

第36回2019年度待ち行列シンポジウムルポ

「確率モデルとその応用」



加藤 憲一 (神奈川大学)

1. はじめに

2020年1月22日から24日までの3日間、神奈川工科大学アクティブ・ラーニング横浜（神奈川県横浜市）において2019年度待ち行列シンポジウム「確率モデルとその応用」が開催された。本シンポジウムは待ち行列モデルを主な対象とする、確率モデル全般に関する研究集会である。1980年度に第1回が開催され、2019年度で36回目の開催となる。従来から盛んに研究されてきた待ち行列モデルの理論的な研究や情報通信分野への応用だけでなく、金融やサービス産業などを含めた社会システム全般に関する研究発表が増えていることも近年の特色となっている。

今回は52名の参加者があった。一般セッションは2件、学生セッションは13件、ショートペーパーセッションは4件の発表が行われた（プログラム上では5件であるが、1件のキャンセルがあった）。またシンポジウム2日目には特別セッションとして、木村俊一氏（北海道大学名誉教授）をお招きして講演が行われた。プログラムは待ち行列シンポジウムのウェブページ (<https://sites.google.com/site/qsymp2019/>) にて公開されているので、興味があればぜひご覧いただきたい。

2. 一般セッションとショートペーパーセッション

一般セッションは2件の発表があった。岡村寛之氏（広島大学）からはブロックチェーンの分散環境下での合意問題に関する研究が発表された。二つのマイナーによるブロックチェーンシステムを連続時間マルコフ連鎖によって表現し、マイナーが連結したブロックの合意が破棄される確率に対する評価手法が提案された。また、井上文彰氏（大阪大学）からはGPUサーバにおいて推論ジョブを集約的に処理するモデルに関する発表があった。ジョブをバッチ処理すること

により、1ジョブあたりの処理速度とエネルギー効率をとともに大きくできる性質が紹介され、待ち行列モデルを用いた性能評価手法が提案された。

ショートペーパーセッションは前回シンポジウムより導入された。最新のトピックスや萌芽的な研究に対し、途上の成果を発表することで参加者と情報を共有し議論を行うことを目的としたセッションである。ショートペーパーセッションは4件の発表があった。集団到着待ち行列において、詳細Palm確率測度をあえる集団における到着客数の期待値が有限でない場合に拡張したとき、通常の待ち行列の観点からは奇妙な現象が生じることが報告された。また、時系列データを扱うニューラルネットワークの1種であるLong Short Term Memoryの手法が紹介された。分野融合的な興味深い研究発表もあった。客が到着時点を戦略として選択する非協力ゲームとして表現された待ち行列モデルについての解析結果が報告された。本シンポジウムでは点過程を取り入れた研究も盛んに発表されている。Ginibre-Poissonクラスタ点過程に対して、平面上に分布した点の近接距離の解析についての報告があった。

3. 学生セッション

学生セッションでは待ち行列分野にとどまらず、情報システムを含む社会システム全般を対象としたさまざまな確率モデルに関する研究成果の発表があった。

待ち行列モデルの理論的な研究として、M/G/1型待ち行列の推移確率行列の切断による定常状態確率の計算精度に関する研究や、GI/G/1型マルコフ連鎖の定常分布のエルゴード収束率に関する解析結果が報告された。また、崩壊と呼ぶ系内の客を強制的に退去させる事象が発生する待ち行列モデルに対して、定常状態確率の近似計算に関する研究が発表された。

社会システムに関連する研究として、宅配サービスにおける宅配ボックスを考慮した荷物の滞留現象や、

ガソリンスタンドにおける混雑現象の待ち行列モデルについて発表がなされた。また、カーシェアリングによる大学と駅間の学生の移動をモデル化した研究や、飲食店における客席案内戦略を強化学習の枠組みを用いて導く手法の提案など、身近な生活と密接な関連をもつ研究も発表された。情報システム分野では、基地局間のオフロード処理を考慮したモバイルエッジコンピューティングを待ち行列ネットワークを用いて解析する手法が提案された。仮想通貨に関する研究も興味深いトピックスであった。ビットコインにおける承認遅延を待ち行列モデルとして表現し、送金手数料との関係を分析する研究が発表された。また、ビットコインの流通を分枝過程によりモデル化し、流通量の分析を行う研究が発表された。OR全般に関する研究として、情報拡散をランダムウォークによって表現する手法や、オッズ問題を線形計画問題の枠組みでとらえる手法が報告された。

4. 特別講演

シンポジウムの2日目には、木村俊一氏（北海道大学名誉教授）による「The Saga of the M/G/s Queue: An Epilogue」と題した特別講演が行われた。木村氏は第1回のシンポジウムでも講演されており、これまで待ち行列研究の第一線で重要な業績をあげられてきた。タイトルにあるM/G/s待ち行列とは、ポアソン到着をもち、一般のサービス時間分布をもつ複数窓口の待ち行列モデルである。M/G/s待ち行列は定常状態確率などの厳密な解析が困難であることが知られている。そのため、研究の初期の段階から平均待ち時間などに対してさまざまな近似公式が提案されてきた。木村氏は近似の考え方と、公式の導出へと至る物語、Sagaを豊かな語り口で述べられた。講演の前半はM/G/s待ち行列の平均待ち時間が主なテーマとなった。M/M/s待ち行列の平均待ち時間との比に着目し、トラヒック密度に関する漸近的な性質を用いる手法が提示された。またM/M/s待ち行列とM/D/s待ち行列の平均待ち時間を既知として、両者の内挿としてM/G/s待ち行列に対する近似公式を導く手法が紹介された。これまでに提案されてきた近似公式が、木村氏自身が導いたものを含め多数紹介された。近似公式は、先に挙げた漸近的な性質を保存するとともに、既知の待ち行列モデルとの一致性をもつことが望ましいが、既存の近似公式ではこのことは必ずしも満たさないことが数値例によって示された。また、講演の後半では、有限容量の



木村俊一氏による特別講演

M/G/s/r待ち行列についての諸結果を、最適バッファ設計問題と絡めて紹介された。講演のエピローグでは、木村氏は近似公式に求められる性質として簡潔（simplicity）であることを挙げられた。近似公式は実用上十分な精度を保証するだけでなく、取り扱いが容易であることも求められる。そこには厳密な解析解の導出とは異なる意味で研究者のセンスが必要とされるのではないだろうか。これは現象の理解・分析を目的とする待ち行列モデル研究の全般にも有意義な考え方であると感じた。なお、M/G/s待ち行列については木村氏の著書『待ち行列の数理モデル』（朝倉書店）にもまとめられているので、興味のある方はぜひご一読していただきたい。

5. 学生奨励賞

シンポジウムでは、優秀な発表を行った学生に対して研究奨励賞を授与している。学生による13件の研究発表はいずれも質の高いものであったが、厳正な審査のうえ、以下の3名の方が選出された。

- 大内克久氏（京都大学）「Subgeometric convergence of the level-increment truncation of M/G/1-type Markov chains」
- 黒川幸香氏（東京工業大学）「オッズ問題を解く線形計画法と動的計画法」
- 川口和樹氏（京都大学）「Subgeometric ergodicity of GI/G/1-type Markov chains: Triangular relationship between ergodic convergence rate, stationary distribution, and level-increment distribution」

大内氏の研究はM/G/1型待ち行列モデルにおける推移確率行列の切断による近似を扱ったものである。推移確率行列に対してレベル増分切断と呼ばれる切断



研究奨励賞受賞者（左から大内氏、川口氏、黒川氏の代理として松井知己先生、笠原実行委員長）



研究奨励賞を受賞された黒川氏

を行う。レベル増分に関する推移行列が劣幾何的な減衰をもつ仮定の下で、切断したマルコフ連鎖の定常状態確率が切断をしない本来のマルコフ連鎖の定常状態確率へ収束する際の漸近的な性質を導いた。黒川氏の研究はオッズ問題を線形計画法の観点からとらえたものである。オッズ問題では最適停止規則を用いる際の勝利確率はDP (Dynamic Programming) 方程式の解として得られることが知られている。ここではオッズ問題をフロー定式化による線形計画問題として定式化した。双対問題を考えることで、提案した線形計画問題の解がDP方程式によって与えられる勝利確率と一致することを示した。川口氏の研究はGI/G/1型マルコフ連鎖に対して、推移確率のレベル増分に関する漸近的な性質と極限確率の収束の早さの関係に注目したものである。レベル増分が劣幾何的に減衰するとき、極限確率の収束は劣幾何的なエルゴード収束率をもつことを示した。なお、上記3名の方の表彰は第286回待ち行列研究部会（2020年2月15日）にて行われた。

6. おわりに

36回目の開催となった待ち行列シンポジウムでは、

待ち行列モデルに関する研究はもとより、オペレーションズ・リサーチ全般にわたる話題が扱われ、確率とその応用に興味関心をもつ研究者にとって有益な研究集会であったと考える。今回は例年に比べセッションの時間に余裕があり、発表後の議論に十分な時間をとることができた。各セッションとも、理論面、解析結果に対する応用上の意味、課題などさまざまな観点からの議論があり、有意義なものであったと感じた。本シンポジウムは、来年度も引き続き開催を予定している。報告を読まれて興味をもたれた方は、次回シンポジウムへのご参加・ご発表をぜひ検討していただきたい。またシンポジウムの報文集も販売しているので、ご要望の方は待ち行列研究部会の主査・幹事へご連絡いただきたい。

シンポジウムの開催にあたり、待ち行列研究部会主査である実行委員長の笠原正治先生（奈良先端科学技術大学院大学）、幹事のフン・ドック・トゥアン先生（筑波大学）、ならびに実行委員の先生方には並々ならぬご尽力をいただいた。また、会場の利用にあたり井家敦先生（神奈川工科大学）にご協力をいただいた。参加者を代表して、この場をお借りして感謝の意を表したい。