

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 2 日現在

機関番号：13101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25350495

研究課題名(和文) レーダポーラリメトリを用いた大地震に伴う津波・洪水時の水位推定と被災住宅の識別

研究課題名(英文) Water level estimation in flood area and stricken man-made objects detection 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・教授

研究者番号：00293184

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000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) 大地震に伴って発生する津波・洪水時の水位測定アルゴリズム、および2) 水位低下後の環境下における半壊(変形)した被災住宅群の検出を可能とする建築物検出アルゴリズムを提案した。各アルゴリズムの有効性は、ALOS/PALSAR およびALOS-2/PALSAR-2で取得された多偏波PoSARデータを用いた画像解析により確認された。さらに、建築物検出アルゴリズムにおいては、被災により変形した(傾いた)住宅群の検出にも有効であることも、電波暗室内における被災住宅スケールモデルを用いた偏波散乱測定により検証された。

研究成果の概要(英文)：In this research, we propose useful techniques for accurately understanding the situation of stricken area, by making full use of quad-pol SAR data. Here, two useful algorithms are proposed as 1) Water level estimation algorithm by considering the distance between bridge and water surface in flooded area, and 2) Stricken man-made objects detection algorithm based on eigenvalue/eigenvector analysis. In both algorithms, polarimetric orientation angle compensation is carried out as a pre-processing to each main process. It was confirmed by the result of PoSAR image analysis for ALOS/PALSAR and ALOS-2/PALSAR-2 data that each algorithm is valid for the water level estimation and the man-made objects detection. Furthermore, it was verified for the quad-pol SAR data acquired by polarimetric scattering measurement for a scaled man-made object model with inclined sidewalls in anechoic chamber that the detection algorithm is still effective even for the deformed/inclined objects.

研究分野：波動情報工学

キーワード：地震 津波・洪水 被災地観測 レーダポーラリメトリ リモートセンシング 合成開口レーダ 偏波散乱解析 FDTD解析

1. 研究開始当初の背景

2011年3月に発生した東日本大震災では、津波、土砂崩壊、建築物倒壊等の被害が広域で発生し街・地域全体が崩壊したため、従来の防災・危機管理対策だけでは不十分であることがわかった。特に大震災直後は、交通網・通信網の寸断により、被災者救援の観点から最も重要な「被災住宅地域の状況把握」を十分にできない地域が少なくなかった。このため、被災地およびその周辺地域の状況を、遠隔かつ昼夜・天候を問わず、正確に観測・把握できる手段が強く求められていた。

近年の地球観測人工衛星に搭載される偏波合成開口レーダ(PoISAR)は、マイクロ波を用いたセンサで、ターゲット領域からの反射(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」も取得できるため、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、世界的に実用化へ向けた動きが始まっていた。日本においては、従来の地球観測衛星ALOS/PALSARに加え、高分解能かつ短観測周期をもつ次世代地球観測衛星ALOS-2/PALSAR-2の打ち上げが予定され(2014年5月打ち上げ成功、同年11月より試験運用開始)、PoISARの自然災害監視への実用的かつ積極的な利用が期待されていた。

このような背景の下、衛星搭載PoISARを、被災住宅周辺を中心とした地震被災地の観測(被災住宅の検出)および津波・洪水発生時の水位推定に役立てることを目的に、本研究「レーダポーラリメトリを用いた大地震に伴う津波・洪水時の水位推定と被災住宅の識別」を開始した。

2. 研究の目的

本研究は、大地震発生後の被災住宅周辺の迅速かつ正確な状況把握、二次災害防止に役立てるため、

- (1) 大地震に伴って発生する津波・洪水時の水位測定
- (2) 水位低下後の瓦礫で覆われた環境下における半壊(変形)した被災住宅群の検出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水位推定手法および変形した人工物(半壊した被災住宅)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PoISAR画像解析手法を基に、洪水時等での(橋梁と水面との間の距離を用いた)水位推定、および被災した建築物群の検出を可能とする高精度なターゲット検出・識別手法を確立するために、以下の発展研究を行った。

(1) 水位推定手法の開発

FDTD法を用いた簡易橋梁-水面モデルに対する偏波散乱解析
電波暗室での橋梁-水面スケールモ

デルの偏波散乱測定

水位推定アルゴリズムの構築

(2) 被災建築物群検出手法の開発

FDTD法を用いた建築物群モデル(無変形モデル、変形モデル)に対する偏波散乱解析

電波暗室での簡易建築物群スケールモデル(無変形モデル、変形モデル)の偏波散乱測定

被災建築物群検出アルゴリズムの構築(固有値/固有ベクトル解析)

4. 研究成果

本研究により、主として以下の2つの成果を得た。

(1) 高分解能PoISARデータを用いた水位推定手法の開発

従来はレーダ照射方向と垂直な方向に架かった橋梁と(河川や海の)水面との間の距離を、PoISAR画像で観測される物理散乱メカニズムの違いに起因する行路差(奇数回反射散乱と偶数回反射散乱の違いによる行路差)より推定することで、相対的な水位の変化を観測していた(図1(a))。

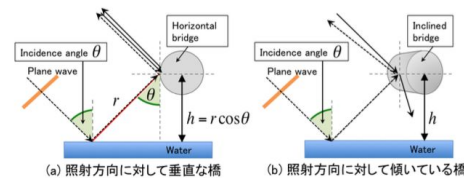


図1 橋梁-水面間の行路差

本研究では、この従来手法を発展させ、適切に偏波オリエンテーション角補正を前処理として実行することで、レーダ照射方向と斜めに橋が架かった場合(図1(b))にも水位推定ができるように改良した。これにより、概ね15度程度傾いた橋梁に対して水位推定が可能となった。

また、航空機搭載PoISARを用いる場合には、PoISARに近いターゲット領域の画像と遠くの画像とでは入射角が大きく異なる。水面からの表面散乱と橋梁からの1回反射散乱が同一の散乱現象として観測されてしまうことに起因して、特定の入射角の場合に、しばしば水位推定アルゴリズムが動作しなくなる問題があった。この問題に対しては、Xバンド(中心周波数10GHz)の高分解能PoISAR(Pi-SAR-2)の画像データを用いて、河川水面からの表面散乱成分の反射電力の変化を詳細に調べることでその入射角特性を求め、橋梁側面付近からの1回反射電力と分別することで、任意のレーダ入射角に対して水位推定が可能となるようにした。ただし、本手法はXバンドのPoISARデータに適した水位推定手法となっているので、ALOS-2/PALSAR-2のLバンド(中心周波数1.2GHz)PoISAR画像データには適しているとは限らない。今後

は、Lバンド PoISAR データにも適用でき、かつ被災した橋梁の状態把握を可能となるようにアルゴリズムの改良を行っていきたい。

(2) PoISAR データを用いた被災建築物群検出手法の開発

事前研究では散乱電力分解法を基とした建築物検出手法の開発を行っていたが、本研究では被災した(変形した)建築物の検出精度を向上させるために、偏波オリエンテーション角補正がより効果的に利用できると考えられる偏波行列の固有値/固有ベクトル解析を用いた検出アルゴリズムの開発を行った。

提案するアルゴリズムを図2に示す。従来の固有値/固有ベクトル解析では、回転不変な偏波指標のみ(Entropy、角度、Anisotropy)を組み合わせてターゲット識別・分類を行っていたが、本研究では「回転により変化する偏波指標(図2の角度)」を積極的に用いることで、偏波オリエンテーション角の補正効果を高め、レーダ照射方向と傾いた配置の建築物群の検出精度向上を目指した。

閾値 $Th1, Th2$ により、アルゴリズムの検出精度が大きく変わるが、ここでは FDTD 法を用いた建築物群モデル(無変形モデル、変形モデル)に対する精密な偏波散乱解析を実行して閾値を決定した。また、都市部の建築物の側壁はガラス窓の周期構造で構成されているので、ガラス材が装荷された有限個のスリット群からの反射特性も光線理論等を用いて解析的に調べた。

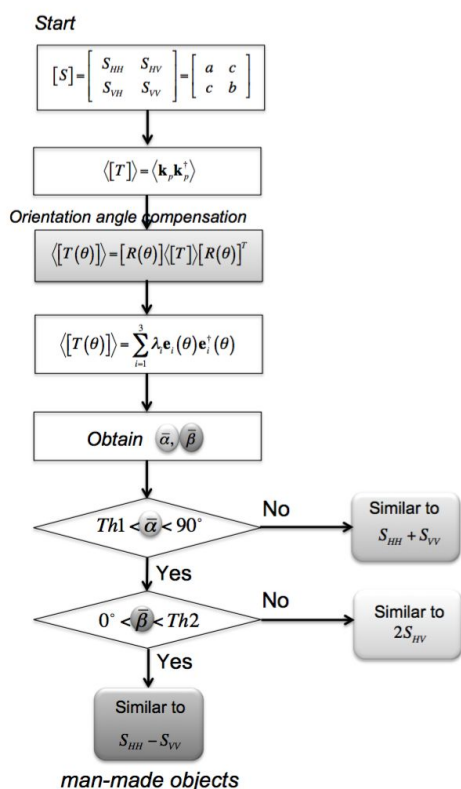


図2 建築物群検出アルゴリズム

以上の手順で構築された建築物群検出アルゴリズムを用いて ALOS/PALSAR および ALOS-2/PALSAR-2 の PoISAR 画像データを解析した結果、従来の固有値/固有ベクトル解析を基とした手法の検出率と比較して、大幅に検出率の向上が見られた。札幌市の ALOS/PALSAR データにおいては、レーダと正対した向きに配置された建築物群に対しては 100%、(従来手法では 60%程度の検出率だった)45度傾いて配置された建築物群に対しては 73%まで検出率が向上した。

被災により変形した(傾いた)建築物群の検出精度に対しては、電波暗室内での簡易建築物群スケールモデルに対する偏波散乱測定で得られた PoISAR データを用いて検証を行った。レーダ照射方向を基準に、右側あるいは左側に傾いた建築物群に対しては、変形してない(傾いていない)場合とほぼ同程度の検出率があることが確認された。一方、レーダ照射方向に対して前後方向に変形した建築物群に対しては検出精度があまり高くないこともわかった。今後は、前後方向に変形した建築物群の検出精度の向上と共に、レーダの入射角特性も考慮した被災建築物検出アルゴリズムの開発を行っていきたいと考えている。

5. 主な発表論文等

(雑誌論文)(計4件)

R. Sato and H. Shirai, "Electromagnetic plane wave diffraction by loaded N-slits on thick conducting screen," IEICE Trans. on Electronics, Vol. E99-C, No.1, pp. 72-75, 2016.

<http://ci.nii.ac.jp/naid/130005116142>

査読有

M. Masaka, R. Sato, Y. Yamaguchi, H. Yamada, "Experimental study on detecting deformed man-made objects based on eigenvalue/eigenvector analysis," Proc. of 2015 IEEE 5th Asia-Pacific Conference on Synthetic Aperture Radar (APSAR), pp.688-691, 2015.

DOI: 10.1109/APSAR.2015.7306299

査読有

R. Sato, Y. Ikarashi, M. Masaka, Y. Yamaguchi, H. Yamada, "Polarimetric scattering analysis for detecting largely-oriented man-made objects based on eigenvalues/eigenvectors analysis to the rotated coherency matrix," Proc. of 2015 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), pp.3810-3813, 2015.

DOI: 10.1109/IGARSS.2015.7326654

査読有

R. Sato and H. Shirai, "A Study on Electromagnetic plane wave scattering by a crack on conducting plane," Proc. of 2014 International Conference on Electromagnetics in Advanced

Applications (ICEAA'14), pp.229-232, 2014.
DOI: 10.1109/ICEAA.2014.6903853
査読有

〔学会発表〕(計 10 件)

佐藤亮一, 山口芳雄, 山田寛喜, ``多偏波 SAR データを用いた被災住宅検出のための偏波回転角補正,`` 2016 年総合大会講演論文集, 電子情報通信学会, C-1-15, 福岡市, 福岡県, 九州大学伊都キャンパス, 2016 年 3 月 16 日.

佐藤亮一, 矢島俊樹, 真坂元基, 山口芳雄, 山田寛喜, ``PoISAR データを利用した被災橋梁の状態把握のための偏波散乱解析,`` 電磁界理論研究会, 信学技報, EMT2015-83, pp. 239-243, 宮崎市, 宮崎県, ANA ホリデイインリゾート宮崎, 2015 年 10 月 31 日.

佐藤亮一, 山口芳雄, 山田寛喜, ``湿地帯抽水植物下の水域識別のための FDTD 偏波散乱解析,`` 2015 年ソサイエティ大会講演論文集, 電子情報通信学会, C-1-14, 仙台市, 宮城県, 東北大学川内北キャンパス, 2015 年 9 月 9 日.

佐藤亮一, 真坂元基, 五十嵐裕平, 山口芳雄, 山田寛喜, ``変形被災住宅検出のための偏波行列の固有値/固有ベクトル解析,`` 電磁界理論研究会(光・電波ワークショップ), 電気学会研究会資料 EMT2015-41, pp.191-195, 釧路市, 北海道, 釧路市生涯学習センター, 2015 年 7 月 17 日.

佐藤亮一, 五十嵐裕平, 真坂元基, 山口芳雄, 山田寛喜, ``大きく傾いた簡易建築物モデルに対する FDTD 偏波散乱解析,`` 電磁界理論研究会(光関係合同研究会), 電気学会研究会資料 EMT-15-19, pp.97-100, 豊中市, 大阪府, 大阪大学豊中キャンパスホール, 2015 年 1 月 29 日.

五十嵐裕平, 佐藤亮一, 真坂元基, 山口芳雄, 山田寛喜, ``大きく傾いた建築物の検出を目的とした偏波散乱解析,`` 電磁界理論研究会(電磁界理論研究会), 電気学会研究会資料 EMT-14-170, pp.15-20, 草津市, 群馬県, 草津温泉 中沢ヴィレッジ, 2014 年 11 月 22 日.

真坂元基, 佐藤亮一, 五十嵐裕平, 山口芳雄, 山田寛喜, ``基礎的な人工物モデルの偏波散乱測定 ~スクイント角および入射角変化に対する散乱特性の実験的検証,`` 宇宙航行エレクトロニクス研究会, 信学技報, vol.114, no.194, SANE2014-49, pp.7-12, 新潟市, 新潟県, 新潟大学駅南キャンパス, 2014 年 8 月 28 日.

富永浩暉, 佐藤亮一, 山口芳雄, 山田寛喜, パクサンユン, ``PoISAR データを用いた橋-水面間距離推定法の精度検証,`` 2014 年総合大会講演論文集, 電子情報通信学会, C-1-14, 新潟市, 新潟県, 新潟大学五十嵐キャンパス, 2014 年 3 月 20 日.

R. Sato, Y. Yamaguchi, H. Yamada, and S.-E. Park, ``Simplified Algorithm for Detecting Oriented Man-made Objects Using Correlation Coefficients in Circular Polarization Basis,`` Proc. of 2013 Asia-Pacific International Conference on Synthetic Aperture Radar (APSAR), pp.556-558, つくば市, 茨城県, つくば国際会議場, 2013 年 9 月 26 日.

R. Sato, Y. Yamaguchi, H. Yamada, and S.-E. Park, ``Fundamental study on scattering characteristics from man-made objects using the FDTD polarimetric scattering analysis,`` Proc. of 2013 Asia-Pacific Radio Science Conference (AP-RASC 2013), 台北, 台湾, 2013 年 9 月 7 日.

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・教授

研究者番号: 00293184