



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Proof-Theoretic Study of Epistemic Logic from an Intuitionistic Viewpoint [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	蘇, 有安
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(文学)
Dissertation Number	甲第15063号
Issue Date	2022-03-24
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/85441
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Youan_Su_review.pdf, 審査の要旨



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： 蘇 有 安

審査委員 主査 准教授 佐 野 勝 彦
副査 教 授 藏 田 伸 雄
副査 教 授 佐 藤 知 己
副査 准教授 鹿 島 亮 （東京工業大学）

学位論文題名

Proof-Theoretic Study of Epistemic Logic from an Intuitionistic Viewpoint
(直観主義的観点からの認識論理の証明論的研究)

・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、可知性パラドックスの分析に用いられる古典論理・直観主義論理間の関係を論理式の翻訳を使って明確にした点である。可知性パラドックスを分析するためには、古典論理であれ直観主義論理であれ、可能性演算子と知識演算子の双方を扱う必要がある。学位申請者は、古典論理上で可知性原理から全知原理を導くためには、可能性演算子が弱い原理を満たせば十分である点に着目し、先行研究よりもより弱い設定で、論理式間の帰結関係を推論単位とする推件計算を、古典論理と直観主義論理の双方で定式化する。その上で、可知性原理を追加の公理とすることで、古典論理が直観主義論理へと埋め込めることを二重否定を用いた黒田翻訳の発想を援用することで明らかにしている。

本論文の第二の成果は Artemov and Protopopescu (2016)の直観主義認識論理 (Intuitionistic Epistemic Logic, 以下では IEL と記す) を一階述語論理へと拡張した点である。Artemov らは「KA (A が知られている) の証明とは、A の証明の存在を検証する決定的証拠である」と証明による解釈 (BHK 解釈と呼ばれる) を定め、「A の証明の存在を検証する決定的証拠」の例として、特定の数学的命題の証明の存在を保証する数学者の発言を挙げている。数学的命題を視野に入れるなら、「すべて」や「ある」などの限量記号の導入は避けられない。学位申請者はまず命題論理レベルで Krupski and Yatmanov (2016)による既存の IEL の推件計算を改良する。この改良に基づき、IEL の限量記号による拡大に対する推件計算を定式化し、帰結関係レベルでの三段論法が定理の証明に不要であるというカット除去定理を証明している。さらに、推件計算における定理概念が対応する意味論における妥当性概念と一致するという完全性定理を示している。

本論文の第三の成果は Artemov らによる IEL へ集団知識概念の一つである分散知識演算子を追加したことである。学位申請者は Artemov らによる知識演算子の BHK 解釈における「A の証明の存在を検証する決定的証拠」がエージェント集団の知識を組み合わせることで得られる可能性を許容していることに注目し、Artemov らの IEL にこの可能性を実現する分散知識演算子を加えることを提案する。第二の成果の IEL の推件計算の改良に基づき、分散知識演算子を加えた場合にも推件計算を定式化し、カット除去定理および完全性定理を証明している。

なお、本論文第三章の内容は、査読を経て、Studia Logica Library の学術書 *Knowledge, Proof and Dynamics* の一章として収録されている。また、本論文第四章、第五章の内容はそれぞれ別の査読付き国際会議論文として出版されている。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、論理的結果についての数学的な正確さと新規性が高く評価された。しかし、その論理学的結果の哲学的意義の説明が若干不足していると感じられる点、特に、第二の成果が可知性パラドックスの問題に対してどのような意義をもつかが不明瞭である点が指摘された。この点については学位申請者も十分に理解しており、限量記号を組み込んだ言語設定においても可知性パラドックスが疑似問題にすぎないことが主張できる、という見通しが口頭試問において示された。これに関連して、博士論文が想定する読者が極めて限定されてしまう可能性も指摘された。しかしながら、これは内容そのものというよりは、論述の様式、論文の形式に関するものであり、本論文の学術論文としての価値を本質的に損なうものではない、と本委員会では判断した。

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。