

革新的コンピューティング技術の開拓
2020年度採択研究代表者

2022年度
年次報告書

金澤 輝代士

京都大学 大学院理学研究科
准教授

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

研究成果の概要

最初に本年度中に出版された2本の論文を説明する。まずは縮約理論の基礎となる確率過程の理論論文(金融市場を具体例として扱った)についてである¹⁾。エージェントベースモデルにおいて、条件分岐を記述するIF-THENルールは遍く存在する。一般に条件分岐は離散的な性質が強く、連続確率過程の理論である縮約理論とは相性が悪いと考えられている。しかし、 δ 関数を技巧的に扱うことで、連続系であってもIF-THENルールを確率過程論に取り入れることが可能である。本論文ではIF-THENルールを取り込むための計算上の δ 関数の技巧と、それを用いた確率過程のマスター方程式の厳密な導出方法を、金融市場のマイクロモデルに焦点を当てて議論している。本論文は統計物理学の雑誌である *Journal of Statistical Physics* から出版された。

次は非線形ホークス過程のフルペーパー²⁾についてである。非線形ホークス過程は、複雑系分野でよく使われる、非マルコフ性が強い非線形確率過程である。非線形ホークス過程は解析的には難関なモデルであり、本モデルの理論的性質は殆ど知られていなかった。そこで金澤は *Phys. Rev. Lett.* 2021 で提案した非線形ホークス過程の理論的解法(マルコフ埋め込みを用いたマスター方程式の方法)を元に、本論文をフルペーパーとして執筆した。様々な非線形ホークス過程に対する厳密解・漸近解を、特に強度変数の定常分布に着目し、辞書のように多くのパターンについて解き明かした。本研究はアメリカ物理学会のオープンアクセス誌である *Physical Review Research* から出版された。

最後に投稿中の論文³⁾について説明する。日本取引所グループから提供を受けた東京証券取引所に関するマイクロデータを分析し、社会シミュレーションの元となる高次元確率過程のモデル化を行った。具体的にはトレーダーの注文分割戦略についてのデータ解析を行い、Lillo, Mike, Farmer 達が提案した LMF 理論が成立しているかどうかを検証した。本論文は査読を受け、現在改訂中である。

【代表的な原著論文情報】

- 1) “Exact solution to two-body financial dealer model: revisited from the viewpoint of kinetic theory”, *Journal of Statistical Physics* 190 (1), 8 (2023)
- 2) “Asymptotic solutions to nonlinear Hawkes processes: A systematic classification of the steady-state solutions”, *Physical Review Research* 5 (1), 013067 (2023)
- 3) “Direct quantitative evidence of the order-splitting hypothesis as the microscopic origin of long-range correlations in market order flow”, arXiv:2301.13505