

博士学位論文内容要旨

機械学習を用いた一般トラヒック型待ち行列システムの性能評価に関する研究

博士後期課程 情報科学研究科 2020841003 二井 克

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）の前にできる待ち行列，評判のレストランに入るための待ち行列など，私たちは普段から様々な種類の待ち行列を目にし，また経験する。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，データはパケットに分割され，複数のルータを介し，通信相手に送信される。ルータにおいて，特定の出口（方路）に一時的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。

以下，本研究では待ち行列を形成する人，モノのことを「客」，客が待つための場所のことを「待ち室」，客を処理するための機構を「サーバ」，待ち室とサーバを含む系を「待ち行列システム」，待ち行列システム内に収容できる客数を「システム容量」と呼ぶ。

待ち行列システムを数学的に表現し，客が待ち行列システム内で平均的に待つ時間（平均システム内時間）や，待ち行列システムに収容できない客の割合（損失率）などの性能指標を求めるための理論が「待ち行列理論」である。待ち行列理論では性能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。性能評価結果を活用すると，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。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。なお K が無限のときは $A/B/s$ と表記する。

待ち行列理論はもともと電話交換機的设计のための理論であった。しかし時代が経つにつれて，サービスシステムや交通システムなど様々な分野へ応用されるようになった。したがって，待ち行列理論における研究課題を解決することは，様々な分野における諸問題の解

決につながる。

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。特に重要な一般トラヒック型待ち行列システムは、(1)サーバ数は s でシステム容量 K は無限の $GI/G/s$, (2)サーバ数は s でシステム容量 K も s の $GI/G/s/s$ である。

しかし、 $GI/G/s$ や $GI/G/s/s$ などの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」(離散型シミュレーション)である。しかし、計算機実験における計算時間は一般トラヒック型待ち行列システムを規定するパラメータに応じて変動してしまうという問題があるため、一定の計算時間で性能評価を完了することが要求される分野への応用時に大きな障害となる。

計算機実験における計算時間が変動する問題を改善するために、本研究では機械学習に着目した。機械学習の特徴は、(1)既知の入出力関係から、未知の入力に対する出力の推測が可能である点、(2)学習が完了すれば、どのような入力に対しても常に一定の計算時間で性能評価を完了することができる点、である。(1)により、出力を一般トラヒック型待ち行列システムの性能評価結果とすれば、「機械学習を用いた一般トラヒック型待ち行列システムの性能評価」を実現することができる。(2)により、計算機実験における計算時間が変動する問題を改善することができる。

機械学習の2つ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重要である。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、(2)の機械学習の特徴をいかすことが難しい。一方で待ち行列システムを規定するパラメータが明確な場合、学習は一度で済むため、(2)の機械学習の特徴をいかすことができる。

そこで本研究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おこなう手法を提案する。また提案手法による性能評価結果の誤差を検証し、一定の精度で性能評価できることを示す。

本論文は、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、まず身の回りで見られる待ち行列について例をあげ、待ち行列システムとはどのようなものであるか

示し、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について説明する。次に、待ち行列理論における研究課題について述べ、本研究の位置づけを説明した後、本研究の目的を述べる。

第 2 章では、性能評価対象とする 2 つの一般トラヒック型待ち行列システム $GI/G/s$, $GI/G/s/s$ について述べる。

第 3 章では、本研究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する。この手順は第 4 章, 第 5 章における性能評価で共通に利用できる手順である。なお本研究では機械学習として、関数近似の能力があることが知られているニューラルネットワーク (NN) を利用する。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おこなった結果で構成される。NN の学習完了後は一定の計算時間で性能評価を完了できるようになることから、「計算機実験における計算時間が変動する問題」を改善できる。

第 4 章では、第 3 章の性能評価手順に従って $GI/G/s$ の性能評価をおこない、平均システム内時間を求める。性能評価をおこなう $GI/G/s$ の利用率は低, 中, 高の 3 種類とする。そして、性能評価結果の誤差検証をおこない、一定の精度で性能評価できることを示す。

第 5 章では、第 3 章の性能評価手順に従って $GI/G/s/s$ の性能評価をおこない、損失率を求める。性能評価をおこなう $GI/G/s/s$ の利用率は中, 高の 2 種類とする。そして、性能評価結果の誤差検証をおこない、一定の精度で性能評価できることを示す。

最後に第 6 章では、第 2 章, 第 3 章および第 4 章, 第 5 章で述べた内容と本研究で得られた主要な知見を要約し、今後の研究課題と本研究の応用先を述べる。