

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 30 日現在

機関番号：82716

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24740314

研究課題名(和文) 稠密アレイデータを用いた震源過程解析手法の開発

研究課題名(英文) Development of a new rupture process analysis with dense array data

研究代表者

本多 亮 (Honda, Ryou)

神奈川県温泉地学研究所・その他部局等・研究員

研究者番号：80416081

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,400,000円

研究成果の概要(和文)：断層の破壊がどのように進展するかを推定するため、多くの観測点で観測された地震波形を用い、波形の似具合を解析する(センブランス解析)ことによって破壊過程を推定する手法を開発した。

本研究では、複数の観測網のデータや計算手法を工夫することによって、少ない観測点や震源から離れた観測網でも、精度よく破壊過程を推定できるようにすること、断層面上のすべり量などにつながる物理量を推定可能とすること、の2点を主な課題とした。

新たに開発した手法を、2011年東北地方太平洋沖地震や2007年中越沖地震に適用し、その効果を確認することができた。

研究成果の概要(英文)：To estimate fault fracture process, we developed a new analysis based on the semblance analysis that is using the seismic waveform observed in arrays. In this study, we focused on two major problems. One is to estimate rupture process in accurately by introducing multiple arrays or a new calculation methods of semblance. And another is to make possible to estimate physical value such as amount of slip or seismic moment. We applied the newly developed method to the 2011 Tohoku-Pacific Ocean Earthquake and 2007 Chuetsu-oki earthquake and confirmed our new method can be a useful tool for analyzing complex rupture process.

研究分野：地震学

キーワード：震源過程解析 バックプロジェクション法 センブランス解析

1. 研究開始当初の背景

現在の震源過程解析の主流は、強震記録を用いて、その波形を説明できるような断層破壊の様子を推定する、波形インバージョンである。波形インバージョン法は、手法が確立されているものの、多くの拘束条件を課す必要がある上に、解析処理に時間がかかるのが欠点である。また、伝播経路上で発生する表面波や反射波などが記録に混入すると、正しい理論波形の計算が困難になるため、得られた震源像にもゴーストが入り込むことがあり、安定した解が出にくい。さらに、滑り量の大きいメジャーアスペリティに解析結果が引っ張られるため、断層面が広く破壊伝播速度が実際には不均質であったとしても、メジャーアスペリティをうまく再現できる滑り速度が最適解と判断されてしまうことがある。このような問題点を解消できる新しい震源過程解析手法として、主として散乱波解析や物理探査の分野で発展してきたセンブランス解析を応用する手法を開発した。

2. 研究の目的

本研究では、強震計アレイで観測された波形を用いて、空間的・時間的に高精度の震源過程をリアルタイムで推定する新しい震源過程解析手法の開発を行った。そしてその手法を過去の地震に適用し、他の手法では推定が困難な複雑な破壊過程を明らかにすることを目指した。

3. 研究の方法

アレイデータを用いたセンブランス解析によって震源過程を精度よく推定するために、従来のセンブランス解析にいくつかの改良を加えた。

単アレイで解析を行った際に見られる典型的なアーティファクトとして、震源の移動現象 (swimming effect) が挙げられる。これは、観測点アレイから震源域が遠い場合に現れるもので、まずこの問題を解決するために、複数アレイを用いた解析手法を開発した。具体的には、二つのアレイデータから推定し

た、小断層面上でのセンブランスの時系列について相関をとり、個別のセンブランス解析で生じるアーティファクトを取り除いた。

また、二つめの課題として、少ない観測データでも震源由来以外のノイズを効率よく抑制するための手法開発を行った。センブランス係数は、ある時間窓に含まれる波形のトータルの入力エネルギー (分母) と、同じ時間窓の中のコヒーレントな波のエネルギー (分子) の比を表している。この手法は分子及び分母に含まれる振幅の和の計算の際に、各観測点の振幅の N 乗根をとって足し合わせ、その後 N 乗して振幅を回復する Nth root stack の手法を取り入れたものである。

最後に、アレイデータを用いた解析で物理値を推定するための手法開発を行った。通常、波形をスタックして得られる破壊過程は、強い地震波を放出した領域として認識されが、必ずしも物理値との関係は明らかでない。そこで、コーナー周波数よりも低い周波数を用いて、波形のスタックから地震モーメントを推定する手法を開発した。まず、すでに地震モーメントが推定されている地震について、コーナー周波数よりも低周波側の波形を用いてスタッキング波形を計算する。次に、スタッキング波形のエネルギーを計算し、それと地震モーメントとの間の変換係数を求める。この変換係数は、ラディエーションパターン・幾何減衰などを補正すれば、同じ観測網を用いる限り地震によらず共通である。したがって、この変換係数を他の地震にも適応することで、任意の地震の地震モーメントが推定できる。

4. 研究成果

本研究で開発した複数アレイによる解析を用いて、2011年東北地方太平洋沖地震の際に観測された二つの大振幅パルス震源を推定した。防災科学技術研究所の K-NET および KiK-net と MeSO-net の観測点を地域ごと

に分割して複数のアレイとみなした。防災科研の MYG004 観測点にみられる一つ目のパルス（図 1）の波源は、本震の震源よりも西より、1978 年宮城沖地震のアスペリティ付近に推定され（図 1 中）、二つ目は本震の震源よりも東の、海溝寄りに求められた（図 1 下）。二つ目のパルスは、津波や近地波形を用いたインバージョンの解析結果にみられる、非常に滑りの大きい領域とほぼ一致する。これら二つの大振幅パルスが放出された時間は、一つ目が地震発生から 30~45 秒後、二つ目が 40~60 秒後と推定され、西側への破壊伝播の方が、東側への伝播よりも早かったと考えられる。

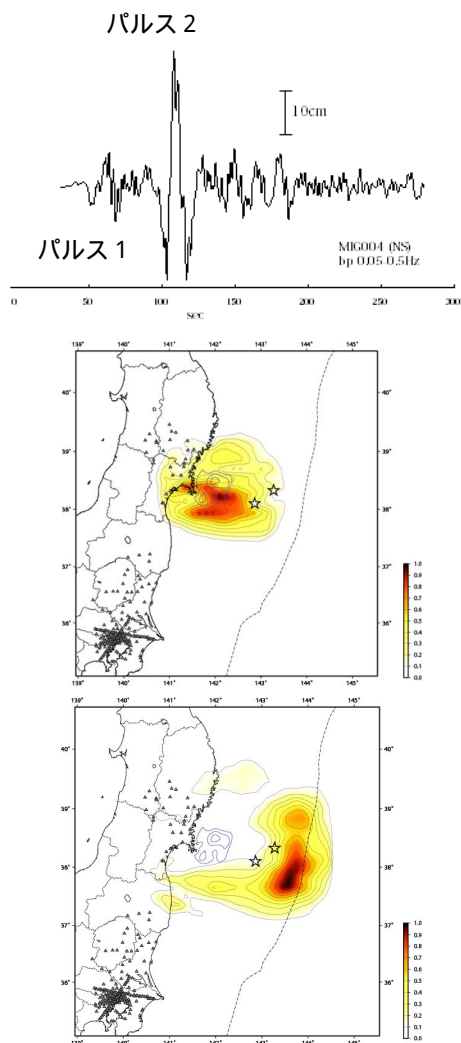


図 1 (上) MYG004 で観測された大振幅パルス (中)一つ目のパルスの生成域 (下)二つ目のパルスの生成域。 印は本震および前震の震央。

次に、少ない観測点でも震源由来以外のノイズを効率的に抑制するための手法を開発し、2007 年の新潟県中越沖地震に対して解析を行った。この地震は、震源域が沖合にあるために、発生当初は余震分布から詳細な断層面が推定できなかった。また、Honda and Aoi (2009)は東京電力柏崎刈羽原子力発電所の強震動波形を用い、センブランス解析を行ったが、使用できる観測点数が少なく震源由来のノイズがキャンセルしきれず、断層面を特定するには至らなかった。そこで、本研究で開発した効率的にノイズを抑制するセンブランスの計算手法をこの地震に適用し、震源過程の推定を行った。図 2 は、断層面上のある点で得られたセンブランスの時系列を積分し、得られた値の最大値で規格化したものである。図 2 は南東落ちの断層モデルについて、(a) 本研究の手法で計算した結果と(b) 従来の計算法による結果を、(c)に北西落ちの断層モデルに本研究の手法を適用した結果を示す。解析には Aoi et al, (2008)と同じ周期帯の速度波形を使用している。(a)は(b)に比較して観測波形に見られる 2 つの大振幅パルスの波源が明瞭にイメージされていることがわかる。Aoi et al (2008)のすべり量分布とも近い。また、(a)と(c)を比較すると、震源付近の地震波励起の強度はほぼ等しいが、2 つ目のパルスの励起源に相当するピークは、南東落ちモデルのほうがピークの値が大きく収束もよい。OBS で得られた余震分布などからは南東落ち断層が示唆されていた (Shinohara et al. 2008)が、本研究による結果からも、2 つ目の大振幅パルスを説明するためには、南東落ちの断層モデルが妥当であると考えられる。

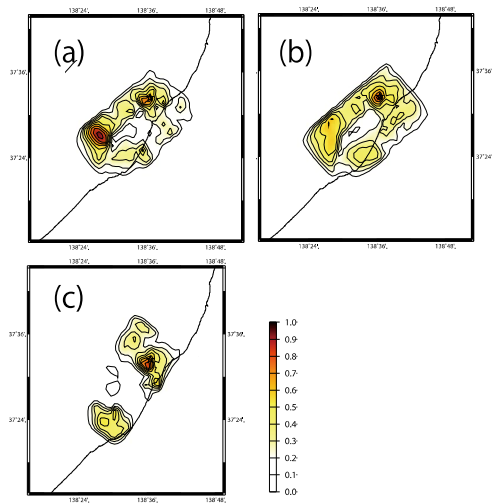


図2 (a) 新しい計算手法を用いて推定した南東落ち傾斜モデルの結果 (b) 従来の手法で推定した南東落ちモデルの結果 (c) 新しい手法を用いて推定した北西落ち断傾斜モデルの結果

次に、センブランス解析の結果から、地震モーメントを推定する手法について、理論波形を用いたテストを行った。震央距離 40 km、深さ 120 km、サイスミックモーメント $4.E+24$ (Dyne cm) のポイントソースについて、図3に示したような観測点アレイの理論波形を計算し、ポイントソースでのスタック波形のエネルギーを推定した。そのエネルギーと地震モーメントとの比例定数を、

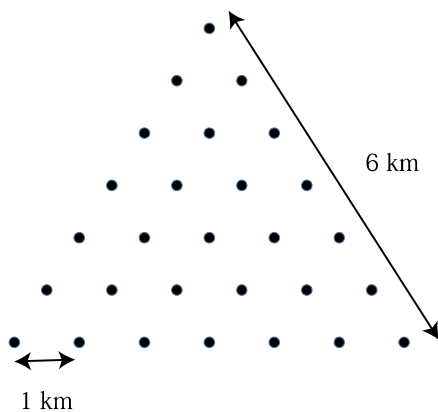


図3 理論波形を用いたテストに使用した観測点アレイ

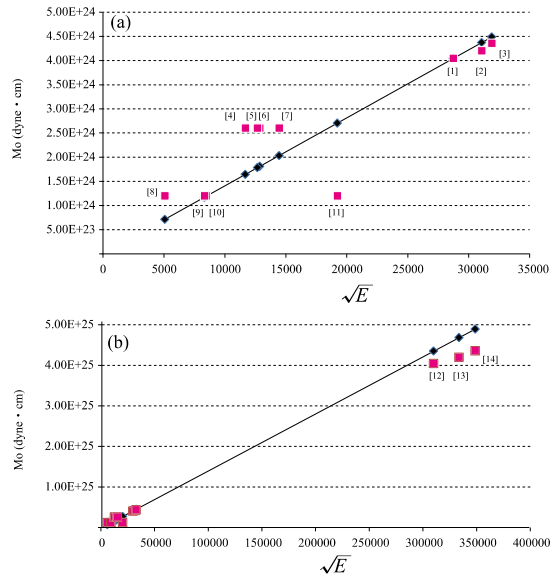


図4 スタックした波形のエネルギーとの比例定数を用いて推定した地震モーメント。No1の地震で得られた比例定数を用いて、他の地震の地震モーメントを推定した。

異なる深さや震央距離の地震にも適用し、どの程度地震モーメントを再現できるかをテストした。図4に結果を示す。比例定数を用いて推定された地震モーメントは、震源距離が近く、また震源が浅いほど誤差が大きくなることが分かった。これは、表面波や反射波等による影響と考えられる。ただし、誤差が大きい場合であってもせいぜい2倍から3倍程度であり、波形インバージョンでも使用する観測点や周期の違いなどからこの程度の違いは生じることから、速報性を考慮すれば、実用としては問題ないレベルであると考えられる。

これらの成果によって、破壊の伝播速度やすべり量が断層面上で大きく異なるような複雑な震源過程であっても、比較的少ない計算コストですばやく滑り量などを推定することが可能であることが示された。

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 2 件)

本多 亮・行竹洋平・他 10 名, Rupture process of the largest aftershock of the M9 Tohoku-oki earthquake obtained from a back-projection approach using the MeSO-net data, Earth, Planets and Space, 査読あり, 2013, vol 65, pp917—921.

本多 亮, 効率よくノイズを抑制する新しいセンブルス解析手法を用いた震源過程解析について, 温泉地学研究所報告, 査読なし, 2014, vol 46, pp27-30.

〔学会発表〕(計 4 件)

本多 亮・行竹洋平・他 10 名, 複数のアレイを用いたセンブルス解析による 2011 年東北地震の大振幅パルスの波源の推定, 日本地震学会秋季大会, 2012 年 10 月 17 日, 函館市民会館(北海道函館市)

本多 亮・行竹洋平・他 4 名, フィリピン海プレート沈み込み帯付近で発生した二つの中規模地震について, 日本地震学会秋季大会 2013 年 10 月 8 日, 神奈川県民ホール(神奈川県横浜市)

本多 亮・蓬田清, ノイズを効率的に抑制するセンブルス計算の計算手法を用いた 2007 年中越沖地震の震源イメージ, 日本地震学会秋季大会, 2014 年 11 月 2 日, 朱鷺メッセ(新潟県新潟市)

本多 亮, A new approach for estimation of seismic moment from back projection analysis, AGU fall meeting, 2014 年 12 月 18 日, サンフランシスコ(アメリカ)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

本多 亮 (HONDA, Ryou)

神奈川県温泉地学研究所 その他部局
研究員

研究者番号: 80416081