

永続的な参加型シミュレーションのための ネットワークゲームの拡張

Extending Network Game Environment for Persistent Participatory Simulation

澤田祥一
Shoichi Sawada

服部宏充
Hiromitsu Hattori

石田亨
Toru Ishida

京都大学大学院 情報学研究科
Graduate School of Informatics, Kyoto University

1 まえがき

マルチエージェントシミュレーション (MAS: Multi-Agent Simulation) に基づく社会シミュレーションは、近年、情報学と社会科学の境界にある研究領域として注目を集めており、複雑な社会現象や社会システムの分析を試みる活動が活発化している [9]。MAS では個人や組織をエージェントとしてモデル化する。人間の多様な視点を網羅する計算モデルの構築は容易ではない事から、実際に人間がシミュレーションに参加し、エージェントと人間が混在する環境で実施される参加型シミュレーションが注目されている [3]。人工的に構築されたシミュレーション環境に人間が入り込むことで、より現実的なシミュレーションの実施が期待でき、またそこでの人間の振る舞いの情報は、エージェントモデルの構築に有用である [1]。

これまで参加型シミュレーションは、統制のとおりやすい環境の下で実施され、また対象とする問題も、空間的、時間的、そして被験者数の点で、必ずしも大規模ではないものが多い。例えば、文献 [6] では、参加型シミュレーションによる避難行動の再現が試みられているが、12名の被験者が約 90 平米の空間上で活動する規模で再現が行われている。また、文献 [9] では、農業従事者の意思決定モデルの獲得を目的とした参加型シミュレーションが実施されている。被験者は 2次元の格子状の地図やグラフ上に表示される環境の変化に関する情報を基に行動を選択するのだが、被験者の取り得る行動、参照可能な情報がシミュレーション環境によって制約されており、シミュレーションにおける被験者の感覚は、実世界で活動する場合とはかなり異なると推察される。

近年、情報技術の進歩と相まって、人間社会に関する分析対象は詳細かつ広範なものとなりつつある。例えば、人間の日々の活動履歴、いわゆるライフログを蓄積し、その情報に基づいて人間の振る舞いの傾向を分析したり、計算モデルを構築する試みなどはその一例である [7]。さらに、現実世界を代替する仮想世界を提供する Second Life を初めとするネットワークゲームは社会生活シミュレータとしての側面を明らかにしつつある。実際に、Second Life 上でのセンサを用いた追跡の実験 [2] や社会インタラクションの評価実験 [8] が実施されており、社会ネットワークや人間の協調行動、さらには市場分析のための実験環境として利用される実例が増加している。ネットワークゲーム環境を利用することで、実世

界では物理的にも困難な大規模な実験環境、ネットワークを介して集まる多数かつ多様な被験者による社会実験環境を準備できる。

社会現象、社会システムを分析の対象とした場合、シミュレーションは長期的なものにならざるを得ない。なぜなら、環境の変化や新しいシステムは短期間で社会に浸透するものではなく、長時間かけて徐々に人間の活動に変化をもたらすものだからである。例えば口コミは、漸次的な情報伝達のプロセスで見られる現象である。しかし、長期間のシミュレーションの実施は被験者にとっては負担が大きく、恒常的な参加は現実的に不可能である。現在のネットワークゲームを用いたシミュレーションは、仮想環境でのゲーミングシミュレーションであり、シミュレーション期間中の人間の継続的な参加を仮定しているが、シミュレーションの大規模化に伴い困難になるのは明らかである。普通、人間がネットワークゲーム上でオフラインになった場合、操作しているアバタは消失する。このようなケースが頻発してはシミュレーションの継続は難しい。そのため、社会シミュレーションの大規模化を支える新たな技術が必要である。

筆者らは、上記の困難の解決のため、マルチエージェントシステムによってネットワークゲームを拡張し、ネットワーク上での永続的な参加型シミュレーションを可能にするためのプラットフォームの開発を行っている。開発においては、ゲームで操作するアバタを、外部のエージェントモデルから操作可能とし、また、人間とエージェントモデルの間で、同一のアバタの制御権を共有し、必要に応じて一方が他方にアバタの制御を委託可能とする、メタレベル制御の仕組みを実現する。この仕組みは、人間の参加が困難な場合には、エージェントが人間に替わってアバタを操作し、エージェントによる操作が困難になる、もしくは人間が参加可能となった場合は制御権を人間に戻す事を可能とする。

本論文では、具体的な参加型シミュレーションプラットフォームとして、ネットワークゲーム gumonji と、シナリオ記述言語 Q [4] の結合による、gumonji/Q を構築する。gumonji は、環境シミュレーション機能を持つネットワークゲームであり、ユーザは 3次元仮想空間内のアバタを操作することでシミュレーションに参加できる。シナリオ記述言語 Q は、外界とエージェントのインタラクションを設計するための言語であり、人間の意思決定モデルをシナリオとして記述できる。gumonji と Q

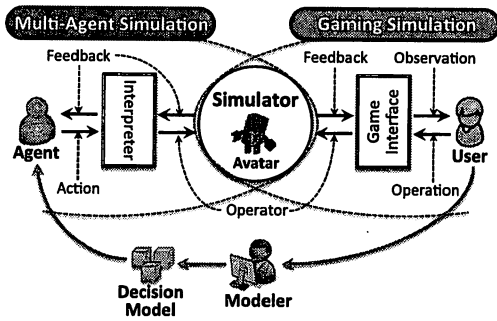


図1 永続的な参加型シミュレーションプラットフォームの概念

の結合により、gumonji 上のキャラクタをエージェント化可能し、同一のキャラクタに、人間によって操作されるアバタ、Q による意思決定モデルによって操作されるエージェントの2つの動作モードを実現した。メタレベル制御によってこれら2つのモードを適宜切り替え、人間の参加状況によらず、キャラクタが継続的に動作可能な環境を実現している。

2 永続的な参加型シミュレーションのためのプラットフォームデザイン

2.1 ネットワークゲームとエージェントモデルの結合

本論文では、ネットワークゲーム環境をインフラとして、永続的なシミュレーションの実施を可能とする参加型シミュレーションプラットフォームを構築する。本論文における永続的な参加型シミュレーションとは、参加する人間の出入りに依らず、実時間で進行するシミュレーションが途切れる事無く長期間にわたって維持可能であるシミュレーションと定義する。

ネットワークゲームを永続的な参加型シミュレーションのためのプラットフォームに用いる利点は以下の通りである。

- 人間が仮想空間上で活動するためのインタフェースを持つ人間が仮想空間上で主体的に活動するために、仮想空間の状況を観察するためのビジュアル機能や仮想空間上で行動するための操作機能を備える。
- 多数の人間が参加してインタラクションを行う環境である多数の人間が同時に参加できる仮想環境を備える。参加者は自由に仮想環境に出入り可能で、仮想環境上で他の参加者とインタラクションできる。
- インターネットを通じていつでもどこからでも参加できる参加者は、任意の時間・環境から仮想環境に参加できる。参加者は、ログインしている間だけ操作を行い、いつでもログアウトして仮想環境から退出できる。
- 仮想環境が常に存続している人間の参加に関わらず仮想環境は常に存続している。参加者数が変動しながらも、仮想環境上の時間は常に進行し、環境が変化し続ける。

ネットワークゲームは、人間が自らキャラクタを操作する事を前提に設計されるのが一般的である。ゲーム環境上にキャラクタが現れるのはそのユーザがゲームに参加している期間に限られ、ユーザがゲームから離ればキャラクタは消滅する。長期間のシミュレーションではこのようなケースが頻発すると予想され、安定した仮想社会(シミュレーション環境)の維持が困難になると考えられる。そこで、人間に変わる意思決定主体となるエージェントをネットワークゲームに接続する事で拡張を試みる。

図1に、エージェントシステムとの結合によるネットワークゲーム拡張の概要を示す。中央に位置するのがネットワークゲーム環境、およびその環境上のキャラクタである。同じアバタを図の右側の人間のユーザ、および左側のエージェントが共有する形となり、ネットワークゲームのキャラクタが、仮想空間を舞台として、人間によるゲーミングシミュレーション、およびマルチエージェントシミュレーションのいずれの要素としても機能する事を意味している。これは、例えば、文献[5]にある、人間によるシミュレーションにマルチエージェントを加えて行動主体数に関して大規模化を図る拡張とは別の拡張の形式である。すなわち、1体のキャラクタに対して、人間とエージェントの2種類の意思決定主体を割り当て、いずれかの意思の下で機能するよう内部メカニズムを拡張している。図1に示すように、キャラクタの視点からは、人間とエージェントは同じ意思決定者であり構造上の区別は無い。

人間は、ゲームの持つユーザインタフェースを介して仮想空間上のキャラクタにアクセスし、キャラクタの操作や、環境に関する視覚情報を得ることができる。一方、エージェントはインタプリタを介してキャラクタにアクセスする。インタプリタは、エージェントの動作要求をシミュレーションに反映させる入力機能と、シミュレーションの状況をエージェントに伝える出力機能を持ち、入出力形式の異なるエージェントとキャラクタを接続する。エージェントは、シミュレータ上のキャラクタの周辺状況に基づいて意思決定を行い動作を要求し、その要求はインタプリタによってオペレータに変換され、キャラクタに入力される。逆に、キャラクタは動作結果や環境の変化の情報をシミュレータから受け取り、インタプリタを介してエージェントに返す。

エージェントを機能させるエージェントモデルは、キャラクタを共有する人間の参加型シミュレーションにおける振る舞いを基に、人間の操作の代替となる意思決定モデルを構築する手法が考えられる。

2.2 エージェントの接続方式

筆者らはアバタのエージェント化の方法として、エージェントの外部接続による実現方法を用いた。ネットワークゲームの拡張に用いるエージェントモデルには、シミュレーションの対象に応じて様々なモデルが適用される可能性がある。そのため、ゲームのシステム内部に

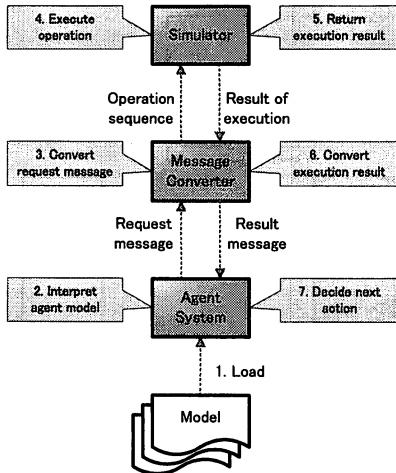


図 2 外部からのアバター制御のプロセス

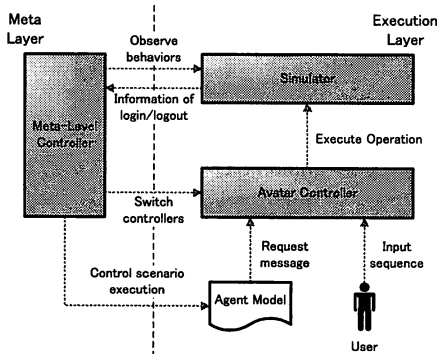


図 3 アバターのメタレベル制御

直接実装する場合は作業コストが大きくなり、モデルの切り替えも容易では無くなる。そこで、ゲームシステム内部にはアダプタとなるモジュールのみを組み込み、外部のエージェントモデルがアダプタ経由でアバタを操作する方式を用いる。

図 2 に示すように、外部のエージェントからのアバターの制御は以下のプロセスに沿って行われる：1) エージェントが実行動作を生成しアバタに対して実行要求メッセージを送信、2) コンバータで実行要求メッセージをアバタ制御のためのオペレータ列に変換、3) 生成されたオペレータ列に従ってアバターの動作を実行、4) 動作後のアバターの状態 (e.g., 移動後の座標) を動作のフィードバックとして返す、5) フィードバック情報をコンバータでエージェントに可読な形式に変換、6) エージェントが動作結果に関する情報を獲得。以上により、エージェントがゲーム環境上のアバターを制御し、かつその結果を取得し、次の行動決定に利用する事を可能にする。

2.3 メタレベル制御による意思決定主体の切り替え

参加型シミュレーションを人間の参加状況に依らず長期継続的に実施するために、人間の不在をエージェントによって補うためのメタレベル制御機構をアバタに実装する。すなわち、人間が制御可能、もしくは制御の意思を持つ場合は通常のアバタとして機能し、人間による制御を行わない場合はアバタをエージェント化、すなわちソフトウェア制御による自律的な行動主体として機能させる。つまり、アバタは人間とエージェント (モデル) を相互に代替可能な意思決定主体として持つことになる。これにより、人間の参加状況によって大きな影響を受けることなくシミュレーションを継続することが可能になる。

人間 (ユーザ) がアバターの制御をエージェントに委託し、またエージェントが人間に制御を戻すために、双方から同一のアバターを制御可能で、かつ動的な切り替えが可能である必要がある。そこで、メタレベルでアバタの操作を制御し、操作主体を動的に切り替えるためのメカニズムを実装した。図 3 に概要を示す。人間とエージェントは共にアバターコントローラを介してシミュレータ上のアバターの制御を行う。制御主体の違いはアバターコントローラで吸収され、アバターを操作するオペレータを生成する。アバター制御の切り替えを行うメタレベルコントローラは、シミュレータ外部からユーザのログイン状況を監視し、必要に応じてアバターコントローラにアクセスして、アバターの制御権の切り替えを行う。具体的には、人間がログイン中である場合は、人間からの入力のみをアバターの制御リクエストとして受け付け、またログアウトした際には、エージェントモデルに実行要求を送信し、また同時にアバターコントローラにアクセスして、ユーザからエージェントへの制御権の切り替えを行う。記述した通り、アバターは人間とエージェントの二つの意思決定主体を持つが、メタレベルコントローラはいずれからの制御を受け付けるかを決定して、制御権の切り替えをシミュレーションの継続中であっても実行できる。

3 参加型シミュレーションプラットフォーム gumonji/Q

3.1 準備

3.1.1 ネットワークゲーム gumonji

gumonji は、コミュニティエンジン株式会社で開発され、一般公開されているネットワークゲーム¹である。gumonji は物理法則に従って大気や水が循環する仮想空間 (図 4) を提供する。ユーザは、仮想空間内のアバタを操作することでゲームに参加でき、他のアバタとの間で、チャットやアバタのジェスチャを介したインタラクションが可能である。gumonji は、仮想空間のシミュレーションを行うゾーンサーバと、ユーザとのインタフェースとなるクライアントから成る。ゾーンサーバは、クライアントから送られるユーザの操作入力を受け取り、仮想空間上に反映させる。また、仮想空間の変化を計算

¹<http://www.gumonji.net/>

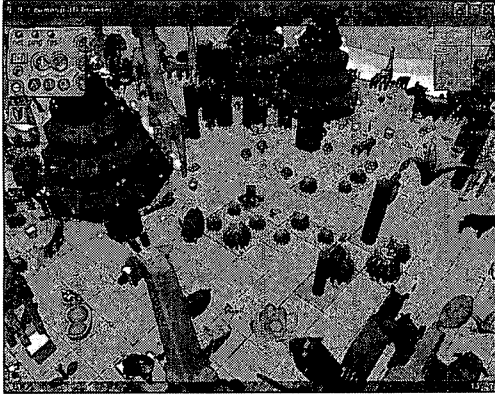


図 4 gumonji の実行例

し、クライアントに情報として送信する。クライアントは、操作・表示機能を持つユーザインタフェースである。ユーザは図 4 のような視覚情報を基にアバタを操作する。gumonji 上の自然環境は常時変化し続けており、またユーザは任意の時間にその環境に出入りが可能である。

gumonji は人間がアバタを操作し、仮想空間上での活動を楽しむゲームとして設計されている。そのため、アバタが環境上に存在し機能するのは、ユーザが gumonji にアクセス中に限られる。

3.1.2 シナリオ記述言語 Q

シナリオ記述言語 Q [4] は、エージェントと外界とのインタラクションを設計するための言語である。Q はインタラクションのプロトコルを定義するのみで、エージェントの内部メカニズムには言及せず、具体的な動作は各エージェントの実装に任せられる。インタラクションプロトコルは、拡張状態遷移機械モデルのシナリオとして記述され、状態遷移のきっかけを“キュー”，状態遷移に伴う外部への作用を“アクション”と呼ぶ。対象（本論文ではアバタに当たる）の内部実装に言及せず、インタラクションプロトコルのみを定義する Q の特徴は、ゲーム内のアバタを外部から接続し、制御する目的に関して適切である。

3.2 gumonji と Q の結合

本節では、gumonji と Q の結合による永続的な参加型シミュレーション gumonji/Q² の実装について詳細を述べる。図 5 に、gumonji/Q のシステム構成を示す。図中の上部が gumonji のゾーンサーバ、右下が gumonji のクライアント、そして左下が Q の言語処理系を表す。

gumonji/Q の実装では、ゾーンサーバと Q を接続する通信モジュールとして、Q 処理系内に Q コネクタを、gumonji ゾーンサーバ内にエージェントコネクタを実装し、また、図 2 のメッセージコンバータに相当する、

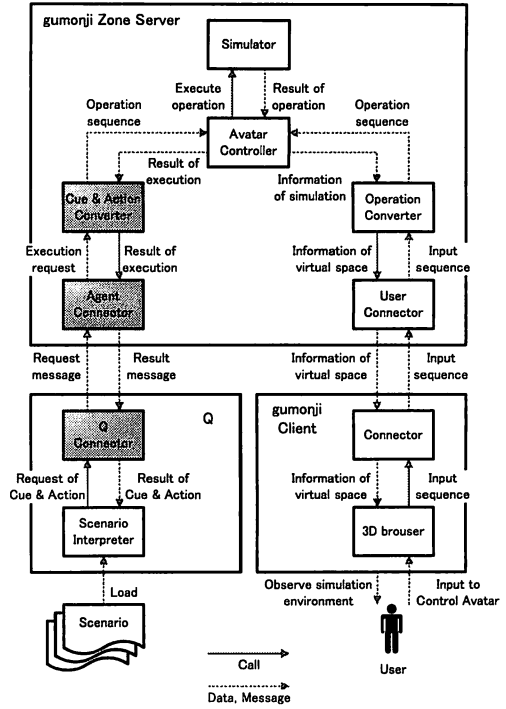


図 5 gumonji/Q のシステム構成

キュー・アクションコンバータをゾーンサーバに実装している（図 5 中の着色されたモジュール）。Q コネクタとエージェントコネクタは、TCP/IP 通信により接続した。これは、TCP/IP がレガシーな通信プロトコルであり、様々なエージェントモデルとの接続への汎用が期待できるためである。Q コネクタは、動作要求メッセージの送信機能と、動作結果メッセージの受信機能を持つ。動作要求は、キューやアクションの実行要求を文字列形式にエンコードし、TCP/IP で送信する。受信メッセージは、文字列形式からデコード後、エージェントに渡す。エージェントコネクタは、動作要求メッセージの受信機能と、動作結果メッセージの送信機能を持つ。文字列形式で送られてくるキューやアクションの動作要求を、デコードしてからキュー・アクションコンバータに渡し、また実行結果を文字列形式にエンコードして Q 処理系に送信する。

キュー・アクションインタプリタは、Q 処理系上でのデータ形式と、ゾーンサーバ上でのデータ形式を相互に変換する機能を持つ。Q 処理系からの動作要求は、全てキューとアクションの形式で指定されるが、このようなエージェントからの要求を、アバタを動作させるためのオペレータに変換するのがキュー・アクションコンバータである。コンバータでは、Q によるアクションの要求をアバタの動作実行オペレータに、キューの要求をアバタの環境観測オペレータに変換する。この時、キュー・アクションコンバータの出力を、図 5 にある、人間からの操作をアバタの制御オペレーションに変換するオペ

²http://www.gumonji.net/cgi-bin/doc_gumonjiq.cgi

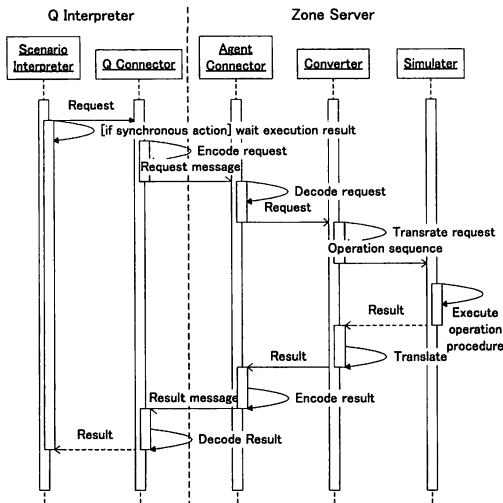
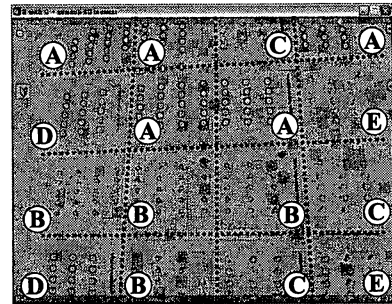


図6 キュー・アクションの実行プロセス

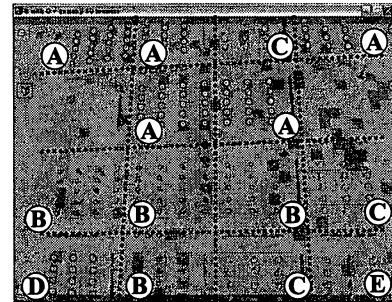
レーションコンバータの出力を同一にすることで、人間による操作とエージェントによる操作を区別せずに扱うことを可能にする。

Qのシナリオで記述されたモデルに基づいてエージェントがアバタの操作を行うために、周囲の環境を観測するキューと、周囲の環境に作用するアクションを実行するための機能を実装した。図6にエージェントによるアバタ制御の実行プロセスを示す。

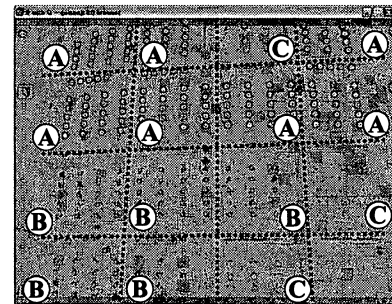
アクションは、周囲の環境に作用するアバタの動作を実行するための機能である。エージェントは、シナリオに記述されたモデルに基づいて、観測された周囲の状況に応じてアバタの動作を実行する。アクションの実行要求は、動作の内容とパラメータを指定して、Q処理系からgumonjiゾーンサーバに送られる。gumonjiゾーンサーバでは、アクションの実行要求を受け取ると、指定されたアバタの動作を実行する。動作の実行が完了すると、動作結果として動作によって得られたフィードバックが返される。エージェントは、動作によるフィードバックを受け取って、次の動作に移行する。以上により、エージェントがアバタを操作して周囲の環境に作用するためのアクションの機能を実現する。アクションの語彙は、人間がユーザインタフェース上で入力可能な操作に対応させて用意した。そのため、“歩く”、“話す”、“ものを拾う”など、45種類のアクションを定義した。これにより、エージェントに、人間の操作と同等にアバタの操作を行う能力を与えた。すなわち、エージェントが人間の操作を代替するために、人間の操作と同等に動作要求を行うことを可能にした。また、アクションを実行する際に、同期性を指定できるようにした。同期アクションの場合は、アクションの実行完了報告が返されるまで次の行動に移行することを待機するものとした。対して、非同期アクションの場合は、実行完了を待たずに次の行動に移行するものとした。



(a)



(b)



(c)

図7ゲーミングでの農地分布の遷移

3.3 gumonji/Qの実行情例

本節では、仮想的な集落における農地の集積を例題にgumonji/Qの実行情例を示す。本例では、ゲーミングからモデルを獲得し、さらに人間とエージェントが混在した環境でのシミュレーション実施までを行う。仮想的な集落として、図7のように4x4の格子状の農地を配置し、集落の中核的な農業者(認定農業者:AおよびB)、一般の農業者(C)、後継者がおらず近い将来耕作地を放棄する可能性のある農業者(DおよびE)の3種類を設定する。以下の手順に則りシミュレーションを実施した。

1)ゲーミング

仮想的な集落で人間によるゲーミングシミュレーションを行う。上記の3種類の農業者のいずれかの立場を割り当てられた5人の人間が参加。1年を一周期として期間は10年とし、農地の貸借交渉・耕作計画・耕作という流れでゲームを進める。参加者は毎年、所有する農地に

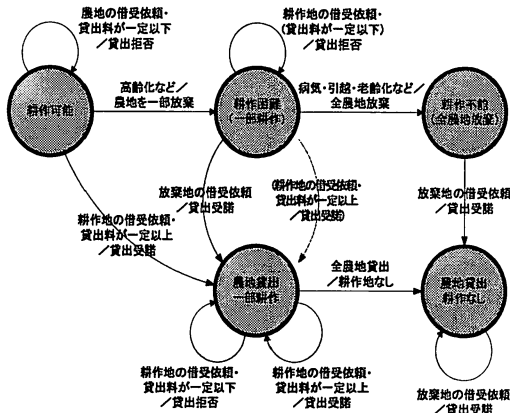


図 8 獲得した意思決定モデルの例

ついて耕作を行うか、他の農業者に耕作を委託するか、農地を放棄するかの意思決定を行う。農地の貸借交渉については認定農業者が農地の借受け料を提示し、それに対して農地の所有者は受諾または拒否の返答のみを行うものとする。各参加者は、基本的に各自の利益を最大化するように行動を選択する。

ゲーミングの結果の例を図 7 に示す。参加者 D は、途中までは耕作を行っていたが (図中 (a))、耕作の継続が困難になったために農地を放棄した (図中 (b))。そこで参加者 A は、農地を集積して耕作規模を拡大することを目指していたため、D に対して、農地を借り受けを持ちかけた。また、参加者 C によって耕作が行われている農地に対しても、農地の借り受けもちかけたが受け入れられなかった。こうして 10 年後には農地の集積が図られ、初期状態より農作業の効率化が達成されたが (図中 (c))、耕作放棄地や効率化が達成できていない箇所も残った。

2) モデリング

ゲーミングのログや結果から、各参加者の意思決定モデルが抽出できる。また、各ステイクホルダーにインタビューを行い、各時点で何を考慮し、どのような基準で行動を選択したかを尋ねる。その結果を基に、意思決定過程を状態遷移機械モデルで記述する。例えば、高齢化などにより耕作の継続が困難になると一部の農地を放棄し、また農地の借受け依頼に対しては放棄地に関しては無条件で貸出しに応じるなどの場合は、図 8 のような意思決定モデル (太字の部分を除く) が得られる。

3) シミュレーション

上記の作業で得られたシナリオを基に、参加型シミュレーションを行う。ここでは、人間の参加者の一部を、得られたシナリオで置き換え、人間と、エージェントに制御されるアバタが混在した状況で、ステップ 1 と同様のシミュレーションを行う。人間はエージェントを意識する事無く、ゲーミングの時と同様に振る舞う事が可能

だが、必ずしもゲーミングの結果とは一致せず、また人間にとっては違和感のある結果が生じ得る。その場合は、参加型シミュレーションの結果からエージェントモデルの洗練が可能である。

4 おわりに

本論文では、ネットワークゲームを拡張し、持続的な参加型シミュレーションのためのプラットフォームを提案した。ここでは、人間の参加状況によるシミュレーション環境の不安定さを問題を解消するため、ゲーム上のアバタを人間のユーザとエージェントが共有し、メタレベル制御によりアバタ制御の切り替えを行う仕組みを提案した。また本論文では、実装例として gumonji/Q を示した。

参考文献

- [1] F. Bousquet, O. Barreateau, P. d'Aquino, M. Etienne, S. Boissau, S. Aubert, C. Le Page, D. Babin, and J.C. Castella. *Multi-agent Systems and Role Games: An Approach for Ecosystem Co-Management*, pages 248–285. Edward Elgar Publishers, 2002.
- [2] B. Brandherm, S. Ullrich, and H. Prendinger. Simulation of sensor-based tracking in second life. In *Proc. of the AAMAS-2008*, pages 1689–1690, 2008.
- [3] P. Guyot, A. Drogoul, and S. Honiden. Power and negotiation: Lessons from agent-based participatory simulations. In *Proc. of the AAMAS-2006*, pages 27–33, 2006.
- [4] T. Ishida. Q: A scenario description language for interactive agents. *IEEE Computer*, 35(11):54–59, 2002.
- [5] T. Ishida, Y. Nakajima, Y. Murakami, and H. Nakanishi. Augmented experiment: Participatory design with multiagent simulation. In *Proc. of the IJCAI-2007*, pages 1341–1345, 2007.
- [6] Y. Murakami, Y. Sugimoto, and T. Ishida. Modeling human behavior for virtual training systems. In *Proc. of the AAAI-2005*, pages 127–132, 2005.
- [7] D. Olguin Olguin, P. Gloor, and D. Pentland. Capturing individual and group behavior with wearable sensors. In *Proc. of the AAAI 2009 Spring Symposium*, 2009.
- [8] M. Rehm and P. Rosina. Secondlife as an evaluation platform for multiagent systems featuring social interactions. In *Proc. of the AAMAS-2008*, pages 1663–1664, 2008.
- [9] D. Torii, T. Ishida, and F. Bousquet. Modeling agents and interactions in agricultural economics. In *Proceedings of the AAMAS-2006*, pages 81–88, 2006.