

氏 名	なか た けい こ 中 田 景 子
学位(専攻分野)	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	理 博 第 3102 号
学位授与の日付	平 成 19 年 3 月 23 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 module system with applicative functors and recursive path references (作用的ファンクタとパスを用いての再帰的参照機構を持つモジュールシ テム)
論文調査委員	(主 査) 助教授 長谷川 真人 教 授 藤 重 悟 教 授 齋 藤 恭 司

論 文 内 容 の 要 旨

大規模なソフトウェアシステムを効率よく構築・検証・運用するためには、プログラムを、意味的なまとまりに応じたプログラム単位に的確に分割し、それらを明確なインターフェースによって組み上げていくことが重要である。多くのプログラミング言語が、そのプログラム単位を構造化するための、モジュール、クラス、パッケージなどと呼ばれる機構を備えている。そのなかで、プログラミング言語 ML は、モジュールの入れ子によるプログラムの階層的な構造化、パラメータ付のモジュール（ファンクタ）によるコード再利用の促進、そしてモジュールの仕様を定めるシグネチャによる柔軟な運用を可能とする、非常に強力なモジュールシステムをそなえている。ML モジュールシステムの堅牢な設計と優れた機能は、現在実用に供されているモジュールシステムのなかで最も完成度の高いもののひとつといえる。

しかし、ML モジュールシステムでは、相互再帰的なモジュール定義を許さない。すなわち、お互いに依存しあう型やプログラムを、異なるモジュールに分割して記述することができない。再帰は、現実のプログラムにごく自然に生じる構造であり、この制限は、プログラミングの現場で ML 言語を使用する際の、大きな障害となっている。本研究では、この問題に対する解決策として、再帰構造によって拡張された ML モジュールシステムを提案する。具体的には、作用的ファンクタを備えた ML モジュールシステムを、再帰モジュールを許すように拡張し、また、それに対して決定可能かつ健全な型システムを与える。

ML モジュールシステムでは、モジュール内で定義された資源は、その資源へのパスを指定することで参照される。本提案では、暗黙に型付けられたセルフ変数を宣言し、さらにセルフ変数をパスの構成子に用いることで、モジュール間の相互再帰的な参照を可能にする。また、パスを用いた型やモジュール名の付け替え、作用的ファンクタ、再帰的参照の組み合わせにより、循環的に依存しあった型定義が表現できるようになる。その一方、型判定が決定可能な型システムを与えるためには、潜在的な循環型定義を静的にチェックし、排除する必要がある。そのために、本研究では、パスの参照を解決するアルゴリズムを与え、その停止性を証明する。また、この新しい型システムで型付けされたプログラムが値呼び操作的意味論に対して予期せぬエラーを起こさないこと、すなわち型システムが健全であることを証明する。

論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

本研究は、プログラミング言語の理論およびプログラミング言語の設計に関する基礎的な貢献である。プログラムを適切な意味単位に分割することは、大規模なソフトウェアシステムの設計において大変重要である。その構造化の仕組みとして、モジュール、クラスなど様々な枠組みが考案され、実際に使用されてきた。そのなかでもっとも堅牢な理論的基礎に基づいて設計され、完成度が高いものが ML 系プログラミング言語のモジュールシステムとその静的な型システムである。

しかしながら、ML モジュールシステムは、モジュールの間の相互再帰的な参照ができないという重大な制約をもっている。本研究は、この、再帰モジュールの問題を、ML モジュールの利点を損なうことなく解決しようというものであり、

ML モジュールシステムの拡張と、それを支える基礎理論的考察からなるものである。

本研究のシステムでは、モジュール間の相互参照は、セルフ変数を用いて行われるように拡張されている。この拡張により、型判定を行ううえで望ましくない循環的な型定義がおこる可能性が生じるが、本研究では、パスの参照を解決するためのアルゴリズムを与え、またその停止性を証明することで、この問題に対処した。すなわち、従来は型判定の制約のためにあきらめられていた有用なプログラムを、扱うことができるようになった。そして、新しい型システムによって型付けられたプログラムが正常に動作すること、すなわち型システムの健全性を証明した。

これらの証明においては、従来の型理論の成果に加え、項書き換え系の理論の成果が柔軟に活用されており、本研究は、確固たる基礎理論の土台のうえで、実際的なプログラミング言語の問題を解決した好例であるといえる。

中田氏の学位申請は、すでに出版された共著論文 2 本に基づいているが、いずれも中田氏が中心になって遂行・執筆したものであり、学位申請論文として申し分ないものである。これらの論文は、すでに当分野の研究者たちにより高く評価されつつある。また、同時に提出された書下ろしの thesis は、複雑な証明の詳細まで精密に記述した、中田氏の力量がよく反映されたものであり、上述の出版論文とあわせ、今後のプログラミング言語設計に、広範な影響を与えることが期待される。

以上の理由により、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、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。