

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 6 月 4 日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2009 ～ 2011

課題番号：21540428

研究課題名（和文）

モデリング誤差に起因する共分散成分を考慮した震源過程解析手法の確立

研究課題名（英文）

Seismic source inversion with data covariance components due to modeling errors

研究代表者

八木 勇治（YAGI YUJI）

筑波大学・生命環境系・准教授

研究者番号：50370713

研究成果の概要（和文）：

震源過程モデルは、主に地震波形データをインバージョン解析することにより推定される。解析では、データの誤差は観測誤差とモデリング誤差の和として定義されている。モデリング誤差は、モデルが不完全であるために生じる誤差で、通常データ間に大きな相関を作り出す。本研究では、グリーン関数の不確定性を考慮した新たな震源過程解析手法の定式化を行い、実際のデータに適用した結果、非負の条件を用いることなく、尤もらしい解を得ることに成功した。

研究成果の概要（英文）：

Seismic source models are essentially important to reveal the characteristics of earthquakes. The waveform inversion becomes a popular tool to construct seismic source models. In the present study, we introduced uncertainty of Green's function into waveform inversion analyses. Applying the developed inverse method to real data set, we obtained a reasonable slip distribution and moment rate function without the non-negative slip constraint.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合 計
2009 年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2010 年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2011 年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総 計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：固体地球惑星物理学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・個体地球惑星物理学

キーワード：地震現象，大地震の震源過程

## 1. 研究開始当初の背景

震源過程モデルは、地震発生の物理過程を解明する上で最も基礎的な情報の一つであり、地震のスケーリング則や摩擦パラ

メタの推定等も、震源過程モデルの研究の上に成り立っている。そのため最近では、地震発生後に複数の機関から震源過程モデルが発表されるなど、震源過程の推定は定

常業務のようにさえ成りつつある。しかしその一方、同様のデータを使用しているのにも関わらず、各研究者によって得られる震源モデルが異なることが大きな問題となっていた。昨年末には、アメリカ地球物理学学会 (AGU) で、この問題について集中的に討議するスペシャルセッション (Earthquake Source Inversion Under Scrutiny: Validation, Resolution, Robustness) が開催される事態に至った。

研究者ごとに異なる震源モデルが得られる理由としては、モデルの自由度を時間方向に十分に確保していないといった問題や、地震のすべり分布の滑らかさの程度が ABIC (赤池のベイズ情報量規準) でなく、各研究者の主観で決められている等の問題がまず挙げられる (八木, 2008)。しかし、それらの問題を克服してなお、いくつかの課題が残る。例えば、遠地実体波のデータを用いる場合を初めとして、震源過程解析では通常、解の振る舞いを安定化するために、各方位からなるべく均等になるように観測点を選択する。しかし、この操作は、観測点が多少とも密にある地域のデータをむざむざ捨てていることに他ならない。また、地震波形データとしては、変位・速度・加速度いずれを用いても本来同じ解が得られるべきだが、必ずしもそうはならない。非負の拘束条件もほぼ全ての解析に用いられている。非負の条件を課しないと、推定誤差を大きく越える負の滑りが通常現れてしまうのである。これらの例は、いずれも既存の解析手法に問題があることを示しているが、その解決策はまだ見つかっていなかった。

## 2. 研究の目的

モデリング誤差には、グリーン関数の誤差、モデルパラメタの真値からのずれに起因する誤差、離散化誤差などがある。本研究ではまず、モデリング誤差を考慮したときにどのように誤差が表現されるのか、モデルパラメタと観測データが線形な関係で結ばれる場合について、一般的な表現を導出する。次に、得られた誤差の表現に基づいて、地震波形データのインバージョン解析の定式化、およびプログラム開発を行う。そして、実際の遠地実体波および近地強震動データにそれぞれ本手法を適用してその有効性を示す。

## 3. 研究の方法

本研究では、まず、グリーン関数や震源過程モデルが不完全であることを考慮して、地震波形データから震源過程モデル、即ち断層面上でのすべり速度の時空間分布を推定するためのインバージョン解析法の定式

化を行う。次に、その定式化に基づいて解析プログラムを作成し、適当な地震について地震波形データを取得・処理して新しい解析手法を適用することにより、その有効性を示す。

## 4. 研究成果

遠地実体波解析において、グリーン関数の不確定性に由来する誤差を考慮した新しい手法を提示した。この手法では、グリーン関数の誤差を明示的に導入したところに意義がある。ここで、グリーン関数の誤差には必ず求めるべき震源パラメタ-の情報が含まれる。つまり問題は常に非線形となる。この問題を線形化して解くために、適当な初期値を与え、繰り返し解く。この解き方は、グリーン関数の誤差が震源パラメタ-の変化にそれほど敏感でない時に有効である。本手法の安定性を確認するために、異なる複数の初期値を仮定して計算した結果、最終的に得られる解は同じになることを確認した。つまり、非線形性は弱いと考えられる。

開発した手法を実際のデータに適用したところ、本手法を用いることにより、負のすべり (断層の主なすべり方向と逆向きのすべりのことでテクトニクスと非整合) がほとんど現れなくなること、観測波形の特徴をよく説明する解が得られることなどを示した (Yagi & Fukahata, 2011a)。さらに、2011 年東北地方太平洋沖地震の遠地実体波データに適用して震源過程を求め、その結果に基づいて周辺に蓄えられた弾性歪みがこの地震によりほとんど解放されたことを明らかにした (Yagi & Fukahata, 2011b)。本課題では、震源過程の問題における、モデル誤差と観測誤差からなる誤差の一般的な表現の導出も行った (2009 年連合大会発表)。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕 (計 3 件)

① Yagi, Y. & Fukahata, Y., 2011, Rupture process of the 2011 Tohoku-oki earthquake and absolute elastic strain release, *Geophys. Res. Lett.*, 38, L19307, doi:10.1029/2011GL048701. 査読有

② Yagi, Y. & Fukahata, Y., 2011, Introduction of uncertainty of Green's function into waveform inversion for seismic source processes, *Geophys. J. Int.*, 186, 711-720, DOI:

10.1111/j.1365-246X.2011.05043.x 査読有  
③ 深畑幸俊, 2011, ABICを用いたインバージョン解析: 先験的拘束条件がフルランクでない場合の取り扱い, 地震 2, 64, 91-95, DOI: 10.4294/zisin.64.91 査読有

〔学会発表〕(16件)

① 八木勇治・深畑幸俊, 2011 年東北地方太平洋沖地震の震源過程モデルの再考と地球物理学的な解釈, 日本地震学会 2011 年度秋季大会, 2011 年 10 月 12 日, 静岡市

② 笠原天人・八木勇治, モーメントテンソル解析における誤差推定の検討, 日本地震学会 2011 年度秋季大会, 2011 年 10 月 13 日, 静岡市

③ 笠原天人・八木勇治, 断層形状の複雑性と共分散成分を考慮した波形インバージョン法の開発: 2010 年ハイチ地震への適用, 日本地球惑星科学連合 2011 年大会, 2011 年 5 月 27 日, 幕張メッセ

④ 八木勇治・深畑幸俊, グリーン関数の不確定性を考慮した震源過程の波形インバージョン解析, 日本地球惑星科学連合 2011 年大会 (招待講演), 2011 年 5 月 23 日, 幕張メッセ

⑤ YAGI Yuji & FUKAHATA Yukitoshi, Waveform inversion for seismic source processes with uncertainty of Green's function, 2010 AGU Fall Meeting, 2010 年 12 月 17 日, サンフランシスコ (米国)

⑥ KASAHARA Amato & YAGI Yuji, R Complex Seismic Source Inversion Method with the Data Covariance Matrix: Application to the 2010 Haiti Earthquake, 2010 AGU Fall Meeting, 2010 年 12 月 16 日, サンフランシスコ (米国)

⑦ SUZUKI Mitsuru & YAGI Yuji, Anomalies of rupture velocity in deep earthquakes, 2010 AGU Fall Meeting, 2010 年 12 月 16 日, サンフランシスコ (米国)

⑧ 八木勇治・西村直樹, 共分散成分を考慮した波形インバージョン法を用いた 2008 年四川汶川地震の震源過程の再検討, 日本

地震学会 2010 年度秋季大会, 2010 年 10 月 29 日, 広島国際会議場

⑨ 笠原天人・八木勇治, 断層形状の複雑性と共分散成分を考慮した震源インバージョン法 - 2010 年ハイチ地震への適用 -, 日本地震学会 2010 年度秋季大会, 2010 年 10 月 29 日, 広島国際会議場

⑩ 鈴木満・八木勇治, 深発地震における破壊伝播速度異常, 日本地震学会 2010 年度秋季大会, 2010 年 10 月 29 日, 広島国際会議場

⑪ 西村直樹・八木勇治, 2010 年 2 月 27 日チリ地震の震源破壊過程の特徴, 日本地震学会 2010 年度秋季大会, 2010 年 10 月 29 日, 広島国際会議場

⑫ 小島由記子・八木勇治, トンガ海溝付近で発生するプレート内大地震の震源過程, 日本地震学会 2010 年度秋季大会, 2010 年 10 月 29 日, 広島国際会議場

⑬ 鈴木満・八木勇治, マントル遷移層における破壊伝播速度異常, 地球惑星連合大会, 2010 年 5 月 28 日, 幕張メッセ

⑭ 小島由記子・八木勇治, トンガ海溝付近で発生した 2006 年 (Mw 8.0) と 2009 年 (Mw 7.6) のプレート内地震の震源過程, 地球惑星連合大会, 2010 年 5 月 26 日, 幕張メッセ

⑮ 酒井和紀・八木勇治, 稠密観測網を用いた震源決定時のモデリング誤差の項を軽減する手法の開発, 地球惑星連合大会, 2010 年 5 月 25 日, 幕張メッセ

⑯ 八木勇治, 震源過程と非地震性すべり相補的關係の解明・不完全なモデルを前提とした震源過程解析, 日本地震学会 2009 年度秋季大会, 2009 年 10 月 21 日, 京都市

〔その他〕

<http://www.geol.tsukuba.ac.jp/~yagi-y/index.html>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

八木 勇治 ( YAGI YUJI )

筑波大学・生命環境系・准教授

研究者番号：50370713

(2)研究分担者

深畑 幸俊 ( FUKAHATA YUKITOSHI )

京都大学・防災研究所・准教授

研究者番号：10313206