

(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滑り分布・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. プレート境界及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滑り量分布を求める。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・震源位置の検討及び地震波形インバージョンによる地震時滑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. プレート境界及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滑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滑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(滑り特性)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及び活動の推定。

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併せて、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24年度成果の概要：

1) 東北沖地震の前震及びスラブ内の誘発地震の滑り域の推定(久保田, 2012)

2011年3月11日東北地方太平洋沖地震(Mw9.0)の前震のうち3月9日に発生したMw7.3の地震と3月10日のMw6.5の2つの地震について,それぞれに伴う津波を震源域近傍の海底圧力計で捉えた波形記録を用いて震源断層モデルを推定した(図1).3月9日の地震の最大滑り量は1.0mで,大きな滑りが破壊の開始点より北西側の40km×40kmの領域に集中していた.一方,3月10日の境界の最大滑り量は0.2mと推定され,主滑り域は破壊の開始点の西側の走向方向に20km,傾斜方向に40kmであった.これら2つの地震の主滑り域は互いに重なっておらず,また,10日の地震の主滑り域は,3月9日の地震の余効滑りの範囲に含まれ,3月9日の前震破壊域と3月11日の本震の破壊の開始点に挟まれるように位置する.このことは3月9日の地震に伴う余効滑りが,小さな余震の活発化だけでなく,3月10日の中規模地震を引き起こし,その後更にプレート境界での滑りが伝播し,東北地方太平洋沖地震を引き起こしたという,連鎖的な破壊の発生を強く示唆する.また,東北沖地震発生から4か月後の7月10日に,震源域下の太平洋プレート内部で発生したスラブ内地震(Mw7.0)についても,同様に津波波形を用いた震源モデル解析を行った.この地震については滑り量分布ではなく,一様滑りの平面矩形断層モデルを仮定し,グリッド・サーチにより観測津波波形を最もよく再現する断層配置と滑り量を求めた(図2).断層の走向は海底地震観測による余震分布の配列する方向と良く一致するが,津波から推定した断層モデルの深部側の端は余震の震源深さ分布の下限より深部側にまで及んでいる.

2) 東北地方太平洋沖地震の余効滑りによる釜石沖繰り返し地震の挙動(島村, 2012)

2011年東北地方太平洋沖地震の余効滑り中の釜石沖繰り返し地震の挙動について波形データや破壊伝播速度を吟味して最適な滑り量分布が得られた.その結果を図3に示す.普段は,2008年の地震(黒線)のような滑り量分布で直径1km程度の領域が繰り返し破壊されてきたが,2011年の東北地方太平洋沖地震後は直径が3~5倍大きな地震が発生していたことが分かった.この原因としては,釜石沖では直径1km程度の不安定領域があり,そこが繰り返し破壊しているが,その近傍に条件付き安定領域があり,その部分が,今回,2011年東北地方太平洋沖地震やその余効滑りに伴う応力擾乱によって不安定性が増加して,地震性滑りを発生させたものと考えられる.このことは,アスペリティの階層性や「固有地震」の活動の揺らぎを考えるうえで極めて重要である.

3) 2011年東北地方太平洋沖地震の震源域周辺の地震活動特性(Uchida and Matsuzawa, 2013)

2011年東北地方太平洋沖地震の震源域周辺の地震活動特性について,過去のM7クラスの地震がその滑り域の周囲に位置していること,それらの地震が,2011年東北地方太平洋沖地震の滑り域から見て遠方から近傍に向かって連鎖している例があることが分かった(図4a).また,本震破壊開始点から余震の重心に向かうベクトルを調査すると,いくつかの地震でプレート間固着が強い方向を向いていると考えられる例があった(図4b).このような地震活動は,プレート境界での固着の不均質や,地震サイクルの間に発生するアスペリティ外部から内部への滑りの浸み込みを表している可能性がある.

4) 内陸地震震源域と地震波速度構造との関係(Okada et al., 2012; 1207 参照)

2008年岩手・宮城内陸地震の震源域における地震波速度構造と滑り域・震源域の広がりと比較したところ,それらは,低速度域に囲まれた高速度域内であることが分かった.この結果はこれまで内陸地震で見られていた対応関係と同様である.

(8)平成24年度の成果に関連の深いもので,平成24年度に公表された主な成果物(論文・報告書等):
久保田 達矢, 2012, 近地津波波形解析による震源断層モデル推定, 東北大学修士論文.

Okada T., Umino, T., Hasegawa A., and Group for the aftershock observations of the Iwate-Miyagi Nairiku Earthquake in 2008, 2012, Hypocenter distribution and heterogeneous seismic velocity structure in and around the focal area of the 2008 Iwate-Miyagi Nairiku Earthquake, NE Japan Possible seismological evidence for a fluid driven compressional inversion earthquake, Earth Planets Space, 64, doi: 10.5047/eps.2012.03.005.

島村浩平, 2012, プレート境界地震の再現性に関する研究, 東北大学博士論文.

内田 直希・松澤 暢, 2012, 2011 東北地方太平洋沖地震震源域の地震活動特性～釜石沖地震との比較を基にして, 日本地球惑星科学連合 2012 年大会.

Uchida, N., T. Matsuzawa, W. L. Ellsworth, K. Imanishi, K. Shimamura, and A. Hasegawa, 2012, Source parameters of microearthquakes on an interplate asperity off Kamaishi, NE Japan over two earthquake cycles, *Geophys. J. Int.*, 189, 999-1014.

(9) 平成 25 年度実施計画の概要 :

平成 25 年度は, 各項目について同様の研究を進める. 5 年間で得られた結果を総合し, アスペリティモデルの構築・深化を目指す.

(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

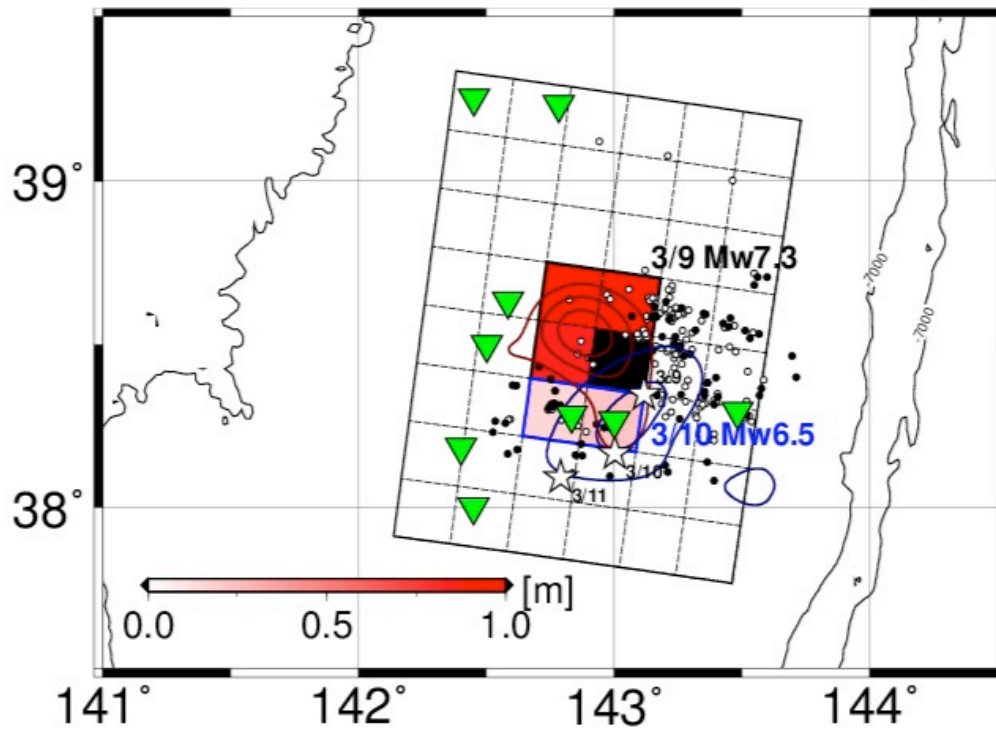


図 1 .

3月9日前震及び3月10日最大余震の滑り分布の比較(久保田, 2012). それぞれの地震の主な滑り域(最大滑り量の50%以上の滑りをもつ領域)のみ着色した. 赤と青のコンターは地殻変動データから推定された3月9日の前震の地震時滑りと余効滑りの分布(Ohta et al., 2012). 白丸は3月9日前震から3月10日最大余震までに発生した地震, 黒丸は3月10日最大余震から3月11日本震までに発生した地震の震央を表す. これらの地震は海底地震計を用いて Suzuki et al. (2012) により再決定された. 逆三角は海底観測点の位置, 星印は3月9日, 10日の前震と11日の本震の震央を示す.

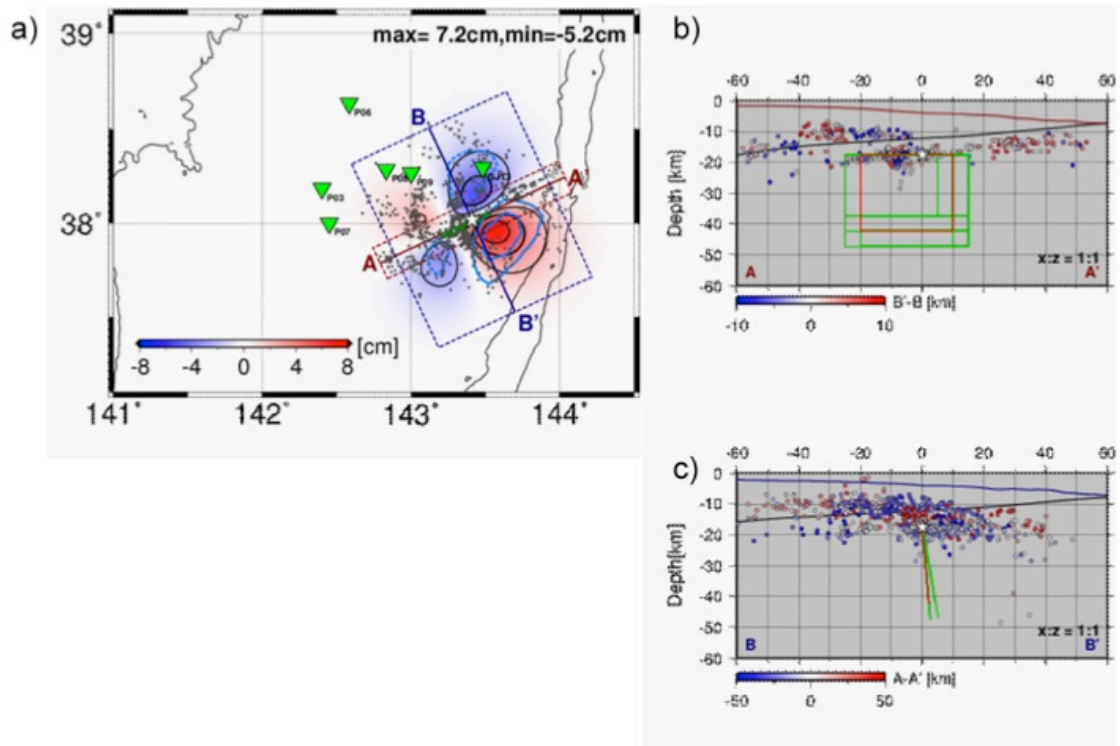


図 2 .

2011 年 7 月 10 日に太平洋スラブ内で発生した Mw7.0 の地震の断層モデル (久保田, 2012) . a) 平面図 . 逆三角は観測点の位置 . 赤青パターンで最適断層モデルから期待される海底上下変動パターンを示す . 青色コンターは津波波形から初期海面高分布を求めた結果 . 灰色丸はこの領域で発生した地震の分布 (Obana et al., 2012) . b) 推定された断層モデルと震源深さ分布を A-A' 鉛直断面に投影したもの . 震源のシンボルの色は断面から紙面直行方向の距離を示す (赤 : 向こう側 , 青 : 手前側) . 赤矩形が津波波形解析から得られた最適モデル . 緑矩形で rms 残差が小さい順に 20 位までのモデルを示す . c) b) と同様 . ただし , B-B' 断面に投影したもの .

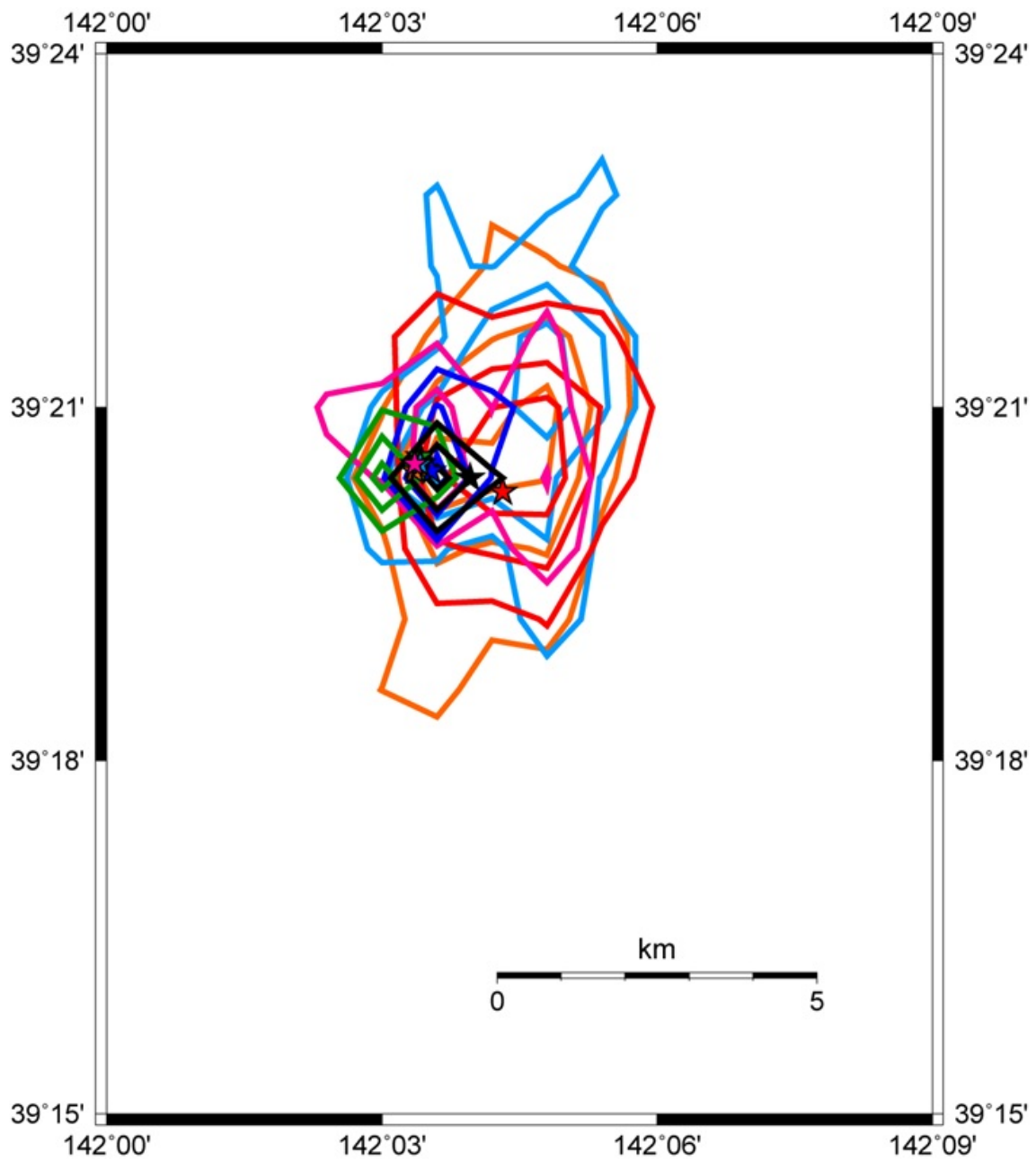


図 3 .

釜石沖繰り返し地震の滑り量分布(島村, 2012) . 各地震の最大値で規格化し , 0.25 , 0.50, 0.75 のコンターを示す . 星印は震央 (破壊開始点) を表す . 黒色 : 2008/1/11 (M4.7) , 赤色 : 2011/3/20 (M5.9) , 橙色 : 2011/4/13 (M5.5) , 緑色 : 2011/4/29 (M4.8) , 水色 : 2011/5/31 (M5.3) , 青色 : 2011/7/11 (M5.1) , 桃色 : 2011/9/23 (M5.0) .

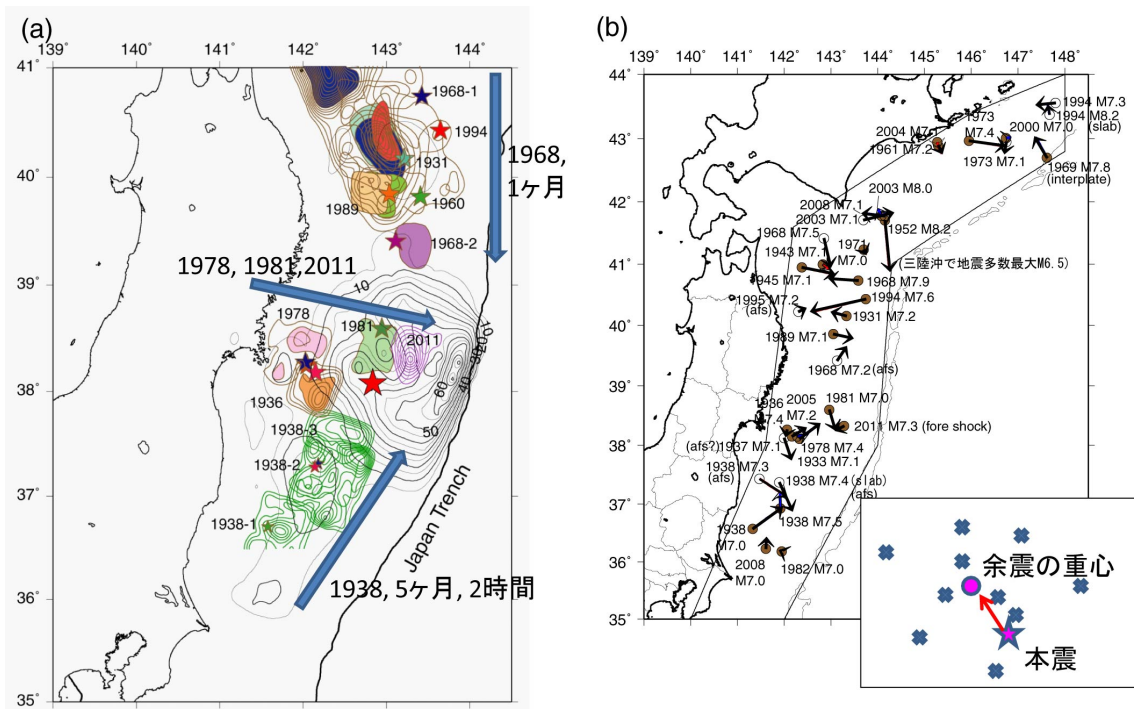


図 4 .

(a) M7 以上の主要な地震の滑り域 (コンター) をコンパイルしたもの . データソースは図中に表示 . 1938 年 , 1968 年及び 1978-2011 年にかけて滑り域が移動する傾向が見られる . (b) 本震震央から余震の重心へ向かうベクトル図 . 余震は 1 年間を用い , 地震モーメントで重みをつけた . 気象庁による震源データを用いた (内田・松澤 , 2012)