

前震識別とその予測可能性

Discrimination of Foreshocks and Its Predictability

モデリング研究系 野村 俊一 (Shunichi Nomura)

要 旨

一連した地震の群れの中の最大地震すなわち本震には、しばしば前震と呼ばれる先行活動が見られ、本震を事前予測する重要な手がかりとなる。本稿では、地震カタログから構成したクラスター（地震群）の時空間的配置および地震規模推移を特徴量として、地震群が前震である確率および一定期間に一定規模の本震が起こる確率を評価する研究について解説する。

キーワード：地震予測，前震，クラスタリング，ロジスティック回帰，スプライン関数

1. はじめに

大地震の後には多数の余震が発生するが、ときに大地震に先駆けて地震が集中して起こることがあり、これを前震活動という。もしも大地震が実際に起こるより前にその前震活動を特定することができれば、大地震を短期的に予測することが可能となる。前震活動とその他の地震活動との完全な事前判別は困難であるが、Ogata et al.(1995)によると前震活動とその他の地震活動では、地震間の時空間的距離やマグニチュード差の傾向に違いがある。以降では、野村・尾形(2018)を例に前震識別の方法論を3つの段階に分けて解説する。

2. 地震群（前震群候補）の構成

まず、地震活動を地震の群れとして捉えるために、地震活動の点群に対してクラスタリング手法を用いて地震群を構成する。ここではOgata et al.(1995)に倣いSingle-link法を採用し、日本のマグニチュード4以上の地震について、震央間距離 $\Delta d(\text{km})$ と時間距離 $\Delta t(\text{日})$ が $\sqrt{(\Delta d)^2 + (c\Delta t)^2} \leq 33.33$ を満たす地震同士を連結していくことでクラスター（地震群）を構成した。ただし、 $c = 1.11(\text{km/日})$ とおいた。

3. 前震群候補からの特徴量抽出と前震群の定義

次に、構成した地震群内の各地震に対して、その時点までに発生した地震のみからなる部分群を作り、前震群候補とする。さらに、実際の前震群を定義付けた上で、前震群候補である部分群から、前震群の識別に有効な特徴量を抽出する。ここでは、図1のように部分群の最後の地震発生時点から30日以内に、部分群内の最大マグニチュードを超える地震が起きたときに前震群であると定義し、その事前識別のため各部分群から次の特徴量を抽出した。

- 群内の地震数： $N \geq 2$
- 群内の一番目・二番目に大きいマグニチュード： M_1, M_2
- 群内の期間長： T (日)

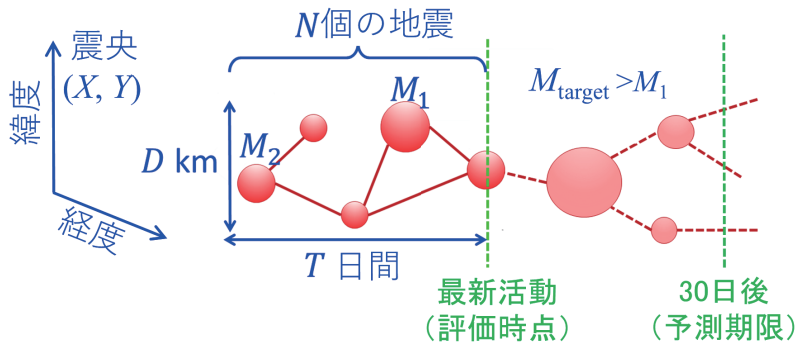


図 1. 前震群候補から抽出する特徴量と前震群の定義

- 群内の平均震央間距離： D (km)
- 群内の中心経度・緯度： (X, Y) (度)

4. 前震群候補の前震確率評価

最後に、前震群候補である部分群について抽出した特徴量に基づき、前震群であるかどうかを確率で評価することにより識別する。ここでは、ロジスティック回帰を用いて前震確率 p を

$$\text{logit} p = \log \frac{p}{1-p} = g(X, Y) + f_1(N, M_1, M_2) + f_2(N, M_1, T) + f_3(N, M_1, D) + \varepsilon_i$$

のように評価した。右辺第 1 項 $g(X, Y)$ は地域による前震確率の変化を表しており、薄板スプライン関数を用いて推定する。 $f_1(N, M_1, M_2)$, $f_2(N, M_1, T)$, $f_3(N, M_1, D)$ は相関の強い特徴量の組合せごとに、特徴量による前震確率への影響を表しており、それぞれ 3 次 B-スプライン関数を用いて推定する。最後の項は、上記には含まれない前震確率に影響する特徴量の効果を、地震群 i ごとの変量効果として取り入れたものである。

1926 年から 1999 年までの気象庁カタログから、前震確率の評価式を学習し、2000 年から 2017 年 10 月までの同カタログに適用して前震確率を評価した結果、最大で 80% 前後の前震確率となった地震群が 2 つあり、そのいずれもが実際にマグニチュード 6 以上の本震を起こした。

5. まとめ

本稿では、進行中の地震群が大地震前の前震活動であるかについて、地震群の特徴量に基づいて確率的に識別する方法を解説した。前震識別に基づく地震予測手法は、短期間での大規模地震の予測について比較的高い発生確率を与える数少ない手法であり、まだ改善の余地は大きいものの、将来的には大地震のリアルタイム予測へと実装されることを期待する。

参 考 文 献

- 野村俊一, 尾形良彦 (2018). マグニチュードと時空間情報に基づく前震確率評価モデルの識別性能, 「地震予知連絡会会報」, **99**, 1-6
- Ogata, Y., Utsu, T. and Katsura, K. (1995). Statistical features of foreshocks in comparison with other earthquake clusters, *Geophysical Journal International*, **121**, 233-254.