松代群発地震における石本—飯田の 係 数 m の 変 動

京都大学防災研究所 西 田 良 平

(昭和 45 年 3 月 23 日受理)

Variation of the Parameter “ m ” in the Ishimoto-Iida’s Relation on the Matsushiro Earthquake Swarm

Ryohei NISHIDA

Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

(Received March 23, 1970)

In general, the Ishimoto-Iida’s Relation between the maximum trace amplitude a and the number of earthquakes $n(a)$

$$n(a) = ka^{-m}$$

holds good for earthquakes observed at an observation, where k and m are constants.

In order to determine if the parameter “ m ” changes with time and with a range of observed earthquake magnitude, this study was carried out in case of the Matsushiro earthquake swarm at Sanada, about 15 km southeast from Matsushiro, by means of an observation in four dynamic ranges.

The period of observation is 82 days from June 15 to September 9, 1966, with interruption from August 15 to August 19.

The method of least-squares was used to determine the parameter “ m ”. For a calculation, the running means of 3 days, 6 days, and 8 days were adopted as daily number of earthquakes. We could not use the data of the fourth channel, because the number of earthquakes was not large enough for statistical analysis.

Some conclusions were derived from this analysis; 1, The parameter “ m ” for the three channels changes with time and these changes have statistical significances respectively. 2, Each value of the parameter “ m ” deduced from each channel is different, and they are estimated as 1.267 ± 0.04 , 1.877 ± 0.153 and 1.901 ± 0.067 from the first, second and third channels, respectively. 3, The difference between the values of the parameter “ m ” derived from the first and second channel has a statistical significance throughout the observation period with few exception. As for the difference between the values for the second and third channel, however, the statistical significance cannot be ascertained, for it changes with time for the observation period.

1. 序 論

石本—飯田の関係とは、観測点での最大振幅 a と $a+da$ の間にある地震数 $n(a)$ と、最大振幅 a との間に

$$n(a) = ka^{-m}$$

という式が成立することである。

この関係式については、験震的にも理論的にも非常に多くの研究がなされている、特に係数 m の値について種々論じられていることは周知の通りである。また、この式が、マグニチュードと地震数の関係式、

$$\log N = a - bM$$

と、ある仮定のもとで $b = m - 1$ の関係であることが証明されている。これは係数 m が震源の性質を表わす統計量であることを示している [ASADA, SUZUKI, TOMODA (1951)]. 係数 m の研究において、鈴木 (1953, 1955) は日本の微小地震を調べ、統計的検定法を用いて、係数 m の値が火山性 B 型の地震を除いて一定値であり、観測地域や観測時期による値のバラツキは、資料の選択の仕方や統計処理の段階での誤差であると述べている。

しかし、係数 m の値 (または b の値) が、観測地域あるいは対象となる地震群により異なる値を取るとする考え方もある。末広 (1966) は、大地震の前震と余震で b の値が異なることを観測した。宮村 (1962) は、GUTENBERG-RICHTER の式の係数 a と b が地体構造の進化に関連していることに言及している。また、茂木 (1962, 1963) は、岩石破壊実験において、 m の値が媒質の一樣性により異なる、すなわち、一樣なほど係数 m の値が小さくなることを示している。鈴木・浜口 (1966) は、Tempered glass を用いて、石本-飯田の関係式が pre-existing stress の加え方により変化することを述べている。松代群発地震においても、萩原・浜田 (1966) が、活動期の前後で係数 m の値が変化することを観測している。このように、実験、験震の資料の蓄積により、時間的・地域的に係数 m の値が変化するという考え方が強くなって来ているように思われる。

しかし、係数 m の値の変化の統計的有意性についての実証と、係数 m の値が極微小地震から大地震まで変らない値を持つかということについては、以上のような数多くの研究にもかかわらず、なお問題として残されている。これを議論するためには、統計処理が出来るほどの地震を長期間連続して観測することが必要である。その一つの方法として、松代群発地震を広いダイナミック・レンジで記録させ、 $M = -1.0$ から、 $M = 2.0$ までの地震を観測した。その結果について述べる。

2. 観 測

松代群発地震は、1965 年 8 月に始まり、1969 年 8 月には地震の総回数は 70 万個以上を記録している。その間、顕著な活動期としては、1965 年 11 月の第 1 活動期、1966 年 3・4 月

Fig. 1. Block Diagram at Sanada.

の第2活動期, 同年8・9月の第3活動期を持っている.

今回の観測は, 第3活動期を含む, 1966年6月15日から, 9月9日まで(欠測8月15日~8月19日)の82日間に亘つて, 皆神山から南々東約15 km

の真田町傍陽(36°27'5 N, 138°17'5 E, $h=740$ m)で, Fig. 1に示す観測方法, 1サイクルの上下動地震計1台から感度が5倍ずつ違う4つのチャンネルに分けて, それぞれペンレコーダーで記録させた. 観測期間中は毎日17時から翌日1時までの8時間の抜取り観測で, 記録の送り速度は5 mm/sec, 一部では25 mm/secである. 実際の記録例をFig. 2に示す.

各々のチャンネルの感度, 8時間で記録された地震数, 及びS-P (time) = 1.7 secとした時の観測可能なマグニチュードの範囲を, Table 1に示す.

Fig. 2. The example of seismograms at Sanada.

Table 1. List of a multi-channel observation at Sanada, observable magnitude is estimated as s-p time 2.0 sec.

Ch.	Sensitivity	Number of observed earthquake per 8 hours	Range of observable magnitude
1	0.32 mkine/cm	780	-1~0
2	1.6	230	0~1
3	8.0	40	1~1.5
4	40	10	1.5~2

上述の観測で得られた記録から、石本-飯田の係数 m の値を各チャンネルごとに計算し、 m の値の時間的变化、チャンネル間の相違について、統計的考察を試み、地震活動との相関性を議論する。

3. 係数 m の値の計算

係数 m の値の決定については、時間的变化を明瞭にするため、6日間の地震から最大振幅頻度分布を作り、最小2乗法により係数 m の値を決定し、1日ずつずらして、全観測期間に亘って、71個の m の値を求めた。集計の仕方では係数 m の値の時間的变化に相違があるか否かを見るために、各3日間及び各8日間の地震について同様な方法で係数 m の値を求めた。この際、Ch. 4 については観測された地震数が少ないため、統計的に取扱うのには不適であるので、今回の解析には用いない。

算出された係数 m の値の時間的变化を、Figs. 3, 4, 5 に示す。3~4 日ぐらいの短期間の变化は、各3日間の地震で決定された図に表れ、各6日間、各8日間の図はそれを均した形である。

また、各チャンネルの係数 m の値は異つた値を持ち、その時間的变化も違っている、特に、一番感度の高い Ch. 1 が常に小さい値を持つこと、すなわち、石本-飯田の式が振幅の小さい方で上に凸に折れ曲つている。これをはつきり見るために、観測期間中の全ての地震を用いて、各チャンネルごとに石本-飯田の式を作つた。これを Fig. 6 に示す。それぞれ、Ch. 1

Fig. 3. Variation of Parameter " m " in every 6 days.

Fig. 4. In every 3 days.

Fig. 5. In every 8 days.

で 1.267 ± 0.041 , Ch. 2 で 1.877 ± 0.153 , Ch. 3 で 1.901 ± 0.067 となり, これは石本-飯田の式が小さい地震から大きい地震まで一つの式で表されるということに反するし, 係数 m が震源での統計量であるならば, この相違は発生の相違に結びつくかも知れない.

4. 係数 m の値の統計的検定

係数 m の値の変化の物理的意味について論ずるためには, その変化の統計的有意性を検討して置く必要がある. この統計的有意性の検定にはいろいろな問題が存在するが, 時間的变化を, 帰無仮説; 係数 m は全期間を通じて一様である, を立て“F-検定”を試みる. また, チャンネル間の係数 m の値の差については“ t -検定”を用いて, 帰無仮説; 係数 m と m' が等しい, を検定した.

係数 m の時間的变化においては, Table 2 に示すように集計の仕方によらず3日間, 6日間, 8日間の合計で決定された m の値は, 95% の信頼限界で帰無仮説を棄却した. ゆえに, この観測期間中に係数 m は各チャンネル共, 時間的に統計誤差以上の変化を示したことになる.

第2の問題点である, チャンネル間の係数 m の値の相違については, 全ての地震を用いた Ch. 1 と Ch. 2 の m の値の差は $t = 2.343$ となり, これは $t(42, 0.05) = 2.020$ よりも大きく, 帰無仮説は棄却される, Ch. 2 と Ch. 3 については $t = 0.2120$ となり, $t(48, 0.05) = 2.010$ より小さく帰無仮説は承認される. これらにより, Ch. 1 と Ch. 2 の m の値の差は統計的に有意な差であり, Ch. 2 と Ch. 3 の間の差は有意な差でないことになり, 地震全体

Fig. 6. Ishimoto-Iida's Relation in each channel for total earthquake number.

Table 2. "Snedecor's F ".

Every 3 days				$F(77, 00, 0.05)=1.30$	
C. H.	D. F.	Σd^2	V	F'	
1	1482	23.091614	0.015581	1.492	significance
	77	1.789769	0.023244		
2	1482	55.692617	0.037579	2.538	"
	77	7.344083	0.095378		
3	1482	275.974647	0.181218	3.348	"
	77	46.715038	0.606689		

Every 6 days				$F(71, 00, 0.05)=1.30$	
C. H.	D. F.	Σd^2	V	F'	
1	1368	12.456523	0.009101	1.416	significance
	71	0.915133	0.012889		
2	1368	29.150261	0.021309	3.627	"
	71	5.487833	0.077293		
3	1368	114.763290	0.083891	2.421	"
	71	15.639866	0.203115		

Every 8 days				$F(62, 00, 0.05)=1.30$	
C. H.	D. F.	Σd^2	V	F'	
1	1292	19.691599	0.007501	1.488	significance
	62	0.747789	0.011161		
2	1292	19.691599	0.017290	3.758	"
	62	0.747789	0.064976		
3	1292	85.337287	0.066051	1.848	"
	62	8.178751	0.122071

Fig. 7. The difference of parameter " m " between channels in every 6 days and the type of Ishimoto-Iida's Relation.

としてみれば、石本-飯田の式は Ch. 1 と Ch. 2 の間で折れ曲る形となる。

また、このチャンネル間の差が、時間的にどのように変化しているかを、6日間の地震で決定された m の値の差と、 t -検定の帰無仮説を承認する時、 m の値の差が統計的に有意でない時は○を、棄却した時、差が統計的に有意である場合×として Fig. 7 に示した。これより、Ch. 1 と Ch. 2 の m の値の差では8月上旬の2カ日を除いたほとんどの期間について統計的に有意な差が存在し、Ch. 2 と Ch. 3 の差については6月中旬、7月上旬、8月下旬以後の3つの期間に統計的に有意な差が存在し、その他の期間ではこれら2つのチャンネルの m の値の差は、統計的な誤差とみることができる。

これらの決定に用いた資料は、松代群発地震に限ったので、この変化の有意性は震源での変化が存在することと考えても良いだろう。

5. 議 論

今まで m の値の時間的変化が統計的誤差以上に存在することをみて来た。Ch. 1 においては、全観測期間を通じて係数 m の値は小さくあまり著しい変化を示していない。Ch. 2 と Ch. 3 は、類似した変化を示しているが、少し異なる所もある。この内で、Ch. 2 と Ch. 3 は、7月上旬から係数 m の値が大きくなり、7月下旬から係数 m の値が漸次小さくなり、8月上旬に最小値を示す変化は地震活動との相関をみれば、直接的な関係ははつきり言えないが、8月中旬から第3活動期に入るのに先がけて、震源で何らかの変化が存在するように思われ

Fig. 8. The earthquake numbers at Sanada for 6 days.

る。また、石本-飯田の式の形を4つの型に分類して考察を加える。すなわち、I型は各チャンネル共ほぼ同じ値を示す、II型はCh. 1とCh. 2の m の値が異なり、Ch. 2とCh. 3がほぼ同じ値を示す、III型はCh. 2とCh. 3の値が異なり、Ch. 1とCh. 2の値がほぼ同じ、IV型は各チャンネルの m の値が異なる場合とする。I型は8月上旬に2回見られるだけであり、II型は6月下旬、7月中旬から8月初旬にかけて、そして8月中旬と全期間の半分以上の期間を占める。III型は存在せず、IV型は6月中旬、7月上旬、8月下旬以後に見られる。これらの型の時間的な分布をFig. 7に示す。

この石本-飯田の式の形を地震活動と比較してみるのに、ここでは観測点での地震数の変化と比べてみた。各チャンネルで記録された地震数を、係数 m の値と比較する必要から、6日間ずつ合計してFig. 8に示す。これから、活発な時はIV型を示し、石本-飯田の式の形は一本の直線で表現することができず、これは震源で複雑な変化があることを統計的に示しているのではないか。また、全期間を通じての石本-飯田の式の形は平均的にII型で、上に凸の形で折れ曲つている、これは大変興味深い事実である。この折れ曲り点はマグニチュードで言えばおよそ0.0である。石本-飯田の式の形が折れ曲るといふ観測例は、桜島の火山地震において火口近くの観測点でみられ、火口より離れた点で観測されていないことが報告されている[吉川(1966)]。さらに、上に凸の形で折れ曲ることは2つ以上の地震群を同時に観測した結果としては説明することができず、これは地震群特有の性質ではないかと思われる。

今回の観測結果において、係数 m の値の時間的变化、観測された地震の大きさ別の m の値について統計誤差以上の変化、差が存在し、それが地震活動と何らかの関連を有するか否かを見てきたのであるが、その物理的意味について言及することは不確実な要素が多くあり、それについては他の観測量との検討が必要であろう。

終りに、御指導を賜りました岸本兆方教授を初め、多くの助言を下さいました地かく変動部門の方々には心から感謝いたします。特に、共同で研究下さいました見野和夫氏に心から感謝いたします。また、現地での観測並びに解析に御協力下さいました方々にお礼を申し上げます。また、論文を送つていただきました大阪電気通信大学の神村三郎教授にお礼を申し上げます。

なお、数値計算には東京大学大型計算機センターの HITAC 5020 を使用しました。

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.
- IKEGAMI, R., 1967, On the Secular Variation of Magnitude-Frequency Relation of Earthquake, Bull. Earthq. Res. Inst., **45**, 327-338.
- ISHIMOTO, M. and K. IIDA, 1939, Observations sur les Séismes Enregistrés par le Micro-séismographe Construit Dernièrement (1), Bull. Earthq. Res. Inst., **17**, 443-478.
- HAMADA, K. and K. HAGIWARA, 1966, High Sensitivity Tripartite Observation of Matsushiro Earthquakes, Part. 3, Bull. Earthq. Res. Inst., **44**, 1665-1687.
- 岸本兆方・尾池和夫・見野和夫, 1966, 松代群発地震の2, 3の性質, 京大防災研年報, **10A**, 43-50.
- 神村三郎, 1954, 石本-飯田の統計式における最大振幅指数について, 地震, **7**, 145-150.
- 神村三郎, 1955, 石本-飯田の統計式と割れ目現象, 地震, **8**, 80~83.
- 宮村摂三, 1962, 地震活動と地体構造, 地震, **15**, 23-52.
- MOGI, K., 1962, Magnitude-Frequency Relation for Elastic Shocks Accompanying Fractures of Various Materials and Some Related Problems in Earthquakes (2nd Paper), Bull. Earthq. Res. Inst., **40**, 831-853.
- MOGI, K., 1963, The Fracture of a Semi-infinite Body Caused by an Inner Stress Origin and Its Relation to the Earthquake Phenomena, Bull. Earthq. Res. Inst., **41**, 595-614.
- SUYEHIRO, S., 1966, Difference between Aftershocks and Foreshocks in the Relationship of Magnitude to Frequency of Occurrence for the Great Chilean Earthquake of 1966, Bull. Seism. Soc. Amer., **56**, 185~200.
- SUZUKI, Z., 1953, A Statistical Study on the Occurrence of Small Earthquake I, Sci. Rep. Tôhoku Univ., **5**, 177-182.
- SUZUKI, Z., 1955, A Statistical Study on the Occurrence of Small Earthquake II, Sci. Rep. Tôhoku Univ., **6**, 105-118.
- SUZUKI, Z. and H. HAMAGUCHI, 1966, The Brittle Fracture of Tempered Glass and Its Relation to the Occurrence of Earthquake I, Sci. Rep. Tôhoku Univ., **8**, 16-39.
- 吉田圭三・西 潔, 1966, 桜島火山における地震観測について, 第5報, 京大防災研年報, **9**, 47-54.