

12 - 3 G-R 則および改良 G-R 則を用いた地震発生予測モデル – MGR モデル – Earthquake Occurrence Model in Inland Japan by Applying the G-R Law and Modified G-R Law: MGR Model

弘瀬冬樹・前田憲二（気象研究所地震火山研究部）

Fuyuki Hirose and Kenji Maeda

(Seismology and Volcanology Research Department, Meteorological Research Institute)

1. はじめに

本研究の目的は、日本内陸の深さ 30 km 以浅において M5.0 以上が 1 年間に発生する確率を推定することである。我々は地震の規模別頻度分布を Gutenberg-Richter (G-R) 則¹⁾またはマグニチュードに上限値を設定する改良 G-R 則²⁾で近似し、地域毎に適切な方を採用して地震発生率を推定する MGR (Modified G-R law の併用を意味する) モデルを作成した (Hirose and Maeda, EPS accepted³⁾)。ここでは、MGR モデルの作成手順とそのモデルを用いた回顧的な地震予測の結果を Hirose and Maeda (EPS accepted) に沿って報告する。

2. モデル作成データと検証対象地震

気象庁の地震カタログから日本陸域下で発生した地震について、予測モデル作成データと検証用データは重複しないよう、以下のように選択した。

モデル作成データ：

地震検知能力を考慮して、深さ 30 km 以浅、 $M \geq 5.0$ の地震について 1965 年 1 月～2008 年 12 月、 $M \geq 4.0$ の地震について 1980 年 1 月～2008 年 12 月、 $M \geq 3.0$ の地震について 1990 年 1 月～2008 年 12 月、 $M \geq 2.0$ の地震について 2000 年 1 月～2008 年 12 月のデータを抽出し、データ期間長に応じて地震個数の補正をした「仮想カタログ」を作成する (第 1 図)。モデル作成用の期間を 1965 年から 36 年間 (2000 年まで)、37 年間 (2001 年まで)、…、44 年間 (2008 年まで) と変化させた 9 種類のデータセットを用いた。

予測対象地震：

モデル作成に使用したデータ期間の次の 1 年間 (即ち 2001 年から 2009 年までの順次 1 年間) に発生した深さ 30km 以浅、 $M \geq 5.0$ の地震。

3. 地震発生予測モデルの作成手順

- ①日本列島の陸域を覆う領域に緯度・経度 0.1 度間隔のグリッドを 5483 点配置し、各グリッドから半径 20 km 以内の地震を抽出する。なお、半径 20 km は、M7.0 の震源域に相当する⁴⁾。
- ②各グリッドに対応する領域ごとに M の下限の閾値 M_{th} を求める。 M_{th} は各 M の個数が最も多い M とする (第 1 図)。
- ③ M_{th} 以上の地震が、「仮想カタログ」で 100 個以上あるグリッドで、G-R 則および改良 G-R 則を当てはめてパラメータをそれぞれ推定する (第 1 図)。

G-R 則：

$$\log N(M) = A - bM$$

ここで、 N は M 以上の地震の数。 A および b は定数。

改良 G-R 則：

$$\log N(M) = a_m - \log B + \log \left\{ \left(c_m - M - \frac{1}{B} \right) e^{-BM} + \frac{1}{B} e^{-Bc_m} \right\} \quad (M < c_m)$$

$$N(M) = 0 \quad (M \geq c_m)$$

$$B = b_m \ln 10$$

ここで、 N は M 以上の地震の数、 a_m 、 b_m 、 c_m は定数。

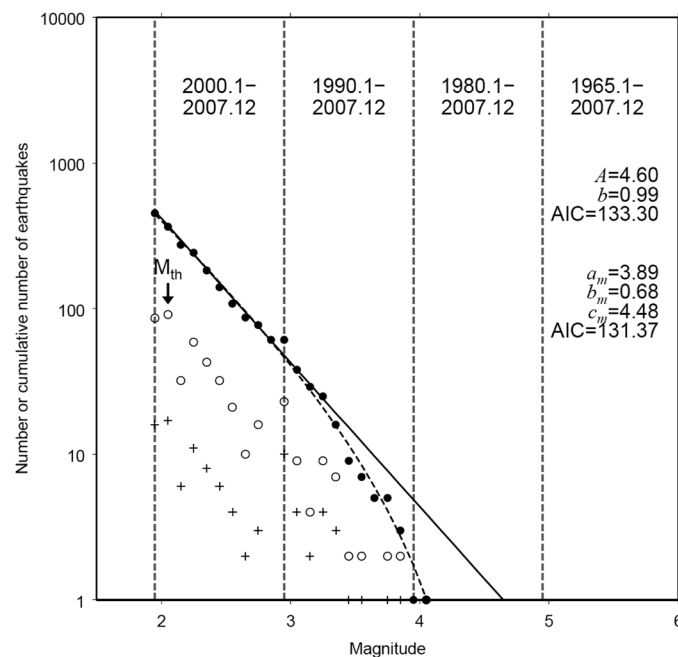
- ④両則の AIC を求め、小さい方を採用する（第 1 図。ただし、差が 1 未満の場合は、G-R 則を採用.）.
- ⑤「③」で条件に達しないグリッドは G-R 則を仮定し、そのグリッドのパラメータ b 値は、対象領域で発生した全地震を用いて推定される b 値とする。このときの M_{th} の求め方は「②」と同じ。
- ⑥ G-R 則の A 値および改良 G-R 則の a_m 値の推定に関する、予測期間中に発生が期待される M_{th} 以上の地震個数を直近の 1 年間の発生率と同じとして推定する。ただし、規模の大きな地震が予測開始時の直近に発生している場合（ $M \geq 5.0$ が 1 年以内、 $M \geq 7.0$ が 5 年以内）は、本震－余震系列と見做して改良大森公式⁵⁾を用いて予測期間中に発生する地震個数を推定する。このとき例えば、あるグリッドで条件を満たす地震が複数発生した場合は、最大地震を本震と見做す。
- ⑦推定したパラメータを用いて、予測期間における予測対象地震（ $M \geq 5.0$ ）の総発生率を求める。

4. 結果

予測モデルの成績を対数尤度で比較したところ、改良 G-R 則を併用した本モデルの方が、G-R 則だけを用いた GR モデルよりも概ね良かった（第 1 表）。これは改良 G-R 則を適切に用いることによって地震発生率の過大評価を回避することができるためである。すなわち、MGR モデルは大きな地震が「発生しない」地域を積極的に予測することで全体の予測精度を向上させるモデルであるといえる。

参 考 文 献

- 1) Gutenberg, B. and C. F. Richter, 1944, Frequency of earthquakes in California, Bull. Seism. Soc. Am., 34, 185-188.
- 2) Utsu, T., 1974, A three-parameter formula for magnitude distribution of earthquakes, J. Phys. Earth, 22, 71-85.
- 3) Hirose, F. and K. Maeda, 2010, Earthquake Forecast Models for Inland Japan Based on the G-R Law and the Modified G-R Law, Earth Planets Space, accepted.
- 4) 宇津徳治・関彰, 1955, 余震区域の面積と本震のエネルギーとの関係, 地震 2, 7, 233-240.
- 5) 宇津徳治, 1957, 地震のマグニチュードと余震の起こりかた, 地震 2, 10, 35-45.



第 1 図 地震の規模別頻度分布の例：北緯 34.4 度，東経 136.1 度のグリッドから半径 20 km 以内の地震の場合. + は規模別個数. ○はデータ期間長に基づいて補正された後の規模別個数. ●は○の累積数. G-R 則（実線）と改良 G-R 則（破線）で近似されており，各則のパラメータと AIC はそれぞれ図の右側に示されている（Hirose and Maeda (EPS accepted)³⁾）.

Fig. 1 Example of frequency-magnitude distribution within a radius of 20 km from the grid cell at lat 34.4° N, long 136.1° E. Crosses denote the number of events per magnitude bin. Open circles denote the number of events in each magnitude bin after adjustment based on the length of data periods. Solid circles are cumulative number of events shown by open circles. Distributions are approximated by two theoretical curves, the original G-R law (solid line) and the modified G-R law (dashed line). Estimated a - and b -values and AIC for the G-R law and a_m , b_m , and c_m -values and AIC for the modified G-R law are shown on the right side (cited from Hirose and Maeda (EPS accepted)³⁾).

MGR model			GR model				
Forecast period	Log-likelihood	E[n]	Log-likelihood	E[n]		N	Mean b
2001.1–2001.12	−44.0	5.00	−44.9	5.91		4	0.94
2002.1–2002.12	−16.1	4.39	−17.0	5.36		1	0.92
2003.1–2003.12	−63.4	4.59	−64.6	5.72		6	0.89
2004.1–2004.12	−273.0	5.62	−274.4	7.10		28	0.88
2005.1–2005.12	−77.9	5.27	−78.7	6.51		8	0.88
2006.1–2006.12	−24.3	4.46	−25.0	5.51		2	0.88
2007.1–2007.12	−97.4	4.31	−96.1	5.43		8	0.87
2008.1–2008.12	−41.9	5.37	−42.5	6.48		4	0.87
2009.1–2009.12	−26.5	5.01	−28.0	6.41		3	0.86
	−664.4		−671.2				

第 1 表 MGR モデルと GR モデルによる回顧的予測の結果. 背景のついた数字は各予測期間において良いモデルを示す. E[n] と N はそれぞれ予測期間中の対象地震の期待数と実際の数.

Table 1 Retrospective forecasts by the MGR and GR models. Highlighted numbers indicate better model in each forecast period. E[n] and N indicate the expected and actual numbers of target earthquakes in the forecast periods, respectively.