

氏名	ます 増 やま 山 ひろ 博 ゆき 之
学位の種類	博士 (情報学)
学位記番号	情博第93号
学位授与の日付	平成16年1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	情報学研究科数理工学専攻
学位論文題目	Studies on Algorithmic Analysis of Queues with Batch Markovian Arrival Streams (マルコフ型集団到着流を持つ待ち行列のアルゴリズム的解析に関する研究)
論文調査委員	(主査) 教授 福嶋 雅夫 教授 高橋 豊 助教授 滝根 哲哉

### 論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、マルコフ型集団到着流を入力とする様々な待ち行列モデルにおける性能指標を計算するための数値的に安定した計算アルゴリズムを、モデルに内在する確率的構造を利用して構築するという、アルゴリズム的解析に関する研究成果をまとめたものであり、6章から成っている。

第1章は序論であり、本論文で考察する待ち行列モデルの入力となるマルコフ型集団到着流の概要を述べ、従来考察されてきた待ち行列モデルと密接に関連する離散時間および連続時間の2変数マルコフ連鎖に対する標準的なアルゴリズム的解析の概要と複数の到着流を収容する待ち行列モデルに関する既知の結果を纏めている。

第2章では、先着順単一サーバ待ち行列モデルにおける系内客数分布のアルゴリズム的解析が行われている。前半では、系内仕事量と系内客数との関係に注目した、従来とは異なる新しいアプローチによって系内客数分布が満たす再帰式を導出している。後半では、この再帰式に基づいた結合系内客数分布を計算するアルゴリズムを提案している。この数値計算アルゴリズムは、最終結果への貢献が小さい要素の計算を効率よく省くことによって、精度を保ちつつ計算時間及び記憶容量といった計算コストを抑えるアイデアが組み込まれており、大規模なモデルに対しても計算が可能となっている。

第3章では、サービスの中断がある先着順単一サーバ待ち行列モデルに対するアルゴリズム的解析が行われている。考察対象のモデルは、到着過程やサーバのon-off過程における個々の相関のみならず、その両者間の相関をも表現可能であり、従来考察されてきたサービスの中断がある先着順単一サーバ待ち行列の大半を特別な場合として含む非常に一般的なものである。ここでは、サーバの状態がonである時だけシステムを観察して得られる系内客数過程が、第2章で考察された待ち行列モデルにおける系内客数過程と本質的に同じ確率過程に帰着されることに着目し、系内客数分布の数値計算アルゴリズムを構築している。

第4章では、無限サーバ待ち行列モデルの系内客数分布に対するアルゴリズム的解析が行われている。一旦系内に収容された客は独立に振る舞うという無限サーバ待ち行列モデルに特有の性質を巧みに利用することによって、系内客数分布ならびにその階乗積率が満たす連立線形微分方程式が導出されている。この結果、汎用的な数値計算アルゴリズムを用いることで、系内客数分布及びその階乗積率の計算が可能である。さらにサービス時間分布が位相型であるという仮定の下で、系内客数分布の二項積率の過渡解及び極限分布に対して、従来のアルゴリズム的解析が適用可能な陽表現が導出されている。

第5章では、マルコフ型集団到着流が1本であり、かつ、指数サービスを持つプロセッサシェアリング待ち行列モデルにおける系内滞在時間分布に対するアルゴリズム的解析が行われている。このモデルでは系内滞在時間がある特殊な構造をもつ吸収マルコフ連鎖における初到達時間として表現される点に着目して、数値的に安定、かつ、計算結果の精度をあらかじめ設定可能な計算アルゴリズムが構築されている。

第6章は結論であり、本論文のまとめと今後の展望が述べられている。

## 論文審査の結果の要旨

本論文は、マルコフ型集団到着流を入力とする応用上重要な様々な待ち行列モデルに対するアルゴリズム的解析に関する研究をまとめたものであり、得られた主な結果は次の通りである。

1. 先着順サービスモデルは応用上極めて重要であるにも関わらず、到着とサービス時間が相関をもつ場合、系内客数過程は非常に複雑なマルコフ連鎖となるため、その解析は極めて困難であると考えられてきた。申請者は、系内仕事量と系内客数との関係に着目することによりこの困難を克服し、結合系内客数分布に対する数値的に安定な計算アルゴリズムの構築に成功した。さらに、提案されたアルゴリズムには計算コストを抑える幾つかの新しいアイデアが組み込まれており、この結果、計算コストを最大で数千分の1に抑えることに成功している。

2. 従来研究されてきたサービスの中断がある先着順単一サーバ待ち行列モデルの大半を特別な場合として含む、非常に一般的なモデルに対して、待ち時間分布ならびに結合系内客数分布を計算する数値的に安定なアルゴリズムを構築した。実際のシステムでは故障等によりサービスが中断される場合が多く見られるが、そのような状況を考慮した待ち行列モデルはその解析的取り扱いが困難なため、従来は比較的単純なモデルしか考察されていなかった。この研究成果により、評価可能なモデルの範囲が大きく広がったことに意義がある。

3. 非常に一般的なマルコフ型到着流を収容する無限サーバ待ち行列モデルを解析し、時間依存系内客数分布が満たす連立線形微分方程式を得ると共に、サービス時間が位相型分布に従う場合、時間逆過程を考察する事により、二項積率の過渡解及び極限分布に対する、従来のアルゴリズム的解法が適用可能な陽表現が導出された。特に後者は、非ポワソン到着をもつ無限サーバ待ち行列における系内客数分布に対して初めて導出された陽表現であり、それが数値計算に適しているという点でも実用上有意義である。

4. プロセッサシェアリング待ち行列モデルは、通信およびコンピュータ工学において非常に幅広く応用できるため、多くの研究がなされてきたが、相関をもつ到着を入力とするモデルに対する研究は皆無であった。また、従来の研究では解析的な解を求めるに留まっており、長い間、数値計算に適した解析結果を得るのは困難と考えられてきた。提案された計算アルゴリズムはこのような状況を打破する画期的なものである。

以上のように、従来の手法では解析が困難とされてきたマルコフ型集団到着流を入力とする応用上重要な様々な待ち行列モデルに対して考察を行い、その性能指標に対して数値的に安定な計算アルゴリズムを確立しており、学術上および応用上極めて優れた成果である。よって、本論文は博士（情報学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成15年12月19日に実施した論文内容とそれに関連した試問の結果合格と認めた。