

(8) 震源過程のための強震計アレイ・レイアウト

東京大学地震研究所 正会員 ○飯田昌弘

〃 宮武 隆

〃 島崎邦彦

1. 目的

本研究の目的は、震源断層の破壊過程を精度よく決定するために、強震計アレイをどのように配置すればよいかを評価することである。強震計アレイで得られる理論地震記象に誤差を加えた地震波を使って、震源過程の波形インバージョンを行なったときの解析精度（インバージョン精度）によって、アレイの配置効果を評価する。我々はまずインバージョン精度を評価するための方法を開発し¹⁾、次にインバージョン精度と主な断層及びアレイパラメータの関係を求め、必要な強震計アレイ・レイアウトを評価する²⁾。さらに、典型的な断層に対して、強震計アレイの最適配置を調べる³⁾。

2. 方法¹⁾

我々は、実際に震源パラメータを決定するインバージョン手続きを実行することなく、震源パラメータの決定精度を評価するインバージョン・スキームを開発した。それは、統計的手法である Wolberg の予測解析法⁴⁾を使って、誤差の伝播に着目し、インバージョンのくり返し計算を行なうことなく誤差を評価するものである。

具体的には、以下の手順を踏む。①震源断層を分割し、各要素にすべり量と破壊時刻を仮定して変位波形を計算する。②いくつかのパラメータ及び波形に誤差を加える。③インバージョンによって、すべての要素の中で、すべり量と破壊時刻の誤差の標準偏差の最大のものを求める。そして、〔すべり量の誤差の標準偏差／すべり量〕の最大値を、インバージョン精度 σ と定義する。理由は、すべり量は破壊時刻に比較して誤差が大きいためである。ここでは、半無限媒質を考え、強震記録で最も優勢な far-field の S 波のみを考慮する。特定の構造を仮定すると、得られた結果がそれに依存するからである。また、一般的な結果を得るために、すべての変数を無次元化する。

3. 断層及びアレイパラメータとインバージョン精度の関係²⁾

strike-slip fault と dip-slip fault に対して、断層及びアレイパラメータの効果を調べる。検討される断層パラメータは、①断層要素数 N_e 、②aspect ratio (断層の幅／断層の長さ) ϕ 、③ dip angle δ 、④断層深さ h 、⑤破壊様式、である。アレイパラメータは、⑥観測点数 N_s 、⑦アレイ半径 R 、⑧方位カバー（扇形の中心角） ϕ 、⑨観測成分、である。また、offshore subduction thrust fault に対して、⑩断層中心から海岸線までの距離 ΔD 、⑪陸上観測区域の広がり、⑫陸上観測点数 N_s と海底観測点数 N_o の効果を検討する。⑧方位カバー及び⑩-⑫ offshore fault に関する項目、を除いた大部分のシミュレーションでは、図-1 のように配置した断層とアレイを使用した。

得られた最も代表的な結果は、strike-slip fault と dip-slip fault の区別なく $\sigma = a \cdot N_e^2 \cdot 10^b \delta / N_s$ (a, b : 定数) という関係がなりたつことである。この式の意味するところは、断層の詳細な破壊過程を推定するためには、きわめて多くの観測点が必要とされること、断層が垂直に立ってくるほど、その破壊過程が決定しにくいこと、である。次に、アレイ半径の効果を図-2 に示す。それによると、遠方の観測点が、dip-slip fault に対しては有効であることがわかる。さらに、図-3 は、陸上観測点数と海底観測点数の効果を表現したもので、offshore fault に対しては、陸上観測点数をある程度以上に増加させることは効果がなく、海底観測点の設置が必要であることがわかる。

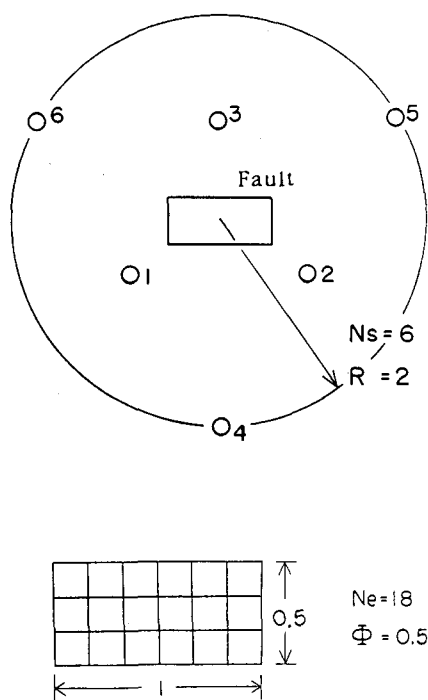


図-1 多くのシミュレーションで使用された断層とアレイの配置。
strike-slip fault または dip-slip fault がアレイの中心に置かれる。

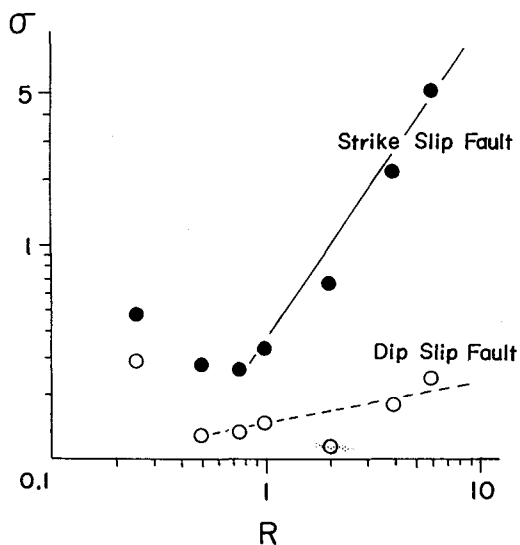


図-2 アレイ半径とインバージョン精度 σ の関係。

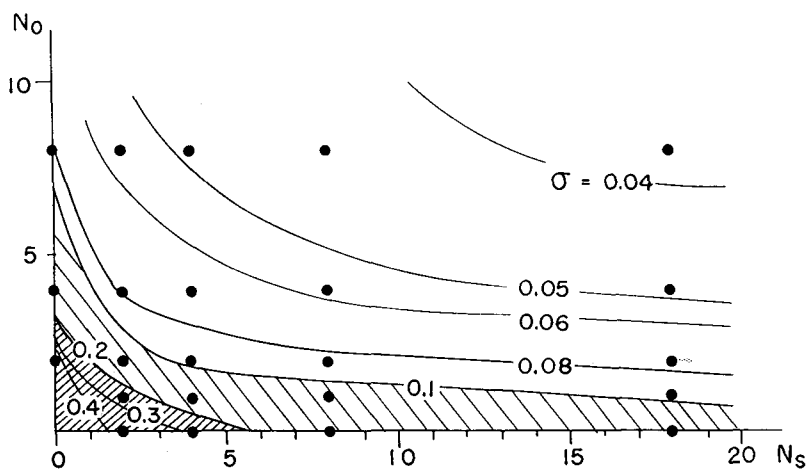


図-3 offshore subduction thrust faultに対する、陸上観測点数 N_s 、海底観測点数 N_o 、インバージョン精度 σ の関係。

4. 必要なアレイ・レイアウト²⁾

前章で得られたすべての結果を、直観的かつ統一的に説明できる、アレイ・レイアウトの一般的ルールを考察する。そのために、2つのパラメータで前章の結果を解釈することを試みる。第1のパラメータ 'time separation'、 Δt は、任意の2つの要素から発生した地震波の到着時刻差の最小値であり、第2のパラメータ 'moment sensitivity'、 $\sum_{i,j} \frac{\partial \Delta t_i}{\partial m_j}$ は、偏微分マトリックスの要素の和 (Δt_i は i 番目の、理論振幅と振幅データの絶対残差、 m_j は j 番目の断層要素の地震モーメント) である。

第1のパラメータ、 Δt によって、例えば、dip-slip fault に対しては遠方の観測点のほうが各断層要素から発生した地震波を効果的に分離できる理由 (図-4、これと図-2を比較する) など、③観測成分と④観測点数 N_s と N_o の結果を除き、他の結果をすべて説明できる。第2のパラメータ、 $\sum_{i,j} \frac{\partial \Delta t_i}{\partial m_j}$ をさらに導入することによって、地震モーメントの変化は断層近くの観測点でしか正確にとらえられない (図-5) ので海底観測点が必要であるなど、すべての結果を説明できる。すなわち、効果的なアレイというのは、断層に近接した観測点と断層を取り囲む観測点の両方をもっているということができる。

5. 最適アレイ³⁾

1978年にハワイのホノルルで開催された、強震計アレイに関する国際ワークショップにおいては⁵⁾、第3章で検討した3つのタイプの典型的な断層に対して、経験的判断に基づき、望ましい強震計アレイ案が提示された。それは、本研究で得られた最適アレイとかなり異なっている³⁾。ここでは、3つのタイプの1つ、strike-slip fault に対する検討結果を示す。

図-6は、strike-slip fault に対して、その効果が調べられたさまざまなアレイ形状を示す。数字は得られたインバージョン精度である。最適なアレイは、断層に沿って並べられた観測点と断層を取り囲む観測点とからなることが、改めて確認される。また、アレイ形状によってインバージョン精度が大きく変動するのは、このタイプの断層の特徴である。比較のため、図-7にワークショップで提示されたアレイ形状を示す⁵⁾。他方、dip-slip fault に対しても、strike-slip fault とほぼ同様のアレイ形状が望ましいこと、offshore fault に対しては、海岸線に一直線ないし二列に観測点を並べたアレイが望ましいが、陸上のみの観測アレイでは限界があること、がわかった。

6. まとめ

震源断層の破壊過程を調べるために効果的な強震計アレイ・レイアウトを、新しく開発したインバージョン・スキームによって評価することを試みた。すぐれた強震計アレイとは、断層に近接した観測点と断層を囲む観測点の両方をもつものであることがわかった。

参考文献

- 1) Miyatake, T., M. Iida, and K. Shimazaki (1986). The effect of strong-motion array configuration on source inversion, Bull. Seism. Soc. Am. 76, 1173-1185.
- 2) Iida, M., T. Miyatake, and K. Shimazaki (1987). Relationship between strong-motion, fault-array parameters and the accuracy of source inversion, Bull. Seism. Soc. Am. (submitted for publication).
- 3) Iida, M., T. Miyatake, and K. Shimazaki (1988). Optimum strong-motion array geometry for source inversion. Earthq. Eng. Struct. Dyn. (in preparation).
- 4) Wolberg, J. R. (1967). Prediction analysis. D. Van Nostrand Co., Inc., Princeton, New Jersey.
- 5) Iwan, W. D. (Editor) (1978). Strong-motion earthquake instrument array, Proc. Internatl. Workshop on Strong-Motion Earthquake Instrument Arrays, Honolulu, Hawaii.

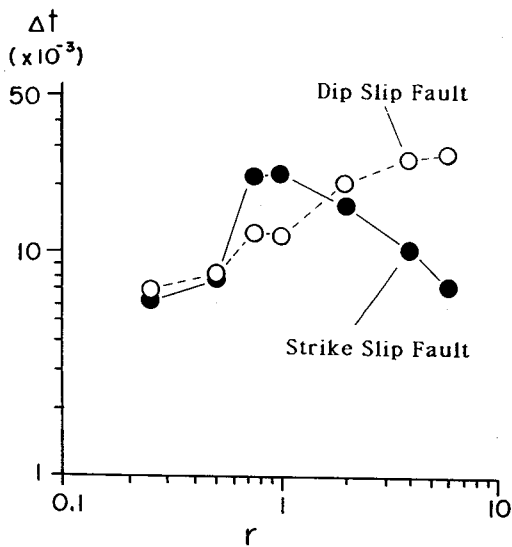


図-4 'time separation', Δt
(任意の2つの要素から発生した地震波の到着時刻差の最小値)と震央距離 r の関係。

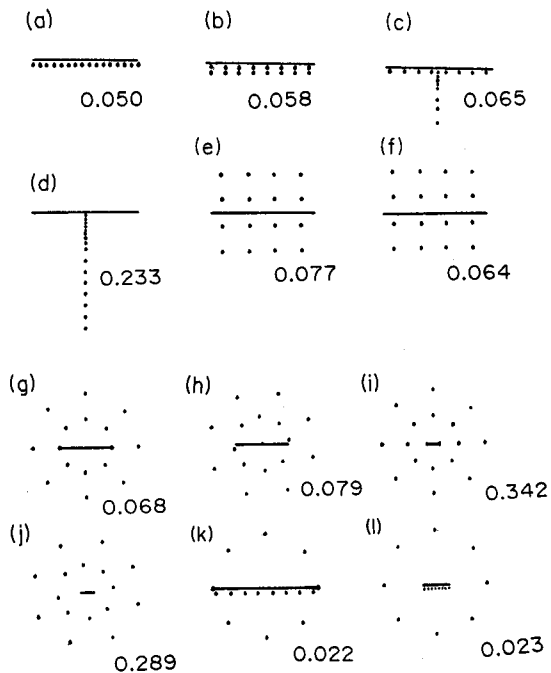


図-6 strike-slip fault に対して、効果が調べられたさまざまなアレイ形状。数字はインバージョン精度を示す。

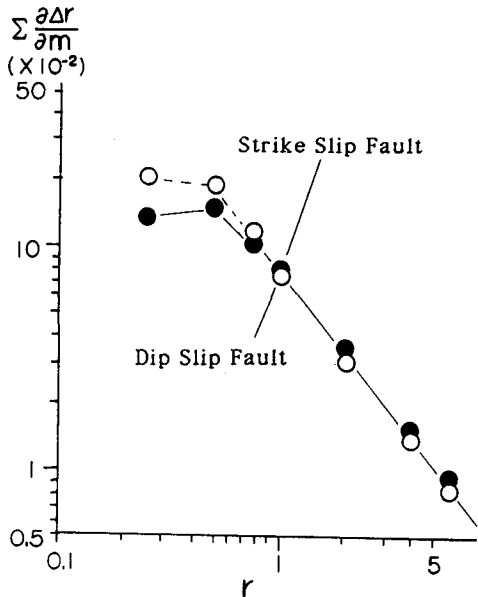


図-5 'moment sensitivity',
 $\sum_{i,j} \frac{\partial \Delta r_i}{\partial m_j}$ (Δr_i は i 番目の、理論振幅と振幅データの絶対残差、 m_j は j 番目の断層要素の地震モーメント)と震央距離 r の関係。

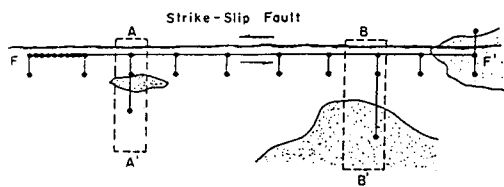


図-7 1978年の強震計アレイに関する国際ワークショップにおいて提示された、strike-slip fault に対する望ましいアレイ形状。