## **JAIST Repository**

https://dspace.jaist.ac.jp/

Title	動的認識論理のラベル付きシークエント計算の研究
Author(s)	野村,尚新
Citation	
Issue Date	2016-03
Туре	Thesis or Dissertation
Text version	ETD
URL	http://hdl.handle.net/10119/13517
Rights	
Description	  Supervisor:東条 敏,情報科学研究科,博士



Japan Advanced Institute of Science and Technology

氏	名	野村	† 尚	新				
学位の種	類	博士(情報科学)						
学位記番	号	博情第 336 号						
学位授与年月	日	平成 28 年 3 月 24 日						
秋 <del>大</del> 昭		Labell	ed Sequ	ent Calculi fo	or Dynamic Epistemic Logics			
<b>神 义 </b> 思	Ħ	(動的認識論理のラベル付きシークエント計算の研究)						
論 文 審 査 委	員	主査	東条	敏	北陸先端科学技術大学院大学	教授		
			石原	哉	同	教授		
		Preinig Norbert		ig Norbert	同	准教授		
			金沢	誠	国立情報学研究所	准教授		
			鹿島	亮	東京工業大学	准教授		

## 論文の内容の要旨

Dynamic Epistemic Logic (DEL) is a field of modern epistemic logic that aims at formally expressing the change of human knowledge through modifying Kripke models which represent the state of agents' knowledge. For example, if an agent called John does not know if it will rain tomorrow and he gets information from a weather forecast on TV which informs that it will rain tomorrow, then he is now not ignorant of the condition of tomorrow's weather (i.e., his knowledge-state was changed by the information on TV). This is a typical example of public announcement (public information), and Public Announcement Logic (PAL) by Plaza (1989) can formally express

such a situation regarding the knowledge-change of agents. PAL became the basis of other DELs and we also started to investigate labelled sequent calculus from PAL. In addition to public announcements, information is not always shared among all agents (it is not always public) and it is totally possible to imagine that some information is for only a single agent (private announcement) or for a specific group of agents. PAL can cope with only public announcement (information), but Logic of Epistemic Actions and Knowledge (EAK) by Baltag et al. (1989) is a logic for the formal expression of such information flows which are more delicate than public announcements. EAK is

a generalized and developed version of PAL and our second target is this epistemic logic. On the other hand, the term knowledge has philosophically profound meanings, and historically, the notion of knowledge contains evidence or verification to justify one's belief. Intuitionistic epistemic logics are candidates which express knowledge in a strict sense. Based on the intuitionistic modal logic IK by Fischer Servi (1984) and Simpson (1994), Intuitionistic PAL (IntPAL)—an intuitionistic version of PAL—is proposed by Ma et al. (2014), and this enables us to express the change of knowledge defined in a strict sense.

In this thesis, we provide three different cut-free labelled sequent calculi for PAL, EAK and IntPAL respectively. First, we investigate an existing labelled sequent calculus for PAL and this investigation becomes an important foundation for the three labelled sequent calculi of ours with respect to the soundness theorems, the completeness theorems and the cut-elimination theorems for other labelled systems. A labelled sequent calculus G3PAL for PAL is provided by Maffezioli and Negri (2011), but it in fact lacks inference rules for deriving an axiom of the Hilbert-system of PAL. So, we provide our revised calculus GPAL, and all the formulas derivable by Hilbert-system of PAL are also derivable in GPAL together with the cut rule. We also establish the cut elimination theorem. Moreover, we show the soundness of our calculus for Kripke semantics with the notion of surviveness of possible worlds in a restricted domain. Then we provide a direct proof of the semantic completeness of GPAL for the link-cutting semantics of PAL.

Secondly, we move onto EAK based on the study of labelled sequent calculus for PAL. We also provide a cut-free labelled sequent calculus (GEAK) on the background of existing studies of the Hilbert-system (we call it HEAK) and labelled calculi for PAL. Similar to the previous procedure, we first show that all the formulas derivable by the Hilbert-system of EAK are also derivable in GEAK with the cut rule, and we show that the cut rule is eliminable in GEAK. Then we show GEAK is sound for Kripke semantics. After demonstrating that soundness, we derive the semantic completeness of GIntPAL as a corollary of these theorems.

Thirdly and lastly, we introduce a labelled sequent calculus GIntPAL for IntPAL. Following the same manner of the construction of a labelled sequent calculus as the previous two, we show that all theorems of the Hilbert-system of IntPAL are also derivable in GIntPAL with the cut rule. Then we prove the cut-eliminability of GIntPAL and also its soundness for birelational Kripke semantics, and so its completeness for the

semantics.

Keywords— Dynamic Epistemic Logic, Public Announcement Logic, Intuitionistic Public Announcement Logic, Logic of Epistemic Actions and Knowledge, Labelled Sequent Calculus, Admissibility of Cut, Validity of Sequents

## 論文審査の結果の要旨

シーケント計算とはゲンツェンにより考案された数理論理学の証明法であり、古典的なヒルベルト 流の公理による証明法に比べて計算プロセスに近いことから近年の計算機科学との結びつきにおい て重要視されている. ラベル付きシーケント計算とは、シーケント計算を様相論理に応用するため に、可能世界に相当するインデックスをラベルと呼んでシーケント計算に組み込んだものである. 様相論理は人間の知識や信念の表現に有用であり、この知識・信念が新しい情報の授受とともに動 的に変化していくようすを捉えるために、動的認識論理 (Dynamic Epistemic Logic) の研究が盛ん である. 本研究はこの動的認識論理におけるラベル付きシーケント計算において、以下のような貢 献をしたものである.

第一に、本研究は動的認識論理の一種である PAL (Public Announcement Logic) において、先行 研究に現れていた推論規則の不備を発見し、それを正した.シーケント計算においてはシーケント の演繹的連鎖が全体の証明プロセスを形成するが、前段の帰結が次段の前提になるためには両者の 間で厳密な単一化がなされる必要がある.本研究は先行研究にあったこの単一化条件のバグを発見 し、新たに推論規則を提示して論理の証明過程に齟齬がないように改善した.またシーケント計算 においてはカット規則と呼ばれる推論規則をいかに避けるかが争点となるが、本改善においてもカ ット規則を除去できることを示した.

動的認識論理 EAK (Logic of Epistemic Actions and Knowledge) とは静的な知識・信念状態にお いて何らかの状態変化がアクションとして加わったときに、知識・信念にどのような変化をもたら すかを議論する論理である.本研究の第二の貢献は、既に提示されていたヒルベルト流の公理体系 に対しシーケント計算を提示し、やはり同様にカット除去に成功したことである.

第三の貢献は、上記 PAL を直観主義論理に拡張したことである. 直観主義論理は二重否定を肯定 と峻別し、排中律 (P∨¬P)をトートロジーと認めない論理であり、われわれの言語に似た日常の思 考に極めて近い論理を形成することができる. 従来的な PAL の証明体系を直観主義に拡張する試み はやはりヒルベルト流に行われていたが、本研究では同様にこの証明体系をシーケント計算に書き 換え、カット除去を示した. この課題については健全性の証明が難関であるが、シーケントの意味 解釈を変更することで健全性を示し、かつセマンティクスの完全性も示した.

以上,本論文は動的認識論理のラベル付きシーケント計算について新たな枠組みを提示したもの であり,数理論理学的に貢献するところが大きい.よって博士(情報科学)の学位論文として十分 価値あるものと認めた.