

12 - 4 群発的地震活動を前震活動と仮定して行う本震の発生予測手法： 最近の活動事例による検証

Earthquake forecasting method by supposing swarm-like activity to be possible foreshocks: its performance based on recent seismicity data

前田憲二・弘瀬冬樹（気象研究所）

Kenji Maeda and Fuyuki Hirose (Meteorological Research Institute)

【はじめに】

本震発生前に前震を識別することは一般に困難であるが、続発的に地震が発生しやすい特定の地域では本震前に群発的な地震活動がみられる場合があり、我々はその統計的性質から本震の発生を経験的に予測する手法を開発してきた^{1) - 4)}。第208回地震予知連絡会では、この手法により比較的効率よく予測できる地域として、日本海溝沿いの3地域、伊豆半島沖の地域、長野県北中部の地域を指摘し、各地域について2015年7月28日までの期間における予測効率を報告した⁵⁾。本報告では、前回の報告以降の各地域における地震予測結果について述べるとともに、新たに日本内陸地域について、長野県北部の地域に対して求めたものと同じパラメータを援用して予測手法を適用した場合の予測結果についても報告する。

【予測手法および評価指標】

前震候補選択の手順は、1) 震源カタログから本震とのマグニチュードの差が1以上の余震活動を除去し、2) 特定の大きさ（緯度 D° × 経度 D° ）の小領域の中で、特定の規模（ Mf_0 ）以上の地震が特定の期間（ Tf 日）の間に特定の数（ Nf ）だけ発生した時、前震（群）の候補とみなし、より大きな地震の発生を予測する。予測適中の判定は、前震候補発生後、2) で設定した小領域の中で特定の期間（ Ta 日）内に本震（ Mm_0 以上）が発生した場合に真の前震（群）であったと判定し、予測が適中したとする。 Mm_0 以上の本震に対し予測対象地域ごとに D , Mf_0 , Tf , Nf , Ta の最適パラメータを求めたが、そのための評価指標としては、ポアソンモデルによる予測と前震候補による予測モデルとのAICの差（ $dAIC$ ）を主に用いた。また、予知率（ AR ：予測対象とする本震のうち予測された本震の割合）や適中率（ TR ：前震候補のうち真の前震の割合）、確率利得（ PG ：全時空間における本震の平均発生率に対する警報時空間における本震の発生率の比）も補助的に用いた。ここでは、予知率および適中率の結果のみを報告する。

【予測結果】

前回の予知連絡会で報告して以降の日本付近で発生した $M5$ 以上の地震の震央分布を第1図に示す。緑色で囲んだ地域が予測対象地域であるが、これらの地域では予測対象地震（日本海溝沿いの3地域は $M6$ 以上が対象）が発生しなかったことが分かる。一方、前震候補の発生状況についても、前回の報告以降、条件を満たす地震は発生しなかった。従って、これまでの解析期間を含めた総合的な予知率および適中率については前回と変化はなかった（第1表）。第1図には、予測対象地震や前震候補ではないが主な地震活動について、赤枠あるいは赤字で示した。以下、各地域のこれまでの予測状況を改めてまとめるとともに、前回報告以降の主な地震の活動状況について紹介する。

1) 日本海溝沿いの特定の地域（第2図）

第2図の黒線で囲まれた3つの地域が予測対象地域であるが、これらの地域には新たな予測対象地震も前震候補も発生しなかった。なお、予測対象地域外ではあるが、2016年1月14日に浦河沖でM6.7の地震が発生した。この地震の直前には前震候補となるようなM5以上の地震は1つも発生しておらず、前震では予測できなかった地震となる。

2) 伊豆半島沖の地域 (第3図)

伊豆半島沖の地域についても新たな予測対象地震も前震候補も発生しなかったが、2016年1月23日にM3.7の地震が発生し、その地震の直前には小規模な地震活動が見られた。ただし、その活動度は低く、前震候補の条件を満たすまでには至らず、また、結果的にM5以上の地震も発生しなかった。

3) 長野県北中部の地域 (第4図)

同様に、長野県北中部の地域についても新たな予測対象地震も前震候補も発生しなかった。なお、対象地震よりも小さいが、2016年2月3日に前回の報告以降最大のM4.4の地震が発生した。しかし、この地震の直前には前震候補となるような地震活動はみられなかった。また、2015年10月12日頃に活発な群発的活動が見られたが、前震候補の条件を満たすまでには至らず、結果的にM5以上の地震も発生しなかった。

4) 日本の内陸地域 (第5図)

日本の内陸地域(伊豆地域を除く)について、長野県北中部の地域に対して求めた最適パラメータを援用した場合の予測成績を調査した。その結果、1998年から2016年2月11日までの期間についてM5.0以上の本震の予測を行った場合の予測成績は、予知率=11%(=9/79)、適中率=1.8%(=11/607)であった。地域的には長野県北中部以外では福島県東部や銚子付近、鹿児島県西方沖で上記定義の前震活動が見られた。なお、2015年11月14日に薩摩半島西方沖で発生したM7.1の地震について、地震直前にやや離れた場所での地震活動が活発であったが、近傍での前震活動はみられなかった。また、2015年10月18日に鳥取県中部でM4.3の地震があり、直前に前震活動が見られたが、前震候補の条件を満たすまでには至らず、結果的にM5以上の地震も発生しなかった。

【まとめ】

前震を伴いやすい3地域および日本の内陸地域について、前回の報告以降の期間を含めて前震活動に基づく地震発生予測の成績を調査した。その結果、各地域および期間における予測成績について、第1表のような結果が得られた。

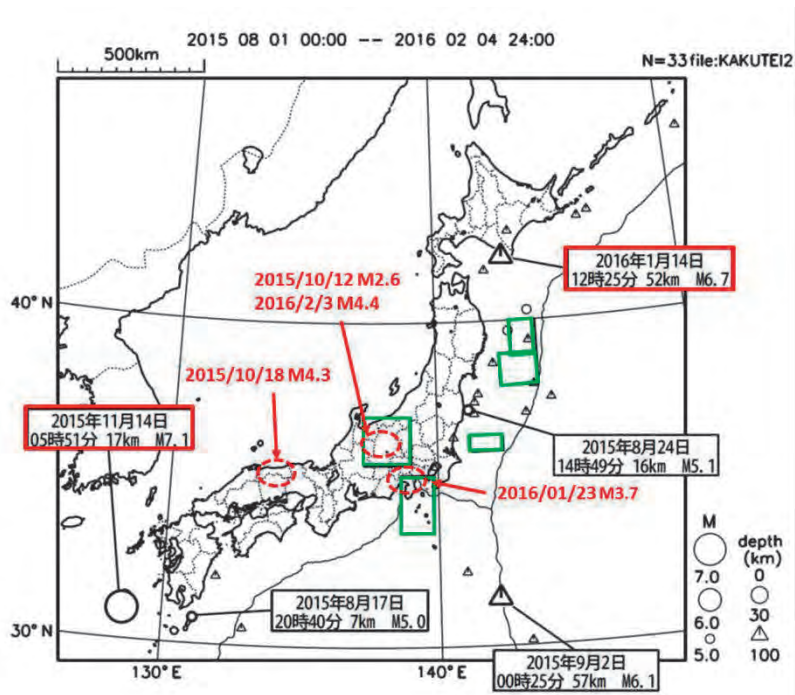
参考文献

- 1) Maeda, K. (1996), The use of foreshocks in probabilistic prediction along the Japan and Kuril trenches, Bull. Seism. Soc. Am., 86, 242-254.
- 2) 前田憲二・弘瀬冬樹 (2012), 前震の経験則に基づく地震発生予測－東北地方太平洋沖地震とその後の地震活動への適用－, 日本地震学会講演予稿集, D12-06.
- 3) Maeda, K. and F. Hirose (2014), Prediction performance of empirically defined foreshocks in the Izu region, Japan Geoscience Union Meeting 2014, SSS01-06.
- 4) 前田憲二・弘瀬冬樹 (2015), 前震活動に基づく地震発生の経験的予測－長野県北中部地域への適用－, 日本地球惑星科学連合2015年大会, SSS27-07.
- 5) 気象研, (2016), 前震活動に基づく地震発生の経験的予測, 地震予知連絡会会報, 95, 415-419.

第1表 各地域ごとの予測結果. 解析対象期間, 前震パラメータ, 予知率および適中率を示す. 最適化されていない地域に対する結果は参考値.

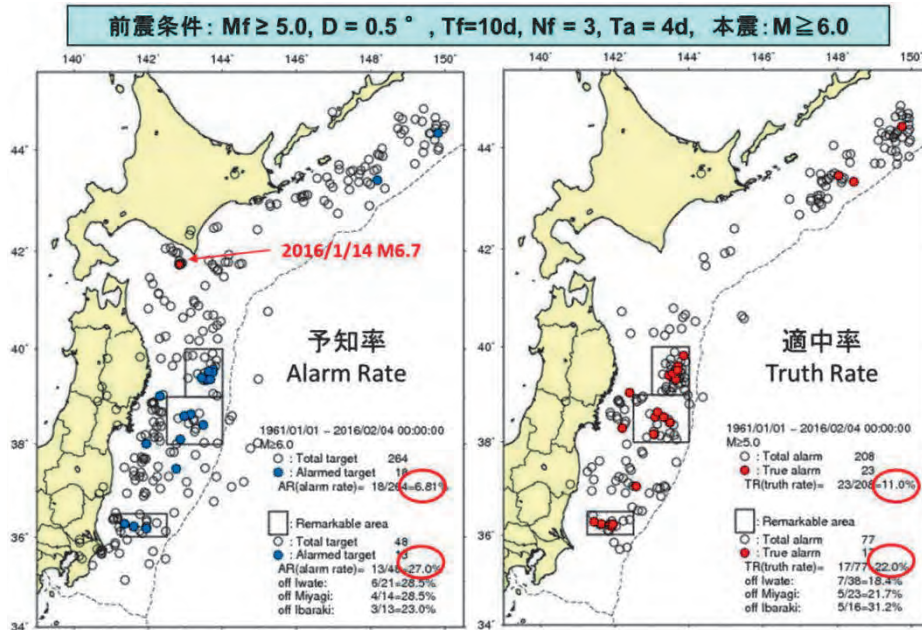
Table 1 Prediction results for each region.

地域 Regions		期間 Period	前震条件 Mf ₀ , D, Tf, Nf, Ta, 本震 Mm ₀	予知率 Alarm rate	適中率 Truth rate
日本海 溝沿い Along Japan trench	3地域 Specific 3 regions	1961~ 2016/2/3	5.0, 0.5, 10, 3, 4, 6.0	13/48 = 27(%)	17/77 = 22(%)
	全域(参考値) All over the region (reference)	1961~ 2016/2/3	5.0, 0.5, 10, 3, 4, 6.0	18/264 = 6.8(%)	23/208 = 11(%)
伊豆地域 Izu region		1977~ 2016/2/3	3.0, 0.2, 3, 3, 5, 5.0	44/65 = 68(%)	43/194 = 22(%)
長野県北中部 Nagano prefecture		1998~ 2016/2/3	2.0, 0.1, 1, 5, 5, 5.0	5/11 = 45(%)	8/69 = 12(%)
日本内陸(参考値) Inland Japan (reference)		1998~ 2016/2/11	2.0, 0.1, 1, 5, 5, 5.0	9/79 = 11(%)	11/607 = 1.8(%)



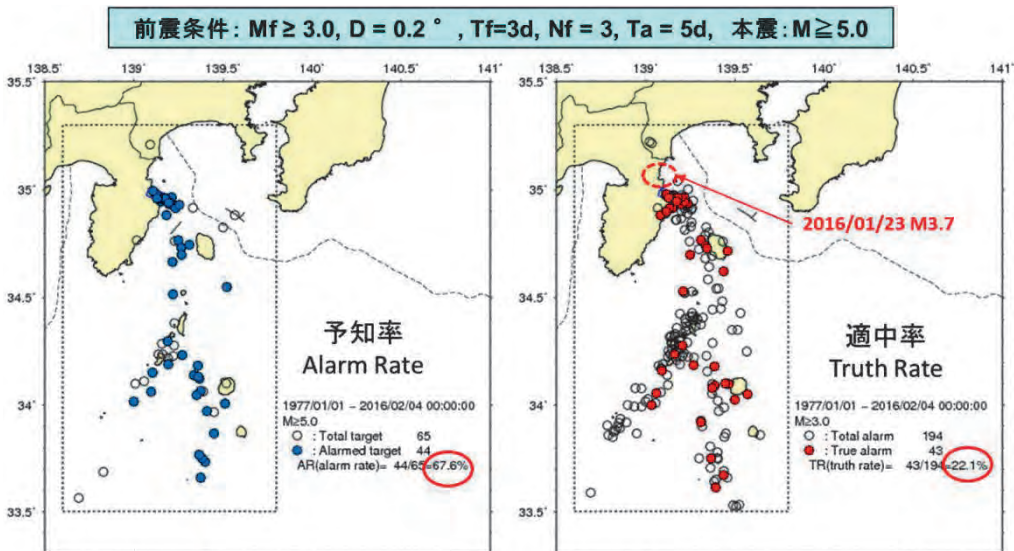
第1図 2015年8月1日~2016年2月4日の期間における日本付近で発生したM5以上の地震の震央分布. 緑色の領域は予測対象領域. 赤字はこの期間の主な地震活動.

Fig. 1 Epicentral distribution of earthquakes with M \geq 5.0 from 8/1/2015 to 2/4/2016. Regions enclosed by green lines are prediction target ones. Focused events are shown in red letters.



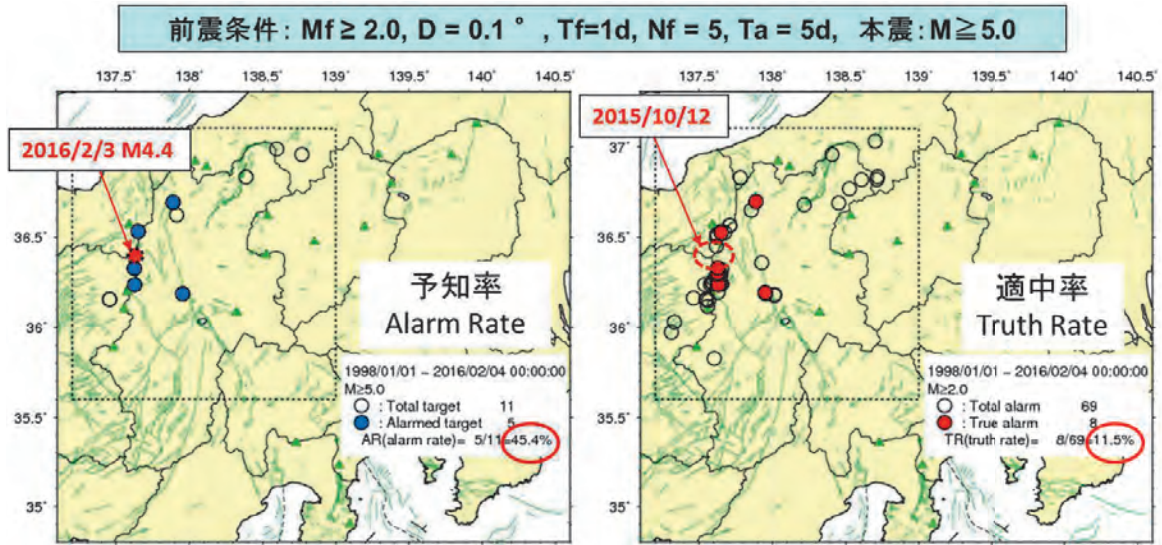
第2図 日本海溝沿いの地域で1961年1月1日から2016年2月4日までの期間における $M \geq 6.0$ の本震に対する予測結果。四角形で囲まれた3地域に対して最適化された前震候補を定義する最適パラメータ値を図の上を示す。(左) 予測対象の本震○と予測された本震●の震央分布図。(右) 前震候補○と予測が適中した真の前震●の震央分布図。

Fig. 2 Prediction results for $M \geq 6.0$ mainshocks along the Japan trench region from 01/01/1961 to 02/04/2016. The optimized foreshock parameter values for three regions enclosed by squares are listed at the top. (Left) Epicentral distribution of mainshocks preceded by foreshocks (blue solid circles) and by no foreshocks (open circles). (Right) Epicentral distribution of foreshock candidates followed by a mainshock (red solid circles) and by no mainshock (open circles).



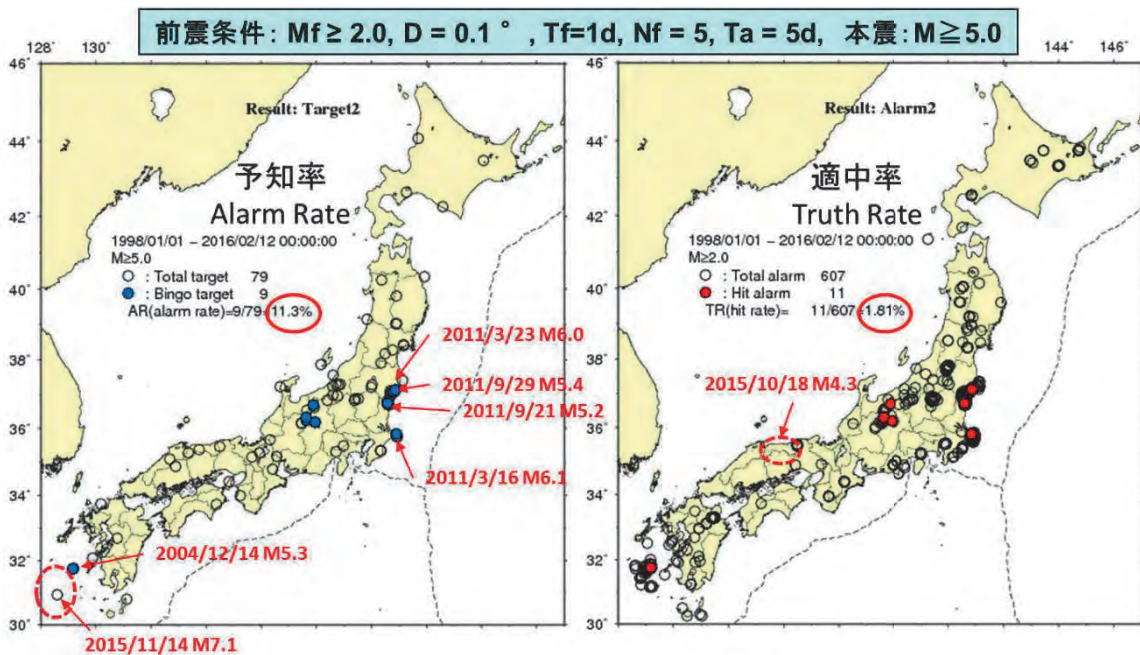
第3図 伊豆地域で1977年1月1日から2016年2月4日までの期間における $M \geq 5.0$ の本震に対する予測結果。前震の最適パラメータは図の上部に示す。凡例の説明は第2図と同じ。

Fig. 3 Prediction results for $M \geq 5.0$ mainshocks in the Izu region from 01/01/1977 to 02/04/2016. Optimized parameters are shown at the top. Legends are the same as those in Figure 2.



第4図 長野県北中部地域で1998年1月1日から2016年2月4日までの期間における $M \geq 5.0$ の本震に対する予測結果。前震の最適パラメータは図の上部に示す。凡例の説明は第2図と同じ。

Fig. 4 Prediction results for $M \geq 5.0$ mainshocks in the north-central Nagano prefecture region from 01/01/1998 to 02/04/2016. Optimized parameters are shown at the top. Legends are the same as those in Figure 2.



第5図 日本の内陸地域で1998年1月1日から2016年2月12日までの期間における $M \geq 5.0$ の本震に対する予測結果。前震の最適パラメータは長野県北中部地域のものを援用。凡例の説明は第2図と同じ。

Fig. 5 Prediction results for $M \geq 5.0$ mainshocks inland Japan from 01/01/1998 to 02/04/2016. Used parameters are those for the north-central Nagano prefecture. Legends are the same as those in Figure 2.