研究実施体制

総　　括	木川 栄一　（付加価値情報創生部門 地球情報科学技術センター データサイエンス研究グループ）
研究スタッフ	笠谷 貴史　（海洋機能利用部門 海底資源センター） 桑谷　立　（海域地震火山部門 火山・地球内部研究センター 固体地球データ科学研究グループ） 松岡 大祐　（付加価値情報創生部門 地球情報科学技術センター データサイエンス研究グループ） 日髙 弥子　（付加価値情報創生部門 地球情報科学技術センター データサイエンス研究グループ） 村上 幸史郎　（付加価値情報創生部門 地球情報科学技術センター データサイエンス研究グループ） 植木俊明・大河原聖・余野央行［令和6年2月まで］（株式会社海洋先端技術研究所）
技術スタッフ	木戸 ゆかり　（海洋科学技術戦略部 海洋STEAM推進課） 金子 純二　（海洋機能利用部門 海底資源センター 物理特性グループ）

研究成果（論文、学会発表等）

2023年
- Yono O, Kuwatani T, Ueki T, Kikawa E., Removal of MBES Point Cloud Data Using Sparse Coding, Proceedings WR-17 & AIG-14, Sendai, Japan, Aug. 18-22

2022年
- T. Kuwatani, H Hino, K Nagata, T Kawashima, M Toriumi, M Okada, Hyperparameter estimation using resolution matrix for Bayesian sensing Inverse Problems, 38, 124004

2022年
- 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

2021年
- 日髙 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, 2021, 32, 1, pp. 3-13, doi: 10.6010/geoinformatics.32.1_3

2020年
- Mitsuko Hidaka, Daisuke Matsuoka, Tatsu Kuwatani, Yukari Kido, Junji Kaneko, Takafumi Kasaya, Eiichi Kikawa, and Yoichi Ishikawa, Deep convolutional neural network approaches for the super-resolution of bathymetric maps, AGU Fall Meeting 2020: Virtual, December 1-17 2020
- 日髙 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, 機械学習を用いた海底地形図の超解像, 海と地球のシンポジウム2020, オンライン開催, 2020年12月17-18日
- Mitsuko Hidaka, Daisuke Matsuoka, Tatsu Kuwatani, Yukari Kido, Junji Kaneko, Takafumi Kasaya, Eiichi Kikawa. Super-resolution for seafloor topography using deep convolutional neural networks. JpGU - AGU Joint Meeting 2020: Virtual. 12-16 July 2020. (Poster)
- 桑谷　立. 海洋研究開発機構海域地震火山部門における情報地質関連研究, 情報地質, 2020, 31, 2, p. 53-55, doi: 10.6010/geoinformatics.31.2_53

～2019年
- Tatsu Kuwatani, Earth materials science in a data-driven paradigm. Elements, 2019, 15, 4, p. 280-281, doi: 10.2138/gselements.15.4.280
- 桑谷　立. 地球科学プロセス解明のためのデータ駆動型解析　― 地質学分野における応用例―. 情報地質, 2018, 29, 2, p. 49-60, doi: 10.6010/geoinformatics.29.2_49

関連機関

国立研究開発法人海洋研究開発機構
〒237-0061 神奈川県横須賀市夏島町 2 番地 15
E-mail：seabed2030 @ jamstec.go.jp

数理海底地形科学

地球という惑星の理解を深める

国立研究開発法人海洋研究開発機構

概 要

令和元年に開始された数理海底地形科学研究プログラムでは、これまで深層学習による海底地形画像解析の高解像度化及びスパースモデリングによる海底地形画像解析の高度化に取り組んで参りました。今後は、これらの解析手法をさらに発展させて、画像特徴量抽出により得られた海底地形構造パターンを防災・環境・生物・資源などの各ドメインの知識と融合し、海底地形の成り立ちやそれが与える影響を明らかにします。この研究プログラムで確立された画像解析手法により既存の粗い海底地形データから同じ海域の詳細な海底地形データを作成することができます。これは、日本財団―GEBCO Seabed2030計画において、十分なデータが集まらない海域へ応用することにより、多大な貢献を成すものです。

機械学習を用いた海底地形図の高解像度化

近年、多層化したニューラルネットワークを用いた機械学習技術であるディープラーニング（深層学習）が、学術や産業のさまざまな分野において注目を集めています。特に画像の認識に特化した深層畳み込みニューラルネットワークは、大量の画像データから画像中の特徴量を抽出することで、画像のクラス分類や物体検出、異常検知等において従来手法を大きく超える高い精度を得ることに成功しています。その中でも低解像度の画像を高解像度化するのが画像超解像と呼ばれる技術です。低解像度および高解像度の2つの画像のペアを大量に用意し、両者の変換過程を学習することで、画像の高解像度化を実現しています。

本研究プログラムでは、画像超解像を行う5種類のディープラーニングアーキテクチャ（SRCNN、FSRCNN、ESPCN、SRGAN、ESRGAN）を実装し、JAMSTECが取得した中部沖縄トラフの海底地形図向けにチューニングを行いました。下図は、3.2km四方の領域5か所に対して、100メートルメッシュの海底地形図を50メートルメッシュに超解像した結果の一例です。いずれのアーキテクチャによる超解像結果も、Bicubic補間と比べて良好な精度が得られており、特に起伏の大きい地形や欠損値がある場合において高い性能を示すことが分かりました。現在、より広い領域への適用を可能とする汎化性能向上や高倍率化、海底地形学的な知見を取り込んだ機械学習技術の開発に向けて研究開発を進めています。

機械学習を用いた画像特徴量の抽出

スパースモデリングとは、複雑に見えるデータも本質的には少数の原因のみによって説明可能であると考えてデータ解析を進める数理・情報科学的方法論のことです。少ないデータだけからでも最大限の情報抽出を可能にすることから、医療用MRI撮像の高速化や、2019年に世界的なニュースにもなったブラックホールの直接観測などにも役立っています。本研究プログラムでは、海底地形図データの解析に関してもスパースモデリングが有効であるのでは、と考えました。つまり、ブラックホールの観測などと同様に、限られたデータをできるだけ有効活用することで、地形の本来の姿を鮮明に復元するということです。

本研究プログラムでは実際に、写真の超解像を可能にした先行研究の手法を、自然科学で得られる画像データにも応用できるように改良した結果、十分に高い精度での超解像が実現できることを明らかにしました。さらに、超解像と同時に、その地域に特徴的な微地形のようなパターンも自動的に捉えることができました。現在は、これらの特徴的なパターンを地質学や生物学などの様々な知見と総合的に結びつけることで、防災や資源探査、環境問題などに貢献できないか、検討を進めています。

最近では、海底地形図を作成するための元データであるマルチビーム測深データに対して、スパースモデリングを応用した点群データ解析手法を開発しています。これまでに、適切な教師データを学習させることにより、様々な原因で含まれてしまうノイズを自動的に除去できることなどがわかってきました。現在は、これらの解析手法を上手に組み合わせることで、良質な測深データの取得が困難な海域においても高精度・高解像度な海底地形図を作成できる枠組みの構築を目標にして、研究開発を続けています。

日本財団 – GEBCO Seabed2030 計画への貢献

GEBCO（大洋水深総図）とは、The General Bathymetric Chart of the Oceansの略語です。国際水路機関であるInternational Hydrographic Organization: IHOと国連政府間海洋学委員会のUnited Nations Cooperative Organization Intergovernmental Oceanographic Commission（UNESCOIOC）が共同で推進する世界の海底地形図作成団体です。その歴史は、1903年にモナコのアルバート王子が宣言したことに端を発しています。100年以上もの歴史がありますが、未だ世界の海底の24.9%しか調査が及んでいないと言われています（2023年5月発表）。実測調査の空白域を埋めていこう、と欧州、米国、アジア、オセアニア地域の水路協会や海洋学の専門家が定期的に会合を開き、海底地形図の更新を行っています。

年1回開催される「GEBCO WEEK」や各海域の関係者が集まる「Regional Mapping Conference」等で情報収集がなされています。「GEBCO WEEK」では、海洋関係の研究者、政府、国際機関、民間団体、マスコミなどに向けて、予めシンポジウムの案内や事前登録を呼びかけて、幅広い分野からの参加を募っています。海底地形図作成に向けたデータ収集状況、新たな解析用ソフトウェアの紹介、その簡単なトレーニングや海底地形図を広く知ってもらうようなアウトリーチ活動など、全体会や分科会に分かれて議論しています。

JAMSTECでも、海洋調査で得られた 海底地形データを、データ処理後にデータ公開をしていますので、誰でもアクセスすることができます。アジア・太平洋域の取りまとめ機関であるニュージーランドのNational Institute of Water and Atmospheric Research（NIWA）に提供し、海底地形図作成に貢献しています。本研究プログラムでは、機械学習による高精度な画像処理技術や補間解析法などを駆使して、空白域を埋めていく試みも行っています（Kikawa et al., AGU2023 Fall Meeting）。JAMSTECでは、自律型測深技術（Autonomous Mapping Technology）を用いたロボット開発も行っていますので、データ取得においてもSeabed2030への貢献が期待されます。

Seabed2030計画では、2030年に100%のカバレッジを目指す、といった目標が定められていることから、計画的にデータの収集を行うため、民間企業や漁業関係者にも協力を依頼するクラウドソース方式やデータの自動転送の取り組みも行われています。

JAMSTEC による日本周辺の海底地形調査の航跡図
測線の色は、青：かいれい、赤：なつしま、緑：よこすか、黄色：海洋、オレンジ：みらい、紫：かいめい、青：新青丸で取得したことを示す。
データ出展：JAMSTEC 地球情報科学技術センター研究データ公開技術グループ