

京都大学	博士（理 学）	氏 名	柳澤 名由太
論文題目	Wait-free Solvability of Colorless Tasks in Anonymous Shared-memory Model		
(論文内容の要旨)			
本論文のテーマは、分散計算の組合せトポロジー論に基づく、共有メモリ匿名分散タスクの無待機可解性の特徴付けである。 複数のプロセスが協調して計算を行う分散システムは、非同期性 (各計算プロセスの相対的な実行速度はまちまちでありかつ常に変化する) および耐故障性 (一部のプロセスが実行途中で突然故障しても残りのプロセスで計算を正しく続行できる) に起因する非決定性のため、逐次的もしくは並列計算システムと比べてずっと取り扱いが困難である。耐故障性に関しては、$n + 1$ 個のプロセスからなるシステムにおいて最大 n 個のプロセスが故障で停止した場合でも正しく計算を続行できる、無待機性が分散計算の研究では特に重要であるとされている。 分散計算の組合せトポロジー論は比較的新しい研究分野であり、非決定性がもたらす組合せ的複雑さをトポロジー概念に抽象化して帰着することにより、分散システムの可解性の議論を可能にする強力な手法である。共有メモリ分散システムにおける無待機可解性の組合せトポロジー的特徴づけは、彩色タスクについては Herlihy と Shavit によって、非彩色タスクについては Herlihy と Rajsbaum によってそれぞれ明らかにされており、これらは共有メモリ分散システムの理解に大きく貢献してきた。 上記の研究はしかしながら、顕名プロセス (固有の識別子を持ちお互いを識別可能なプロセス) からなる分散システムを研究の対象としている。本論文ではこれらと異なり、匿名プロセス (識別子を持たずお互いを識別不可能なプロセス) からなる共有メモリ分散システムを扱っている。組合せトポロジー的特徴づけにおいては全情報プロトコル (full-information protocol) の構成が要となる。顕名システムでは、識別子でインデックスされた共有データ構造である immediate snapshot object を利用してこれを達成することができるのだが、識別子を用いることができない匿名システムでは同じ構成を用いることはできない。 本論文では識別子を用いずに全情報プロトコルを構成するため、識別子ではなく、書き込むデータそのものによってインデックスされた共有データ構造として atomic weak set object の使用を提案している。ただし、ごく単純に書き込むデータそのものによってインデックスするとあまりに共有メモリの使用効率が悪いので、これを改善するために既存の 2 値 value-splitter network の仕組みを拡張して 3 値 value-splitter network を考案し、これを用いて効率の良い atomic weak set object を実現している。この atomic weak set object の空間複雑性が、システムを構成するプロセス数のみに依存し、$(4\sqrt{2} + o(1))n^2$ であることを証明している。			

上記全情報プロトコルの構成により、顕名システムにおける場合と同様にして、共有メモリ匿名分散モデルにおける非彩色タスクの無待機可解性の組合せトポロジ的特徴づけを与えることに成功した。しかも、この特徴付けの条件は共有メモリ顕名分散モデルの非彩色タスクの特徴づけと全く同じであることがわかった。このことは、顕名と匿名の違い、すなわちプロセスの識別子の有無は少なくとも非彩色タスクに関する限りは分散システムの計算能力に影響しないという結論を示しており、大変興味深い結果である。

(論文審査の結果の要旨)

本論文で研究されている、共有メモリ匿名分散タスクの無待機可解性の組合せトポロジー的手法による特徴付けは、従来の類似研究のほとんどで前提とされてきたプロセスの顕名性の枠組みを超えて、匿名プロセスからなる分散システムの無待機可解性についての知見を与えるもので大変意義深い。

また、本論文の主要定理である無待機可解性の特徴付けはそれ自身非常に興味深い結果であるが、これから導き出される、非彩色タスクに関する限りはプロセスの顕名・匿名の違いは分散システムの計算能力に影響しないという事実は、匿名分散システムと顕名分散システムの関係について重要な知見を与える意義深い結果である。主要定理を導く技術の核となる部分は、atomic weak set object による共有データ構造の実現である。この構成は、プロセスが書き込むデータをプロセス識別子ではなく書き込むデータそのものによってインデックスするという素朴な着想から発しているが、この着想を単純に適用するだけでは満足せず、よりよいメモリ使用効率を目指して既存の value-splitter network の仕組みを拡張し、その空間複雑性を特定することにより、より深化された結論に達している。

これらの成果は、既存の技法や研究成果を本論文独自の新規成果とが巧みに組み合わせられて達成されており、当該分野に関する深い理解なしには到達できないものである。また、関連する既存技法や研究についてもよく論文中に記述されていることから、柳澤氏がこの研究成果に到達するために関連研究について徹底的かつ丁寧に調査を行ったことを窺い知ることができる。

論文には、上記の技術的貢献とそれから導かれる知見が筋道よく明瞭に記述されており、よく構成されている。また、本論文がもたらす知見は将来の同分野の発展に貢献することが期待される。

以上より、同論文は博士論文として認定するに相応しいものとの結論に至った。