

学 位 論 文 題 名

Sociality and Individuality on Multiple Agents

(エージェント集団の社会性と個性)

学位論文内容の要旨

本論文では、社会性と個性を同時に取り扱う、新しいマルチエージェントシステムの概念を提案している。すなわち、均質構造ながらも、独自の個性を持ったエージェント群の相互作用からなるネットワークから創発する社会構造と、その全体の挙動が、自律的分散協調問題解決にどのように関係し、貢献しうるかという課題を検証するものである。このための基礎概念として、本論文では各エージェントに独立の個性を付与する方法を構築し、個性の多様性から生み出される社会全体の性質を議論・検証する手法を提案している。同時に、創発した社会の固有の性質、すなわち社会性を、マルチエージェントシステムの分散協調問題に投影することで、その解決と効果の議論を試みている。

まず、エージェントの個性として、本研究では各エージェントが価値判断基準、すなわち価値観をそれぞれ独自に持つ点に特徴がある。つまり、環境から得られる情報をいかに解釈するか、もしくは、その情報の信頼度すらもエージェントの自律性に組み込もうとするものである。従来の社会シミュレーションや、マルチエージェントシステムにおいてもさまざまな観点から多様性が議論されているが、このような自由な価値判断を導入することによって、エージェントの相互作用ネットワークがいかなる挙動を示すのか、また、独自の価値観がまったく新しい多様性を創出することになるのではないか、という点に本研究の最大の興味をおいている。

同時に、独自の価値観を持つということは、全体としての統一的評価が困難な状況や、それぞれのエージェントにとって不公平な環境にも対処可能であると考えられる。また、自律主体の協調行動を議論する際に常に付随する、全体合理性（タスク達成）と個人合理性（自己保存）のジレンマへの対応についても価値観の相違をもって議論可能である。

次に、社会性を本研究では、コミュニケーション手段を有する意思決定主体の相互作用ネットワークの性質を議論するものととらえている。同時に、社会性とはこのネットワークを構成するエージェントの価値観の集合体そのものとなりうる。本研究では、相互作用ネットワークから創発した社会性を、分散協調作業を行うマルチエージェントシステムの挙動に射影することを提案している。すなわち、従来のさまざまな相互作用シミュレーションにおける意思決定や相互作用が、ここではそのままエージェントの具体的な行動として扱われる。と同時に、エージェント群の社会性はシステムの挙動そのものであることになる。

以上のような概念は、群ロボットの制御や、超多数制御点をもつ分散処理問題に有効であると考えられる。すなわち、各制御点に合目的性を設定する必要も、分散処理の結果を集積する必要もなく、各所に適切な価値観が配置されることで、自律エージェント群の局

所的な通信と相互作用に基づいてシステム全体の稼動・制御が可能となる。

本論文は7章から構成されており、第1章は導入として、研究を概観するとともに、研究領域、本研究の新規性、工学への貢献について論じている。

第2章は、社会性エージェント、すなわち相互作用ネットワークに組み込まれる意思決定主体の定義と構造、それに付随する問題や、関連研究について述べている。本論文においてエージェントは均質構造をもち、それぞれ利己的に振舞うという行動原理のみをもつ。すなわち、エージェント設計に関して単純化が可能であり、単純で均質な構造から、多様で非均質な振る舞いを引き出すことも本研究のひとつの目的である。このような利己のエージェントの集合に常に付随する問題が、集団合理性と個人合理性のジレンマである。すなわち、全体としての目的の達成と自己保存の多目的問題である。これは、囚人のジレンマの拡張である、社会性ジレンマによって議論されている。

第3章では、エージェントに独立な価値観を付与する方法論のひとつとして、Karma 変数を導入する方法を提案している。Karma とは、業をあらわす宗教用語であるが、自己と他者の行動しか検知できないエージェントが、自らが積み重ねた行動を他者と比較した期待値によって、自己の価値観を省みる仕組みとして導入している。さらに、ここで現れる相互作用関係の社会性を分散協調システムに投影することを提案している。本論文では、ブライテンブルク型自律移動エージェントのセンサ・アクチュエータ間の通信モデルに適用し、検証を行っている。

第4章では、上記のように社会性の自己変動から挙動を抽出するのではなく、目的とする問題解決のための社会性の生成方法を提案している。このためには、問題環境からのなんらかのフィードバックが必要であり、ここでは、環境からの淘汰圧によって目的とする協調問題解決に適合する価値観をもったエージェントグループを組み立てようとするアプローチを採用している。

第5章では、第4章で議論された社会システムを大規模エージェント群に拡大、適用することを提案している。システムが大規模になれば、すなわちエージェントの数が増加すれば、相互作用の計算回数も指数的に増加する。また、社会性ジレンマにおいて人数が多くなるほど、個人の非協調に対する責任が分散され、協調創発は困難になることがわかっている。そこで、エージェントを2次元格子上に配置し、近傍のエージェントのみと相互作用させることによって、これらの問題を解決し、検証を行っている。

第6章では、形状創生を目的とした、MHD を利用した新しい概念の社会性機械システムを提案している。原理は、一定の磁場中に林立する電極の間を満たす液体金属滴に電流を通じることでローレンツ力を発生し、液体金属滴を駆動するというものである。このとき、2次元格子上の電極が電位を決定すると周囲の電極との電位差に応じて電流が流れることから、各電極を意思決定エージェントとみなすことで、液体金属滴の挙動と社会性を議論することが可能となる。

第7章で、論文全体を概して議論し、総括している。

学位論文審査の要旨

主査	教授	嘉数 侑 昇
副査	教授	大内 東
副査	教授	大森 隆 司
副査	教授	和田 充 雄
副査	助教授	横井 浩 史

学位論文題名

Sociality and Individuality on Multiple Agents

(エージェント集団の社会性と個性)

分散情報処理を強力に支援する方法論として、マルチエージェントシステムと呼ばれるエージェントアプローチの研究が盛んである。すなわち、複数の自律的意思決定主体の行動、相互作用や競争から現れる挙動を情報処理や分散制御に応用しようとするものである。大規模なシステムに適用しようとするれば、エージェント数も大きくなり、システム全体を機能させる各エージェントの規模、能力などの設計も困難となる。単純に設計されたエージェント群が、システム各所の機能に適切に分化するためには、エージェントの個性を適切に記述、評価する方法論が必須である。同時に、システム全体の挙動を評価、制御するには、エージェントを集団として評価する方法論が必要となる。

本学位請求論文ではこの問題に対し、個性をもって相互作用するマルチエージェントシステムを構築、これをエージェントの社会とみなし、その性質、すなわち社会性という観点を与えながら理論展開を行っている。すなわち、均質構造ながらも、独自の行動規範を持ったエージェント群の相互作用からなるネットワークから創発する社会構造と、その全体の挙動が、自律的分散協調問題解決にどのように関係し、貢献しうるかという課題へアプローチしたものである。このための基礎概念として、本論文では各エージェントに独立の個性を付与する方法を構築し、個性の多様性から生み出される社会全体の性質を議論・検証する手法を提案している。同時に、創発した社会の固有の性質、すなわち社会性を、マルチエージェントシステムの分散協調問題に投影することで、その解決と効果の議論を行っている。

まず、エージェントの個性として、本研究では各エージェントが価値判断基準、すなわち価値観をそれぞれ独自に持つ点に特徴がある。つまり、環境から得られる情報をいかに解釈するか、もしくは、その情報の信頼度すらもエージェントの自律性に組み込んでいる。また、社会性を本研究では、コミュニケーション手段を有する意思決定主体の相互作用ネットワークの性質を議論するものにとらえている。本研究では、相互作用ネットワークから創発した社会性を、分散協調作業を行うマルチエージェントシステム

の挙動に射影することを提案している。すなわち、従来のさまざまな相互作用シミュレーションにおける意思決定や相互作用が、ここではそのままエージェントの具体的な行動として扱われる。と同時に、エージェント群の社会性はシステムの挙動そのものであることになる。

本論文は以上のようなエージェントシステムを構築するための手法を提案しており、これをシミュレーションと実機、双方のアプリケーションからその特性を検証している。本論文の主要な成果は以下のようにまとめられる。

1. 本研究は、相互作用ゲームの手法に立脚しており、自律エージェントの分散協調問題を、共有しない動的利得行列を持つエージェントモデルとして定式化し、その相互作用を明示的に観測・評価可能としていること。
2. 相互の意思表示の観測のみに基づいて算出される Karma 変数が再帰的な動的利得関数を実現し、同時にエージェントの行動履歴、内部状態、他者認知、内省などの表現可能性を示していること。
3. 再帰利得関数を用いて投影されたマルチエージェントシステムの特質は、創発した社会性から特徴パラメータを抽出することによって再利用性があることを明らかにしていること。
4. 利己的エージェント群の協調作業に関わる集団合理性と個人合理性のジレンマを、報酬量と作業負荷のパラメータによって特徴づけ、パラメータへの干渉によってエージェントの価値観の外的操作を可能としていること。
5. 超多数エージェントへの拡張に伴う計算量増大を防ぐために、二次元空間へ相互作用を展開することによって、局所的通信のみによって大域的な社会性が獲得可能であることを明らかにしていること。また、その効率化のための手法を提案していること。
6. これら計算機空間における知見を現実世界に写像すべく、エージェント群の相互作用によって稼動する、流体金属を用いた形態形成のための社会性機械を提案し、提案するエージェントシステムによって特性を検証していること。

これを要するに、本論文は、相互作用ゲームを拡張し、エージェントアプローチによるシミュレーションと実機検証を行い、自律的協調作業を行うマルチエージェントシステムに内在する社会性を議論することで、自律分散システムに関する新知見を得たものであり、情報工学、複雑系工学の進歩に貢献するところ大なるものがある。

よって著者は、北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格あるものと認める。