

3次元地下構造を考慮したグリーン関数による 2011 年東北地方太平洋沖地震のすべり分布モデル

藤原了*, 河路薫, 是永真理子、秋山伸一 (伊藤忠テクノソリューションズ株式会社)

Spatio-temporal slip distribution of the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake using 3-D green's function

Satoru Fujihara*, Kaoru Kawaji, Mariko Korenaga, Shinichi Akiyama
(ITOCHU Techno-Solutions Corporation)

Abstract: We retrieved the preliminary seismic source model during this earthquake through a multiple time-window waveform inversion using the relatively low-frequency strong motion records (0.001-0.05Hz) observed at K-NET and KiK-net stations. In this inversion analysis, the effects of 3-D inhomogeneity of underground structure were considered in the computation of green's function. The present slip model showed a fairly large slip distribution at the deeper part of fault zone, as well as slip concentration at the shallow part of fault zone. This feature is fairly consistent with many other source models assuming 1-D layered structure model and using tsunami waveforms, and it is also roughly consistent with the discussions of strong-motion-generation-area at the deeper part of fault zone.

1. はじめに

2011 年東北地方太平洋沖地震(M9.1)(以後,2011 年東北地震と呼ぶ)の発生メカニズムを究明する事は防災上重要な課題と言える。これまで 1 次元水平成層の地下構造モデルを仮定した地震波形インバージョンにより 2011 年東北地震の破壊過程について多くの知見が得られてきた(例: Yagi and Fukata (2011), Suzuki et al (2011)). 本報告では,2011 年東北地震を対象に, 3 次元不均質構造を考慮した地震波形インバージョン解析によるすべり分布モデルの予備解析結果について報告する。

2. 解析方法

本解析では, マルチプルタイムウィンドウ線形波形インバージョン法 (Harzell and Heaton,1983)を用いて, 2011 年東北地震の地震発生時の震源過程を推定する。破壊開始点は Hi-net および気象庁の震源情報を参照して北緯 38.10 度, 東経 142.85 度, 深さ 24km とした。解析に用いる強震記録観測点 (K-NET, Kik-net) については, 図 1(a)に示す。解析に用いた波形は, 100Hz サンプリングの加速度波形にバンドパスフィルタをかけ積分して得られた 0.001-0.05Hz の速度波形を 1Hz にリサンプルしたものである。震源断層帯を 1 辺 30km×133 枚の小断層に分割し, 各小断層に 6 秒幅の Smoothed Ramp 関数の微分を速度関数として 3 秒ずつずらし 25 個並べて付与した。First time window triggering velocity につい

ては 3.2km/s と設定した。また, 地下構造モデルについては, 地震調査研究推進本部の地下構造データ (地震調査研究推進本部の長周期地震動予測地図 2012 年試作版で公開されている地下構造データ) を用いることとし, 各小断層に対し波動方程式に基づく 3 次元グリーン関数を有限要素法 (例:河路・秋山, 2012)により算出する。グリーン関数計算については, PC クラスタ型並列計算機 (32 コア) を用いた。ノード内ノード間とも MPI により並列化が行われている。

3. 解析結果・まとめ

図 1(b)に, 本解析で算出されたすべり分布モデルの予備解析結果を示す。地震波解析の比較検討図として, 図 1(c)に遠地データと 3 次元グリーン関数(経験的グリーン関数)を用いた Ide et al (2011)のすべり分布モデルを, 図 1(d)に Yoshida et al (2011a)の Peak moment rate 値を, 図 1(e)に Kurahashi and Irikura (2011)の(断層帯深部の)強震動生成領域分布を示した。また, 津波波形インバージョン結果との比較図として, 図 1(f)に藤原・他 (2012a)・藤原・他 (2012b)のすべり分布図を, 図 1(g)に Satake et al (2013)のすべり分布図を示した。また, 同じく参照図として, 図 1(h)-(j)に遠地地震波形データ (Incorporated Research Institutions for Seismology (IRIS)) と 1 次元層構造を仮定した我々の遠地地震波形インバージョン(例: Yoshida et al (2011b))解析結果

を示した。

3次元地下構造モデルを仮定した本解析では、浅部でのすべり集中が確認できる部分においては、1次元地下構造を仮定した地震波形インバージョンの既往研究結果(例: Yagi and Fukata(2001), Suzuki et al (2011)), 本解析図 1(h)や津波波形インバージョンの既往研究成果(図 1(f)や図 1(g))と概ね整合的である一方で、断層帯深部においてもある程度大きなすべりが卓越する傾向を示した。これらの本解析結果の傾向は、遠地データと3次元グリーン関数(経験的グリーン関数)を用いたモデル(図 1(c))や Peak Moment Rate 値分布(図 1(d))と整合的であり、また多くの断層帯深部・強震動生成領域モデル(図 1(e))ともより調和的である。図 2 に全観測点のうち代表地点における観測津波波形と理論津波波形の比較図を示す。観測波形と合成波形は概ね整合的であり、Mw=9.0 となった。

今後は沈み込みプレートの複雑な幾何条件やより高周波帯域のデータも考慮に入れながら、今回「アスペリティ」と「強震動生成領域」との解釈について乖離が生じてしまっている 2011 年東北地震の実像についてより詳細に迫っていきたい。

謝辞

本解析では、防災科学技術研究所の K-NET および Kik-net の地震波形データ Incorporated Research Institutions for Seismology (IRIS)の地震波形データ、文部科学省・地震調査研究推進本部の長周期地震動予測地図 2012 試作版で公開されている地下構造データを使用させて頂きました。一部の作図に generic mapping tools(GMT)を使用させて頂きました。横田祐輔様、尹淳恵様には有益な技術的コメントを頂きました。記して感謝します。

参考文献

地震調査研究推進本部地震調査委員会：長周期地震動予測地図 2012 年試作版, 2012 年 1 月 13 日。
藤原了・是永真理子・田宮貴洋・秋山伸一 (2012a) : 震源断層面の形状を考慮した津波波形インバージョ

- ン解析, 日本地震学会 2012 年秋季大会。
藤原了・是永真理子・田宮貴洋・秋山伸一 (2012b) : 津波波形インバージョン解析における震源断層面形状の影響の検討, 日本地震工学会 年次大会 2012..
Hartzell, S. H., and Heaton T. H. (1983) : Inversion of strong ground motion and teleseismic waveform data for the fault rupture history of the 1979 Imperial Valley, California, earthquake, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, **73**, 1553-1583.
Ide, S., Baltay, A. and Beroza G. C. (2011) : Shallow dynamic overshoot and energetic deep rupture in the 2011 Mw 9.0 Tohoku-Oki Earthquake, *Science*, **332**, 1426-1429.
河路薫・秋山伸一(2012) : 2011 年東北地方太平洋沖地震を対象とした広域地震動伝播シミュレーション, 土木学会論文集 A1(構造・地震工学), **Vol. 68, No. 4** (地震工学論文集第 31-b 巻), I_93-I_103.
Kurahashi, S. and 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.
Satake, K., Fujii, Y. Harada T., and Namegaya Y. (2013) : Time and Space Distribution of Coseismic Slip of the 2011 Tohoku Earthquake as Inferred from Tsunami Waveform Data, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, accepted
Suzuki, W., Aoi, S. Sekiguchi, H. and Kunugi T. (2011) : Rupture process of the 2011 Tohoku-Oki mega-thrust earthquake (M9.0) inverted from strong motion data, *Geophys. Res. Lett.*, **38**, L00G16. doi:10.1029/2011GL049136.
Yagi, Y. and 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.
Yoshida, K., Miyakoshi, K., and Irikura, K (2011a) : Source process of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake inferred from waveform inversion with long-period strong-motion records, *Earth Planets Space*. **63**, 577-582.
Yoshida, K., Ueno, H., Muto D., and Aoki, S (2011b) : Source process of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake with the combination of teleseismic and strong motion data, *Earth Planets Space*. **63**, 565-569

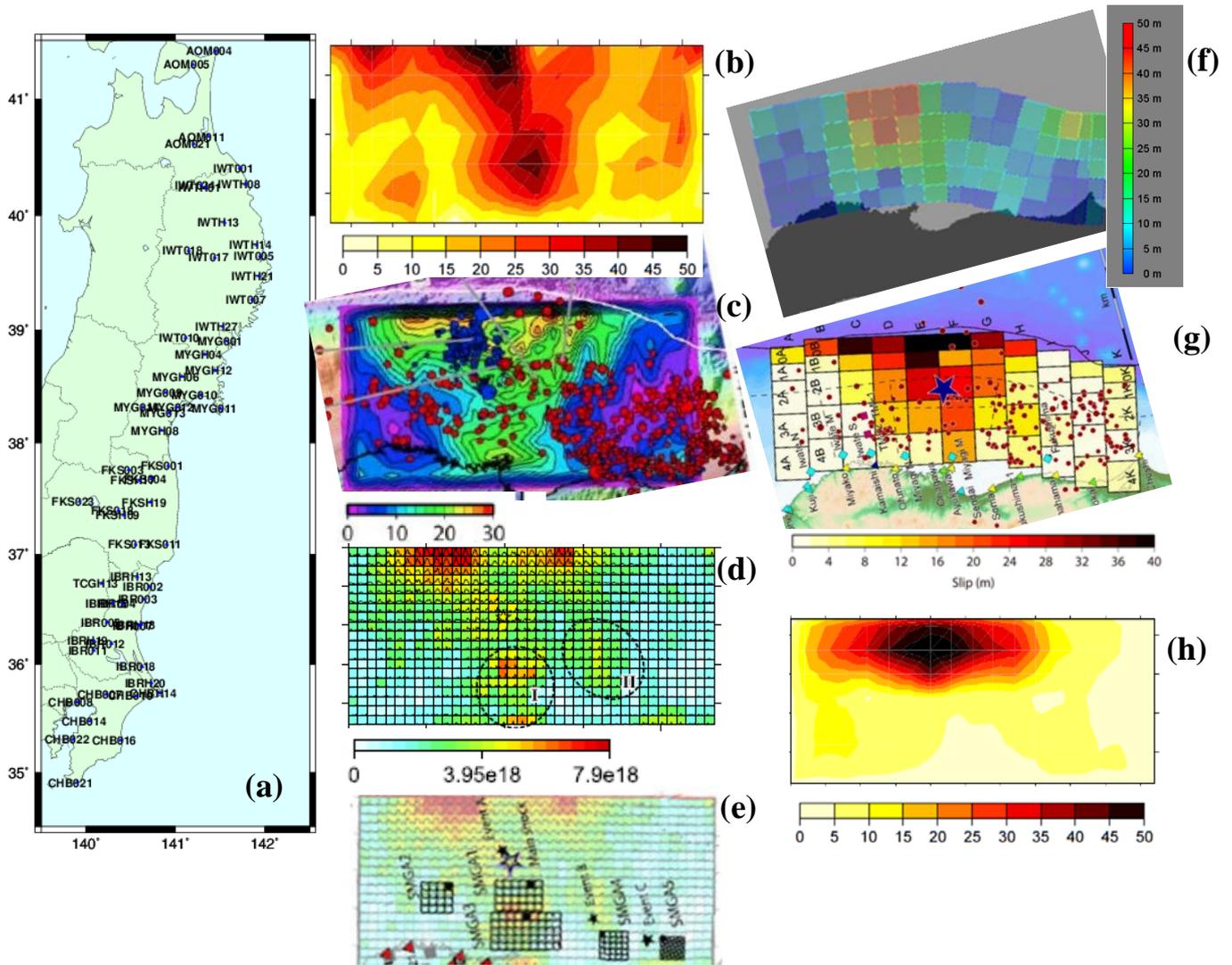


Fig. 1 (a) 強震動観測点分布図, (b) 最終すべり分布モデル(メートル), (c) 比較用すべりモデル図(メートル, Ide et al (2011)を引用), (d) 比較用モデル図 (Nm/s, Yoshida et al (2011a)を引用), (e) 波形比較図 (強震動生成領域図, Kurahashi and Irikura (2011)を引用), (f)比較用すべり分布モデル (メートル, 藤原・他(2012a, 2012b)を引用), (g)比較用すべり分布モデル (メートル, Satake et al (2013)を引用), (h) 比較用すべり分布モデル(メートル, 遠地実体波), (i) 遠地実体波解析・IRIS 観測点分布, (j) 波形比較図 (上トレース: 観測波形、下トレース: 理論波形)

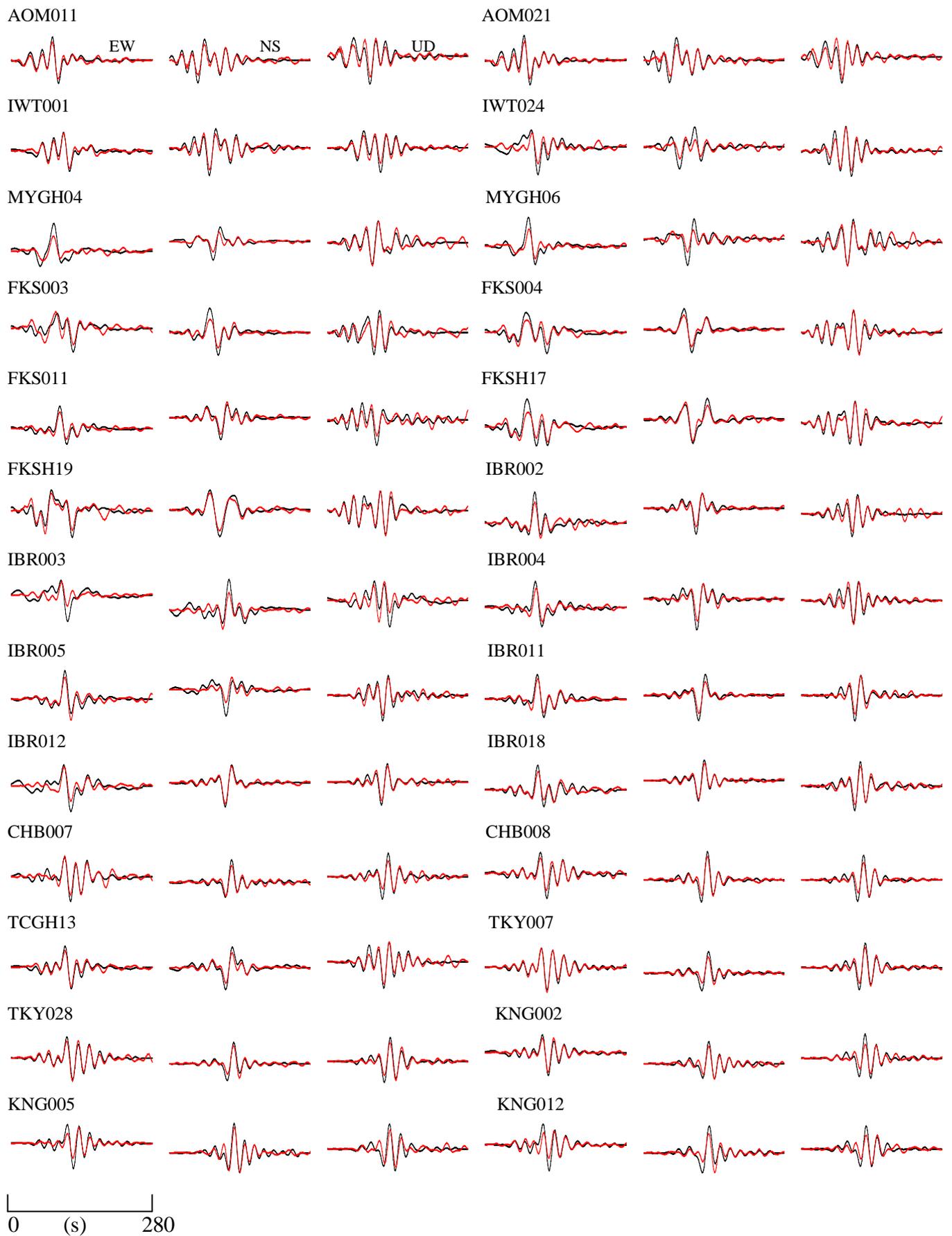


Fig. 2 波形比較図 (黒色線：観測波形、赤色線：理論波形)