

研究種目：若手研究（B）  
 研究期間：2006～2009  
 課題番号：18710151  
 研究課題名（和文）地震動パラドックス解明のための最適震源モデルの構築  
 研究課題名（英文）Optimized Source Model for Investigating Ground Motion Paradox

## 研究代表者

三宅 弘恵 (MIYAKE HIROE)  
 東京大学・地震研究所・助教  
 研究者番号：90401265

研究成果の概要：本研究課題では、地表断層地震と地中断層地震の震源近傍の地震動強さが周期1秒付近で逆転する地震動パラドックスについて、震源サイドの動力学的な原因を定量的に明らかにする。そして、地震動パラドックスが再現可能な震源のモデル化手法を構築する。

## 交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	1,300,000	0	1,300,000
2007年度	1,100,000	0	1,100,000
2008年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	330,000	3,830,000

研究分野：強震動地震学

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学・自然災害科学

キーワード：地震動・断層・震源・強震動予測・アスペリティ・スケーリング・地表断層地震・地中断層地震

## 1. 研究開始当初の背景

断層近傍の地震動は果たしてどこまで大きくなることができるのだろうか？ 地震学では、地震の規模が大きくなると断層面積やアスペリティ面積が大きくなる、いわゆる地震のスケーリング則が広く知られている。しかしながら、Mw 6.7～7.0 クラスの地中断層地震から生成される周期1秒付近の地震動レベルは、Mw 7.2～7.6 クラスの地表断層地震から生成されるそれよりも大きいという興味深い現象が Somerville (2003) によって報告された。この地震動パラドックスは、小地震から大地震を単純につなぐ従来のスケーリング則だけでは、地震動のローカルな逆転現象が説明できないことを意味している。しかも、仮にこの現象が真であるならば、Mw 7.0 の地震から生成される断層近傍の地

震動が一番大きくなることになる。

## 2. 研究の目的

本研究課題では、地表断層地震と地中断層地震の震源近傍の地震動強さが周期1秒付近で逆転する地震動パラドックスについて、震源サイドの動力学的な原因を定量的に明らかにすることを目的とする。そして、地震動パラドックスが再現可能な震源のモデル化手法を構築し、断層パラメータの物理的な上限を明らかにすることによって、地震動の上限値について考察する。

## 3. 研究の方法

研究手法は下記の3つに分類される。  
 (1) 地表地震断層と地中断層地震の分類を行い、断層パラメータに見られる違いを抽出す

る。

(2) 地表地震断層と地中斷層地震に対する震源モデルを構築し、特性化震源モデルによる動力学シミュレーションおよび地震動シミュレーションを行い、地震動パラドックスが再現可能か検討する。

(3) 実地震の解析を重ね、構築した震源モデルの妥当性を検証する。

#### 4. 研究成果

(1) 初年度は、1999年トルコ・コジャエリ地震（地表断層地震）、1992年米国・ランダース地震（地表断層地震）、1996年米国・ノースリッジ地震（地中斷層地震）、1997年日本・鹿児島県北西部地震（地中斷層地震）などを対象として、震源近傍の地震動記録および工学的基盤相当の地震動記録強さを調査し、地震動パラドックスの仮説の有効性を検討した。また、震源インバージョンから得られた断層パラメータのスケージングから地表断層地震と地中斷層地震に見られる偏差を調べ、破壊エネルギーの観点から整理した（Mai et al., 2006）。上記に基づき、摩擦構成則のモデル化を行った。

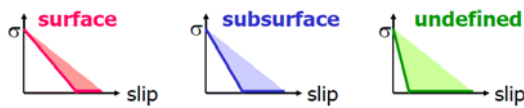


図 1. 地震規模が等しいと仮定してモデル化された地表断層地震（左）、地中斷層地震（中）、震源が特定できない地震（右）の摩擦構成則と地震波エネルギー領域。

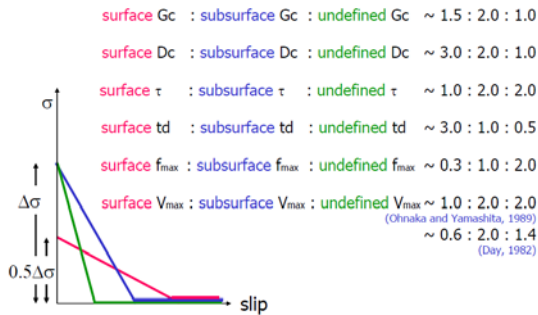


図 2. 実地震の断層パラメータのスケージングに基づきモデル化された地表断層地震、地中斷層地震、震源が特定できない地震の摩擦構成則と各パラメータの比率。

次いで、地中斷層地震に相当すると考えられる 2005 年福岡県西方沖地震について経験的グリーン関数法による広帯域地震動シミュレーションを行い、震源モデルを構築した（Miyake et al., 2006, 三宅・他, 2007）。2005 年福岡県西方沖地震の強震動生成域の応力降下量は、内陸地殻内地震の平均値よりもやや大きく、地中斷層地震の特徴が見られた。

(2) 次年度は、Mw 6.7~7.0 クラスの地中斷層地震から生成される周期 1 秒付近の地震動レベルは、Mw 7.2~7.6 クラスの地表断層地震から生成されるそれよりも大きいという、Somerville (2003) によって提唱された地震動パラドックスの仮説を検証するため、Mw 6.0~7.5 クラスの地震を想定し、震源近傍の地震動の逆転現象を動力学的震源モデルによって再現することにより、その成因を考察した（Dalguer, Miyake, et al., 2008）。断層の破壊開始点を地中斷層地震ではアスペリティよりも深く、地表断層地震についてはほぼ同じ深さに配し、かつ地中斷層地震に比べて地表断層地震のアスペリティ領域の破壊エネルギーを大きくした場合に、震源近傍の地震動の逆転現象が再現されることが確認された。

また、このような震源近傍の地震動が含む長周期成分に着目し、震源近傍の長周期地震動と位置づけることとした（Koketsu and Miyake, 2008）。

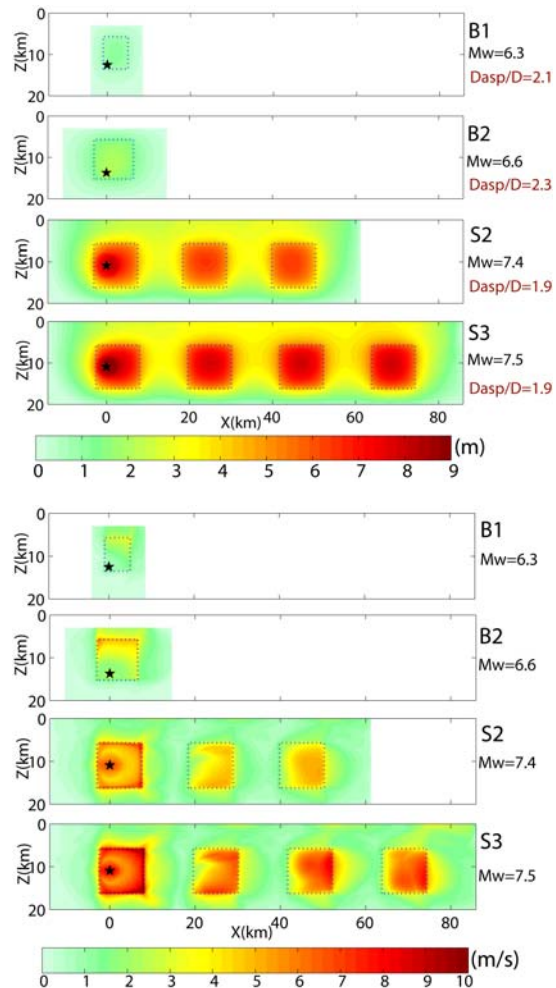


図 3. 地中斷層地震（B1, B2）と地表断層地震（S2, S3）の特性化震源モデルによる動力学シミュレーションの結果。上図がすべり分布、下図が最大すべり速度分布を示す。

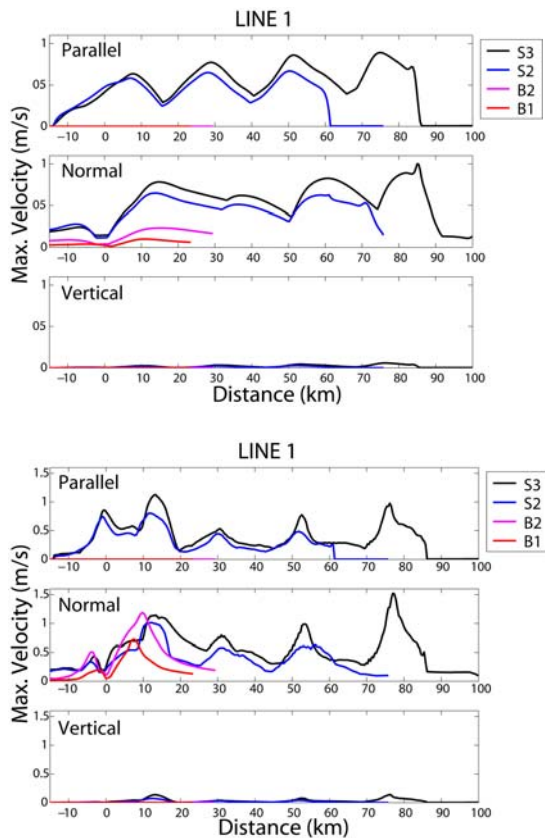


図 4. 地中斷層地震 (B1, B2) と地表斷層地震 (S2, S3) の動力学シミュレーションにより予測された最大速度。上図が周期 1 秒以上の長周期成分、下図が周期 1 秒以下の短周期成分を示す。

さらに、研究進行中に発生した、地中斷層地震に相当すると考えられる 2007 年新潟県中越沖地震について、柏崎刈羽原子力発電所をはじめとする震源近傍で記録された極大地震動の成因を考察するため(瀨瀬・三宅, 2008)、経験的グリーン関数法による広帯域地震動シミュレーションを行い、震源のモデル化に着手した。

(3)最終年度は、2007 年新潟県中越沖地震の極大地震動の成因について、震源インバージョンや斷層面に関する議論と共に論文にまとめた (Miyake et al., 2010)。広帯域地震動シミュレーションによって推定された 2007 年新潟県中越沖地震の強震動生成域の応力降下量は、内陸地殻内地震の平均値よりも大きく、地中斷層地震の特徴が見られた。さらに、2008 年中国・四川地震、2008 年岩手・宮城内陸地震などの内陸地殻内地震において、地震動パラドックスが成り立つかどうか検討した。

また、内陸地殻内地震の震源モデルの平均像を構築する手法である、強震動予測レシピに関する論文をまとめた (Irikura and

Miyake, 2010)。本研究課題で提案した地表斷層地震と地中斷層地震の震源モデル化は、この平均像からの偏差として表現される。

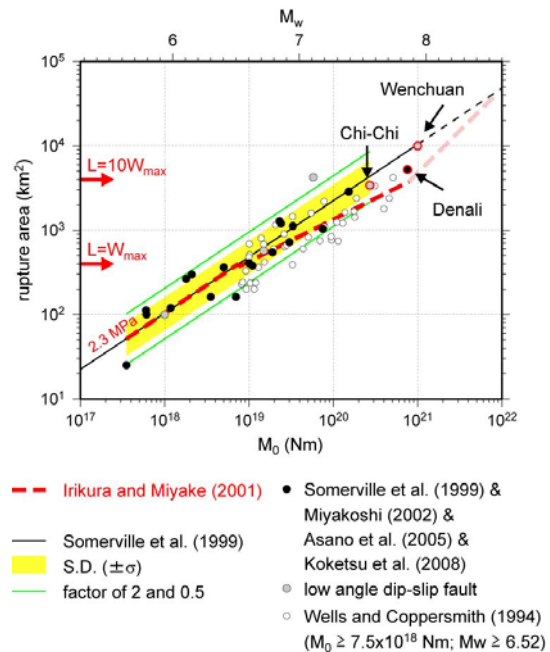


図 5. 内陸地殻内地震の地震モーメントと斷層面積のスケーリング。Mw 7.2~7.6 クラスの地表斷層地震が、Irikura and Miyake (2001) のスケーリングを下回ることは少ない。

## 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 8 件)

- ① Irikura, K., and H. Miyake, Recipe for predicting strong ground motion from crustal earthquake scenarios, Pure Appl. Geophys., doi:10.1007/s00024-010-0150-9 (2010) 査読有。
- ② Miyake, H., K. Koketsu, K. Hikima, M. Shinohara, and T. Kanazawa, Source fault of the 2007 Chuetsu-oki, Japan, earthquake, Bull. Seismol. Soc. Am., 100, 384-391 (2010) 査読有。
- ③ 瀨瀬一起・三宅弘恵, 2007 年新潟県中越沖地震の震源斷層面と柏崎刈羽の強震動, 地震ジャーナル, 45, 27-35 (2008) 査読無。
- ④ Dalguer, L. A., H. Miyake, S. M. Day, and K. Irikura, Surface rupturing and buried dynamic-rupture models calibrated with statistical observations of past earthquakes, Bull. Seismol. Soc. Am., 98, 1147-1161 (2008) 査読有。
- ⑤ Koketsu, K., and H. Miyake, A seismological overview of long-period

ground motion, J. Seismol., 12, 133-143  
(2008) 査読有.

- ⑥ 三宅弘恵・瀬瀬一起・田中康久・坂上実・石垣祐三, 福岡県西方沖地震・玄界島の強震動の再現, 月刊地球, 29, 111-115 (2007) 査読無.
- ⑦ Miyake, H., Y. Tanaka, M. Sakaue, K. Koketsu, and Y. Ishigaki, Empirical Green's function simulation of broadband ground motions on Genkai Island during the 2005 West Off Fukuoka Prefecture earthquake, Earth Planets Space, 58, 1637-1642 (2006) 査読有.
- ⑧ Mai, P. M., P. Somerville, A. Pitarka, L. Dalgner, S. Song, G. Beroza, H. Miyake, and K. Irikura, On scaling of fracture energy and stress drop in dynamic rupture models: Consequences for near-source ground-motions, Earthquakes: Radiated Energy and the Physics of Faulting, AGU Geophysical Monograph Series, 170, 283-294 (2006) 査読有.

[学会発表] (計2件)

- ① 三宅 弘恵・木村 武志・塚越 大・瀬瀬 一起, 2008年岩手・宮城内陸地震の臨時強震観測と上盤効果の検討, 京都大学防災研究所研究集会「近年の大地震の特徴と構造物の耐震性に関する研究集会」, 2009年1月21日, 京都.
- ② 三宅 弘恵・瀬瀬 一起, 2007年新潟県中越沖地震の震源モデルと広帯域強震動シミュレーション, 日本地震学会 2007年秋季大会, 2007年10月24日, 仙台.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

三宅 弘恵 (MIYAKE HIROE)  
東京大学・地震研究所・助教  
研究者番号: 90401265