寄 書

地震の起り方の
シミュレーション—第七部 Gutenberg-Richter
の関係を解釈する—九州大学理学部物理学教室
大塚 道 男

(昭和 61 年 6 月 4 日受理)

A Simulation of Earthquake Occurrence

Part 7. Physical Bearings of
Gutenberg-Richter's Formula

Michio OTSUKA

Department of Physics, Faculty of Science
Kyushu University

(Received June 4, 1986)

§1. はじめに

前回、発表した論文 [大塚 (1986), 以下論文1と略称する] を出発点として、まず Gutenberg-Richter の関係について考察したいと思う。

§2. $\log N$ - $\log L$ の関係

論文1の Fig. 2 に示したもののうち線分の総数が増えるに従って $\log L$ と $\log N$ の関係が変化してゆく様子を、線分総数 300, 1200, 4800 の場合についてまとめて Fig. 1 に示す。

線分の総数の増加と共に、活動的な L の領域は次第に L の小さい方に移行するのが認められる。そのため、頻度曲線の左上にはまだ曲がりが残っているものの¹⁾、 L の大きい右下の部分は、すでに安定し

¹⁾ これ以上線分の数をふやしても点の大きさが有限であるための影響があらわれて好ましい結果は得られなかった。

 $\log N$

Fig. 1. Gradual build of the linear relationship between $\log L$ and $\log N$ for the numerical experiment described in the previous paper, which suggests the similar physical causalities to exist to support the Gutenberg-Richter's Formula.

ていて、ほぼ直線関係が成り立っているので、線分の総数 4800 の場合について

$$\log N = A - \alpha \log L \quad (1)$$

とにおいて、勾配 α を決定することにする。最尤法によつて α の値を求めると

$$\log N = A - 2.01 \log L \quad (2)$$

が得られる。得られた回帰直線を図中に書き入れた。 L の大きい部分に関しては十分に直線がフィットしていることを見られたい。

§3. 地震学的解釈

前節において L には何等物理的意味を与えないで

$L-N$ の関係を見たが、この章では、 L に尤もらしい地震学的解釈を与えてみて、 L を M に書き直してみよう。

地震のマグニチュード M と運動エネルギー E の間には

$$\log E = \beta + \frac{3}{2}M \quad (\beta \text{ は定数}) \quad (3)$$

なる関係があり、一方、地震体積の考え方 [TSUBOI (1956)] から

$$\log E = \gamma + 3 \log L \quad (\gamma \text{ は定数}) \quad (4)$$

であると想像されるから、これらを連立して

$$M = \delta + 2 \log L \quad (\delta \text{ は定数}) \quad (5)$$

を得る。そこで、式 (4) の L を断層の長さとして読みかえる事によつて式 (1) とを結合すると結局

$$\log N = A' - 1.01 M \quad (A' \text{ は定数}) \quad (6)$$

なる関係が得られる。

論文 1 に示した様に L の作り方に関しては何等特別の地震学的な考慮を払わなかつたのかかわらず、 L を断層の長さとして解釈すれば、一般によく観測される b 値に近い値が得られることは極めて興味深いことではなからうか。このことは、自然界における断層の発生もこれに似たメカニズムに支えられているのではないかということを示唆する²⁾。

§4. 破壊の大きさの Mean Free Path という概念

§2. に見た様に、ある断層配置において発生する断層の長さの期待値にはピークがありそうに思える。これを気体運動論に倣つて、断層の大きさの Mean Free Path と定義することを目的として簡単な解析を行つた。

まず、テストしたことは、間隔 L_0 の平行な二本の断層線 (長さ ∞) がすでに存在し、これらの断層間の任意の場所から任意の方向に向かつて走り出した断層が、断層線にぶつかつて停止すると考える時、断層の長さの期待値はどうなるであろうか、という Buffon の針の問題に似た問題であつた。解析の結果、 L の長さについての確率分布は L_0 を中

心にして両方に 6 db/oct の裾野を持つ極大を有することがわかつた (この詳細については紙数の関係で省略せざるを得ないが然るべき機会を見つけて近い将来に必ず公表したい)。

このことは、細長い形に仕切られた空間があるとき、そのなかに発生するだろう断層の長さは、細長い空間の短辺の長さに支配され易いという意味なので、仮にこれを、**短辺の法則**と呼ぼう。

短辺の長さが Mean Free Path の長さであるということがこの節の結論である。

§5. なぜ $\log N - \log L$ の関係における勾配が 2 なのか

この章では、上に得た短辺の法則を極端に簡略化し³⁾、これをてがかりにして、順次発生してゆく、断層の長さとの関係を予測してみたいと思う。

Fig. 2 において

(0) のごとき正方形の空間があるとする。

(1) はその中に一本の断層が出来た所である (以下の図において新しく発生した断層は矢型をつけ、古いものにはつけないでおく)。元の空間が正方形なのでこの場合、断層の方向は縦向きでもよい

(2) 空間は長方形なので、短辺の法則に従い、2本の断層が出来る。

(3) 再び空間は正方形となり、その中に4本の断層が出来る。

この調子で事態が推移してゆくとすれば、第 i 番目の箱には何個の断層が書き入れられているであろうか。そしてその長さは幾らであろうか。結果は Table 1 に示す通りである。

Table 1 から断層の長さを独立変数として書き直すと Table 2 が得られる。

Table 2 の一般項から、

³⁾ 実際、断層は既製のそれに直交するわけではないが、直交しなくとも、障害物が出来ることによつて次に発生する断層の Mean Free Path は大幅に減少することは事実で、このことを“直交”と簡略化した。また、断層は中央に起こり易いわけでもないが“ランダムな現象の平均をとれば事柄はすべて中央に集まる”という中心局限定理の考え方を貫いた。この種の思い切った簡略化はこの節を通じて再三用いている。

²⁾ 地震系列によつては、 b 値が1とやや異なるものが見られる事は断層の発生方向が完全にランダムでなく Preferred Orientation を持つているときに見られるのではないかと思つているが、詳細については検討が進んでいない。

Fig. 2. Schematic explanation to show sequential diminution in lengths and increase in number of line segments.

Table 1

i	断層の個数 N of Faults	断層の長さ L of Faults
0	0	1
1	1	
2	2	
3	4	$1/2$
4	8	
5	16	$1/4$
6	32	
7	64	$1/8$
$\vdots$	$\vdots$	
i	2^{i-1}	$\vdots$
$i+1$	2^i	$1/2^{i/2}$

但し i は 0, 2, 4, ..

Table 2

断層の長さ L of Faults	断層の個数 N of Faults
1	1
$1/2$	6
$1/4$	24
$1/8$	96
$\vdots$	$\vdots$
$1/2^i$	$(3/2) \cdot 2^{2i}$

但し i は 1, 2, 3, ..

$$\frac{1}{2^i} = L \quad (7)$$

とおくと,

$$N = \frac{3}{2} L^{-2} \quad (8)$$

すなわち,

$$\log N = c - 2 \log L \quad (9)$$

という関係が予想される。式 (9) は、式 (2) と事実上同一であり Gutenberg-Richter の関係式の b

値が 1 に近い理由はここにあると思われる。

§ 6. 議 論

このモデルは断層総数が非常に多くなつた究極において b 値を説明するのに一応成功したと思われる。しかし、このモデルでは、例えば巨大地震が繰返し発生するメカニズムがわからないことや、 b 値の変動が説明出来ない等の欠陥がある。続編でこれらの問題を取り上げる他、余震の問題にも言及したい。

§ 7. 補 足

この論文の原稿を提出したところ、査読者から次の様なコメントを戴いた。

『この議論は頭から 2 次元を 仮定している。しかし、大地震ならともかく、断層の長さが地殻上部の厚さより小さければ、空間の分轄は 3 次元的になるはずではないか...』というのである。これに対して、私は論文の一部を書きかえようかと思つたが、私の考え方を明瞭にするために、元論文はそのままにして、必要事項を補足したいと考えた。

お答え

御意見が、あまりにまとも過ぎて、直接お答え出来ませんが、私がこの論文の中で 3 次元を主張しないことには次に述べます様な 2 つほどの理由があることだけを述べて置きます。

1. 私自身、始めは 2 次元のモデルでは b 値が得られても 0.5 とか 0.8 とかいう現実にはありえないものになるだろうという予想を立てておりましたがやってみると存外に旨く事柄が収まつてしまつてかえつて自分もその説明に困つていること。

2. このモデルの趣旨はアルゴリズムが単純な所にあるので、3次元的な面と面との切合いをモデル化するとすればそれは当然理解し難いほど複雑になるし、もつと都合の悪いことに、自分の意見にとつて都合のいいモデルになりやすいこと。

このモデルでは不満なところが一杯あり、その最たるものとして α の値が2.0に固定してしまい(b 値では1.0) 実在する変動が説明出来ないことがあります。恐らくこの2は2次元に関係していると思うので、いずれ、事柄が3次元であることを補正せねばならないのではないかと思います。

最後に、これは大切なことではないかと思うのですが、余震面積が地震体積の射影であることなど別にはつきりと証明出来るわけではないけれども2:3という比率に左右されている現象が地震学においては意外と多いのではないでしょうか。

文 献

大塚道男, 1986, 地震の起りかたのシミュレーション, 第六部, 一つの数値実験, 地震, 2, 39, 321-323.

TSUBOI, C., 1956, Earthquake Energy, Earthquake Volume, Aftershock Area and Strength of the Earth's Crust, J. Phys. Earth, 4, 63-66.

地 震 第 2 輯
第 39 巻 (1986) 472-474 頁

インテリジェントデータ ロガーを用いた簡便な データ収集及びテレ メータシステム

東海大学開発技術研究所
綱川秀夫・横山直樹

(昭和 61 年 6 月 21 日受理)

Conventional Data-Acquisition and Telemetry
System by Using an Intelligent Data Logger

Hideo TSUNAKAWA and Naoki YOKOYAMA
Institute of Research and Development,
Tokai University

(Received June 21, 1986)

地球物理学的連続観測を遠隔地でおこなうとき、研究者自身の手で簡単に設置できるデジタルデータ収集装置およびそのデータを伝送するテレメータ装置があれば、観測の効率化を大きくはかることができる。我々は地殻変動連続観測を目的とし、16ビット分解能のインテリジェントデータロガーと全二重モデムを使つた NTT 公衆電話回線経由の簡便なテレメータシステムを組んで試験した。その結果、実用的かつ汎用性があると考えられるので報告する。

全体のシステム概略を述べる (Fig. 1)。観測地点ではデータロガーとモデルを RS232C ケーブルで、またモデルを NTT 電話回線にモジュラーケーブルで接続するだけであり、ハードウェア上の難点はない。データロガーは、エヌ・シー・シー社の Mark-1b インテリジェントデータロガーを採用した。我々の使用した Mark-1b の機能は、16ビット分解能、256 KB メモリー、8 チャンネルアナログ入力 (± 10 V)、内部カレンダークロック付きである。全てのチャンネルを同時にサンプリングし、8 チャンネル使用時では最高約 0.7 ms のサンプリ