日本とその近くにおける 地震活動のエネルギー

東京大学理学部地球物理学教室 坪 井 忠 二

(昭和 31 年 3 月 22 日受理)

Energy Accounts of Earthquakes in and near Japan.

By

Chuji TSUBOI

Geophysical Institute, Faculty of Science, Tokyo University, Tokyo.

(Received March 22, 1957)

Abstract

By using the newly deduced formula:

$$M=1.73 \log A + \log A - 0.83,$$

where M is the magnitude of an earthquake, and A is the maximum ground amplitude measured in micron at the epicentral distance Δ measured in km., the magnitudes of 1025 earthquakes which took place from 1931 through 1955 in and near Japan have been determined.

The mean annual number N of earthquakes according to the magnitude has been found to be expressed by

$$\log N = -1.08 + 0.72(8 - M),$$

for $\Delta M = 0.1$.

The mean rate of energy release by earthquakes in and near Japan has been estimated to be 1.5×10^8 ergs/cm² year or 0.1×10^{-6} calories/cm² sec.

As a whole, Japanese area is contributing well over 10% to the total seismicity of the world.

1. 或る地域から或る時間間隔内に放出された地震のエネルギーの総和を求めるためには、まず個々の地震のエネルギーを知る必要がある。しかし、よく知られているとおり、1つの地震の記象からそのエネルギーを見積もるのには、たいへんな労力を要する。だから、このような正々堂々とした途をとらず、何か簡便な方法を講ずることが望ましい。それにはマグニチュード M を利用するのがよい。すなわち、まず1つの地震の M を定め、次に適当な式によって M からエネルギー E を求めるのである。これは必ずしも正確な方法であるとはいえないが、だいたいの見当をつけるためには、まず充分である。

2. さて M を定めるについては、筆者 (1954) は、日本の地震を日本で観測するとして、

$$M=1.73 \log \Delta + \log A - 0.83 \quad (1)$$

という式を導いた。ここに Δ は震央距離 (単位 km.)、 A は地動の最大振巾 (単位ミクロン) である。そこでこの式を使つて、日本とその附近に 1931 年~1955 年の 25 年間におこつた顯著・稍顯著地震 1025 個の M を求めた。 M を求めるについては、札幌・仙台・東京・名古屋・

神戸・福岡の6カ所における観測資料を使つた。1つの地震に対して M は一般に6個求められるが、それらは必ずしも一致しない。0.3 くらいの差がおこることも珍らしくない。そんなときには、それら6個の M の平均をもつてその地震の M とした。

Δ と A とを与えて M を求める式 (1) の中にある係数の数値は、くわしくいえば、観測所ごとにちがうのであつて、早津 (1955) の研究によれば、この数値の地理的分布は日本の大構造と密接に関係しているようである。しかし、本文においては、そのことを無視して、ただ1つの式ですませた。

さてこのようにして、1025 個の地震の M を定めたが、その結果は第 I 表のとおりである。この結果は、前に発表したもの (坪井: 1950) と少し変つている。それは、 M を定めるための式が変つたことと、年数がふえたこととによる。

3. 第1図は、第 I 表の結果をもとにし、1年あたりの数に直して図示したものである。前にも述べたとおり、採用した地震は顕著・稍顕著地震であるが、 $M=3.7$ のように小さいのもでてきた。顕著・稍顕著という格付けは、有感半径の大きさによるのであるが、上のような結果をみると、 M と有感半径との間の関係はあまりはつきりしたものではないようである。

第1図においては、 $M=6$ あたりの所を中心として、 M の大きい方にむかつて小さい方にむかつて数

第 I 表 1931年～1955年におこつた顕著地震・稍顕著地震のマグニチュード別回数

M	3	4	5	6	7	8
.0		—	35	59	9	1
.1		1	33	44	7	—
.2		3	55	45	11	2
.3		3	56	37	4	—
.4		4	64	33	3	1
.5		3	69	32	3	
.6		11	62	29	1	
.7	1	14	58	16	6	
.8	—	22	70	18	4	
.9	—	29	50	15	2	計1025

が減つている。しかし、小さい方にむかつて数が減つているのは、単にみかけの上のことであつて、地震を顕著・稍顕著だけに限つたことによつて生じたことであるに過ぎない。 $M=6$ から M の大きい方にむかつて数が減つているのは、真の傾向である。この部分において、 $\log N$ と M とが1次の関係を持つているとして、最小自乗法によつてその間の関係式を求めてみると、

$$\log N = -1.08 + 0.72(8 - M) \quad (2)$$

という式が得られる。 M の区分け ΔM は、0.1 とする。GUTENBERG, RICHTER (1954) によると、全世界の浅発地震に対しては

$$\log N = -0.48 + 0.90(8 - M) \quad (3)$$

という式が成り立つという。これらの式によつて、 $(M-0.05)$ から $(M+0.05)$ までの範囲にある M をもつ地震の数 (1年あたり) N を計算することができる。そしてそれをもとにし

第 1 図 マグニチュード別地震回数 (1 年あたり)

て、或る値以上の M をもつ地震の総数を求めることができる。第 II 表はその計算の結果であつて、全世界と日本とを比較したものである。

この結果をみると、日本における地震回数は、全世界の優に 1 割以上を占めていることがわかる。

4. 次にエネルギー E はどうなっているであろうか。それぞれの地震の M はすでに求められているから、あとは M から E に換算する簡単な算術が残っているだけである。しかしこの換算のときに、どういう式を使うかによつて、最後の結果は大変に変つてくる。例えば、GUTENBERG, RICHTER の古い式と新しい式 (1956)

第 II 表 M 以上のマグニチュードをもつ地震の数 (1 年あたり)

M	全 世 界	日 本
6.0	110 $+\alpha$	14 $+\beta$
6.5	37.8 $+\alpha$	5.9 $+\beta$
7.0	12.3 $+\alpha$	2.3 $+\beta$
7.5	3.3 $+\alpha$	0.7 $+\beta$
8.0	α	β

$$\text{旧} \quad \log E = 12 + 1.8M \quad (4)$$

$$\text{新} \quad \log E = 11.8 + 1.5M \quad (5)$$

とを比較してみると、同じ M に対する E は第 III 表に示すように、ちがいがあつた。筆者の意見によると、新しい式 (5) の方がどうも都合のよい点が多いので (坪井: 1956)、本文ではそれを採用することにする。

この新しい式を使つて、各々の地震について E を求め、それを順次に積算していつた結果

第 III 表 M に対する $\log E$ の値

M		5	6	7	8
$\log E$	旧	21.0	22.8	24.6	26.4
	新	19.3	20.8	22.3	23.8

を第 2 図に示す。エネルギーは、大きくみると、時間的にほとんど一様に増している。エネルギーの総和は、25 年間に 12×10^{24} エルグに達している。1 年間に平均すれば

$$\frac{1}{2} \times 10^{24} \text{ エルグ/年}$$

ということになる。この調べを行つた地域の面積を $3.5 \times 10^{16} \text{ cm}^2$ ととると、単位面積・単位

第 2 図 地震エネルギーの積算曲線

時間あたりのエネルギー放出の割合は

$$\begin{aligned} &1.5 \times 10^8 \text{ エルグ/cm}^2 \text{ 年} \\ &= 0.1 \times 10^{-6} \text{ カロリー/cm}^2 \text{ 秒} \end{aligned}$$

ということになる。これは地表近くにおける熱の流れの割合よりも、はるかに小さいものである。

GUTENBERG (1956) は、全地球における地震エネルギー放出の割合は

$$10^{25} \text{ エルグ/年}$$

であると思積もつた。これとくらべてみると、日本の $\frac{1}{2} \times 10^{24}$ エルグ/年 はその 1/20 にしかす

ぎず、少し小さすぎるように思われる。

5. そこで、同一の基準に立つて全地球と日本とをあらためてくらべてみるため、次のような計算を行なつてみた。

1 年あたりの地震の数 N は

$$\log N = -0.48 + 0.90(8 - M) \quad \text{全世界}$$

$$\log N = -1.08 + 0.72(8 - M) \quad \text{日本}$$

によつて与えられることは前に述べた。これらの式と

$$\log E = 11.8 + 1.5M$$

との組合せると、

$$\log NE = 18.52 + 0.60M \quad \text{全世界} \quad (6)$$

$$\log NE = 16.48 + 0.78M \quad \text{日本} \quad (7)$$

という式が得られる ($\Delta M = 0.1$)。この 2 つの式に従つて、或る値以上の M を有する地震によつて放出されるエネルギー (1 年あたり) を計算してみると、第 IV 表のような結果になる。この表をみると、全世界からのエネルギー放出に対して、日本はおよそ 1/4 の寄与をしていることがわかる。

第 IV 表 M 以上のマグニチュードをもつ地震によつて放出されるエネルギー
(10^{22} エルグ・1 年あたり)

M	全世界	日本	M	全世界	日本	M	全世界	日本
6.0	$362 + \alpha$	$93 + \beta$	7.0	$336 + \alpha$	$89 + \beta$	8.0	$230 + \alpha$	$67 + \beta$
6.1	361 "	93 "	7.1	330 "	88 "	8.1	209 "	62 "
6.2	359 "	92 "	7.2	324 "	87 "	8.2	185 "	55 "
6.3	358 "	92 "	7.3	317 "	86 "	8.3	158 "	48 "
6.4	356 "	92 "	7.4	309 "	84 "	8.4	126 "	39 "
6.5	353 "	92 "	7.5	300 "	83 "	8.5	90 "	28 "
6.6	351 "	91 "	7.6	290 "	80 "	8.6	48 "	15 "
6.7	348 "	91 "	7.7	278 "	78 "			
6.8	344 "	90 "	7.8	264 "	75 "			
6.9	340 "	90 "	7.9	248 "	71 "			

もちろんこれは、永年の平均について、その程度だということである。例えば、日本についてみても、25 年間に実際におこつた地震について計算すると、1 年あたり $\frac{1}{2} \times 10^{24}$ エルグとなつたし、地震の平均数から求めると 0.9×10^{24} エルグとなつたようなわけで、その間に 2 倍くらいのちがひがある。問題の性質上そうはつきりしたことはいえないが、日本からの寄与は、全世界に対して 10% 以上といつても大した誤はないと思われる。地震数の方からいつても 10% 以上という結果が出ているので、この結論はだいたい正しいとみてよいであろう。

GUTENBERG (1956) は、日本・ソロモン地域における地震エネルギー放出の割合は

$$10^8 \text{ エルグ/cm}^2 \text{ 年}$$

と見積もつた。筆者の見積もりは

$$1.5 \times 10^8 \text{ エルグ/cm}^2 \text{ 年}$$

であるから、実によく一致しているといつてよい。また横山 (1957) は、伊豆七島火山列において放出されるエネルギーとして

$$6 \times 10^{-8} \text{ カロリー/cm}^2 \text{ 秒}$$

と見積もつたが、これは地震に対する筆者の見積もり

$$0.1 \times 10^{-6} = 10 \times 10^{-8} \text{ カロリー/cm}^2 \text{ 秒}$$

とほとんど等しい。これは誠に注意すべきことである。

文 献

- GUTENBERG, B.,
1956: The Energy of Earthquakes.
Quart. Journ. Geol. Soc. London, **112**, 1-14.
- GUTENBERG, B., and others,
1956: Progress Report, Seismological Laboratory, California Institute of Technology,
1955.
Trans. Amer. Geophys. Union, **37**, 232-238.
- GUTENBERG, B., and RICHTER, C. F.,
1954: "Seismicity of the Earth", Princeton University Press.
- 早 津 昭 男
1955: 地震の最大振巾が距離に対して減衰する割合——それと地下構造との関係
地震, **8**, 75-79.
- 坪 井 忠 二
1950: 日本附近におけるおもな地震の規模表
中央气象台 地震年報
1954: 地震動の最大振巾から地震の規模 M を定めることについて
地震, **7**, 185-193.
1956: Earthquake Energy, Earthquake Volume, Aftershock Area, and Strength of
the Earth's Crust.
Journ. phys. Earth, **4**, 63-66.
地震のエネルギー, 地震体積, 余震域面積と地殻の強さ
地震, **9**, 76-80.
- 横 山 泉
1957: Energetics in Active Volcanoes.
Bull. Earthq. Res. Inst., **35**.