

分散処理・並行計算に関する基礎理論 とソフトウェアの効率的な構築法

富樫 敦 (静岡大学 情報学部 教授)

togashi@cs.inf.shizuoka.ac.jp

石田 (寛) 記念財団より助成をいただき、推進した研究テーマ「帰納推論による代数的並行プロセスの自動生成に関する研究」はその後、並行分散処理に関する基礎理論と効果的なソフトウェアに関する研究に発展し、以下のような研究成果を得ている。

[分散処理・並行計算に関する基礎理論]

本研究の目的は、「高階並行プロセス計算モデル」を構築し、その動作の意味論に関する基礎理論を確立すること、および、以上に基づいたプログラミング言語を開発し、実践を通して本モデルと基礎理論の妥当性を実証することである。本研究では、以下の項目に関して以下の成果を得た。

(1) **高階並行プロセス計算モデル:** 高度な計算パラダイムを有する並行システムを記述・解析するための高階プロセス計算モデルを構築した。このモデルは、それぞれ研究項目 (2), (3) で展開する数学的議論とプログラミング言語のベースモデルとなる。

(2) **動作の意味に関する数学的基礎理論:** (a) **双模倣の概念による等価性:** 第2階の λ 計算などに適用された適用双模倣性に基づいた等価性について検討し、高階プロセスの動作の意味を十分に反映した等価性の理論を与えた。(b) **高階様相論理体系とモデルチェッキング:** 高階論理を用いた高階プロセスの記述に適した証明システムを提案し、その健全性・完全性などの諸性質や、(a) で与えた等価性との関係に関する特性化定理を与えた。また、タブロー法などのテクニックを用いたモデルチェッキング法の可能性を模索した。その場合計算可能性を考慮し、プロセスに妥当な制限を与え、ベース論理の1階論理への帰着可能性を示すことが重要となった。(c) **多相タイプシステム:** 高階システムに適したタイプ原理と具体的な多相タイプシステムを与えた。タイプシステムは、静的解析に用いられる他、高階プロセス計算の体系を与える際にも重要となった。(d) **等価性の公理化:** より現実世界のモデルに制限した場合の公理化の可能性について検討した。

(3) **高階並行プログラミング言語の開発:** 上記の成果により、(1)のモデルに基づいた高階並行プログラミング言語を設計し、スパークステーション上

にその処理系を試作した。また、プログラミング言語を実際の問題に適用しその成果を検討することによって、本モデルと理論の実用性の面での妥当性を実証した。

[ソフトウェアの効率的な構築法]

情報処理システムは、その果たす機能と大域的あるいは局所的制約によって記述できること；個々の機能はその機能を実行するための局所的な前提条件、入力、出力、実行後の条件によって記述できること；モジュール化、抽象化、段階的詳細化や階層化も第2階様相述語論理の制約論理式として記述できることに注目し、この項目では、簡単化のため第2階様相述語論理に基づいた発展可能ソフトウェアの新しい要求記述法と、その状態遷移システムによる形式仕様の自動生成に関する基礎理論を展開しつつあり、現在そのための支援システムを開発中である。具体的には、システム要求記述を機能の局所的な性質を記述した論理式として定式化する。また、システム要求の意味は健全でかつ完全な遷移システム (標準モデル) であるという意味論を提案し、その妥当性を理論的かつ実際の側面から議論した。この標準モデルがシステムの形式仕様であり、システム要求の実現である。この意味論は、論理ベトリネットを用いても特性化できることを示した。これは、研究項目 (2) と密接に関連する。さらに、複雑な大規模システムの要求記述と仕様化に対処するため、制約によるモジュール化技法、論理ベースの抽象化と階層的詳細化などを研究し、状態爆発と複雑さの問題を部分的に解決した。以上の基礎研究を踏まえ、システム要求記述言語を設計し、システム要求の意味でありかつそれ自身がシステムの形式仕様である「状態遷移システム」を効率よく生成するための理論と実際の導出法を与えた。

命題論理に基づいた記述法については既に研究成果を得ていたが、実用性と適用性の範囲を考慮すると、命題論理は余りにも記述能力が低い。しかし、単純に第2階の様相論理に拡張したのでは、計算可能性や効率の点で問題が生じる。そこで、本研究では、一挙に第2階様相述語論理までレベルアップしたことによる問題の他、ソフトウェアの要求記述、仕様化に柔軟に対処するため、以下の点を考慮した要求記述法並びに記述言語の設計とその意味論に基づいた状態遷移システムベースの形式仕様に変換する手法を与え、ワークステーション上に SICtus Prolog を用いて仕様合成システムを開発している。