

# 前震の確率予報の運用

尾形良彦 (統計数理研究所)

Operational Probability Forecast of Foreshocks  
Yoshihiko Ogata (Institute of Statistical Mathematics.)

前震の確率利得はポアソン比で数千倍の確率利得であるという。これは予測期間が短期で標的とする領域が狭いためである。Ogata et al. (1996; 以後 OUK で略す) は前震の retrospective な予測と評価を行っている。それから 15 年経った今、OUK モデルで新たなデータを使って予測し prospective な検証を行った。

新規の地震が起きたとき、あるいは複数の地震が時間空間的に接近して発生したとき、その後格段に大きな地震が起こる確率を予測したい。言い換えると、それらが前震である確率である。前震を識別するには先ず地震の「群れ」の認識が必要である。これは、いわゆる除群の裏返しである。群れの最大地震を「本震」と呼ぶ。群れの先頭が本震のとき、地震群は「本震・余震型」と呼ぶ。本震の前の地震をプレシヨックと呼び、それらの最大 magnitude ( $M$ ) と本震の  $M$  との差が 0.5 未満の場合群れを「群発地震」、0.5 以上のときのプレシヨックは「前震」と呼ぶ。

OUK は JMA 旧カタログ (1926~93 年,  $M \geq 4.0$ ) を用いて link 法で群分けを行い、前震系列とその他の地震群について系列メンバー (最初の  $n$  個を採用する) の時間間隔, 震央間距離,  $M$  差を比較した。  $n = 2, 3, \dots, 10$  について調べたが、時間間隔, 震央間距離は前震の方が短いものが相対的に多く、前震の方の集中性が強い。 $M$  差 (後の地震の  $M$  から前の地震の  $M$  を引いたもの) は概して前震の方が大きいものが多い。そこで、ある地震群が前震系列である確率  $p_c$  を各地震間の時間間隔  $t$ , 距離  $r$ ,  $M$  差  $g$  の関数で表し,  $t, r, g$  のそれぞれに或る変換をして  $[0, 1]$  にほぼ一様に分布するようにしたものを  $\tau, \rho, \gamma$  とし,  $p_c$  のロジットを

$$\text{logit}(p_c) = \text{logit}\{\mu(x, y)\} + E \left[ \sum_{l=0}^3 b_l \tau^l + \sum_{m=0}^3 c_m \rho^m + \sum_{n=0}^3 d_n \gamma^n \right]$$

で表し、旧 JMA データ (1926~93 年,  $M \geq 4.0$ ) についてそのパラメタを求めている。AIC 最小の条件から上の式が選ばれた。また  $\mu(x, y)$  は日本付近の  $M \geq 4$  の群れの先頭の地震 (孤立地震も含む) が  $M+0.5$  以上の地震の前震である確率として地域別に求められている。確率は 1%強から 10%強まで変動するが、三

陸沖から浦河沖にかけての地域、福島・茨城県沖、東京区部・埼玉県東部地域直下、伊豆諸島付近などで大きくなっている。

OUK モデルのパラメタ値は旧 JMA カタログの 1993 年までの  $M4$  以上のデータから推定されたものである。この統計モデルを使い、新 JMA 地震カタログの 1994 年から 2009 年までの確率予測を行い評価した。その結果、前震の平均確率が 3.5% であるのに対して、予測確率は場所や履歴によって 0% ~ 40% の値をとる。この確率予測の検証は平均確率 (3.5%) に比べて相対エントロピーの意味で有意に大きく優れている。しかも、確率予測と出現率の分割表は調和的で有意である。

参考文献: Ogata, Y., Utsu, T. and Katsura, K. (1996). Statistical discrimination of foreshocks from other earthquake clusters, *Geophys. J. Int.* 127, pp. 17-30..

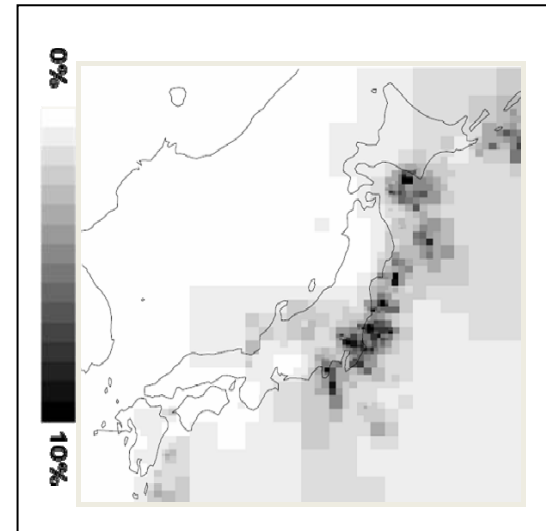
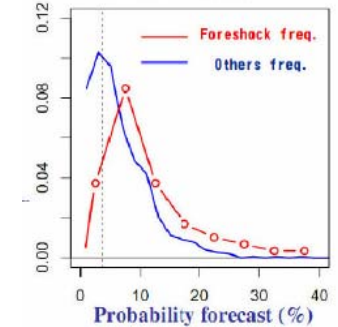


Table 4. Coefficients of the polynomials of logistic models.

Data	$l=m=n$	$\mu_0+a_{0,0,0}$	$b_l$	$c_m$	$d_n$
MBC 1926~1993	1	5.932	-22.20	-3.070	.0904
	2	—	42.80	9.664	-2036
	3	—	-27.16	-7.814	.0973
SLC 1926~1993	1	8.018	-33.25	-1.490	-.3643
	2	—	62.77	2.805	.3278
	3	—	-37.66	-2.190	-.0430



Forecast	0-2.5%	2.5-5%	5-10%	10-15%	15% -	All
Foreshocks	3	8	25	11	12	59
Others	168	195	242	107	48	760
All Types	171	203	267	118	60	819
Ratio(%)	1.8	3.9	9.4	9.3	20.0	7.2