

## 地盤応答震度推定法を組み込んだ地震災害時 初動活動支援システムの提案

深田 秀実<sup>†1,†2</sup> 三田地 道明<sup>†3</sup> 沖 暁 嗣<sup>†1</sup>  
池田 哲夫<sup>†4</sup>, 高山 毅<sup>†4</sup>  
山本 英和<sup>†5</sup> 阿部 昭博<sup>†4</sup>

地震発生直後に発表される計測震度情報は、震災の程度を推測するうえで重要である。市町村域の各地域レベルの細密な計測震度分布を把握するには、高密度に地震計を設置する方法が有効である。しかし、多数の地震計を設置するには、設置・保守費用が高価となり現実的ではない。本論文では、地震災害時における地方自治体の災害対策本部向けに、詳細な計測震度分布を1つの地震計データで地震発生後短時間に推定する地盤応答震度推定法を組み込んだ初動活動支援システムを提案する。市町村の災害対策本部における初動活動の現状をヒヤリング調査し、明確になった課題をもとに、提案する推定法を取り込んだシステム設計を行い、被害情報一覧や応急対応活動の進捗状況などを表示するGISインタフェースを持つプロトタイプを開発した。実地震データとアンケート震度データを用いて提案した推定法の妥当性を評価した結果、推定計測震度の大きい地域とアンケート震度の大きい地域の一一致度合いは6割弱となり、初動活動支援に一定の有用性があるとの結果を得た。想定利用者によるシステム評価を行った結果、実装機能の有効性は5段階評価で平均4.2となり良好であったが、視認性の点ではいくつか課題も残されている。また、実際の地方自治体で本提案システムを導入する場合として、岩手県盛岡市の統合型GISを例に、その効果と留意点を考察した。

## A Proposal of Support System for Disaster Emergency Operation Using an Estimation Method of Seismic Intensity on Ground Response

HIDEMI FUKADA,<sup>†1,†2</sup> MICHIAKI MITACHI,<sup>†3</sup> AKITSUGU OKI,<sup>†1</sup>  
TETSUO IKEDA,<sup>†4</sup> TSUYOSHI TAKAYAMA,<sup>†4</sup> HIDEKAZU YAMAMOTO<sup>†5</sup>  
and AKIHIRO ABE<sup>†4</sup>

Seismic intensity distribution immediately after the earthquake provides important information to guess the level of earthquake damage. Using a large number of seismometers, seismic intensity distribution can be estimated easily. However, this method is expensive and unrealistic. In this paper, we propose a support system for initial stage of earthquake disaster. This system is incorporated into an estimation method of seismic intensity on ground response. We developed the prototype to have interface using GIS of which indicate earthquake damage information. We checked up the correlation between the estimation seismic intensity and the questionnaire seismic intensity on Southern-Sanriku earthquake. As a result, the correlation coefficient became about 0.6 points. This result is useful to the disaster office of local government.

†1 岩手県立大学大学院ソフトウェア情報学研究所  
Graduate School of Software and Information Science,  
Iwate Prefectural University

†2 盛岡市総務部情報企画室  
Information System Division, General Affairs Depart-  
ment, Morioka Municipal Government

†3 有限会社ホロニック・システムズ  
Holonik Systems Ltd.

†4 岩手県立大学ソフトウェア情報学部  
Faculty of Software and Information Science, Iwate  
Prefectural University

### 1. はじめに

大地震が発生した場合、気象庁が発表する計器測定された計測震度の情報は、地震災害の発生状況を推測

†5 岩手大学工学部  
Faculty of Engineering, Iwate University  
現在、静岡県立大学経営情報学部  
Presently with School of Administration and Informat-  
ics, University of Shizuoka

するために重要な指標である。阪神・淡路大震災での教訓の1つは、地震発生直後に震災情報が集まらず、初動活動が立ち遅れたという点である。そこで、計測震度分布を迅速に推定し、地方自治体などの防災機関の初動活動を早期に確立しようとする取り組みが行われてきた<sup>1)</sup>。その結果、2005年4月現在、全国の約3,800地点に地震観測点が設置されるようになり<sup>2)</sup>、県レベルの広域な範囲での計測震度分布を把握することが可能となってきた。

しかし、地震計の設置間隔は、一般に数十km程度であり、市町村レベルの範囲をカバーするような高密度で詳細な計測震度分布（以下、細密度計測震度分布と呼ぶ）を把握するまでには至っていない。また、地震の揺れの大きさは、表層の地質や地盤の硬軟や堆積している地層の厚さといった地盤構造に強く影響を受けるため、1つの市域のような限定された狭い範囲でも、場所によって計測震度が大きく異なる場合がある。よって、地震計が1台しか設置されていないような限定的な地域内において、細密度計測震度分布を把握することは、すなわち、地域ごとの詳細な被害発生状況を推測することにつながる。

細密度計測震度分布を把握する直接的な方法は、高密度に地震計を設置することである。実際に横浜市では、150台の地震計を設置しネットワーク化した「横浜市リアルタイム地震防災システム READY」<sup>3)</sup>（以下、READYと呼ぶ）を構築し、即時に細密な計測震度分布を求めている。しかし、地震計を多数設置する手法は、地震計の設置・保守ともに高価となり、財政的に余裕のある一部の地方自治体を除いて、早期に採用するのは困難な方法である。

そこで、本研究では、岩手県盛岡市を例として、独立行政法人防災科学技術研究所の全国強震観測ネットワーク Kyoshin Net<sup>4)</sup>（以下、K-NETと呼ぶ）における1地点の地震動データから、細密度計測震度分布を地震発生後短時間で推定する「地盤応答震度推定法」を組み込んだ地震災害時初動活動支援システムを提案する。

以下、2章では、市町村の災害対策本部における初動活動の現状と課題を明らかにする。3章では、新しく提案する初動活動支援システムのデザインを述べ、開発したプロトタイプを概観する。4章では、地盤応答震度推定法の妥当性評価と想定利用者によるシステム評価を述べ、5章では、実際の地方自治体で本提案システムを導入する場合の考察を行う。最後に6章でまとめを述べる。

## 2. 市町村における災害対策本部の初動活動の現状と課題

地震災害発生時に災害対応活動の中心となるのは、都道府県や各市町村に設置される災害対策本部である。災害対策本部の機能は、災害情報の収集・処理・伝達機能や災害対応活動の指揮・指令機能などである。災害対応活動のうち、地方自治体にとって災害発生初期に最も重要となる活動の1つは初動活動である。

本論文では初動活動を、大地震が発生した場合に行われる「被害情報の収集と把握を行う活動」や「被害現場で迅速な対処を必要とする活動」といった、地震災害発生後すぐに行う必要がある応急対応活動と定義する。

初動活動の中心となる防災機関のうち、まず、全県的な災害対応活動を担当する岩手県総務部総合防災室に対してヒヤリング調査を実施した。2004年10月12日に岩手県庁総合防災室において、防災の実務を担当している主任クラスの3名にヒヤリングを行った。その結果、県レベルの災害対策本部は、市町村からの被害報告をまとめるなどの総括的な業務を行っており、実際に住民からの通報を受け、初動活動の実務を行うのは、市町村の災害対策本部であることが明確になった。

そこで、岩手県の県都である盛岡市を対象として、初動活動の実務を調査することとした。盛岡市で防災を担当している部署は、総務部消防防災課である。2004年10月19日に消防防災課職員に対してヒヤリングを実施し、災害対策本部における初動活動の現状と課題を調査した。ヒヤリング対象者は、災害発生時に対策本部などの実務を担当する防災に精通した市職員である消防防災課の課長と盛岡市広域消防本部からの出向者で消防現場に精通した消防官である同課長補佐の2名である。

### 2.1 災害対策本部における初動活動の現状

一般に、地震災害を時間軸でみると、災害が発生する以前の災害準備期、発災後の応急対応期、その後の復旧・復興期に区分することができる<sup>5)</sup>。

地震が発生した場合、発生直後から初動活動実施に至る応急対応期のプロセスを図1に示す。この図は盛岡市を例にしたものであるが、地方自治体においては一般的なものと考えられる。

図2に盛岡市災害対策本部の組織図を示す。災害対策本部は、本部長（市長）、本部長（部長級の市職員）、本部事務局員（消防防災課職員）で構成され、被害情報の収集・整理、初動活動の指示・命令にあたる。

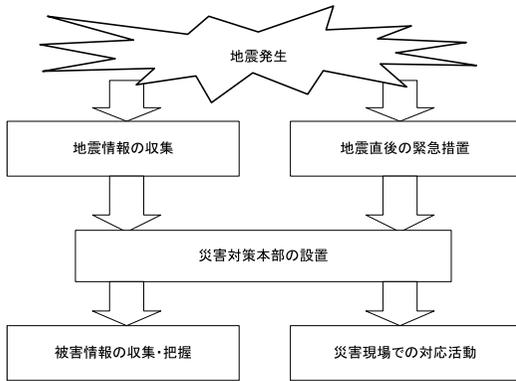


図 1 盛岡市における応急対応期のプロセス  
 Fig. 1 Process of emergency operation stage in Morioka City.

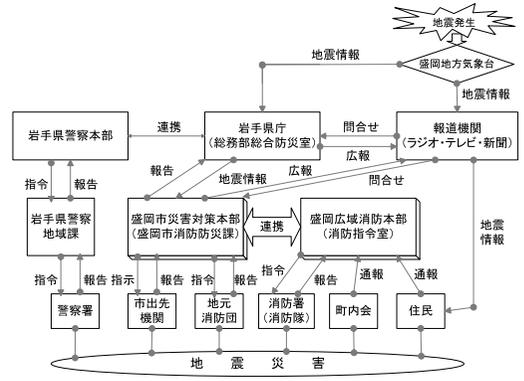


図 3 盛岡市における地震災害時の情報伝達系統図(文献 6)の「地震に関する伝達系統図」を参考に加筆・修正)  
 Fig. 3 Communication diagram of earthquake disaster information in Morioka City.

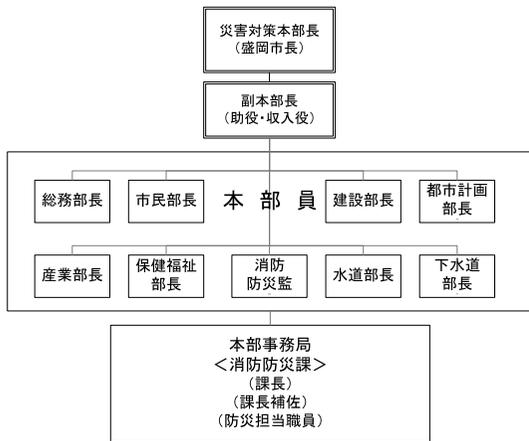


図 2 盛岡市災害対策本部組織図  
 Fig. 2 Organizational tree of the head office for disaster operation in Morioka City.

盛岡市では、大地震が発生すると、まず、消防防災課の防災担当職員が地震の震源や規模、計測震度といった基本的な地震情報の収集を始める。

それと並行して、地震発生直後の緊急措置が行われる。市庁舎内においては、来庁している市民や業者の安全確保および避難誘導が最優先される。また、総務部管財課が市庁舎の施設や設備の被害調査を行い、状況を消防防災課に報告する。

次に、計測震度の階級により、災害対策本部などが設置される。震度 5 強・5 弱の場合は、災害警戒本部が設置され、市職員は盛岡市地域防災計画に基づき特別警戒配備につく。震度 6 弱以上の場合は、災害対策本部が設置され、非常配備の体制となる<sup>6)</sup>。

図 3 に盛岡市における地震災害時の情報伝達系統図を示す。被害情報は、市民や地域の町内会あるいは市の出先機関から連絡がある。盛岡市における過去の震

災発生時の例では、人命危険情報や財産危険情報（家屋倒壊や道路破損など）のほとんどが、盛岡市広域消防本部の消防指令（119 番の緊急電話を最初に受付ける部署）に入電されている。これらの災害情報を災害対策本部と広域消防本部が共有し、連携して初動活動にあっている。

主な初動活動のうち、人命救助や火災鎮圧といった対応活動は消防および地元消防団、被害情報の収集・把握に関することは災害対策本部が行うという役割分担が確立している。また、甚大な被害が発生した重要箇所には、災害対策本部の本部員を直接派遣し、災害現場で迅速な意思決定を行うこととしている。

盛岡市の場合、災害対策本部設置までの時間は、地震発生から 10 分程度を目標としている。しかし、大地震が発生した場合、大規模な停電や電話設備の一時的な不通のため、市民が救急通報を行うができず、消防指令に被害情報が入ってこない「情報の空白」が生じる可能性が大きい。そのため、実際に初動活動が機能するには、地震の規模により、数十分程度から数時間以上の時間を要するものと考えられる。

2.2 災害対策本部における初動活動の課題

ヒヤリング調査の結果、いくつかの課題が明らかになった。行政における災害対策本部の役割として、被害情報の収集や確認が重要であることは自明である。しかし、盛岡市災害対策本部では、その重要な活動のほとんどを、市民からの電話通報に頼っているのが現状である。被害発生の情報が入ってきてから、地元消防団に依頼し、災害現場の状況確認や現場周辺の巡回を行っており、受動的な初動活動になっている。そのため、全体の被害状況把握に時間を要してしまうという課題がある。

また、被害情報の集約においても、すべて、マンパワーで対応している。被害の集計は本部事務局職員が手計算で行っている。被害発生 の位置情報は、本部事務局職員が電話で聞き取った住所を紙地図で探し、その場で記入している。これらの方法では、ヒューマンエラーによる集計漏れや複数の情報を同時に受け取った場合に記入漏れが発生する恐れがあり、正確な被害情報の把握という面で課題がある。

さらに、応急対応期には情報が錯綜するため、災害対策本部の中で混乱が生じる場合があることが分かった。過去に地震災害が発生した際、次のような問題が起こった。市民からの緊急電話（119番）が短時間に集中して入電したため、すべての消防隊が出動した。しかし、災害対策本部では、各消防隊の活動状況を黒板に手書きで表示しているため、本部職員は各消防隊の現在位置や対応活動がどの程度まで進んでいるのかといった進捗状況を把握しにくい状況に陥ったという。災害対策本部において、混乱した状況下でも、災害現場の位置情報や現場対応の進捗状況を的確に把握することが課題であることが分かった。

以上のヒヤリング結果をまとめると、災害対策本部における課題は次の3点にまとめることができる。

- 課題1：初動活動が受動的であるため、被害状況の把握に時間を要している。
- 課題2：災害対策本部にコンピュータシステムが導入されておらず、災害現場の被災情報の確認や全体の被害情報の集約に手間取っている。
- 課題3：複数の災害現場の位置情報や対応活動の進捗状況の情報を文字情報のみで表示しているため、それらの情報を一目で把握しにくい。

### 3. 地盤応答震度推定法を組み込んだ初動活動支援システムの提案

筆者らが提案する地盤応答震度推定法を組み込むことにより、地震災害発生直後の「情報の空白」が生じた状況下においても、災害対策本部職員が自ら被害発生箇所を推測し、消防隊および地元消防団に対して巡視などの指示を行うことができるような能動的初動活動を支援するシステムを提案する。

#### 3.1 初動活動支援システムのデザイン

##### 3.1.1 システムアーキテクチャ

初動活動支援システムのアーキテクチャを図4に示す。計測震度を推定するために必要となるデータは、実地震の波形データと常時微動の波形データである。常時微動とは、人間が直接感じることのできない微小な地盤の振動のことである。

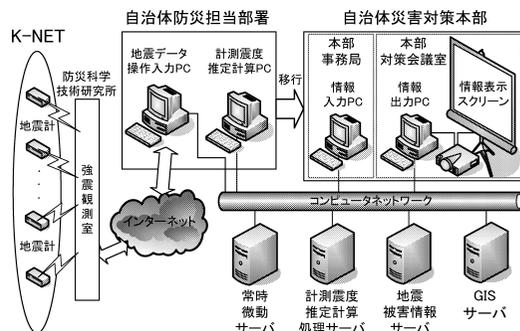


図4 システムアーキテクチャ  
Fig. 4 System architecture.

実地震データは、インターネット経由でK-NETを運用している防災科学技術研究所のホームページから入手する。その地震データは、地震発生から5分程度で即時公開されている。地震データの入手を行うのは、発生した地震情報を収集している地方自治体の防災担当課の職員である。

常時微動データは、災害準備期において、高感度地震計により複数地点の観測を行い、解析結果を常時微動サーバにデータベース化しておく。データベース化するデータは、常時微動の3成分（東西、南北、上下の3方向）記録のうち、水平動スペクトルを上下動スペクトルで除したスペクトル比（以下、H/Vスペクトル比と呼ぶ）の数値データである。

公開地震データを入手後、専用端末PCを用いて計測震度計算を行う。公開地震データを入手後、5分程度で推定計算処理を行い、地理情報システム（Geographical Information Systems, 以下、GISと呼ぶ）上の電子地図に表示することを想定している。推定計測震度計算を行う専用端末PCと常時微動サーバや計測震度推定計算処理サーバは、地方自治体庁舎内のコンピュータネットワークで接続されている。

地震発生から10分程度で自治体庁舎内の会議室に災害対策本部が設置され、防災担当部署は、本部事務局に移行し、事務局の情報入力PCに電源が投入される。この情報入力PCから、計測震度推定計算処理サーバとGISサーバにアクセスし、推定計測震度計算が完了していることを確認する。本部対策会議室の情報出力PCから、同会議室の情報表示スクリーンに推定計測震度を相対表示したものを映し出し、本部長がこの情報を共有する。

災害対策本部では、推定された計測震度が大きい地域を最優先に消防隊や地元消防団の巡回活動を行うよう指令・指示を出す。この指令・指示は、市民からの被害情報を受けてから発令するのではなく、被害発生

の可能性が高い推定計測震度の大きい地域に対して、能動的に発令する。この能動的かつ優先的な監視により、災害発生情報の収集や被害状況の確認を迅速に行うことが可能となる。

### 3.1.2 システムデザインのポイント

本提案システムのデザインのポイントを述べる。第1のポイントは、地盤応答震度推定法を組み込むことにより、細密度計測震度分布を安価な費用で推定するシステムをデザインした点である。地盤応答震度推定法については、3.2節でその概要を述べる。

地震発生後に計測震度を推定し、GISを用いて被害情報を収集する地震防災情報システムの代表的な例は、横浜市のREADY<sup>3)</sup>や山田らが提案する防災情報システム<sup>7)</sup>などがあげられる。これらのシステムは、応急対応期においては、大きく次の3段階の情報処理手順で構成されている。すなわち、数秒から数分程度の早い時間で大まかな震度分布を把握するフェーズ1、十数分から数十分程度の時間で詳細な震度分布を推定するフェーズ2、収集した被害情報をGIS上に表示し被災状況を把握するフェーズ3である。

横浜市のREADYは、フェーズ1で市内150カ所に配置した地震計の観測データをもとに3分程度を目標に震度分布を把握し、フェーズ2で地震計の観測データと地盤増幅率を用いて詳細な震度分布推定を行い、フェーズ3で収集した被害情報をGIS上に表示する。また、山田らが提案する防災情報システムは、フェーズ1で衛星配信の震源情報と距離減衰または国土数値情報を利用して広域震度分布推定を約1秒で行い、フェーズ2は、地震工学やリモートセンシングの技術でカバーするとし、フェーズ3で時空間情報システムDiMSIS<sup>8)</sup>に機能を追加して、デジタルカメラで撮影した被害情報などを表示している。

横浜市のREADYは、地震計を多数配置する必要があり、システムを構築する初期費用、維持経費とも高額となる。また、山田らが提案する防災情報システムは、被災地の外に防災情報センタを設置して、県と市町村との連携システムを構築するなど、地震防災情報システムの全体構成が大規模で、多くの費用と時間をかけ、システム全体を構築する必要がある。

そこで、本研究では、安価なシステム構築費で細密度計測震度分布を推定することが可能なシステムをデザインした。フェーズ1は、発生した地震の情報を、本システムではなく、テレビやラジオなどの報道機関から入手して、5分程度で大まかな震度分布を把握する。フェーズ2で、1カ所の地震観測点で得られた地震動データに対して、地盤種別ごとに応答計算を行う。

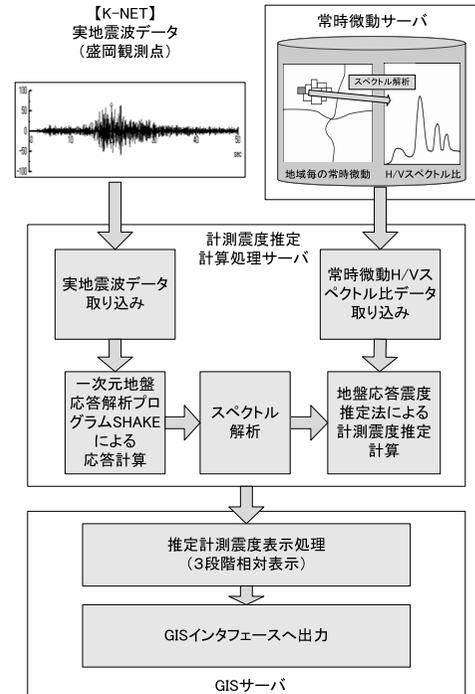


図5 地盤応答震度推定法を組み込んだ情報処理手順

Fig. 5 Procedure of information processing in estimation method of seismic intensity on ground response.

その結果と事前にデータベース化したH/Vスペクトル比を用いて、5分程度で推定計測震度を計算し、得られた数値を3段階に区分してGIS上へ出力する。フェーズ3で、対策本部に連絡のあった被害情報をシステムへ入力し、被害者数などの自動集計を行う。また、GIS上に各種被害情報の位置や現場での応急対応の進捗状況をアイコンで表示する。

このうち、本研究で新たに提案する情報処理手順は、フェーズ2の処理手順である。これを図5に示し、以下にその詳細を述べる。まず、K-NETホームページの即時公開データから該当する実地震動データを手する。次に、このデータを入力波として、地震工学分野で一般によく用いられる一次元地盤応答解析プログラム<sup>9)</sup>(以下、SHAKEと呼ぶ)を用いた応答計算を地盤種別ごとに行う。この計算により求めた複数の地震波を高速フーリエ変換(以下、FFTと呼ぶ)によりスペクトル解析し、応答スペクトルを求める。災害準備期に観測・解析してデータベース化しておいた常時微動データベースから、H/Vスペクトル比を取り込む。これらのデータを用いて、地盤応答震度推定法により計測震度の推定計算を行う。そして、計算した結果は、大・中・小の3段階に色で相対表示し、GIS上のユーザインタフェースへ出力する。



図 6 GIS 上のユーザインタフェースの表示例  
Fig. 6 Example of user interface on GIS.

以上の情報処理で表示された相対色表示により、災害対策本部職員は、推定計測震度が大きい地域を視覚的に一目で把握しやすくなる。消防隊や地元消防団は、災害対策本部からの指令により、推定計測震度が大きく被害の発生確率が高い地域から優先的に巡視活動を行う。本システムは、この能動的な初動活動を支援し、被害の全体把握に要する時間の短縮を図ることで、2.2 節で述べた課題 1 を解決することを目的としている。

第 2 のポイントは、住民から通報があった被害情報や初動活動の進捗状況を表示する GIS 上のユーザインタフェースをデザインしたことである。阪神・淡路大震災の初動活動の教訓をふまえて構築された兵庫県のフェニックス防災システム<sup>10)</sup>は、本システムと同様、GIS 上に被害情報を表示できる機能を持っている。しかし、初動活動の進捗状況の変化に対応できる機能が十分とはいえない。本システムでは、時間の経過とともに変化していく初動活動の進捗状況の変化をアイコンの表示を変化させることで表現し、初動活動の状況変化に対応できる工夫をした。

本システムで求めた推定計測震度の数値結果を 3 段階の相対色表示に区分し、GIS 上のユーザインタフェースに表示した例を図 6 に示す。このユーザインタフェース上に並んで表示される被害一覧タブや被害集計タブは、2.2 節で述べた課題 2 に対応している。すなわち、このタブ表示機能は、地震被害情報サーバに入力された災害情報を自動的に集計しており、被害情報全体の迅速な把握や正確な数値集計を可能にしている。また、GIS 上のユーザインタフェースに被害情報を図案化したアイコンや道路の交通遮断箇所情報を示したアイコンなどを同画面に表示し、災害対策本部内の情報共有性を高めるデザインとした。これは、2.2 節の課題 3 に対応したデザインで、初動活動の進捗状況などを視覚的に把握することを狙っている。

### 3.2 地盤応答震度推定法の提案

筆者らは、常時微動データを用いて地震動を推定する先行研究をもとに、K-NET 観測点における地震動データと H/V スペクトル比との 2 つのデータから計測震度を推定する計算手法を提案してきた。それは、既存の計算手法を組み合わせることで計測震度を推定し、さらに地盤構造を反映させることができるように改良を加え、推定精度を高めることを目指した計算手法である。筆者らはこの計算手法を地盤応答震度推定法と呼んでいる。

丸山らが提案している計算手法<sup>11)</sup>では、H/V スペクトル比と K-NET 観測点における地震動記録から地震計の設置されていない地点の応答スペクトルを求めることができる。また、齋田らの提案している計算手法<sup>12)</sup>を用いれば、基準点の地震観測記録と複数の常時微動観測記録を用いて、細密な計測震度分布を把握することができる。

両者の計算手法を組み合わせることにより、K-NET 観測点における地震記録から細かい地域ごとの細密な計測震度分布を地震発生後短時間で求めることが可能であり、筆者らは計測震度を推定する一手法として提案を行っている<sup>13)</sup>。以下に、その計算手順を示す。

計測震度を推定したい地点  $J$  の加速度応答スペクトル  $S_A^J$  は、K-NET 観測点の地震記録の加速度応答スペクトル  $S_A^{K-NET}$  と 2 点間の常時微動 H/V スペクトル比の比  $r_{H/V}^{J/K}$  を用いて、次式で推定できる。

$$S_A^J = S_A^{K-NET} \cdot r_{H/V}^{J/K-NET} \quad (1)$$

また、速度応答スペクトル  $S_V^J$  の推定式は、速度応答スペクトル  $S_V^{K-NET}$  と 2 点間の常時微動 H/V スペクトル比の比  $r_{H/V}^{J/K}$  を用いて、次式で推定できる。

$$S_V^J = S_V^{K-NET} \cdot r_{H/V}^{J/K-NET} \quad (2)$$

また、スペクトル強度  $SI$  および修正スペクトル強度  $MSI$  は次の 2 つの式で求める。

$$SI = \int_{0.1}^{2.5} S_V^J \cdot h=0.05 \, dT \quad (3)$$

$$MSI = \int_{0.1}^{0.5} S_A^J \cdot h=0.05 \, dT \quad (4)$$

$SI$  と  $MSI$  から最大速度  $V_{max}$  と最大加速度  $A_{max}$  を次の 2 つの式で求めることができる。

$$V_{max} = 0.3 \times SI \quad (5)$$

$$A_{max} = 1.2 \times MSI \quad (6)$$

計測震度と地震動指標の関係については種々検討されているが、翠川らは最大速度  $V_{max}$  と最大加速度  $A_{max}$  の積と計測震度  $I$  には高い相関があり、計測震

度  $I$  は、次式で表されることを示している<sup>14)</sup>。

$$I = \log(V_{max} + A_{max}) + 1.38 \quad (7)$$

以上の計算手順は、常時微動を観測した地点において、どの地点の地盤構造も同じような構造の場合に適用することができる。しかし、盛岡市域は、単純な地盤構造ではないため<sup>15)</sup>、盛岡市域全体の計測震度を精度良く推定するのは難しいと考えられる。

そこで、この問題を解決するため、地盤構造を反映させることができるように改良を加え、地盤応答震度推定法として提案した<sup>16)</sup>。この推定法の特徴は、1つの基準点で観測した地表地震波から、複数の地点の地表地震波を推定できることである。以下に、その計算手順の概要を述べる。

まず、K-NET 観測点を基準点とする。これに対して、地盤構造が違ふと考えられる区域においては、その区域内で地盤構造が推定されている地点を選定し、新たな基準点（以下、NBase と呼ぶ）とする。次に、基準点で観測した実地震波をもとに、SHAKE を用いた逆応答計算を行い、地下基盤に入射する共通した地震波（以下、入射地震波と呼ぶ）を求める。最後に、NBase において、再び、SHAKE の応答計算を用いて、入射地震波から地表での地震波を求める。この NBase の地表地震波の加速度応答スペクトル  $S_A^{NBase}$  と地盤構造が異なる区域内にある点  $NJ$  と NBase の 2 点間の常時微動 H/V スペクトル比の比  $r_{H/V}^{NJ/NBase}$  を用いて、式 (1) から式 (7) と同様な計算手順により、地盤構造が異なる区域内ごとの常時微動観測点における計測震度  $I$  を推定する。

### 3.3 プロトタイプ開発

#### 3.3.1 プロトタイプ開発の環境

初動活動支援システムのプロトタイプを開発した<sup>17)</sup>。図 4 に示したシステムアーキテクチャをもとに、初動活動支援機能の中心となる被害情報の表示と集計機能の部分を中心に実装した。プロトタイプ開発の目的は、設計した情報処理手順をシステムとして実装し、推定計測震度や災害情報などを GIS 上のインタフェースに表示することによって、提案する支援システムの機能が災害対策本部の初動活動の課題を解決するために有効であるかどうかを評価するためである。

図 7 にプロトタイプのアーキテクチャを示す。実装した機能は、推定計測震度や被害情報を GIS 上のユーザインタフェースに表示する機能とそれを通じて報道発表用の資料作成を支援する機能などである。これ以外の部分については、実運用環境時に実装し、検証することとした。

今回のプロトタイプ開発で未実装な部分は、K-NET

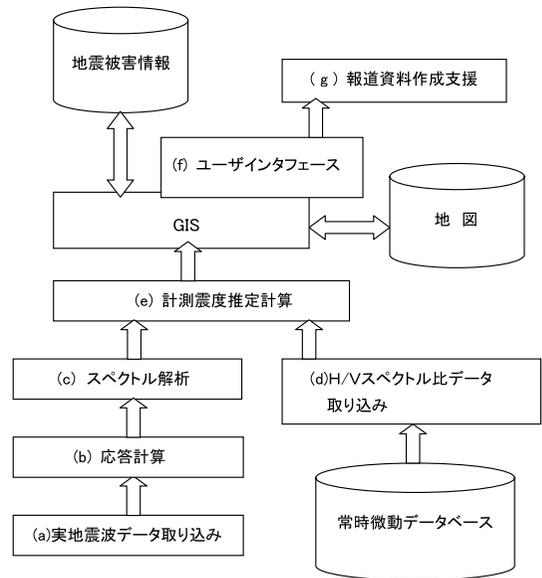


図 7 プロトタイプのアーキテクチャ  
Fig. 7 Prototype of architecture.

データを取り込んだ後の計測震度推定計算を自動的に  
行う部分とその計算結果を自動的に 3 段階の相対区分  
に変換し GIS 上のユーザインタフェースへ表示させ  
る部分である。プロトタイプの計測震度推定計算部分  
は、SHAKE などの既存のソフトウェアを組み合わせ、  
対話的処理を行うことにより実装している。また、プ  
ロトタイプの実地震波を取り込む部分は、K-NET の  
ホームページから盛岡観測点の実地震波データを手動  
でダウンロードし、計測震度推定計算処理サーバに取  
り込んでいる。

図 7 に示した構成を実験サーバ上に実装した。実  
験サーバに採用した OS は Windows2000server であ  
る。GIS ソフトは、ESRI 社の ArcView 8.3 を用いた。  
ベースとなる電子地図は (株)ゼンリンの ZMAP2500  
盛岡市を用いた。開発言語は、Visual Basic 6.0 と Arc  
View のコンポーネント機能を有する MapObject 2.2  
を組み合わせ使用し、電子地図上に各種災害情報の  
アイコンなどを表示させる機能を開発した。データ  
ベース管理ソフトは、Oracle 9i を用いており、地震  
波や常時微動の解析スペクトルの数値データや各種被  
災情報などを格納している。地震被害情報データベ  
ースには、火災や建物被害などの被害種別、被害概要  
、死者数や負傷者数、被害者の住所、氏名、年齢などが  
、リレーショナルな構造で格納されている。システム化  
にデータベースを用いた理由は、計測震度推定計算用  
の常時微動 H/V スペクトル比のデータが大量の数値  
データであり、これを扱うにはデータベースを用いる

ことが有用と判断したためである。

プロトタイプにおける情報処理手順は次のとおりである。

- (1) 地震波データの取り込みを行う(図7(a),プロトタイプでは手動で取り込む)。
- (2) SHAKE を用いて地盤種別ごとに応答計算を行う(図7(b))。
- (3) FFT を用いて地震波データのスペクトル解析を行う(図7(c))。
- (4) 常時微動データベースから H/V スペクトル比データの取り込みを行う(図7(d))。
- (5) 計測震度推定計算処理を行う(図7(e),プロトタイプでは既存ツールを用いた対話的処理で実装)。
- (6) 算出された推定計測震度を GIS 上のユーザインタフェースに3段階で相対的に表示する(図7(f))。
- (7) 地震被害情報を, GIS 上のユーザインタフェースにアイコン表示する。同時に情報ウィンドウの被害一覧タブなどにも一覧表示する(図7(f))。
- (8) ユーザインタフェースを通して, 報道発表資料作成支援を行う(図7(g))。

### 3.3.2 プロトタイプのユーザインタフェース

2.2節で述べた災害対策本部における課題を受け, 初動活動支援システムに必要な機能を明確にするため, システムの想定利用者にヒヤリングを行った。ヒヤリングは, 2005年7月12日に提案システムの想定利用者である盛岡市消防防災課の課長補佐と主任の2名を対象として, 消防防災課内で実施した。その結果, 得られた必要な機能のうち, 重要であるとの指摘を受けた機能を以下に示す。

- 災害現場における応急対応活動の進捗状況を入力し, 電子地図上にアイコンとして表示する機能。
- 道路被害により発生した交通遮断箇所を入力し, 電子地図上にアイコンとして表示する機能。
- 避難指示・避難勧告の範囲を描画し, 表示する機能。
- 集計された被害情報から報道機関用の資料を作成する機能。

上記の機能について, その要求仕様を検討し, ユーザインタフェースを試作した<sup>18)</sup>。災害対策本部における支援システムでは, 災害発生時の緊迫した状況下でも, 各種情報を正確に把握でき, 間違いの少ない操作ができることが重要であることから, 電子地図上に視覚的に情報を表示できる GIS インタフェースでの利用を想定した。以下に試作したユーザインタフェースの表示例を示す。

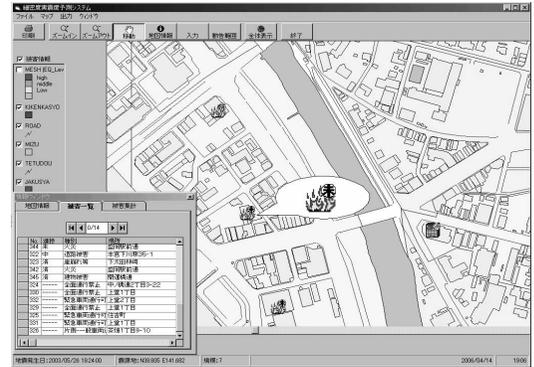


図8 応急対応活動における進捗状況の表示例

Fig.8 Screen of progress situation in emergency operation.

#### (1) 作業進捗状況の入力・表示機能

災害現場における応急対応活動の進捗状況を, GIS 上のインタフェースにアイコンとして表示できるようにした。表示できる災害の種類は, 建物被害, 火災, 道路被害, 崖崩れである。アイコン表示を作業進捗の状況に応じて変化させることにより, 進捗状況の推移を視覚的に把握できるように工夫した。進捗状況は, 未(未対応)・中(対応中)・済(対応完了)の3段階で表現される。

図8に, 消火活動が未対応という意味を有するアイコンを表示した例を示す。

#### (2) 交通遮断箇所の入力・表示機能

道路被害や建物倒壊などのため, 交通が遮断されている位置を GIS 上のインタフェースにアイコンとして表示できるようにした。交通遮断の全面通行止め, 緊急車両通行可能, 一般車両通行可能といった種別を被害情報入力欄のプルダウンメニューに組み込み, 被害情報入力と同じ操作で入力できるようにした。

図9に, 全面通行止めと緊急車両通行可能の交通遮断種別を表示した例を示す。

#### (3) 勧告範囲の描画・表示機能

災害対策本部で発令される避難指示や避難勧告の範囲を, GIS 上のインタフェースに描画・表示できるようにした。範囲を表示する場合は, 発令レベルに応じた配色を行うことができる。この機能により, 発令範囲を視覚的に一目で把握することが可能になる。

図10に避難指示範囲(赤色)と避難勧告範囲(橙色)を表示した例を示す。

#### (4) 報道発表資料作成支援機能

図11は報道発表用資料画面の例を表示したものである。被害情報データベースに格納された情報をもとに, 集計された死傷者数などの数値情報と, 個人情報

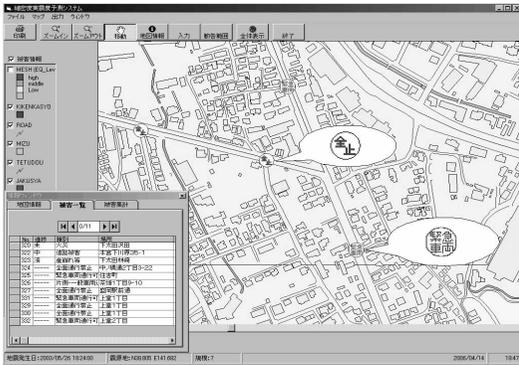


図 9 交通遮断箇所の表示例

Fig. 9 Screen of place to block up the street.

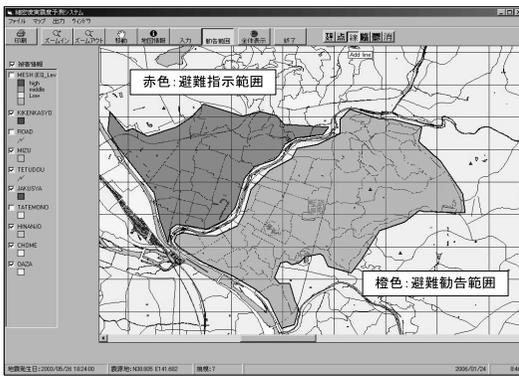


図 10 避難指示範囲と避難勧告範囲を表示した例

Fig. 10 Screen of range of refuge order and refuge advice.



図 11 報道機関向け資料を表示した例

Fig. 11 Screen of material for the press.

を除いた人的被害の詳細情報を自動的に生成する「人的被害状況の詳細」情報には、地区・年齢・性別と被害概要のみが掲載される。これは、データベースから住所と性別、被害詳細のみ取得し、年齢は「何歳代」のみが分かるように変換表示している。表示されている情報は、画面上でコピーでき、ワープロ文書や Web サイトへペーストして利用することが可能となってい

る。また、いつの時点の情報かが分かるように、日付や時刻も自動的に表示される。

### 3.3.3 システムの利用シナリオ

初動活動支援システムが実装されたサーバは、災害対策本部が置かれる地方自治体の庁舎会議室に設置することを想定する。地震の規模が大きければ、地震発生直後に停電することが予想されるが、通常、サーバを設置する際は無停電電源装置をバックアップに備えている。また、地方自治体の庁舎は非常時に備えて自家発電機能を有しており、最低限の電力は供給される。しかし、地震動による建物の揺れにより庁内 LAN などのネットワーク機器やサーバが正常に動作する保障はない。そこで、図 4 にある庁舎内の各種サーバや PC の予備機を災害準備期に用意しておき、災害対策本部内で小規模な LAN を構築して、自律してシステムを動作させることができるよう、事前に備えておく必要がある。

初動活動支援システムの典型的な利用シナリオを以下に示す。

- Step 1：地震発生

地震が発生した直後、地方自治体の防災担当者は、テレビまたはラジオなどの報道機関を通じて、地震の震源、規模、大まかな計測震度などといった地震情報入手する。この地震情報から次のステップに移行するかを判断する。

- Step 2：地震データの入手

地方自治体の防災担当者は、K-NET のホームページから地震発生後に即時公開される地震データをダウンロードする。プロトタイプでは、ダウンロードを手動で行っているが、本提案システムの実運用時には、自動化されていない部分を改善する必要がある。特に、地震データの取り込みについては、防災科学技術研究所強震観測管理室と共同研究を行い、地震発生をトリガにして、実地震データを自治体に設置した支援システムに自動で取り込むような工夫が必要である。

また、地震データの自動取り込みは、インターネット回線が正常である場合を想定している。しかし、地震の規模によっては、回線障害などによりインターネットに接続できない場合も考えられる。その場合の対応策は、実地震データを K-NET 観測点から直接自治体にも伝送してもらった仕組みを作るという方法が考えられる。さらに、財政的に余裕がある自治体では、支援システムを実運用する時点で、同時に地震計とその観測データを送信する専用線を設置することが理想的である。

- Step 3：計測震度の推定

地方自治体の防災担当者は、入手した実地震データと常時微動データベースを用いて計測震度推定計算処理サーバにより、計測震度の推定を行う。

- Step 4: 災害対策本部の設置

地震発生後 10 分程度を目処に、災害対策本部が設置され、本部長や本部長が参集する。自治体の防災担当課は、災害対策本部に本部事務局に移行する。

- Step 5: 初動活動の指示

本部事務局となった防災担当者は、本部に用意されている情報入力 PC や情報出力 PC に電源を入れる。本部では、初動活動支援システムの GIS 上のインタフェースに表示される推定計測震度の分布表示を参考にして、計測震度が相対的に大きい地域を優先し、消防隊や地元消防団に巡視を指令する。

- Step 6: 被害情報の入力

巡視している消防隊・消防団や住民などから入ってくる被害情報を入力する。図 6 のユーザインタフェース画面において、ツールボタンから「入力」を押下し、被害が発生した場所を地図上でクリックすると被害概要入力画面が表示される。被害種別を選択し、被害概要、死者数や負傷者数を入力する。人的詳細被害については、氏名や住所などの個人情報をもそのまま正確に入力する。位置情報は、クリックした地点の情報を地図情報から自動的に取得できるようになっている。

- Step 7: 進捗状況の入力

初動活動を行っている災害現場の消防隊などから入ってくる対応活動の進捗状況をアイコンにより表示する。対応が未対応になっている現場に対して、対応活動が完了した消防隊の中から、最も近くにいる隊に指示を出す。GIS を使って視覚的に災害発生箇所と進捗状況を把握できていることから、的確な指示を指令することが可能である。

- Step 8: 避難指示・避難勧告の指示

地震の振動により大規模な崖崩れの危険がある場合などに避難勧告などが発令される。避難勧告などが発令される場合は、最悪のケースを想定し、実際の被害範囲より広範囲に発令される傾向がある。時間の経過とともに、被害の発生範囲が確認され、勧告範囲が段階的に小さくなっていく。このような時間経過とともに変化する範囲情報については、GIS を用いることで、その変化の様子を表示することができる。

- Step 9: 被害集計と報道機関向けの情報作成

災害対策本部では、応急対応期の混乱した状況においても報道機関からの各種問合せに正確に対応する必要がある。報道機関向けの被害集計は、個人情報に配慮して自動的に生成する機能を用いて作成する。この

機能は、システム上で集計された死傷者数などの数値情報と個人情報を除いた人的被害の詳細情報を自動的に生成し、被害地区、年齢、性別と被害概要のみが掲載されるように工夫してある。

## 4. 評価

### 4.1 地盤応答震度推定法の妥当性評価

#### 4.1.1 評価の目的

岩手県盛岡市および滝沢村の一部を含む東西約 14 km、南北約 19 km の盛岡市域を対象として、地盤応答震度推定法の妥当性を評価する。

評価方法は、2003 年 5 月に発生した宮城県沖を震源とした地震（以下、三陸南地震）の地震動データを用いて、計測震度を推定するシミュレーションにより行った。その結果に対して、三陸南地震発生後に調査・集計されたアンケート震度と比較を行い、評価することとした。

盛岡の K-NET 観測点が稼動してから実測された地震のうち、計測震度が 5 弱以上になった地震は、三陸南地震のみである。また、盛岡市域で実施された主なアンケート震度調査は、1994 年に発生した北海道東方沖地震と三陸はるか沖地震、および三陸南地震の 3 地震である。よって、本推定法をシミュレーションし評価できるデータは、三陸南地震の 1 事例しかない。

#### 4.1.2 三陸南地震におけるアンケート震度分布

三陸南地震を対象として、岩手大学工学部と八戸工業大学が共同で実施したアンケート震度調査<sup>19)</sup>の概要を以下に述べる。

##### (1) 三陸南地震の概要

2003 年 5 月 26 日 18 時 24 分頃、宮城県沖を震源とする地震が発生した。地震の規模はマグニチュード 7.0、震源は東経 141.8 度、北緯 38.8 度、震源の深さは 70 km であった。岩手県内では大船渡市、衣川村、平泉町、江刺市などで震度 6 弱を観測し、震央から約 100 km 以上離れた盛岡市でも震度 5 弱を観測した。

##### (2) アンケート震度調査

アンケート調査には太田方式アンケート震度算定法（1998 改訂版）を用いた<sup>20),21)</sup>。同算定法は、地域の詳細な震度分布を算出することが可能で、広く用いられている手法である。改訂版では震度 5~7 の高震度領域においても有効な値が求められるようになっているため、今回対象とした地震では、太田方式改訂版が有効に作用するものとして活用した。

アンケートの調査対象地域は、岩手県盛岡市および滝沢村である。アンケートは、区域内の全小学校の児童の家庭を対象として実施した。アンケート震度調査

表 1 アンケート回収状況 (文献 19) より引用)  
Table 1 Result of questionnaire survey.

市町村名	児童数	PTA 数	PTA 数/児童数	回収数	回収率 (%)	有効数	有効率 (%)	無効数	地域外数
盛岡市	16,666	12,856	77%	10,620	82.6	9,192	71.5	1,273	58
滝沢村	3,443	2,429	71%	1,927	79.3	1,612	66.4	252	63
計	20,109	15,285	76%	12,547	81.0	10,804	70.7	1,525	121

表 2 盛岡市・滝沢村における最小, 最大, 平均震度 (文献 19) より引用)  
Table 2 Average, maximum and minimum of seismic intensities in Morioka City and Takizawa village.

	全データ				メッシュ毎 (アンケート枚数 3 枚以上)			
	枚数	最小震度	最大震度	平均震度	区画数	最小震度	最大震度	平均震度
盛岡市・滝沢村	10,381	1.29	6.40	4.45	967	3.24	5.42	4.44

の回収状況を表 1 に, データ解析の結果を表 2 に示す. 盛岡市の小学校は 39 校, 対応する PTA 総数は 12,856 人, 滝沢村の小学校は 8 校, PTA 総数は 2,429 人である. アンケートを集計した結果, 全アンケートの震度の平均は 4.45 となった.

次に, 盛岡市と滝沢村を合わせた盛岡市域において, 経度方向 11.25" × 緯度方向 7.5" の区画 (250m メッシュ) を作成し, 震度をデータベース化した. アンケート方式による個人差の影響を軽減するために, 1 つの区画においてアンケート数が 3 枚以上得られる区画のみを信頼できるデータとした. 図 12 にアンケート震度の分布図を示す.

震度の比較的大きい箇所と, 小さい箇所との差異を分析した結果, 大きい箇所の表層地質は北西部の火山砕屑物と対応している場合が多く, 小さい箇所の表層地質は洪積世および沖積世の砂礫層や輝緑凝灰岩の岩盤が分布している区域と対応している場合が比較的多いことが分かった.

4.1.3 地盤応答震度推定法による計測震度分布とアンケート震度分布の比較

三陸南地震の際に観測された K-NET の盛岡観測点における地震動データと最新の観測で得られた盛岡市域の H/V スペクトル比を用いて, 提案した地盤応答震度推定法により計測震度を算出し, 同地震におけるアンケート震度分布と比較した.

常時微動は, いろいろな方向から伝播する波動の重なり合ったもので, つねに同じ振動波形が見られるとは限らない. そこで, 今回は, まず, 最新の観測で得られた常時微動波形において, 全体 (約 15 分間) の振幅の平均値を導き出した. 次に, 2,048 個 (40.96 秒) を 1 区間として区間ごとの振幅の平均値を求めた. そして, 全体の振幅の平均値より 1 区間の振幅の平均値が小さい区間をすべてスペクトル解析した. その結果, スペクトルのばらつきが小さく安定したデータが

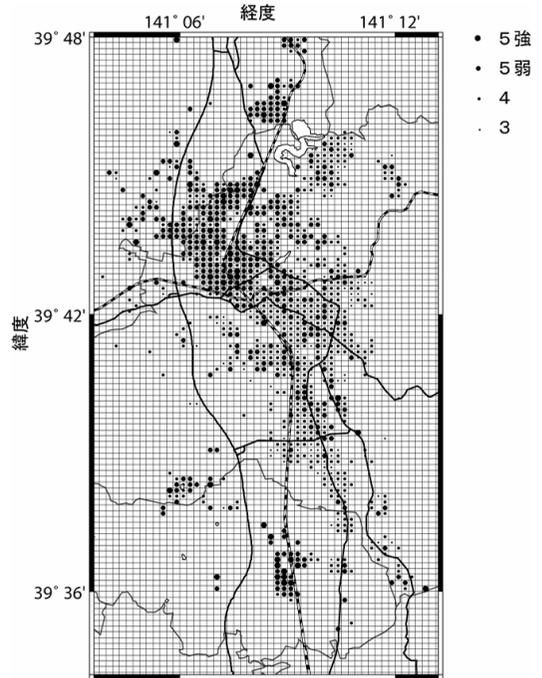


図 12 三陸南地震のアンケート震度分布図 (文献 19) より引用  
Fig. 12 Distribution of questionnaire seismic intensity of Southern-Sanriku earthquake.

得られている 49 地点の H/V スペクトル比を評価に用いた.

地盤応答震度推定法で求めた計測震度とアンケート震度との相関係数を計算した. その散布図を図 13 に示す. 相関係数は, 全体では 0.630 となり, 個々の数値はアンケート震度に比較して全体的に大きめに算出されているものの, 相関は比較的良好な結果となった.

そこで, 推定計測震度が大きい地域について, アンケート震度の大きい地域と, どの程度一致しているかを評価することとした. 評価方法は, 推定震度の大きい地域 (メッシュ) とアンケート震度の大きい地域

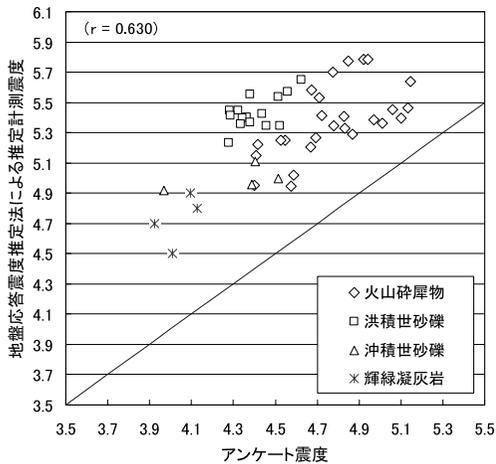


図 13 地盤応答震度推定法による推定計測震度とアンケート震度の散布図

Fig. 13 Correlation diagram between questionnaire seismic intensity and estimate seismic intensity.

(メッシュ)のそれぞれの上位 16 カ所について、上位ランキングどうしの一致度合いを計算する方法による。上位 16 カ所とした理由は、推定計測震度を 3 段階に区分したうち、大きな震度（赤表示）にあたる上位 3 分の 1 が、今回のシミュレーションで計算した 49 カ所のうちの上位 16 カ所に相当するためである。

その結果、一致度合いは 56.3%（16 メッシュのうち 9 メッシュが一致）となった。メッシュごとの対応を表 3 に示す。この表は、アンケート震度の上位昇順に整理した。地域メッシュの番号は、アルファベットが南北方向で数字が東西方向を示している。

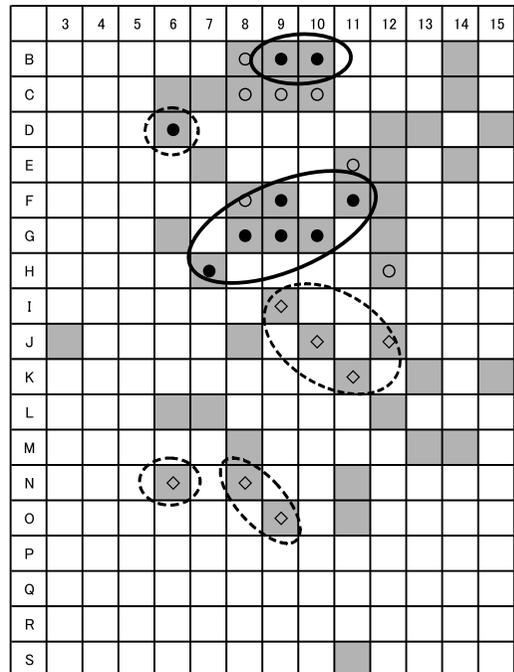
アンケート震度上位のメッシュは、ほとんどが火山砕屑物に属している。この地層の地盤構造は、他の砂礫層などに比べ硬軟の地層が交互に出現するような複雑な構造となっている。そのため、NBase をどこに設定するかが、推定計測震度の精度に影響を与えると考えられる。このことが今回アンケート震度上位でも推定計測震度が上位にならなかった理由の 1 つと推測される。

一致度合いの程度は 6 割弱となり、一致の程度としては精度が良いとはいえない。しかし、一致しているメッシュが近接している箇所をブロックと考えると、計測震度が大きい地域をだまかに抽出していることが分かった。図 14 にその結果を示す。

この結果を評価対象地域の防災を所管する盛岡市消防防災課に提示し、見解をうかがった！盛岡市の現実的な災害対応能力は、同時多発的に救助を要する震災が発生した場合を考えると、救助隊および警防隊を合わせて最大で 15 から 20 の消防隊をいっせいで出動

表 3 推定計測震度とアンケート震度との一致対応表  
Table 3 Correspondence table between estimate seismic intensity and questionnaire seismic intensity.

推定計測震度	順位	地域メッシュ	アンケート震度	上位順位	地域メッシュ
5.64	6	G-09	5.15	1	G-09
5.46	12	B-09	5.13	2	B-09
5.40	21	H-12	5.10	3	H-12
5.45	13	G-08	5.06	4	G-08
5.36	25	C-10	5.01	5	C-10
5.38	23	B-08	4.97	6	B-08
5.79	2	G-10	4.94	7	G-10
5.79	1	B-10	4.92	8	B-10
5.29	31	C-08	4.87	9	C-08
5.78	3	H-07	4.85	10	H-07
5.33	30	E-11	4.83	11	E-11
5.41	19	F-08	4.83	12	F-08
5.34	28	C-09	4.78	13	C-09
5.70	4	D-06	4.77	14	D-06
5.42	16	F-11	4.72	15	F-11
5.53	11	F-09	4.71	16	F-09
5.58	7	I-09	4.67	-	I-09
5.65	5	J-12	4.63	-	J-12
5.57	8	N-08	4.56	-	N-08
5.53	10	N-06	4.52	-	N-06
5.56	9	O-09	4.38	-	O-09
5.45	15	J-10	4.32	-	J-10
5.45	14	K-11	4.28	-	K-11



◇:推定計測震度上位 ○:アンケート震度上位 ●:両震度の一致メッシュ

図 14 推定計測震度とアンケート震度の一致メッシュ分布図

Fig. 14 Mesh map of agreement between estimate seismic intensity and questionnaire seismic intensity.

できる人員と車両・装備を有している。図 14 を見ると、両震度が一致しているブロックが地域の北西部で 2 カ所ある（図中の実線で囲んだ地域）。このブロックは、地盤が軟弱として知られている地域とおおよそ合致しており、被害の発生予測箇所を抽出している可能性が高い。また、推定計測震度が大きい地域ブロックと単独メッシュ合わせて、6 カ所程度の地域が抽出されていることが分かり（図中の実線と破線で囲んだ地域）、盛岡市の災害対応能力で対応できることが推測できる。このようなデータを得られれば、実際の初動活動時に有効である」との評価をいただいた。このことから、応急対応期に必要なとされる、被害発生地域の大まかな把握という観点からみると、本推定法に一定の有用性があるといえる。

また、盛岡市が地域防災計画で想定している計測震度は、内陸直下型地震で 5 弱から 6 強の震度であるが、今回評価に用いた三陸南地震より大きな地震が発生した場合、本システムで推定した計測震度の大きなブロックやメッシュの合計数が災害対応能力を超えたと判断されれば、すぐに近隣の市町村に緊急応援を求めるなどの体制を整えることができ、今後発生する大地震の際にも有用であると考えられる。

## 4.2 想定利用者によるシステム評価

### 4.2.1 評価の目的

提案した初動活動支援システムの有効性を評価するため、実装したプロトタイプを用いて、想定利用者による評価を実施した。評価の実施に際しては、盛岡市消防防災課と盛岡広域消防本部のご協力をいただき、2005 年 12 月 22 日に盛岡広域消防本部庁舎内の会議室を会場として行った。実際に評価を行っていただいたのは、災害発生時に災害対策本部職員として初動活動に従事する盛岡市総務部消防防災課職員 3 名（課長、課長補佐、係員）と盛岡広域消防本部職員 4 名（署長、指令課長、係長、係員）で、合計 7 名から回答を得た。

評価の被験者数は少ないが、災害対策本部で意思決定を行う管理職、システムの想定操作者である課長補佐や係員、また、消防隊に指令を下す管理職や消防本部機関の総責任者など、広い行政的経験と深い専門的知見を持つ方々から評価していただいた。

### 4.2.2 評価方法

評価方法は、まず、プロトタイプに実装した機能を評価実施会場のスクリーンで説明し、次に会場と大学研究室を VPN で結び実験サーバにアクセスした状態で、プロトタイプが実際に動作する様子を見ていただきながら、各種機能や操作方法の説明を行った。プロトタイプの操作時に、随時、口頭で質問をしてもらい、

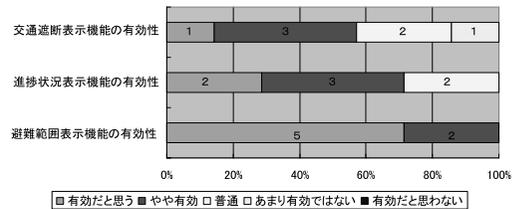


図 15 実装機能の有効性評価結果

Fig. 15 Results of the user questionnaire on implement function.

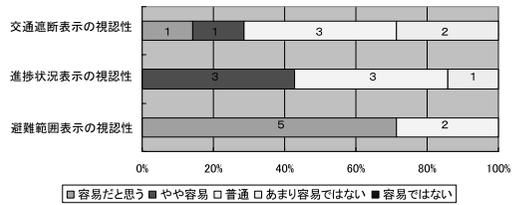


図 16 表示機能の視認性評価結果

Fig. 16 Results of the user questionnaire on indicate function.

実装した機能を十分理解していただいたところで、アンケート用紙に記入していただくという形式をとった。

### 4.2.3 アンケート評価の結果

プロトタイプによる評価の視点は、実装した機能が災害対策本部で役立つかという有効性と表示した情報を容易に理解できるかという視認性である。具体的な調査項目は、実装した機能のうち、「避難指示・避難勧告範囲の描画・表示」、「災害現場における初動活動作業の進捗状況の入力・表示」、「道路被害により発生した交通遮断箇所の入力・表示」の 3 項目とし、5 段階評価を行った。5 段階の評価点は、「有効だと思う」の 5 が最も高く、「有効だとは思わない」の 1 が最も低い。

評価結果を図 15、図 16 に示す。有効性については、「避難指示・避難勧告範囲表示の有効性 (4.7)」、「進捗状況表示の有効性 (4.4)」は比較的良好な結果となったが、「交通遮断箇所表示の有効性 (3.6)」についてはあまり良好な結果とはならなかった。視認性については、「避難指示・避難勧告範囲の描画・表示 (4.4)」が比較的良好な結果を得たものの、「進捗状況のアイコン表示 (3.3)」および「交通遮断箇所のアイコン表示 (3.1)」については良好な結果とはならなかった。

評価実施時のアンケート用紙に自由記入していただいたコメントでは、支援システムの導入により被害情報の集約が短時間にできる、という回答を得た。これは、2.2 節で述べた課題 2 に対して、本提案システム導入により被害情報の迅速な把握という面で、一定の効果があるということを示唆している。

しかし、プロトタイプに実装した機能の有効性・視認性の評価は、全体的には十分に良好といえない結果となった。特に、視認性に関しては、アイコンの大きさや配色などについて検討の余地があることが明らかになった。

実際の災害対策本部では、災害対応作業の進捗状況の把握が重要であると考えられる。そのため、作業状況のアイコン表示について、現状のアイコンでは視認性が良くなく、アイコン表示の中に漢字で記している「未(未対応)」、「中(対応中)」、「済(対応済)」の色分けや大きさを改善する必要がある。

また、交通遮断箇所を単にアイコンのみで表示すると、どの区間が遮断されているかなどの判断がしにくいと考えられる。そのため通行できない道路区間を線的に着色するなどの方法により、視認性をより良くするための改良が必要である。

以上のような視認性に関する改良を実装することにより、2.2節で述べた課題3を解決することが可能になり、支援システムにGISインタフェースを採用する効果をさらに増すことができるようになると思われる。

今回の評価では、地盤応答震度推定法自体の評価は4.1節で行っているが、推定法を提案システムに取り込んだ場合の時間的効果に関する評価は行っていない。K-NETの地震データの取り込みから計測震度推定計算を行ってGIS上のユーザインタフェースへ出力するまでの作業時間の評価は、今後、防災訓練などで検証する必要がある。

### 5. 考 察

#### 5.1 統合型地理情報システム環境での実装

統合型GISとは、地方自治体のLANなどのネットワーク環境下で、自治体内部で共用できる地理データを共用空間データとして整備・管理・運用し、関係する各部署において利活用する自治体内部の横断的なシステムである<sup>22)</sup>。本研究で評価対象とした盛岡市では、2000年度から市販の住宅地図を基本地図としたGISの構築が開始され、全国に先駆け、障害者向けのバリアフリーマップや洪水ハザードマップなどを市民に提供している<sup>23)</sup>。2005年度からは、1/500縮尺の道路台帳図をベースとした基本地図の作成が進められており、2006年度中には、本格的な統合型GISに移行する予定である。盛岡市の統合型GISのシステムアーキテクチャを図17に示す。統合型GISを構成するサーバは3台である。OSは、3台ともWindows2003Serverを用いている。データ管理サーバには、共用空間デー

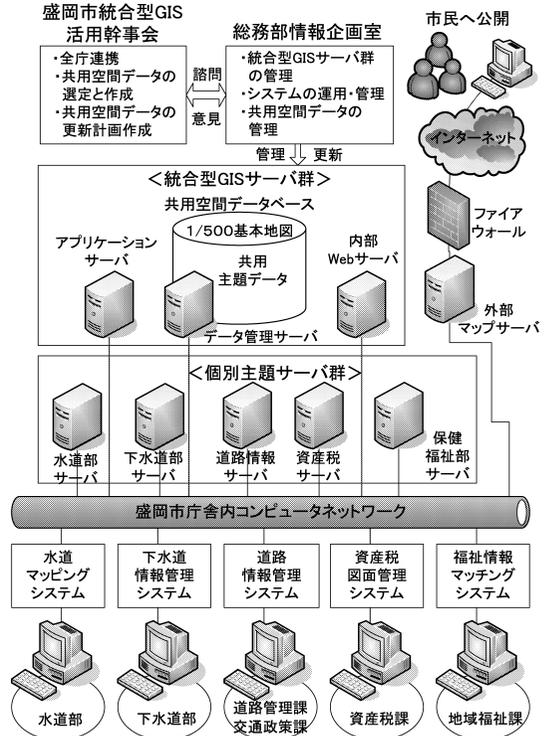


図 17 盛岡市統合型 GIS のシステムアーキテクチャ  
Fig. 17 Integrated Geographical Information Systems in Morioka City.

データベースが構築されている。データベース管理システムは、Microsoft社のSQLServer2000sp3aを用いている。リレーショナルデータベースとGISソフトを連携させるソフトウェアは、ESRI社のArcSDE9を使用している。アプリケーションサーバは、データ管理サーバと連携し、マップサービスの生成や空間サーバの管理を行っている。GISサーバソフトには、ESRI社のArcIMS9を用いている。

盛岡市の統合型GIS上に、本支援システムを実装する場合のメリットは2つある。1点目は、既存の統合型GISのアーキテクチャを変更することなく、本システムを導入可能なことである。すなわち、図4の推定計算処理サーバや地震被害情報サーバは、図17の個別主題サーバ群に追加することで構成でき、GISサーバは、統合型GISサーバ群と共有可能である。2点目は、統合型GIS上で、災害対策本部と担当部署が地下埋設管渠の被害情報を共有することである。盛岡市の基本地図は1/500縮尺であるため、1/2500縮尺では詳細に表示できない水道管や下水道管の管路網データをGIS上に展開できる。これにより、対策本部と担当部署が地下埋設管渠の被災情報を共有することで、復旧・復興期への移行をスムーズに行うこと

ができる。

一方、デメリットは、大地震時でもシステムが確実に動作するという健全性の担保がないということである。そのため、地震による障害で庁舎内ネットワークが動作しない場合に備え、バックアップサーバを用意しておかなければならない。盛岡市では、大地震が発生した場合の庁舎内 LAN の障害を想定し、災害対策本部用に非常用 LAN を構築する体制をとっている。もし、庁舎内 LAN に障害が発生した場合は、共用空間データが格納されているデータ管理サーバやアプリケーションサーバなどを含め、本支援システムを対策本部用の LAN 上で構成できるよう、バックアップサーバを災害準備期に用意しておく必要がある。

## 5.2 システムの汎用性

本支援システムの汎用性は、次の3つに整理できる。1点目は、本システムを統合型 GIS に実装する場合の汎用性である。地方自治体における統合型 GIS の導入は、2004年度の調査によると、導入済みと整備中を合わせて、都道府県で32%、市町村で12%と進んできている<sup>24)</sup>。各自治体は、統合型 GIS を導入する際、総務省の統合型 GIS 指針を参考としている場合が多い。そのため、統合型 GIS のアーキテクチャは、特定のメーカーに依存することなく、汎用性が高い。また、共用空間データも、仕様が公開されており、依存性が低い。このことから、統合型 GIS を構築している自治体では、本システムの基本地図を統合型 GIS の基本地図で置き換えることができる。

2点目は、本システムに組み込んだ地盤応答震度推定法の汎用性である。この推定法は、他の市町村域においても適用できる可能性がある。それは、K-NETの地震観測点（基準点）が設置されている地盤と異なる地盤構造の区域であったとしても、その異なる区域ごとに、新基準点 NBase を設定するためである。しかし、2つの留意点がある。まず、適用する地域の地盤構造モデルを推定できる資料が存在しなければならない。3.2節でも述べたように、NBaseの地震動は、SHAKEを用いた応答計算で求めている。SHAKEは、計算する地点の各地層の密度やS波速度といった物理定数を用いるため、それらのデータの測定値または推定値が必要である。盛岡市域では、地盤構造の推定に関する調査・研究がすでに行われており<sup>15)</sup>、SHAKEを適用できる地点が複数あった。次に、その地域に地震観測点が1カ所以上あることと常時微動の多点観測が行われていなければならない。実地震動とH/Vスペクトルのデータを得られない地域に、本システムを導入することは難しい。

3点目の汎用性は、地震以外の災害に対してである。本システムは、地震災害時の初動活動支援を目的としている。しかし、被害情報をGIS上のユーザインタフェースに表示することで、被害情報を視覚的に表現し、情報共有を容易にする機能は、他の災害時でも有効である。たとえば、年に数回発生する可能性がある風水害においては、その有効性を十分発揮できると考えられる。特に、水害時は、避難指示や避難勧告を発令する範囲が、時間とともに変化するため、紙の地図に書き込むより、GIS上に表示するほうが時間変化に対応しやすく、より効率的であろう。

## 5.3 初動活動支援システムに関する先行研究との比較

地方自治体の初動活動支援システムは、これまで様々なデザイン視点で開発が行われてきた。代表的なものとしては、災害発生時でも確実に稼動するリスク対応型情報システム概念 RARMIS<sup>25)</sup>があり、この概念を実現する情報システムの研究が行われてきた<sup>26)</sup>。さらに、RARMISの概念をより具現化し、自治体における地震防災情報システムが持つべき情報処理体系とシステム要件が明らかにされ<sup>7)</sup>、実際の自治体現場で地震被害予測システムが稼動している<sup>27)</sup>。また、従来は防災機関それぞれが独自にシステムを導入してきたが、複数の防災機関の連携を重視した支援システムも研究されている<sup>28)</sup>。

筆者らのシステムにおける新規性は、地盤応答震度推定法をシステムに組み込むことにより、細密度な計測震度分布を安価な費用で推定できる情報処理手順を提案したことである。また、本システムの有用性は、財政規模の小さな地方自治体でも、安価なシステム構築費用と比較的小さな管理労力で、災害対策本部の初動活動支援に一定の効果があるシステムを導入できることである。

初動活動支援システムの望ましいシステムアーキテクチャとしては、山田ら<sup>7)</sup>や福山ら<sup>27)</sup>が提案する防災情報システムのような、都道府県を中心として各市町村と共同でリスク対応型システムを構築し、防災情報センタと情報連携するようなアプローチをとるのが理想的であろう。しかし、現状では、県と市町村が連携して防災システムを整備する環境を整えるには、政策的に難しい面もあり、ただちに理想的な情報システムを展開するのは困難である。そこで、過渡的な方法として、社会情勢や経済情勢などが整うまで、全国に普及し始めた統合型GIS上に支援システムを構築して、当面の大規模災害に備えるという我々のアプローチも、1つの在り方と考えられる。

## 6. おわりに

地震観測の全国ネットワークである K-NET の実地震波データと地盤の振動特性指標の 1 つである常時微動 H/V スペクトル比を用いて、地盤構造が異なる地域の詳細な計測震度分布を地震発生後短時間で求める地盤応答震度推定法を組み込んだ地震災害時における初動活動支援システムを提案した。

岩手県盛岡市を対象として、災害対策本部における初動活動の現状と課題を調査した結果、住民からの被害情報をもとに応急対応活動を開始するため全体の被害状況の把握に時間を要するという問題や、災害対策本部にコンピュータシステムが導入されておらず被災位置の把握や被害情報の集約に正確性を欠く恐れがあるなどの課題が明らかになった。

そこで、これらの課題を解決することを目的として、次の 2 点を特徴とするシステムをデザインした。1 点目は、地盤応答震度推定法を組み込むことにより、高密度計測震度分布を安価な費用で推定する情報処理手順を設計したことである。この設計により、財政規模があまり大きくない地方自治体においても、システムを導入しやすい。また、被害発生箇所を推測できる可能性があることから、積極的な初動活動を展開できる。2 点目は、住民から通報があった被害情報や初動活動の進捗状況を表示する GIS 上のユーザインタフェースをデザインしたことである。このデザインにより、対策本部内での情報共有を効率的に行うことができる。

推定法の妥当性を評価した結果、推定計測震度が大きい地域とアンケート震度の大きい地域の一致度合いは 6 割弱で精度が良いとはいえないが、応急対応期に必要なとされる被害発生予想地域の大まかな把握をできる可能性があることが分かった。また、想定利用者である盛岡市総務部消防防災課および盛岡広域消防本部の職員によるシステム評価の結果は、実装機能の有効性が 5 段階評価で平均 4.2 となり比較的良好であったが、視認性については平均 3.6 となり、今後、改善すべき課題が明確になった。

実際の地方自治体で本システムを導入する場合を想定し、盛岡市の統合型 GIS を例に、その効果と留意点を考察した。統合型 GIS 上に実装した場合、災害対策本部が把握した被災情報を他部署と共有することができ、迅速な災害対応が可能となる。しかし、庁内のコンピュータネットワークの障害を想定し、それに対応した方策を災害準備期に整えておく必要がある。

本研究における今後の課題は、次の 3 点に集約される。第 1 に、地方自治体の初動活動支援システムとし

て本システムを導入する場合の課題は、計測震度の推定精度を向上させることである。そのためには、地盤構造モデルを見直し、さらに詳細化した地盤区域ごとに新基準点を設定することで、精度の向上を図ることが可能であろう。また、今回の評価に用いた実地震波データは、三陸南地震のみであったことから、今後、複数のデータによるシミュレーションを行い、推定法の評価を重ねていきたい。

第 2 に、本システムを実運用する場合の課題は、K-NET から地震データを取り込むインタフェース部や地盤応答震度推定法による計測震度推定計算部を自動化することである。そして、本システムを統合型 GIS 環境に実装し、ユーザインタフェース部を改良しながら、地方自治体の防災訓練などで運用試験と評価を行うことで実用性を高めていく必要がある。また、通信回線の不通などにより、実地震動データを入手できない場合の対応策として、庁舎内からインターネットに接続するための外部専用回線を二重化し、冗長性を持たせる工夫を検討したい。

第 3 の課題は、システムの機能に関することである。計測震度分布を推定する機能に加え、建物被害や人的被害も推定できる機能を追加することが重要である。これらの被害推定には、市町村が保有する建物台帳や丁丁目別人口台帳のデータベース化が欠かせない。しかし、そのためには相当の費用と時間を要するため、本システムの機能として実装することは見送らざるをえなかった。また、重複した被災情報のチェック機能や位置を特定できない被害情報を処理する機能などについても、実装方法を検討したい。さらに、報道機関だけでなく上位機関への報告業務を支援する機能なども含めて、必要な機能のニーズ調査を進めて、地方自治体の限られた災害対応能力を最大限に発揮できるような支援システムを目指していきたい。

謝辞 本研究は、岩手県学術研究振興財団研究費補助金および岩手県立大学「環境研究」全学プロジェクトの助成を受けて行ったものである。

実地震のデータとして、防災科学技術研究所が運営する全国強震観測ネットワーク K-NET のデータを使用させていただいた。また、ヒヤリング調査やシステム評価にご協力いただいた盛岡市総務部消防防災課および盛岡広域消防本部の職員の方々に深謝する。

## 参 考 文 献

- 1) 山崎文雄：リアルタイム地震防災システムの現状と展望，土木学会論文集，Vol.557/I-41，pp.1-16 (1997)。

- 2) 気象庁：気象統計情報（震度観測体制について）.  
<http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/leaflet/shindo/index1-3.html>
- 3) 阿部 進, 鈴木 誠：横浜市リアルタイム地震防災システムについて，第2回リアルタイム地震防災シンポジウム論文集，pp.11-18 (2000).
- 4) 防災科学技術研究所：全国強震観測ネットワーク．<http://www.k-net.bosai.go.jp/k-net/>
- 5) 仲谷善雄：大規模災害に対する減災情報システム（前編），情報処理，Vol.45, No.11, pp.1164-1174 (2004).
- 6) 盛岡市防災会議：盛岡市地域防災計画（震災対策編），p.222 (2003).
- 7) 山田博幸, 古戸 孝, 浦山利博, 角本 繁：自治体の地震防災に貢献する防災情報システムの構築に関する研究，地域安全学会論文集，No.6, pp.67-74 (2004).
- 8) 畑山満則, 松野文俊, 角本 繁, 亀田弘行：時空間地理情報システム DiMSIS の開発，GIS — 理論と応用，Vol.7, No.2, pp.25-33 (1999).
- 9) Haskell, N.A.: The dispersion of surface waves on multilayered media, *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol.43, pp.17-34 (1953).
- 10) 兵庫県災害対策局防災技術課：兵庫県災害対応総合情報ネットワークシステム—フェニックス防災システム，パンフレット．
- 11) 丸山喜久, 山崎文雄, 本村 均, 浜田達也：常時微動の H/V スペクトル比を用いた地震動推定法の提案，土木学会論文集，Vol.675/I-55, pp.261-272 (2001).
- 12) 齋田 淳, 松岡昌志, Shabestari, K.T., 山崎文雄：兵庫県内の強震観測点における地震記録と常時微動を用いた計測震度分布の推定，土木学会論文集，Vol.731/I-63, pp.1-10 (2003).
- 13) 深田秀実, 三田地道明, 高山 毅, 山本英和, 池田哲夫：常時微動データベースを用いた地震の細密度震度推定方法，地域安全学会梗概集，No.15, pp.1-4 (2004).
- 14) 翠川三郎, 藤本一雄, 村松郁栄：計測震度と旧気象庁震度および地震動強さの指標との関係，地域安全学会論文集，No.1, pp.51-56 (1999).
- 15) 山本英和, 吉田芳則, 小淵卓也, 齋藤徳美, 岩本鋼司：短周期微動のアレイ観測による盛岡市域の地下速度構造の推定，物理探査学会，Vol.50, No.2, pp.93-106 (1997).
- 16) 深田秀実, 三田地道明, 沖 暁嗣, 池田哲夫, 高山毅, 山本英和：常時微動 H/V スペクトル比を用いた細密度計測震度分布推定法の提案，地域安全学会梗概集，No.6, pp.93-96 (2005).
- 17) 三田地道明, 深田秀実, 泉田 淳, 池田哲夫, 高山毅, 山本英和：地震の細密度実震度予測システムの検討—操作機能及びユーザインタフェースの検討，第67回情報処理学会全国大会講演論文集，第4分冊，pp.511-512 (2005).
- 18) 沖 暁嗣, 深田秀実, 三田地道明, 池田哲夫, 高山毅：地震災害時における初動活動支援システムの検討，第68回情報処理学会全国大会講演論文集，第4分冊，pp.515-516 (2006).
- 19) 山本英和, 佐野 剛, 齋藤徳美, 齋藤裕輔, 佐々木俊之：アンケート調査による2003年5月26日宮城県沖の地震における盛岡市域の詳細震度分布，物理探査学会第112回（平成17年度春季）学術講演会講演論文集，pp.180-183 (2005).
- 20) 太田 裕, 後藤典俊, 大橋ひとみ：アンケートによる地震時の震度の推定，北海道大学工学部研究報告，Vol.92, pp.117-126 (1979).
- 21) 太田 裕, 小山真紀, 中川康一：アンケート震度算定法の改定—高震度領域，自然災害科学，Vol.16, pp.307-323 (1988).
- 22) 総務省自治行政局地域情報政策室：統合型の地理情報システムに関する指針．  
<http://www.gisportal.jp/tgis/report.html>
- 23) 特定非営利活動法人国土空間データ基盤推進協議会：統合型 GIS ポータル(統合型 GIS 事例集)．  
<http://www.gisportal.jp/cgi-bin/jirei.cgi>
- 24) 統合型 GIS ポータル(自治体の導入状況)．  
[http://www.gisportal.jp/case/lo\\_case/h16.html](http://www.gisportal.jp/case/lo_case/h16.html)
- 25) Hatayama, M., Matsuno, F., Kakumoto, S. and Kameda, H.: Development of Rescue Support System and its Application to Disaster Drill in Nagata Ward, Kobe City — For Realizing Risk-Adaptive Regional Management Spatial Information System (2), *Proc. GIS'99 Conference*, pp.175-178 (1999).
- 26) 畑山満則：阪神淡路大震災の経験を基にしたリスク対応型地域空間情報システムの開発，情報処理学会研究報告 2003-IS-86, pp.15-22 (2003).
- 27) 福山 薫, 川口 淳, 中島美由紀, 増田真吉, 田中貞朗, 大辻勝一, 須藤敬一, 角本 繁, 山田博幸, 古戸 孝：三重県地震被害予測システム構築プロジェクト—中越地震における時空間情報システムを活用した自治体支援 (8)，地理情報システム学会講演論文集，Vol.14, pp.161-164 (2005).
- 28) 井上 明, 大滝裕一, 寺田守正, 佐野嘉紀, 奥田晋也, 白井由希子, 村西あい, 竹内一浩, 中村喜輝, 永井智子, 金田重郎：ウェブを活用した災害初期対応システム，情報処理学会研究報告 2006-IS-95, pp.123-127 (2006).

(平成18年5月18日受付)

(平成18年12月7日採録)



深田 秀実 (学生会員)

1965年生。1990年岩手大学大学院工学研究科修士課程修了。同年建設省(現国土交通省)入省。同省土木研究所(現国土技術政策総合研究所)等を経て、1993年盛岡市役所採用。2004年より総務部情報企画室。この間、1999年岩手大学大学院人文社会科学部研究科修士課程社会科学専攻環境情報論コース修了。2003年より在職のまま岩手県立大学大学院ソフトウェア情報学研究科博士後期課程に入学、現在に至る。防災情報システム、地理情報システムに興味を持つ。地理情報システム学会会員。



三田地道明

1981年生。2005年岩手県立大学ソフトウェア情報学部卒業。現在、有限会社ホロニック・システムズに勤務。在学中は、地震の細密度計測震度推定システムの研究に従事。



沖 暁嗣 (学生会員)

1983年生。2006年岩手県立大学ソフトウェア情報学部卒業。現在、岩手県立大学大学院ソフトウェア情報学研究科博士前期課程1年。地理情報システムの研究に従事。



池田 哲夫 (正会員)

1956年生。1979年東京大学理学部情報科学科卒業。1981年東京大学大学院理学系研究科情報科学専攻修士課程修了。同年日本電信電話公社(現NTT)電気通信研究所入所。2002年10月より岩手県立大学教授。2006年8月より静岡県立大学教授。専門は、データベース工学、情報検索、地域情報システム等。博士(工学)(東京大学)。ACM, IEEE CS 各会員。



高山 毅 (正会員)

1966年生。1995年筑波大学大学院博士課程工学研究科電子・情報工学専攻修了。博士(工学)。同年広島市立大学情報科学部情報工学科助手。1998年岩手県立大学ソフトウェア情報学部講師。2002年岩手県立大学ソフトウェア情報学部助教授、現在に至る。データベース応用システムに関する研究に従事。電子情報通信学会, 日本データベース学会, 人工知能学会, ACM, IEEE Computer Society 各会員。



山本 英和

1967年生。1989年東北大学理学部天文および地球物理学科第2卒業。1991年同大学大学院理学研究科博士前期課程地球物理学専攻修了。1993年同大学院博士後期課程退学。同年岩手大学工学部助手。2003年同大学助教授。現在に至る。博士(理学)。専門は、地球物理学、地震防災工学等。物理探査学会, 地震学会, 自然災害学会各会員。



阿部 昭博 (正会員)

1962年生。1985年図書館情報大学図書館情報学部卒業。同年(株)富士通東北システムエンジニアリング。1988~1998年松下電器産業(株)東京情報システム研究所。その間、1996年筑波大学大学院経営システム科学専攻修士課程修了。1998年東京大学大学院総合文化研究科博士課程中退。同年岩手県立大学ソフトウェア情報学部講師。同助教授を経て、2006年同教授。博士(学術)。情報システムの分析・設計, 地域コミュニティの情報化, 地理情報システムの研究に従事。日本社会情報学会, 地理情報システム学会, ACM 各会員。