

## 負の2項モデルを用いた余震の確率予測

## Probability prediction of major aftershocks by using the negative binomial model

# 岡田 正実[1], 伊藤 秀美[2]

# Masami Okada[1], Hidemi Ito[2]

[1] 気象研・地震火山, [2] 気象研・地震火山研究部

[1] Seismo. and Volcano. Res. Dep., MRI, [2] Seismology and Volcanology Research Dep., M.R.I.

負の2項モデルを用いて、将来起こる最大余震の確率分布を求めた。1926年以降の内陸浅発地震について、本震から24時間後に二日目以降の最大余震のマグニチュードを推定してみたが、予測結果は分布として妥当なものであった。実践的予測のために、改良大森公式を一部手直しして兵庫県南部地震と長野県西部地震の余震系列について、いろいろな時点でそれまでの余震回数を基に、それ以降の予測期間内の最大地震のマグニチュードの区間推定を試みたが、データとの整合性は期待通りの結果であった。

## 1. はじめに

地震調査研究推進本部地震調査委員会では、「余震の確率評価手法について」(1998)の中で余震活動の確率評価手法を提案している。基本的には、余震活動が始まってから必要なパラメータ(b, K, c, p)を決め、その後の大きな余震の確率を計算するものである。この方法では、余震活動の激しい本震直後には使用できず、予測精度がパラメータの決定精度に直接依存する。

ここでは余震回数が負の2項分布に従うことを利用して、任意の時に任意の期間内に発生する最大余震のMや大粒余震回数などの確率分布を計算する方式を紹介し、兵庫県南部地震(1995)や長野県西部地震(1984)等に適用した結果を述べる。「負の2項モデル」については岡田・伊藤の別講演の予稿参照。

## 2. モデルと予測方法

本震と余震とのマグニチュード差をDとし、Gutenberg-Richterの式(以下G-R式)を

$$n(D)dD = A \exp(-D) dD \quad (D \geq 0, \quad = b \ln 10)$$

とする。ここで、b値は各余震群とも共通一定(b=0.85)で、Aはガンマ分布( , )に従うものとする。D<dとなる余震回数Na(D<d)は負の2項分布NB( , )に従う。ここで、(d)=exp(-d)/(-1)である。また、本震と最大余震とのマグニチュード差D1は、NG( , a, b, 1)で表される(岡田, 1979)ここでaは確率変数Aの平均で、a=0.15とした。

本震から期間Tqが経過し、余震活動が100%済んだと考える。以下のようにして最大余震などの余震活動を予測する。

【1】Tqまでに発生したD<dの余震の回数Na(D<d, 0<T<Tq)がkであるとすれば、A値の条件付き確率はガンマ分布( +k, /(1+q))に従う。

【2】Tq以後に起きる大きな余震の回数Na(D<d', Tq<T<)は負の2項分布NB(+k, (1-q)(d')/(1+q(d)))に従う。

【3】本震とTq以降に起きる最大余震とのマグニチュード差D1(Tq<T<)の確率分布は、NG(+k, a(+k)(1-q)/(+q a), b, 1)となる。

【4】Tqまでに発生した最大余震がD1=d'であるとすれば、A値の条件付き確率分布はガンマ分布(1+ , 0/(1+q(d') 0))になる。

パラメータの決定は、伊藤・細野(1997)が作成した資料(地震活動統計ハンドブック)に掲載されている内陸地震の表を使用した。D<2.05の全余震から求めた改良大森公式のパラメータはp=1.1、c=0.04となった。

## 3. 確率予測の結果

本震から24時間経過した場合を想定して、q=0.47として、その後の最大余震のマグニチュードの区間推定した。全体72例中35例が50%の信頼区間内に入っている。9例が80%の信頼区間外にあり、13例はD1不明である。D1不明をどう扱うかにもよるが、全体としてはよく合っていた。本震から72時間経過した場合を想定して、q=0.64として行っても同様な結果であった。

実際に余震の確率予測する際には、観測網の充実や検測の困難を考慮する必要がある。兵庫県南部地震などに適用する際は、c値として0.04ではなく、0.03を採用した。また、予測時Tまでの余震のうち最初の0.01Tまでのものは無視し、最後はt=275日で打ち切っている。余震回数を数える場合はM4.0以上とした。

兵庫県南部地震から24時間後に向こう3日間に発生する最大余震のマグニチュードの確率分布を推定すると、50%信頼区間がM4.6~5.4で、80%がM4.4~5.9となった。予測期間に実際起きた最大余震はM4.3であり、80%信頼区間を少しはみ出している。いろいろな日を想定して区間推定した結果(15回) 全体的傾向として、Mの予測が少し大き過ぎる。一方、1984年9月の長野県西部地震(M6.8)では、本震から22時間余り後にM6.2の大きな

余震が発生したために、0.5日後の予測がはずれているが、その他はかなりよく合っていた。両者を併せて30回予測したが、24回が80%信頼区間内に入り、期待通りの結果であった。