

統合情報処理による震後対応支援システムのプロトタイプ構築

岐阜大学工学部

○小木曾裕介

岐阜大学 正会員

能島暢呂・杉戸真太

1. はじめに

地震発生後の迅速・正確な被害把握は被害拡大を軽減するための要件である。筆者らはこれまで、被害の早期把握と迅速な緊急対応を支援するシステムの開発を目指し、地震後に発生する異種情報を統合処理する数理モデルを構築してきた^{1),2)}。本研究は、提案モデルに基づいた実用システムの開発に向けて、情報処理モジュールとユーザーインターフェースのプロトタイプ構築を行ったものである。本稿では、震後対応支援の数理モデルと構築中のプロトタイプの概要について報告する。

2. 被害の逐次推定手法と逐次決定過程の概要

2.1 被害情報の逐次処理の概念

図1は、地震動情報と実被害情報の統合処理による被害推定の逐次更新と、これに基づく意思決定過程の概念図である。強震観測網により地震動強度情報が得られると、脆弱関数を介して被害推定が行われる。本研究ではこれをベイズ確率の方法における事前情報として扱う。時々刻々と入手される被害の確認情報を用いて事前分布を事後分布に更新し、被害の全体像を逐次先行予測するとともに、逐次確率比検定を適用して緊急対応の意思決定に役立てることを狙いとしている。

2.2 被害箇所数の逐次推定手法の定式化

図2のように、被害区分を K 段階（例えば $K=3$ で、 $k=1$:全壊 $\times$ 、 $k=2$:半壊 $\triangle$ 、 $k=3$:無被害 $\circ$ ）として、全要素数 M_T の構造物群において被害が全要素にわたって一様・独立・ランダムに発生すると仮定し、被害区分 $k(=1, \dots, K)$ の被害発生数 n_k が被害確率 p_k の多項分布に従うものとする。このとき、全体のうち一部の要素 M_0 を調査したところ、被害箇所数の内訳が n_{0k} 個であったとして、被害箇所数を逐次推定する問題を考える。

調査開始前の被害確率の事前分布として、多項分布の共役分布であるディリクレ分布を用いると、要素 M_0 あたり n_{0k} の被害情報が得られた後の被害確率 p_k の事後分布は、ディリクレ分布で得られる。この確率密度関数において、変数 p_k の平均値 μ'_{p_k} および標準偏差 σ'_{p_k} は次式で与えられる。

$$\mu'_{p_k} = \frac{n_{0k} + n'_{0k} + 1}{M_0 + M'_0 + K} \quad \sigma'_{p_k} = \sqrt{\frac{(M_0 + M'_0 - n_{0k} - n'_{0k} + K - 1)(n_{0k} + n'_{0k} + 1)}{(M_0 + M'_0 + K)^2(M_0 + M'_0 + K + 1)}} \quad (1)$$

ここに M'_0 と n'_{0k} は「仮設的事前標本」と呼ばれ、初期被害推定が「要素 M'_0 あたり n'_{0k} 箇所の被害が予想される」という形で表わされたものである。要素数 M_T の構造物群の被害発生数が n_{Tk} となる確率の予測分布は、多項分布とディリクレ分布の混合分布としてディリクレ多項分布で得られる。従って、総被害発生数 n_{Tk} の平均値 $\mu'_{n_{Tk}}$ および標準偏差 $\sigma'_{n_{Tk}}$ は、式(1)を用いて次式で与えられる。

$$\mu'_{n_{Tk}} = n_{0k} + \mu'_{p_k}(M_T - M_0) \quad \sigma'_{n_{Tk}} = \sigma'_{p_k} \sqrt{(M_T - M_0)(M_T + M'_0 + K)} \quad (2)$$

2.3 逐次確率比検定による逐次決定過程の定式化

「被害確率 p_k が p_s 以下（帰無仮説 H_0 ）なら緊急対応を行わず、 p_f 以上（対立仮説 H_1 ）なら緊急対応を行う」という行動のルールを設定し、要素被害の逐次検査に基づく逐次確率比検定 (SPRT) を導入する。 M_0 の要素を調査した段階での被害発生数を n_0 として、確率 p の事後分布より、次式の尤度比

$$R_p = \left(\frac{p_f}{p_s}\right)^{n_0 + n'_0} \left(\frac{1 - p_f}{1 - p_s}\right)^{M_0 + M'_0 - n_0 - n'_0 + K - 2} \quad (3)$$

を求め、 $\frac{\beta}{1-\alpha} < R_p < \frac{1-\beta}{\alpha}$ を満たす間は決定を保留、 R_p が上限を破れば仮説 H_1 を採用、下限を破れば仮説 H_0 を採用する。ただし、 α は仮説 H_0 が正しいのに棄却する誤りを犯す確率、 β は仮説 H_0 が正しくないのに棄却しない誤りを犯す確率である。式を整理すると、 M_0 に対する n_0 の条件式が得られ、調査状況に応じた意思決定がモデル化される。

$$\frac{(M_0 + M'_0 + K - 2) \log \frac{1-p_s}{1-p_f} + \log \frac{\beta}{1-\alpha}}{\log \frac{p_f(1-p_s)}{p_s(1-p_f)}} - n'_0 < n_0 < \frac{(M_0 + M'_0 + K - 2) \log \frac{1-p_s}{1-p_f} + \log \frac{1-\beta}{\alpha}}{\log \frac{p_f(1-p_s)}{p_s(1-p_f)}} - n'_0 \quad (4)$$

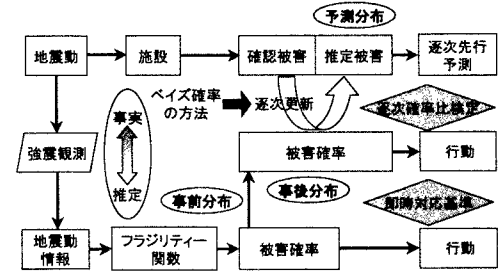


図1 逐次推定法と逐次決定過程の概念

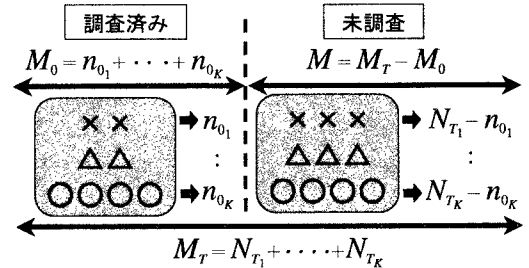


図2 確認被害に基づく被害の逐次先行予測

3. 震後対応支援システムのプロトタイプ構築

現在、構築を進めている震後対応支援システムのプロトタイプの概要を示す。図3はシステムのデモンストレーション画面の一例である。初期設定部分では、対象地域の全建物棟数 M_T 、被災ランク数 K 、および脆弱性関数のばらつきを表わす指標に関するパラメータを入力する。意思決定パラメータの設定部分では、緊急対応の判断基準となる全壊確率 p_s と p_f および許容誤り確率 α と β を入力する。脆弱性関数は対象地域の建物分布特性にあわせて、複数の候補から選択することとしている。即時情報である地震動情報に関しては、震度マップの画像もしくはテキストベースの一覧表をロードして参照する形となっているが、実際には震度情報伝達システムからの入力を利用することとなる。震度と脆弱性関数より被害確率が算出され、不確定性を考慮して「仮設的事前標本」のパラメータ M'_0 と n'_{0k} が求められる。一方、実被害情報に関しては、時間の経過とともに入手される情報を逐次入力する形となっているが、GPS/GIS 技術を活用した情報収集・伝達ツールによる情報集約を想定したものである。

図3中のグラフは全壊被害の確認・逐次推定過程を示したものであり、横軸は調査済み棟数 M_0 、縦軸は全壊棟数を表す。ステップ状の点線は被害情報の入手パターンである。不規則な変動を示す1本の実線は、式(2)の平均値 μ'_{NT_1} 、これを挟む2本の破線は $\mu'_{NT_1} \pm \sigma'_{NT_1}$ 、平行する2本の実線は条件式(4)の上下限値を表しており、確認された全壊棟数が上限値を破ったことから、「緊急対応あり」という意思決定に至った例を示している。

4. おわりに

本研究では、地震動情報に基づく被害推定と実被害情報を統合処理し、被害の早期把握と迅速・正確な緊急対応を支援するシステムのプロトタイプを構築した。上記では特定の地域を対象としたデモンストレーションを示したが、同様の方法によって広域的な統合情報処理を実施すれば、面的な被害把握に活用することが可能となる。入力仕様の改善とあわせて検討を進める方針である。

参考文献 1) 能島暢呂、杉戸真太：リアルタイム地震防災システムにおける被害情報の統合処理について、第1回日本地震工学研究発表・討論会梗概集、p.259, 2001.11. 2) 能島暢呂・杉戸真太・金澤伸治：地震動情報と実被害情報の統合処理による緊急対応支援の数理モデル、土木学会論文集、第I部門、2003.1 (印刷中)。

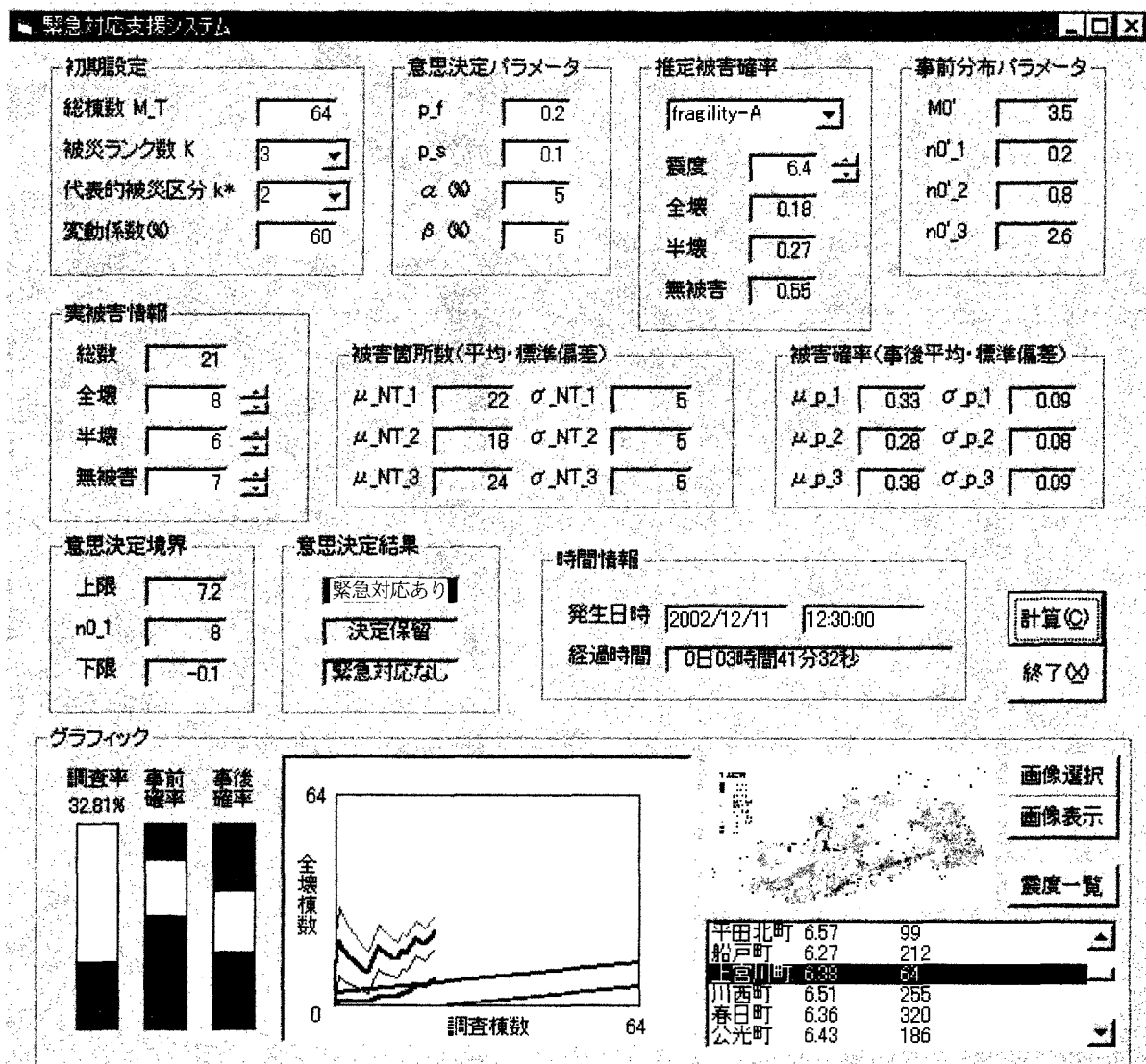


図3 システムのデモンストレーション画面の表示例