合成開口レーダによる津波被災地の建物被害の量的把握

Estimation of Structural Damage in Tsunami Affected Areas using Synthetic Apperture Radar

○越村 俊一[1]，郷右近 英臣[2]，松岡昌志[3]
Shunichi KOSHIMURA[1], Hideomi GOKON[2] and Masashi MATSUOKA[3]

[1]東北大学 災害科学国際研究所
International Research Institute of Disaster Science, Tohoku University
[2]東京大学 生産技術研究所
Institute of Industrial Science, the University of Tokyo
[2] 東京工業大学大学院 総合理工学研究科
Interdiciplinary Graduate School of Engineering, Tokyo Institute of Technology

A method to detect structural damage on houses in tsunami affected areas is proposed using high-resolution Synthetic Aperture Radar data (TerraSAR-X). With a decision tree application of machine learning algorithm, we developed a classifier for detecting washed-away buildings performing 91.0 % overall accuracy and kappa statistic of 0.82 in Sendai Plain.

Keywords *: Tsunami, Synthetic Aperture Radar, Structural Damage, Remote Sensing, Machine Lerning*

１．序論

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報告する．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て，新たに建物一棟ベースでの流失建物の抽出を行う．

２．対象領域とデータ

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を研究の対象領域とする．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．撮影時の入射角は 37.3 度，画像の撮影は StripMap モードで，空間分解能は約 3m である．建物位置の特定には，ゼンリン電子地図 (Zmap-TOWNII)を使用した(株式会社ゼンリン、参照 2011-04-01)．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．

３．画像解析手法と被害推定結果

TerraSAR-X 画像の前処理として，まず，Digital Number から後方散乱係数(dB)へ変換した．次に，ウィンドウサイズ 3×3 のスペックルノイズ軽減フィルタ（Lee フィルタ）を適用し，正規化相互相関に基づき，被災前後の画像の位置合わせ補正を行った．SAR 画像上は，建物壁面部はレイオーバーという現象により，高い後方散乱係数を示す一方，建物が完全に流失すると，レイオーバーエリアが消失し，後方散乱係数は減少する．この特徴に着目し，一棟毎に流失建物を抽出する．

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 拡張する．次に後方散乱係数が-4dB 以上の画素を，レイオーバーにより後方散乱係数が上昇した領域として抽出した．そして，各建物の拡張輪郭内において，以下の式によりレイオーバーエリアの変化率 Cr を計算した(Gokon et al., 2013)．各建物の属性として割り当てられた Cr が閾値 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う．なお閾この値は，対象領域内の建物を流失建物と残存建物へグループ分けし，各グループにおいて Cr に関する確率密度関数を作成した後，その境界値より決定した．

次に，解析区画に基づく建物流失率推計を実施する

（郷右近ら，2014）．まず被災前後の TerraSAR-X 画像から相関係数を計算する．この相関係数画像に 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あわせることにより，建物流失率の推計値を得る．

最後に，建物一棟毎のレイオーバーエリアの変化率 Cr と，建物の流失率 Pd 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する．変数 Cr と変数 Pd，建物被害の関係を図-1A に示す．本図の右上に流失建物が多く分布していることから，流失建物の変数 Cr と変数 Pd 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)を適用する（図-1B）．Decision tree とは，データを分類する基準をノード(節)とし，分類結果をリーフ(葉)とする木構造の分類器のことである．C4.5 による分類器の構築は，学習データにおける不純度に着目して行われ，不純度の指標としてはシャノンのエントロピー理論が使用される．

流失建物被害の分類結果を図-2 に示す．建物一棟ベースの手法と解析区画ベースの手法を組み合わせた本手法は、総合精度 91%，カッパ係数が 0.82 と、高い精度で被害を抽出できる事がわかった．

４．結論

被災前後の TerraSAR-X 画像を使用し，建物一棟ベースの解析手法と解析区画ベースの解析手法を融合することにより，新しい建物被害分類法を構築した．分類モデルは，機械学習の Decision tree 法により行い，本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%，カッパ係数 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．

地域全体の流失建物棟数を推計する場合には，被災前後の相関係数画像をオブジェクトベース解析により解析区画へ分割し、各区画で推計した流失率と区画内の建物棟数を掛け合わせるアプローチが有効である．建物一棟毎の後方散乱強度の変化に着目した場合，建物の外的損傷が少ない場合でも，周囲に瓦礫等が堆積しているとレイオーバーエリアが移動，もしくは消失することがある．また，建物が完全に流失した場合でも，建物基礎部分でマイクロ波が二回反射を引き起こし，被災前にレイオーバーエリアであった場所の後方散乱係数が減少しないこともある．このような問題に対し，本手法は有効である．

参考文献

1) 郷右近 英臣, 越村 俊一, 松岡 昌志, TerraSAR-X 画像のオブジェクトベース解析による建物被害推計技術の開発, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol. 70 (2014) No. 2, pp.I_1481-I_1485, 2014.
2) Gokon, H., S. Koshimura, Mapping of building damage of the 2011 Tohoku earthquake tsunami in Miyagi Prefecture, Coastal Engineering Journal, Vol. 54, No. 1, 125006-1-12, 2012, DOI: 10.1142/S0578563412500064.
3) Gokon, H., J. Post, E. Stein, S. Martinis, A. Twele, M. Muck, and S. Koshimura, A radar-based method for detecting tsunami devastated areas using machine learning algorithm, Proceedings of the 34th Asian Conference on Remote Sensing, pp.SC05-82-88, CD-ROM, 2013.10.
4) Quinlan, J. R., C4.5:Programs for Machine Learning. San Mateo, Calif.: Morgan Kaufmann, 270 p., 1993.

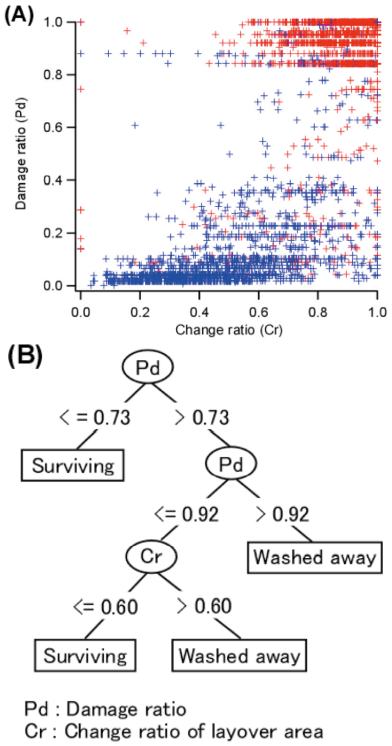

図-1 (A)建物におけるレイオーバーエリアの変化率 Cr とオブジェクト毎の流失率 Pd の関連，(B)機械学習から得られた Decision Tree

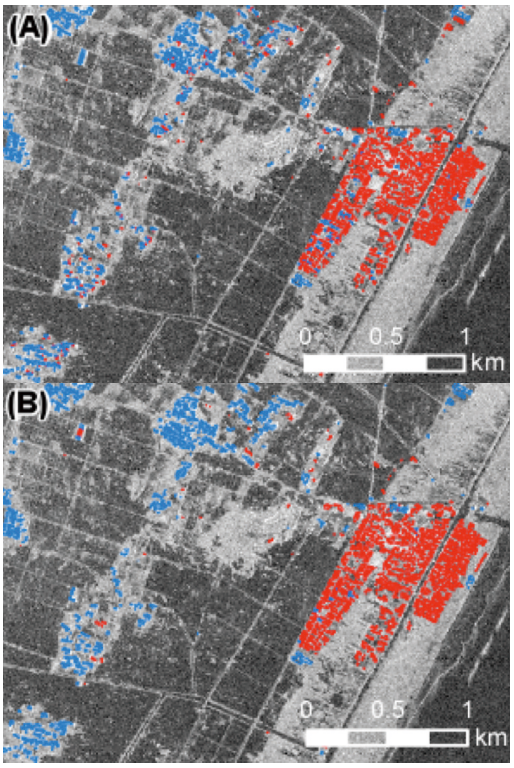

図-2 (A) 実際の建物被害状況，(B)本研究による推定（赤は流失建物，青は残存建物）