

# 緊急地震速報の不確定性が地震動強度の推定精度に及ぼす影響

岐阜大学工学研究科 ○神谷 篤  
岐阜大学工学部 正会員 能島 暢呂

## 1. はじめに

プラント施設や鉄道では、地震時に危険物質の漏洩や人命の損失といった二次災害の発生が懸念されるため、施設や列車の緊急制御を行う必要がある。こうした即時対応の判断材料として、緊急地震速報の活用が有望視されている。これは、震源の近傍で検知された  $P$  波より震源情報 (マグニチュード、震源深さ、北緯、東経) を即時推定し、 $S$  波が到達する前の揺れを予測して警報を発するものである。しかしその即時性ゆえに、緊急地震速報によりもたらされる情報には大きな推定誤差が含まれることを考慮することが重要となる。

そこで本研究では、推定誤差が及ぼす影響に関する定量的評価を行い、緊急地震速報を活用した制御システムを構築する際の注意点について考察するものである。

## 2. 震源情報のばらつきを考慮した推定加速度の評価

### 2.1 震源情報の不確定性評価

中村ら<sup>1)</sup>は、プラント施設の緊急停止に利用される緊急地震速報の精度に関する検証を行った。その第一段階として、震源情報に含まれる不確定性を定量的に評価している。対象データは、気象庁より2006年1月25日～2月28日に配信された地震の内、マグニチュード3.5以上の45地震であり、情報のサンプル数を考慮して第2報目のものが用いられている。表1は、全45地震における震源情報の真値との差の平均値および正規分布で表された標準偏差である。

表1 震源情報の平均値と標準偏差

	マグニチュード	震源深さ (km)	緯度 (°)	経度 (°)
平均値	-0.0933	-7.78	0.00189	0.01420
標準偏差	0.3467	13.50	0.04282	0.10211

### 2.2 距離減衰式による震源特性の不確定性評価

中村ら<sup>1)</sup>は第二段階として、震源情報のばらつきを式(1)に示す加速度距離減衰式<sup>2)</sup>に適用することで、サイト基盤で推定される加速度のばらつきを評価した。

$$\log A = b - \log(R+c) - kR \quad (1)$$

$$b = aM + hD + \sum d_i S_i + e + \varepsilon$$

$$c = c_1 \times 10^{c_2 M}$$

ここで、 $A$  はサイト基盤での最大加速度、 $M$  はマグニチュード、 $D$  は震源深さ、 $R$  は震源距離、 $S_i$  は断層タイプ、 $\varepsilon$  は標準偏差、 $a, h, k, d_i, c_1, c_2, e$  は回帰係数である。この検討では、断層タイプを区別しないため  $S_i = 0$ 、距離減衰式のばらつきを考えないため  $\varepsilon = 0$

とされている。また、震源距離としては断層最短距離を採用し、表2に示す値を各係数としている。式(1)に震源情報として、マグニチュード7.0, 7.5, 8.0、震源深さ10~50km、震源距離は震源深さに応じて46~67kmを設定し、試行回数1000回のモンテカルロシミュレーションを行うことで加速度のばらつきを評価している。その結果については後述する。

表2 加速度距離減衰式の係数

$a$	$h$	$k$	$d_i$	$c_1$	$c_2$	$e$
0.5	0.0043	0.003	0	0.005	0.5	0.6

一方、本研究では、表1に表す震源情報のばらつきに基づいて、加速度推定値のばらつきを理論的に評価し、シミュレーションによる結果との比較を行う。震央の緯度経度の標準偏差は表1に示すように別々に評価されているが、本研究では震央距離  $\Delta$  のばらつきとして評価する。岐阜市を基準として換算した結果、震央距離の標準偏差は7.388kmとなった。

各変数 ( $M, D, \Delta$ ) を独立と仮定した場合、誤差伝搬の理論に基づいて加速度の分散は式(2)で与えられる。

$$\begin{aligned} \text{Var}(\log A) = & \sigma_M^2 \left\{ a - \frac{c}{R+c} \cdot c_2 \cdot \ln(10) \right\}^2 \\ & + \sigma_D^2 \left\{ h - \frac{D}{(R+c)R} \right\}^2 \\ & + \sigma_{\Delta'}^2 \left\{ \left( \frac{1}{R+c} + k \right) \frac{\Delta}{R} \right\}^2 \quad (2) \end{aligned}$$

$\sigma_M, \sigma_D, \sigma_{\Delta'}$  はそれぞれマグニチュード、震源深さ、震央距離の標準偏差である。式(2)にこれらの震源情報のばらつきを与えるとともに、マグニチュード、震源深さ、震央距離を種々変化させて  $\sigma_{\log A}$  の値を求めた。結果の一例を図1に示す。震源深さが浅く、マグニチュードが小さいほど標準偏差が大きく、震源深さ  $\cong$  震央距離において最も標準偏差が大きいという特徴が見られる。

図2は、シミュレーション解<sup>1)</sup>と理論解を比較したものである。震央距離を45kmに固定し、マグニチュードと震源深さを変化させて標準偏差を比較した。シミュレーション解ではばらつきを過大評価していることが確認できる。

## 3. 緊急地震速報による推定震度のばらつきの評価

気象庁では、緊急地震速報の情報提供の一環として、震度推定も行っている。「緊急地震速報の本運用開始に係る検討会」<sup>3)</sup>では、推定震度と観測震度を比較することによって推定精度を評価している。対象データは、2004

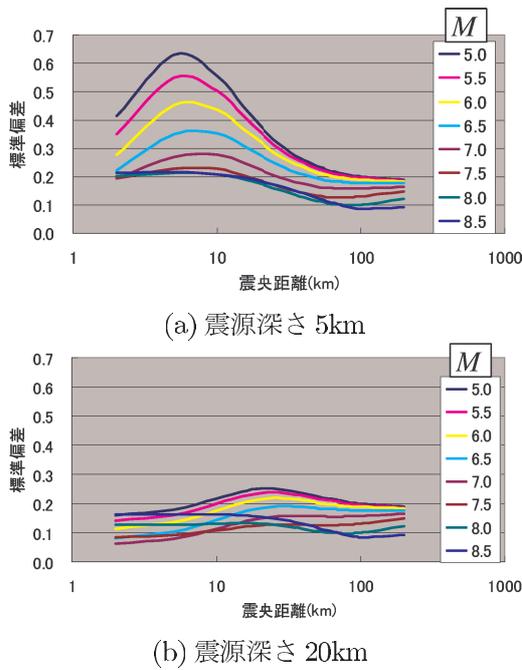


図1 log A の標準偏差  $\sigma_{\log A}$  の理論解

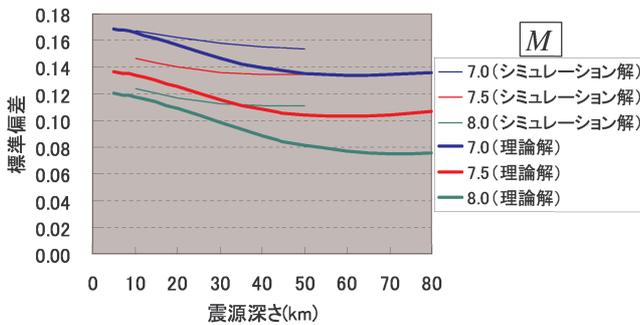


図2  $\sigma_{\log A}$  のシミュレーション解と理論解

年2月25日～2005年3月29日に関東から九州東岸で主に太平洋側で発生した地震と、2005年3月30日～2006年1月31日に前記に加え東北及び北海道地方で発生した地震の中で、震度4を超える計161地震である。

本研究では、この中から地域特性により過大な誤差を示した4地震を除去し、計157地震を対象として、推定震度のばらつきをベータ分布でモデル化した。この際、強弱の区別がなされていない震度4以下についても、便宜的に2つに区分した。震度4と推定された地

震に比べて震度5弱～6弱のものはサンプル数が少なく、震度6強と7に至ってはサンプルがない。そこでモデル化にあたっては、震度6強と7の平均値には震度4の平均値に震度の差分(2.25, 3)をプラスしたものをを用い、各推定震度の標準偏差には震度4のものを採用することで、ベータ分布のパラメータ  $p, q$  を算出した。また、震度の上下限値を推定震度プラス2.0およびマイナス3.5に設定した。ただし、下限値は0.75, 上限値は7.25までに限定した。表3と図3は設定条件と評価結果とまとめたものである。緊急地震速報による推定震度よりも観測震度の平均値が小さいことから、平均的には震度が大きく推定されているといえる。しかし、推定震度が過小評価となる場合もあることから、被害回避を重視する場合には安全側の行動ルールを定める必要がある。

表3 観測点震度の評価結果とベータ分布のパラメータ

	緊急地震速報により推定された震度					
	震度4	震度5弱	震度5強	震度6弱	震度6強	震度7
サンプル数	124	26	4	3	0	0
$\mu$	3.585	4.481	4.813	5.417	-	-
$\sigma$	0.753	0.624	0.527	1.247	-	-
$\mu$ (変更後)	3.585	4.481	4.813	5.417	5.835	6.585
$\sigma$ (変更後)	0.753	0.753	0.753	0.753	0.753	0.753
$p$ (変更後)	5.98	7.00	6.77	5.85	4.59	2.15
$q$ (変更後)	5.09	4.92	5.39	3.38	2.11	0.46
下限値	0.75	1.25	1.75	2.25	2.75	3.50
上限値	6.00	6.75	7.25	7.25	7.25	7.25

4. まとめ

震源情報の不確実性が距離減衰式に基づく地震動強度の推定精度に及ぼす影響について、定量的に明らかにした。さらに、緊急地震速報によりもたらされる震度情報のばらつきを定量的に評価し、ベータ分布でモデル化した。安全性と機能持続性のバランスを考慮したリアルタイム地震防災システムを構築する場合には、こうした不確実性の影響を取り入れることが重要である。

参考文献

- 1) 中村孝明, 高木政美, 志波由紀夫, 坂下克之: 緊急地震速報を利用したプラント施設の緊急停止に関する研究, 第12回日本地震工学シンポジウム, pp.1330-1333, 2006.
- 2) 司宏俊, 翠川三郎: 断層タイプ及び地盤条件を考慮した最大加速度・最大速度の距離減衰式, 日本建築学会構造系論文集, 第523号, pp.63-70, 1999.9.
- 3) 緊急地震速報の本運用開始に係る検討会: 「緊急地震速報の本運用開始に係る検討会」最終報告, 気象庁, 2007.3.

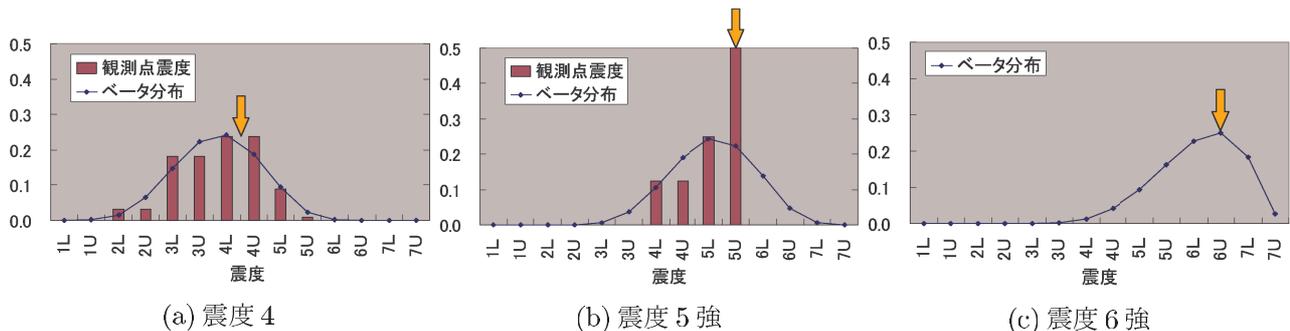


図3 各推定震度における観測点震度とベータ分布