

人工衛星 SAR による被害地域抽出手法の 1999年トルコ地震と2001年インド地震への適用

松岡 昌志・山崎 文雄

工博 防災科学技術研究所 地震防災フロンティア研究センター (〒673-0433 三木市福井三木山2465-1)

1999年トルコ・コジャエリ地震の前後に被災地を観測した人工衛星 SAR 画像を用いて、ギョルジュクにおける被害地域での後方散乱特性の変化を検討し、1995年兵庫県南部地震での結果と比較した。その結果、両地震では類似した傾向があり、被害程度が大きくなるにしたがい2時期の後方散乱強度の差分値と空間相関値が小さくなることが明らかになり、兵庫県南部地震での人工衛星 SAR 画像と現地調査データとの関係に基づき構築した建物被害地域の抽出手法がトルコ地震での建物被害の検出にも利用可能であることを示した。この手法を2001年インド・グジャラート地震にも適用し、被災地を観測した空撮画像との比較から手法の妥当性を検証した。

Key Words : *synthetic aperture radar (SAR), damage area, backscattering characteristics, the 1999 Kocaeli, Turkey earthquake, the 2001 Gujarat, India earthquake*

1. はじめに

被害の把握に時間と労力が必要な大規模・広域災害では、被災地を観測した人工衛星画像の活用が有効であろう。レーダ観測のひとつである合成開口レーダ (SAR) は人工衛星等のプラットフォームから照射したマイクロ波パルスの地表での反射(後方散乱)強度と位相差を測定する能動型センサである。そのため、昼夜を問わず、かつ、雲を透過して観測できることから発災後における状況把握^{1,2)}への利用が期待されるセンサのひとつである。

著者らは1995年兵庫県南部地震の前後に阪神・淡路地域を観測した SAR の強度画像解析から、人工衛星により照射されたマイクロ波は建物と道路との間での複数反射(カージナル効果)によって強度が大きくなり、一方、建物の倒壊地域や空地に照射されたマイクロ波は多方向散乱の影響により、衛星に戻る成分が小さくなることを明らかにした。そして、地震前後の後方散乱強度の差分と空間相関から被害の甚大地域が抽出できることを示した³⁾。しかし、これは神戸での地震を対象にした一例にすぎず、ここで提案した手法の妥当性については、他の地震被害に適用することで検討する必要がある。

そこで、本報では、1999年トルコ・コジャエリ地震(トルコ地震)の前後に被災地を観測した画像を用い

て、ギョルジュクにおける被害地域での後方散乱特性の変化を検討し、兵庫県南部地震での結果と比較する。また、この手法を2001年インド・グジャラート地震(インド地震)にも適用し、被災地を観測した空撮画像との比較から手法の妥当性を検証する。

2. SAR データ

1999年8月17日のトルコ地震、2001年1月26日のインド地震では SAR を搭載した幾つかの人工衛星がそれぞれの被災地を観測した。本報では、トルコ地震については西はヤロバから東はアダバザルまでを観測した欧州宇宙機関の ERS (地震前:1999/8/13, 地震後:1999/9/17) を、インド地震では西はブジから東はアンジャールまでを観測したカナダ航空宇宙局の RADARSAT (地震前:1999/12/31, 地震後:2001/2/11) を利用した。両衛星とも波長が約5.6cmのマイクロ波を用いているが、ERSは地上分解能が30m、入射角が23°と固定なのに対し、RADARSATはビームモードによって観測幅、地上分解能、入射角が可変である。ここでは、地震前画像の有無の関係から、Fineモード画像(地上分解能8m)を用いている。なお、以降の画像処理はピクセル同士での演算になるため、地震前と地震後の画像には正確な位置合わせを施した。

3. トルコ地震でのギョルジュクにおける後方散乱特性

この地震ではギョルジュク及びその周辺において、日本建築学会が被害建物の全数調査を行った⁴⁾。図-1にギョルジュクにおける建物倒壊率の分布を示す。これに、SAR画像を重ね合わせて、建物の倒壊率と後方散乱強度の差分と相関値の関係を検討し、兵庫県南部地震でのデータと比較した。被害レベルは図に示す倒壊率ごとに設定し、それぞれ無作為に30ピクセルを抽出した。

図-2(a)に地震後の後方散乱強度から地震前のそれを引いた強度差を倒壊率ごとに示す(●印参照)。また、神戸におけるERSでの結果を○印に示す。ただし、大破あるいは全壊家屋の割合⁴⁾に基づいているため、厳密にはギョルジュクでの倒壊率と同等とはいえない。●印で示すギョルジュクにおける値をみると、被害レベルCにおける値とそのバラツキが他と比べて大きいものの、被害レベルがAからDの範囲では神戸での値とほぼ一致し、被害程度が大きくなると強度差が若干ではあるが小さくなる。しかし、被害レベルEでは両地震の値に違いがあり、ギョルジュクでの値の方が約1dB小さい。これは、神戸での被害は主に低層建物であるのに対し、ギョルジュクでは中層建物のパンケーキ崩壊が多くみられたからと考えられる。都市域をSARで観測した場合、中高層建物の分布している地域の方が低層建物の分布している地域よりも後方散乱強度は大きくなる傾向がある⁶⁾。そのため、地震前後での強度差がギョルジュクの方が大きくなるものと考えられる。

図-2(b)に相関係数を倒壊率ごとに示す。被害レベルBにおける値とそのバラツキが他と比べて大きいものの、被害程度が大きくなると相関係数が小さくなる傾向は神戸での結果(○印)と類似する。しかし、被害が小さい範囲も含めて、全体的に相関係数の値が小さい。これは、マイクロ波の散乱環境の違いに起因するもので、神戸とギョルジュクでは建物構造や都市域の被覆状況が異なっていることが要因と考えられる。なお、強度差と相関係数に共通して、ギョルジュクでは被害レベルごとの平均値と標準偏差にバラツキがあるのは、対象地域が狭いために抽出したピクセル数が30と少ないからと考えられる。

4. 被害地域抽出手法の適用

以上のように、被害地域における後方散乱強度と相関係数の低下はギョルジュクにおいてもみられること

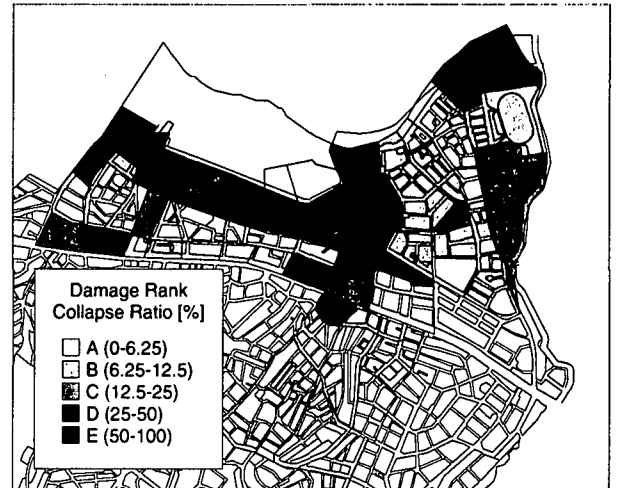
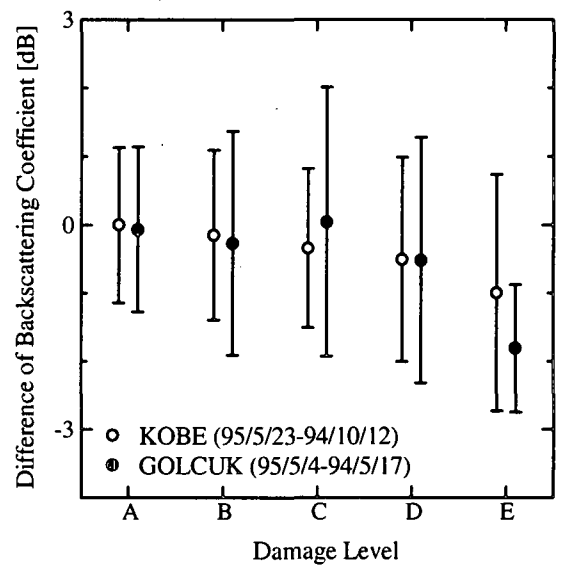
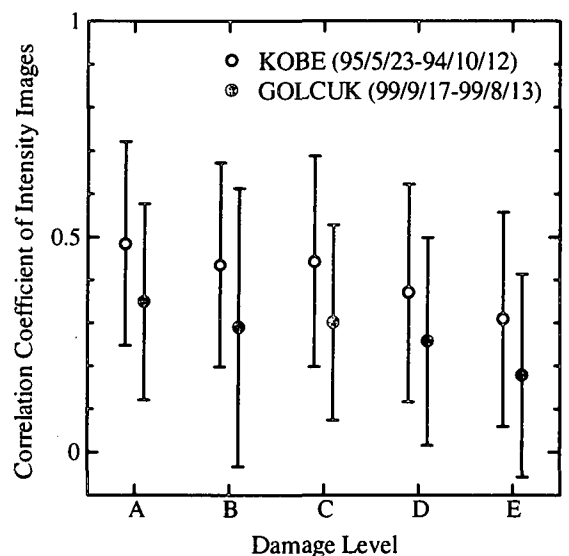


図-1 ギョルジュクでの建物倒壊率分布⁴⁾



(a) 後方散乱強度の差分(地震後-地震前)



(b) 後方散乱強度の空間相関

図-2 被害程度ごとの後方散乱特性の変化(平均値と標準偏差)

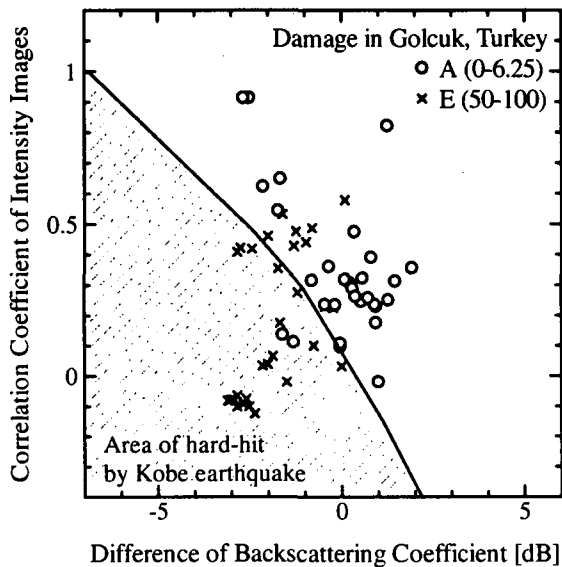


図-3 ギョルジュクでの被害レベルAとEにおける強度差分値と相関値の分布（斜線部は兵庫県南部地震でのデータに基づく大被害地域の範囲）

から、神戸での解析に基づいて提案した被害地域抽出手法³⁾をトルコの画像に適用することを試みる。これは地震前後のSAR画像の強度差と相関係数に基づき、無被害地域の誤抽出を極力最小にしつつ、甚大被害地域を抽出するものである。図-3の斜線部が被害地域の範囲である。これに、ギョルジュクにおける被害レベルAとEのそれぞれの地域における強度差と相関係数の分布を併せて示す。被害レベルEの地域はその多くが斜線部の範囲に含まれ、抽出率は67%である。そして、被害レベルAのほとんどが斜線部範囲外にあり、その割合は93%と高い。従って、斜線部の範囲を大被害地域として抽出する提案手法はトルコ地震での被害状況の把握にも利用できることがわかる。図-4に対象地域の全域について大被害地域を抽出し、地震前の強度画像に重ねた結果を示す。なお、対象地域を市街地に限定するため、後方散乱強度がある程度大きい地域を閾値により選定している。図より、ギョルジュクやアダパザルにおいて大被害地域が多く抽出される。ギョルジュクでの結果(図-4(a)参照)は被害調査データ(図-1参照)ともおおむね対応する。また、アダパザルで大被害地域が多く分布し、イズミット周辺では抽出される被害ピクセルが少ないことは、現地調査に基づく被害報告⁷⁾とも対応する。

次に、トルコにおける市街地構造や地震による建物被害のパターンはインドにおいても類似していると仮定して、本手法をインド地震の被災地に対して適用する。図-5にRADARSAT画像の全域について大被害地域を抽出した結果を示す。プジャアンジャールでは局所的に被害地域が分布し、両都市の間に点在するいくつかの集落では町全域が被害地域として抽出され

る。図-5(a)にはアンジャールの拡大図を示す。また、地震の16日後の空撮写真⁸⁾に画像処理に基づく被害判読⁹⁾を行った結果を図-5(b)に示す。両者における被害地域の分布はおおむね対応する。

5. まとめ

1999年トルコ・コジャエリ地震前後の人工衛星SAR画像を用いて、ギョルジュクにおける被害地域での後方散乱特性の変化を検討し、1995年兵庫県南部地震と比較した。そして、兵庫県南部地震での被災地を観測した人工衛星SAR画像と現地調査データとの関係に基づき構築した建物被害地域の抽出手法がトルコ地震での建物被害の検出にも利用可能であることを示した。また、この手法を2001年インド・グジャラート地震にも適用し、被災地を観測した空撮画像との比較から手法の妥当性を示した。

謝辞：ERSおよびRADARSATはそれぞれ欧州宇宙機関、カナダ航空宇宙局所有のものである。

参考文献

- 1) Massonnet, D., Rossi, M., Carmona, C., Adragna, F., Peltzer, G., Fiagl, K., and Rabaute, T.: The Displacement Fields of the Landers Earthquake Mapped by Radar Interferometry, *Nature*, Vol.364, pp.138-142, 1993.
- 2) Yonezawa, C. and Takeuchi, S.: Detection of Urban Damage Using Interferometric SAR Decorrelation, *Proc. International Geoscience and Remote Sensing Symposium, IEEE, CD-ROM, 1999.*
- 3) 松岡昌志, 山崎文雄: 人工衛星SAR強度画像による建物被害地域の検出手法, 日本建築学会構造系論文集, (投稿中).
- 4) AIJ reconnaissance team, Kabeyasawa, T. et al.: Progress Report on Damage Investigation after Kocaeli Earthquake by Architectural Institute of Japan, *Proc. ITU-IAHS International Conference on the Kocaeli Earthquake 17 August 1999*, pp.239-270, 1999.
- 5) 建設省建築研究所: 平成7年兵庫県南部地震被害調査最終報告書, 1996.
- 6) 青木久, 松岡昌志, 山崎文雄, 浦塚清峰, 小林達治, 佐竹誠: 都市域における航空機SAR画像の特徴, *日本写真測量学会秋季学術講演会発表論文集*, pp.137-140, 1999.
- 7) Eguchi, R. T., Huyck, C. K., Houshmand, B., Mansouri, B., Shinozuka, M., Yamazaki, F., Matsuoka, M., and Ulgen, S.: The Marmara Earthquake: A View from Space, *The Marmara Turkey Earthquake of August 17, 1999, Reconnaissance Report, Technical Report MCEER-00-0001*, pp.151-169, 2000.
- 8) 地震防災フロンティア研究センター: 1st Reconnaissance Survey on the 2001 Gujarat-India Earthquake, <http://www.edm.bosai.go.jp/India2001/Survey1/1strec.html>.
- 9) 三富創, 齋田淳, 松岡昌志, 山崎文雄: 2001年インド西部地震の空撮画像を用いた建物被害地域の自動抽出, *日本写真測量学会春季学術講演会発表論文集*, 2001.

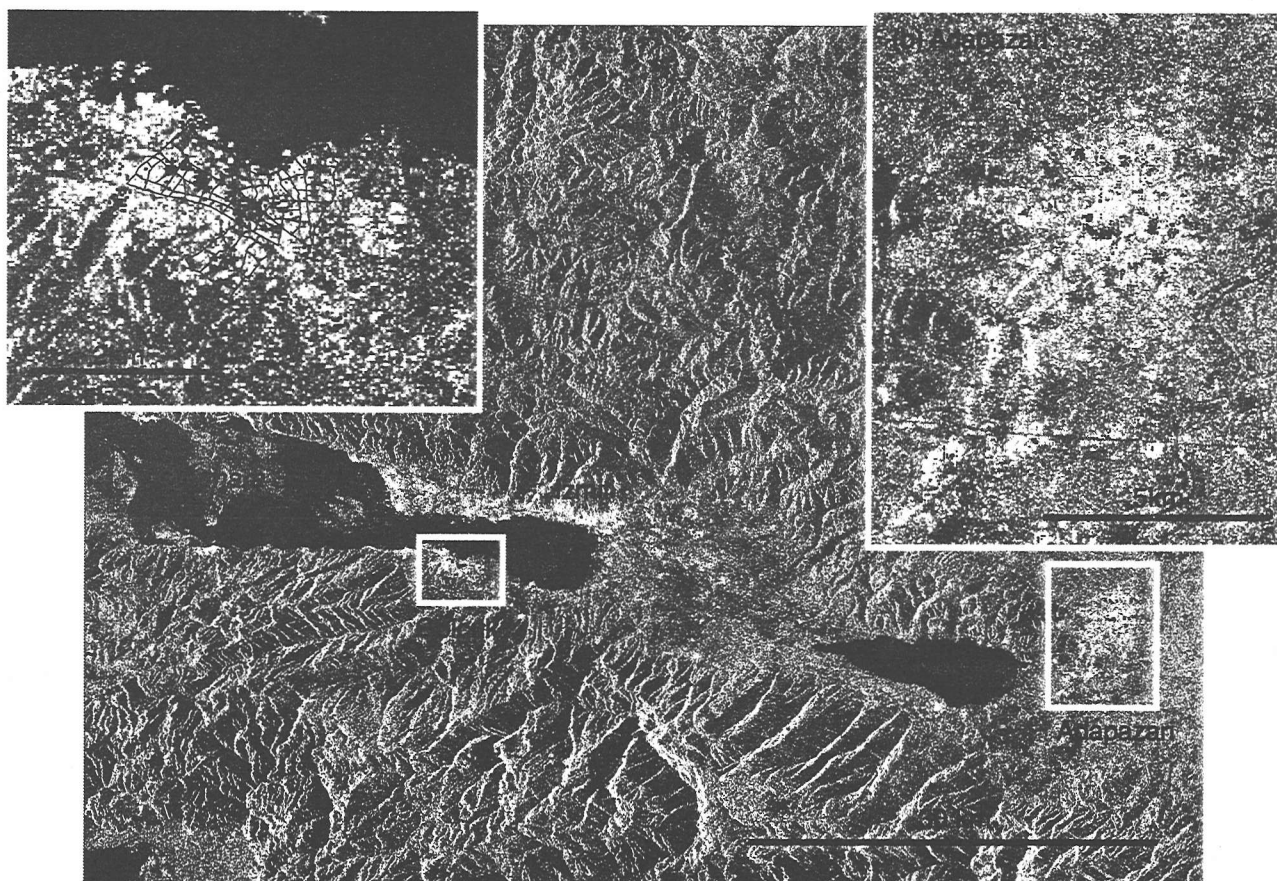


図-4 ERS 画像から推定した1999年トルコ地震での大被害地域(黒色)の分布
 (a)はギョルジュク, (b)はアダパザルの拡大図

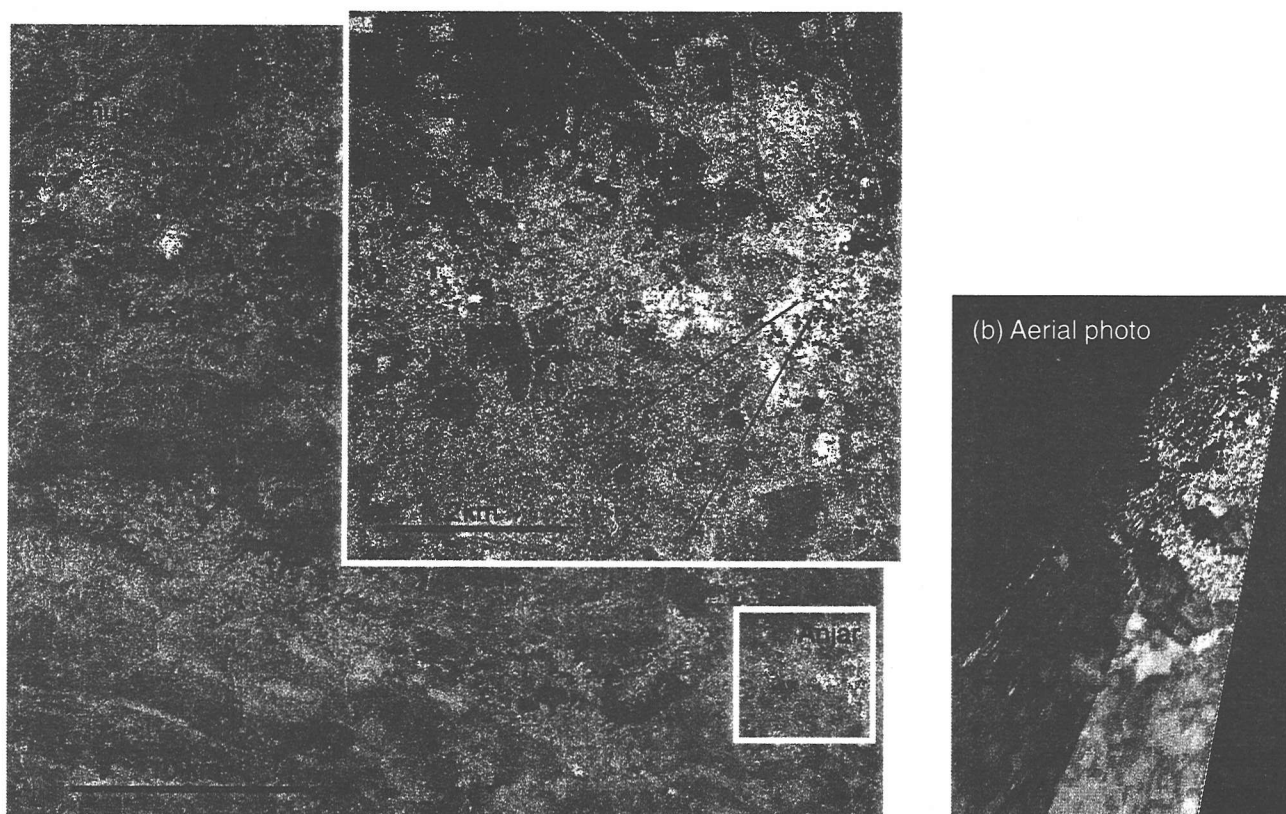


図-5 RADARSAT 画像から推定した2001年インド地震での大被害地域(黒色)の分布
 (a)はアンジャールの拡大図, (b)は地震後の空撮画像により判読した被害地域(黒色)