

全球地震波伝播シミュレーション

国立研究開発法人海洋研究開発機構

地球情報基盤センター

坪井誠司

理論地震波形記録の計算

- 地震は地球内部での大規模な破壊現象（断層運動）により生じる。
- 地震の発生により励起された地震波の解析
 - 震源となる断層運動の決定
 - 地球内部構造の推定
 - 強震動のシミュレーション

現実的な3次元地球モデルに対する理論地震波形記録の計算が(可能ならば周期1秒の精度で)必要

地球自由振動について

- 地球を一様な球と仮定すると正規モード解としての自由振動モードの解析解が存在
spheroidal mode
toroidal mode
(重力を復元力と考えると $T=2\pi\sqrt{l/g} \cong 5000$ 秒)
- Spheroidal modeの0S2は約3200秒の周期
- 地震により励起される地震波は正規モード解の重ね合わせにより解析的に記載することが出来る。

地球自由振動の計算

- 球対称構造を仮定した場合の地球自由振動
→ 固有振動数および固有関数は常微分方程式の数値解法により求めることができる。

球対称地球の数値地震波形記録は地球自由振動の重ね合わせにより準解析的に計算。

周期が短くなるにつれて重ね合わせるモード数が増加
→ 周期5秒程度が限界。球対称構造からのずれも考慮すると数値解析手法の適用が必要。

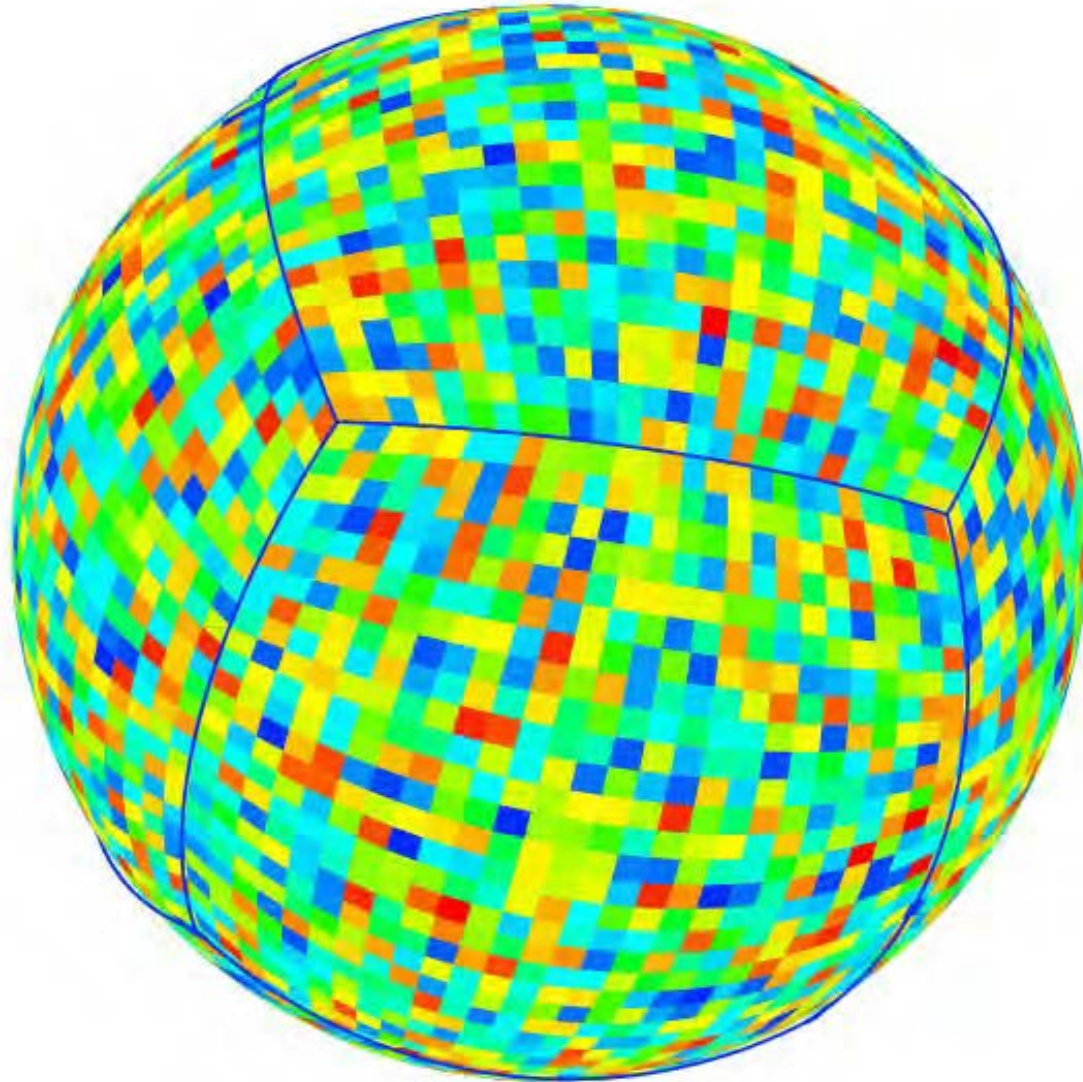
- 地震の規模(モーメントマグニチュード M_w)の推定に用いられる。(Global CMTカタログ)

現実的な地球モデルに対する理論地震記録計算

- スペクトル要素法
(Komatitsch and Tromp, 2002)
- 3次元地球モデル: S20RTS
(Ritsema et al, 1999)
- 地殻モデル: Crust 2.0 (Bassin et al, 2000)
- 地形モデル ETOPO5 (NOAA, 1988)
- 楕円体形状、減衰

- ESの507ノード、格子点数137億個(格子点間隔2km)
 - 地震波の周期3.5秒以上
 - ベクトル比99.3% 性能 10Tflops(ピーク比32%)
- ES3の1944ノード 周期3.5秒の精度

507ノードのシミュレーションで用いたメッシュ
($6 \times 26 \times 26 = 4056$)



京コンピュータによる全球地震波形計算

- 82,134ノード(全ノードの99%; 657,072コア)によるHybrid並列化
- 総格子点数6652億、自由度1.8兆、地表における格子点間隔0.67km, メモリ200TB
- 周期1.2秒の精度で7分間の理論地震波形計算を約6時間の計算時間で実行
- 1.24PFLOPS (ピーク性能比11.84%、ストロングスケーリング99.54%)

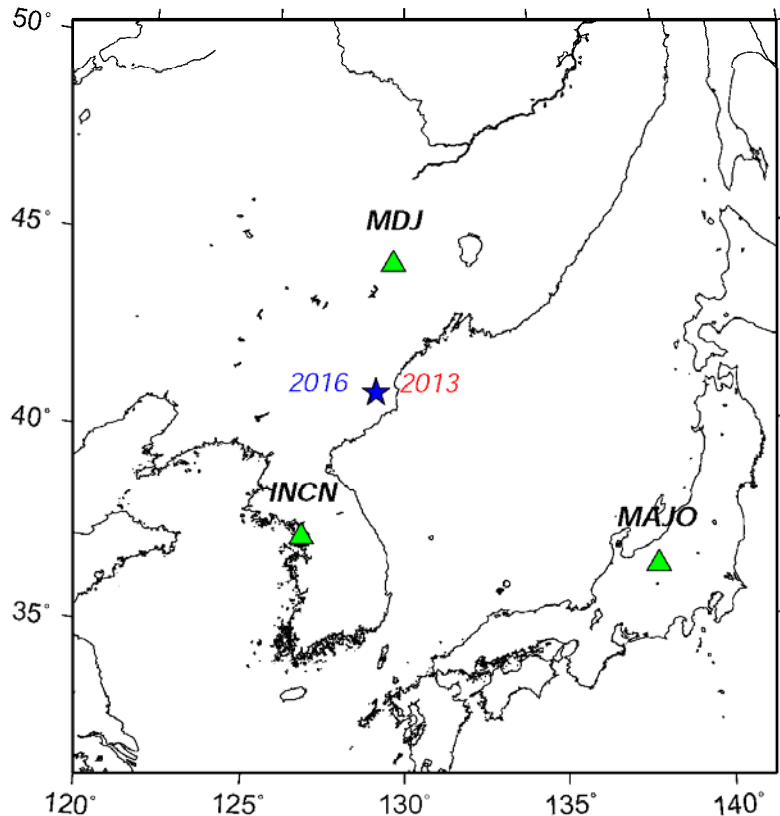
Tsuboi et al (2016)

スペクトル要素法による理論地震波形計算

- 地球シミュレータ(ES3)の2025ノード(8100コア)を用いてSPECFEM3D_GLOBEの大規模計算を実行。
- 理論地震波形記録の精度は約1.5秒。
- 地球モデルは1D isotropic PREM 40度 × 40度の1 chunkを使用



爆発的震源による理論地震波形



2013年2月12日 2:57:51.0

MB5.1 (USGS)

2016年1月6日 1:30:00

MB5.1 (USGS)

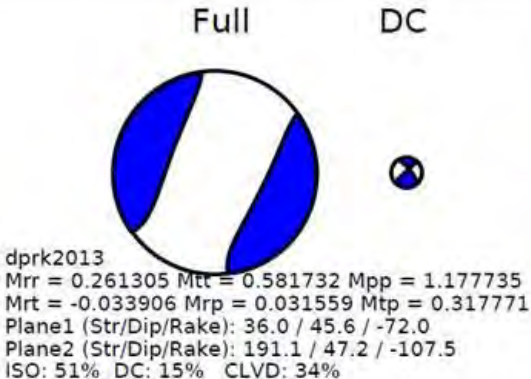
2016年9月9日 0:30:00

MB5.3 (USGS)

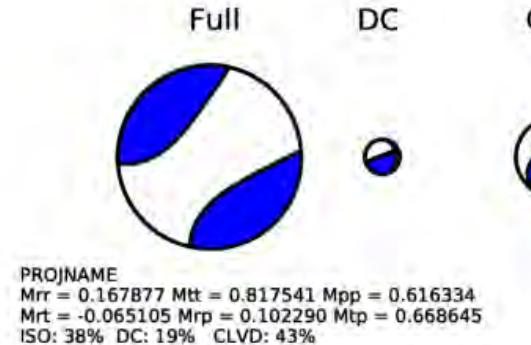
2013年と2016年1月の事象について
MDJ(Mudanjiang)における観測と理論
波形を比較

爆発的震源の場合、震源メカニズムが単純であり観測波形との比較が容易である。

理論地震波形計算に用いたCMT解(Roshkov et al, 2016)

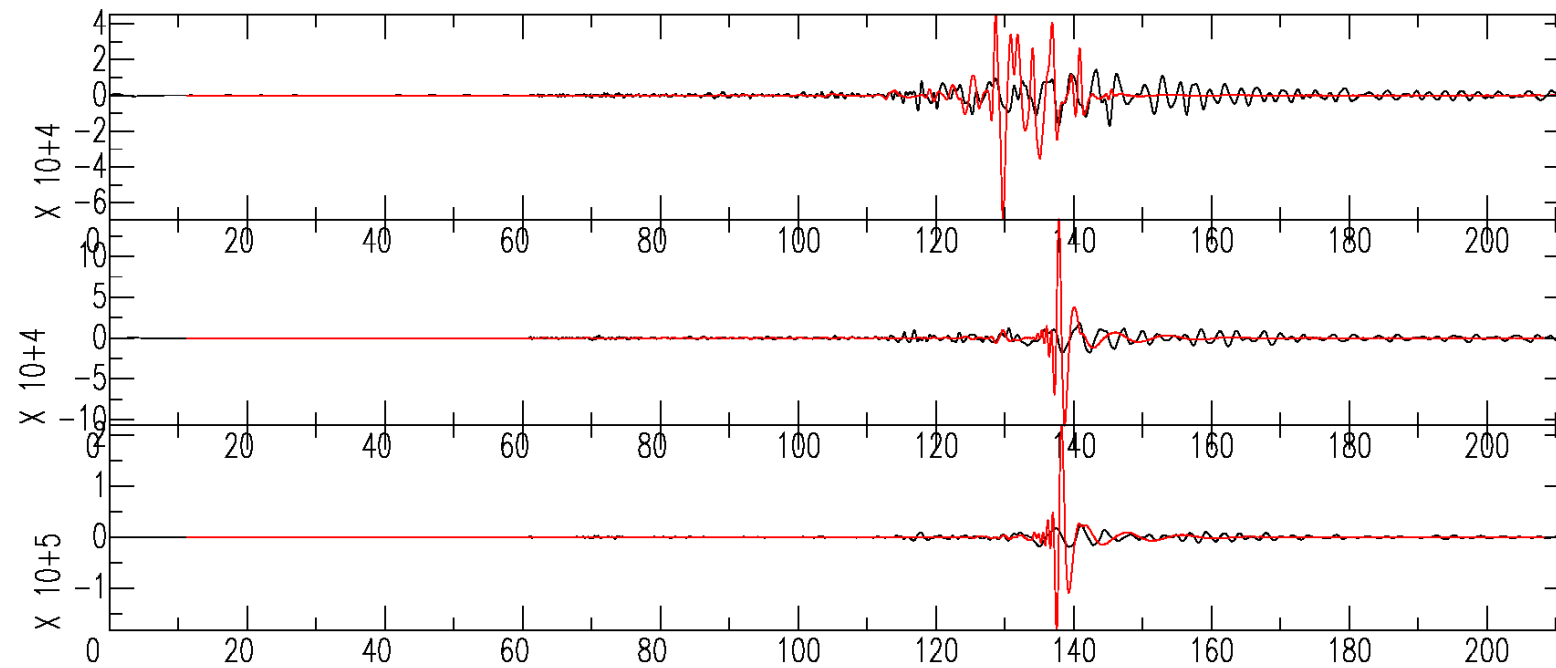


2013年
 ISO 51% DC
 15%
 CLVD 34%



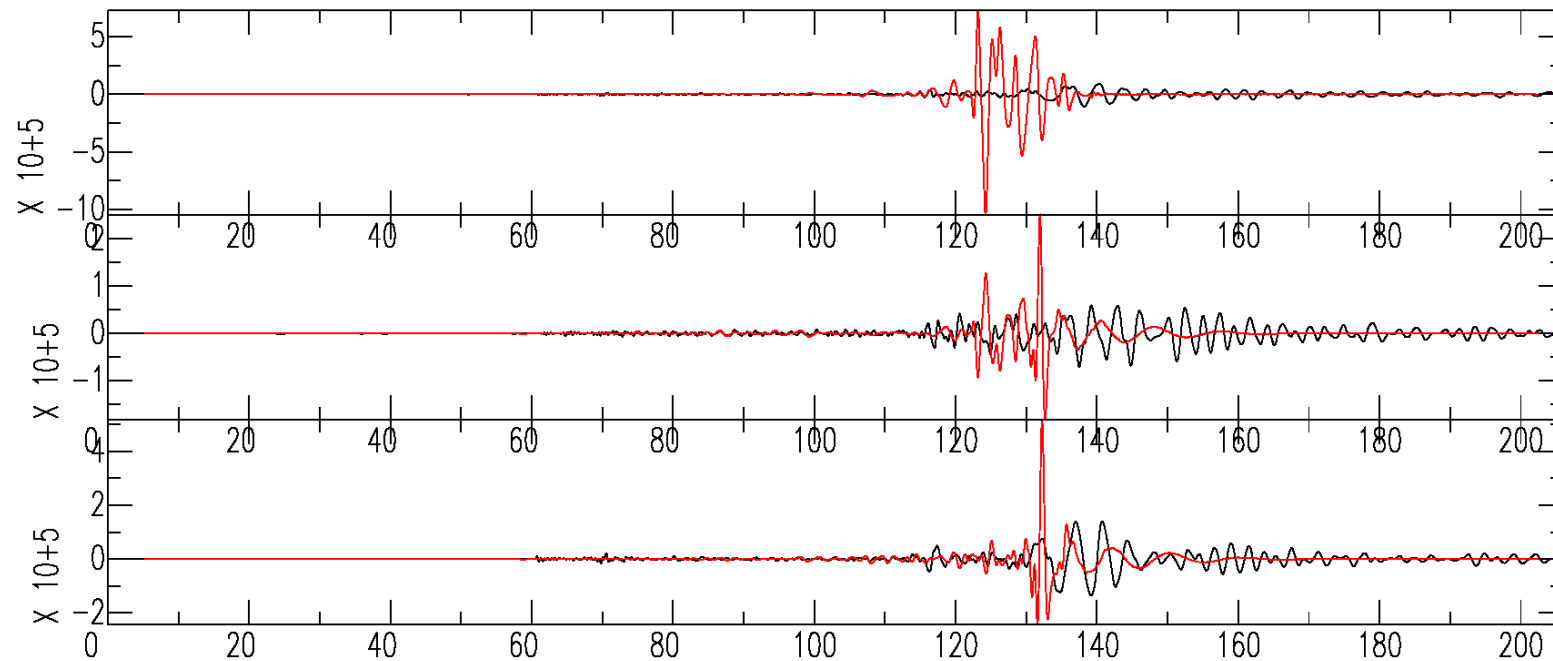
2016年1月
 ISO 38% DC 19%
 CLVD 43%

2013年2月12日の事象の理論波形と観測のMDJにおける比較



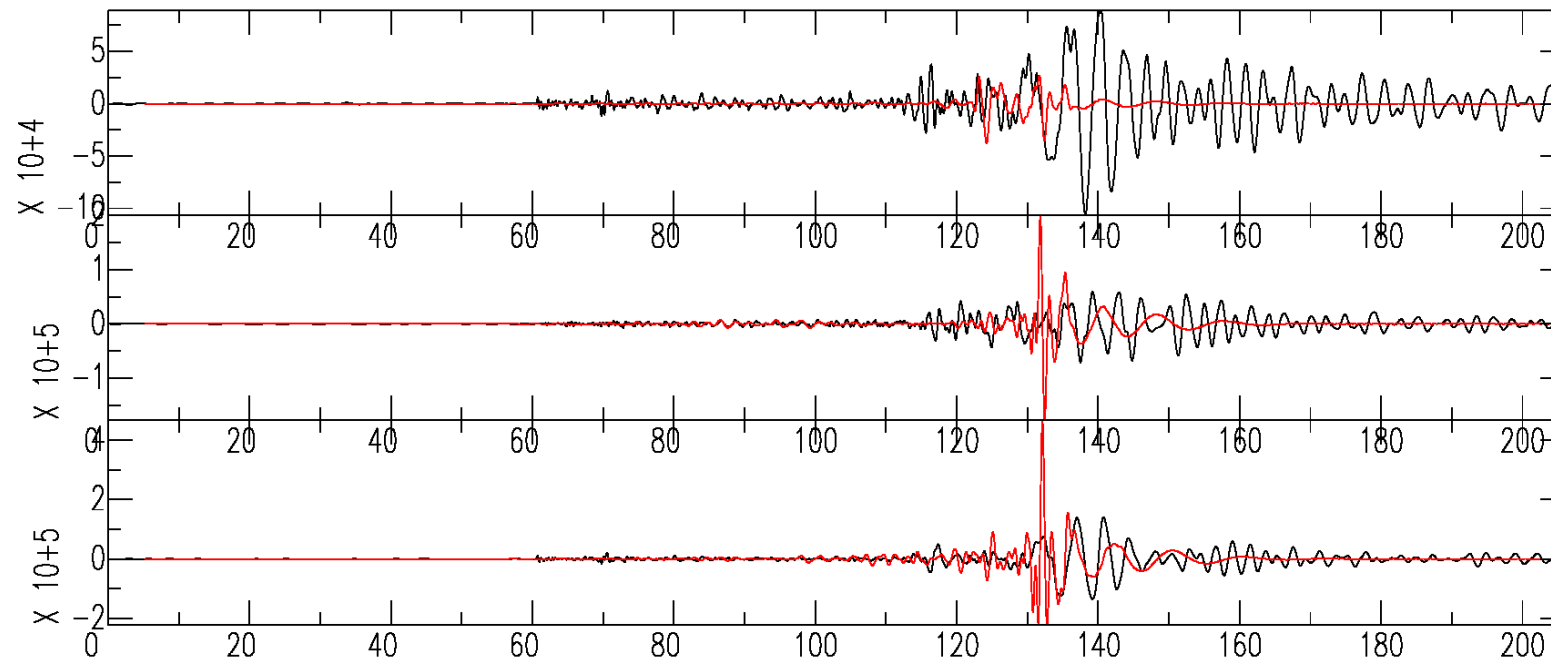
観測波形(黒線)と理論波形(赤線)。上から東西、南北、上下動成分。0.1-0.5Hzのフィルターを適用

2016年1月6日の事象の理論波形と観測のMDJにおける比較



観測波形(黒線)と理論波形(赤線)。上から東西、南北、上下動成分。0.1-0.5Hzのフィルターを適用

2016年1月6日の事象の理論波形と観測のMDJにおける比較 (ISO+CLVD)



観測波形(黒線)と理論波形(赤線)。上から東西、南北、上下動成分。0.1-0.5Hzのフィルターを適用

まとめ

- 地球シミュレータの2025ノードを用いて40度の領域で1.5秒の精度の理論地震波形を計算することが可能となった。
- 2013年の事象と2016年1月の事象はほぼ同じ規模で2016年1月の方がやや大きい。
- いずれの事象も等方成分が80%程度だがDC成分も無視できない大きさである。
- DC成分について、表面波のES成分を見る限り2013年の事象と2016年1月の事象に大きな差異は認められない。