

12-12 「前兆について」概要

Summary of intensive discussion subject “Precursors”

山岡 耕春（名古屋大学環境学研究科）

Koshun Yamaoka (Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University)

1. はじめに

第190回地震予知連絡会では、3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震に関して提出された資料を5つのトピックのうち、本稿では2つめのトピックである地震の前兆についてのレビューの概要を述べる。

2. 前震

2.1 前震の震源

本震の発生する2日前の3月9日11:45にM7.3の地震が本震のすぐそばで発生していた。場所は本震の北東約50kmの地点で、プレート境界で発生したことを示す低角逆断層の地震であった。翌3月10日6:23にもM6.8の地震が本震の北西すぐ近傍で発生していた。こちらも低角逆断層であり、プレート境界の地震であった（図1）。3月9日の地震は、気象庁による遠地実態波の解析によれば主なすべりは、破壊開始点の陸側に拡がっていることがわかった。

2.2 前震と本震間の地震の震源移動

気象庁が決定した一元化震源の特徴を産業技術研究所が詳細に調べた。その結果、3月9日に発生した地震のあとに、地震の活動域が本震の破壊開始点に近づいていったことが明らかになった。これは前震の余効すべりが拡大していき、本震をトリガーした可能性を示している。なお同様な検討は東北大学も行っている。

2.3 b値の変化

東京大学地震研究所は、気象庁一元化カタログを利用して、東北地方太平洋沖における前震が起きる前の地震活動、前震と本震との間の地震活動、および余震の地震活動のb値を計算した。その結果、前震前および本震後の余震のb値は0.6から0.7程度であることに比較して前震と本震との間の地震のb値が非常に小さく0.4程度であったことがわかった。つまり規模の小さな地震に比べて規模の大きな地震の割合が大きいことがわかった。これは震源の移動と同様、余効すべりの拡大していったことの反映である可能性がある。

3. 前兆すべり

地震の直前予知の観点からは、本震の発生前に前兆すべりが発生していたかどうかは非常に関心の高いところである。前述したように3月9日の地震の余効変動ではなく、本震の直前に加速するような地殻変動が検出されたかどうか「前兆すべり」検出の判断基準となる。本震直前の地殻変動として、国土地理院がGEONETのデータを用いて、防災科学技術研究所が傾斜計のデータを用いて、東北大学がひずみ計の記録を用いて精査したものの、前兆すべりは検出されなかった。

3.1 GPS

国土地理院が東北地方を横断する電子基準点の基線として、日本海側の飛鳥と宮城県及び福島県北部の太平洋岸における電子基準点間の基線長変化を調べたが、本震直前には顕著な変化が見られなかったことがわかった。さらに太平洋岸の電子基準点のデータを用いて精密単独測位法を用いたキネマティック解析を行った結果においても地震直前の変動は捉えられていない。GEONETを用いた震央付近のすべりの検出限界はせいぜいMw6.7とされるので、それ以上の規模の前兆すべりは発生しなかったと推定される。

3.2 傾斜計

防災科学技術研究所は、Hi-netに併設されている高感度加速度計による傾斜記録を精査したものの、本震の前兆とされるすべりは検出されなかった。Hi-net高感度加速度計によるプレート境界のすべりの検出限界は、本震の震央の深部延長ではMw6.2とされるので、それ以上の規模の前兆すべりは発生しなかったと推定される。

3.3 ひずみ

東北大学は太平洋岸の金華山に設置してあるひずみ計の記録を精査した。3月9日のMw7.2と3月10日のMw6.5の地震に伴うひずみ変化およびそれらの余効変動を記録しているものの、本震直前の加速度的なひずみ変化は記録されていない。検出限界はMw6.2程度と推定され、この規模以上の前兆すべりは発生しなかったと推定される。

4. 長期的な前兆

直前の前兆すべりは検出されなかったものの、長期的な変化は捉えられていた。特に福島県沖を中心とした固着の状態に年単位の変動が表れていたことが、電子基準点データの解析から指摘されていた。この変動は、宮城県沖の太平洋沖へのひずみエネルギーの蓄積を加速させる働きを持っている。

4.1 GPS

国土地理院は、東北地方の太平洋側に設置された電子基準点における1995年以降の変位を精査した。その結果を示したのが図4である。1995年4月から1999年3月までの動きを基準にしてそれ以降の動きを調べた。1999年3月以降のうごきに変化がなければ、変動は水平になっているはずであるが、東北地方全域において変化が見られる。三陸北部から青森県にかけての変化は、1994年の三陸はるか沖地震の余効変動が含まれた期間を基準としたための見かけの変動であるが、その影響が及ばない福島県沖や茨城県沖でも変動が見られる。福島・茨城県沖の変動は東向きの変位が増加する成分であり、福島・茨城県沖のプレート境界がゆっくりと滑り始めていたことを示している。

4.2 相似地震

東北大学は、東北地方の太平洋沖で発生する相似地震を解析して、プレート境界のすべりをモニタリングしていた。その結果を見ると、2008年以降に震源域の浅部ですべり速度が増加していることが推定された。

4.3 地震活動

統計数理研究所では、全国の地震活動を除群（デクラスタリング）処理した結果を用いて、地震活動の長期的変化を精査した。その結果、2000年ころ以降における地震活動の静音化が全国的に顕著であることが判明した。これは、東北地方太平洋沖におけるスロースリップによって地震活動の静穏化が進んでいたと解釈できる。また北海道大学はZ mapによる静穏化解析を行い、東北沖および房総沖で1988年頃より静音化が進んでいたことを示した。

5. まとめ

2011年東北地方太平洋沖の前兆現象として、以下のようにまとめられる。

- (1) 本震発生の2日前の3月9日に発生したM7.3の地震によりプレート境界において余効変動が発生したことが地震活動や地殻変動から推定され、本震の破壊開始点に向かって拡大していったことが地震活動から明らかになった。
- (2) 地震発生の直前に加速的にプレート境界が滑る「前兆すべり」は検出されず、Mw6.2以上の規模では発生しなかったことが明らかになった。
- (3) 長期的な地殻変動は観測されており、特に福島・茨城県沖ではゆっくりとしたプレート境界のすべりが2000年以降に起きていた可能性が明らかになった。

震央分布図 (1997年10月1日~2011年3月11日、
深さ0~100km、 $M \geq 4.0$)

2011年2月1日以降の地震を濃く表示

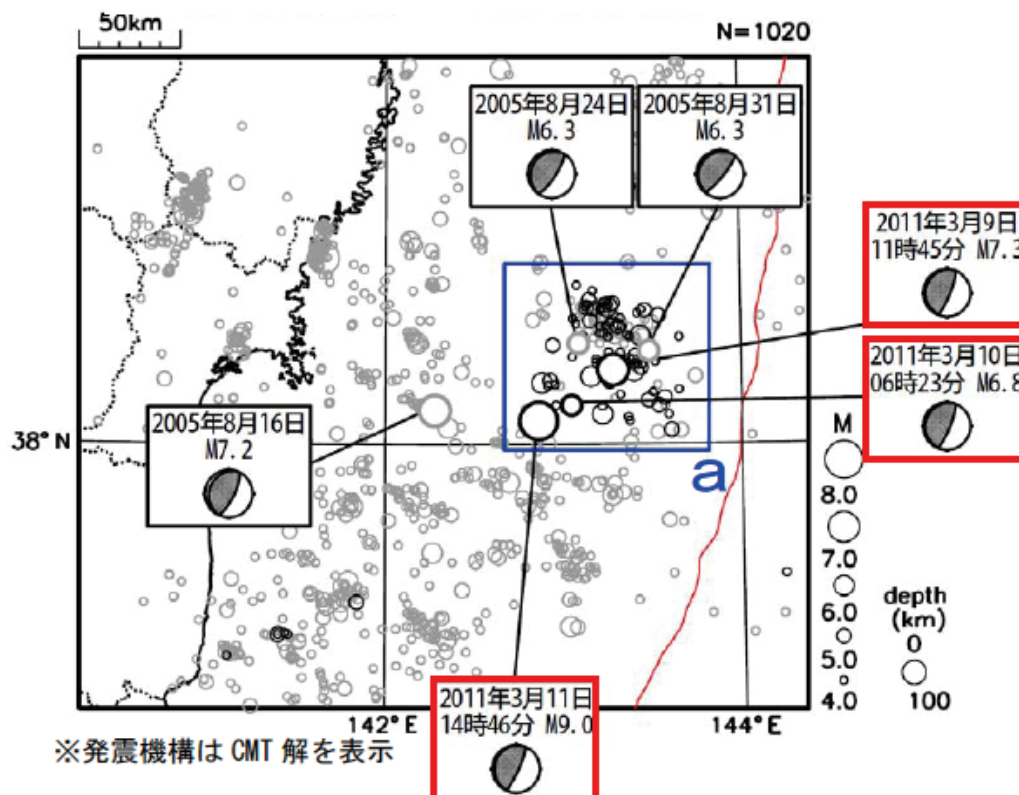
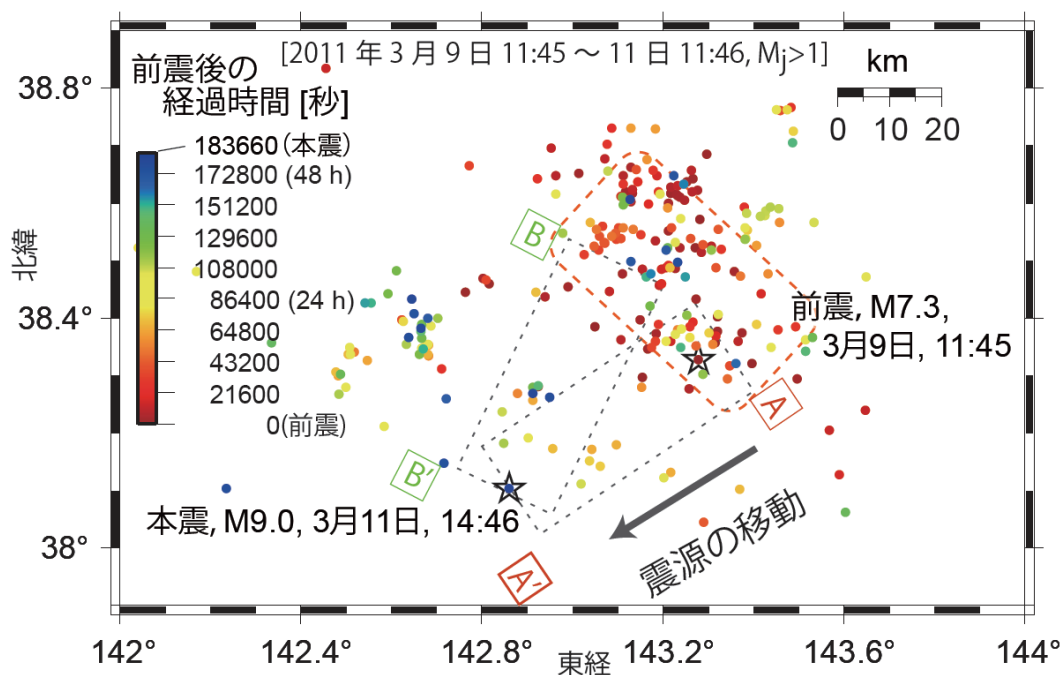


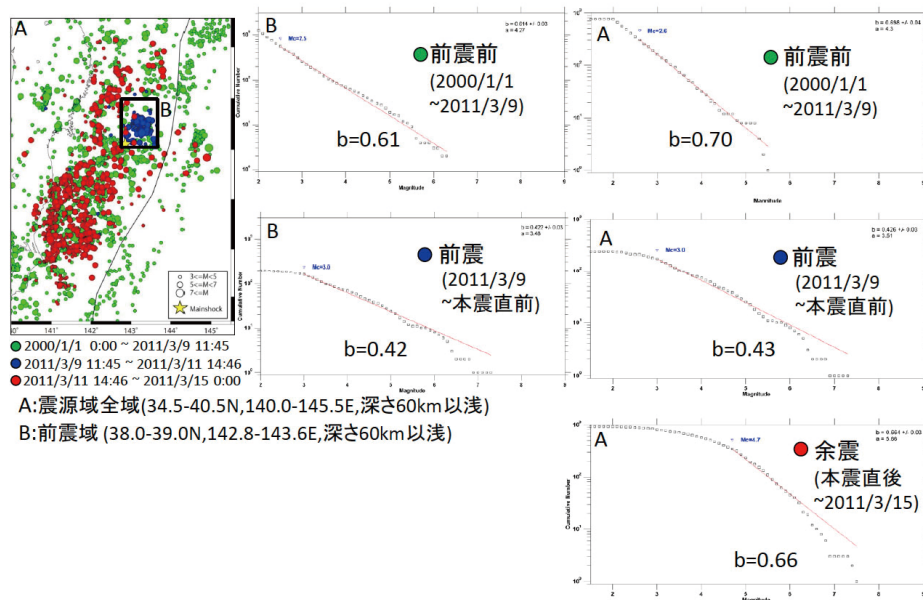
図1. 気象庁による1997年10月1日以降のM4.0以上の地震の震央分布。前震、本震および主要地震の震央とCMT解が表示されている。

Figure 1. Epicenter distribution between October 1, 1997 and March 11, 2011. Origin times, magnitudes and CMT solutions of the major earthquakes are shown in the figure. The foreshock of M7.3 occurred at the plate interface on March 9, 2011, two days before the mainshock. (JMA)



第2図. 3月9日11:45に発生したM7.3の地震と本震との間に発生した地震の震源の移動。震源が本震の震央に向けて拡大していったことがわかる。

Figure 2. Temporal distribution of epicenters between the foreshock of March 9 and the mainshock. The distribution of the epicenters gradually propagated toward the location of the mainshock (GSJ, AIST).



第3図. 気象庁一元化カタログから調べたマグニチュードの頻度分布。3月9日に発生した地震と本震との間の地震のb値が、それ以前の地震や本震の余震のb値と比べて小さい(東響大学地震研究所)。

Figure 3. Difference in the b-value in the Gutenberg-Richter relationship among the periods before the foreshock, between the fore- and mainshock and after the mainshock are shown. The b-value in the period between the fore- and mainshock is smaller than any other periods. (ERI, University of Tokyo)

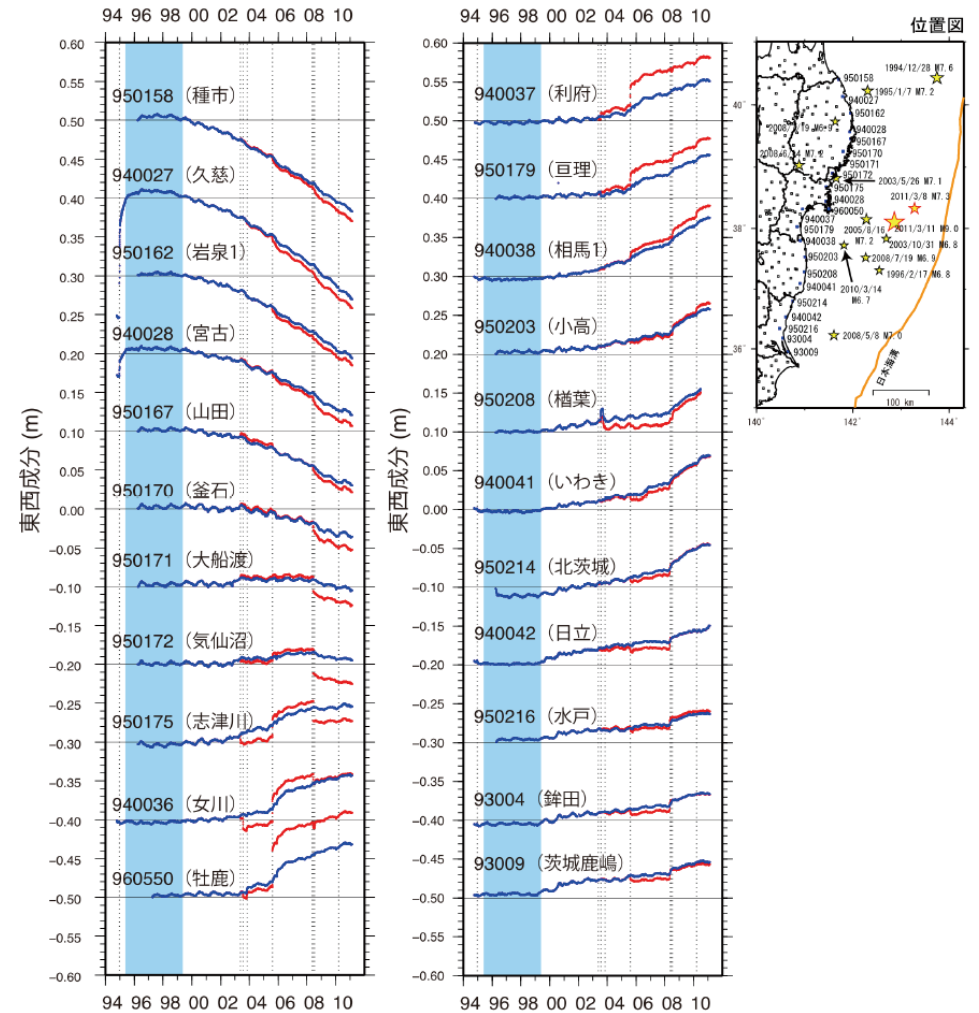


図4 東北地方太平洋岸に設置されている電子基準点の東西変位の時間変化。1995年4月から1999年3月までを動きを一次式で近似し、その式からの偏差を示してある。観測点は北から南に向けて並べてある。北部の地域は1994年の三陸はるか沖地震の余効変動の影響が現れた見かけの変動であるが、南部の福島・茨城県沖の変動は2000年以降に始まったものである。

Figure 4. Temporal variations of the EW component of GEONET station along the Pacific coast of East Japan are shown. Each variation is shown as a deviation from the linear trend that is approximated in the period between April 1995 to March 1999. The deviations in the northern stations are the artificial effect of the after slip of 1994 Off Sanriku earthquake. The deviations in the southern stations indicate the eastward acceleration, which shows the slow slip along the plate boundary off the Fukushima and Ibaraki prefecture after 2000.