

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 15 日現在

機関番号：12611

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2016

課題番号：26770009

研究課題名(和文) 論理学的手法を用いた自然言語推論と図形推論の統合的研究

研究課題名(英文) An integrated study of natural language inference and diagrammatic inference using logical methods

研究代表者

峯島 宏次 (Mineshima, Koji)

お茶の水女子大学・シミュレーション科学教育研究センター・特任講師

研究者番号：80725739

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)：自然言語推論と図形推論を論理学的手法を用いて統合的に分析する研究を進めた。まず、自然論理を拡張した高階論理の推論体系を構築し、一般化量子や様相表現を含む自然言語の広範囲の推論現象を扱うことができることを示した。またこれと並行して、現代的な型理論の枠組みでの前提・照応の分析を進め、様々な言語現象の分析へと適用した。図形推論の研究としては、一般化量子を伴う図形表現・推論体系の研究を進めると同時に、量化・関係推論を扱うオイラー図の表現系・推論系の論理的・認知科学的分析を行い、新しい成果を得た。

研究成果の概要(英文)：We have advanced an integrated approach to analyzing natural language inferences and diagrammatic inferences using logical methods. In particular, we built a higher-order inference system that extends a basic system of natural logic and showed that it can handle a wide range of inference phenomena in natural language, including those involving generalized quantifiers and intensional expressions. In parallel with this study, we developed an inference system that deals with anaphora and presupposition in the framework of modern type theory and applied it to various linguistic phenomena. We have also advanced a logical analysis of a diagrammatic representation system for proportional generalized quantifiers and developed a logical and cognitive analysis of representation and inference systems of Euler diagrams that handle quantificational and relational inferences.

研究分野：論理学

キーワード：論理学 形式意味論 自然言語推論 図形推論

## 1. 研究開始当初の背景

自然言語の発話の理解では、発話の文脈に即してなされる推論が重要な役割を果たす。しかし、従来の自然言語の形式意味論では、モデル論的意味論の観点が支配的であり、発話解釈における推論の役割を捉えるのが難しいという問題がある。一方、現代論理学の分野では、モデル論的手法とならんで、証明論的手法に基づいて、文相互の帰結関係を実効的に判定する方法が研究されている。しかし、証明論の手法を自然言語推論の研究に適用するという試みはこれまで十分に検討されてこなかった。前提・照応のような自然言語に特徴的な文脈推論をも含めて、自然言語推論を対象とした証明体系の研究が期待されている。

こうした自然言語推論の新たな枠組みを模索する上で手がかりとなるのは、研究代表者がこれまで自然言語意味論の研究と平行して行ってきた図形推論の研究である。オイラー図を典型とする論理図形表現の研究は、1990年代以降、J. パーワイズらの研究グループによる論理学・哲学・認知科学を横断する学際的研究により急速に進展してきた。しかし、これまでの図形推論の研究は、言語哲学・論理学・形式意味論の分野での自然言語推論の研究と独立に進められる傾向にあった。そこで、自然言語推論と図形推論の二つの視点から研究を進めることで、双方の分野に応用可能な、人間が行う推論の体系的分析が可能になると予想される。

## 2. 研究の目的

本研究は、自然言語推論と図形推論がともに人間の認知に制約された構造をもつという視点から、両者を統合的に分析する論理的枠組みを構築することを目的とする。研究代表者のこれまでの研究で、比較的単純な三段論法断片に対する研究成果が得られたが、これを十分な表現力をもつ範囲まで拡張することを試み、さらに、その枠組みのもとに前提・照応現象のような自然言語に特徴的な文脈的推論のメカニズムをとりいれることで、自然言語の意味論・語用論の領域にも寄与する推論体系を構築することを目指す。

## 3. 研究の方法

本研究は自然言語推論の研究として、(1) 量化推論を中心とした基本的な自然言語推論を扱う体系の構築、及び、様相推論を扱う体系への拡張、(2) その体系の図形論理への適用、(3) 前提・照応を扱う推論体系の構築、という三点に重点を置いて進める。特に、(1)(2)については、論理学・計算言語学の分野で、自然言語の構造により即した形で証明体系を形式化することを試みる自然論理(natural logic)の手法を用いる。(3)について

は現代的な証明論・型理論の枠組みでの研究成果をふまえて、文脈依存的な推論現象のなかでも理論的な解明がもっとも進んでいる前提・照応現象に焦点を当てる。また、前提・照応を扱うメカニズムを上記(1)(2)の研究で獲得された推論体系に取り込むことを試みる。

## 4. 研究成果

まず、上記(1)の自然言語推論の論理学的研究の成果として、自然論理を拡張した高階論理の推論体系を構築し、一般化量子子や様相表現を含む自然言語の広範囲の推論現象を扱うことができることを示した(論文3,6)。また、この体系を計算言語学の分野で研究されている含意関係認識に応用することで、その有効性を示した。

また、(2)の図形推論の研究としては、自然言語の *most* を典型とする一般化量子子の理論をふまえて、比率を表現する図形表現・推論体系の論理学的・認知科学的研究を進めた(論文4)。また、基本的な量化・関係推論を扱うオイラー図の表現体系・推論体系の包括的な論理的分析を行い、論文としてまとめた(論文5,10)。

上記(3)の前提・照応を扱う推論体系の構築に関しては、(1)の高階論理のもとでの推論体系の研究と並行して、現代的な型理論の枠組みでの前提・照応の分析を進めた。特に、複数照応の分析(論文1)、前提概念に基づく選択制限の分析(論文2)、叙実述語がもつ前提の分析(論文7)、橋渡し推論の分析(論文8)、様相表現と照応の分析(論文9)など、前提・照応に関する様々な言語現象を検討し、本研究の証明論的な枠組みの有効性を確認した。

上記の成果は、査読付き論文として発表するとともに、国際会議での口頭発表、国内外での招待講演の形で公表した。

## 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10件)

1. 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), 86–99, 2016.

2. Eriko Kinoshita, Koji Mineshima, and Daisuke Bekki. An analysis of selectional restrictions with Dependent Type Semantics. Proceedings of the 13th International Workshop on Logic and Engineering of Natural Language Semantics (LENLS13), 100–113, 2016.

3. Koji Mineshima, Ribeka Tanaka, Pascual Martínez-Goméz, Yusuke Miyao, and Daisuke Bekki. Building compositional semantics and higher-order inference system for a wide-coverage Japanese CCG parser. Proceedings of the 2016 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing (EMNLP2016), 2236–2242, 2016.

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, Volume 9781, 123–138, Springer, 2016.  
DOI: 10.1007/978-3-319-42333-3\_10

5. Yuri Sato and Koji Mineshima. How diagrams can support syllogistic reasoning: an experimental study. Journal of Logic, Language and Information. Volume 24, Issue 4, 409–455. 2015.  
DOI: 10.1007/s10849-015-9225-4

6. Koji Mineshima, Pascual Martínez-Goméz, Yusuke Miyao, and Daisuke Bekki. Higher-order logical inference with compositional semantics. Proceedings of the 2015 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing (EMNLP 2015), 2055–2061, 2015.

7. Ribeka Tanaka, Koji Mineshima and Daisuke Bekki. Factivity and presupposition in dependent type semantics. Proceedings of TYPe Theory and LEXical Semantics (TYTLES) in the 27th European Summer School in Logic, Language and Information (ESSLLI 2015), Barcelona, Spain. 2015.

8. Ayako Nakamura, Koji Mineshima, and Daisuke Bekki. Towards modeling natural language inferences with part-whole relations using formal ontology and lexical semantics. Proceedings of the FOFAI session of the Joint Ontology Workshops (JOWO), 2015.

9. Ribeka Tanaka, Koji Mineshima and Daisuke Bekki. Resolving modal anaphora in dependent type semantics. In New Frontiers in Artificial Intelligence, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 9067, 83–98. 2015.  
DOI: 10.1007/978-3-662-48119-6\_7

10. 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. Volume 25, Issue 3. 156–169. 2014.  
DOI: 10.1016/j.jvlc.2013.08.007

〔学会発表〕(計 16 件)

1. Koji Mineshima. Diagrams, proofs, and natural reasoning with *most*. Workshop “Philosophy of logic and Mathematics: Towards Philosophy of Proofs,” Keio University, Tokyo, January 12, 2017. (招待発表)

2. Koji Mineshima. How *cgc2lambda* solves FraCaS/JSeM. Unshared Task at LENLS 13: Theory and System analysis with FraCaS, MultiFraCaS and JSeM Test Suites, National Institute for Japanese Language and Linguistics, Tachikawa, Tokyo, November 13, 2016. (口頭発表)

3. Ribeka Tanaka, Koji Mineshima, and Daisuke Bekki. On the interpretation of dependent plural anaphora in a dependently-typed setting. The 13th International Workshop on Logic and Engineering of Natural Language Semantics (LENLS13), JSAI International Symposia on AI 2016, Keio University, Kanagawa, November 14, 2016. (口頭発表)

4. Eriko Kinoshita, Koji Mineshima, and Daisuke Bekki. An analysis of selectional restrictions with Dependent Type Semantics. The 13th International Workshop on Logic and Engineering of Natural Language Semantics (LENLS13), JSAI International Symposia on AI 2016, Keio University, Kanagawa, November 14, 2016. (口頭発表)

5. Koji Mineshima. Towards a proof-theoretic natural language semantics for wide-coverage grammars. New Landscapes in Theoretical Computational Linguistics, Ohio State University, October 15, 2016. (招待発表)

6. Koji Mineshima, Ribeka Tanaka, Pascual Martínez-Goméz, Yusuke Miyao, and Daisuke Bekki. Building compositional semantics and higher-order inference system for a wide-coverage Japanese CCG parser. The 2016 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing (EMNLP2016), Austin, Texas, November 4, 2016. (口頭発表)

7. Koji Mineshima. Combining a type-logical semantics and a wide-coverage statistical parser. French-Japanese Workshop on Philosophy of Proofs, Keio University, January 15, 2016. (招待発表)

8. Koji Mineshima. Higher-order logical inference with compositional semantics. CREST international workshop on Formal and Computational Semantics, Kyoto University,

November 21, 2015. (招待発表)

9. Koji Mineshima, Pascual Martínez-Goméz, Yusuke Miyao, and Daisuke Bekki. Higher-order logical inference with compositional semantics. The 2015 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing (EMNLP 2015), Lisbon, Portugal, September 20, 2015, (口頭発表)

10. Koji Mineshima. Dependent Type Semantics. 日本ソフトウェア科学会第 32 回大会, 特別セッション「自然言語とプログラミング言語」, 早稲田大学, 2015 年 9 月 11 日。(招待発表)

11. Ribeka Tanaka, Koji Mineshima and Daisuke Bekki. Factivity and presupposition in Dependent Type Semantics. TYType Theory and LEXical Semantics (TYTLES), The 27th European Summer School in Logic, Language and Information (ESSLLI 2015), Barcelona, Spain, August 7, 2015. (口頭発表)

12. Ayako Nakamura, Koji Mineshima, and Daisuke Bekki. Towards modeling natural language inferences with part-whole relations using formal ontology and lexical semantics. The 1st workshop on Formal Ontologies for Artificial Intelligence (FOFAI), Joint Ontology Workshops JOWO 2015, Buenos Aires, Argentina, July 27, 2015. (口頭発表)

13. Koji Mineshima. Epsilon Calculus as Presupposition Theory. Hilbert's Epsilon and Tau in Logic, Informatics and Linguistics, Montpellier University, France, June 12, 2015. (口頭発表)

14. Koji Mineshima. Types in Natural Language Semantics. Logical Inference and Proofs, Franco-Japanese Workshop, Keio University, January 13, 2015. (招待発表)

15. Koji Mineshima. Presupposition and Dependent Types. CREST international workshop on Formal and Computational Semantics. Kyoto University, November 28, 2014. (招待発表)

16. Ribeka Tanaka, Koji Mineshima and Daisuke Bekki. Resolving modal anaphora in dependent type semantics. The Eleventh International Workshop on Logic and Engineering of Natural Language Semantics, (LENLS11), Keio University, November 22, 2014. (口頭発表)

{図書}(計2件)

1. Daisuke Bekki and Koji Mineshima. Context-Passing and Underspecification in Dependent Type Semantics. In S. Chatzikyriakidis and Z. Luo (eds.), Modern Perspectives in Type Theoretical Semantics, Studies of Linguistics and Philosophy, Springer, 11-41, 2017. (分担執筆)

2. Tsuyoshi Murata, Koji Mineshima, and Daisuke Bekki. (eds.) New Frontiers in Artificial Intelligence JSAI-isAI 2014 Workshops, LENLS, JURISIN, and GABA, Kanagawa, Japan, October 27-28, 2014, Revised Selected Papers. Lecture Notes in Computer Science, Volume 9067, 2015. Springer-Verlag. (編者)

{産業財産権}

出願状況(計 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 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  
峯島 宏次 (MINESHIMA, Koji)  
お茶の水女子大学・シミュレーション科学教育研究センター・特任講師  
研究者番号: 80725739

(2) 研究分担者  
( )

研究者番号:

(3) 連携研究者  
( )

研究者番号:

(4) 研究協力者

( )