

1995年兵庫県南部地震での建物被害地域における  
人工衛星 SAR 強度画像の特徴CHARACTERISTICS OF SATELLITE SAR INTENSITY IMAGES IN BUILDING  
DAMAGE AREAS DUE TO THE 1995 HYOGO-KEN NANBU EARTHQUAKE

松岡昌志\*, 山崎文雄\*\*

Masashi MATSUOKA and Fumio YAMAZAKI

Satellite and airborne remote sensing, which can easily monitor a large area with high resolution, can provide effective spatial information to detect earthquake-induced damage. As a sensor installed on satellites JERS and ERS, synthetic aperture radar (SAR) is one of the most promising technologies since it is not affected by clouds. One of distinctive characteristics of SAR systems is their capability of recording both amplitude and phase of the backscattering echoes from objects on the earth's surface. In this paper, we investigated the microwave scattering characteristics of areas damaged by the 1995 Hyogo-ken Nanbu (Kobe) earthquake using ERS/SAR images for the purpose of possibility of extracting earthquake damage distribution by satellite SAR. According to the difference in backscattered intensity and spatial correlation of SAR images taken before and after the earthquake, we found that the characteristics of the backscattering properties of damaged areas showed significant variations. The relationship between building damage and the SAR images was found to be related to the damage level. This trend in areas of heavy building damage was revealed when the backscattered intensity and the correlation of pre- and post-event images became low. The damage distribution extracted by discriminant analysis based on backscattering properties agreed with the results of an actual damage survey. Therefore, the images obtained by remote sensing SAR could be a powerful tool for post-disaster management.

**Keywords :** Synthetic Aperture Radar (SAR), Satellite SAR Images, Building Damage Area, Remote Sensing, Backscattering Characteristics, the 1995 Hyogo-ken Nanbu Earthquake  
合成開口レーダ(SAR), 人工衛星 SAR 画像, 建物被害地域, リモートセンシング,  
後方散乱特性, 1995年兵庫県南部地震

## 1. はじめに

1995年兵庫県南部地震では阪神・淡路地域の広域にわたり甚大な被害が発生し、災害発生初期における被害情報の重要性が認識された。現地踏査が困難な地域や時期における地表モニタリングとして人工衛星や航空機等を利用したリモートセンシングがある。特に人工衛星によるリモートセンシングでは広範囲の情報を、ほぼ同一時刻に、かつ同一地域の状況の経時変化を容易に得ることができることから、大規模・広域地震災害の被害分布の把握に人工衛星画像が利用できれば、復旧・復興計画立案時に有効な情報となりうる。例えば、小椋山他(2000)<sup>1)</sup>は全世界を1日に2度以上観測する気象衛星の夜間可視画像を利用し、都市光の低下域を被災地として推定する手法を提案した。ただし、この衛星の地上分解能は2.7kmと低く、人的被害に影響を及ぼす構造物被害を直接観測しているわけではない。

都市構造物を把握するためにはより高い地上分解能が必要であるが、数～数十メートル分解能を有する衛星は回帰日数が数～十数日であり、被害の早期把握の観点では課題が残されている。しかし、将来わが国を始めとして分解能が1m程度の高分解能衛星が複数打ち上げられる計画になっており<sup>2)</sup>、これらの課題は克服される可能性がある。

従って、現在利用可能な衛星画像に基づき、実被害地域における画像の特徴を検討する事例的研究はリモートセンシングを利用した地震被害の早期把握技術の実用化へ向けて重要と考えられる。

人工衛星を利用したリモートセンシングは大きくは光学センサとレーダによる観測に分かれる。前述の気象衛星の可視画像も前者に含まれるが、既に著者らは兵庫県南部地震の前後に得られた光学センサ画像を用いて、液状化、建物焼失、建物被害地域におけるスペクトル特性の変化を定量的に評価して広域被害分布の抽出を試み、大被害地域が概ね把握可能であることを示した<sup>3)</sup>。しかし、太陽光を利用する光学センサによる観測では天候の制約を受けることも言及した。一方、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)強度及び送受信したパルスの位相差等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、雲を透過して地表を観測できることから、地震等の発災後における被害状況把握への利用が期待されるセンサのひとつである。

例えば、Massonnet *et al.*(1993)<sup>4)</sup>は人工衛星 SAR 画像の位相情報を用いたインターフェロメトリ手法により、1992年Landers地震におけ

本論文は文献16), 17)に修正を加えて発展させたものである。

\* 理化学研究所地震防災フロンティア研究センター  
副チームリーダー・博士(工学)  
(現在 防災科学技術研究所)

\*\* 理化学研究所地震防災フロンティア研究センター  
チームリーダー・工博  
(現在 防災科学技術研究所)

Deputy Team Leader, Earthquake Disaster Mitigation Research Center, Dr. Eng.

Team Leader, Earthquake Disaster Mitigation Research Center, Dr. Eng.

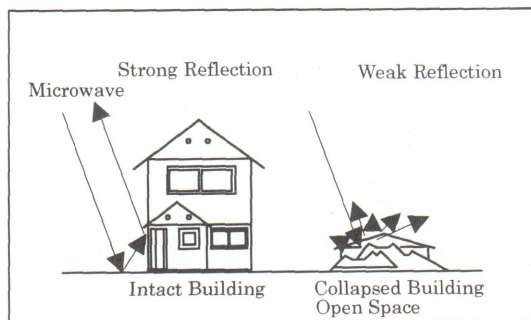


図-1 後方散乱の模式図

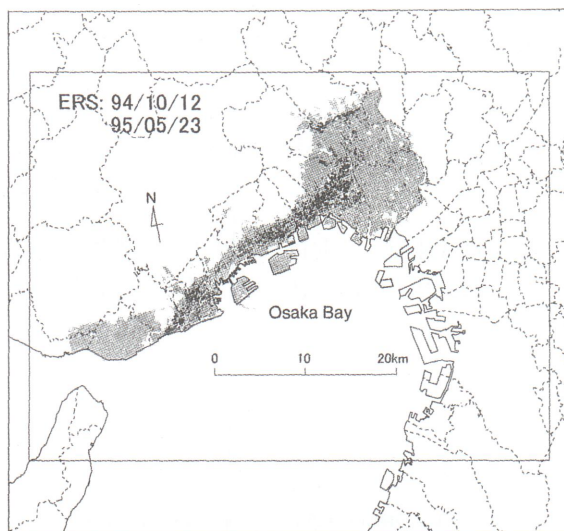


図-2 対象地域

表-1 ERS/SAR の仕様

Frequency	5.3GHz (C-band)
Wavelength	5.7 cm
Polarization	VV
Incidence Angle	23°
Swath Width	100 km
Spatial Resolution	30 m
Recurrence Period	35 days

る地殻変動の面的把握に成功した。同様の手法により兵庫県南部地震でも地殻変動が検出されている<sup>5)</sup>。建物の被害把握の観点では、米澤・竹内(1998)<sup>6)</sup>は兵庫県南部地震の前後で得られた複数のSAR画像の相関解析から被害の著しい地域を抽出できることを示唆している。しかし、この研究では地震後の画像に地震後1年以上経過した画像を用いていることや現地調査等に基づく被害程度との定量的な比較がされていないなど、被害抽出手法として確立するためには補充すべき点が多い。

この地震の建物被害調査の一部はGISデータとして整備され<sup>7)</sup>、衛星画像と被害程度の定量的な分析が可能である。そこで、本研究では建物被害データと地震前後に阪神・淡路地域を観測したERS衛星のSAR画像とを用いて、建物被害地域における後方散乱特性の変化を定量的に評価し、衛星画像を用いた被害分布の抽出を試みた。

## 2. SARによる観測

SARが用いる照射する電磁波は可視域や赤外域よりも長い波長を持った位相のそろったマイクロ波である。従って、可視域～赤外域における地表での反射/放射特性を観測する光学センサ画像とは質的に異なった情報がSAR画像には含まれている。SARによって照射されたマイクロ波は地表付近の物質の形状や物性、表面の状態などによって変化する。そして、センサは地表で反射して戻ってきた後方散乱成分を観測する。後方散乱強度の大きさはマイクロ波の波長や地表への入射角度、地表面の凹凸等の影響を受ける。観測される位相についても地表付近や大気の状態によって複雑になる。

また、SARは電磁波の特徴のひとつである偏波を制御できることから、地表での散乱波の偏波特性を把握できる。レーダにおいて最も普通に使われる偏波は水平偏波Hと垂直偏波Vであり、これらを用いて送受信することで、HH、VV、HV、VHで表現される4種類の偏波の組み合わせ観測が可能である。ここで、はじめの記号が送信の偏波、後の記号が受信の偏波を表している。HHやVVはライク偏波、HVやVHはクロス偏波と呼ばれる。対象物体によっては観測される後方散乱成分の偏波特性が特徴的なものもある。例えば、図-1の左に示す単純な建物と地面との反射を考えた場合には理論的にはクロス偏波が発生しない。偏波特性を利用することで、地表物体のより高精度な識別等が可能になることが期待されているが、現在までのところ、この観測が可能なプラットフォームは航空機に限られ、人工衛星の場合には重量や電力等の理由からライク偏波の観測しかできないのが一般的である。なお、本報で用いるERS衛星はVV偏波画像のみを取得する。

地震などによって地表に何らかの変化が発生した場合、後方散乱特性が変化するため、地震前後のSAR画像を比較することで、その変化域を抽出することが可能と考えられる。図-1に示すように、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)によって後方散乱強度は大きくなる<sup>8)</sup>。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、衛星に戻る成分は小さくなると考えられる。つまり、地震前後では被害地域における後方散乱特性の空間分布が異なることが予想され、その変化は後方散乱強度の差分や空間相関で表現できると考えられる。

## 3. SARデータ

### 3.1 SAR強度画像

兵庫県南部地震後に阪神・淡路地域を観測したSAR搭載の人工衛星には我が国のJERS-1と欧州宇宙機関のERS-1がある。しかし、地震後のJERS-1/SAR画像には輝線状のノイズが多く含まれている<sup>9)</sup>ことから、本研究ではERS-1/SAR画像を用いた。前述したようにSARでは後方散乱強度と位相の情報が得られるが、ここでは強度画像を利用する。ERS衛星及びセンサの特徴を表-1に示す。マイクロ波の波長は約5.7cm、地上での分解能とピクセルサイズは30mである。

なお、SAR画像にはスペckルノイズ<sup>10)</sup>と呼ばれるゴマ塩状のランダムな濃度のゆらぎが含まれる。スペckルノイズを含むSAR画像の1ピクセルの意味するところは、そのピクセルの情報が後方散乱強度に比例しているのではなく、その情報の期待値が後方散乱強度に比例している。従って、1ピクセルの情報のみからは正確な後方散乱強

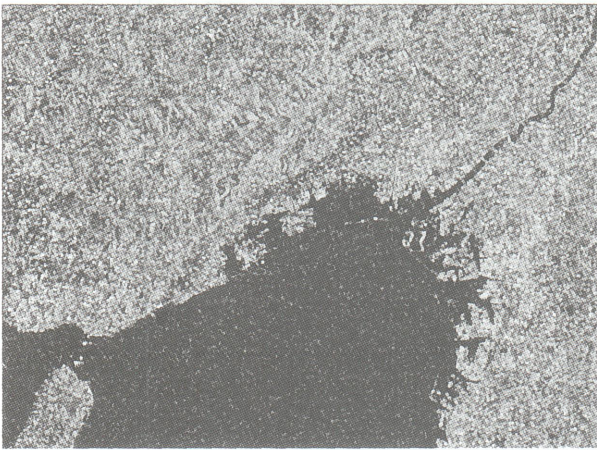


(a) 地震前(1994年10月12日観測)

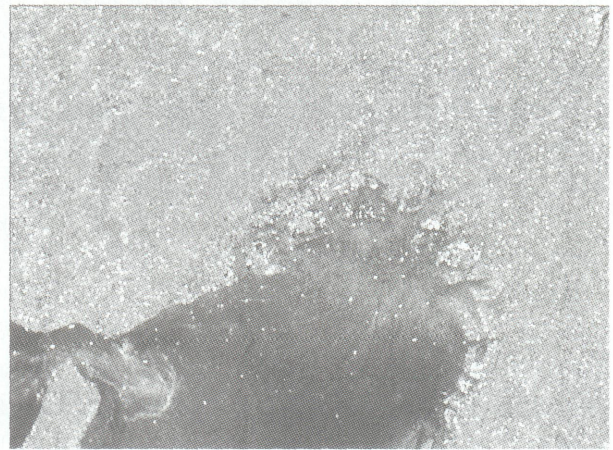


(b) 地震後(1995年5月23日観測)

図-3 ERS/SAR 強度画像



(a) 強度の空間相関画像



(b) 強度差分画像(地震後-地震前)

図-4 地震前後のERS/SAR画像に基づく変化域

度は算出できず、均質と見なせる広い面積について平均化できれば比較の高い精度で後方散乱強度が推定できる<sup>10), 11)</sup>。ただし、複数の異なる建物が密集する市街地ではこの条件を満足することはほとんどないため、ここではノイズ除去を目的とした特別なフィルタ<sup>例(12)</sup>は施さず、ピクセル値が後方散乱強度に比例しているとみなした。

地震後の画像として利用可能な最も早い時期のものは1995年5月23日に観測したもので、地震後約4ヶ月経過している。そのため、地震直後の被害状況との直接的な対応は検討できないが、都市域での地表変化に関するSAR画像のポテンシャルについての基礎的な検討はできるものと考えられる。なお、本研究では被害地域における地震前後の後方散乱特性の変化についての考察を行うため、地震前のデータとして1994年10月12日に観測したものをを用いた。図-2には画像の範囲を、図-3には地震前後のSAR画像を示す。後方散乱強度が大きい地域ほど明るく表示している。市街地では強度値が大きく、海や山岳部では値は小さい。

### 3.2 画像処理

複数時期の画像データの比較には画像間の重ね合わせ(レジストレーション)が必要である。ここでは(1)式に示す両画像の相関係数が高い対応点を画像全域から約100点自動探索して<sup>13)</sup>、地震前画像にア

フィン変換を施すことでレジストレーションを行った。ピクセルの再配列には最近隣挿法<sup>13)</sup>を用いた。

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

ここで、 $r$ は相関係数、 $I a_i$ 、 $I b_i$ は*i*番目における地震後と地震前のそれぞれのピクセル値、 $N$ は計算するウィンドウ内のピクセル数を表す。7×7ピクセルのウィンドウを用いたため、 $N$ は49となる。

地表での変化を表す指標として後方散乱強度の差分や空間相関が考えられることは前に述べたが、空間相関は(1)式から計算される相関係数で表す。レジストレーション済みの2時期画像の空間相関画像を図-4(a)に示す。値が小さい地域ほど黒色で表示している。海域と比べて市街地では相関が高い傾向がみられるが、神戸から西宮にかけては、やや相関が低い地域が帯状に存在する。

後方散乱強度の差分値 $d$ は、(2)式に示すようにピクセル値を後方散乱特性の基本物理量である後方散乱係数 $\sigma_0$ (dB)に変換して<sup>14)</sup>、地

表一 被害地域における各種画像のピクセル値の平均値(標準偏差)

Damage Level Severe Damage Ratio	D (%)	Backscattering Coefficient [dB]		Values from SAR Images	
		Pre-event	Post-event	Difference [dB]	Correlation
(A)	No Damage	-4.17 (2.33)	-3.33 (2.35)	0.84 (1.15)	0.49 (0.24)
(B)	D < 6.25	-3.70 (2.44)	-2.87 (2.53)	0.84 (1.12)	0.48 (0.23)
(C)	D < 12.5	-3.37 (2.08)	-2.67 (2.08)	0.69 (1.24)	0.43 (0.23)
(D)	D < 25	-3.21 (2.07)	-2.71 (2.08)	0.50 (1.17)	0.44 (0.24)
(E)	D < 50	-3.01 (1.81)	-2.67 (1.92)	0.34 (1.50)	0.37 (0.25)
(F)	D < 100	-2.77 (1.68)	-2.89 (1.67)	-0.13 (1.65)	0.32 (0.25)
(G)	D = 100	-2.36 (1.70)	-2.54 (1.86)	-0.18 (1.81)	0.30 (0.25)

震後の値から地震前のそれを引くことで求める。その際、スペックルノイズの影響を少しでも低減することを目的に、 $i$  番目におけるピクセル値は  $7 \times 7$  ピクセルのウィンドウの平均値  $\hat{I}_a, \hat{I}_b$  から算出した。

$$d = 10 \cdot \log_{10} \hat{I}_a - 10 \cdot \log_{10} \hat{I}_b \quad (2)$$

図-4(b)には強度差画像を示す。値が小さい地域、すなわち地震前に比べて地震後に強度が低下した地域を黒色で表示している。この画像においても神戸から西宮にかけて及びその北東の塚家の周辺で差分の値が小さい地域がみられる。

これら SAR 画像及び2時期の SAR 画像から計算される相関画像、強度差画像については地図に合うように幾何補正を行い、緯経度情報を付加して GIS データ化した。

#### 4. 建物被害地域における SAR 画像の特徴

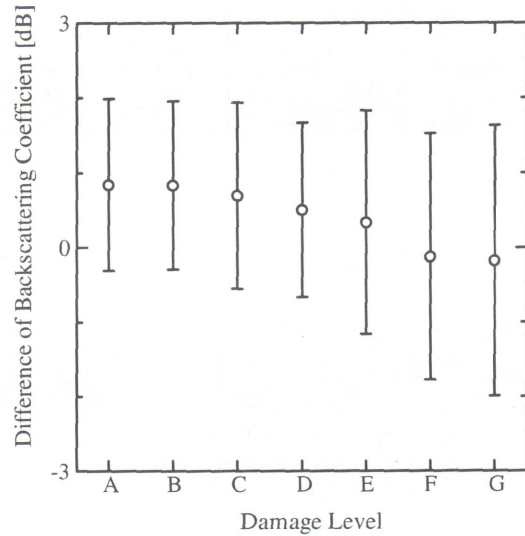
##### 4.1 建物被害データ

SAR 画像と比較する地震被害として建物被害を取り上げる。建物の被害調査報告は幾つかあるが、震災復興都市づくり特別委員会の結果に兵庫県都市住宅部計画課による結果を加えた被災度調査結果が、建設省建築研究所により整理されている<sup>7)</sup>。これは建物の被災度を全壊または大破、中程度の損傷、軽微な損傷、火災による焼失、外観上の被害なしと判定したもので、街区ないし丁目単位でまとめられ GIS データ化されている。ここでは、街区単位で整理された低層建物の被災度データを建物被害データとして用いた。図-2には大破あるいは全壊家屋が 10% 以上の街区を黒色で表示している。

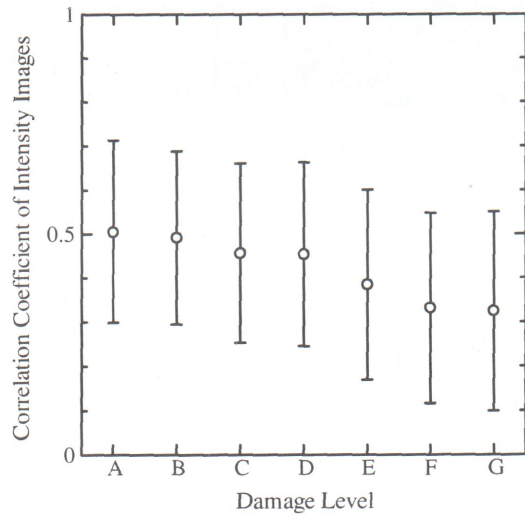
##### 4.2 被害程度ごとの後方散乱特性の変化

SAR 画像に建物被害データを重ね合わせて、建物の大破率(D)との関係を検討した。大破率とは全壊または大破の建物と焼失建物を合わせた棟数を街区内の全建物で除した値とし、これを街区ごとに算出した。そして、大破率ごとにそれぞれ無作為に 2000 ピクセルを抽出し、ピクセル値の平均値と標準偏差を算出した結果を表-2に示す。無被害とは全ての建物が外観上の被害がない街区に含まれるピクセルから選定した。

地震後の後方散乱強度をみると大破率が大きくなるほど強度が大きくなる傾向があるが、地震前の画像ではその傾向がさらに顕著にみられる。つまり、この違いは地域固有の後方散乱特性といえ、大きな被害を受けた地域は潜在的に後方散乱強度が大きい。この地震では被害が大きかった地域は市街地中心部であり、建物や道路が比較的密集している。このような地域ではカージナル効果により後方散乱強度が大きくなりやすい<sup>8)</sup>。一方、被害が少なかった地域は山や海側に分布し、植生や空地が多く存在するなどカージナル効果の影響は比較的少ないと考えられる。



(a) 強度値の差分(地震後-地震前)



(b) 強度値の空間相関

図-5 被害程度ごとの地震前後における後方散乱特性の変化

このように地震後の画像のみでは地震に伴う地表の変化がわからない。図-5(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大破率ごとに示す。標準偏差が非常に大きくバラツキがあり、被害程度ごとにほとんど違いがみられないが、平均値をみると若干ではあるが被害程度が大きくなるほど強度差が小さくなる。図-5(b)には2時期の画像の空間相関値を示す。被害程度が大きくなるに従い相関値が低下する。被害が生じて地表の状況が変化したことが後方散乱の

表一 3 線形判別手法による無被害と大破率 100% の地域の 2 群判別結果

Damage Level Severe Damage Ratio D (%)	Total Number of Pixels	Number of Pixels Classified into D=100	
		Using Line A	Using Line B
(A) No Damage	2000	534	217
(B) D < 6.25	2000	627	246
(C) D < 12.5	2000	762	403
(D) D < 25	2000	805	446
(E) D < 50	2000	1057	693
(F) D < 100	2000	1280	948
(G) D = 100	2000	1276	974

空間分布に影響を及ぼしたものと考えられる。

2章で仮定したように、大被害地域における強度差と相関値は平均的な傾向としては小さくなる。これは SAR 観測時には倒壊建物や瓦礫撤去後の空地化などによって地表が変化していたと考えると妥当な結果である。ただし、被害程度ごとの標準偏差は大きく、バラツキがある。このバラツキの原因は前述の SAR 特有のスペクルノイズに起因するもの、2 時期の間における地震被害以外の地表の変化や地表面の湿潤具合の違い、2 回の衛星軌道が全く同一ではないことによるマイクロ波の入射角の違いなどが考えられる。

### 5. SAR 画像を用いた被害分布の抽出

SAR 画像と建物被害データとを比較したところ、大破率が大きくなるほど強度差と空間相関が小さくなる傾向がみられた。そこで、強度差と相関値を説明変数とした被害地域の抽出を試みた。図-5 に示すように被害ごとの差分値や相関値にはバラツキが多く、複数の被害程度には分離できないと考えられる。従って、大破率 100% の地域と無被害地域の 2 群を分離する境界を求めて、対象地域から大被害地域のみを抽出することを考える。図-6 に無被害と大破率 100% それぞれの地域における強度差と相関値の分布を示す。これら 2 群は重なり合っており明確には分離できないが、両者を分離する境界線を線形判別手法によって求めると実線 (line A) のようになる。表-2 にて選定したピクセルに対して、line A に基づいて大被害地域を判別 (図-6 中の点線より下領域を抽出) すると表-3 のようになる。被害が大きくなるに従い大被害地域と判別されるピクセルが概ね増え、大破率 100% のピクセルはその 64% が抽出できる。大破率 100% と無被害の 2 群の判別率 (正しく判別されたピクセル数の全ピクセル数に対する割合) は約 69% であるが、実際には無被害であっても 27% のピクセルが大被害として誤判別される。

図-7 には line A に基づき、ERS 画像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合わせた結果を示す。なお、この判別を適用する前処理として、対象地域を市街地に限定するために、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。閾値は表-2 を参考に -4 dB とした。図-7 より、神戸から西宮や宝塚にかけて多くのピクセルが大被害地域として抽出されている。しかし、山岳部の谷底平野や大阪平野の広い地域にわたり大被害地域として誤判別されるピクセルもあり、この推定は過大評価といえる。そこで、無被害のピクセルをできるだけ抽出しないよう、境界線を下げること考える。ここでは、無被害ピクセルの誤判別が 10% に減少するように点線 (line B) のように決定した (図-6 参照)。表-3 にはその場合の判別結果も示す。大破率 100% のピクセルの判別精度が 50% 程度に低

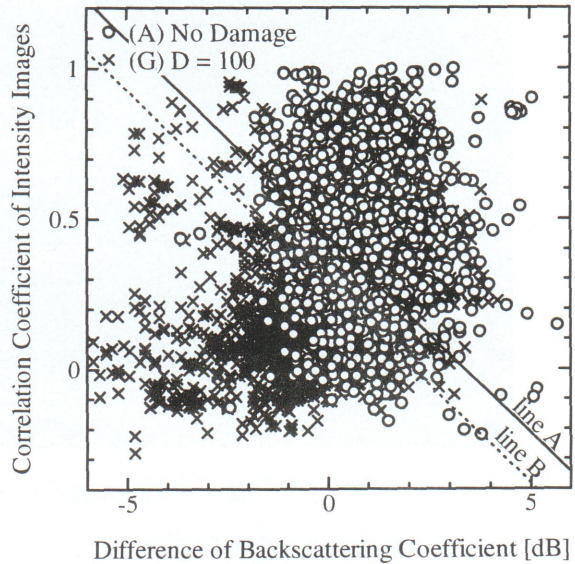


図-6 無被害地域と大破率 100% 地域における強度差分値と相関値の分布

下するが、2 群の判別率的中率は約 69% であることから、前の結果と比べて判別精度としては大差がない。line B に基づいて推定した大被害地域の分布を図-8 に示す。それは図-2 に示す被害調査データに基づく大被害分布と概ね対応するようになる。

本研究で使用した画像は地震後約 4 ヶ月経過したのものであることから、衛星は地震直後の建物被害状況を観測しているのではなく、瓦礫化した建物、瓦礫が撤去されて空地になった地域、新築の建物などの様々な状況を観測していると考えられる。この地震後に行われた瓦礫撤去・家屋建築の現地調査<sup>15)</sup>によると、地震後 3 ヶ月の時点では撤去率が 3 割程度であった。図-9 に地震後 3 ヶ月の瓦礫撤去の分布を示す。この分布も図-4 に示す地震後に強度が低下した地域、相関値が低下した地域と概ね対応し、それに基づく被害推定結果 (図-8) とも大局的には対応する。

### 6. 考察

以上のように、被害地域における後方散乱強度の値の平均的な傾向を利用することで、被害地域の大局的な分布は推定できる可能性があることが明らかになった。ただし、実際には大きな被害がないにもかかわらず、谷底平野や大阪平野には部分的に被害と判定される地域が存在する。これは、スペクルノイズの影響が最も大きい、1994 年 10 月から 1995 年 5 月の間に、地震に起因しない地表の変化があった

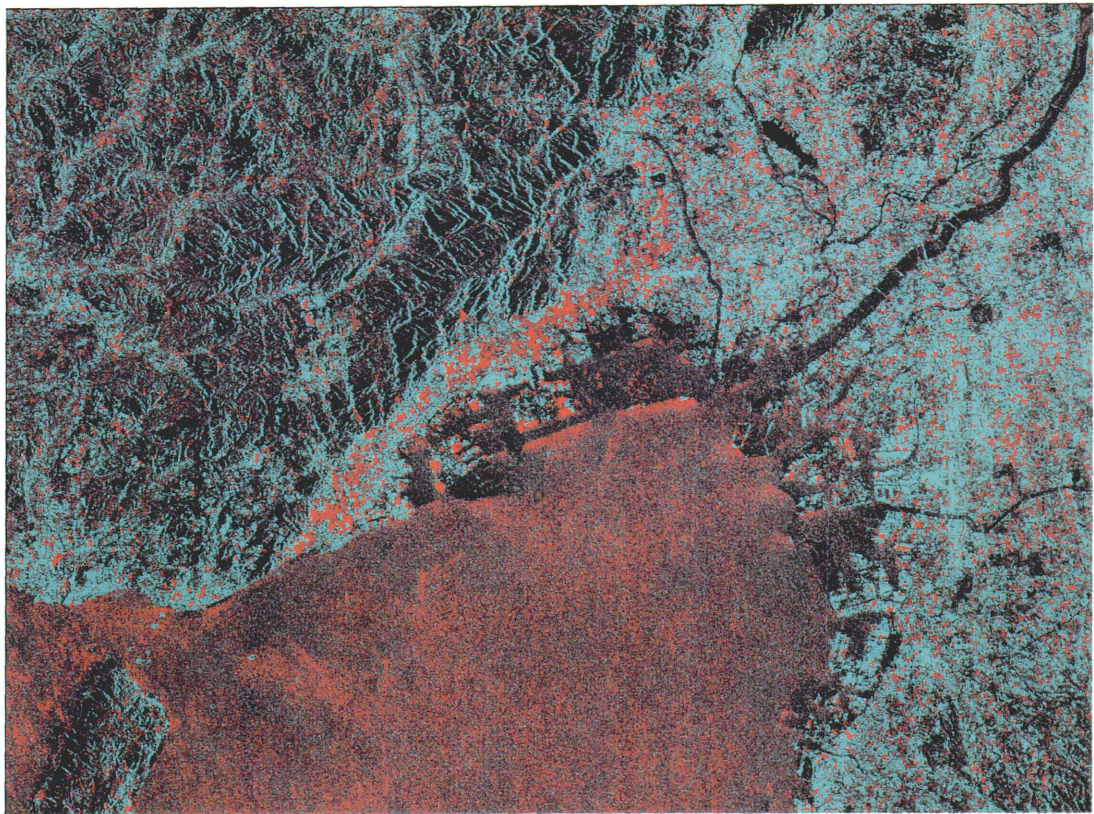


図-7 line Aに基づき推定した大被害地域の分布(赤色)

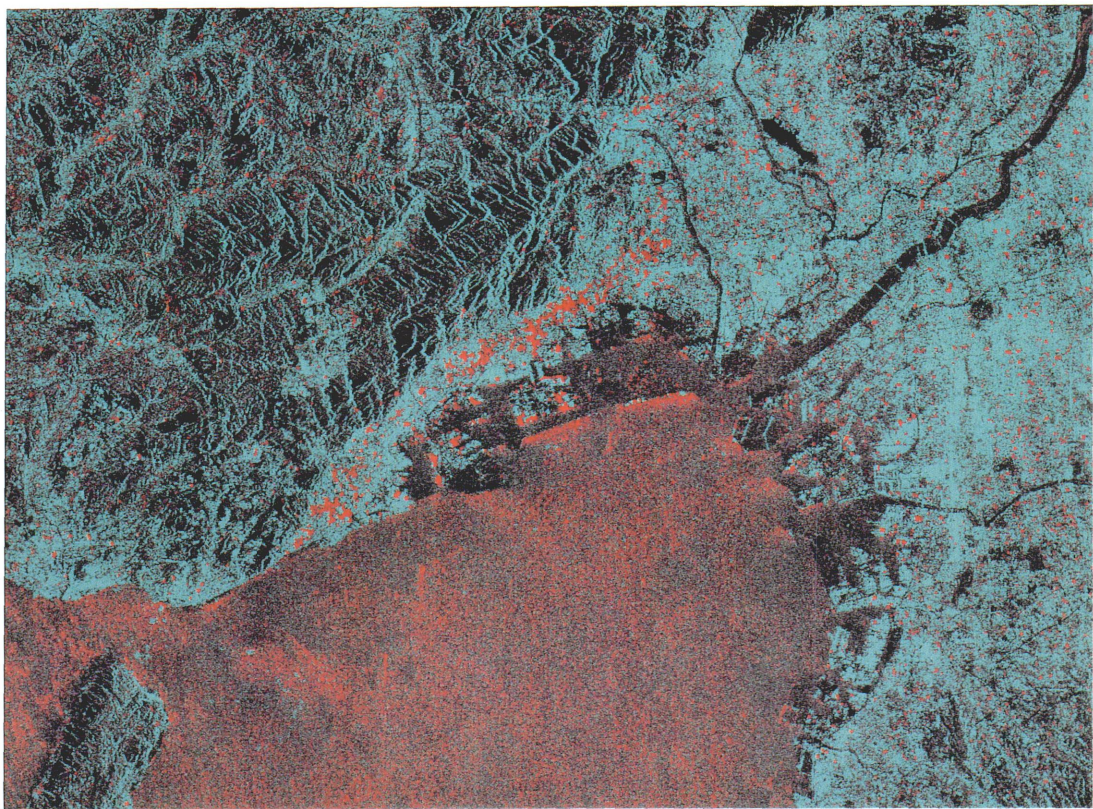


図-8 line Bに基づき推定した大被害地域の分布(赤色)

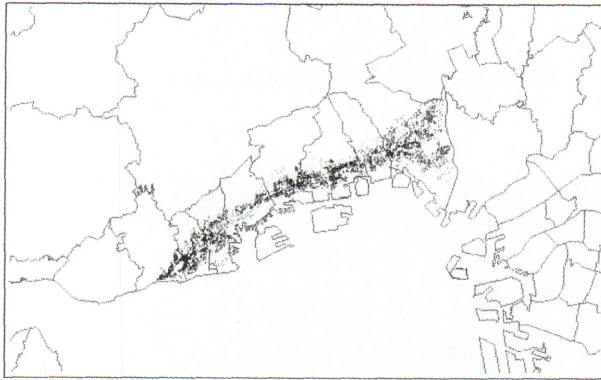


図-9 地震後3ヶ月の瓦礫撤去の分布<sup>15)</sup>

可能性も考えられる。また、図-5(a)に示すように、無被害地域における後方散乱強度差分の平均値がゼロではないことから、2時期の観測条件が異なっていることも予想される。従って、判読精度の向上のためには、衛星の位置を含む観測環境、天候等のマイクロ波の伝播環境、地震被害以外の地表面の凹凸環境の変化や湿潤度等の散乱環境を反映したより詳細なデータに基づき誤判読の要因を検討する必要がある。ちなみに、将来打ち上げられる高分解能衛星は小領域の変化を観測する能力が高まるが、スペックルノイズの影響や観測条件の影響を受けることには変わりがない。つまり、無被害を被害地域と誤判読することへの改善にはそれほど影響がないと考えられる。ただし、被害地域を無被害と誤判読することは減る可能性があり、また、高分解能になることで、マルチルック処理(脚注参照)がしやすくなることから、ERS衛星と同程度の分解能に低下させて比較した場合には、判読精度の向上が期待できる。

本手法および今後期待される成果は、我が国などでは大規模・広域地震災害の際に、発災直後から刻々と集まる詳細な被害情報や地震計ネットワークを利用した被害推定結果を補完するものとして利用でき、強震観測態勢や情報インフラが十分でない途上国での利用はより有効であると考えられる。ただし、そのためには我が国をはじめ世界各国が打ち上げる計画の複数衛星を利用することで、回帰日数の課題を解消するよう努力することや複数衛星のデータの仕様を統一し、データを一元管理する仕組みが必要であることは言うまでもない。また、本手法は神戸での地震を対象にした一例にすぎず、この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。これについては別の機会に報告する。

## 7. 結論

人工衛星に搭載した合成開口レーダ(SAR)による地震被害把握の可能性について検討するために、1995年兵庫県南部地震の際の現地調査に基づく被害データと地震前後のERS/SAR画像とを用いて、被害地域における後方散乱特性について検討した。その結果、被害程度が大きい地域ほど地震前後の強度差と空間相関の値が小さくなる傾向がみられた。これらのことは大きな被害を受けた地域では地表において何らかの変化が生じていることを示唆するものであり、SAR観測時には瓦礫化あるいは建物の撤去等により空地化していたと考えることで

説明できる。また、強度の差分値と相関値を説明変数とした線形判別分析により大被害地域を抽出したところ、それが実際の被害調査結果と概ね対応することを確認した。

## 謝辞

本研究は基礎地盤コンサルタンツ(当時は理化学研究所地震防災フロンティア研究センター)の青木久氏の協力を得た。瓦礫撤去データは奈良大学碓井照子教授よりご提供いただいた。また、査読者より有意義な指摘をいただいた。記して謝意を表す。ERS衛星画像は欧州宇宙機関所有のものであり、宇宙開発事業団より提供を受けた。図-2の一部は、建築研究所が国土地理院長の承認を得て、同院発行の数値地図10000(総合)を複製したCD-ROMデータに基づいて作成したものである(承認番号 平8総複、第26号)。

## 参考文献

- 1) 小嶋山雅之, 林春男, 牧紀男, 橋寺晋, 松岡昌志, ハーバート・クレール, クリストファー・エルビッジ, ルース・ホブソン: DMSP/OLS夜間可視画像を用いた早期被害推定システム(EDES)の開発, 地域安全学会論文集, No.2, pp.79-86, 2000.
- 2) ストーンニー・ウィリアム, ヒューズ・ジョン: 新たなスペースステーションが開始する2000年までに打ち上げられる31の地上観測用衛星, GIS WORLD 日本版, No.01, pp.74-77, 1999.
- 3) 松岡昌志, 山崎文雄, 翠川三郎: 1995年兵庫県南部地震での被害地域における人工衛星光学センサ画像の特徴, 土木学会論文集, No.648/I-54, pp.177-185, 2001.
- 4) Massonnet, D., Rossi, M., Carmona, C., Adragna, F., Peltzer, G., Fiegl, K., and Rabaute, T.: The Displacement Fields of the Landers Earthquake Mapped by Radar Interferometry, *Nature*, Vol.364, pp.138-142, 1993.
- 5) 島田政信: 地震解析中間報告, 阪神・淡路大震災関連調査, 兵庫県南部地震災害調査報告, 地球環境観測委員会・宇宙開発事業団・(財)リモートセンシング技術センター, pp.91-96, 1995.
- 6) 米澤千夏, 竹内章司: ERS/SAR強度画像を用いた兵庫県南部地震による建造物被害地域の抽出, 写真測量とリモートセンシング, Vol.37, No.4, pp.57-61, 1998.
- 7) 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.
- 8) 日本写真測量学会: 合成開口レーダ画像, 朝倉書店, 1998.
- 9) 大倉博, 実測哲也: SAR画像による兵庫県南部地震の地表面変化の観測, 阪神・淡路大震災関連調査, 兵庫県南部地震災害調査報告, 地球環境観測委員会・宇宙開発事業団・(財)リモートセンシング技術センター, pp.75-90, 1995.
- 10) 資源・環境観測解析センター: 新編リモートセンシング用語辞典, 1996.
- 11) 日本リモートセンシング研究会: リモートセンシング用語辞典, 共立出版, 1989.
- 12) Lee, J.S.: Digital Image Enhancement and Noise Filtering by Use of Local Statistics, *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol.PAMI-2, No.2, pp.165-168, 1980.
- 13) 高木幹雄, 下田陽久: 画像処理ハンドブック, 東京大学出版会, 1991.
- 14) 宇宙開発事業団: JERS SAR / ERS AMI IMAGE データフォーマット説明書, 1996.
- 15) 碓井照子: 阪神・淡路大震災復興過程のGIS分析と空間データ基盤整備事業, 奈良大学地理, Vol.3, pp.20-35, 1997.
- 16) 松岡昌志, 青木久, 山崎文雄: 阪神大震災の被害地域における人工衛星合成開口レーダ画像の特徴, 地理情報システム学会講演論文集, Vol.7, pp.5-8, 1998.
- 17) 青木久, 松岡昌志, 山崎文雄: 兵庫県南部地震の被害地域における人工衛星SAR画像の特徴, 第3回都市直下地震災害総合シンポジウム論文集, pp.423-426, 1998.

## 注)

レーダ画像など、コヒーレント光学系で撮影された画像に現れる雑音。レーダ画像を拡大して1分解能セル程度の尺度で見ると、たとえ地表面が均一な散乱面であっても、セルごとに濃度のゆらぎが認められる。これは散乱の際の干渉効果によるもので、コヒーレントな電波を利用するレーダでは避けられないのである。このスペックルノイズを減らすためには、周辺のセルの平均化を行うが、これにより空間分解能の低下が生じる。この処理をマルチルック処理と呼び、平均をとるセル数をルック数と呼ぶ<sup>11)</sup>。

