

科学研究費補助金研究成果報告書

平成 24 年 4 月 11 日現在

機関番号：14301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2009～2011

課題番号：21700013

研究課題名(和文)

二階存在量化子をもつ計算体系

研究課題名(英文)

Calculi with Second-Order Existential Quantifier

研究代表者

中澤巧爾(NAKAZAWA KOJI)

京都大学大学院情報学研究科・助教

研究者番号：80362581

研究成果の概要(和文)：

本研究では、二階存在量化子をもつ計算体系について、とくにプログラムが部分的な型情報を持つ形式の型付ラムダ計算の体系において、その型付可能性に対する決定問題に関する以下の結果を得た。(1)プログラムが部分的な型情報を持つ形式において、多相型に関する型検査問題・型推論問題が存在型に関する型検査問題・型推論問題にチューリング還元可能であることを示し、これらの問題の決定不能性を証明した。(2)ドメインフリーと呼ばれる形式化において、二階存在型を含むいくつかの断片において型検査問題と型付可能性問題がチューリング同値であることを証明した。これにより、存在型をもつドメインフリーラムダ計算の型付可能性問題の決定不能性に対する別証を得た。(3)さらにドメインフリー形式において二階存在型をもつ体系における型検査・型付可能性問題が、多相型をもつ体系における型検査・型付可能性問題と、それぞれチューリング同値であることを証明した。

研究成果の概要(英文)：

We have got the following results on some type-related decision problems of calculi with second-order existential types: (1) for some typed lambda calculi where programs contain only partial type information, we have proved that type-checking and typability problems on polymorphic types are Turing reducible to those on existential types, and we have shown that those problems on existential types are undecidable, (2) we have proved the Turing equivalence between type-checking and typability problems in some fragments with existential type, and we have got new proofs of undecidability of typability in the domain-free lambda calculi with existential types, and (3) we have proved the Turing equivalence between the type-related problems in domain-free calculi with existential types and those in domain-free calculi with polymorphic types.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	900,000	270,000	1,170,000
2010年度	700,000	210,000	910,000
2011年度	660,170	210,000	870,170
年度			
年度			
総計	2,260,170	690,000	2,950,170

研究分野：

科研費の分科・細目：情報学・情報学基礎

キーワード：型理論、ラムダ計算、存在型、型検査、決定可能性

1. 研究開始当初の背景

プログラムの整合性を検査する型システムにおいて、与えられたプログラムが型を持つか否かを決定する問題は古くから重要視され、広く研究されている。単純型のみをもつラムダ計算や、限定された形での多相型をもつ体系における型検査問題は決定可能であり、実際のプログラミング言語における自動型検査や型推論機構として実用化されている。一方、制限のない多相型をもつ体系における型検査問題は決定不能であることが Wells や藤田らによって証明されている。しかし、抽象データ型を表現する存在型に対する型検査問題については、本研究代表者自身がドメインフリー形式における存在型をもつラムダ計算における型検査問題が決定不能であることを証明していた以外、まだあまり調べられていなかった。

2. 研究の目的

そこで本研究では、抽象データ型を含むようなプログラミング言語における型検査・型推論の自動化に向けて、存在型を含むラムダ計算における型検査問題の決定可能性について調査することを目的とする。また、各体系における型検査問題が、決定可能性の意味でどのくらい難しい問題であるか、を明らかにすることを目的とする。

本研究代表者は既にドメインフリー形式の多相型をもつラムダ計算における型検査問題は、ドメインフリー形式の存在型をもつラムダ計算における型検査問題にチューリング還元可能である、すなわち、計算可能関数によって帰着可能であることを証明し、これにより、存在型に関する型検査問題が決定不能であることを示している。一方、プログラムがすべての型情報を保持するチャーチ形式において、これらの問題が決定可能であることは容易に確かめられる。本研究では型検査問題を決定不能にする要因と限界を確かめるために、ドメインフリー形式やチャーチ形式以外の形式化における型検査問題について調査する。

ドメインフリー形式における多相型に関する型検査問題から存在型に関する型検査問題への還元には、継続渡し形式変換 (CPS 変換) と呼ばれるプログラム変換のアイデアを利用している。CPS 変換によるチューリング還元可能性証明手法が他の形式や問題

に対しても適用可能であるかを調べる。

3. 研究の方法

多相型や存在型を含むラムダ計算においては、プログラムがどのくらい型情報を含むか、によっていくつかの形式化が考えられる。例えばプログラムがすべての型情報を含むチャーチ形式においては、存在型に関する型付可能性問題が決定可能であることは容易に確かめられる。

本研究では、プログラムが限定的に型情報を含むような形式化において、二階量子型を含むラムダ計算のいくつかの断片での型検査に関する決定問題を考察する。本研究で考察する形式としては、プログラムが二階量子に関する型規則の情報を含むが関数の引数型の情報は含まない (ドメインフリー形式)、複数の量子型規則の適用を一度に行えるような形式、量子型規則の適用情報を含むが具体的な型情報を含まない (タイプフリー形式) などが考えられる。このような中間的な型情報を持つ体系を考察することにより、型検査の決定可能性の限界を明らかにする。

型検査に関する問題としては主に、与えられたプログラムが与えられた型を持つか否かを決定する型検査問題と、与えられたプログラムが何らかの型を持つか否かを決定する型付可能性問題を考える。

4. 研究成果

本研究では主に以下の成果を得た。

(1) ドメインフリー形式の、存在型・関数型をもつラムダ計算、および、存在型・継続型・組型をもつラムダ計算のそれぞれにおいて、型検査問題と型付可能性問題がチューリング還元可能性の意味で互いに同値 (チューリング同値) であることを示した。

(2) ドメインフリー形式の、多相型と関数型をもつラムダ計算における型検査問題が型推論問題にチューリング還元可能であることを示し、さらにこれにより、同体系の型推論問題が決定不能であることを証明した。これにより、ドメインフリー形式における存在型に関する型推論問題の決定不能性に対する別証を与えた。

(3) ドメインフリー形式の、多相型と関数型をもつラムダ計算における型検査問題と、存在型と関数型をもつラムダ計算における型検査問題が互いにチューリング同値であることを示した。また、二つの体系における型推論問題も互いにチューリング同値であることを示した。この結果は、存在型を含む体系から多相型を含む体系への継続渡し形式変換(CPS変換)を定義し、この変換を通して、存在型における型検査・型推論問題を、多相型における同値な型検査・型推論問題に帰着できることを示すことによって証明した。

(4) ドメインフリーとは別の形式として、複数の量化を一度に適用できる形式において、多相型に関する型検査問題が決定不能であることを証明した。さらに、多相型の問題が存在型の問題にチューリング還元可能であることを示し、この形式における存在型の型検査問題が決定不能であることを証明した。

(5) さらに別形式として、プログラムが、二階量化子型に関する型規則の適用の情報のみを含み、具体的な型情報を含まないような、タイプフリー形式において、多相型の型検査問題が存在型の型検査問題にチューリング還元可能であることを示した。その後、藤田らによってタイプフリー形式の多相型に関する型検査問題が決定不能であることが証明され、この結果と合わせて、タイプフリー形式の存在型に関する型検査問題が決定不能であることが証明された。

(6) 同様に、多相型・関数型をもつ体系と、存在型・継続型・組型をもつ体系における型検査問題のチューリング同値性を証明した。この結果は、(2)から(5)と同様にCPS変換のアイデアを利用して証明されるが、単純な応用では証明できないため、適当な型定数を導入することによってCPS変換の前後で型の対応を明確化することによって証明している。しかしこの手法は型推論問題の同値性証明には利用できず、これらの体系間での型推論問題のチューリング同値性はこの証明手法の単純な応用では解決せず、未解決である。

(7) ドメインフリー形式、複数量化を許す形式、タイプフリー形式において、CPS変換が型検査問題のチューリング還元可能性に有用であるという知見を得た。この目的でCPS変換を利用するためには、型導出の情報なしでプログラムのみに対して変換が定義されなければいけないが、これらの形式ではプログラムに付記されている型情報のみによって、型付け可能性を保存するCPS変換が定義できる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計3件)

[1] Koji Nakazawa, Makoto Tatsuta, Yuki Yoshi Kameyama, and Hiroshi Nakano. Type checking and typability in domain-free lambda calculi. *Theoretical Computer Science*, 412(44): 6193-6207, 2011.

[2] Yuki Kato and Koji Nakazawa. Type checking and inference are equivalent in lambda calculi with existential types. In Santiago Escobar, ed., 18th International Workshop on Functional and (Constraint) Logic Programming (WFLP 2009), Revised Selected Papers, Lecture Notes in Computer Science 5979, pp.96-110, 2010.

[3] Koji Nakazawa and Makoto Tatsuta. Type checking and inference for polymorphic and existential types in multiple-quantifier and type-free systems. *Chicago Journal of Theoretical Computer Science*, Special Issue: Selected papers from 2009 Computing: The Australasian Theory Symposium (CATS2009), Article 7, 2010.

[学会発表] (計2件)

[4] 加藤祐輝, 中澤巧爾. 多相型と存在型に対する型検査問題の同値性. 第13回プログラミングおよびプログラミング言語ワークショップ(PPL 2011), ポスター発表, 札幌, 2011.

[5] Yuki Kato and Koji Nakazawa. Type checking and inference are equivalent in lambda calculi with existential types. 18th International Workshop on Functional and (Constraint) Logic Programming (WFLP 2009), Brasilia, Brazil, 2009.

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

[その他]

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中澤巧爾 (NAKAZAWA KOJI)
京都大学大学院情報学研究科・助教
研究者番号：80362581

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者