

震度 5 弱を観測するなどの顕著な地震が前震であった事例について

Examples of Prominent Foreshocks Including Cases that Registered '5-lower'
or Over on the JMA Seismic Intensity Scale

明田川 保¹・福満 修一郎²

Tamotsu AKETAGAWA¹ and Shuichiro FUKUMITSU²

(Received April 26, 2010 : Accepted July 27, 2010)

1 はじめに

気象庁では、地震の発生に伴い震度 5 弱を観測した場合や、震度 5 弱に満たなくても、群発地震、津波注意報・警報を発表した地震など社会的に注目される地震活動があった場合に報道発表を行ない、発生した地震の詳細、当該地域における過去の地震活動の状況などを主に解説している。

報道発表を行う際、ほぼ必ず聞かれるのは「今後の見通し」である。地震活動が、本震－余震型で推移すると判断できる場合については、政府の地震調査研究推進本部地震調査委員会によってとりまとめられた報告書「余震の確率評価手法について」(地震調査委員会, 1998)に基づき、気象庁は平成 10 年度から「余震に関する情報」の発表を行っている。これによって、これまで解説に終始していた内容に、予測情報が組み込まれるようになった。

「余震に関する情報」は本震－余震型の活動に適用し、余震は本震よりも規模が小さく、その時空間分布に規則性があることを前提としている。ところが、「今後の見通し」には、往々にして「この後、もっと大きな地震が発生しないか」、つまり、発生した地震がより大きな本震に対する前震ではないかという問いかけが含まれている。ある地震が発生した時、それが前震であることを見分ける手段は現状ではないに等しい。そこで、気象庁では、このような問いに対して、「一般に前震の可能性は低い、数日程度は念のため注意」するよう呼びかけるなど、経験的知識に基づいた注意喚起を適宜行ってきた。しかし、必ずしも定量的根拠が示されてきたわけではない。

前震については、その規模についての明確な定義はなく、人が揺れを感じない程度の小規模な活動を指す場合もあるが、ここではそのような小さな規模の活動を調査対象としない。本稿は、震度 5 弱を観測するなど報道対応を必要とする程度の顕著な地震がより大きな地震の前震であった事例が過去にどの程度あったかを調査し、上記の呼びかけに対するひとつの根拠を示すものである。

2 経緯

地震調査委員会(1998)は、本震－余震型で地震活動が推移する可能性の高いことを判定するための根拠として伊藤・細野(1997)の結果を採用している。伊藤らは、1926 年から 1995 年のマグニチュード(以下、M と表記する)4.0 以上の地震を用いて、ファジィ理論を適用した地震同士の相互関連度(干場他, 1993)を計算し、それに基づいて内陸と海域に分けて前震活動、本震、余震活動を調査しており、その結果は 3 冊のハンドブックにまとめられている。伊藤らの方法は、地震活動を関連度という客観的指標を用いて計算機処理により分析できる利点があるが、一方で、その概念を一般向けに説明しにくい。また、伊藤らの調査以降、気象庁 M の改訂(勝間田, 2004, 舟崎他, 2004)や震源カタログの改善(浜田他, 2004)が行われており改めて調査する必要も生じている。

我々の調査の主目的は、はじめに述べたように、報道発表において報道関係者、つまり一般に向けて事実関係を簡潔に示すことにある。このため、本調査では、伊藤らの方法を用いず、一般が直感的に理

¹ 神奈川県温泉地学研究所, Hot Springs Research Institute of Kanagawa Prefecture

² 地震火山部地震予知情報課, Earthquake Prediction Information Division, Seismological and Volcanological Department

解できる，より簡便な時空間的抽出条件を，前震，本震，余震について設定した．

なお，調査にあたっては，伊藤らの調査と期間が重なる部分の結果を比較・点検しながら作業した．

3 調査対象とする地震

調査を行うにあたり，表題に掲げた「震度5弱を観測するなどの顕著な地震」のおおよその規模を内陸と海域に分けて検討した．まず，領域の境界であるが，本稿における内陸は，地震調査委員会(1998)において定義されている領域を，平成19年(2007年)能登半島地震と平成19年(2007年)新潟県中越沖地震の余震域を含むように見直した図1に示す

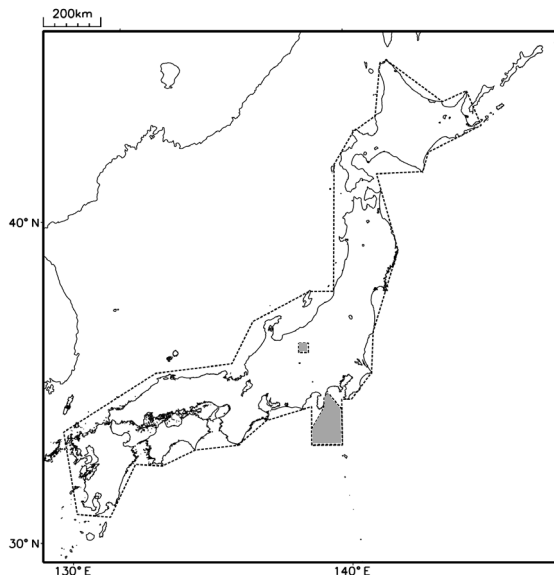


図1 内陸と定義した領域。
(内陸領域内の灰色で塗りつぶした範囲は，過去の活動がほぼ群発地震と特定できる所で，群発型発生領域と定義した.)

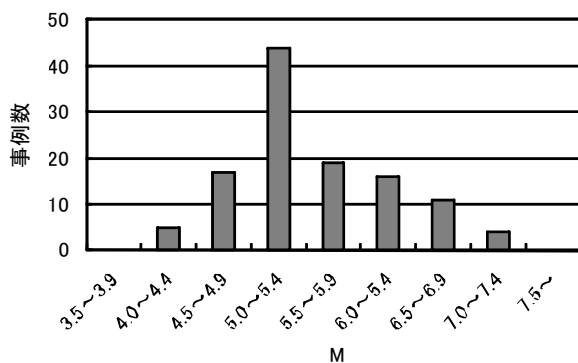


図2 内陸で震度5弱以上を観測した地震のM分布(1996年4月～2009年12月)．

領域とする．また，海域はこれに属さない領域とする．図1内にある群発型発生領域については後述する．

3-1 内陸における調査対象地震

報道対応が必要となるひとつの基準が震度5弱であることは述べた．そこで，震度5弱を観測した過去の地震について整理する．震度計による震度観測が開始された1996年4月から2009年12月までに，震度5弱以上を観測した内陸の地震は116例ある．この116例のMの分布を見たのが図2である．これは，単に震度の大きさから抽出した数であるから，余震も含まれ，震源分布は一様でない．しかし，M5.0以上が震度5弱以上のおおよその目安となることはわかる．

M5.0未満の地震で震度5弱以上になった事例は22例あったが，この中には一連の群発地震活動や余震活動など，単独では報道対応の対象にならないものが18例含まれており，報道対応の対象になる単発的な地震は以下の4例しかなかった．また，この4例が，何らかの地震の前震であった事実もない．

2001年1月2日 新潟県中越地方 M4.5 震度5弱

2001年12月8日 神奈川県西部 M4.6 震度5弱

2005年6月3日 熊本県天草・芦北地方

M4.8 震度5弱

2007年10月1日 神奈川県西部 M4.9 震度5強

以上から，本稿における内陸の調査基準をM5.0以上とした．

3-2 海域における調査対象地震

海域の地震の場合，震央が沿岸から離れば観測される震度は当然小さくなるため，地震のMと観測される震度の対応は内陸ほどはっきりしていない．しかし，ある一定の条件下で客観的に前震と本震を探すとすれば，Mの値を閾値にして調査対象を絞り込むのが扱いやすい．Mの閾値を決める際には，観測された震度の大きさ以外に社会的注目度を考えれば，被害の有無も指標となる．このような観点から事実関係を整理する．

内陸地震に対する調査対象期間と同一の1996年4月から2009年12月までに震度5弱以上を観測した

海域の地震は 30 例ある。そのうち、海域における M6.0 未満の地震が震度 5 弱以上になった事例は以下の 10 例であった。

1997 年 2 月 20 日 浦河沖 M5.9 震度 5 弱
2000 年 10 月 2 日 トカラ列島近海 M5.3 震度 5 弱
2000 年 10 月 2 日 トカラ列島近海 M5.9 震度 5 強
2000 年 10 月 2 日 トカラ列島近海 M4.6 震度 5 弱
2000 年 11 月 14 日 西表島付近 M4.9 震度 5 弱
2002 年 2 月 12 日 茨城県沖 M5.7 震度 5 弱
2002 年 11 月 4 日 日向灘 M5.9 震度 5 弱
2004 年 8 月 10 日 岩手県沖 M5.8 震度 5 弱
2006 年 3 月 27 日 日向灘 M5.5 震度 5 弱
2008 年 7 月 5 日 茨城県沖 M5.2 震度 5 弱

上記 10 例には M5.0 から M5.9 の地震が 8 例あるが、同じ期間内に海域で発生した M5.0 から M5.9 の地震は 1541 例であり、M5 クラスで震度 5 弱になるケースは非常にまれである。また、被害からみても、10 例のうち人的被害を伴ったのは 2002 年 2 月 12 日の茨城県沖の地震による負傷者 1 人のみであり、他は被害なし、住家の壁に亀裂が入るなどの軽微な物的被害程度である。つまり、M6.0 に満たない海域の地震で報道対応が必要になる事例は非常にまれで、被害もほとんどないと言って良い。

M6.0 以上で震度 5 弱以上になった事例は、20 例（30 例から上記 10 例を除いた残り）である。上記と同期間の海域における M6.0 以上の地震は 228 例あるので、これも割合にすれば 1 割程度に過ぎない。ただし、被害から地震を見てみると、1885 年 1 月から 2009 年 12 月までに M7.0 未満の地震で死者を伴う被害のあった地震は 48 例あり、そのうち海域の地震は以下の 4 例がある。

1909 年 8 月 29 日 沖縄の地震 M6.2
死者 2, 負傷者 13
1939 年 3 月 20 日 日向灘 M6.5 死者 1, 負傷者 1
1987 年 3 月 18 日 日向灘 M6.6 死者 1, 負傷者 6
1993 年 10 月 12 日 東海道南方沖 M6.9
死者 1, 負傷者 4

以上、海域の地震についての前震を調査するに当たり、M5 クラスでは震度 5 弱になるのは非常にま

れで被害もほとんどないこと、M6 クラスは震度 5 弱となる割合が 1 割程度とは言え、過去に死者を伴う被害のあった事例があることから、震度 5 弱以上になる地震、または、被害を生じるような地震の基準であれば、M6.0 以上とするのが妥当と判断した。

3-3 震度 5 弱に満たない程度の地震の連続

震度 5 弱に満たない程度の地震であっても、連続することで社会的関心が高まるケースがある。例えば、2005 年 6 月 1 日には東京湾で M4 クラスの地震が 2 時間内に 3 回続いて発生（最大震度は 3 が 1 回、2 が 2 回）したことがあった。このときは特に報道発表を行っていないが、大きな地震の恐れはないかという関係各方面からの問い合わせに対応している。そこで、3-1 節、3-2 節に記した、震度 5 弱以上を観測する程度の地震としての内陸 M5.0 以上と海域 M6.0 以上を踏まえて、それらよりも小さな地震の連続があった場合についても調査した。ここでは簡単のために、震度 5 弱に満たない程度の地震を内陸は M3.0～M4.9 の地震、海域は M4.0～M5.9 の地震とした。調査は、M3.0～M4.9 の地震が連続した前震活動後に内陸で M5.0 以上の本震が発生した事例、M4.0～M5.9 の地震が連続した前震活動後に海域で M6.0 以上の本震が発生した事例を抽出した。連続の定義については後述する。なお、連続する地震には内陸 M5.0 以上、海域 M6.0 以上の地震を含めていない。それらを含む場合は、3-1 節、3-2 節での調査結果に反映されるからである。

4 前震と本震の抽出

4-1 前震、本震、余震の抽出条件

地震は限られた時間・空間の範囲内に群をなして発生する傾向があり、一群の地震のうち一つだけ特に大きいものがあれば、それを本震とし、その前後の地震をそれぞれ前震、余震と呼ぶ。このような分類は、地震活動に対して日常的に使用されるが、普遍性のある定義はない。そこで、本調査におけるそれらの抽出条件を以下のように定めた。

□ 前震と本震の抽出条件

ある地震 B が発生したとき、その地震の発生前に以下の条件 1～3 をすべて満たす別の地震 A が発生していれば、先に発生した地震 A を「前震」、後の

地震 B を「本震」とする。

条件 1 :

A のマグニチュード $\leq$ B のマグニチュード

条件 2 :

A と B の発生間隔 : 30 日以内

条件 3 :

A と B の震央距離 : B のマグニチュード (M) から得られる平均的な余震域の長径 L(km)以下。ただし, $\log(L) = 0.5M - 1.8$ (Utsu, 1961) とし, L は 50km を最大とする。

□ 本震と余震の抽出条件

ある地震 C が発生したとき, その地震の発生後に以下の条件 4~6 をすべて満たす別の地震 D が発生すれば, 地震 C を「本震」, 地震 D を「余震」とする。

条件 4 :

C のマグニチュード $>$ D のマグニチュード

条件 5 :

C と D の発生間隔 : C のマグニチュードに依存する以下の期間内

地震 C のマグニチュードが M5.5 未満 : 30 日以内, M5.5 以上 M6.0 未満 : 60 日以内, M6.0 以上 M6.5 未満 : 90 日以内, M6.5 以上 M7.0 未満 : 150 日以内, M7.0 以上 M7.5 未満 : 240 日以内, M7.5 以上 : 360 日以内

条件 6 :

C と D の震央距離 : C のマグニチュード (M) から得られる平均的な余震域の長径 L(km)以下。ただし, $\log(L) = 0.5M - 1.8$ とする。

4-2 データと方法

調査に使用した震源データは, 気象庁震源カタログの 1885 年 1 月から 2009 年 12 月までの深さ 60km 以浅である。M の下限は, 第 3 節で述べたように, 内陸が M5.0 以上, 海域が M6.0 以上である。関東地震のあった 1923 年 9 月より前の古いデータは調査対象となる下限 M に対して検知能力を満たしていないと考えられるが, ここでは, 現在あるカタログから該当するもの全てを抽出することが目的なので, あえて問題にしていない。それと 1896 年の秋田県内

陸南部の M7.2 の地震 (陸羽地震) には, M6.4 の前震があったとされており, これは, 結果的にデータとして残っている内陸で発生した最大級の前震であることがわかっている。この記録を調査結果から漏らさないためにあえて使ったのも理由のひとつである。

調査に使う地震の深さをどの程度までにするかは震源精度や, 地域による地震活動の違いなどがあり簡単ではないが, 本調査は浅い地震を主要なターゲットとして, 深さ 60km までとした。理由は, 1923 年 9 月より前のデータが, 浅いものを 10km, それに次ぐものを 60km と分類していることがひとつである。また, 海域のプレート境界の地震を取りこぼさないために, 最近のデータを含め海域の地震の深さの精度が劣ることも考慮した。内陸の浅い地震はおおむね 20km 程度までの活動がほとんどであるが, 60km としたこと例えば関東直下や四国, 瀬戸内海直下のフィリピン海プレート内部の地震などがデータに含まれる。ただし, 結果的にこのようなプレート内地震で前震-本震型として検出される事例はほとんどなかったのも, 特に深さを内陸と海域で変えることはしなかった。

上記のデータに抽出条件を適用して前震とそれに対応する本震を以下の手順で抽出した。内陸の場合, M5.0 以上のデータから, まず, 条件 4~6 に従って余震をすべて除去した。そして, 残った震源データから条件 1~3 に従って前震と本震のペアを抽出し, 本震が内陸にあるものを内陸における前震, 本震とした (以下, これを「前震-本震ペア」と呼ぶ)。最初に内陸の地震に限定しないのは, 前震が海域にあり本震が内陸にある場合を見落とさないためである。海域についても方法は同じで, M6.0 以上の地震について本震が海域にあるものを抽出した。

なお, 前震-本震ペアとして抽出した事例は, 全てその活動の推移をチェックし, 前震, 本震の両者が明らかに他の地震の余震である場合を除いた。これは, 余震域が広くて十分に除外できなかった場合などに起こりうる (参考として先に述べておくと, 内陸の結果に該当はなく, 海域には 2 例あった)。

4-3 地震の連続と前震活動の判定方法

地震が連続したケースの判定方法は以下のとおりである。内陸については, 1885 年 1 月から 2009 年

10月までの深さ60km以浅かつM3.0以上の地震データを用いた。カタログの古い部分にはM3～M4クラスの地震のほとんどが取りこぼされているが、4・2節で述べたのと同じ理由で、ここでもあえて問題にしていない。

まず、M5.0以上の地震の余震を条件4～6に従ってすべて除去した。次に、M4.9以下の地震の余震について、条件4を以下に変更して除去した。

条件4'：

Cのマグニチュード>Dのマグニチュード+0.2

これは、本震がM4.9以下の場合、本震のMより0.2小さい余震までは、同程度の規模の地震の連続とみなして除去しないということである。すなわち、本震と余震の関係を厳密にすることよりも社会的な影響を優先して、本震的な地震の連続と見なした。

続いて、余震除去の結果からM4.9以下の地震とM5.0以上の地震を分離し、前者を用いて連続する事例を探した。具体的には、いわゆるクラスター処理の手法を用い、個々の地震が震央距離10km以内、発生間隔10日以内で発生していればそれらを連続した地震とみなした。連続は、この関係が続く限り増え、特に数や期間の制限を設けていない。得られた結果から、どの地震とも連続と判定されない孤立した地震を取り除いて連続した地震だけを残し、先に分離したM5.0以上の地震と再度マージした。このデータファイルを使って、抽出条件1～3を満たす前震－本震ペア（ただし、本震M5.0以上）を探した。抽出した結果は、全て地震活動を改めて点検し、地震が連続した後に本震が発生していることを確かめた。これは、連続した地震の2個目が本震の後で、実際には本震前に地震が連続していない可能性があるためである。そのようなものは除外した。

海域についても連続を判定するMの閾値がM4.0～M5.9で、本震の対象となるMが6.0以上である以外は内陸と同じである。ただし、海域の地震の震源精度を考慮して連続の判定における震央距離を内陸の倍の20km以内とした。

5 調査結果

前節で述べた方法を用いて、前震－本震ペアを抽出した結果は以下のとおりである。

5-1 内陸の結果

内陸のM5.0以上の地震（総数1432）を対象として、余震に該当する地震をすべて取り除いた結果、地震の総数は973となった。この973地震に対して、前震－本震ペアを抽出した結果、57の前震－本震ペアを得た。本震には複数の前震をとまうものがあるため、本震の実数は40である（図3）。

内陸については、さらに群発地震活動（以下、群発型と呼ぶ）を除いたうえでの前震－本震ペアの数と割合も図3に示した。ここでは簡単のために「群発型発生領域」を定義し、その領域内の地震を除いた結果で示した。群発型発生領域は、図1に示した長野県北部の小領域（いわゆる松代群発地震の発生領域）と伊豆半島東方沖から伊豆諸島にかけての領域である。これらの領域における過去のM5.0以上の地震を含む活動はほとんどが群発型であり、通常は特段の理由がない限り前震－本震型に分類しないものである。結果は、群発型発生領域の地震を除いた総数830に対して、前震－本震ペアは24、本震の実数は21であった。

図3にはM6.0以上についても示した。M6.0以上については、群発型発生領域を含めても、除いても前震－本震ペアの数は4である。つまり、群発型発生領域にはM6.0以上の前震－本震ペアは検出され

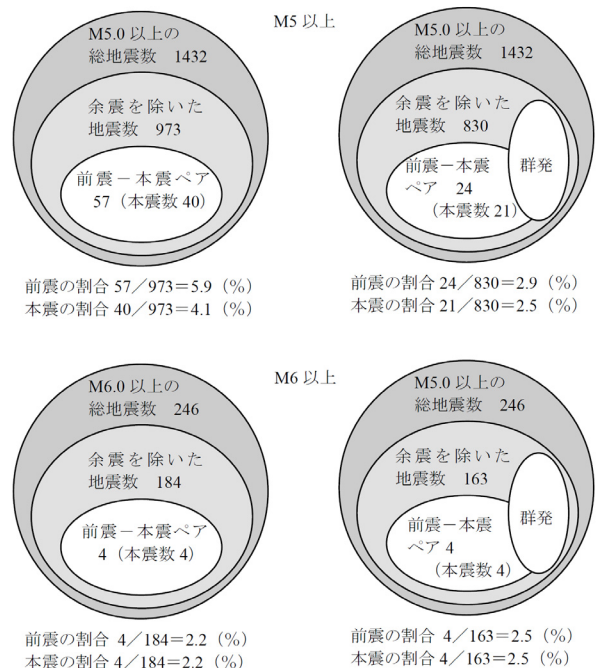


図3 内陸におけるM5.0以上とM6.0以上の前震－本震ペアの抽出結果。

（1885年1月～2009年12月、深さ60km以浅。右図は図1に示した群発型発生領域の活動を群発と表記して除いた結果。）

なかった。また、群発型発生領域を除いた場合の前震の割合はM5.0以上もM6.0以上も有意と言える差はない。なお、M6.5以上の地震が前震であるケースはなかった。

伊藤・細野(1997)は内陸の浅い地震について、1926年1月から1995年12月までの深さ30km以浅のデータを用いて前震を検出している。手法が異なることを承知で本調査の結果と比較した。伊藤らは前震の定義を本震の10日前までとしているため、同じ調査期間の10日以内の前震事例に限ると、本調査、伊藤らとも26事例を検出しており、そのうち21例は共通である。本調査で検出できなかった5例は、条件3に適合しなかった(距離が離れすぎていると判定された)ものが3例、Mの再決定後の前震のMが5.0未満になったものが1例、別地震の余震と判定されたものが1例であった。一方、本調査で検出され、伊藤らに検出されなかった5例(前震一本震型4例、群発型1例)は、伊藤らの調査で広義の前震とされたものが1例、深さが40km程度のため除かれたものが1例、Mの再決定前はM5.0未満であったと考えられるものが3例であった。調査方法の

結果と我々の用いた簡便な方法による結果に大きな違いはないと考えられる。

群発型も含め、内陸におけるM5.0以上の前震一本震ペアを形成した本震40例を図4に示す。40例すべてについて地震活動を点検し、群発型発生領域の地震19例のうち赤い●で示した18例は群発型と判断した。例外は1978年1月14日の伊豆大島近海地震(M7.0)である。この地震は、例えば津村他(1978)に詳しくまとめられており、一連の活動は、群発的な前震活動、主破壊領域における本震ー余震型の活動、伊豆半島側に誘発された活動など、複雑な様相を呈したものの、全体として前震活動、本震、余震活動と報告されている。気象庁の地震カタログを見ても、前震活動、本震、余震活動と推移して見えるため、前震一本震型とした。群発型発生領域以外の活動については、例えば千葉県南部の活動など判断に迷うものもあったが、いずれも明白な群発型と断定できるほど顕著ではなく、すべて前震一本震型の活動とした。その結果、前震一本震型の前震一本震ペアを形成した本震として青い●で示した22例を抽出した。この本震22例(図3に示した本震21例+伊豆大島近海地震)と前震26例(図3に示した前震24例+伊豆大島近海地震の前震2例)の発生状況を表1に示す。22例の本震のうち、15例は前震発生後1日以内に発生しており、5日以内でみれば9割に近い19例となる。

図4によれば、M5.0以上の前震一本震ペアを形成する本震は数も少なく、場所も様々である。強いて言えば、伊豆半島付近、鳥取～島根県付近、熊本～鹿児島県付近に複数事例が比較的近接して存在するが、この結果からそれらの地域で前震が発生しやすいという結論を導く客観性はない。しかし、過去に複数の事例があれば、それはある種の注意喚起の材料となりうる。

このような観点から、結果を補足するために「日本被害地震総覧」(宇佐美, 2003)に掲載されている被害地震の記載内容に前震の記述があるものを抜き出してみた。その際、本震はM5.0以上に限り、記録が不確かなもの、群発地震、火山活動に伴うと記載されているものは除外した。その結果が図5である。ここに示した本震の前震は必ずしもM5.0以上とは限らないが、記録に残る程度のものであったのは確かである。図5には、図4で挙げた3地域以外

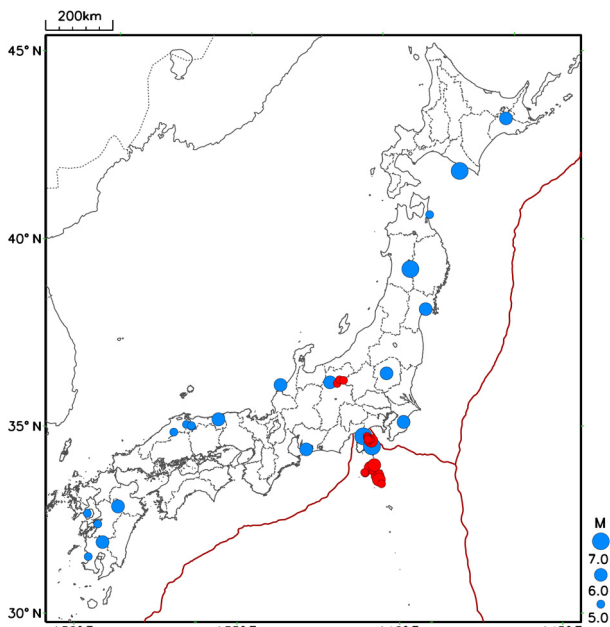


図4 M5.0以上の前震一本震ペアを形成した内陸の地震(本震のみ描画)。
(青:抽出された本震21例[図3右上]に1978年の伊豆大島近海地震を加えた22例。
赤:群発型の活動の18例。)

違いに由来する若干の差異はあるものの、伊藤らの

表1 M5.0以上の前震－本震ペアを形成した inland の地震と前震の発生状況。

(図4に示した本震22例の前震の発生状況。本震の震央地名が橙のものは複数の前震があった地震である。マグニチュードは、青：M6.0～6.4、緑：M6.5～6.9、ピンク：M7.0以上で塗り分けた。前震を示す印は、●が本震との震央距離10km未満、◎が10km～30kmである。)

本震 年月日	本震 震央地名	前震の発生時期(本震までの日数) (数字はマグニチュード)											本震 M	
		30～21	20～11	10	9	8	7	6	5	4	3	2		1
1896/08/31	秋田県内陸南部				◎ 5.5								◎ 6.4	7.2
1904/6/6	島根県東部												● 5.4	5.8
1913/6/30	薩摩半島西方沖												● 5.7	5.9
1915/11/16	千葉県北東部							● 5.9						6.0
1918/11/11	長野県北部												● 6.1	6.5
1930/10/17	石川県西方沖												● 5.3	6.3
1930/11/26	静岡県伊豆地方												● 5.1	7.3
1931/12/26	熊本県天草・芦北地方							● 5.5	● 5.6					5.8
1943/3/5	鳥取県東部												◎ 6.2	6.2
1945/1/13	三河湾										● 5.6 ● 5.7			6.8
1949/12/26	栃木県北部												● 6.2	6.4
1954/5/16	島根県東部				● 5.2									5.4
1959/1/31	釧路支庁中南部				◎ 5.6									6.3
1968/2/21	鹿児島県薩摩地方												● 5.7	6.1
1975/1/23	熊本県阿蘇地方										● 5.5			6.1
1978/1/14	伊豆大島近海												● 5.2 ◎ 5.2	7.0
1978/5/16	青森県東方沖												● 5.8	5.8
1982/3/21	浦河沖												● 5.0	7.1
1984/8/6	橘湾												● 5.0	5.7
1989/11/2	鳥取県西部							● 5.3						5.5
1990/11/23	鳥取県西部										● 5.1			5.2
2003/7/26	宮城県中部												● 5.6	6.4

に、秋田県付近、新潟県中越から長野県北部付近、栃木県付近、そして、京都府付近に複数の事例が示されている。これを図4とあわせみると、秋田県付近、新潟県中越から長野県北部付近、栃木県付近については、図4にも前震－本震ペアの観測事例がある。京都付近については、歴史記録上のものであるもので、震央が京都付近にあるかどうかは明確でなく、また、図4に観測事例もない。

5-2 inlandの結果(連発の事例)

M3.0からM4.9の地震が連続した後にM5.0以上の本震につながった事例を抽出した結果を図6に示す。ここでの連続には2個以上がすべて含まれるが、前震と本震の対応付けは、連続を形成する地震群のどれかが、4-1節の前震、本震の条件を満たせば良いとした。ただし、連続した地震が本震の前に2個以上あることを必須条件とした(これについては、4-3節で述べた)。本稿では、上記を「前震群－本震ペア」と呼ぶ。

連続が成立した地震群のいずれかの地震を前震として30日以内に本震が発生した前震群－本震ペア

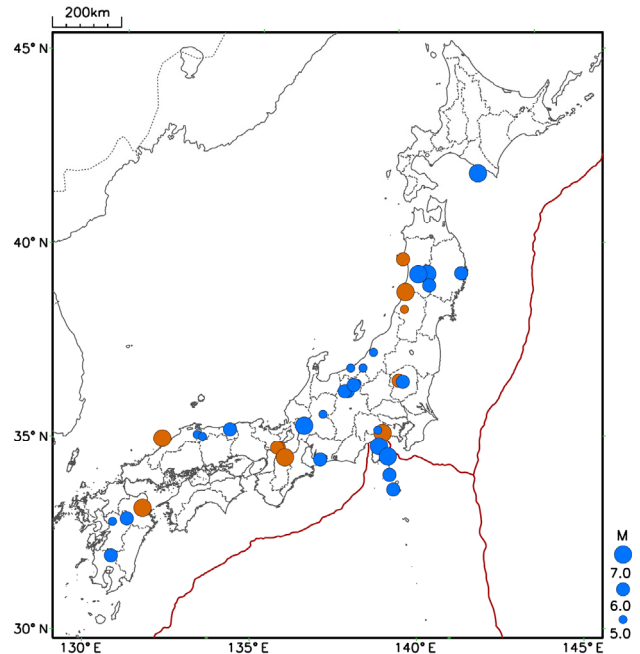


図5 「日本被害地震総覧(宇佐美, 2003)」に前震の記述のあるM5.0以上の inland の地震。

(橙印は1885年以前の地震で、震源位置の精度が劣ると考えられるもの、青印は1885年以降の地震で比較的精度が良いと考えられるもの。)

は、1017 事例（群）のうち、12 例であった．ここでの 12 例は本震の数である．実際にはひとつの本震に対して複数の前震群がある場合も考えられるが、そのような事例が多数あることは考えにくく、本震数で代表させてもほとんど影響はない．抽出された前震活動は、対象となる事例の総数に対して 1%程度と、非常にまれと言ってよいだろう．抽出された本震 12 例について、前震群の発生状況を表 2 に示す．

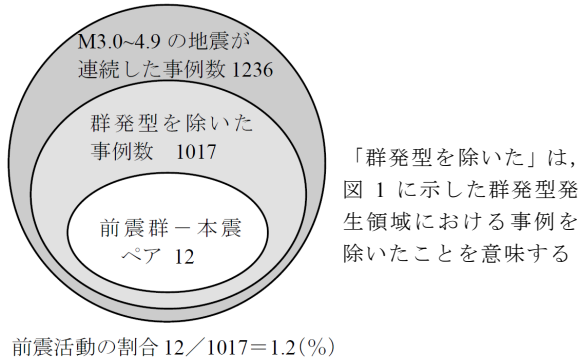


図 6 内陸における前震群－本震ペアの抽出結果（前震群：M3.0～M4.9 の地震の連続，本震：M5.0 以上）．
（1885 年 1 月～2009 年 12 月，深さ 60km 以浅，ペアの数は対応する本震の数で代用）

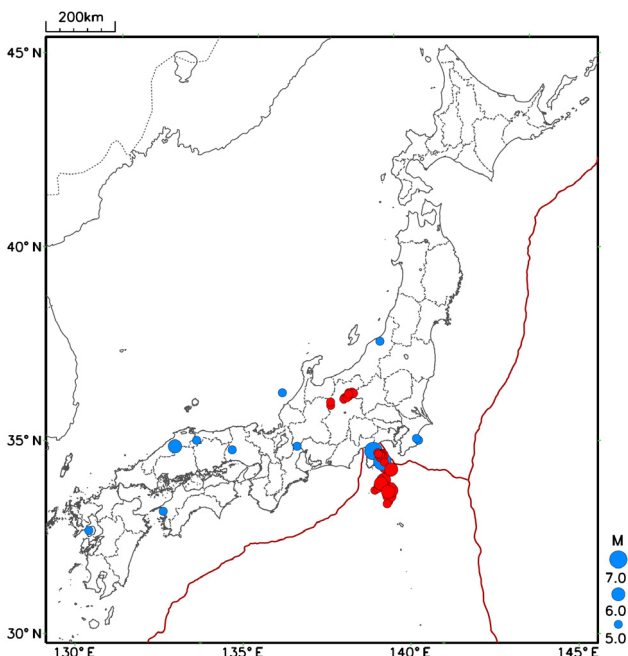


図 7 前震群－本震ペアを形成した内陸 M5.0 以上の地震（前震群：M3.0～M4.9 の地震の連続，本震のみ描画）．
（青：抽出された本震 12 例．赤：群発型と判断した事例．）

連続した地震が本震発生前の 3 日以内に起こっている事例が 7 割以上（12 例中 9 例）ある．

なお、表 2 には表 1 と共通の地震が 3 つあるが、4-3 節で述べたとおり前震群を抽出する前に余震に該当するものはすべて除去しており、前震群は M5.0 以上の前震の余震活動ではない．

図 7 は本震の震央分布である．震央のうち赤いものは群発型として分類したものである．ほとんどは「群発型発生領域」内の活動であるが、それ以外に、1998 年 8 月に発生した上高地付近の顕著な群発地震活動によるものを群発型に分類した．長野県・岐阜県境付近の赤い印がそれである．また、5-1 節と同様、1978 年の伊豆大島近海の地震（M7.0）については本震－余震型とした．図 7 をみると、抽出された事例は中部日本と西日本に散見され、北日本には見られない．また、M7 クラスの本震に至った事例は伊豆の 2 例だけである．その他は M6.0 に満たないものが多く、M6.0 を超えたのは島根県東部の地震（1978 年 6 月 4 日，M6.1）のみであった．

表 2 前震群－本震ペアを形成した内陸 M5.0 以上の本震と、前震の発生状況（前震群：M3.0～M4.9 の地震の連続）．

（色、印の意味は表 1 と同様である．前震の発生時期を示す印は、1 個につき複数の地震を含むことがある．その場合、震央距離が最も近いもので代表させた．）

本震 年月日	本震 震央地名	前震発生時期（本震発生までの日数）											本震 M	
		～30	～20	10	9	8	7	6	5	4	3	2		1
1930/11/26	静岡県伊豆地方								●	●	●	●	●	7.3
1953/5/31	石川県西方沖										●	●		5.2
1961/5/7	兵庫県南西部	●	●											5.9
1978/1/14	伊豆大島近海													7.0
1978/6/4	島根県東部				●	●								6.1
1983/5/21	千葉県南部											●	●	5.2
1984/8/6	橋湾				●							●	●	5.7
1995/4/1	新潟県下越地方		●	●										5.6
1997/4/3	愛媛県南予											●	●	5.0
1997/9/4	鳥取県西部		●									●	●	5.5
1998/4/22	三重県北部											●	●	5.5
2007/8/18	千葉県南部											●	●	5.2

5-3 海域の結果

海域については、内陸に比べて震源精度が良くないことや検知能力が劣ることから活動を明確に群発型と前震－本震型に区別しにくいため、内陸のように群発型の除外を行わず、すべての地震を対象とした．海域の M6.0 以上の地震（総数 1218）を対象として、余震に該当する地震をすべて取り除いた結果、地震の総数は 910 となった．この 910 地震に対して、

前震－本震ペアを抽出した結果、56の前震－本震ペアを得た。本震には複数の前震をとまうものがあるため、本震の実数は46であった（図8）。前震の割合は6%程度で、内陸に比べると若干多い。ただし、抽出した前震－本震ペアのそれぞれの地震活動

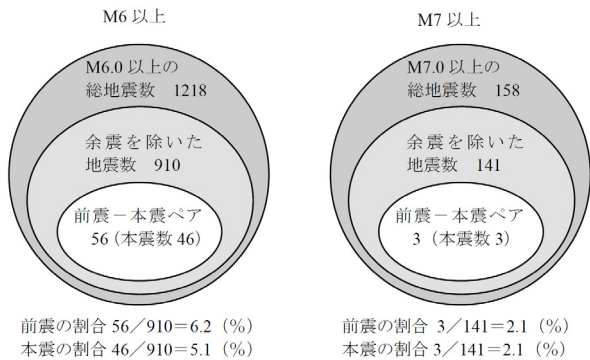


図8 海域におけるM6.0以上とM7.0以上の前震－本震ペアの抽出結果（1885年1月～2009年12月、深さ60km以浅）。

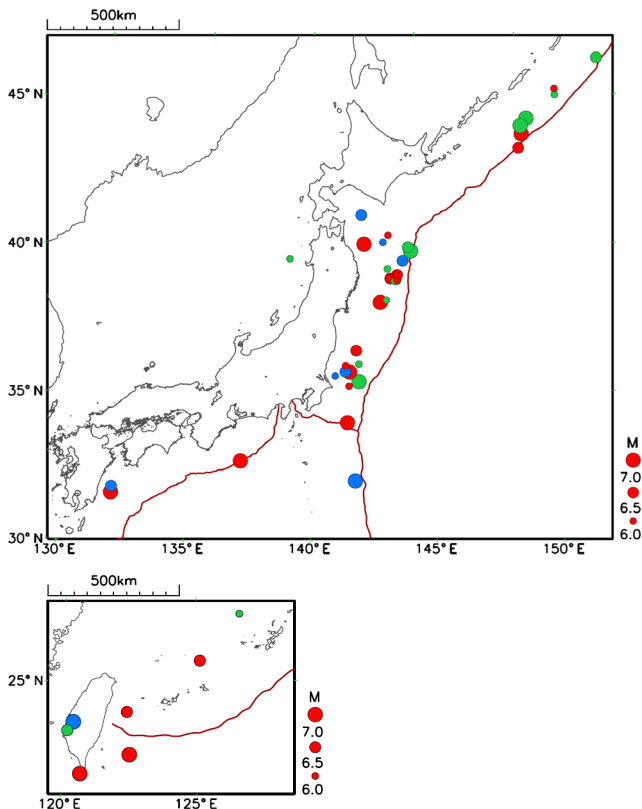


図9 M6.0以上の前震－本震ペアを形成した海域の地震（本震のみ描画）。

（抽出された本震46例中、余震と判定した2例を除く44例。赤印：前震発生後1日以内に本震が発生、緑印：7日以内、青印：30日以内である。前震が複数ある場合は、日数が短いもので代表させた。）

を点検したところ、前震、本震の両方とも他の地震の余震とすべき事例が2例あったので、前震－本震ペアから除外し、最終的に前震の数が54、対応する本震の数が44となった。図8にはM7.0以上についても示したが、地震の総数141に対して3例で、割合は2.1%と内陸と同程度まで少なくなる。

海域におけるM6.0以上の前震－本震ペアを形成した本震44例を図9に示す。図9は、前震と本震の発生間隔で色分けをした。前震が複数ある場合は最短のもので代表させた。事例は三陸沖、茨城県沖に多い。択捉島沖も比較的多くみえる。西日本側には少ないが、日向灘には複数事例が検出された。表3は本震44例と前震54例の発生状況である。内陸の結果に比べて、前震と本震の間隔にばらつきがあるが、半数（44例中22例）は前震発生後1日以内に本震が発生しており、全体の7割を超える32例で5日以内となっている。M7.0以上の本震に限ると15例中9例が1日以内に発生している。

なお、表3内で左端を{で括ったものは、一連の群発型としたほうが自然にみえるものであるが、ここでは、抽出条件による結果をそのまま掲載した。そのほか、1935年10月18日と1941年3月19日の三陸沖の地震の前震は、ともに別の地震の余震とみられるが、活動全体としてMの小→大の関係が崩れるものではなかったので、同様に抽出条件による結果をそのまま掲載した。これらは、先に述べた除外した2例を含め、いずれも震源精度が悪く本震のMに対して活動域が大きすぎ、本震と余震の関係が抽出条件から漏れたことに由来する可能性が高い。

伊藤・細野（1997）は海域の地震について、1926年から1995年までの深さ80km以浅の地震の前震を検出している。内陸の場合と同様に結果を比較すると、本調査が23例、伊藤らが18例検出している。共通事例は14例あった。また、本震がM7.0以上であった事例はともに6例あり、同じ結果を得ている。本調査で検出できなかった4例のうち3例が千島列島の地震で、気象庁のカatalogの精度を考えると、震源やMの再決定の影響か、条件3の不適合（距離が離れすぎていると判定された）と思われる。残りの1例は条件3に適合しなかったものであった。一方、本調査で検出され、伊藤らに検出されていないのは9例あるはずであるが、このうち2例は、群発

表3 M6.0以上の前震－本震ペアを形成した海域の地震と前震の発生状況.

(図9に示した本震44例の前震の発生状況. 本震M7.0以上とそれより小さいものとで表を分けた. 本震の震央地名が橙のものは複数の前震があった地震である. マグニチュードは, 緑:M6.5~6.9, ピンク:M7.0以上で塗り分けた. 前震を示す印は●が本震との震央距離10km未満, ◎が10km~30km, ○が30km~50kmである. {で括ったものは, 一連の群発地震とみなしたほうが自然にみえる地震活動である.)

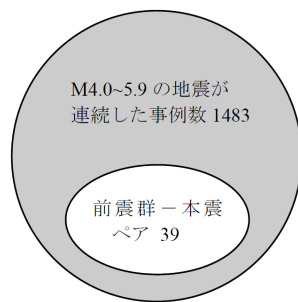
本震 年月日	本震 震央地名	前震の発生時期(本震までの日数) (数字はマグニチュード)											本震 M	
		30～21	20～11	10	9	8	7	6	5	4	3	2		1
1901/8/10	青森県東方沖												◎ 7.2	7.4
1906/4/14	台湾付近	● 6.9												7.1
1909/3/13	関東東方沖												● 6.7 ◎ 6.2	7.5
1916/4/21	八丈島東方沖					◎ 6.6								7.1
1919/12/21	石垣島南方沖												● 7.1	7.3
1923/6/2	茨城県沖						◎ 6.4							7.3
1931/11/2	日向灘												○ 6.0	7.1
1935/10/18	三陸沖								○ 6.4					7.1
1963/10/13	択捉島南東沖												○ 6.3	8.1
1978/3/25	択捉島南東沖										○ 6.5	◎ 6.7		7.3
1981/1/19	三陸沖												◎ 6.1 ◎ 6.1	7.0
1995/12/4	択捉島南東沖										◎ 6.4	◎ 6.8		7.3
2004/9/5	三重県南東沖												○ 7.1	7.4
2006/12/26	台湾付近												◎ 6.9	7.2
2008/5/8	茨城県沖												○ 6.4	7.0

本震 年月日	本震震央地名 (日付が同じ場合 時分)	前震の発生時期(本震までの日数) (数字はマグニチュード)											本震 M	
		30～21	20～11	10	9	8	7	6	5	4	3	2		1
1902/1/31	浦河沖		◎ 6.5											6.6
1910/5/10	茨城県沖											● 6.0		6.1
1913/4/13	日向灘		● 6.7											6.8
1913/5/29	茨城県沖					◎ 6.1								6.4
1913/10/11	三陸沖				● 6.1									6.9
1920/1/18	秋田県沖								● 6.0					6.2
1924/5/31	茨城県沖												◎ 6.1	6.4
1930/12/21	台湾付近		○ 6.0					● 6.0						6.8
1931/6/23	茨城県沖												● 6.0	6.4
1933/1/7	三陸沖									● 6.2				6.8
1933/7/9	択捉島南東沖												◎ 6.1	6.7
1938/12/14	三陸沖						● 6.3							6.3
1941/3/19	三陸沖								◎ 6.0					6.2
1943/4/11	茨城県沖	● 6.3 ◎ 6.1												6.7
1952/10/27	三陸沖 (00:46)												● 6.0	6.2
1952/10/27	三陸沖 (03:01)												● 6.0	6.2
1952/10/27	三陸沖 (12:17)												● 6.3	6.4
1965/3/29	青森県東方沖		● 6.4											6.4
1974/10/10	青森県東方沖												● 6.2	6.4
1987/2/6	福島県沖												● 6.4	6.7
1989/10/29	三陸沖												● 6.0	6.5
1991/12/14	千島列島						◎ 6.0						◎ 6.3 ● 6.3 ◎ 6.3	6.4
1991/12/19	千島列島							◎ 6.4		◎ 6.1				6.4
1992/7/18	三陸沖 (17:36)										● 6.1			6.9
1992/7/18	三陸沖 (17:39)												◎ 6.9	6.9
1994/5/24	台湾付近												◎ 6.1	6.6
2006/10/1	千島列島										◎ 6.0			6.8
2007/4/20	宮古島北西沖												● 6.3	6.7
2007/8/7	沖縄本島北西沖						● 6.1							6.3

的な一連の活動に前震－本震型のパターンが複数検出されたもので、伊藤らはこれらを1例にまとめている。このため、実質的に7例である。7例中3例は、伊藤らは広義の前震と分類している。残りの4例は震源やMの再決定の影響と思われる。

5-4 海域の結果（連発の事例）

M4.0 から M5.9 の地震が連続したときに、それ以後に M6.0 以上の地震につながった事例を抽出した結果を図10に示し、本震の震央分布を図11に示す。前震群と本震の対応付けの方法は、内陸の場合と同



前震活動の割合 $39/1483=2.6(\%)$

図10 海域における前震群－本震ペアの抽出結果
(前震群：M4.0～M5.9の地震の連続、本震：M6.0以上)。
(1885年1月～2009年12月、深さ60km以浅、ペアの数は対応する本震の数で代用。)

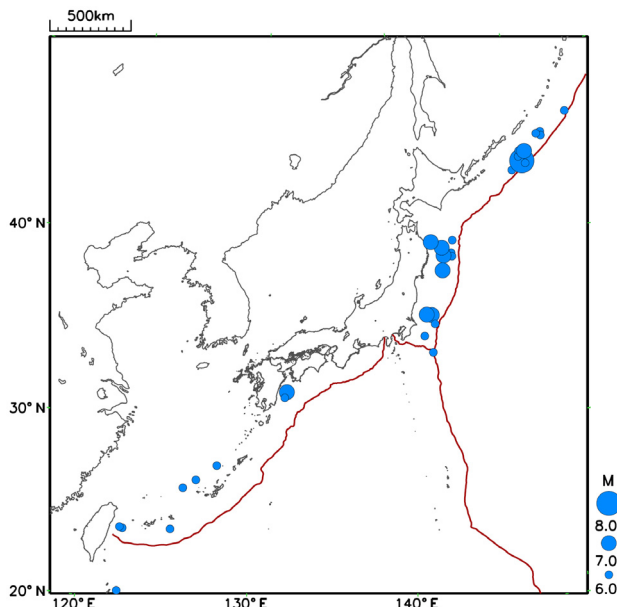


図11 M4.0～M5.9の地震が連続した前震活動を伴った海域におけるM6.0以上の地震。(抽出された本震39例)

様である。

地震の連続があった後に M6.0 以上の本震が発生した前震群－本震ペアは39例あり、5-3節の結果とほぼ同様に、北から択捉島付近、三陸沖、茨城県沖、日向灘に事例が目立つ。これらの海域では M7.0 以上の本震につながったケースも確認できる。5-3節にも同様な傾向が見られたことから、この4海域での地震活動に際しては、前震である可能性を十分に考慮すべきだろう。抽出された本震39例について、前震の発生状況を表4に示す。連続した地震が本震発生前の5日以内に起こっている事例が約7割(39例中27例)ある。

なお、表4には、表3と共通する地震が12例(千島列島3例、択捉島南東沖2例、三陸沖4例、茨城県沖2例、台湾付近1例)ある。海域についても4-3

表4 M4.0～M5.9の地震が連続した前震群－本震ペアを形成した海域 M6.0 以上の地震と、前震の発生状況。

(本震 M7.0 以上とそれより小さいものとで表を分けた。色、印の意味は表3と同様である。前震の発生時期を示す印は、1個につき複数の地震を含むことがある。その場合、震央距離が最も近いもので代表させた。)

本震 年月日	本震 震央地名	前震発生時期（本震発生までの日数）											本震 M
		～30	～20	10	9	8	7	6	5	4	3	2	
1941/11/19	日向灘								●			●	7.2
1963/10/13	択捉島南東沖											◎	8.1
1968/6/12	三陸沖	○											7.2
1981/1/19	三陸沖											○	7.0
1982/7/23	茨城県沖											●	7.0
1989/11/2	三陸沖									○			7.1
1995/1/7	岩手県沖			◎	◎				◎		○	◎	7.2
1995/12/4	択捉島南東沖										○	○	7.3
2008/5/8	茨城県沖											◎	7.0

本震 年月日	本震 震央地名	前震発生時期（本震発生までの日数）											本震 M	
		～30	～20	10	9	8	7	6	5	4	3	2		1
1941/11/26	茨城県沖	◎												6.2
1943/3/14	茨城県沖											◎		6.1
1943/4/11	茨城県沖	◎												6.7
1952/10/27	三陸沖											◎		6.4
1952/10/27	三陸沖											◎		6.2
1952/10/27	三陸沖											◎	●	6.2
1958/11/13	択捉島南東沖								○					6.9
1960/6/16	岩手県沖	◎												6.2
1961/1/16	茨城県沖						◎	●						6.8
1965/9/18	茨城県沖													6.7
1978/4/7	千葉県東方沖													6.1
1979/2/20	三陸沖				●	◎								6.5
1980/3/3	沖縄本島北西沖	◎	●	◎		◎					◎	◎		6.7
1984/12/18	択捉島南東沖												◎	6.0
1991/12/14	千島列島						◎	◎						6.4
1991/12/19	千島列島		●								◎			6.4
1994/5/24	台湾付近												●	6.6
1994/8/14	千島列島												◎	6.2
1994/8/20	択捉島南東沖										◎	●	◎	6.1
1995/12/11	択捉島南東沖					◎			◎		◎	◎		6.4
1996/10/19	日向灘												●	6.9
1999/3/2	関東東方沖			◎	◎									6.3
2000/7/16	フィリピン付近		◎											6.6
2001/2/8	宮古島近海											●		6.0
2003/12/24	沖縄本島北西沖											◎		6.0
2004/5/30	関東東方沖		◎											6.7
2006/10/1	千島列島								○	◎		◎	○	6.8
2008/7/6	千島列島												◎	6.1
2009/7/14	台湾付近	◎	●				◎							6.5
2009/9/29	沖縄本島北西沖												●	6.1

節で述べたとおり，前震群を抽出する前に余震に該当するものはすべて除去している．しかし，震源精度の影響で，M6.0 以上の前震の余震を完全に除去しきれていない可能性があるため，内陸の結果に比べるとやや厳密さに欠ける部分があることを述べておく．

6 おわりに

前震についても，余震と同様に経験則等に基づいた予測が行われ，例えば前震一本震型と推移する可能性を確率で表すことや，その際に予測される本震の規模などを情報として提供できることが望ましいだろう．しかし，前震の発生に関する法則性は未だ見つかっていないし，過去の事例も非常に少ないのが現実である．

前震活動に限らず，様々な地震活動についての事実関係を整理・更新し，その時空間的特徴や傾向を詳細に把握しておくことは，防災官庁として気象庁に求められている責務のひとつであり，地震の予知ができない現状にあっては，このような調査結果から言える事実を社会に還元していくことが大切である．

本調査は，報道発表時における「前震の可能性は低いが，数日程度は念のため注意」という言及に関連して，

- ① 報道対応を必要とする程度の地震は，前震の可能性は低く，過去のデータからは，発生した地震のうち数パーセントだけが前震であったこと
- ② 前震一本震型であった場合，本震は 1 日程度で発生するケースが最も多く，7 割から 9 割が 5 日以内に発生しており，一般的な注意としては数日程度が妥当であること

を事実として示したに過ぎないが，少数ながらもそれらがどのような場所でより多く発生しているかを示すこともできた．これは予測的な情報ではないし，過去の事例とほぼ同じことが今後も繰り返すことを何ら保障するものでもない．しかし，予測ができなくても，過去の事実に基づく特徴や傾向を述べることは，今後の可能性を考えるうえでの重要な判断材料となる．

我々は，今後，より小さな規模の群発地震活動が前震活動であった事例などについても調査するなど，より詳細に前震活動の特徴をまとめていきたいと考

えている．単に事象数の割合を出すだけでなく，例えば，高山・吉田(2005)がクラスターの活動において前の地震より M の大きな地震が続いて発生した事象を用いたほうが，単にクラスター活動に注目するよりも，M5 以上の地震の発生予測に有効であると述べているように，地震活動の時空間的特性も加味した調査まで進めていきたい．

謝辞

本稿の改善にあたって，匿名の査読者からいただいたコメントは非常に有益でした．記して深く感謝します．

文献

- 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．
- 宇佐美龍夫(2003)：最新版日本被害地震総覧，東京大学出版会，605 pp．
- 勝間田明男(2004)：気象庁変位マグニチュードの改訂，験震時報，67，1-10．
- 地震調査委員会(1998)：余震の確率評価手法について，地震調査研究推進本部ホームページ，<http://www.jishin.go.jp/main/yoshin2/yoshin2.htm>
- 高山博之・吉田明夫(2005)：クラスター活動の中で続いてさらに大きな地震が発生する現象を用いた M5 以上の地震の発生予測，地震，2，57，409-418．
- 津村建四朗・唐鎌郁夫・荻野泉・高橋正義(1978)：1978 年伊豆大島近海地震前後の地震活動，地震研究所彙報，53，675-706．
- 浜田信生・吉川一光・近藤さや・鎌谷紀子・明田川保・松浦律子・鈴木保典(2004)：日本の震源カタログの改善－1923 年～1925 年部分の新規作成と 1926 年以降の改善－，験震時報，68，1-24．
- 舟崎淳・地震予知情報課(2004)：気象庁速度マグニチュードの改訂について，験震時報，67，11-20．
- 干場充之・清野政明・岡田正実・伊藤秀美(1993)：相互関連度付き震源リストの制作とその応用，気象研究所研究報告，44，3，83-90．
- Utsu T.,(1961):A statistical study on the occurrence of aftershocks, Geophys. Mag.,30,521-605.