

審査の結果の要旨

氏名 末次 浩詩

本論文は、コンテナ船物流向け多品目在庫システムにおける、強化学習による在庫管理方策について論じたものである。

第1章「序論」では、研究の背景と目的、および本論文の構成について述べている。本論文の背景では、小売業の海外調達プライベートブランド（PB）商品において、海外から日本に自社で輸送する動きが増加する中、FCL（Full Container Load）によるコンテナ船輸送と賃貸型倉庫を特徴とするサプライチェーン費用の低減が喫緊の課題であることを示している。本論文の目的では、コンテナ船輸送と賃貸型倉庫を前提とする多品目在庫システムにおけるサプライチェーン費用の低減に向けて、非線形な輸送費用及び在庫保管費用のもとでの補充計画と、動的な倉庫容量計画を立案する技術の研究が必要であることを述べている。

第2章「多品目在庫システムの補充計画と倉庫容量計画」では、補充計画と倉庫容量計画それぞれの従来研究を概説している。まず、多品目在庫システムにおける補充計画、すなわち同時補充問題の特徴として、総費用の削減には、商品間で補充タイミングを協調して合わせることで共通発注費用を抑えるとともに、在庫費用や在庫切れに伴う機会損失をなるべく抑える必要があることを述べている。また、同時補充問題の従来研究が、需要と取引条件の2軸で整理されることを示し、本論文の対象が、確率的な需要に加え、階段状の輸送費用と非線形な在庫保管費用という複雑な取引条件を想定していることを述べている。次に、倉庫容量計画については、多品目在庫システムにおいて補充計画と倉庫容量の両方を同時決定する解法が確立されていないことを述べた上で、所与の倉庫容量での適切な補充方策下での費用推定モデルの構築と、費用推定モデルに基づく動的倉庫容量計画の立案という段階的なアプローチをとることを述べている。

第3章「マルチエージェント強化学習を用いた同時補充計画」では、階段状の輸送費用と非線形な在庫保管費用の取引条件における同時補充問題の特徴を整理した上で、報酬分配に着目したマルチエージェント強化学習手法を提案している。問題の特徴として、高次元離散行動空間における同時決定問題であること、および、商品間の補充数の相互作用が大きいことを述べ、既存の高次元離散行動空間向けの強化学習手法の適用が適切でないことを示している。その上で、他商品の補充数を明示的に考慮することを意図した Conditional Independent Q-Learner (C-IQL) を提案している。提案手法では、各エージェントの Q 値を利用したヒューリスティックな行動探索手順を導入することで、膨大な決定空間からより良い補充数の効率的な選択を可能としている。数値実験により、C-IQL は複数の需要特性や取引条件の下で、既存方策同等以上の性能が得られることを示している。

第4章「費用推定モデルを用いた動的倉庫容量計画」では、補充方策の解法として C-IQL を前提として、動的倉庫容量計画の立案手法を提案している。動的倉庫容量計画を得る上で、将来ありうる全ての需要水準及び倉庫容量の条件については C-IQL による補充方策を求められないという課題に対し、ガウス過程回帰により未学習の条件における費用を推定し、推定した費用関数に基づいて動的倉庫容量計画を求める、という2段階の手法である。費用推定モデルの目的は、少ない学習データで精度の高い費用推定モデルを求めることであり、そのために必要な、予測誤差の正しい評価と適切なサンプリング戦略の実現において、Hybrid Cramer-Rao Bound (HCRB) による予測誤差評価の有効性を実証している。また、得られた費用推定モデルを用いた動的容量決定モデルにより、賃貸倉庫が持つ容量変更の柔軟性の経済価値を定量的に示している。

第5章「結論」では、本論文で提案した方式の主たる成果についてまとめ、さらに今後の課題と展望について議論し、本論文をまとめている。

以上、これを要するに、本論文は、コンテナ船物流向け多品目在庫システムにおいて、これまで従来研究で考慮されていない階段状の輸送費用と非線形な在庫保管費用を想定したマルチエージェント強化学習を用いた補充計画と動的倉庫容量計画の解法を提案し、実験による評価を通して、その効果と有用性を示したものであり、電子情報工学上貢献するところが少なくない。

よって本論文は博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。