日本における有感地震回数と震度との関係

東京学芸大学地学教室 池 上 良 平

(昭和 36 年 2 月 28 日受理)

Intensity-Frequency Relation for Felt Earthquakes in Japan

Ryohei Ikegami

Division of Astronomy and Earth Science, Tokyo Gakugei University

(Received Feb. 28, 1961)

The relation between the seismic intensity I and the mean annual number N of earthquakes which give that intensity at the seismological stations in Japan were found to be expressed by the formula $\log N = \alpha - \beta I$. The constants α and β differ from an area to another, and it appears that the value of β for an area is nearly proportional to the value of α for that area. This result bears some resemblance to what has been found by Tsuboi about the mean annual number N of earthquakes having magnitude M . The values of α and β are given in Table 2. The constant m in the Ishimoto-Iida's law of earthquake occurrence was obtained for various areas, and these values are given in Table 3.

§ 1. 序

気象庁管下の地震観測所における、1921 年から 1950 年までの 30 年間の、震度別有感地震回数の資料（気象庁、1960）を用いて、下に述べる方法によつて、各観測所での震度 I とその年平均回数 N との関係を求めた。さらにその結果を用いて、magnitude 別の頻度との関係、石本—飯田の式の係数などを考察した。

使用した観測所の総数は 96、この内 30 年間の全期間にわたつて資料のあるものは 34、他は多少の欠測期間があつた。上記の資料を再整理して、まず各観測所毎に、震度別に年平均回数を求めた。Table 1 はその結果である。

各観測所での全有感地震の年平均回数を地図上に表わしたのが Fig. 1 である。回数分布は、かなり明瞭に地域的に同一傾向を示し、それに応じて図のように日本を A, B および C の 3 地域に分けた。坪井 (1952) がかつて日本付近の地震の magnitude とその年平均回数との関係を求めた研究においておこなつた地域区分と、今回の区分とが、結果において非常によく似たものとなつたことは、興味あることである。ただ両者の著しい相違は、今回の B 地域には福井から松江にかけての裏日本地域が含まれている点である。

Table 1. Total and mean annual numbers of earthquakes of various seismic intensities observed at the each station in the areas A, B and C.

Station	Seismic intensity						Total
	1	2	3	4	5	6	
Area A							
Ajiro	11.2	4.1	1.7	0.2	—	—	17.2
Aomori	8.1	6.9	2.1	0.4	—	—	17.5
Chichibu	8.4	4.9	1.4	0.02	—	—	14.7
Choshi	19.3	5.4	3.0	0.4	0.1	—	28.2
Fukushima	32.9	9.6	2.3	0.4	0.3	—	45.5
Funatsu	17.1	6.3	1.6	0.2	—	—	25.2
Hachinohe	80.5	46.2	9.8	0.6	0.2	—	137.3
Hakodate	10.2	4.1	1.6	0.1	—	—	16.0
Ishinomaki	7.1	2.7	0.5	0.1	0.2	—	10.6
Kakioka	78.4	23.2	7.2	0.9	0.1	—	109.8
Kofu	22.2	4.0	2.2	0.8	0.4	0.1	29.7
Kumagaya	20.8	9.1	3.7	1.1	0.1	0.03	34.8
Kushiro	31.8	8.6	2.3	0.4	—	—	43.1
Maebashi	10.9	2.8	1.1	0.4	0.1	—	15.3
Mishima	23.6	6.6	2.7	0.2	0.05	0.05	33.2
Mito	93.3	14.5	3.9	0.4	0.2	—	112.3
Miyako	29.5	9.1	2.7	0.5	0.1	—	41.9
Mizusawa	8.9	5.8	1.8	0.4	—	—	16.9
Morioka	24.6	6.1	1.5	0.4	—	—	32.6
Nemuro	20.3	8.1	2.2	0.4	—	—	31.0
Obihiro	8.6	4.6	1.7	0.3	—	—	15.2
Onahama	20.8	14.0	3.4	0.7	0.4	—	39.3
Oshima	34.8	12.8	1.9	0.4	—	—	49.9
Sendai	9.7	6.0	1.9	0.3	0.2	—	18.1
Shirakawa	19.9	9.8	3.4	0.1	—	—	33.2
Shizuoka	14.4	6.3	2.4	0.1	—	—	23.2
Tokyo	73.2	15.4	3.4	0.6	0.3	0.03	92.9
Tomisaki	4.9	1.9	0.7	0.04	—	—	7.5
Urakawa	25.7	8.1	2.7	0.3	0.1	—	36.9
Utsunomiya	68.5	15.0	3.7	0.4	0.1	—	87.7
Yokohama	22.5	9.2	3.0	0.5	0.2	—	35.4
Area B							
Fukui	28.7	6.8	2.6	0.3	0.1	0.04	38.5
Gifu	8.6	2.4	0.8	0.1	0.1	—	12.0
Hamamatsu	6.3	1.7	0.5	—	0.04	—	8.5
Hikone	8.8	1.9	1.3	0.1	0.2	—	12.3
Himeji	4.0	0.5	0.5	0.5	—	—	5.5
Hiroshima	5.1	1.8	0.5	0.1	—	—	7.5
Iida	8.1	3.1	1.0	0.3	—	—	12.5

Station	Seismic intensity						Total
	1	2	3	4	5	6	
Kagoshima	5.6	0.9	0.5	0.1	0.1	—	7.2
Kameyama	13.3	5.2	1.6	0.4	0.1	—	20.6
Kobe	5.2	2.1	0.5	0.2	—	—	8.0
Kochi	8.2	2.5	0.8	0.1	0.01	—	11.6
Kumamoto	12.7	5.1	1.4	0.01	—	—	19.2
Kyoto	9.2	3.2	0.6	0.3	0.1	—	13.4
Matsue	4.1	1.6	1.8	0.2	—	—	7.7
Matsuyama	3.1	2.0	1.0	0.1	—	—	6.2
Miyazaki	6.6	3.0	0.8	0.3	0.1	—	10.8
Murotomisaki	1.5	1.8	1.3	0.1	0.04	—	4.7
Nagasaki	9.6	1.8	0.4	0.03	0.03	—	11.9
Nagoya	9.6	3.3	1.0	0.3	0.04	—	14.2
Nara	12.1	2.9	0.5	0.1	0.1	—	15.7
Oita	4.7	2.1	0.9	0.2	0.03	—	7.9
Okayama	6.9	2.1	0.6	0.1	—	—	9.7
Omaezaki	3.8	1.0	0.9	—	—	0.1	5.8
Osaka	10.4	1.2	0.7	0.2	—	—	12.5
Owase	22.1	5.9	1.0	0.2	0.2	—	29.4
Shimizu	3.0	1.8	0.6	0.1	—	—	5.5
Shionomisaki	10.6	3.3	0.9	0.1	0.1	—	15.0
Sumoto	17.1	3.1	0.7	0.3	0.2	—	21.4
Takamatsu	15.6	6.0	1.5	0.4	0.1	—	23.6
Tokushima	10.3	3.1	0.7	0.3	0.03	—	14.4
Tottori	201.9	25.8	10.6	1.2	—	0.1	239.6
Toyooka	22.1	6.7	2.0	0.5	0.3	0.2	31.8
Tsu	16.2	3.5	1.2	0.5	0.2	0.04	21.6
Tsuruga	8.8	4.0	1.7	0.4	0.1	—	15.0
Unzendake	9.0	1.9	0.9	0.1	—	—	11.9
Uwajima	7.8	2.3	0.7	0.1	—	—	10.9
Yakushima	8.2	1.7	1.4	—	—	—	11.3
Yonago	4.5	1.8	0.7	0.2	—	—	7.2
Area C							
Abashiri	0.7	0.4	0.1	—	—	—	1.2
Aikawa	2.0	0.9	0.1	—	—	—	3.0
Akita	3.8	1.5	0.7	0.1	0.1	—	6.2
Asahikawa	1.1	0.3	0.2	—	—	—	1.6
Fukuoka	2.0	0.7	0.2	0.1	—	—	3.0
Hamada	2.7	0.7	0.1	0.1	—	—	3.6
Ibukiyama	3.7	1.3	0.7	0.1	—	—	5.8
Izuhara	1.3	0.6	0.2	—	—	—	2.1
Kanazawa	1.9	0.3	0.5	0.03	—	—	2.7
Matsumoto	3.2	0.7	0.6	0.1	—	—	4.6
Mori	3.2	1.5	1.1	—	—	—	5.8
Muroran	6.2	1.4	0.3	0.1	—	—	8.0
Nagano	6.6	3.2	1.1	0.1	0.1	0.03	11.1
Niigata	3.4	1.1	0.4	—	—	—	4.9
Saga	2.3	0.7	0.3	—	—	—	3.3
Saigo	3.3	1.4	0.4	0.2	—	—	5.3
Sakata	2.2	1.9	0.5	—	—	—	4.6
Sapporo	4.2	0.9	0.6	0.03	—	—	5.7
Shimonoseki	1.7	0.7	0.1	—	—	—	2.5
Suttu	0.1	0.1	0.2	0.03	—	—	0.4
Takada	3.1	0.7	0.7	0.1	—	—	4.6
Takayama	3.9	0.9	0.6	0.1	—	—	5.5
Tomie	0.2	0.1	0.04	—	—	—	0.3
Toyama	1.8	0.9	0.4	0.2	—	—	3.3
Wajima	2.2	1.0	0.5	0.1	—	—	3.8
Wakkanai	—	0.1	0.1	—	—	—	0.2
Yamagata	3.6	1.7	1.0	0.1	—	—	6.4

Fig. 1. Distribution of the mean annual numbers of the total felt earthquakes.

§ 2. 震度と年平均回数との関係

上述の A, B, C, A + B および A + B + C の各地域毎に、震度 I とそれに対応する各観測所での年平均回数の平均値 N を求め、 I と N の関係を図示したのが Fig. 2-a, b, c, d, および e である。これらはいずれも、

$$\log N = \alpha - \beta I \quad (1)$$

に近い関係にあることを示している。各地域毎に、最小自乗法で α, β の値を求めると、Table 2 および各図に直線で示した結果となる。

Fig. 2-a. The mean annual number N of earthquakes having seismic intensity I . Area A.

Fig. 2-b. N and I . Area B.

Fig. 2-c. N and I . Area C.

Fig. 2-d. N and I . Area A + B.

Fig. 2-e. N and I . Area A + B + C.

(1) 式はまた次のようにも表わせる.

$$\log N = \alpha_6 + \beta(6 - I) \quad (2)$$

α_6 の値も Table 2 に示してある. α_6 は震度 6 を与える地震の有感回数であつて, C 地域で

負にやや大である以外は、各地域にわたつてほぼ一定の値を示している。すなわち、震度6程度の有感地震回数は、C地域ではやや小ではあるが、日本全体を通じてほぼ一定であるとみなしてよいだろう。

Table 2. The constants α , β and α_6 determined for various areas, and the values α' and β' calculated from Tsuboi's constants a and b and Kawasumi's relation $M=4.85+0.5 M_k$

Area	α	β	α_6	$\alpha'=(a-4.85b)$	$\beta'=b/2$	a	b
A	2.06	0.58	-1.42	1.73	0.53	6.88	1.06
B	1.48	0.46	-1.32	0.70	0.36	4.19	0.72
C	0.75	0.39	-1.59	0.47	0.33	3.67	0.66
A + B	1.78	0.51	-1.28	1.82	0.52	6.86	1.04
A + B + C	1.61	0.49	-1.33	1.85	0.50	6.75	1.01

β の値は、A 地域で最大、C 地域で最小である。すなわち、震度が小となるにつれて、地震回数の増す勾配は、A 地域で最も大きく、C 地域で最も小である。この α と β の関係を図に示すと Fig.3 となり、両者の間にはほぼ linear な関係が認められる。すなわち、 β の値は各地域の有感地震数に比例して大となると見るのが自然のようである。

これらの傾向は、坪井 (1952) が日本付近の地震の magnitude と年平均回数との関係についての研究において見出したものと、かなりよく似ている。

これらのことについては、§3 でふれることにする。

なお付言すれば、Fig. 2 の各図で見ると、震度4に対する地震回数が、平均よりも常に過小になつている傾向がある。これは恐らく、震度を決める際に、震度3または震度5と決定されたものの中に、震度4とすべきものが含まれる可能性が多いことを意味していると考えられる。すなわち震度4程度の場合、その震度を過小または過大に見積ることが多いことを示しているのであろう。

§3. M_k および M との関係

河角 (1952a) によれば、任意の震央距離 Δ での震度を I_Δ 、 $\Delta = 100$ km での震度を I_{100} とすれば、これらの間には次の関係が成り立つ、

Fig. 3. Relation between the constants α and β in the areas A, B and C.

$$I_d = I_{100} + I(d) \quad (3)$$

但し, $I(d)$ は d のみの函数で, $d \leq 100$ km で $I(d) \geq 0$ となるべきものである.

(1) と (3) より, $\log N = (\alpha - \beta I_{100}) - \beta I(d)$ となる. いま $d = 100$ km で $I = I_{100}$ であるような地震数を N_{100} とすれば, $I(100) = 0$ であるから, 上式は $\log N_{100} = \alpha - \beta I_{100}$ となる. 河角 magnitude M_k は, $d = 100$ km における I_{100} で定義されているから, 上式より,

$$N_{M_k} \propto 10^{-\beta M_k} \quad (4)$$

となる.

河角 (1952 *a, b*) は, 1904~1943 年間に日本およびその付近でおきた地震のうち, $8 > M_k > 4$ のものについて, $\log N_{M_k} \propto -0.537 M_k$ と求め, また 1911~1940 年間に東京付近でおきた地震について, $\log N_{M_k} \propto -0.556 M_k$ と求め, 統計の精度の範囲内で, 共に $-0.5 M_k$ に比例するとしてよいと結論した.

今回の結果でも, Table 2 に示したように, β の値はほぼ 0.5 に近い値を示しているが, しかし Fig. 3 に示したように, β の値は α の値と linear な関係において, 地域的に変化しているとする方が自然であるように思われる.

坪井 (1952) は, 坪井の地域区分における A, B および C の各地域に対して,

$$\log N_M = a - bM \quad (5)$$

の a, b の値として Table 2 に示すような結果を得ている. また河角 (1954) は, M と M_k との関係として

$$M = 4.85 + 0.5 M_k \quad (6)$$

を得ている. (5) と (6) より,

$$\begin{aligned} \log N_{M_k} &= (a - 4.85b) - bM_k/2 \\ &= \alpha' - \beta' M_k \end{aligned} \quad (7)$$

となる. 坪井の求めた a, b の値を用いて, α' と β' を求めると, Table 2 に示したような値を得る. α, β と α', β' の値は傾向としてはかなりよく似ているが, 多少異なっている. $A+B$ 地域および $A+B+C$ 地域に対する両者の値は, かなりよく一致していることから考えて, A, B および C 各地域に対しての相違の主な原因は, 初めに述べたように坪井の地域区分と今回のものが多少異なっていることにあるものと思われる. この問題については, さらに検討してみたいと考えている.

§4. 石本—飯田の式との関係

鈴木 (1953) が指摘したように, ある期間 t において, ある地域内でおこる地震の震源における最大振幅が, a と $a + \delta a$ の間にある地震数 n については, 次式のように石本—飯田の関

係式と全く同じ形で表わしうる.

$$n(a)\delta a = Ca^{-m}\delta a \quad (8)$$

また周期 T , 振幅 a の地震動の最大加速度 A は,

$$A = (2\pi/T)^2 a \quad (9)$$

である.

Table 3. Ishimoto-Iida's constant m for various areas.

Area	m
A	2.16
B	1.92
C	1.78
A+B	2.02
A+B+C	1.98

河角 (1954) によれば, 気象庁の震度階では, 震度 I と加速度 A の間には次の関係が成り立つ.

$$A = 0.253 \times 10^{0.5I} \quad (10)$$

従つて, (8), (9) および (10) より, $n = C \times 10^{-0.5(m-1)I}$ となる. 統計期間 t で n を除したものが, §2 における N に相当するから,

$$N = C' \times 10^{-0.5(m-1)I} \quad (11)$$

となる. (11) と (1) より, $\alpha = C'$, $\beta = 0.5(m-1)$ であることがわかる, それ故, 各地域に対してさきに求めた β の値から, m の値を算出することができる. その結果は, Table 3 に示してある. 得られた値は, A 地域で最大, C 地域で最小であつて, この結果も前に求めたものとむじゅんしない.

おわりに, 今回の研究に関して, 種々の御教示を給つた河角広教授, ならびにはげましを給つた坪井忠二教授に対し, 深く感謝の意を表します.

文 献

- Kawasumi, Hiroshi 1952 a, On the Energy Law of Occurrence of Japanese Earthquakes. Bull. Earthq. Res. Inst., XXX, 319-323.
 Kawasumi, Hiroshi 1952 b, Energy Law of Earthquake Occurrence in the Vicinity of Tokyo. Bull. Earthq. Res. Inst., XXX, 325-330.
 Kawasumi, Hiroshi 1954, Intensity and Magnitude of Shallow Earthquakes. Publ. Bureau Cent. Seism. Int. Ser. A. Fac 19, 99-114.
 気象庁 1960, 地震月報, 第 108 号.
 Suzuki, Ziro 1953, A Statistical Study on the Occurrence of Small Earthquakes, I. Sci. Rep. Tohoku Univ., Ser. 5, Vol. 5, 177-182.
 Tsuboi, Chuji 1952, Magnitude-Frequency Relation for Earthquakes in and near Japan. Journ. Phys. Earth, 1, 47-54.