

## I - B 279 距離減衰式に基づく断層位置推定および推定誤差の評価について

和歌山工業高等専門学校 正会員 辻原 治  
 和建技術株式会社 谷口亜希子  
 徳島大学工学 正会員 沢田 勉

## 1. はじめに

地震発生後、被害の程度を早期に把握する方法の一つとして、各地域の地震動の強さを推定することが考えられる。近年、気象庁から地震発生後比較的早く各地の震度が発表されるようになったが、少数の観測点における計測値から地域全体の様子を表すには限界がある。そこで、計器の設置されていない場所の地震動の強さを推定することが必要となる。

従来、マグニチュードと点震源の情報から地域の地震動強度の分布を推定する方法がよく用いられている。この方法では、断層の広がり度が考慮されていないため、特に震源域の地震動強度を評価しきれない。

本研究では、一歩進んで、地震発生後に断層を直線とみなして、その位置を簡単に同定し、その推定精度を評価する手法を提示した。それによって推定された震源情報を用いれば、より精度の高い地震動強度の分布の推定が可能になると考えられる。

## 2. 断層位置の同定問題の定式化

図-1に示すように、地震断層を直線で表すことができ、 $n$ 個の地点で最大加速度が得られているものとする。このとき、地震断層の同定問題を次式の最適化問題に置き換えることができる。

$$S(\alpha) = \sum_{i=1}^n \{\log A_i(\alpha) - \log A_i\}^2 \rightarrow \min \quad (1)$$

ここに、 $A_i$ は地点 $i$ における最大加速度記録である。また、 $A_i(\alpha)$ は距離減衰式から計算される最大加速度であり、本研究では Fukushima and Tanaka による距離減衰式<sup>1)</sup>を用いた。 $\alpha$ は未知変数を表し、この問題では断層端点の東経および北緯  $E_{01}$ ,  $N_{01}$ ,  $E_{02}$ ,  $N_{02}$ を未知変数とした。図-1の  $(E_i, N_i)$ と  $R_i$ は、それぞれ地震計設置点 $i$ の経緯度とそれより断層までの最短距離を表す。

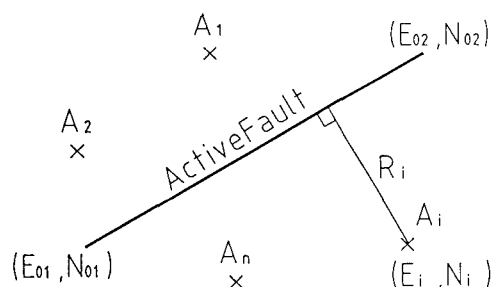


図-1 断層線と観測点の位置

## 3. 断層位置の推定精度の検討

未知変数の最確値の精度として、 $\alpha_j$ , ( $j=1, 2, 3, 4$ )の分散が次式で求められる<sup>2)</sup>。

$$\sigma_{\alpha_j}^2 = \sigma_0^2 N_{jj}^{-1} \quad (2)$$

ここに、 $\sigma_0^2$ は式(4)、 $N_{jj}^{-1}$ は式(4)の行列 $N$ の逆行列における主対角の $j$ 番目の係数を表す。

$$\sigma_0^2 = \frac{V^T V}{n-m} \quad (3)$$

$$N = A^T A \quad (4)$$

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1m} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nm} \end{bmatrix} \quad (5)$$

上式において、 $n$ ,  $m$ はそれぞれ、観測値の数、未知変数の数を表す。また、 $V$ は式(6)の残差ベクトルで、 $a_{ij}$ は式(7)で表される。

$$V^T = \{\log A_1(\alpha) - \log A_1, \log A_2(\alpha) - \log A_2, \cdots, \log A_n(\alpha) - \log A_n\} \quad (6)$$

キーワード； 断層位置，同定，推定誤差

連絡先； 〒644-0023 和歌山県御坊市名田町野島 77 TEL 0738(29)2301 FAX 0738(29)2574

$$a_{ij} = \partial \log A_i(\alpha) / \partial \alpha_j \quad (7)$$

#### 4. 数値計算結果および考察

まず、断層同定のシミュレーションについて述べる。図-2に仮定した断層と観測点の位置を示す。これを真の断層(M7.7、震源深さ 0km)として、観測点1～14の最大加速度を距離減衰式から計算し、観測記録の代わりに用いる。図-3に断層の収束状況を示す。10回程度の繰り返しで断層はほぼ真値に収束した。

つぎに、式(2)で表される未知変数 $\alpha_j$ の推定精度評価方法の妥当性をモンテカルロ法によって検討する。解析は次の手順で行った。前述のように、真の断層を仮定し、距離減衰式から観測点1～14の対数最大加速度を計算し、それを平均値とする標準偏差0.1の正規乱数をそれぞれ発生させる。そして、断層の初期値を与えて同定を行う。次に、同定された断層端点の経緯度より式(2)でその分散 $\sigma^2$ を求め、推定値の $\pm \sigma$ 、 $\pm 2\sigma$ 、 $\pm 3\sigma$ の範囲内にそれぞれの真値が存在するか否かを調べる。以上のことを1000回実施する。図-4はその一例で、太い実線が断層の真値、細い実線が推定断層であり、標準偏差の1～3倍の範囲を点線で囲んでいる。図-5に、1000組の推定された断層端点の経緯度をプロットしている。表-1は、計算結果をまとめたもので、断層端点の経緯度の真値がそれぞれ $\pm \sigma$ 、 $\pm 2\sigma$ 、 $\pm 3\sigma$ の範囲に存在する確率を表している。それらの数値は、標準正規分布において、 $\pm \sigma$ 、 $\pm 2\sigma$ 、 $\pm 3\sigma$ で囲まれる面積とほぼ対応する。このことから、最大加速度記録の対数値が距離減衰式のまわりで独立にばらついており、それを正規分布とみなすと、未知変数の推定値の精度は式(2)で評価できることがわかる。

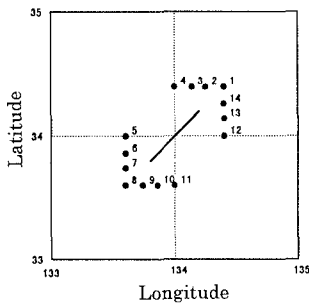


図-2 断層の真値および観測点(●)の位置

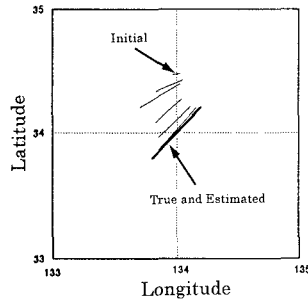


図-3 断層の収束状況

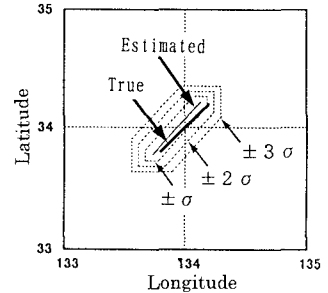


図-4 推定断層と精度評価の一例

表-1 標準偏差の倍数内に真値が存在する確率

| 断層端点     | 標準偏差         |               |               |
|----------|--------------|---------------|---------------|
|          | $\pm \sigma$ | $\pm 2\sigma$ | $\pm 3\sigma$ |
| $E_{01}$ | 0.647        | 0.941         | 0.995         |
| $N_{01}$ | 0.666        | 0.944         | 0.985         |
| $E_{02}$ | 0.647        | 0.923         | 0.993         |
| $N_{02}$ | 0.634        | 0.921         | 0.980         |

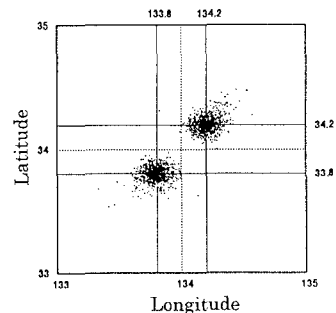


図-5 推定された断層端点のプロット

#### 参考文献

- 1) Y. Fukushima and T. Tanaka, A New Attenuation Relation for Peak Horizontal Acceleration of Strong Earthquake Ground Motion in Japan, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.80, pp.757-783, 1990.
- 2) 田島 稔・小牧 和雄：最小二乗法の理論とその応用〔改訂版〕，東洋書店，pp.165-180, 1996.