

計測技術と高度情報処理の融合によるインテリジェント計測・解析手法の
開発と応用

2017年度採択研究代表者

2021年度 年次報告書

岡田 真人

東京大学 大学院新領域創成科学研究科
教授

ベイズ推論とスパースモデリングによる計測と情報の融合

§ 1. 研究成果の概要

本課題の目標は、ベイズ推論による物質科学および地球惑星科学における計測のモデル化のための情報数理基盤構築である。各グループの取り組みを以下に述べる。

○ベイズ計測グループ

フォノンとプラズモンとの量子結合状態のコヒーレントフォノン信号の解析に、動的モード分解 (DMD) を用いる手法を提案し、有効モデルとの関係を明らかにした。XPS データの解析に交換モンテカルロ法を用いたベイズ推定手法を提案し、試料の組成比推定と化合物同定を可能にし、データの S/N 比に対する推定精度への影響を明らかにした。

○データ同化グループ

アジョイント法に基づく大自由度モデルからの有効モデル抽出法を、2次元の磁化パターン形成を記述する時間依存 Ginzburg-Landau 方程式に適用し、磁化パターンを説明する少数の有効基底を抽出することに成功した。また、実験で得られた磁化パターン画像データからの特徴量抽出を念頭に、地震波形画像からのシグナル抽出のための深層学習器を開発した。

○スパースモデリンググループ

情報の局所性に着目したデータ解析基盤の構築に向け、適応的計測技術における計測の最適停止基準の開発及びスペクトル計測への展開、多次元時系列からのベイズのモード抽出法、複数のドメイン適応手法の開発を行い、情報技術による計測高度化を支える方法論を検討した。

○地球科学ベイズ計測グループ

スパースモデリングを用いることで、小笠原諸島西之島で得られたドローン空中磁気観測データから、火山体内部の三次元磁化構造の高解像な推定に成功した。スパース辞書学習手法を基に、海底地形図の超解像と微地形の特徴抽出を実現する手法を開発した。

○惑星科学ベイズ計測グループ

太陽系外惑星の時系列データに対してベイズ計測の手法を実践するため、他のグループとの議論をもとに新しい解析手法の開発に取り組んだ。また、新しい観測データを取得したほか、新しい系外惑星を複数発見し、その物理的性質に関する特徴量の導出を行った。

§ 2. 研究実施体制

(1) ベイズ計測グループ

- ① 研究代表者: 岡田 真人 (東京大学 大学院新領域創成科学研究科 教授)
- ② 研究項目
 - ・ ベイズ推論の計測科学への導入
計測科学にベイズ推論を導入する「ベイズ計測」を実現すると共に、それによって、計測限界の定量的評価や、異種計測の情報統合などが行えることを示す。
 - ・ スパースモデリングによるベイズ推論の高速近似アルゴリズムの開発
スパースモデリングを用いたベイズ推論の高速近似アルゴリズムを開発する。
 - ・ スパースモデリングによる計測対象のモデル構築
スパースモデリングを活用し、複雑な計測対象をモデル化し、そのベイズ推論を実現する。

(2) データ同化グループ

- ① 主たる共同研究者: 長尾 大道 (東京大学 地震研究所 准教授)
- ② 研究項目
 - ・ 4次元変分法データ同化の飛躍的高度化と実問題への応用展開
 - ・ 非時系列データ同化の方法論の確立と実問題への応用展開
 - ・ モデル/データ両駆動型データ同化法の確立
 - ・ 有効状態空間抽出法の方法論の確立

(3) スパースモデリンググループ

- ① 主たる共同研究者: 日野 英逸 (統計数理研究所 モデリング研究系 教授)
- ② 研究項目
 - ・ 局所性に基づく計測対象のモデル化
スパースモデリングに代表される情報の局所性を利用した統計的データ解析手法を開発する。
 - ・ 局所性に基づく高効率な計測の実現
計測における実データ解析の高効率化を実現する。

(4) 地球科学ベイズ計測グループ

- ① 主たる共同研究者: 桑谷 立 (海洋研究開発機構 海域地震火山部門 主任研究員)
- ② 研究項目
 - ・ 定常状態画像データからの物理パラメータ・プロセス抽出
 - ・ 非時系列データを含む様々な地球科学データからの法則・ダイナミクス抽出
 - ・ 画像データ・非時系列データからの特徴量抽出を通じた複雑プロセス抽出

(5) 惑星科学ベイズ計測グループ

- ① 主たる共同研究者: 成田 憲保 (東京大学 大学院総合文化研究科 教授)

② 研究項目

- ・ 機械学習による多色トランジット時系列データの最適な高精度解析法の選択
- ・ パラレルテンパリングによる視線速度時系列データからの情報抽出
- ・ データ同化によるトランジット時系列データからの複数惑星系の情報抽出
- ・ スパースモデリングによる恒星表面の情報抽出

【代表的な原著論文情報】

- 1) A. Machida, K. Nagata, R. Murakami, H. Shinotsuka, H. Shouno, H. Yoshikawa and M. Okada, “Bayesian estimation for XPS spectral analysis at multiple core levels”
Science and Technology of Advanced Materials: Methods, 1, 1, 123-133, 2021
- 2) Anzaki, R., S. Ito, H. Nagao, M. Mizumaki, M. Okada, and I. Akai, “Phase prediction method for pattern formation in time-dependent Ginzburg–Landau dynamics for kinetic Ising model without a priori assumptions of domain patterns”, Phys. Rev. B, Vol. 103, Issue 9, 094408, doi:10.1103/PhysRevB.103.094408, 2021.
- 3) Tetsuro Ueno, Hideaki Ishibashi, Hideitsu Hino, Kanta Ono, “Automated stopping criterion for spectral measurements with active learning”, npj Computational Materials, 7, Article number: 139, 2021
- 4) Noriko Tada, Hiroshi Ichihara, Masaru Nakano, Mitsuru Utsugi, Takao Koyama, Tatsu Kuwatani, Kiyoshi Baba, Fukashi Maeno, Akimichi Takagi, Minoru Takeo, Magnetization structure of Nishinoshima volcano, Ogasawara Island arc, obtained from magnetic surveys using an unmanned aerial vehicle, Journal of Volcanology and Geothermal Research, Volume 419, November 2021, 107349, 10.1016/j.jvolgeores.2021.107349, 2021