

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 17 日現在

機関番号：13101

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22510188

研究課題名（和文）レーダポーラリメトリによる地震被災住宅の高精度識別手法の開発およびその活用

研究課題名（英文）Development of Accurate Detection/Identification Method of Stricken Residential Buildings Using Radar Polarimetry

研究代表者

佐藤 亮一（SATO RYOICHI）

新潟大学・人文社会・教育科学系・准教授

研究者番号：00293184

研究成果の概要（和文）：本研究では、地震で崩壊した建築物領域の識別を可能とするために、散乱電力分解法の一つである NNED (Non-Negative Eigenvalue Decomposition) と偏波回転補正を組み合わせる手法を提案した。PolSAR データの画像解析結果より、提案手法が有効であることを示した。また、NNED で生じる「余り電力」も、補助指標として有効活用できることも示した。さらに、円偏波相関係数と正規化した相関係数の組み合わせは、積雪時かつ様々な方向に配置された被災住宅の観測に有効であることも明らかにした。

研究成果の概要（英文）：In this research, we propose a useful technique for stricken man-made objects identification/classification, by using the combination of the NNED (Non-Negative Eigenvalue Decomposition) and the OAC (Orientation Angle Compensation). It is found from the results of the PolSAR image analysis that proposed technique is valid for the purpose, and the “remainder” component generated in the NNED procedure is also considered as a secondary but effective marker for stricken area identification. Furthermore, it is cleared from the image analysis that the combination of the co-polarized correlation coefficient in LR circular polarization basis and the ratio of the correlation coefficient to that under Non Reflection Symmetry is very useful for detecting snow-covered and/or oriented man-made objects.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2011年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2012年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学・自然災害科学

キーワード：地震、土砂災害、地球観測、リモートセンシング、自然災害、レーダポーラリメトリ、合成開口レーダ、FDTD 解析

## 1. 研究開始当初の背景

2004年から2009年にかけて、日本各地でM7.0クラスの地震（新潟県中越地震:M6.8、福岡県西方沖地震:M7.0、能登半島地震:M7.3、新潟県中越沖地震:M6.8、宮城内陸地震:M7.2、静岡沖地震:M6.5、等）が多発していた。

地震被害を最小限に抑えるには、地震発生直後の正確な状況把握が最も重要だが、交通網の寸断や夜間発生の影響により、被災状況の把握が大幅に遅れた事例が少なくはなかった。このため、遠隔で、かつ昼夜・天候を問わずに被災地周辺の状況を観測できる手段が強く求められていた。

日本で大地震が連続で発生していたのと同様同じ時期（2006年から2008年）に、世界中で人工衛星ALOS/PALSAR（日本）、TerraSAR-X（ドイツ）、RadarSAT-2（カナダ）が次々と打ち上げられた。これらの衛星は、遠隔で地表観測を実現するリモートセンシング技術を備えた地球観測衛星である。着目すべきは「偏波合成開口レーダ（PolSAR）」が搭載された点である。PolSARはマイクロ波を利用した高解像なセンサで、昼夜・天候を問わず観測が可能のため、被災地観測や災害監視に適している。さらに、ターゲットからの散乱電力だけでなく、マイクロ波のベクトル性質（偏波情報）まで取得できるため、偏波情報を詳細なターゲット識別に役立てる技術「レーダポーラリメトリ」への有効活用が期待されていた。

このような背景の中、PolSAR搭載の地球観測衛星を地震被災地の観測、特に被災住宅周辺の観測に役立てることを目的に、本研究「レーダポーラリメトリによる地震被災住宅の高精度識別手法の開発およびその活用」を開始した。

## 2. 研究の目的

本研究は、大地震発生後の被災地およびその周辺の迅速な状態把握、二次災害防止に役立てるため、

(1) 密集した都市部での被災住宅群の識別・検出

(2) 積雪時の被災住宅群の識別を遠隔において可能とする「レーダポーラリメトリによる新しい人工物(被災住宅)の識別手法」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

従来のPolSAR画像解析手法を基に、被災した人工物群、および積雪時の人工物群の識別を可能とする高精度なマイクロ波リモートセンシング手法を確立するために、以下の発展研究を行った。

### 1 被災人工物群検出手法の改良

複数の人工物モデル(凹凸のある地面上)に対する偏波散乱解析  
簡易人工物モデルに対する偏波散乱測定

以上より得られた特性を考慮した偏波散乱解析手法の改良

### 2 積雪時にも有効な人工物群検出手法の改良

複数の人工物モデル(凹凸のある地面)に降雪のある場合の偏波散乱解析

以上より得られた特性を考慮した偏波散乱解析手法の改良

## 4. 研究成果

上記の方法に沿って研究した結果を下記に述べる。

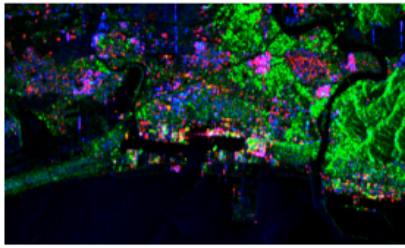
### (1) 被災人工物群の検出

被災により形が変形した場合、地面の凹凸が大きくなった場合でも、安定して人工物が識別できるようなPolSAR画像解析手法の開発を目標とした。

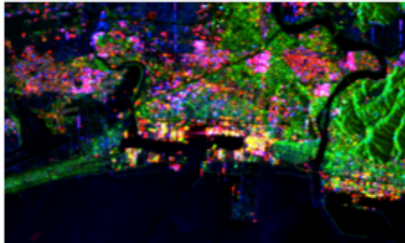
従来の散乱電力分解法では、測定された散乱電力を、体積散乱、表面散乱、2回反射散乱、等の基本物理モデルのみで分解していた。このため、ビーム照射内のターゲット領域の状況が各物理モデルとフィットしない場合、分解される電力が負となる「負電力問題」が発生していた。近年、この問題を解決する手段の一つとして、Non-Negative Eigenvalue Decomposition: NNEDが提案された。NNEDでは、従来の基本物理モデルに加え、ターゲット領域がモデルにフィットしない場合、『余り』を導入して、それを「その他の散乱モデル」として扱って分解することで、負電力を抑えている。

本研究では、この余り成分の有効利用を試みた。被災により発生した瓦礫等からの散乱成分を、「余り」電力の主な発生源とみなし、この余り電力の変化が被災状況把握に役立つのではないかと考えた。

さらに、以前の研究『基盤研究(C)19510183』において開発してきた「偏波回転」を組み合わせると、より詳細に被災した箇所が観測しやすくなると考えた。

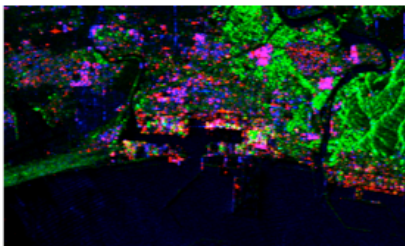


(a) Yamaguchi 3 with C22 rotation

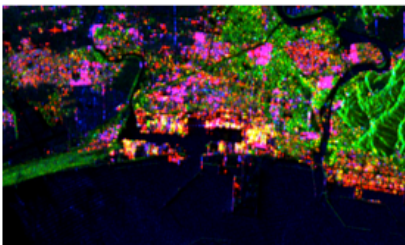


(b) NNED 3 with C22 rotation

図 1 散乱電力分解による解析結果  
(2011/04/08)



(a) Yamaguchi 3 with C22 rotation



(b) NNED 3 with C22 rotation

図 2 散乱電力分解による解析結果  
(2009/04/02)

以下に地球観測衛星「だいち (ALOS)」の PALSAR センサで取得されたデータの画像解析結果を示す。図 1 および図 2 は東日本大震災の被災地・石巻市周辺の画像解析結果である。赤は 2 回反射散乱、緑が体積散乱、青が表面散乱を示している。図 1 は被災前の 2009 年 4 月 2 日、図 2 は被災から約 1 ヶ月後の 2011 年 4 月 8 日に測定されたデータを用いた。各図の (a) が従来の散乱電力分解法に偏波回転を加えた結果、(b) が NNED に偏波回転を加えた結果である。赤色の 2 回反射散乱が人工物と識別する一つの指標となる。このことを



(a) before Earthquake



(b) After Earthquake

図 3 余り電力の画像結果

考慮して図を観ると、震災前 (図 1)、震災後 (図 2) 共に、NNED + 偏波回転の組み合わせの方が、赤色が強調されているので、人工物検出に有効であることがわかる。

また、被災前後を比較すると、崩壊した建築物が多くある街の中心部や住宅街で、赤色の領域が大幅に減っている様子も観られる。

次に、被災前後の「余り」電力を図 3 示す。被災前 (図 3 (a)) に比べ、被災後 (図 3 (b)) 方が、余り電力が多く発生している様子が見られる。これは、建築物の崩壊に伴い発生した瓦礫等からの散乱が余り電力として評価された結果と考えられる。以上より、被災領域の状況把握の補助指標として、余り電力を活用できる見込みがあることがわかった。

#### (2) 積雪時に有効な人工物群検出手法

前節の散乱電力分解法を基とした手法は、被災した住宅周辺の検出に適しているが、被災地に積雪があった場合、(人工物識別指標である) 2 回反射散乱と判定されていた領域の一部が、表面散乱と誤って判断される場合がある。

そこで本研究では、積雪の影響が比較的小さい円偏波相関係数を基とした人工物識別手法も検討した。ターゲットとなる人工物群が、レーダ照射方向にほぼ垂直に並んでいる場合は従来の円偏波相関係数を、斜めに配置されている場合 (非 Reflection Symmetry の場合) は正規化相関係数を「切り替えて」用いることで、人工物群があらゆる角度で配置されている場合でも検出できるような簡単かつ有効な手法を考案した。

円偏波相関係数と正規化相関係数を適切なタイミングで切り替えるための指標に、オリエンテーション角とヘリシティを用いた。

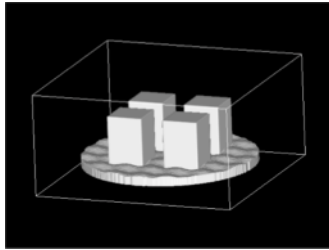
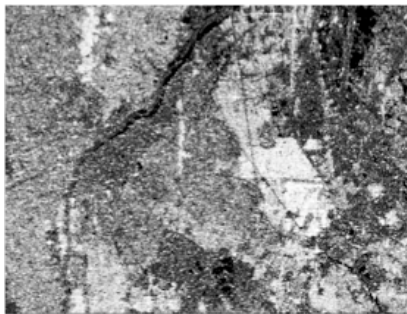
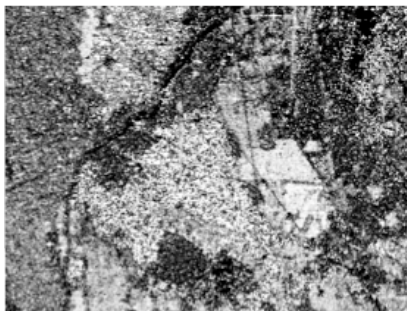


図 4 簡易人工物モデル



(a) Previous method



(b) Proposed method

図 5 円偏波相関係数の解析結果

この2つのパラメータに対する切り替え条件は、図4に示す「簡易人工物群モデル」に対するFDTD偏波散乱解析より決定した。

提案手法の有効性を示すために、図5に画像解析結果を示す。ここでは、札幌市周辺のALOS/PALSARデータを用いた。図5(a)は円偏波相関係数、図5(b)は提案アルゴリズムを適用した結果である。白い部分が人工物と判定された領域を示す。図より、提案アルゴリズムの結果の方が、従来の円偏波相関係数のみの結果と比べ、多くの領域で人工物が検出できていることが、航空写真等との比較からわかった。

しかしながら、このアルゴリズムで用いられる条件式は、ある特定の入射角に対して得られた解析結果のみを用いて決定されており、入射角特性は含まれていない。さらに、ターゲット領域の分布の影響もまだ十分に

検討されていない。これらの点は今後の課題である。

#### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1件)

**R. Sato**, H. Sato, and H. Shirai, "Novel Usage of Binary Tree in SBR Algorithm for Efficient Indoor Propagation Analysis," IEICE Electronics Express, vol.9, 2012年4月, pp.673-678.

DOI: 10.1587/elex.9.673

〔学会発表〕(計8件)

(内査読付国際会議論文6件)

佐野華枝, **佐藤亮一**, 山口芳雄, 山田寛喜, "非RS偏波散乱特性を利用した人工物識別アルゴリズム," 電子情報通信学会2013年総合大会, C-1-27, 2013年3月20日, 岐阜市(岐阜県).

**佐藤亮一**, 山口芳雄, 山田寛喜, "乱電力分解法における体積散乱成分の評価について," 電気学会電磁界理論研究会 EMT-12-125, pp.39-43, 2012年11月15日, 阿蘇市(熊本市).

**R. Sato**, Y. Takahashi, H. Yamada, and Y. Yamaguchi, "Stricken Man-Made Object Detection Using Scattering Power Decomposition With NNED and Rotation of the Covariance Matrix," 2012 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS 2012), 査読有り, CD-ROM, 2012年7月26日, Munich (Germany).

DOI: 10.1109/IGARSS.2012.6352458

**R. Sato** and H. Shirai, "GTD Analysis for Diffraction by a Thin Slit on Infinitely Long PEC Screen," 2012 USNC-URSI Rational Radio Science Meeting, 査読有り, CD-ROM, 2012年7月9日, Chicago (USA).

**R. Sato**, H. Yamada, and Y. Yamaguchi, "Investigation of Polarimetric Scattering Characteristics For Accurate Classification of Oblique Wetland Boundary," 9th European Conference on Synthetic Aperture Radar (EUSAR 2012), 査読有り, CD-ROM, 2012年4月25日, Nurnberg (Germany).

Print ISBN: 978-3-8007-3404-7

**R. Sato**, Y. Takahashi, H. Yamada, and Y. Yamaguchi, "Polarimetric Scattering Analysis for a Simplified Bridge Model on Water Surface," 2011 International Symposium on Antennas and Propagation

(ISAP2011), 査読有り, 2011 年 10 月 27 日,  
Jeju (Korea).

**R. Sato**, H. Yamada, and Y. Yamaguchi,  
“FDTD Polarimetric Scattering Analysis  
for Detection of Stricken Man-made  
Object,” The 3<sup>rd</sup> Asia-Pacific International  
Conference on Synthetic Aperture Radar  
(AP SAR2011), 査読有り, CD-ROM, 2011 年  
9 月 28 日, Seoul (Korea).  
Print ISBN: 978-1-4577-1351-4

**R. Sato**, H. Yamada, and Y. Yamaguchi,  
“Polarimetric Scattering Feature  
Estimation For Accurate Wetland  
Boundary Classification,” 2011 IEEE  
International Geoscience and Remote  
Sensing Symposium (IGARSS 2011), 査読  
有り, CD-ROM, 2011 年 7 月 25 日,  
Vancouver (Canada).  
10.1109/IGARSS.2011.6048915

## 6 . 研究組織

### (1)研究代表者

佐藤 亮一 (SATO RYOICHI)  
新潟大学・人文社会・教育科学系・准教授  
研究者番号：00293184