

# 平成 29 年度 未来研究ラボシステム 研究成果報告書

研究種目： 新領域開拓 研究期間：平成 28 年 10 月～平成 31 年 9 月

研究課題名：一分子計測データに対する高頻度データ解析

ラボ長

所属：基礎工学研究科社会システム数理領域

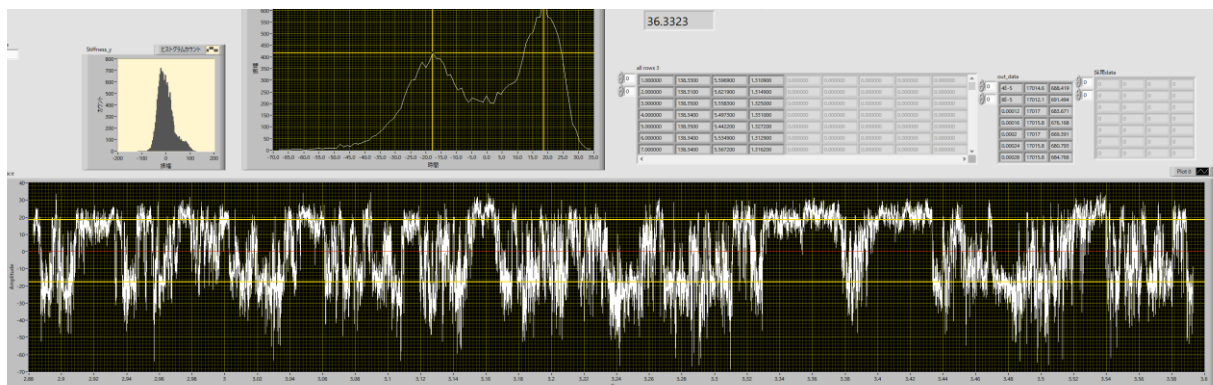
氏名：深澤正彰

## 研究成果

本研究プロジェクトは、医学・生物物理分野で近年急速に進歩している、一分子の軌跡計測技術と、確率解析・数理統計学分野で、主にファイナンス時系列への適用を念頭に理論が発展した高頻度データ解析を融合し、生体分子システムの動態解明のための、モデリング・システムデザイン・データ解析を双方向に組み合わせた新しい研究領域を開拓するものである。

平成 28 年度における予備的な実験と、そのデータ解析から、対象とする時系列データが、線形バネで拘束されるブラウン運動を記述する 1 階の確率微分方程式に観測ノイズを加えたものにある程度近いことがわかった。特徴として相関の周期性および長期記憶性が見られ、これらは興味の対象の性質というより、実験デザインに起因するノイズの性質と考えられることから、平成 29 年度は 1) 実験デザインの改良、2) 周期性、長期記憶性を考慮した高頻度データ解析の理論構築、の両面に取り組んだ。成果は以下の通りである。

- 1) 前年度のデータ解析結果を踏まえた実験デザインの改良により、ノイズを抑え、アクチンと結合するミオシンの一分子計測に成功した（このデータ解析は現在進行中である）



図：ブラウン運動するミオシン分子がアクチンと結合・分離を繰り返す様子が伺える。

- 2) 周期的な外力と線形バネ、観測ノイズで構成される連続時間線形ガウス過程モデルのフィルタリング及び最尤推定理論を、1 次元の場合に構築した。フィルタリングの部分は Kalman-Bucy フィルタの範疇であるが、外力の元でのフィルタリング公式を陽に導出し、最尤推定量がこの公式を用いて記述できることを見出した。現在、多次元への拡張と離散化を

試みている（現在得られているミオシンの一分子計測データは2次元である）。

- 3) 長期記憶ノイズの高頻度データ解析理論として、高頻度観測される非整数ブラウン運動の統計モデルとしての良い性質（局所漸近正規性）を証明し、推定量の漸近分散下限を導出、さらに最尤推定量の漸近有効性を証明した。このモデルの局所漸近正規性は、自己相似性に起因する特異性によって絶望視されていたため、この成果は非常にインパクトがあるもので、数理統計学のトップジャーナルにアクセプトされた（下記、「発表論文等」雑誌論文[1]）。
- 4) 長期記憶ノイズを含む自己相似性を持つ連続ガウス過程からの高頻度観測時系列に対して、Whittle 推定のアイデアによって一致性、漸近正規性、漸近有効性を持つ推定量を構成した。また数値実験によっても提案した推定量の有限標本での推定精度を検証した。とくに長期記憶の場合には、最尤推定量、Whittle 型推定量を含む漸近有効推定量が有限標本で望ましくない性質を持つことを見出し、その理論的説明も与えた（既に論文を投稿済。下記、「発表論文等」学会発表[1]）。
- 5) 上記1)の結果を踏まえて、データを記述する新しいセミマルコフモデルを構築した。隠れマルコフモデルに関しては多くの先行研究があるが、この実験デザインとは整合的ではなく、この新しいモデルに対する統計理論の整備を進めている。EM アルゴリズムとギブスサンプラーに基づく推定手法を現在検証中である。

#### キーワード：

一分子データ計測，高頻度データ解析

#### 研究経費（H29年度）の内訳

備品費	消耗品費	旅費	謝金	その他	合計
283,253 円	422,107 円	74,640 円	円	円	780,000 円

#### 共同研究者等

- (1) 共同研究者（氏名・所属）

岩城 光宏 理化学研究所 生命システム研究センター

Alexandre Brouste Université du Maine, Département de Mathématiques

藤田 恵介 理化学研究所 生命システム研究センター

(2) 研究協力者 (氏名・所属・学年 (学生の場合))

高島 哲也 システム創成専攻・社会システム数理領域 博士課程 2年

発表論文等 (平成 30 年 3 月 31 日現在)

研究代表者および主な共同研究者の研究業績のうち、本研究課題に関連するもののみを、現在から順に発表年次を過去に遡って記入してください。

[雑誌論文]

[1] Alexandre Brouste and Masaaki Fukasawa: Local asymptotic normality property for fractional Gaussian noise under high-frequency observations, The Annals of Statistics, forthcoming.

[2] 深澤正彰: 高頻度データに対する Whittle 推定, 統計数理 (2017) 第 65 巻 第 1 号 71-85.

[著書]

[学会発表]

[1] 深澤正彰, 高島哲也(発表者): 非整数 Brown 運動に関連したモデルの高頻度観測データに基づく Whittle 推定, 2017 年統計関連学会連合大会, 南山大学.

[その他]

外部資金獲得状況・申請状況 (本研究課題に関連して、科研費、JST 等の競争的資金、受託研究、奨学寄付金を受給された場合、また、申請された場合はその状況を記入ください)

参考となるHP等

<http://www.sigmath.es.osaka-u.ac.jp/~fukasawa/>

<http://www.qbic.riken.jp/cdo/iwaki-subg/index.html>