

4-2 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） Empirical forecast of mainshocks based on foreshock activities - Preliminary report for the region of north-central Nagano prefecture -

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】

2014年11月22日22時08分に長野県北部の神城断層付近でM6.7の地震が発生し（最大震度6弱）、負傷者や住家全半壊などの被害を生じた。気象庁の一元化カタログによると、この地震の約4日前の11月18日から19日にかけて、本震のごく近傍でM3クラス以下の地震が40個程度発生しており、小規模ながら活発な前震活動があったことを示している（第1図）。しかし、こういった前震活動と本震との因果関係は物理的には解明されておらず、本震発生前に前震を識別し、本震発生を高い精度で予測することは一般に困難である。

一方で、統一的に地震が発生しやすい特定の地域では、本震前に活発な地震活動がみられる場合があり、その統計的性質から本震発生を経験的に比較的効率よく予測できる場合がある¹⁾。そのような地域として、我々は日本海溝沿いの3領域や伊豆地域を指摘し、これらの領域における前震を基にした予測効率を明らかにしてきた²⁻⁴⁾。本論では、これまで提案してきた手法を上記の長野県北部の地震を含む長野県北中部の領域に適用し、この地域ではどのようなまとまった地震活動を前震活動とみなせば、過去の事例から経験的に本震（ここではM5以上とした）の予測に効率的であるかについて調査したので報告する。

【予測手法】

前震識別の手順及び予測効率について以下に示す。

- 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する。
- 2) 特定の大きさ（緯度 D° × 経度 D° ）のセグメントの中で、特定の規模（Mf）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）の候補とする。
- 3) その後特定の期間（Ta日）を警報期間とし、前震候補と同じセグメント内で警報期間中に本震が発生した場合に真の前震（群）であったと判定する。
- 4) この前震（群）の定義において、D, Mf, Tf, Nf, Taをパラメータとして、本震を予測するために効率のよい前震（群）のパラメータをグリッドサーチにより求める。

予測効率の指標としては、本震は時空間的に一定の発生率を持ってランダムに発生すると仮定したモデルを基準とし、前震候補による予測時空間における本震発生率が他の時空間より高いとする予測モデルとの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。

【データ及び解析結果】

1998年から2014年までの気象庁の震源カタログからM1以上、深さ30km以浅の地震に対し、D (0.1, 0.2, 0.3), Mf (1, 1.5, 2, 2.5, 3), Tf (1, 2, 3, 5, 10), Nf (1, 2, ..., 20), Ta (1, 2, ..., 30) の45000

ケースについてグリッドサーチを行った結果、長野県北中部地域(35.6°N–37.1°N, 137.2°E–139.0°E)のM5以上の本震を予測するには、一辺0.1°の大きさの矩形領域内に1日間にM2以上の地震が5個発生した場合を前震候補とし、その後5日間にM5以上の地震(余震は除く)が発生するという予測が予測効率として最も良いことが分かった(第1表)。このパラメータ値を選択した場合、予知率は約45%(=5/11)、適中率は約12%(=8/69)、PG=333、dAIC=66であり、冒頭の長野県北部の地震も予測された地震に含まれる(第2図)。言い換えると、長野県北中部においては、2014年11月22日の本震の約4日前からみられたような(上記のパラメータで定義される)地震活動がM5.0以上の本震に至る割合は約12%であり、M5.0以上の地震の約45%はそのような(上記のパラメータで定義される)前震活動を伴う、といえる。

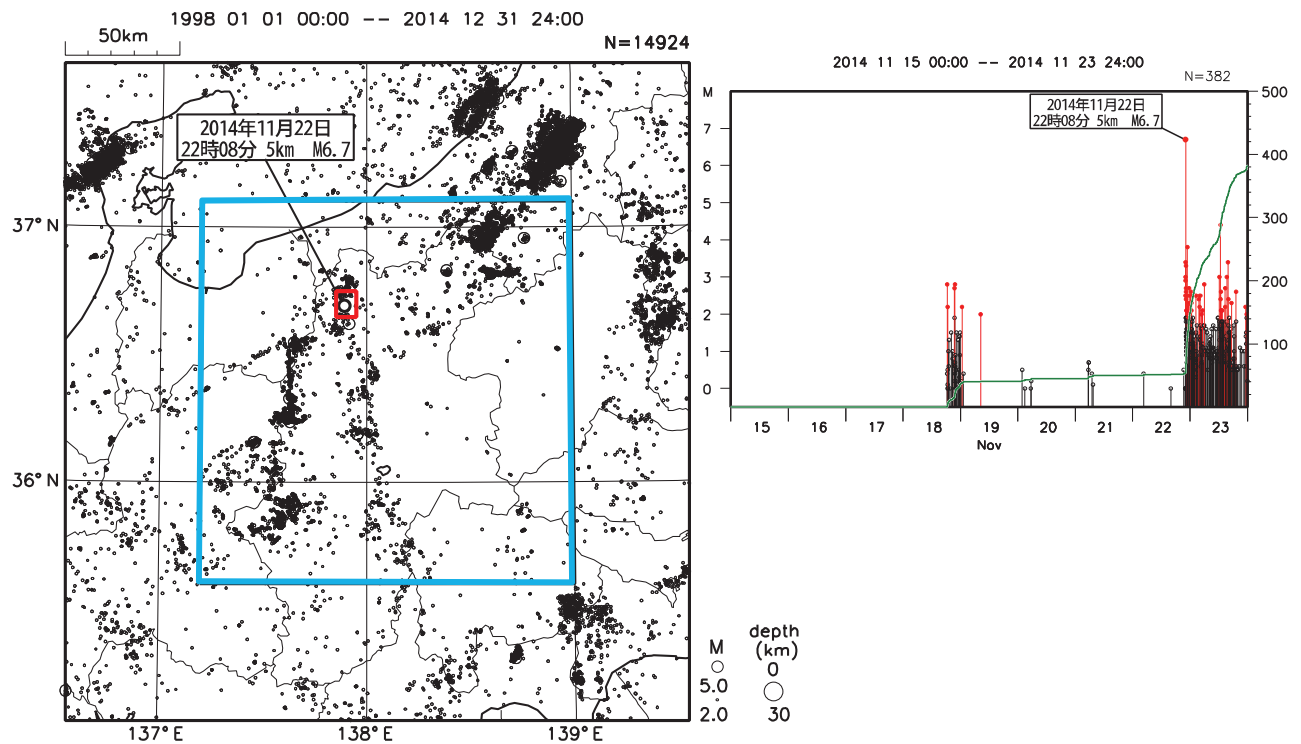
これまでの日本海溝沿いや伊豆地域に対する同様な調査から、それぞれの地域に最適な前震パラメータを用いることにより、日本海溝沿いの特に予測効率の良い特定の3領域での予知率は約38%(=11/29)、適中率は約30%(=13/44)であり²⁾、伊豆地域での予知率は約68%(=44/65)、適中率は約23%(=46/196)である³⁾ことが分かっている。このように、前震活動に基づく本震発生の予測効率は地域によって差がみられる。

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) 前田憲二・弘瀬冬樹 (2013), 前震の経験則に基づく地震発生予測—伊豆地域への適用—, 日本地震学会 2013 年秋季大会, C22-11.
- 4) Maeda, K. and F. Hirose (2014), Prediction performance of empirically defined foreshocks in the Izu region, Japan Geoscience Union Meeting 2014, SSS01-06.

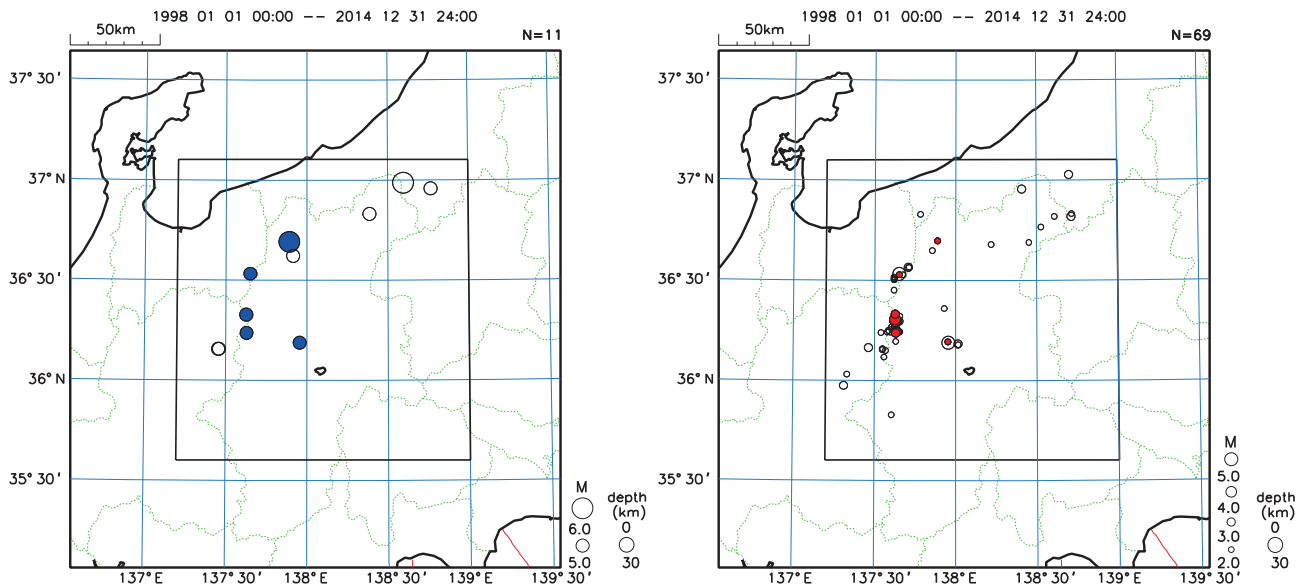
第1表 最適パラメータ
Table 1 Optimal parameters

予測対象	期間	1998/01/01-2014/12/31
	領域	N35.6-37.1°, E137.2-139.0°
	グリッド間隔	0.05°
	深さ	0-30 km
	規模	M5以上
前震候補(D, Tf, Mf, Nf)	各グリッドを中心とする0.1° × 0.1° の空間に、1日間にM2.0以上の地震が5個発生した時点のイベント	
アラーム期間(Ta)	前震候補の発生から5日間	



第1図 (左) 解析対象とした領域 (図中の青枠内) 及び周辺の地震活動。(右) 左図の赤枠内における2014年11月22日の地震(M6.7) 前の前震活動を含む期間を拡大したM-T図および回数積算図。ただし、全てのMをプロットし、最適パラメータMf=2.0以上のイベントを赤棒で示す。

Fig.1 (Left) Epicentral distribution of earthquakes with $M \geq 2$ and depth ≤ 30 km from 1998 to 2014. The investigated region is enclosed by the blue line.
(Right) Magnitude-time plot and cumulative-number-time plot with all magnitude from Nov. 15th to 23th in 2014 in the red area in the left figure. Red bars show events with $M \geq M_f = 2.0$ which gives the best performance to predict mainshocks.



第 2 図 (左) 予測対象の本震○と予測された本震●の震央分布図. 予測対象本震のうち予測された割合を表す予知率は約 45% (=5/11). (右) 前震候補○と予測が適中した真の前震●の震央分布図. 前震候補のうち真の前震の割合を表す適中率は約 12% (=8/69).

Fig. 2 (Left) Epicentral distribution of target mainshocks preceded by foreshocks (solid circles) and by no foreshocks (open circles). The alarm rate which denotes the fraction of mainshocks preceded by foreshocks is about 45% (=5/11). (Right) Epicentral distribution of foreshock candidates followed by a mainshock (solid circles) and by no mainshock (open circles). The truth rate which denotes the fraction of foreshock candidates followed by a mainshock is about 12% (=8/69).