

熊本 M7.3 地震の確率予測の試算

Provisional calculations of the probability forecast of the Kumamoto M7.3 earthquake

統計数理研究所

The Institute of Statistical Mathematics

大地震予測の手掛かりになるのは各種の観測データの異常現象であろう。しかし、それが大地震の前兆なのか、どの程度切迫性があるのかなどの識別には大きな不確定さが伴う。しかし「危険性が高い」「いつ起きても不思議でない」などの定性的な表現で終わらせず、危険性を数量的に示す確率的予測が必要となる^{1, 2)}。

大地震の確率予測の実用化は、各種観測の積み重ねによって「異常現象」を客観的に定義し、それらが大地震の「前兆」である確率を見積もり、その確率利得を求める必要がある。ここで確率利得は「大地震の確率予測が基準の確率にくらべ何倍高くなるのか」という意味である³⁾。

一般に一種類の異常現象では高い適中率や確率利得を出すことは困難であろうが、各々の確率利得が低くても独立に近い幾つかの異常現象が重なって観測されれば多重確率予測公式⁴⁾によって確率は高められる(第1図 a, b 参照)。独立性が保証できないかもしれない場合は多重確率予測公式の一般化としてロジット (logit) 関数を考え、その展開モデルで算出しモデル比較をすることも考えられる⁵⁾。

長期、中期、短期の異常現象を探し、各々の予測確率を見積もり、それらを組み合わせるのが有望な策であり、そのような実例が挙げられている^{3, 4)}。たとえば前震の識別は短期予測で、地震活動や余震活動の静穏化に基づく予測は中期予測である。長期予測には地震調査委員会が計算・提示している活断層やプレート境界地震などの30年確率が参考になる。大地震の永年確率は地震活動度や ETAS モデルの常時地震活動度と Gutenberg-Richter 則の b 値からの計算が参考になる。

本報告では2016年 M6.5 の熊本地震の「余震活動」から、より有意に大きな地震 (M7 以上) の「前震活動」である確率^{6, 7)} (短期予測)、大地震の連鎖性 (triggering) または余震活動の静穏化現象が前兆となる確率^{8, 9)} (中期予測)、そして周辺の活断層系の何れかが破壊する確率¹⁰⁾ (長期予測) の3種類のそれぞれの予測確率に基づいて M7 クラスの大地震の予測確率を試算した(第2図 a, b 参照)。 (尾形良彦)

文献:

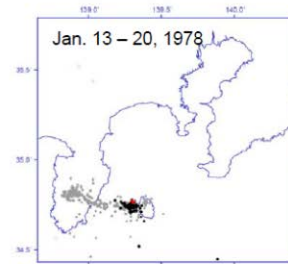
- 1) 統計数理研究所 (2014). **連絡会報** 91 巻 (12-6), 387.
- 2) 統計数理研究所 (2015). **連絡会報** 94 巻 (12-8), 412.
- 3) Aki, K. (1981). Earthquake Prediction (Maurice Ewing Series, 4), eds. D. W. Simpson and P. G. Richards, Washington, D.C.: American Geophysical Union, 566.
- 4) 宇津徳治 (1979). **連絡会報** 21 巻, (7-4) 164.
- 5) Ogata, Y., Utsu, T. and K. Katsura, 1996, Geophys. J. Int., 127, 17

- 6) 統計数理研究所 (2011). **連絡会報** 85 卷 (12-4), 440.
- 7) 東京工業大学・統計数理研究所 (2016) **連絡会報** 96 卷 (重点課題、前震)
- 8) 統計数理研究所 (2004) **連絡会報** 72 卷, (11-7), 631.
- 9) 統計数理研究所・地震研究所 (2016) **連絡会報** 96 卷 (重点課題、モニタリング)
- 10) 地震調査委員会 (2014) www.jishin.go.jp/main/chousa/13feb_chi_kyushu/k_honbun.pdf.

1978年1月14日12時24分伊豆大島近海の地震(M7.0)

宇津(1978予知連会報)

予測地震をM6.5以上としての前兆確率の試算



- 項目A: 1976年初からの隆起域の広がり等から考えて、隆起が始ってから5年以内にかかる確率1/3 (0.02% per day)
 - 項目B: 石廊崎と網代の埋込式体積ひずみ計に現れた異常や伊豆半島でのラドン、井戸水位等の異常、前年の12月中旬から1か月以内にかかる確率1/10 (0.3% per day)
 - 項目C: 1月14日午前大島西方の地震活動、前震確率1/10。始ってから3日以内にかかる確率1/35 (1% per day)
 - 項目D: 大地震の基礎確率 P₀: 対象地域内で
 30年に1回の割合で起っている場合 (Case I) (0.009% per day)
 100年に1回の割合で起っている場合 (Case II) (0.003% per day)
- 多重確率予測公式 (multi-elements prediction formulas; 宇津, 1977「地震」)

$$P = \frac{1}{1 + \left(\frac{1}{P_A} - 1\right) \left(\frac{1}{P_B} - 1\right) \left(\frac{1}{P_C} - 1\right) \cdots \left(\frac{1}{P_S} - 1\right) \left/\left(\frac{1}{P_0} - 1\right)^{N-1}\right.}$$

伊豆大島近海の地震 (M7.0) の前兆確率の試算

τ		3 hours	1 day	3 days
隆起 P _A		0.0000228	0.000183	0.000548
前震 P _B		0.00119	0.00952	0.0286
歪、水位 P _C ラドン		0.000417	0.00333	0.01
P ₀	Case I	0.0000114	0.0000913	0.000274
	Case II	0.00000342	0.0000274	0.0000821
P(A∩B∩C)	Case I	0.080 (0.011)	0.41 (0.081)	0.68 (0.21)
	Case II	0.49 (0.11)	0.89 (0.49)	0.96 (0.75)
P(A∩B)	Case I	0.0024	0.019	0.056
	Case II	0.0079	0.060	0.16
P(B∩C)	Case I	0.042	0.26	0.52
	Case II	0.13	0.54	0.78

第1図。35年前に地震活動(前震)が伊豆大島西方沖に始まると気象庁は「多少被害を伴う地震が起るかもしれない」という地震情報を発表した。伊豆大島近海地震の1時間半ほど前であった。地震後に宇津の試算⁴⁾で、三つの異常現象の項目A, B, Cはその現れ方の時間スケールが著しく異なっているので独立の現象と仮定し、それぞれの確率P_A, P_B, P_C, P₀はたいへん小さい値でも多重確率は結構大きくなっている。

Fig. 1. Utsu⁴⁾ retrospectively forecasted probability of a large earthquake of M6.5 or more by the multi-elements prediction formula assuming that the short-, intermediate- and long-term anomalies are independent, regarding the 1978 Izu-Oshima-Kinkai earthquake of M7.0.

2016年4月16日1時25分 熊本地震 (M7.3)

ターゲット予測地震をM7.0以上としての前兆確率の試算(1平方度・1日当り)

余震域を含む長方形は概ね 1 deg²

- 項目A: A1. 布田川断層帯の30年確率0.9% (0.000082% per day)
 A2. 九州中部の断層帯の30年確率21% (0.0019% per day)

- 項目B: B1. 誘発(トリガリング)の地震確率, 1年当り0.5% (0.0014% per day)
 B2. 余震活動の静穏化の地震確率, 1年当り2% (0.0055% per day)

- 項目C: 4月14日M6.5地震の余震列(M4+) 30日以内に起る前震確率5% (0.17% per day)

- 項目O: 大地震の基礎確率 P_0 : 対象地域内で90年に1回以上の割で起きる確率
 (Case I) Mc4 地震数とGR則 $b \sim 1.0$ (0.00058% per day)
 (Case II) Mc4 ETAS model BG率とGR則 $b \sim 1.0$ (0.0027% per day)

多重確率予測公式 (multiple elements prediction formula, 宇津, 1977「地震」)

$$P = \frac{1}{1 + \left(\frac{1}{P_A} - 1\right) \left(\frac{1}{P_B} - 1\right) \left(\frac{1}{P_C} - 1\right) \dots \left(\frac{1}{P_S} - 1\right) / \left(\frac{1}{P_0} - 1\right)^{N-1}}$$

項目BとCについては, さらに半分の確率を設定して多重予測確率の幅を見る。

計算結果

活断層情報有。1日確率 0.007%~20%, 3日 0.016%~41%, 7日 0.03%~62%, 1月 0.2%~88%
 活断層情報無。1日確率 0.1% ~ 3%, 3日 0.04% ~ 9%, 7日 0.06%~19%, 1月 3%~51%

単位面積	1平方度							
単位時間		30年	1年	30日	1日	3日	1週間	30日
永年確率 P_0	ETAS常時活動度 GR				0.000002747			
長期確率 P_{A_1}	布田川断層帯	0.009	0.0003		0.00000082			
	九州中部	0.210	0.007		0.00001917			
中期確率 P_{B_1}	誘発		0.005		0.00001369			
	静穏化		0.02		0.00005476			
短期確率 P_C	前震			0.05	0.00166667			
多重確率予測								
	$P(A_1 \cap B_1 \cap C)$				0.002482	0.00743	0.0173	0.0727
	$P(B_1 \cap C)$				0.00825	0.0244	0.0556	0.208
	$P(A_1 \cap B_2 \cap C)$				0.009853	0.291	0.0658	0.239
	$P(B_2 \cap C)$				0.0322	0.0911	0.191	0.512
	$P(A_1 \cap B_2 \cap C)$				0.0549	0.149	0.291	0.647
	$P(A_2 \cap B_2 \cap C)$				0.188	0.411	0.622	0.88
単位時間		30年	1年	30日	1日	3日	1週間	30日
永年確率 P_0	地震数とGR				0.000005821			
長期確率 P_{A_1}	布田川断層帯	0.0045	0.0002		0.00000041			
	日奈久断層近辺	0.105	0.0035		0.00000958			
中期確率 P_{B_1}	誘発		0.0025		0.00000684			
	静穏化		0.01		0.00002738			
短期確率 P_C	前震			0.025	0.00083333			
多重確率予測								
	$P(A_1 \cap B_1 \cap C)$				0.000069	0.00016	0.000377	0.00165
	$P(B_1 \cap C)$				0.00098	0.00259	0.0060	0.0259
	$P(A_1 \cap B_2 \cap C)$				0.000277	0.00065	0.00151	0.00656
	$P(B_2 \cap C)$				0.00391	0.0103	0.0237	0.0961
	$P(A_1 \cap B_2 \cap C)$				0.00161	0.00375	0.00873	0.0371
	$P(A_2 \cap B_2 \cap C)$				0.00642	0.0148	0.0340	0.134

第2図。熊本地震のケースでは地震活動異常だけを考慮した。項目A（長期予測）として地震調査委員会が算定した活断層の30年確率¹⁰⁾を採用した。項目B（中期確率予測）は大地震の続発性（誘発性）と余震活動の相対的静穏化にもとづく確率^{8, 9)}、項目C（短期予測）は凡そ1か月あたりの前震確率^{6, 7)}を採用した。項目0で大地震の基礎確率をGutenberg-Richter則でこの地域の地震活動度またはETASモデルの常時地震活動度で確率を評価した。いずれの確率も1日当たりでは極めて小さいが多重確率は無視できない大きさとなる場合もある。各予測でそれぞれ項目で複数の確率見積を考えたのは多重確率の算定バラツキを見るためである。

Fig. 2. The evaluations for the Kumamoto case are based on the following seismicity abnormalities: Item A (long-term probability) is based on 30 years probabilities of active faults slips¹⁰⁾. Item B (medium-term probability) is based on the empirical probability of a large earthquake due the relative quiescence of the aftershock activity of a major earthquake^{8, 9)}; and item C (short-term probability) has adopted a foreshock probability per approximately 1 month^{6, 7)}. The basic probabilities of a major earthquake (Item 0) were calculated by the Gutenberg-Richter law (the *b*-value) of magnitude frequency with either the regular seismicity of the region or the background rate of the ETAS model. The probabilities per 1 day are all very small, but the resulting probabilities by the multiple element prediction formula in some evaluated cases are not negligible. Various evaluations are considered to evaluate the range of dispersion by the multiple element probabilities.