

## 審査結果の要旨

限られた共有資源を適切に活用し、質の高いサービスをどのようにして提供するのか。この課題は、産業界（民間企業）、官公庁（国・地方公共団体）、学校（教育・研究機関）などに共通する。この共通課題に対して指針を与える理論の一つとして待ち行列理論がある。待ち行列理論は、サービス施設や情報システムのような共有資源への利用要求が確率的に発生するという仮定の下で、共有資源の競合問題を定量的に解析することを目的として発展してきたが、未解決な問題が残されている。本申請論文では、待ち行列理論の既存の知見を基盤とする機械学習により、この未解決問題を解決する方法について論じている。

待ち行列は私たちの生活において身近に見られる現象である。駅の自動券売機や銀行のATM（現金自動預け払い機）の前のできる待ち行列など、私たちは普段から様々な種類の待ち行列を目にし、また経験している。待ち行列は人が作るものとは限らない。モノが待ち行列を形成することもある。例えば、交差点には信号待ちの車の待ち行列ができる。インターネットでは、特定のルータにパケットが集中すると、ルータ内部にパケットの待ち行列が形成される。

このような待ち行列を待ち行列システムとして数学的に表現し、平均的に発生する客の待ちや、待ち行列システムに収容できない客の割合などの性能評価指標を求めるとの代表的な理論として「待ち行列理論」がある。待ち行列理論では性能評価指標を求めることを「待ち行列システムの性能評価」と呼ぶ。性能評価指標を活用すると、客を適切に処理するために必要なサーバ数やサーバ処理能力を求めることができる。

待ち行列理論では、待ち行列システムをケンドールの記号を用いて  $A/B/s/K$  と表記する。ここで  $A$  は客の到着間隔分布を、 $B$  はサーバの処理時間分布を、 $s$  はサーバ数を、 $K$  はシステム容量を表す。

待ち行列理論の様々な分野への応用を考えると、一般トラヒック型待ち行列システムの性能評価が重要である。ここで一般トラヒック型待ち行列システムとは、ケンドールの記号  $A$  が独立性を仮定する一般分布  $GI$ 、 $B$  が独立性を必ずしも仮定しない一般分布  $G$  となる待ち行列システムである。特にサーバ数が  $s$  で、 $K$  が無限長または  $s$  のものは重要である。なおケンドールの記号では前者を  $GI/G/s$ 、後者を  $GI/G/s/s$  と表記する。

$GI/G/s$  や  $GI/G/s/s$  のような一般トラヒック型待ち行列システムは解析的に解くことができないため、様々な性能評価手法が考案されてきた。代表的な手法は、計算機上で仮想的に待ち行列システムを模擬する「計算機実験」（離散的シミュレーション）である。しかし、計算機実験には多大な計算量が必要な上、その計算量も待ち行列システムを規定するパラメータに応じて変動するという問題がある。計算量の変動はリアルタイム性が要求される分野への応用時に大きな障害となる。この問題を解決するために本申請論文では機械学習に着目している。機械学習は事前に学習をする必要があるものの、学習が完了すれば、一定の計算量、すなわち一定の計算時間で性能評価できるという特徴がある。

この機械学習の特徴をいかしつつ、一般トラヒック型待ち行列システムの性能評価をおこなうためには、機械学習をどのように用いるかがポイントとなる。例えば、待ち行列システムを規定するパラメータが不明確で、客の到着や退去の時系列データを利用した学習をおこなう場合、膨大な学習が必要となり、上記の機械学習の特徴をいかすことができない。一方、待ち行列システムを規定するパラメータが明確という場合、学習は

一度で済むため、機械学習の特徴をいかすことができる。

本申請論文では、待ち行列システムを規定するパラメータが明確という条件の下、機械学習を用いて一般トラヒック型待ち行列システムの性能評価を行う手法を提案している。さらに、機械学習には精度の問題が伴うため、本申請論文では提案手法により一般トラヒック型待ち行列システムの性能評価を行うとともに、その結果の精度についても検証している。

申請論文は、序論および結論を含む6つの章で構成されている。第1章では、身の回りで見られる待ち行列について述べた後、待ち行列システムの性能評価に用いられる待ち行列理論の研究課題について説明している。そして、待ち行列理論における研究課題に対する本申請論文の位置づけを明確にしている。

第2章では、性能評価対象とする2つの待ち行列システム、すなわちシステム容量が無限の無限長一般トラヒック型待ち行列システム (GI/G/s システム) と、サーバ数とシステム容量が等しい即時型システム (GI/G/s/s システム) について概説し、理論を展開する上で必要となる事前知識を整理している。

第3章では、申請論文で提案する機械学習による待ち行列システムの性能評価手順について説明している。なお申請論文では、機械学習としてニューラルネットワーク (NN) を利用している。NNの学習データは、待ち行列システムを規定するパラメータと、計算機実験によりその待ち行列システムの性能評価を行った結果 (性能評価指標) で構成されている。

第4章では、第3章の性能評価手順に従って低・中・高利用率のGI/G/sシステムの性能評価指標 (平均システム内時間) を求め、性能評価結果の精度を検証し、実用的な精度で性能評価を行うことができることを明らかにしている。

第5章では、第3章の性能評価手順に従って中・高利用率におけるGI/G/s/sシステムの性能評価指標 (損失率) を求め、性能評価結果の精度を検証し、実用的な精度で性能評価を行うことができることを明らかにしている。

最後に第6章では、第4章および第5章で得られた知見を総括し、今後の研究課題について整理するとともに、一連の研究で得られた成果の応用可能性について述べている。

以上のような構成と内容でまとめられた本申請論文は、待ち行列理論における未解決の問題 (一般トラヒック型待ち行列システムの性能評価) に対して、待ち行列理論の既存の知見を基盤とする機械学習により解決の道を与えるものである。また、その際の精度や有効範囲についての検証結果は当該分野の研究者に対して有用な知見を与えると考えられる。さらに、本申請論文で示した提案手法は、待ち行列システムとして扱うことができる様々なサービスシステムの開発や運用に活用可能な成果である。

以上より、本論文は学位を授与するに十分な内容を持つものであると判断される。