

航空機 SAR 画像を用いた地震被害建物の後方散乱特性に関する検討

14T0290W TAN TINGSHEN

指導教員：山崎文雄，リュウウエン

1. はじめに

近年，国内外で地震や風水害などの自然災害が多発し，曝露する人口や構造物の増加に伴って，災害リスクが増加している．そのため，自然災害による損失を軽減するために，被害状況を早期把握し適切な緊急対応を取る必要がある．しかし，災害発生時には交通網が寸断して早期に現地へ立ち入ることが困難な場合が多い．このような状況の解決策として，リモートセンシング技術の活用が考えられる．本研究で扱う合成開口レーダ（Synthetic Aperture Radar：SAR）は，衛星や航空機からマイクロ波を照射し，天候に左右されずに全日に地表面を観測することができる．航空機搭載合成開口レーダ（Pi-SAR）¹⁾は30cmの高分解能の多偏波 SAR 画像を取得することができ，災害発生時には緊急観測ができる点から，被害把握手段として適していると考えられる．

本研究では，2016年熊本地震後の1時期の航空機 SAR 画像からの建物被害抽出を最終目的とし，建物の倒れ込みやレーダ影の特徴を利用した建物の後方散乱特性に関する検討を行った．

2. 対象地域と使用データ

本研究では，情報通信研究機構（NICT）が X バンドレーダ搭載の航空機 Pi-SAR-X2 を用いて熊本県益城町を 2016 年 4 月 17 日に撮影した分解能 30cm の 4 偏波 Pi-SAR-X2 画像を使用した．SAR の入射角は 37.6 度，アジマス（飛行）方向が 83.0 度となっている．図-1 では HH 偏波を赤，HV 偏波を緑，VV 偏波を青と割り当てた際のカラー合成図を示し，右に益城町の航空写真（アジア航測機撮影）を示す．

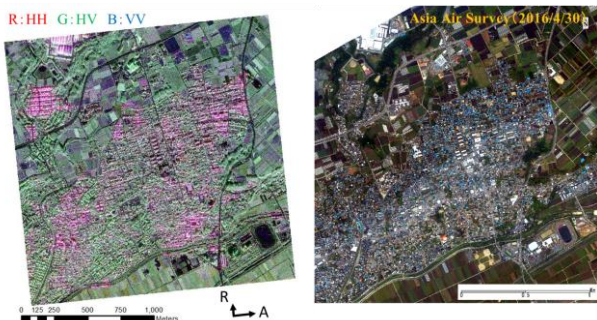


図-1 カラー合成図(2016/4/17)と航空写真(2016/4/30)

3. SAR 画像上の建物反射モデル

Brunner ら²⁾が地震被害を評価するにあたり，平屋根建物と切り妻屋根建物における後方散乱形式を検討する必要があると提案した．図-2 に示すように，今回は RC 造の平屋根建物と木造の切り妻屋根建物

を選定し，倒れこみ域とレーダ影域が SAR 画像上にもどのように表示されるかを検討する．

建物の後方散乱は，建物の屋根形式だけでなく建物の軸方向とマイクロ波の照射方向の角度によって大きく変わる．そこで，図-3 に示すように建物の選定にあたり，レンジ方向を基準に建物軸方向まで時計回りを正に取った角度（照射角 ϕ ）を考慮する．



図-2 対象建物の写真

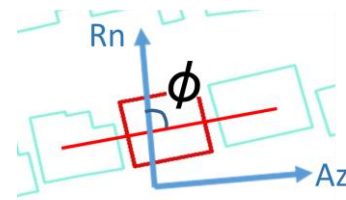


図-3 建物軸と SAR レンジ方向の照射角 ϕ の定義

(1) 平屋根（Flat-roof）建物の後方散乱形式

平屋根建物のモデルでは，幅 W で高さ H の長方形建物を仮定している．SAR センサが入射角 θ_1 で観測した際，地面からの反射散乱を a ，道路と建物壁の直角構造で引き起こされる二回反射散乱を b ，前面壁からの反射散乱を c ，屋根から反射散乱を d とする後方散乱が，図-4 に示すように発生すると考えられる．この場合，地表面に投影された建物の倒れこみ長 L とレーダ影長 S は，式(1)，(2)で求められる．

$$L = H \cot \theta_1 \quad (1)$$

$$S = H \tan \theta_1 \quad (2)$$

Brunner らは，平屋根建物の散乱形式に対して，建物形状と入射角による条件を考慮した 3 つの後方散乱モデルを提案した．本研究は平屋根建物の散乱モデルに対し， $H > W \tan \theta_1$ と $H < W \tan \theta_1$ というケースに着目して，SAR 画像上に平屋根建物の散乱モデルを作成した．図-4 に示す $H > W \tan \theta_1$ の場合では，屋根からの反射散乱 d は二回反射散乱 b よりも先に発生するため，倒れこみ域は建物の輪郭内に到達しない．このケースにおける建物の SAR 画像では，明るく光っている部分(Layover)が建物輪郭内(Footprint)に入っていないことが特徴である．図-5 に示す $H < W \tan \theta_1$ の場合では，一部屋根からの反射散乱 d が地面と前面壁からの反射散乱 $a+c$ と重なり

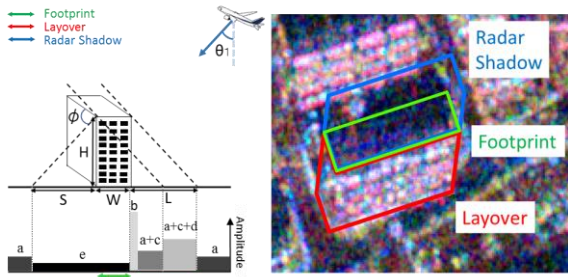


図-4 $H > W \tan \theta_1$ の後方散乱モデルと SAR 画像

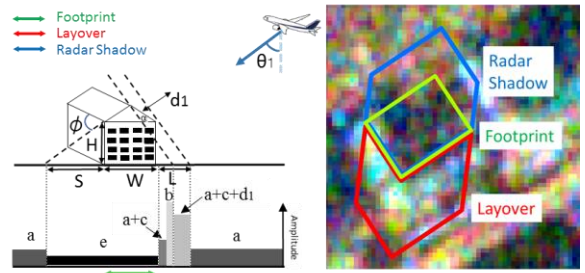


図-6 $\theta_1 > \alpha$ の後方散乱モデルと SAR 画像

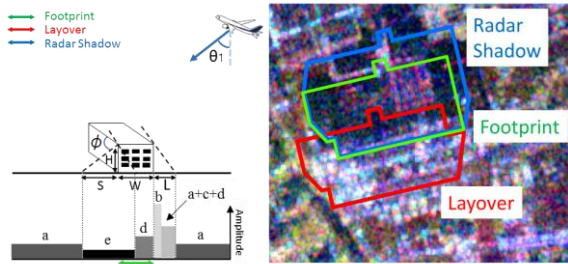


図-5 $H < W \tan \theta_1$ の後方散乱モデルと SAR 画像

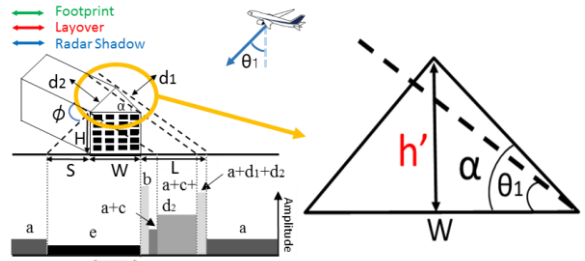


図-7 $\theta_1 < \alpha$ の後方散乱モデルと屋根勾配の拡大図

合って二回反射散乱 b より先に発生する。しかし、残りの屋根からの反射 d は二回反射散乱 b よりも遅れて発生するため、倒れこみ域は建物輪郭内に到達する。このケースの特徴として、明るく光っている部分が建物輪郭内に入っていることが確認できる。

(2) 切り妻屋根 (Gable-roof) 建物の後方散乱形式

切り妻屋根建物の散乱形式は平屋根建物の散乱形式と異なり、一番大きな違いは屋根からの反射には二つ異なる後方散乱が存在する。マイクロ波を照射するセンサに面している前屋根からの反射散乱を d_1 、センサに面していない裏屋根からの反射散乱を d_2 と定義する。本研究は、切り妻屋根建物の散乱形式に対して、 $\theta_1 > \alpha$ と $\theta_1 < \alpha$ というケースに着目して、SAR 画像上における散乱モデルを作成した。

入射角 θ_1 が傾斜角 α より大きい散乱形式では、裏屋根は前屋根によって遮蔽されているため、マイクロ波から照射される時、裏屋根からの散乱 d_2 は発生しない。図-6 に示す $\theta_1 > \alpha$ の場合における倒れこみ域では、一番明るく光っている部分は二回反射散乱 b に相当する。また、その手前にある暗い部分は地面と前壁からの反射散乱 $a+c$ によるものと考えられる。一方、図-7 に示す $\theta_1 < \alpha$ の場合の散乱モデル、裏屋根からの反射散乱 d_2 が一定の区域において発生することが特徴である。屋根勾配の拡大図に示すように、傾斜角 α が入射角 θ_1 より大きくなるには、屋根勾配 (傾斜角 α に相当) は 37.6° を越えなければならないため、即ち 8 寸勾配より大きくなる必要がある。しかし、益城町における木造住宅の屋根勾配は 8 寸勾配を超える棟数が少ないため、今回は $\theta_1 < \alpha$ に関して SAR 画像の散乱モデルを作成していない。

表-1 HH 偏波における後方散乱係数の平均値 (dB)

後方散乱モデル	Footprint	Layover	Shadow
$H > W \tan \theta_1$	-34.03	-16.04	-36.76
$H < W \tan \theta_1$	-32.25	-26.91	-34.12
$\theta_1 > \alpha$	-33.65	-22.38	-30.88

以上より、平屋根と切り妻屋根の散乱モデルに基づいて作成した建物輪郭、倒れ込み域、レーダ影域を用いて、Pi-SAR-X2 画像の HH 偏波における後方散乱係数の平均値を算出して表-1 に示す。いずれの後方散乱モデルにおいても、倒れ込み域の平均値は建物輪郭とレーダ影域の値より大きい結果が得られた。とくに、 $H < W \tan \theta_1$ の場合における倒れ込み域の平均値は $H > W \tan \theta_1$ の場合の値よりも小さい。これは、一部屋根からの反射散乱 d が倒れこみ域内に発生するので、倒れこみ域の平均値が減少したと考えられる。また、今回選定した建物の屋上は平らではないので、後方散乱が増えたとも考えられる。

4. まとめ

本研究では、災害後の 1 時期の SAR 画像から建物被害を把握するために、平屋根建物と切り妻屋根建物について後方散乱モデルを作成し、倒れ込み域やレーダ影域における後方散乱係数の平均値を検討した。今後の課題として、被害を受けた建物に対しても後方散乱モデルを作成し、被害抽出の検討を行う。

5. 参考文献

- 1) 情報通信研究機構：航空機搭載合成開口レーダ観測検索システム。 <https://pi-sar.nict.go.jp/>
- 2) Brunner, D., Lemoine, G., and Bruzzone, L. : Earthquake damage assessment of buildings using VHR optical and SAR imagery, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 48(5), pp. 2403-2420, 2010.