

各種震源過程結果を用いた 2011 年東北地方太平洋沖地震における強震観測記録の再現性について

Strong Ground Motion Estimation by Using Evaluated Seismic Source

Process Models of The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake

2. 構造 - 2. 振動

強震動予測 経験的グリーン関数法
震源過程 2011 年東北地方太平洋沖地震正会員 ○渡辺 莉奈^{*1}
正会員 平井 敬
正会員 護 雅史^{*2}
正会員 福和 伸夫^{*3}WATANABE Rina
HIRAI Takashi
MORI Masafumi
FUKUWA Nobuo

1. はじめに

2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震は、千年に一度の災害をもたらしたと言われている。津波や原子力発電所事故による複合災害が大きく取り上げられているが、地震動の観点からは、「 $M_w 9.0$ 」「震度 6 強が広域で観測されたこと」「長周期地震動」「20m 以上の断層すべり」などが注目された。

このような背景を受け、東海地方で懸念されている南海トラフ巨大地震についても津波堆積物調査、GPS 解析、地殻構造探査などにより見直しが行われている。その結果、日向灘までの震源域の拡大や、1605 年慶長地震のような海溝付近の断層すべりによる巨大津波の発生などの新たな問題が浮き彫りになり、南海トラフでも $M 9.0$ クラスの地震が起きる可能性が示唆されるようになった。

南海トラフの強震動予測については、安政東海から安政南海地震にかけての震源域を想定震源域として、これまで評価がなされてきた。しかし、震源推定に有効な地震観測記録等が十分ではなかったため、その震源モデル、中でも強震動の生成に大いに関係するアスペリティの位置やサイズ、個数等の微視的パラメータの設定は非常に困難で震度分布等の記録に頼るところも大きかった。したがって、このアスペリティの配置が強震動推定結果に与える影響について検討しておくことが重要である。そこで、本論では、東北地方太平洋沖地震で解析された様々な震源過程についてまとめるとともに、その一部を抽出し、推定されている断層すべり分布から断層モデルを設定し、経験的グリーン関数法により波形合成を行って、推定震源過程からの強震動の再現性を検討する。

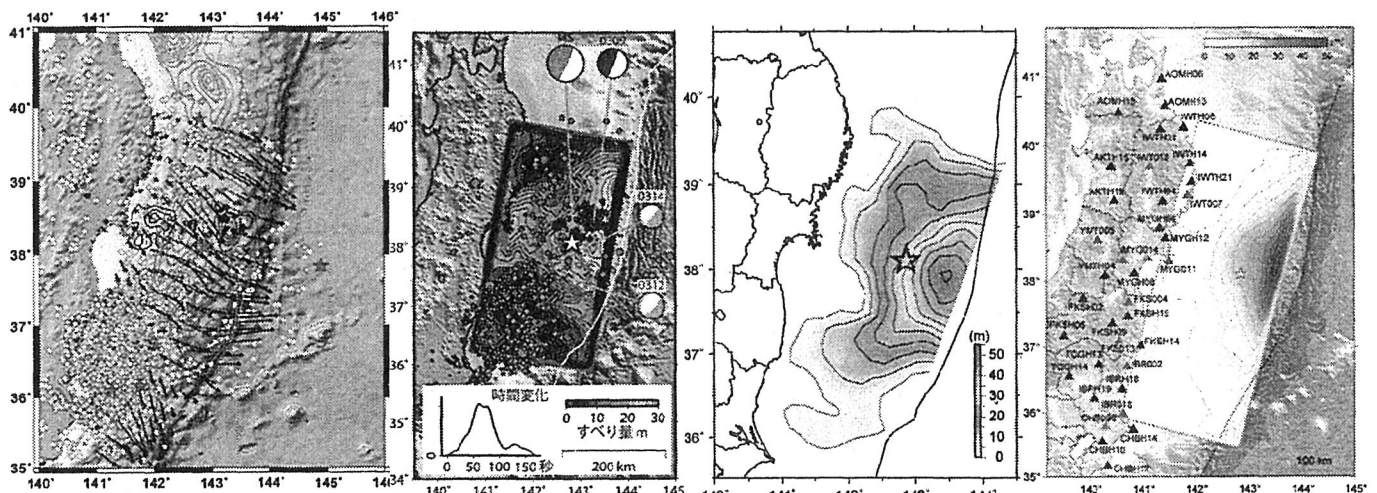


図 1 震源過程 (1)

	山中 ⁽¹⁾	井出 ⁽²⁾	八木 ⁽³⁾	防災科学技術研究所 ⁽⁴⁾
解析手法	遠地実体波解析	遠地実体波解析	遠地実体波解析	遠地実体波解析
備考	対象周期: 1~250[s] $M_w: 8.8$	最大すべり量=30[m]	最大すべり量=51.2[m] $M_w: 9.1$	最大すべり量=48[m] $M_w: 9.0$

表 1 震源過程の特徴 (1)

*1 名古屋大学大学院環境学研究科 大学院生
*2 名古屋大学大学院環境学研究科 准教授・博士 (工学)
*3 名古屋大学大学院環境学研究科 教授・工博

*1 Grad.Student, Grad.School of environmental Studies, Nagoya Univ.
*2 Assoc.Prof., Grad.School of environmental Studies, Nagoya Univ., Dr.Eng.
*3 Prof., Grad.School of environmental Studies, Nagoya Univ., Dr.Eng.

2. 震源過程モデル

東北地方太平洋沖地震については、様々な研究者によって震源過程のモデルが提案されている。図1、図2に震源過程を、表1、表2にそれぞれの解析の特徴をまとめる。

図1における各震源過程は、遠地実体波解析によって求められたものであるが、すべり分布も最大すべり量もモデルごとに異なる。同様の解析手法を用いても、用いる地震波、周期帯域、断層グリッドの設定などにより結果は研究者ごとに異なることが分かる。また、図2の国土地理院の震源過程はGPSデータを用いて解析したものである。GPSデータを用いると海溝軸付近の精度が悪く、その性質上すべりの大きい部分が陸側に近づいてしまうという難点があると言われている。一方、日本地震学会の震源過程は、GPSと海底地殻変動データを併用したもので、国土地理院の震源過程より海溝軸側に寄っていることが分かる。図2に示す藤井・佐竹の震源過程は津波データを用いた解析で、谷岡の震源過程は観測津波データとGPSデータによる地震時地殻変動を併用した解析である。これらは周期の長い津波波形を用いるため、断層のメッシュ分割は粗い。入倉による震源過程は、地殻変動データを用いてインバージョンした断層すべりに対応して、強震動生成領域を図2示すような5か所に推定されるとしている。

3. 経験的グリーン関数法による波形合成

本節では、web上で断層すべり量データが公開されている八木による震源過程を一検討例として、経験的グリーン関数法によって波形合成を行うことにより当該モデルの強震動記録の再現性について検討する。強震動予測

手法の一つである経験的グリーン関数法は、想定される地震の断層を要素断層に分割し、中小地震の震源特性と要素断層の震源特性の違い、伝播経路による減衰特性の違い、破壊伝播方向等を考慮し、中小地震を要素地震として合成して想定地震の強震動を予測する手法である。本節では、東北地方太平洋沖地震の前震とされる3月9日11:45に発生したM7.3の地震を要素地震とし、図3に示した八木による震源過程の断層すべり量分布に基づき震源断層モデルを作成し、3月11日の本震を再現して、観測波形と比較することで推定震源過程からの強震記録の再現性について検討した。

八木の震源過程に基づいて作成した震源断層パラメータを表3に示す。要素地震は、2011年3月9日11:45に発生した地震を用いた。表4に震源断層パラメータを示す。

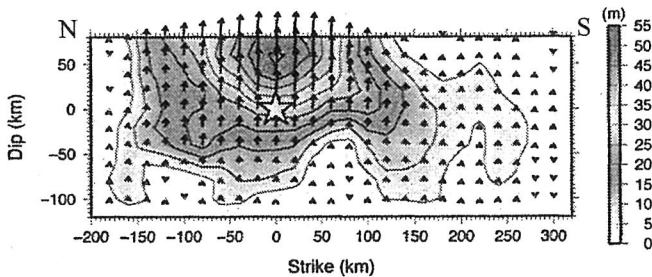


図3 八木モデルの断層すべり量

ここで、要素地震の断層面積 S 、平均応力降下量 $\overline{\Delta\sigma_c}$ 、平均すべり量 $\overline{D}$ は、以下の式に従って求めた。⁽¹⁰⁾

$$S = 10^{M_w - 4.0} \quad \cdots(1)$$

$$\overline{\Delta\sigma_c} = 7\pi^{3/2} \cdot M_0 / 16 \cdot S^{3/2} \quad \cdots(2)$$

$$\overline{D} = M_0 / \mu S \quad \cdots(3)$$

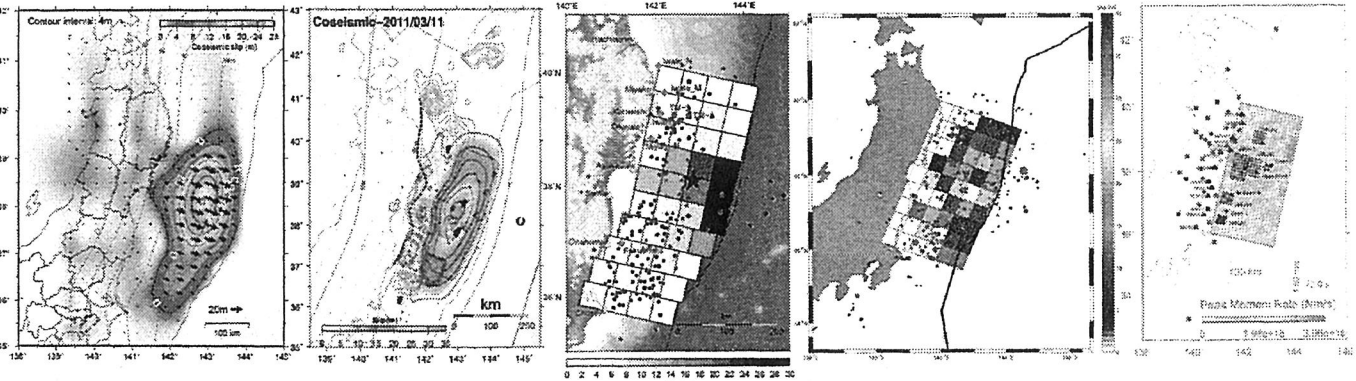


図2 震源過程 (2)

	国土地理院 ⁽⁵⁾	日本地震学会 ⁽⁶⁾	藤井・佐竹 ⁽⁷⁾	谷岡 ⁽⁸⁾	入倉 ⁽⁹⁾
解析手法	GPSデータ	GPS＋ 海底地殻変動データ	津波データ	観測津波＋GPSデータ	地殻変動データ
備考	最大すべり量=28[m] M _w : 9.0	最大すべり量=30[m]	最大すべり量=40[m]以上 M _w : 9.0	最大すべり量=約40[m] M _w : 9.0	対象周期: 20~200[s]

表2 震源過程の特徴 (2)

震源	緯度[°]	38.103
	経度[°]	142.860
	深さ[km]	22
断層長さ[km]×幅[km]		520×200
断層パラメータ	走向[°]	200
	傾斜[°]	12
	平均すべり角[°]	85
地震規模 M_w		9.1
地震モーメント[Nm]		5.62×10^{22}
平均すべり量[m]		12.59
平均応力降下量[MPa]		2.96
破壊伝播速度[km/s]		2.73
ライズタイム[s]		36.64

表3 八木モデルの震源断層パラメータ

震源	緯度[°]	38.328
	経度[°]	143.278
	深さ[km]	8
断層面積[km ²]		1995.3
断層パラメータ	走向[°]	190
	傾斜[°]	12
	平均すべり角[°]	70
地震規模 M_w		7.3
地震モーメント[Nm]		1.12×10^{20}
平均すべり量[m]		0.96
平均応力降下量[MPa]		3.06

表4 要素地震の震源断層パラメータ

今回の地震では、震度6強が広域で観測されていることから、強震動を合成するサイトを図4に示す東北地方から関東地方にかけての5点とした。各サイトでの要素地震の加速度波形のNS成分を図4に示す。

以上をもとに、次のように断層モデルを設定する。まず、スケーリング則に基づき大断層の分割数を求める。要素地震の地震モーメントに対する合成地震の地震モーメントの比を m_0 とし、大断層の長さ方向・幅方向の分割数をそれぞれ n_L, n_W とすると、次式が成り立つ。

$$n_L = n_W = m^{1/3} \quad \dots(4)$$

(4)式からそれぞれの地震モーメントから分割数を求めると、およそ8個ずつに分割すればよいと分かる。ここで、今回想定する大断層は長さ×幅が520×200[km]と長方形であり、分割する小断層がほぼ面積の等しい正方形となるように、長さ方向に13個、幅方向に5個ずつに分割することとした。八木が推定に用いているメッシュサイズは、本検討で用いるサイズに比べて小さいため、検

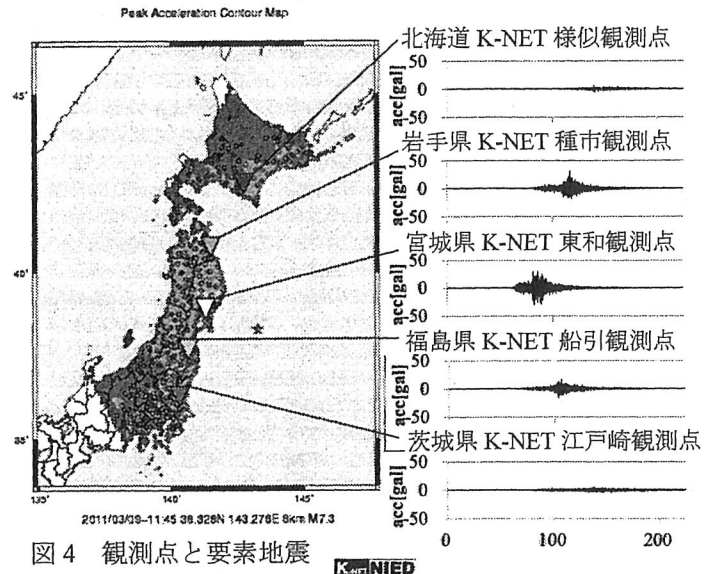


図4 観測点と要素地震

討に用いる各小断層のすべり量は、小断層に含まれる全メッシュのすべり量の平均値を用いることとした。また、各小断層の応力降下量は、断層全体での平均応力降下量が3.0[MPa]となるように、すべり分布に比例して与えることとした。想定した断層モデルのすべり分布と応力降下量の分布を、それぞれ図5、図6に示す。

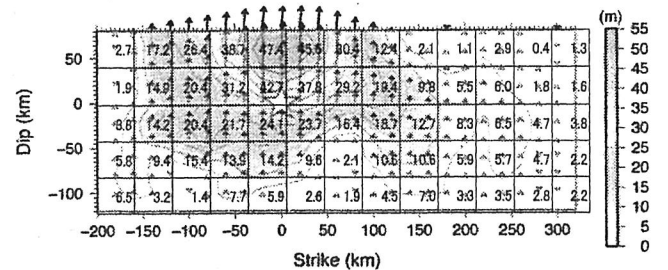


図5 八木の震源過程から求めたすべり量分布[m]

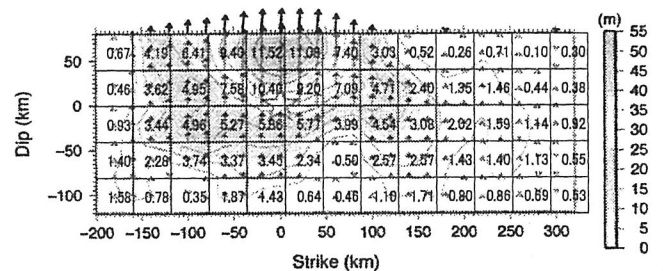


図6 八木の震源過程から求めた応力降下量[MPa]

以上により合成された加速度波形・速度波形と本震で観測された加速度波形・速度波形の比較を図7に、またそれぞれの減衰5%の速度応答スペクトルの比較を図8に示す。波形を見ると、宮城県 K-NET 東和観測点と岩手県 K-NET 種市観測点で顕著に表れている、観測波形が第一波と第二波に分かれている特徴を合成波形は再現できていないことが分かる。また、スペクトルの比較では、

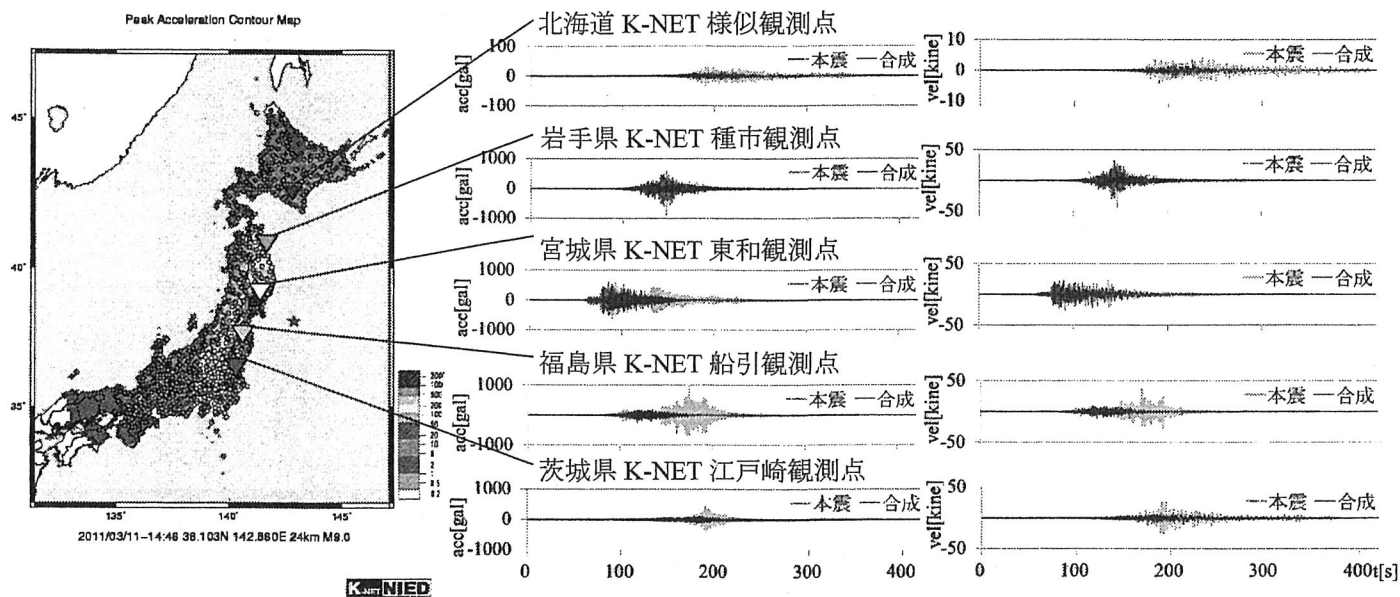


図7 加速度(左)と速度(右)について合成波形と観測波形の比較

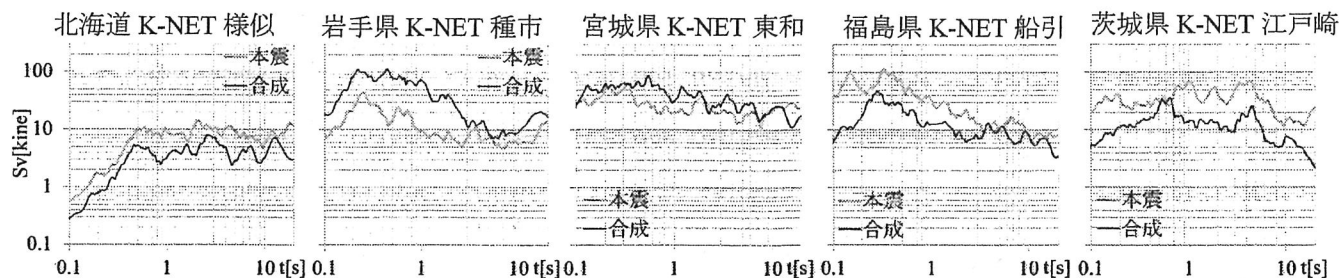


図8 減衰5%の速度応答スペクトル

特に震源より南の観測点で本震より過小評価である。一方、岩手県で過大評価であるのは、要素地震のレベルが大きいことに依存していると考えられる。

ここで八木の震源過程は、すべりが大きい部分が震源の東側に1ヶ所のみ存在しているため、二波に分かれる地震動は表現が難しい。よって、例えば山中や井出の震源過程のようにすべりの大きい部分が分散しているモデルや、入倉のようにアスペリティを分散させて設定すると表現できる可能性があり、これを今後の検討としたい。

4. まとめ

本論では、東北地方太平洋沖地震で提案されている様々な震源過程についてまとめ、八木の震源過程に着目し、経験的グリーン関数法を用いて波形合成することで、強震動の再現性について検討した。本論で検討した内容は一例であり、他のモデルでも同様の検討が必要である。

今回の東北地方太平洋沖地震は、様々な研究機関によって断層すべり量が計測・解析されており、なおかつ全国的に広い範囲で強震観測記録が得られている非常に重要な事例である。2節でまとめた、すべり分布の異なる震源過程での検討を始めとして、アスペリティの分布状況

の検討や、要素地震の選定など、様々な条件で強震動予測を行い、結果を比較し、南海トラフ巨大地震の断層モデルの設定に活用することを今後の課題とする。

参考文献

- (1) NGY 地震学ノート No.36 改訂版,
http://www.seis.nagoya-u.ac.jp/sanchu/Seismo_Note/2011/NGY36n.html
- (2) 東京大学大学院理学研究科・理学部 震災・節電関連の東大理学系特設ページ プレスリリース 東北沖地震の二面性,
<http://www.s.u-tokyo.ac.jp/ja/press/2011/12.html>
- (3) Yuji Yagi Geodynamics, University of Tsukuba,
<http://www.geol.tsukuba.ac.jp/~yagi-y/EQ/Tohoku/>
- (4) 防災科学技術研究所 近地強震記録を用いた2011年03月11日東北地方太平洋沖地震の震源インバージョン解析,
http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/topics/TohokuTaiheiyo_20110311/inversion/
- (5) 国土地理院, <http://www.gsi.go.jp/common/000060400.pdf>
- (6) 日本地震学会 情報誌「日本地震学会ニュースレター」Vol.23 No.2 July 10, 2011 研究報告: 2011年東北地方太平洋沖地震
http://www.zisin.jp/modules/pico/index.php?content_id=2253
- (7) 2011年3月11日東北地方太平洋沖地震の津波波源,
http://iisee.kenken.go.jp/staff/fujii/OffTohokuPacific2011/tsunami_ja.html
- (8) 北海道大学大学院理学研究院附属地震火山研究観測センター 地震・火山イベント速報,
<http://www.sci.hokudai.ac.jp/isv/ev-news-flash/2011311-1.html>
- (9) 入倉孝次郎地震動研究所 2011年東北地方太平洋沖地震の強震動生成のための震源モデル,
http://www.kojiro-irikura.jp/pdf/tohoku_irikura20110816.pdf
- (10) 京都大学防災研究所年報第47号A 平成16年4月