

2024 年度年次報告書

次世代 AI を築く数理・情報科学の革新

2024 年度採択研究代表者

磯野 凌輔

東京科学大学 情報理工学院

大学院生

数理・学習融合モデルに基づく超ロバスト衛星画像合成

研究成果の概要

雲の影響を受けない合成開口レーダ（SAR）画像を補助的に用いた、光学衛星画像の雲除去技術を開発した。SAR 画像は、衛星から放射されたレーダ波が地表で反射し、再び衛星に届く信号を計測して得られる衛星画像である。SAR 計測で用いるレーダ波は、可視光に比べて波長が長く雲や霧を透過するため、SAR 画像の品質は天候に影響を受けにくいという特長を持つ。この特性を活かして、**SAR 画像と光学画像を合成することで光学衛星画像から雲を除去する SAR-Optical 合成技術**が注目されている。しかし、既存手法は深層学習に依存しており、光学画像と SAR 画像という異なるモーダルデータをどう扱っているのかが数学的に不明瞭であることや、光学画像に含まれるノイズの影響を考慮していないといった課題があった。そこで本研究では、**数学的に解釈可能かつノイズに対してロバストな SAR-Optical 合成手法**の構築を目指した。具体的には、光学画像と SAR 画像の関係に関する複数の仮定を導入し、その仮定をもとに光学画像と SAR 画像の関係を特徴づける正則化や制約条件を設計した。そして、それらを組み合わせ、**明示的に記述可能な数理最適化問題として SAR-Optical 合成を定式化することで、数学的解釈性を確保**した。また、ノイズを明示的に考慮したデータ忠実制約やノイズ除去のための正則化も併せて設計し、それらも最適化問題に取り込むことで、**ノイズ除去と SAR-Optical 合成を同時に行う統一フレームワーク**を構築した。実際の衛星データを用いた実験では、既存の深層学習に基づく手法に比べて、提案法がノイズの有無を問わず高い精度で雲を除去できることを示した。また、提案手法に関するアブレーションスタディを実施し、最適化問題を構成する各要素（正則化項や制約条件）が、SAR-Optical 合成において期待通りの役割を担っていることを確認した。

【代表的な原著論文情報】

- 1) **Ryosuke Isono**, Shunsuke Ono, and Antonio Ortega, “Graph-based robust cloud removal via optical-SAR image fusion,” in *Proceedings of IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, Brisbane, Australia, Aug. 2025.
- 2) **Ryosuke Isono**, Shunsuke Ono, and Antonio Ortega, “Graph-based robust optical-SAR image fusion for cloud removal,” 第 39 回信号処理シンポジウム, 北海道, Dec. 2024.
- 3) **Ryosuke Isono** and Shunsuke Ono, “衛星画像系列における空間構造の時間的類似性を活用したロバスト時空間合成,” 第 39 回画像符号化シンポジウム, 静岡, Nov. 2024. (ベストポスター賞受賞)