

革新的コンピューティング技術の開拓
2020 年度採択研究者

2021 年度 年次報告書

金澤 輝代士

筑波大学システム情報系
助教

確率過程の縮約理論を用いた社会シミュレータの高速化

§ 1. 研究成果の概要

本年度では成果物として、主に2つ大きな進展があった。まず金融市場モデリングについて記述したレビュー論文¹⁾が Physics Reports から出版にされた。本論文では、金澤等が過去に行った金融市場についての理論研究を、確率過程の縮約理論(運動論, BBGKY 階層構造方程式を通じた平均場理論)の観点から解説した。

次に非マルコフ確率過程を記述する理論的枠組みを発展させ、特に非線形ホークス過程と呼ばれる複雑系で著名なモデルの理論解析を行った。『点過程』とよばれるイベント発生をモデル化する確率過程の一種として、非線形ホークス過程がある。非線形ホークス過程では、過去に発生したイベントによって、将来のイベント発生が誘起される性質(自己励起性と呼ばれる)をモデル化する。自己励起性は自然現象のみならず、社会現象でも遍く観測されるため、非線形ホークス過程は様々な分野の統計モデルとして使用されている。しかし、非線形ホークス過程は非マルコフ過程(つまり、過去の履歴に依存する確率過程)であり、なおかつ強い非線形性を伴うため、その性質が解析的に殆ど知られていなかった。そこで、私は本プロジェクトで開発した非マルコフ確率過程の理論解法を、非線形ホークス過程に適用することで、本モデルを解くことにした。

具体的には、マルコフ埋め込みと呼ばれる理論手法を発展させることで、低次元の非マルコフ過程(今回は非線形ホークス過程)を、無限次元空間のマルコフ過程に変換することで問題を解いた。無限次元空間のマルコフ過程のマスター方程式を導出し、その漸近挙動を解析的に調べた。結果、非線形ホークス過程の重要変数である強度変数(単位時間当たりのイベント発生確率)が、幅広い非線形クラスにおいてべき分布に従うことを示した²⁾。本結果は Physical Review Letters から出版された。更に、様々な解析解をまとめたフルペーパーを執筆した³⁾。

【代表的な原著論文情報】

- 1) “Social physics”, Physics Reports, vol. 948, pp.1-148, 2022
- 2) “Ubiquitous power law scaling in nonlinear self-excited Hawkes processes”, Physical Review Letters, vol. 127, pp.188301, 2021
- 3) “Exact asymptotic solutions to nonlinear Hawkes processes: a systematic classification of the steady-state solutions”, arXiv preprint arXiv:2110.01523