

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 8 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2013

課題番号：24740302

研究課題名(和文)地震発生に先行するゆっくり地震の検出

研究課題名(英文)Detection of slow-slip transients before large earthquakes

研究代表者

加藤 愛太郎(KATO, Aitaro)

東京大学・地震研究所・准教授

研究者番号：20359201

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円、(間接経費) 960,000円

研究成果の概要(和文)：過去約10年間に日本列島で発生したマグニチュード約6.5以上の本震に対して、気象庁一元化震源情報を用いた波形相関処理によるパターン検索を適用することで、本震前の地震活動をより正確に捉えることに成功した。その結果、一部の本震の発生前に、本震の近傍でゆっくり地震(滑り)が起きていたことを示唆する事例を複数見出した。これらの活動の中には、震源の移動や低い b 値(マグニチュードに対する地震の累積個数の変化を記述するパラメータ)という特徴が見られたものもある。これらの前震活動には、活発なものから極めて低調なものまで幅広い多様性が見られ、本震発生前に生じるゆっくり地震は複雑な様相を呈する。

研究成果の概要(英文)：By applying a matched-filter technique to continuous seismograms recorded near source region prior to mainshocks with magnitude greater than around 6.5, we succeeded to obtain more precise images of foreshock sequence before mainshocks. As a result, we found out several foreshock sequences indicating occurrence of slow-slip transients near the initiation point of each mainshock rupture. Some foreshock sequences are characterized by earthquake migrations towards to the mainshock hypocenter, and low- b value (a constant of Gutenberg Richter law showing the relationship between the magnitude and total number of earthquakes). However, there is a significant diversity of foreshock activity from very weak to intensive behaviors, suggesting that interaction between slow-slip transients and mainshock rupture is complex.

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：前震活動 ゆっくり地震

1. 研究開始当初の背景

過去に起きた大地震の中には、本震に先立ち中小地震の活動（前震活動）が発生する事例があるが、前震から本震発生に至るプロセスには未解明な部分が多いのが現状である。Kato et al. (2012) は、2011 年東北地方太平洋沖地震 (M9.0) の発生前のおよそ 1 ヶ月間の連続地震記録を用いて、前震活動の詳細な時空間分布を推定した。その結果、本震発生の約 1 ヶ月前の 2 月中旬と、約 2 日前の最大前震 M7.3 の発生後に、本震の破壊開始点へ向かう震源移動現象がほぼ同じ領域で 2 度起きていたことを明らかにした。それぞれの移動速度は 1 度目が 2~5 km/日、2 度目は平均約 10 km/日であった。興味深いことに、2 度の震源移動と概ね同じタイミングで、プレート境界面上の非地震性すべりも移動しており、震源の移動はゆっくり地震の伝播を表すと考えられる。

ゆっくり地震が同じ領域を 2 度伝播し、移動領域の北端と南端で M7.3 と M9.0 の地震が発生した。これらの結果から、ゆっくり地震の伝播が本震震源への応力集中を効果的に引き起こし、本震の発生を促進した可能性が考えられる。つまり、大地震の発生に先行するゆっくり地震の存在を示唆するため、その現象の再現性の有無を調べることは極めて重要である。ゆっくり地震の伝播が、大きな地震の発生に関与した観測例として、2003 年十勝沖地震 (M8.0) 発生後の余効すべりが挙げられる。地殻変動観測データや小繰り返し地震の解析により (Murakami et al., 2006; Uchida et al., 2009) 余効すべりが根室沖まで伝播していき、翌年に 2 つの M7.0 の地震を根室沖で誘発した可能性が指摘されている。この他にも、1999 年イズミット地震 (M7.6) や 1998 年仙台地震 (M5.0) では、相似な波形記録を有する前震活動が本震震源の直近で複数回発生したことから、震源域直下でゆっくり滑りが進行していた可能性も報告されている (Umino et al., 2002; Bouchoun et al., 2011)。

しかしながら、このような観測例は稀であり、地震発生に先行するゆっくり地震についての理解が深まらない状況である。その原因として、1) 既存の前震カタログが不完全であること、2) 既往研究では震源カタログを用いた時系列解析が主であり、前震活動期間中の連続波形記録からゆっくり地震を検出する試みに焦点が当てられてこなかったことが挙げられる。

2. 研究の目的

過去 10 年間に日本列島内で発生した中～大規模の本震に先行する前震活動に対して、基準地震と連続波形記録との波形相関処理

法 (Matched Filter 法) を通して、検出限界に迫る前震カタログを新たに構築する。基準地震として、気象庁一元化処理震源を用いる。この新たな前震カタログを系統的に分析することで、前震活動の移動速度、b 値 (マグニチュードに対する地震の累積個数の変化を記述するパラメータ)、活動度の時間変化を調べ、本震発生に先行するゆっくり地震の検出とその現象理解を目指す。

3. 研究の方法

過去約 10 年間に日本列島内で発生した中～大規模の本震に対して、その地震の発生前後の連続波形記録を収集した。過去の記録が収録されたメディア (DAT あるいは HDD) を作業用 PC に取付け、外付け HDD 等のデータ収録先へ連続波形記録のデータ複写をおこなった。同時に、それぞれの複写対象ファイルに時間的に最も近接した観測点情報 (チャンネル表) の複写もおこなった。

また、波形相互相関処理の計算プログラムの改良・高速化も実施した。その結果、計算時間の短縮化が図られるとともに、多数のデータセットへの適用が容易となり、波形相互相関処理の計算プログラムの汎用性が大幅に高まった。さらに、エンベロープ相関法のコード開発にも着手し、気象庁一元化処理震源には含まれていない地震の震源決定も可能となった。

4. 研究成果

過去約 10 年間に日本列島で発生したマグニチュード約 6.5 以上の本震に対して、気象庁一元化震源情報を用いた波形相関処理によるパターン検索を適用することで、本震発生前の地震活動をより正確に捉えることに成功した。

2008 年 5 月 8 日に発生した茨城県沖のプレート境界型地震 M7.0 の発生前に、本震の近傍で顕著な群発的な地震活動が見られた。地震活動度は、本震発生前の約 3 日前から徐々に増え始めた (図 1)。約 1 日前になると、地震活動は更に活発化するとともに、本震の破壊開始点へ向かう地震発生域の拡大が見られた。本震発生直前の 1 時間においても、地震活動の増加が依然確認できた。この前震活動中に発生した中規模地震の発震機構解は、低角逆断層タイプのプレート境界型であり、プレート境界での滑りが起きていたことを意味する (図 1)。また、活発な前震活動中には小繰り返し地震の活動 (Igarashi, 2010) も含まれており、非地震性の滑りが進行していたことを意味する (図 1)。これらの観測結果から、本震発生前に破壊開始点の近傍でゆっくり地震 (滑り) が生じていたと解釈できる。さらに、前震活動域の b 値を計算してみ

ると、約 0.5 と通常よりも小さな値を示すことが分かった。一方で、余震活動の b 値は約 0.9 と通常の値へと回復しており、本震発生前後において b 値が時間変化を示しており興味深い。

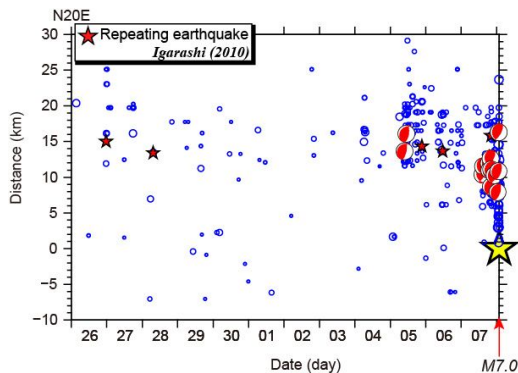


図1. 2008年5月8日に発生した茨城県沖のプレート境界型地震(M7.0)の前震活動の時空間発展図(青色の○印)。縦軸はN20E方向の距離、黄色の星印は本震の位置、赤色の星印は小繰り返し地震(Igarashi, 2010)の位置を示す。発震機構解は防災科学技術研究所により報告されたもの。

2013年2月25日に栃木県で発生したM6.3の内陸地震の前に、本震の破壊開始点から1 km以内の近傍で地震活動が起きた(図2)。この前震活動の震源を再決定したところ、東側に高角度に傾斜する幅約1 kmの面上に分布することが明らかとなった。この面上分布の深部延長部に本震の破壊開始点が位置する。また、この断層面の幾何形状は、本震の発震機構解の一つの節面と概ね一致する。前震活動は本震発生の約2日前から開始した。さらに、本震発生の約1時間前から前震活動の顕著な増加が見られ、震源の深さが本震の

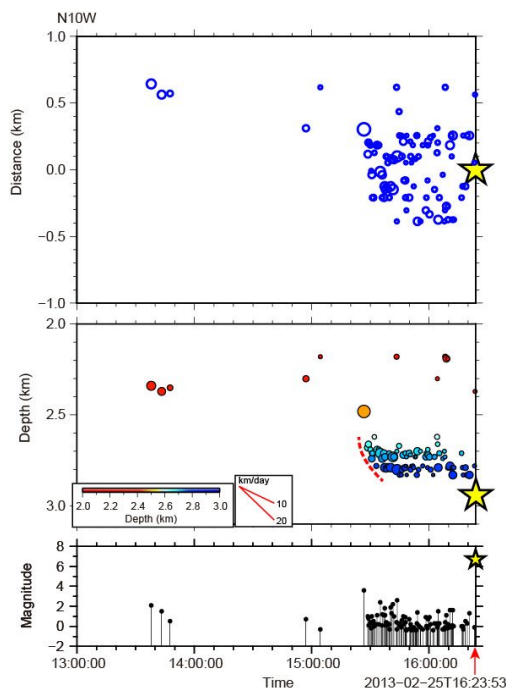


図2. 2013年2月25日に栃木県で発生した地震(M6.3)の前震活動の時空間発展図(青色の○印)。縦軸はN10W方向の距離を示す。(a)震央分布。黄色の星印は本震を表す。(b)地震の深さ断面図。赤色破線は地震活動の移動フロントを表す。(c)地震のマグニチュードの時間変化。

破壊開始点へ向かって移動する現象も確認された。移動速度は平均すると10~20 km/日である。前震活動の分布は本震の断層面と概ね一致しており、本震断層面の一部で前震活動が生じた可能性が高いと考えられる。震源移動の解釈として、断層面でのゆっくり滑りの伝播が挙げられる。この前震活動の b 値も0.5程度の小さな値を示した。

2008年6月14日に発生した岩手・宮城内陸地震M7.2の発生前にも規模の小さな前震活動が本震の破壊開始点近傍(震央距離約1 km以内)で発生した。この前震活動は本震発生の約1時間前に活発化した。前震の地震波形は相互に相似性が高く、S波とP波の時刻差に変動は見られず、ほぼ同じ場所でこれらの地震活動が繰り返し発生していたと考えられる。2007年3月25日に起きた能登半島地震M6.9の発生前の約10分間にも、同様に本震の破壊開始点近傍で、地震波形の相似性の高い前震活動が見られた(図3)。さらに、フィリピン海プレート内部で起きた2009年8月11日の駿河湾地震M6.5の発生前約2日間にわたっても、破壊開始点近傍で地震活動の増加が確認された。これらの前震活動の波形も相互に相似的であり、前震発生のサイズは小さいものと推定される。前震間の波形が相似であることから、同じ断層面上での滑りが発生していたと考えられ、駆動源として小規模なゆっくり滑りが生じていた可能性が挙げられる。これらの前震活動の b 値に関しては、地震の総数が少ないため安定して推定することは困難であった。

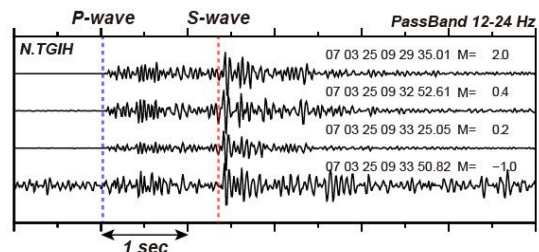


図3. 2007年3月25日能登半島沖地震(M6.9)の発生前に、観測点N.TGIHで観測された前震活動の波形。青色と赤色の破線は、P波とS波の到着を示す。

その他に、プレート境界型地震の2005年8月16日宮城県沖地震M7.2と2008年12月20日福島県沖地震M6.6の発生前の数日前くらいから、震源域近傍の地震活動の増加が若干ではあるが見られた。また、2010年3月14日福島県沖地震M6.7の発生前には、顕著な前震活動が本震の震源よりも南側約20 kmの領域で見られた。しかしながら、それらの震源の深度と発震機構解を参考にする限り、これらの活動はスラブ内地震に相当する。但し、スラブ内地震が解放する応力変化はプレート境界型地震の滑りを促進するため、本震発生前に影響を及ぼした可能性が考えられる。

また、2014年4月1日にチリ北部で発生した M8.1 のプレート境界型地震の発生前にも本震の破壊開始点近傍で顕著な前震活動が見られた。本震発生の約 15 日前に開始した複数の地震活動には、断層の走行方向に加えて、深さ方向にも震源の移動が確認された。この前震活動中に発生した中規模地震の発震機構解は、低角逆断層タイプのプレート境界型であり、プレート境界での滑りが起きていたことを意味する。また、前震活動は本震時に大きく滑った領域に対して浅部側で活発であった。これらのことから、本震の発生前に、ゆっくり地震が本震時の主破壊領域の浅い側で発生していたと解釈できる。

以上に述べたように、ゆっくり地震の発生を示唆する前震活動には、活発なものから極めて低調なものまで幅広い多様性が見られ、複雑な様相を呈する。

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2件)

Kato, Aitaro, and Kazushige, Obara, Step-like migration of early aftershocks following the 2007 Mw 6.7 Noto-Hanto earthquake, Japan, Geophys. Res. Lett., in press, 2014, 査読有.

Kato, Aitaro, Jun'ichi Fukuda, and Kazushige, Obara, Response of seismicity to static and dynamic stress changes induced by the 2011 M9.0 Tohoku-Oki earthquake, Geophys. Res. Lett., 40, doi:10.1002/grl.50699, 2013, 査読有.

[学会発表](計5件)

Kato Aitaro, and Kazushige Obara, A variety and interplay of slip behaviors along plate interface before and after the 2011 Mw9.0 Tohoku-Oki earthquake (Invited), American Geophysical Union, San Francisco, California, USA, Dec. 9-13, 2013.

Kato Aitaro, Jun'ichi Fukuda and Kazushige Obara, Response of seismicity to static and dynamic stress changes induced by the 2011 M9.0 Tohoku-Oki earthquake, American Geophysical Union, San Francisco, California, USA, Dec. 9-13, 2013.

加藤愛太郎, 小原一成, 2007年能登半島地震発生後の余震域の拡大, 日本地震学会 2013年秋季大会, 神奈川県横浜市, 10

月7日 - 9日, 2013.

Kato Aitaro, Toshihiro Igarashi and Jun'ichi Fukuda Regional extent of the large coseismic slip zone of the 2011 Mw 9.0 Tohoku-Oki Earthquake delineated by on-fault aftershocks, American Geophysical Union, San Francisco, California, USA, Dec. 3-7, 2012.

加藤愛太郎, 小原一成, 五十嵐俊博, 鶴岡弘, 中川茂樹, 平田直, 東北地方太平洋沖地震発生前に見られたゆっくりすべりの伝播, 日本地球惑星科学連合 2012年大会, 千葉県千葉市, 5月22日 - 25日, 2012.

[その他]

ホームページ等

<http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/akato/>

6. 研究組織

(1)研究代表者

加藤 愛太郎 (KATO, Aitaro)
東京大学・地震研究所・准教授
研究者番号: 20359201