

氏 名	田 辺 誠
学位(専攻分野)	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	理 博 第 2011 号
学位授与の日付	平成 11 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	Timed Petri Nets and Temporal Linear Logic (時間ペトリネットと時相線型論理)
	(主査)
論 文 調 査 委 員	教 授 中 島 玲 二 教 授 高 橋 陽 一 郎 助 教 授 大 堀 淳

論 文 内 容 の 要 旨

コンピューターサイエンスの研究においては古典論理や直観主義論理などの標準の論理体系にさまざまな拡張のほどこされた論理体系を用い、計算系の特徴に応じた仕様記述や検証などが行われている。時相論理と線型論理はこれらの代表的な例である。時相論理は、時間の経過にともなって命題の真偽値が変化する状況を扱う体系であり、ある命題が常に真である、あるいは、ある命題がいつか真になる、などの表現を行うことができる。リアクティブシステムの設計時の仕様記述や検証に用いられ、システムの安全性や応答性を保証するために利用されている。

線型論理は、ある証明によって得られた論理式が別の証明の前提としてちょうど一度しか使われないように構築された体系であり、計算における資源の概念を扱うことができる。また、並列計算モデルの一つであるペトリネットを健全なモデルとして持ち、ペトリネットの状態遷移に関する推論に応用できることが知られている。

一方、時間制約をとまなう並列計算のモデルに時間ペトリネットがある。これは、ペトリネットの状態遷移に時間制約を付加することによって得られる体系である。ところが、この時間ペトリネットの性質について十分満足に推論を行える論理体系はこれまで存在しなかった。これは、資源と時間の双方に関する推論を行える体系がなかったためである。

本論文では、資源の概念と時間の概念の双方を同時に扱う論理体系として、時相線型論理を構築した。これは、資源に関する記述を扱う線型論理の体系と、時間に関する記述を扱う時相論理の体系とを融合することによって得られるものである。時相線型論理の論理式は、時間に関する様相子を線型論理の論理式に付加することによって得られる。この様相子自身も線型論理の論理式によって表される。これは、この体系において、時間も資源の一種として扱われていることを意味している。また、時相線型論理の推論規則を、線型論理を基にして構築した。

次に、時相線型論理体系の解釈を与える代数構造を定義した。線型論理体系の解釈の一つとして、quantaleと呼ばれる代数構造によるものが知られている。これは、線型論理における証明可能性を、quantaleの要素間の関係に結びつけるものである。本論文では、この対応関係を拡張し、時間の構造をあらわすモノイドが資源の構造を表すモノイドに作用する構造を時間モノイドとして定義した。この対応関係の健全性を証明することにより、時相線型論理の体系が正当な意味を持つことが示された。

さらに、時間ペトリネットの状態遷移関係から時間モノイドを構築することにより、時相線型論理と時間ペトリネットとの対応関係を与えた。これにより、時相線型論理の証明可能性が、時間ペトリネットのある状態への遷移可能性を保証するものであることが示され、時間ペトリネットの性質に関する推論に時相線型論理が応用できることがわかる。いくつかの応用例を与えることにより、推論の有用性に関する検証を行った。

論文審査の結果の要旨

これまでの研究では、資源に関する記述を行うための論理体系である線型論理や、時間の経過に伴う命題の真偽値の変化を扱うための論理体系である時相論理が存在していたが、これらを統合した論理体系に関する研究はまだ十分には行われていなかった。

申請論文では、時間および資源の双方に関する記述を可能とする論理体系として、時相線型論理が提案された。まず、時相線型論理式が、線型論理式に時間の経過をあらわす様相結合子を付加することによって与えられ、この論理式を証明するための推論規則が定義される。次に、これらの規則が矛盾のないものであることを示すために、推論体系のモデルとなる代数構造が構築され、このモデルに関する健全性定理が証明されている。さらに、時間ペトリネットの状態遷移を時相線型論理のモデルに関連づけることにより、時相線型論理の体系を時間ペトリネットの性質の推論へ応用することの可能性を示唆している。特に、ペトリネットは外部による不可避的な選択と内部による自由な選択の区別が不可能であるが、時間ペトリネットの遷移を行う時間の選択については、二種類の様相子によりこれらの区別を可能としている。

申請論文には、二つの独自の着想が見られる。一つは時間が資源に作用することにより、その性質を変化させるという、計算における時間の概念の現れ方に関する見方である。この着想は、論理体系のモデルとなる代数構造において、時間構造を表すモノイド構造が資源を表すモノイド構造に作用するものとして数学的に定式化されることにより、反映されている。

もう一つは、時間そのものもまた資源とみなされるという着想であり、これは、時相線型論理式の様相子に現れる時間記述が線型論理式によるものであること、時間構造のモデルを線型論理のモデルであるモノイド構造として定義していることに反映されている。

申請論文では、これらの独自の着想を時相線型論理体系として構築し、その推論規則を与えた。また、この着想に基づく代数構造を厳密に定式化し、数学的な性質を証明した。さらに、これが時相線型論理体系の健全なモデルとなることを示した。このように、申請者は計算体系に関する独自の着想を持ち、さらにこれを数学的に定式化する能力を持つ。また研究成果も国内外の会議や雑誌で公表済みもしくは公表予定であることから、非常に高い水準のものであるといえる。以上のことから、申請者の研究能力は非常に高いものと判断された。

以上のような理由により本論文は博士学位論文として価値のあるものと認められた。平成11年1月29日論文内容とそれに関連した口頭試問を行なった結果合格と認めた。