

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 6 月 4 日現在

機関番号：14701  
研究種目：基盤研究（C）  
研究期間：2008 ～ 2011  
課題番号：20500134  
研究課題名（和文）マルチエージェントシステムにおける社会知能の推論メカニズムに関する研究  
研究課題名（英文）Inference Mechanism of Social Intelligence in Multiagent Systems

研究代表者  
坂間 千秋（SAKAMA CHIAKI）  
和歌山大学・システム工学部・教授  
研究者番号：20273873

研究成果の概要（和文）：本研究では人間社会を模擬したマルチエージェントシステムにおいて、個々のエージェントが相互作用を通じて自律的にふるまうための社会知能の基礎理論を人工知能の手法を使って構築した。具体的には、さまざまな社会的場面におけるエージェントの行動原理をモデル化し、それぞれの局面で個々のエージェントが行なう推論のプロセスを計算論理を使って形式化した。

研究成果の概要（英文）：In this research, we consider multiagent systems that simulate human society. We build a theory of social intelligence for autonomous agents using artificial intelligence techniques. Then we model behaviors of agents in various social situations and formulate reasoning of agents in computational logic.

## 交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2009 年度	900,000	270,000	1,170,000
2010 年度	800,000	240,000	1,040,000
2011 年度	700,000	210,000	910,000
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・知能情報学

キーワード：論理・推論・マルチエージェントシステム

## 1. 研究開始当初の背景

自律主体としてのエージェント単体の行為を研究対象としていた従来の人工知能に対して、複数のエージェントからなる社会活動をマルチエージェントシステムの枠組で実現しようとする研究が近年盛んである。マルチエージェントシステムは分散人工知能の一分野として研究されていたが、近年のコンピュータネットワークの発達によって、その方法論の重要性が再認識されている。こうした中でマルチエージェントシステムの基礎理論を構築しようとする試みが世界的になされており、人工知能研究者の間でも論理や数理的手法を用いた形式化が議論されている。人工知能の基礎理論の分野では、これ

まで単体のエージェントによる問題解決のプロセスを数学的に形式化することが主眼であったが、マルチエージェントシステムでは複数のエージェント間の社会的相互作用を形式化することが必要になる。エージェント間の社会的相互作用においては、エージェント単体による問題解決とは異なる社会知能が必要になり、エージェントはそれぞれの社会的場面において目標達成に向けて自律的に行動する能力が要求される。人工知能の研究においては、エージェント単体が知的に行動するための論理的推論や仮説推論の枠組が整備されてきた。一方、複数のエージェントが存在するマルチエージェント社会において、個々のエージェントの行動規範となるよ

うな推論メカニズムは未だ確立されていない。

## 2. 研究の目的

本研究では人間社会をモデル化したマルチエージェントシステムにおいて、個々のエージェントが相互作用を通じて自律的にふるまうための行動原理を人工知能の手法を使って形式化することを目的としている。具体的には、エージェント社会で想定されるさまざまな社会的行動、例えば、譲歩、妥協、取引、協力、競争などのそれぞれの場面で、エージェントが持つ信念をベースに、(1)どのような状況でエージェントがそれぞれの社会的行動を行うことを判断し（意味論）、(2)どのような推論を行うことでその判断が行動として実現されるか（証明論）、(3)エージェントの行動をどのように計算するか（計算論）を明らかにする。本研究ではこれらのプロセスを計算論理の枠組で形式化し、エージェントの意思決定のための基礎理論を構築する。

## 3. 研究の方法

本研究ではエージェントの社会的行動に関する複数の研究テーマを設定し、それぞれの場面で必要になる社会知能のモデル化と推論メカニズムの構築を行う。研究方法は以下のステップで行う。

- (1) エージェントの信念を記述する言語を設定し、異なる社会的場面で必要とされるエージェントの社会知能を記述する。
- (2) エージェントが社会的に行動するための推論規則を導入し、協調的場面・競争的場面における行動戦略を明らかにする。
- (3) 社会的推論を実現するためのアルゴリズムを設計し、評価・解析を行う。
- (4) 人工知能を使った社会モデリングの社会科学への応用可能性について検討する。

## 4. 研究成果

本研究期間中に行った研究テーマとその成果は以下の通りである。

### (1) 帰納推論とデフォルト推論を使ったエージェント間交渉に関する研究

本研究では、エージェント間交渉において、相手の提案を受け入れるか否かを決める判断を、知識ベースにおいてその提案を受諾するための仮説を生成する帰納推論の問題として捉え、妥協による合意形成を図るプロセスをデフォルト推論を使って形式化した。帰納推論とデフォルト推論は、論理プログラミングの拡張言語である解集合プログラミングによって実現され、エージェント間交渉の計算手続きの開発と計算量の解析を行った。

### (2) エージェント社会におけるデフォルト推論の研究

エージェント社会においては、個々のエージェントが持つ情報は不完全であるとされる。不完全な情報下での推論方式としては人工知能におけるデフォルト推論が知られているが、本研究では社会的デフォルト論理の枠組を導入し、不完全な情報下で個々のエージェントがデフォルト推論を行いつつ協調して問題解決を行う方法を定式化した。

### (3) エージェントの相互作用による社会的推論の研究

マルチエージェント社会では複数のエージェントが協調、競合しながら、個人的目標や社会的要求を満たすために行動する。本研究では論理プログラムで表現されたマルチエージェントシステムを想定し、エージェント間の相互作用を異なるプログラムの解集合の相互作用として定式化し、その結果を解集合プログラミングによって計算する方式を導入した。

### (4) マルチエージェントによる共同プランニングの研究

エージェント社会では、共通の目標を達成するためには、各エージェントが共同してプランニングを行う必要がある。本研究ではエージェントの行動を記述するアクション言語をマルチエージェントシステムに適用し、複数のエージェントが目標を達成するために交渉を行いつつ共同してプランを構築し、個々のエージェントがとるべきアクションを決定するための理論を構築した。

### (5) エージェント社会における不誠実な推論に関する研究

本研究では、マルチエージェントシステムにおいて、あるエージェントが他エージェントを欺く行為が発現する状況を様相論理を使って形式化した。また、こうした不誠実な推論と仮説推論の一形式であるアブダクションとの類似性に着目し、エージェントが行う不誠実な推論をアブダクティブ論理プログラミングを使って計算する手法を導入した。さらにエージェントが交渉を有利に運ぶために不誠実な取引を行うプロセスをモデル化し、実験システムを開発した。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計4件)

① Chiaki Sakama and Katsumi Inoue. Inductive Equivalence in Clausal Logic

and Nonmonotonic Logic Programming, Machine Learning, 83:1-29, Springer, 2011. DOI:10.1007/s10994-010-5189-4 (査読有)

② Chiaki Sakama and Katsumi Inoue. Brave Induction: a logical framework for learning from incomplete information, Machine Learning, 76:3-35, Springer, 2009. DOI: 10.1007/s10994-009-5113-y (査読有)

③ Chiaki Sakama and Katsumi Inoue. Equivalence Issues in Abduction and Induction, Journal of Applied Logic, 7(3):318-328, Elsevier, 2009. DOI: 10.1016/j.jal.2008.10.006 (査読有)

④ Chiaki Sakama and Katsumi Inoue. Coordination in Answer Set Programming ACM Transactions on Computational Logic, 9(2), Article No.9, 2008. DOI: 10.1145/1342991.1342993 (査読有)

[学会発表] (計 17 件)

① Lena Wiese, Katsumi Inoue, and Chiaki Sakama.

Confidentiality-Preserving Data Publishing for Credulous Users by Extended Abduction, in: Proceedings of the 19th International Conference on Applications of Declarative Programming and Knowledge Management (INAP 2011), Vienna, Austria, September 29, 2011.

② Chiaki Sakama.

Dishonest Reasoning by Abduction, in: Proceedings of the 22nd International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI-11), Barcelona, Spain, July 21, 2011.

③ Chiaki Sakama, Tran Cao Son, and Enrico Pontelli.

A Logical Formulation for Negotiation Among Dishonest Agents, in: Proceedings of the 22nd International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI-11), Barcelona, Spain, July 22, 2011.

④ Ngoc-Hieu Nguyen, Tran Cao Son, Enrico Pontelli and Chiaki Sakama.

ASP-Prolog for Negotiation among Dishonest Agents, in: Proceedings of the 11th International Conference on Logic Programming and Nonmonotonic Reasoning (LPNMR-11), Vancouver, Canada, May 18, 2011.

⑤ Chiaki Sakama.

Logical Definitions of Lying, in: Proceedings of the 14th International Workshop on Trust in Agent Societies (TRUST11), Taipei, Taiwan, May 2, 2011.

⑥ Tran Cao Son, Enrico Pontelli and Chiaki Sakama.

Formalizing Commitments Using Action Languages, in: Proceedings of the 9th International Workshop on Declarative Agent Languages and Technologies (DALT 2011), Taipei, Taiwan, May 3, 2011.

⑦ Katsumi Inoue and Chiaki Sakama.

Exploring Relations between Answer Set Programs, in: Proceedings of the Symposium on Constructive Mathematics in Computer Science, Lexington, KY, USA, October 24, 2010.

⑧ Chiaki Sakama and Martin Caminada.

The Many Faces of Deception, in: Proceedings of the Thirty Years of Nonmonotonic Reasoning (NonMon@30), Lexington, KY, USA, October 23, 2010.

⑨ Chiaki Sakama, Martin Caminada and Andreas Herzig.

A Logical Account of Lying, in: Proceedings of the 12th European Conference on Logics in Artificial Intelligence (JELIA 2010), Helsinki, Finland, September 14, 2010.

⑩ Chiaki Sakama and Tran Cao Son.

Interacting Answer Sets, in: Proceedings of the 10th International Workshop on Computational Logic in Multi-Agent Systems (CLIMA-X), Hamburg, Germany, September 10, 2009.

⑪ Chiaki Sakama.

Social Default Theories, in: Proceedings of the 10th International Conference on Logic Programming and Nonmonotonic Reasoning (LPNMR'09), Potsdam, Germany, September 15, 2009.

⑫ Tran Cao Son, Enrico Pontelli, and Chiaki Sakama.

Logic Programming for Multiagent Planning with Negotiation, in: Proceedings of the 25th International Conference on Logic Programming (ICLP'09), Pasadena, CA, USA, July 14, 2009.

⑬ Tran Cao Son and Chiaki Sakama.

Negotiation Using Logic Programming with Consistency Restoring Rules, in: Proceedings of the 21st International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI-09), Pasadena, CA, USA, July 17, 2009.

⑭ Tran Cao Son and Chiaki Sakama.  
Reasoning and Planning with Cooperative Actions for Multiagents Using Answer Set Programming, in: Proceedings of the 6th International Workshop on Declarative Agent Languages and Technologies (DALT'09), Budapest, Hungary, May 11, 2009.

⑮ Chiaki Sakama and Katsumi Inoue.  
Brave Induction, in: Proceedings of the 18th International Conference on Inductive Logic Programming (ILP'08), Czech Republic, September 11, 2008.

⑯ Katsumi Inoue and Chiaki Sakama.  
Comparing Abductive Theories, in: Proceedings of the 18th European Conference on Artificial Intelligence (ECAI'08), Patras, Greece, July 21, 2008.

⑰ Chiaki Sakama. Inductive Negotiation in Answer Set Programming, in: Proceedings of the 6th International Workshop on Declarative Agent Languages and Technologies (DALT'08), Estoril, Portugal, May 12, 2008.

[図書] (計 1 件)

① Katsumi Inoue and Chiaki Sakama.  
Logic Programming, Knowledge Representation and Nonmonotonic Reasoning, Springer, pages 91-110, 2011.

[その他]

研究成果は以下のホームページで公開中。  
<http://www.wakayama-u.ac.jp/~sakama>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

坂間 千秋 (SAKAMA CHIAKI)  
和歌山大学・システム工学部・教授  
研究者番号：20273873

### (2) 研究分担者

( )

研究者番号：

### (3) 連携研究者

井上 克己 (INOUE KATSUMI)  
国立情報学研究所・教授  
研究者番号：10252321