

( 1 ) 実施機関名：

東北大学

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

アスペリティの特性解明に向けた観測研究

( 3 ) 最も関連の深い建議の項目：

2. 地震・火山現象解明のための観測研究の推進

( 2 ) 地震・火山噴火に至る準備過程

( 2-1 ) 地震準備過程

ア．アスペリティの実体

( 4 ) その他関連する建議の項目：

2. 地震・火山現象解明のための観測研究の推進

( 2 ) 地震・火山噴火に至る準備過程

( 2-1 ) 地震準備過程

イ．非地震性滑りの時空間変化とアスペリティの相互作用

( 5 ) 本課題の 5 か年の到達目標：

プレート境界におけるすべり現象の多様性の原因が摩擦特性の空間変化にあると仮定し、すべり現象の発生位置とプレート境界周辺の地震学的構造とを詳細に明らかにすることにより、摩擦特性を特徴付ける地下構造パラメータを特定することが、本計画の 5 か年の到達目標である。

( 6 ) 本課題の 5 か年計画の概要：

平成 21 年度においては、これまでに北海道・東北日本の前弧域において実施された海底地震観測データをコンパイルし、広域にわたるプレート境界面の形状や地震波速度の空間分布を明らかにするとともに、相似地震などの特徴的な地震に特に着目して、震源分布の高精度推定を行う。さらに、北大理・東大震研などと共同して、長期海底微小地震観測を実施し、微小地震の発震機構解に基づく応力状態の推定を行う。また、海洋研究開発機構と共同して、東南海地震震源の海溝側縁辺域において人工地震探査を実施し、固着域浅部限界付近が示す地震学的構造の特徴の解明を試みる。それとともに、プレート境界型地震の発生様式が東北日本弧と類似する日向灘での海底地震観測を実施し、プレート境界地震発生域の応力状態について、東北日本弧との相違点・共通点の解明をめざす。一方で、陸上観測網で得られるデータを用いたプレート間すべり量分布の推定における推定精度向上をめざして、相似地震のスケーリング則の高度化ならびに GPS データを用いたすべり量逆解析手法の高度化を進める。

平成 22 年度においては、北海道・東北日本弧の地震波速度構造・プレート境界面の形状・プレート境界地震震源分布、ならびにプレート間すべり分布の高精度推定を継続して実施し、プレート間固着・すべり状態と地下構造や地震活動の空間的な不均質との対応関係の解明を進める。長期海底微小地震観測を継続して実施して、宮城県沖、釧路・根室沖の海域における応力状態の推定精度の向上を図る。また、従来の人工地震探査データの解析から東北日本および西南日本のプレート境界面近傍の S 波速度構造の推定を試みる。

平成 23～25 年度には、平成 22 年度までの観測研究を継続して実施し、プレート間すべり分布と、地下構造不均質ならびにプレート内応力場の空間変化との対応を明らかにし、固着域の推定精度の向上を図る。また、プレート境界面における多様なすべりイベントの震源位置の高精度推定を進め、上記の結果とあわせることにより、プレート間すべり特性を支配する要因の特定をめざす。

(7) 平成 23 年度成果の概要：

従来、日本海溝陸側斜面下では、M7～8 程度の地震に対応する離散的なアスペリティ分布が推定されていて、それと地下構造との関連からアスペリティの実体に関する研究が進められてきた。しかし、2011 年東北地方太平洋沖地震時には海陸プレート境界のきわめて広い範囲で大きなすべりを示していて、これまでの「非アスペリティ」とされてきた領域の摩擦特性が注目されるようになってきた。そこで、本課題では日本海溝陸側斜面下の地下構造と今回の地震の震源位置や地震時すべり量分布との関係について研究を進めている。

図 1 は課題番号 1202 で実施されてきた宮城県沖における海底地震観測のデータを用いて再決定された 3 月 9 日の前震から 3 月 11 日の本震までの期間に発生した地震の震源分布と、こうした地震活動がみられた宮城県沖における人工地震探査で得られた P 波速度分布との比較である。前震とその余震活動の中心は沈み込む太平洋プレートと上盤（東北日本弧）側の地殻とが接しているプレート境界面で発生していたことがわかる。さらに、本震の震源（破壊の開始点）付近を境に、プレート境界の上盤側の物質が地殻（海溝側）からマントル（内陸側）に変化している。ここでは、プレート境界面の傾斜角度も急変しており、こうした構造の不連続的な変化点と破壊の開始点が一致しているのは興味深い観測事実である。前震活動の範囲は海溝側に明瞭なカット・オフを示しており、海溝軸のすぐ陸側の 30 km 程度の幅の領域はほとんど微小地震活動が見られないが、この領域では上盤側の P 波速度が極端に小さい。この領域は海底地殻変動観測などから非常に大きな地震時すべりがあったと推定される範囲（課題番号 1202）とほぼ一致しており、低 P 波速度を示す未固結堆積物の存在が、本震発生までは非地震的でありながら地震時に大きなすべりを伴うという、この領域のプレート境界面の摩擦特性と深い関係にあることを示唆する。

東北地方太平洋側の海域下の地震波速度構造が示す広域・長波長の不均質は、陸上観測網で観測される P・S 波の他、depth phase の一種である sP 波の走時をあわせたトモグラフィ解析により推定されている。その結果によれば、この領域では明瞭な南北方向の構造不均質があり、宮城県沖を中心に高速度異常域が見られるのに対して、その南北の岩手県沖および福島県沖では低速度異常が見られる（図 2）。この分布を東北地方太平洋沖地震のすべり分布と比較すると、すべり量が特に大きい範囲が高速度異常域の広がりとはほぼ一致しており、今回の巨大地震においても、構造不均質に起因する摩擦特性の変化がすべり過程を制約している可能性が指摘できる。また、大きな地震時すべりは震央位置よりも海溝側にあつて、図 1 の構造断面とあわせて考えると、今回の地震のすべり量は、スラブ - 前弧マントル接触域に比べて、スラブ - 地殻接触域において特に大きかった可能性が高い。

本課題の平成 22 年度の成果として（上述）、前弧マントル内の不均質構造と宮城県沖地震のアスペリティの範囲との間の対応関係を指摘した。東北地方太平洋沖地震のすべり分布は、スラブ - マントル接触域においては、宮城県沖地震の震源の範囲に極大をもつように見え、その範囲では高 P 波速度、高 S 波速度、低  $V_p/V_s$  比（図 3）という特徴を示す。従って、今回の地震も、宮城県沖地震の破壊と同様に、前弧マントル内の不均質構造の影響をうけたすべり分布となっている可能性が指摘できる。

2011 年東北地方太平洋沖地震 (M9) の発生を受けて、繰り返し地震と余効すべりの関係について調査した。調査には、小繰り返し地震のほか、前年までに解析手法の開発をした M4 以上の中規模繰り返し地震も用いた。地震時すべり域の周囲では地震後、繰り返し地震の発生数が増え、大きな余効すべりが推定された（図 4 a, 丸印）。この余効すべりの影響を受け M9 地震後多く地震が発生したグループは、M9 地震以前に比べ地震後のマグニチュードが大きい傾向がある（図 4 a, 赤丸）。2011 年 9 月 24 日までについて、M9 地震の前後ともに 3 つ以上の地震が存在するグループの平均マグニチュードを見ると、地震後 0.3 程度のマグニチュードの増加があったあと、半年程度はまだもとの規模に戻っ

ていないことが分かる。今後は、このような擾乱の際、すべり量がどのように変化しているかの調査が繰り返し地震を用いたプレート境界すべりの推定の上で重要と考えられる。

また、本課題では、東北地方太平洋沖地震の余効変動観測を目的として海底地殻変動観測の強化を図っている。具体的には、GPS/音響結合(GPS/A)方式海底地殻変動観測の観測頻度の向上と、海底圧力観測網の増強である。GPS/A方式海底地殻変動観測については、地震直後(4月)に大きな変位を観測した宮城県沖の観測点において8月と10月に再測量を実施したほか、福島県沖と日本海溝海側斜面(宮城県沖の東側)に新規観測点を増設した。海底圧力観測については、宮城県沖の観測網の増強と本震破壊域の北側延長の岩手～青森県沖の海溝軸近くに観測点を増設した。本震発生を挟む前後の期間で31mの巨大な水平変位が観測された観測点GJT3においては、地震発生直後に実施した4月から8月と10月にかけて、ほぼ一定の割合で東北東方向への変動がみられた。変動量は202日間で1.2mであった。この変位量は、陸上のGPS観測にもとづく余効滑りモデルから予測されるGJT3の位置での水平変位量(0.42m)に比べて有意に大きい。観測された余効変動の要因がプレート間すべりによらずれば、陸上観測では検知が難しい海溝付近の浅部プレート境界において余効すべりが発生していて、これを海底観測によって捉えることができたものと考えられる。GJT3では海底水圧観測も並行して実施しているが、余効変動による上下変動量は小さいことから、余効すべり域は海溝のごく近くに限られる可能性が高い。

- (8)平成23年度の成果に関連の深いもので、平成23年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：
- Hino, R., Y. Ito, K. Suzuki, S. Suzuki, D. Inazu, T. Inuma, H. Fujimoto, T. Yamada, M. Shinohara, T. Kanazawa, M. Abe, Y. Kawaharada, Y. Hasegawa, Y. Yamamoto, S. Kodaira and Y. Kaneda, Continuous Offshore Seismological and Geodetic Monitoring in the rupture zone of the M9 off Tohoku Earthquake, Abstract SE87-A021 presented at 8th Annual General Meeting, AOGS, Taipei, Taiwan, 8-12 Aug, 2011.
- Kido, M, Y. Osada, H. Fujimoto, R. Hino and Y. Ito, Trench-normal variation in observed seafloor displacements associated with the 2011 Tohoku-Oki earthquake, *Geophys. Res. Lett.*, 38, L24303, doi: 10.1029/2011GL050057, 2011.
- 長田幸仁・木戸元之・伊藤喜宏・太田雄策・日野亮太・藤本博己, 宮城県沖における2011年東北地方太平洋沖地震後の海底地殻観測, 日本地震学会2011年秋季大会, 静岡, P2-11, 2011.
- Osada, Y., M. Kido, Y. Ito, Y. Ohta, R. Hino and H. Fujimoto, Post-seismic deformation observed off Miyagi after the 2011 Off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (M 9.0) using GPS-Acoustic observation system, Abstract G51A-0866 presented at 2011 Fall Meeting, AGU, San Francisco, Calif., 5-9 Dec, 2011.
- Uchida, N., and T. Matsuzawa, Quasi-static Slip Before and After the 2011 Tohoku Earthquake Estimated from Small Repeating Earthquakes, Abstract U51B-0015 presented at 2011 Fall Meeting, AGU, San Francisco, Calif., 5-9 Dec, 2011.
- Uchida, N., T. Matsuzawa, W. L. Ellsworth, K. Imanishi, K. Shimamura, and A. Hasegawa, Source parameters of microearthquakes on an interplate asperity off Kamaishi, NE Japan over two earthquake cycles, *Geophys. J. Int.*, 2012, in press.
- Yamamoto, Y., R. Hino and M. Shinohara, Mantle wedge structure in the Miyagi Prefecture forearc region, central northeastern Japan arc, and its relation to corner-flow pattern and interplate coupling, *J. Geophys. Res.*, 116, B10310, doi:10.1029/2011JB008470, 2011
- Zhao, D., Z. Hang, N. Umino, A. Hasegawa, and H. Kanamori, Structural heterogeneity in the megathrust zone and mechanism of the 2011 Tohoku-oki earthquake (Mw 9.0), *Geophys. Res. Lett.*, 38, L17308, doi:10.1029/2011GL048408, 2011.

- (9)平成24年度実施計画の概要：

本課題は超巨大地震に関する当面推進すべき研究に申請した新課題「東北地方太平洋沖地震震源域周

辺における多項目・高精度モニタリングによる超巨大地震発生過程の解明」に一部移行する。  
移行した課題では次の研究を実施する。

- ・小繰り返し地震と海陸測地データの解析にもとづいてプレート間すべり速度の時空間変化を推定する。
- ・地震時すべりの空間変化と余効すべり・余震活動の時空間変化の対応を調べ、断層の強度回復過程の解明を目指す。

本課題では次の研究を実施する。

- ・過去に北海道・東北日本の前弧域において実施された海底地震観測データをコンパイルし、広域にわたるプレート境界面の形状や地震波速度の空間分布を明らかにするとともに、相似地震などの特徴的な地震に特に着目して、震源分布の高精度推定を行う。
- ・海洋研究開発機構と共同して東南海地震震源の海溝側縁辺域において実施した人工地震探査からプレート境界浅部が示す地震学的構造の特徴の解明を試みる。
- ・日向灘での海底地震観測を九州大学などと共同して実施し、プレート境界地震発生域の応力状態について、東北日本弧との相違点・共通点の解明をめざす。
- ・プレート間すべり量分布の推定における推定精度向上をめざして、相似地震のスケーリング則の高度化ならびに海陸測地観測データを用いたすべり量逆解析手法の高度化を進める。

(10) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

日野亮太・藤本博巳・松澤暢・伊藤喜宏・内田直希・太田雄策他

他機関との共同研究の有無：有

北大理(村井芳夫, 3名程度), 東大震研(篠原雅尚, 5名程度), 千葉大理(佐藤利典, 2名程度)・  
九大理(植平賢司, 3名程度)・海洋研究開発機構(小平秀一, 5名程度)

(11) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：東北大学大学院理学研究科 地震・噴火予知研究観測センター

電話：022-225-1950

e-mail：zisin-yoti@aob.gp.tohoku.ac.jp

URL：http://www.aob.gp.tohoku.ac.jp/

(12) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名：日野亮太

所属：東北大学大学院理学研究科

電話：022-795-3916

FAX：022-264-3292

e-mail：hino@aob.gp.tohoku.ac.jp

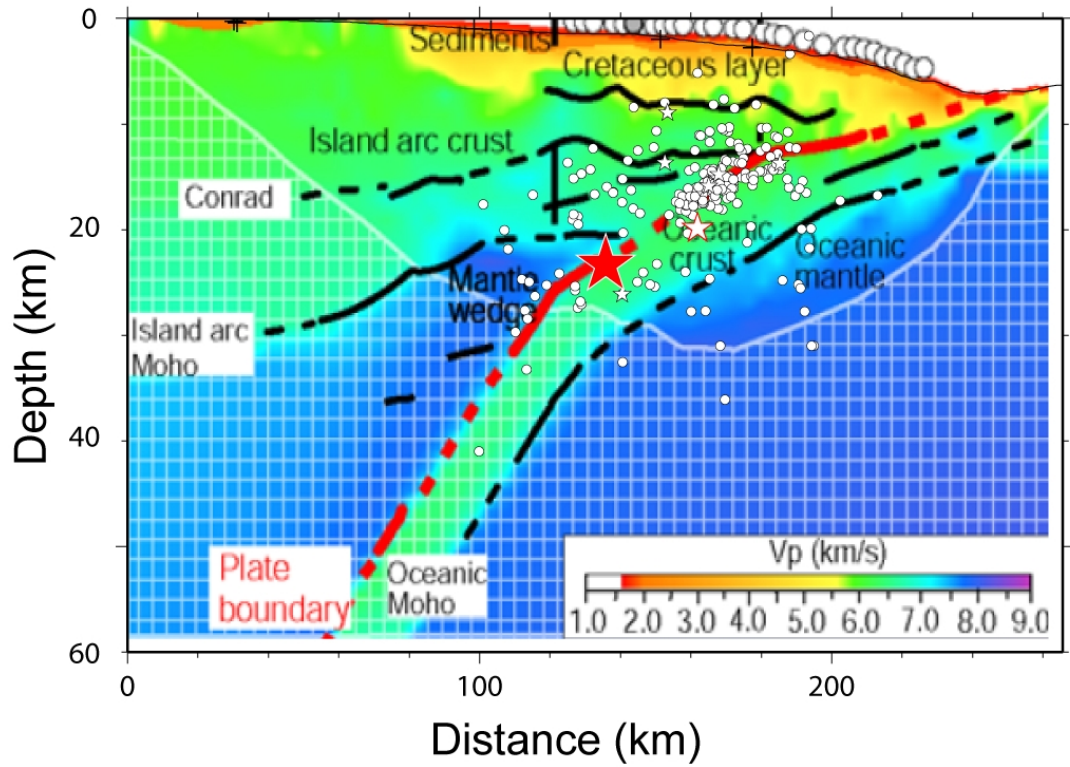


図 1

海底地震計のデータを用いて再決定した 3 月 9 日の前震 (白星) とその余震 (白丸) および 3 月 11 日の本震 (赤星) の震源深さ分布 (Hino et al., AOGS, 2011) . 背景は人工地震探査による前震 - 本震活動域における 2 次元 P 波速度構造モデル (Ito et al., GRL, 2004) .

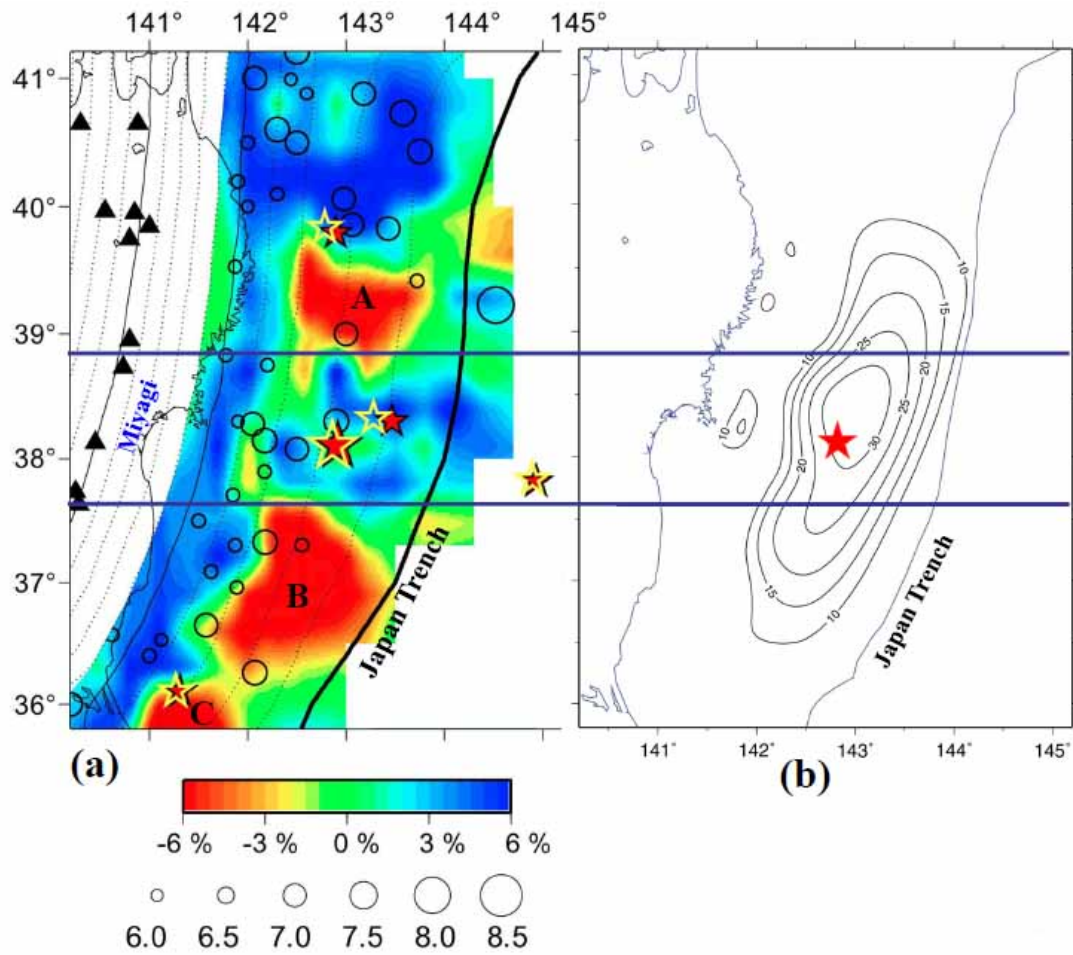


図 2

a) 東北地方太平洋側のプレート境界面直上における P 波速度異常の分布 ( Zhao et al., GRL, 2011 ) . A, B, C に顕著な低速度異常が認められる . 〇 は 1900 ~ 2008 年に発生した M6 以上の地震の震央 . 星印は前震, 本震と 3 月 11 日に発生した大きな余震の震央で赤が再決定したもの, 黄色は気象庁によるもの . (b) 本震時のすべり量分布 ( 内田・飯沼, 2011 ) . 星印は本震の震央 .

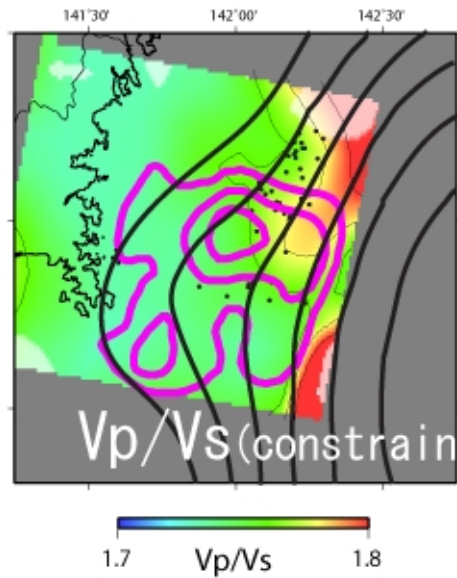


図3  
宮城県沖のプレート境界面直上における  $V_p/V_s$  比の空間分布 ( Yamamoto et al., JGR, 2011 ) . コンターは Ozawa et al. ( Nature, 2011 ) による東北地方太平洋沖地震のすべり量分布 ( 4 m 間隔 ) .

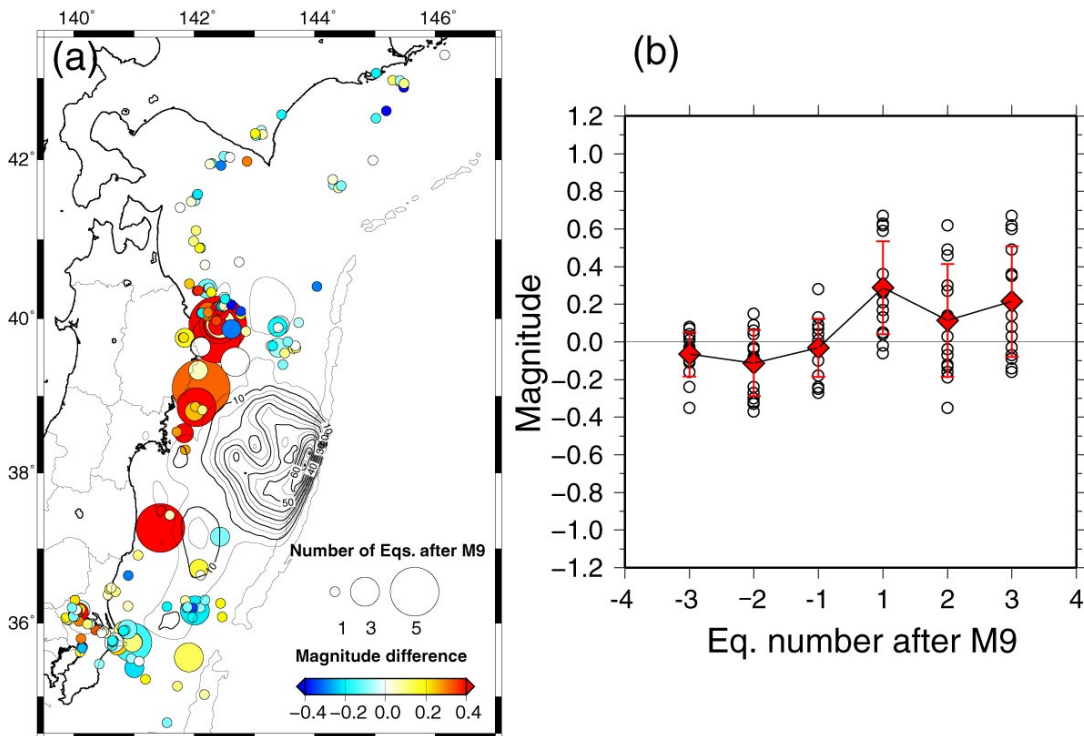


図4  
(a) 繰り返し地震グループごとのM9地震前の平均マグニチュードに対する地震後の平均マグニチュード . 丸の大きさはグループ内のM9地震後の地震数を示す . コンターは , Inuma et al ( JGR, under review ) による 2011 年東北地方太平洋沖地震のすべり量分布 . (b) 繰り返し地震のマグニチュードの推移 . 横軸はM9地震以降 , 最初の地震を1 , 次を2 … , M9地震前の最後の地震を-1 , その前を-2 … とした地震番号 , 縦軸はそれぞれの繰り返し地震グループ内のマグニチュード平均値を基準とした相対マグニチュード . M9地震の前後ともに3つ以上の地震が存在する15グループについて求めた . 赤いダイヤと誤差棒は , 平均値と標準偏差 .