

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 6 月 8 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2015

課題番号：25750143

研究課題名(和文) 超巨大地震群の強震動予測震源のモデル化

研究課題名(英文) Source Modeling of Strong Ground Motion Prediction for Megathrust Earthquake Sequence

研究代表者

三宅 弘恵 (MIYAKE, Hiroe)

東京大学・大学院情報学環・准教授

研究者番号：90401265

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、これまで手がけた内陸地震と海溝型地震の震源モデル化研究を基に、応力降下量に関する検討を行った。次いで、M6からM9クラスに至る超巨大地震群を対象とし、地震規模に応じた海溝型地震の強震動予測レシピを試作した。海溝型地震の場合、短周期震源は長周期震源に内包されることが多いが、超巨大地震になると短周期震源は長周期震源の端部に位置する事例が見受けられる。そのため、短周期震源の応力降下量と面積を、長周期震源のそれらのN倍および1/N倍にモデル化することにより、震源パラメータと短周期レベルの総和を満足する広帯域震源モデルを提案した。

研究成果の概要(英文)：Broadband source modeling for predicting ground motions is a key role for seismic hazard assessment. Recent megathrust earthquakes motivated us to establish a recipe for subduction earthquake scenarios. Based on slip inversions, scaling of source parameters and acceleration source spectral levels, we propose candidates for the broadband source of subduction earthquakes: Single-corner or double-corner characterized source models. The latter model, where the size and stress drop for short-period source patches are respectively 1/N times and N times of those for long-period source patches, worked to reproduce broadband ground motions for megathrust earthquakes. The short-period source patches partly superimpose on the long-period source patches for M8-class, then shift to the edge of the long-period source patches for M9-class earthquakes with increasing N value.

研究分野：強震動地震学

キーワード：地震動 超巨大地震 東北地方太平洋沖地震 震源 強震動予測 ハザード

### 1. 研究開始当初の背景

世界の地震ハザード評価、特に海溝型地震の震源のモデル化研究は、東日本大震災を引き起こした2011年東北地方太平洋沖地震(Mw 9.0~9.1)や、2010年チリ・マウレ地震(Mw 8.8)によって転換を迫られている。

これまで甚大な自然災害をもたらす超巨大地震として、2004年スマトラ地震が研究対象と扱われることが多かった。しかし、震源近傍の地震観測記録が殆どなかったため、詳細な議論がなされてこなかった。その後、2011年東北地方太平洋沖地震や、2010年チリ・マウレ地震の発生により、超巨大地震およびそれに伴う余震の性質が、震源近傍の地震観測記録に基づいて詳細に研究されるようになった。

その結果、M9クラスの超巨大地震において、M7~M8クラスの海溝型地震ではこれまで確認されていなかった、長周期地震動と短周期地震動の発生場所が明瞭に異なる、地震動の強さがMw 8.4程度で飽和する、超巨大地震の短周期地震動の減衰が少ない、等の現象が相次いで確認された。しかしながら、その原因は未解明である。

### 2. 研究の目的

本研究では、これまで手がけた内陸地震と海溝型地震の震源モデル化研究を基に、応力降下量に関する解析および震源解析を展開する。そして、M6からM9クラスに至る超巨大地震群を対象とし、幅広い地震規模を遷移的に表現可能な、強震動予測のための震源モデル化を行う。具体的には、海溝型地震の強震動予測レシピを試作し、地震規模に応じた震源モデルを構築する。また、海溝型地震の強震動予測において採用すべきスケールと応力降下量の値について検討する。

さらに、2011年東北地方太平洋沖地震の断層直交方向の破壊進展と、2010年チリ・マウレ地震の断層平行方向の破壊進展の比較研究により、将来の南海トラフ巨大地震等の複数の地震シナリオによる、長周期地震動と短周期地震動の生成に示唆を与えることが期待される。

### 3. 研究の方法

初年度は、超巨大地震の一つである2011年東北地方太平洋沖地震の地震群を対象に、本震前後の応力降下量の時空間変化を推定した。その結果、前震の応力降下量は相対的に低いこと、本震直後の地震規模の大きな余震の応力降下量が高いこと、そして余震の応力降下量のバラツキが大きいことが分かった。

また、強震動パルス生成の観点から環太平洋の海溝型地震の震源モデルを整理し、震源時間関数のプロトタイプを分析した。強震動パルスが生成される海溝型地震の場合、最大値が大きく継続時間が短いKostrov型の関数が、強震動パルスが生成されにくい海溝型地

震の場合、最大値が小さく継続時間が長い二等辺三角形の関数が、震源時間関数として得られることが多いが、2011年東北地方太平洋沖地震や、2010年チリ・マウレ地震などの超巨大地震の場合、断層面において両者の震源時間関数の特徴が必要と考えられる。

次年度は、超巨大地震における長周期震源と短周期震源の乖離の原因について、地殻構造および動力学的震源の観点から考察した。その結果、2011年東北地方太平洋沖地震の場合、これらの乖離は、マントルウェッジを境に海溝軸側に長周期震源、陸側に短周期震源が生成していると解釈することもでき、繰り返し地震およびその応力蓄積過程について物理モデルを提示した。

その結果、超巨大地震特有の確認現象を考察し、単にランダムではなく、地震の破壊成長過程を周期依存性に反映させた、超巨大地震群の強震動予測震源モデルを構築することの重要性を確認した。また、応力降下量の時空間変化と地震規模依存性に関する解析によって、地震発生の際を理解すると共に、生成される地震動のばらつきに拘束を与えることが可能となる。

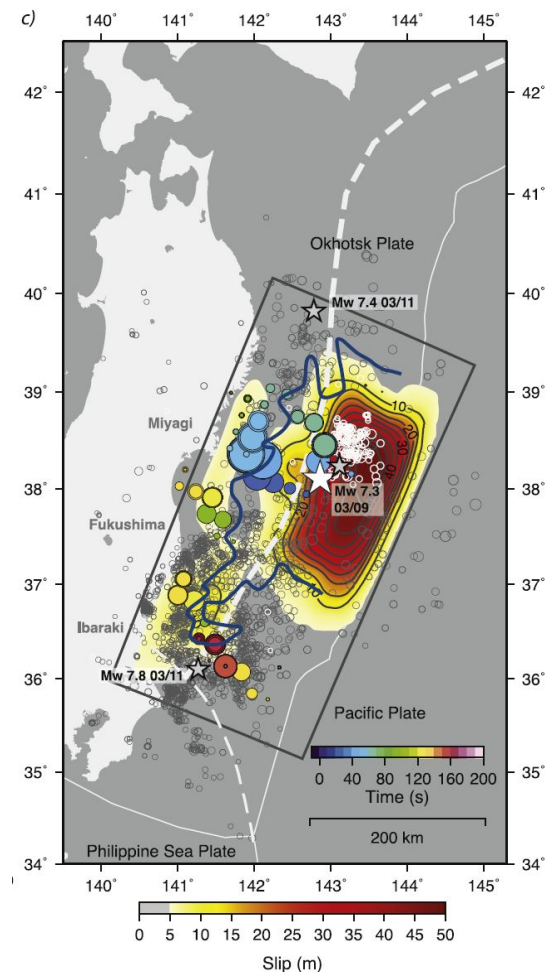


図1 超巨大地震における長周期成分と短周期成分の乖離 (Satoriano, Dionicio, Miyake, et al., 2014)

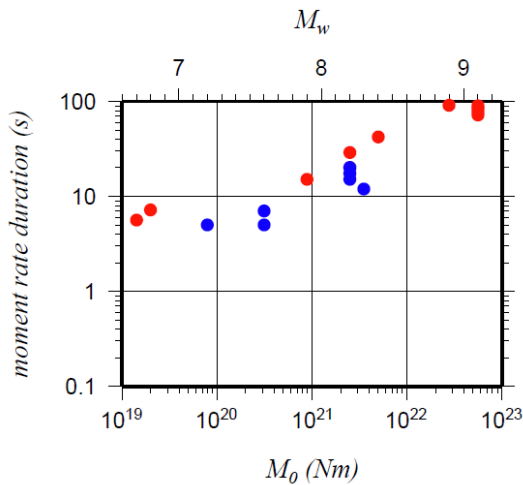


図2 地震規模に対するモーメントレート継続時間。赤は南海トラフと相模トラフに加え、2010年チリ・マウレ地震と2011年東北地方太平洋沖地震を示す。青は日本海溝沿いの地震 (Miyake and Hisada, 2014)

#### 4. 研究成果

本研究では、これまで手がけた内陸地震と海溝型地震の震源モデル化研究を基に、応力降下量に関する検討を行った。次いで、M6からM9クラスに至る超巨大地震群を対象とし、地震規模に応じた海溝型地震の強震動予測レシビを試作した。海溝型地震の場合、短周期震源は長周期震源に内包されることが多いが、超巨大地震になると短周期震源は長周期震源の端部に位置する事例が見受けられる。そのため、短周期震源の応力降下量と面積を、長周期震源のそれらのN倍および1/N倍にモデル化することにより、震源パラメータと短周期レベルの総和を満足する広帯域震源モデルを提案した。

また、2011年東北地方太平洋沖地震の震源は、2010年チリ・マウレ地震と同様、M9クラスの長周期震源とM8クラスの短周期震源の組み合わせと解釈することも可能である。ただし、断層傾斜方向に複雑な破壊進展を呈し、同じ場所が複数回すべる等の新たな知見が得られ、地震の震源の多様性が認識されている。また、強震記録による海溝軸付近の震源分解能は決して高くなく、今後の海域観測が期待される。

さらに、2011年東北地方太平洋沖地震や2010年チリ・マウレ地震といった超巨大地震では、地震動の長周期成分と短周期成分の到達時刻の乖離が明瞭であった。その原因は、長周期震源と短周期震源のそれぞれの破壊開始点の位置と時刻の差異を考えられる。短周期震源が、長周期震源の破壊フロントの到達時刻にトリガーされているケースでは、震源のダイナミクスに基づく統一的理解が示唆される一方、ケース外の事例も見受けられ、多様なシナリオを試行する必要がある。

超巨大地震の震源像の知見は、まだ蓄積されている段階であり、断層走向方向や断層傾

斜方向の破壊進展や、長周期と短周期の震源モデルの相違について、地殻構造やテクトニクス・地震活動・応力降下量の観点から議論が継続している。したがって、2011年東北地方太平洋沖地震の震源モデルや強震動の特徴を、他の地域の超巨大地震の震源モデル化や強震動予測に安易に反映するのではなく、最新の知見を探求し、様々な可能性を検討することが望ましい。

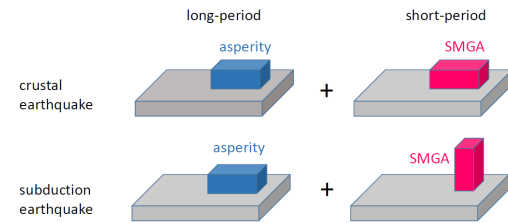


図3 従来の内陸地震の広帯域震源モデル(上)と本研究でモデル化された海溝型地震の広帯域震源モデル(下)。アスペリティと強震動生成域 SMGA の設定方法に変数を取り入れた (三宅・入倉, 2014)

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計7件)

三宅弘恵・浅野公之・纈纈一起・岩田知孝, 2011年東北地方太平洋沖地震の強震記録を用いた震源モデルの概要, 日本地震工学会論文集, 査読有, Vol. 16, No. 4, 2016, pp. 12-21, doi:10.5610/jaee.16.4\_12

Loic Viens, Hiroe Miyake, and Kazuki Koketsu, Long-period ground motion simulation of a subduction earthquake using the offshore-onshore ambient seismic field, Geophysical Research Letters, 査読有, Vol. 42, 2015, pp. 5282-5289, doi:10.1002/2015GL064265

Gony Yagoda-Biran, John G. Anderson, Hiroe Miyake, and Kazuki Koketsu, Between-event variance for large repeating earthquakes, Bulletin of the Seismological Society of America, 査読有, Vol. 105, No. 4, 2015, pp. 2023-2040, doi:10.1785/0120140196

三宅弘恵・入倉孝次郎, 強震動予測レシビの現状と課題, 第42回地盤震動シンポジウム, 査読無, 日本建築学会, 2014, pp. 13-16.

Claudio Satriano, Viviana Dionicio, Hiroe Miyake, Naoki Uchida, Jean-Pierre Vilotte, and Pascal Bernard, Structural and thermal control of seismic activity and megathrust rupture dynamics in subduction zones: Lessons from the Mw

9.0, 2011 Tohoku earthquake, Earth and Planetary Science Letters, 査読有, Vol. 403, 2014, pp. 287-298, doi:10.1016/j.epsl.2014.06.037

香川敬生・Petukhin Anatoly・纈纈一起・三宅弘恵・室谷智子, 3次元地下構造を考慮した1946年南海地震の震源モデルとそれを用いた強震動評価, 第41回地盤震動シンポジウム, 査読無, 日本建築学会, 2013, pp. 21-24.

Hiroe Miyake, An overview of the 2011 Tohoku earthquake rupture models, Proceedings of the International Workshop of Japan Association for Earthquake Engineering on the Effects of Surface Geology on Strong Ground Motion, 査読無, 2013, pp. 1-23.

[学会発表](計9件)

Hiroe Miyake, and Adrien Oth, Ground motion prediction equations empowered by stress drop measurement, 2015 American Geophysical Union Fall Meeting, 2015年12月14日~18日, サンフランシスコ(米国)

Hiroe Miyake, and Kojiro Irikura, Characterized source modeling of crustal earthquakes for broadband ground motion prediction, Workshop on Best Practices in Physics-Based Fault Rupture Models for Seismic Hazard Assessment of Nuclear Installations, 2015年11月18日~20日, ウィーン(オーストリア)

Hiroe Miyake, Kazuki Koketsu, and Kojiro Irikura, Recipe for predicting strong ground motion from subduction earthquake scenarios, Seismological Society of America 2015 Annual Meeting, 2015年4月21日~23日, パサデナ(米国)

Hiroe Miyake, and Kazuki Koketsu, Postdiction of source model and ground motions for the 2011 Tohoku earthquake, Asia Oceania Geosciences Society 11th Annual Meeting, 2014年7月28日~8月1日, ロイトン札幌(北海道札幌市)

Hiroe Miyake, and Yoshiaki Hisada, Source time functions of worldwide megathrust earthquakes, International Workshop on the New Initiative toward the Advancement of Strong Motion, Site Effect, and Risk Evaluation Studies for Future Mega-Quakes, 2014年3月5日, 京都大学防災研究所(京都府宇治市)

Hiroe Miyake, Spatial and temporal stress drop variations of the 2011 Tohoku earthquake sequence, 2013 American Geophysical Union Fall Meeting, 2013年12月12日, サンフラン

シスコ(米国)

三宅弘恵, 2011年東北地方太平洋沖地震前後の応力降下の時空間変化, 日本地震学会2013年度秋季大会, 2013年10月7日, 神奈川県民ホール・産業貿易センター(神奈川県横浜市)

Hiroe Miyake, and Kazuki Koketsu, Postdiction of source model and ground motions for the 2011 Tohoku earthquake, Joint Symposium of Seismic Hazard Assessment, 2013年6月17日, トラストシティカンファレンス・仙台(宮城県仙台市)

Antonio Scala, Gaetano Festa, Jean-Pierre Vilotte, and Hiroe Miyake, How geometry and structure control the rupture dynamics of the Mw 9.0 Tohoku earthquake, IAHS-IAPSO-IASPEI Joint Assembly, 2013年07月26日, ヨーテボリ(スウェーデン)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

三宅 弘恵(MIYAKE, Hiroe)  
東京大学・大学院情報学環・准教授  
研究者番号: 90401265

(2) 研究分担者 なし

(3) 連携研究者 なし