

高密度地震観測網を用いた即時災害予測システムの吉野川市における実証実験と全体計画

中田 成智¹・三上 卓²

¹正会員 徳島大学准教授 大学院社会産業理工学研究部 (〒770-8506 徳島市南常三島町 2-1)

E-mail: nnakata@tokushima-u.ac.jp

²正会員 (株)エイト日本技術開発 災害リスク研究センター (〒164-8601 東京都中野本町 5-33-11)

(徳島大学環境防災研究センター客員准教授)

E-mail: mikami-ta@ej-hds.co.jp

近年、自治体や民間企業の多くで BCP（業務／事業継続計画）が策定されているが、BCP の重要項目である初動対応には「被災状況の確認」が規定されており、地震発生後、防災拠点や所有建物の被災状況（建屋の損傷、什器の損傷等）の確認作業が行われることになっている。確認作業は担当者の目視等とされているが、現地までの移動、暗闇での確認、連絡手段の使用不可も想定される。東日本大震災では、地震発生後約 30 時間に渡って大津波警報が発令されており、熊本地震では深夜に発生した上に、主要道路に道路閉塞が生じている箇所もあった。2016 年熊本地震では、4 月 14 日 21 時 26 分に M6.5、4 月 16 日 1 時 25 分に本震とされる M7.3 が発生し、夜間・深夜の地震発生ということもあり、被害の把握に時間を要していた。

次世代災害情報システムは、計測、計算、予測を元に収集・生成した広域災害情報をリアルタイムに地図上で配信するシステムであり、災害対応において必要不可欠な情報源となるものである。本稿では、そのシステムの中で、高密度地震観測網による地震観測・広域地震応答解析・地図上での被害予測の可視化で構成される「高密度地震観測網を用いた即時災害予測システム」について報告を行う。

Key Words: Raspberry Shake, cloud system, facility damage judgement, MySQL

1. はじめに

近年、2011 年東北地方太平洋沖地震（東日本大震災）、平成 28 年熊本地震、2018 年大阪北部地震、平成 30 年北海道胆振東部地震等の地震による災害が数多く発生している。近年は自治体や民間企業の多くで BCP（業務／事業継続計画）が策定されており、発災時の操業率の低下の縮小（減災対策）や復旧期間の縮小（初動・復旧対策）等が図ることを目指している。特に地方自治体においては、地震発生直後の初動対応として、防災拠点等の建物被害や道路被害に関する確認作業が規定されており、その被害状況に基づいてその後の災害対応の方針や人員配置等が決定される。

著者らは、被害状況確認から災害対応決定までの期間、すなわち、BCP における復旧期間の縮小に着目し、BCP の重要項目である初動対応の第一歩である「被災状況の確認」に資する次世代災害情報システムの構築を目指しており、その第一段階として、高密度地震観測網による

地震観測および広域地震応答解析、地図上での被害予測の可視化で構成される、「高密度地震観測網を用いた即時災害予測システム」の構築を行い、地震発生後 1 時間程度で被害状況の把握を目指している。

本稿では、高密度地震観測網を用いた即時災害予測システムの全体計画を示すとともに、徳島県吉野川市における実証実験について紹介する。

2. 次世代災害情報システム

(1) 次世代災害情報システムの概要

本システムは、前述したように、地震や豪雨、洪水等の災害において、計測、計算、予測を元に収集・生成した広域災害情報をリアルタイムに地図上で配信するシステムであり、広域に及ぶ災害状況を一目でわかる情報として発信することを目的としている。発信する情報としては、地震動・震度分布、建物被害、液状化地域、道路

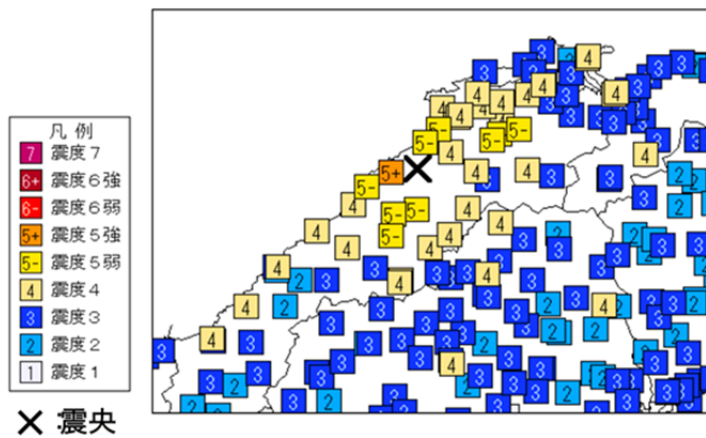


図-1 2018年島根県西部地震の震度分布例（気象庁）



図-2 強震計(地震調査研究推進本部調べ)

閉塞、津波予測、浸水予測、救助活動状況・安否確認、避難所・病院の状況、食糧・生活物資の備蓄状況、気象予測などをターゲットとしている。本システムで発信する情報は、BCPを運用する地方自治体はもちろんのこと、地域住民にもリアルタイムで発信することを重要視しており、自治体の迅速な復旧活動だけでなく、地域住民の安全・安心にも役立つシステムである。本システムは、東京や大阪のような大都市よりも、地方都市のように広域で市街地や山間部、河川部等の様々な形態の地形等を有し、自治体職員数が十分でなく、発災後の情報収集が困難である都市に極めて有効である。

(2) 高密度地震観測網を用いた即時災害予測システム

本稿では、次世代災害情報システムの中で、地震発生時における地震観測・広域地震応答解析・被害推定可視化で構成される「高密度地震観測網を用いた即時災害予測システム」について紹介する。

a) 高密度地震観測網による地震観測

現在、日本全国の地震動観測網が構築されているが、日本全国で3,000ヶ所が設置されており、主に防災科研や気象庁、大学が管理運用している。これにより、日本全国の震度分布が図-1のように把握することはできるが、今回の実証実験の自治体である徳島県吉野川市には、図-2のように気象庁の観測地が1ヶ所のみであり、地域防災の観点からは十分とは言えず、直下型地震が起きた場合に、甚大な被害がでる地域がこの計測からは特定困難である。

計測による地震時の災害情報収集能力を高めるには、地域特化型の高密度地震観測網が必要であり、本システムでは、地震観測のための簡易地震計として、Raspberry Shake 4D¹⁾を用いている(図-3)。Raspberry Shakeは、既存の地震計に比べ安価であるが高性能を有しており、専用の受振器(Geophone)を使い、半径30km以内のマグニチュード2以上、100km以内のマグニチュード4以上の揺れを捉えることができる。本システムで使用する



図-3 Raspberry Shake 4D¹⁾

Raspberry Shake 4Dは、Geophoneに加えMEMS加速度センサー×3を追加した4chの入力で測定範囲を広げるとともに、揺れを3次元で計測することができるようになっており、計測精度についても、数千ドルの地震計に匹敵するとされている。計測したデータはパソコンのブラウザや端末で閲覧できるだけでなく、「Raspberry Shake Community」サーバーにも送信されるので、世界各地の観測データと比較し、地震の規模や震源を可視化することもできる。簡易地震計(Raspberry Shake 4D)の設置においては、電源の確保はもちろんのこと、停電に備えたバッテリーの設置を行う。

Raspberry Shake4Dのデータを収集、送信、保存するためのクラウドサーバを含めた通信ネットワークシステムは、月額基本料金のみで利用料が無料の徳島県とソフトバンクが提供する「とくしまIoTプラットフォーム」²⁾の利用が有効だと考えられる。しかし、本企画提案で用いる地震計(RS)は一台あたり4チャンネル(加速度水平2方向、鉛直1方向、速度鉛直1方向)を100Hz(1秒間に100回)で計測しており、このような大量のデータをリアルタイムでサーバに送信することは容易ではない。そこで、効率性の観点からとくしまIoTプラットフォームがRaspberry Shake 4Dのデータ通信に利用可能かどうか実証期間中に検証を行う。もし、現行のデータ形式ではデータ損失の可能性等、利用不可能だと判断される

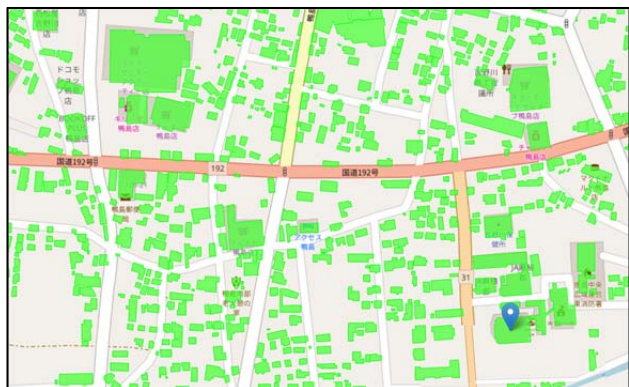


図-4 建物情報のデータベース化（吉野川市）

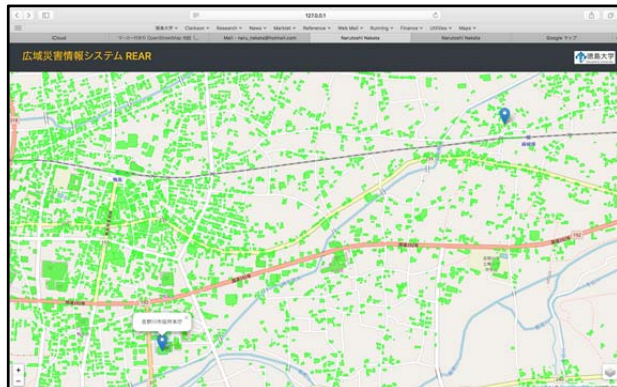


図-5 可視化地図サイト・アプリの一例（Leaflet）

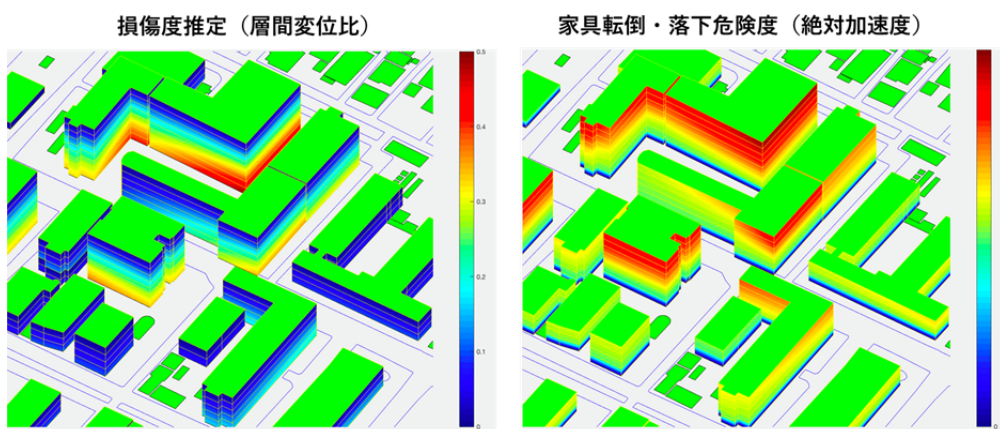


図-6 広域シミュレーションの可視化の一例

と、基本的データ処理プログラムを Raspberry Shake 4D 上の CPU で実行し、データ通信量を抑えかつ必要性能をみたすようにシステムの最適化に取り組む。このように、本企画提案で遂行する事業では、通信に関して要求性能の高い地震計を IoT プラットフォームに組み込むために、経済性、通信、データ処理の観点からの徹底的な効率化を図る。

b) 広域地震応答解析

本システムでは、a)に示したように、Raspberry Shake 4D を高密度で配置した地震観測網を構築し、計測地震動データを用いてリアルタイム地震応答解析を対象地域内全ての構造物（建物、橋等）に対して行う。詳細な計測、計算を行うことにより、構造物被害だけでなく液状化地域、道路閉塞など、これまでにない詳細な災害情報を力学的評価に基づく手法で推定し、広域被害の予測を行う。内閣府等での被害想定では、地域をメッシュ分割し、そのメッシュ内の被害確率を震度－設計基準－被害率の脆弱性曲線で行っているが、本システムでは建物各々の応答解析を行うことが特徴であり、災害後の復旧対応に極めて有効と言える。

広域地震応答解析には、地域内の建物情報のデータベース化が必須であるが、著者らは既に吉野川市の約 1.5 万件の建物情報を取得している。図-4 はデータベース

化した建物情報の可視化を示している。地震応答解析における解析モデルの構築には、画像処理・地図情報・計算幾何学を用いたモデル作成手法の確立を行っている。自治体の公共建物については、詳細な構造データ（設計図）は自治体の協力により入手することが容易だが、一般住宅の構造データは容易に入手できないことから、地図情報と画像処理による構造物 3 次元モデルの構築に取り組んでおり、さらに性能を向上させるために、

- ・画像解析による構造フレームの特定
- ・AIを用いた建物外観からの建築年代、設計図特定
- ・ディープラーニングを用いた築年数の推定システム

にも取り組んでいる。本システムにおける必要技術およびシステム性能を向上させるための技術として、

- ・地震観測網と補完技術による地点ごとの地震動特定
- ・地震動解析による液状化、及び地盤被害の特定
- ・データ同化を用いたリアルタイム地震動予測
- ・地震応答解析による建物の損傷度合い、残存耐力特定
- ・破壊を考慮した家屋倒壊による道路閉塞推定
- ・衝突を考慮した建物密集地帯の地震被害予測

にも取り組む必要がある。

表-1 コンソーシアムの構成団体

団体名	役割
徳島大学	事業責任者・技術開発
吉野川市	協力自治体
株式会社 エイト日本技術開発	システム開発
株式会社 松島組	システム整備・管理
スタンシステム株式会社	通信・ネットワーク整備



図-7 吉野川市での実証実験における Raspberry Shake 4D の設置予定箇所（2018年9月現在）

c) 地図上での被害予測の可視化

本システムで重要となる被害予測の可視化については、MySQL によるデータベースから容易にできること、Google Maps API 等の特定のソフトウェアに特化しないことから、Leaflet³⁾に代表されるような Web 地図のための JavaScript を使用している（図-5）。被害予測を自治体等が把握することはもちろんのこと、地域住民も必要な部分を閲覧でき、容易に操作できることを重要視している。図-6に広域シミュレーションの可視化の一例を示す。

d) コンソーシアムの発足

本システムを構築する上で重要な点は、自治体の協力はもちろんのこと、様々な高度な技術が必要なこと、設置やメンテナンスが必要なことから、産学官連携によるプロジェクトとしてコンソーシアムを2018年7月に発足させた。本コンソーシアムは、次世代災害情報システムの構築とそれに伴う徳島県吉野川市での実装を目的としており、以下にコンソーシアムに参加している団体およびその役割を表-1示す。

3. 今後の展開

本システムに伴う今後の計画および展開について示す。

(1) 吉野川市での実装実験

2018年9月より、徳島県吉野川市において実装実験を開始する。本年度、簡易地震計（Raspberry Shake 4D）を設置する箇所を図-7に示す。今後、図-7に示す箇所以外にも、建物被害を把握する建物だけでなく、広域地震応答解析に必要な地盤の変状箇所等を中心に、Raspberry

Shake 4D の設置を検討している。

(2) システムの更なる展開

本システムの性能を高度化するためには、以下のような技術開発も視野に入れている。

- ・データ通信の最適化（Raspberry Shake 4Dによるデータ処理等）
- ・地震発生時の写真撮影機能の追加（Raspberry Shakeへのカメラ接続）
- ・橋梁データ（橋梁台帳）のGISへの組み込み
- ・データベース管理（Static Data, Dynamic Data, モデルデータ、解析データ等）
- ・地図データ、計測・観測データ、モデルデータ、解析データの互換性とプログラミング(python)
- ・可視化ツール開発（自治体からの助言を考慮）
- ・画像データと地震計データの同期

また、今回紹介した地震災害以外にも自治体等の地域で必要となる災害に対しても対応可能とするため、

- ・水位（圧力）センサーのシステムへの組み込み
- ・傾斜センサーのシステムへの組み込み
- ・風速計のシステムへの組み込み
- ・Twitter, 気象情報、交通情報などの他のソースの利用可能なデータの統合

への展開も準備を進めている。

4. まとめ

著者らは、災害発生時に速やかな被害状況の把握を目的とした、次世代災害情報システムの構築を目指している。その一部として、高密度地震観測網を用いた即時災害予測システムを紹介した。本システムは、

- ①高密度地震観測網による地震観測
- ②広域地震応答解析
- ③地図上での被害予測の可視化

で構成されており、2018年9月より、徳島県吉野川市で実証実験を開始する。実証実験を通して、本システムの高度化および更なる展開を実行することで、地方自治体等が災害発生後の広域被害を把握するツールとなり得ることを確認した。

謝辞

本研究における実証実験では、徳島県吉野川市役所に多大なるご協力を頂いております。厚く御礼申し上げます。

本研究は、公益財団法人阿波銀行学術文化振興財団の寄付金、徳島大学産学連携研究者育成支援事業、徳島大学－(株)松島組共同研究、徳島大学－(株)エイト日本技

参考文献

- 1) Raspberry Shake Website: <https://raspberrysake.org>
- 2) 徳島県：とくしま IoT プラットフォーム

AN OVERVIEW OF THE NEW-GENERATION DISASTER INFORMATION SYSTEM IN YOSHINOAWA:REGIONAL SEISMOGRAPHIC NETWORK AND SENSOR DEPLOYMENT

Narutoshi NAKATA and Taku MIKAMI

This paper introduces an ongoing project for the development of a next-generation disaster information system called NeDIS. The NeDIS provides rapid estimates of regional damage through measurements, data analytics, simulation, and visualization. It is intended to facilitate initial reaction in the disaster management and to reduce impact of natural disasters.

A consortium for an NeDIS is formed by an industry-government-academic group in July 2018. The aim of the consortium is to build an NeDIS for Yoshinogawa in Tokushima. The first task of the consortium is to create a dense seismographic network that captures local levels of ground motion and identifies areas of high-intensity shaking and extreme damage. Raspberry shakes, single-board computers with MEMs accelerometers and geophone, are adopted as seismometer in this project. A total of eight raspberry shakes will be installed in 2018. This paper gives an overview of the NeDIS, consortium, and the project status and plan.