

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2007～2008

課題番号：19740264

研究課題名(和文) プレート境界面上の小繰り返し地震の発生過程の理解に基づく地震発生サイクルの研究

研究課題名(英文) Research on earthquake cycle based on the analysis of interplate repeating earthquakes

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

研究成果の概要：

小繰り返し地震を用い、地震サイクルの物理過程を理解するため、岩手県釜石沖等の繰り返し地震について震源決定、断層サイズ、応力降下量の推定を行った。その結果、釜石沖の地震クラスタでは、断層上の比較的弱いパッチで小地震が発生し、インターサイスミックな期間の、すべり域内で非地震的すべりが明らかになった。また、他の繰り返し地震では、外部からの影響(余効すべり等)により発生間隔だけでなく、規模や破壊過程も変化することも分かった。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	500,000	0	500,000
2008年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
年度			
総計	1,000,000	150,000	1,150,000

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：地震現象

## 1. 研究開始当初の背景

大地震以外にも中小の地震について、多数の繰り返し地震が存在することがアメリカのサンアンドレアス断層[例えば, Ellsworth (1995), Nadeau et al. (1995)]や東北日本沈み込み帯[例えば, Matsuzawa et al. (2002), Igarashi et al. (2003), Uchida et al. (2003), 長谷川・他(2005)]などで発見されている。これらの繰り返し地震(小繰り返し地震)は、数年程度の繰り返し間隔をもち、

近代的な地震観測データのある期間に何回もの地震サイクルを繰り返している。したがって、最新の解析技術に耐えうる十分高品質のデータを利用することができる。しかし、現在まで、中・小の繰り返し地震の地震サイクルに注目し、その物理過程を理解しようとする研究は世界でほとんど行われていない。例えば, Waldhauser et al. (2004)は、ダブル・ディファレンス法[Waldhauser and Ellsworth(2000), 以下 DD法]によるサン

アンドレアス断層のパークフィールドの地震の震源決定により、固着域とクリープ域の境界部分に、地震が筋状に分布することを示している。しかし、その地震活動が、固着域の地震サイクルの中でどのように振舞うのかは明らかでない。また、Okada et al. (2003) は、岩手県釜石沖の M4.8 前後の繰り返し地震[Matsuzawa et al. (2002)]について、2001年と1995年の地震のすべり分布がほぼ重なることを示した。しかし、その地震サイクルの間における周囲の地震活動等については、調べられていない。

本研究では、東北日本沈み込み帯のプレート境界上で発生する小繰り返し地震のうち比較的規模の大きな地震（以下中規模繰り返し地震）に着目し、その周囲の地震の位置を高い精度で決め、その発生の時空間的特徴を調べることにより、地震サイクルにおける中規模繰り返し地震を発生させる固着域やその周囲での物理過程（応力・すべりの時空間変化）を解明することを目指す。

## 2. 研究の目的

本研究では、中規模の繰り返し地震の周囲での小地震の分布を、DD法で高精度に求める。さらに、小地震および中規模繰り返し地震のスペクトルのコーナー周波数をスペクトル比法[Frankel and Wennerberg(1989)]により求めることにより、断層サイズを推定する。これらにより、地震の発生時、位置、および断層サイズが分かる。これを複数回の地震サイクル及び複数の中規模繰り返し地震系列について行うことにより、地震のサイクルの中での小地震の活動の普遍的な特徴を明らかにする。

特に、中規模繰り返し地震のすべり域と小地震の相対的な位置や、その発生時期は、中規模地震の固着域への応力集中過程を理解する上で非常に重要な示唆を与えると考えられる。

すなわち、中規模地震の前の固着の緩和の有無や近傍の地震との相互作用の有無などについて、明らかにできる可能性がある。また、特に中規模繰り返し地震の周囲での小繰り返し地震は、プレート境界での準静的すべりの時間発展の推定に用いることができ[Igarashi et al. (2003); Uchida et al. (2003, 2005)]、中規模繰り返し地震の発生過程について重要な情報を与えてくれると期待される。

さらに、断層サイズと地震モーメントから、応力降下量を求めることにより、小繰り返し地震のスケール則を明らかにする。すなわち、Nadeau and Johnson (1998)による、小繰り返し地震についてのスケール則が成り立つかどうかを確かめる。また、一つの繰り返し地震グループにおいて、応力降下

量に特徴的な時間変化はないかについても調べる。

## 3. 研究の方法

### (1) 精密震源決定

2007年度はまず、震源決定を進める。震源決定には、比較的近接して存在する地震について、その走時差をデータに用いることにより、通常の震源決定に比べ相対的な位置を精度良く求めることができるDD法を用いる。ここで、中規模地震とその近くの小地震・及び小地震同士の相対的な位置を数十 m 以内の精度で求めるための工夫として、走時差を、波形のクロススペクトルにより求める。クロススペクトルを用い走時差を計算すると、もともとの読み取り値に比べ精度のよい走時差データを得ることができ、飛躍的に震源決定精度が向上する。

震源決定手法の確立のため、まず、岩手県釜石沖の中規模繰り返し地震[Matsuzawa et al. (2002); Okada et al. (2003)]の周辺の地震活動について、詳しく調べる。岩手県釜石沖の中規模繰り返し地震は、マグニチュードが4.8前後で約5年の繰り返し間隔を持ち、その地震クラスタでの地震活動はサイクルの後半に活発化するという特徴がある。

2007年度の後半には、他の中規模繰り返し地震クラスタにも同様の手法を当てはめ、地震発生の時空間的特徴について調べる。

また、効率的に研究を進めるため、著者が2006年に本手法の習得のため滞した米国地質調査所のW.L.Ellsworth氏や釜石沖の地震活動の発見者である松澤暢氏と密接に連絡を取りながら、解析手法の改良を行う。

### (2) 断層サイズ等の震源パラメータの推定

断層サイズの推定には、マルチウィンドウスペクトル比法[Imanishi and Ellsworth (2006), 以下MWSR法]を用いる。この手法は、伝播経路や観測点の影響を取り除き、震源の情報を正確に抽出することができるスペクトル比法[Frankel and Wennerberg (1989)]に基づき、波形に沿った複数のウィンドウ及び、複数の成分、複数の観測点のスペクトル比をスタックし安定なスペクトル比を得るものである。スタックすることにより、低周波側と高周波側に2つの平坦面をもった滑らかなスペクトル比がえられ、安定的にコーナー周波数（スペクトル比の折れ曲がり位置）を求めることができる。

2008年度は、この手法を東北日本の中規模繰り返し地震を含む地震クラスタに当てはめることにより、各々の地震のコーナー周波数を求め、断層サイズの推定を行う。ここで、断層モデルとしては、Sato and Hirasawa (1973)のモデルを用いる。さらに地震モーメントを用い、応力降下量の推定も行い、地震のスケール則の調査も行う。

研究は、MWSR 法の開発者である、今西和俊氏や、W.L.Ellsworth 氏とも密接に連絡を取りながら行う。

### (3) 地震活動のモデル化

地震活動のモデル化のために、DD 法により震源再決定した地震活動の時空間分布を調べ、中規模繰り返し地震の周囲の地震活動の意味するところを解明する。ここでは特に、MWSR 法で求めた中規模地震のすべり域と小地震の相対位置、地震クラスタ内での小繰り返し地震の発生位置について着目する。前者は、プレート境界面の摩擦の性質、後者は、プレート境界面上の局所的なすべりの時間発展を推定する上で非常に重要である。このモデル化においては、地震サイクルの研究に詳しい長谷川昭氏や松澤暢氏、シミュレーションにより釜石沖の地震サイクルの研究を行っている有吉慶介氏などとも議論し、研究を進める。

### 4. 研究成果

2007 年度は、岩手県釜石沖の中規模繰り返し地震 [Matsuzawa et al. (2002)] の周辺の地震について、ダブル・ディファレンス法 [Waldhauser and Ellsworth(2000)] による詳細な震源決定法および、マルチタイムウインドウ・スペクトル比法 [Imanishi and Ellsworth (2006)] による断層サイズ・応力降下量の推定を行った。その結果、岩手県釜石沖の地震クラスタでは、小地震が最大地震のすべり域の端および中心付近の 3ヶ所に集中して発生していることが分かった。それぞれのクラスタでの地震のほとんどは、同じ場所で発生している繰り返し地震であることも分かった。さらに、応力降下量の推定から、最大地震に比べて、小地震の応力降下量が小さいことが分かった。

これらの解析結果は、岩手県釜石沖の中規模繰り返し地震近傍で発生する地震は、この地震の周囲や内部の比較的弱いパッチで発生していることを示唆する。また、今回推定された最大地震および小地震の地震時すべりから、中規模繰り返し地震のインターサイミックな期間に、そのすべり域内で非地震的すべりが生じている可能性があることが分かった。釜石沖の地震クラスタにおける小地震の活動には、最大地震の地震サイクルの後半に活動が活発になるという特徴があり、本研究の結果から小地震の活動は、中規模繰り返し地震のアスペリティへの応力集中の過程を示している可能性が示唆される。この研究の内容は、Geophys. Res. Lett. 誌にて発表した (論文⑦, 下図)。

2008 年度は 2008 年 1 月に予測されていた M4.7 の繰り返し地震が岩手県釜石沖の繰り返し地震クラスタで発生したため、さらにデータを追加して研究を行った。その結果、

2008 年の地震は、2001 年や 1995 年の地震とほぼ同じ場所を破壊していることが分かった。また、2008 年の地震はこれまでの M4.7 前後の地震と同様に、同じクラスタ内の他の小地震に比べて応力降下量大きいことが分かった (下図)。

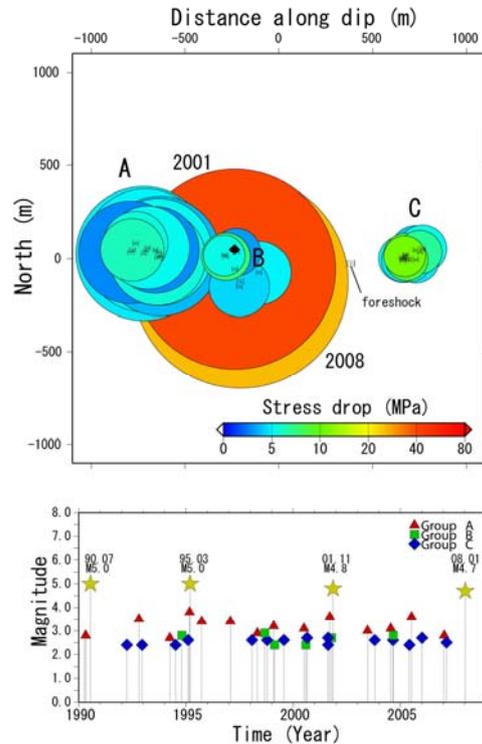


図. 岩手県釜石沖の地震クラスタの震源分布 (円の中心)、断層サイズ (円の大きさ) および応力降下量 (色)。

さらに、他の地震クラスタへの震源決定法 (ダブル・ディファレンス法 [Waldhauser and Ellsworth(2000)]) および、断層サイズの推定法 (マルチタイムウインドウ・スペクトル比法 [Imanishi and Ellsworth (2006)]) の適用により、大きな余効すべり (非地震性すべりの加速) の到達により、繰り返し間隔が短くなるだけでなく、波形の相関も低下している (すべり分布も変化している) 繰り返し地震の例が明らかになった。また、特に大きな外部からの擾乱が考えられない場合でも、応力降下量とすべり量の変化が見られる繰り返し地震クラスタも存在することが明らかになった。

これらの結果は、小繰り返し地震は、外部からの影響 (余効すべり等) により発生間隔だけでなく、規模や破壊過程も影響を受けること、アスペリティの強度に時間変化があることを示唆する。このような地震サイクルの複雑性の原因としては、震源の詳細決定や応力降下量の推定により明らかとなったアスペリティ自身の微細構造 (階層構造) が重要である可能性がある。

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 12 件)

- ① Uchida, N., J. Nakajima, A. Hasegawa, and T. Matsuzawa (2009), What controls interplate coupling? : Evidence for abrupt change in coupling across a border between two overlying plates in the NE Japan subduction zone, *Earth Planet. Sci. Lett.* in press. 査読有
- ② Uchida, N., S. Yui, S. Miura, T. Matsuzawa, A. Hasegawa, Y. Motoya, and M. Kasahara (2009), Quasi-static slip on the plate boundary associated with the 2003 M8.0 Tokachi-oki and 2004 M7.1 off-Kushiro earthquakes, *Gondwana Research* in press. 査読有
- ③ Hasegawa, A., J. Nakajima, N. Uchida, T. Okada, D. Zhao, T. Matsuzawa, and N. Umino (2009), Plate subduction, and generation of earthquakes and magmas in Japan as inferred from seismic observations: An overview, *Gondwana Research* in press. 査読有
- ④ 川田祐介・長濱裕幸・内田直希・松澤暢, 2009, プレート境界地震に伴う余効すべりと岩石の粘弾性挙動, *地質学雑誌* 印刷中. 査読有
- ⑤ Goltz, C., D. L. Turcotte, S. G. Abaimov, R. M. Nadeau, N. Uchida, and T. Matsuzawa (2008), Rescaled earthquake recurrence time statistics: application to microrepeaters, *Gophys. J. Int.*, 176(1), 256-264. 査読有
- ⑥ 松澤暢・内田直希, 2008, 釜石沖の規則的な地震活動とアスペリティ・モデル, *なみふる*, 67, 4-5. 査読無
- ⑦ Uchida, N., T. Matsuzawa, W. L. Ellsworth, K. Imanishi, T. Okada, and A. Hasegawa (2007), Source parameters of a M4.8 and its accompanying repeating earthquakes off Kamaishi, NE Japan - implications for the hierarchical structure of asperities and earthquake cycle, *Geophys. Res. Lett.*, 34, doi:10.1029/2007GL031263. 査読有
- ⑧ 内田直希・松澤暢・三浦哲・平原聡・長谷川昭, 2007, 小繰り返し地震解析による宮城・福島県沖プレート境界の準静的すべり, *地震* 2, 59, 4, 287-295. 査読有
- ⑨ Rubinstein, J., N. Uchida, and G.

Beroza (2007), Seismic velocity reductions caused by the 2003 Tokachi-oki earthquake, *J. Geophys. Res.*, 112, doi:10.1029/2006JB004440. 査読有

- ⑩ 岡田正実・高山博之・弘瀬冬樹・内田直希, 2007, 地震長期発生確率予測に使用する更新過程対数正規分布モデルのパラメータ事前分布, *地震* 2, 60, 2, 85-100. 査読有
- ⑪ 海野徳仁・河野俊夫・岡田知己・中島淳一・松澤暢・内田直希・長谷川昭・田村良明・青木元, 2007, 1930年代に発生したM7クラスの宮城県沖地震の震源再決定-1978年宮城県沖地震のアスペリティでのすべりだったのか?-, *地震* 2, 59, 325-337. 査読有
- ⑫ 内田直希・松澤暢・平原聡・長谷川昭・笠原稔, 2007, 小繰り返し地震による東北日本沈み込みプレート境界での準静的すべりの推定, *月刊地球*, 29, 6, 383-391. 査読無

[学会発表] (計 15 件)

- ① Uchida, N., A. Hasegawa, J. Nakajima, and T. Matsuzawa, What controls interplate coupling? Implications from abrupt change in coupling on the Pacific plate across a border between two overlying plates in the southernmost extent of the NE Japan subduction zone, AGU 2008 Fall meeting, San Francisco, Moscone Center, December 15-19, 2008
- ② Uchida, N., J. Nakajima, A. Hasegawa, and T. Matsuzawa, Abrupt change in interplate coupling on the Pacific plate across a border of two overlying plates east off Kanto, Japan, ASC・SSJ合同大会, つくば市, つくば国際会議場, November 24-27, 2008
- ③ Uchida, N., M. Mishina, and T. Matsuzawa, Afterslip of the 2008 off Ibaraki (M7.0) and off Fukushima (M6.9) earthquakes estimated from small repeating earthquakes, ASC・SSJ合同大会, つくば市, つくば国際会議場, November 24-27, 2008
- ④ 内田直希・中島淳一・長谷川昭・松澤暢, プレート間カップリングは何により規定されるか?: 上盤プレートが支配する関東沖の太平洋プレート上面のカップリング, アスペリティのマッピングとモニタリング (EARS) シンポジウム

2008 年度研究集会, 東京, 東京大学地震研究所, 2008 年 10 月 27-28 日

- ⑤ Uchida, N., T. Matsuzawa, J. Nakajima, A. Hasegawa, and F. Hirose, Subduction of Izu-Bonin forearc 'wedge' and its effect on interplate coupling around Kanto, Japan, 7th International Seminar on Seismic Tomography of Far-East-Asia and related works, Daejeon, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, August 24-27, 2008
- ⑥ 内田直希・Kirby Stephen・岡田知己・北佐枝子・辻優介・山本揚二郎・Shantha S.N. Gamage・日野亮太・松澤暢・長谷川昭, 東北日本三陸沖の太平洋スラブ直上の地震活動, 日本地球惑星科学連合 2008 年大会, 千葉, 幕張メッセ, 2008 年 5 月 25-30 日
- ⑦ 内田直希・松澤暢・岡田知己・島村浩平・長谷川昭・今西和俊・Ellsworth William L., 2008 年の繰り返し釜石沖地震とその周辺の地震活動, 日本地球惑星科学連合 2008 年大会, 千葉, 幕張メッセ, 2008 年 5 月 25-30 日
- ⑧ 内田直希・松澤暢・中島淳一・長谷川昭・弘瀬冬樹, 変換波推定される関東地方のフィリピン海プレートの上面深度と厚さ, 地震研特定 B 関東テクトニクス研究集会, 東京, 東京大学地震研究所, 2008 年 3 月 19 日
- ⑨ 内田直希, 宮城県沖地震の発生過程の解明, 地震・火山噴火予知研究計画シンポジウム, 東京, 東京大学地震研究所, 2008 年 3 月 3-5 日
- ⑩ Uchida, N., T. Matsuzawa, J. Nakajima, A. Hasegawa, and F. Hirose, Configuration of the Philippine Sea plate in the Kanto district, Japan, estimated from SP and PS converted waves, AGU 2007 Fall Meeting, San Francisco, Moscone South, December 10-14, 2007
- ⑪ 内田直希・松澤暢・中島淳一・長谷川昭・弘瀬冬樹, 変換波を用いた関東地方のフィリピン海プレートの形状推定, 「アスペリティのマッピングとモニタリング (EARS)」シンポジウム, 東京, 東京大学地震研究所, 2007 年 11 月 19-20 日
- ⑫ 内田直希・松澤暢・長谷川昭, 小繰り返し地震によるプレート境界の地震活動の理解, 地震活動のモデルと予測に関する研究 統計数理研究所 共同研究集会 19-共研-5002, 東京, 統計数理

研究所 講堂, 2007 年 11 月 8-9 日

- ⑬ 内田直希・松澤暢・中島淳一・長谷川昭・弘瀬冬樹, 小繰り返し地震からの変換波による関東地方のフィリピン海プレートの形状推定, 日本地震学会 2007 年秋季大会, 仙台, 仙台国際センター, 2007 年 10 月 24-27 日
- ⑭ Uchida, N., T. Matsuzawa, and A. Hasegawa, Quasi-static slip associated with large earthquakes on the subducting plate boundary of NE Japan detected by small repeating earthquake analysis, EASTEC symposium 2007 Dynamic Earth -its origin and future-, Sendai, Sendai City War Reconstruction Memorial Hall, September 18-21, 2007
- ⑮ 内田直希・松澤暢・平原 聡・五十嵐俊博・長谷川昭, 小繰り返し地震による東北日本プレート境界の準静的すべりのマッピングとモニタリング, 日本地球惑星科学連合 2007 年大会, 千葉, 幕張メッセ, 2007 年 5 月 19-24 日

[図書] (計 1 件)

- ① Hasegawa, A., N. Uchida, T. Igarashi, T. Matsuzawa, T. Okada, S. Miura, and Y. Suwa (2007), Asperities and quasi-static slips on the subducting plate boundary east off Tohoku, NE Japan, The seismogenic zone of subduction thrust faults, Margins Theoretical Institute and Experimental Earth Science Series, Columbia University Press, New York, 451-475.

## 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: