第Ⅰ部門　　最大地動を用いた断層位置推定と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

1．はじめに

地震発生直後に地震断層を推定することができれば，より精度の高い被害推定等に役立つ．本研究では，マグニチュードと地震計設置点での最大地動から距離減衰式に基づいて，逆解析により，断層を線として推定する方法と，推定誤差の評価法について述べる．

2．断層位置の同定問題の定式化

ここでは，次式で表される福島による距離減衰式を用いて断層の同定問題を定式化する．

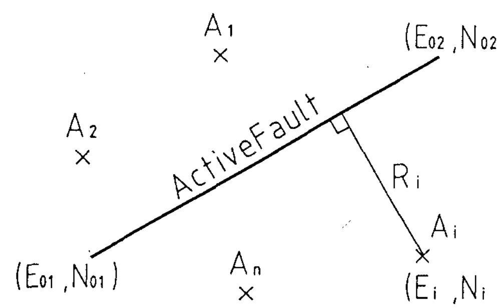
$$\log A_i = 0.51 \cdot M - \log(R_i + 0.006 \cdot 10^{0.51 \cdot M}) - 0.0033 R_i + 0.59 \qquad (1)$$

ここに，A_i, M, R_i はそれぞれ地点 i の最大加速度，気象庁マグニチュード，地点 i から断層面までの最短距離を表す．

いま，地震断層を直線で表すことができ，震源深さおよびマグニチュードがわかっているものとする．そして，図－1に示すように，n個の地点で最大加速度が得られているとき，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．

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

ここに，α 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} がそれに相当する．$A_i(\alpha)$ は，未知変数の関数として式(1)より計算される地震計設置点 i の最大加速度を表す．図－1の(E_i, N_i)は地震計設置点 i の経緯度である．式(2)を解くために，本研究では数理計画法の一つである改良SLP法[1]を適用する．



図－1　地震断層と観測点の位置

3．断層の推定精度の検討

未知変数の最確値の精度として，α_j, (j=1, 2, 3, 4)の分散が次式で求められる[2]．

$$\sigma_{\alpha_j}{}^2 = \sigma_0{}^2 N_{jj}{}^{-1} \qquad (3)$$

ここに，$\sigma_0{}^2$ は式(4)，$N_{jj}{}^{-1}$ は式(5)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．

$$\sigma_0{}^2 = \frac{V^T V}{n-m} \qquad (4)$$

$$N = A^T A \qquad (5)$$

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1m} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nm} \end{bmatrix} \qquad (6)$$

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(7)の残差ベクトルで，a_{ij} は式(8)で表される．

$$V^T = \{\log A_1(\alpha) - \log A_1, \log A_2(\alpha) - \log A_2, \cdots, \log A_n(\alpha) - \log A_n\} \qquad (7)$$

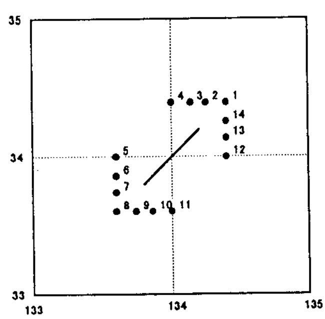
$$a_{ij} = \partial \log A_i(\alpha) / \partial \alpha_j \qquad (8)$$

Osamu TSUJIHARA

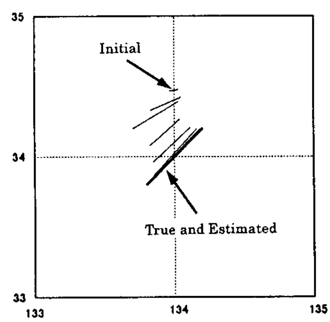
4．数値計算結果および考察

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．図の縦横の軸はそれぞれ北緯，東経である．図－3，4にそれぞれ断層の収束状況と繰り返し過程における最大加速度の残差の総和を示す．10 回程度の繰り返しで断層はほぼ真値に収束していることがわかる．

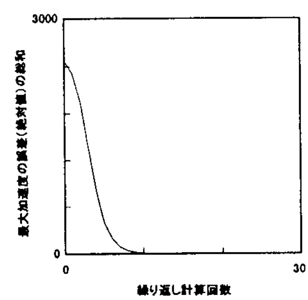
つぎに，式(3)で表される未知変数 α_j の推定精度評価方法の妥当性をモンテカルロ法によって検討する．解析は次の手順で行った．前述のように，真の断層を仮定し，距離減衰式から観測点 1～14 の対数最大加速度を計算し，それを平均値とする標準偏差 0.1 の正規乱数をそれぞれ発生させる．そして，断層の初期値を与えて同定を行う．次に，同定された断層端点の経緯度より式(3)でその分散を求め，$\pm\sigma$，$\pm 2\sigma$，$\pm 3\sigma$ の範囲内にそれぞれの真値が存在するか否かを調べる．以上のことを 1000 回実施する．図－5は，その一例で，太い実線が断層の真値，細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．表－1は，1000 組の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．それらの数値は正規分布のものとほぼ対応していることがわかる．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(3)で評価でき，得られたσは正規分布の標準偏差と同等の意味を持つことがわかる．



図－2　断層の真値および観測点(●)の位置



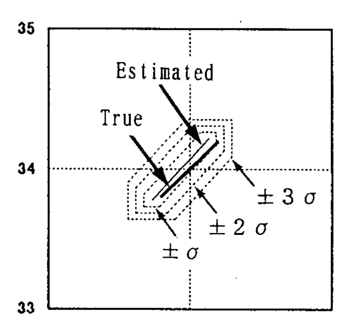
図－3　断層の収束状況



図－4　最大加速度の誤差の変化

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　推定断層と精度評価の一例

参考文献

1)沢田･辻原他，地盤のS波速度とQ値の同定問題におけるSLP法の改良とその適用，土木学会論文集，No.446 I-19,1992.
2)田島･小牧，最小二乗法の理論と応用，東洋書店，1996.