

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 9 月 6 日現在

機関番号：13101

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19H02389

研究課題名（和文）レーダポーラリメトリによる広域河川氾濫領域の被災状況把握および救助用陸路検出

研究課題名（英文）Study on grasping damage situation in wide flood area and detecting healthy roads around the flood area 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） 12,900,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、偏波合成開口レーダ(PoSAR)で取得される画像データを用いて、1) 河川氾濫領域（河川周辺、浸水住宅）の観測および状態把握、2) 適切な緊急救助用陸路の検出（道路、橋梁の被害の有無と状態把握）、3) 洪水被害軽減策（田んぼダムとしての利用）を想定した水田の状態把握を実現するための手法の開発を行なった。1)-3)に対応する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で、何が研究目的を実現するために役立つのか、ということに重点をおき、FDTD電磁界解析を中心に詳細な調査を行ない、解析手法を検討した。実PoSARデータを用いた画像解析を実行し、導出手法の妥当性を検証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で開発した新たな被災領域の状態把握手法を、広域水害被災領域を対象に実用化すれば、環境（昼夜・天候等の違い）に依存せずに、従来困難だった水害被災直後の河川氾濫領域の観測、安全な緊急救助用陸路の検出、洪水被害軽減を想定した水田の状態把握等が可能となるため、災害監視、被害予想・分析・対策等の分野に大きく貢献できる。高度な専門知識のないユーザでも被災状況を容易に理解できるため、解析結果は基本的に高分解能カラー画像により提供するため、より多くの災害対策分野への活用が期待できる。

研究成果の概要（英文）：In this research, we try to develop useful techniques for precisely grasping damage situation in wide flood area, by making full use of quad-pol SAR data. Here, by considering the analysis results based on fundamental study on electromagnetic wave scattering from simplified target models, three applicable methods are proposed for 1) observing and grasping the situation around flood river area, 2) detecting appropriate land roads for emergency rescue case, and 3) grasping the seasonal change of rice paddy field that is often used as temporary rainwater storage tank to mitigate flood disaster damage. It is verified from the results of PoSAR image analysis for actual quad-pol SAR data that each proposed method is useful.

研究分野：波動情報工学、電磁界理論

キーワード：被災地観測 自然災害 レーダポーラリメトリ 合成開口レーダ リモートセンシング 洪水

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

## 1. 研究開始当初の背景

自然災害、特に洪水発生時の被災領域およびその被災状況把握に関しては、昼夜天候を問わず上空から地表面を遠隔観測できるマイクロ波リモートセンシング、中でも、偏波合成開口レーダ(PolSAR)を用いて取得されるデータに含まれる偏波情報を利用してターゲット識別に役立てる技術「レーダポーラリメトリ」が注目され、世界中で様々な帯域の PolSAR が開発・運用されはじめていた。日本においては、2014 年 5 月に打ち上げられた地球観測衛星「だいち 2 号(ALOS-2)」に搭載された高性能 L バンド PolSAR センサ「PALSAR-2」の運用開始により、高分解能かつ広域で、定期的な地表面観測が可能となったため、平時の定期観測に加え、洪水時の局所的な災害観測に、偏波情報を含む PolSAR データの利用が試みられるようになっていた。

本研究代表者は、上記の動向に先駆けて、自然災害被害の状況把握のために、レーダポーラリメトリを基とした画像解析手法の開発を長年行ってきた。洪水発生時と幾分異なるが(2016年の熊本・大分地震で観られたような)全壊した住宅群と半壊した住宅群が散在する状況の把握、多発するゲリラ豪雨等による都市部での急な増水で水没した道路の状態把握等で大きな成果を上げてきた。しかし、従来研究においては、広域での河川氾濫領域の状況把握や避難/救助用陸路の検出に有効な偏波情報(偏波指標)の特定、およびその利用方法の確立までは実現できていなかった。また、大量の雨水を水田に一時貯留することで洪水被害軽減する田んぼダムとしての利用までを想定した水田の状況把握についてはあまり検討がなされておらず、重要な課題の一つとなっていた。

## 2. 研究の目的

本研究は、昼夜天候に左右されず、上空から遠隔において上流から下流までの広域で発生する河川氾濫領域を観測でき、その被災状況の可視化と最適な救助用陸路の検出を可能とする「レーダポーラリメトリを用いた広域河川氾濫領域の被災状況把握のための偏波画像解析手法」を開発し、緊急時の災害現場における人命救助や二次被害防止に活用することを目的とする。

開発する手法を適切に活用することに、以下を実現する。

- 1) 河川氾濫領域(河川周辺および浸水住宅)の観測および状態把握
- 2) 適切な緊急救助用陸路の検出(道路および橋梁の被害の有無と状態把握)
- 3) 洪水被害軽減策(田んぼダム)も想定した水田の状態把握

## 3. 研究の方法

本研究では、氾濫河川、侵食された堤防、浸水後の住宅、浸水した道路、き裂の入った道路、被災した橋梁、洪水被害軽減策で利用される水田(水稻)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、何が研究目的 2 の 1)~3)を実現するために役立つのか、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る計画を立てていた。

- (1) 電磁界理論を基とした理論構築: FDTD 法等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) 実 PolSAR 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実 PolSAR データに対する偏波画像解析

しかし、2019 年度後半に新型コロナウイルス感染拡大が発生し、感染拡大防止対策を徹底する必要があったために、研究期間の大半において、(2)の電波暗室におけるモデル実験を行うことができなかった(モデル実験ができたのは 2019 年前半のみ。2020 年度、2021 年度は感染の収束を期待して実験の準備はしていたが、実施できなかった)。そのため、当初計画と比較すると不十分にはなるが、(1)と(3)の相互検証を行いながら研究を進めることとした。

X バンド PolSAR データの利用は当初から計画していたが、PALSAR-2 で取得される L バンド PolSAR データを中心に解析を進める予定だった。しかし、上述のように、電波暗室でのモデル実験がほぼできなくなり、数値シミュレーションと画像データ解析が中心となったため、L バンド、X バンドに加え、C バンドのデータに対する画像解析も期間終盤に追加し、日本のみならず他国が提供する様々なセンサに対応可能な偏波画像解析手法の開発に取り組んだ。

## 4. 研究成果

本研究により、以下の成果が得られた。

### 4-1. 河川氾濫領域の観測および状態把握

#### 4-1-1. 浸水住宅

洪水被災住宅領域(洪水に関連する土砂被災住宅領域含む)と被災を免れた住宅領域を識別するための偏波指標を特定するため、水が引いた後に土砂が堆積した道路と住宅境界をモデル化し、その堆積した土砂を含む住宅モデル(被災住宅モデル)からの偏波散乱解析を詳細に行なった。レーダアジマス方向に土砂が傾いて堆積している場合、被災住宅モデルの偏波散乱行列に偏波オリエンテーション角補正を実行することで、被災無し住宅モデルからの偏波特性に類似する傾向を示すようになることがわかった。これにより、補正後の 2 回反射散乱発生の有無が、住宅周辺の洪水被害(土砂堆積被害)の有無に影響することが明らかになった。(主に[1])

#### 4-1-2 河川周辺堤防

Quad-pol SARデータを用いて河川堤防と水面との境界部分の侵食状況を把握するための基礎研究として、簡易河川堤防境界モデルに対する偏波散乱解析を行った。異なる大きさ、形状の侵食部をもつ堤防モデルに対するFDTD電磁界解析および電波暗室での散乱測定を行い、取得されるQuad-pol SARデータに対して詳細な偏波解析を実行することで、侵食部の開口面の大きさや侵食深さと特徴的偏波状態との対応について検討した。侵食部の開口が比較的狭い場合においても、侵食部からの散乱の寄与が堤防境界部分の特徴的偏波状態に影響を及ぼす可能性があることがわかった。(主に[2])

さらに、PALSAR-2で取得された実PolSARデータに対して、河川堤防崩壊前後の偏波特性がどのように変化するのかについても調査した。イベント前後の散乱メカニズムおよび偏波度の変化を検出することで、河川決壊箇所を抽出できることがわかった。(主に[3])

#### 4-2. 適切な緊急救助用陸路の検出

##### 4-2-1. 救助用道路

広域洪水発生直後に安全な緊急救助用陸路を検出するためには、道路表面における泥水の有無、およびき裂の有無を調べることが重要になる。そこで、道路表面の状況把握のための基礎研究として、泥水を模擬する多層誘電体スラブ、および隣接する複数のき裂からの正偏波の散乱特性を、近似散乱解析を基に詳細に調べた。解析の結果から、垂直偏波入射時の隣接するき裂からの散乱特性にき裂の有無を示す特徴が現れることを確認した。(主に[4]、[5]、[6])

##### 4-2-2. 橋梁

河川氾濫後の避難経路となる橋梁の状態把握を、Quad-pol SARデータを利用して実現するために、簡易橋梁モデル(橋梁の橋桁が健全な場合と部分的に倒壊した場合)に対し、任意のレーダ照射方向に対する詳細な電磁界解析を行い、散乱波の偏波特性の変化量を調査した。橋梁とレーダ照射方向との傾き角と橋桁の倒壊角が、偏波オリエンテーション角と偏波度の変化に関連していることがわかり、これらの組み合わせが橋梁健全性の判定に有効なことを示した。

この結果を基に、PALSAR-2の実PolSARデータを用いて、完全橋梁崩壊、部分橋梁崩壊の前後の偏波特性の変化についても調査した。イベント前後の散乱メカニズムと偏波度の変化を検出することで、部分崩壊橋梁を検出できることを示した。(主に[3])また、崩壊橋梁付近の領域に対して導出される固有値/固有ベクトル解析を基とした偏波角を用いると、散乱電力が小さい場合においても崩壊橋梁検出の可能性があると示した。(主に[7])

#### 4-3. 洪水被害軽減策を想定した水田の状態把握

##### 4-3-1. 水田

洪水発生時に雨水を水田に一時貯留して洪水被害軽減を行う田んぼダムを想定した水田(水稲)モデルに対して偏波散乱測定を行い、そのデータ分析を行った。水稲部分は本物の稲を用いてモデルを構築した。様々なレーダ照射に対して、季節毎に適した水稲生育状態把握のための偏波指標を把握できた。これにより、洪水発生時の水位変化に対する偏波特性の変化についても概ね推測できるようになった。(主に、[8]、[9])

#### 4-4. 関連する主な業績

##### (河川氾濫領域の観測および状態把握)

[1] R. Sato, K. Sasaki, Y. Yamaguchi and H. Yamada, "Analysis of polarimetric scattering from dihedral structure for detecting building damaged by mudflow," Proc. of 2019 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)

DOI: 10.1109/IGARSS.2019.8900071 (査読有)

[2] 後藤勇世, 佐藤亮一, 山口芳雄, 山田寛喜, "簡易河川堤防境界モデルに対する偏波散乱解析", 2020年電子情報通信学会総合大会 C-1-14, 2020年3月.

[3] R. Sato, R. Kubo, H. Yamada, "Flood Area Observation Using Quad-polarimetric SAR Data Based on Model-based Decomposition," Proc. of 2021 7th Asia-Pacific Conference on Synthetic Aperture Radar (APSAR)

DOI: 10.1109/APSAR52370.2021.9688368 (査読有)

##### (適切な緊急救助用陸路の検出)

[4] R. Sato and H. Shirai, "Fundamental analysis of electromagnetic wave scattering from multi-layered window glass in multi-frequency band," Proc. of 2019

International Conference on Electromagnetics in Advanced Applications (ICEAA'19)

DOI:10.1109/ICEAA.2019.8879383 (査読有)

[5] R. Sato and H. Shirai, "Approximate analysis of EM wave scattering from two cracks on a ground plane," Proc. of 2020 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP)

DOI: 10.23919/ISAP47053.2021.9391425 (査読有)

[6] 佐藤亮一, 白井宏, "導体平板上の二つのクラックからの電磁波散乱に関する基礎研究," 電子情報通信学会 電磁界理論研究会, 信学技報 EMT2019-73, vol. 119, no. 272, pp. 261-264, 2019.

[7] K. Kuwabara, R. Sato, Y. Yamaguchi and H. Yamada, “Polarimetric Analysis of ALOS-2/PALSAR-2 Data for Grasping State of Damaged Bridge,” ICSANE2021, IEICE Tech. Rep.SANE2021-47, vol. 121, no. 236, pp. 79-82, 2019. (査読有)

**(洪水被害軽減策を想定した水田の状態把握)**

[8] T. Hashimoto, R. Sato, Y. Yamaguchi and H. Yamada, “Experimental study on grasping seasonal change in paddy rice growth using quad-polarimetric SAR data,” ICSANE2019, IEICE Tech. Rep.SANE2019-62, vol. 119, no. 255, pp. 71-75, 2019. (査読有)

[9] 池内達也, 佐藤亮一, 山口芳雄, 山田寛喜, “斜入射時の簡易水稻モデルに対する偏波散乱特性について”, 2021年電子情報通信学会総合大会 C-1-10, 2021年3月.

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計10件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 6件）

1 . 発表者名 R. Sato and H. Shirai
2 . 発表標題 Fundamental analysis of electromagnetic wave scattering from multi-layered window glass in multi-frequency band
3 . 学会等名 Proc. of 2019 International Conference on Electromagnetics in Advanced Applications (ICEAA'19), DOI: 10.1109/ICEAA.2019.8879383 ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 R. Sato, K. Sasaki, Y. Yamaguchi and H. Yamada
2 . 発表標題 Analysis of polarimetric scattering from dihedral structure for detecting building damaged by mudflow
3 . 学会等名 Proc. of 2019 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), DOI: 10.1109/IGARSS.2019.8900071 ( 国際学 会 )
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 T. Hashimoto, R. Sato・Y. Yamaguchi and H. Yamada
2 . 発表標題 Experimental study on grasping seasonal change in paddy rice growth using quad-polarimetric SAR data
3 . 学会等名 ICSANE2019, IEICE Tech. Rep.SANE2019-62, vol. 119, no. 255,, pp. 71-75 ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 佐藤亮一, 白井宏
2 . 発表標題 導体平板上の二つのクラックからの電磁波散乱に関する基礎研究
3 . 学会等名 電子情報通信学会 電磁界理論研究会, 信学技報 EMT2019-73, vol. 119, no. 272, pp. 261-264
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名 後藤勇世, 佐藤亮一, 山口芳雄, 山田寛喜
2. 発表標題 簡易河川堤防境界モデルに対する偏波散乱解析
3. 学会等名 2020年電子情報通信学会総合大会 C-1-14
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 R. Sato and H. Shirai
2. 発表標題 Approximate analysis of EM wave scattering from two cracks on a ground plane
3. 学会等名 Proc. of 2020 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP), DOI: 10.23919/ISAP47053.2021.9391425 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 池内達也, 佐藤亮一, 山口芳雄, 山田寛喜
2. 発表標題 斜入射時の簡易水稲モデルに対する偏波散乱特性について
3. 学会等名 2021年 電子情報通信学会 総合大会 C-1-10
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐藤亮一, 山口芳雄, 山田寛喜
2. 発表標題 偏波SARデータを用いた散乱電力分解法の基礎について
3. 学会等名 電子情報通信学会 電磁界理論研究会, 信学技報 EMT2021-35, vol. 121, no. 226, pp. 36-40 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 K. Kuwabara, R. Sato, Y. Yamaguchi and H. Yamada
2. 発表標題 Polarimetric Analysis of ALOS-2/PALSAR-2 Data for Grasping State of Damaged Bridge
3. 学会等名 ICSANE2021, IEICE Tech. Rep.SANE2021-47, vol. 121, no. 236, pp. 79-82 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 R. Sato, R. Kubo,i and H. Yamada
2. 発表標題 Flood Area Observation Using Quad-polarimetric SAR Data Based on Model-based Decomposition
3. 学会等名 2021 7th Asia-Pacific Conference on Synthetic Aperture Radar (APSAR), DOI: 10.1109/APSAR52370.2021.9688368 (国際学会)
4. 発表年 2021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
研究 分担者	山田 寛喜  (Yamada Hiroyoshi)  (20251788)	新潟大学・自然科学系・教授   (13101)	
研究 分担者	山口 芳雄  (Yamaguchi Yoshio)  (50115086)	新潟大学・自然科学系・フェロー   (13101)	

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
---------	---------