

9. b 値

[I] Gutenberg-Richter (G-R) の式

地震の規模（マグニチュード） M とその発生度数 n との間には、G-R 式（Gutenberg and Richter, 1944）：

$$\log n(M) = a - bM$$

としてよく知られている統計的な関係がある。これは、地震の発生度数 n がマグニチュード M とともに指数関数的に減少する、すなわち大きい地震ほど発生頻度が少なく小さな地震ほどたくさん発生するという一般的事実を表現するものである。この G-R 式における係数 b の値が、 b 値と呼ばれている。

地震の規模の度数分布を表す類似の統計式に、石本-飯田の式（1939）がある。

$$n(A) = kA^{-m}$$

ここで A は、ある特定領域に発生した地震のある観測点で記録された地震動の最大振幅である。この統計式における指数 m の値は、 m 値と呼ばれている。石本-飯田の式と G-R 式は同じ統計的性質を示すもので、

$$m = b + 1$$

の関係がある（Asada *et al.*, 1951）。

G-R 式は、最大地震が大きい地震の集団から微小な地震の集団にいたるまで、それぞれの地震の集団についてほぼ成り立つことが知られている。しかしながら地震の集団のマグニチュード M の大きい範囲で G-R 式から期待されるよりも発生度数が少なくなる傾向が見られることがあり、それを表現するための式も提案されている（岡田, 1970 ; Utsu, 1971）。一方マグニチュード M の小さい範囲においても G-R 式から期待されるよりも明かに度数が少ないという報告もある（渡辺, 1973）。一般的に、内陸の浅い地震群における G-R 式の成り立つ下限はマグニチュード $M \leq 0$ とみられている。

[II] 前兆現象としての b 値の変化

G-R 式は全世界の大地震についても局所的な小地震や微小地震についてもほぼ成り立っているが、海嶺の地震は b 値がやや大きく島弧などの地震は普通、大陸内部の地震はやや小さい傾向がみられるなど地震の発生する地域により b 値は異なると言われており、 b 値による地域分類も

行われている（例えば Mogi, 1967）。 b 値は多くの場合 0.7~1.0 程度であるが、火山性の地震においては b 値が 2 を越えることもある。

前兆現象として b 値が注目されるにいたった発端は Suyehiro *et al.* (1964) である。この論文で松代付近に発生した M 3.3 の地震について、前震の b 値が余震の b 値に比べて異常に小さいという報告がなされた以降、 b 値の小さい前震の例が多数報告されている（例えば Suyehiro and Sekiya, 1972 ; Utsu, 1974 ; 国立防災科学技術センター, 1978）。しかし自然地震では余震より前震の b 値が小さい傾向はあるものの b 値が普通の値のものもあり（清野, 1985）、ダムに関連した誘発地震では逆に余震の方が前震よりも b 値が小さい場合もある。

b 値の連続的な時間変化に関する研究も多くの人々によってなされている。Hattori (1975) によれば大地震は b 値の小さいときに発生しており、森谷 (1978) は、有珠火山性地震の場合の m 値の変化が一連の大噴火の直前に最も小さくなりかつ折れ曲がりの角度も大きくなったことを示した。一方、渡辺 (1976) は、 b 値が減少しそれが回復したところで地震活動が活発になることを示している。Wyss and Lee (1973) は、 b 値が減少して行き主震発生直前に b 値が大きくなることを示している。Fiedler (1974), Ma (1979), Li *et al.* (1978) らは、地震発生直前に b 値が増加することを報告している。山崎・鈴木 (1983), Smith (1981, 1986) らは、地震の発生直前ではなくむしろ数カ月~数年前に b 値が増加すると報告している。また Gibowicz (1973) は、余震の b 値の変化を調べ、主震後急激に増加した後最大余震発生直前に一時減少し、その後再び増加することを報告している。

[III] 今後の問題点

地震の規模別度数分布の係数 b が大きいということは比較的小さな地震が多数発生することを意味し、 b が小さいということは比較的大きな地震の発生が多いということの意味する。前震と余震の b 値の比較は地震学的には非常に重要であるが、前震として明瞭に区別できかつ多数発生している例は少なく今後の観測と研究の積み重ねが必要である。

b 値の変化を地震予知の立場からみると、 b 値の連続的な時間変化を求め平常値からの異常変化を検出する必要がある。 b 値を安定的に求めるには少なくとも数十の地震が必要であるが、地震は時間的にも空間的にも不連続に発生しているため、連続的な信頼度の高い b 値の変化を求めるには、時間的にも空間的にも範囲を拡大せざるを得ないのが実状である。このため時間的にも空間的にも b 値の変化の感度が悪くなり、また異なる地震群が混合したりするなど、有意な変化を検出できない場合がしばしばである。

b 値の有意な変化が検出された場合においても、増加、減少などその変化の様式は地震や地域により異なる傾向があり、すぐさま一般論を適用することはできない。また b 値の変化する時期が本震発生の数カ月~数年前である場合や、 b 値の変化する場所が本震の発生する場所と異なる場

合がある。このようにb値の変化する時期や場所が本震から離れてくると、地震発生とb値変化の関連があいまいにならざるを得ず、発生時期や場所の予測が困難となる。

地震予知において、本震の予知のみが取り上げられることが多いが、地震防災・復旧の面も考慮すると、大きな地震の最大余震の予知も非常に重要な問題となる。余震は前震と比べ時間的にも空間的にも接近して多数発生しており、観測漏れはあるもののほぼ均質な大量のデータが得られている。しかしながらこの方面の研究はあまりなされておらず、早急に着手する必要がある。

少数の地震から安定的にb値を求める方法も考案されている。国立防災科学技術センター(1984, 1985)では地震をマグニチュードによっていくつかのグループに分け、そのグループ間の発生頻度の比をb値の代用としている。この方法によれば発生数の多いマグニチュードの小さな地震のみを用いればよく、マグニチュードの決定に伴う誤差の影響を比較的小さくできる。Imoto and Ishiguro (1986), 井元 (1987)ではさらに時間、空間的にb値が滑らかに変化するという条件の下にABICを用いてb値を求めている。

一方、b値そのものを求めるのではなく、地震の規模別発生度数分布そのものがもつ情報やG-R式から外れること自体の情報を用いて地震活動の指標とする方式も提案されている(例えば、大内・横田, 1979; 茅野, 1982; 奥田・大内, 1989)。これらは、情報量として地震活動を捉えることができる利点があり、今後の研究に期待される。

地震予知の立場からb値、すなわち地震の規模別発生度数の情報を積極的に用い予知を行うには、以上述べてきたように現時点ではまだまだ問題が多く、今後の観測や研究の積み重ねが必要である。しかしながら、地震の発生は地殻の状態を反映した可測な最も基本的な重要な情報であり、地震の規模別発生度数がG-R式すなわち、べき乗法則 (Power Law)にしたがうことは、地震発現現象を解明するうえで非常に重要な鍵を握っている。このため、岩石実験や数理モデルからべき乗法則を説明する多くの研究があり(先駆的なものとして例えば、Mogi, 1963; 大塚, 1971),最近ではフラクタルという新しい概念から地震現象を理解しようとする試みもなされている(例えば、Kagan and Knopoff, 1981; 平田, 1987)。これら実験や理論面の研究と相補し、地震の規模別頻度の持つ情報が地震予知の上で最も信頼のおける指標となることが期待される。

(横田 崇)

参 考 文 献

- Asada, T., Z. Suzuki and Y. Tomoda, 1951; Notes on the energy and frequency of earthquakes, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **29**, 289-293.
- Fiedler, B. G., 1974; Local b-values related to seismicity, *Tectonophysics*, **23**, 277-282.
- Gibowicz, S. J., 1974; Frequency-magnitude, Depth and time relations for earthquakes in island arc., North New Zewland, *Tectonophysics*, **23**, 283-297.

- Gutenberg, B. and C. F. Richter, 1949; Seismicity of the earth and associated phenomena, Princeton Univ. Press.
- Hattori, S., 1975; Secular variations of b values in the world, *Bull. of IISSE*, **13**, 75-86.
- 平田隆幸, 1987; 新しい地震観とフラクタル, *地震*, **40**, 459-467
- 井元政二郎, 1987; 東海地域における最近の b 値の時空間変化について, *地震*, **40**, 19-26.
- Imoto, M. and M. Ishiguro, 1986; A bayesian approach to the detection of changes in the magnitude-frequency relation of earthquake, *J. Phys. Earth*, **34**, 441-455.
- Kagan, Y. Y. and L. Knopoff, 1981; Stochastic synthesis of earthquake catalogs, *J. Geophys. Res.*, **86**, 2853-2862.
- 茅野一郎, 1982; 地震群の一特性——大きい地震の大きさ分布に関する指標, *地震研究所彙報*, **57**, 317-336.
- 国立防災科学技術センター, 1978; 伊豆大島近海地震 (1978.1.14) の異常に小さい前震の m 値, *地震予知連絡会会報*, **20**, 53-55.
- 国立防災科学技術センター, 1984; 中規模地震発生前後の地震の規模別頻度の変化について, *地震予知連絡会会報*, **32**, 115-117.
- 国立防災科学技術センター, 1985; 長野県西部地震 (1984年9月14日) について, *地震予知連絡会会報*, **33**, 106-110.
- Li, Q. L., J. B. Chen, L. Yu and B. L. Hao., 1978; Time and space scanning of the b-value —— A method for monitoring the development of catastrophic earthquakes, *Acta Geophysica Sinica*, **21**, 101-125.
- Ma, H. C., 1978; Variations of the b-values before several earthquakes occurred in North China, *Acta Geophysica Sinica*, **21**, 126-141.
- Mogi, K., 1963; The fracture of semi-infinite body caused by an inner stress origin and its relation to the earthquake phenomena (2nd Paper), *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **41**, 615-658.
- Mogi, K., 1967; Regional variation of aftershock activity, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **45**, 711-726.
- 森谷武男, 1978; 有珠山火山性地震の規模別地震回数の変化, *地震学会予行集* 1978, **2**, 178 pp..
- 大内 徹, 横田 崇, 1979; 地震の規模別度数分布に関する新しい尺度, *地震*, **32**, 415-421.
- 岡田正実, 1970; 地震のマグニチュード別度数分布について——地震の上限についての統計的考察, *気象庁研究時報*, **22**, 8-19.
- 奥田 暁, 大内 徹, 1989; 地震規模別度数分布の Gutenberg-Richter 式からのズレと b 値推定, *地震学会予行集* 1989, **2**, 165 pp..
- 大塚 道男, 1971, 地震の起こり方のシミュレーション 第二部 地震の規模別頻度分布, *地震*, **24**, 215-227.
- 清野政明, 1985; 前震の規模別度数分布——b 値の変化について, *気象研究所技術報告*, **16**, 165-182.
- Smith, W. D., 1981; The b-value as an earthquake precursor, *Nature*, **289**, 136-139.
- Smith, W. D., 1986; Evidence for precursory changes in the frequency-magnitude b-value, *Geophys. J. R. Astr. Soc.*, **86**, 815-838.

- Suyehiro, S., T. Asada and M. Ohtake, 1964 ; Foreshocks and after shocks accompanying a perceptible earthquake in central Japan, *Pap. Meteorol. Geophys.*, **15**, 71-88.
- Suyehiro, S. and H. Sekiya, 1972 ; Foreshocks and earthquake prediction, *Tectonophysics*, **14**, 219-225.
- Utsu, T., 1974 ; A three-parameter formula for magnitude distribution of earthquakes, *J. Phys. Earth.*, **22**, 71-85.
- 渡辺 晃, 1973 ; 極微小地震の規模別頻度分布について, 地震 **2**, **26**, 107-117.
- 渡辺 晃, 1976 ; 群発地震の b 値の時間的変化について, 地震学会予稿集 1976, **1**, 69 pp..
- Wyss, M. and W. H. K. Lee, 1973 ; Time variations of the average, earthquake magnitude in Central California, *Stanford Univ. Publ. Geol. Sci.*, **13**, 24-42.
- 山崎謙介・鈴木晴海, 1983 ; 小地震に対する空白域の形成と発生率及び b 値の時間的変化, 地震, **36**, 393-405.