

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 26 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25242035

研究課題名(和文) リモートセンシングとソーシャルセンシングの融合による被災地支援策の刷新

研究課題名(英文) Enhancing Post-disaster Recovery by Fusion of Sensing and Simulation

研究代表者

越村 俊一 (Koshimura, Shunichi)

東北大学・災害科学国際研究所・教授

研究者番号：50360847

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 28,000,000円

研究成果の概要(和文)：津波浸水予測、建物被害予測、空間情報処理という3つの要素技術を統合して、有効な被災地支援策の立案に資するための広域被害把握の研究を実施した。

1) 緊急地震速報から最悪の津波シナリオを即時推定する二段階多数シナリオ解析手法を構築し、想定地震へ適用し、有効性を実証した。2) 2015年鬼怒川洪水による茨城県常総市を対象とし、ALOS-2/PALSAR-2によって撮影された2時期のSAR画像を用いて、差分処理により浸水域を抽出できることを実証した。3) 災害発生後にビッグデータ情報資源として配信されるウェブニュースの情報を縮約して、状況把握を支援する方法を開発し、検証を行った。

研究成果の概要(英文)：Fusion of high-performance computing and geo-informatics defeats the problem of understanding whole picture of the affected areas. In the present study, we proposed a research perspective in developing a method to search and detect the impact of tsunami disaster by integrating real-time numerical modeling, remote sensing, natural language processing and GIS technologies. The method was verified through a series of case studies of tsunami inundation simulation, structural damage estimation, and web-news' text data analysis to grasp the sequence of a disaster situation.

研究分野：津波工学

キーワード：津波 ハイパフォーマンスコンピューティング GIS 被害予測

1. 研究開始当初の背景

東日本大震災から我々が学んだ超広域巨大災害の社会的特徴は、被害が甚大かつ広範囲におよぶこと、災害対応の限界を超えた被災自治体が多数存在すること、被災自治体同士が支援を求めて競合関係となり、ライフラインの機能不全が長期化し、社会の安定回復に極めて長時間を要することである。被災地は自らの被害状況や必要とされる支援に関する情報を発信できない。すなわち、どこにどの程度深刻な被害と生活支障が生じ、被災地・被災者がどのような支援を求めているかという具体的な情報を被災者自身や被災自治体が発信することができない。

この問題を抜本的に解決するために、リモートセンシングとソーシャルセンシングを融合した、全く新しい被災地支援策の技術的な枠組みを創成するための研究を着想するに至った。すなわち、被災地外部から災害の被害全容を把握し(=リモートセンシング)、その被害により引き起こされる被災者の生活支障と具体的な支援のニーズを「推定」して支援策を実行し、被災者の生活状況・動態を継続的に把握して分析することで(=ソーシャルセンシング)、よりきめ細かな支援策へのフィードバックを得て支援策を更新していく「被災地支援技術」を創成する。これまで、本課題における研究グループは、東日本大震災の前後を通じて津波被害の即時的予測、リモートセンシングによる災害把握、ソーシャルセンシングデータを利用した被災地状況の把握といった研究に取り組んできた。すでに実績のある要素研究を高度に融合してさらに発展させることで、目標を達成できると考えた。

2. 研究の目的

東日本大震災の教訓を踏まえ、将来の国難災害となる南海トラフ巨大・地震津波災害の被災地への新しい支援技術を確認することを目標に、(1)数値シミュレーションによる即時的予測や、リモートセンシングから発災直後に得られる「浸水域・建物被害・ライフライン被害の情報」と「被災地の社会動態」との因果関係を明らかにし、直後の被害情報を説明変数として有効な支援策を推定する手法を検討する。さらに、(2)被災者の生活支障や生活の回復状況の時空間の変遷を、東日本大震災時の被災者の携帯電話の位置情報、マスコミ情報やソーシャルメディア等の情報を用いて総合的に分析し、被害情報との関連で明らかにする。(3)これらリモートセンシング・ソーシャルセンシングの融合により、時々刻々と得られる「被災地の状況変化と被災者の生活・行動実態」を「よりきめ細かな支援策」への更新情報として有効活用するための手法を明らかにする。

3. 研究の方法

本課題では、将来の国難災害となる南海トラフでの巨大・地震津波災害への被災地支援

技術を確認することを目標に、以下の3つに大別される要素課題に取り組んだ。しかし、それぞれの要素課題を全くのゼロから取り組んでいては、目標達成できないので、それぞれの要素課題においてすでに実績のある研究者でチームを構成した。

- 課題1 リアルタイムシミュレーションと津波被害関数による津波被害の即時推定
- 課題2 リモートセンシングによる建物被害の把握と被災地モニタリング
- 課題3 ソーシャルセンシングによる被災者の生活状況把握

4. 研究成果

(1) リアルタイムシミュレーションと津波被害関数による津波被害の即時推定

リアルタイム津波浸水・被害予測情報配信の実現に向けた課題は3つある。

1点目は、津波の発生・伝播遡上の予測の迅速化である。まず、津波数値計算の初期条件には、断層破壊の具合的なメカニズムに関連した断層モデルが必要で、特に地震学・測地学の研究者との連携が必要になる。近年、GEONETをはじめとする衛星測位(GNSS)技術の発展を背景とした新しい地震・地殻変動観測が普及しており、津波発生モデルの精度向上に期待が持てる。本研究では、地震情報の取得に、緊急地震速報と Ohta et al. (2012) による GEONET の地殻変動観測情報を用いたリアルタイム断層モデル推定法によるメカニズム解を即時に取得し、浸水予測の実行を行うための手法を整理した。

津波の陸上遡上の予測は、特に東日本大震災において多くの映像記録があり、土地利用や構造物の有無を適切に表現することで、浸水域の予測が精度良く行えることが分かっている。一方、従来のワークステーションを利用すると、予測には数時間以上の時間が必要であり、リアルタイムでの予測は技術的に困難であったが、High Performance Computing Infrastructure (HPCI) の発展が課題解決の追い風になっている。我々は、津波の予測計算の高速化を、東北大学サイバーサイエンスセンターのベクトル型スーパーコンピュータ SX-ACE を活用して実現した。ここでは、10分以内に津波の発生(断層モデル)を予測、10mメッシュという高分解能の浸水計算を、10分以内に完了することを具体的な目標とし、目標達成のためのシミュレーションコードの開発に取り組んだ。

2点目は、被害の量的な予測である。津波の浸水域は、来襲する津波の高さだけでなく、入射する津波の波長・周期と地形との関係、湾の構造、土地利用状況や建物の密集度などによって左右される。量的な建物被害予測を行うためには、木造建築物と鉄筋コンクリート造などの建物種別に対応した被害推定式を解析に組み込む必要がある。

これまで、津波による被害の量的な推計に

は、対象とする地域の津波浸水深（地表面から測定した津波高さ）や流速等の外力を数値解析により推定し、それら外力との関連で建物被害棟数や人的被害数を求めるのが一般的であった。津波被害実績から浸水深と家屋被害程度との関係を調べ、津波外力と被害の関係について津波強度指標を用いて表現した首藤（1992）が代表例であるが、近年の高分解能衛星画像や航空写真を利用したリモートセンシング技術の飛躍的発展や地理情報システム（GIS）の普及もあり、津波の外力と被害程度との関係についてのデータの蓄積が飛躍的に進んだ。このような背景のもと、新しい津波被害想定指標である「津波被害関数（Tsunami Fragility Curve）」が提案され（Koshimura et al., 2009）、国や地方自治体の津波被害想定にも利用されている。津波被害関数とは、津波による家屋被害や人的被害の程度を被害率（または死亡率）として確率的に表現し、津波浸水深、浸水高、氾濫流速、波力といった津波の流体力学的諸量の関数として記述するものである。図1に示すのは、2011年東北地方太平洋沖地震津波の宮城県における津波被害関数の例であり（越村・郷右近, 2013）、建物の流失率を浸水深に対してまとめたものである。地域によってその特性は異なるものの、全体として言えることは、建物にとって流失する危険性が増すのは浸水深2mからであり、6m浸水すると、ほとんどの建物が流失してしまうということである。建物の位置と場所を正確に把握し、津波被害関数から得られる流失率を求めることで、浸水予測結果から建物被害の予測が可能になった。

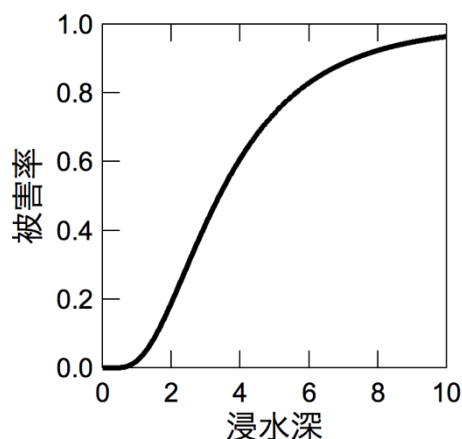


図1 2011年東北地方太平洋沖地震津波の宮城県における津波被害関数

(2) リモートセンシングによる建物被害の把握と被災地モニタリング

災害発生直後に、広域に及ぶ被害の全容を早期に把握するには、リモートセンシング技術が有効である。特に全天候性の合成開口レーダ（Synthetic Aperture Radar : SAR）は、緊急時の被害把握に適している。TerraSAR-XやCosmoSkyMedのような高分解能 SAR 衛星の打ち上げに伴い、高い分解能を生かした、建物

の被害把握手法が発展してきた。最近では、建物毎の詳細な被害判読を行う手法、区画毎の被害評価を行う手法が提案されており、それぞれ長所・短所がある。例えば、建物一棟ベースの解析手法は、建物輪郭内の後方散乱係数の被災前後の変化を利用して解析を行う。建物一棟毎に生じた後方散乱係数の変化が、建物被害の有無と強い相関がある場合には有効であるが、津波災害においては、建物被害とは関係のない要因（漂流物等）により、後方散乱係数が変化することもあり、誤分類を引き起こしていた。一方、区画ベースの解析手法では、解析区画内で後方散乱係数の変化を平均化するため、建物一棟毎の被害把握はできないが、建物一棟ベースの解析手法よりも高い精度で区画単位の被害を推計できるというメリットがあった。

本研究では、これらの手法を組み合わせることにより、津波被災地の流失した建物を一棟ベースで抽出する手法を構築した。具体的には、まず、被災前後の TerraSAR-X 画像へ前処理を施した後、建物一棟ベースで流失建物を抽出する。次に、郷右近ら（2014）の手法に基づき、オブジェクトベース解析より作成した解析区画毎に建物流失率を推計する。最後にこれらの解析結果を組み合わせ、新たに建物一棟ベースでの流失建物の抽出を行った。

対象地域は、2011年東北地方太平洋沖地震津波の被災地である宮城県仙台市若林区荒浜地区とした。被災前の2010年10月20日（UTC）と被災後の2011年3月12日（UTC）の津波被災地を捉えた TerraSAR-X 画像を使用した。建物位置の特定には、ゼンリン電子地図（Zmap-TOWN II）を使用した。また、建物被害推計結果の検証には Gokon et al.（2012）による流失建物地図を使用した。

まず、建物輪郭とその近傍に生じた変化を抽出するために、建物輪郭データを外側に10m拡張して抽出した。そして、各建物の拡張輪郭内において、レイオーバーエリアの変化率を計算し、閾値 0.69 よりも大きい場合には「流失」、それ以下の場合には「残存」として、流失建物の抽出を行った。

次に、解析区画に基づく建物流失率推計を実施した。被災前後の TerraSAR-X 画像から相関係数を計算し、それに Region growing 法に基づくセグメンテーション処理を施し、建物域をオブジェクトへ分割した。オブジェクト毎に相関係数の平均値を計算した後、郷右近ら（2014）により提案された建物流失率推計式を各オブジェクトの相関係数の平均値に掛け合わせることで、建物流失率の推計値を得た。最後に、建物一棟毎のレイオーバーエリアの変化率と、建物の流失率を説明変数、建物被害の「流失」と「残存」を従属変数とした、建物被害分類モデルを構築した。この図の右上に流失建物が多く分布していることから、流失建物に関するレイオーバーエリア変化率と流失率は高い値を持つ傾向がある事がわかる。このような流失建物を分類するため

の適切な閾値を決定するために、Quinlan (1993)により提案された Decision tree 法 (C4.5)を適用して分類器を構築し、流失建物被害の分類結果を得た (図 2)。分類器の検証を宮城県仙台市において実施したところ、総合精度 91.0%, カップ係数 0.82 の高い水準で被害分類を実施できることを確認できた。

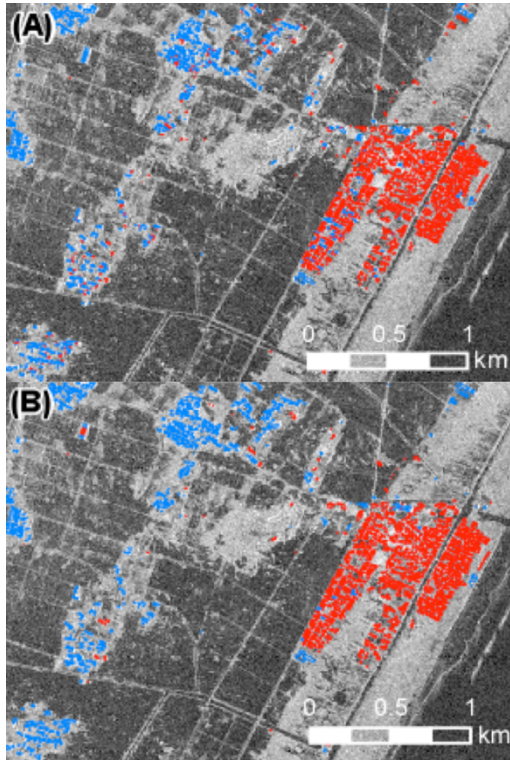


図 2 合成開口レーダ TerraSAR-X 画像を利用した建物被害抽出の検証 (上: 報告された建物被害状況, 下: 本研究による推定, 赤: 流失建物, 青: 残存建物)

(3) ソーシャルセンシングによる被災者の生活状況把握

災害対応における「ソーシャルセンシング」の活用に対する期待が高まっている。ソーシャルセンシングとは、「個人・社会の動態から、物流量や交通量、自然環境状態に至るまでの社会の構成要素や、その相互関係の情報を獲得する行為」のことを意味する。災害が発生したときに限定すれば、携帯電話・プローブカーの位置情報や入手可能なソーシャルメディアの情報から、被災者および被災地の状況を推測して、時々刻々と得られる被災地の状況変化と被災者の生活・行動実態を把握することを指している。

本研究は、「Twitter は災害時の状況把握に使える」という仮説を根底から検証することをねらいとした。災害の現況を把握する上では、少なくとも、1) 時間 (いつ), 2) 空間 (どこで), 3) 状況・内容 (何がどのように: 起きている問題や求められている支援) の 3 点が必要になる。1) 時間については、Twitter には発信日時というタイムスタンプが付与されるために、あまり大きな論点にはならない。2)

空間と 3) 状況・内容については、ツイート (つぶやき) の中身そのものに依存している。そういった意味で、Twitter による災害時の状況把握の可能性を議論する上では、2) 空間と 3) 状況・内容の把握可能性を議論する必要がある。

本研究では、大規模かつ広域災害となった東日本大震災に関するツイートを対象に、1) そもそも被災地にツイートはあるのか (被災地から発信されたツイートを検出できるか), 2) 被災前後のツイート分布の比較によって、被災エリアを検出することができるか、という Twitter による空間把握の可能性に関する問い、3) 被災後のツイートから「被害状況」や「支援ニーズ」を把握することができるか、という状況・内容の把握の可能性に関する問いについて検証を行った。

まず、そもそも被災地にツイートはあるのか (被災地から発信されたツイートを検出できるか) を検証する必要がある。本研究では、テキスト (自然文) から位置情報を同定する基盤技術に「GeoNLP」(国立情報学研究所)を利用して位置情報を同定したツイートのうち、震災発生前 1 ヶ月間、震災発生後 1 ヶ月間にわけて宮城県について地図化した。GeoNLP を用いることによって、ジオタグを用いた場合に比べて、日本全国で約 66 倍、宮城県で約 104 倍もの件数のツイートの位置情報を同定することができた。

次に、被災前後のツイート分布の比較によって、被災エリアを検出することができるか、という Twitter による空間把握の可能性に関する問いを検証する必要がある。GeoNLP によって位置情報を同定したツイートのうち、震災発生前 1 ヶ月間、震災発生後 1 ヶ月間にわけて宮城県について地図化したものを図 3 に示す。ツイート件数は、発生前が 1,921 件、発生後が 5,903 件と約 3 倍増加していることになる。全体的に増加しているために、どこかの場所で著しく増えた・減った、というような明瞭な傾向は見られず、件数の増減だけでは、津波浸水域かどうかを判断することは難しいことが分かる。

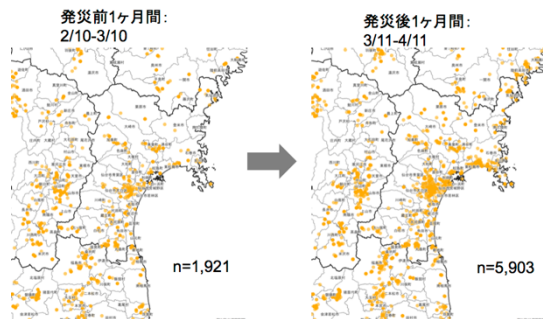


図 3 震災発生前後 1 ヶ月間のツイート分布の比較 (宮城県)

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 34 件)

①越村俊一, リアルタイム津波浸水予測とリモートセンシングの融合による広域被害把握の新展開, 社会安全研究, 第6号, pp. 51-60, 2016. 査読あり

②S. Sato, K. Hanaoka, M. Okumura, S. Koshimura, Grasp of Disaster Situation and Support Need inside Affected Area with Social Sensing - An Analysis of Twitter Data before and after the 2011 Great East Japan Earthquake Disaster Occurring -, Journal of Disaster Research, Vol.11 No.2, pp. 198-206, 2016. 査読あり

③H. Gokon, J. Post, E. Stein, S. Martinis, A. Twele, M. Muck, C. Geiss, S. Koshimura, M. Matsuoka, A Method for Detecting Buildings Destroyed by the 2011 Tohoku Earthquake and Tsunami Using Multitemporal TerraSAR-X Data, Geoscience and Remote Sensing Letters, IEEE, 2015. doi: 10.1109/LGRS.2015.2392792. 査読あり

④S. Koshimura, N. Shuto, Response to the 2011 Great East Japan Earthquake and Tsunami disaster, Philosophical Transactions of the Royal Society A, 2015. doi:10.1098/rsta.2014.0373. 査読あり

⑤W. Liu, F. Yamazaki, B. Adriano, E. Mas, S. Koshimura, Development of Building Height Data in Peru from High-Resolution SAR Imagery, Journal of Disaster Research Vol.9 No.6, pp.1042-1049, 2014. 査読あり

[学会発表] (計 14 件)

①Shunichi Koshimura, Tsunami Science and Technologies for Society -Implications to Tsunami-Resilient Community, World Engineering Conference on Disaster Risk Reduction, 2016.12.5, Lima (Peru)

② Shunichi Koshimura, Enhancement of Earth Observation and Modeling for Tsunami Disaster Response and Management, European Association of Remote Sensing Laboratories, 2016.6.20, Bonn (Germany)

③Shunichi Koshimura, Fusion of real-time simulation, sensing, and geoinformatics in assessing tsunami impact, American Geophysical Union Fall Meeting 2015, 2015.12.15, San Francisco (United States of America)

④Shunichi Koshimura, Real-time tsunami inundation forecasting and damage estimation method by fusion of real-time crustal deformation monitoring and

high-performance computing, 26th International Union of Geodesy and Geophysics, General Assembly 2015, 2015.6.28, Prague (Czech Republic)

⑤Shunichi Koshimura, Real-time tsunami inundation forecasting and damage mapping towards enhancing tsunami disaster resiliency, American Geophysical Union Fall Meeting 2014, 2014.12.17, San Francisco (United States of America)

[図書] (計 2 件)

①越村俊一, 郷右近英臣, 福岡巧巳, 柴山明寛, 衛星画像・航空写真による津波の広域被害把握, 東日本大震災を分析する 1, 地震・津波のメカニズムと被害の実態, 第3部 1 津波と洪水の被害 第1章, pp.134-143, 明石書店, 2013

②越村俊一, 林里美, 郷右近英臣, 東北地方を襲った津波の流況—名取川河口周辺の事例, 東日本大震災を分析する 1, 地震・津波のメカニズムと被害の実態, 第3部 1 津波と洪水の被害 第2章, pp.143-154, 明石書店, 2013.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

越村 俊一 (KOSHIMURA, Shunichi)
東北大学・災害科学国際研究所・教授
研究者番号: 50360847

(2) 研究分担者

奥村 誠 (OKUMURA, Makoto)
東北大学・災害科学国際研究所・教授
研究者番号: 00194514

(3) 研究分担者

佐藤 翔輔 (SATO, Shosuke)
東北大学・災害科学国際研究所・助教
研究者番号: 00614372

(4) 研究分担者

山崎 文雄 (YAMAZAKI, Fumio)
千葉大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号: 50220322

(5) 研究分担者

松岡 昌志 (MATSUOKA, Masashi)
東京工業大学・大学院総合理工学研究科・准教授
研究者番号: 80242311

(6) 連携研究者

渡邊 学 (WATANABE, Manabu)
独立行政法人航空宇宙研究開発機構・主任研究員
研究者番号: 10371147

(7)連携研究者

マス エリック (MAS, Erick)

東北大学・災害科学国際研究所・助教

研究者番号：30648734