュータネットワーク上で、人間などの知的な代行者として働くプログラム群のことである。インターネット上での情報検索／統合／配信などを知的支援するものから、グループウェアとしてグループメンバーの創発を含む知的活動を支援するものまで多様である [長尾, 00]。

ブラックボードモデルのようなものは、ひとり人間またはある問題に対する専門家プロジェクトチームのように協調して問題を解決することが目的であるが、大規模で関係が複雑である現実の社会は、局所的には協調問題解決を行っているが、利害関係は常に対立しているのも、総体的に見れば決して分散協調問題解決システムとは言えない。非協調型の分散システムである。また、その自律した個人やグループの組織化あるいは関係性は、常に流動的で変化し続けている。このようなシステムに対して、ブラックボードのような統合的なスーパーバイジングは「神」の存在を明示的に認めない限りあり得なく、多様なスーパーバイジングあるいはリーダーシップが、ある時ある場所である時間の間だけ存在し、かつ階層的に存在すると考える方が自然であろう。このような実社会の多様な問題を載せシミュレーションを行うことによって、政策考案や企業戦略の方針を立てる意思決定の知的支援を行う目的で、実社会のモデルをコンピュータ上に表すことが出来たら良いと考える。

このような条件を満たすコンピュータモデルは、上述したマルチエージェントモデルが有効である。Fig.8.には、基本的なマルチエージェントモデルが示してあり、Fig.9.にはそのエージェント達が組織化したり関係性を変化させたりする様子が表してある。自律した個性のある多様なアルゴリズムとルールおよび知識を持った複数のエージェントが、その関係性を時間的に変

化させながら学習し発展／縮退を繰り返す半永久的システムは、現在のコンピュータサイエンス研究の成果であるマルチエージェントモデルで表すことが最良であると考えられる [Minsky,85]。

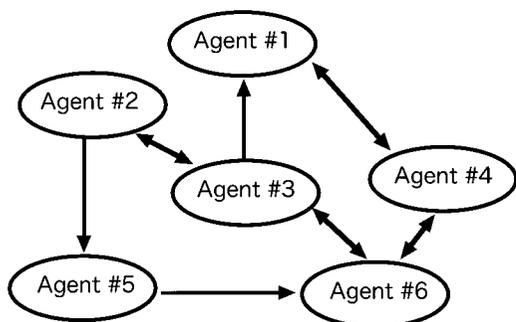


Fig.8. A concept of multi-agent model.

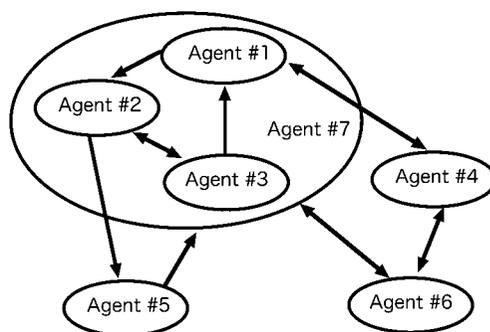


Fig.9. An example of relational transformation on multi-agent model of Fig.8.

## IV. 社会シミュレータ

### 1. 社会問題に対するゲーミングの効用

前章で、複雑大規模な社会システムをコンピュータ上で表すには、マルチエージェントモデルがふさわしいと述べたが、古くは戦争における戦術の机上シミュレーションとして、仮想ゲームのようなやり方がなされていた。現在、ゲームになっているチェスや将棋も元はと言えば戦術のシミュレーションであった。

戦争時では、お互いの動きに関しては、現在の最終到達点の見えないエンドレスゲームである平穏な社会と比較すれば、非常に単純となる。勝ち負けによる報酬が国の存亡という巨大なものだけに、机上のペーパーシミュレーションとは言え幾度も繰り返し、様々な展開を予想するなど、緻密なものであっただろうことは想像に難くない。人間の知的思考能力には計り知れないものがあり、特に初めて出会うシチュエーションにおいても、自分の過去の記憶や経験と、推論するなど思考する力で、何らかの解決策を考え出すものである。

その人間の知的に思考する能力を利用して、人間社会の多様な問題の解決の糸口を見いだそうとするのがゲーミングという手法である。先に述べた、チェスなどゲームの戦略／戦術をシステムチックに論じるゲーム理論と混同され易いが、ゲーミングとは簡単に言えば精度の高いロールプレイゲームを繰り返し行う模擬国会のようなものである。

単純に、模擬国会のようなものであると言っても、登場人物／組織体の歴史／性格やその時点での社会状況、それにいたるまでの経緯、途中起こるであろう状況の激変など、舞台装置とシナリオを綿密な調査分析のもとで行うならば、何度も繰り返し行う中で実際に起こるであろう可能性を示唆する出来事が出現するのである。もちろん、ゲーミングが終了した後にトレー

スバックすることにより理解できることなのだが、著者らも過去、後で述べるSARAを構想する段階で、幾度となく過去にあった出来事を実地調査し、ゲーミングを行ってみて経験したことである。

ゲーミングの有効性には、1) シミュレーションとしての意味、2) ロールプレイゲームを行うことによる教育効果が知られているが、本稿では2) の教育効果には触れず他の機会に譲りたい。個人や組織の関係性で成り立つ「社会」に関してある問題の解決の糸口を探るべく、人間の知的能力による意思決定に頼って、ゲーム状況を予測したり再現したりする効果を期待するゲーミングは、まさしく複雑大規模な社会を科学的に分析しようとする突破口と成り得ると考えられる。

## 2. ゲーミングシミュレーションプラットフォームとしてのSARA

リアルなゲーミングシミュレーションを行うには、現実と同じような情報入手の制約、コミュニケーションの制約、自分のリソースにおける制約など多くの制約により、その言動が制約されると同じような仕組みが必要である。ペーパーで行うゲーミングではこのような制約の厳密なコントロールというのは無理な話で、あり得ない情報の漏洩やあり得ない直接交渉なども起きてしまう。それも、ある意味、機密情報のリークなど現実世界を映しているのだと教育に利用した場合は評価することも出来ようが、想定されていない非現実的な、信号制御世界で言う外乱あるいは雑音とも考えられる出来事は、あまりにも偶発的過ぎていて、シミュレーションの精度を高めるといった目的からは好ましくない。

ゲーミングプラットフォームSARAでは、特定の社会問題を特定の閉じられた世界でシミュレーションを行うのではなく、多様な問題を記述できるように一般的な人間社会でのコンフリクトを主体としたゲーム状況を再現できるように設計されている。Fig.10は、SARAの概念図である。

Fig.10に出てくる「エージェント」は、社会科学でいうところの「アクター」と親和性の高

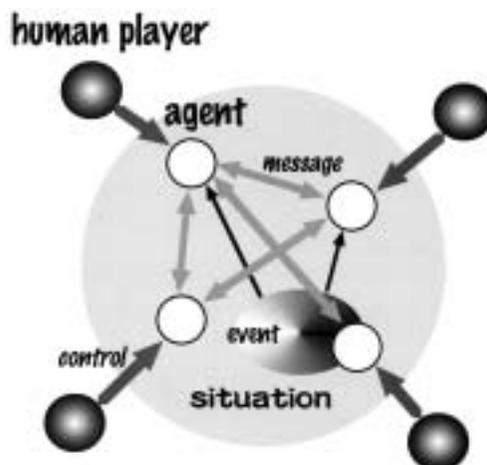


Fig.10. An outline of SARA: the platform for multi-agent gaming simulation.

い概念であり、社会におけるマクロとミクロの関係は、このエージェントと「状況」の関係として表現される。すなわちエージェントの言動は状況から独立したものではなく、常に結びつきがあり、置かれている状況が異なれば、影響範囲も異なり、さらにそのエージェントの行動によって状況も影響を受けて変化する。

SARAについての概要は [渡、98] [三上、98] に詳しいが、このシステムは拡張性をあらかじめ考慮し構築されている。例えば、「議会」「選挙」などの「場」や「一般公衆のモデル」「メディアの影響のモデル」「アクターの意思決定のモデル」を搭載可能で、様々な社会的コンフリクトの現場を仮想的に再現可能としている。次節に述べるマルチエージェントシミュレーションシステムはSARAの構想時から拡張版と考えて貰っても差し支えない。

### 3. マルチエージェントシステムによる社会シミュレーション

現実の社会を表わすコンピュータモデルは、上述の人間プレイヤーに知的な意思決定部分を任せる形であるSARAの開発を経て、得られた成果を基礎として自律エージェント達が「社会」の関係構造の中で動き変化するというマルチエージェントシミュレータの構築へと発展する。

マルチエージェントシミュレータの基盤システムとしていくつかクリアしなければならない課題を整理するなら次のようになる。

- 1) 各エージェントの意思決定に関する問題
- 2) 場の設定の問題
- 3) 外環境 (SARAでは状況と呼んだ) の仕組みと表現の問題
- 4) エージェントと社会の学習と記憶に関する問題
- 5) 社会を全体的に制約する「地球」のようなスーパーバイジングの問題
- 6) 協調／交渉／紛争などの発生とプロセス、終結に関する問題

このうち、第1開発フェーズでは、1) のエージェントの単純な意思決定のモデルを搭載することと、3) の外環境の仕組み、5) のスーパーバイジングの問題、6) の協調／交渉／紛争のうち紛争をメインとしたメカニズムの搭載が必要となる。これらが機能して初めて、静的なあるいは瞬時的な社会シミュレーションの基本メカニズムが動くと考えられる。

1) のエージェントの意思決定モデルであるが、単純と言ったのは、もちろん知的で論理的でしかも非論理的な感情による意志決定をなす実際の人間と同じような意思決定プロセス (これがいわゆる人工知能の究極的な姿であろう) を搭載することは、現時点ではそのようなモデルは存在しないから無理であるという意味で、全体的に社会シミュレータとして観察可能で充分利用価値があると考えられるならその程度の粒度と精密さでいいだろうということである。ある外部からの刺激に反応して、情報を得るために外部に働きかけ、行動が出来るために必要な情報が揃ったら、与えられた自分の経験的知識と照らし合わせて行動を起こすというエージェントモデルを開発するということである。

3) の外環境については、SARAの開発の時にかなり議論したのでその概念を踏襲／拡張すれば良いと考える。ただSARAと異なるのは、外環境エージェントも階層化されそのエージェント同士も影響し合うということであろうか。SARAでは、いくつかのプロパティで便宜的に表現した「状況」というオブジェクトも、ここでは「地域レベル」「国レベル」「世界レベル」などのようにカテゴライズして階層化する方が、社会を再現する上で精密なメカニズムが構築可能であると考えられる。

5) のスーパーバイジングに関しては、現在研究中である。どういったことかと言うと、マルチエージェントモデルが示す挙動の興味深い点といえば、ひとつにはフルフラットな構造が持つあらかじめ予定調和的に協調しない結果が得られるということであるが、局所的な世界ではなく社会全体を表現するシミュレータの場合、様々な制約、例えば「有限資源」「人口および構成」「気象条件」などまだ解り易い物理的な制約の他に、「歴史的記憶」「民族性」「宗教」のように精神的な側面も制約には存在し、これらが複合的に全体の「秩序」を統制しているかもしれないのである。さらなる研究と議論が必要な理由とはこういったことが未整理だということである。

6) の協調／交渉／紛争などの発生とプロセス、終結に関する問題というのは、そのとおりのことで、各エージェントが行動に出た場合当然他のエージェントと利害対立したり共通の敵と協調して闘ったり、政治的に和平を結んだり、戦争が勃発したりするので、シミュレータがそのようなイベントをどう認知するかを定義する必要があるだろうし、いったんイベントが起こったなら新たな枠組みで平常時とは異なるメカニズムを発生し、あたかも「ブラックボード」のようなエージェントを作り出し、各エージェントによる問題解決のプロセスと終結の定義を与え「イベント」を解消するのかなどが問題となるということである。

Fig.11.は、現在構想しているマルチエージェントモデルによる社会問題を扱う汎用シミュレータの概念図である。

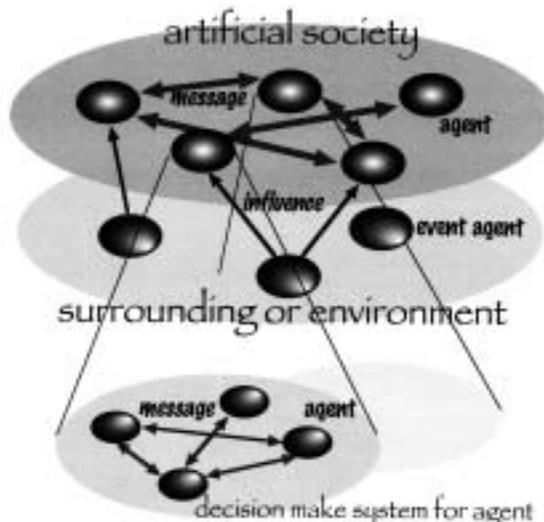


Fig.11. The concept of multi-agent simulation system for social sciences.

## V. 今後の課題

今まで述べてきたように、マルチエージェントモデルによる社会問題を扱うシミュレータは、全体の概念および構想が出来たばかりである。ゲーミングシミュレータ：SARAの開発を含む、今までの、試行錯誤の社会シミュレータの開発で得られた知見を、さらに社会的にあるいは社会科学적으로どう精緻化するかは今後の大きな課題である。もちろん、私のようなコンピュータサイエンティストだけの研究や努力で出来るものでは無い。当然ではあるが、様々な研究分野の研究者達とコラボレーションを重ねないと完成に近付かないと考えている。特に、協調／交渉／妥協／紛争／政治的圧力／終結など、社会や世界に常に起こり続けているアクター同士の関係性をどうモデル化するか、あるいはその事例として現実世界からどのような対象を選び抽象化して一般化するかが、このようなこともすれば机上の空論に成りかねないようなシミュレータの開発では、大きな課題のひとつである。さらに、人間あるいは国家など組織の精神面をどうするか。現在のシミュレータが第2世代だとすると、第3世代は生物行動学／脳科学／心理学的要素を含んだ「精神面」をどうシミュレータに反映するかが課題となるだろう。

稚拙ながら、著者の20数年にわたる人工知能研究者としての経験から言わせて貰うと、人間ほど非論理的で感情的な意志決定をする存在は無いと考える。もちろん「意志」というのはなかなか奥が深くて研究対象になりにくく、それゆえ「意思決定」として科学のメスを入れているわけだが、他の単純な生物達に比べ高知能化したゆえ、時として「何故そのような言動をとったのか？」と疑問を抱いてしまうことがある。そのためか大事な決定を行うとき「感情的になるな」「論理的に考えろ」「冷静になれ」などと自らの非論理性を戒める言葉が多い。生物の地球的進化の歴史から考えると、弱肉強食あるいは循環型の食物連鎖から、人間とて本能的には元来アドレナリンなど放出して敵と闘う存在なのかと思えてくる。そこに大脳を発達させて、生物界を生き延びようとした人類の一種のとまどいが見えてくる。非論理性が支配する野性地球世界と、論理的たらんとする人間秩序社会の対比の中の矛盾によるとまどいである。この先、未来に向かって進化する中で人類もこの永遠とも思える問題の答えを見つけるのだろうか、それとも知る前に種として滅亡してしまうのだろうか。

いずれにしても、著者の「人間の感情」の認知科学的研究と人間および人間の社会の仕組みを理解するためにも、社会シミュレータの研究／開発は続けられる。

## 謝辞

本研究の基礎として、SARAの開発に力を出してくださったEBISSプロジェクトの研究メンバーであった人々と、類い希なる知的能力でプロジェクトの強力な牽引者となってくれた故渡滋氏、またプロジェクトのリーダーを務めてくださった慈道裕治先生にこの場を借りて篤く御礼申し上げます。

参考文献

- [Brooch,91] Brooch, G. : Object Oriented Design with Applications, The Benjamin / Cummings (1991)
- [Feigenbaum,89] Barr A., Cohen, P.R., and Feigenbaum, E.A. ed. : The Handbook of Artificial Intelligence Volume IV, Addison-Wesley (1989)
- [Goldberg,89] Goldberg, D.E.: Genetic Algorithms in Search, Optimization & Machine Learning, Addison-Wesley (1989)
- [Graham,94] Graham, I. : Object Oriented Methods, Addison-Wesley (1994)
- [Mayne,01] Mayne, T. & Bonnano, G.: Emotions - Current Issues and Future Directions-, Guilford (2001)
- [Minsky,85] Minsky, M. : The Society of Mind, Simon & Schuster (1985)
- [Russel,03] Russel, S. & Norvig, P. : Artificial Intelligence - A Modern Approach-, Prentice Hall (2003)
- [Wooldridge,97] Jennings, N. R. & Wooldridge, M. : Agent Technology -Foundations, Applications, and Markets, Springer (1997)
- [Wooldridge,02] Wooldridge, M. : An Introduction to MultiAgent Systems, John Wiley & Sons Ltd (2002)
- [安西、87] 安西：計算機科学／ソフトウェア技術講座17—認知科学と人工知能、共立出版（1987）
- [石塚、87] 石塚、上野：知識工学講座2—知識の表現と利用、オーム社（1987）
- [伊藤、06] 伊藤、草薙：コンピュータシミュレーション、オーム社（2006）
- [大須賀、86] 大須賀：知識工学講座1—知識情報処理、オーム社（1986）
- [大須賀、93] 大須賀、雨宮他：知識工学講座6—知的プログラミング、オーム社（1993）
- [人工知能学会、90] 人工知能学会編：人工知能ハンドブック、オーム社（1990）
- [高木、99] 高木：社会科学におけるシミュレーション研究の現状、日本ファジィ学会誌、Vol.11, No. 1, pp.30-42 (1999)
- [長尾、00] 長尾：エージェントテクノロジー最前線、共立出版（2000）
- [三上、91] 三上：編曲システムMUSASの問題解決における知識とその構造に関する研究、博士論文（立命館大学大学院理工学研究科）（1991）
- [三上、98] 三上、渡他：社会的コンフリクトを分析するためのゲーミングシミュレーション～マルチエージェントゲーミングシミュレータSARAの構築～、第4回社会情報システム学シンポジウム論文集（1998）
- [村山、97] 村山、赤野：コンピュータリテラシー・ブック、オーム社（1997）
- [レナート、91] デービス&レナート、溝口訳：人工知能における知識ベースシステム、啓学出版（1991）
- [渡、98] 渡、近藤他：シミュレーションツールSARA～その概念と開発過程～、政策科学、第6巻、1号、（1998）