

(1) 実施機関名：

東北大学

(2) 研究課題（または観測項目）名：

準静的滑りの時空間変化に基づく地震発生切迫度評価の研究

(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

(3) 地震発生先行・破壊過程と火山噴火過程

(3-1) 地震発生先行過程

イ. 先行現象の発生機構の解明

(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

(1) 日本列島及び周辺域の長期・広域の地震・火山現象

ア. 列島及び周辺域のプレート運動，広域応力場

(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

(5) 本課題の5か年の到達目標：

プレート境界で発生するスローイベントや余効すべりが地震や低周波微動の発生を促していることが次第に明らかになっており，このことは，アスペリティモデルで定性的には説明できる．平成 21 年度からの5か年では，これを地震の切迫度評価に役立てるために，この影響を定量化することを目指す．地震同士，またスロースリップイベント同士の相互作用についても，さらに詳細に検討し，そのメカニズムの理解を深める．

(6) 本課題の5か年計画の概要：

平成 21 年度は，小繰り返し地震や GPS データによるプレート境界でのすべりモニタリングの自動化や改良を行う．これらの推定結果の相互比較により，すべり量推定の高精度化を目指す．さらに地震サイクルに伴うすべり欠損・前駆すべり・余効すべり過程の数値シミュレーションを行い，上で得られたすべり量推定結果との比較により，プレート間すべりによる局所的な応力の変化やプレート境界の有効法線応力の絶対値の推定を試みる．陸上および海底地震観測網で精度よく求めた地震のメカニズム解を用いて，宮城沖の海溝陸側斜面下の陸側地殻内または沈み込むプレート内部の応力場を調べる．また，相互作用の検証のため，プレート境界での大小地震が入り混じった地震クラスターの抽出を行う．東北日本沈み込み体周辺域の GEONET と東北大学の GPS データを自動的に併合処理するシステム開発を開始する．

平成 22-25 年度は、抽出された地震クラスター内の小繰り返し地震の発生の時間間隔のゆらぎに注目し、周囲の地震や地震の規模等の影響を調べる。東北日本沈み込み帯における小繰り返し地震のモニタリングも継続する。メカニズム解に基づき、地震性および非地震性のプレート間すべりに対応した局所的な応力の変化を調べて、応力場の空間変化に基づく地震発生の切迫度評価の可能性を探る。また、GEONET と東北大学の GPS データを自動的に併合処理するシステムによって数ヶ月単位でのすべり欠損分布を定量的に評価し、プレート間での歪み蓄積の時空間的な不均質について詳細に検討する。数値シミュレーションにより、GPS や小繰り返し地震で観測されている深部側での余効すべりに対して、間隙水圧の推定へのフィードバックを図る。最終的にこれらの観測事例とシミュレーションを組み合わせることで、切迫度に影響する様々な事象の効果を理解する。

(7) 平成 23 年度成果の概要：

1. 小繰り返し地震や GPS データによるプレート境界でのすべりモニタリング

1984 年以降の中規模繰り返し地震について調べたところ、2011 年東北地方太平洋沖地震後その大すべり域内で繰り返し地震の活動が著しく不活発で、その周りで活発であることが分かった(図 1 a)。これは昨年度報告した中規模繰り返し地震のアスペリティ内での地震サイクルにおける地震活動の時間変化(サイクルの前半が不活発)と大変よく似ている。また中規模の繰り返し地震の積算すべりを用いて余効すべりの時空間分布を推定すると、地震時すべりの周囲ですべりがあり、特にすべり域深部延長ですべりが大きいことが分かった(図 1 b, 図 2a)。

2. 地震サイクルに伴うすべり欠損・前駆すべり・余効すべり過程の数値シミュレーション

昨年度の成果では、深部ゆっくり地震活動の特徴が、隣接する巨大地震サイクルに伴って変化することを見出した。今年度ではさらに、浅部ゆっくり地震も共存させるモデルを構築し、深部との違いを比較した(図 3)。その結果、浅部の方が深部よりも変化が大きいことを示した。このことは、東北地方太平洋沖地震の後、近いうちに発生するとされる東南海地震について、海底観測などによって切迫度を評価する上で活用されることが期待されるものである。

3. メカニズム解を用いた応力場の調査

海底地震観測および陸上観測によるデータを併合処理し、2011 年東北地方太平洋沖地震の震源近傍における震源分布を推定した。その結果、本震より海溝軸側において本震に向けたプレート境界型地震である前震活動の移動がみられた。また、本震の発生を境に震源深さ分布に大きな変化がみとれる。本震の地震時すべりが大きな領域においては、ほとんどプレート境界型地震は発生していない。一方、上盤・下盤側のプレート内において、本震発生前にはほとんどみられなかった地震活動が存在する。

4. 2011 年東北地方太平洋沖地震に関連した成果

2011 年の東北地方太平洋沖地震について、その余震域をみると、過去の複数の M7 クラスの地震の震源域を包含していることが分かる(図 4)。このような関係は、釜石沖地震や、前年度の研究中規模地震について見出されたものとよく似ている。このような階層的構造やそこでの地震活動の調査は、東北日本プレート境界での地震発生過程を解明する上で重要だと考えられる。今後 2011 年の地震のアスペリティを含め、大小アスペリティが重なった場所での地震活動を精査する予定である。

また、小繰り返し地震の積算すべりにより 1993-2007 の震源域のカップリング率を調べたところ、2011 年の地震は、地震前に広域にカップリング率が大きかった場所で発生したことが分かった。さらに GPS データにより推定された地震時すべりは三陸沖や、関東地方の沖、断層深部領域など、カップリング率が小さい場所には大きなすべりは及んでいないことも分かった。このような場所が地震の破壊の進展を妨げる働きをした可能性がある。

2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震に伴う準静的すべりの特徴を調べた結果、余効すべりはフィリピン海プレートの北限に沿って伝播している様子がみられる。(図 5)。フィリピン海プレートと太平洋プレートの間は、小繰り返し地震の解析より固着が弱く安定すべりが卓越している他、フィリピン海プレートの北限は、南に行くほど浅くなることが知られている。一方で、昨年度までの成果より、余効すべりは摩擦パラメーター $A(=a \sigma)$ の値が小さいほど、遠くに速く伝播することが知ら

れている。このため、卓越した余効すべりがフィリピン海プレート北限に沿ってレール状に伝播する場合、南に行くほど浅くなる（ σ が小さくなる）ことから、摩擦パラメーター a の値が南浅でも低い値となる場合、1677 年に発生した房総半島沖地震震源域まで到達する可能性があることを指摘した（図 6）。これらの結果は、巨大地震発生後に誘発される地震について、準静的すべりが重要な鍵となることを意味し、その特徴を理解するためには摩擦特性や、より小規模のスケールで詳細なモニタリングをすることが今後さらに必要となる。

（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）：

- Ariyoshi, K. and Y. Kaneda (2012). Frictional Characteristics in Deeper Part of Seismogenic Transition Zones on a Subduction Plate Boundary, *Earthquake Research and Analysis - Seismology, Seismotectonic and Earthquake Geology*, Sebastiano D'Amico (Ed.), ISBN: 978-953-307-991-2, InTech.
- Ariyoshi, K. and Y. Kaneda (2012). Characteristics of interaction between interplate earthquakes from the view of multi-scale simulations, *Earthquakes: Triggers, Environmental Impact and Potential Hazards*, Nova Science Publishers, in press.
- 有吉 慶介・堀 高峰・中田 令子・金田 義行・J.-P. Ampuero・松澤 暢・日野 亮太・長谷川 昭 (2011). 海溝付近で発生する浅部ゆっくり地震の特徴, *SENAC* vol. 44, No. 4, 33-46.
- 有吉 慶介・松澤 暢・矢部 康男・加藤 尚之・日野 亮太・長谷川 昭・金田 義行, 東北地方太平洋沖地震・スマトラ島沖地震における連動型地震の考察, *JAMSTEC Rep. Res. Dev.*, Volume 13, September 2011, in press
- Suzuki, K., R. Hino, Y. Ito, Y. Yamamoto, S. Suzuki, H. Fujimoto, M. Shinohara, M. Abe, Y. Kawaharada, Y. Hasegawa, and Y. Kaneda, Seismicity near hypocenter of 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake deduced by using Ocean Bottom Seismographic data, submitted to *Earth Planets Space*, 2012.
- 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, *Gophys. 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

（９）平成 24 年度実施計画の概要：

繰り返し地震解析を行うことができる 2011 年東北地方太平洋沖地震に至る 20 年程度の期間は 400-800 年といわれる M9 クラスの地震サイクルの最終段階にあたると考えられる。東北地方太平洋沖地震前後の繰り返し地震データをもとに地震発生の切迫度に関係する事象の抽出を試みる。GPS データによるプレート境界でのすべりモニタリングについては、自動 GPS データ解析とすべり欠損分布推定の統合運用を進め、プレート間での歪み蓄積の時空間的な不均質性について準リアルタイムでの詳細な検討を行う。

また、数値シミュレーションでは、従来の摩擦構成則では、東北地方太平洋沖地震のような、超巨大地震の地震サイクルを説明することが困難な面が多いため、3 次元構造のモデル化と摩擦構成則の発展を取り入れたモデル化を進める。メカニズム解を用いた応力場の調査においては、プレート間すべりに対応した局所的な応力の時空間変化の調査を進め、応力場の時空間変化に基づく地震発生の切迫度評価の可能性を探る。プレート境界での大小地震が入り混じった地震クラスターによる相互作用の検証については、中規模地震の周囲での地震活動について特に 2011 年東北地方太平洋沖地震の余効すべりのレスポンスに注目し、時空間変化を詳細に調べる。

（10）実施機関の参加者氏名または部署等名：

内田直希・伊藤喜宏・松澤 暢・太田雄策（東北大学理学研究科）、ほか 5 名程度（大学院生含）

他機関との共同研究の有無：有

海洋研究開発機構 有吉慶介

(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：内田直希

所属：東北大学大学院理学研究科

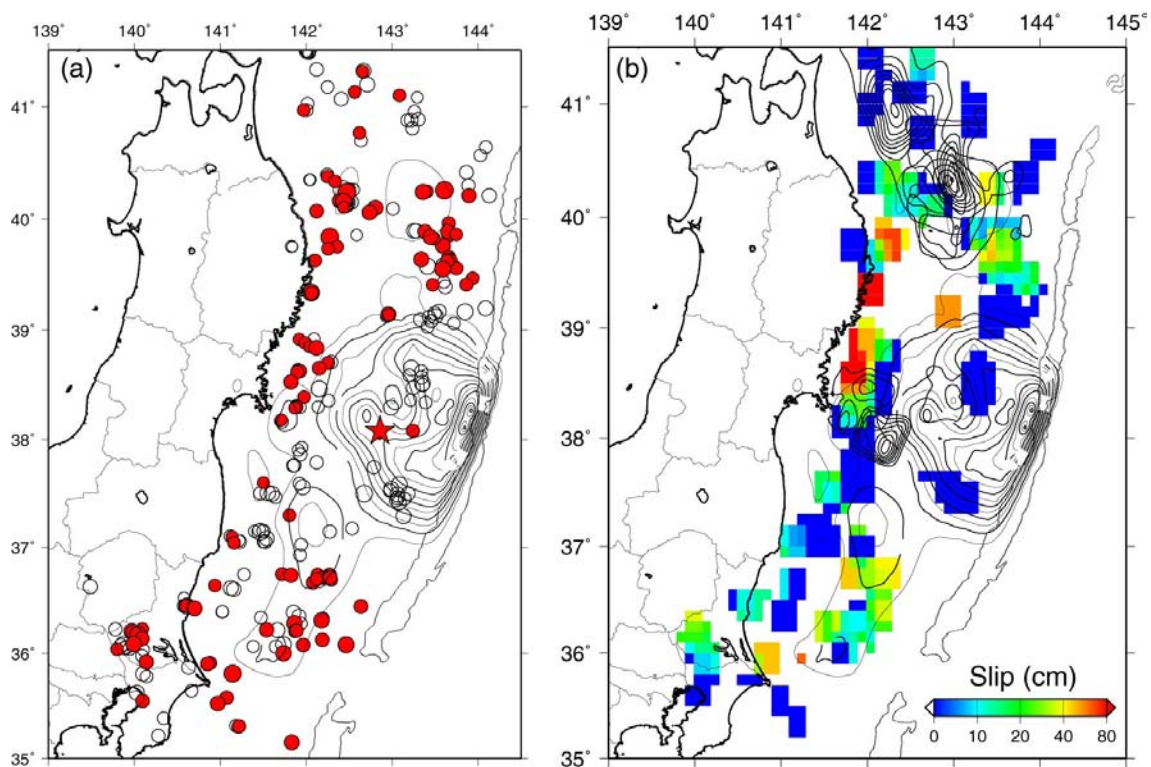


図1

(a) 繰り返し地震グループの分布（丸印）．赤丸は繰り返し地震グループのうち 2011 年東北地方太平洋沖地震後に活動があったもの．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．(b) 繰り返し地震の積算すべりから推定した地震後 3 ヶ月の準静的すべりの分布

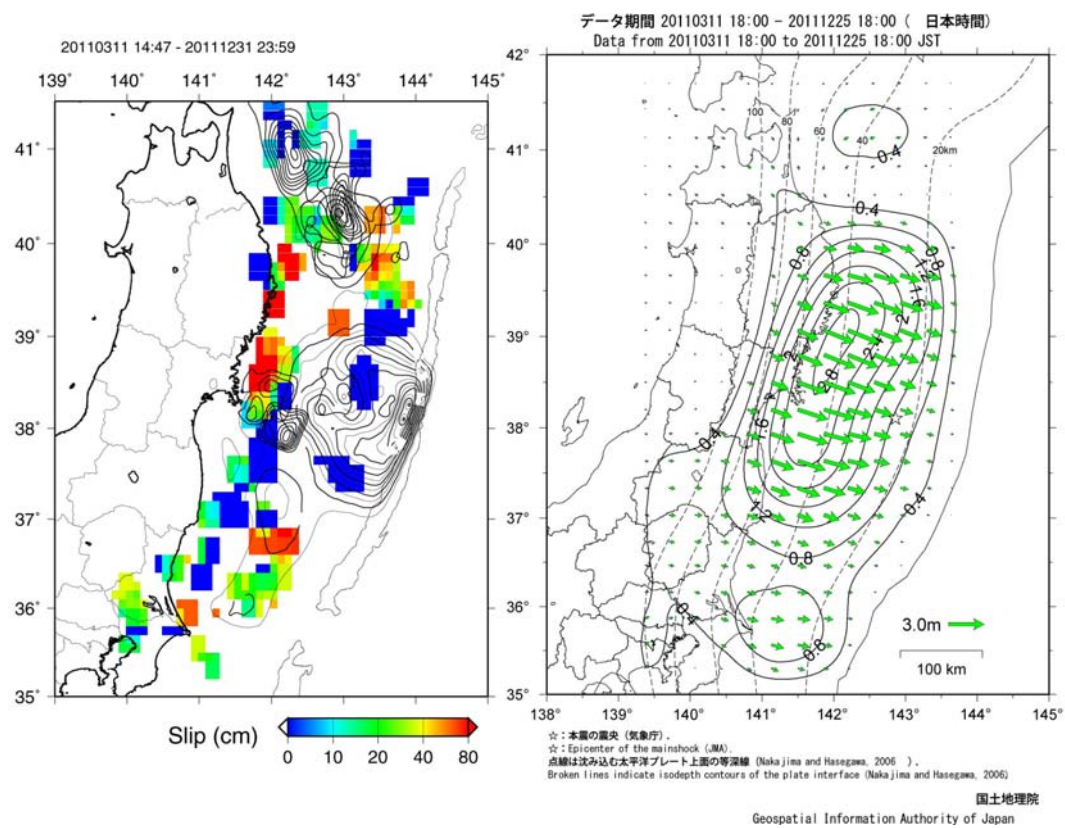


図 2

(a) 繰り返し地震の積算すべりから推定した地震後 9 ヶ月の準静的すべりの分布. (b) ほぼ同期間の GPS データから推定された余効すべり量分布 (国土地理院, <http://www.gsi.go.jp/cais/topic110314-index.html>)

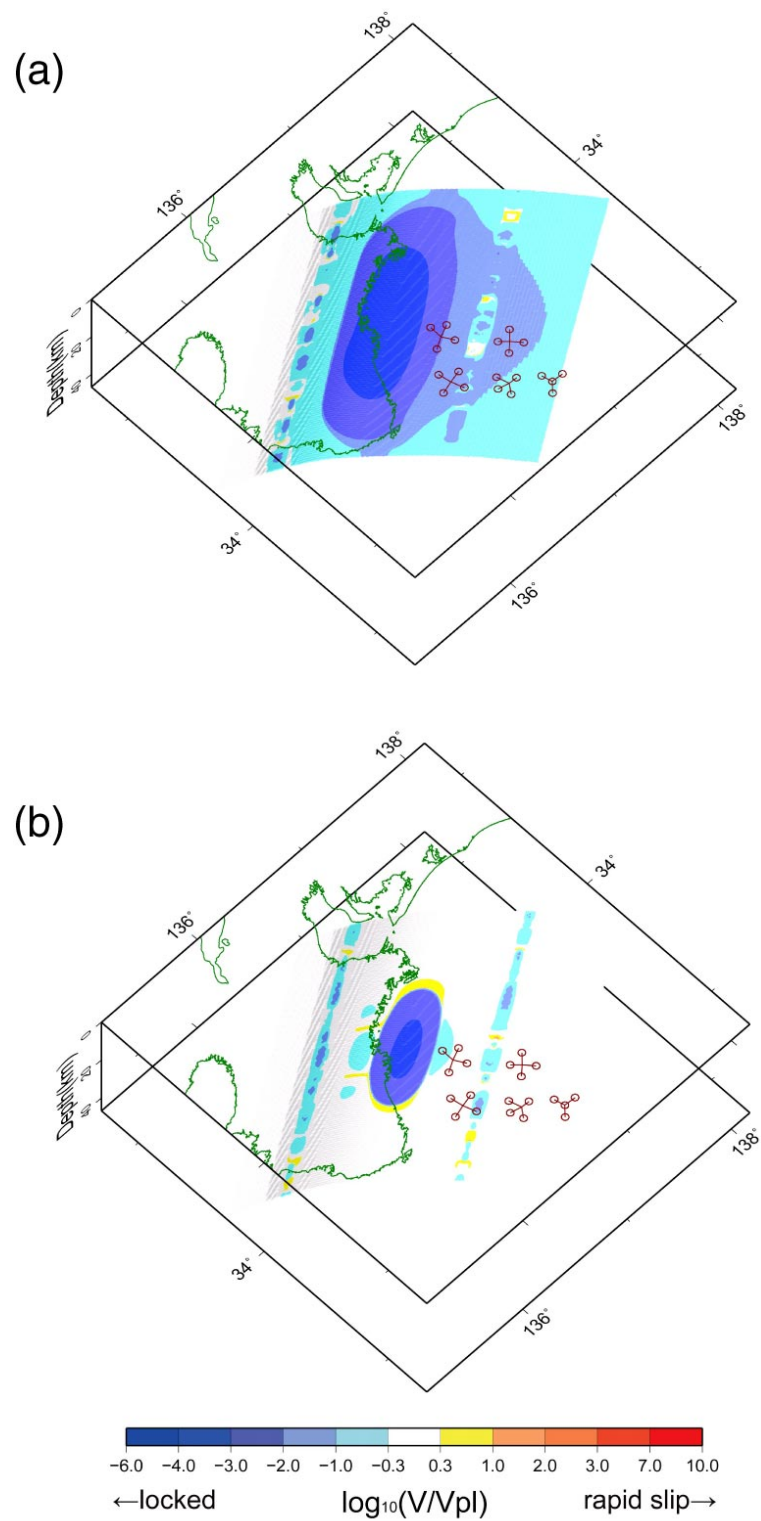


図 3

(a) 固着期間 (東南海地震発生から 20 年経過) (b) 東南海地震発生直前 (約 2.5 年前) における、すべり速度のスナップショット。寒色系は固着，黄・橙色はゆっくりしたすべり，赤色は地震性的高速すべりに相当。赤丸 20 点は DONET の観測点，それらを結ぶ実線はサイエンスノードを示す。

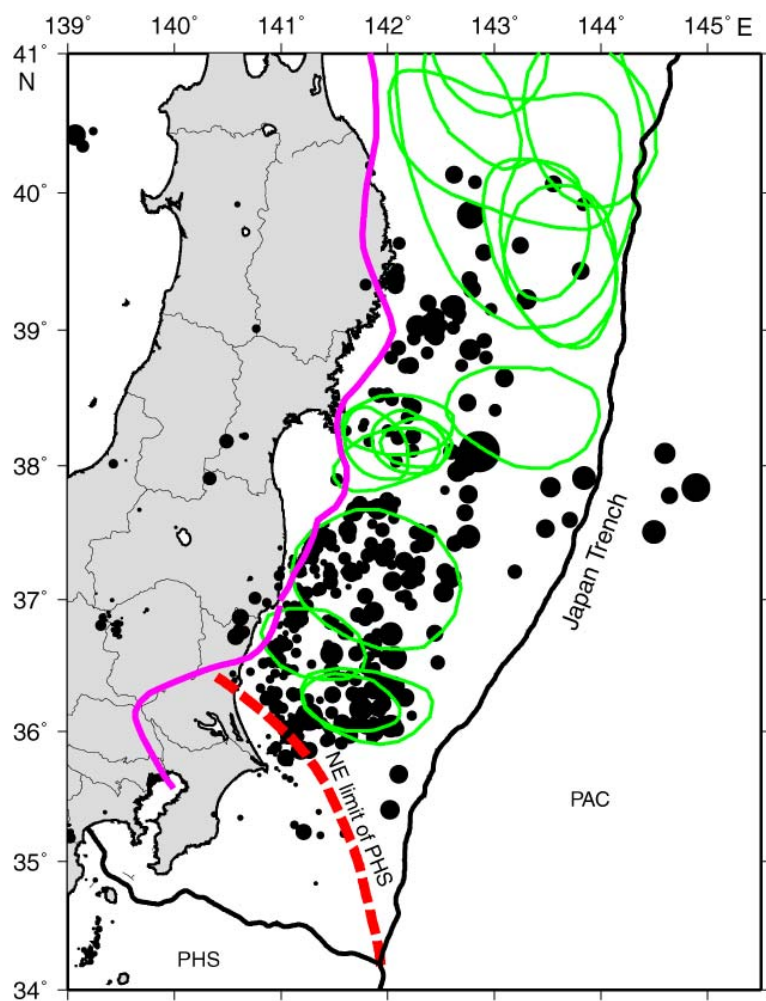


図 4

2011 年東北地方太平洋沖地震の余震（黒丸，1 日間，気象庁による）と 1926 年以降の M7 以上の地震の余震域（緑丸，Uchida et al., 2009）。ピンクの線は，プレート境界地震の下限（Igarashi et al, 2001; Uchida et al., 2009）。

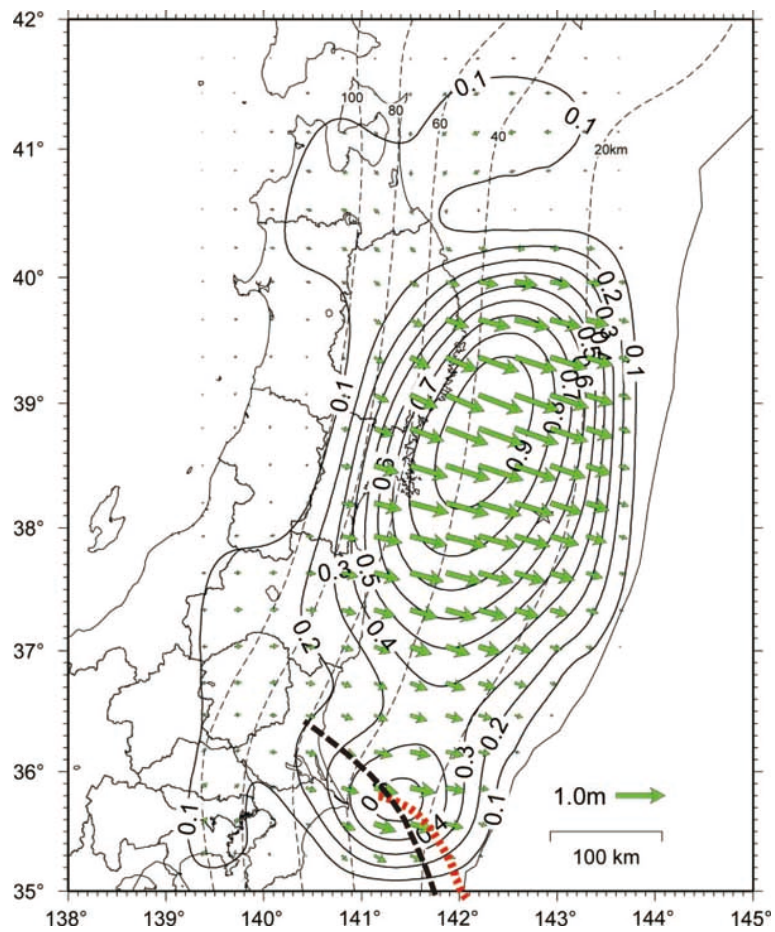


図 5

2011 年東北地方太平洋沖地震後 (Data from 20110311 18:00 to 20110325 3:00 JST) のプレート境界面上のすべり分布 (国土地理院, 2011) と、赤破線はフィリピン海プレートの北限 (Miura et al., 2008: 赤破線, Uchida et al., 2009: 黒破線) を重ねた図 (有吉・他 (2011) に一部加筆).

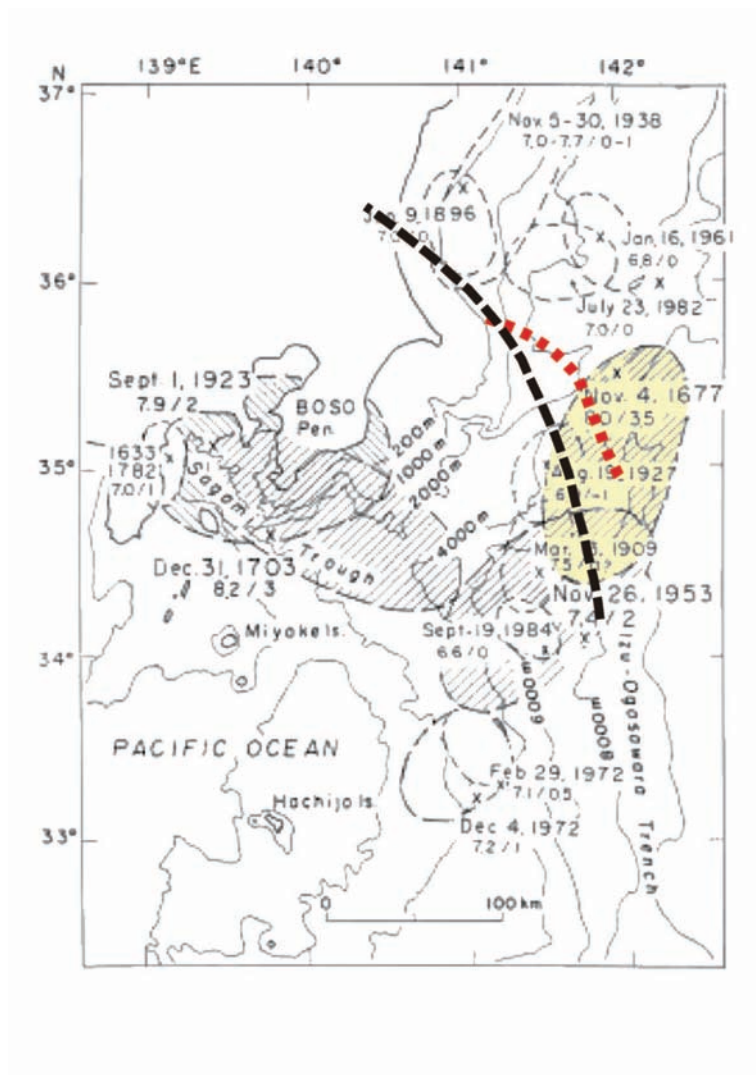


図6

関東・房総沖における津波の波源域分布 (羽鳥 (2003) を一部修正). 赤破線と黒破線は図5と同じ (有吉・他 (2011) に一部加筆).