

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年5月31日現在

機関番号：15101

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22510190

研究課題名（和文） 緊急地震速報を援用した次世代型「三段階震度計」の試作と活用方法の検討

研究課題名（英文） Study on experimental production of three stage seismic intensity meter supported by earthquake early warning and its applications

研究代表者

香川 敬生（KAGAWA TAKAO）

鳥取大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：50450911

研究成果の概要（和文）：2007年10月より緊急地震速報が運用され、他にもP波センサーが機器の緊急停止に用いられ、計測震度計で得られた各地の震度が速報されている。しかし、これらは独立に設置・運用されており、有機的かつ総合的な活用には至っていない。そこで、市販の計測震度計に緊急地震速報受信およびP波センサーの機能を付加することでP波センサーによる推定震度、緊急地震速報を用いたその場所の予測震度、実際の揺れによる計測震度を出力する「三段階震度計」を試作し、その活用方法の検討をおこなった。

研究成果の概要（英文）：An experimental production of the three stage seismic intensity meter has conducted. The system consists of general JMA seismic intensity meter and EEW (Earthquake Early Warning) receiving terminal. It broadcasts three kinds of seismic intensities, seismic intensity estimated from observed P wave on site (P-wave sensor), seismic intensity estimated from source information broadcasted by EEW system, and observed seismic intensity at the site. Applicability of the system has also reviewed.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	2,800,000	840,000	3,640,000
2011年度	500,000	150,000	650,000
2012年度	500,000	150,000	650,000
総計	3,800,000	1,140,000	4,940,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学，自然災害科学

キーワード：地震災害，緊急地震速報

1. 研究開始当初の背景

2007年10月より、世界に先駆けて緊急地震速報が全国規模で一般公開され、公共放送での伝達や受信端末の普及が始まった。しかし、震源近傍では間に合わない、自分の現在居る地点に対応したきめ細かな情報が得られない、速報震度と実際の震度を比較できないなどの課題も指摘されつつあった。一方、緊急地震速報が間に合わない領域でも有効な手段として、大規模プラントやエレベーターなどに独自の地震計を設置し、P波初動を用い

た機器の制御（P波センサー）も行われていた。また、平成7年兵庫県南部地震以降は全国の自治体（旧市町村）に計測震度計が設置され、詳細な実測震度分布が得られるようになり、震度計設置地点のローカルな地盤増幅情報を検討する研究も活発に行われるようになって来た。しかし、これらの機器はそれぞれの目的で個別に設置されており、それぞれの機能を連携させて有機的かつ総合的に活用するには至っていなかった。

2. 研究の目的

(1) 三段階震度計の試作

P波センサー、緊急地震速報受信端末、計測震度計を融合してひとつのシステムを構築すれば、P波センサーと緊急地震速報を相補的に用いることで、緊急地震速報が間に合わない場合にも揺れの情報を得ることができ、緊急地震速報の誤報を検証することができる（第一、第二段階）。また、実際の揺れによる計測震度（第三段階）により予測の検証が可能となる。このようなシステムを「三段階震度計」と名付けた。そのイメージを図1に示す。

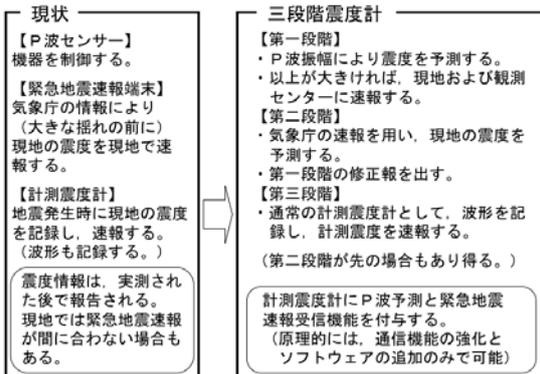


図1 三段階震度計のイメージ

本研究では、この「三段階震度計」の試作をおこなうことで社会にその実用価値を問うことを目的のひとつとした。

(2) 利活用の検討

緊急地震速報の一般公開以降、これを受信する端末などが市販されるとともに、本研究の研究機関を通じて携帯電話事業者もその配信をおこなうようになって来た。このような利用環境の推移を含め、「三段階震度計」が広く利活用されるための緊急地震速報を取り巻く社会情勢に関する検討をおこなうことをもうひとつの目的とした。

3. 研究の方法

(1) 三段階震度計の試作

研究開始段階では「三段階震度計」を実現している機器が無かったため、市販の計測震度計（気象庁認定済）で波形のリアルタイム出力が可能なものを選び、パソコンにデータを取り込んで所定の機能を実現することとした。本研究に向けた計測震度計内部の改良は研究協力者の小林が担当した。緊急地震速報の受信については、連携研究者の赤澤が管理運営している関西地震観測研究協議会で用いているノウハウの提供を受けた。以上をとりまとめたシステム試作を研究代表の香川が担当し、システム、特に地震計の検定を野口が担当した。

(2) 利活用の検討

緊急地震速報の配信に携わる北村を研究協力者として迎え、小林が計測震度計に「三段階震度計」を組み込む課題、赤澤が関西地震観測研究協議会の強震観測ネットワークのリアルタイム化を通じた知見について、研究打合せ（会合およびメール）で情報提供を受けるとともに意見交換をおこない、「三段階震度計」を社会で活用する利点と現状で克服すべき課題についてとりまとめた。

4. 研究成果

(1) 計測震度計の改良

計測震度値を公表するための震度計は気象庁の認定を受けている必要があるため、用いるセンサーは市販のものとした。また、外付けのパソコンで処理するための波形データをリアルタイムで出力できる仕様が必要となる。このため、東京測振製のネットワークセンサ CV-374A を選定した。図2にその概観を示す。



図2 ネットワークセンサ CV-374A

同震度計は、1秒毎に1秒間分の加速度波形データを出力する機能を有しているが、速報に用いるためにはより短い間隔が望ましい。そこで、これを0.5秒に改めた。

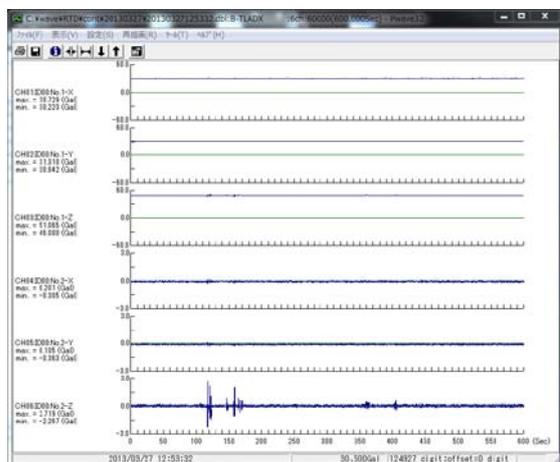


図3 CV-374A の出力波形例（上3段がオリジナルの3成分、下3段がオフセット補正後の3成分）

また、出力波形はオフセットを含んだ加速度波形であり（図 3 の上 3 段）、そのままの最大値は地動の最大値ではない。そこで、地震計側でオフセット補正をした上で波形（図 3 の下 3 段）をパケット出力する機能を追加した。結果として、0.5 秒毎に 6 チャンネルのデータを出力する仕様となった。

(2) 三段階震度計の試作

まず、図 1 に示した第一段階として、0.5 秒毎にネットワークに出力された波形から 3 成分最大振幅を読み取って P 波最大値 (PGA_P) とみなし、Kurahashi et al. (2009) による式 (1) から計測震度 (I_{MA}) を予測し、それが設定した閾値を超えると画面に警告を示す。

$$I_{MA} = 2.18 \log PGA_P + 0.77 \quad (1)$$

速報性の観点から、最大値を用いた簡便な評価とした。

第二段階として、常時最新の緊急地震速報を保持しているサーバーにノート PC からアクセスし、その更新をモニターしている。情報が更新されると、緊急地震速報を用いた震度評価法に従って、地震計設置位置における計測震度を予測し、S 波到達までの時間をカウント・ダウンする。このとき、設置地点の緯度経度、揺れ易さ (AVS30) などの情報を予め設定しておく（図 4）。図中最下段の設定項目は、設置環境によって緊急地震速報のみでの運用、緊急地震速報を用いない運用を可能とするものである。



図 4 システム設定画面例

第三段階として、実際に観測された地震動から気象庁認定の計測震度値を得る。この時点でシステムは一連の動作を終了し、待機状態に戻る。図 5 に、動作状況のイメージを示す（仮想地震）。各表示を参照することで、緊急地震速報受信前の対応開始や誤報対応など、様々な判断をおこなうことができる。図中 3 段目が緊急地震速報を用いた出力にあたり、予測震度 (5.2) と S 波到達予想時間 (2s) が表示されている。



図 5 システム運用画面例（地震発生）

以上の機能を組み込んだ試作システムを図 6 に示す。写真の左がネットワーク出力機能を持った計測震度計（東京測振製の CV374A）であり、中央が図 4, 5 に表示例を示した制御ソフトを実装したパソコン（ノート PC）である。計測震度計とノート PC は、右手前に置かれた無線ルーター（子機）を介して有線接続されている。なお、右奥の無線ルーター（親機）を介して緊急地震速報サーバーから情報を受信する。ソフトウェア開発には、Microsoft 社の Visual Basic を用いた。

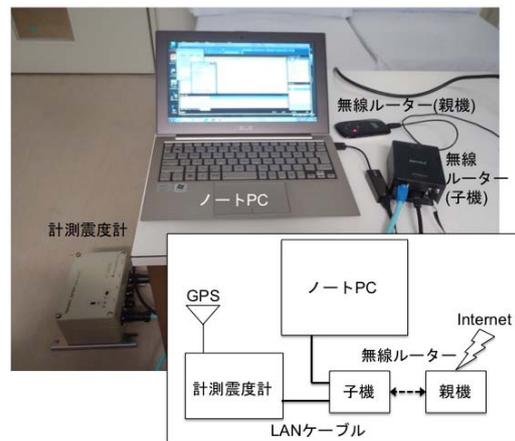


図 6 試作システムの構成

(3) 試作から見えた課題

試作したシステムでは、計測震度計と緊急地震速報というふたつのサーバーにアクセスする必要があるため、外付けのシステムが煩雑になっている。加えて、設置場所の環境に応じてネットワーク接続を構築する必要がある。今回の試作で外付けのノート PC で処理する方式とした部分を、全て計測震度計側に持たせることができれば、より簡便でシンプルなシステムを構築することができるものと期待されるが、地震計開発の制約から簡単な問題ではない

ことが分かった。市販の計測震度計は、消費電力や価格の関係から、シンプルなCPUでぎりぎりの処理をおこなっていることが普通であり、それに新たな処理を組み込むことが開発の障害になっているようである。実際、今回の外付けシステムは高速CPU (Intel Core i7) では問題無く動作するものの、廉価版 (Intel Atom) を用いたものでは安定動作しない。高速処理が可能なシステムを内蔵しても市場に出せることが、「三段階震度計」を一般化するための障壁であり、現状では試作したシステムのように外部に機能を持たせる方式を取らざるを得ない。P波センサーに、より精度の高い速度型地震計を用いることが期待されるが、ここでは負荷を考慮して加速度計を用いたシステム開発とした。

(4) 試作システムのデモ

試作した「三段階震度計」を、日本地震学会2012年秋季大会のポスター発表において展示・デモをおこなった(図7)。あわせて、加速度センサー、GPS、無線通信が内蔵されているスマートフォン (Apple社製のiPhone4) に実装したシステム(図8)でのデモもおこなった。



図7 日本地震学会2012年秋季大会でのデモ



図8 スマートフォンでの三段階震度計イメージ

このような「三段階震度計」のコンセプト発表(香川・小林, 2009)から試作までに時間を要し、携帯電話で緊急地震速報が得られる現状においては、目新しい印象を与えることができなかった。

(5) 緊急地震速報の活用状況の調査

①緊急地震速報の活用事例

緊急地震速報が一般向けに提供される以前からP波センサーを導入して工場ラインの緊急停止などに活用していた先駆的な企業が存在した。そのような中には、P波センサーと緊急地震速報を両方導入する企業も最近は増えている。また、両者の技術を取り入れた商品も既に市販されており、本研究のコンセプトに沿った実用化の動きが見られる。

(株)エイツの緊急地震速報受信機であるHomeSeismoや、ジェネシス(株)のガイアセンサーは、P波検知と緊急地震速報を組み合わせた速報を実現している。いずれも、実際の揺れによる予測の検証については注力しておらず、緊急地震速報が間に合わない場合のP波センサーとの有機的な利用が主目的となっている。

これら高度利用者向けの緊急地震速報(予報)を利用するもの以外にも、一般向けの緊急地震速報(警報)も研究当初と比べて生活に浸透している。携帯電話への普及は後述するが、例えば2013年4月13日に発生した淡路島付近の地震(M6.3)では、鳥取市の防災無線(屋外拡声子局)で揺れの前に緊急地震速報(警報)が流された。また、FM多重放送による緊急地震速報を受ける一般向けの廉価な機材も市販され、同手法を利用した飲料自動販売機での緊急地震速報表示もおこなわれている。

現在地での詳細な揺れの予測は期待できないものの、いつでもどこでも緊急地震速報の恩恵を受けられる時代になったと言える。このような背景もあってか、NTTコミュニケーションズが提供しているフレックスタイプの緊急地震速報(予報)配信サービスが2014年9月30日を持って終了する。

②携帯電話・スマートフォン

現在、全ての携帯電話事業者が携帯電話やスマートフォン向けに緊急地震速報の配信サービスをおこなうようになっている。これにより、電波利用局に基づく位置情報から現在地に応じた一般向けの緊急地震速報(警報)を受けることができるようになっており、研究開始当初から緊急地震速報の普及は大きく進展している。

また、スマートフォンを対象としたアプリ(図9)では、「日本地震速報Lite」(Ejing,

無償)が自分の居る場所以外で発生した地震の緊急地震速報を配信しており、「ゆれくるコール」(RC Solution Co., 無償)はそれに加えて現在地を東京では区域など比較的詳細に設定することで、高度利用者向け緊急地震速報(予報)から推定される緊急地震速報を伝達するものが公開されている。しかし、いずれもある区域の平均的な震度予測であり、自分の居る場所の地盤や建物応答を考慮したローカルな揺れには対応していない。このほか、「iShindo」(Worries, 有償)は内蔵加速度計のデータから計測震度相当値を算出し、「i地震」(白山工業, 無償)はそれに加えて波形記録の解析や専用サーバーでの波形共有ができる。



図9 スマートフォン向けの各種アプリ例
(左から、日本地震速報 Lite, ゆれくるコール, iShindo, i地震)

このように、図8に示したスマートフォン向けのコンセプトの一部を実現したアプリは既に一般化しているが、「三段階震度計」の全ての機能を実現したものは未だ無く、利活用を検討する余地はあると思われる。

③カーナビ

カーナビは画面表示機能を持つとともにGPSで現在位置を把握することができ、高速で移動する車両を迅速に停止して安全を確保するためにも、緊急地震速報への対応が有効な機器である。その情報受信はFM多重放送(VICS)を利用しており、インターネットには対応していないものが多い。このため、一般向け緊急地震速報(警報)を表示する機種(図10)はあるものの、高度利用者向けの緊急地震速報(予報)を活用するものは現状では市販されておらず、現在位置情報を利用できる端末の利点が十分に活かされていない。

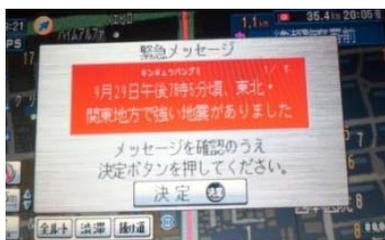


図10 カーナビの緊急地震速報表示例
(<http://manken-king.cocolog-nifty.com>)

しかし、カーナビもスマートフォンの専用アプリとして提供することも可能になってき

ており、スマートフォンをカーナビとして利用するのであれば、正確な現在位置情報を活用したものの開発も可能である。ただし、その表示方法、音声等については運転者を驚かさず、周囲の車のスムーズな運行・停止に寄与する提供方法の検討が必要となる。

④関西地震観測研究協議会の事例

関西地震観測研究協議会では高度利用者向けの緊急地震速報(予報)を会員にメール送信するサービスを、緊急地震速報の一般公開と同時に始めている。携帯電話向けには速報性を重視して諸元が安定する第4報を(図11)、一般PCには最終報と同時に全報のログを送信することが基本であるが、個々の会員がニーズに応じて配信タイミングを選べるようになっている。



図11 関西地震観測研究協議会の携帯電話メール

また、同協議会は強震観測点からのデータ回収のリアルタイム化を順次おこなっており、独自のデータを用いた地震発生の際時検知に向けた検討をおこなっている。

(6) 三段階震度計の利活用

「三段階震度計」では、緊急地震速報の間に合わない領域でもP波センサー機能により主要動到達前に予測震度を表示でき、緊急地震速報による予測震度との比較による双方の誤報検証も可能である。また、実際の揺れによる震度情報を得ることができるため、記録の蓄積と解析により補正值を求め、予測震度の高精度化を実現することも可能である。

このような機器を導入することで、1) P波センサー機能によって緊急地震速報が間に合わない領域にも対応でき、2) 主要動到達前に周知することができる、といった通常の計測震度計には無い機能を持つとともに、3) 予測震度を実測震度で校正し、緊急地震速報受信端末では疎かにされている事後情報をも得ることができる。

このような機材は、既存の震度計のように市町村役場を中心とした設置だけではなく、学校、集客施設、工場など地震時の即

時対応が望まれる場所に設置することが効果的である。特に、地震後の避難所として機能すべき小学校などに設置すれば、本震の震度や記録波形から施設の健全性を判断することができ、また余震の揺れを事前に知ることも可能となり、救援・復旧対応にも貢献できるものと期待される。今回の研究成果は、残念ながら 2011 年東北地方太平洋沖地震とそれに続く多くの余震、誘発地震に活用することができなかった。試作を超えた量産品を実現できるように研究を継続したい。

ただし、気象業務法では緊急地震速報（警報）は気象庁のみがおこなうものとされ、緊急地震速報（予報）をおこなうには気象庁長官の許可を受ける必要がある。このため、P波センサーを用いて地震発生を広く周知することが難しく、三段階震度計を既存地震計メーカーが開発する妨げのひとつとなっているようである。

(7) 今後の展望

緊急地震速報に関する研究期間における社会の動きは「三段階震度計」のコンセプトを指向しているものの、全てを実現できてはいない。その意味で十分に社会のニーズに合致したものであり、研究を継続する意義はあると考えている。

現在、茨城県八郷にある東京測振の地震計検定トンネルにセンサーを設置し、データ取得と解析はネットワークを介して鳥取で実施する実証試験をおこなうため、機器のオーバーホールをおこなっている。この試験運用を通して課題を抽出して整理し、さらなるシステムの高度化を目指す。

図 8 に示した iPhone 向けのアプリは、緊急地震速報受信に関西地震観測研究協議会のサーバーを用いており一般的ではないため、現状では公開をおこなっていない。本研究を通じてソフトバンクモバイルの担当者との協議をおこなうことができ、そのコンセプトには賛同頂けているので、事業者からの緊急地震速報を受信するなど一般化へ向けた進展と公開が期待される。

また、鳥取県の震度観測ネットワークのデータに鳥取大からアクセスできるようになったため、同ネットワークを用いたシステムの開発も企画している。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

- ① 香川敬生, 計測震度計と緊急地震速報を組み合わせた三段階震度計の試作, 土木学会論文集A1 (構造・地震工学), 査読有, Vol. 69, No4, 2013 (印刷中)

[学会発表] (計 7 件)

- ① 香川敬生, 計測震度計と緊急地震速報を組み合わせた三段階震度計の試作, 第 32 回地震工学研究発表会, 土木学会, 2012 年 10 月 27 日, 東京大学
- ② 香川敬生, 緊急地震速報を併用した三段階震度計の試作, 日本地震学会秋季大会, 2012 年 10 月 19 日, 函館市民体育館
- ③ Akazawa, T., Araki, M., Sawada, S., Hayashi, Y. and Horike, M.: Establishment of New Low-Cost and High-Resolution Real-Time Continuous Strong Motion Observation Network by CEORKA, 15th World Conf. Earthq. Eng., 2012 年 9 月 24 日~28 日, ボルトガル
- ④ 赤澤隆士, 関西地震観測研究協議会の強震観測網のリアルタイム化に向けた取り組み, 東京大学地震研究所研究集会「地震動の瞬時解析と直前予測」, 2011 年 9 月 9 日, 東京大学
- ⑤ 香川敬生, 緊急地震速報を援用し補足する三段階震度計, 東京大学地震研究所研究集会「地震動の瞬時解析と直前予測」, 2011 年 9 月 7 日, 東京大学
- ⑥ 赤澤隆士, 荒木正之, 関西地震観測研究協議会の強震観測システムのリアルタイム化, 東京大学地震研究所研究集会「揺れる直前の地震動予測:さらなる迅速化と精度の向上」, 2010 年 12 月 6 日, 東京大学
- ⑦ 香川敬生, 緊急地震速報を援用した「三段階震度計」, 東京大学地震研究所研究集会「揺れる直前の地震動予測:さらなる迅速化と精度の向上」, 2010 年 12 月 6 日, 東京大学

6. 研究組織

(1) 研究代表者

香川 敬生 (KAGAWA TAKAO)
鳥取大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号: 50450911

(2) 研究分担者

野口 竜也 (NOGUCHI TATSUYA)
鳥取大学・大学院工学研究科・助教
研究者番号: 20379655

(3) 連携研究者

赤澤 隆士 (AKAZAWA TAKASHI)
(一財)地域地盤環境研究所・主任研究員
研究者番号: 70450913

(4) 研究協力者

小林 明夫 (KOBAYASHI AKIO)
(株)東京測振・代表取締役社長
北村 正志 (KITAMURA TADASHI)
安全・安心サポート(株)・部長