

氏 名	かわ にし けん いち 河 西 憲 一
学位(専攻分野)	博 士 (情 報 学)
学 位 記 番 号	論 情 博 第 20 号
学位授与の日付	平 成 13 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当
学位論文題目	Studies on Batch Arrival Models and Related Traffic Issues in Communication Systems (通信システムにおける集団到着モデルと関連するトラヒック問題に関する研究)
論文調査委員	(主 査) 教 授 高 橋 豊 教 授 金 澤 正 憲 助教授 滝 根 哲 哉

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、通信システムにおける集団到着モデルとそれに関連するトラヒック問題を取り扱っている。特に、集団到着モデルで記述されるトラヒックの制御方式と測定方式について、待ち行列理論におけるマルコフモデルに基づく厳密な解析手法と拡散近似法や流体モデルに基づく方法などの近似的な解析手法を使い、いくつかの新しい結果を得ている。全体は8章からなっており、集団到着モデルで記述されるトラヒックを扱う通信システムにおける、1) 制御方式の性能評価のアルゴリズム、2) 新しいトラヒック測定方式とその性能評価結果、3) 待ち行列理論と実トラヒック測定との関係、について述べている。

第1章は序論であり、最初にバーストラヒックモデルについて説明している。例として集団到着モデルを取り上げ、これがバースト性のあるトラヒックモデルであることを述べている。また、このモデルで記述されるトラヒックを扱う通信システムについても概括している。次に、待ち行列理論の方法論について触れ、本論文で用いる厳密な解析手法と近似的な解析手法について述べている。さらに、通信システムにおけるトラヒック制御方式とトラヒック測定方式について、本論文で取り扱う個別の話題を中心に概説している。

第2章では、実際の通信システムで実現されている集団到着制御方式について、性能評価手法と性能評価結果を与えている。空き回線数に依存するなどの仕組みを含む複雑な制御方式を解析的に扱いやすくする為、いくつかの前提条件を仮定した上で簡略化して取り扱っている。まず、回線保留時間が指数分布に従い、そのパラメータが異なる場合について、制御方式のスループットを近似的に算出するアルゴリズムを提案している。次に、指数分布のパラメータが同一であるという条件下でのスループット算出アルゴリズムを提案している。後者の場合をさらに発展させ、拡散近似法と組み合わせることにより、制御方式のスループットのみならず平均待ち時間を近似的に評価する式を導出することに成功している。

第3章では、共に集団で到着する即時呼と待時呼が回線を共有する待ち行列モデルについて、即時呼に対して回線留保を適用した場合の解析結果を述べている。マルコフモデルによる定式化を採用し、即時呼と待時呼の回線保留時間が同一のパラメータをもつ指数分布に従う場合を考えている。定常状態確率を数値的に計算することが可能となる、漸化式に基づいたアルゴリズムを提案している。さらに、定常状態確率に基づき、システムの様々な性能評価尺度を解析的に導出している。数値例として、即時呼の呼損率、待時呼の平均待ち時間、平均行列長、およびバッファ溢れ率を計算している。

第4章では、集団到着モデルで記述されるトラヒックを入力とする通信システムについて、遅延時間を保証する為の呼受付制御方式を提案している。特に、送信先端末が話中である場合に通信システムが一定時間経過後に再度送信を試みる再呼機能に着目し、再呼待ち時間を考慮した呼受付制御方式を扱っている。2状態連続時間マルコフ連鎖によって送信先端末の挙動をモデル化し、再呼待ち時間分布を簡易に表現する手法を提案している。再呼待ち時間の3つの見積もり値(最小、平均、最大)で分類される呼受付制御方式について、呼の受付率と、受け付けた呼の品質保証率の観点から分析している。

第5章では、通信システムにおける集団到着モデルで記述されるトラヒックの制御方式について解析している。呼を受け付ける際に、予め遅延時間を通知する機能を実現する為に必要となるアルゴリズムの開発を目的としている。通信システム

内の残余仕事量を流体モデルで近似的に取り扱うことにより、残余仕事量の時間変化を陽に、かつ簡易に表現することが可能となる点に着目し、集団で到着する同報通信と、個別に到着する一般通信の両方についてそれぞれの平均遅延時間を算出するアルゴリズムを提案している。シミュレーションにより数値的にアルゴリズムの有効性を確認している。

第6章では、集団到着モデルで記述されるトラヒックに適した新しいトラヒック測定方式である「トラップとポーリングを併用したトラヒック測定方式」を提案し、さらにその方式の性能評価結果について述べている。提案されている測定方式は同報通信のような集団到着モデルで記述されるトラヒックに対応する為に考案され、ある閾値以上の集団サイズをもつ集団到着呼についてはその発呼時点で収集し、それ以外についてはポーリング周期ごとに収集することを特徴としている。提案された測定方式をモデル化し、拡散近似法を適用することで、測定方式によって得られる平均待ち時間の陽な表現式を導出することに成功している。これによって、実際の平均待ち時間と測定される平均待ち時間との差分を解析的に与える式が得られている。また、提案された測定方式でのトラヒック測定回数を解析的に導出することにも成功している。これら差分と測定回数の解析的な表現式に基づき、測定方式を特徴付ける2つのパラメータであるポーリング周期と閾値について、差分と測定回数の観点から最適な値を決定する手法について議論している。

第7章では、集団マルコフ型到着過程を入力とする待ち行列 $BMAP/G/1$ に関する理論結果と、待時システムにおけるトラヒック測定理論との関係について議論している。一般に待時システムにおいて、測定値から得られる平均待ち時間は測定時間が有限であるため定常状態を仮定した待ち行列システムから得られる値と異なることを述べている。それらの間の差分を評価する為には、待ち行列システムの、1) 全稼働期間長、2) その期間にサービスを受ける客数、3) 同期間中の待ち時間の総和、の3つの変数についての結合確率分布が必要となることを説明している。次に、 $M/G/1$ 型マルコフ連鎖の理論を拡張することで、その結合確率分布の変換型が満足する関数関係式を理論的に導出することに成功している。また、 $BMAP$ の特殊な場合として、集団サイズと集団の到着過程が独立である $MAP^{[X]}$ を扱い、実際に前述の3つの確率変数の1次モーメントを解析的に導出している。

第8章は結論であり、本論文で得られた結果をまとめている。さらに、集団到着モデルに関するトラヒック問題はそのバースト性に起因することを述べ、待ち行列理論の厳密な解析手法と近似的な解析手法を問題によって使い分ける必要があることに言及している。また、集団到着モデルは実際の通信システムで多くのトラヒック問題をモデル化が可能であることに触れ、本論文を締めくくっている。

論文審査の結果の要旨

集団到着モデルはバースト性を有するトラヒックモデルであり、それが為に集団到着モデルで記述されるトラヒックを扱うような通信システムにおいては特別な考察を加える必要がある。すなわち、集団到着トラヒックのバースト性を抑制し、他のトラヒックへ与える影響を緩和させることを目的として様々な制御が必要となり、またバースト性が強い集団到着トラヒックに適応した測定方式が必要となり、さらにはその測定精度を評価することも同様に必要となる。

本論文ではこのような問題を扱う為、待ち行列理論におけるマルコフモデルに基づく厳密な解析手法と拡散近似法や流体モデルに基づく方法などの近似手法を使い、特に集団到着モデルで記述されるトラヒックを扱う通信システムにおけるトラヒックの制御方式と測定方式について、それらの性能評価に向けた解析的な結果を得ている。新たに得られた主な成果として以下のものがあげられる。

1. 集団到着モデルで記述されるトラヒックを扱う通信システムの様々な制御方式について、性能評価の為のアルゴリズムとその性能評価結果を与えた。特に、集団到着制御方式については実システムの複雑な方式を簡略化し、待ち行列理論と組み合わせ、通信システムの性能評価や設計に資するアルゴリズムを考案した。
2. 集団到着モデルで記述されるトラヒックに適した新たなトラヒック測定方式である、「トラップとポーリングを併用したトラヒック測定方式」を提案し、さらに拡散近似法を応用することで提案した測定方式で得られる平均待ち時間を、測定方式を特徴付ける2つのパラメータで解析的に陽な形式で導出することに成功し、実際の平均待ち時間との差分を解明した。
3. $BMAP/G/1$ における全稼働期間解析で扱う、1) 全稼働期間長、2) その期間にサービスを受ける客数、に加えて、3) 同期間中の待ち時間の総和、の3確率変数についての結合確率分布関数の変換型が満足する新たな関数関係式を証明し

た。また、BMAP の特殊な場合として $MAP^{[X]}$ を取り上げ、上記 3 変数の 1 次モーメントを解析的に導出した。

以上、本論文は、通信システムにおける集団到着モデルと関連するトラヒック問題について議論しており、特に集団到着モデルで記述されるトラヒックを扱う通信システムの、トラヒック制御方式、及びトラヒック測定方式について、拡散近似法やマルコフ解析などの待ち行列理論の方法を適用し、複雑な制御方式の性能評価の為のアルゴリズムと性能評価結果を与え、また集団トラヒック測定方式に関する新たな方式提案とその性能評価を行い、さらに BMAP / G / 1 待ち行列システムと待時システムにおけるトラヒック測定理論との間を結び付ける関数関係式を導出している。このようなアルゴリズム、性能評価結果、関数関係式は集団到着モデルで記述されるトラヒックを扱う通信システムの性能評価や設計などに資するものであり、学術上、応用上寄与するところが少なくない。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13年2月23日に実施した論文内容とそれに関連する試問の結果、合格と認めた。