

# 自治体震度計ネットワークを用いた リアルタイム震度評価の試み－鳥取県の事例－

香川 敬生<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 正会員 鳥取大学学術研究院工学系部門教授 工学部附属地域安全工学センター

(〒680-8552 鳥取市湖山町南 4-101)

E-mail: kagawa@tottori-u.ac.jp

緊急地震速報の高度化、高精度化のためには、観測点の密度を高くすることが解決方法のひとつである。その際、現状で最も高密度に配置されている自治体震度計の活用がひとつの候補となる。そこで、鳥取県震度観測ネットワークを対象に1秒パケットで最大加速度およびその時点の震度情報を配信できるようなシステム更新をおこなった。その情報を用いて PLUM 法に準じた手法を適用し、準リアルタイムに県内震度分布の推移を表示するシステムを構築した。2016年10月21日に発生した鳥取県中部の地震に直接対応することは出来なかったが、そのデータを用いたデモンストレーションを通じてシステムの有用性を検討した。気象庁の緊急地震速報に用いる地震計は鳥取県内に6点だが、現時点で1秒パケットを送信可能な鳥取県震度観測点は34点あり、よりきめ細かい面的震度分布を準リアルタイムで予測することができている。

**Key Words:** local government, seismic intensity meter, real time, PLUM method

## 1. はじめに

鳥取県が管理している34地点の自治体計測震度計に対して、現業に支障なくリアルタイム震度と最大加速度の1秒パケットをUDP送信するオプションを追加し、これを鳥取県情報ハイウェイを経由して鳥取大学において受信するシステムを構築した。この情報を活用して、鳥取県内の震度分布をリアルタイムに評価して表示するシステムの構築を試みた。震度分布の予測には緊急地震速報でも導入されている、震源推定を介さずに観測された揺れから揺れの分布を直接推定するPLUM法を用いた。自治体震度計ネットワークでは、場所によっては震度計設置間隔が5kmを切る地域もあり、リアルタイム震度分布の詳細な把握が期待される。2016年鳥取県中部の地震時にはまだシステムが完成していなかったが、観測記録から1秒パケットを再現して適用し、手法の有効性を確認するとともに、更なる改良を試みた。

## 2. 1秒パケットの送受信

自治体管理の震度計は地震直後の震度速報など防災目的に使用されているため、リアルタイム震度分布把握に

用いるための改良は現業に支障を来してはならない。このため、送信データは現地計算したリアルタイム震度（1秒前のデータまでの2秒間で評価）と水平および上下の最大加速度のみとし、これをUDP送信することとした。34地点からのデータは鳥取県情報ハイウェイを経由して鳥取大学で毎秒受信し、震度が0を超えた場合に時刻と観測点番号を付したファイルを生成する。受信側のシステムはLinux上に構築したが、安定して受信を続けている。

## 3. リアルタイム震度推定

システム上では上記の震度値ファイルを読み込んで図化するプログラムが稼働している。まずは、緊急地震速報でも用いられている PLUM (Propagation of Local Undamped Motion) 法<sup>1)</sup>の導入を試みた。送信データは残されていないが、現地地震計は問題なく稼働し、その後の余震でも安定してデータを送信している。PLUM法での震度推定を式(1)に示す。ここで、 $F_{0i}$ はサイト増幅、 $I(\mathbf{r}, t)$ は地点 $\mathbf{r}$ における時間 $t$ の計測震度であり、 $\mathbf{r}_i$ は震度観測点を示す。地震波伝播速度を $V_0$ とし、リード時間を $T$ とすると、震度を予測する点から $V_0T$ の距離範囲にある

震度観測点のみに時間遅れを考慮して伝播し得るうちの最大震度を、それぞれのサイト増幅を考慮して適用することになる。ここでは、 $V_0=4.0$  km/s とし、リード時間  $T=3$  秒としたため、震度伝播の最大適用距離は 12km となる。

$$I(\mathbf{r}, t) \approx \max_i \left( F_{oi} + I \left( \mathbf{r}_i, t - \frac{|\mathbf{r} - \mathbf{r}_i|}{V_0} \right) \right) \quad (1a)$$

$$|\mathbf{r} - \mathbf{r}_i| \leq V_0 T \quad (1b)$$

震度パケットを 1 秒遅れで受信し、処理に 1 秒を要するとしても、PLUM 法のリードタイムを 3 秒とすることで、ほぼリアルタイムあるいは 1 秒未来の震度分布を予測できることになる。

予測対象は鳥取県内の 1 km メッシュとし、観測点位置を含めて国土数値情報を用いたサイト増幅<sup>2,3,4</sup> (震度増分) の補正をおこなっている。サイト増幅については、鳥取県地震被害想定検討でより詳細なモデルが作成されており、震度観測点の地震記録を用いた評価もおこなっているため、それらを援用することにより精度向上を図ることが可能である。

#### 4. 2016 年鳥取県中部の地震への適用

図-1 に、リアルタイム予測に用いることの出来る震度観測点の分布を示す。図中に補足しているように、役場および支所に観測点が設置されているため、平野部に観測点が集積し、山間部などに観測点が少ない。加えて、鳥取市、米子市、倉吉市の主要市街および岩美町、智頭町の県端部に防災科学技術研究所の K-NET や気象庁震度計のデータを用いており、情報の空白域が生じている。また、隣接県 (兵庫、岡山、島根) の情報が活用できないことも補間上の課題になる。

次に、2016 年鳥取県中部の地震のデータを用いて評価した震度の最大値分布を図-2 に示す。地震発生時はまだ受信側のシステムが常時稼働しておらず、パケットデー

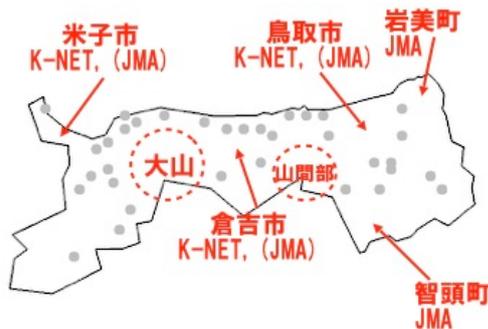


図-1 鳥取県管理の震度計の配置と課題

タは残されていない。以下の検討では、観測波形データからパケットデータを再現して用いている。地震は 2016 年 10 月 21 日 14:07:22.5 に発生し、緊急地震速報 z は 14:07:28.1 秒に第 1 報 (予報) が、14:07:36.4 秒に第 3 報として一般向けの警報が発表<sup>2)</sup>されており、図-2 はそれぞれの時間におけるスナップショットである。緊急地震速報に用いる気象庁の震度計は鳥取県内に 6 点あるが、大きな震度を観測した中部地域は山間部に 1 点のみで、震度の大きい日本海沿岸には設置されていない。これに対して、同地域に多くの観測点を有する鳥取県震度計ネッ

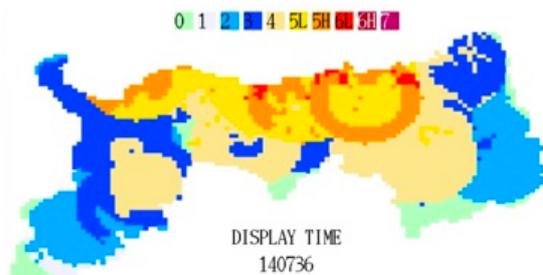
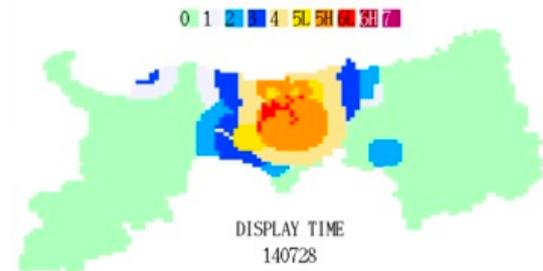


図-2 鳥取県震度ネットワークへの PLUM 法の適用事例 (2016 年鳥取県中部の地震、上 : 14:07:28, 下 : 14:07:36)

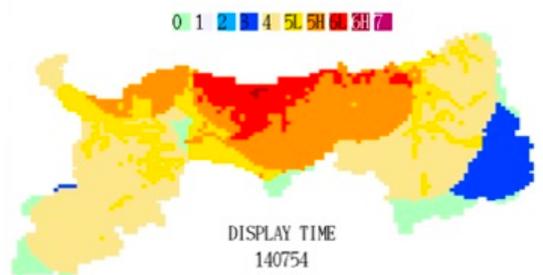


図-3 図-2 の最大震度分布

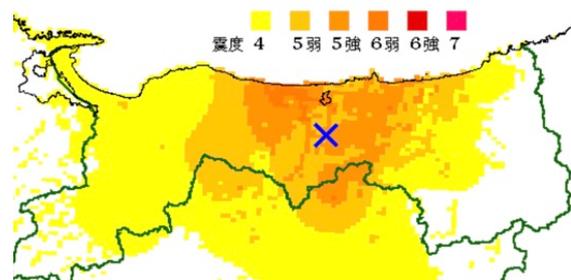


図-4 気象庁<sup>2)</sup>による推計震度分布

トワークを活用した場合は、第1報（予報）の段階で詳細な震度分布が表現され、また緊急地震速報よりも早く地震発生と震度分布の状況を把握することが出来る可能性がある。

図-3には、リアルタイム評価した震度最大値の分布を示す。また図-4は気象庁による推計震度分布図<sup>9)</sup>である。両者を比較すると、震度の大きい領域の分布形状は似ているものの、鳥取県震度ネットワークにPLUM法を適用した図-3がやや過大評価となっている。これは、観測点からの揺れが減衰せずに評価点に伝播すると仮定するPLUM法の特性上やむをえない点である。このほか、前述したように観測点密度に偏りがあることから、大山山麓や県境の山間部で震度を評価できていない地域がある。また、観測点が疎なために過小評価となっている可能性のある地区がある。図-2の状況を時間を追ってモニターすると、1秒毎に情報が更新となるため、伝播の滑らかさはないものの、概ね良好な時間予測が実現されている。ただし、観測点が疎な地域が存在することにより、これらの地域をまたいで飛び火のように震度が移動して行く現象が散見され、震度分布の逐次把握において何らかの工夫が求められる。

## 5. 課題と手法の改良

上記の課題に対応するため、PLUM法への減衰の導入を試みた。また、震度観測点のみではなく対象領域の全点の予測震度を次のステップでの震度伝播の二次震源とし、震度観測点では実際の観測震度で逐次補正することとした。具体的な予測法を式(2)に示す。

$$I(\mathbf{r}, t) \approx \max_k \left( F_{ok} + I \left( \mathbf{r}_k, t - \frac{|\mathbf{r} - \mathbf{r}_k|}{V_0} \right) - \alpha |\mathbf{r} - \mathbf{r}_k| \right) \quad (2a)$$

$$|\mathbf{r} - \mathbf{r}_k| \leq V_0 T \quad (2b)$$

式中の $\alpha$ が距離減衰を制御するパラメータであり、その他に式(1)と異なるのは、式(1)では震度観測点*i*のみで

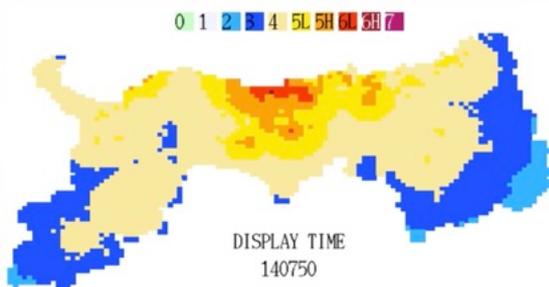


図-5 PLUM法に距離減衰を適用した最大震度分布

の最大値を取っていたが、式(2)では1kmメッシュの全点*k*を対象としている点である。なお、 $\alpha$ については試行錯誤の結果 $\alpha=0.1$ （最大適用距離の12kmで計測震度が1.2小さくなる）を用いることとした。

その結果、図-3に示した最大予測震度の分布は図-5ようになり、図-4の気象庁推計震度分布図<sup>9)</sup>とて比較しても概ね良好なレベルとなっており、過大評価が抑制されている。さらに、観測点が疎な領域にも揺れが伝播するため、評価されない地点は無くなり、過小評価の領域も間然されている。また、減衰を含んで揺れが伝播するため、1秒毎の更新ではあるが、時間毎の揺れの伝播もスムーズになっている。

## 6. おわりに

自治体震度計ネットワークによるリアルタイム震度分布評価の高度化を目指して、鳥取県震度観測ネットワークを対象に1秒パケットで震度情報を配信できるような更新をおこなった。のような機能を持つ自治体震度計は、現在のところ鳥取県が運用しているもののみであるが、今後の震度計更新時の仕様検討などで、より高度に標準化されることが望まれる。

受信した1秒パケットに緊急地震速報で併用されているPLUM法に準じた手法を適用し、リアルタイムに鳥取県内の震度分布をモニター表示するシステムを構築した。2016年鳥取県中部の地震のデータに適用したところ、良好な震度分布を提供することが示されたが、観測点配置の偏りなど課題も見られた。また現在は、鳥取大学において試運用をおこなっているのみだが、自治体の危機管理実務的での運用に向けて開発、実装を継続したいと考えている。

謝辞：本研究は、「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究」の一環として実施しました。また、鳥取県震度計の波形観測記録については、鳥取県より情報提供を受けています。記して感謝します。

## 参考文献

- 1) Hoshiya, M. and Aoki, S.: Real-time prediction of ground motion by Kirchhoff-Fresnel boundary integral equation method: extended front detection method for Earthquake Early Warning, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 118, 1038–1050, doi:10.1002/jgrb.50119, 2015.
- 2) 若松加寿江, 久保純子, 松岡昌志, 長谷川浩一, 杉浦正美: 日本の地形・地盤デジタルマップ, 東京大学出版会, 2005
- 3) 松岡昌志, 翠川三郎: 国土数値情報とサイスミックマイクロゾーニング, 第22回地盤震動シンポジウム, 日本建築学会, 1994.

- 4) Midorikawa, S., Matsuoka, M. and Sakugawa, K.: Site effects on strong motion records observed during the 1987 Chiba-Ken-Toho-Okai, Japan Earthquake, 9th Japan Earthquake Engineering Symposium, 1994.
- 5) 気象庁：緊急地震速報（警報）発表状況, [http://www.data.jma.go.jp/svd/eww/data/nc/pub\\_hist/index.html](http://www.data.jma.go.jp/svd/eww/data/nc/pub_hist/index.html) (2018.08.31 閲覧) .
- 6) 気象庁：過去の推計震度分布図, <http://www.data.jma.go.jp/svd/eww/data/suikai/event-list.html> (2018.08.31 閲覧)

(2018. 8.31 受付)

## AN APPROACH FOR MONITORING REAL TIME SEISMIC INTENSITY DISTRIBUTION USING SEISMIC INTENSITY NETWORK MAINTAINED BY LOCAL GOVERNMENT – CASE STUDY ON TOTTORI PREFECTURE –

Takao KAGAWA

An approach for monitoring real time seismic intensity distribution using seismic intensity network maintained by a local government is demonstrated. Dense observation network is desirable for upgrading accuracy and quality of Earthquake Early Warning System. Seismic intensity meters in Tottori prefecture are improved to broadcast packets with peak ground acceleration and JMA seismic intensity at every one second. The data are received at Tottori University and modified PLUM method is applied for estimating real time JMA seismic intensity distribution. Using the system, more detailed seismic intensity distribution than before is estimated, since we can use 34 seismic intensity meters in Tottori prefecture but only 6 observation sites in the area are used for usual earthquake early warning by JMA.