

SAR 画像を用いた 2015 年ネパール地震における市街地の被害評価

12T0299W Rendy BAHRI

指導教員：山崎 文雄, 劉 ウェン

1. 研究の背景と目的

2015 年 4 月 25 日にネパール中部で Mw7.8 の地震が発生した。カトマンズ渓谷に位置する首都カトマンズや古都パタンに点在する歴史的建造物や世界遺産の寺院が修復不可能な損傷を受けた。このような大規模災害による被害を迅速に把握するには、広域性・瞬時性・反復性・遠隔性などの特徴を持つ衛星リモートセンシングの利用が有効である。とくに、合成開口レーダ(SAR)はマイクロ波を照射する機構のため、昼夜および天候によらず観測が可能である。本研究では、災害前後に撮影された高解像度 SAR 画像を用いて、被害建物を抽出し、その精度を評価することを目的とする。

2. 対象地域と使用データ

対象地域は図-1 に示すネパールの首都カトマンズ市である。中でもとくに、世界遺産に指定されているダルバール広場を含むカトマンズ市中心部に注目とした。地震によって、ダルバール広場にあるカシュタマンドアップ寺院やマジュデガ寺院などの組積造建物や塔が全壊した。

本研究はドイツ航空宇宙センター (DLR) により 2007年に打上げられた TerraSAR-X 衛星が撮影した地震前後の SAR 画像を用いた。地震前画像は 2013 年 10 月 13 日 (地震 1 年半前)、地震後画像は 2015 年 4 月 27 日 (地震 2 日後) のものである。いずれの画像も Spotlight (高分解能) モードの VV 偏波で観測された。ともに上昇軌道からの右側観測、入射角が 39.5° である。地震前にシアン色を、地震後に赤色を与え、カラー合成を図-1 (右) に示す。また、検出結果の精度を確認するために、地震前の 2014 年 10 月 14 日に撮影された WorldView-3 と、地震後 2015 年 5 月 15 日に撮影された GeoEye-1 による光学センサ画像を用いた。

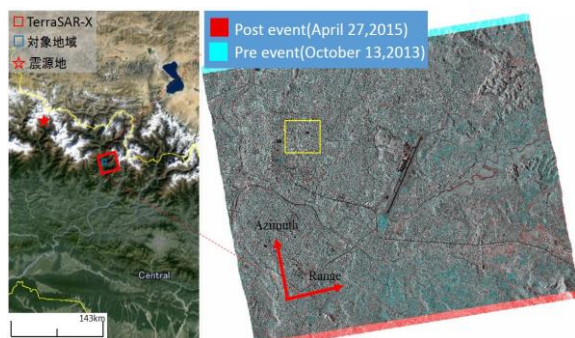


図-1 ネパールの地図(左)と対象とするカトマンズの地震前後の TerraSAR-X 強度画像のカラー合成(右)

3. 被害検出手法

被害の検出は、2 時期の SAR 強度画像を用いた変化抽出により行う。後方散乱係数の差分(d)、相関係数(r)を 11×11 ピクセルのウィンドウを用いて式(1)-(2)により計算し、これらにより被害範囲の検出を行った。本研究では、これらの値を得るために強度画像を後方散乱係数に変換して使用した。

$$d = \bar{I}a_i - \bar{I}b_i \quad (1)$$

$$r = \frac{N \sum_{i=1}^N I a_i I b_i - \sum_{i=1}^N I a_i \sum_{i=1}^N I b_i}{\sqrt{(N \sum_{i=1}^N I a_i^2 - (\sum_{i=1}^N I a_i)^2) \cdot (N \sum_{i=1}^N I b_i^2 - (\sum_{i=1}^N I b_i)^2)}} \quad (2)$$

被害と無被害の領域を分離するために、指標ごとに適切な閾値を設定することにする。カトマンズ中心部の複数箇所から、8 棟の倒壊建物と 28 棟の非倒壊の建物を教師データとし、それぞれの差分値と相関係数の関係を図-2 に示す。これらの値は、倒れ込み範囲での後方散乱が地表面からの反射に加えて、建物側面からの反射を含んだものとなる。このような 2 回反射が建物倒壊により減少することを把握するために、建物頂部の輪郭をレーダー照射方向に、入射角と推定建物高さを考慮して移動し、この範囲の平均値を使用した。図-2 に示すように非倒壊建物では、相関係数が高く、差分が 0 付近に集中するという傾向が見られる。しかし、倒壊建物では相関係数が低く、差分値がばらつく傾向が見られ、ほぼ負になる傾向が見られた。しかし、建物 b01 のように、崩壊建物の隣に建築途中の建物が、崩壊建物よりマイクロ波を強く反射したため、差分がプラスになったものもある。本研究では、これらの結果を踏まえて、相関係数 0.18 を閾値として設定し、輪郭内の平均値がこの値以下の建物を倒壊と分類した。

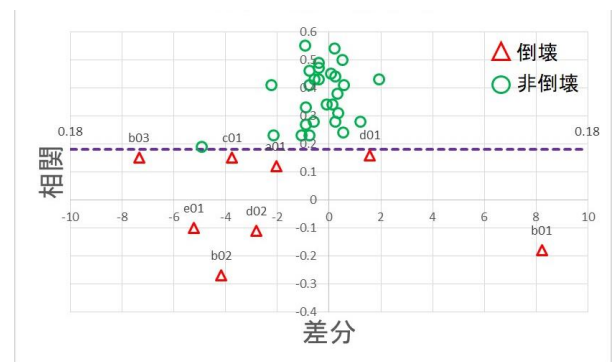


図-2 36 棟の建物輪郭内の差分と相関の散布図

4. 抽出結果と抽出精度の検討

現地調査、ドローン空撮映像²⁾、光学画像を参考に、目視で作成したダルバール広場の検証データを図-3に示す。図-3の点線は、地震前の5棟の倒壊（赤）、11棟の大被害（黄）、22棟の小被害（緑）の建物輪郭を示し、実線で建物の倒れ込みを考慮した建物頂部の投影範囲を示す。各建物の投影範囲内の後方散乱係数の相関係数、差分の各平均値を算出し、図-4に両者の関係を示す。この図に示すように、図-2で決めた閾値以下の値に入るものを「倒壊」、それ以外のものを「非倒壊」と区分とした。結果として、検証データの倒壊建物は、すべて閾値内に入ることがわかった。また、大被害建物は、相関にばらつきが出ており、5棟は倒壊領域に入り、6棟は非倒壊領域に入った。また、すべての小被害建物は、非倒壊領域に入るといった結果が得られた。図-3と図-4を比較した結果の抽出精度を表-1に示す。

この表より、倒壊建物では、正答率（ユーザー精度）が90%以上の高い値を示しているが、非倒壊建物



図-3 検証用データ（ダルバール広場）

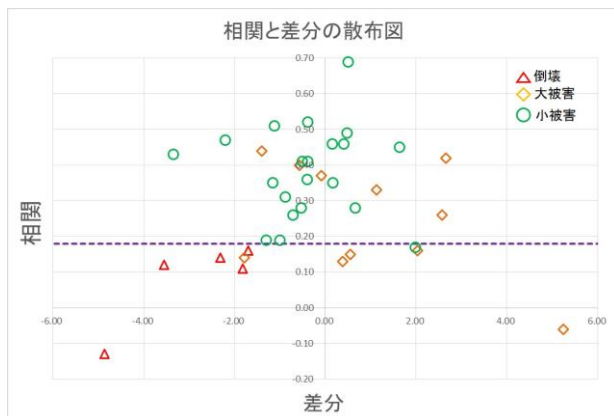


図-4 検証用データに対する抽出結果

表-1 抽出精度

		検証データ				ユーザー精度
		倒壊	大被害	小被害	合計	
TerraSAR-Xによる抽出結果	倒壊	5	5	1	11	90.9
	非倒壊	0	6	21	27	77.8
	合計	5	11	22	38	
	プロデューサー精度	100.0	45.5	95.5		81.6

では、正答率が少し低く77.8%という結果になった。抽出率（プロデューサー精度）では、倒壊と小被害が95%以上の非常に高い値が得られるが、大被害が45.5%という低い値となった。ここで、大被害区分とした建物は、現地調査やドローンにより大きな被害が確認されているが、光学画像からは被害があるかどうか確認できないものである。SARは斜めにマイクロ波を放射するが、壁のクラックや瓦が落ちるといった被害を検出することは難しいと考えられる。

大被害を倒壊として区分した結果、総合精度が81.6%という高い値が得られた。したがって、建物輪郭単位で算出した、地震前後の相関係数の閾値による被害抽出はある程度の精度が示された。

しかし、ここで用いた参照データおよび検証データはともに、ある程度独立した大きな建物を選択しており、建物密集地域や小さな建物についての被害抽出は未だ容易ではない。建物輪郭の抽出も含め、今後の課題といえよう。

5. まとめ

本研究では、2015年ネパール地震の前後にカトマンズ市街地を撮影したSAR強度画像を用いて、倒壊と非倒壊建物を検出し、その精度評価を行った。被害抽出は、倒れ込みを考慮した建物頂部の投影範囲内の後方散乱係数を計算し、それらの地震前後の相関、差分によって評価した。倒壊建物では、この範囲で低い相関を示すことがわかった。これにより設定した閾値を用いて、ダルバール広場の建物を検証データとして精度評価を行った。この結果、総合精度が81.6%と高い値が得られた。

SARの斜め観測の特徴を考慮すると、直下視の光学画像では確認することができない建物側面の被害も把握できる可能性もある。今後とも解析事例を増やすとともに、より密度の高い市街地への適用についても検討する必要がある。

参考文献

- 1) 岩崎洋志, 山崎文雄, リュウ・ウエン, 野中崇志, 笹川正: 高解像度衛星SAR画像を用いた建築側面の被害把握, 日本地震工学会論文集, 第13巻, 第5号, 2013.
- 2) Youtube: Drone Footage Captures Aftermath of Nepal Earthquake, URL: <https://www.youtube.com/watch?v=N52LX1GZYWs>