

② データ科学時代の海洋地球データプロセッシング

桑谷 立

国立研究開発法人海洋研究開発機構海域地震火山部門

現在は第四のパラダイム「データ科学の時代」と呼ばれることがある。この新たなパラダイムの下では、膨大あるいは希少なデータの中から効率的・効果的に有効な情報を抽出し、様々な課題解決や知識発見および新たな価値創造につなげることが重要である。それらを実現するための基盤ツールとして、機械学習などの数理・情報科学分野における洗練されたデータ解析技術が開発されており、近年では海洋地球科学分野においても、盛んに利用されるようになってきた。本講演では、そもそも計測データ解析とは何か？という原点に立ち返りつつ、海底地形図の超解像技術の開発などを中心に、海洋地球科学分野における研究例を紹介する。

海底地形図は、海上交通やインフラ整備、安全保障、防災・減災、資源探査など、海域における多岐にわたる活動や学術研究の基本情報として重要である。しかし、地球上の海洋底の大部分が詳細なマッピングの途上であり、高解像度の海底地形図を広域にわたって作成することが国際的な課題にもなっている。海洋研究開発機構では、研究プロジェクト「数理海底地形科学」を立ち上げ、この課題に対応するための一つの手段として、強力な汎用的データ解析手法の一つであるスパースモデリングを用いた海底地形図の超解像技術の開発を行っている。

スパースモデリングとは、自然界の構造やデータに普遍的に内在するスパース性（ゼロが多いこと）に基づき、高次元データから少数の重要な次元を自動的に抽出する数理的枠組み、もしくは、それに関連する手法の総称である。スパースモデリングを用いることで、少ないデータ量からでも必要な情報を有効に抽出することが可能となる。手法の単純さや結果の解釈性などのアドバンテージにより、自然科学の様々な分野で活用されている。たとえば、2019年に大きな科学ニュースにもなった史上初のブラックホールの直接撮像の際にも、日本チームが中心となりスパースモデリングが利用されている（The Event Horizon Telescope Collaboration, 2019）。また、地球科学分野においても、沈み込み帯プレート境界のゆっくり滑り分布の推定（Nakata et al., 2017）や西之島海底火山の3次元磁化構造の解明（Tada et al., 2021）など、さまざまな対象に適用されている。

海底地形図の超解像技術の開発には、**Sparse coding super-resolution (ScSR)** とよばれる超解像手法（Yang et al., 2010）を参考に、「辞書学習」と呼ばれるスパースモデリング手法を利用した。この手法では、あらかじめ持っている高解像度の海底地形図データを学習し、詳細な海底地形の特徴パターンの辞書（基底のセット）を作る。その後、超解像の対象となる別海域の低解像度地形図データを再現できるように、

先ほどの学習で得られた高解像度の特徴パターンを組み合わせることで画像を構成する。これにより、低解像度のデータから高解像度の画像を高精度に復元可能である。

本研究では、もともと、写真などの自然画像の解析用に作られた ScSR を海底地形図へ適用できるように改良したうえで、沖縄トラフ域の海底地形図データを用いて、提案手法の有効性を検証した (Yutani et al., 2022)。もともとの 100 m グリッドデータを 50 m グリッドに超解像し、正解画像と比較した結果、バイキュービック補間と比較して、画像全体の二乗平均平方根誤差が 3 割程度改善していることを確認された。特に、断層や海丘などの地球科学的に重要な特徴を持つ領域における性能が著しく向上している。これは、学習された辞書から地形的特徴に応じた適切な少数の基底を自動選択して再構成をするスパースモデリングの強みが活かされた結果である。将来的には、得られた特徴パターン (微地形) の解析により、様々な地球科学的知見に結び付けることが期待される。

本講演では、スパースモデリングを用いた手法の他にも、深層学習による超解像手法 (日高ほか, 2021) など、様々な研究開発例を紹介しながら、今後、データ科学が海洋地球科学分野に果たす役割や将来展望についても議論する。

引用文献

The Event Horizon Telescope Collaboration, First M87 Event Horizon Telescope results: IV.

Imaging the central supermassive black hole, *Astrophysical Journal Letters*, 875, L4 (2019)

日高弥子, 松岡大祐, 桑谷立, 金子純二, 笠谷貴史, 木戸ゆかり, 石川洋一, 木川栄一, 深層学習による海底地形図超解像の手法比較と検証, *情報地質*, 32, 3-13(2021)

R Nakata, H Hino, T Kuwatani, S Yoshioka, M Okada, T Hori, Discontinuous boundaries of slow slip events beneath the Bungo Channel, southwest Japan, *Scientific Reports*, 7, 6129 (2017)

N Tada, H Ichihara, M Nakano, M Utsugi, T Koyama, T. Kuwatani, K Baba, F Maeno, A Takagi, M Takeo, Magnetization structure of Nishinoshima volcano, Ogasawara island arc, obtained from magnetic surveys using an unmanned aerial vehicle, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 419, 107349 (2021)

T Yutani, O Yono, T. Kuwatani, D Matsuoka, J Kaneko, M Hidaka, T Kasaya, Y Kido, Y Ishikawa, T Ueki, E Kikawa, Super-resolution and feature extraction for ocean bathymetric maps using sparse coding, *Sensors*, 22, 3198 (2022)

J Yang, J Wright, TS Huang, Y Ma, Image Super-Resolution via Sparse Representation, *IEEE Trans. Image Process*, 19, 2861–2873 (2010)