

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 5 日現在

機関番号：13302

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24700146

研究課題名(和文) 多次元ハイブリッド論理に基づくエージェント相互作用の動的的研究

研究課題名(英文) A dynamic Investigation of multi-agent interaction via multi-dimensional hybrid logic

研究代表者

佐野 勝彦 (Sano, Katsuhiko)

北陸先端科学技術大学院大学・情報科学研究科・助教

研究者番号：20456809

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究ではエージェントの相互作用を捉えるために、マルチエージェントシステムと動的認識論理の両方に対して多次元的視点から論理的基盤を研究した。本研究の成果は次の三つである。第一に、命令・許可概念を含むエージェントの信念のための論理を提案した。第二に、エージェント間のチャンネル概念とチャンネルを通じたエージェント通信の概念を多次元ハイブリッド論理の設定で形式化した。第三に、多次元設定での論理的推論を捉えるため、好ましい形式的性質(カット除去定理)をもつラベル付き式計算体系を構築した。

研究成果の概要(英文)：The aim of this research is to propose a logical basis for both multi-agent system and dynamic epistemic logic from multi-dimensional perspectives to capture interaction between agents. Our research output consists of three topics. First, we develop a dynamic logic of belief with acts of command and permission. Second, we formalize the notions of communication channel and agent communication via channels, and provide a semantically complete axiomatization of logic with these notions. We positively solve an open problem of axiomatizing epistemic logic of friendship by Seligman et al.(2011). Third, we investigate multi-dimensional logic from proof-theoretic perspective. That is, we provide cut-free sequent calculi for several labelled sequent calculi and also establish a sequent calculus for predicate logic for coalgebras (a generalized transition system).

研究分野：様相論理・論理学の人工知能への応用

キーワード：様相論理 動的認識論理 ハイブリッド論理 証明論 クリプキ意味論 マルチエージェント

1. 研究開始当初の背景

マルチエージェントシステム(MAS)の論理的研究では Wooldridge がエージェントの信念・希求・意図を記述する DBI の拡張として合理的なエージェントの論理 LORA (logic of rational agents) を提案し、エージェント間の協調や交渉に関する研究を行っているが、対応する推論システムの研究はほとんどなされていなかった。一方で、情報の質的側面を論理的に研究する動的認識論理(Dynamic Epistemic Logic, DEL)では、情報伝達行為により知識・信念・選好が如何に変化するかが知識・信念・選好を表す遷移構造をどのように書き換えるかで捉えられてきたが、複数エージェントの相互作用は十分に研究されていなかった。

2. 研究の目的

本研究では、本研究者の既存研究(多次元ハイブリッド論理)の枠組みを用いて、エージェント構造や知識・信念を表す遷移構造の両方を扱える多次元の論理を強固な推論システムとともに提案し、MAS の論理的研究の基盤を整備し、DEL 研究を MAS への応用に近い形式で大きく発展させることを目的とした。具体的には (A) 時間次元を組み込んだ命令・許可による義務変化の形式化; (B) エージェント間通信の多次元ハイブリッド論理; (C) 多次元ハイブリッド論理の証明論的研究の三つの課題に取り組んだ。

3. 研究の方法

(A) については既存研究の Yamada (2006) ですでに「命令」は動的演算子で扱われているため、「 p してもよい」という許可概念の動的演算子による形式化に取り組む。さらに「 p が義務」であり「 q が義務」であっても義務が葛藤し、一般にこれらから「 p かつ q が義務」を導く必要はない。このような側面を視野にいれ、通常よりも弱い義務(様相)概念とその情報伝達行為による変化の形式化も行う。(B) については、命題変数としてエージェント間のチャンネル関係を扱うことを提案している東条・小林 (2009) と、エージェント構造を表す一階述語論理と認識論理の組み合わせを研究している Seligman et al. (2011) の二つの発想を、本研究者の多次元ハイブリッド論理を用いて発展させる。(C) については、ハイブリッド論理に発想が類似している様相論理のラベル付き計算体系も視野にいれ、多次元の論理に対して証明論のカット除去定理の標準的技巧が適用できるかを検討する。

4. 研究成果

三つの研究課題に分けて成果について纏め

る。(A) 許可概念を含めた信念論理の拡張を提案し、意味論的に完全(妥当な論理式が全て証明できる)形式体系を与え、裁判官の信念変化の記述に応用した。より弱い義務概念を捉える動的様相論理については遷移構造(クリプキ構造)よりも弱い近傍構造を用いた非正規様相論理の上で二つの公開告知演算子を提案し、その数学的性質を調べた。(B) Seligman et al. (2010) の構文論を拡張した設定で、エージェント間のチャンネル概念とチャンネル概念に依存するエージェント通信が形式化できることを示し、意味論的完全性が成立する形式体系を確立した。さらに、オリジナルの Seligman et al. (2011) の構文論での妥当な論理式全体に、鹿島(1999)によるラベル付き計算を経由してヒルベルト式公理系を与え未解決問題に肯定的解答を与えた。(C) Albert Visser による Basic Propositional Logic と Plaza による公開告知論理(動的認識論理の基礎)に対して、カット除去定理と完全性定理が成立するラベル付き計算体系を与えた。また、位相空間上での連続関数の振舞いを記述する動的位相論理のハイブリッド論理拡張の式計算体系を確立し、カット除去定理と完全性定理を示した。最後に、遷移構造の一般化である余代数構造に対する述語論理の式計算体系を構築し、ヒルベルト式公理系との対応、カット除去定理を明らかにした。

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 18 件)

[1] Minghui Ma and Katsuhiko Sano, How to Update Neighborhood Models, Journal of Logic and Computation, 2015, 掲載確定, 査読有, DOI: 10.1093/logcom/exv026

[2] Hitoshi Omori and Katsuhiko Sano, Generalizing Functional Completeness in Belnap-Dunn Logic, Studia Logica, 2015, 掲載確定, 査読有, DOI: 10.1007/s11225-014-9597-5

[3] Pimolluck Jirakunkanok, Katsuhiko Sano and Satoshi Tojo, Analyzing Reliability Change in Legal Case. Post-proceedings of JURISIN 2014, 2015, 掲載確定, 査読有.

[4] Katsuhiko Sano, Impossibility Theorem on Radical Inquisitive Semantics, Post-proceedings of The Second Asian Workshop on Philosophical Logic, 2015, 掲載確定, 査読有.

- [5] Katsuhiko Sano and Minghui Ma, Alternative Semantics for Visser's Propositional Logics, M. Aher et al. (Eds.): TbiLLC 2013, LNCS 8984, pp. 257-275, 2015. 査読有.
DOI: 10.1007/978-3-662-46906-4_15
- [6] Minghui Ma and Katsuhiko Sano, Extensions of Basic Propositional Logic, Xishun Zhao, Qi Feng, Byunghan Kim and Liang Yu (ed.), Proceedings of the 13th Asian Logic Conference, 13th Asian Logic Conference, Guangzhou, China, 16-20 September 2013, World Scientific, pp.170-200, 2015. 査読有.
doi: 10.1142/9789814678001_0011
- [7] Ryo Hatano, Katsuhiko Sano and Satoshi Tojo, Linear Algebraic Semantics for Multi-agent Communication, Proceedings of 7th International Conference on Agents and Artificial Intelligence, Vol.1, SCITEPRESS - Science and Technology Publications, pp.174-181, 2015. 査読有.
doi: 10.5220/0005219001740181
- [8] Minghui Ma, Katsuhiko Sano, Francois Schwarzenruber and Fernando R. Velazquez-Quesada, Tableaux for non-normal public announcement logic, Logic and Its Applications (ICLA 2015), Lecture Notes in Computer Science, Vol.8923, pp.132-145, 2015. 査読有.
DOI: 10.1007/978-3-662-45824-2_9
- [9] Katsuhiko Sano and Hitoshi Omori, An Expansion of First-order Belnap-Dunn Logic, Logic Journal of the IGPL, Vol.22, No.3, pp.458-481, 2014. 査読有.
DOI: 10.1093/jigpal/jzt044
- [10] Hitoshi Omori and Katsuhiko Sano, da Costa meets Belnap and Nelson, Recent Trends in Philosophical Logic, Trends in Logic, Vol.41, pp.145-166, 2014. 査読有.
DOI: 10.1007/978-3-319-06080-4_11
- [11] Katsuhiko Sano and Yurie Hara, Conditional independence and biscuit conditional questions in dynamic semantics, Proceedings of the 24th Semantics and Linguistic Theory Conference, pp.84-101, 2014. 査読無.
<http://journals.linguisticsociety.org/proceedings/index.php/SALT/article/view/24.84>
- [12] Pimolluck Jirakunkanok, Shinya Hirose, Katsuhiko Sano, and Satoshi Tojo, Belief Re-revision in Chivalry Case, Juris-Informatics 2013, LNCS Vol.8417, Springer, pp.230-245, 2014. 査読有.
DOI: 10.1007/978-3-319-10061-6_16
- [13] Lauri Hella, Kerkko Luosto, Katsuhiko Sano, Jonni Virtema, The Expressive Power of Modal Dependence Logic, Advances in Modal Logic 2014, pp.294-312, 2015. 査読有.
<http://www.aiml.net/volumes/volume10/Hella-Luosto-Sano-Virtema.pdf>
- [14] Katsuhiko Sano and Yuichiro Hosokawa, Gentzenization of Dynamic Topological Hybrid Logics, Trends in Logic XIII, Lodz University Press, pp.217-231, 2014. 査読有.
- [15] Katsuhiko Sano, Comments on Seligman, Liu and Girard, Logic Across the University: Foundations and Applications, Proceedings of the Tsinghua Logic Conference, Beijing, 2013, pp.473-476, 2013. 査読無.
- [16] Katsuhiko Sano and Satoshi Tojo, Dynamic Epistemic Logic for Channel-Based Agent Communication, Logic and Its Applications, Lecture Notes in Computer Science, Vol.7750, pp.109-120, 2013. 査読有.
DOI: 10.1007/978-3-642-36039-8_10
- [17] Tadeusz Litak, Dirk Pattinson, and Katsuhiko Sano, Coalgebraic Predicate Logic: Equipollence Results and Proof Theory, Logic, Language, and Computation, 9th International Tbilisi Symposium on Logic, Language, and Computation, TbiLLC 2011, Kutaisi, Georgia, September 26-30, 2011, Revised Selected Papers, Lecture Notes in Computer Science, Vol.7758, pp.257-276, 2013. 査読有.
DOI: 10.1007/978-3-642-36976-6_16
- [18] Tadeusz Litak, Dirk Pattinson, Katsuhiko Sano and Lutz Schroeder, Coalgebraic Predicate Logic, ICALP (2), Lecture Notes in Computer Science, Volume 7392/2012, pp.299-311, 2012. 査読有.
DOI: 10.1007/978-3-642-31585-5_29
- 〔学会発表〕(計8件)
- [1] 佐野勝彦, 特別講演「余代数様相論理とその周辺」, 日本数学会, 2015年度年会, 明治大学, 東京都千代田区, 2015年3月22日.
- [2] Katsuhiko Sano, On interdependence between belief updates and reliability structures: An approach from two-dimensional hybrid logic, Asian Logic Conference 2015, 6th January 2015, IIT Bombay, Mumbai, India.

[3] Katsuhiko Sano,
On interdependence between belief updates and reliability structures: An approach from two-dimensional hybrid logic, Workshop on Correlated Information Change, 26th November 2014, Amsterdam, Netherland.

[4] Shoshin Nomura, Katsuhiko Sano and Satoshi Tojo,
Revising a Labelled Sequent Calculus for Public Announcement Logic, The 2014 Taiwan Philosophical Logic Colloquium, Department of Philosophy, National Taiwan University, 24th October 2014.

[5] Sakiko Yamasaki and Katsuhiko Sano,
Constructive Embedding from Logics of Strict Implication to Modal Logics, The 2014 Taiwan Philosophical Logic Colloquium, Department of Philosophy, National Taiwan University, 25th October 2014.

[6] 佐野勝彦,
「四値論理のカット除去定理」, 日本数学会, 2014年度秋季総合分科会, 広島大学, 東広島, 広島, 2014年9月28日.

[7] Katsuhiko Sano,
Preference Upgrade in Lewis System of Spheres, 14th SAET Conference on Current Trends in Economics, WASEDA UNIVERSITY, Tokyo, Japan, 20th August, 2014.

[8] 佐野勝彦,
「木構造情報によるエージェントの信念更新」, 人工知能学会全国大会 2014, ひめぎんホール, 松山, 愛媛, 2014年5月12日.

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況(計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：

取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等
<http://www.geocities.jp/k2sn/>
http://www.jaist.ac.jp/profiles/info.php?profile_id=583

6. 研究組織

(1)研究代表者
佐野 勝彦 (SANO KATSUHIKO)
北陸先端科学技術大学院大学・情報科学研究科・助教
研究者番号：20456809

(2)研究分担者
()

研究者番号：

(3)連携研究者
()

研究者番号：