

令和 5 年 6 月 17 日現在

機関番号：12612

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2022

課題番号：20K14749

研究課題名（和文）ASV特徴量を用いて合成開口レーダ高機能人工物解析法の開発と応用

研究課題名（英文）Synthetic Aperture Radar Data based Man-Made Target Interpretation Using ASV Feature Parameters

研究代表者

尚方（Shang, Fang）

電気通信大学・大学院情報理工学研究科・准教授

研究者番号：90779050

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：三つの研究項目に対して、それぞれの成果をまとめる。（ア）ASV特徴量の中の偏波度波動率を利用し、都市区域の高精度的に抽出することを実現した。更に、立体、平面、境界線等の細かい形の判定ができた。最終成果はリモートセンシング領域のTop journalの一つに掲載された。（イ）物理的解析に基づく機械学習に基づく建造物向きの推定法を提案した。結果を更なる整理し、学術雑誌に投稿する予定がある。（ウ）建造物の体積・分布密度を基準として、商業施設と住宅区域の区別ができる。当該成果は、日本学会と国際会議にて発表した（エ）以上の計画通りの内容の以外に、地震前後の建造物被害レベルの観測方法も提案した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

衛星搭載合成開口レーダは昼夜と天候を問わず観測可能であり、人工物観測領域に大きく期待されている。しかし、従来法における複雑形態に対する解析能力が不足で、人工物観測に実用化可能な解析法の開発は極めて困難である。本研究では、既に構築したASV特徴量プールを活用することに基づいて、検出のみならず、従来は困難である人工物の幾何形状、建物の向き、および分布密度等の推定も可能となる高機能化人工物解析法の開発を実現した。本研究は、将来的に、地球環境保持や災害対応等の領域に著しい貢献をもたらすと考える。

研究成果の概要（英文）：The results of the three topics are summarized as follows. (a) The fluctuation of degree of polarization is used and city area recognizing method with high accuracy is proposed. In the result, the buildings, surface target and boundary target can be also identified. The result has been published in top journal of remote sensing field. Analysis based and neural network based orientation angle estimating method is proposed, respectively. The result is improving and planned to submit to a journal. (c) Method for estimating scale and distributing density of buildings are proposed. Commercial area and residential area can be distinguished. The result is presented in conferences. (d) Besides the planned topics, the observing and analyzing method on the damage level of building area after earthquake is also proposed.

研究分野：リモートセンシング

キーワード：合成開口レーダ 都市観測

## 1. 研究開始当初の背景

合成開口レーダ (SAR) は、人工衛星または飛行機に搭載する高分解能マイクロ波画像センサの一つである。伝統の光学的観測手法に比べて、昼夜と天候を問わず観測可能、対象物の高さや形態特徴に繋がる散乱情報が収集できるという利点があり、資源探査や災害監視等様々な分野に重要な貢献をもたらしてきた。SAR データの利用には、対象物の形態特徴を表す特徴量の抽出が必要である。現在まで約 30 年の歴史を経過した SAR データ解析法研究では、従来の C/T 行列に基づく特徴量を用いて、湿原監視といった自然物に対する専用識別法はよく発展されていた。しかし、当該手法における対象物の形状、配向、分布密度等の複雑形態特徴に対する解析能力が不足で、背景から人工物区域を検出する効率はまだ低いである。従って、建物被害の調査、都市環境の観測、不審艦船の監視等の人工物観測に実用化可能な解析法の開発は極めて困難である。

人工物解析の難局を打破するため、より高性能の解析法の開発が非常に注目を集めている。2013 年に、申請者は各従来法と全く異なり、革新的な視点による Averaged Stokes Vector (ASV) に基づく解析法を提案した。提案した特徴量は各従来法より豊富な散乱情報の利用が可能となり、複雑形態を持つ対象物に対する識別性能を顕著に向上させた (図 1)。宇宙航空研究開発機構 (JAXA) の SAR 搭載陸域観測衛星 2 号 (ALOS2) のデータによって、北海道函館市等の多くのエリアに対する解析性能を評価し、当該方法が高性能であり、特に各従来法を凌駕する人工物検出性能を示すことを実証した。当該成果はリモートセンシング分野での Top Journal である IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing に 3 件が掲載され、世界的に高い評価を受けた。

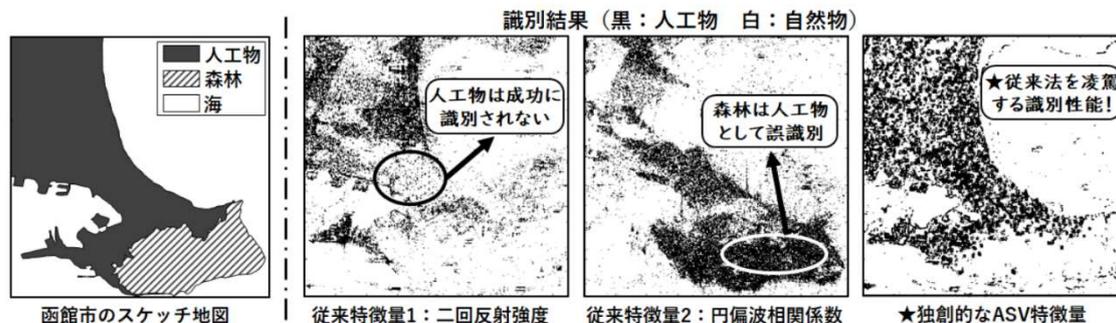


図 1 北海道函館市のスケッチ地図と各特徴量による人工物識別結果 (黒:人工物 白:自然物)

当該成果を研究の基盤として、様々な特徴量を抽出し独自の「ASV 特徴量プール」を構築してきた。当該特徴量プールは、数年の検証と改良において、各人工物に対する解析結果は明晰的に自然物と区別することができて、各従来法を凌駕する人工物検出性能を実証した。当該特徴量を用いて、当該領域で期待されている高機能化人工物解析法の開発は見込みがある結果になる。この原因で、本研究の着想に至った。

## 2. 研究の目的

人工物区域を高感度に検出することを満たすだけで実際の応用にはまだ不十分である。本課題では、ASV 特徴量を用いて、検出することのみならず、従来は困難である人工物の幾何形状、建物の向き、および分布密度等の推定も可能となる高機能化解析法の開発を目指す。当該研究において以下の三つの項目がある。

(ア)人工物幾何形状の解析。人工物を種類別に細分化することは都市区域解析のために必要不可欠な前処理である。様々な細分基準が存在しているが、最も直観なのは対象物の幾何形状である。従って、本項目において、都市区域の人工物を幾何形状に分類する手法の開発を目指す。

(イ)建物群向きの解析。衛星搭載 SAR は天候を問わず観測可能であり、災害直後の建物被害調査に大いに立つ。建物倒壊前後において、当該区域のほぼ全ての特徴が変化する。しかし、最も著しく変わるのは建物群向きの一致性である。即ち、倒壊発生後に、向きの一致性は必ず大幅に低くなる。これにより、本項目では、建物群向きの一致性を倒壊有無の判断指標として、建物倒壊区域に対する識別法の開発を目指す。

(ウ)建物群体積・分布密度の解析。「城中村」とは、都市内部において、周辺を高層ビルに囲まれた劣悪な住環境、狭隘な道路、公共施設の欠如などの特徴を持つ地域である。通常都市区域より、城中村区域の建物は体積が小さくて、分布密度が高いという特徴がある。本項目では、建物群の体積および分布密度の推定手法を確立し、適切閾値を選択することによって、「城中村」を検出する手法の開発を目指す。

### 3. 研究の方法

三つの研究項目に対して、それぞれの研究方法を以下にまとめる。

(ア) 人工物幾何形状の解析。本項目では、一致度、平均強度、平均偏波度、および偏波依存度という ASV 特徴量を利用し、人工物の幾何形状を分類する予定がある。まず、一致度によって、人工物区域を検出した。次は、検出した人工物区域に対する平均強度を用いて平面物（強度が低い）を識別し、最後に、残りの人工物に対する偏波依存度によって線状物（依存度が高い）と立体物（依存度が低い）を区別する。また、自然物区域に対する偏波度を用いて、草と林の区別もできる。普遍性がある細分化法を提案するため、東京エリアの L バンドの ALOS-2 データを利用して閾値を調整する。

(イ) 建物群向きの解析。ASV 特徴量の内に、建物の向き角度に繋がるのは対称度と結構配向度である。本項目では、L バンド SAR データを用いて、向き角度とこの二つの特徴量の具体的な定量関係を解明する。東京エリアの ALOS-2 データを利用して、項目 (ア) で抽出した立体物（建物群）区域に注目し、推定した理論関数を用いて建物群の向き角度を計算する。最後に、十分かつ適切なサンプルエリアを選定し、計算した向き角度と現地調査のデータを比較することに基づいて、校正係数を推定する。

(ウ) 建物群体積・分布密度の解析。本項目では、機械学習手段を利用し、大きい建物群と小さい建物群を区別する予定がある。機械学習手段において、既知の現地調査情報によって、東京エリアから適切な教師サンプルエリアを選定し、既に提案した四元数ニューラルネットワークで分類する予定である。十分な学習を確保するため、異なる向き、分布密度、および体積の建物群を含む大量のサンプルが必要である。

### 4. 研究成果

当該課題において、三つの研究項目がある。それぞれの研究実績を以下にまとめる。

(ア) 都市区域の細分化。ASV 特徴量の中の偏波度波動率というパラメータで都市区域の高精度的に抽出することを実現した。更に、構造配向度、反射強度および二面角応答強度というパラメータを導入して、立体、平面、境界線等の細かい形の判定ができた。識別性能は従来法より大幅に向上した（図2）。初期成果は日本学会と国際学会にて数回発表した。最終成果はリモートセンシング領域の Top journal の一つである IEEE transactions on Geoscience and remote sensing に掲載された。

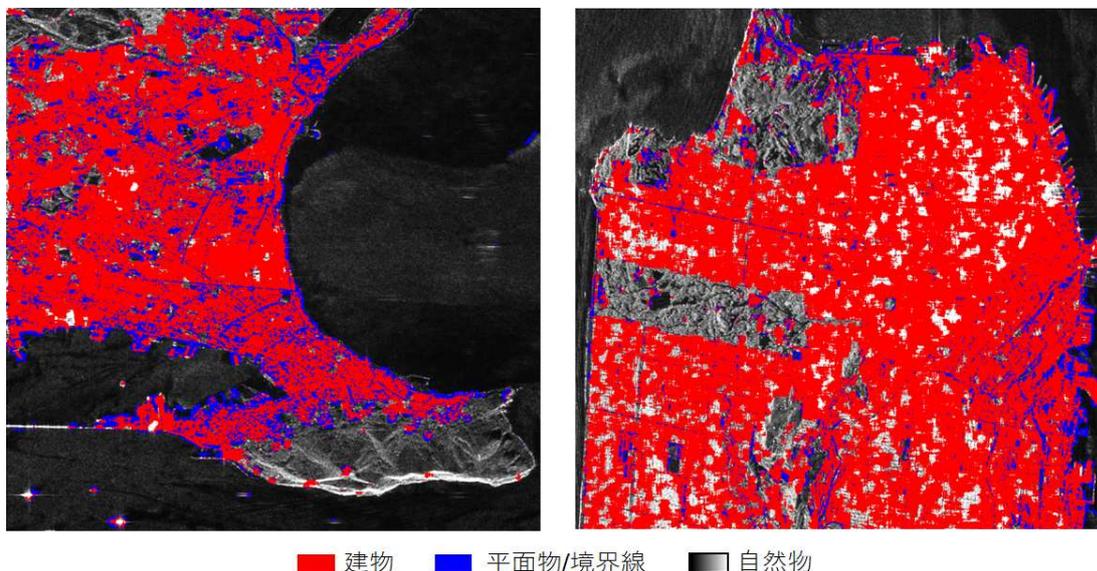


図2 北海道函館市 (左) とアメリカ San Francisco エリア (右) に対する都市区域解析結果。F. Shang, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, doi: 10.1109/TGRS.2023.3276001

(イ) 建物群向きの解析。(ア) の成果を利用して二つの成果ができた。計画通りに、物理的解析に基づく機械学習に基づく建造物向きの推定法を提案した。特に、解析に基づく提案法において、特徴量の分散度と向き角度の間の強い関係性を発見した。実験によって関連関数を確定し、高精度の向き角度推定を実現した。従来の向き角度推定法より解析感度が大幅に向上した（図3）。当該成果は、日本学会にて発表した。結果を更なる整理し、学術雑誌 IEEE transactions

on Geoscience and remote sensing に投稿する予定がある。

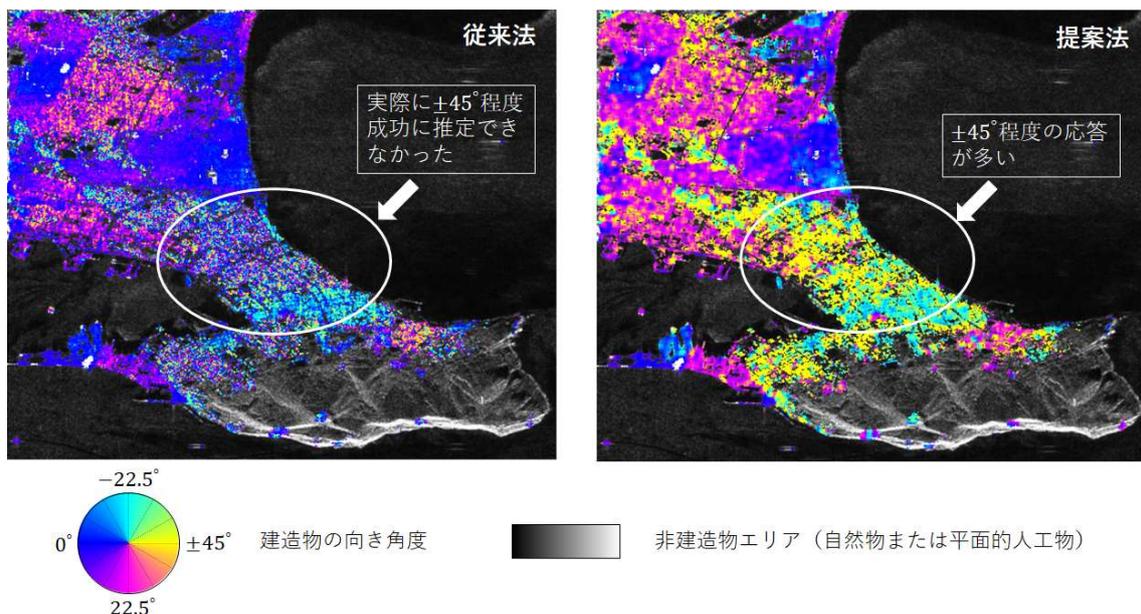


図3 従来法（左）と提案法（右）による建造物向き角度解析結果。IEEE transactions on Geoscience and remote sensing に投稿する予定。

(ウ) 建造物体積・分布密度の解析。建造物の体積・分布密度を基準として、商業施設と住宅区域の区別ができる。周波数領域データ分析と機械学習の二つの手段を利用して、東京エリアの解析を実現した。ビルのみならず、高速ジャンクション等の大型建造の識別もできた。将来的に、建造物の機能によって細分化的分類が可能である。当該成果は、日本学会と国際会議にて発表した。

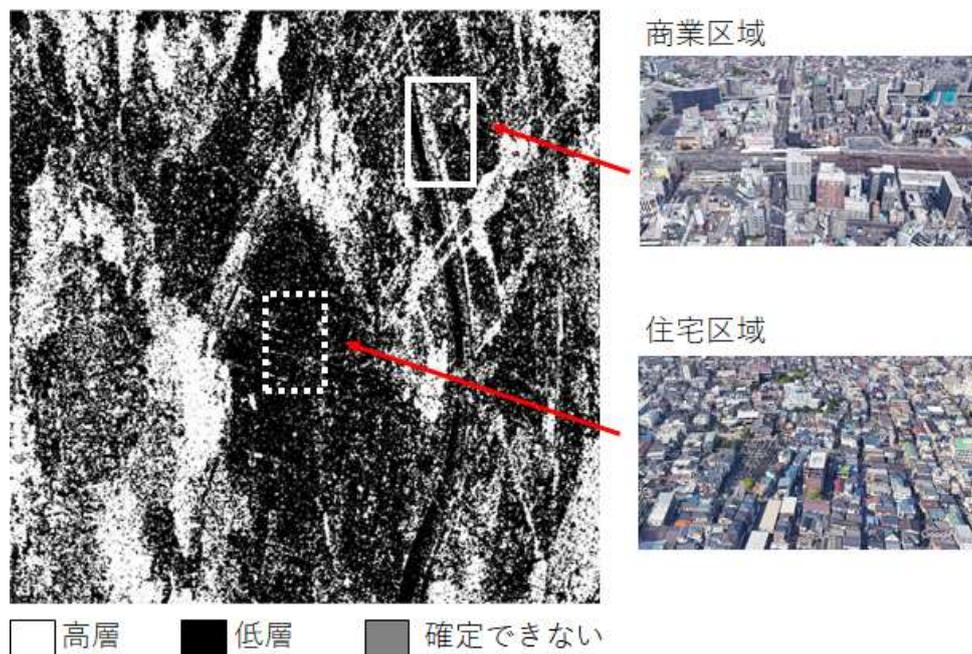


図4 東京区域に対する建造物体積・分布密度の解析結果。

(エ) 以上の計画通りの内容の以外に、(イ)の成果に基づいて、地震前後の被害レベルの観測方法も提案した。まず地震前の都市区域範囲を特定した。最新の七成分分解法で都市区域の建造物を解析した。解析結果における平面反射、二面角反射、ボリューム散乱の変化を定量化して倒壊建造物の識別のみならず、被害レベル（大倒壊、中倒壊、小倒壊）の判定も実現した。同じテーマに対し、四元数ニューラルネットワークでも成功に実現した。当該成果は、日本学会にて発表した、7月の国際会議にて発表予定である。結果を更なる整理し、学術雑誌 remote sensing に投稿する予定がある。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Fang Shang	4. 巻 to appear
2. 論文標題 Built-Up Area Detection based on Degree of Polarization Analysis in Frequency Domain Using Fully PolSAR Data	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 IEEE transactions on Geoscience and Remote Sensing	6. 最初と最後の頁 to appear
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/TGRS.2023.3276001	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 Shang Fang, Saito Taiga, Ohi Saya, Kishi Naoto	4. 巻 59
2. 論文標題 Coniferous and Broad-Leaved Forest Distinguishing Using L-Band Polarimetric SAR 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 7487 ~ 7499
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/TGRS.2020.3032468	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 -

〔学会発表〕 計8件（うち招待講演 3件 / うち国際学会 4件）

1. 発表者名 Fang Shang, Momoko Sumida, Koki Oketani, Naoto Kishi
2. 発表標題 Detection and Analysis of Collapsed Buildings after the Kumamoto Earthquake by Using ALOS2-PALSAR2 Data
3. 学会等名 2023 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium IGARSS (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Fang Shang
2. 発表標題 Frequency-Domain Analysis of DoP Information for Urban Area Interpretation Using Fully Polarimetric SAR Data
3. 学会等名 2022 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium IGARSS (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 住田桃子、尚方、來住直人
2. 発表標題 全偏波合成開口レーダ7成分分解法を用いた地震被害区域の識別
3. 学会等名 電子情報通信学会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 岡庭康浩、尚方、來住直人
2. 発表標題 合成開口レーダデータを用いた機械学習による建物の向き・角度の判別
3. 学会等名 電子情報通信学会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Fang Shang, Natsuki Fujiwara, Naoto Kishi
2. 発表標題 Averaged Stokes Vector Features Based Man-Made Targets Analysis Using PolSAR Data
3. 学会等名 2021 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium IGARSS (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Y Watanabe, F Shang, N Kishi
2. 発表標題 Calibration of ground slope effect on Forest Observation using L-band Synthetic Aperture Radar data
3. 学会等名 Y Watanabe, F Shang, N Kishi
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Natsuki Fujiwara, Fang Shang, Naoto Kishi
2. 発表標題 PolSAR data based high-rise building and low-rise building dominant areas Classification using quaternion neural networks
3. 学会等名 IEICE SANE
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Fang Shang
2. 発表標題 Discussion on Building Orientation Estimation Using Polarimetric Synthetic Aperture Radar Data
3. 学会等名 2020 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (国際学会)
4. 発表年 2020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
---------	---------