

12-2 断層すべり特性の深さ依存について

Depth-dependent properties of fault slip

八木勇治 (筑波大学 生命環境系)

Yuji Yagi (Faculty of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba)

1. はじめに

2011年3月11日に東北地方太平洋沖(以下東北沖と呼ぶ)を震源とするM9クラスの巨大地震が発生した。様々な研究者によって震源過程モデルが得られているが、初期の震源過程モデルについては、他の論文¹⁾によってまとめられているので本稿では議論しない。東北沖地震の重要な特徴は、断層破壊が通常のプレート間地震が発生する領域(以下プレート境界深部と呼ぶ)にとどまらず、津波地震が発生する領域(以下プレート境界浅部と呼ぶ)に伝播した点と、プレート境界浅部の破壊の影響がプレート境界深部に伝播したことである^{2),3)}。そこで本稿では、主に断層すべり特性の深さ依存を中心して現状の知見と問題点について報告する。

2. プレート境界浅部とプレート境界深部の震源過程

プレート境界浅部では、深部で発生する地震のスケーリング則から予想される値より長い破壊継続時間を持つ地震が発生すること、またその地震の震源時間関数は台形の形に近くなることが知られている^{4),5)}。東北沖地震では、すべり量分布とBack-Projection(BP)法によって求めた高周波の波源領域(厳密には、すべり速度もしくは加速度の高周波成分が大きな領域)との比較から、すべり量の大きな領域は震源よりUp-dip側に、高周波の波源領域は震源よりDown-dip側に分布していることが分かっている⁶⁾。この結果は、一つの地震の震源特性が深さ変化していることを示している。同様の傾向は他の巨大地震においても指摘されている⁷⁾。

図1に、グリーン関数の不確定性を考慮した遠地実体波解析によって求めた東北沖地震のすべり量分布³⁾、近地強震動記録から得られた強震動生成域⁸⁾、プレート間地震の震源域⁹⁾を示す。この図から、主な強震動生成領域は断層すべりが深部に到達している地点と一致すること、また、強震動領域はプレート間大地震が頻発している領域と一致することが分かる。

東北沖地震では、BP法を異なる周波数帯域の波に適用することによって、プレート境界浅部と深部の違いを見る試みが行われている¹⁰⁾。一方で、BP法は0.5 Hzより長周期の解析では反射波(sP波)を投影した解のイメージが得られるといった問題点がある¹¹⁾。結果として、BP法ではプレート境界浅部と深部の違いを見いだすことは難しい。

3. HBP法による震源過程イメージ

Hybrid Back-Projection(HBP)法¹¹⁾は、グリーン関数と観測波形の相互相関関数を求め、相互相関関数を断層面上に投影する方法である。BP法では、グリーン関数のスタックがデルタ関数に類似しているという暗黙の仮定をおいているが、HBPでは、グリーン関数の自己相関関数のスタックがデルタ関数に類似していると考えている。結果として、震源付近での反射波の影響を軽減することができ、かつ、深さ方向に対して高分解能の解を得ることができる。

HBP法によって得られた震源過程イメージを図2に示す。低周波側では、開始と同時にUp-dip側に破壊が伝播して、海溝付近で大きな値を持ち、その後Down-dip側に伝播していく様子が確認できる。一方で、高周波側では、Down-dip側に伝播している様子と、低周波側の解析で得られる海溝

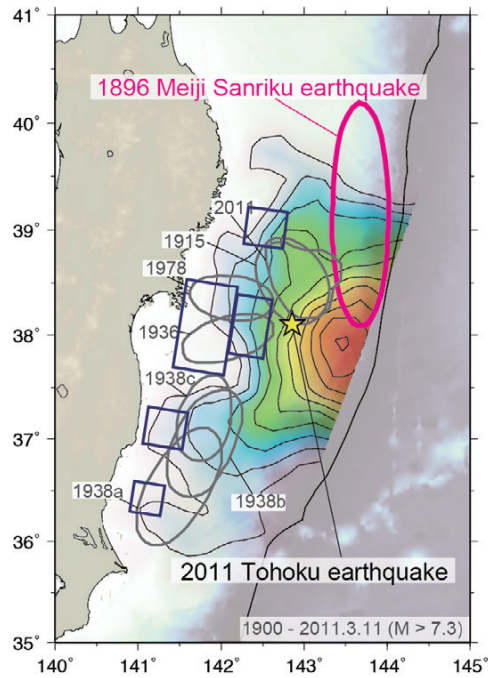
付近からの跳ね返りがプレート境界深部に到達した後に、再び大きな値を持つことが確認出来る。これらの結果は、海溝付近発生した低周波かつすべり速度の大きなイベントが、東北沖地震が巨大地震に成長する上で重要であることを示す。同様の結果は、高分解能ですべり時間関数を求めた震源過程モデル³⁾からも確認することができる。

4. 課題

遠地実体波はグリーン関数が単純であり、かつ、近年の解析理論の発展の恩恵を受けているが故に、遠地実体波解析によって広帯域の震源過程モデルの構築が可能となりつつある。しかし、遠地実体波解析では、非弾性減衰の影響で、1 Hz以上の周波数帯域の震源過程イメージを得ることは困難であり、また、空間に対して高分解能の解を得ることは困難である。近地強震動を適切に解析し広帯域の震源過程モデルを構築する解析理論、またモデリング誤差の影響を軽減するために、震源域により近い点での観測が重要となってくる。

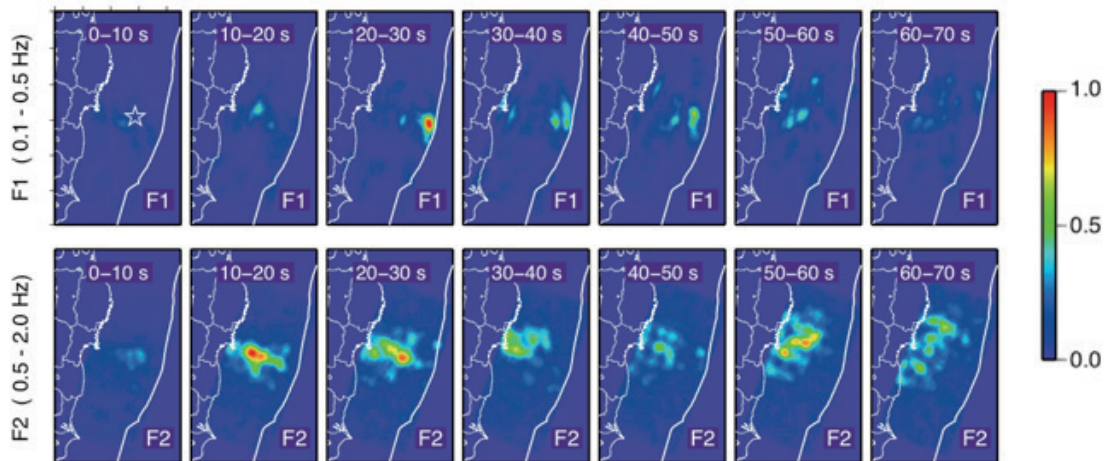
引用文献

- 1) 八木勇治 (2012) 2011年東北地方太平洋沖地震の震源過程, *地震* 2, 64, 143-153.
- 2) Ide, S. *et al.* (2011) Shallow dynamic overshoot and energetic deep rupture in the 2011 Mw 9.0 Tohoku-oki earthquake, *Science*, 332, 1426-1429.
- 3) Yagi, Y. & Fukahata, Y. (2011) Rupture process of the 2011 Tohoku-oki earthquake and absolute elastic strain release, *Geophys. Res. Lett.*, 38, L19307.
- 4) Kikuchi, M., and Kanamori, H. (1995) Source characteristics of the 1992 Nicaragua tsunami earthquake inferred from teleseismic body waves: *PAGEOPH*, 144, 441-453.
- 5) Bilek, S.L. & T. Lay (2002) Tsunami earthquakes possibly widespread manifestations of frictional conditional stability, *Geophys. Res. Lett.*, 29, L1673.
- 6) Koper, K.D *et al.* (2011) Frequency-dependent rupture process of the 2011 Mw 9.0 Tohoku earthquake: Comparison of short-period P wave backprojection images and broadband seismic rupture models, *Earth Planets Space*, 63, 599-602.
- 7) Lay, T., H. *et al.* (2012), Depth-varying rupture properties of subduction zone megathrust faults, *J. Geophys. Res.*, 117, B04311.
- 8) Kurahashi, S. & Irikura, K. (2011) Source model for generating strong ground motions during the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, *Earth Planets Space*, 63, 571-576.
- 9) 地震調査研究推進本部, *日本の地震活動*, 2009.
- 10) Wang D. & Mori, J (2011) Frequency-dependent energy radiation and fault coupling for the 2010 Mw 8.8 Maule, Chile, and 2011 Mw 9.0 Tohoku, Japan, earthquakes, *Geophys. Res. Lett.*, 38, L22308.
- 11) Yagi, Y., Nakao, A. & Kasahara, A., Smooth and rapid slip near the Japan Trench during the 2011 Tohoku-oki earthquake revealed by a hybrid back-projection method, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 355-356, 94-101.



第 1 図 東北沖地震のすべり量分布³⁾と強震動生成域⁸⁾ (青四角), プレート間地震の震源域 (灰色線に囲まれた領域)⁹⁾と明治三陸地震の震源領域⁹⁾ (ピンク線に囲まれた領域).

Figure 1. Slip distribution³⁾ (brown contours) and strong motion generation areas⁸⁾ (blue patches) of the Tohoku-oki earthquake, seismic source region of inter-plate earthquake⁹⁾ (closed brown curves) and seismic source region of the Meiji Sanriku earthquake⁹⁾ (closed pink curve).



第 2 図 HBP によって得られた 10 秒毎の震源過程イメージ. 低周波側 (F1: 0.1-0.5 Hz) の解析結果を上を高周波側 (F2: 0.5-2.0 Hz) 結果を下に示している.

Figure 2. Snapshots of beam power at 10-s intervals for frequency bands F1 (0.1-0.5 Hz) and F2 (0.5-2.0 Hz) determined by the hybrid back-projection method.