

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 28 日現在

機関番号：32665

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2015

課題番号：24720016

研究課題名(和文) 図形推論と日常的推論の線形論理に基づく論理学研究

研究課題名(英文) A logical investigation of diagrammatic reasoning and non-deductive reasoning based on linear logic

研究代表者

竹村 亮 (TAKEMURA, Ryo)

日本大学・商学部・准教授

研究者番号：70583665

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：「文(記号)表現」に基づく「数学における演繹推論」を対象として発展してきた伝統的論理学の手法を拡張し、「図形表現」および「非単調・非演繹的推論」に基づく日常的推論の数理モデルの構築を目指し、以下の研究を行った。

図形推論研究については、オイラー図、ヴェン図、対応表、グラフに基づく推論のケーススタディを行った。さらに、これらの図形と文表現を組み合わせたヘテロジニアス推論の分析を行った。非単調・非演繹的推論研究については、線形論理を用いた非単調推論の形式化とその分析を行った。さらに、アブダクションと呼ばれる代表的な非演繹的推論について分析を行った。また、本研究成果の教育への応用を試みた。

研究成果の概要(英文)：In the traditional logic, deductive reasoning based on the sentential/symbolic representation has been studied. By extending the framework of the traditional logic, I investigated reasoning based on diagrammatic/graphical representations and on non-monotonic and non-deductive inference rules.

I investigated, as case studies on diagrammatic reasoning, reasoning based on Euler diagrams, Venn diagrams, correspondence tables, and mathematical graphs. I further investigated heterogeneous reasoning combining these diagrams and sentential representation.

I investigated non-monotonic reasoning in terms of linear logic. I further studied one of the major non-deductive reasoning called abduction. Furthermore, I tried to apply my results on diagrammatic and non-deductive reasoning to teaching logic and mathematics.

研究分野：論理学

キーワード：論理学 証明論 線形論理 図形推論

1. 研究開始当初の背景

20世紀論理学は「文(記号)表現」に基づく「数学における演繹推論」を対象として発展してきた。しかし実際にわれわれが日常的に行う推論においては、図形表現が用いられたり、また演繹推論に限らないさまざまな論法が用いられたりする。

しかしながらこれまで図形推論の論理学的研究では、図形やグラフの静的な表現レベルの意味論的研究が中心であり、図形の動的な操作についての証明論的研究は行われてこなかった。また認知科学的研究では静的・動的性質の区別が曖昧なままさまざまな概念が乱立していた。

また、これまでの伝統的論理学は、数学的对象のような理想化された「永遠不変の真理・知識」を分析対象としてきた。これらの知識や状態は、一度得られれば改訂されたり変化したりすることはなく、増える一方で単調性という性質をもつ。それに対して、われわれが日常的に扱う対象はおもに、不完全で変化する知識や状態、表象であり、それらは非単調性という性質をもつ。このために伝統的論理学を日常的推論の分析にそのまま適用しようとするるとさまざまな困難が生じる。

2. 研究の目的

図形推論は、動的な図形操作と静的な読取りの組み合わせで成り立っており、また日常的推論は一般に非単調性をもつ。伝統的な論理学ではこれらの特徴を捉えるのは困難であるのに対して、線形論理における非単調な動的基礎部分と単調な静的安定部分の二重構造は、これらの特徴を捉えるのに適している。本研究では線形論理および部分構造論理を用いて、図形を用いた推論および非単調・非演繹的日常推論の数理モデルの構築を目指した。

3. 研究の方法

申請時とくらべて教育に対するエフォートが大幅に増大したため、図形推論研究、非演繹的推論研究とともに当初の研究計画通りには遂行することができず、修正を施さざるを得なかった。

図形推論研究については、種々の図形に基づく推論を統一的に分析するためのメタ理論の構築を目指して、オイラー図、ヴェン図、対応表、グラフに基づく推論のケーススタディを行った。さらに、図形と文表現を組み合わせたヘテロジニアス推論の数理モデルの構築を目指し、その形式化と分析を行った。非単調・非演繹的推論研究については、線形論理を用いた非単調推論の形式化とその分析を行った。さらに、アブダクションと呼ばれる代表的な非演繹的推論について分析を行った。

また、教育に対するエフォートの増大に合わ

せて、本研究成果の教育への応用を試みた。

4. 研究成果

2012年度

(1) Defeasible inheritance reasoning は、非単調な日常的推論の一形式であり、新たに得られた知識によって以前からあった知識が棄却されるような推論である。2012年度は、線形論理の豊かな表現力を活用して、defeasible inheritance reasoning が線形論理の部分体系として特徴づけられることを示し、線形論理の proof net が defeasible inheritance reasoning の自然なグラフ表現を与えることを示した。研究成果は、International Workshop on Non-Monotonic Reasoning (NMR2012) にて発表した。

(2) 研究代表者がこれまでに行ってきたオイラー図推論の分析を拡張して、2012年度はとくにヴェン図を用いた推論の分析に応用し、ヴェン図推論が導出計算システムと自然に対応することを示した。さらに、言語的推論、オイラー図推論、ヴェン図推論の間の比較研究を行った。研究成果は、7th International Conference on the Theory and Application of diagrams (Diagrams 2012) にて発表した。

2013年度

(1) Barwise の Hyperproof を基に heterogeneous reasoning について分析し、表を用いた推論を形式化して、Heterogeneous Logic with Tables (HLT) を導入した。表(対応表)は、たとえば簡単なスケジューリング問題などにも用いられる基本的な図形表現の一つである。本研究では、そのような表を用いた推論を、文に基づく推論部分と、表の行と列の構造に基づく推論部分に分け、両者を組み合わせた heterogeneous system として形式化した。本研究成果は、International Workshop on Diagram Logic and Cognition 2013 (DLAC 2013) にて発表した。

(2) オイラー図を用いた反例構成について分析した。オイラー図は、論理式に対応するものとして、形式的な証明の構成要素として扱えることが近年実証されているが、他方で、伝統的な集合論的モデルの図形表現としてもみなすことができる。本研究ではこのアイデアに基づき、オイラー図を反例モデルの図形的表現と見なして、反例モデル構成をオイラー図証明として形式化した。この結果は、論理学・数学教育へのオイラー図の応用を促進するものと考えられる。本研究成果は、The Second Asian Workshop on Philosophical Logic にて発表した。

2014年度

(1) 前年度に引き続き、表を用いた推論 Heterogeneous Logic with Tables (HLT) の

分析を行った。とくに、表を用いた場合の推論と、表を用いずに文表現（論理式）のみを用いた場合の推論とを、計算量および認知的な観点から比較し、表がもっとも有効に働くような推論の特徴づけを行った。研究成果は Diagrammatic Representation and Inference: 8th International Conference (Diagrams 2014) にて発表した。

さらに、対応表という個別の表現に依存しない、より抽象的な heterogeneous logic の形式化を目指して、HLT を既存の自然演繹の枠組みに自然に埋め込むための方法論の研究を行った。これにより、証明の正規化定理などの伝統的な証明論的手法を、直接 heterogeneous logic の分析に応用することが可能になる。

(2) 前年度に引き続き、反例モデル構成をオイラー図証明として形式化した。さらに、これまでインフォーマルに用いられてきた、集合論的モデルに対応するものとしてのオイラー図の利用を、厳密に形式化した。これにより、限られた言語（三段論法言語）では、オイラー図がモデル構成にも、また反例モデル構成にも用いることができることを示した。研究成果は国際論理学雑誌 Studia Logica にて発表した。

(3) 本研究で開発してきたオイラー図・ヴェン図システムを教育に応用するために、e ラーニングコンテンツの開発に着手した。

2015 年度

(1) 前年度の結果に基づいて、オイラー図の教育への応用を試みた。とくに、オイラー図が証明のみならず、反証も同時に構成できることを利用して、証明概念および反証概念の習得のために、論理学の授業においてオイラー図を応用した。また、それを Fourth International Conference on Tools for Teaching Logic (TTL2015) において提案した。

(2) 本研究で開発してきたオイラー図・ヴェン図システム、対応表システムを、論理学・数学教育に応用するために、e ラーニングコンテンツを含めた教材開発を行った。成果は、日本大学商学部紀要および日本大学本部紀要にて発表した。

(3) これまでに行ってきた演繹的推論の分析を拡張し、非演繹的日常的推論の具体例として、経済学におけるグラフを用いたヘテロジニアス推論の分析に着手した。経済学では、予想外の市場の変化に直面したときに、需要・供給曲線のグラフを描いて市場均衡の変化を分析し、もっとも的確にその現象を捉える説明や仮説を探求し、既存の理論を拡張・更新していく。このような推論の特徴は、文と図形(グラフ)を組み合わせた推論であり、また演繹のみならず、非演繹的推論が行われる、ことである。とくに、上記のような推論で用いられる非演繹的推論は、説明のための推論や、仮説推論などと呼ばれるアブダクシ

ョンである。本研究では、経済学におけるグラフを用いたアブダクションの分析を開始した。

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 15 件)

e ラーニングを用いたアクティブラーニングの試み--LMS glexa を用いた反転授業--, 竹村亮, 日本大学 FD 研究, 第 4 号, 日本大学 FD 推進センター, 13-26, 2016. 査読有

https://www.nihon-u.ac.jp/about_nu/effort/fd_center/center_research/Counter-Example_Construction_with_Euler_Diagrams, Ryo Takemura, Studia Logica - An International Journal for Symbolic Logic, Springer, Vol.103, Issue 4, 669-696, 2015. 査読有

DOI: 10.1007/s11225-014-9584-x
Euler diagrams as an introduction to set-theoretical models, Ryo Takemura, Proceedings of the Fourth International Conference on Tools for Teaching Logic (TTL2015), 223-231, 2015. 9-12, 2015. 査読有
http://ttl2015.irisa.fr/TTL2015_proceedings.pdf

LMS glexa を用いた論理学 e-learning 教材の開発, 竹村亮, 総合文化研究, 第 21 巻, 第 2 号, 日本大学商学部, 29-50, 2015. 査読有

<http://www.bus.nihon-u.ac.jp/laboratory/kiyo.html>

Logical investigation of reasoning with tables, Ryo Takemura, Atsushi Shimojima, Yasuhiro Katagiri, Diagrammatic Representation and Inference: 8th International Conference, Diagrams 2014, Lecture Notes in Computer Science, Springer, Volume 8578, 261-276, 2014. 査読有
DOI: 10.1007/978-3-662-44043-8_27

A Heterogeneous Logic with Tables (Extended Abstract), Ryo Takemura, Proceedings of First International Workshop on Diagrams, Logic and Cognition (DLAC 2013), Jim Burton, Lopamudra Choudhury, eds., CEUR Series Vol. 1132, 9-16, 2014. 査読有
<http://ceur-ws.org/Vol-1132/>

Proof theory for reasoning with Euler diagrams: a Logic Translation and Normalization, Ryo Takemura, Studia Logica - An International Journal for Symbolic Logic, Volume 101, Issue 1, 157-191, Springer, 2013. 査読有
DOI: 10.1007/s11225-012-9370-6

Completeness of an Euler Diagrammatic System with Constant and Existential Points, Ryo Takemura, Journal of Humanities and Sciences Nihon University, College of commerce Nihon University, Vol.19, No. 1-2, 23-40, 2013. 査読有

<http://www.bus.nihon-u.ac.jp/laboratory/kiyo.html>

Defeasible Inheritance Networks and Linear Logic: Horn Fragments and Proof Nets, Ryo Takemura, Proceedings of the 14th International Workshop on Non-Monotonic Reasoning (NMR 2012), 10 pages, 2012. 査読有

<http://www.dbai.tuwien.ac.at/NMR12/proceedings.html>

Proof-Theoretical Investigation of Venn Diagrams: a Logic Translation and Free Rides, Ryo Takemura, Diagrammatic Representation and Inference: 7th International Conference, Diagrams 2012, Lecture Notes in Computer Science, Volume 7352, 132-147, 2012. 査読有

DOI: 10.1007/978-3-642-31223-6_17

A Diagrammatic Inference System with Euler Circles, Koji Mineshima, Mitsuhiro Okada, and Ryo Takemura, Journal of Logic, Language and Information, 21, 3, 365-391, Springer, 2012. 査読有

DOI: 10.1007/s10849-012-9160-6

[学会発表](計 7 件)

Euler diagrams as an introduction to set-theoretical models, Ryo Takemura, Fourth International Conference on Tools for Teaching Logic (TTL2015), Rennes, France, June 10, 2015.

Logical investigation of reasoning with tables, Ryo Takemura, Atsushi Shimojima, Yasuhiro Katagiri, Diagrammatic Representation and Inference: 8th International Conference, Diagrams 2014, Novotel Melbourne on Collins, Melbourne, Australia, July 28 to August 1, 2014. Counter-example construction with Euler diagrams, Ryo Takemura, The Second Asian Workshop on Philosophical Logic, Guangzhou, China, April 12-13, 2014.

A Heterogeneous Logic with Tables, Ryo Takemura, International Workshop on Diagram Logic and Cognition 2013 (DLAC 2013), Jadavpur University, Kolkata, India, October 28-29, 2013.

Defeasible Inheritance Networks and Linear Logic: Horn Fragments and Proof

Nets, Ryo Takemura, 14th International Workshop on Non-Monotonic Reasoning (NMR 2012), Rome, Italy, June 8-10, 2012.

Proof-Theoretical Investigation of Venn Diagrams: a Logic Translation and Free Rides, Ryo Takemura, 7th International Conference on the Theory and Application of diagrams (Diagrams 2012), Canterbury, UK, 2-6 July 2012.

[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:
取得年月日:
国内外の別:

[その他]
ホームページ等

<http://abelard.flet.keio.ac.jp/pers/on/takemura/>

図形は「おまけ」? --数学・論理学における証明, 竹村亮, 砧通信, 第 44 号, 日本大学商学部, 46-49, 2015 年.

6 . 研究組織

(1)研究代表者

竹村 亮 (TAKEMURA, Ryo)
日本大学・商学部・准教授
研究者番号: 70583665