

# 日本とその付近に起った浅い地震の活動\*

浜 松 音 蔵\*\*

550. 341(52)

## Seismicity of Shallow Earthquakes in and near Japan during 1926~1956

O. Hamamatsu

(Seismological Section, J. M. A.)

In this paper, the author investigates some problems on seismicity of shallow earthquakes in and near Japan, using the data in "Catalogue of Major Earthquakes which occurred in and near Japan (1926-1956)".

The relations between annual number of earthquakes and their magnitude are as follows:

In and near Japan	$\log N = -1.71 + 1.07 (8 - M)$ for $h = 0 - 60$ km
(whole Japan)	$\log N = -1.82 + 1.00 (8 - M)$ for $h = 0 - 30$ km
	$\log N = -2.25 + 1.13 (8 - M)$ for $h = 40 - 60$ km
Northeastern Japan	$\log N = -1.87 + 1.10 (8 - M)$ for $h = 0 - 60$ km
	$\log N = -2.07 + 1.05 (8 - M)$ for $h = 0 - 30$ km
	$\log N = -2.26 + 1.10 (8 - M)$ for $h = 40 - 60$ km
Southwestern Japan	$\log N = -2.10 + 0.89 (8 - M)$ for $h = 0 - 60$ km
	$\log N = -2.12 + 0.83 (8 - M)$ for $h = 0 - 30$ km
	$\log N = -3.28 + 1.21 (8 - M)$ for $h = 40 - 60$ km

The class interval of  $M$  was taken as 0.1 ( $M \geq 6.0$ ).

Mean annual total energies in each case are shown in Fig. 11.

But, the magnitudes given in the above catalogue are about 0.2 smaller than those in the "Seismicity of the Earth" at their mean value.

### § 1. ま え が き

日本とその付近における地震活動について、震源の分布による考察や、規模的な研究も進み、最近ではかなり多くのことがわかってきた。しかし、地震活動は震源の分布と規模とをあわせ考えなくては十分とはいえない。本稿では、日本とその付近に起った地震について、震源の深さと規模一度数との関係から地震活動を調べ、あわせて、北東および南西日本の地震活動についても論究する。

### § 2. 資 料

資料として用いた気象庁刊、地震月報別刷第1号 "日

\* Received Aug. 6, 1960.

\*\* 気象庁地震課

本付近の主要地震の表 (1926年~1956年)" は、だいたい小区域以上で震源の深さ 60 km までの地震について、規模  $M$  (Magnitude) を算出してある。この表の中にある日本とその付近に起った地震で、震源の深さが 0 km から 10 km ごとに 60 km までの、 $M$  別の度数を Table 1 に示す。このように、深さ 10 km ごとに区切って度数をとると、震源の深さの不確定な地震がかなりある。この不確定な地震の度数を生すために、度数を震源の深さの範囲に配分して数えた。Table 1 の総計で端数があるのは、 $h = 30 \sim 100$  km の  $M$  の度数も配分したためである。

### § 3. 日本とその付近に起った、深さ 0~60 km の地震

ある地域の地震活動をあらわすのに、その地域内に起

Table 1. Number of earthquakes of various magnitude and focal depth of shallow earthquakes which occurred in and near Japan during 1926~1956.

$M \backslash h$	0 km	10 km	20 km	30 km	40 km	50 km	60 km	0~60km
3.2					1			1
3.3	1	1						2
3.4								
3.5		1						1
3.6								2
3.7	1	1						2
3.8				1	1			2
3.9	0.2	0.2	1.7	0.7	2.5	1.5	0.3	7
4.0	2.7	4.2	1.7	4	6.0	3.5	3.4	25.5
4.1	2	4	6	3.3	11.1	7.6	6.1	40
4.2	3.5	11.8	10.3	1.5	14.6	9.6	16.1	67.5
4.3	14.7	16.2	16.9	10.7	24.2	16.2	9.8	108.5
4.4	13.6	17.6	22.1	9.8	30.5	12.5	17	123
4.5	14.4	24.4	32.8	12.6	34.5	23.7	21.0	163.5
4.6	20.8	20.8	34.1	15.0	46.7	18.9	24.4	180.5
4.7	26	30	35.7	14	42.2	20	24.2	192
4.8	31.7	30.2	39.7	9.8	41.8	21.8	28	203
4.9	21.1	27.1	32.9	15.8	31.7	15.4	23.5	167.5
5.0	29.7	23.7	28.5	20.1	48.6	27.8	26.1	204.5
5.1	27.1	29.1	35.6	15.6	50.4	19.4	30.4	207.5
5.2	27.7	17.2	25.8	10.0	44.8	26.1	30.0	181.5
5.3	19.6	18.6	29.8	13.0	37.0	24.3	20.3	162.5
5.4	30.6	12.4	20.8	10.9	30.1	16.8	21.0	142.5
5.5	15.3	9.3	23.4	13.6	21	18.2	17.5	118.2
5.6	18.3	12.8	12.1	17.0	32.5	10.5	16.0	119.2
5.7	16	7	17.3	8.2	26.5	8.2	11.2	94.5
5.8	8.2	4.2	17.2	5.3	17.9	4.4	16.9	74
5.9	8.8	4.8	13.3	6.4	12.5	7.5	15.0	68.5
6.0	14.8	3.3	18.6	7.5	25.0	4.6	9.8	83.5
6.1	12	1.5	10.8	6.9	9.8	1.9	13.1	56
6.2	6.2	2.7	8.2	2.2	13.5	1.8	4.3	39
6.3	9.6	2.6	7.4	3.8	8.1	3.8	3.8	39
6.4	3.2	1.2	6.2	1.3	7.7	2.5	4.5	26.5
6.5	3.6	1.6	4.3	2.5	5.6	4.5	3.5	25.5
6.6	3	3.5	4	2.3	4.3	2.3	4.8	24
6.7	4.5	2.5	1.5	0.9	1.9	0.9	1.4	13.5
6.8	0.3	0.3	4.3	2.5	5.3	0.3	1.3	14
6.9	1.3	0.3	2.3	0.3	1		1	6
7.0	4.2	2.7	1.7	0.5				9
7.1	3.3	1.3	2.6	0.6	0.3		1	9
7.2					2	1		3
7.3			1	1				2
7.4	0.3	1.3	0.3					2
7.5	1	1			0.3	0.3	0.3	3
7.6	1	0.5	0.5					2
7.7			1			0.5	0.5	2
7.8								
7.9								
8.0	0.3	0.3	0.3					1
8.1				1	0.5	0.5		2
8.2								
8.3	0.3	0.3	0.3					1
6.0~8.3 Total	68.7	26.7	75.2	33.3	85.1	24.7	49.1	363
3.2~8.3 Total	422.3	355.0	532.7	251.3	694.4	338.7	427.4	3,021.8

った地震の規模 ( $M$ ) と、その年平均度数 ( $N$ ) の常用対数 ( $\log N$ ) とが一次の関係にあるとして、

$$\log N = a - bM \quad (1)$$

あるいは、

$$\log N = a' + b'(8 - M) \quad (2)$$

$$b = b'$$

を用いることはよく知られている。  $\Delta M = 0.1$  にとって (1) 式あるいは (2) 式を用いるとき、計算の範囲のある  $M$  の度数が 0 である場合、このままで最小自乗法を用いることはおもしろくない。この場合、  $\Delta M$  を大きくとればよいけれども、そうすると  $M$  のとりうる数が少なくなってしまう。

これらのことを考慮して、本稿では

$$\bar{N} = \sum_{M_0 \geq M} N_{M_0} \quad (3)$$

$$\log \bar{N} = a'' + b''(8 - M) \quad (4)$$

$$b = b' = b''$$

の関係<sup>1)</sup>から他の係数を導いた。

Table 1,  $h = 60$  km の横計の度数を見ると、  $M$  が 5 くらいの範囲まで一様に増加しているように見える。しかし、計算にあたって  $M$  の値を小さいところまでとると、海に起った地震 (内陸に起った地震は問題ないとして) で、実際に  $M$  が大きくとも、資料にのらない地震のあることが考えられる。また日本とその付近に起った地震の範囲を、沿岸測候所から 200 km までと考えると、三陸はるか沖に起る少数を除いて、北は千島南部から南

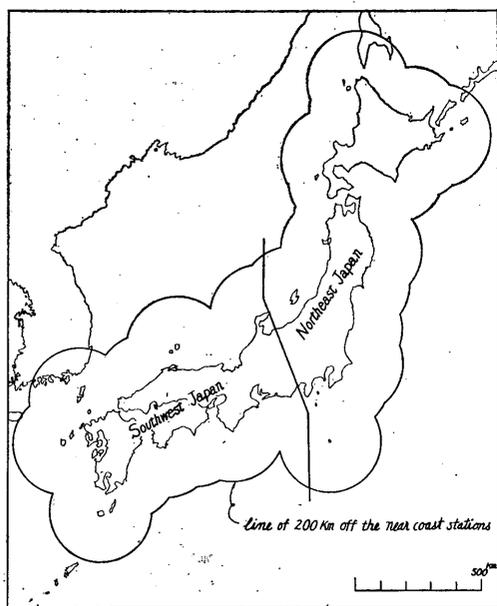


Fig. 1. The map of Japan, showing Northeastern and Southwestern Japan.

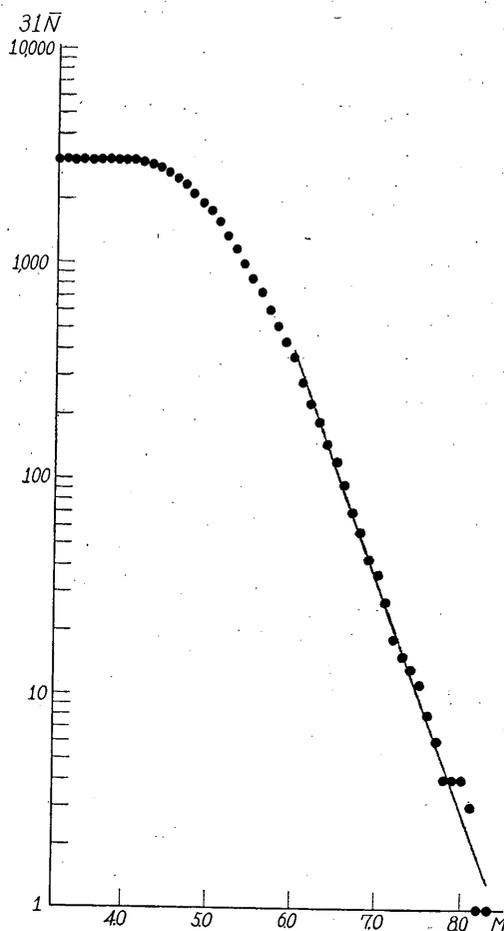


Fig. 2. Number of shallow earthquakes having the magnitude larger than  $M$  occurring in and near Japan during 1926~1956.

は奄美大島付近までの地震の全部が含まれるが (Fig. 1 参照), この場合、せいぜい  $M \geq 6.0$  が資料として使えるに過ぎない<sup>2)</sup>。

上記の考えに基づいて、  $\Delta M = 0.1$ ,  $6.0 \leq M \leq 8.3$  の間を (4) 式を用い最小自乗法によって計算すると、

$$\log \bar{N} = -1.05 + 1.07(8 - M) \quad (5)$$

実際には  $31\bar{N}$  (1926~1956 年の 31 年間の度数) から計算 ( $a'' = 0.44$ ) し、他の係数を求めた。 Fig. 2 には計算値を実数で示した。この図からも  $M < 6.0$  では次第に度数が減少して、資料として用いられないことがわかる。

日本とその付近については同様な研究があるので<sup>3)4)5)</sup>、参考のために係数を Table 2 にあげる。 Table 2 の中で、

Table 2. Coefficients  $a'$  and  $b'$  for the shallow earthquakes occurring in and near Japan.

		$a'$	$b=b'$	Remarks
A	Writer	-1.71	+1.07	$\Delta M=0.1, 6.0 \leq M \leq 8.3$ $h=0 \sim 60\text{km}, 1926 \sim 1956$
B	Gutenberg & Richter	-0.90	+0.80	$\Delta M=1/4, 6 \leq M \leq 8.5$ $h=0 \sim 60\text{km}, 1904 \sim 1945$ Kamchatka ~ NE Japan
C <sub>1</sub>	Tsuboi	-1.08	+0.72	$\Delta M=0.1, 6.0 \leq M \leq 8.4$ $h=\text{almost } 0 \sim 50\text{km},$ 1931 ~ 1955
C <sub>2</sub>	"	-1.33	+1.01	$\Delta M=0.1, 6.0 \leq M \leq 7.7$ 1931 ~ 1951
D	Usami, Utsu & Ichikawa		+1.18	$\Delta M=1/4, 6 \leq M \leq 8 1/4$ $h=0 \sim 60\text{km}, 1926 \sim 1956$

で、AとDとは  $\Delta M$  が違うだけで、計算に使った資料その他は同じである。Bについては、考えている地域および  $\Delta M$  が違うばかりでなく、Gutenberg-Richter の Magnitude  $M_G$  と、本調査に使った Magnitude  $M_J$  とが、同一の地震でかなり違っている。この調査に用いた資料、地震月報別冊第1号 (1958) の中で、同一の地震に対して  $M_J$  と  $M_G$  の値が算出しているものについて、両者の関係を Fig. 3 に示す (資料数 146)。この図を見ると、 $6.0 < M_J < 7.0$  でも  $M_G$  がやや大きい、 $M_J > 7.0$  では  $M_G$  の大きく出ているのが目だっている (Fig. 3 および Table 4)。また、Bの計算では  $6 \leq M_G$  を用

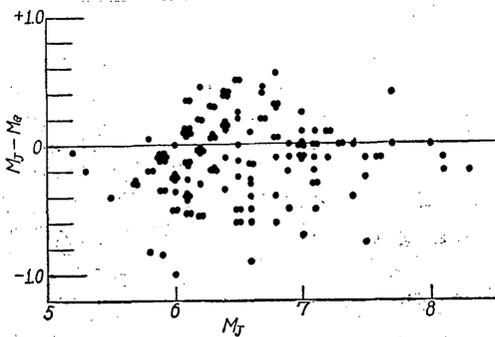


Fig. 3. Relation between the magnitude  $M_J$  and  $M_J - M_G$ .

いているが、日本とその付近については実際に  $6 \leq M$  の地震 (Shallow shock のみについて) で、 $M_G$  が算出されていないものがあると思われる。事実  $M_J \geq 6$  で  $M_G$  の求められていないものが、Table 3 に示すとおりかなり多くある。これらの総てが  $M_G \leq 6$  とはいえないであろうが、全世界とか他地域と比較する場合、この点につ

Table 3. Number of earthquakes in and near Japan during 1926~1956, having the magnitude  $M_J \geq 6.0$  and not found in the table of "Seismicity of the Earth".

$M_J$	6.0	6.1	6.2	6.3	6.4	6.5	6.6	6.7	6.8	6.9	7.0	7.1
Number	76	38	31	30	16	15	15	10	5	2	0	1

いても考慮する必要がある。  $M_J \geq 7.2$  の地震では  $M_G$  の算出してないものはない。これからみると、 $M_G$  を資料として用いる場合、だいたい  $M_G \geq 7$  の度数を使うべきである。

C<sub>1</sub> の Tsuboi の Magnitude  $M_{ch1}$  とは、 $M$  の算出に用いた式は同じであるが、算出に使った station が一般に一致しないので、同一の地震でも差異があるであろうが、 $M_{ch1}$  についての資料がないので厳密な比較はできない。  $M \geq 7$  の地震の度数について検討すると (Table 4)、 $M_J$  のほうが期間が長いにもかかわらず度数が少いことから、 $M_{ch1}$  の値より小さく算定されているようである。また、C<sub>2</sub> についても ( $M_{ch2}$ ) 同様の傾向がみられる。

このように  $M_J$  が小さく算出されているのでは、他

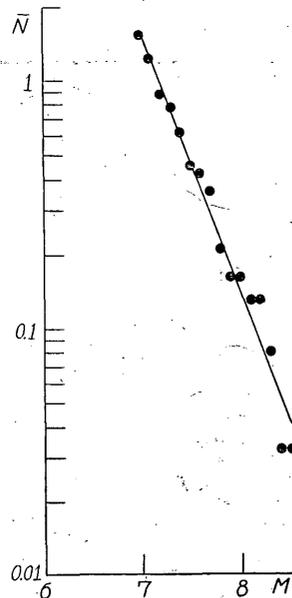


Fig. 4. Number of shallow earthquakes having the magnitude larger than  $M$  (using magnitude  $M_G$ ) occurring in and near Japan during 1926~1956.

Table 4. Number of shallow earthquakes of the magnitude larger than 7.0 in and near Japan in different periods.

<i>M</i>	7.0	7.1	7.2	7.3	7.4	7.5	7.6	7.7	7.8	7.9	8.0	8.1	8.2	8.3	8.4	8.5	Total
Number of $M_J$ from 1926 to 1956	9	9	3	2	2	3	2	2	0	0	1	2	0	1	0	0	36
Number of $M_{ch1}$ from 1931 to 1955	9	7	11	4	3	3	1	6	4	2	1	0	2	0	1	0	54
Number of $M_{ch2}$ from 1931 to 1951	15	5	6	4	5	2	0	2									39
Number of $M_G$ from 1926 to 1956	9	11	3	5	5	1	2	4	1	1	0	1	0	1	1	0	47

と比較できないから、直接  $M_G$  を用いて日本とその付近（前述の範囲）について（4）式で計算し、（3）式の関係を出すと

$$\log N = -1.52 + 1.07(8 - M) \quad (6)$$

（ただし、 $\Delta M = 0.1$ ,  $7.0 \leq M \leq 8.5$ ,  $h = 0 \sim 60$  km, 1926~1956.）.

この値と先きに筆者が  $M_J$  から求めたものと比較すると、 $b'$  は一致している（小数3位4捨5入）が、 $a'$  はやはりかなり違っている。 $b'$  を小数4位で4捨5入した値はそれぞれ1.065 ( $M_G$ ) および1.074 ( $M_J$ ) であるが、これを等しいとすると両式から

$$M_J \approx M_G - 0.18 \quad (7)$$

$$N_J \approx 0.65 N_G \quad (8)$$

2つの関係式が出る。つまり、Magnitude については、平均的な意味で  $M_J$  が  $M_G$  より約0.2くらい小さく算定されているし、日本とその付近の、ある  $M_J$  に対する年間の度数  $N_J$  は  $N_G$  の約35%くらい少なく算出される。

（6）式から計算される、日本とその付近に起る  $M \geq 7.0$  の浅い地震の  $M \geq M_0$  をもつ地震の度数を、Gutenberg-Richter が先に求めた全世界の  $M$  と  $N$  の関係式

$$\log N = -0.48 + 0.90(8 - M) \quad (9)$$

から（ただし、 $\Delta M = 0.1$ ,  $7.0 \leq M \leq 8.6$ ,  $h = 0 \sim 60$  km, 1904~1945）計算される  $M \geq 7.0$  の度数と比較すると\* 約11%にあたり、 $M_J$  からの値はこれの0.65倍、すなわち7%くらいにあたる。 $M \geq 6.0$  ではこの%がもう少し増す。

日本とその付近の浅い地震（0~60 km）について、ある  $M_J$  より大きい地震が1回起る時間を計算すると、 $M_J \geq 8.0$  では11.1年、 $M_J \geq 7.4$  の地震は（震源が陸なら断層が観測され、海ならば津波が観測される<sup>5)</sup>）2.5

年、 $M_J \geq 6.0$  の地震は（顕著地震の平均的規模以上の地震）28.9日、 $M_J \geq 5.5$  の地震は（稍顕著地震の平均的規模以上の地震）8.4日、 $M_J \geq 5.0$  の地震は（小区域地震の平均的規模以上の地震）2.4日に1回の割合になる。全世界の浅い地震について（9）式から同様の計算をすると、 $M \geq 8.0$  では9.1月、 $M \geq 6.0$  では3.6日に1回

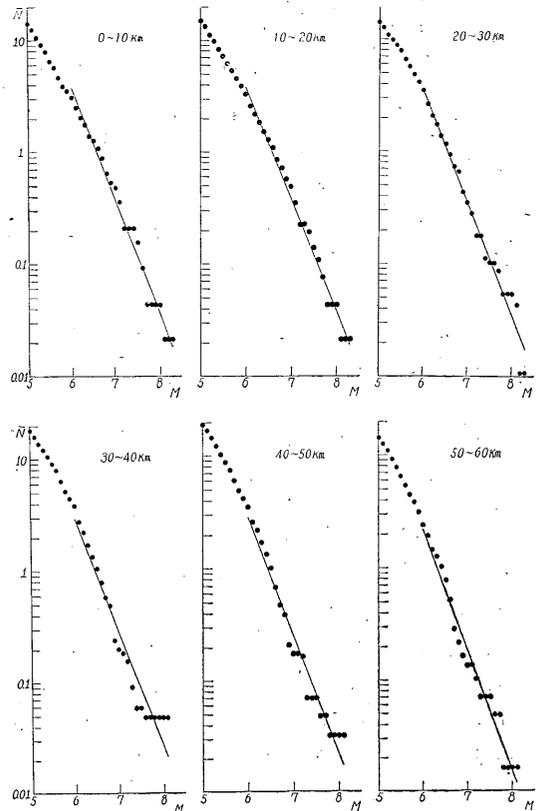


Fig. 5. Mean annual number of the earthquakes in each focal depth occurring in and near Japan (1926~1956).

\*  $M = 8.7$  の度数を  $N = 0$  として積算

の割合で起ったことになる。

§ 4. 日本とその付近に起った、浅い地震の深さ別の傾向

日本とその付近に起った地震について、Table 1 の度数に基いて (4) 式を用い、各深さ別の係数を計算すると Table 5 の値になる。Fig. 5 には、各深さの  $\bar{N}$  と  $M$  の関係を図示し、計算値を実線で示した。震源決定において、震源の深さを決める場合かなりの誤差があるものと考え、深さに範囲をもたせて度数を出し計算した。

Table 5. Coefficients  $a'$ ,  $a''$  and  $b'$  for the earthquakes in each focal depth occurring in and near Japan.

Focal depth	$a''$	$a'$	$b=b'/=b''$	Remarks
km 0 ~ 10	-1.43	-2.12	+1.009	$\Delta M=0.1, 6.0 \leq M \leq 8.3$ 1926 ~ 1956
10 ~ 20	-1.42	-2.10	+1.006	do.
20 ~ 30	-1.47	-2.15	+1.012	do.
30 ~ 40	-1.56	-2.24	+1.014	$\Delta M \leq 0.1, 6.0 \leq M \leq 8.1$ 1926 ~ 1956
40 ~ 50	-1.66	-2.32	+1.063	do.
50 ~ 60	-1.82	-2.48	+1.083	do.

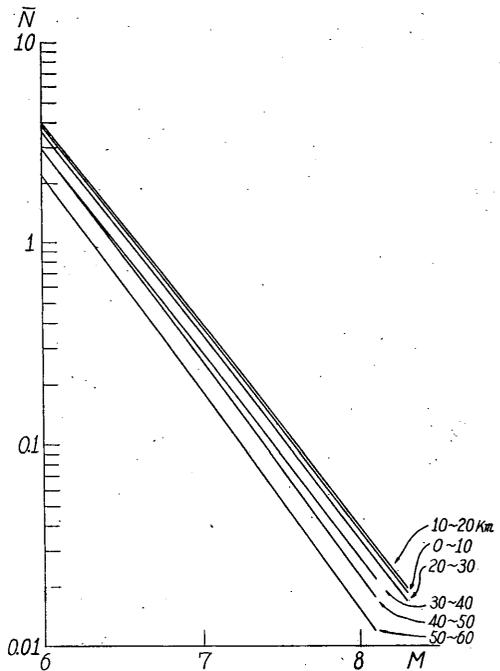


Fig. 6. The results calculated by the method of least squares from formula (4), in each focal depth in and near Japan.

係数  $b$  の値はどの深さもほとんど 1 に近いけれども、 $a'$  あるいは  $a''$  は深くなるほど値が小さくなっている。この間の傾向を検討するために、各深さの  $\bar{N}$  と  $M$  の計算値と一緒に画いてみると (Fig. 6)、深さ 10 ~ 20 km を上限として、他は  $M$  に対する  $\bar{N}$  が次第に減少している。0 ~ 10 km、10 ~ 20 km および 20 ~ 30 km は非常に接近しているばかりでなく、 $\bar{N}$  の増減の割合 (係数  $b$ ) もほとんど一致している。しかし、他は 30 ~ 40 km を過渡として急に減少し、 $b$  の値もかなり違っているようである。つまり、震源の深さが 30 km あたりより浅い所に起る地震の活動が、それより深い所に起る地震よりも圧倒的に盛んであり、その傾向もいくらか違うことを示すものである。このことは、また、日本とその付近に起る地震の震央分布図からも、すでによく知られていることでもある<sup>1)</sup>。

ここで、このことをもう少し詳細に調べるために、震源の深さ 0 ~ 30 km と 40 ~ 60 km の度数について (Table 7)、前述と同様に (4) 式について計算すると、Table 6 および Fig. 7 a の実線で示したようになる。

Table 6. Coefficients  $a'$ ,  $a''$  and  $b'$  for the earthquakes in each focal depth occurring in and near Japan.

Focal depth	$a''$	$a'$	$b=b'/=b''$	Remarks
km 0 ~ 30	-1.13	-1.82	+1.00	$\Delta M=0.1, 6.0 \leq M \leq 8.3$ 1926 ~ 1956
40 ~ 60	-1.61	-2.25	+1.13	$\Delta M=0.1, 6.0 \leq M \leq 8.1$ 1926 ~ 1956
0 ~ 60	-1.05	-1.71	+1.07	$\Delta M=0.1, 6.0 \leq M \leq 8.3$ 1926 ~ 1956

Fig. 7 a の実線を、同じ scale で先きに求めた  $h=0 \sim 60$  km も一緒に書き比較すると、 $M \geq 6.0$  の日本とその付近における地震活動は、 $h=0 \sim 30$  km の深さの地震がいかに多いかがわかる (Fig. 7 b)。すなわち、 $M \geq 6.0$  の  $\bar{N}$  の  $h=0 \sim 30$  km と  $h=40 \sim 60$  km の割合 (0 ~ 60 km を 100 として) は 58 : 36 であるが、 $M \geq 7.0$  では 69 : 31、 $M \geq 8.0$  では 82 : 27 と  $M$  が大きくなるほど  $h=0 \sim 30$  km の地震の起る割合が増している。

地震活動を云々するとき、深さ 0 ~ 60 km 内の地震に

ついでのみ論じ、それより深いところで起る地震を除くことはできないけれども、全世界について、Shallow (0~60 km), Intermediate (70~300 km), Deep (>300 km) のエネルギー比率をみても\*, 85.6%, 11.7%, 2.7%の割合で Shallow が圧倒的に多いし、たとえ日本付近の深発地震がこの割合より多くとも<sup>9)</sup>、大勢としてはそう変化はないと思われる。

深さ0~30 km というのは、1950年以後の人工地震の結果、わが国の地殻の厚さと考えられている<sup>7)</sup>。したがって、上述のことは地殻内に起る地震と、Mohorovičić 上部に起る地震活動の相違を示すものではなからうか。

### § 5. 北東日本と南西日本に起る浅い地震

従来、北東日本と南西日本に起る、浅い地震の地震活動の相違については、しばしば論じられている。ここでは両地域に起る地震を深さ0~60 km, 0~30 km および40~60 km の範囲の3つの場合について、 $M$  と  $N$  の関係を調べてみた。

北東日本と南西日本の境界については、震源分布の状態を勘案して、Fig. 1 で示したように 38°N, 137°E と 34°N, 139°E の2点を結ぶ線で区切った。日本とその付近に起る地震をこのように分けて、各  $M$  ごとの度数を数えると Table 7 のようになる。この度数だけでもだいたいの様子がわかるけれども、(4)式によって各係数を求めると、Table 8 のように算出される。Fig. 8 には計算の結果を実線で示した。

まず、北東日本に起る地震について、ある  $M$  以上の度数  $\bar{N}$  を調べる。深さ0~60 km の範囲に起る地震の  $\bar{N}$  を100とすると、深さ0~30 km および40~60 km の範囲に起る地震の  $\bar{N}$  の比は、 $M \geq 6.0$  では53.41であるのに、 $M \geq 7.0$  では59:41、 $M \geq 8.0$  では66:41となり、深さ0~30 km に起る地震が多い (Fig. 9a)。しかし、北東日本では深さ40~60 km の地震もかなり起っているのに、南西日本に起る地震はほとんど深さ0~30 km に起るといってもよく、深さ40~60 km の地震

Table 7. Number of shallow earthquakes in each area during 1926~1956.

$M$	0~30 km			40~60 km			0~60 km		
	NE Japan	SW Japan	in and near Japan	NE Japan	SW Japan	in and near Japan	NE Japan	SW Japan	in and near Japan
6.0	27.3	16.8	44.1	33.2	6.2	39.4	60.5	23	83.5
1	23	8.3	31.3	22	2.8	24.8	45	11	56
2	11.5	7.8	19.3	18.5	1.2	19.7	30	9	39
3	20.2	3.3	23.4	12.8	2.8	15.6	33	6	39
4	9.1	2.8	11.9	11.4	3.2	14.6	20.5	6	26.5
6.5	8.2	3.8	12	13.5	0	13.5	21.8	3.8	25.5
6	9.6	1.2	12.8	10.9	0.4	11.3	20.5	3.5	24
7	5.1	4.3	9.4	2.1	2	4.1	7.3	6.3	13.5
8	2.3	5	7.3	6.8	0	5.8	9	5	14
9	2	2	4	2	0	2	4	2	6
7.0	8	1	9	0	0	0	8	1	9
1	6.7	1	7.7	1.3	0	1.3	8	1	9
2	0	0	0	2	1	3	2	1	3
3	1	1	2	0	0	0	1	1	2
4	0	2	2	0	0	0	0	2	2
7.5	1	1	2	1	0	1	2	1	3
6	2	0	2	0	0	0	2	0	2
7	1	0	1	1	0	1	2	0	2
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8.0	0	1	1	0	0	0	0	1	1
1	0	1	1	1	0	1	1	1	2
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	1	0	1	0	0	1	1	0	1
Total	138.9	65.1	204	139.5	19.5	159	287.5	84.5	363

\* B. Gutenberg & C. F. Richter: Seismicity of the Earth, 1954, p. 21.

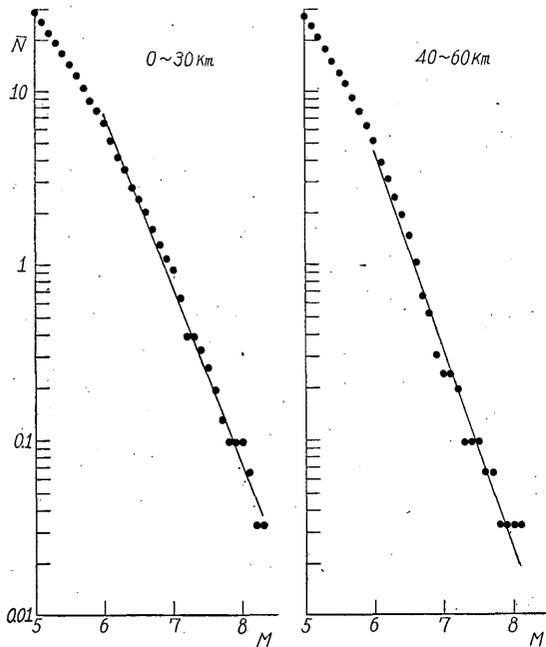


Fig. 7a. Mean annual number of earthquakes in each focal depth occurring in and near Japan (1926~1956).

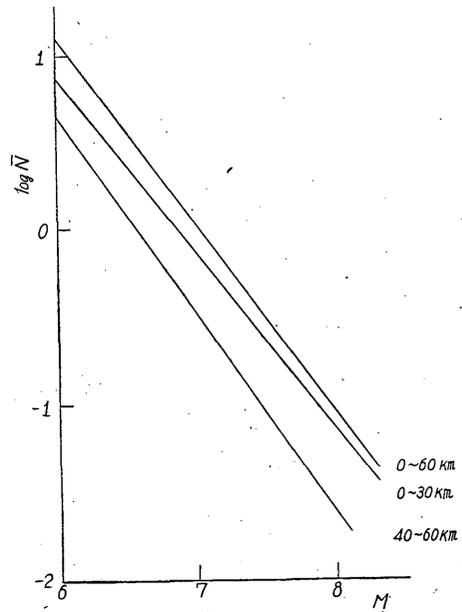


Fig. 7b. The results calculated by the method of least squares from formula (4), in each focal depth in and near Japan.

Table 8. Coefficients  $a'$ ,  $a''$  and  $b'$  on the earthquakes in each focal depth occurring in NE and SW Japan.

Area	Focal depth	$a''$	$a'$	$b=b'$	Remarks
NE Japan	0 ~ 30 km	-1.40	-2.07	+1.05	$\Delta M=0.1, 6.0 \leq M \leq 8.3$ 1926~1956
	40~60	-1.61	-2.26	+1.10	$\Delta M=0.1, 6.0 \leq M \leq 8.1,$ 1926~1956
	0 ~ 60	-1.22	-1.87	+1.10	$\Delta M=0.1, 6.0 \leq M \leq 8.3,$ 1926~1956
SW Japan	0 ~ 30	-1.36	-2.12	+0.83	$\Delta M=0.1, 6.0 \leq M \leq 8.1,$ 1926~1956
	40~60	-2.67	-3.28	+1.21	$\Delta M=0.1, 6.0 \leq M \leq 7.2,$ 1926~1956
	0 ~ 60	-1.37	-2.10	+0.89	$\Delta M=0.1, 6.0 \leq M \leq 8.1,$ 1926~1956

は  $M \geq 6.0$  において、南西日本に起る深さ 0 ~ 60 km の地震の 22% に過ぎない (Fig. 9 b).

次に、北東および南西日本に起る  $M \geq 6.0$  の浅い地震を、深さ別に検討してみる。まず、深さ 0 ~ 60 km に起る地震は (日本とその付近に起る  $\bar{N}$  を 100 とすると)、 $M \geq 6.0$  では 74 : 20 で、北東日本に起る度数が圧倒的

に多く、 $M \geq 7.0$  でも 71 : 31、 $M \geq 8.0$  でも 67 : 48 で、いかに北東日本に起る浅い地震の活動が盛んであるかわかる (Fig. 10 a).

これを、0 ~ 30 km および 40 ~ 60 km に分けて考察すると、深さ 0 ~ 30 km に起る地震の北東および南西日本の割合は、 $M \geq 6.0$  で 68 : 27、 $M \geq 7.0$  では 60 : 40 で、

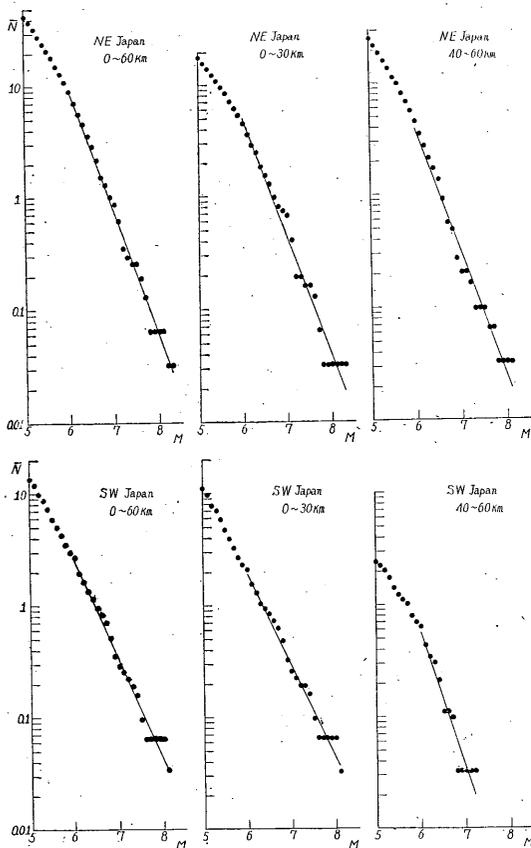


Fig. 8. Mean annual number of the earthquakes in each focal depth occurring in NE and SW Japan (1926~1956).

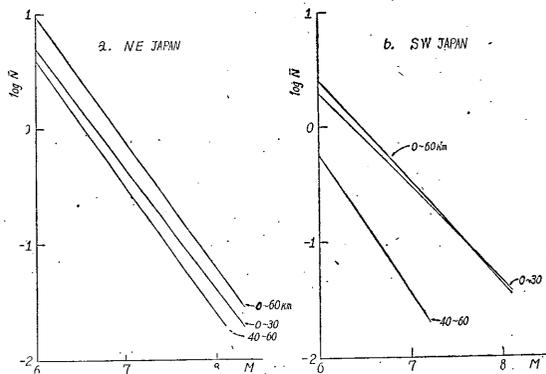


Fig. 9. The results calculated by the method of least squares from formula (4), in each focal depth, NE and SW Japan.

やはり北東日本が多いけれども、 $M \geq 8.0$ では54:60で、逆に南西日本が多くなっている。これは、深さ0~30 kmに起る規模の大きい地震については、南西日本のほうが北東日本以上に、あるいは同程度に起っていることを示している (Fig. 10 b)。しかし、40~60 kmの深さに起る地震は、規模のいかんにかかわらず、そのほとんどが北東日本に起っているといってもよく、 $M \geq 6.0$ で日本とその付近に起るものの86%をしめている (Fig. 10 c)。

§ 6. 日本に起る浅い地震のエネルギー

前節では、北東および南西日本に起る浅い地震につい

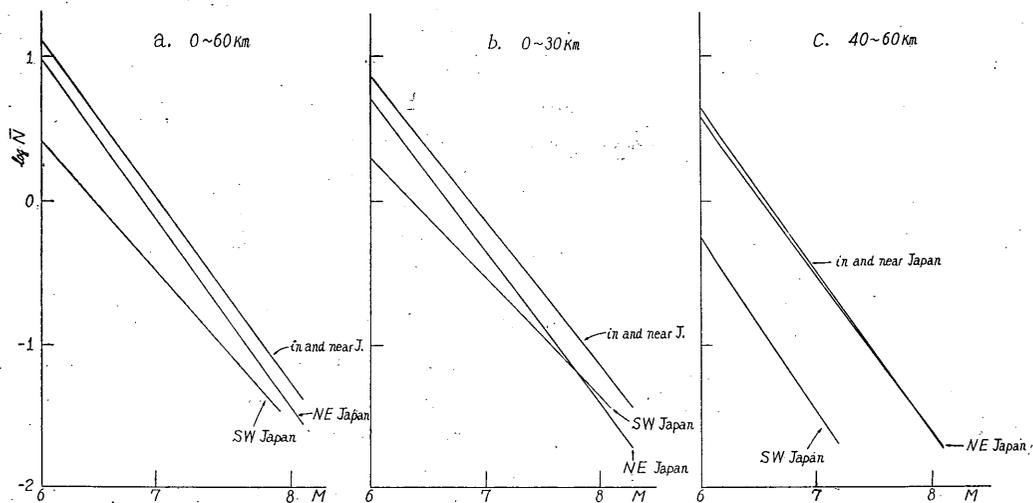


Fig. 10 The results calculated by the method of least squares for each focal depth and area.

て、規模と度数の関係を調べた。考える地域の地震活動を他と比較する場合、 $b(=b')$  の値があまり違わなければ、度数を比較することでよいけれども、 $b$  の値がかなり違う場合には簡単にはいかず、 $M$  も併せ考えなければならぬ。このことを考慮し、ここでは放出エネルギーの点から考察してみた。

各地域について求めた  $M$  と  $N$  の関係式

$$\log N = a' + b'(8 - M) \quad (2)$$

と、規模とエネルギーの関係式

$$\log E = c + dM \quad (10)$$

とを組合せた式 (ただし、 $a'$ ,  $b'$ ,  $c$ ,  $d$  はいずれも定数)

$$\log NE = \alpha + \beta M \quad (11)$$

から、 $M$  と  $M+0.1$  との間の  $M$  をもつ地震によって放出される 1 年あたりのエネルギーを求めて積算すると、これはある  $M$  の値以上の  $M$  をもつ地震によって放出

される、1 年あたりのエネルギーを示す。

Fig. 11 は、(10) 式として Gutenberg および Richters が 1956 年にあたえた  $\log E = 11.8 + 1.5 M$  を用い、各地域について計算した結果である。計算にあたって、 $M$  の値の大きいところの  $E$  の値が大ききいてくるが、ここでは一応各地域に起った地震の最大の  $M$  を上限とした。各地域についての  $b$  の値がほとんど 1 に近いので、Fig. 11 は度数について前節で述べた傾向とほとんど大差はない。

日本とその付近に起る浅い地震によって放出する、1 年あたりの総エネルギー ( $M \geq 6.0$ ) は、全世界の浅い地震の 10% くらいで、先きに坪井<sup>4)</sup> が算出した値と一致する。ただしこれは、日本付近について  $M_G$  から求めたもので、 $M_I$  からのものは度数の場合と同様、約 35% 少く算出される。各地域についての総エネルギーも  $M_I$  から算出したものであるから、 $M_G$  と比較検討するときは、このことを考慮しなければならない。

日本とその付近に起る浅い地震の、 $M \geq 6.0$  の 1 年あたり総エネルギー (これを 100 として) を、深さ 0~30 km と 40~60 km の地震に分けて比較すると 73:25 となり、深さ 0~30 km に起る地震の活動が当然ながら盛んである。

各地域について同様に日本全体のものを 100 として、深さ 0~60 km の地震の  $M \geq 6.0$  の総エネルギーを比較すると、71:26 となり北東日本の地震活動がいかに活発であるかがわかる。その北東日本においても深さ 0~30 km に起る  $M \geq 6.0$  の地震が盛んで、深さ 40~60 km に起るものの約 2 倍にあたっている (60:33)。しかし、深さ 40~60 km に起る地震活動は日本全体の深さ 40~60 km の地震からみれば、90% くらいにあたり (93:4)、深さ 40~60 km に起る  $M \geq 6.0$  の地震は、ほとんどこの地域に起っているといえる。

南西日本の浅い地震の 1 年あたり総エネルギー ( $M \geq 6.0$ ) は、日本全体の 25% にあたり、そのほとんどが深さ 0~30 km の浅い所に起り、深さ 40~60 km に起る地震の総エネルギーは数% に過ぎない (90:4)。

### § 7. む す び

本稿では、地震月報第 1 号 “日本付近の主要地震の表 (1926~1956)” を資料として、地域・深さ別に規模 ( $M_I$ ) と度数  $N$  の関係、および 1 年あたりの総エネルギー ( $M \geq 6.0$ ) について調べた。期間や地震の度数が統計的に十分とはいえないけれども、いままで、震源分布などから常識的に知られているいくつかのことがらが、

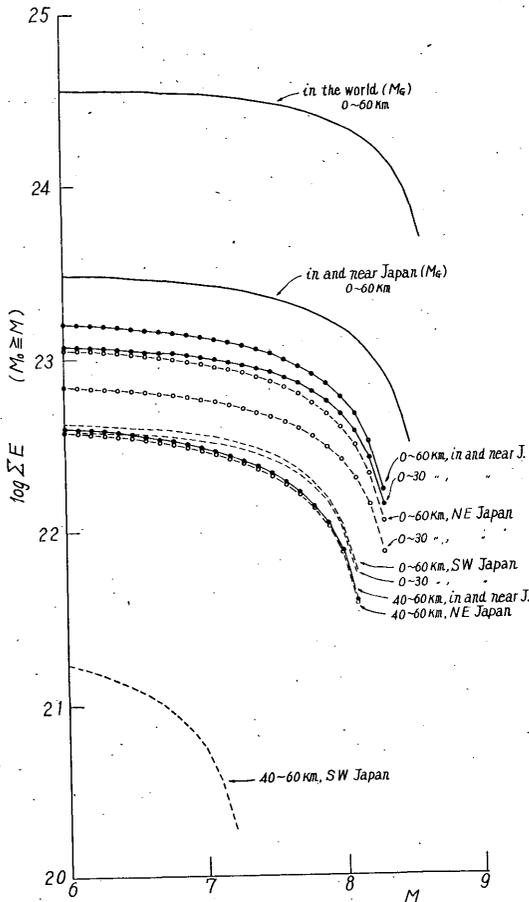


Fig. 11. Mean annual total energies of earthquakes having magnitude larger than  $M$ , in each focal depth and area.

定量的にも証明される。

1) 上記の表を用いて、 $M_G$  を用いた全世界の地震活動とか、ある地域に起った地震の  $M_G$  と比較して論じるときは、 $M_f$  のほうが平均的に 0.2 くらい小さく算定されていることに注意しなければならない。

2) 日本全体の浅い地震 (0~60 km) について、深さ別に  $M_f$  と  $N$  の関係を調べてみると、深さ 0~30 km に起る地震が、これより深いところ起る  $M \geq 6.0$  の地震の約 2 倍で、1 年あたり総エネルギーは約 3 倍にあたる。

3) 日本とその付近に起る浅い地震 (0~60 km) を、北東および南西日本に分けて、 $M \geq 6.0$  の地震活動を調べると、北東日本が圧倒的に多く、度数および 1 年あたり総エネルギーは南西日本の約 3 倍にあたる。

4) 南西日本に起る浅い地震は、そのほとんどが深さ 0~30 km のもので、 $M \geq 6.0$  の度数については約 80%、1 年あたり総エネルギーについては約 90% をしめ、深さ 40~60 km の地震活動は少く、この深さに起る地震の震央は、ほとんどが北東日本である。

5) 北東および南西日本に起る深さ 0~30 km の地震の  $M \geq 6.0$  の度数は、北東日本が約 3 倍であるが、 $M \geq 8.0$  の規模の大きい地震については大差ない。これを  $M \geq 6.0$  の 1 年あたり総エネルギーで比較すると、北東日本が南西日本の約 2 倍にあっている。

Seismicity map を考える場合、 $M \geq 6.0$  のみについて論じ、それより小さい規模の地震を無視することはできないが<sup>9)</sup>、広い地域について考えるときは現在の問題としてやむをえない。今後はもう少しせまい範囲の、活動の活発な地域や、海域とか内陸に起る地震といったものについても考えてゆきたい。

本稿を結ぶにあたって、終始御助言をいただいた宇佐美、宇津、山川学兄に心からお礼を申し上げます。

#### 参 考 文 献

- 1) T. Usami, T. Utsu and M. Ichikawa: Seismicity in and near Japan, 1926~1956. Geophys. Mag., **28**(1958), 273~289.
- 2) 市川政治: 地震の規模と最大有感距離, 験震時報, **25** (1960), 83~88.
- 3) B. Gutenberg and C. F. Richter: Seismicity of the Earth, 2nd Ed. (1954), Princeton Univ. Press.
- 4) 坪井忠二: 日本とその近くにおける地震活動のエネルギー, 地震, **II**, **10**(1957), 229~234.  
 " : 地震のマグニチュード  $M$  について, 地震, **II**, **10**(1957), 6~23.  
 " : Magnitude-Frequency Relation for Earthquakes in and near Japan, Journal of Physics of the Earth, **1** (1952), 47~54.
- 5) 宇津徳治: 地震のマグニチュードと余震の起り方, 地震, **II**, **10**(1957), 35~45.
- 6) 勝又 護: 日本付近の深い地震の表(1935~1957), およびそれについて二三のこと, 験震時報, **23**(1958), 1~14.
- 7) 爆破地震動研究グループ: 爆破地震動観測による東北地方南部の地下構造, 爆破地震動研究グループ会報, No. **10** (1954).  
 " : 大爆破による関東地方北部の地下構造, 地震, **II**, **11**(1958), 102~113.
- 8) 浅田 敏: 地震のマグニチュードの頻度分布及びサイスミシティとそれ等に関連した諸問題, 地震, **II**, **10**(1957), 24~34.

Table 9. The results calculated by the method of least squares from formula (4) and (11).

Areas Focal depth $M$	In an near Japan								Northeastern Japan ( $M_J$ )						Southwestern Japan ( $M_J$ )					
	$M_G$ (0~60km)		$M_J$ (0~60km)		$M_J$ (0~30km)		$M_J$ (40~60km)		0~60 km		0~30 km		40~60 km		0~60 km		0~30 km		40~60 km	
	$\bar{N}$	$\Sigma E$ (erg)	$\bar{N}$	$\Sigma E$ (erg)	$\bar{N}$	$\Sigma E$ (erg)	$\bar{N}$	$\Sigma E$ (erg)	$\bar{N}$	$\Sigma E$ (erg)	$\bar{N}$	$\Sigma E$ (erg)	$\bar{N}$	$\Sigma E$ (erg)	$\bar{N}$	$\Sigma E$ (erg)	$\bar{N}$	$\Sigma E$ (erg)	$\bar{N}$	$\Sigma E$ (erg)
6.0	30.7	$10^{22}$	12.6	$16.0 \times 10^{22}$	7.4	$11.7 \times 10^{22}$	4.5	$40.4 \times 10^{21}$	9.4	$11.3 \times 10^{22}$	5.0	$68.3 \times 10^{21}$	3.9	$37.7 \times 10^{21}$	2.5	$42.2 \times 10^{21}$	2.0	$38.0 \times 10^{21}$	0.57	$17.4 \times 10^{20}$
1	30.4		9.9	15.8	5.9	11.6	3.5	39.7	7.3	11.2	3.9	67.6	3.0	37.1	2.1	41.9	1.6	37.8	0.43	16.5
2	30.1		7.7	15.6	4.7	11.5	2.7	39.0	5.7	11.1	3.1	66.9	2.3	36.5	1.7	41.5	1.4	37.6	0.33	15.6
3	29.8		6.0	15.4	3.7	11.4	2.1	38.2	4.4	10.9	2.4	66.0	1.8	35.9	1.4	41.1	1.1	37.3	0.25	14.6
4	29.5		4.7	15.2	2.9	11.3	1.6	37.4	3.4	10.7	1.9	65.1	1.4	35.1	1.1	40.7	0.93	36.9	0.19	13.5
6.5	29.1		3.7	14.9	2.3	11.1	1.2	36.5	2.7	10.5	1.5	64.1	1.1	34.3	0.91	40.2	0.77	36.5	0.14	12.4
6	28.6		2.9	14.7	1.9	10.9	0.95	35.5	2.1	10.3	1.2	63.0	0.85	33.5	0.75	39.5	0.64	36.0	0.11	11.2
7	28.2		2.2	14.4	1.5	10.7	0.73	34.4	1.6	10.1	0.92	61.7	0.66	32.5	0.61	38.8	0.53	35.5	0.081	9.9
8	27.6		1.7	14.0	1.2	10.5	0.56	33.2	1.2	9.8	0.72	60.3	0.51	31.5	0.50	38.0	0.43	34.8	0.061	8.5
9	27.0		1.4	13.6	0.93	10.3	0.43	31.9	0.97	9.5	0.57	58.7	0.40	30.3	0.40	37.1	0.36	34.1	0.046	7.0
7.0	1.6	26.4	1.1	13.2	0.74	10.0	0.33	30.5	0.75	9.2	0.44	57.0	0.31	29.0	0.33	36.0	0.30	33.2	0.035	5.4
1	1.3	25.7	0.83	12.8	0.58	9.7	0.26	29.0	0.58	8.9	0.35	55.1	0.24	27.6	0.27	34.8	0.25	32.2	0.027	3.7
2	1.0	24.9	0.65	12.3	0.46	9.4	0.20	27.3	0.45	8.5	0.27	53.0	0.19	26.1	0.22	33.4	0.20	31.0	0.020	1.9
3	0.78	24.1	0.51	11.7	0.37	9.0	0.15	25.5	0.35	8.1	0.22	50.7	0.14	24.4	0.18	31.8	0.17	29.6		0
4	0.61	23.1	0.40	11.1	0.29	8.6	0.12	23.5	0.27	7.7	0.17	48.1	0.11	22.6	0.15	29.9	0.14	27.7		
7.5	0.48	22.0	0.31	10.4	0.23	8.1	0.091	21.4	0.21	7.2	0.13	45.2	0.087	20.6	0.12	27.7	0.11	25.8		
6	0.37	20.8	0.24	9.6	0.18	7.6	0.070	19.1	0.17	6.6	0.10	42.0	0.068	18.4	0.097	25.2	0.095	23.6		
7	0.29	19.5	0.19	8.8	0.15	7.0	0.054	16.6	0.13	6.0	0.082	38.4	0.053	16.0	0.079	22.3	0.078	21.0		
8	0.23	18.1	0.15	7.9	0.12	6.3	0.041	13.8	0.10	5.4	0.064	34.5	0.041	13.4	0.064	19.0	0.065	18.0		
9	0.18	16.5	0.12	6.9	0.092	5.5	0.032	10.8	0.077	4.7	0.050	30.1	0.032	10.5	0.052	15.2	0.053	14.5		
8.0	0.14	14.8	0.09	5.8	0.073	4.7	0.025	7.5	0.060	3.9	0.040	25.3	0.025	7.3	0.043	10.8	0.044	10.4		
1	0.11	12.9	0.07	4.6	0.058	3.7	0.019	3.9	0.047	3.0	0.031	19.9	0.019	3.8	0.035	5.8	0.036	5.6		
2	0.08	10.8	0.05	3.2	0.046	2.6		0	0.036	2.1	0.024	13.9		0		0		0		
3	0.07	8.5	0.04	1.7	0.037	1.4			0.028	1.1	0.019	7.3								
4	0.05	5.9	0.03	0		0				0		0								
8.5	0.04	3.1	0.03																	
		0																		

Remarks;

 $\bar{N}$  : Anunal number of earthquakes having the magnitude larger than  $M$ . $\Sigma E$  : Annual energy released by earthquakes having the magnitude larger than  $M$ .