

## 国際地震工学センター

### - 1 震源過程解析ツールの開発

#### Development of tool for Seismic source analysis

(研究期間 平成 14~16 年度)

国際地震工学センター

八木勇治

International Institute of Seismology and Earthquake Engineering

Yuji Yagi

Synopsis- We developed the tool of seismic source analysis to obtain detailed and stable seismic source image. To perform a stable inversion, we applied smoothing constraints, and determined their optimal relative weights on the observed data using an optimized Akaike's Bayesian Information Criterion (ABIC). We found that the optimized ABIC are particularly useful even with the insufficient observed data set. We applied the developed tool to significant and large earthquakes, and published our results on web-sites and academic journals.

#### [ 研究目的及び内容 ]

近年の研究により、震源過程は地震の被害分布に強く影響を与えることが明らかになってきた。将来発生する地震の被害分布を予測するためにも、実際に発生している地震の震源過程にどのような特徴があるのか理解することは重要である。最近、とくに阪神淡路大震災以降、日本では強震動観測網が整備され、準リアルタイムに強震動分布等が発表されている。これらの情報は、初動体制・緊急対応を行うのに役立っている。しかしながら、地震被害が発生するすべての国で、日本のような高密度な強震動観測網を運営するのは困難であり、準リアルタイムに震源情報を解析して強震動・被害分布を推定する必要がある。

現在、Incorporated Research Institutions for Seismology (IRIS) により、全世界で準リアルタイムに地震波形データが収録・公開されており、複数の研究機関によって、地震発生から数時間後には、半自動的に震源・規模・モーメントテンソル解が決定されている。しかし、これらの情報では、断層近傍における強震動・被害分布を推定することはできない。一般に、断層近傍の強震動は、震源過程（特に、断層の大きさ・すべり分布・破壊伝搬）の影響を受けることが分かっている。準リアルタイムに震源過程を決定して、その結果を基に波動場計算を行い、強震動分布を推定するシステムを構築する必要性は高い。また、建築研究所が受け入れている国際地震工学研修生に最新の震源過程解析のノウハウを習得する環境を提供する上でも、震源過程解析ツールの開発は重要である。

近年の研究により低周波側の震源過程を推定する手法が開発されている。しかし、現在普及している震源過程解析ツールは、1990 年前半に開発されたものであり、アルゴリズムが古くなっている。本課題では、最新のアルゴリズムを使用した解析ツールを開発した。本研究で

開発された手法は、世界中の専門の研究者に対して公開している。今後このツールを「低周波側震源過程解析ツール」と呼ぶ。

一方で、高周波も含めた広帯域にわたる震源過程解析ツールの開発を試みた。一般に、三次元構造の影響は高周波ほど強いいため、「高周波側の震源過程」を一次元構造モデルを用いて推定することは困難である。そのため従来の高周波側の震源過程の研究では、構造モデルを用いずに震源領域内で発生した中小地震の観測波形を直接用いる経験的な手法（経験的グリーン関数法）が多く用いられてきた。しかし、この手法を震源インバージョン法に適用して精度の良い結果を得るためには、利用できる中小地震が震源断層面全体に一樣に分布している必要があるが、実際にはそのようなケースは極めて稀である。

このような精度の問題をかかえながらも、最近の震源過程の研究では、高周波の波動を多く出す領域と低周波の波動を多く出す領域が同じかどうか検討されてきた。各領域が発生する周波数帯域の違いは、それぞれ異なる時定数の破壊過程に依存すると考えられる。このような異なる破壊過程の違いがどのような要因（例えば、すべり面の特性、構造、応力場）に依存するのかは、将来発生する地震の強震動予測をする上でも重要である。しかし、上記のように従来の研究では、高周波側と低周波側に対する破壊過程は別々の手法で検討されてきたため、この問題に解答を出すことは困難である。そこで本研究では、三次元構造モデルを用いた高精度震源過程解析ツールのプロトタイプを開発することを試みた。

#### [ 研究成果 ]

「低周波側震源過程解析ツール」を開発するにあたって、詳細かつ安定に震源仮定を得るために、optimized ABIC<sup>1)</sup>を導入し、従来の ABIC の定式化の問題点を修

正した。開発したツールを、1999 年メキシコ・コリマ地震に適用した結果、従来の ABIC を使用して得られた解より、より高精度な解を得ることができる事を確認した<sup>2)</sup>(図 1)。

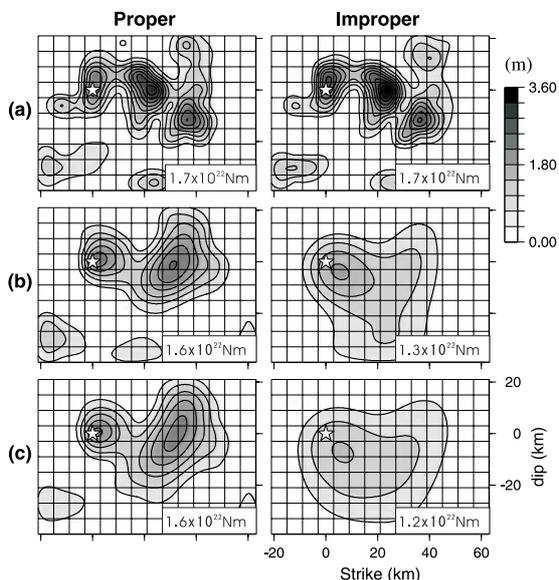


図 1 データセットを変えたときの得られる滑り量分布の変化  
 左側が optimized ABIC を使用した場合、左側が従来の ABIC を使用した場合。(a)はすべてのデータを使用した場合で、下に行くに従い、データ量を減らしている。

一方で、震源像が、解析に使用するデータセットの違いによってどのように変化するのか、数値実験を行った。図 2 に、速度構造を変化させた場合の最終的なすべり量分布を示す。グローバルな地震観測網で収録された遠地実体波のみの解析ではすべり量分布は大きく変化しないのに対して、震源近傍の近地強震動記録のみの解析で得られたすべり量分布では多くのゴーストが確認できる。この結果は、遠地実体波は構造の影響をあまり受けないのに対して、近地強震動記録は、観測点近傍における断層の動きの詳細な情報を有しているが、構造の影響を受けやすい事を示している<sup>3)</sup>。

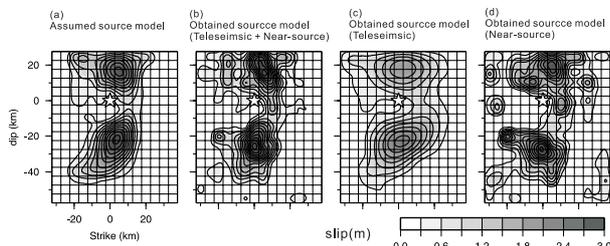


図 2 最終的なすべり量分布の比較

(a)仮定した震源過程モデル (b)近地強震動と遠地実体波  
 (c)遠地実体波のみ (d)近地強震動記録のみ

この他に様々な誤差要因を想定して数値実験を行った結果、地強震動と遠地実体波を使用した場合には解が

安定する事を確認した。

「高精度震源過程解析ツール」を開発するにあたって、3次元構造モデルにおける地震波の伝播の影響を考慮するため、4次精度のスタカードグリッド FDM を使用した。一元速度構造を仮定した時の問題点を明らかにするために、数値実験により、3次元速度構造を用いた場合の結果と、観測点直下の1次元速度構造を用いた場合の結果を比較した。仮定する速度構造は、表層近傍の3次元的な構造変化を想定して、東西方向に対して階段状に速度構造が変化するモデルにて計算を行った。東側は厚さ 0.6km の堆積層に覆われた地域、西側は堆積層に覆われていない地域を仮定した。

ここで、3つの周波数領域：(F1)0.01 ~ 1.5Hz, (F2) 0.01 ~ 0.5 Hz, (F3) 0.01 ~ 0.2 Hz における解の変化を調べた。まず、1次元速度構造を使用した場合、F1 と F2 の周波数レンジでは、解の特徴を再現することができた。その一方で、低周波の波形を使うほど、波形の一致はよくなるが、その一方で、滑り分布の再現性は悪くなる。

次に、3次元速度構造を使用した場合の結果、F3を除いてほとんど完全に再現されることを確認した(図 3)。この結果は、高分解能な震源像を得るためには、3次元速度構造を使用する重要性を示す。

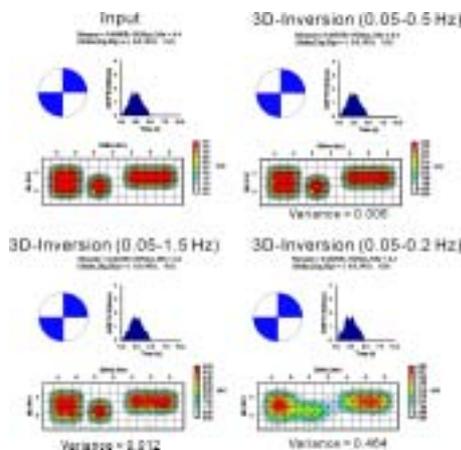


図 3 仮定した震源像と、各周波で得られた震源像の比較

【参考文献】

- 1) Fukahata, Y.; A. Nishitani; M. Matsu'ura, GJI, 156, 140-153, 2004.
- 2) Fukahata, Y., Y. Yagi, and M. Matsu'ura, GRL 30, 10.1029/2002GL016293, 2003.
- 3) Yagi, Yuji ; T. Mikumo; J. Pacheco; G. Reyes, BSSA, 94, 1795-1807, 2004.