

(1) 実施機関名：

東北大学

(2) 研究課題（または観測項目）名：

マルチスケール・アスペリティモデルの構築と拡張

(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

(3) 地震発生先行・破壊過程と火山噴火過程

(3-2) 地震破壊過程と強震動

ア．断層面の不均質性と動的破壊特性

(4) その他関連する建議の項目：

1. 地震・火山現象予測のための観測研究の推進

(1) 地震・火山現象のモニタリングシステムの高度化

イ．地震発生・火山噴火の可能性の高い地域

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

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

ウ．ひずみ集中帯の成因と内陸地震発生の準備過程

エ．スラブ内地震の発生機構

(3) 地震発生先行・破壊過程と火山噴火過程

(3-2) 地震破壊過程と強震動

イ．強震動・津波の生成過程

(4) 地震発生・火山噴火素過程

ア．岩石の変形・破壊の物理的・化学的素過程

(5) 本課題の 5 か年の到達目標：

本研究においては、プレート境界地震について地震時すべり分布・断層サイズの推定や高精度震源決定等によるアスペリティ領域のマッピングを行うとともに、アスペリティの階層構造や複合破壊の条件を明らかにする。また、内陸地震・スラブ内地震については、アスペリティモデルに基づく破壊過程・強震動生成域の理解が可能かどうか検討を進め、アスペリティモデルの拡張を行う。このような研究を行うことで、上記方針を実現化し、地震・火山噴火予知研究上不可欠である、破壊過程・地震発生過程の理解をすすめるものである。

本研究で狙いとするアスペリティモデルに基づく震源モデルの高度化のためには、実際に発生した地震について震源解析の研究が必要であるが、そのためには、より多くの事例を取り扱うとともに、幅広い空間スケールでアスペリティを捉え、どのような階層構造をなしているのかを明らかにすることが重要である。また、これまでの研究から、プレート境界地震については、アスペリティモデルが成り立つことが強く示唆されているが、内陸・スラブ内地震についても、アスペリティモデルの成否の検討を引き続きすすめる必要がある。そこで本研究では、微小地震から大地震にいたる幅広いスケールの地震を対象とし、下記のような研究を実施する。

- 1．地震波形インバージョン・地殻変動インバージョン・高精度震源決定による、プレート境界に発生した中～大地震の震源過程の推定
- 2．プレート境界およびその周囲における微小地震活動によるアスペリティマッピング
- 3．プレート境界に発生する小地震の断層サイズの推定と高精度震源決定による小アスペリティ分布および活動の推定
- 4．上記の観測・研究に基づく、プレート境界・内陸・スラブ内地震のアスペリティモデルの構築

(6) 本課題の 5 か年計画の概要：

平成 21 年度は関係するこれまでの研究成果に基づきそれぞれの研究を実施する。

- 1．地震波形インバージョン・地殻変動インバージョン・高精度震源決定による、プレート境界に発生した中～大地震の震源過程の推定

東北地方を中心として、プレート境界に発生した中～大地震を対象に、地震波形インバージョン・地殻変動インバージョンにより地震時のすべり量分布を求める。本年度は、繰り返し地震の可能性について指摘されているいくつかの中規模地震について、波形・震源位置の検討および地震波形インバージョンによる地震時すべり分布の推定を行い、繰り返し地震の可能性についての検討を行う。

- 2．プレート境界およびその周囲における微小地震活動によるアスペリティマッピング

宮城県沖における海底繰り返し地震観測の結果、プレート内部で発生する中小の地震の分布とプレート境界におけるすべり分布との間に相関があることがわかりつつある。このことは、精度良く決定できる中小の地震の震源分布を用いることでプレート境界面上のすべり特性のマッピングが可能になることを示している。本項目では、こうした相関関係が成り立つかどうかを複数の事例において検証するとともに、中小の地震の震源分布を利用した高空間分解能のアスペリティ(すべり特性)マッピングも試みる。

- 3．プレート境界に発生する小地震の断層サイズの推定と高精度震源決定による小アスペリティ分布および活動の推定。

地震クラスターに含まれる小地震については、コーナー周波数を高精度で推定して断層サイズを求め、DD 法による震源決定ともあわせて、小アスペリティの相対的位置と地震活動の特徴の関係についても抽出する。さらに、小繰り返し地震の破壊域や応力降下量等の推定をもとに、アスペリティの繰り返し破壊の同一性・非同一性の程度とその原因について調べる。

- 4．上記の観測・研究に基づく、プレート境界・内陸・スラブ内地震のアスペリティモデルの構築

1～3．の研究により推定したプレート境界型地震のアスペリティ領域を比較し、アスペリティの階層構造について検討する。得られたアスペリティ領域と余震分布・地震前(先駆的)地震分布や地震波速度構造との比較を行い、アスペリティ・非アスペリティ領域の特徴を抽出する。同様の比較研究を内陸・スラブ内地震に対しても行い、プレート境界地震と同様な、アスペリティモデルに基づく破壊過程・強震動生成域の理解が可能かどうか検討を進める。このような研究を通じ、アスペリティモデルの構築・深化を目指す。

本課題の目標達成のためにはできるだけ多くの事例について研究を行うことが必要である。そこで平成 22 年度以降についても、実施期間内に発生した地震などを対象とし、同様の研究を継続実施する。

(7) 平成 23 年度成果の概要：

東北地方太平洋沖地震の発生後，釜石沖繰り返し地震の震源域と思われる領域で，M5-6の地震が数日～数ヶ月の間隔で発生している．発生日時とマグニチュードは，(1) 2011 年 3 月 20 日 (M5.9)，(2) 2011 年 4 月 13 日 (M5.5)，(3) 2011 年 4 月 29 日 (M4.8)，(4) 2011 年 5 月 31 日 (M5.3)，(5) 2011 年 7 月 11 日 (M5.0)，(6) 2011 年 9 月 23 日 (M5.0) である．なお，この領域では，東北地方太平洋沖地震の発生前には釜石沖繰り返し地震よりも規模の大きな地震は発生していない．そこで，本研究では上記の地震と釜石沖繰り返し地震の関係を調べるために，相対震源決定と地震波形インバージョンを行った．用いたデータは，K-NET と KiK-net による加速度記録である．

相対震源決定には hypoDD (Wauldhauser and Ellsworth, 2000) を用い，初動の読み取り値を入力データとして用いた．また，再決定したイベントは上記 (1)～(6) の地震に加え，(7) 2008 年 1 月 11 日の釜石沖繰り返し地震 (M4.7)，(8) 2011 年 2 月 27 日 (M3.4) の小地震 (地震波形インバージョンの中で経験的グリーン関数として使用) である．

地震波形インバージョンには multi-time-window waveform inversion (Hartzell and Heaton, 1983) を用い，また経験的グリーン関数法を用いた．上記 (1)～(7) のイベントを解析し，(3) と (7) の地震のインバージョンでは (8) の地震を経験的グリーン関数として，それ以外の地震のインバージョンでは (7) の地震を経験的グリーン関数として用いた．

本研究の結果を図に示す．図中で星印により示される再決定された震源から，上記 (1)～(6) の地震 (色付き星印，色の対応は図の脚注参照) は，釜石沖繰り返し地震の震源 (黒星印) の近傍 (～1km) で発生したことが分かった．また，図中でコンターにより示されるすべり量分布から，上記 (1)～(6) の地震 (色付きコンター，色の対応は図の脚注参照) は，釜石沖繰り返し地震の破壊域 (黒コンター) とほぼ同じ領域を破壊，もしくはほぼ同じ領域に加え周囲の領域も破壊したことが分かった．

過去のデータからは，上述の周囲の領域が，普段から地震性すべりを起こしていたとは考えられない．そこで本研究では，この周辺の領域には，Scholz (1990) や Boatwright and Cocco (1996) で述べられているような条件付安定領域が存在しており，東北地方太平洋沖地震の地震性すべりや余効すべりによる応力擾乱が作用した結果，条件付安定領域が地震性すべりを起こしたと考える．実際，本研究の対象領域付近において，東北地方太平洋沖地震の余効すべりが最も大きいことが，Ozawa et al. (2011) や国土地理院 (2011) によって示されている．

2011 年東北地方太平洋沖地震 (M9) の震源域について過去の地震活動・余震分布，小繰り返し地震分布およびそれから推定されるプレート間カップリングについて調べた．2011 年東北地方太平洋沖地震のすべり域内には，過去の M7 規模の地震のすべり域 (図 2a) や，小繰り返し地震が含まれており，岩手県釜石沖の繰り返し地震と同様にすべり域が階層構造をしていることが分かった．東北地方太平洋沖のアスぺリティ階層構造のモデルを図 2c に示す．カップリング率の調査からは，2011 年の地震は地震前に広域にカップリングが大きかった場所で発生したことが分かった．また，すべりが非常に大きい場所にはほとんど繰り返し地震が存在しないことも分かった (図 2b) ．

(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) :

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.

Uchida, N., and T. Matsuzawa, Coupling coefficient, hierarchical structure, and earthquake cycle for the source area of the 2011 Tohoku earthquake inferred from small repeating earthquake data, *Earth Planets Space*, 63 (No. 7), 675-679, doi:10.5047/eps.2011.07.006, 2011

Shimamura, K., T. Matsuzawa, T. Okada, N. Uchida, T. Kono, and A. Hasegawa, Similarities and Differences in the Rupture Process of the M 4.8 Repeating-Earthquake Sequence off Kamaishi, Northeast Japan: Comparison between the 2001 and 2008 Events, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 101(5), 2355-2368, 2011

(9) 平成 24 年度実施計画の概要 :

本課題の目標達成のためにはできるだけ多くの事例について研究を行うことが必要である．そこで平成 24 年度以降についても，実施期間内に発生した地震などを対象とし，同様の研究を継続実施する．特に，大きな領域でのすべりである 2011 年東北地方太平洋沖地震及び中規模繰り返し地震のすべり過程を特に地震間のより小さな地震の活動に焦点をあて調査する．

(10) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

海野徳仁・松澤 暢・日野亮太・伊藤喜宏・内田直希・太田雄策・岡田知己・他 計 10 名程度（大学院生含む）

他機関との共同研究の有無：有

東京大学 三浦哲

筑波大学 八木勇治

気象庁 中村雅基・山田安之

内閣府 高木康伸

仙台管区気象台 丹下 豪

(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：岡田知己

所属：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

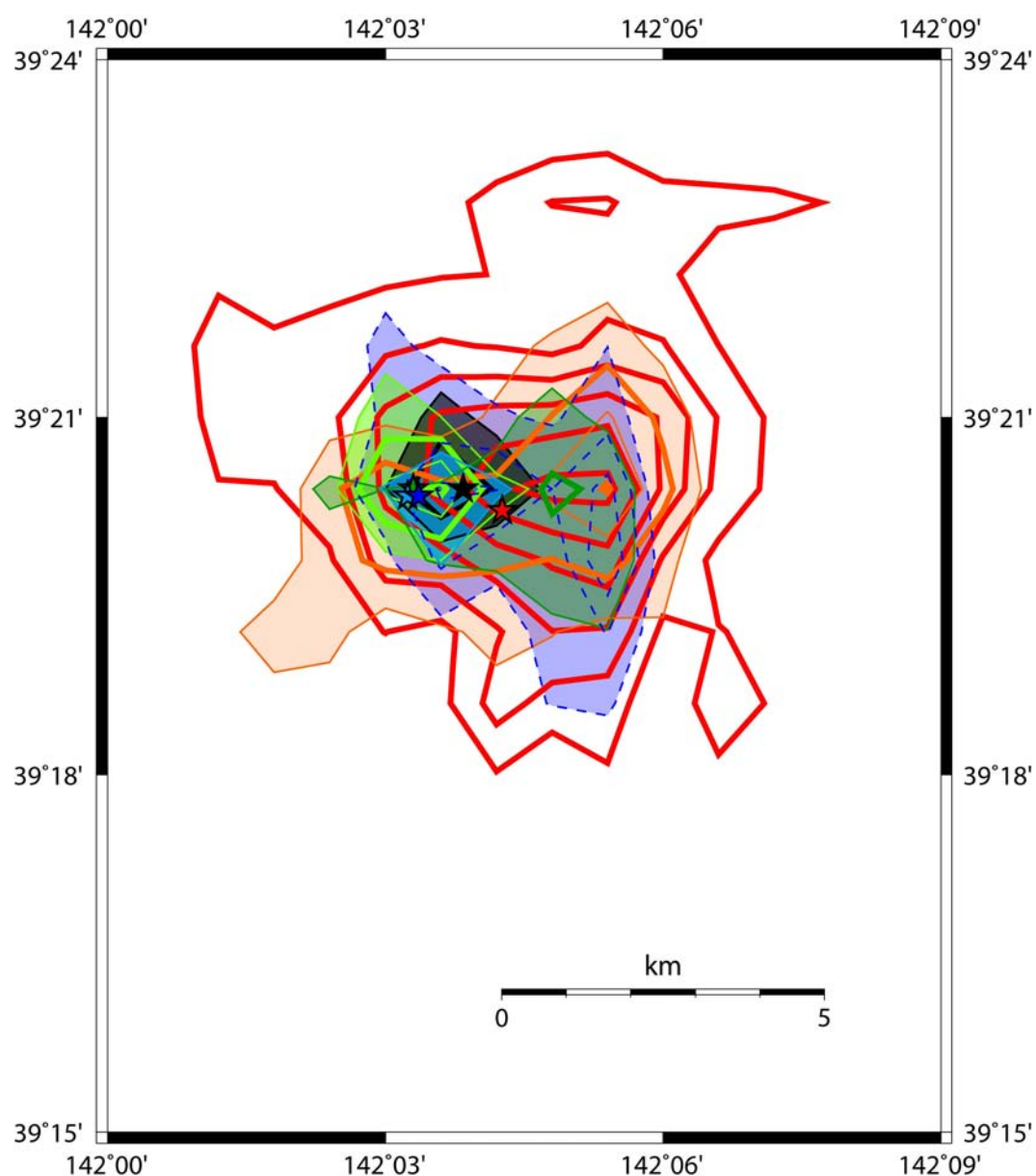


図1．本研究による相対震源決定と地震波形インバージョンの結果．

星印は震源を，コンターはすべり量分布を示す．地震と色の対応は，赤：2011年3月20日（M5.9），橙：2011年4月13日（M5.5），黄緑：2011年4月29日（M4.8），緑：2011年5月31日（M5.3），水色：2011年7月11日（M5.0），青：2011年9月23日（M5.0），黒：2008年1月11日の釜石沖繰り返し地震（M4.7）．コンターは，太線：10cm 間隔，細線：5cm 間隔（ただし，太線と同じ値の場合には太線を重ねている），破線：1cm 間隔で引いている．また，2011年3月20日（M5.9）の地震以外の地震については，各々に対応した色の影をすべり量分布に重ねている．なお，図中では，橙の星印と黄緑の星印が確認出来ないが，緑の星印が重なっているためである．

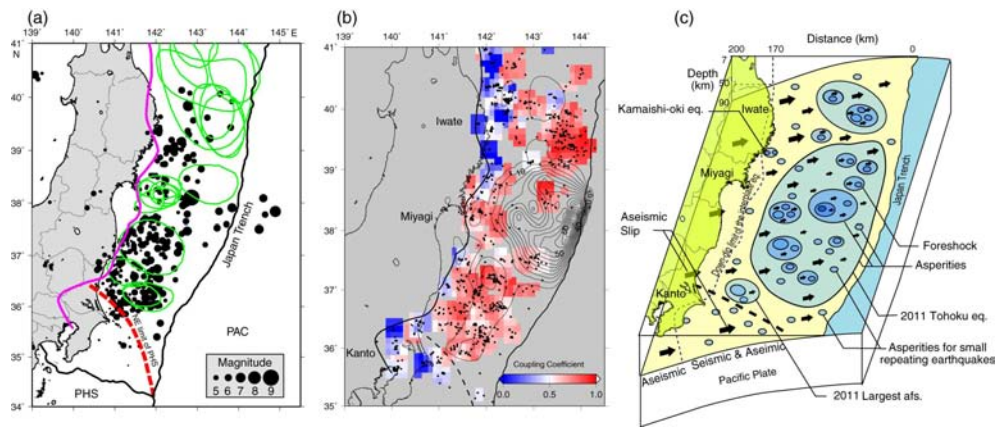


図 2 .

(a) 気象庁による 2011 年東北地方太平洋沖地震後 24 時間の余震分布 (黒丸) と 1926 以降の M7 以上の地震の余震域 (Uchida et al., 2010) . (b) 1993 年 ~ 2007 年のプレート間カップリング率分布 (カラー) . コンターは , Iinuma et al, 2011 による 2011 年東北地方太平洋沖地震のすべり量分布 . (c) 東北地方東方沖のアスペリティの階層構造のモデル . 丸がアスペリティを示す . アスペリティが密な場所や階層が深い場所は強いカップリングを持つ .