

種々の統計モデルによる相似地震の確率予測とその成績

A comparative study on probabilistic prediction of small repeating events east off NE Japan by various renewal models

岡田 正実 [1]; 内田 直希 [2]; 前田 憲二 [1]; 高山 博之 [1]

Masami Okada[1]; Naoki Uchida[2]; Kenji Maeda[1]; Hiroyuki Takayama[1]

[1] 気象研; [2] 東北大・理・予知セ

[1] MRI; [2] RCPEV, Graduate School of Sci., Tohoku Univ.

【はじめに】 大地震の長期的な発生確率予測は、すでに日本（地震調査委員会）と米国（WGCEP）で実施されているが、発生間隔が長いために、予測結果の成績評価がされていない。北海道～関東の東方沖で発生する相似地震は、M2.5～4.0程度と規模が小さいが、プレート間大地震と同じような過程を経ている。発生間隔が1～3年と短いものが多数あるので、予測モデルの成績を求め、手法の比較や評価を行うのに適している。

【計算方式】 発生間隔の確率分布は、従来から使用されているもの（対数正規、BPT、ガンマ、ワイブル、二重指数）と、指数分布や正規分布などを調査対象とした。一方、データ処理の理念（標本論）は、大標本論（データ数が多いと考え、パラメータの推定誤差を軽視する立場）、小標本論（データ数を考慮する精密標本論）、両者の混合型、およびベイズ統計などがある。パラメータ推定には、最尤法やモーメント法などがあるし、一部の母数に標準値を採用して結果の安定性を図ることもある。分散には標本分散、不偏分散、不偏標準偏差の2乗値などがある。したがって、確率計算に必要な「確率分布」と「計算手法」の組み合わせは多数考えられるが、その中から33通りの方式で確率予測を行った。得られた結果から、下に注記した Breir score と平均対数尤度で、方式ごとの予測成績を求め、比較・検討した。なお、今回は更新過程のみであり、時間予測モデルや地震の続発性・連動性などを考慮していない。

【データ】 解析データは、1993年1月から2006年6月までの期間に、相似地震が5個以上発生した93系列を用いた。また、三陸はるか沖地震（1994年）と十勝沖地震（2003年）の余震（等）が3分の1以上占める系列は除いた。予測期間は、解析期間末（2006年6月末）から6月、12月および18月間である。

【結果】 ほとんどの系列で地震が5個～10個と少ないために、大標本論の立場でパラメータ値を決めて予測すると、集積確率が0.99999を超えたり、予測確率が0.99999以上（または0.00001以下）となる事例が出るなど、結果が不安定である。それらの“異常値”を除いても、大標本論の成績はあまりよくない。小標本論の対数正規分布は、比較的簡便で、18月間予測で最高点であった。6月および12月間の予測では、ベイズ統計対数正規分布モデルが最も良かった。今回のように、各系列の地震数が少なく、系列数が多い場合には、予測の安定性と成績、物理過程の取り込む際の柔軟性などから、経験的ベイズ統計が最適であろう。なお、BPT分布の成績は大標本論処理の中では比較的良好であったが、小標本論やベイズ統計を適用することは、取り扱いが難しくて実施できなかった。

対数正規分布と指数分布（ポアソン過程）の予測を成績を精密標本論によるもので比較すると、平均対数尤度で0.13の差がある。93系列全体では非常に大きな尤度差になるので、相似地震の発生に統計的に有意な時間依存性（間欠性）があると言えよう。また、ベイズ統計対数正規分布モデルで予測した地震発生系列数の期待値は、6月間で22.2（観測は31系列で発生）、12月間で41.4（51系列）、18月間で56.7（57系列）であった。発生数を6月ごとに別々に集計すると、それぞれ31、21、12系列（一部系列は重複発生）である。時期によって数にかなり大きな差があるので、系列間の連動性が推測される。

【注】 予測発生確率をP、現象の有無をE=1（発生）またはE=0（不発生）で表すと、Brier score は、全予測に対する $(P-E)^2$ の平均で、小さいほど優れた確率予測である。対数尤度は、現象発生ならば $\ln(P)$ で、不発生ならば $\ln(1-P)$ で与える。全系列に対する平均が平均対数尤度で、大きいほど優れている。