

松代群発地震の 2, 3 の性質について

岸本 兆方・尾池 和夫・見野 和夫

ON SOME PROPERTIES OF THE MATSUSHIRO EARTHQUAKE SWARM

By *Yoshimichi* KISHIMOTO, *Kazuo* OIKE and *Kazuo* MINO

Synopsis

A relationship between the magnitude of earthquake and frequency of occurrence was treated in the case of the Matsushiro Earthquake Swarm. In order to cover pretty wide range of magnitude, a special observation was carried out, by use of four channels of different sensitivity. Some changes in the form of the frequency-distribution with magnitude (Ishimoto-Iida) were recognized.

Mechanism of microearthquake was examined using the data obtained by a co-operative observation of several universities and institutes. Some differences in the mechanism were observed regarding about 30 earthquakes, and dependency of that difference upon the magnitude was suggested.

1. 序

松代群発地震は、その現象としての規模の大きなこと、発生状態が種々の面で極めて特徴的なことなどから見て、地震学史上特筆すべき出来事であろう。この群発地震は純粹に学問上の興味から云っても重要な資料であるのみならず、丁度いわゆる「地震予知研究計画」が軌道に乗り始めた時にあたっていて、この計画の第一番目の試金石として社会的にも重要な意味を有するものでもある。その故にこそ、気象庁、東大地震研究所、京大防災研究所など日本の地震研究者によって、種々の方面から精力的に研究が行われて来、且現在も続けられているのである。

我々が以下において述べようとすることは、松代群発地震という巨象のごく一部の側面に過ぎないであろうが、しかし我々がとり上げようとする 2, 3 の問題は、未だ十分に解明されているとは云えず、これらの問題を松代群発地震という典型的な例についてとり上げることは有意義なことであろう。これらの結果は、他の地域の微小地震・極微小地震の発生に関しても応用できるであろうし、更に一般的な微小地震の性質や、あるいはより大きな地震の発生の考察についても、大いに役立つであろう資料を与えるであろう。我々の研究はまだ継続中であって、詳細は将来の機会に譲り、ここでは現在行なっている研究の目的、取扱い方法及び今までに得られた結果について簡単に述べるに止める。

2. 石本一飯田の関係式について

いわゆる石本一飯田の関係式、

$$N(A) = kA^{-m} \quad (A \text{ はある観測点で観測された地震の最大変位振幅}),$$

については、験震的にも理論的にも多数の研究が行なわれてきた。一方、Gutenberg-Richter による関係式、

$$\log N = \alpha - \beta M$$

と石本一飯田の関係式とがお互に関係を持ち、 $\beta = m - 1$ であることも証明されている。(浅田・鈴木・友田²¹⁾。これら両式のいずれかを用いて、種々の規模を持つ地震群の規模別頻度分布が研究されている。すなわち、小はごく限られた地域に発生する微小地震群から、大は数 1000 km 平方に及ぶ地域での長年月の間の地震活動にまで及んでいる。それらの研究によると、石本一飯田の係数 m (あるいは Gutenberg-Richter の係数 β) の値は、ある特殊な地震群を除けばそれ程変化のあるものではなく、ある一定の値に近い値をとると考えられているようである。この特殊な地震群とは、主としていわゆる B 型の火山地震であって、この場合には、 m の値は普通の値よりかなり大きな値を示すようである。

しかし、すべての場合にこれらの関係式が同じ係数をもって成立するとは、もちろん先験的に決まっているわけではなく、 m あるいは β は、対象とする地震群の性質によって変るものであるという考えもある。例えば、大地震に伴う前震と余震について、 m の値が異なることが報告されている²²⁾。更に宮村²³⁾ は、Gutenberg-Richter の係数 α と β は地体構造に関係して変化し、しかもお互に関連しつつ規則的に変化するという興味ある結果を得ている。このような統計的な取扱いにおいては、そのデータの選択及び取扱い方法が非常に重要であることはもちろんであって、例えば m の値の時間的あるいは空間的变化の問題などは、周到な注意の下に取扱われねばならない。この意味で、松代群発地震はこのような問題に都合のよい資料を提供するものである。以下には、松代地震における m の時間的变化について少しく述べることにする。

我々の観測は、1965年12月19日から始った諸大学・研究機関協力の松代地震合同観測に始まる。以来引きつづき現在に到るまで、長野市信更町(開始当時、更級郡信更村)において3成分観測を実施している。観測計器は防災研究所鳥取微小地震観測所において用いられている高感度電子式地震計システムであって、1c/s 電磁地震計からの出力を増巾し、30 c/s のペン書き電流計によってドラムに記録させるものである²⁴⁾。感度は当初は 1 m kine/cm (記録紙上)であったが、1966年4月以降 2 m kine/cm となった。

その後1966年6月15日からは、特に石本一飯田の関係式について調査するため、真田町傍陽において3カ月間の観測を行なった。これは m の値の変動を調べるためには1つの感度範囲では不十分であるので、少しづつ重ね合わせた4通りの感度範囲での観測を行なったものである。用いた地震計は同じく 1c/s の上下動で、これを分岐して4成分の増巾器に導く。観測は毎日17時から翌日01時までの時間、記録紙は巻取式で、送り速度は大部分 0.5 cm/sec、一部 2.5 cm/sec であった。各々の Channel の感度、それぞれの Channel で8時間に観測された地震数、及び $S-P=2$ sec とした時観測可能なマグニチュードの範囲を Table 1 に示す。このうち、観測地震数とマグニチュードの範囲とは大体の値であって、目安程度に考えるべきであ

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

Channel	sensitivity	Number of observed earthquakes per 8 hours	Range of observable magnitude
1	0.32 m kine/cm	約 1500	-1 ~ 0
2	1.6 "	約 500	0 ~ 1
3	8.0 "	約 100	1 ~ 1.5
4	40 "	約 20	1.5 ~ 2

る。傍陽においては、この他ドラム式記録による連続観測も併行して行なった。期間は上述の多成分観測と同じく、感度は Channel 3 と合わせてある。

現在までに、傍陽における観測のうち、Channel 2 及び 3 についての読取が終った。最も感度の高い Channel 1 については、観測された地震数が極めて多いので読取が未だ完了していない。Channel 4 につ

いては、反対に地震が少なすぎ統計的取扱いは不適であるので除いた。傍陽及び信更におけるドラム式連続観測の結果については、現在整理中であるので次の機会に譲り、ここでは上記 Channel 2 及び 3 についての結果について簡単に記す。

我々は前に、信更村での観測資料の一部を整理して、比較的大きい地震（震度 4 ないし 5）の数日前位から m の値が少しく変化し、地震後数日にして元に戻るらしいことを認めた⁵⁾。傍陽における観測はこの点を確かめるために計画されたものであるが、今回は 6 日間の地震の合計についての頻度分布を作り、それを 1 日づつずらして系列を作った。それらのうちの代表例を Fig. 1~Fig. 3 に示す。各々 6 日間についての頻度分布を示すが、Fig. 1 及び Fig. 3 において 2 本づつの分布を示してあるのは、上側の長い方が Channel 2 と 3 をつなぎ合わせたもの、下側の短い方は Channel 2 をより細かく級間を分けて作ったものである。Fig. 2 においては、すべて両 Channel のつなぎ合わせのみが示してある。これらの図から判ることは、同じ 6 日間の合計であっても、分布の形にある違いがあることである。大まかに云って、全体を通じて

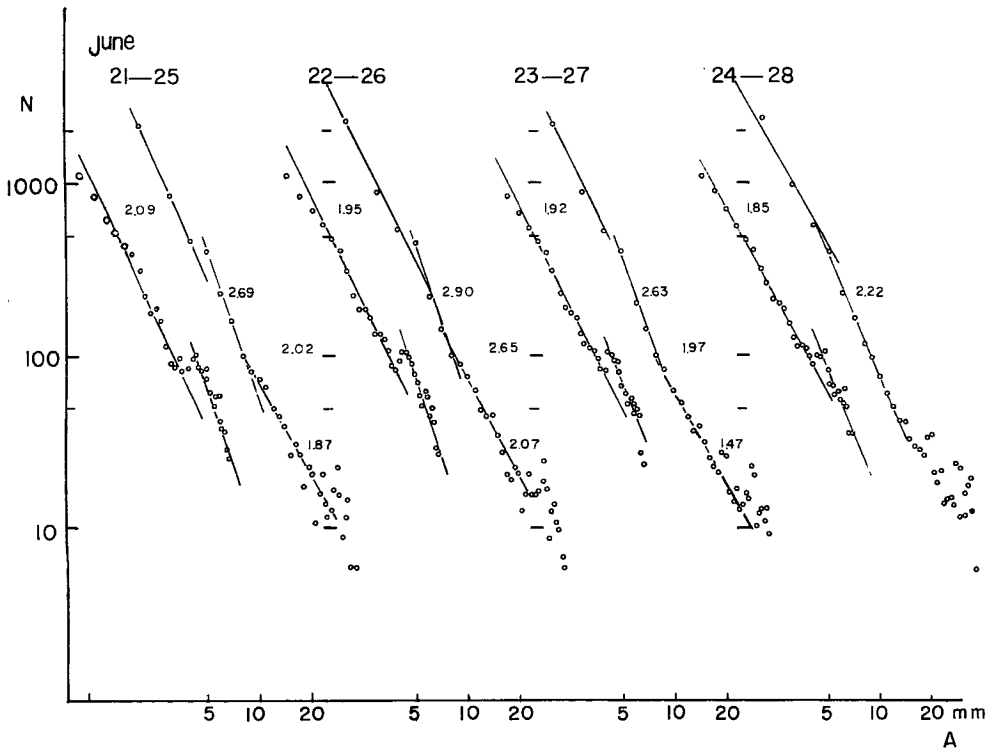


Fig. 1 Relation between the trace amplitude of earthquake and frequency of occurrence. In every 6 days' graph, the upper shows a superposition of channel 2 and 3, and the lower channel 2 only.

これらの代表例に見られるような 3 通りの型が存在すると云えるかも知れない。すなわち、1) Channel 2 と 3 の範囲において、1 本の直線によって表わすことができるもの（例えば July 1-6, 2-7）、2) ある振幅において折れ曲りを生じ 2 本の直線で表わせるもの（例えば July 9-14, 10-15）、3) より複雑な折れ曲りの出来るもの（例えば Fig. 1）である。

このような型による分類が妥当であるか否か、更に又、仮りに妥当であるとしても、このような頻度分布の変化が実際に存在するものであるか、あるいは単に見かけのものであるかと云った間に答えるためには、更に検討を要するであろう。従って本稿においては、これ以上突込んだ議論は差控えるが、ただ注意すべきことは、このように m の値は観測の種類、場所、地震の大きさなどによってかなり違った値が出てくる可能性があることであって、特に地震活動との関連性を見る場合など十分な吟味を必要とする。

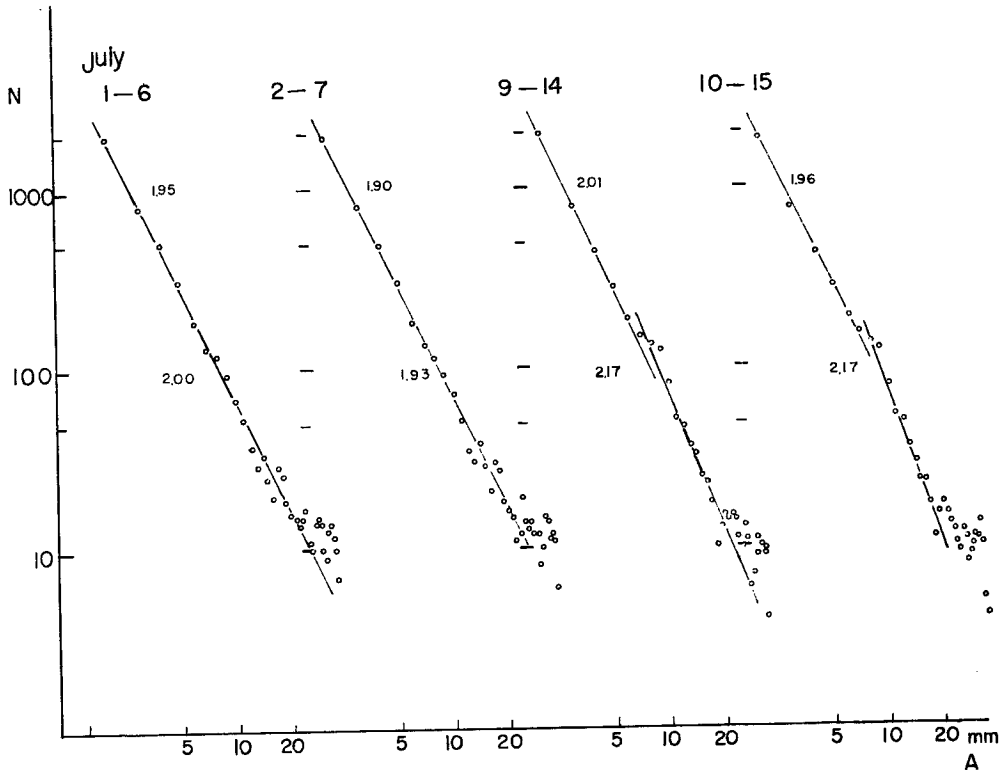


Fig. 2 Relation between the trace amplitude of earthquake and frequency of occurrence.

尚最近、鈴木・浜口⁶⁾によって、tempered glass を用いた模型実験による石本一飯田の関係式の吟味がなされた。彼等は石本一飯田の関係式の形が、ガラスの pre-existing stress の違いによって変ることを述べているが、この形の違いは、我々の場合 (Fig. 1~3) ともある程度似通っているようにも見える。このような実験の結果をも考慮して、 m の問題は更に検討が必要であろう。

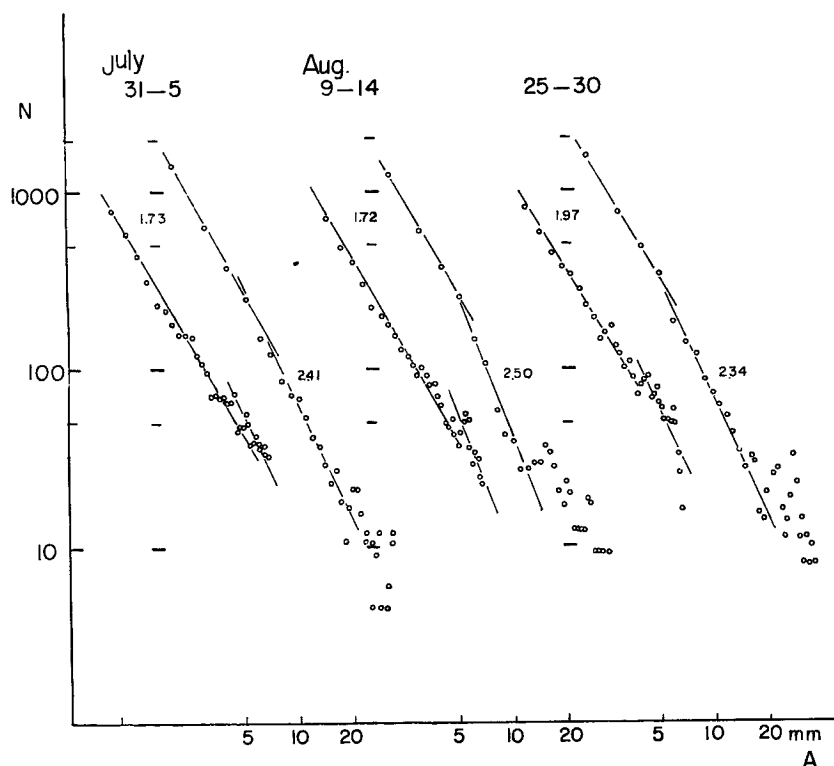


Fig. 3 Relation between the trace amplitude of earthquake and frequency of occurrence. In every 6 days' graph, the upper show a superposition of channel 2 and 3, and the lower channel 2 only.

3. 発震機構について

松代群発地震のみならず、一般のより常時的な微小地震の発生機構を追究するためには、前節に述べたような統計的考察の他に、一つ一つの地震の発震機構を明らかにすることも一つの重要なアプローチであると考えられる。もし高感度・精密観測によって、個々の地震の発震機構を知ることができるならば、尨大な発生数、長大な発生期間と相まって、地震発生機構の問題解決に資する所大であろう。

前節に述べた1965年12月20日より始められた合同観測は、19日より24日までのデータ・レコーダーによる抜き取り観測と、同じく20日より1966年1月20日まで1カ月間にわたるドラム式記録による常時観測とに分けられる。この合同観測の組織は **Table 2** に示す通りであった。先ず5日間のデータ・レコーダーによる観測からは、個々の地震の発震機構に関してかなり精密な解析が可能であろう。又1カ月間の常時観測によって、精度はやや落ちるが、長期現象としての松代群発地震の発生機構に関して、ある程度の情報を引き出すことができると考えられる。

今回取扱ったのは、5日間のデータ・レコーダー観測において遠方にある信更・牟礼・傍陽 (**Fig. 4**) の3点において明瞭に観測され、S-P法によって震央を決めえた約30例の地震のみである。これはごく一部の地震であって、他の多数の地震については、現在震源決定が行なわれつつあるので、その結果を得て後に取扱う予定である。約30例の震央は、**Fig. 4** に観測点とともに示してある。

Table 2 List of the co-operative observation.

Name of Institute	Observation Point
1. Routine Observation	
Facul. Sci., Hokkaido Univ.	Maruko-Chô (Town)
Facul. Edu., Gifu Univ.	Mure-mura (Village)
Disast. Prev. Res. Inst., Kyoto Univ.	Shinko-mura
Facul. Sci., Kyoto Univ.	Koshoku-city
2. Data Recorder Observation	
Facul. Sci., Hokkaido Univ.	Matsushiro-chô (Ômuro)
" Tohoku Univ.	Soehi, Sanada-chô
" Tokyo Univ.	Matsushiro-chô (Nishijô)
Earthq. Res. Inst., Tokyo Univ.	Wakaho-chô
Facul. Sci., Nagoya Univ.	Koshoku-city
" "	Kawanakajima-chô
" "	Kohoku-mura
Facul. Edu., Gifu Univ.	Mure-mura
Disast Prev. Res. Inst., Kyoto Univ.	Shinko-mura
Facul. Sci., Kyoto Univ.	Matsushiro-chô (Takimoto)

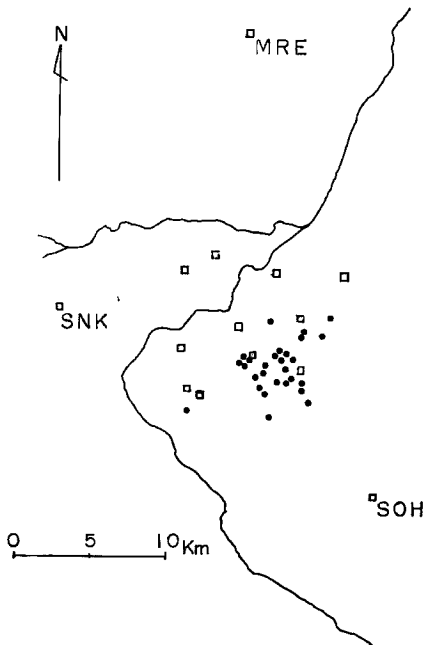


Fig. 4 Distribution of epicenters and observation stations.

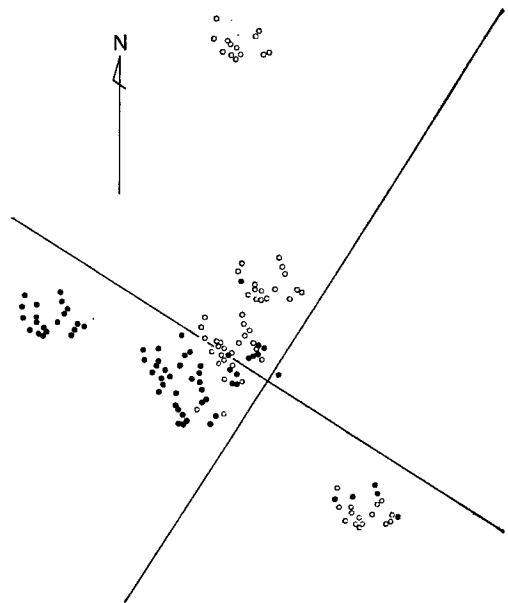


Fig. 5 A superposed graph of the first P direction at three stations.

松代群発地震が、主圧力の方向をほぼ東西・水平方向とする 4 象限型の押し引き分布で表わされる発震機構を持つことは、比較的大きい地震についても又小さな地震についても見られる所である。例えば、比較的大きな地震の P 波初動分布については気象庁によって種々の例が発表されている。又小さな地震についても、例えば我々が観測を行なった信更は松代のほぼ真西に当るが、初期においては、観測された地震の約 90% が P の引き波であったことも、それを支持している。

今述べた約 30 例の地震についての信更 (SNK)・牟礼 (MRE)・傍陽 (SOH) の 3 点における P 波の押し引きの重ね合わせ分布図を書くとき Fig. 5 のようになり、少々入りまじりはあるが、大体東西・水平方向の主圧力を持つ 4 象限型分布と見られる。この少しの押し引きの入りまじりの原因としては、震央決定の誤差などとともに、それぞれの地震の発震機構の差が現われているのかも知れない。その点を確かめるために、ここでは第一近似として、水平面に主圧力を持つ 4 象限型を仮定し、3 点での P 波初動の振巾比と、節線方向との対応性を確かめた。ただし震源はすべて深さ 5 km にあると仮定し、波動の減衰は震源距離 r に逆比例するとしている。

Fig. 6 にこの結果を示す。この図は、信更 (SNK) に対する他の 2 点の振巾の比を両軸にとってあり、白丸 1 つは 1 つの地震に対応する。図中の曲線は、ある一つの震源に対して計算される理論的振巾比を表わすものである、すなわち、震央と信更を結ぶ直線 (ほぼ東西方向) の方位をゼロとし、節線の 1 つをその位置から順次回転させれば、振巾比の理論値は 1 本の直線を作る。直線に添えてある数字は、方向ゼロから時計廻りに計った角度を表わす。従って 45° の点は、1 節線の方向が北西—南東 (他は北東—南西) となり、主圧力の方向はほぼ東西となる。4 本の曲線は、それぞれ、

これら約 30 例の地震の震央が密集する松代附近を 1 辺 3 km の正方形で近似した時、4 つの頂点を震央として計算したものであるが、それ程の違いはない。プロットされた白丸群がこれら 4 曲線にほぼ平行して近傍に並んでいることは、今の仮定が大体正しいことを示すものであろう。Fig. 6 における白丸のちらばりは、震央位置の差のみによっては説明できず、やはりそれぞれの地震における節線方位は最大 30° 程度の差異を持つ可能性がある。又これらの地震の大きさを調べて見ると、大きさと節線の方位との間にある関係があるらしく見える。大体のところ、大きな地震は Fig. 6 において直線上 45° の点に近くプロットされるが、小さい地震程小さい角度となる傾向がある。このことは、今取扱っている地震の範囲では、比較的大きな地震の主圧力の方向はほぼ東西、比較的小さいもの程主圧力の方向が北東—南西方向にかたよることを意味する。

これらの結果は、ごく限られた期間における、しかも限られた大きさの少数例についての結果に過ぎないから、これだけの結果から松代地震一般について物を云うことは到底無理な話ではある。しかし、松代群発地震に対してこのような方法が有効であることが示されたので、今後合同観測の観測資料解析によって、よりくわしく発生機構を追究することが可能であると思われる。

前に著者の一人²⁾は、兵庫県浜坂の群発地震において、群発地震の発震機構の時間的変化には、歪の蓄

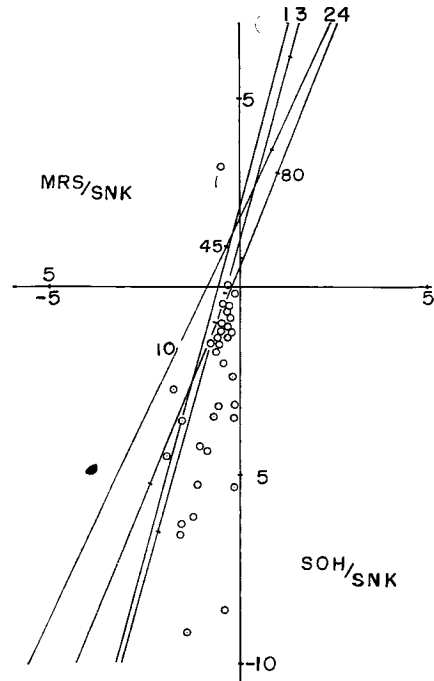


Fig. 6

積・発散とも関係するある規則性があることを示したが、このような問題が松代群発地震のようなはるかに大規模な現象に対してどうなるかは興味がある。又、鈴木・浜口は上述のガラスの破壊実験において、ペニオフ流の歪の累積曲線とその各部における石本一飯田の関係式との関係について述べている。これらの事柄は、ある震源領域における歪の著積・発散と発震機構、あるいは石本一飯田の関係式などの間に、一連の関係があることを示唆するものかも知れない。

終りに、上述の合同観測は文部省科学研究費（災害科学特定研究）によるものであり、観測に出動した機関名は **Table 2** に示す通りであるが、貴重な資料の使用をお許し下さった各観測班の各位に厚くお礼申し上げます。

この研究に当っては、特に第2節に関して理学部大学院学生西田良平、第3節に関しては理学部学生渡辺邦彦両君に多くを負うものである、ここに記して感謝の意を表する。

合同観測及びそれ以後の観測に当っては、橋爪道郎氏の多大の努力に負うところが多い、特にお礼を申し上げます。又現地での観測に当られた、信更中学校岩原善雄校長先生始め諸先生、京大理学部大学院学生栗田恒人・飯博行、理学部学生笹尾忠弘・小野口敏之・松村一男の諸君にお礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) Asada, T., Z. Suzuki and Y. Tomoda, Notes on the Energy and Frequency of Earthquakes, Bull. Earthq. Res. Inst., Vol.29, 1951, 289
- 2) Suychiro, S., Difference between aftershocks and foreshocks in the relationship of magnitude to frequency of occurrence for the great Chilean earthquake of 1960, Bull Seism. Soc. Amer., Vol.56, 1966, 185
- 3) 宮村撰三, 地震活動と地体構造, 地震, 第2輯, 第15巻, 第1号, 昭37年, 23
- 4) 一戸時雄他, 鳥取微小地震観所観測序報, 京大防災研究所年報, 第8号, 昭40年, 109
- 5) 昭和41年春季地震学会にて講演
- 6) Suzuki, Z. and H. Hamaguchi, The brittle fracture of tempered glass and its relation to the Occurrence of Earthquakes, I, Sci. Rep. Tôhoku Univ., Ser. 5, Geophys., Vol. 18, No.1, 1966, 16
- 7) Kishimoto, Y. and M. Hashizume, On the mechanism of earthquake Swarm at Hama-saka, Bull. Disas. Prev. Res. Inst., Kyoto Univ., Vol.16, Part 1, 1966, 41