第40回2023年度待ち行列シンポジウムルポ「確率モデルとその応用」

木村　達明（同志社大学）

1. はじめに

2024年1月17日～19日の3日間，高知城ホール（高知県高知市）およびオンラインのハイブリッド開催形式で，2023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1980年における第1回の開催から数えて今回で40回目となる非常に長い歴史をもつ研究集会である．タイトルにもあるとおり，待ち行列理論を中心とし，確率モデルに関する理論的な話題から，最新の情報システムや通信技術への応用まで多様な発表が毎回行われている．2023年度のシンポジウムは，一般セッションでは9件，学生セッションは12件，そしてショートペーパー・セッションでは10件の発表が行われた．また，シンポジウム2日目には斎藤洋先生（実践女子大学）による特別講演が行われた．プログラムの一覧については2023年度待ち行列シンポジウムのホームページ（https://orsj.org/queue/symposium/qsymp2023/）で公開されているため，興味があればぜひご覧いただきたい．

2. 一般セッション

一般セッションでは，三つのセッションに9件（うち4件はショートペーパー）の発表があったが，それぞれ全く異なる話題を扱っており，いずれも非常に興味深いものであった．シンポジウム初日の一般セッションでは，河瀬理貴氏（東京工業大学）から，共有型交通（ライドシェアなど）を対象とし，旅客の需要に対し資源（車両）を動的に最適配分する問題（Dynamic System Optimum：DSO配分問題）に旅行時間などの不確実性を考慮した確率的DSO配分問題が紹介され，最適性条件などのその数理的性質が報告された．渡辺樹氏（早稲田大学）からは，境界条件を考慮した密度ベースの最適制御問題における，粒子モデルの極限とHJB（Hamilton-Jacobi-Bellman）方程式を介した粘性解による特徴づけが紹介された．岡村寛之氏（広島大学）は，過去に提案したSMT（Satisfiability Modulo Theories）に基づく確率ペトリネットのパーフェクトサンプリングを効率化する手法が提案された．

2日目のセッションでは，「都市とOR」に関するトピックの発表が4件あり，佐久間大氏（防衛大学校）からは，空港の搭乗口などを対象として，サービス開始および受付終了時刻が事前設定されているが確率的に揺らぎがある状況を想定し，客が戦略的に到着するモデルの解析結果が報告された．また，鳥海重喜氏（中央大学）からは，ドクターヘリの運用に関するさまざまなデータが紹介され，その効果的な運用方法に向けたモデル化と結果の考察が行われた．田中健一氏（慶應義塾大学）からは，ネットワーク上で発生する需要に対し，ユーザの期待最大効用の最大化を目的として施設の規模および配置を同時に決定する施設配置問題に関する話題が紹介された．また，鵜飼孝盛氏（防衛大学校）からは，所在不明の目標を限られた資源で捜索領域から探索する，捜索計画問題の検討事例が紹介された．

3日目のセッションでは，河西憲一氏（群馬大学）から，仮想サーバとレガシーサーバが共同でネットワークノードを運用する5G環境を想定した待ち行列モデルと，その近似解析の結果が報告された．また，塩田茂雄氏（千葉大学）からは，客平均と時間平均が異なるような到着過程に関し，到着間隔に関する新たな十分条件としてHNB(W)UE（Harmonic New Better（Worse）Than Used in Expectation）というクラスが示され，既存研究で知られている条件の緩和に成功した，という報告があった．

3. 学生セッションおよびショートペーパー・セッション

学生セッションは四つ，ショートペーパー・セッションは三つそれぞれ開催され，12件と9件の発表

があった．両方とも例年よりも多くの発表があり，いずれも一般セッションにも引けを取らない質の高い発表が多く，質疑応答も含め大いに盛況であった．

初日の学生セッションでは，シェアリングエコノミーサービスにおける，単独サービスと集団サービスの区別を考慮した待ち行列モデルでの解析や，食堂の注文待ちなどを想定した，有限区間内にK人の客が到着する待ち行列モデルの過渡解析などの発表があった．2日目の学生セッションでは，複数の端末（情報源）が単一の伝送路を用いて固定間隔のサンプリングを行う待ち行列モデルにおけるAoI（Age of Information）の最大値の分布の解析，データセンタにおける電力消費量の低減を目的としてアイドル状態のサーバの電源をオフするシステムを想定し，サーバのセットアップ時間やサービス共有を考慮した場合の解析，Mn/PH/1待ち行列モデルにおいて戦略的な到着客がある場合の解析など，待ち行列モデルに関するさまざまな話題が報告された．

確率モデルという観点では，ユーザのオンラインクラスタリングとベイズ最適化を同時に行う手法の提案や，ブロックチェーン上のスマートコントラクトにより駆動する形態の組織であるDAO（Decentralized Autonomous Organization）において，クジラ問題と談合問題の両方を考慮した新しい投票メカニズムの提案などがあった．このように，理論研究から社会・産業に向けたさまざまな応用までが並行して議論されるのが本シンポジウムの特徴であり，また，その応用先の広さは確率モデルの汎用性の高さを象徴しているといえる．

ショートペーパー・セッションについても，さまざまな分野に関する発表があった．ミツバチの分蜂のモデル化と最適戦略に関する話題や，サッカーにおける選手位置を2部グラフとして表現した最適戦略の考察，ビットコインにおける半減期を考慮したマイナーとユーザを考慮した解析など，多岐にわたる応用に関する発表があった．ほかにも，待ち行列ゲームにおいて，異なる学習方法を用いた場合の学習過程の違いについて報告や，社会的厚生が待ち行列ゲームを用いて改善できるかを調べたもの，病院などの完全予約制を導入した施設における待ち行列シミュレーション結果，行列式点過程により特徴づけられるショットノイズ確率場のスケール極限の解析結果など，多くの興味深い結果が報告された．ショートペーパー・セッションはシンポジウムの活性化を目的として設けられた取り組みであり，新鮮な研究内容がいち早く展開・議論される，非常に良い機会であると感じた．

4. 特別講演と学生奨励賞

シンポジウムの初日には，斎藤洋氏（実践女子大学）による「全端末が無線電力伝送をするネットワークの性能評価」と題した特別講演（オンライン）が行われた．本講演では，同氏の近年の興味の対象である無線電力伝送に関する内容であり，各端末が無線電力伝送を行いつつ，周囲の端末からも無線電力伝送による給電を受けるネットワークを想定し，理論的な性能解析結果が紹介された．空間内にランダムに配置されたノード群は，各時刻においてバッテリ残量があるしきい値を超えている場合に電力送信を行い，ある別のしきい値を下回る場合に電力送信を行わない．このようなモデルのもと，原点に存在する注目するノードに

特別講演の様子

おける，十分に電力があれば実現できた仕事量に対する損失仕事量の比率である，損失仕事比率の解析手法が述べられた．結果として，無線電力伝送は一般に損失が大きく，無線電力伝送を行うことで，全体的なバッテリ残量は低下し，非常にノード密度が高い場合を除きバッテリ切れとなる確率が高くなる様子が示された．一方で，今後整流器の飽和電力が向上すると仮定したとき，バッテリ切れ確率の改善が見られたため，将来的に条件が整えば，無線ネットワークの無充電化が期待できる，という興味深い結果が紹介された．オンライン・現地開催形式の講演ではあったが，社会実装に関しての展望および解析の仮定や手法の詳細など，現地会場で活発な質疑応答が行われ，大変貴重な時間となった．

また，本シンポジウムでは，例年，優秀な発表を行った若干名の学生に対して研究奨励賞を授与している．今回も多くのレベルの高い学生発表の中から厳しい審査のうえ，以下3名が選出された．

- 奥山稜太氏（大阪大学）「DNN推論処理システムにおける複数アプリケーションへのサーバ割り当て最適化法」
- 中村彩音氏（筑波大学）「Fair and efficient sharing: dynamic pricing control in batch service system with strategic customers」
- 東田昌大氏（大阪大学）「Ornstein-Uhlenbeck過程に対する複数観測値を用いたリアルタイム状態推定の精度解析」

奥山氏の発表は，DNN（Deep Neural Network）による推論処理を提供する複数のアプリケーションに対する，クラウド上の計算サーバ台数の最適な割り当て手法の提案であった．DNN推論ジョブのバッチ化による処理効率の向上特性に基づき動的バッチ化を行う待ち行列モデルを考え，平均遅延時間の解析と最適化問題の定式化およびその解法が提案された．提案手法は実機GPUサーバを用いて評価実験が行われ，提案手法による近似的な結果と実測値が高精度に一致することも確認できており，理論と応用の両面での有用性が示された発表内容であった．中村氏の発表は，客の到着を待ってバッチ型のサービスを行うシャトルシステムにおける動的価格設定方式と，待ち行列ゲーム解析に基づく種々の性能指標の計算手法の提案であった．提案方式では，客の待ち時間のコストを考慮した経験効用が，シャトル内の全客間で均一になるように各客の料金が設定される．さらにmonopolistは，現在の待ち客の期待総コストがあるしきい値超えた場合，シャトルの容量に客数が達する前にブロッキングを行い，シャトルを発車させる．提案方式に基づく待ち行列モデルを考え，戦略的に到着を行う客における均衡戦略が示され，社会的厚生や期待効用などに対するアルゴリズミックな計算手法が提案された．実用性に向けたさまざまな仮定を考慮しつつも，数値計算が可能な形で解析結果が提示されており，充実した内容の研究発表であった．東田氏の発表は，観測値がOrnstein-Uhlenbeck過程に従う情報源に対して，過去の複数の観測値を用いてリアルタイム状態推定を行うシステムにおける，状態推定誤差の理論解析に関するものであった．観測システムをD/GI/1待ち行列モデルで表現し，状態推定誤差の解析的表現が，待ち行列モデルのAoIのラプラス変換を用いた簡潔な形で示された．さらに，解析結果に基づく数値例を通じ，最適なサンプリング間隔に関してAoIを考慮した場合との比較結果が議論されるなど，非常に興味深い内容であった．なお上記3名への表彰式については，第314回待ち行列研究部会（2024年2月3日（土））の中で行われた．

5. おわりに

今回で40回目を迎えた待ち行列シンポジウムだが，理論的なものから身近なシステムのモデル化に至るまでさまざまな研究発表が見られ，大変有意義な会議であった．本ルポ記事を読まれてご興味をもたれた方は，ぜひとも次回のシンポジウムへのご参加・ご発表を検討していただきたいと思う．また，本シンポジウムの報文集も販売されているので，興味がおありの方は待ち行列研究部会の主査・幹事へアクセスしていただきたい（待ち行列研究部会HP：https://orsj.org/queue/）．

最後に，本シンポジウム開催が盛況のうちに終えることができたのは，2023年度待ち行列研究部会主査である実行委員長の豊泉洋先生（早稲田大学），幹事の井上文彰先生（大阪大学），ならびに実行委員の方々のご尽力によるものであった．さらに会場利用などに関しては，岸康人先生（高知学園短期大学）に多大なご協力をいただいた．参加者を代表し，改めて感謝の意を表したい．