時間間隔が揃った数個の地震

宇津 徳治*

Recurrence of Several Earthquakes
at Almost Equal Time Intervals

Tokuji Utsu

Kitami 9-5-18, Setagaya-ku, Tokyo 157, Japan

(Received March 7, 1994;

Accepted April 4, 1994)

§ 1. 事例の説明

ある地域に、その地域としては最大級に近い地震が数個、ばば等しい時間間隔で発生した例がいくつか知られている。小田原付近 (1633, 1703, 1782, 1853, 1923 の各年), San Andreas 断層の Parkfield 地区 (1881, 1901, 1922, 1934, 1966 の各年) などは特に有名である。ただし、前者のうち 1703 年と 1923 年については、相模トラフ沿いの巨大地震と同時に小田原付近の地震も発生したと考えて 70~79 年の間隔を得ている。後者では、1934 年の地震は本来 1944 年ころ起こるべきものであったと考ええると、20~22 年の等間隔性が生きてくるが、実際に 20~22 年の間隔で起こったものは 2 個だけである。14 世紀以降の南海道沖の巨大地震 (1361, 1498, 1605, 1707, 1854, 1946 の各年) の間隔もかなりよく揃っている。ただしここでは、1498 年明応地震の震源域は南海道沖に及んでいたという見解を採用している。

本稿ではさらに顕著な例を挙げる。以下の 10 行は筆者 [宇津 (1992)] が 1992 年 1 月に書いたものの一部である。

Hindu Kush の地下 210 km のあたりには顕著な地震の果があり、ときには M 7.0 を越える大地震が起こり被害が生じる。最近では 1983, 1974, 1965 の各年にあった。これらの地震は深い地震であるにもかかわらず多数の余震を伴った [PAVLIS and HAMBURGER (1991)]. Pavalis らは上記 3 地震の間隔が 9 年強であることを注意したが、実は 1965 年の 9 年前にもやや小さいが同じ場所に起こっている。もし 1983 年から 9 年目の今年 (1983 年の地震は年末に起こったので来年でもよい) 起これば小田原よりさらに等間隔性が著しい例となる。

この文で今年 は 1992 年、来年 は 1993 年である。その後、1993 年 8 月 9 日に M_W 7.0 の地震が起こり Table 1 のように 5 個の地震が並んだ。表中 τ は一つ前の地震からの間隔で、平均間隔 $\bar{\tau}=9.34$ 年、標準偏差 $\sigma=0.246$ 年、最大間隔と最小間隔の比 $r=1.075$ である。なお、震源位置は Nos. 1-2 は Rothé (1967), Nos. 3-5 は USGS による。 M は Nos. 1-3 は m_B で No. 1 は阿部 (私信), Nos. 2-3 は ABE (1981), Nos. 4-5 は M_W (Harvard group による地震モーメントから換算) である。

No. 1 は Rothé (1967) が $M=6.8$ としているが、 m_B が小さいので Nos. 2-4 と同列に扱うには異論があるかもしれない。なお、これらのほか 1962 年 7 月 6 日の地震 (36.6°N , 70.4°E , 203 km, m_B 6.8) がある [震源は Rothé (1967), m_B は阿部 (私信) による]。震源位置がやや離れているので Table 1 には含めなかったが、これを含めれば (あるいは No. 1 を除外すれば) 9 年間隔が保たれるものは Nos. 2-5 の 4 地震のみとなるが、この 4 地震の間隔のばらつきはいっそう小さい ($\bar{\tau}=9.47$ 年, $\sigma=0.10$ 年)。

1956 年以前の Hindu Kush の地震はそれほど規則的に発生してはいない。一つ先の地震としては 7 年前の 1949 年に m_B 7.4 の地震がある。震源位置がやや離れているようなので、13 年前の 1943 年の m_B 7.1 の地震とするほうがよいかもしれない。その前は 1937 (7.1), 1929 (7.0), 1924 (7.2), 1922 (7.3), 1921 (7.6), 1917 (7.1), 1911 (7.4), 1909 (7.6), 1908 (1 日間隔で 6.9 と 7.0), 1907 (6.8) の各年 [括弧内は ABE (1981) による m_B] に起こっているが、震源要素の不確実性もあり全部が Table 1 と同系列のものかどうかよくわからない。

小田原付近の地震については、1633 年以前は史料が少なくよくわからないが、その 70~80 年前ころにはそれらしい地震は見あたらない。1881 年以前の Parkfield 地震については、1857 年 Fort Tejon 地震と (ほぼ) 同時に発生したかもしれないという見方もあるがよくわからない。

Table 1 の地震は大きさも被害状況もかなり違うようで、断層のまったく同じ部分が同じ量だけすべった地震とは思えず、むしろ地震ごとに多少違うと考えられる。小田原付近の地震についても同様である。このようにやや違う地震がよく揃った間隔で並ぶのは不思議である。

§ 2. 偶然と考えられるか

時間間隔 τ の分布の表現として、いくつかの式が使われている [例えば, Utsu (1984), 宇津 (1992)]. 次のワイブル分布が簡単な割に適合性も概して良く使いやすい。

* 〒157 東京都世田谷区喜多見 9-5-18

Table 1. Large Hindu Kush earthquakes near 36.4°N, 70.8°E, h : 220 km (1950~1993).

No.	Date and time (UT)					°N	°E	h (km)	M	τ (yr)
1	1956	4	6	7	11	36.4	70.7	224	6.5 B	
2	1965	3	14	15	53	36.3	70.7	219	7.5 B	8.9376
3	1974	7	30	4	12	36.4	70.8	211	7.1 B	9.3761
4	1983	12	30	23	52	36.37	70.74	215	7.4 W	9.4207
5	1993	8	9	12	42	36.36	70.85	230	7.0 W	9.6089

Table 2. Time-interval parameters for four series.

Series	First-Last	N	$\bar{\tau}$ (yr)	σ (yr)	$\sigma/\bar{\tau}$	r	β
Hindu Kush	1956-1993	5	9.336	0.246	0.0263	1.075	51.0
Odawara	1633-1923	5	72.63	3.45	0.0478	1.116	19.4
Nankaido	1361-1946	6	117.1	21.2	0.181	1.600	6.09
Parkfield	1881-1966	5	21.35	7.05	0.330	2.617	3.32

$$w(\tau) = a\beta\tau^{\beta-1} \exp(-a\tau^\beta)$$

この分布の形状はパラメータ β に依存する。 $\beta=1$ のときは指数分布であり、ポアソン過程に対応する。いま扱っているように事象が間欠的に発生するときは $\beta>1$ で、 β が大きいほど間隔のばらつきが小さくなり、完全に等間隔に発生する現象では $\beta\rightarrow\infty$ になる。 $\sigma/\bar{\tau}$ はごく近似的に β^{-1} に等しい。

前記4例について最尤法で求めた β 値その他を Table 2 に示す。 N は地震数で、間隔の数は $N-1$ である。なお β を求めるに当たって「最後の地震から現在まで地震が起こっていない」という情報は用いていない。これを用いると Parkfield のように平均間隔をかなり過ぎて次の地震が起こっていない場合は β 値は小さくなる。

Table 2 によれば Hindu Kush の場合が等間隔性が最も著しく、小田原付近がこれに次ぐ。今後もこの性質が保たれるとすれば、次の地震はかなり狭い時間範囲で予測できる。しかし、最近の5地震の間隔がよく揃ったのは、これらの地域の地震に恒久的に見られる性質ではなさそうである。

本来はもっとばらついているものが、最近の5地震についてのみ、たまたま間隔が揃って発生した（そういう事例を取り上げた）ためと考えられないだろうか。たとえば南海道沖程度のばらつき、すなわち $\beta=6$ 程度のワイブル分布で表されるような時間間隔分布をしているのが本性であるが、最近の5個の地震の間隔が偶然揃って β が51あるいは19.4となったと考えることが可能ならば、等間隔性もそれほど不思議とは思えなくなる。

そこで $\beta=6$ のワイブル母集団から4個のサンプルを無作為に取り出し、それにワイブル分布をあてはめたと、 β の最尤推定値がどのくらいばらつくかを調べた。

また、そのとき4個のサンプルの最大値/最小値の比 r の分布も調べた。13万組のデータセットによるシミュレーションの結果、 $\beta\geq 19.4$ 、 $r\leq 1.116$ が得られる確率はそれぞれ約6.9%、約2.5%と求まった。しかし $\beta\geq 51$ 、 $r\leq 1.075$ が得られる確率はそれぞれ約0.47%、約0.72%と非常に小さい。

小田原付近にみられる程度に間隔が揃って5個の地震が起こることは、本来はある程度ばらついている間隔が、4回分たまたまよく揃ったとしても理解できる。地震がまったくランダムに発生している ($\beta=1$) とき、相次ぐ4間隔が偶然これほど揃う ($\beta=20$ 近くになる) ことはほとんどありえないが、ある程度間欠的に起こっているとき（たとえば $\beta=5\sim 10$ のとき）、4個のサンプルを取ると $\beta=20$ くらいになることはあり得ないことではない。この場合は次の地震も必ず前と同様の間隔（小田原付近の場合 72.6 ± 3.5 年）で起こるとは考えないほうがよい。 $\beta=6$ ならば $\sigma=12$ 年になるから、平均間隔72.6年から10年くらい前後にずれることは容易に起こり得るし、20年ずれてもおかしくない。

Hindu Kush の系列については、偶然と考えるのはかなり難しい。Table 1 に示した期間に何か特別の物理的状态が生じたのかもしれないが、それが何であるかわからない。確率的には極めて起こりにくい現象も、何か興味深いものはないかと気を付けていると、案外見つかるもので、Hindu Kush の例はそのようなものかもしれない。

謝 辞

阿部勝征教授に二つの地震の m_B を決定していただいた。

文 献

- ABE, K., 1981, Magnitudes of large shallow earthquakes from 1904 to 1980, *Phys. Earth Planet. Interiors*, **27**, 72-92.
- PAVLIS, G. L. and M. W. HAMBURGER, 1991, Aftershock sequences of intermediate-depth earthquakes in the Pamir-Hindu Kush seismic zone, *J. Geophys. Res.*, **96**, 18107-18117.
- ROTHÉ, J. P., 1967, *The Seismicity of the Earth, 1953-1965*, 336 pp., UNESCO, Paris.
- URSU, T., 1984, Estimation of parameters for recurrence models of earthquakes, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **59**, 53-66.
- 宇津徳治, 1992, 地震活動とはどのようなものか, 数理地震学 (VII), 統計数理研究所共同研究リポート 34, 139-157.