

平成 30 年 8 月 24 日現在

機関番号：32612

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26284005

研究課題名(和文)直観主義論理を中心とした学際的論理哲学研究

研究課題名(英文) Interdisciplinary study on logic, with a special focus on intuitionistic logic

研究代表者

岡田 光弘 (Okada, Mitsuhiro)

慶應義塾大学・文学部(三田)・教授

研究者番号：30224025

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 5,500,000円

研究成果の概要(和文)：計算論的・構成主義的算術の算術証明論を展開したHusserlの構成可能的多様体論、Wittgensteinの帰納的証明論などの構成的証明論を明らかにした。直観主義論理可能世界意味論を通じて、強制法の古典論理モデルの新しい確率論的・計算論的解釈を与え、情報セキュリティ分野への具体的応用を示した。証明論的正規化定理から線形論理、直観主義論理の意味論と証明論が構成されることを示した。これまで意味論的分析が主流となっていた図的論理分野において、証明論分析手法を発展させた。日常論理推論プロセスの構成的側面の理解のために、認知心理学的手法、行動遺伝学的手法、社会心理学的手法を導入して多くの新しい知を得た。

研究成果の概要(英文)：We analyzed Husserl's theory of constructible definite manifolds and Wittgenstein's theory of inductive proofs from the constructivist philosophy of mathematics. We developed a Fitting-forcing-based classical model construction method from intuitionistic possible world semantics for introducing a new semantics with computational interpretations. We gave a concrete application of this semantics to the computer security field. We also developed a general theory of proof normalization in an abstract setting. We also developed some new proof-theoretic methods for analyzing diagrammatic logic. We introduced various experimental methods in our research to consider the process models of logical inferences in our ordinary life. Our methods include cognitive scientific/cognitive psychological, behavioral genetic psychological, social psychological methods and others.

研究分野：論理学

キーワード：論理と数学の哲学 図形推論 直観主義論理 証明論 Wittgenstein哲学 日常推論の認知科学 フッ
サル論理学 情報論理

1. 研究開始当初の背景

19世紀末から20世紀前半にかけての時期は論理学及び数学の基礎論の革命的時期であったといえる。その中でも直観主義をめぐる論争はこの時期の論理学の動向の哲学的側面を理解するうえで最も重要なものの一つである。直観主義は数学の基礎についての哲学的及び数学的議論の中で20世紀初頭に Brouwer によって立てられたが、形式主義学派計算論・関数型プログラム言語理論やセマンティクス研究や認知心理学研究などの心理学分野に拡がりいろいろな形で研究がすすめられた。しかしこれら多分野に広がった直観主義を統一的に捉えることは容易ではなかった。

直観主義論理推論や関連する構成論理の研究テーマは、数理論理学・数学基礎論系研究コミュニティ、図形推論研究・グラフィック推論研究コミュニティ、論理の哲学・数学の哲学研究コミュニティ、心理学系推論研究コミュニティなどの研究に深くかかわっている。しかしそれらを分野横断的に研究する研究グループはこれまでほとんど存在しなかった。我々のこのような状況の中で本テーマの分野横断的な研究を開始した。

2. 研究の目的

20世紀の論理哲学論争の中で重要な役割を果たした直観主義論理について、21世紀の現代的観点からこれを分野を横断的に見直し、論理哲学に対する新しい視点を与える。論理主義、形式主義、有限主義、集合論などの立場との論争を再吟味するほか、線形論理や図的論理などの現代論理的観点、フッサー現象論的論理、認知科学的推論、日常言語の推論および意味論、認知心理学推論研究などの新しい視点を取り入れて、直観主義論理哲学の根本的見直しを行う。カリー=ハワード同型やゲーデル=コルモゴロフ解釈などについての近年の新たな計算機科学的直観主義論理も検討の視野に入れる。

3. 研究の方法

(1) Brouwer, Heyting, Husserl, Hilbert, Gentzen, Gödel などのテキストに対する分析、(2) 図的推論、線形論理、証明論、強制法モデル構成などの新しい論理の平静を通じた分析、(3) 認知科学被験者実験、行動心理学・行動遺伝学的被験者実験、意思決定被験者実験などと組み合わせた論理実験、(4) 日常推論の構成的側面の研究のための自然言語分析手法、などを用いた。

4. 研究成果

26年度-28年度の研究成果の概要

20世紀の論理哲学論争の中で重要な役割を果たした直観主義論理哲学を、21世紀の現代的観点から分析した。(A) Husserl 論理、Wittgenstein 算術の哲学、Goodstein 構成数

学などで成果を上げた。(B) 図形論理、線形論理、強制法モデルの新解釈と情報科学応用 (C) 認知科学的推論・判断・意思決定研究及び日常言語推論について新たな知見を得た。

< 成果概要 >

(A) 「算術の哲学」執筆以後の Husserl は、Hankel, Hilbert の影響を受けて形式主義や構成主義的算術研究を進めたが、Husserl-Hilbert の学术交流時期(1901)に向けて、算術の確定的構成可能多様体の理論を構築した。我々はこれを構成主義的観点からと分析した。成果は(Synthese 2016)に公表・英国圏の代表的構成主義的数学者であった Goodstein の recursive arithmetic の定式化表現形式が Wittgenstein の中期構成主義的証明論の哲学に大きく影響されていたことを明確化するとともに、両者の構成数学の哲学的相違についても検討した[Wittgenstein Symposium (招待講演, Dec. 2016)]

(B) 直観主義論理可能世界意味論を通じて、強制法の古典論理モデルの新しい確率的・計算論的解釈を与えた[Computer Science Logic 2016]。このなかで「無視できる確率」を除いた「ほとんどすべて」についての計算論的な解釈を持つ可能世界意味論を導入し、情報科学的具体的応用を与えた。(無視できる確率を除けば安全に情報が伝達できるという概念を可能世界意味論定式化した。)証明論的正規化定理から線形論理、直観主義論理の意味論と証明論が構成されることを示した[Philosophy of Linear Logic 2016, 招待講演]。

(C) 自然言語による日常論理推論能力の個人差や遺伝・環境要因、意思決定課題の比較などを行動遺伝学的実験手法を導入して進め新しい知見を得た。(Frontiers in Psychology, 2016) 自然言語による推論と論理学との関係を探究する目的で、認知科学的手法による、被験者実験のデータ解析を行った。(B)の意味論を多層的にとらえる目的で、オイラー図的論理推論を発展させ、図的推論レベルで推論理論を構築した。図的表示の判断・意思決定に与える影響を論理的観点から検討した。特に、三段論法とその拡張体系を中心とする量化推論を対象として、オイラー図並びにヴェン図による図的表現・推論体系を発展させ、認知科学的実験に基づいて、オイラー図の論理推論での有効性を検証した(Journal of Visual Languages and Computing (2014), Journal of Logic, Language and Information (2015)) また、自然言語の一般化量化子(generalized quantifier)の理論を踏えて、most を典型とする比率を表現するオイラー図表現の拡張体系の論理的・認知科学的研究を進め、その成果を発表した(Representation and Inference, Lecture Notes in Computer

Science, 2016)。またこの most についての図形意味論と、上記(B)の(Computer Science Logic 2016)で我々が導出した「無視できる部分を除いてほとんどいたるところで」に関する可能世界意味論との関係性を自然言語論理の立場から検討した。

構成的型理論(依存型理論)の枠組みでの自然言語の形式意味論的研究を進めた。特に、自然言語の前提・照応表現、モダリティ、複数表現の解釈について型理論的な分析を与え、範疇文法の構文解析器(CCGパーザ)と組み合わせることで計算言語学における含意関係認識への応用を試みた(French-Japanese Workshop on Philosophy of Proofs, Keio University Jan. 2016.)。

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9件)

(1)Gergei Bana and Mitsuhiro Okada, Semantics for “Enough-Certainty” and Fitting’s Embedding of Classical Logic in S4, Computer science Logic 2016, Leibniz International Proceeding Series, Proceedings of Computer Science Logic 2016 Article, No. 23, 査読有, 2017, pp.1-17 CSL’16 DOI: 10.4230/LIPIcs.CSL.2016.34

(2)Mirja Hartimo and Mitsuhiro Okada, Syntactic reduction in Husserl’s early phenomenology of arithmetic, Synthese, 査読有, 193, 2016, pp.937-969 DOI: 10.1007/s11229-015-0779-0

(3) Ribeka Tanaka, Koji Mineshima, and Daisuke Bekki, On the interpretation of dependent plural anaphora in a dependently-typed setting, Proceedings of the 13th International Workshop on Logic and Engineering of Natural Language Semantics (LENLS13)巻: 86-99.

(4)Yuri Sato and Koji Mineshima, Human reasoning with proportional quantifiers and its support by diagrams. Diagrammatic Representation and Inference, Lecture Notes in Computer Science, (Springer-Verlag), 査読有, 9781, 2016, 123-138.

Lecture Notes in Computer Science, (Springer-Verlag) 巻: 9781 ページ: 123-138

(5)岡田光弘, 初期フッサールの普遍算術と確定多様体について: 1901年冬草稿, 現象学年報, 査読無, 31, 2015, 1-12

(6)Chizuru Shikishima, Kai Hiraishi, Shinji Yamagata, Juko Ando and Mitsuhiro Okada, Genetic Factors of Individual Differences in Decision Making in Economic Behavior: A Japanese Twin Study using the Allais Problem, Frontiers in Psychology,

査読有, 6:1712, 2015

DOI: 10.3389/fpsyg.2015.01712

(7)Yuri Sato and Koji Mineshima, How diagrams can support syllogistic reasoning: an experimental study, Journal of Logic, Language and Information, 査読有, 24-4, 2015, 409-455,

DOI: 10.1007/s10849-015-9225-4

(8)Koji Mineshima, Yuri Sato, Ryo Takemura, and Mitsuhiro Okada, Towards explaining the cognitive efficacy of Euler diagrams in syllogistic reasoning: A relational perspective, Journal of Visual Languages and Computing, 査読有, 2014, 25(3), 156-169

DOI: 10.1016/j.jvlc.2013.08.007

(9)Mathieu Marion and Mitsuhiro Okada, Wittgenstein on equinumerosity and surveyability, Grazer Philosophische Studien, 査読有, 2014, 89, 59-76

[学会発表](計22件)

(1)Yuki Nishimuta and Mitsuhiro Okada, On introduction rules of generalized connectives of multiplicative linear logic, Philosophy of Logic and Mathematics: Towards Philosophy of Proofs(国際学会), 2017

(2)Mitsuhiro Okada, Normativity, Normality and Normalizability of Proofs, Philosophy of Logic and Mathematics: Towards Philosophy of Proofs(国際学会), 2017

(3)Koji Mineshima, On diagrammatic logic for “most”, Philosophy of Proofs(招待講演)(国際学会), 2017

(4)Mitsuhiro Okada, Linear logic and philosophy, Philosophy of Linear Logic(招待講演)(国際学会), 2016

(5)Yuki Nishimuta and Mitsuhiro Okada, Some remarks on introduction of generalized multiplicative connectives, Univ-Paris 1- Keio U Collaborative Meeting on Philosophy of Logic(国際学会), 2016

(6)Gergei Bana and Mitsuhiro Okada, Semantics for “Enough-Certainty” and Fitting’s Embedding of Classical Logic in S4, Computer science Logic 2016(国際学会), 2016

(7)Mitsuhiro Okada, Philosophy of Arithmetic in Husserl and Wittgenstein, Philosophy of Logic Workshop: Kant, Husserl, and Linear Logic”(招待講演), 2016

(8)Mitsuhiro Okada, Philosophy of Arithmetic in Wittgenstein, Wittgenstein Symposium(招待講演), Dec. Hiyoshi. Keio University 2016

(9)森井真広・井出野尚・竹村和久・岡田光弘, 眼球運動測定による多属性意思決定過

程の検討：属性値の図的表現の影響，第 52 回消費者行動研究コンファレンス，2016
(10) Takashi Ideno, Masahiro Morii, Mitsuhiro Okada, & Kazuhisa Takemura, A study of multi-attribute decision making and reasoning, The 31st International Conference of Psychology (国際学会), 2016
(11) Masahiro Morii, Takashi Ideno, Mitsuhiro Okada, & Kazuhisa Takemura, Effects of graphical representation in multi-attribute tables:, The 31st International Conference of Psychology (国際学会), 2016
(12) Pierre Wagner and Mitsuhiro Okada, Normativity and pluralism in logic, French-Japanese Workshop on Philosophy of Proofs (国際学会), 2016
(13) Koji Mineshima, Combining a type-logical semantics and a wide-coverage statistical parser, French-Japanese Workshop on Philosophy of Proofs (国際学会), 2016
(14) 杉本雄太郎, 岡田光弘, 図的証明を用いた論理教育の試み, 平成 27 年度日本科学教育学会第 5 回研究会, 2016
(15) Pierre Wagner and Mitsuhiro Okada, Normativity in logic, Philosophy of Proofs (国際学会), 2016
(16) Mitsuhiro Okada, Husserl's universal arithmetic and his proof theoretical view of formal mathematics, "Philosophy of Mathematics and Proof Theory" Workshop, 2015
(17) Mitsuhiro Okada, Alternative decision making and logic. The 5th Symposium of Biology of Decision Making (招待講演) (国際学会), 2015
(18) Mitsuhiro Okada, Husserlian Notion of Manifold as Proof-Rewrite Networks and its Extension, "Philosophy of Mathematics and Proof Theory" Workshop, 2015
(19) Koji Mineshima, Pascual Martinez-Gomez, Yusuke Miyao and Daisuke Bekki, Higher-order logical inference with compositional semantics, Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing (EMNLP 2015), September 17-21, 2015, Lisbon, Portugal. pp. 2055-2061. (国際学会), 2015
(20) Takashi Ideno, Masahiro Morii and Mitsuhiro Okada, An eye-tracking study of decision-making and reasoning process, SPUDM25 Subjective Probability, Utility, and Decision Making Conference, (国際学会), 2015
(21) 岡田光弘, Human Life and Turing Machine, Symposium of Symptom of being alive and shared life (Organized by French Embassy of Japan) (招待講演), 2015
(22) 岡田光弘, フッサールの多様体概念,

日本現象学会 (招待講演), 2014

図書 (1 件)

(1) Tsuyoshi Murata, Koji Mineshima, Daisuke Bekki, New Frontiers in Artificial Intelligence JSAI-isAI 2014 Workshops, LENLS, JURISIN, and GABA, Kanagawa, Japan, October 27-28, 2014, Revised Selected Papers, 366 pages in total, Springer.

〔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：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

岡田 光弘 (OKADA, Mitsuhiro)
慶應義塾大学・文学部・教授
研究者番号：30224025

(2) 研究分担者

金子 洋之 (KANEKO, Hiroyuki)
専修大学・文学部・教授
研究者番号：60191988

峯島 宏次 (MINESHIMA, Koji)
お茶の水大学・シミュレーション科学教育
研究センター・特任准教授
研究者番号：80725739