

令和元年6月12日現在

機関番号：13101

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2016～2018

課題番号：16K01285

研究課題名（和文）レーダポーラリメトリによる自然災害発生時の被災住宅群識別および緊急救助用陸路検出

研究課題名（英文）Identification of stricken manmade objects and detection of healthy streets for emergency rescue using radar polarimetry

研究代表者

佐藤 亮一（Sato, Ryoichi）

新潟大学・人文社会科学系・教授

研究者番号：00293184

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,700,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、偏波合成開口レーダ(PoISAR)で取得される画像データを用いて、(1)地震や洪水で全壊/半壊した住宅群が散在する被災地の被災状況把握手法、(2)洪水で都市のビル間に取り残された自動車と救助用道路を検出するための手法を開発した。(1)の手法の有効性は、ALOS-2/PALSAR-2で取得された多偏波PoISARデータを用いた画像解析により確認された。(2)の手法の有効性は、実データがなかったため、電波暗室内での縮小スケールモデルに対するPoISAR測定で得られたデータを用いた画像解析により検証された。この他に、被災橋梁、土砂や雪で覆われた住宅の状況把握も検討された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で構築した新たな被災住宅群検出手法、および救助用陸路と洪水被災自動車の検出手法が実用化されれば、環境(昼夜・天候状態の違い)に依存せずに従来困難だった被災直後の緊急救助ルートの迅速な検出が可能となるため、緊急救助・災害監視・被害予想・分析・対策の分野に大きく貢献できる。また、高分解能のカラー画像で解析結果を提供するので、高度な専門知識なしに被災状況を理解しやすく、災害現場での有効な活用が期待できる。

研究成果の概要（英文）：In this research, we developed useful techniques for accurately understanding the situation of stricken and flooded areas, by making full use of quad-pol SAR data. Here, two useful methods are proposed for (1) detection of completely/partially destroyed manmade objects after big earthquake, and (2) detection of roads where a vehicle is trapped in flooded urban area. It was found from the results of PoISAR image analysis using actual ALOS-2/PALSAR-2 data that the detection method (1) works well around the huge damage area in Kumamoto-Oita earthquake. Also, for the detection method (2), it was verified for the quad-pol SAR data acquired by polarimetric scattering measurement for a scaled vehicle-buildings model in anechoic chamber that the detection method is effective when the trapped vehicle is set in both lit and shadow regions. Furthermore, examinations on understanding of the situations of stricken bridge, manmade objects involved in landslide or covered by snow were carried out.

研究分野：波動情報工学 電磁界理論

キーワード：地震 洪水 被災橋梁 冠水・浸水自動車 被災状況把握 レーダポーラリメトリ 合成開口レーダ
マイクロ波リモートセンシング

1. 研究開始当初の背景

マイクロ波リモートセンシングは、レーダを用いて遠隔で地表観測を行う技術で、昼夜天候を問わず観測可能なため、自然災害直後の被災地周辺の状況の正確な把握、安全な救助用・避難用陸路の検出に適している。中でも、偏波合成開口レーダ(PolSAR)は、「偏波情報を利用してターゲット識別に役立つ技術：レーダポーラリメトリ」への有効活用が期待されるため、先進国、新興国を問わず、様々な帯域のセンサが開発されはじめてきた。日本においては、新型地球観測衛星 ALOS-2/PALSAR-2 (Lバンド) が 2014 年 5 月に打ち上げられ、本研究開始当初に実用的な観測データの提供が始まった。このセンサでは、従来と比較してより高分解能・広範囲での地表観測、短観測周期が実現されたため、災害緊急観測等への利用が期待されはじめていた。

上記のような動向に先駆けて、本研究代表者は、衛星搭載および航空機搭載の PolSAR により取得された偏波データを利用した被災状況把握のためのレーダポーラリメトリを基とした画像解析手法の開発、特に被災住宅群識別に関する研究を行ってきた。しかし、従来研究で開発した被災住宅群識別手法は、2014 年広島土砂災害での「土砂を伴う斜面に被災住宅が散在する状況」や、2015 年関東・東北豪雨災害での「被災家屋の大部分が泥水に浸かった状況」、2016 年の熊本・大分地震での「全壊した住宅群と半壊した住宅群が散在する状況」までは想定しておらず、これら複雑な電波散乱を引き起こす状況下での被災住宅群の検出・識別は困難だった。また、レーダポーラリメトリによる河川の水位推定の応用においても、水位推定に利用する橋梁（特に橋桁部分）が被災で損傷・倒壊している場合には、従来の水位推定手法の適用が難しくなることがわかっており、橋梁の被災状況把握も大きな課題の一つとなっていた。さらに、多発するゲリラ豪雨等による急な増水で水没した道路に自動車を取り残されることもあり、自動車内の被災者救出のための自動車検出も、被災者救助のための緊急輸送陸路の検出の一部として重要な課題となっていた。

2. 研究の目的

本研究は、自然災害が発生した場合の人命に危険をおよぼす二次災害の防止に役立てるため、

- (1) 地震や土砂崩壊等で全壊/半壊した住宅群、および洪水で浸水した住宅群の識別
 - (2) 被災住宅群が地理的に河川で分断されている場合に備えた被災橋梁の状態把握
 - (3) 被災住宅群やその周辺道路に取り残された被災者救助のための緊急輸送陸路の検出
- を、昼夜天候を問わず、遠隔において可能とする「レーダポーラリメトリを用いた自然災害発生時の被災住宅群および緊急救助用陸路の検出のための偏波画像解析手法」を開発し、災害現場で活用することを目的とする。

3. 研究の方法

本研究では、「地震で被災した住宅群」、「水に浸った住宅群」、「健全な形状および部分倒壊した橋梁」、「浸水した（住宅に囲まれた）道路」、「斜面に置かれた住宅群」等のターゲットモデルからの散乱波に含まれる「偏波情報」の中の、何が被災住宅や被災橋梁、損傷した道路の検出・識別に役立つのか、ということに重点をおき、以下の項目を互いに検証しながら進めていった。

- (1) 電磁界理論を基とした理論構築：FDTD 法によるターゲットモデルに対する偏波散乱解析
- (2) 電波暗室におけるモデル実験：計算モデルに対応する偏波散乱測定と検証
- (3) 衛星データを用いた画像解析：(1)、(2)で得られる特性を考慮した衛星データ偏波画像解析

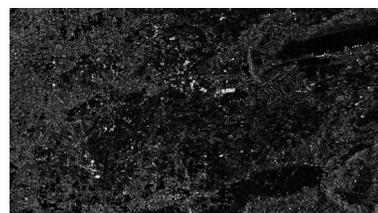
4. 研究成果

本研究により、主として以下の 2 つの成果が得られた。

(1) 高分解能 PolSAR データを用いた被災住宅群の検出

地震や洪水の被災地の被災前後を撮影した PolSAR データに、散乱電力分解法を適用することで、全散乱電力を 2 回反射散乱 P_d 、体積散乱 P_v 、表面散乱 P_s 等に分解し、住宅識別の指標となる P_d の被災前後の差、すなわち $|P_d(\text{被災前}) - P_d(\text{被災後})|$ を抽出する。全壊のみならず、半壊した住宅群も良精度で検出できるようにするために、この指標と従来研究(基盤研究(C)25350495)で開発した住宅群検出アルゴリズムを併用して解析を行った。

本研究では、熊本地震で被害が大きかった益城町周辺の被災前後(2015年12月3日と2016年4月21日)に撮影した ALOS-2/PALSAR-2 データを用いて解析した。2 回反射散乱の差の画像、および被災前後で“住宅”から“その他の散乱体”に判定が変わったピクセルの画像を、それぞれ図 1(a)および図 1(b)に示す。正確な現地調査による検証まではできなかったが、図より、益城町役場周辺の全壊もしくは半壊した家屋が多かった地域(図の中央下部分)では、被災前後で 2 回反射散乱の差が大きく、“判定が変わったピクセル”も多く観られており、提案手法を用



(a)



(b)

図 1 地震被災住宅の検出結果

いることで、全壊および半壊の住宅群が散在する被災地域においても、被災住宅群の識別が可能であることがわかった。

(2) PolSAR データを利用した建築物間の浸水道路に残された自動車検出アルゴリズムの開発

ゲリラ豪雨等による急な増水で道路が水没して自動車が取り残される事例 (図 2) は少なくなく、自動車内の被災者救出のための自動車検出もレーダポーラリメトリの重要な課題の一つである。特に、SAR はサイドルックレーダのため、ビルとビルの上に影領域ができ、その間にターゲットがある場合の検出は一般に難しい。

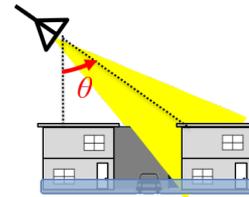


図 2 増水道路に取り残された自動車と
サイドルックレーダの影領域

本研究では、基本的な偏波散乱特性を考慮することで、都市洪水発生時に高層ビル間に取り残された自動車を検出可能とするアルゴリズムを導出した。以下に、平均化処理後の PolSAR データに対して行う処理を示す。

- ① 散乱行列およびその 2 次統計量の行列 (Coherency 行列) に偏波回転補正を行う。
- ② 回転後の Coherency 行列に散乱電力分解法を適用し、自動車やビル等の人工ターゲットを示す指標である「2 回反射散乱 P_d 」を抽出する。
- ③ P_d が閾値より大きい場合は「都市を構成する人工のターゲット (ビルあるいは自動車)」、小さい場合は「それ以外のターゲット」と判定する。
- ④ 人工ターゲットと判定された場合、主偏波比 (S_{VV}/S_{HH}) の位相 χ も計算し、 χ が閾値より大きい場合は自動車の位相 $\chi_{vehicle}$ 、小さい場合はビルの位相 $\chi_{building}$ と判定する。
- ⑤ さらに位相差 $|\chi_{vehicle} - \chi_{building}|$ を用いて、PolSAR 画像から抽出した自動車が実像なのか虚像なのかを判定する。 $|\chi_{vehicle} - \chi_{building}|$ が小さければ照射領域に存在する実像として、 $|\chi_{vehicle} - \chi_{building}|$ が大きければ影領域に存在する虚像として判定する。

洪水時に取り残された自動車を含む ALOS-2/PALSAR-2 データがなかったため、実 PolSAR データを用いた自動車検出アルゴリズムの検証ができなかった。そこで、簡易的な自動車と 2 つビルで構成される縮小スケールモデルを構築し、電波暗室にて PolSAR 測定を行い、洪水時にビルに囲まれた環境で取り残された自動車に対する PolSAR データを取得した。得られた PolSAR データに自動車検出アルゴリズムを適用した結果、照射領域、影領域にかかわらず、自動車モデルが正しく検出できることを確認した。

(1)、(2)に加え、地震等で被災した橋梁の状態把握を実現するために、縮小スケール橋梁モデルに対して入射角を固定した簡易 PolSAR 測定および偏波散乱解析を行った。解析の結果、橋桁部分の被災による傾きは、偏波オリエンテーション角を評価することで把握できることを確認した。しかし、ALOS-2/PALSAR-2 や Pi-SAR-2 等の実際の PolSAR センサでは、様々な入射角で観測されるため、入射角の変化させた場合にも橋桁部分の状態(傾き)が偏波オリエンテーション角の変化量により把握できるかを検討する必要がある、今後の課題となっている。

大雪による雪害、特に雪に埋もれた被災住宅および周辺道路の状態把握についても検討した。ここでは 2 面コーナリフレクタと湿雪で簡易雪害住宅モデルを構成して PolSAR 測定および偏波散乱解析を行った。得られたデータの詳細な解析、および多層の積雪を考慮した多重反射モデルの導入により、大半が雪に覆われた状態においても、住宅と他のターゲットとの識別が可能な偏波指標があることがわかった。しかし、湿雪の含水比や降雪表面の粗面により、偏波散乱特性が大きく変わることが予想されるので、さらなる理論および実験による検証が必要である。

また、土砂を伴う斜面に被災住宅が散在する状況を想定した簡易土砂-住宅モデルに対する偏波散乱解析も行い、詳細にその偏波散乱特性を調べた。

これらの研究は、自然災害の二次災害防止に役立ち、偏波散乱の基礎理論研究の観点からも重要なので、本研究終了後も引き続き行っていく予定である。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 2 件)

- ① T. Ishikuro, R. Sato, Y. Yamaguchi, and H. Yamada, “A fundamental study on vehicle detection in flooded urban area using quad-polarimetric SAR data,” 査読有, IEICE Trans. Electron., Vol. E102-C, No. 1, pp. 38-45, Jan. 2019.”
DOI: 10.1587/transele.E102.C.38
- ② 佐藤亮一, “マイクロ波衛星リモートセンシングの偏波情報利用～地震被災地観測への応用,” 査読有, 電子情報通信学会論文誌 C, Vol. J100-C, No. 3, pp. 107-115, 2017 年 3 月.

[学会発表] (計 18 件)

- ① 齊藤真衣, 佐藤亮一, 山口芳雄, 山田寛喜, “簡易水稲モデルに対する偏波散乱測定”, 2019 年電子情報通信学会総合大会論文集, C-1-18, 早稲田大学 (東京都), 2019 年 3 月.
- ② R. Sato and H. Shirai, “Reflection and transmission features of scattered field

- from multi-layered window glass in high frequency band,” PIERS 2018 Abstract, 3P10, Toyama, Japan, Aug. 2018.
- ③ R. Sato and H. Shirai, “Plane wave scattering from two cracks on conducting plane,” PIERS 2018 Abstract, 1A5, Toyama, Japan, Aug. 2018.
- ④ R. Sato, T. Nebu, T. Ishikuro, Y. Yamaguchi, and H. Yamada, “Polarimetric angle utilization for grasping state of damaged bridge”, 査読有, Proc. of 2018 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), pp. 8092–8095, Valencia, Spain, July 2018.
DOI: 10.1109/IGARSS.2018.8517792
- ⑤ R. Sato, S. Hayashi, Y. Yamaguchi, and H. Yamada, “Observation of snow covered urban area using ALOS-2 data”, 査読有, Proc. of 12th European Conference on Synthetic Aperture Radar (EUSAR 2018), pp.1-4, Aachen, Germany, June 2018.
- ⑥ R. Sato, A. Takatori, and H. Shirai, “Proposal of novel reflection/transmission coefficient for efficient propagation analysis at outdoor-indoor interface environment”, Proc. of 2nd URSI AT-RASC, Gran Canaria, Spain, May-June 2018.
- ⑦ 根布俊哉, 佐藤亮一, 下保敏和, 山口芳雄, 山田寛喜, “ALOS-2 多偏波 SAR データを用いた水田モニタリング”, 2018 年電子情報通信学会総合大会論文集, C-1-14, 東京電機大学 (東京都), 2018 年 3 月.
- ⑧ R. Sato, S. Hayashi, Y. Yamaguchi, and H. Yamada, “Polarimetric scattering analysis from simplified man-made objects model covered by snow layer,” 査読有, Proc. of 2017 IEEE Conference on Antenna Measurements & Applications (CAMA), pp.161-163, Tsukuba, Japan, Dec. 2017.
DOI: 10.1109/CAMA.2017.8273389
- ⑨ T. Ishikuro, R. Sato, Y. Yamaguchi, and H. Yamada, “Experimental study for detecting vehicle in flooding urban area using quad-pol SAR data,” 査読有, Proc. of 2017 IEEE Conference on Antenna Measurements & Applications (CAMA), pp.356-358, Tsukuba, Japan, Dec. 2017.
DOI: 10.1109/CAMA.2017.8273450
- ⑩ R. Sato, S. Hayashi, Y. Yamaguchi, and H. Yamada, “Polarimetric Scattering Analysis from Simple Man-made Objects Model Covered by Snow,” PIERS 2017 Singapore Abstracts, p.1006, Singapore, Nov. 2017.
- ⑪ 佐藤亮一, 白井宏, “電波伝搬解析効率化のための多層誘電体スラブの反射・透過特性に関する基礎研究”, 信学技報 Vol.117, No.289, EMT2017-64, pp.149-152, 天童ホテル (山形県天童市), 2017 年 11 月.
- ⑫ 石黒敬典, 佐藤亮一, 山口芳雄, 山田寛喜, “PoISAR データ解析による都市部における水害被災車両検出の検討”, 電気学会研究会資料, EMT-17-137, 天童ホテル (山形県天童市), pp.187-192, 2017 年 11 月.
- ⑬ R. Sato and H. Shirai, “High-frequency asymptotic solution of scattering field by three-layered dielectric slab for accurate propagation analysis,” 2017 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP), 査読有, pp.1-2, Phuket, Thailand, Oct.-Nov. 2017.
DOI: 10.1109/ISAP.2017.8228954
- ⑭ 宮崎孝祐, 佐藤亮一, 山口芳雄, 山田寛喜, “偏波 SAR データを用いた氾濫河川領域からの偏波散乱解析,” 信学技報 Vol.116, No. 309, EMT2016-48, pp.61-64, 2016 年 11 月.
- ⑮ R. Sato, T. Yajima, M. Masaka, Y. Yamaguchi, and H. Yamada, “Experimental Study on Polarimetric Scattering for Grasping State of Stricken Bridge,” 2016 URSI Asia-Pacific Radio Science Conference (AP-RASC 2016), S-F2b-2, Seoul, Korea, Aug. 2016.
- ⑯ R. Sato, M. Masaka, Y. Yamaguchi, and H. Yamada, “Polarimetric Angle Compensation to Quad-pol SAR Data for Detecting Deformed Buildings,” 査読有, 2016 IEEE International Geoscience & Remote Sensing Symposium (IGARSS2016), pp.7565-7568, Beijing, China, July 2016.
DOI: 10.1109/IGARSS.2016.7730973
- ⑰ R. Sato, Y. Ikarashi, M. Masaka, Y. Yamaguchi, and H. Yamada, “Investigation on polarization orientation angle shift for accurate urban area observation using ALOS-2/PALSAR-2 data,” 査読有, 11th European Conference on Synthetic Aperture Radar (EUSAR 2016), pp.604-606, Hamburg, Germany, June 2016.
- ⑱ 佐藤亮一, 五十嵐裕平, 山口芳雄, 山田寛喜, “高解像度衛星 PoISAR データを用いた都市領域の高精度観測のための偏波オリエンテーション角シフト特性について,” 信学技報 Vol.116, No.75, EMT2016-5, pp.33-36, 2016 年 6 月.