

スパース辞書学習による海底地形図超解像・特徴抽出

油谷拓^{1,2}、余野央行³、桑谷立¹、松岡大祐²、金子純二⁴、日高弥子²、笠谷貴史⁴、木戸ゆかり⁵、石川洋一²、植木俊明³、木川栄一^{2,6}

Sparse dictionary learning for super-resolution and feature extraction of ocean bathymetric maps

Taku Yutani^{1,2}, Oak Yono³, Tatsu Kuwatani¹, Daisuke Matsuoka², Junji Kaneko⁴, Mitsuko Hidaka², Takafumi Kasaya⁴, Yukari Kido⁵, Yoichi Ishikawa², Toshiaki Ueki³ and Eiichi Kikawa^{2,6}

- 1: 国立研究開発法人海洋研究開発機構 海域地震火山部門 Research Institute for Marine Geodynamics (IMG), Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC), 2-15 Natsushima-cho, Yokosuka 237-0061, Japan. E-mail: taku_yutani@jamstec.go.jp
- 2: 国立研究開発法人海洋研究開発機構 付加価値情報創生部門 Research Institute for Value-Added-Information Generation (VAiG), Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC), 3173-25 Showa-machi, Isogo-ku, Yokohama 236-0001, Japan.
- 3: 株式会社海洋先端技術研究所 Ocean High Technology Institute, Inc., 2-29-12 Honcho, Nakano-ku, Tokyo 164-0012, Japan.
- 4: 国立研究開発法人海洋研究開発機構 海洋機能利用部門 Research Institute for Marine Resources Utilization, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC), 2-15 Natsushima-cho, Yokosuka 237-0061, Japan.
- 5: 国立研究開発法人海洋研究開発機構 研究プラットフォーム運用開発部門 Institute for Marine-Earth Exploration and Engineering (MarE3), Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC), 2-15 Natsushima-cho, Yokosuka 237-0061, Japan.
- 6: いであ株式会社国土環境研究所 IDEA Consultants, Inc., 2-2-2 Hayabuchi, Tsuzuki-ku, Yokohama 224-0025, Japan.

キーワード：海底地形図，超解像，辞書学習，スパースモデリング，機械学習

Key words: bathymetric map, super-resolution, dictionary learning, sparse modelling, machine learning

1. はじめに

海底地形は防災や資源探査，船舶の安全航行，海難救助，海洋生物のモニタリングなどをする上で重要な一次情報となる。しかしながら観測の困難さゆえ，詳細な海底地形図のデータ量は少ない。そのため，限られたデータを有効に活用し，高解像度の海底地形図を作成するための手法の開発が不可欠である。深層学習などの機械学習的手法を用いた海底地形図の超解像は近年試みられてきている（例えば伊藤，2019; Sonogashira et al., 2020; 日高ほか，2021 など）。本研究では，深層学習より少量な教師データからの学習が可能とされる辞書学習とスパースコーディングを利用した超解像手法（Sparse coding super-resolution, ScSR, Yang et al., 2010）を海底地形図へ適用できるよう改良し，海底地形図の超解像および特徴抽出に成功したので，ここに報告する（Yutani et al, 2022）。

2. 手法・データ

辞書学習を用いた超解像手法およびその検証に用いた沖縄トラフ海域の水深データについて説明する。

一般に二次元画像の小領域をパッチとして切り出すと，それは少数の単純な模様（基底）の線形和で近似することが可能である。充分量の基底を格納したデータセットを辞書と呼ぶ。一般に辞書学習による超解像は，「辞書学習」と「再構成」の2段階に分けられる（第1図）。「辞書学習」では

高・低解像度の画像のセットを学習データ $(\tilde{X}_0, \tilde{Y}_0)$ とし，高・低解像度の基底を格納した辞書 (D_H, D_L) を学習する。「再構成」では低解像画像 Y_0 を低解像辞書 D_L を用いて近似し（スパースコーディング），

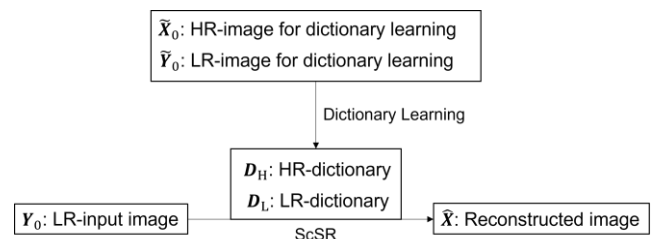
$$Y_0 \approx D_L \alpha \quad (1)$$

そこで得られた表現行列 α と高解像辞書 D_H を用いて低解像入力データ Y_0 に対応する高解像画像 \hat{X} を得る。

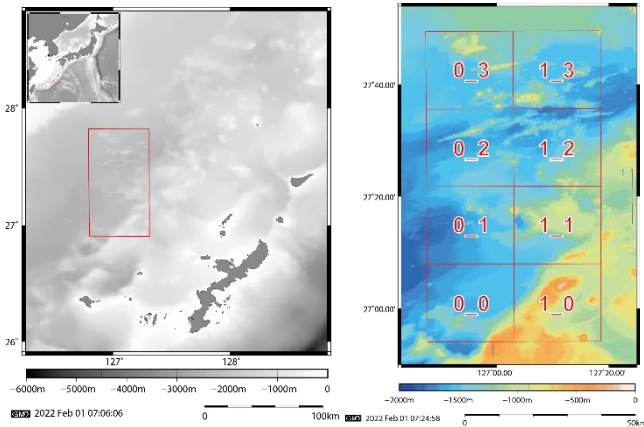
$$\hat{X} \approx D_H \alpha \quad (2)$$

本研究ではリニアメント構造等の海底地形に特徴的な情報を適切に学習するために，前処理として低周波成分の除去を施した学習データを用いて辞書学習を行った。

提案手法による超解像の効果を検証するために，沖縄トラフ中部の，伊平屋小海嶺や小海丘，断層群が確認されてい



第1図 ScSR（提案手法）の流れ。HR: 高解像，LR: 低解像。



第2図 中部沖縄トラフの海底地形図. 海域0_0で学習した辞書で海域0_2を再構成した.

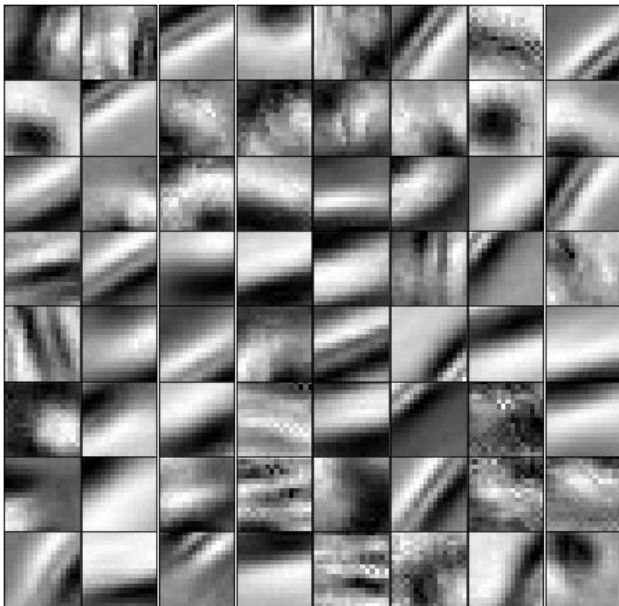
る海域 (Kasaya et al., 2015) の水深データを使用した (第2図).

本海域のメッシュ幅 50 m のグリッドデータを高解像画像, 同 100 m のものを低解像画像とし, 辞書学習, 再構成を行った. 本稿では海域0_0で学習した辞書を用いて海域0_2で再構成, 超解像を行ったものについて述べる. なお, いずれの海域も 25.6 km 四方である.

3. 結果・考察

3.1 辞書学習

海域0_0の水深データより抽出された高周波成分から学習された高解像基底の一部を第3図に示す. 学習海域の大

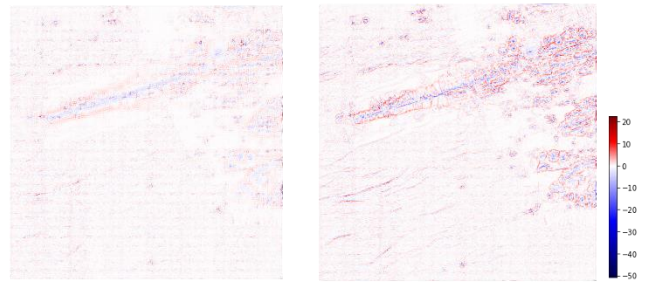


第3図 海域0_0で学習した高解像基底の一部. 一つの基底は 800m 四方である.

域的な地形の情報を含む低周波成分を除去したものを学習データとしたため, 数十~数百メートルスケールの地形的特徴が基底内に認められる. これらは尾根や谷, 小海丘などに相当するものであると考えることが可能である.

3.2 再構成

第3図に示されたような高解像辞書 D_H を用いて海域0_2の100 mグリッドデータを50 mグリッドに超解像し, 正



第4図 海域0_2における正解画像と超解像画像の差分画像. ScSR, 提案手法(左)およびバイキュービック補間法, 従来手法(右).

解画像との二乗平均平方根誤差 (RMSE) を算出したところ, バイキュービック補間と比較して 32.5%改善した. 提案手法および従来手法と正解画像との差分画像を第4図に示す. 従来手法と比較して, 提案手法は全体的に誤差が小さくなっているのもさることながら, 特に断層や海丘等の地形学上重要な特徴を持つ領域における超解像の性能が著しく向上していることが分かる. これは, 学習された辞書から地形的特徴に応じた適切な基底を選択して再構成をするという本手法の超解像過程の強みが生かされた結果であると考えられる.

4. おわりに

本研究では, ScSRを海底地形図に適用できるよう改良し, 超解像を行った. 辞書学習の前処理として海底地形画像を, 地形の起伏の情報に特化した高周波成分と, 大域的な情報を捉える低周波成分に分離し, 高周波成分に対してScSRを実装した. 本手法を沖縄本島中部トラフの地図に適用したところ, 学習データ量は入力データと同じ面積相当でしかないにもかかわらず, RMSEはバイキュービック補間法と比較し30%程度の改善が見られた. スパース辞書学習による基底抽出と再構成により, 超解像と地球科学的特徴抽出を同時に行うことができるということが示された.

文 献

- 日高弥子, 松岡大祐, 桑谷立, 金子純二, 笠谷貴史, 木戸ゆかり, ... & 木川栄一. (2021). 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(1), 3-13.
- 伊藤喜代志. (2019). 機械学習による超解像技術を活用した詳細な深海海底地形図の作成. *日本水産工学会誌*, 56(1), 47-50.
- Kasaya, T., Machiyama, H., Kitada, K., & Nakamura, K. (2015). Trial exploration for hydrothermal activity using acoustic measurements at the North Iheya Knoll. *Geochemical Journal*, 49(6), 597-602.
- Sonogashira, M., Shonai, M., & Iiyama, M. (2020). High-resolution bathymetry by deep-learning-based image super-resolution. *Plos one*, 15(7), e0235487.
- Yang, J., Wright, J., Huang, T. S., & Ma, Y. (2010). Image super-resolution via sparse representation. *IEEE transactions on image processing*, 19(11), 2861-2873.
- Yutani, T., Yono, O., Kuwatani, T., Matsuoka, D., Kaneko, J., Hidaka, M., ... & Kikawa, E. (2022). Super-Resolution and Feature Extraction for Ocean Bathymetric Maps Using Sparse Coding. *Sensors*, 22(9), 3198.