

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 4 日現在

機関番号：11301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23740328

研究課題名(和文) 繰り返し地震データから推定するプレート間カップリングの決定要因

研究課題名(英文) Estimation of the factor determining interplate coupling from repeating earthquakes

研究代表者

内田 直希 (Uchida, Naoki)

東北大学・理学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：80374908

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,100,000円、(間接経費) 630,000円

研究成果の概要(和文)：地震間の距離とすべり域がよく分かっている釜石沖地震を用い、中規模の繰り返し地震を選別する基準を策定した。これを2011年東北地方太平洋沖地震に適用し、中規模繰り返し地震も、過去のM7クラスの地震や東北地方太平洋沖地震の大すべり領域には少ないことを示した。また、これをプレート境界でのカップリングの時空間変化の推定にも活用した。プレート境界地震の応力降下量からは、太平洋沖地震で大きなすべりがあった宮城県沖では比較的応力降下が小さい特徴が得られた。さらに余効すべりの、繰り返し地震の規模への影響も精査した。これらによりプレート間カップリング分布とそれに影響を及ぼす事象について理解を深めた。

研究成果の概要(英文)：I have developed a method that can select medium-sized repeating earthquake by using rupture size and relative location of Kamaishi-oki earthquakes, then applied it to the NE Japan seismicity before and after the Tohoku-oki earthquake. The result show not only small repeating earthquake but also medium-sized repeating earthquakes are distributed largely outside of M7 and Tohoku-oki earthquake's slip areas. The selected repeaters were also used to refine the slip rate and coupling estimation on the plate boundary. The stress drop of interplate earthquakes are also determined by using the repeaters. It shows that the earthquakes in the large slip area for the 2011 Tohoku-oki earthquake have relatively small stress drop before the Tohoku-oki earthquake. I also found phenomena that the magnitude of repeating earthquake become larger after the Tohoku-oki earthquake.

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・固体地球惑星物理学

キーワード：プレート境界地震 繰り返し地震 非地震性すべり プレート間カップリング 沈み込み帯

1. 研究開始当初の背景

沈み込み帯に位置する日本列島において、プレート境界で発生する地震は、沈み込みに起因する主要な現象であり、その機構の解明は大変重要である。しかし、東北日本でプレート境界地震が主に発生する海域下では、震源決定精度が悪く、また、メカニズムの推定も容易でないため、プレート境界の地震を同定することは非常に困難である。しかし、波形の相関(相似度)によって同定される繰り返し地震を見つけることで、プレート境界の地震のみを解析することができる。最近の研究の発展により、プレート境界の様々な規模の地震について、地震を発生させるアスペリティは基本的に時間変化しないという特性が明らかになってきた。[たとえば、Yamanaka and Kikuchi, 2004; Matsuzawa et al., 2001; Igarashi et al., 2003; Uchida et al. 2003]。このことは、地震発生はプレート境界面のすべり特性に強く支配されていることを示すと考えられ、実際のプレート境界におけるすべり特性の地域性やその原因を解明することが次の課題となっている。プレート境界における固着状況については、高精度の観測データの蓄積や解析技術の向上などにより、これまでの沈み込み帯ごとの違いから、同じ沈み込み帯内での空間的違いについても議論できるレベルになってきた[たとえば、Suwa et al., 2006; Uchida et al., 2009]。しかし数 10km のスケールである個々のアスペリティ(固着域)に対応した固着状況については、十分明らかになっていない。本研究で用いるプレート境界そのもので発生する小繰り返し地震は、震源位置と同等の高い空間分解能を持つため、大地震の個々のアスペリティに対応した固着状況を調べることができる。

2. 研究の目的

プレート境界のすべり(摩擦)特性の分布を明らかにすることは、将来起こりうる地震の場所や規模を推定する上で重要なステップである。本研究では、このようなプレート表面の固有の特性について、地域性とその原因をプレート境界で発生していることが知られている中・小の繰り返し地震(相似地震)を詳細に解析することにより解明する。具体的には、東北日本沈み込み帯において、これまで知られている小繰り返し地震に加え、中規模の繰り返し地震の分布を調べ、アスペリティ分布の全体像を明らかにする。さらにプレート境界で発生する小繰り返し地震から、大アスペリティに対応するスケールでの固着状況の空間変化を調べる。また、小繰り返し地震を含めた、プレート境界地震の応力降下量の分布からもプレート境界域の特性に関する情報を抽出する。これらの結果からプレート間カップリングを規定する条件を考

察する。

3. 研究の方法

本研究は、東北日本沈み込み帯について、プレート境界の詳細なすべり様式の空間分布およびそれを決定する要因を探るものである。具体的には、北海道～関東地方まで広域のプレート境界を対象とし、地域により異なるプレート境界地震の発生様式およびその原因を、小繰り返し地震の積算すべりから見積もったプレート間すべりの履歴、プレート境界地震の応力降下量の空間分布、新たに探索する中規模の繰り返し地震を含めた、すべての大きさのアスペリティの空間分布等から明らかにする。方法としては、繰り返し地震については、波形の相関を用いた抽出方法を改良し、中規模地震に対応できるようにする。また、小繰り返し地震についても期間を延ばすことでデータを増やす。応力降下量については、小繰り返し地震の利用により、プレート境界地震のみを選び出すことができるメリットを活かし、プレート境界の地震の応力降下量の空間分布を推定し、プレート間の固着度やすべり特性との関係を調べる。

4. 研究成果

平成 23 年度は波形の相関を用いた中規模繰り返し地震の抽出方法の開発とその適用を行った。過去の研究により地震間の距離とすべり域が精度よく分かっている釜石沖地震を用い、コーナー周波数付近のコヒーレンス値を用いる方法により中規模の繰り返し地震がうまく選別できることを確認した。具体的には、2 つの地震のうちマグニチュードが小さい地震のコーナー周波数の 1/2 から 2 倍の範囲で 40 秒間の波形についてコヒーレンスを計算し、その値が 0.8 以上のものを繰り返し地震とみなせることが分かった。研究対象領域においては、2011 年東北地方太平洋沖地震が発生したが、この方法を用いてこの地震前後の約 25 年間について解析を行った(図 1)。大きな地震が多発し、小地震の解析が難しい東北地方太平洋沖地震後の期間については、この手法が特に有効であった。中規模繰り返し地震は、小規模の繰り返し地震と同様に、過去の M7 クラスの地震や東北地方太平洋沖地震の大すべり領域には少ないことが分かった。また、得られた地震後のプレート境界での準静的すべりの履歴は、地震時すべり域に近い領域で急激なすべり増加(図 1e) および少し離れた領域で遅れたすべり増加(図 1f)を示すことがわかった。このうち陸域に近いプレート境界でのすべりは、陸上の GPS 観測点で得られた変位とよく似た時間的推移をしている。これらの繰り返し地震から得られたすべりの推移は、実際のプレート境界の摩擦特性や準静的すべりによるすべり欠損の解放過程を知る上で重要なデ

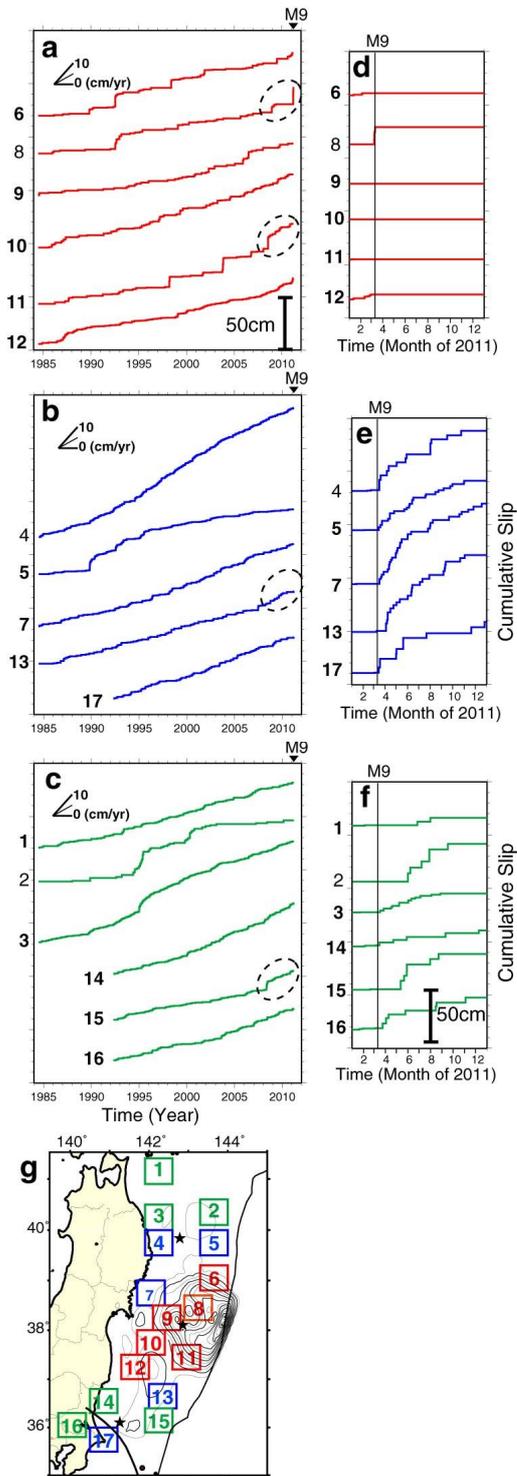


図 1 . 繰り返し地震データから求めた 2011 年東北地方太平洋沖地震前後のプレート境界の準静的すべり . 図 g の 1-17 の領域について地震前 (a-c) および地震後 (d-f) について示す . 色は地震時に大きくすべった領域 (赤) , その近傍 (青) 及びさらに遠い領域 (緑) を示す . [Uchida and Matsuzawa, 2013 を改変]

ータと考えられる . このように中規模繰り返し地震の抽出に一定のめどがついたため , 今後プレート間カップリングの決定要因の研究のほかさまざまな研究の基礎とすることができる .

平成 24 年度は , 中規模繰り返し地震を含めた繰り返し地震データを用いて , 特に東北地方太平洋沖地震前のプレート境界での準静的すべりの履歴の推定を行った . 東北沖地震前には , 地震時に大きくすべった領域では比較的頻繁にエピソード的なすべりの加速が見られた . 一方その周囲では , 比較的すべりレートが大きく , 定常的なすべりあるいは数年 ~ 10 年にわたる大地震の余効すべりが見られた . また , 地震時すべり域の近くのいくつかの領域では 2008 年ころからすべりの加速が見られた . 2011 年の地震後は地震時すべり域では , 非地震性すべりが完全に停止したのに対し , その周辺では , 地震時すべり域に近いほど大きく立ち上がり鋭い余効すべりが見られた . これらはそれぞれの領域でのプレート間カップリングの状態の違いを示している .

また , 繰り返し地震を含むプレート境界地震の応力降下量を推定した (図 2) . メカニズム解や上記で選ばれた繰り返し地震を用いることで , プレート境界地震のみを抽出し , スペクトル比法により応力降下量の推定を行った . その結果 , 2011 年東北地方太平洋沖地震で大きなすべりがあった宮城県沖では比較的応力降下量が小さい地震 (図 2 青および緑丸) が発生していたことが分かった . これは , プレート境界上での不均質な摩擦特性分布を表している可能性がある .

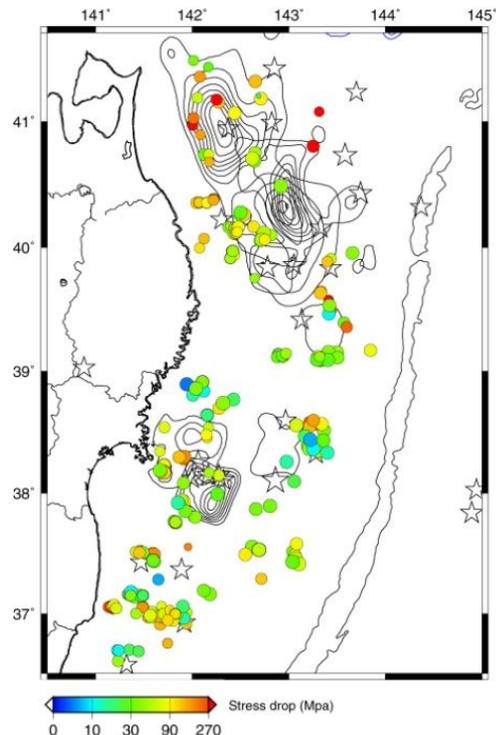


図 2 . プレート境界地震の応力降下量分布 .

小繰り返し地震(M3-4 程度), 中規模繰り返し地震(M4-5 程度), 低角逆断層型地震(F-net, M3.5-5 程度)について, コーダ部分のスペクトル比を取り, コーナ周波数及び地震モーメントを求め推定した. データは, 東北大学微小地震観測網(短周期および広帯域地震計, 100Hz サンプリング, 2003-2010)の記録を使用した. コンターは Yamanaka and Kikuchi(2004)による $M \geq 7$ のアスペリティ分布, 白星は M7 以上の地震の震央を示す.

さらにプレート境界域の特性の空間分布について, 本震前の地域・深さによる非地震性すべりの特徴の抽出を試みた. その結果, 海溝近傍に大すべり域が存在し, 陸に近い場所でも比較的, 地震時すべりが大きかった領域では, プレート境界の深い場所(50-60km 付近)まですべりレートが小さいのに対し, その南北に隣接する領域では, 深さ 35km 付近から深さとともにすべりレートが大きくなる傾向が見られた. この深さとともにすべりレートが大きくなる深さ範囲は, 沈み込むプレートが陸のプレートのマントルに接する場所に相当する. これは, 物質の違いがプレート境界でのカップリングの違いに影響していることを示唆する. また, 宮城県沖の地震時すべりが大きかった領域の, 深くまでの小さいすべりレートは, 南北方向でのプレート境界の特性の違いを反映している可能性がある[Uchida and Matsuzawa, 2013].

平成 25 年度は, 2011 年東北地方太平洋沖地震の余効すべりが, 繰り返し地震の破壊過程に与えた結果を整理し, まとめた. 2011 年東北地方太平洋沖地震前後の繰り返し地震の規模について見ると, この地震の余効すべりが大きい領域で, 繰り返し地震のマグニチュードが大きくなっている傾向が明らかになった(図 3). また, これらの規模が大きくなった繰り返し地震は, 東北地方太平洋沖地震以降, 多数発生しているものが多く, 非地震性すべりの加速(余効すべり)が繰り返し地震の規模の増加に寄与していることが明らかになった. 規模変化の詳細を調べるために, 東北地方太平洋沖地震後, マグニチュードが最大 1 増加した, 岩手県釜石沖の繰り返し地震について調べると, そのすべり域が地震前に比べ広がっていることが分かった. この結果は, 同じ場所においてもプレート間のカップリングの解消が, 地震性すべりによる場合と非地震性すべりによる場合の 2 通りありうることを示す. これはこれまでの繰り返し地震のすべり域の周囲に条件付き安定すべり領域が存在していることで説明できる. このような, ローディンレートに依存するすべり特性の変化は, 今後地震の時期だけでなく規模の予測にとって重要である. この結果は, Journal of Geophysical Research に投稿し, 現在 revise 中である. また, 2011 年東北地方太平洋沖地震前のスロースリッ

プについて情報を整理することにより, カップリング域での固着の変化について事実関係を明らかにした.

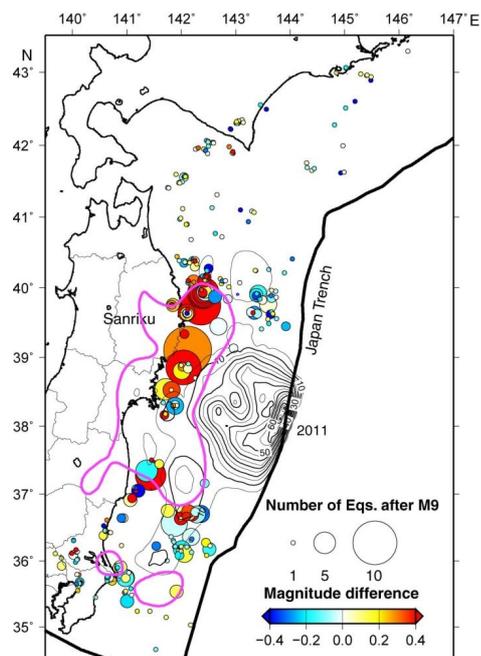


図 3. 各繰り返し地震グループにおける, 東北地方太平洋沖地震前後の平均マグニチュードの差(後 - 前). 丸のサイズは各グループでの東北地方太平洋沖地震後の地震数. 1984 年から 2011 年 12 月 31 日までのデータを用いた. 黒コンターは, Iinuma et al., 2012 による東北沖地震の地震時すべり, ピンクコンターは Ozawa et al., 2012 による地震後 7 ヶ月間の余効すべりが 1 m 以上の領域を示す. 余効すべりが大きい場所でそれまでより大きな繰り返し地震が頻繁に発生している.

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 9 件)

Uchida, N., and T. Matsuzawa, Pre- and post-seismic slow slip surrounding the 2011 Tohoku-oki earthquake rupture, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 374, 81-91, doi:10.1016/j.epsl.2013.05.021, 2013. (査読有)

Hasegawa, A., J. Nakajima, T. Yanada, N. Uchida, T. Okada, D. Zhao, T. Matsuzawa, and N. Umino, Complex slab structure and arc magmatism beneath the Japanese Islands, *Journal of Asian Earth Sciences*, 78, 277-290, 2013. (査

読有)

Nakajima, J., S. Hada, E. Hayami, N. Uchida, A. Hasegawa, S. Yoshioka, T. Matsuzawa, and N. Umino, Seismic attenuation beneath northeastern Japan: Constraints on mantle dynamics and arc magmatism, *J. Geophys. Res.*, *118*, 5838-5855, 2013. (査読有)

Nakajima, J., N. Uchida, T. Shiina, A. Hasegawa, B.R. Hacker, and S.H. Kirby, Intermediate-depth earthquakes facilitated by eclogitization-related stresses, *Geology*, *41*, 659-662, 2013. (査読有)

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.*, *189*, 999-1014, 2012. (査読有)

Okada, M., N. Uchida, and S. Aoki, Statistical forecasts and tests for small interplate repeating earthquakes along the Japan Trench, *Earth Planets Space*, *64*, 703-715, 10.5047/eps.2011.02.008, 2012. (査読有)

Rubinstein, J. L., W. L. Ellsworth, K. H. Chen, and N. Uchida, Fixed recurrence and slip models better predict earthquake behavior than the time- and slip-predictable models: 1. Repeating earthquakes, *J. Geophys. Res.*, *117*, doi:10.1029/2011JB008724, 2012. (査読有)

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. (査読有)

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. (査読有)

〔学会発表〕(計 20 件)

Uchida, N., S. H. Kirby, N. Umino, R. Hino, and E. A. Okal, The Great 1933 Sanriku-oki Earthquake: Possible Compound Rupture of Outer Trench Slope and Triggered Interplate Seismicity, *AGU 2013 Fall Meeting, San Francisco*, Moscone Center, United States, December 12, 2013.

内田直希・飯沼卓史・R. M. Nadeau・R. Burgmann・日野亮太, 東北日本沈み込み帯における周期的スロースリップ, 日本地震学会, 横浜, 神奈川県民ホール・産業貿易センター, 2013年10月7日.

Uchida, N., Slow slip and repeating earthquakes in the northeastern Japan subduction zone, *The summer school on Earthquake Science, Hakone*, Laforet Gora, September 23, 2013. (Invited)

内田直希, 中小地震により推定したプレート間固着状態と東北地方太平洋沖地震, 防災科学技術研究所セミナー, つくば市, 防災科学技術研究所, 2013年6月17日.

内田直希, プレート境界の小地震の活動と東北地方太平洋沖地震, 地殻ダイナミクスの解明ー地球物理学と地質学の知見の総合ー阿武山合宿研究会, 大阪府, 京都大学, 2013年3月23日.

内田直希, 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, 「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画」平成24年度成果報告シンポジウム, 東京, 東京大学武田先端知ビル 5F 武田ホール, 2013年3月6日.

内田直希, 3.11 はどんな地震だったか? 地震・地殻変動観測網がとらえた地震前・地震時・地震後の変動, サイエンスカフェ・スペシャル with JAMSTEC, 仙台, 東北大学, 2013年2月11日.

Uchida, N., A. Hasegawa, and T. Matsuzawa, Strong near-trench locking and its temporal change in the rupture area of the 2011 Tohoku-oki earthquake estimated from cumulative slip and slip vectors of interplate earthquakes, *AGU 2012 Fall meeting, San Francisco*, Moscone Center, United States, December 5, 2012.

内田直希・松澤暢・長谷川昭, 2011年東

北地方太平洋沖地震前後のプレート境界すべり - 地震学的データからの推定 -, *日本測地学会第 118 回講演会*, 仙台, 仙台市福祉プラザ, 2012 年 10 月 31 日.

内田直希・長谷川昭・松澤暢, 2011 年東北地方太平洋沖地震前の海溝近傍の固着状況 - プレート境界地震のすべり方向からの推定 -, *日本地震学会 2012 年度秋季大会*, 函館, 函館市民会館, 2012 年 10 月 16 日.

Uchida, N., T. Matsuzawa, and A. Hasegawa, Interplate coupling and its temporal change associated with the 2011 Tohoku-Oki earthquake, *2012 Global COE Final Symposium: Achievements of G-COE Program for Earth and Planetary Dynamics and the Future Perspective*, Sendai, Sendai City War Reconstruction Memorial Hall, September 25, 2012. (Invited)

内田直希, 小繰り返し解析による 2011 年東北地方太平洋沖地震前後の準静的すべりの推定, *地震火山グループ研究会「東北地方太平洋沖地震前に起こっていたこと」*, 宇治, 京都大学防災研究所, 2012 年 6 月 1 日. (招待)

Uchida, N., Repeating earthquake activity before and after the 2011 Tohoku earthquake, *International symposium on statistical modeling and real-time probability forecasting for earthquakes*, Tachikawa, Institute of Statistical Mathematics, March 12, 2012. (Invited)

Uchida, N., and T. Matsuzawa, Quasi-static Slip Before and After the 2011 Tohoku Earthquake Estimated from Small Repeating Earthquakes, *AGU 2011 Fall Meeting*, San Francisco, Moscone Center, United States, December 5, 2011.

内田直希, 東北地方太平洋沖地震前後の繰り返し地震活動とプレート境界すべり, *日本海溝-東北日本-日本海システム研究ワークショップ*, 東京都, JAMSTEC 東京事務所, 2011 年 11 月 25 日.

内田直希, 繰り返し地震解析による東北地方太平洋沖地震前後のプレート境界すべりの時空間変化, *東京大学地震研究所金曜セミナー*, 東京都, 東京大学地震研究所, 2011 年 11 月 24 日.

内田直希・松澤暢, 繰り返し地震データから推定した 2011 年東北地方太平洋沖地震前後の準静的すべり, *日本地震学会*

2011 年秋季大会, 静岡, 静岡県コンベンションアーツセンター・グランシップ, 2011 年 10 月 12 日.

内田直希・松澤暢, 小繰り返し地震データから推定した東北地方太平洋沖地震震源域周辺のカップリング率, *東北地方太平洋沖地震緊急研究成果報告シンポジウム*, 仙台, トラストシティカンファレンス・仙台, 2011 年 8 月 20 日. (招待)

内田直希・松澤暢, コーダスペクトル比法により推定した東北日本沈み込み帯のプレート境界地震の応力降下量, *日本地球惑星科学連合 2011 年大会*, 千葉, 幕張メッセ, 2011 年 5 月 22 日.

内田直希, 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, 「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画」平成 22 年度成果報告シンポジウム, 東京, 東京大学地震研究所, 2011 年 3 月 3 日.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕
出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者
内田 直希 (Uchida, Naoki)
東北大学・大学院理学研究科・助教
研究者番号: 80374908

(2) 研究分担者
()
研究者番号:

(3) 連携研究者
()
研究者番号: