

東北地方太平洋沖地震後の内陸地震活動の活発化

明田川 保*

Increase of crustal shallow seismicity in the Japanese islands after the Off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake

by

Tamotsu AKETAGAWA*

Abstract

By performing a statistical analysis, we investigated in what regions shallow intraplate seismicity increased or decreased after the Off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake. It was found that seismicity was activated in a wide region from Tohoku District to Kyushu Island. The increase of seismicity was notable along geological boundaries such as the Volcanic Front, the Itoigawa-Shizuoka Tectonic Line, and the Oga-Ojika Tectonic Line was notable, besides coastal regions of Fukushima and Ibaraki prefectures and volcanic areas. On the other hand, seismicity in aftershock areas where disastrous earthquakes occurred in recent years was seen to have decreased significantly. Overall, our results coincide with that reported by Toda et al. (2011a). We think that seismic activity in the above-noted tectonic zones should be watched carefully in the future.

1. はじめに

東北地方太平洋沖地震の後、日本列島の広い範囲で地震活動が活発化したことが指摘されている（石部, 2011; Toda et al., 2011a）。長野県北部や静岡県東部などでは、M 6 クラスの地震が発生し、箱根や乗鞍、伊豆半島東方沖、日光白根など、多くの火山地域で微小地震活動が観測された（原田ほか, 2011; 気象庁, 2011a）。また、いくつかの活断層では ΔCFF が 0.5Mpa を超えて有意に地震発生確率が高まったと評価されている（国土地理院, 2011）。本小論では、日本列島内陸の地殻内地震活動がどこで活発化し、あるいは静穏化したか、東北地方太平洋沖地震前後の地震発生率に関する統計的解析を行って、活発化域、静穏化域の分布と地質構造、テクトニクスとの関連について考察する。

2. データ及び解析手法

東北地方太平洋沖地震の直後は、空前の規模の余震活動の影響で、内陸部の地震活動に関しても各地域で検知能力が大きく低下した。気象庁（2011b）によると、気象庁の各地の震源決定状況は表 1 のとおりである。本論では東北地方太平洋沖地震前後の日本列島における地震活動の変化を調べるにあたって、解析に用いる地震の下限を M1.5 としたが、Table 1 に示したように東北地方太平洋沿岸域では、5 月末までは、ほぼもれなく検知

できている地震の下限は M3 程度であり、6 月以降でも M2 くらいまでしか捉えられていない。また、東北地方のその他の地域でも、5 月末までは M2 までしか捉えられていない。したがって、東北地方に関しては、活発化に対して条件が厳しくなっていることに注意する必要がある。しかし、東北地方太平洋沿岸域は 3 月 11 日以前にはほとんど地震が起きていなかったところであり、気象庁の地震カタログではむしろ顕著な活発化が認められる。

本論で定義した内陸部は、地震調査委員会（1998）における内陸の定義領域に、2007 年能登半島地震の余震域を含むように修正を加えたものである。範囲を Fig. 1 に示す。北海道から九州までで南西諸島は含まれない。一方、伊豆諸島は八丈島付近まで入る。また、日本海の沿岸域も内陸部として含まれる。用いたデータは気象庁一元化震源で、本論では内陸の地殻内地震活動を調査対象とするので、深さを 30km 以浅とした。

地震活動を定常ポアソン過程と見なせる一次事象と、それらに付随する二次事象（余震など）の集合と解釈し、本論では、一次事象の活動変化としての活発化、静穏化をとらえることを目的とする。そこで、解析に先立って、改良リンク法（明田川, 2010）に拠るデクラスター処理を行った。この方法は、パラメータとしてあらかじめ設定した、一定の時間内、一定の震央距離内で発生した地

* 神奈川県温泉地学研究所 〒 250-0031 神奈川県小田原市入生田 586

論文, 神奈川県温泉地学研究所報告, 第 43 巻, 13-21, 2011

表1 東北地方太平洋沖地震発生後の気象庁の震源決定処理状況 (2011年11月現在)。4つの地域別に3つの期間に分けて示す (気象庁, 2011b)。

Table 1. Lower limit of earthquake magnitude in the JMA Catalogue for three periods after the Off the Pacific coast of Tohoku earthquake in the coast area of Tohoku district, inner Tohoku district, Kanto and Chubu districts, and other region, respectively.

領域		3/11~5/30	5/31~8/9	8/10~
東北地方太平洋沖地震の余震域	陸域(東北太平洋沿岸)	M3.0以上	M2.0以上	
	東北地方	M2.0以上	M1.5以上	M1.0以上
その他の地域	関東、中部地方	M1.0以上		
	その他	M1.0以上		

震を一つの群れとしてまとめていく、いわゆるリンク法と同じものであるが、従来のリンク法よりもマグニチュードの大きな地震の余震活動をより効率よく除群できるという特長をもつ。デクラスター処理の際のパラメータは震央距離5km、期間3日で、それによってクラスターを形成するとみなされた地震群については、その中で最大の地震のみを残して他を除いた。

活発化、静穏化領域の検出方法は、明田川・伊藤 (2008) に拠り、活発化・静穏化の判定は、すべての地震の震央位置を中心とする半径10kmの円内の領域に対して行った。すべての地震の震央位置を中心とする領域に対する解析は、メッシュ毎の解析では見つけにくい活発化・静穏化領域を検出することを目的としたもので、以下に、明田川・伊藤 (2008) の方法を簡単に述べておく。いま、ある時点を境に地震活動の変化があったかどうかを調べたいとする。このとき、解析対象とする領域内の、その時点より前の期間Tの地震発生がポアソン過程と見なせるかどうかを、まず、検証する。そして平均発生率が λ のポアソン過程であることが認められた場合、後の期間tにおける地震発生もポアソン過程と仮定して、その地震発生率が、前の期間の活動から求めた平均発生率 λ のポアソン分布において、上及び下からある一定の閾値以内のまれな事象に相当したとき、活発化もしくは静穏化が生じたと判定する。閾値には、活発化、静穏化を定義する特に決まった値はないが、ここでは、後の期間の地震発生率が、前の期間から求めた平均地震発生率に関するポアソン分布の上から1%以内に入る場合を活発化、下から5%以内に入る場合を静穏化とした (Fig.2)。活発化、静穏化をみる前後の期間の取り方であるが、本論では前の期間を2008年3月11日から2011年3月10

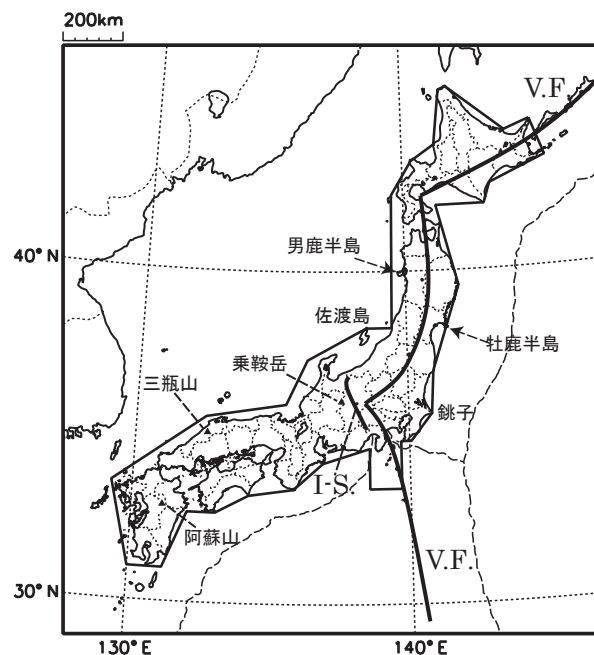


図1 内陸とした範囲。V.F. は火山フロント、I-S. は糸魚川-静岡構造線の位置を表す。

Fig. 1. Intra-plate area where is investigated whether crustal seismicity was increased or decreased after the Off the Pacific coast of Tohoku earthquake. The thick lines show the Volcanic Front (V.F.) and the Itoigawa-Shizuoka Tectonic Line (I-S.).

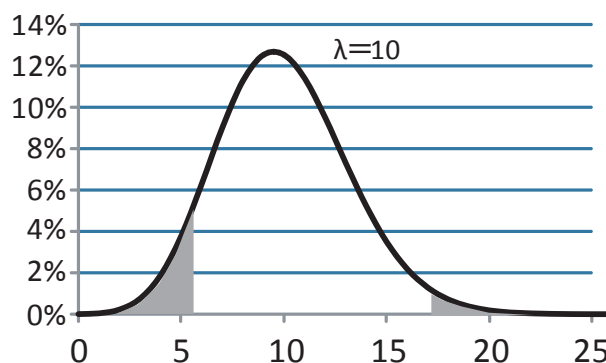


図2 平均値10の場合のポアソン分布。影をつけた部分は上から1%の活発化の範囲、および下から5%の静穏化の範囲を示す。

Fig. 2. Poisson distribution when the mean value is 10. Shaded areas show the ranges of top 1% and bottom 5%.

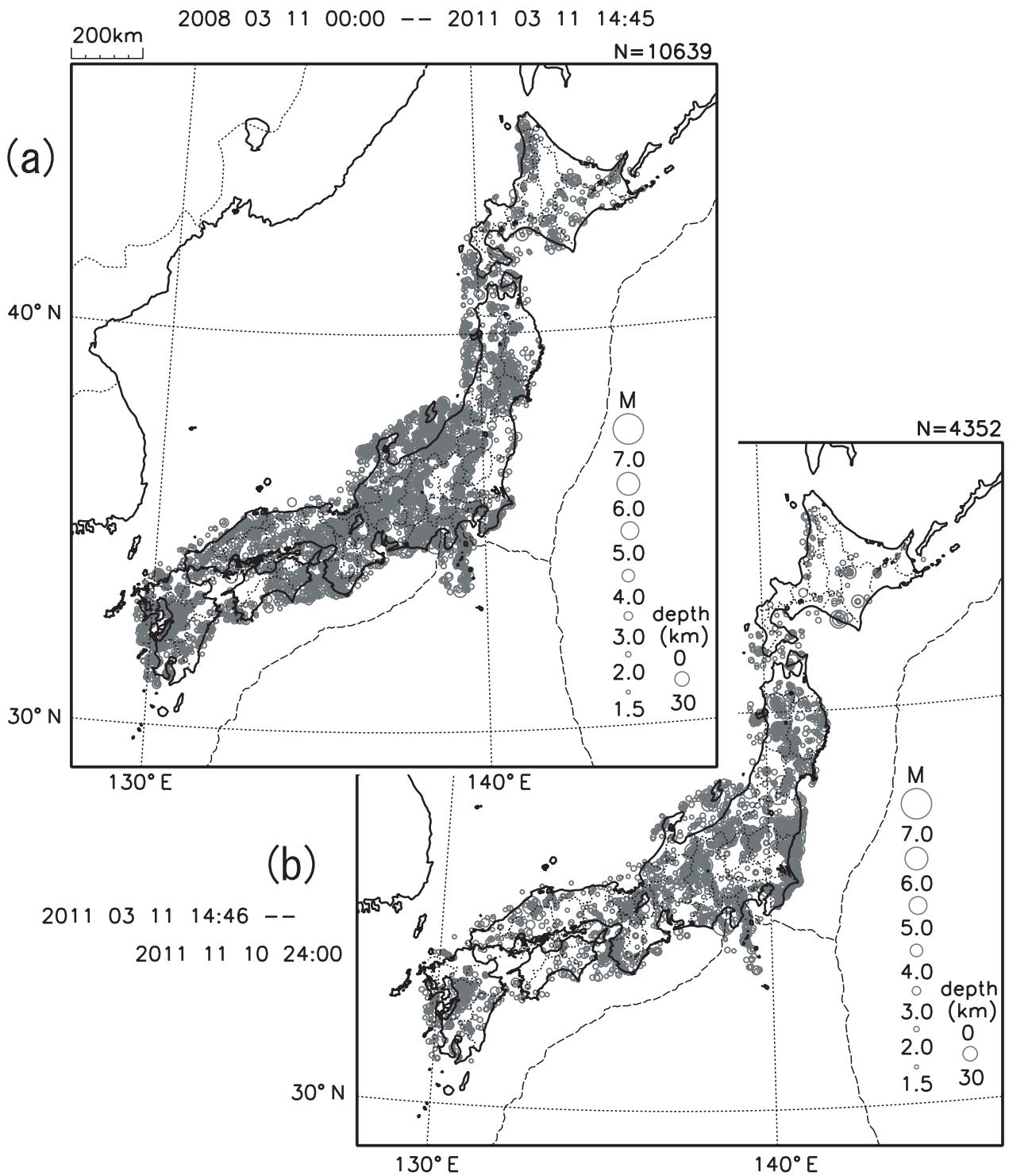


図3 東北地方太平洋沖地震発生前3年間の内陸地震の震央分布 (a) と、発生後8か月間の震央分布 (b)。表示した震源データは、震央距離5km、期間3日で除群し、各クラスターは最大の地震で代表させた。

Fig. 3. Epicenter distributions of earthquakes whose depths are shallower than 30km and magnitudes are 1.5 or larger, before (top) and after (bottom) the Off the Pacific coast of Tohoku earthquake. The periods before and after the earthquake are chosen as 3 years and 8 months, respectively. Clustered earthquakes that occurred within 5 km and 3 days after each preceding earthquake are removed leaving the largest one among them.

日までの3年間、後の期間を2011年3月11日から11月10日までの8ヶ月間としている。前の期間を3年にとったのは、地震発生の統計分布を調べるためにはある程度長くとも必要がある一方で、あまり長い期間をとると、その間に規模の大きな地震が発生していて定常時の活動と見なせなくなる恐れがあることによる。なお、ポアソン過程とみなせるかどうかの検証はコルモゴロフ・スミルノフ検定に従った。そして、ポアソン過程とみなせない領域については活発化・静穏化の判定をしなかった。

Fig.3に前後の期間のデクラスター後の地震の震央分布を示す。デクラスター後の地震数は前後の期間を合わせて14991個あり、それらの地震から半径10kmのすべての円内領域について解析したことになる。このうち、ポアソン過程と検証されたのは13790領域であった。

本解析では、静穏化に関して若干の注意が必要である。例えば、後の期間に地震が一つも発生していなくても、それが出現確率5%以下の静穏化とみなされるためには、前の期間の活動の解析から求めた後の期間における地震の期待値(地震発生率×8か月)が3.0個以上となっている必要がある。地震発生の期待値についてのこの条件を満たすには、前の期間に14個(3.0個×36か月/8か月=13.5個)以上発生している必要がある。つまり、前の期間に13個以下の領域では、後の期間に地震が発生しなくても静穏化とは見なされないことになる。一方、活発化については、前の期間に1個地震があった場合、後の期間の期待値は約0.2個となり、このとき後の期間に2個地震が起きていれば出現確率1%以下の活発化になる。静穏化の閾値を、活発化のそれに比べて緩くしたのは、上記の理由(活発化に比べて現象が現れにくいこと)による。

3. 結果

Fig.4は、前節に記述した判定基準で、東北地方太平洋沖地震後に地震活動がそれぞれ活発化(a)、静穏化(b)したとみなされる地点を示したものである。プロット個々の大きさは、領域の大きさを表わしている。前節で述べたように、明田川・伊藤(2008)の手法は、メッシュ毎の解析では見つけにくい活発化・静穏化領域を検出することを目的に、前後を問わず地震が発生しているところを中心として、それぞれの地震の震央から半径10km以内について行っているが、以下では個別のそうした領域より、むしろ活発化・静穏化と判定された領域が面的な広がりを持って分布しているところに注目して、その特徴を述べる。なお、Fig.4(a)において、後の

期間の期待値が1個に満たない領域(もともと地震活動が低かった領域)は薄いグレーで示し、期待値1個以上の領域と区別した。また、後の期間に地震が発生していて、そこから半径10km以内に前の期間に一つも地震が発生していないときは、前述のようにポアソン分布解析による評価はできないが、そこは活発化したとみなすのが適当と考えられるので、そういうところだけ別に取り出してFig.5に示した。Fig.5はFig.4(a)を補完するものであり、一致する領域はない。

東北から中部地方にかけての活発化地域は、主にFig.1に示した太平洋プレート沈み込みに伴う火山フロント沿いと糸魚川—静岡構造線沿いに分布している様子が見える。これより西側では、糸魚川—静岡構造線に並行する乗鞍火山帯沿い以外に、帯状に連なる活発領域はほとんどなくなる。地質学的に見たときの東日本と西南日本を分ける糸魚川—静岡構造線が、全般的な分布の特徴を分ける境界をなしているのは注目される。その他の個別の活発化地域としては、男鹿半島と牡鹿半島を結ぶ男鹿—牡鹿構造線(茂木, 1985; 吉田ほか, 1988)や長野—新潟県境、佐渡島付近が目につくが、とりわけ福島県いわき市から千葉県銚子、勝浦にかけての太平洋岸が顕著である。福島県南部及び茨城県の沿岸部は、前の期間に地震がなかったところに新しく活動が生じたことがFig.5から明らかである。岩手県沿岸から秋田県にかけても新規に活発化した領域が多数分布している様子が見てとれる。東北地方太平洋沿岸域は3月11日の地震によって圧縮場から引張場が変わったことが地震メカニズムから示されており、稠密な地震観測や地殻変動観測が始まって以来、初めての、極めて特異な活動が生じていると言える。

近畿から中国地方、九州にかけての西日本では、東日本のように面的に広がって活発化した地域はなく、活発化地点は散在している。この中で、京都府南部や島根県と広島県の県境(三瓶山付近)、九州の熊本県北部の阿蘇山付近に比較的広がりをもつ活発化域が見られる。

活動が静穏化した領域は、活発化域に比べると少ないが、岩手・宮城県境付近、新潟県中部、能登半島西部などにやや面的な広がりをもって分布しているところがある。これらの地域では、2008年岩手・宮城内陸地震、2004年新潟県中越地震、2007年新潟県中越沖地震、2007年能登半島地震がそれぞれ発生しており、いずれも余震域に相当するところである。余震活動の通常の減衰が静穏化とされている可能性もあるが、恐らく、それだけではなく、東北地方太平洋沖地震に伴って余震活動が異常に低下したことを表していると考えられる(Toda

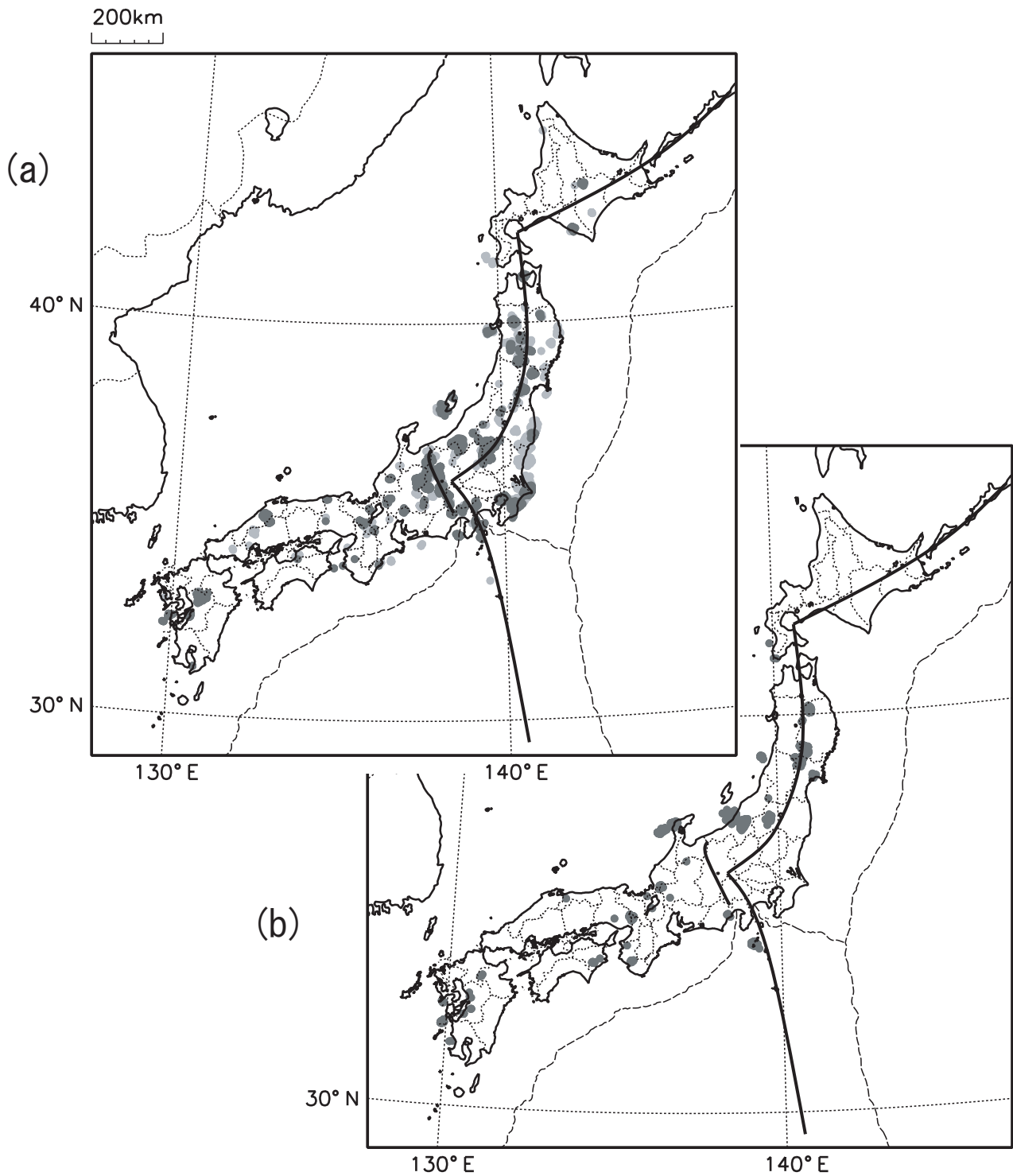


図4 東北地方太平洋沖地震発生後における活発化領域 (a) と静穏化領域 (b)。活発化、静穏化の定義は、図2に示した閾値による。判定領域は、半径10kmの円で、図中のプロットはその大きさに合わせた。(a)の活発化領域については、東北地方太平洋沖地震発生後8か月間における地震発生数の期待値が1個未満の領域を薄いグレー、1個以上の領域を濃いグレーで区別した。

Fig. 4. The area where the seismicity became active (a) or quiescent (b) after the Off the Pacific coast of Tohoku earthquake according to the criteria indicated in Fig. 2. Magnitude of a circle almost corresponds to the individual area where the seismicity change was investigated, i.e., the area within a radius of 10km centered at each earthquake epicenter. In Fig. 4(a), those areas where the expected number of earthquake in the later period is less than 1, that is, where seismicity was originally low, are represented by grey circles.

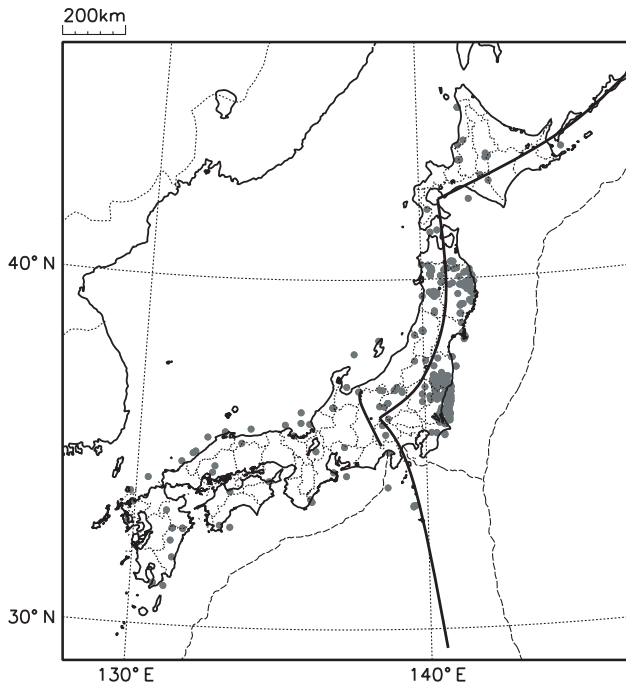


図5 東北地方太平洋沖地震発生前3年間にひとつも地震が発生しておらず、発生後8か月間に新たに活動が始まった領域。領域の大きさは半径10kmの円。

Fig. 5. Areas within a circle of 10km radius around earthquakes in the latter period where no earthquake was observed there in the former period.

et al., 2011a)。上記の領域以外では、岩手県二戸市付近、仙台湾付近、福島県会津付近に活動の静穏化域が見られる。なお、前述のように、本解析では、前の期間に発生した地震が14個未満の領域では、後の期間に地震がひとつも発生していなくても、それだけで活動が静穏化したと判断されないことに注意したい。

活発化については、東北地方太平洋沖地震発生直後の一時的な活動で終わったのか、それとも長期にわたって継続しているのかも重要である。例えば、箱根火山は3月11日の直後に活発化したが、4月末には通常に近いレベルまで低下した(原田ほか, 2012)。そこで、東北地方太平洋沖地震発生後3か月を経過した、6月11日からの最近5ヶ月間の活動について、Fig.4(a)と同様に、出現確率1%以下で活発化しているところを調べた結果をFig.6に示す。Fig.4(a)と比べると、近畿地方や佐渡島、伊豆半島などの活発化領域では、箱根火山と同じように、活動が短期間で収束していったことがわかる。一方、福島県から千葉県にかけての海岸域、糸魚川-静岡構造線沿い、男鹿-牡鹿構造線沿い等では、なお、活動が継続している様子が見てとれる。また、日光白根山や中国地方の三瓶山付近、九州の阿蘇山付近でも依然として活発

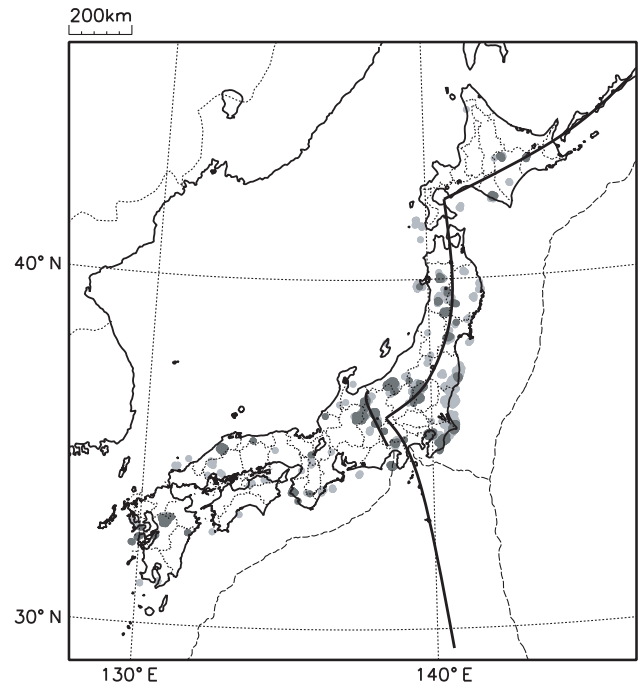


図6 東北地方太平洋沖地震発生直後の3か月を除いた、6月11日から11月10日の5か月間における活発化領域。図の見かたは図4(a)に同じ。

Fig. 6. Same as Fig.4(a) except that the later period is from 11 May through 10 November.

である。

4. 議論

前節において、東北日本から中部日本にかけての火山フロント沿いでの活発化だけでなく、西日本におけるいくつかの火山付近でも活発化していることを示した。気象庁(2011a)においても中国地方の三瓶山付近、九州の鶴見岳や九重山近辺などでの活発化が報告されている。今回用いたM1.5以上の気象庁のデータでは箱根付近の活発化は検出されていないが、M1.5に満たないような微小な地震も含めると、箱根火山においても3月11日以降に顕著な群発活動が観測されている(Yukutake et al., 2011; 原田ほか, 2012)。火山フロントに沿う領域や、火山付近が活発化した理由としては、火山近傍の微小地震活動が応力のわずかな変化にも応答しやすいということが考えられる。火山フロント沿いやフォッサ・マグナでは前震活動が多く見られ(茂木, 1967)、火山周辺では後続して規模の大きな地震が発生する割合が他地域に比べて大きいことが知られている(伊藤・細野, 1997)。また、これまでにも、日本海溝沿いのプレート境界地震の発生に伴って火山活動が活発化、あるいは火山の近傍で微小地震活動が観測されたという報告事例は少なくな

1998 01 01 00:00 -- 2011 11 10 24:00

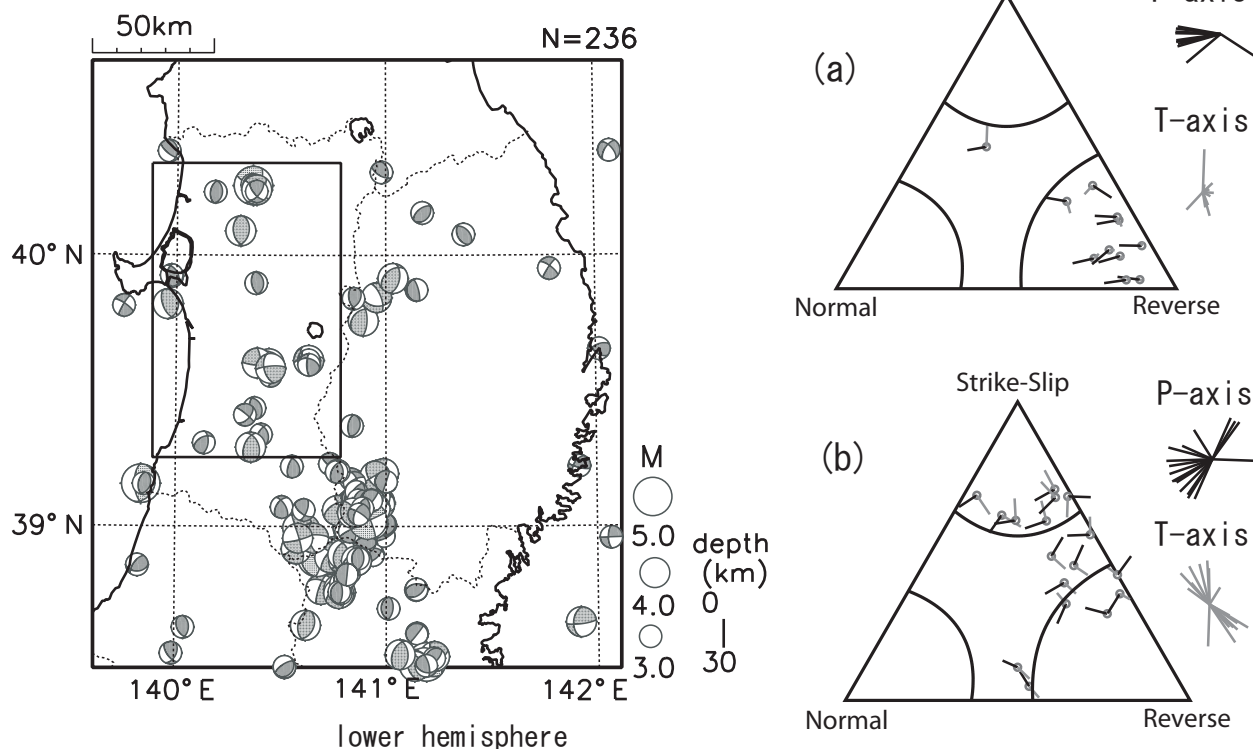


図7 秋田、岩手県付近における1998年以降の発震機構解分布(左)と、秋田県内(矩形内)の発震機構の東北地方太平洋沖地震発生前後での違い(三角ダイアグラムによる)(a:発生前、b:発生後)。

Fig. 7. Left: Mechanism solutions of earthquakes that occurred during the period from January 1, 1998 through November 10, 2011. Right: Triangle diagram showing distribution of types of earthquake focal mechanisms before (a) and after (b) the Off the Pacific coast of Tohoku earthquake.

い(例えば、中禮, 2002; 前田, 2005; 2007)。

活断層付近の地震活動に関しては、いくつかの研究がなされていて、東京大学地震研究所(2011)は、東北から中部、近畿地方に分布する多くの活断層周辺で地震活動が活発化したと報告している。一方、Toda et al. (2011b)は、東北地方に存在する活断層に対するクーロン応力変化(Δ CFF)による解析を行った。それによると、東北地方太平洋沖地震の発生は、ほとんどすべての活断層(東北地方には太平洋プレートの沈み込みに伴う東西圧縮応力場に起因する逆断層が多く分布する)にかかる有効せん断応力を減じる方向に作用したため、 Δ CFFは負となる。これは、地震活動の活発化という事実と合わない。そこで、Toda et al. (2011a)は、それぞれの地域に近年発生した小地震のメカニズム解を使って、それらの節面に加わったと推定される応力変化と活動度の変化を比較した。その結果、調査した15の領域中11の領域で、 Δ CFFと活発化・静穏化との間に正の相関が見られたことを報告している。

本論の統計的な解析によって明らかにされた、活発化した地域、静穏化した地域の多くは、Toda et al. (2011a)

の解析結果とよく一致している(Toda et al. (2011a)は西南日本については解析していない)。ただし、ここで、東北地方太平洋沖地震のような巨大地震の影響に関する Δ CFF解析の問題点について触れておきたい。それは、既存の活断層の走向や傾斜等を基にした Δ CFF解析が実際の観測事実と合致しなかったことに示されているように(Toda et al., 2011b)、内陸部に作用している応力場そのものが3月11日前後で変わってしまったと見られることである。その一つの例として、3月11日前後の、秋田県地域に発生した小地震のメカニズム解の変化をFig.7に示す。これらの地震を引き起こした応力場が異なっていることは、3月11日前後のP軸及びT軸分布を比べて見れば明らかである。また、福島県から茨城県の沿岸部では、近年の地震観測では検出されなかった、東西引張場による地震活動が非常に活発化したという事実もある。

われわれは、近年の被害地震の多くが、地表で断層が観察されない場所で発生しているという事実も踏まえて糸魚川—静岡構造線や男鹿—牡鹿構造線など、テクトニックな地質構造境界で顕著な活発化が生じていること

に注目すべきと考えている。前述したように、これらの領域では、直後に活発化しただけでなく、数ヶ月経過した後も、地震活動が継続している様子が見える。火山周辺でも活動が長引いているところがあるが、そうした領域の中の一つ、三瓶山から南に延びる活動帯 (Yoshida, 1987) では、南部の広島・島根県境付近で 2011 年 11 月 21 日に M5.4 の地震が発生している。

一方、東北地方および中部地方において静穏化したと判定された地域の多くは、近年、M 7 クラスの地震が発生し、余震活動が続いていたところに相当する。東北地方から中部地方にかけての内陸の活断層を生成させている応力場の主要な起源が太平洋プレートの沈み込みにあることを考えれば、余震活動域で静穏化したのは、東北地方太平洋沖地震の発生によって日本列島にかかっていた圧縮応力場が広域で減少したことを反映しているともみることができるだろう。

4. まとめ

3 月 11 日の東北地方太平洋沖地震の後、日本列島の広い範囲で地震活動が活発化した。本論での統計的な解析によって明らかになった顕著な活発化がみられたところをまとめると、

1. 東北日本から中部日本にかけての火山フロントに沿う領域
 2. 糸魚川－静岡構造線に沿う領域
 3. 男鹿－牡鹿構造線に沿う領域
 4. 岩手県の沿岸部
 5. 福島県から千葉県にかけての沿岸部
- が挙げられる。

一方、静穏化したと判定された地域の多くは、東北地方および中部地方において、近年、M 7 クラスの地震が発生し、余震活動が続いていたところに相当し、東北地方太平洋沖地震の発生によって日本列島にかかっていた圧縮応力場が広域で減少したことを反映していると考えられる。

われわれは、今後の地震活動の推移を監視していく上で、糸魚川－静岡構造線沿いや男鹿－牡鹿構造線沿い、新潟から大阪に到る歪集中帯、それに、東北地方太平洋沖地震後、数ヶ月を経てなお活発な活動が続いているいくつかの活動帯に注意すべきと考えている。これらの地質構造境界や地震活動帯では、東北地方太平洋沖地震の断層運動に伴う弾性的な応力変化だけでなく、内陸部における粘弾性的な応力の再編が今後も続くことと予想されるからである。

なお、関東下の太平洋プレート上面付近やフィリピン

海プレート上面付近の活動に対しても、東北地方太平洋沖地震の発生は大きな影響を及ぼしたと見られるが、本論では、深さ 30km 以浅の地殻内の地震活動について解析を行った。関東地方のスラブ境界及びスラブ内の地震活動の活発化については別途、調査結果をまとめて報告する予定である。

謝辞

本論をまとめるにあたり、多大なご指導を賜った温泉地学研究所長 吉田明夫博士に深く感謝します。本論で用いた気象庁一元化震源は、気象庁・文部科学省が協力してデータを処理した結果であり、処理に用いられる地震波形は、北海道大学、弘前大学、東北大学、東京大学、名古屋大学、京都大学、高知大学、九州大学、鹿児島大学、独立行政法人防災科学技術研究所、独立行政法人産業技術総合研究所、東京都、静岡県、神奈川県温泉地学研究所、横浜市、独立行政法人海洋研究開発機構及び気象庁から提供されたものです。記して関係機関に感謝します。また、気象庁のメカニズム解のデータは、気象庁地震予知情報課 武藤大介氏に便宜を図っていただきました。記して感謝します。

参考文献

- 明田川 保 (2010) 地震クラスター抽出手法の改良、神奈川県温泉地学研究所報告、42, 33-47.
- 明田川 保・伊藤秀美 (2008) 静穏化・活発化の定量的評価への取り組み－地震活動評価のための静穏化・活発化検出プログラムの開発－、験震時報、71, 93-102.
- 中禮正明 (2002) 東北日本における火山噴火および内陸地震と三陸沖の巨大地震との時間的相関性について、学雑誌、111, 175-184.
- 原田昌武・明田川 保・伊東 博・本多 亮・行竹洋平・板寺一洋・吉田明夫 (2012) 東北地方太平洋沖地震によって誘発された 2011 年箱根群発地震活動、地震 2、投稿中.
- 伊藤秀美・細野耕司 (1997) 地震活動統計ハンドブック I～III、気象庁地震火山部地震予知情報課編.
- 気象庁 (2011a) 平成 23 年東北地方太平洋沖地震に伴う火山周辺の地震活動、第 119 回火山噴火予知連絡会資料.
- 気象庁 (2011b) 東北地方太平洋沖地震発生後の震源決定作業の検測基準及び検知能力について、第 193 回地震予知連絡会資料.
- 国土地理院 (2011) 東北地方太平洋沖地震による主要活

- 断層帯での静的クーロン応力変化、第 192 回地震予知連絡会資料.
- 前田憲二 (2005) 応カステップと地震活動度変化に基づく摩擦構成則パラメータ $A\sigma$ の推定 - 2003 年十勝沖地震により誘発された内陸地震の例 -、地球惑星科学関連学会講演予稿集、S044-005.
- 前田憲二 (2007) 静的および動的応力変化による地震活動度変化の評価、日本地震学会 2007 年度講演予稿集、D32-08.
- 茂木清夫 (1967) 余震活動の地域性、地震研究所彙報、45,711-726.
- 茂木清夫 (1985) 1983 年日本海中部地震の震央域の構造的特異性、地震 2、38, 262-265.
- Toda, S., R. S. Stein, and J. Lin (2011a) Widespread seismicity excitation throughout central Japan following the 2011 M=9.0 Tohoku earthquake and its interpretation by Coulomb stress transfer, *Geophys. Res. Lett.*, 38, L00G03, doi:10.1029/2011GL047834.
- Toda, S., J. Lin, and R. S. Stein (2011b) Using the 2011 Mw 9.0 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake to test the Coulomb stress triggering hypothesis and to calculate faults brought closer to failure, *Earth Planets Space*, 63, 725-730.
- 東京大学地震研究所 (2011) 2011 年東北地方太平洋沖地震前後の活断層周辺における地震活動変化、第 193 回地震予知連絡会資料.
- Yoshida, A., (1987) Precursory activity in seismic belts containing the focal region of forthcoming large intraplate earthquakes, *Tectonophysics*, 140, 131-143.
- 吉田明夫・石川有三・岸尾政弘 (1988) 東北日本のサイスモテクトニクスと男鹿 - 牡鹿構造帯、地震 2、41, 563-571.
- Yukutake, Y., Honda, R., Harada, M., Aketagawa, T., Ito, H., and Yoshida, A. (2011) *Earth Planets Space*, Remotely-triggered seismicity in the Hakone volcano following the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, 63 (No. 7), 737-740.