HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Proof-Theoretic Study of Distributed Knowledge [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	村井, 涼
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(文学)
Dissertation Number	甲第15056号
Issue Date	2022-03-24
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/85412
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Ryo_Murai_review.pdf, 審査の要旨

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称：博士（文学）　　氏名：　村　井　涼

審査委員　主査　准教授　佐　野　勝　彦
副査　准教授　宮　園　健　吾
副査　教　授　大　沼　　進
副査　教　授　東　条　　敏（北陸先端科学技術大学院大学）

学位論文題名
Proof-Theoretic Study of Distributed Knowledge
（分散知識の証明論的研究）

・当該研究領域における本論文の研究成果

本論文の第一の成果は、古典論理上の分散知識演算子をもつ認識論理に対して、推件計算による証明論を与えたことである。ゲンツェンに由来する論理式間の帰結関係を推論単位とする推件計算には、意味論に訴えずに証明体系から矛盾が帰結しないことを示せる利点がある。古典論理上の分散知識演算子をもつ認識論理については、幾つかの先行研究は存在するものの、集団に相対化した分散知識演算子をもつ推件計算はこれまで提案されてこなかった。学位申請者は、集団に相対化した分散知識演算子をもつ複数の認識論理に対して、推件計算を与え、上述の意味論に訴えない無矛盾性証明の鍵となるカット除去定理を証明した。さらに、その帰結として、論理体系の性質にとって重要な、決定可能性、および、クレイグ補間定理を示している。

本論文の第二の成果は、第一の成果で前提となっていた真偽値に基づく古典論理を、排中律（φ ないし φ の否定が成立する）を非妥当とする直観主義論理に変更した設定で、集団に相対化した分散知識演算子をもつ認識論理とその証明論を整備した点にある。直観主義論理上では、Jäger and Marti (2016)や Marti (2017)が集団に相対化されない分散知識概念を研究しているが、エージェント集団への相対化はこれまでなされてこなかった。学位申請者は第一の成果を参考にしながら、直観主義論理に集団に相対化した分散知識演算子を加え、上述の先行研究を一般化した可能世界意味論、ヒルベルト式体系、推件計算を定式化し、推件計算については、カット除去定理、決定可能性、クレイグ補間定理の全てが直観主義論理上でも成立することを明らかにした。ヒルベルト式体系が意味論に対して完全になること、すなわち、妥当な論理式がヒルベルト式体系での定理となることについては、古典論理上での完全性定理の先行研究 Fagin et al. (1995) や Wang and Agotnes (2020)に依拠しながらも、新たに証明している点で学術的価値が高いものである。

本論文の第三の成果は、第二の成果の基礎の上に、エージェント全員への情報告知に相当する公開告知演算子の追加が可能であることを明らかにした点である。認識論理と公開告知演算子の直観主義論理上での組み合わせには先行研究が存在するが、分散知識演算子と公開告知演算子の組み合わせが直観主義論理上で可能かについてはこれまで研究がなされていなかった。学位申請者は、Jäger and Marti (2016)に由来する意味論では公開告知演算子と分散知識演算子の関係を述べる公理が非妥当になることを示し、当該公理を妥当にするには、意味論に Stell et al. (2016) に基いた制限を加える必要があることを明らかにしている点で学術的価値が高い。その上で、ヒルベルト式体系が新しく提案された意味論に対して完全になることを証明している。さらに公開告知演算子による拡張に対しても、推件計算を定式化し、カット除去定理とクレイグ補間定理を示している。

なお、本論文第二章の内容は査読付き国際会議論文として出版されており、本論文第三章の内容は査読付き国際学術誌への掲載が決定している。こういった事実は、学位申請者の研究が関連国際学会において一定の評価を得ていることを示している。

・学位授与に関する委員会の所見

審査委員会では本論文の論理学的内容の正確さについて高い評価がなされた。一方で、論文の記述の一部が簡潔すぎる点から、分散知識概念自体の解釈、さらには、その広い学術的意義の説明が不十分である点が指摘された。口頭試問において、学位申請者は前者の点に関して Agotnes and Wang (2017)で提案されている分散知識概念の二つの解釈を比較することで説明を行なったが、審査委員会では、より慎重に論じることによって改善が十分可能である、という見通しが示された。また後者の点については複数の学術分野にまたがる関連研究を挙げることで学位申請者から丁寧な説明がなされた。

以上の審査の結果、審査委員会は全員一致して、学位申請者に博士（文学）の学位を授与することが妥当であるとの結論に達した。