T2R2 東京工業大学リサーチリポジトリ
Tokyo Tech Research Repository

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	Lambda-Calculus: A Simplified Proof of the Church-Rosser Theorem and an Extension of the Curry-Howard Correspondence
著者(和文)	松田直祐
Author(English)	Naosuke Matsuda
出典(和文)	学位:博士(理学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第10105号, 授与年月日:2016年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:鹿島 亮,小島 定吉,増原 英彦,渡辺 治,脇田 建
Citation(English)	Degree:Doctor (Science), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10105号, Conferred date:2016/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

Powered by T2R2 (Tokyo Institute Research Repository)

（博士課程）

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第　　号		学位申請者氏名	松田 直祐	
論文審査 審 査 員		氏　名	職　名	氏　名	職　名
	主査	鹿島　亮	准教授	脇田 建	准教授
	審査員	小島 定吉	教授		
		増原 英彦	教授		
		渡辺 治	教授		

論文審査の要旨（2000 字程度）

本論文は「Lambda-Calculus: A Simplified Proof of the Church-Rosser Theorem and an Extension of the Curry-Howard Correspondence（ラムダ計算：チャーチ・ロッサー性の簡潔な証明とカリー・ハワード対応の拡張)」と題し，英文３章からなる．ラムダ計算とはラムダ記法（高階関数を構成するための基本的な仕組み）の働きを形式化した一群の数学的体系の総称であり，ラムダ項の簡約によって計算を記述するものである．ラムダ計算は関数型プログラミング言語の基礎理論として計算機科学で研究されているとともに，論理体系との対応を通して数理論理学においても活発に研究されている．本論文はラムダ計算の特に構文論的・証明論的な性質を研究したものである．

第１章「Introduction and Preliminaries」ではラムダ計算と証明論に関して本論文に必要な定義や既存結果をまとめている．

第２章「A Simplified Proof of the Church-Rosser Theorem」では，すべてのラムダ計算体系の基礎となる型無しラムダベータ計算に関して，そのチャーチ・ロッサー性の新しい簡潔な証明を与えている．一般にラムダ項の中には簡約可能な部分が複数存在するが，どのような順序で簡約を行っても最終的には共通のラムダ項に合流させることができる．この性質はチャーチ・ロッサー性と呼ばれ，ラムダベータ計算の持つ最も重要な性質のひとつである．チャーチ・ロッサー性はもともと 1936 年にチャーチとロッサーによって証明された性質であるが，初期の証明は非常に複雑でありその後も様々な改良版の証明が与えられてきた．今までに与えられた証明のうち最も簡潔なのは高橋（1989）によるものであり，その証明の中では並行簡約という簡約と，本論文で T 変換と呼ぶラムダ項の変換が用いられていた．

本論文第２章では高橋の証明を洗練・改良することで，T 変換が特定の条件さえ満たしていれば，それを使ってチャーチ・ロッサー性が証明できることを明らかにした．その条件は並行簡約の概念を用いずに記述されているので，これはすなわち，並行簡約を導入しなくても項の適切な変換さえ見つければチャーチ・ロッサー性が証明できることを示している．チャーチ・ロッサー性は一般の項書き換え系の研究の中でも非常に関心を持たれている性質のひとつである．本論文はそんな一般の項書き換え系に応用が可能な汎用的な証明を与えたものであり，実際にこの手法を他の体系に応用した別研究者による最新の結果もこの章で言及されている．

第３章「An Extension of the Curry-Howard Correspondence」はカリー・ハワード対応のひとつの拡張を与えたものである．カリー・ハワード対応とは型付きラムダ計算と論理とのある種の対応関係（型 τ が付いた閉項は論理式 τ を証明する証明図と見なせる，等）である．ハワード(1980)によるオリジナルの発見はラムダベータ計算と直観主義論理との対応であり，それ以降その拡張結果が次々と発見されている．特に直観主義論理よりも強い古典論理に対応する計算としてはパリゴ(1992)によるラムダミュー計算や古森(2013)によるラムダローー計算が知られている．

ラムダミュー計算やラムダローー計算では式の内側から外側へ飛び出すキャッチスローと呼ばれる計算制御を記述することができる．これはラムダベータ計算では記述できない構文である．第３章では「キャッチスローを実現するために対応する論理を古典論理にまで強める必要が本当にあるのだろうか」という疑問を提起し，それに解答を与えている．まずラムダローー計算の項の形を少しだけ制限した直観主義的ラムダローー計算と呼ばれる新しい計算体系を定義する．これはキャッチスロー構文をシミュレートできる．そしてこの体系のどんな閉項も型を変えずに閉ラムダベータ項に簡約できることを示す．これはこの体系に対応する論理がラムダベータ計算に対応する論理と同じであることを意味している．つまりラムダベータから直観主義的ラムダローへの体系の拡張は，計算能力を増やすが対応する論理は直観主義論理のまま変えないということである．この意味でこれはカリー・ハワード対応の非自明な拡張になっている．本章ではさらに直観主義的ラムダローー計算の簡約の強正規化性も示している．

以上をまとめると，本論文はラムダ計算の理論の基本定理（チャーチ・ロッサー性）に汎用的な新しい証明を与え，基本性質（カリー・ハワード対応）に本質的な拡張を与えたものであり，理学上貢献するところ大である．よって本論文は博士（理学）の学位論文として十分な価値があるものと認める．

注意：「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。