

## 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5月15日現在

機関番号：32612

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2010～2011

課題番号：22820053

研究課題名（和文） 図形推論分析のための論理学と認知科学の統合的証明論研究

研究課題名（英文） A proof-theoretical investigation on diagrammatic reasoning

研究代表者

竹村 亮（TAKEMURA RYO）

慶應義塾大学・文学部・講師

研究者番号：70583665

研究成果の概要（和文）：

近年、図形やグラフなど様々な非言語的表現に基づく推論の重要性が注目され研究が行われている。このような推論研究においては、伝統的な論理学的分析とともに、非言語的な表現の持つ認知的な性質の分析が不可欠となる。しかしながらこれまでの論理学的研究および認知科学的研究では、図形やグラフ表現の静的な性質（表現レベルの性質）についての意味論的研究が中心であり、動的な性質（推論レベル・操作上の性質）についての証明論的研究は行われていない。本研究では、図形表現の動的な性質を分析するための証明論的な枠組みを導入した。またその証明論の枠組みにおいて、free ride（自動表現）と呼ばれる図形の認知的性質を、推論体系間の翻訳手法を用いて証明論的に形式化した。さらにその形式化に基づいて、オイラー図証明、ヴェン図証明と、通常の記号論理学における自然演繹証明との比較分析を行い、図形的証明の構造を証明論的に特徴付けた。

研究成果の概要（英文）：

Recently, logical reasoning based on diagrammatic or graphical representations has been investigated by researchers from various areas. For the study of diagrammatic reasoning, it is important to combine methods and analyses of traditional symbolic logic and cognitive science. In such studies, researches so far have concentrated on semantic studies on the static nature of diagrams, i.e., the nature at the level of representation. And there are few proof-theoretical investigations on the dynamic nature of diagrams, i.e., the nature at the level of proofs or at the level of manipulation of diagrams.

In this study, I introduced a proof-theoretical framework to investigate the dynamic nature of diagrammatic representations, in particular of Euler and Venn diagrams. Then, I formalized, by applying one of the basic proof-theoretical techniques of logic translation, the notion of "free ride" in my proof-theoretical framework. Free ride is one of the most basic properties of diagrams that is mainly discussed in the literature of cognitive science as an account of inferential efficacy of diagrams. Then, based on the formalization of free ride, I investigated a proof-theoretical characterization of the structure of Euler diagrammatic proofs and that of Venn diagrammatic proofs, compared with the usual natural deduction proofs of the traditional symbolic logic.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,170,000	351,000	1,521,000
2011年度	1,110,000	333,000	1,443,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,280,000	684,000	2,964,000

研究分野：人文学

科研費の分科・細目：哲学・倫理学

キーワード：論理学・証明論・図形推論

### 1. 研究開始当初の背景

近年、図形やグラフなどさまざまな非言語的表現に基づく推論の重要性が注目され研究が行われている。このような推論研究においては、伝統的な論理学的分析とともに、非言語的な表現のもつ認知的な性質の分析が不可欠となる。しかしながらこれまでの論理学的研究では、図形やグラフ表現の静的な性質（表現レベルの性質）についての意味論的研究が中心であり、動的な性質（推論レベル・操作上の性質）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る。

### 2. 研究の目的

本研究では、非言語的表現の動的性質を分析するための認知科学的・証明論的な枠組みを導入する。さらに非言語的表現の静的・動的性質を厳密に区別して認知科学的な諸概念を整理し、それぞれ既存の意味論的枠組みと本研究の証明論の枠組みの中で厳密に形式化する。これらを普遍的な数学的構造として抽象化することにより、多様な表現形式に基づく推論を分析するための論理学と認知科学を組み合わせた統合的推論研究の枠組みを確立することを目指す。

### 3. 研究の方法

(1) まず、これまでに導入してきたオイラー図推論体系を基に、伝統的証明論の最も重要な基本定理である証明の正規化定理を用いて、一般的なオイラー図証明のクラスの中で「言語的なオイラー図証明」のクラスを特徴付ける。一般的なオイラー図証明と言語的なオイラー図証明を、認知科学的分析に基づいて比較することにより、オイラー図の動的性質を証明構造の違いとして証明論的に特徴付ける。

(2) さらに、オイラー図を用いた推論の分析を基に、ヴェン図やグラフなど他の図形表現を用いた推論を形式化し、上記のオイラー図推論体系に対して確立された、証明論的分析を適用する。これにより、本研究の枠組みを特定の図形に限らない、多様な表現形式に基づく推論を分析するための論理学と認知科学を組み合わせた一般的な枠組みとして確立する。

### 4. 研究成果

#### 2010年度

(1) 論理学証明論のもっとも基本的な分析手法の一つである論理体系間の翻訳手法を応用し、これまでに[Mineshima-Okada-Takemura 2012]で導入してきたオイラー図推論体系から自然演繹体系への翻訳を与えた。その翻訳の帰結について、free ride (自動表現; [Shimojima 1996]) の概念に基づいて考察した。Free ride は図形表現の持つもっとも基本的な認知的性質の一つであり、Shimojima-Barwise はチャンネル理論に基づく意味論的な形式化を行っている。本研究では、上記翻訳の健全性によって、free ride が発生する意味論的条件が満たされることを示し、翻訳の概念を用いて free ride が証明論的に特徴づけられることを示した。

成果は[Mineshima-Okada-Takemura 2010 (Diagrams 2010)]、[竹村-峯島-佐藤-岡田 2010 (人工知能学会)]などで発表。

(2) また自然演繹における正規形証明の概念を基に、オイラー図推論体系における正規形図形的証明の概念を導入し、正規化定理を証明した。その帰結として以下の比較・分析を行った。

#### 正規形オイラー図証明の構造分析

オイラー図推論体系における部分論理式性

オイラー図証明構造と自然演繹証明構造の比較

成果は[Takemura 2012 (Studia Logica)]などで発表。

#### 2011年度

(1) 前年度に導入したオイラー図を用いた推論の証明論的分析をヴェン図に対しても適用し、ヴェン図を用いた推論の証明論的分析を行った。

(2) さらに、認知科学の文脈で議論されてきた下嶋の free ride の概念を証明論的に形式化し、ヴェン図推論体系における free ride を分析した。

(3) またオイラー図推論とヴェン図推論に

ついて以下のような比較・分析を行った。

証明論の観点から両推論体系における証明の構造を比較した。

論理学における計算量分析の手法を応用し、両推論体系の計算の複雑さの比較研究を開始した。とくに、図形から意味を読み取る実際の認知過程を考慮した計算量分析に着手した。

成果は[Takemura 2012 (Studia Logica)], [竹村 2011 (人工知能学会)]などで発表。また、[Takemura 2012 (Diagrams 2012 ; 採択済み)], [Takemura-Shimajima-Katagiri 2012 (Diagrams 2012 ; 採択済み)]などでも発表予定。

本研究におけるオイラー図およびヴェン図を用いた推論の分析は、さらにグラフや表などの論理推論に用いられるさまざまな図形表現の分析に応用可能であり、現在その研究を進めている。さらに、それらの種々の図形表現を用いた推論の計算量分析を行い、その比較研究を進めている。また、特定の図形に限らない、一般の非言語的表現を用いた推論を抽象的に特徴づけるためのメタ論理の研究も現在行っている。

#### 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 7 件)

Ryo Takemura, Proof theory for reasoning with Euler diagrams: a Logic Translation and Normalization, *Studia Logica*, 査読有, 2012, 近刊.  
DOI: 10.1007/s11225-012-9370-6

Koji Mineshima, Mitsuhiro Okada, and Ryo Takemura, A Diagrammatic Inference System with Euler Circles, *Journal of Logic, Language and Information*, 査読有, 2012 年, 近刊.  
DOI: 10.1007/s10849-012-9160-6

竹村亮, オイラー図・ヴェン図推論の翻訳と Free rides, 2011 年度人工知能学会全国大会(第 25 回) JSAI2011 論文集 (Web 版), 査読無, 2011 年.  
<https://kaigi.org/jsai/webprogram/2011/paper-238.html>

Koji Mineshima, Mitsuhiro Okada, and Ryo Takemura, Two Types of Diagrammatic Inference Systems: Natural Deduction Style and

Resolution Style, *Diagrammatic Representation and Inference: 6th International Conference, Diagrams 2010*, 査読有, 6170, 2010, 99—114.  
DOI: 10.1007/978-3-642-14600-8\_12

Yuri Sato, Koji Mineshima, and Ryo Takemura, The efficacy of Euler and Venn diagrams in deductive reasoning: empirical findings, *Diagrammatic Representation and Inference: 6th International Conference, Diagrams 2010*, 査読有, 6170, 2010, 6—22.  
DOI: 10.1007/978-3-642-14600-8\_6

Yuri Sato, Koji Mineshima, and Ryo Takemura, Constructing internal diagrammatic proofs from external logic diagrams, *The annual meeting of the Cognitive Science Society (CogSci 2010)*, 査読有, 2010, 2668—2673.  
<http://palm.mindmodeling.org/cogsci2010/papers/0640/index.html>

竹村亮, 峯島宏次, 佐藤有理, 岡田光弘, オイラー図・ヴェン図を用いた図形推論の証明論的分析, 2010 年度人工知能学会全国大会(第 24 回) JSAI2010 論文集 (Web 版), 査読無, 2010 年.  
<https://kaigi.org/jsai/webprogram/2010/paper-389.html>

[学会発表](計 7 件)

竹村亮, オイラー図・ヴェン図推論の翻訳と Free rides, 2011 年度人工知能学会全国大会(第 25 回), 2011 年 6 月 1 日, アイーナいわて県民情報交流センター (岩手県)

Ryo Takemura, Proof theory for reasoning with Euler diagrams, *Proof theory and philosophy*, February 26, 2011, Keio University, Tokyo.

竹村亮, オイラー図推論の証明論的分析: 自然演繹への翻訳と正規形証明, 2010 年度 MLG 数理論理学研究集会(第 45 回), 2011 年 1 月 7 日, KKR 湯沢ゆきぐに, 新潟.

竹村亮, オイラー図推論の証明論的分析: Free ride property と正規形証明, 日本科学哲学会第 43 回(2010 年)大会, 2010 年 11 月 27 日, 大阪市立大学, 大阪.

Koji Mineshima, Mitsuhiro Okada,

and Ryo Takemura, Two Types of Diagrammatic Inference Systems: Natural Deduction Style and Resolution Style, Sixth International Conference on the Theory and Application of Diagrams (Diagrams 2010), August 10, 2010, Portland State University, Portland, Oregon, USA.

Koji Mineshima, Mitsuhiro Okada, and Ryo Takemura, Reasoning with Euler diagrams: a proof-theoretical approach, 3rd World Congress and School on Universal Logic, April 25, 2010, Estoril Eden, Lisbon, Portugal.

竹村亮, 峯島宏次, 佐藤有理, 岡田光弘, オイラー図・ヴェン図を用いた図形推論の証明論的分析, 2010年度人工知能学会全国大会(第24回), 2010年6月9日, 長崎ブリックホール, 長崎.

〔その他〕

ホームページ

<http://abelard.flet.keio.ac.jp/person/takemura/index.html>

## 6 . 研究組織

### (1)研究代表者

竹村 亮 (TAKEMURA RYO)

慶應義塾大学・文学部・講師

研究者番号 : 70583665