

(39) 複数の撮影条件で取得した ALOS-2 データによる 熊本地震における建物被害状況の解析

野中 崇志¹・川井 彩佳²・朝香 智仁³

¹正会員 日本大学教授 生産工学部環境安全工学科 (〒275-8575 千葉県習志野市泉町 1-2-1)
E-mail: nonaka.takashi@nihon-u.ac.jp

²非会員 日本大学大学院 生産工学研究科土木工学専攻 (〒275-8575 千葉県習志野市泉町 1-2-1)
E-mail: ciay21013@g.nihon-u.ac.jp

³正会員 日本大学准教授 生産工学部土木工学科 (〒275-8575 千葉県習志野市泉町 1-2-1)
E-mail: asaka.tomohito@nihon-u.ac.jp

これまで著者らは、衛星が取得した SAR データを用いて、被害が大きい地域の地区レベルで建物の被害状況の把握を目標とし、予め都市域を切り出したコヒーレンス画像を用いた手法の開発を行ってきた。本研究では、熊本地震を取り上げ、L バンドの ALOS-2 PALSAR-2 による複数の軌道や撮影方向より取得した画像を用いて、解析を行う。解析対象を熊本県益城町とし、現地の建物の被害状況として複数の指標を算出し、コヒーレンスとこれらの関係を明らかにすることを目的とする。

Key Words: SAR, coherence, building damage, acquisition direction

1. はじめに

大規模な自然災害における被災状況の把握において、まず被害の中心と空間的な規模を把握し、その後に詳細の被害状況の把握に移るが、広域を把握できる衛星リモートセンシングは初期の被害状況の把握に威力を発揮する。自然災害時の被災状況の把握において、光学センサは曇天日の地表面の情報取得が困難であるため、天候に関係なく画像の取得が可能な合成開口レーダ (Synthetic Aperture Radar, SAR) の意義が益々高まっている。日本では宇宙航空研究開発機構 (JAXA) が L バンドの周波数帯を有する PALSAR-2 (ALOS-2 に搭載) を 2014 年に打ち上げた。

衛星に搭載された SAR を用いた地震時の建物の被害状況の把握手法の 1 つにコヒーレンス (複素画像間の画像相関: 0 から 1 の範囲の値を取り、時間変化のない建物は 1 に近く、時間変化のある地物 (主に自然対象域) は 0 に近い) を用いたものがある。この方法は、被害のあった建物が被害のない建物と異なる特徴を持つことを利用したものである。コヒーレンスは土地被覆の変化抽出に用いられるが、災害時の被災域の抽出における課題として、建物 1 棟 1 棟の被害状況の抽出が難しいことや、自然対象域と災害による建物の被害域はともに値が低く

区別が難しいことがある。これまで著者らは、衛星画像で生成した高解像度の土地利用土地被覆図を活用して、予め自然対象域を取り除き、災害による建物被害域のみを評価する手法の開発を行ってきた。熊本地震における ALOS-2 PALSAR-2 データに本手法を適用した結果、コヒーレンスと建物の被害度に有意な相関が見られたものの、上昇軌道 (Ascending, As) と下降軌道 (Descending, Ds) の軌道方向の違いによりコヒーレンスと建物の被害度の相関性に差異が生じることを明らかにしている¹⁾。

本研究では、Ds において、既往の右向き撮影の画像に左向き画像を加え、As も含めコヒーレンスと建物の被害度の関係を総合的に評価する。さらに現地調査データをもとに建物の被害度をいくつかの指標で算出し、コヒーレンスとの関係を評価することで、その特徴を明らかにすることを目的とする。

2. 解析サイトと使用データ

(1) 熊本地震

平成 28 年 4 月 14 日 21 時 26 分、熊本県熊本地方の深さ 11km を震源として、マグニチュード 6.5 の地震が発生し、益城町で震度 7 を観測した。さらに、28 時間後の 4 月 16

日 1 時 25 分、熊本県熊本地方の深さ 12km を震源として、マグニチュード 7.3 の地震が発生し、益城町及び西原村で震度 7 を観測した。気象庁は、これらの地震を含め、4 月 14 日 21 時 26 分以降に発生した熊本県を中心とする地震活動を「平成 28 年（2016 年）熊本地震」（以下「熊本地震」という）と命名した。

(2) 解析サイト

本研究では、熊本地震において、全住家の 98.6% にあたる 10,584 棟が被害を受ける等、最も建物の被害が大きかった熊本県益城町を解析対象とする。益城町は、熊本県の中央北寄りに位置し、熊本市の東部に接している（図-1 (a)）。益城町及び熊本県全域における建物の被害状況を表-1 にまとめる。全壊の棟数は、益城町において全体の約 3 分の 1 を占めている。本研究では、1 棟 1 棟の建物の被害抽出ではなく、地区レベルでの建物の被害状況の把握を念頭に解析を行う。解析対象は、現地調査データのある益城町の国道 443 号線の西側、秋津川の東側、国道 28 号線の南側に囲まれた地区（馬水、安永、宮園、木山）とした（図-1 (b)）。

(3) 使用データ

a) ALOS-2/PALSAR-2

ALOS-2 (Advanced Land Observing Satellite 2) は 2014 年 5 月に打ち上げられた人工衛星で、宇宙航空研究開発機構 (JAXA) が開発した L バンド (1.2GHz 帯) の合成開口レーダ PALSAR-2 を搭載している。PALSAR-2 は 2006 年に打ち上げられた ALOS に搭載された PALSAR の後継機であり、災害状況把握への利活用を念頭に、観測周期は 14 日と短縮されている。ALOS-2 の下降軌道の赤道通過時刻は 12 時 ± 15 分である。また通常の右側の観測に加え、左側の観測も可能である。

表-2 に使用データの概要をまとめる。地震による建物の被害状況の解析のため、地震前後のペア画像が必要である。本研究では、解像度が 3m の高分解能モード (HH 偏波) の画像を取得する。軌道方向は As と Ds であり、Ds については通常の右側観測に加え、左側観測の画像も使用する。入射角はいずれも 30° から 40° である。なお画像の取得時期は、As が地震直前であるのに対し、Ds は右側観測、及び左側観測ともに約 1 年前である。

b) 高解像度土地利用土地被覆図²⁾

高解像度土地利用土地被覆図 (以後、単に土地被覆図という) は、ALOS 搭載の AVNIR-2 が取得した画像を使用して、水域、都市、畑地等 10 の被覆に分類したものである。本研究では日本域の 30m 解像度のデータを使用した。図-2(a) のように緯度経度 1° 単位のグリッドタイルで格納されている。解析サイトの益城町の拡大図を図-2(b) に示す。なお日本国内における分類精度は 90% と報

告されている。

(a)



(b)

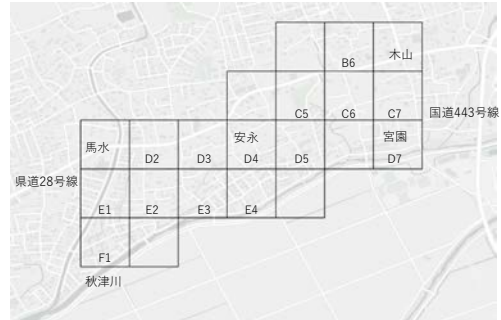


図-1 (a) 解析対象の熊本県益城町の位置、及び使用した衛星軌道、(b) 益城街の解析メッシュ。

表-1 熊本県益城町における建物の被害状況、() は熊本県全域の被害総数。

種別	棟数
全壊	3,026 (8,649)
半壊	3,233 (34,235)
一部損壊	4,325 (153,898)

表-2 使用した PALSAR-2 データの概要。

撮影条件	1	2	3
撮影日	15年2月9日 16年5月16日	15年1月14日 16年4月20日	16年3月29日 16年5月10日
軌道方向	Ds	Ds	As
観測方向	右側(Right)	左側(left)	右側(Right)
解像度	3m	3m	3m
入射角	32.8°	37.9°	38.7°
軌道傾斜角	102°	109°	259°
基線長	110m	23m	137m

(a)

(b)

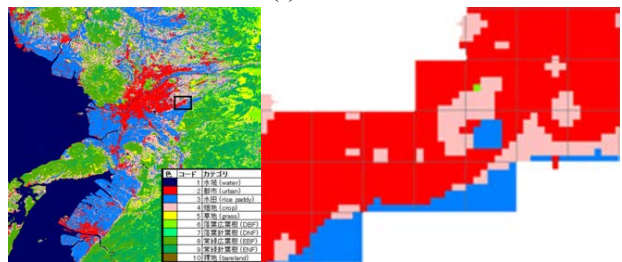


図-2 (a) 高解像度土地利用土地被覆図、及び(b)解析サイトである益城町の拡大図。

3. 方法

本研究の解析手法のフローを図-3に示す。3つの撮影条件でペア画像よりコヒーレンスマップを作成し、メッシュ毎にその平均値と建物の被害状況との関係の評価した。本解析で使用するコヒーレンス(γ)は、式(1)で定義される。

$$\gamma = \frac{\sum S_1 S_2^*}{\sqrt{\sum S_1^2 \sum S_2^2}} \quad (1)$$

ここで、 S_1 、 S_2 は2時期の画像における振幅と位相を持つ複素数であり、*は複素共益を意味する。まず PALSAR-2の Single Look Complex (SLC)データ (レベル 1.1)を用いて、各撮影条件について益城町の解析サイト内のコヒーレンスマップを作成する。このとき、ルック数をアジマス、レンジで4として、10mの画素サイズのマップを作成する。次に作成したコヒーレンスマップより、土地被覆図で「都市」に相当する画素のみ抽出する。一方で、京都大学が熊本地震後に実施した現地調査データ³⁾(建物を倒壊、傾斜、被害あり、被害なし、未調査の5つに分類)をもとに図-1(b)に示す14のメッシュ毎に建物被害状況を評価する(ここで都市以外の被覆の割合が多いメッシュや調査建物数が30棟以下であるメッシュは分析の対象外とした)。建物被害状況として、式(2-1)から(2-3)で定義する3つの建物被害度の指標を算出した。

$$z_1 = \frac{a}{n} \quad (2-1)$$

$$z_2 = \frac{a+b}{n} \quad (2-2)$$

$$z_3 = \frac{a+b+c}{n} \quad (2-3)$$

ここで、 n は建物総数(未調査を除く)、 a 、 b 、 c はそれぞれ倒壊、傾斜、被害ありの建物数を意味する。コヒーレンスとこれらの建物被害度の散布図を作成し、これらの回帰式を求める。なおコヒーレンスは、メッシュ毎に平均値を計算した。

4. 結果

(1) 軌道や撮影方向によるコヒーレンスの分布

図4(a)、(b)、(c)にそれぞれ撮影条件1、2、3より取得したペア画像より計算したコヒーレンスマップを示す。赤い箇所はコヒーレンスが小さく変化があった箇所を示していると考えられる。また値がない箇所は、土地被覆が都市域以外であることを意味する。災害前の観測時期の差が1年あるにも関わらず、全体の平均値は、撮影条件1,2がそれぞれ0.18,0.16であるのに対し、撮影条件3が0.13と差が小さかった。また熊本市街と比

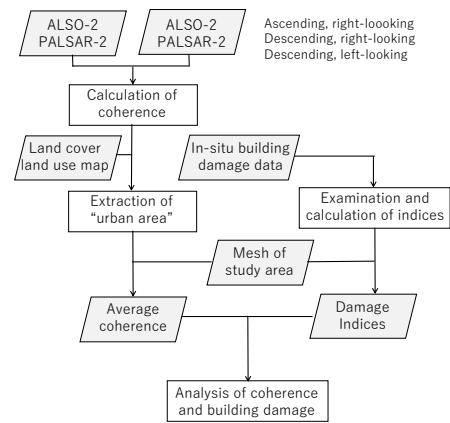


図-3 本研究の解析手法のフロー。

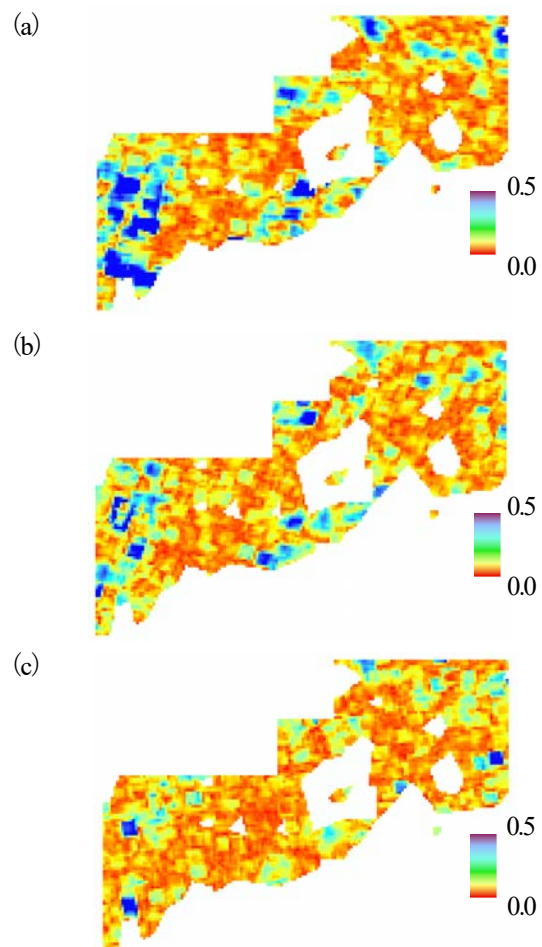


図4 (a)撮影条件1、(b)2、及び(c)3のコヒーレンスマップ。

べ、コヒーレンスが0.3程度小さい傾向にあった。

図5にメッシュ毎の平均コヒーレンスと建物被害度 z_2 の関係を示す。全体的には、被害度が大きい程、撮影条件によるコヒーレンスの差は小さい。撮影条件1では、コヒーレンスは馬水周辺(メッシュ E1, F1)では回帰式より大きい、それ以外は撮影条件2とほぼ同じである。また撮影条件3では、メッシュ B7で被害度に対して高いコヒーレンスを示したが、これを除くと、いずれの撮影条件でも有意な負の相関が見られた。各撮影条件にお

ける回帰式をそれぞれ式 (3-1) から(3-3) に示す.

$$y_1 = 0.273 - 0.00229z_2 \quad (3-1)$$

$$y_2 = 0.181 - 0.00116z_2 \quad (3-2)$$

$$y_3 = 0.148 - 0.00064z_2 \quad (3-3)$$

ここで, y_1, y_2, y_3 は, それぞれ撮影条件1から3における平均コヒーレンス値を示す. 被害度 10%の違いは, 撮影条件 1,2,3 でそれぞれコヒーレンス値 0.023, 0.012, 0.006に相当し, 回帰式の RMS 誤差は 0.051, 0.019, 0.017であった. なお E1, F1 を除くと, 被害度 10%の違いは, 撮影条件 1 で 0.014, RMS 誤差は 0.017 となり, 撮影条件 2 と差異がない. メッシュ D1 においては, 撮影方向と直交方向の建物が多く, コヒーレンス値に影響したことも考えられるが, 詳細の解析は今後の課題とする.

(2) 建物の被害度の指標の評価

表-3に各撮影条件において, 建物の被害度を z_1, z_2, z_3 と定義した時のコヒーレンスと建物の被害状況の相関係数を示す. 全ての指標, 撮影条件において, これらに有意な負の相関が見られた. Lバンドのコヒーレンスを用いた解析では, 被害度の指標による差異が小さいといえる.

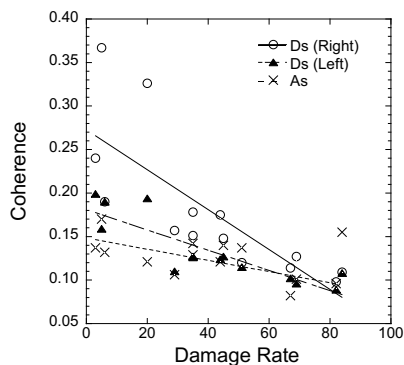


図-5 コヒーレンスと建物被害度の関係.

表-3 指標の違いによるコヒーレンスと建物被害度の相関係数.

撮影条件		1	2	3
指標	z_1	0.88	0.76	0.69
	z_2	0.78	0.86	0.70
	z_3	0.72	0.83	0.71

5. 結論

本研究では, 熊本地震における建物の被害状況を地震前後の合成開口レーダ PALSAR-2 より取得したコヒーレンスを用いて推定する手法の構築を念頭に, 複数の撮影条件のデータを用いてコヒーレンスと建物被害度の関係の評価することを目的とした. コヒーレンスと建物被害度には, いずれも負の有意な相関が見られた一方で, 被害度が小さいほど, 撮影条件によるコヒーレンスのばらつきは大きい傾向があった. また現地調査データをもとに, 3つの被害度の指標で評価を行ったところ, これらの相関性に大きな差異は見られなかった. 本研究は, 限定されたデータによる解析であるため, 今後の展望として, 異なるセンサやサイトにおける解析による詳細の定量的な評価が挙げられる.

謝辞: 本研究は, JSPS 科研費 22K04145 の助成を受けて実施した. また本研究で取得した現地調査データは京都大学防災研究所の山田真澄先生より提供いただいた. ここに感謝の意を表す.

参考文献

- 川井彩佳, 野中崇志, 朝香智仁, 岩下圭之: ALOS-2/PALSAR-2 による益城町の建物被害状況の詳細評価, 日本リモートセンシング学会第 70 回学術講演会論文集, pp. 87-88, 2021.
- 橋本秀太郎, 田殿武雄, 小野里雅彦, 堀雅裕: 多時期光学観測データを用いた高精度土地被覆分類手法の開発, 日本リモートセンシング学会誌, Vol. 34, No. 2, pp. 102-112, 2014.
- 山田雅之, 山田真澄, 羽田浩二, 藤野義範, Jim Mori, 坂上啓, 林田拓己, 深津宗祐, 西原栄子, 大内徹, 藤井章男: 2016 年熊本地震における益城町での被害メカニズムの解明 ~地盤特性の影響~, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), 地震工学論文集, Vol. 73, No. 4, pp. I_216-224, 2017.