

## 論文内容の要旨

博士論文題目    Complexity of the Type-Consistency Problem  
in Object-Oriented Databases  
(オブジェクト指向データベースにおける  
型検査問題の計算量)

氏名            清水将吾

(論文内容の要旨)

オブジェクト指向プログラミング言語の本質的な特徴の一つとして、メソッド呼出し機構が挙げられる。この機構は、クラス階層に沿った継承によるメソッドの多重定義と動的束縛に基づいている。多重定義により、あるメソッド名  $m$  に対して、複数のクラスが  $m$  の異なった定義をもつことができる。オブジェクト  $o$  に対して  $m$  が呼び出されたとき、 $o$  が属するクラスに従って  $m$  の定義のうちの一つが選択され、実行時に  $m$  に束縛される。この機構は、データのカプセル化やコードの再利用のために重要なものであるが、実行時に型エラー（例えば、 $m$  に束縛すべき定義が存在しない場合など）が起こる危険性がある。特に、オブジェクト指向データベースの問合せの場合は、実行時に型エラーが起こると、ロールバックを行う必要がある。

本論文はオブジェクト指向データベースの問合せに対する型検査問題の計算量について議論している。データベーススキーマ  $S$  が、どんなデータベースインスタンスのもとでも問合せの実行中に型エラーが起こらないならば、 $S$  は型整合性をもつと言う。オブジェクト指向データベーススキーマのモデルとしては、更新スキーマと呼ばれるモデルを採用する。更新スキーマに対する型検査問題は、一般には決定不能であることが知られている。更に、以下のような更新スキーマの部分クラスに対する型検査問題の計算量の結果が知られている。(1) クラス階層の高さが0のとき、多項式時間可解、(2) クラス階層の高さがたかだか1であっても、決定不能、(3) 停止性を満たし、かつメソッド定義中に更新操作がないとき、多項式時間可解、(4) メソッド定義中に再帰がないとき、co非決定性指数時間完全。

本論文では、まず、停止性を満たすスキーマおよびメソッド定義中に更新操作がないスキーマに対する型検査問題が両方とも決定不能であることを示す。これらの結果により、再帰、(スキーマが停止性を満たす場合には)更新操作、およびクラス階層があることがそれぞれ型検査問題を難しくする要因であることが分かった。

更に、本論文では型検査問題が決定可能となる更新スキーマの部分クラスとして、無閉路スキーマと呼ばれる部分クラスを提案する。無閉路スキーマとはどんなデータベースインスタンスにもオブジェクト間の属性-属性値関係による閉路が存在しないようなスキーマである。本論文では、無閉路スキーマに対する以下の型検査問題の結果を示す。(1) 無閉路スキーマに対する型検査問題は co非決定性指数時間可解、(2) 無閉路スキーマが再帰を含まないとき、co非決定性指数時間困難、(3) 無閉路スキーマが更新操作を含まないとき、PSPACE 完全。

## (論文審査結果の要旨)

型検査は、オブジェクト指向プログラムの（型に関する）安全性を保証する、非常に重要な技術である。また、型検査はプログラムの静的解析技術として最も基本的なものであり、応用範囲も広い。オブジェクト指向データベース（OODB）における型検査問題は、関数型プログラミング言語に基づく OODB スキーマモデルと手続き型プログラミング言語に基づく OODB スキーマモデルの両方に関して、いくつかの OODB スキーマの部分クラスに対する計算量が示されている。本論文は、手続き型プログラミング言語に基づく OODB スキーマモデルに関して、計算量が未知であった部分クラスに対する型検査問題の計算量の解析を行っている。本論文の主な成果は次のように要約される。

(1) 型検査問題の計算量が未知であった、(a) 停止性を満たすスキーマ、および (b) メソッド定義中に更新操作がないスキーマに対して、その結果がともに決定不能となることを示している。これにより、既知の結果と加えて、再帰、(スキーマが停止性を満たす場合には) 更新操作、およびクラス階層があることがそれぞれ型検査問題を難しくする要因であることが明らかになった。

(2) 型検査問題が決定可能となる OODB スキーマの部分クラスとして、無閉路スキーマと呼ばれる部分クラスを新たに提案し、この部分クラスに対する型検査問題の計算量の解析を行っている。具体的には、(a) 一般の無閉路スキーマに対しては co 非決定性指数時間可解、(b) メソッド定義中に再帰を含まない無閉路スキーマに対しては co 非決定性指数時間困難、(c) メソッド定義中に更新操作を含まない無閉路スキーマに対しては PSPACE 完全であることを示している。

以上のように、本論文は、オブジェクト指向データベースにおける型検査問題の計算量に関して形式的な議論を行うことにより、型検査問題の難しさの本質的な要因を明らかにしたものである。オブジェクト指向データベース理論の分野において、学術上、実用上寄与するところが多い。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として十分に価値のあるものと認める。