

学 位 審 査 報 告 書

(ふ り が な) 氏 名	ほしの なおひこ 星野 直彦
学位 (専攻分野)	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	理 博 第 号
学位授与の日付	平成 年 月 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研 究 科 ・ 専 攻	理学研究科 数学・数理解析 専攻
(学位論文題目) A Modified GoI Interpretation for a Linear Functional Programming Language and its Adequacy (線型関数型プログラミング言語に対する GoI 解釈の修正とその適切性)	
論 文 調 査 委 員	(主査) 長谷川 真 人 教授 中 島 啓 教授 照 井 一 成 准教授

理 学 研 究 科

(続紙 1)

京都大学	博士 (理学)	氏名	星野 直彦
論文題目	A Modified GoI Interpretation for a Linear Functional Programming Language and its Adequacy (線型関数型プログラミング言語に対する GoI 解釈の修正とその適切性)		
(論文内容の要旨)			
相互作用の幾何 (Geometry of Interaction, GoI) は、Girard によって 1980 年代後半に導入された、証明論、特に線形論理におけるカット (三段論法) の除去の意味論である。Curry-Howard 対応により論理式をデータ型に、また証明図をプログラムに読み替えると、GoI は、線形な関数型プログラミング言語の意味論と見なすことができる。意味論としては、表示的意味論、すなわち考察の対象となる証明図あるいはプログラムを抽象的な数学構造の間の写像 (一般には適切な圏の射) に対応させるものであるが、領域理論等に基づく古典的な表示的意味論と比べ、計算の操作的な実行の過程を強く反映させた意味論であり、構文論によらない操作的意味論の可能性を示唆するものとして、多くの研究者を惹きつけてきた。実際、GoI に基づいた抽象的なトークン機械およびその実装については、これまでも研究されてきた。 しかしながら、GoI と操作的意味論との間に成立する関係は、これまでほとんど調べられておらず、GoI が実際にプログラミング言語の操作的意味論にきちんと対応するものであるかどうか (adequate であるかどうか) も全く知られていなかった。本論文は、この自然かつ重要な問題に対し、決定的とも言える答えを与えるものである。具体的には、再帰プログラムを含む多相型線形関数型プログラミング言語の操作的意味論に対し、標準的な GoI による解釈は adequate ではないことを示し、さらに、adequacy を満たすよう修正された GoI 解釈を与えることに成功した。この結果によって、プログラミング言語の意味論としての GoI の基盤が、ようやく確かなものになったと言える。 この研究において重要な役割を果たすのは、実現可能性解釈 (realizability interpretation) の技法である。実現可能性解釈は、証明に、実現子 (realizer) と呼ばれる適切な combinatory algebra の要素を対応させることにより、論理体系の諸性質を示すために用いられる。本研究では、標準的な GoI 解釈から得られる (線形な) combinatory algebra を用いた実現可能性解釈を構成し、その実現子として adequate な GoI 解釈を抽出した。特に、実現可能性解釈で用いられる許容的な部分同値関係の圏がトレース付きモノイダル圏となっていることを示し、そのトレースから再帰プログラムの解釈を導いた。このように、実現可能性解釈を用いることにより adequate な GoI 解釈の修正を、見通しよく、システムティックに導出した手法は、他に類のない斬新なものであり、本研究の独創的かつ顕著な貢献である。			

(論文審査の結果の要旨)

本論文の研究は、プログラミング言語の理論・計算の意味論における基礎的かつ重要な貢献である。

Curry-Howard 対応に基づいて数理論理的な知見をプログラミング言語の理論に適用した研究は枚挙にいとまがない。また、抽象的な数学構造を用いてプログラミング言語の基本原理を調べる研究も、深く広くなされている。しかし、それらの大きな流れの中で、相互作用の幾何 (GoI) は、その注目度の高さにも関わらず、有効性や応用範囲がよく理解されているとは言い難い話題である。そもそも、GoI が、プログラムの振る舞いを本当に正確に捉えうるものであるかどうかという根本的な問題にさえ、これまで明確に答えられてはいなかった。本研究は、その状況を大きく変える決定的な解答を与えるものであり、技術的にも卓越した、画期的な仕事である。

本論文の主結果は、線形な多相型関数型プログラミング言語のプログラムの振る舞い（操作的意味論が定める観測同値性）を正確に捉える、adequate な GoI 解釈を与えたことである。上にも述べたように、これは GoI のプログラム意味論に対する adequacy に関するはじめての成果であり、この方面における現在最高の結果と言って差し支えないものである。今後、GoI のプログラミング言語の理論への応用については、本研究の結果がひとつの規範となっていくと考えられる。

結果のみならず、この adequate な GoI 解釈の導出及び証明も、実現可能性解釈の手法と、最近の圏論を用いたプログラム意味論の手法とを縦横に駆使した、非常にエレガントかつ見通しの良いものである。特に、実現可能性解釈をプログラム意味論の導出のために用いた着想は、他にほとんど例がない、独創的なものである。今後、本研究で培われた技法がプログラミング言語の理論の研究における強力な道具として広く使われることが、大いに期待できる。

このように、本論文の成果は、極めて重要かつ新しい内容を多く持つものであり、この分野の現時点での最良の成果であると同時に、今後の発展に大きく寄与することが期待される、大変意義深いものである。よって、本論文は博士（理学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 23 年 1 月 17 日論文内容とそれに関連した事項について口頭試問を行った。その結果合格と認めた。