

令和 3 年 6 月 15 日現在

機関番号：15501

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2019～2020

課題番号：19K22029

研究課題名（和文）衛星SARデータを活用した高速・高信頼な自然災害発災自動検知実現のための基盤構築

研究課題名（英文）Development of a foundation for high-speed and highly-reliable automatic detection of occurrence of a natural disaster by using the satellite SAR data

研究代表者

多田村 克己（Tadamura, Katsumi）

山口大学・大学院創成科学研究科・教授

研究者番号：30236533

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,700,000円

研究成果の概要（和文）：衛星搭載合成開口レーダー（SAR）から得られる観測データを用いて、自然災害発災を自動的に検知する仕組みを構築するための基盤となる仕組みについて検討し、以下の成果を得た。

(1)レーダーシャドウ領域を数値標高モデルデータから構築した3次元地形を活用して抽出する手法を開発した。(2)機械学習の処理単位として、ハザードマップから得られる自然災害毎の「発災判定小領域」を定義し、その内容についてまとめた。(3)多時期の衛星SARデータを利用することで災害以外の原因による変化を抑える手法と、深層学習技術として畳み込みニューラルネットワークを用いて災害発災に伴う変化のみを抽出する手法を開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

レーダーシャドウ領域の明確化により発災判定対象からその領域を除外可能になり、衛星SARデータを利用した発災判定精度の向上が期待できる。また、従来人手により発災の有無を判定していたが、本研究課題推進により機械学習を利用した自動識別器によりある程度の信頼度で自動的に発災判定を行えることを示した。また、自動化の際に要求される処理の高速化の手段として発災判定小領域を単位とする方法を示すことができた。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this research theme is to develop a framework for automatic detection of natural disasters through satellite SAR data. We have got the following results through this research theme.

(1) We proposed a method for obtaining radar shadow area by using both the orbit of ALOS-2 and the 3D shape of earth's surface constructed from DEM data. (2) We proposed the concept of the small bounding box obtained from the hazard map on the DEM mesh as a unit of machine learning. (3) We proposed disaster damage detection methods from multitemporal SAR images by using convolutional neural networks.

研究分野：ビジュアルコンピューティング

キーワード：リモートセンシング 衛星SAR 自然災害発災検知 テータベース 機械学習

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

本研究課題の開始当初、我が国では雲や雨の影響を受け難い L バンドを利用した合成開口レーダー(SAR)である PALSAR-2 を搭載した人工衛星だいち 2 号(ALOS-2)が運用開始していた[1]。PALSAR-2 は、3m の高分解能で 50km×70km の範囲を観測可能であり、この特徴を活かした衛星搭載 SAR の観測データ(衛星 SAR データ)の災害観測への応用が試みられていた。また、宇宙航空研究開発機構(JAXA)の西日本衛星防災利用研究センター開設に合わせて、山口大学でも応用衛星リモートセンシング研究センター(YUCARS)が 2017 年 2 月に設置され、合わせて JAXA と山口県および山口大学の三者間協定により、山口大学において JAXA 保有の衛星データを研究に利用しやすくなった。YUCARS に所属する、研究代表者と研究分担者は、2016 年度から衛星 SAR データの防災への活用をテーマとする研究に着手していた。

衛星 SAR データを用いた自然災害観測に関する関連研究を調査する過程で、観測用マイクロ波の届かない影領域(レーダーシャドウ)の発生が広く知られていたにもかかわらず、その影響を考慮せずにデータが解析・処理されていることが判明した。これは、研究代表者のように CG のレンダリング分野の専門家でない限り、レーダーシャドウ領域の予測手段の実装が困難なためと推測され、もしもこれを衛星 SAR データの信頼度情報として提供できれば、衛星 SAR データ利用した解析の信頼性と有効性を飛躍的に向上させることが可能ではないかと考えられた。

さらに、衛星 SAR データを利用して高速かつ高信頼に自然災害発生を検知することを考えた場合、広域を撮影した高解像度のデータから人海戦術(人手)によって、その高速性と高信頼性の 2 つを両立させることは難しいと考えられ、計算機並びに機械学習手法を利用した自然災害発生識別器の開発による自動化が望ましいと考えられた。この際、自然災害発災の検出を含む処理の高速化の方策として、1 シーンあたり約 4 億 5 千万ドットからなる衛星 SAR データを一様なメッシュに分割して、要素単位に並列処理して高速化する方法が考えられたが、災害発生リスクの高い場所は災害の種類により異なり(例えば山岳部では、土砂崩れの発生はあり得るが、津波浸水はあり得ない)、特定災害用識別器に合わせて予め処理対象範囲を限定すれば、総処理データ量の大幅削減と領域限定の両方の効果による高速化が可能ではないかと考えられた。

2. 研究の目的

本研究課題が適用対象とする衛星 SAR は、時刻・天候によらず観測が可能という特徴を持つ。この特徴を最大限活かすことができれば、集中豪雨や台風による土砂災害や河川氾濫の発生が疑われるとき、衛星 SAR データを利用して天候が回復する前に発災有無の識別やその範囲を確定し、避難指示の早期化や高効率な救援計画の立案という人命に関わる活動を飛躍的に改善できる可能性を持つ。その一方で衛星 SAR データは図 1 のように一見すると衛星写真のように見えるが、衛星写真のように直上からマトリクス状のセンサで同時に観測したデータではないため、観測時の衛星の位置と対象の地形によりデータの信頼度がばらつき、さらに単独データだけから異常発生を読み取る事が困難であり、同一の観測条件で取得された平常時のデータとの比較が必要という実用上の問題がある。

自然災害発災が疑われる際、直近の観測データを受信後、可能な限り短時間で信頼性の高い発災判定結果を通知できることが理想である。ここで、観測データ受信後の応答時間最小化は、すなわち必要な計算量を最小化した処理の全自動化であり、過去の観測済みデータを利用する場合は、可能な限り事前に処理を行いその結果をデータベース化して高速検索可能な環境を構築することでさらなる応答性向上が期待できる。

本研究課題は、衛星 SAR により観測されたデータを用いて高速かつ高信頼の自然災害発災識別を可能とするために必要となる情報基盤の構成要素とその生成手法を明らかにすることを目的とした。本研究課題開始当初は、自然災害発災の解析は専ら専門家の手により行われており、観測データ受信から解析結果出力までには相当の時間を要した。このため、当時すでに注目を集めていた機械学習を応用した発災検知の自動化が期待されたが、データ信頼度の問題が解決されていないため、衛星 SAR データを利用して自然災害発災を自動的に検知する仕組みの構築に関する研究は全く進んでいなかった。本研究課題では、この問題解決の端緒となる、衛星 SAR データを利用した高速かつ高信頼の自然災害発災検知を可能とするために必要な情報基盤構築を目的とした。具体的には、以下 3 つのサブテーマを実施することとした。



図 1

サブテーマ1の目的は、衛星位置(周回軌道)ごとに定まるレーダーシャドウ領域生成手法考案とそのデータベース化である。日本国土を観測可能なALOS-2の観測方向と飛行軌道は限定されるので、サブテーマ2の衛星SARデータ処理単位に連動させた解像度でレーダーシャドウを判定して記憶する手法を考案することとした。

サブテーマ2の目的は、自然災害発災識別および検知に適した衛星SARデータ処理単位の考案である。ALOS-2/PALSAR-2による観測データは、3mの分解能を持つが観測されるサンプリング点は定点ではなく観測のたびにサンプリング点が微妙に異なる。したがって、複数の観測データを用いてサブテーマ3の発災識別機を構築する際、基本となるサンプリング点と処理対象限定のための範囲を決めておく必要があることを考案することとした。

サブテーマ3の目的は、高信頼度の発災可能性を高速に判定可能な自然災害発生を検知する識別機の構築である。データベースの開発によって、総処理データ量の大幅削減及び領域限定により高速化が見込めるため、本サブテーマでは、画像認識において高い精度を示す深層学習手法を用い、特に、その信頼性の向上を目指した。

3. 研究の方法

研究目的で設定したサブテーマごとに説明する。

(1) サブテーマ1

研究開始当初このサブテーマでは、日本国土を一部でも観測可能なALOS-2の周回軌道上において最適なサンプリング間隔を求め、国土地理院発行の数値標高モデル(DEM)データ[2]から再構成した3次元の地表面からALOS-2に向けて発射した仮想の光線の遮蔽状況を求めることでレーダーシャドウ領域を生成し、それを反映させたデータ信頼度マップを作成する手法を確立することとした。具体的には、3次元地表からALOS-2に仮想の光線の届かない影の部分となるDEM要素のデータ信頼度を、衛星に近い稜線付近の信頼度をゼロ(受信データ無し)とし、離れるほど上昇させることで表現可能と考えていた。

(2) サブテーマ2

このサブテーマでは、日本国土の大部分をカバーしている国土地理院発行の5mメッシュを衛星SARデータから生成するデータベースの記憶の最小単位とし、そのDEMデータの解像度で市区町村毎に整備されている自然災害毎のハザードマップを、同時に発災すると考えても良い小領域にまとめることとした。具体的には、観測済みの3m高分解能の衛星SARデータに含まれる発災判定小領域部分だけに対して、それを地図に重ねるための前処理を施して、観測時刻や衛星位置などの観測パラメータとともにデータベース化することとした。

(3) サブテーマ3

衛星データを用いた災害検出において利用されるのが、災害前後に取得されたデータの変化検出法である(e.g. [3])。しかし、SARデータの特徴として、植生などの影響を受けることが知られており、単に変化があった場所を災害と断言することはできない。そこで、多時期のSARデータを利用することで災害以外の原因による変化を抑える手法と、深層学習技術として畳み込みニューラルネットワーク(CNN)を用いて災害に伴う変化のみを抽出[4]する手法をベースに、災害発生検知の信頼性の向上を狙う。

4. 研究成果

研究目的で設定したサブテーマごとに説明する。

(1) サブテーマ1

このサブテーマでは、DEMデータに格納されている標高データを用いて、各要素に対応するボクセルを生成し、3次元の地形を生成した。そして、計算時間の効率化のため日本国土を一部でも観測可能なALOS-2の周回軌道上に衛星を置き、衛星の進行方向をその法線ベクトルとするレーダー照射面を利用してその衛星位置でレーダー照射可能なオフナディア角の範囲に含まれるセルをレーダーシャドウの判定対象とするとともに、遮蔽計算の際の遮蔽物体としても利用することで遮蔽対象を限定してレーダーシャドウ計算の効率化した。レーダーシャドウ領域計算の基本となるアルゴリズムについて国際会議で発表した[5]。

ここで、開発したプログラムをDEMデータに適用して得られた結果の妥当性の検証は、DEMデータから抽出した尾根線と衛星位置を利用すると実施可能と考えられる。尾根線は、地上開度と地下開度の組み合わせで得られると考えられるが、既存開度計算手法[6]は5mメッシュデータの精度を十分活用できていなかった。そこで高速・高精度な開度計算手法を開発し、研究成果を、国内口頭発表[7]および国際会議[8]で発表した。また、国土地理院提供の5mメッシュデータDEM5A

データの水域には、標高が割り当てられておらず、レーダーシャドウとして抽出された領域に誤りが含まれる。そこで、DEMデータの水域について、その属性を考慮して適切な水面の標高値を得るための手法を開発し、研究成果を国内学会 [9]および国際会議[10]で発表した。

(2) サブテーマ2

国土地理院発行の5mメッシュを衛星SARデータから生成するデータベースの記憶の最小単位とするため、3m分解能の衛星SARデータを5mメッシュのセルに再サンプリングするアルゴリズムを開発した。その際、標高値が割り当てられていないセルは水域であり、マイクロ波は水面では反射し後方散乱成分はないはずであるため、データベースに記憶する属性として、そのセルが水域か陸部かの情報を追加することとした。

また、自然災害発災識別器の多期間比較用の入力データとしてデータベースに蓄積する単位として、地方自治体で自然災害種別毎に整備されているハザードマップから得られる高確率発災地点の局地的なまとまりを「発災判定小領域」として定義し、その単位で記憶すべき内容およびデータベース構成レコード毎のフィールド構成について検討した。得られた研究成果をまとめて国内の学会[11]にて発表した。

(3) サブテーマ3

まず、CNNを用いて土砂災害を原因とする変化とそれ以外を原因とする変化を分類させることを考える。その際、特定の地域のみしか識別できない識別器になる恐れがある。この問題は、地域毎のデータにCNNを適用し識別器を構築すれば回避可能ではあるが、過去に災害が起きた地域しか識別できないことになる。そこで、特定の地域のデータを学習した識別器が、他の地域の災害検出に利用可能か調査した。結果として、変化が特定以上にある箇所を災害として識別する閾値処理の手法と比較して、土砂災害を原因とする変化を抽出できており、CNNが多時期のSARデータを利用する変化検出法において、特定の地域で学習した識別器を他地域に用いることができる結果が示された[12]。

また、CNNの学習に用いるデータ作成において、SARデータ自体を判読することが難しいため、光学データから検出された災害発災領域を用いてデータを作成することが必要である。しかし、異なるデータのため、SARデータにとって誤った正解となる場合がある。その際、CNNの学習能力の高さから、誤った正解も学習できてしまうことが知られており、信頼性を低下させる原因となりえる。そこで、複数のCNNを用い、誤った正解を持つデータに関する情報を相互に交換し、データを選択することで、性能を向上させるCo-teaching学習法[13]に着目し、その改良による識別性能向上を検証した。特に、複数のCNN間で交換される情報や出力される情報の統合について改良を加え、誤った正解を含むデータに対する識別性能の向上を示した[14, 15, 16]。

最後に、SARデータから抽出できる災害関連情報には限界があり、信頼性の向上においては、他のデータを用いる事が考えられる。例えば、建物が破壊されない浸水では、SARデータ上の変化としての検出が難しい。そこで、多様な光学衛星が取得する光学データに着目し、光学データからの補足的な災害関連情報抽出の検討を行った。詳細な都市域分類に利点を持つデータを学習した識別器の別地域での詳細な都市域被覆分類能の検証や、データの前処理や後処理による道路抽出精度の向上などを行い、これらを用いた災害前後での変化の情報を統合することで、災害発生検出の信頼性が向上できると推察される[17, 18]。

参考文献

- [1] JAXA, "ALOS-2 概要", https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/a/jp/alos-2/a2_about_j.htm, (2021.6.14 アクセス).
- [2] 国土地理院, "基盤地図情報数値標高モデルについて", https://fgd.gsi.go.jp/download/ref_dem.html, (2021.6.14 アクセス).
- [3] F. Cian, et al., "Normalized Difference Flood Index for rapid flood mapping: Taking advantage of EO big data," *Remote Sensing of Environment*, vol. 209, pp. 712–730, May 2018, doi: 10.1016/j.rse.2018.03.006.
- [4] R. Katsuki, and T. Samura, "Landslides Detection by Convolutional Neural Network using Multi-temporal and Single-polarized SAR Images," *The proceedings of the 2019 International Conference on Climate Change, Disaster Management and Environmental Sustainability*, pp. 838–846, 2019.
- [5] M. Ide, et al., "Development of a Database of Radar-shadow Cast by a SAR Satellite Using High Resolution DEM Data", *Proceedings of IWAIT2020*, DOI: 10.1117/12.2566246, 2020.
- [6] 横山 他, "開度による地形特徴の表示", *写真測量とリモートセンシング*, 38(4), pp.26-34, 1999.
- [7] 安藤 他, "数値標高モデルデータを用いた地上及び地下開度計算高精度化手法の開発", *FIT2020 第3分冊*, pp.179-180, 2020.

- [8] T. Andou, et al., "Development of a Method for Calculating Overground-openness and Underground-openness with High Precision Based on the Digital Elevation Model Data", Proceedings of IWAIT2021, doi: 10.1117/12.2590841, 2021.
- [9] 藤原 他, "数値標高モデルデータ水部への適切な標高付与手法", 情報処理学会第 82 回全国大会, 7ZG-03, pp.4-663-4-664, 2020.
- [10] D. Fujiwara, et al., "A Method for Assigning Appropriate Elevation to Water Portion on the DEM Data", Proceedings of IWAIT2021, doi: 10.1117/12.2590841, 2021.
- [11] 梅村 他, "衛星 SAR データに基づく自然災害発災検知用データベースの構築", 日本リモートセンシング学会第 66 回学術講演会, pp.53-54, 2019.
- [12] 勝木 他, "多時期単偏波 SAR 画像と畳み込みニューラルネットワークを組み合わせる変化検出法の汎用的な土砂災害検出能力の検証", 日本リモートセンシング学会第 67 回学術講演会, 2019.
- [13] Bo Han, et al., "Co-teaching: Robust Training of Deep Neural Networks with Extremely Noisy Labels," <http://arxiv.org/abs/1804.06872>, (2021.6.14 アクセス).
- [14] T. Samura, K. Tadamura, "A performance evaluation of deep neural networks training with noisy labels under the limit of the cost increases by group-teaching algorithm", The 9th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer, 2020.
- [15] 佐村, 多田村, "ラベルノイズを含むデータ学習時における Group-teaching 学習アルゴリズムのデータ選択戦略に関する検討", 第 30 回日本神経回路学全国大会, 2020.
- [16] 佐村, 多田村, "Co-teaching を用いて学習した 2 つの畳み込みニューラルネットワークの相補的役割", 電子情報通信学会非線形問題研究会, 2020.
- [17] 小林 他, "U-net を用いたリモートセンシング画像からの道路抽出精度向上のための損失関数および前処理・後処理の設計", 日本リモートセンシング学会第 69 回学術講演会, 2020.
- [18] 内田 他, "土地被覆データを学習した Light Convolutional Neural Network による未学習地域における都市域の詳細な分類能力の維持に関する検証", 日本リモートセンシング学会第 69 回学術講演会, 2020.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3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 Makoto Ide, Toshikazu Samura, and Katsumi Tadamura	4. 巻 1
2. 論文標題 Development of a Database of Radar-shadow Cast by a SAR Satellite Using High Resolution DEM Data	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of The 2020 International Workshop on Advanced Image Technology	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1117/12.2566246	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 Daishi Fujiwara, Toshikazu Samura, and Katsumi Tadamura	4. 巻 1
2. 論文標題 A Method for Assigning Appropriate Elevation to Water Portion ion the DEM Data	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of The 2021 International Workshop on Advanced Image Technology	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1117/12.2590841	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 Tomohiro Andou, Toshikazu Samura, and Katsumi Tadamura	4. 巻 1
2. 論文標題 Development of a Method for Calculating Overground-openness and Underground-openness with High Precision Based on the Digital Elevation Model Data	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of The 2021 International Workshop on Advanced Image Technology	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1117/12.2590845	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10件（うち招待講演 1件／うち国際学会 0件）

1. 発表者名 佐村俊和
2. 発表標題 多時期SAR画像合成画像を用いた変化検出法の提案と浸水域検出への適用
3. 学会等名 日本リモートセンシング学会第66回学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 梅村理沙, 佐村俊和, 多田村 克己
2. 発表標題 衛星SARデータに基づく自然災害発災検知用データベースの構築
3. 学会等名 日本リモートセンシング学会第66回学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 勝木龍太, 多田村 克己, 佐村俊和
2. 発表標題 多時期単偏波SAR画像を用いた畳み込みニューラルネットワークによる土砂災害検出の汎用的な検出能力の検証
3. 学会等名 日本リモートセンシング学会第67回学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤原 大嗣, 佐村俊和, 多田村 克己
2. 発表標題 数値標高モデルデータ水部への適切な標高付与手法
3. 学会等名 情報処理学会第82回全国大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐村俊和, 多田村克己
2. 発表標題 Co-teaching を用いて学習した2つの畳み込みニューラルネットワークの相補的役割
3. 学会等名 電子情報通信学会非線形問題研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Toshikazu Samura, Katsumi Tadamura
2. 発表標題 A performance evaluation of deep neural networks training with noisy labels under the limit of the cost increases by group-teaching algorithm
3. 学会等名 The 9th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐村俊和, 多田村克己
2. 発表標題 ラベルノイズを含むデータ学習時における Group-teaching学習アルゴリズムのデータ選択戦略に関する検討
3. 学会等名 第30回日本神経回路学全国大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 安藤智大, 坂本浩顕, 佐村俊和, 多田村 克己
2. 発表標題 数値標高モデルデータを用いた地上及び地下開度計算高精度化手法の開発
3. 学会等名 情報処理学会第19回情報科学技術フォーラムFIT2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小林航太郎, 多田村克己, 佐村俊和
2. 発表標題 U-netを用いたリモートセンシング画像からの道路抽出精度向上のための損失関数および前処理・後処理の設計
3. 学会等名 日本リモートセンシング学会 第69回学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 内田啓一郎, 多田村克己, 佐村俊和
2. 発表標題 土地被覆データを学習したLight Convolutional Neural Networkによる未学習地域における都市域の詳細な分類能力の維持に関する検証
3. 学会等名 日本リモートセンシング学会 第69回学術講演会
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
研究分担者	佐村 俊和 (Samura Toshikazu) (30566617)	山口大学・大学院創成科学研究科・准教授 (15501)	

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