

数理・情報のフロンティア  
2021 年度採択研究代表者

2022 年度  
年次報告書

伊藤 海斗

東京工業大学 情報理工学院  
助教

制御・最適輸送理論の融合による大規模系の制御法開発

## 研究成果の概要

本研究では、多くの動的なシステム(ドローンや車両など)の群を所望の分布へ輸送するタスクに取り組んでいる。特に、適切な制御により全体最適なコスト効率で輸送を実現することを目標としている。2022年度に取り組んだ内容は次の3つである。(1)2021年度に提案した、リアルタイムに効率の良い輸送制御を実現する手法の理論解析、(2)線形動的システムの状態変数が従う確率分布を、最小エネルギーで目標分布へ制御する問題の解析、(3)Kullback-Leibler ダイバージェンス(KLD)を制御コストとした、非線形システムの最適制御問題。

(1)に関して、提案制御法により、群が目標分布へと収束する理論保証を与えた。2021年度では局所的な安定性評価にとどまっていたが、2022年度では大域的な収束性を示すことができた。

(2)について、多数のシステム群を一つの確率分布でモデリングして、群の輸送を確率分布の制御として定式化するアプローチを検討した。初期・目標状態分布がガウス分布とし、最小化したいコストが制御入力の二次形式と制御方策のエントロピー項から成るとき、最適制御が初期・目標分布間のエントロピー正則化最適輸送の解を与えることを示した。

結果(2)の非線形システム・非ガウス分布に対する一般化への一歩として、(3)に取り組んだ。制御によって状態遷移分布が参照分布から離れることに対し、KLDの意味でコストを与える最適制御問題(KL制御)の解析を行った。KL制御は遷移分布の可制御性に関するある仮定を置くことで、最適解が効率的に計算できることが知られていたが、状態変数が連続値をとる場合、その仮定は一般に成り立たない問題があった。そこで、本研究ではKL制御の定式化を適切に修正することで、連続状態空間においても、非現実的な仮定無しに最適解の効率的な計算が可能になることを示した。

### 【代表的な原著論文情報】

- 1) “Entropic model predictive optimal transport over dynamical systems,” *Automatica*, vol. 152, Article 110980, 2023.
- 2) “Kullback-Leibler control for discrete-time nonlinear systems on continuous spaces,” *SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration*, vol. 15, no. 2, pp. 119-129, 2022.