

岐阜県西部地震の余震活動について

西田良平・塩野清治

ON AFTERSHOCKS ACTIVITY OF THE WEST GIFU EARTHQUAKE

By Ryohei NISHIDA and Kiyoji SHIONO

Abstract

Aftershocks of the West-Gifu Earthquake of September 19, 1969, were observed with five different sensitivity ranges in order to examine whether the parameter "m" of Ishimoto-Iida's statistical relation changes with time and with observed earthquake magnitude.

The analysis of the observed results shows that the parameter "m" changes with time with a statistical significance, and that the Ishimoto-Iida's relation may be represented by a single straight line over the whole ranges of magnitude.

序 論

1969年9月9日に、岐阜県西部に $M=7.0$ の地震が発生した。我々はこの地震に伴う余震を観測し、その発生の地震学的性質と、余震群中の大きい地震と小さい地震の発生の相違について、統計的な研究をするために、余震域から約 20 km 離れた、岐阜県郡上郡白鳥町原口に観測点を置いた ($40^{\circ}53'N$ $136^{\circ}50'E$ 高度 700 m)

統計的研究は、今まで多くの人々によってなされている。一つの観測点での最大振幅頻度分布は、石本一飯田の関係式として、地震の振幅 a と、 a と $a+da$ の振幅の間に入ってくる地震数 $n(a)$ の間に、

$$n(a)da = ka^{-m}da \quad \dots\dots\dots(1)$$

という関係が成立することが示され、この係数 m は Gutenberg-Richter の関係式 $\log n = a' - bM$ の係数 b と $b = m - 1$ の関係があることが理論的に示され、 m は震源での一つの統計的性質を表わす量である¹⁾。

この係数 m の物理的意味については、実験的に m の値が物質の不均一性によって異なるという茂木の研究があり²⁾、験震学的には、大地震の前震の b の値が、余震の b の値よりも小さいという末広の研究³⁾や、 b の値を地体構造の発達と結びつけた宮村の研究⁴⁾、また、地域的、時間的に b の値が変化し、その変化が地震活動と相関性を持つという池上の研究⁵⁾、また、筆者の一人は、松代群発地震において、 m の値の時間的変化の存在の統計的有意性を示し、そして、地震の magnitude によって、 m の値が異なり、験震される地震の magnitude が小さくなるほど、 m の値が小さくなることを示した⁶⁾。この様に、 m の値の相違性は、験震学的にも、多くの例が示されている。今回は、松代群発地震で用いた観測方法を改良して、幅広い範囲の地震を観測し、解析を行なった。

観測及び余震活動の概況

観測方法は松代の場合⁶⁾と同じく、一つの地震計から4倍ずつ感度の異なる5つの range に分割して、幅広い範囲の magnitude の地震を記録させた。Block diagram を Fig. 1 に示す。1 c/s の地震計を用い、30 c/s から高い周波数を落とす Filter を通して、3 c/s ~ 30 c/s まで、velocity 感度で平坦にしている。総合感度の周波数特性を Fig. 2 に示す。各 channel とドラムの感度と、S-P time = 3.0 sec とした時に、その channel またはドラムに記録される地震の magnitude を、Table 1 に示す。今回の観測は、地震

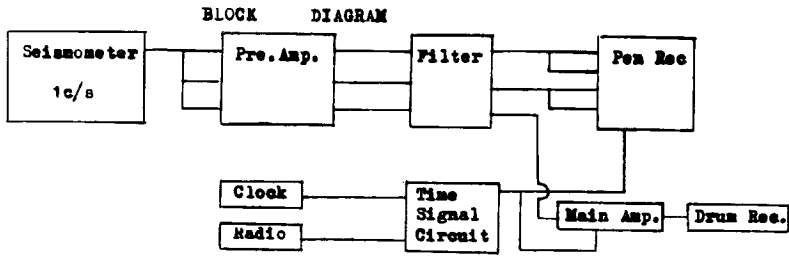


Fig. 1 Block Diagram at Shiratori

FREQUENCY RESPONSE CURVE

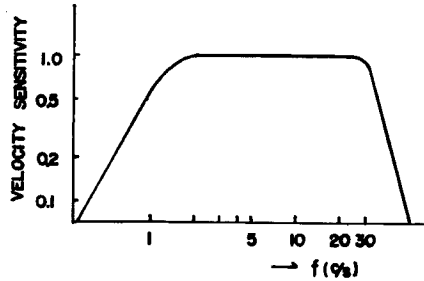


Fig. 2 Frequency response curve for total observation.

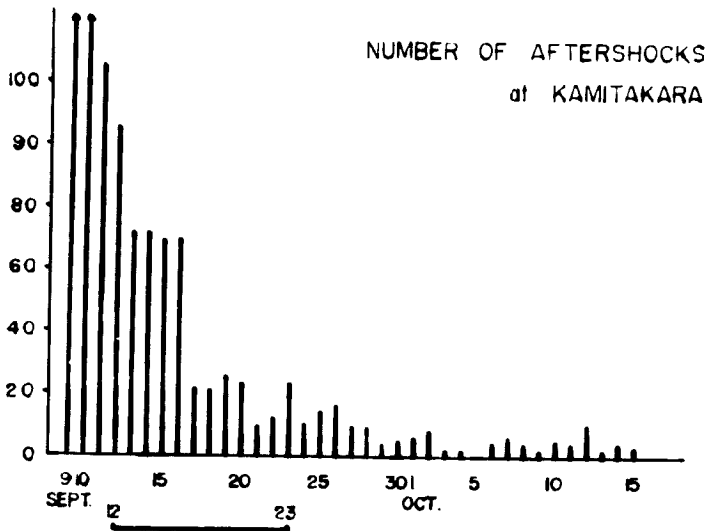


Fig. 3 Number of aftershocks at Kamitakara in daily.

発生3日後の9月12日21時から、9月23日24時までの約11日間である。Fig. 3に、余震域から約70 km 離れている、上宝地殻変動観測所の短周期地震計に記録された余震数の1日ごとの変化である。この図で見る限り、余震活動は順調に減衰しており、今回の観測は、余震活動が著しい減衰を示している期間である。各channelに記録された地震数の時間的变化はFigs.4, および5に示すが、各channelごとにおける特異な

Table 1 List of a multi-channel observation at Shiratori.

Channel	Sensitivity	Magnitude
1 st	6.2 mkine/cm	1.5-2.2
2 nd	1.2 mkine/cm	0.8-1.5
3 rd	390 μ kine/cm	0.0-0.8
4 th	100 μ kine/cm	-0.8-0.0
Drum	10 mkine/cm	1.8-2.5

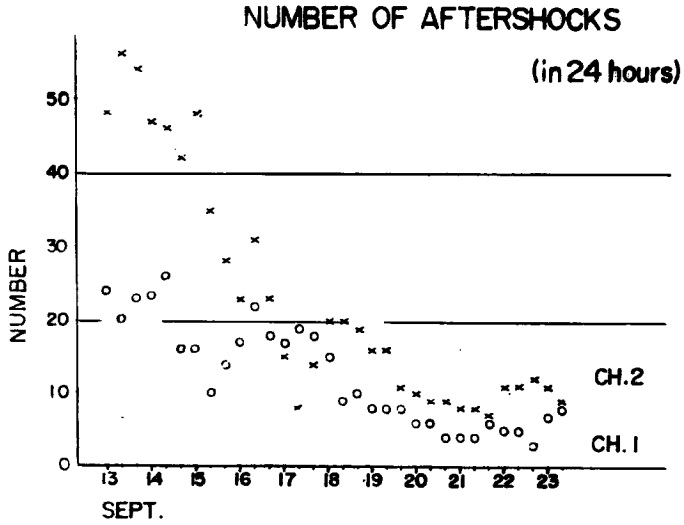


Fig. 4 Number of aftershocks of 1st ch. and 2nd ch. in every 24 hours.

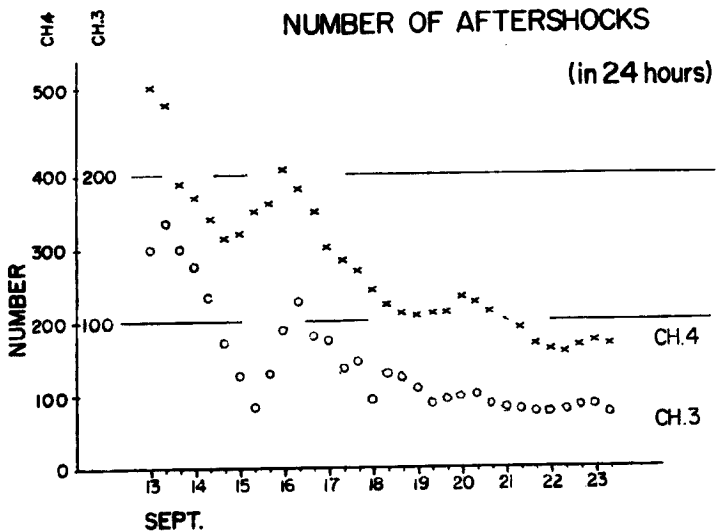


Fig. 5 Number of aftershocks of 3rd ch. and 4th ch. in every 24 hours.

変化はない。これは、上宝地殻変動観測所の短周期地震計で記録された地震数の変化とそれほど違わない。

余震域の大きさは、この観測で詳細に議論することはできないが、大体の大きさは S-P time 分布を見ることで議論される。各 channel 別の S-P time 分布を、Fig. 6 に示す。各 channel 共 3.0 秒を中心に約 2 秒の間にほとんどの地震が入ってしまう。また、channel による差がほとんどないということは、大きい地震と小さい地震の発生場所に著しい特徴がなく、余震域全体にわたって、一様に発生している様である。

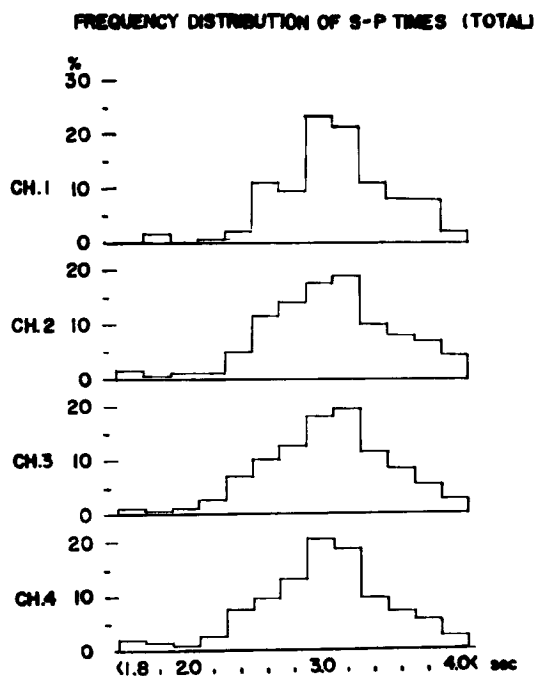


Fig. 6 Frequency distribution of S-P times for total period.

石本—飯田の式

この余震活動の統計的性質を調べるために、石本—飯田の式の係数 m の値の変化をみた。この変化とは時間的変化と、地震の magnitude による m の値の相違である。

ここでは統計にかかるほど地震がとれているのは 4th channel のみであり、係数 m の値の時間的変化については 4th channel のみで議論する。観測期間を 8 時間毎に区切り、地震を集計し、それを 24 時間ごとに再集計を行ない、running mean の様にずらし、32 個の値を決定した。 m の値の時間的変化を Fig. 7 に示す。係数 m の値は、13 日と 17 日、18 日に大きい値を示し、他は 1.5 附近の値を示している。この観測期間中での係数 m の値の最大値は 2.35 で、最小値は 1.11 である。この時間的変化が統計的有意性を持つ変化かどうかを F-検定で調べてみた。検定の結果は $F=4.166$ となり、 $F(32, 291, 0.05)=1.459$ より大きくなり、係数 m の値の変化は統計的有意性を持つ変化と言える。これは松代群発地震において調べた、係数 m の値の時間的変化が統計的有意性を持った結果と同じである。

次にすべての地震を用いて channel 別に係数 m の値を決定した。これらの値は Fig. 8 に示す様に、1st ch. で 1.580 ± 0.098 , 2nd ch. で 1.543 ± 0.109 , 3rd ch. で 1.587 ± 0.057 , 4th ch. で 1.617 ± 0.020 という値を持ち、これらの m の値の差が統計的有意性を持つかどうかを、一般に用いられている方法 t -検定で検定すると、4 つの channel の係数 m の値の差は統計的有意な差でないという結果を得た。これは、

TIME VARIATION OF PARAMETER m (in 24 hours)

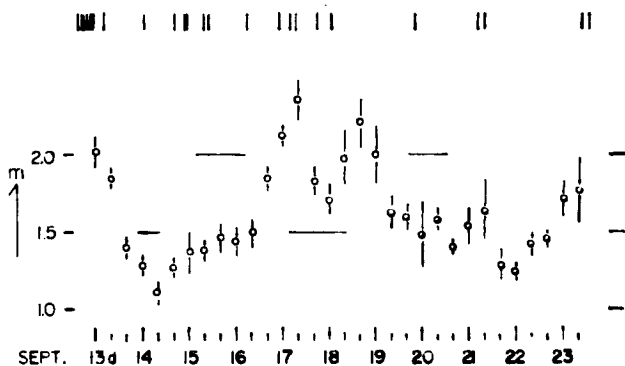


Fig. 7 Time variation of parameter "m" of 4th ch. in every 24 hours.

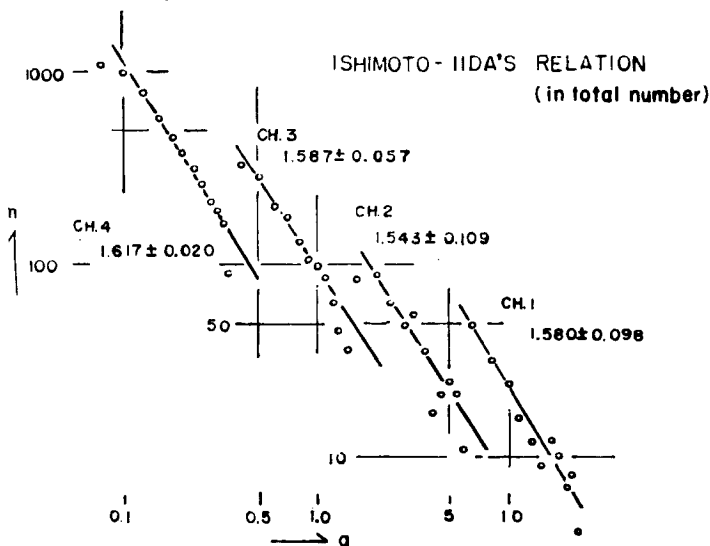


Fig. 8 Ishimoto-Iida's relation in total number of all channel.

松代群発地震で得た結果とは違っている。今、channel 別に係数 m の値を得たが、これでは channel 間で実際どの様に繋がれるのか分らないので、すべての channel を繋ぎ合せて一つの式で表すために、石本-飯田の式を次の様に変形した。

$$x = \log a \quad \dots \dots \dots (2)$$

$n(x)$; 振幅 x と $x+dx$ の間にある地震数

(1)および(2) 式より

$$\left. \begin{aligned} n(x)dx &= ke^{-mx} \cdot \ln 10 \cdot e^{x \ln 10} dx \\ n(x)dx &= k \cdot \ln 10 \cdot e^{-(m-1)x} \cdot \ln 10 dx \\ \log n(x) &= -(m-1)x + \log(k \cdot \ln 10) \\ \log n(x) &= -(m-1)x + k' \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (3)$$

(3) 式のグラフを書くとその傾きは係数 m の値から、1引いた値となり、各 channel の値をそのまま繋ぐことができる。この式はもし channel の間に m の値の差があればそのまま表われてくる。この方法で Fig. 9 を書いた。この図より、今回の観測された地震は 0.754 ± 0.123 という良い直線性を示す。この傾きの値は前述の各 channel の m の値とは、誤差の範囲内で同値である。

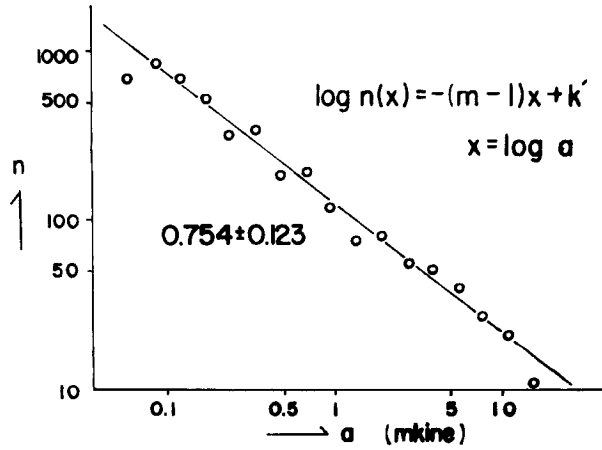


Fig. 9 $\log n(x) = -(m-1)x + k'$

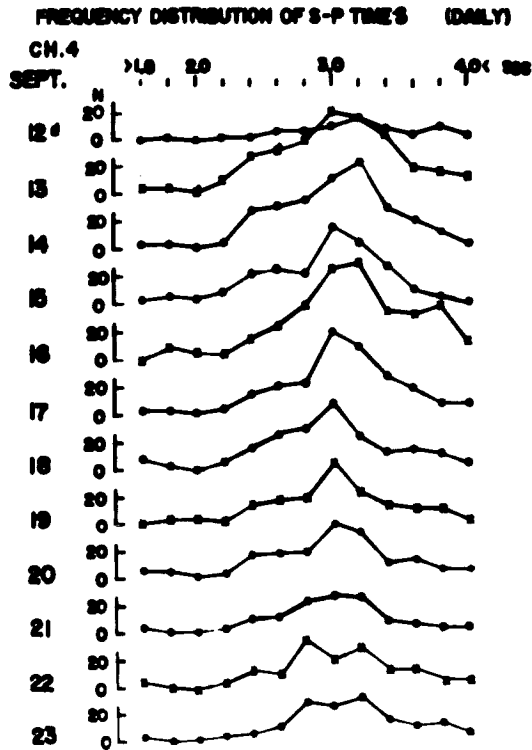


Fig. 10 Daily variation of frequency distribution of S-P times of 4th ch.

議 論

余震活動はこの観測期間を含めて、地震総数の時間的変化から言えば順調に減衰している。また、余震域が大体 S-P time で約 2 秒の間に収まり、約 15 km であるのは、 $M=7.0$ の地震にしては余震域が小さい様に思われる。

石本一飯田の係数 m の値の時間的変化は、統計的に有意であると検定されたが、係数 m の絶対値の変化が、地震活動と相関性が存在するかを見ても、地震数の変化とはあまりないが、ただ余震活動の減衰の傾きが変わった時に、 m の値が大ききな値を示している様である。また、地震発生場所の変化によるのかを調べるために、S-P time 分布の時間的変化を Fig. 10 に書いた、これによると、観測期間中に震源域が大きく変わった様なこともなく、 m の値の時間的変化と関連づけることはできない。これらの結果は、松代群発地震でみられた地震活動が著しい時期の前後で m の値が変化するとか、大地震の前後で m の値が変わるなどの事例を得ることが出来ないが、これはこれから詳細に調べて行きたい。

観測された総ての地震が、一つの石本一飯田の式で表わすことができることは、前に松代群発地震で、観測された地震の大きさにより m の値が異なり、小さくなれば m の値も小さくなるという結果に反する。松代の場合は、一番感度の良い channel から m の値として 1.30, 1.89, 2.10 を得て、1.30 と 1.80 の差には統計的有意性を持つことを示したが、今回は石本一飯田の式の折れ曲りはない。これは松代地方と岐阜地方という場所の地殻の構成物質または stress の加わり方に相違があるためであるのか、これから事例を積重ねていかねばならない。

最後に、この研究に御指導と助言を賜りました、地殻変動部門の岸本兆方教授、三雲健助教授、尾池和夫助手に心からお礼を申し上げます。また、助力を賜りました小泉誠技官、中尾節郎技官、小泉律子技官、牧野純子さん、大学院生の松村一男君に感謝いたします。また、特別に記録を採っていただき、送っていただきました上宝地殻変動観測所の方々に感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) Asada, T. Z. Suzuki and T. Tomoda : Notes on the Energy and Frequency of Earthquakes, B.E.R.I. Vol. 29, 1951, p. 289.
- 2) Mogi, K.: Magnitude-Frequency Relation for Elastic Shocks Accompanying Fractures of Various Materials and Some Related Problems in Earthquakes (2nd paper); B.E.R.I. Vol. 40, 1962, p. 831.
- 3) S. Suyehiro: Difference between Aftershocks and Foreshocks in the Relation-ship of Magnitude Frequency of Occurrence for the Great Chilean Earthquake of 1966, B.S.S.A., Vol. 56, 1966, p. 185.
- 4) 宮村棋三; 地震活動と地体構造, 地震, 第15巻, 第1号, 昭37, p. 23,
- 5) R. Ikegami : On the Secular Variation of Magnitude-Frequency Relation of Earthquake, B.E.R.I., Vol. 45, 1967, p. 327.
- 6) 昭和43年春季地震学会で講演.