

3. 4. 5. 3 非一様な破壊伝播を考慮した震源モデルの構築とリアルタイム強震動予測へ向けた基礎的研究

(1) 業務の内容

(a) 業務の目的

「震源断層モデル等の構築」のうち、高速な地震動予測手法などの研究を行い、震源断層モデルや強震動予測の高精度化につなげる部分にあたる。

(b) 平成23年度業務目的

4) 震源断層モデル、強震動予測の高精度化に資するため、非一様な破壊伝播を考慮した震源解析などの研究を行う。

具体的には、これまで開発してきたソース・イメージングの手法に、観測点分布の偏りを補正し空間精度を向上させる改良を行う。

(c) 担当者

所属機関	役職	氏名	メールアドレス
九州大学大学院理学研究院	准教授	竹中博士	

(2) 平成23年度の成果

(a) 業務の要約

4) 震源断層モデル、強震動予測の高精度化に資するため、非一様な破壊伝播を考慮した震源解析の研究を行った。

具体的には、これまで開発してきたソース・イメージングの手法に、観測点分布の偏りを補正し空間精度を向上させる改良を行った。

(b) 業務の成果

本年度は、まず本サブテーマで開発してきたソース・イメージングの手法（例えば、Takenaka et al., 2009¹⁾）に観測点分布の非一様性を補正する工夫を追加して空間精度を上げる改良を図った。さらにそれを本年(2011年)8月1日に駿河湾で発生した地震の解析に適用した。以下この解析の概要を述べる。

2011年8月1日23時58分(日本時間)に駿河湾を震源とする $M_{JMA}6.2$ の地震が発生した。この地震で静岡県東伊豆町、焼津市、静岡市駿河区で震度5弱を観測したほか、中部地方を中心に、東北地方から中国地方にかけて震度4~1を観測した。今回の地震は、気象庁によれば、南北方向に圧力軸を持つ逆断層タイプで、沈み込むフィリピン海プレート内で起こった地震である。この地震は、昨年度本サブテーマで解析した2009年8月11日の駿河湾地震($M_{JMA}6.5$)と同様のスラブ内地震と考えられ、今回の地震の震央は2009年の地震の南南東方向約10kmに位置する(図1)。今年度この地震の破壊の初期ステージの解析を実施した。

まず、近地強震記録のP波部に小振幅のP波(初期破壊フェーズ)が大振幅のP波(主破

壊フェーズ P')に先行して現れていることを見出した(図 2)。初動 P と主破壊フェーズ P' の立ち上がりの時間差は 0.5~1 秒程度であるが、その時間差は震源のほぼ真北付近の観測点で最小となった。初動 P(初期破壊フェーズ)と主破壊フェーズ P'の押し引きからそれぞれの発震機構を求めると、主破壊は、防災科学技術研究所の F-net CMT とほぼ同じ逆断層のメカニズム解 (dip-slip) であったが、一方先行する初期破壊は横ずれタイプ (strike-slip) であった。次に、その発震機構解から推定される初期破壊の断層面に主破壊開始点 P'があると仮定して Takenaka et al. (2006)²⁾の方法で主破壊開始点の位置と開始時刻を推定した。その結果、主破壊は、発震時から 0.8 秒過ぎに、震源から見てほぼ真北方向 2.1 km、深さ方向に 1.7 km 深い点で始まったことが分かった。そこから別の断層面 (主破壊断層面) に破壊が移り横ずれから逆断層タイプのすべりに替わったことになる。震源から主破壊開始点までの平均の破壊速度は 3.3 km/s である。本研究では、さらに、この破壊開始点と先に求めた主破壊フェーズの発震機構解から求まる主破壊断層面を仮定して、ソース・イメージングを行った。図 3 はその結果の例で、主破壊断層面各点における発震後 0.9~2.0 秒の間のイメージング (P 波の最大放射強度をコンター表示したもの) である。色の濃い部分で放射強度が高い。水平方向の分解能に比べて深さ方向の分解能が低いので像はやや縦長になっているが、たいへんクリアな像が得られている。破壊開始点の上から走行方向に放射強度が高いスポットがあり、(今回の地震の主破壊の初期ステージにおいて) そこで大きなエネルギーが解放されたことを示唆している。

今回の地震のほぼ 2 年前に発生した 2009 年駿河湾地震も震源過程の途中で断層面が替わったと考えられており (Aoi et al., 2010³⁾; 浅野・岩田, 2010⁴⁾), 昨年度の我々の解析でもソース・イメージングによってそのことを明らかにしている。破壊の初期ステージで断層面が替わるイベントが存在することは、ごく最近の稠密な観測により明らかになった現象である。本サブテーマで以前解析した 2007 年新潟県中越沖地震 ($M_{JMA}6.8$) においても破壊の途中で断層面が替わっている (Takenaka et al., 2009¹⁾; 山本・竹中, 2009⁵⁾; Nishimura et al., 2010⁶⁾)。この二つの地震は初期破壊と主破壊ともに逆断層タイプのメカニズムを呈しているが、今回解析した地震のように初期破壊のメカニズムが横ずれで主破壊が逆断層タイプである最近の地震の例に 2007 年能登半島地震 ($M_{JMA}6.9$) がある (例えば、Sakai et al., 2008⁷⁾)。また、フィリピン海プレートのアウターライズの地震であるが、2004 年紀伊半島沖地震 ($M_{JMA}7.4$) でもメカニズムが途中で横ずれから逆断層タイプに変化している (例えば、Hara, 2005⁸⁾)。実は、今回の地震とは伊豆半島を挟んで反対側の相模トラフ側でも起きている。Ishida and Kikuchi (1992)⁹⁾ は 1990 年に小田原直下のフィリピン海プレート内で起きた $M_{JMA}5.1$ の地震の近地記録を解析しており、今回の地震と同様に主破壊フェーズの前に振幅の小さな初期破壊フェーズがあり、主破壊フェーズの発震機構が逆断層タイプであるのに対し、初期破壊フェーズの方は若干 dip-slip 成分を含む横ずれタイプであることを見つけている。この地震は、マグニチュードも今回に比べて小さいが、相模トラフと駿河トラフにおいてこのような共通点があることは興味深い。

[謝辞] 本研究では、防災科学技術研究所の K-NET, KiK-net, F-net の強震波形記録、気象庁の一元化震源データを用いました。ここに記して感謝いたします。

(c) 結論ならびに今後の課題

・ソース・イメージング手法に観測点分布の非一様性を補正する改良を施して空間精度を向上した。それを2011年8月1日に駿河湾で発生したスラブ内地震 ($M_{JMA}6.2$) の解析に適用し、破壊の初期ステージの震源過程を調べた。まずこの地震の近地波形記録のP波部に大振幅の主破壊フェーズの前に小振幅の初期破壊フェーズが先行して現れていることを見出し、初期破壊で主破壊の断層メカニズムが異なること、さらに初期破壊面から主破壊面に断層が替わる点（主破壊開始点）とその時刻を推定した。初期破壊は、少なくとも最近発生した中規模の地震では共通に見られる現象である。初期破壊の存在は、破壊の様式や強震動生成領域のリアルタイム推定へ影響を与える可能性があり、今後も解析事例を増やしていく必要がある。

(d) 引用文献

- 1) Takenaka, H., Y. Yamamoto and H. Yamasaki, Rupture process at the beginning of the 2007 Chuetsu-oki, Earth, Planets and Space, 61(2), 279-283, 2009.
- 2) Takenaka, H., T. Nakamura, Y. Yamamoto, G. Toyokuni, and H. Kawase, Precise location of the fault plane and the onset of the main rupture of the 2005 West Off Fukuoka Prefecture earthquake, Earth, Planets and Space, 58(1), 75-80, 2006.
- 3) Aoi, S., B. Enescu, W. Suzuki, Y. Asano, K. Obara, T. Kunugi, and K. Shiomi, Stress transfer in the Tokai subduction zone from the 2009 Suruga Bay earthquake in Japan, Nature Geoscience 885, 496-500, 2010.
- 4) 浅野公之・岩田知孝, 経験的グリーン関数法による2009年8月11日駿河湾の地震 ($M_{JMA}6.5$) の震源モデルの推定と強震動シミュレーション, 北海道大学地球物理学研究報告, 73, 137-147, 2010.
- 5) 山本容維・竹中博士, 経験的グリーン関数法を用いた2007年新潟県中越沖地震の震源のモデル化, 地震 (第2輯), 62(1), 47-60, 2009.
- 6) Nishimura, T., M. Tobita, M. Murakami, Kanazawa, T., and M. Shinohara, Fault model of 2007 $M=6.8$ Chuetsu-oki earthquake, central Japan constructed using geodetic data, Advances in Geosciences, Volume 20: Solid Earth (SE). Edited by Kenji Satake. Singapore: World Scientific (ISBN 978-981-283-817-9), 2010, 165-178.
- 7) Sakai, S., A. Kato, T. Iidaka, T. Iwasaki, E. Kurashimo, T. Igarashi, N. Hirata, T. Kanazawa, and the group for the joint aftershock observation of the 2007 Noto Hanto Earthquake, Highly resolved distribution of aftershocks of the 2007 Noto Hanto Earthquake by a dense seismic observation, Earth, Planets and Space, 60 (2), 83-88, 2008.
- 8) Hara, T., Change of the source mechanism of the main shock of the 2004 off the Kii peninsula earthquakes inferred from long period body wave data, Earth, Planets and Space, 57 (3), 179-183, 2005.
- 9) Ishida, M., and M. Kikuchi, A possible foreshock of a future large earthquake near Odawara, center Japan, Geophys. Res. Lett., 19(16), 1695-1698, 1992.

(e) 学会等発表実績

学会等における口頭・ポスター発表

発表成果（発表題目、口頭・ポスター発表の別）	発表者氏名	発表場所 （学会等名）	発表時期	国際・国内の別
Initial Rupture Process of the 2009 Suruga-Bay Earthquake ポスター発表	後藤史紀・ 竹中博士・ 中村武史	The 2011 International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG) General Assembly, Melbourne, Australia	2011年6月	国際
2011年駿河湾で起こった地震における初期段階の震源過程 口頭発表	後藤史紀・ 竹中博士・ 中村武史	日本地震学会2011年秋季大会	2010年10月	国内

(f) 特許出願，ソフトウェア開発，仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

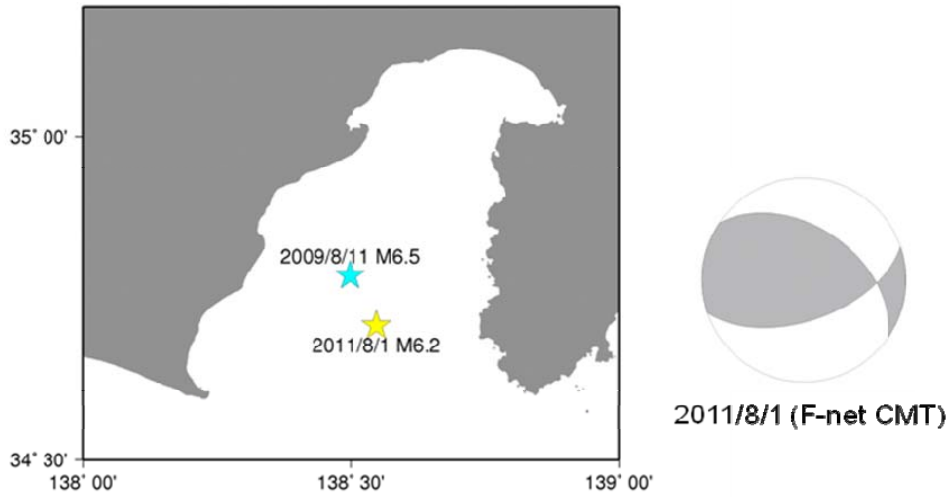


図1 2011年駿河湾地震の震央とメカニズム解。2009年駿河湾地震の震央もプロットしている。震央は気象庁一元化震源，メカニズム解は防災科学技術研究所のF-net CMT。

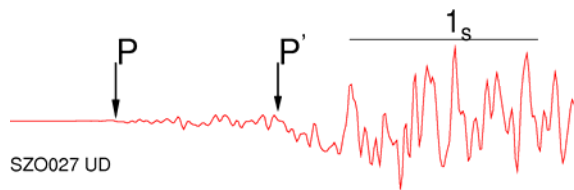


図2 SZO027(西伊豆)の速度波形上下動成分P波部。P'の矢印が主破壊フェーズの開始。

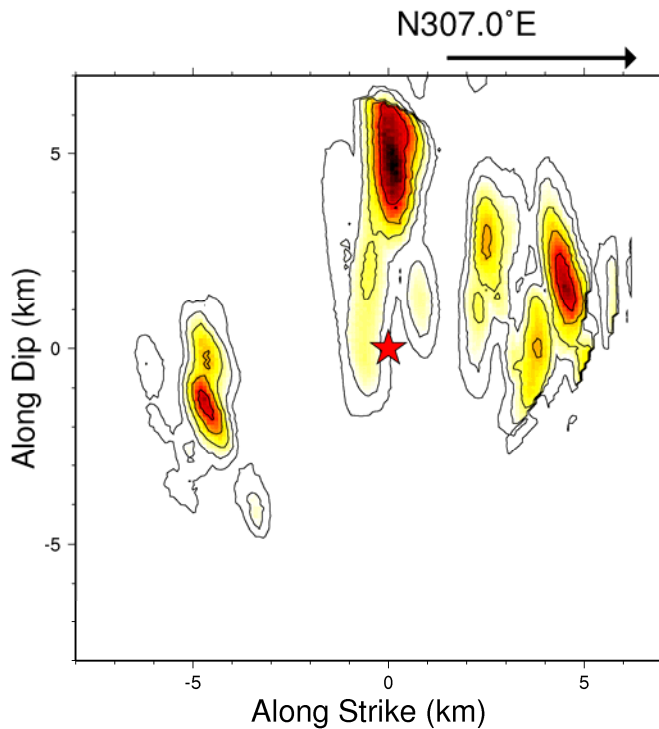


図3 主破壊断層面における地震発震後0.9~2秒の間のイメージング。星印は主破壊開始点を表しており、コンターは振幅の最大値の50%から10%おきに引いている。色の濃いところが放射強度が高い。