

## 10 - 5 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 (7) : 最近の活動事例による検証

### Earthquake forecasting method by supposing swarm-like activity to be possible foreshocks (7): its performance for recent seismicity data

弘瀬冬樹・前田憲二 (気象研究所)

HIROSE Fuyuki & MAEDA Kenji (Meteorological Research Institute)

#### 1. はじめに

本報告では前震活動に基づく予測モデル (以下, 本予測モデル)<sup>1)</sup>を用い, 前回までの報告<sup>2)7)</sup>以降の約 2 年間における予測結果を報告する.

#### 2. 前震活動に基づく予測モデルの成績 (過去 2 年間)

前回の報告<sup>7)</sup>に引き続き 2021 年 10 月 1 日~2023 年 9 月 30 日の 2 年間の本震発生の予測結果の調査を行った. 今期間, ターゲット地震の発生の予測に成功した事例はなかった. 各領域における予測結果の状況は以下のとおりである (第 1 図参照).

- (a) 日本海溝沿い 3 領域: ターゲット地震が 1 回 (2023/8/25 M6.0) 発生した. その地震前にサーチ対象の M5.0 以上の地震は発生しなかったため, 見逃しとなった. 前震候補は今期発生しなかった.
- (b) 伊豆地域: ターゲット地震が 1 回 (2023/05/22 M5.3) 発生した. 約 6 時間前に M4.2 の地震とその余震 (M3 未満) が発生しているが, 前震候補の基準を満たさなかった. 前震候補は今期間 4 回発生したが, いずれもその後ターゲット地震は発生しなかった.
- (c) 長野県北中部: ターゲット地震は発生しなかった. 前震候補となる地震は 7 回発生したが, いずれもその後ターゲット地震は発生せず, 空振りとなった.
- (d) 九州中部: ターゲット地震は発生しなかった. 前震候補は 1 回発生したが, その後ターゲット地震は発生しなかった.
- (e) 山陰地方: ターゲット地震も前震候補も発生しなかった.

予測対象領域におけるこれまでの予測成績を第 2 図にまとめた. 矢印の左側の数値はそれぞれの領域の最適化期間 (図中に表示) における成績を示し, 右側の数値は最適化期間を含む 2023 年 9 月 30 日までの通算の成績を示す. 見逃し・空振りにより, 山陰地方を除く領域において成績 (予知率 or 適中率) は若干低下した.

第 1 表に最適化期間及び通算期間に対する成績一覧を記載する. ここで,  $D$ ,  $Mf_0$ ,  $Mm_0$ ,  $Tf$ ,  $Nf$ ,  $Ta$  はそれぞれセグメントサイズ ( $^{\circ}$ ), 前震のマグニチュード下限, 本震のマグニチュード下限, 前震候補抽出の時間窓 (日), 前震候補抽出の地震個数, アラーム期間 (日) を表す.

成績の評価には次の定義による指標を用い, いずれも大きいほど性能が高いことを示す.

- 予知率 (AR) = 予測されたターゲット数 (A) / 全ターゲット数 (C)
- 適中率 (TR) = 適中したアラーム数 / 全アラーム数
- 確率利得 (PG) = アラーム時空間 (B) 内のターゲット発生率 / 全時空間 (D) 内のターゲットの発生率 =  $(A/B)/(C/D) = (A/C)/(B/D) = \text{予知率} / \text{警報分率}$

- $\Delta AIC = \text{定常ポアソンモデルによる AIC} - \text{予測モデルによる AIC}$   
 $= 2 * C * AR * \log(PG) + 2 * C * (1 - AR) * \log((1 - AR) / (1 - AR / PG)) - 2$

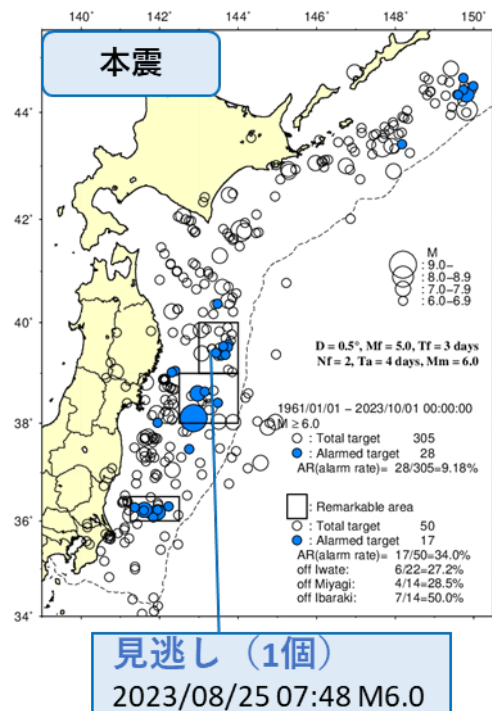
### 3. まとめ

- この 2 年間で見逃し・空振りにより予知率 or 適中率は若干低下
- ただし、期間が延びた割にはターゲット地震の発生数が少なかったため、確率利得と  $\Delta AIC$  は若干上昇

### 参考文献

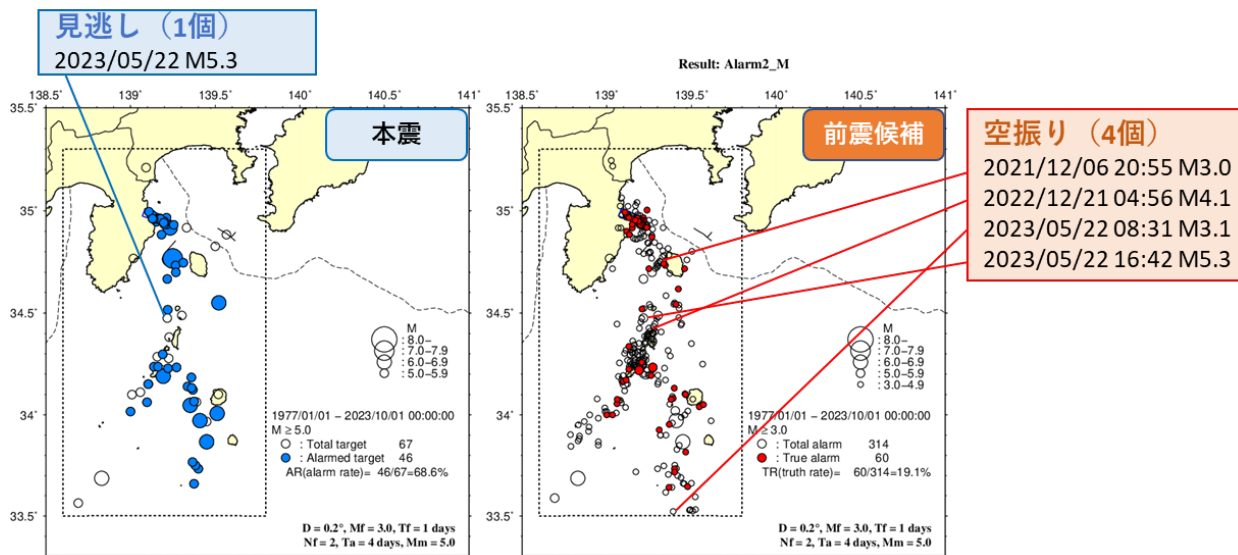
- 1) Maeda, K. (1996), The use of foreshocks in probabilistic prediction along the Japan and Kuril trenches, *Bull. Seism. Soc. Am.*, **86**, 242-254.
- 2) 気象研 (2016), 予知連会報, **95**, 415-419.
- 3) 気象研 (2016), 予知連会報, **96**, 476-480.
- 4) 気象研 (2017), 予知連会報, **98**, 465-469.
- 5) 気象研 (2019), 予知連会報, **101**, 492-494.
- 6) 気象研 (2020), 予知連会報, **103**, 356-360.
- 7) 気象研 (2022), 予知連会報, **107**, 539-546.

(a) 日本海溝 3 領域



前震候補：ナシ

(b) 伊豆地域



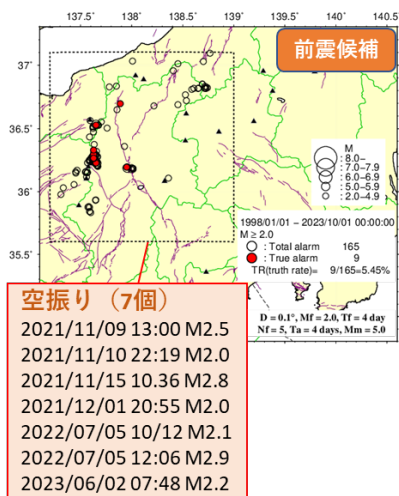
第 1 図 各領域における最近約 2 年間 (2021 年 10 月～2023 年 9 月) の予測結果。予測が適中した地震はなかった。吹き出しに見逃し及び空振りの数を示す。(a) 日本海溝 3 領域, (b) 伊豆領域。(続く)

Fig. 1 Forecast results in each region from 10/1/2021 to 9/30/2023. No target event was forecasted. Number of missed targets and false alarms are shown in balloons.

(a) 3 regions in Japan trench, (b) Izu region. (To be continued)

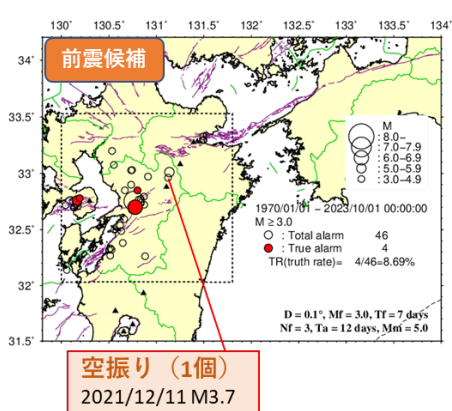
(c) 長野県北中部

ターゲット地震：ナシ



(d) 九州中部

ターゲット地震：ナシ



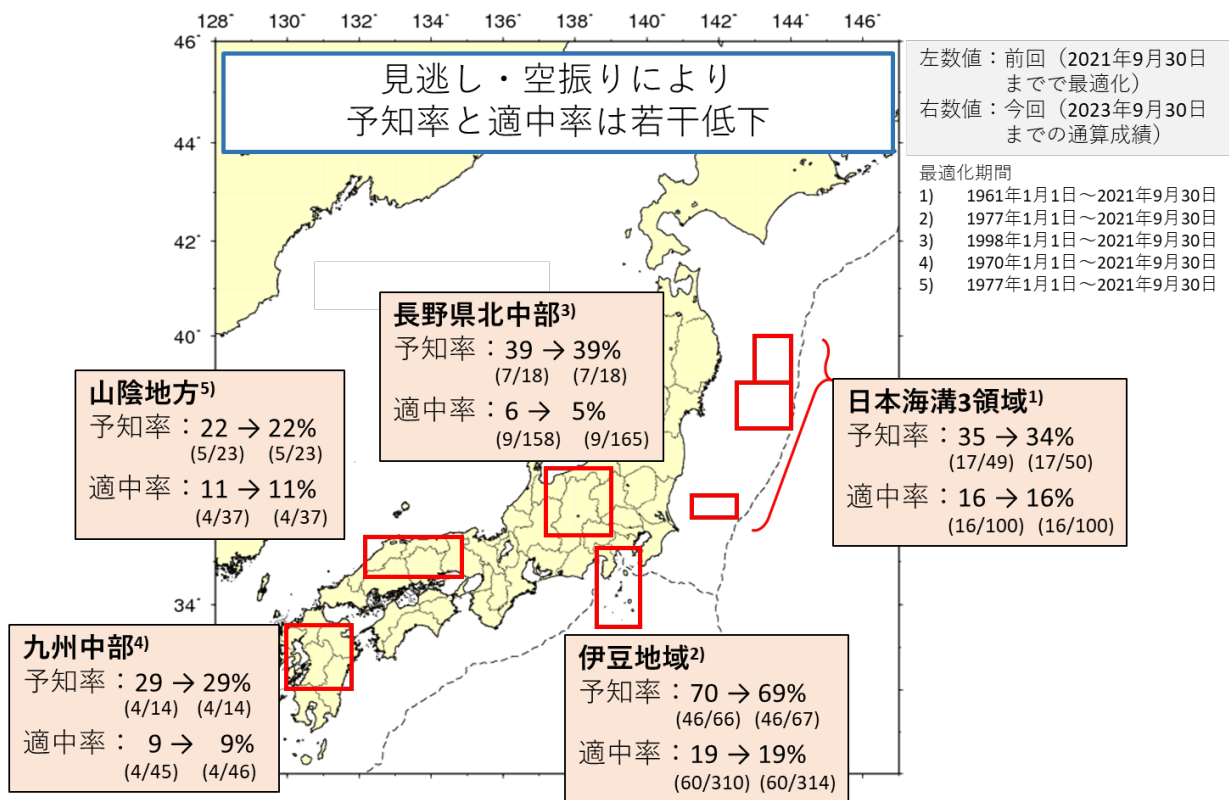
(e) 山陰地方

ターゲット地震：ナシ

前震候補：ナシ

第 1 図 (続き) (c) 長野県北中部, (d) 九州中部, (e) 山陰地方

Fig. 1 (Continued) (c) North-central part of Nagano, (d) Central part of Kyushu, (e) San'in region.



第 2 図 各領域及び期間における本予測モデルの予測成績の変化。矢印の左は最適化期間 (～ 2021 年 9 月末) の成績を、右は 2023 年 9 月末までの通算の成績を示す。

Fig. 2 Forecast result variation for each region since the forecast test began. The left side of arrows indicates results for optimizing period (to 9/30/2021), and the right for throughout the test period until 9/30/2023.

第 1 表 各地域・期間ごとに用いた予測パラメータと予測成績。(上段)前回の通算成績(～2021 年 9 月 30 日)。(下段)今回の通算成績(～2023 年 9 月 30 日)。ここで、D、Mf<sub>0</sub>、Mm<sub>0</sub>、Tf、Nf、Ta はそれぞれセグメントサイズ(°)、前震のマグニチュード下限、本震のマグニチュード下限、前震候補抽出の時間窓(日)、前震候補抽出の地震個数、アラーム期間(日)を表す。

Table. 1 Optimum parameters and forecast performance for each region and periods. Top: results for the total period up to (Top) 9/30/2021 and (Bottom) 9/30/2023.

前回の報告 (通算期間の再最適化による成績)

(※D,Mf<sub>0</sub>は固定しTf,Nf,Taを再最適化)

領域	期間	前震条件と本震M (D,Mf <sub>0</sub> ,Tf,Nf,Ta), Mm <sub>0</sub>	予知率	適中率	確率利得	ΔAIC
日本海溝3領域	1961～2021/9/30	0.5, 5.0, 3, 2, 4, 6.0	17/49 = 35(%)	16/100 = 16(%)	192	150
伊豆地域	1977～2021/9/30	0.2, 3.0, 1, 2, 4, 5.0	46/66 = 70(%)	60/310 = 19(%)	332	484
長野県北中部	1998～2021/9/30	0.1, 2.0, 4, 5, 4, 5.0	7/18 = 39(%)	9/158 = 6(%)	1024	84
九州中部	1970～2021/9/30	0.1, 3.0, 7, 3, 12, 5.0	4/14 = 29(%)	4/45 = 9(%)	1083	47
山陰	1977～2021/9/30	0.1, 3.0, 1, 2, 24, 5.0 (適中率 ≥ 5%を条件)	5/23 = 22(%)	4/37 = 11(%)	364	48

今回

領域	期間	前震条件と本震M (D,Mf <sub>0</sub> ,Tf,Nf,Ta), Mm <sub>0</sub>	予知率	適中率	確率利得	ΔAIC
日本海溝3領域	1961～2023/9/30	0.5, 5.0, 3, 2, 4, 6.0	17/50 = 34(%)	16/100 = 16(%)	195	150
伊豆地域	1977～2023/9/30	0.2, 3.0, 1, 2, 4, 5.0	46/67 = 69(%)	60/314 = 19(%)	336	485
長野県北中部	1998～2023/9/30	0.1, 2.0, 4, 5, 4, 5.0	7/18 = 39(%)	9/165 = 5(%)	1040	84
九州中部	1970～2023/9/30	0.1, 3.0, 7, 3, 12, 5.0	4/14 = 29(%)	4/46 = 9(%)	1096	47
山陰	1977～2023/9/30	0.1, 3.0, 1, 2, 24, 5.0 (適中率 ≥ 5%を条件)	5/23 = 22(%)	4/37 = 11(%)	386	49

※下段の赤字は上段から変わった数値

※各表中の確率利得は地震が1個以上発生したセグメントを対象とした背景地震発生率から算出