

前震活動の統計的識別による短期地震予測

野村 俊一 モデリング研究系 助教

概要

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。現時点では前震活動とその他の地震活動の完全な区別は困難であるが、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り、この傾向を利用して、前震活動の確率的識別を行い、大地震の短期予測を目指す。

方法

右図に示す3つのステップに沿って、ある地震活動が前震である確率を評価する。

Step1. 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、クラスタリング手法(Single-link法)を用いて地震群を構成する。右図の時空間距離の条件を満たす地震のペアを連結していくことで、地震群が構成される。時空間的距離の条件は、日数換算で30日以内、震央距離換算で0.3度(33.33km)以内としている。

Step2. 前震群候補からの特徴量抽出と、前震群の定義
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。前震群候補である部分群から、次の情報を前震群識別のための特徴量として抽出する。

- 地震群構成数: $N (\geq 2)$
- 群内の最大マグニチュード: M_1
- 群内の二番目に大きいマグニチュード: M_2
- 地震群の発生期間: T (日)
- 群内の平均震央間距離: D (km)
- 地震群の中心経度・緯度: X, Y (度)

そして、右図に示すように、前震群候補である部分群の最後の地震発生時点から30日以内に、部分群の最大地震を上回るマグニチュード $M_{\text{target}} > M_1$ をもつ地震が起きたとき、前震群候補は実際に前震群であると定義する。

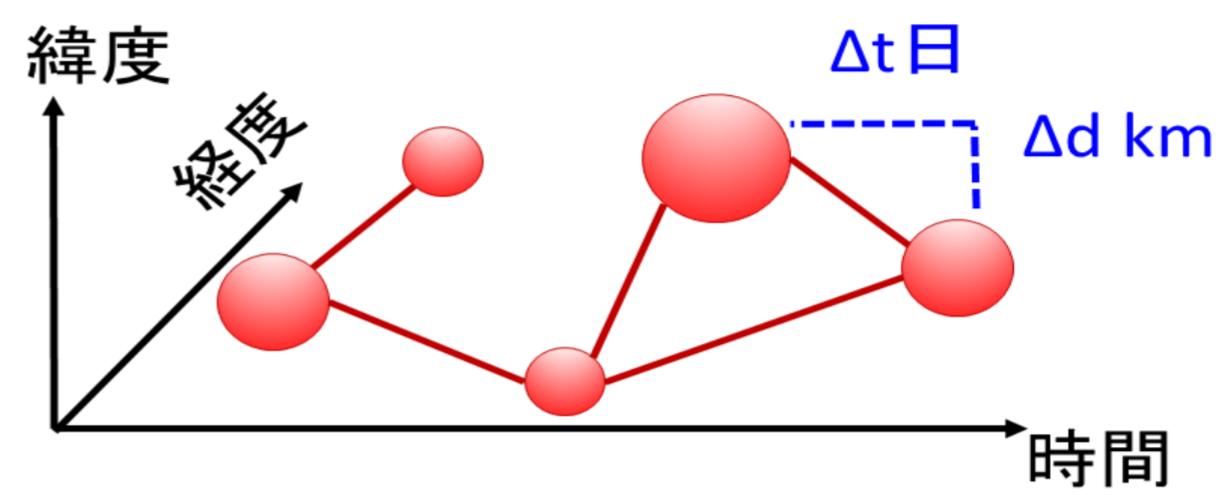
Step3. 前震群候補の前震確率評価

前震群候補が上に定義した前震群である確率について、右に示した非線形ロジスティック回帰により評価する。ここで、 $\text{logit } p = \log\{p/(1-p)\}$ は確率 p の値を $0 < p < 1$ の範囲へ制限するロジット関数である。関数 f_1, f_2, f_3, g は特徴量が前震確率に与える影響を表し、スプライン関数を用いて右図のように推定されている。最後の項には、上に挙げた特徴量では表しきれない前震確率の変動をクラスター毎の変量効果として取り入れたものである。

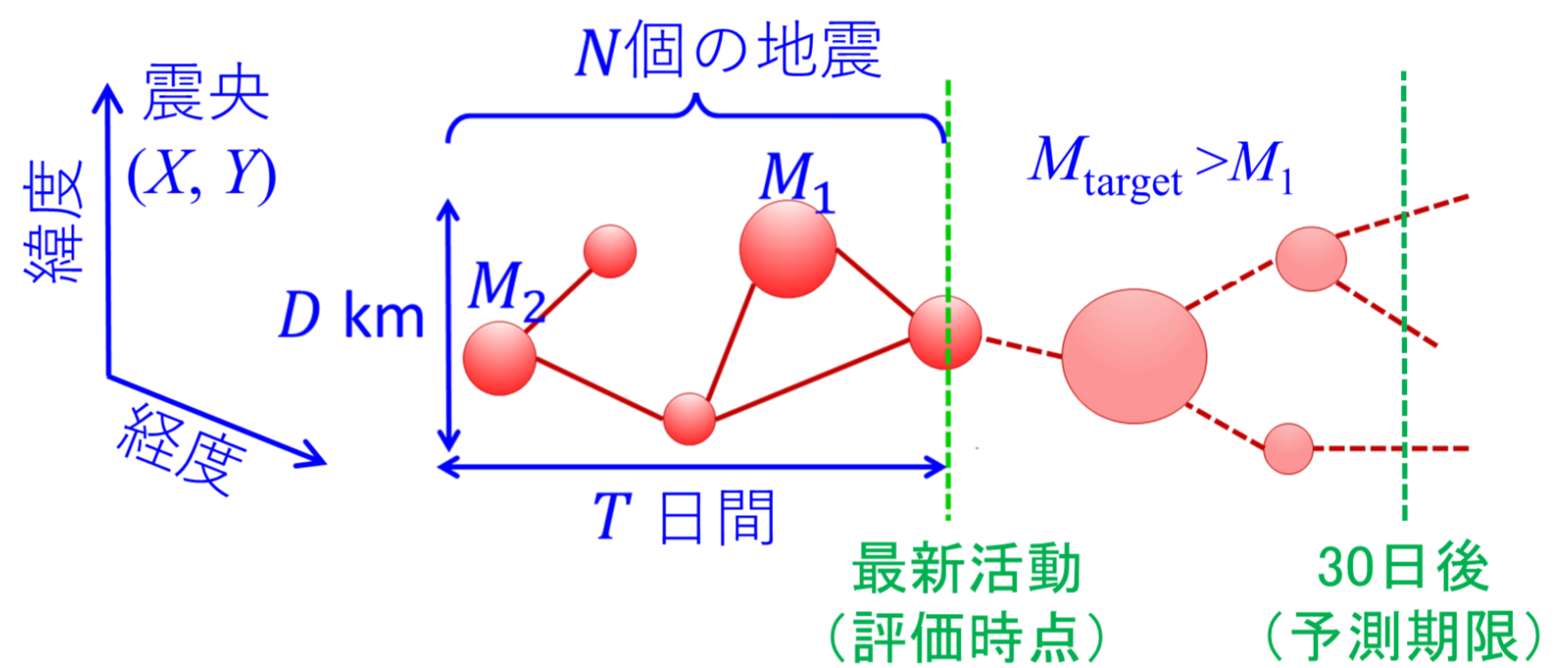
Step1. 地震群(前震群候補)の構成(クラスタリング)

$$\sqrt{(\Delta d)^2 + (c\Delta t)^2} \leq 33.33\text{km} \quad (c=1.11 \text{ km/日})$$

を満たす地震同士を連結してクラスターを作る



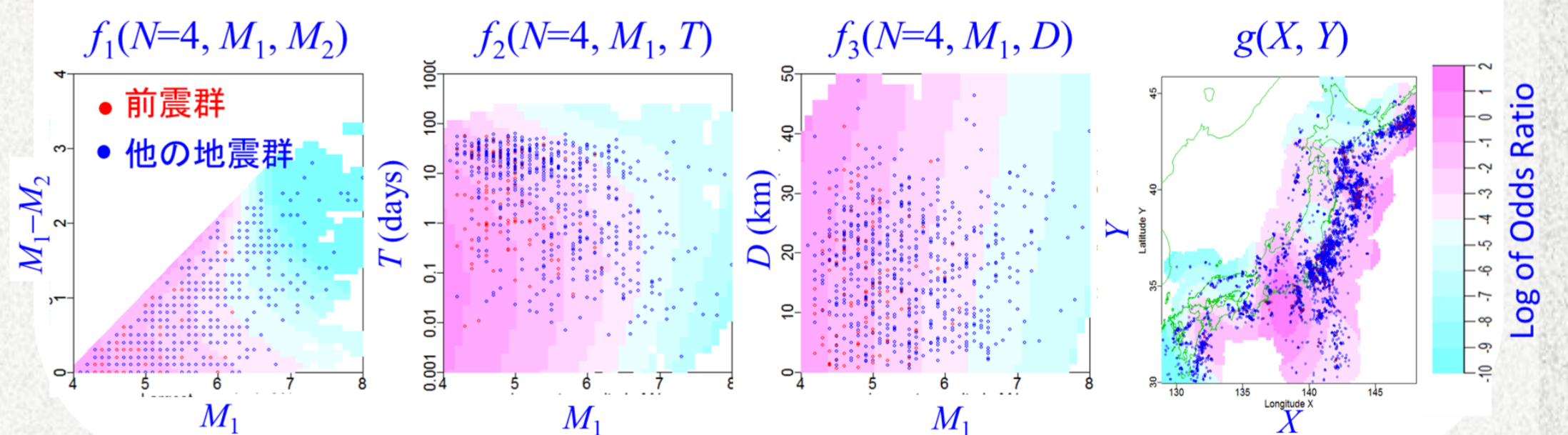
Step2. 前震群候補からの特徴量抽出と、前震群の定義



Step3. 前震群候補の前震確率評価(ロジスティック回帰)

$$\text{logit}\{P(\text{foreshock} | N, M_1, M_2, T, D, X, Y)\}$$

$$= f_1(N, M_1, M_2) + f_2(N, M_1, T) + f_3(N, M_1, D) + g(X, Y) + \varepsilon_{\text{seq}}$$



前震識別性能の検証

1926年から1999年までの気象庁カタログから前震確率(最後の前震から30日以内に、前震を上回るマグニチュードの地震が発生する確率)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地震群の地震数が増えるごとに前震確率を評価した。群内地震数が $N = 2, 5, 10$ となった時点での前震確率の評価値を10%区切りの階級に分け、適中率すなわち実際の前震割合と比較した結果を表1に示した。適中率は、該当例数が少ない階級を除いて、各階級の前震確率評価値と概ね整合的である。

表1. 2000年以降の前震確率評価値と適中率(=前震群数/全地震群数)

前震確率評価値	0-10%	10-20%	20-30%	30-40%	40-50%	50-60%	60-70%	70-80%	Total
N=2	全地震群数	469	489	220	59	14	2	0	1,253
	前震群数	27	67	45	17	4	2	0	162
	前震適中率	6%	14%	20%	29%	29%	100%	N/A	13%
N=5	全地震群数	129	57	27	13	9	3	2	242
	前震群数	8	12	4	3	3	1	1	34
	前震適中率	6%	21%	15%	23%	33%	33%	50%	14%
N=10	全地震群数	68	7	3	5	4	2	2	91
	前震群数	5	3	1	2	3	1	0	15
	前震適中率	7%	43%	33%	40%	75%	50%	0%	16%

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」, 第99巻, p.446-451.