

令和 3 年 6 月 4 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2020

課題番号：18K18067

研究課題名（和文）不完全データ復元と教示サンプル自動選択に基づく地球観測知能システムの開発

研究課題名（英文）Development of intelligent earth observation system based on incomplete data reconstruction and automatic selection of training samples

研究代表者

横矢 直人（Yokoya, Naoto）

東京大学・大学院新領域創成科学研究科・講師

研究者番号：40710728

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：地球観測における異種センサの強みを補完的に活用することで、データの不完全性を克服する画像再構成や画像認識の手法を開発した。また、地上撮影画像やシミュレーションデータなどの補助的なデータから効率的に教示データを収集・生成する方法を明らかにした。これらの手法を、データの不完全性と教示データの不足が問題となる災害状況把握に適用し、従来技術では困難であった、2時期の異種画像を用いた全天候型変化検出や、地表面の3次元変化の高速推定を実現した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、異なるセンサから得られる地球観測データを用いた変化検出を可能としたことと、教示データの収集が困難な3次元変化の高速推定を実現したことに大きな意義がある。これらの成果により、観測データの異種性や教示データの不足がボトルネックとなっていた災害状況把握において、浸水深や土石流による地形変化、建物の被害状況など、災害対応分野で必要とされる災害情報を迅速に提供することが可能となったことが最大の成果である。

研究成果の概要（英文）：We developed methods for image reconstruction and image recognition that overcomes data incompleteness by complementarily utilizing the strengths of heterogeneous sensors in Earth observation. We also studied how to efficiently collect and generate training data from auxiliary data such as ground-shot images and simulation data. We applied our methods to disaster damage assessment, where data incompleteness and lack of training data are serious problems, and realized all-weather change detection using heterogeneous images from two different time periods and rapid estimation of 3D change of the ground surface, which were difficult with conventional techniques.

研究分野：知覚情報処理

キーワード：データ融合 画像合成 3次元変化検出 災害状況把握

## 1. 研究開始当初の背景

地球観測データの大規模化に対応するため、人の労力を最小化するデータ駆動型の情報抽出技術の開発が求められている。大規模時系列地球観測画像集合から、地表面の状態・変化に関する知識を獲得する際に最も重要な2つ課題は、センサ特性や大気条件に起因するデータの不完全性と、教示データの不足である。

これらの根本的な問題を解決するためには、異なるセンサの強みを補完的に活用することでデータの不完全性を克服し、また、地球観測データ以外の補助的なデータを利用することで効率的な教示データの収集・生成が可能になるという着想に至った。

## 2. 研究の目的

本研究は、地球観測データ解析における、データの不完全性と教示データの不足、という2大問題に対処するための基盤技術の開発とその応用展開を目的とする。より具体的には、異なるセンサの強みを補完的に活用することでデータの不完全性を克服する画像再構成や画像認識の手法を開発し、補助的なデータから効率的に教示データを収集・生成する方法を明らかにする。さらに、データの不完全性と教示データの不足が重大な問題となっている災害状況把握において、これらの技術を応用することでその有効性を検証する。

## 3. 研究の方法

上記目的のために、以下の3つの研究課題に取り組んだ。

### (1) 異種センサを活用した画像再構成と画像認識

土地被覆分類に有効な光学画像の豊富なスペクトル情報と、全天候で観測可能な合成開口レーダ ( SAR ) の高い時間分解能を組み合わせることで、時間方向に切れ目なく地表面の情報を抽出する方法を明らかにする。光学・SAR 画像変換やマルチモーダル学習により、2 時期でセンサの種類が異なる場合でも、地表面の土地被覆変化を検出する方法を開発する。

### (2) 効率的な教示データの収集・生成

地上撮影画像や数値シミュレーションを活用し、地表面の土地被覆や3次元形状に関する教示データを効率的に収集・生成する方法論を明らかにする。また、敵対的生成ネットワークを応用し、土地被覆や3次元地形データから現実的な光学画像や SAR 画像を生成する手法を開発する。

### (3) 災害状況把握への応用

災害状況把握においてデータの不完全性と教示データの不足の問題を解決する。マルチモーダル学習手法を拡張し、被災前後の2時期画像が、異なる種類のセンサ ( 光学と SAR ) で得られる場合でも、建物被害推定を実現する。さらに、数値シミュレーションで生成した教示データを、水害・土砂災害時の災害状況把握に応用し、その有効性を実災害データで検証する。

## 4. 研究成果

### (1) 複数データを用いた画像合成

SAR と光学センサの多時期データを入力とする敵対的生成ネットワークにより、雲の影響で観測できない光学画像を復元する手法を開発した。従来の1時期のみを扱う方法では、現実的な光学画像の復元は困難であったが、過去に撮影された SAR ・光学画像の対応を考慮することで高精度な画像復元が可能であることを明らかにした。

土地被覆分類マップとデジタル標高モデル ( DEM ) から光学画像や SAR 画像を合成する技術を開発した。離散的なラベル情報と連続的な標高データを補完的に融合する敵対的生成ネットワークモデルを構築し、これまでにない現実的なリモートセンシング画像を合成することに成功した ( 図 1 ) 。仮想的な世界を簡易的にシミュレートできることを示すことで、データ拡張や教示データ生成の可能性を広げたことは大きな意義がある。

### (2) 異種センサを用いた変化検出

被災前後の2時期画像が、異なる種類のセンサ ( 光学と SAR ) で得られる場合でも、建物被害の度合いを認識可能な分類モデルを開発した。過去の様々な災害について、被災前後の光学・SAR 画像と建物被害のラベルデータを整備し、被災前後の画像の種類が異なる場合でも、建物被害を3段階で分類することが可能であることを明らかにした。これまでは、変化の前後で同一のセンサを使用することが前提であったため、変化検出を行うために適切なデータの取得に時間がかかっていたが、本技術により、データの異種性を気にしなくて良くなるため、迅速な災害情報の提供が可能となる点において意義が大きい。

### (3) 土地被覆分類用教示サンプルの自動選択

畳み込みニューラルネットワーク (CNN) により、地上撮影画像から土地被覆分類用の教示サンプルを生成する方法について検討した。CNN の出力を基に、土地被覆図のための参照用地上データセットに含まれるラベルノイズを段階的に低減し、地上撮影画像分類モデルの高精度化を実現した。Sentinel-2 衛星画像を用いた土地被覆分類図作成において、本手法により生成した教示サンプルを用いることで、目視で作成した教示サンプルを用いる場合に匹敵する分類精度を達成した。これまでは、人手に頼っていたラベル付けを、自動化できる可能性を示したことに意義がある。

### (4) 合成データを活用した3次元変化検出

教示データの取得が困難な災害直後の地表の3次元変化を、地球観測画像から瞬時に推定する技術を世界に先駆けて開発した。数値シミュレーションにより教示データを合成し、地球観測画像から得られる2値変化情報から3次元変化を逆推定する深層学習モデルを構築した。水害時の最大浸水深や土砂災害時の地形変化の迅速な把握を実現した(図2)。リモートセンシング画像解析の限界を打破し、災害対応分野のニーズに応える情報提供が可能となったことは重要な成果である。



図1 デジタル標高モデル(1行目)と土地被覆分類マップ(2行目)を用いた合成画像(3行目)と実画像(4行目)

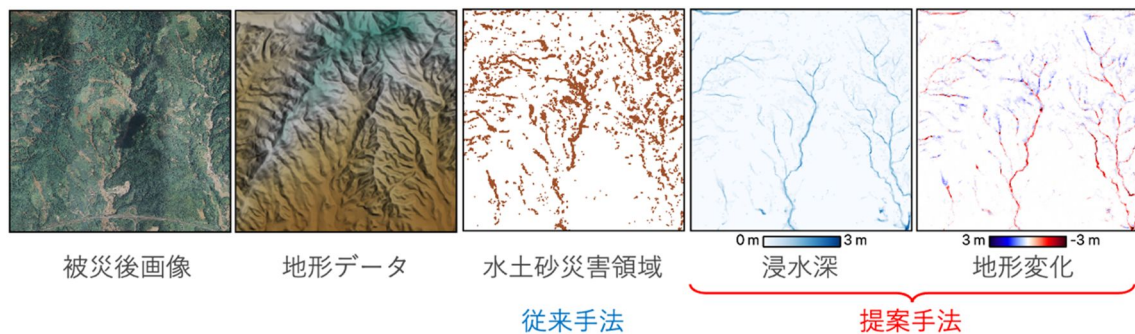


図2 空撮画像と地形データを用いた浸水深と土石流による地形変化の高速推定の概略

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計14件（うち査読付論文 14件 / うち国際共著 7件 / うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 W. He, N. Yokoya, L. Yuan, and Q. Zhao	4. 巻 57
2. 論文標題 Remote sensing image reconstruction using tensor ring completion and total-variation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing	6. 最初と最後の頁 8998-9009
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TGRS.2019.2924017	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 T. Uezato, N. Yokoya, and W. He	4. 巻 29
2. 論文標題 Illumination invariant hyperspectral image unmixing based on a digital surface model	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Image Processing	6. 最初と最後の頁 3652-3664
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TIP.2020.2963961	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 G. Baier, W. He, and N. Yokoya	4. 巻 Early Access
2. 論文標題 Robust nonlocal low-rank SAR time series despeckling considering speckle correlation by total variation regularization	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing	6. 最初と最後の頁 1-13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TGRS.2020.2985400	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 W. He, N. Yokoya	4. 巻 7
2. 論文標題 Multi-temporal Sentinel-1 and -2 data fusion for optical image simulation	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 ISPRS International Journal of Geo-Information	6. 最初と最後の頁 389 ~ 389
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/ijgi7100389	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 N. Yokoya, K. Yamanoi, W. He, G. Baier, B. Adriano, H. Miura, and S. Oishi	4. 巻 Early Access
2. 論文標題 Breaking limits of remote sensing by deep learning from simulated data for flood and debris flow mapping	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing	6. 最初と最後の頁 1~15
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TGRS.2020.3035469	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 G. Baier, A. Deschamps, M. Schmitt, and N. Yokoya	4. 巻 Early Access
2. 論文標題 Synthesizing optical and SAR imagery from land cover maps and auxiliary raster data	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing	6. 最初と最後の頁 1~12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TGRS.2021.3068532	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 B. Adriano, N. Yokoya, J. Xia, H. Miura, W. Liu, M. Matsuoka, S. Koshimura	4. 巻 175
2. 論文標題 Learning from multimodal and multitemporal earth observation data for building damage mapping	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing	6. 最初と最後の頁 132~143
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.isprsjprs.2021.02.016	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計8件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 8件)

1. 発表者名 W. He, Q. Yao, C. Li, N. Yokoya, and Q. Zhao
2. 発表標題 Non-local meets global: An integrated paradigm for hyperspectral denoising
3. 学会等名 Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1 . 発表者名 B. Adriano, N. Yokoya, J. Xia, G. Baier, and S. Koshimura
2 . 発表標題 Cross-domain-classification of tsunami damage via data simulation and residual-network-derived features from multi-source images
3 . 学会等名 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 W. He, L. Yuan, and N. Yokoya
2 . 発表標題 Total-variation-regularized tensor ring completion for remote sensing image reconstruction
3 . 学会等名 ICASSP 2019 ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Tatsuya Yamada, Naoto Yokoya, Takeo Tadono, Akira Iwasaki
2 . 発表標題 Land cover mapping without human annotation
3 . 学会等名 IGARSS 2019 ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 T. Uezato, D. Hong, N. Yokoya, and W. He
2 . 発表標題 Guided deep decoder: Unsupervised image pair fusion
3 . 学会等名 European Conference on Computer Vision (ECCV) ( 国際学会 )
4 . 発表年 2020年

1. 発表者名 N. Yokoya
2. 発表標題 Geospatial AI for disaster damage assessment
3. 学会等名 World Bosai Forum (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------