

12 - 10 前震による確率予測 - 日本海溝沿い領域について -

Probabilistic Forecasting on the Basis of Foreshock Activity Along the Japan Trench

前田憲二・弘瀬冬樹（気象庁気象研究所）

Kenji Maeda and Fuyuki Hirose

(Meteorological Research Institute, JMA)

1. はじめに

前震活動は本震を予測するうえで有望な現象であると期待されている一方で、実際には本震が発生する前に前震を通常の地震活動から識別することは簡単ではない。特に、前震の理論的あるいは決定論的識別法は確立されておらず、予測のための前震の活用法としては過去の事例に基づいた統計的・確率論的なアプローチが現実的な方法である^{1), 2), 3)}。本報告では、Maeda²⁾の前震活動に基づいた本震の確率的予測手法を紹介するとともに、その手法を1994年から2009年までの日本海溝沿いの地震活動に適用した場合の予測効率の結果について報告する。

2. 予測手法及び予測効率の指標

Maeda²⁾は本震の直前に複数の前震が発生する場合があることに着目し、どのような地震活動を直前の前震活動とみなせば本震発生の予測に有効かについて調べた。その手順は以下のとおりである。

1) 余震活動の除去

規模の小さな余震活動を取り除くため、余震活動に関するUtsu^{4), 5)}の研究結果を基に、すべての地震を本震とみなした時の以下の条件を満たす地震を余震として解析データから除去した。

距離に関する条件： $\log L \leq 0.5 M_m - 1.8$

時間に関する条件： $t \leq 10^{[0.17+0.85(M_m-4.0)]/1.3} - 0.3$

規模に関する条件： $M_a < M_m - M_d$ ($M_d = 1.0$)

ここで、 L は本震からの距離、 M_m 、 M_a は本震および余震の規模、 M_d (=1.0に固定)は本震と余震の規模の差である。

2) 前震候補の選定

規模の小さな余震を取り除いたデータに対し、対象とする領域をセグメント(緯度 $D^\circ \times$ 経度 D°)に分割し、そのセグメントの中で、特定の期間($T_f = 10$ 日と固定)の間に特定の数(N_f)の地震(規模が M_f 以上)が発生した時、前震(群)の候補とみなし、その地震の発生時を前震の発生時とする。

3) 警報期間の設定

前震候補が発生した時、その後特定の期間(T_a 日)を警報期間とし、その間に本震が発生した場合に前震候補が真の前震であったと判定する。

4) 予測効率の指標およびパラメータ値の決定

上記の前震候補の選定手順により、 M_f 、 D 、 N_f 、 T_a を様々に変化させ、本震を予測するために

効率のよい前震のパラメータを求める。予測効率の指標としては、以下の4つの指標を用い、総合的にはdAICの値を基にパラメータの値を決定した。

予知率 (AR) = (予測された本震の数) / (本震の総数)

適中率 (TR) = (予測が適中した前震候補の数) / (前震候補の総数)

確率利得 (PG) = (予測された時空間における本震発生率) / (全時空間における本震の平均発生率)

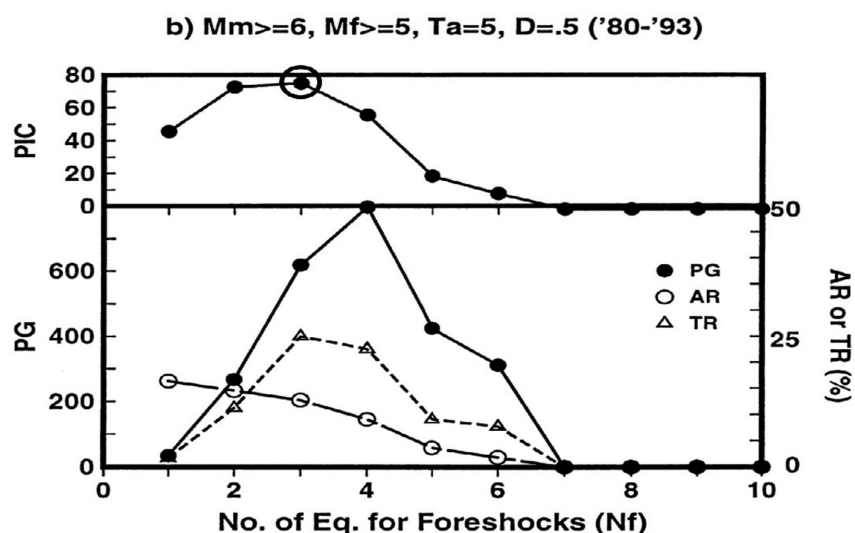
dAIC = (前震候補による予測モデルの AIC 値) - (定常ポアソンモデルによる AIC 値)

3. 予測結果

上記の手順により、北日本太平洋側の日本海溝沿いの領域で発生した地震について1980年から1993年までの気象庁の震源データを用いて解析を行ったところ、 $M \geq 6$ の本震に対し、 $M_f=5.0$, $D=0.5^\circ$, $N_f=3$ 個, $T_a=5$ 日とした場合が予測効率が高く、予知率=13%, 適中率=25%, 確率利得=617倍という結果が得られた²⁾。第1図に M_f , D , T_a を固定し、 N_f の値を変化させたときの予測効率の指標の変化の様子を示す。 $N_f=3$ のときPIC値⁶⁾(dAIC値とほぼ等価)が最大であることが分かる。Maeda²⁾の解析後、気象庁のマグニチュードが2003年に改定されたため、改定後の震源データを用い、同じ期間のデータについて再解析を行ったところ、同じ前震候補選定のパラメータ値に対し、予知率=13%, 適中率=19%, 確率利得=365倍という結果となった。この予測手法を検証するため、同じ前震候補選定のパラメータを用いて1994年から2009年までのデータに適用したところ、予知率=4%, 適中率=8%, 確率利得=217倍となり、予測効率はモデル作成期間に比べ低下する結果となった。しかし、dAIC値は16であり、定常ポアソンモデルによる予測よりは有意に有効である。また、1980年から2009年までの通算では予知率=8%, 適中率=15%, 確率利得=327倍となった。第2図に1980年から2009年までの期間における予知率および適中率の空間分布を示す。前震活動には明瞭な地域性がみられ、特に茨城県沖、宮城県沖、岩手県沖の一部の領域では $M \geq 6$ の本震に対し上記のパラメータによって定義される前震活動が伴う場合が多いことが分かる。これらの領域に限れば、1980～2009年の期間について、予知率=14～50%, 適中率=24～44%であり、前震活動が本震の予測に有効に活用できる可能性がある。

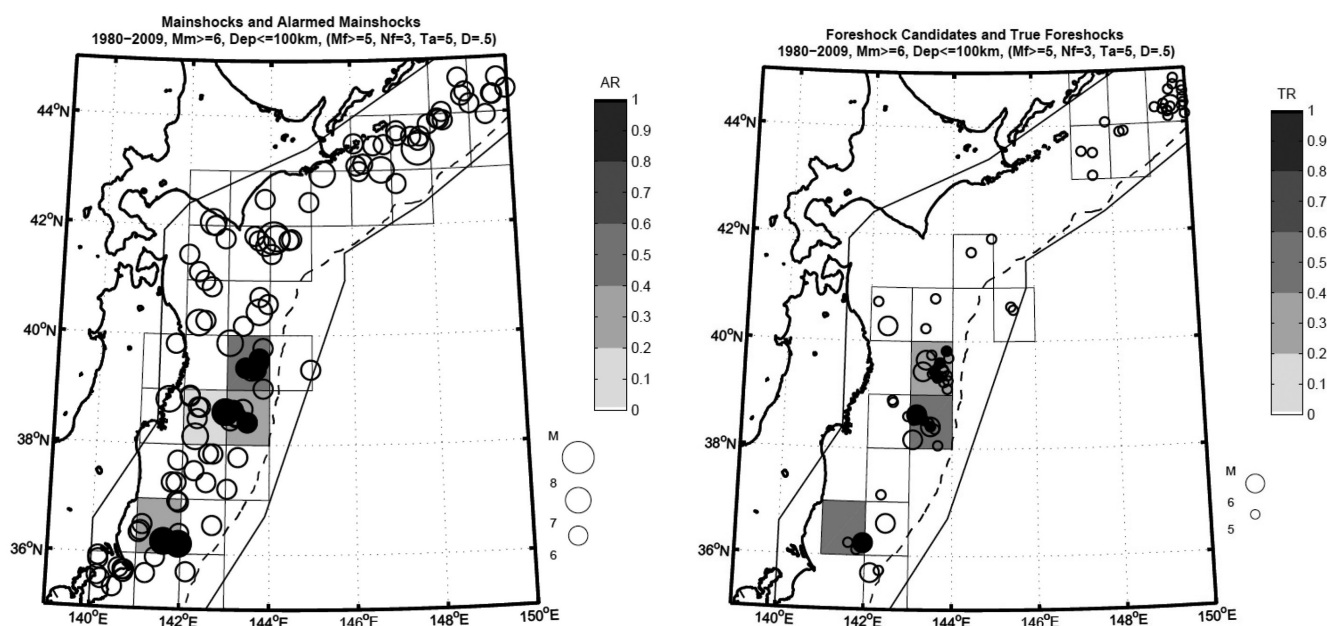
参 考 文 献

- 1) Jones, L.M., 1985, Foreshock and time-dependent earthquake hazard assessment in southern California, Bull. Seism. Soc. Am., 75, 1669-1679.
- 2) Maeda, K., 1996, The use of foreshocks in probabilistic prediction along the Japan and Kuril trenches, Bull. Seism. Soc. Am., 86, 242-254.
- 3) Ogata, Y., 1996, Statistical discrimination of foreshocks from other earthquake clusters, Geophys. J. Int., 127, 17-30.
- 4) Utsu, T., 1961, A statistical study on the occurrence of aftershocks, Geophys. Mag., 30, 521-605.
- 5) Utsu, T., 1970, Aftershocks and earthquake statistics (2) further investigation of aftershocks and other earthquake sequences based on a new classification of earthquake sequences, J. Fac. Sci. Hokkaido Univ., Ser. 7, 3, 197-266.
- 6) 井元政二郎, 1994, 前兆現象の性能評価について, 地震 2, 47, 137-142.



第1図 前震候補を定義するための地震の数 (N_f) の変化による $M \geq 6$ の本震に対する予測効率の変化. 他のパラメータは $M_f=5$, $D=0.5^\circ$, $T_a=5$ 日に固定. PG, AR, TR はそれぞれ確率利得, 予知率, 適中率を示す. $PIC^{(6)}$ は dAIC とほぼ等価な予測効率の総合指標. (Maeda²⁾ に一部加筆).

Fig. 1 Variation of forecast efficiency as a function of number of earthquakes that define foreshock candidates. M_f , D , and T_a are fixed at 5, 0.5° , and 5 days, respectively. PG, AR, and TR represent probability gain, alarm rate, and truth rate, respectively, and $PIC^{(6)}$ is almost the same as dAIC defined as the difference of log-likelihood between a foreshock model and a stationary Poisson model. (modified from Maeda²⁾)



第2図 1980年から2009年までの期間における前震活動に基づく $M \geq 6$ の本震発生の予測結果. a) 白丸は予測対象の $M \geq 6$ の本震, 黒丸は前震活動により予測された本震, 背景の色は領域ごとの予知率. b) 白丸は前震候補, 黒丸は予測が適中した前震候補, 背景の色は領域ごとの適中率.

Fig. 2 Forecast results for mainshocks with $M \geq 6$ in the period from 1980 to 2009 basing on foreshock activities. a) Open circles denote target mainshocks and closed ones forecasted mainshocks. Background color represents alarm rate for each region. b) Open circles denote foreshock candidates and closed ones true foreshocks. Background color represents truth rate for each region.