

地震動情報とリモートセンシング情報の 統合処理による被害推定の逐次更新モデル

岐阜大学工学部

立石陽輝

岐阜大学工学部 正会員

能島暢呂・杉戸真太

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

松岡昌志

岐阜大学大学院 学生会員

金澤伸治

1. はじめに

地震発生後の初期段階では時間と精度のバランスを考慮して被害の全貌の概略を即時推定し、初動体制を確立することと、時間の経過とともに蓄積される様々な情報を逐次取り込み、推定結果を更新し精度の向上を図ることが重要である。既往の研究¹⁾では、地震動情報が繰り返し入手されることを想定した情報処理モデルが提案された。

ところが近年、リモートセンシング技術の発達により、リモートセンシングから得られる情報が有用な被害情報として活用できる可能性が高まってきた。リモートセンシング情報はリアルタイム地震防災システムで活用される情報源の中で、時間・精度面で見ると震度情報などの地震動情報と巡回・目視などの実被害情報の間に存在し、被害確率の逐次更新を行うのに有効な情報であると考えられる。そこで、本研究では地震動情報とリモートセンシング情報の両方の統合処理によって、被害確率を逐次更新し、その有効性について検討する。

2. 統合処理による被害確率の逐次更新手法

2.1 被害確率の逐次更新の概念

地震発生後の被害情報の入手手段と被害確率の逐次更新過程を図1に示す。本研究では、リモートセンシング技術の中でも地震防災分野への応用に関する技術が進んでいる「人工衛星画像」²⁾と、「空撮画像」³⁾の利用を想定したモデルについてシミュレーションを行う。

このモデルでは、1次情報として入手した「震度情報」を用いて、震度の fragility 関数より被害確率を推定する。そして2次情報として入手した「リモートセンシング画像から判読される被害情報」からベイズの定理を用いて、被害確率の推定を行う。このようにして地震動情報とリモートセンシング情報の統合処理による被害確率の逐次更新を行う。

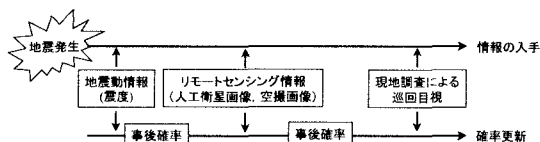


図1 観測情報の入手と被害確率の逐次更新の流れ

2.2 逐次推定手法の定式化

情報源 $e_i(x)$ によって入手される地震動観測情報 x から、尤度関数 $f(x|\theta)$ (ある状態 θ の時、情報源 $e_i(x)$ が地震動観測情報 x を出す確率) を計算し、それによって、被害状態の推定確率を逐次更新していく。例えば、ある情報源 $e(x)$ から情報 x_i を得た場合の事後確率は、ベイズの定理

より次式のようになり、繰り返し更新していくことが可能となる。

$$p(\theta_j|x_i) = \frac{f(x_i|\theta_j)p(\theta_j)}{\sum_j f(x_i|\theta_j)p(\theta_j)} = \frac{f(x_i|\theta_j)p(\theta_j)}{p(x_i)} \quad (1)$$

3. 人工衛星画像を用いた被害確率の逐次更新

3.1 人工衛星画像の特徴と使用データ²⁾

人工衛星画像を利用する場合、地震前後の画像を利用し、それらの画像の差分や空間相関から地表の変化を判断することが可能である。そこで、地表の凸凹と密接な関係がある後方散乱強度と空間相関値に着目する。後方散乱強度は建物や道路が密集している地域では大きくなりやすく、植生や空地が多い地域では小さくなりやすい。この特性を活かして、地震後と地震前の後方散乱強度の差を見てみると、被害が大きくなるほど、強度差が小さくなっている。強度の空間相関値も倒壊建物や空地化によって地表が変化したことが影響して、被害が大きくなるに従って、相関値が小さくなる。図2に無被害地域、図3に大被害率100%地域の後方散乱強度差と空間相関値の分布図を示す。

3.2 データの処理方法

後方散乱強度差と空間相関値の2変数を線形判別手法より求めた次式を用いて、合成変量 Z に一次元化した。

$$Z = -2.14y_1 - 12.48y_2 + 4.19 \quad (2)$$

Z : 合成変量

y_1 : 後方散乱強度差分値 [dB]

y_2 : 空間相関値

一次元化した合成変量 Z を図4に示す。そして Newton 法によるパラメータの最尤推定によって図5に示すような2項ロジットモデルを構築した。このモデルは次式のようになり、

$$p = \frac{1}{1 + e^{-(b_0 + b_1 Z)}} \quad (3)$$

このモデルについてのパラメータと適合度を表1に示す。尤度比は 0.304 であるので、十分高い適合度を持つと判断される。合成変量 Z に対して (3) 式より得られる被害確率を正規化することで、尤度関数として設定することができる。ここでは、合成変量 Z が平均 μ と $\mu \pm \sigma$, $\mu \pm 2\sigma$ という値をとったと想定した場合の尤度関数を表2に示す。

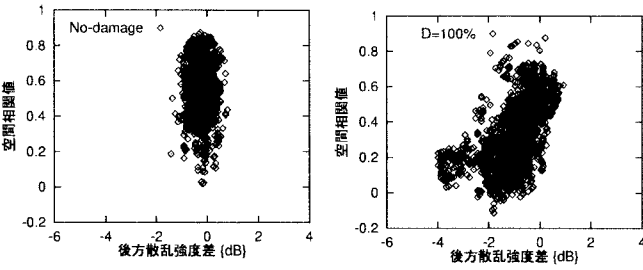


図 2 後方散乱強度差と空間相関値の分布図（無被害）

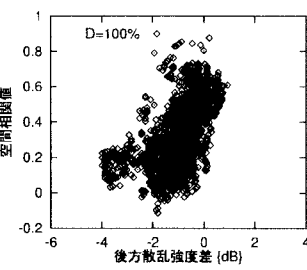


図 3 後方散乱強度差と空間相関値の分布図（大破率 100 %）

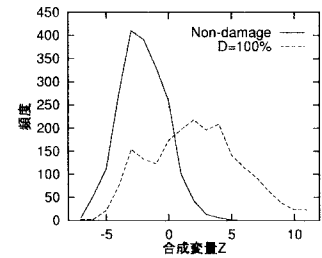


図 4 合成変数 Z の分布

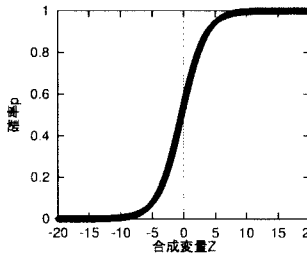


図 5 二項ロジットモデル

表 1 二項ロジットモデルのパラメータと適合度

b_0	b_1	平均値 μ	標準偏差 σ	的中率	尤度比
0.181	0.529	-0.342	3.430	77 %	0.304

表 2 人工衛星画像に関する尤度関数

	$\mu - 2\sigma$	$\mu - \sigma$	μ	$\mu + \sigma$	$\mu + 2\sigma$
無被害	0.39	0.34	0.20	0.06	0.01
大破	0.01	0.06	0.20	0.34	0.39

4. シミュレーション結果と考察

図 1 のモデルについてシミュレーション結果を示す．実被害の程度は「無被害」「大破」の 2 種類に分類した．ここでは，1 次情報として「震度 6 強 (6.25)」という情報を入手した場合の被害確率の逐次更新過程を図 4 に，「震度 7 (6.75)」という情報を入手した場合を図 5 に示す．図 4 の場合，震度情報を入手した段階では，大破している可能性は約 10 % ほどしかない．しかし人工衛星データを入手すると， $Z = \mu - 2\sigma$ ， $\mu - \sigma$ の場合にはほぼ無被害であるという推定結果になっているし，逆に $Z = \mu + \sigma$ ， $\mu + 2\sigma$ の場合には，大破率が大きくなっていて， $\mu + 2\sigma$ という情報が入ってきた時には，大破している可能性が 80 % にまで変化している．図 5 の場合も同様な傾向を示していて， $Z = \mu + \sigma$ ， $\mu + 2\sigma$ の場合には，大破率が約 90 % にまで変化している．

以上のことより，被害により直接的な情報を入手することは，被害推定結果の不確定性を低減することに有効であり，不確定性を持っているそれぞれの情報を統合的に扱うことで，その不確定性を低減することが可能である．

この他にも，震度 6 弱などといった 1 次情報を入手した場合についても同様な傾向が見られた．

また，空撮画像を用いた場合については，実被害と空撮画像からの被害の判読結果から尤度関数を作成し，人工衛星画像を用いた場合と同じように 1 次情報を「震度

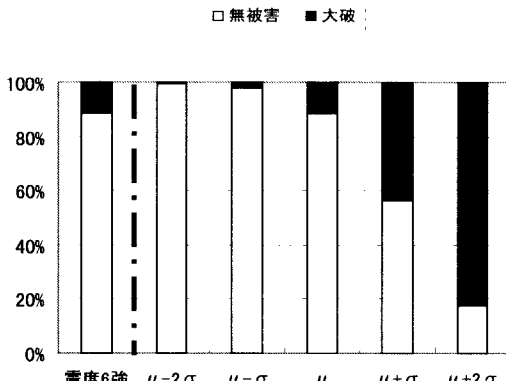


図 4 モデル①に対する被害確率の逐次更新過程 (1 次情報：震度 6 強)

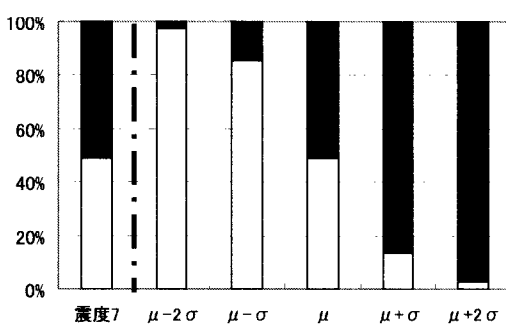


図 5 モデル①に対する被害確率の逐次更新過程 (1 次情報：震度 7)

情報」，2 次情報を「空撮画像からの被害判読結果」としてシミュレーションを行った．この場合も人工衛星画像を用いた場合と同様に不確定性が低減された．

5. おわりに

本研究では従来の研究を踏まえて，不確定性の高い地震動情報と比較的被害に直接的なりモートセンシング情報の統合処理を行った．その結果なりモートセンシング情報を有効的に活用することができた．さらに被害確率の逐次更新を行うなかで，情報を入手することによって不確定性を低減させることができていたことが分かった．今後は，巡回・目視による実被害情報を統合処理した被害確率の逐次更新モデルへと向上させることが期待される．

参考文献

- 1) 内山晃志：地震動情報に基づくライフライン施設の緊急対応意思決定プロセスに関する研究，岐阜大学卒業論文，2000.2.29.
- 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，EDM テクニカルレポート，No.8，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) 長谷川弘忠・小川直樹・青木久・松岡昌志・山崎文雄：空撮ハイビジョン映像および航空写真を用いた地震による被害建物の目視および自動判読，EDM テクニカルレポート，No.5，理化学研究所地震防災フロンティア研究センター，2000.3.
- 4) 山口直也・山崎文雄：1995 年兵庫県南部地震の建物被害率による地震動分布の推定，土木学会論文集 No.612，pp325-336，1999.1