

地震動情報と人工衛星画像情報の統合処理による建物大破率の定量的推定手法

岐阜大学工学部 正会員 ○能島暢呂
 防災科学技術研究所EDM 正会員 松岡昌志
 岐阜大学流域圏科学研究センター 正会員 杉戸真太
 大野町 非会員 神谷涼介

1. はじめに

地震後に建物の被災地域を早期把握することは、災害対応の初動体制を確立する上で基本的な要件である。筆者ら¹⁾は、地震動情報と人工衛星画像情報を統合処理して、無被害地域(全壊または大破率0%)と大被害地域(全壊または大破率100%)との二群判別を確率評価する手法を提案した。本研究は、建物の被害分類を7種類に多階層化して回帰判別分析を適用することによって、建物の全壊または大破率(以下、大破率と記す)を定量的に評価できるように手法を拡張し、推定精度の向上を図ることを目的としたものである。

2. 地震前後の SAR 強度画像の特性

兵庫県南部地震の前後において ERS/SAR により観測された後方散乱強度の画像を図 1 に示す²⁾。本研究では、7種類(ランク 0: 0%, ランク 1: ~6.25%未満, ランク 2: ~12.5%未満, ランク 3: ~25%未満, ランク 4: ~50%未満, ランク 5: ~100%未満, ランク 6: 100%)の建物大破率ランクに属する任意地点から 2000 画素ずつ抽出したデータを用いる。これまでに、後方散乱強度の差分値 $d[\text{dB}]$ と空間相関値 r の二変数を用いると、大きな被害を受けた地域を効果的に識別可能であることが明らかにされている²⁾。この二変数による散布図を図 2 に示す。

本研究では、多群判別手法の一つである回帰判別手法³⁾を適用して、 d と r を次式で判別スコア Z_R に 1 次元化し、その頻度分布を図 3 のように得た。

$$Z_R = -1.21d - 4.36r \quad (1)$$

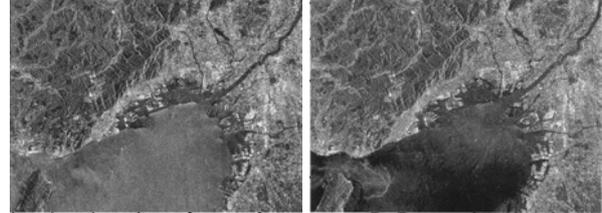
3. ベイズ確率の方法による統合処理手法

建物の大破率ランクを $\theta_i (i = 0, \dots, 6)$ と表す。震度情報 I と被害関数により、被災ランク i となる確率を $p(\theta_i|I)$ として求めておく。被害関数の詳細についてはここでは省略する。続いて SAR 情報の分析により同地点で判別スコア Z_R が得られたとすると、ベイズ確率の方法により $p(\theta_i|I)$ は次式のように事後確率 $p(\theta_i|I, z)$ に更新される。

$$p(\theta_i|I, z) = \frac{p(z|\theta_i)p(\theta_i|I)}{\sum_i p(z|\theta_i)p(\theta_i|I)} = \frac{f_i(z)p(\theta_i|I)}{\sum_i f_i(z)p(\theta_i|I)} \quad (2)$$

ここに $f_i(z)$ は判別スコア Z_R の尤度関数である。

本研究では、図 3 の頻度分布を正規分布でモデル化したうえで、判別スコア Z_R ごとに各被災ランクの構成比率を求めて尤度関数 $f_i(z)$ を求めた。ただし $Z_R < -2.5$ ではサンプル数が少なく信頼性に欠けるため、 $Z_R = -2.5$ を適用限界とした。モデル化した大破率別の Z_R の尤度関数を図 4 に示す。



(a) 地震前 (1994/10/12) (b) 地震後 (1995/5/23)
 図 1 地震前後における ERS/SAR 画像

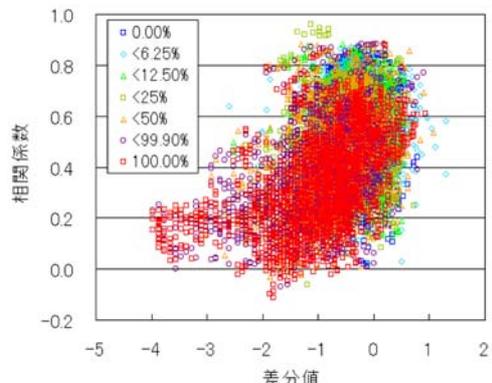


図 2 大破率ランク別の d と r の散布図

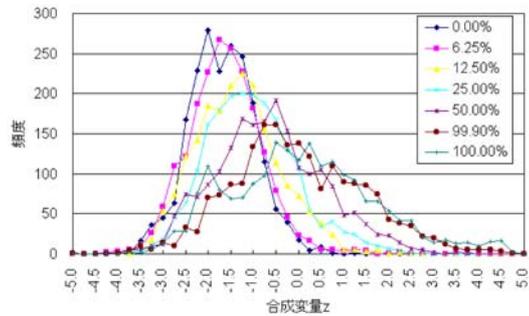


図 3 大破率ランク別の Z_R の頻度分布

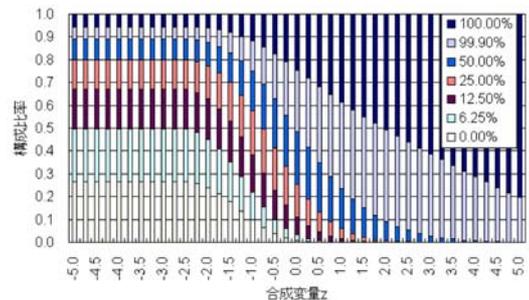


図 4 モデル化した尤度関数

キーワード：震度分布, SAR 強度画像, 統合処理, ベイズ更新
 連絡先：〒 501-1193 岐阜市柳戸 1-1 TEL : 058-293-2416

4. 兵庫県南部地震を対象とした適用事例

以上の統合処理手法により各被災ランク 0~6 への帰属確率 $p(\theta_i|I, z)$ を算出することができる。本研究ではさらに、この帰属確率から各大破率ランクの中央値に代表値 (0%, 3.13%, 9.38%, 18.75%, 37.5%, 75%, 100%) を設定し、各地点での大破率の平均値 μ と標準偏差 σ を推定した。

兵庫県南部地震での震度と人工衛星 SAR 強度画像の統合処理による建物大破率推定のケーススタディーを示す。まず芦屋市についての結果を示す。1次情報としての「震度情報」に関しては、低層独立建物の大破率から推定された震度 6.46 を市内一律に設定し、この震度情報と被害関数から芦屋市における被害確率を設定した。図 5 はその平均値を示している。さらに、2次情報として対象地域の SAR 画像情報を入手したと仮定して、その後方散乱強度の差分値と空間相関値から式 (1) を用いて判別スコア Z_R を求めた。図 6 にその分布を示す。

更新結果を図 7(a), (b), (c) に示す。震度のみによる推定結果 (図 5) と比較して、詳細な分布が得られ、判別スコア Z_R が高い値を示した芦屋市南西部では大破率が 50%前後となっている。逆に、判別スコア Z_R が低い値を示した北部の地域では、大破率が低く更新されている。また $\mu + \sigma$ を示した (b) では、大破率が 75%を超える地域も推定された。こうした地域では、 $\mu - \sigma$ を示した (c) でも、大破率が 50%近くとなっている。

さらにこのような逐次更新モデルを、兵庫県において被災を受けた主要 6 市 (神戸市 7 区、垂水市、芦屋市、西宮市、尼崎市、宝塚市) に適用した。震度は芦屋市と同様の方法で市区単位に与えた。図 8 は判別スコア Z_R の分布である。これらを用いた統合処理による更新の結果を図 9 に示す。震度情報が市区単位であるため行政界での不連続性が目立つものの、いわゆる「震災の帯」に相当する被害地域が明確に現れて抽出が容易となっている。また被害率を定量的に把握でき、その不確定性評価も可能であることが、提案手法の利点として挙げられる。

5. おわりに

本研究では、地震動情報と人工衛星 SAR 情報の統合処理による被害推定手法の拡張について検討した。両者の補完的活用により、建物の全壊または大破率を定量的に評価できることを確認した。より詳細な面的震度分布を適用すれば、推定結果の空間的解像度を向上できることは明らかであるので、今後の検討課題としたいまた同様の手法により、空撮画像との統合処理についても検討を進める方針である。

謝辞：本研究は、文部科学省「大都市大震災軽減化特別プロジェクト」の分担課題として実施したものである。

参考文献

- 1) 能島暢呂・松岡昌志・杉戸真太・立石陽輝・金沢伸治：建物被災地域の早期把握のための震度分布と人工衛星 SAR 強度画像の統合処理法，地域安全学会論文集，No.4，2002.11，pp.143~149.
- 2) 松岡昌志・青木久・山崎文雄：人工衛星画像を用いた 1995 年兵庫県南部地震による被害地域の判読，理化学研究所，地震防災フロンティア研究センター，2001.1.
- 3) 奥野忠一・久米均・芳賀敏郎・吉澤正：多変量解析法《改訂版》，日科技連，1981，pp.313-321.

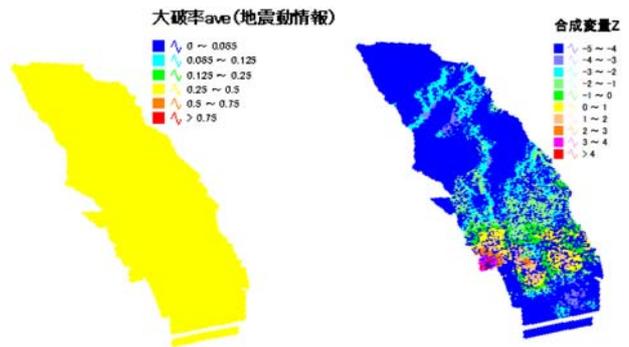


図 5 震度による大破率

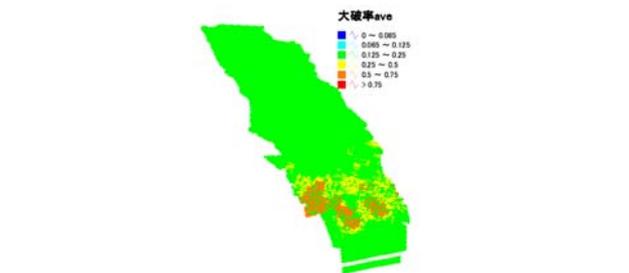
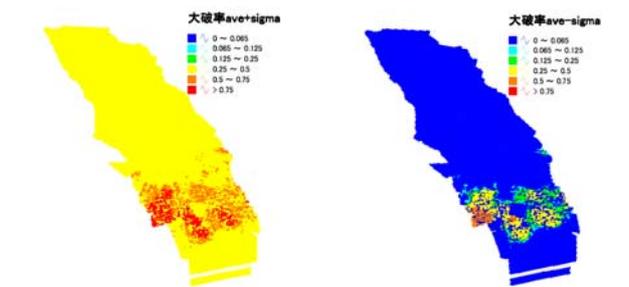


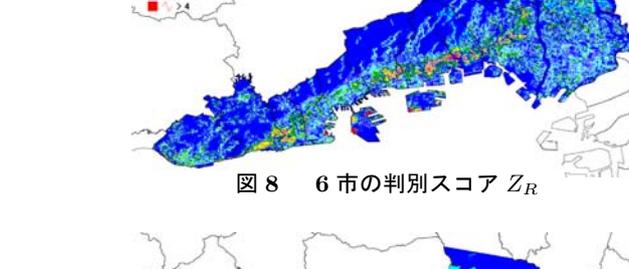
図 6 判別スコア Z_R



(a) 大破率 μ



(b) 大破率 $\mu + \sigma$



(c) 大破率 $\mu - \sigma$

図 7 統合処理による芦屋市の大破率

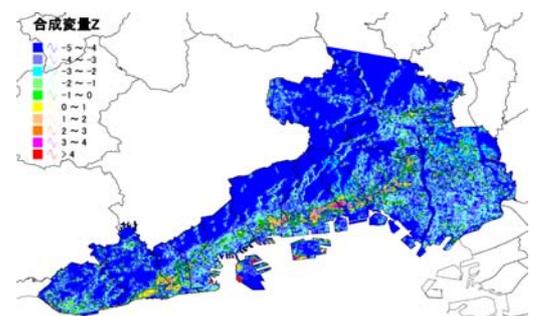


図 8 6 市の判別スコア Z_R

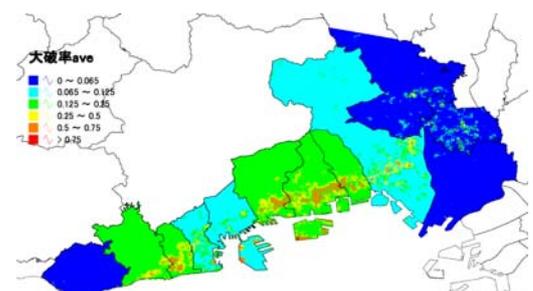


図 9 被災を受けた主要 6 市の大破率 μ