

## 逐次更新による地震被害予測の高精度化の一手法について

山口大学大学院 学生会員 津田 聡  
山口大学大学院 正会員 三浦 房紀

## 1. はじめに

効果的な地震災害対応を実行する際に必要不可欠なもの 1 つに被害情報がある。どの地域にどの程度の被害が発生しているのか、という情報を全体的に把握することで的確な対応が可能となる。この情報が迅速に入手できれば問題はないが、実際には震災直後の混乱の中で広範囲にわたって情報収集を行うことは極めて困難である。そこで、被害状況を把握するために、被害を推定することが行われる。しかしながら被害推定による被害情報は、過去の災害を元にした経験則によって推定されたものであるため、精度は必ずしも十分とはいえない。

そこで、本研究では被害推定による迅速性を保ちつつ、情報の正確性を向上させることを試みた。具体的には既存の山口県宇部市を対象地域とした地震被害予測・対応意思決定支援システム<sup>1)</sup>を用い、この被害予測結果に実際の調査による被害情報を組み合わせることで、システムの推定情報の正確性を向上させることを試みた。

## 2. 地震被害推定逐次更新のための基礎

## 2.1 概要

宇部市の既存システムは市内 170 町丁目の被害情報を出力する。出力項目は震度・死傷者数・建物被害数等であり、結果を地図上に表示するものである。

ここでは、1 町丁目において行った被害調査結果を全町丁目に反映させる手法を提案した。対象とする被災事象は木造建物の被害発生確率とした。

精度の向上には太田によるベイズ統計学に基づく被害情報の更新手法<sup>2)</sup>を用いた。更新された被害情報を全ての町丁目に反映させるために、各町丁目の被害と震度の関係式と、町丁目間の震度の関係式を作成し、これを用いた。

## 2.2 ベイズの定理に基づく被害情報の更新手法

この手法は【事前情報 + 標本情報 = 事後情報】というベイズ統計学の基本理論を応用したものである。事前情報に被害推定値を、標本情報として被害調査の結果を与えることでこれを実現する。ここで、標本情報である被害確率を被害[あり, なし]という 2 項分布で与えると、被害確率  $p_n$  は (1) 式のように表される。 $\alpha_n, \beta_n$  は  $n > 1$  のとき (2) 式で、 $n = 0$  のとき (3), (4) 式で与えられる。 $p_0$  は推定による被害率を表し、 $p_{inf}$  は被害調査による被害率を表す。

$$p_n = \frac{\alpha_n}{\alpha_n + \beta_n} \quad (1)$$

$$\alpha_{n+1} = \alpha_n + p_{inf}, \quad \beta_{n+1} = \beta_n + (1 - p_{inf}) \quad (2)$$

$$\alpha_n = \frac{p_n}{1 - p_n} \beta_n \quad (3)$$

$$\beta_n = \frac{1 - k \cdot \frac{p_n}{1 - p_n}}{k \cdot \left[ \left( \frac{p_n}{1 - p_n} \right)^2 + \left( \frac{p_n}{1 - p_n} \right) \right]} \quad (4)$$

被害率の更新手順は次のようになる。

Step1. 推定値  $p_0$  をシステムの予測結果から取り込み、(3), (4) 式より  $\alpha_0, \beta_0$  を求める。

Step2. 被害調査結果  $p_{inf}$  と  $\alpha_0, \beta_0$  から (2) 式を用いて  $\alpha_1, \beta_1$  を求める。

Step3. (1) 式より、被害率  $p_1$  を求める。

以降は被害調査結果が入るごとに手順 2, 3 を繰り返す。またここで  $k$  は推定による被害率の真値との誤差を表している。計算当初より必要となるが、真値は不明なため適当な値を仮定して与える必要がある。

## 3. 宇部市各町丁目の震度および被害率の関係

## 3.1 各町丁目の被害関数

更新された被害率を元に、震度の更新も行う。そのため、各町丁目における震度と被害率の関係式を構築した。関係式の作成には、過去の被害資料をもとに統計的な手法が適当である。しかし宇部市においては過去に地震被害がないため、被害予測システムによる予測値を被害資料として代用した。ここでは、得られたデータの分布を見て、被害関数  $Vr(I)$  として一般的な  $N(I_0, \sigma^2)$  で表される累積正規分布関数の形をとるのが妥当であると考え、(5) 式で表されるような式を作成した。図 1 に式の作成に使用したデータと得られた関係式の一例を示す。ここに  $I$  は震度である。

$$Vr(I) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma} \int_0^I \exp\left[-\frac{(I' - I_0)^2}{2\sigma^2}\right] dI' \quad (5)$$

## 3.2 町丁目間の震度の関係式

更新された被害情報を全町丁目に反映させる際には、地震被害に関して出力値である被害率よりも、入力値である震度を用いる方が適当である。そこで、震度によって他町丁目への調査結果の受け渡しを行うこととした。

そこで、町丁目間の震度の関係式を被害関数と同様に作成した。ただし、関数形式としては数値データの分布を見て、(6) 式のように一次線形式で与える

こととした。ここで  $I$  は求める町丁目の震度、 $I_{base}$  は基準とした町丁目の震度である。また、 $a$ 、 $b$  は定数である。

$$I = a \cdot I_{base} + b \quad (6)$$

ここで、町丁目間の震度の関係には、宇部市に対する震源距離や方位が影響を与えるため、宇部市周辺地域を16のブロックに分割して、それぞれのブロックに震源がある場合について関係式を作成した。

#### 4. 地震被害推定逐次更新システム

##### 4.1 地震被害推定逐次更新システムの構築

まず、調査によって得られた被害率は、被害関数から震度へと変換される。この震度を(6)式へ代入して他町丁目へと仮の被害調査結果として受け渡す。そして、被害推定値に調査結果を被害率更新手法によって結び付け、新たな被害情報として、被害率と震度を得る。このようにして地震被害推定逐次更新システムを構築した。システムのフローチャートを図.2に示す。

##### 4.2 シミュレーション

ここでは本システムの有効な活用方法について考察するため、以下の2点について数値実験を行った後、その結果を元にモデルを作成してシミュレーションを行った。

- ・推定値の誤差  $k$  (式(4)) をどのように仮定するか。
  - ・実被害調査のサンプル数いくつとすれば良いか。
- 誤差  $k$  については、最初の被害調査結果を真値と仮定して与えることが良いとわかった。また、被害調査のサンプル数については、【被害戸数/10 戸】というわずかな調査によって入力値とすることで良いことがわかった。ただし、1 番目の調査はできるだけ正確なことが求められる。結果の一例を図.3に示す。

#### 5. 結論

本研究では、被害予測に、少ない数の実被害情報を加えることで地震時の被害情報に迅速性と正確性を持たせることを試みた。数値実験の結果、被害調査が簡単なものでも高い精度で収束することがわかった。これによって、非常に実用的なシステムの構築が行えたといえる。

##### 参考文献

- 1) 中村勝彦：リアルタイム地震被害予測・対応意思決定支援システムの開発、山口大学修士論文、1999.
- 2) 太田裕：地震被害調査の合理化戦略に関わる基礎理論の展開(1)ーモデル化の方法と簡単なシミュレーションー、川崎市防災会議地震専門部会報告 pp.1-33、1996.3.

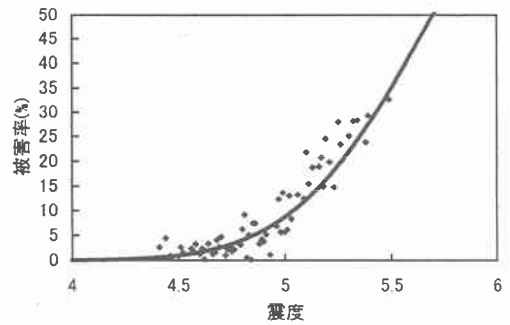


図.1 被害関数の一例(実線)と被害データ

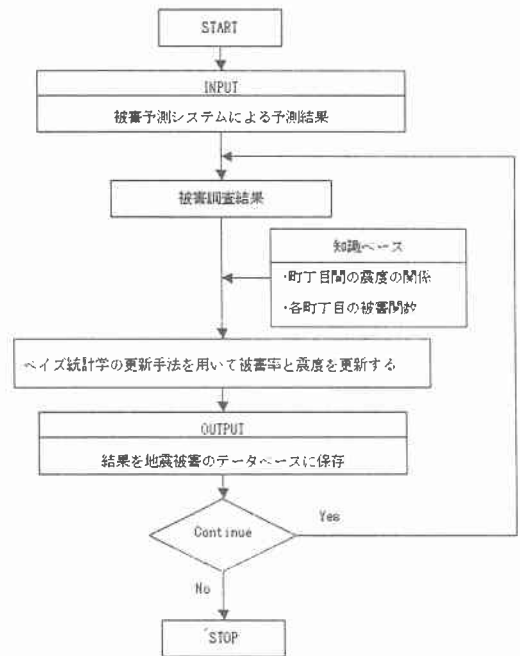


図.2 システムのフローチャート

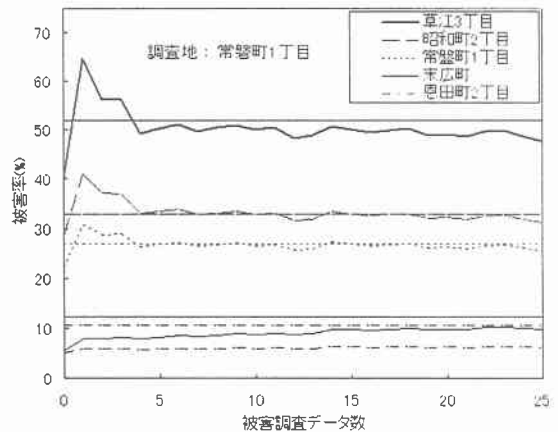


図.3 シミュレーション結果の一例