

昭和基地で観測した微小地震

神 沼 克 伊*

MICRO-EARTHQUAKES OBSERVED AT SYOWA STATION, ANTARCTICA

Katsutada KAMINUMA*

Abstract

Small shocks like micro-earthquakes are recorded frequently at Syowa Station. The small shocks are roughly classified into two types according to the initial motion. One has a sharp initial motion (type I) and the other has a weak one (type II). Some shocks of type I have a clear S phase and the rest have a small S phase.

A swarm of type II shocks is recorded once or twice a year. The swarm occurs only in the summer season. With the data of February to December of 1969, ISHIMOTO-IDA constant of the shocks of type II was calculated as $m=1.99$ using UTSU's formula.

It is established by MOGI that " m " increases with the degree of heterogeneity of the medium and also with the degree of spatial variation in the stress distribution of the field. The movement of the continental ice is active in the summer season and the structure may become heterogeneous. Thus, it is concluded that the shocks of type II are iceshocks (or icequakes).

On the other hand, if a natural earthquake occurs around Syowa Station, its " m " is estimated at about 1.4, because the area belongs to the geological province of Pre-Cambrian gneiss, a part of the east Antarctic shield which is one of the non-seismic regions on the earth.

1. は し が き

南極大陸およびその周辺の島々では、現在10数点の基地で地震観測が実施されている。これらの観測網で観測される地震の大部分は、大陸周辺に存在する既存の地震帯で起こっている。しかし中には、それぞれの基地で、それぞれ特有の地震現象（火山性地震と氷震も含む）を記録していることが報告されている。

たとえば、HATHERTON (1961) によれば、スコット基地では、P～S時間3～38秒の局地的地震を記録し、その半分は、P～S時間が4～6秒である。この4～6秒のP～S時間は、震源距離にすれば30～50kmであり、同基地から約37km離れたところにある活火山の

* 東京大学地震研究所. Earthquake Research Institute, University of Tokyo, Bunkyo-ku, Tokyo.

Erebus 山付近に、その震源があると考えられている。

ウィルクス基地では、遠震以外に3種類の型の地震がある。その第1は、P~S 時間分布で14秒前後にピークのある型の地震で、1年間に約200個位起こる。第2は、P~S 時間30秒位の地震で、年間1~2個記録され、第3の型としては、いわゆる氷震が記録されている (BROWNE-COOPER *et al.*, 1967)。

昭和基地の HES 地震計でも、微小地震を記録していることは、神沼(1968)が報告している。ただしデータが少なく、その微小地震が、自然地震であるか、氷震であるかは区別できなかった。

その後データも蓄積されたので、1967年3月から1970年1月まで、HES 地震計に記録された微小地震について述べる。

2. HES 地震計による観測

昭和基地の地震観測については、神沼等(1968)が報告している。1967年以来、HES 地震計で記録した主な地震は、越冬隊の担当者によって必要なデータが読みとられ、その結果を USCGS (アメリカ沿岸測地局) に報告しており、地震、特に南半球に起こった地震の震源データの決定に大きな貢献をしている。

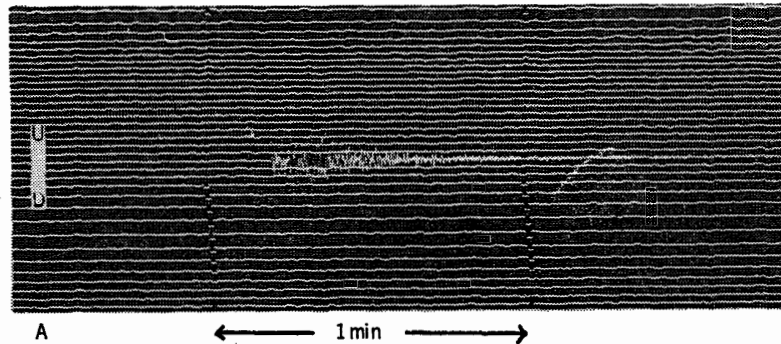
日本に持ち帰られた記録は、再度チェックされた後、極地研究センターから発行されている“JARE Data Reports”の一環として印刷されている (KAMINUMA and MURAUCHI, 1969; KAMINUMA, 1970 a, b)。この Data Reports は、エジンバラにある ISC (国際地震センター) にも送られ、USCGS よりさらに多くの観測点を使って、震源を決定する作業にも役立っている。なお“JARE Data Reports”には、微小地震のうちでも、大きなものは含まれている。

地震計の倍率は、年によって多少の違いはあるが、1~5月が attenuation factor $\mu=1/5$ を使い、その倍率は周期1秒で約5万倍、6~12月が $\mu=1/2$ で約15万倍である。各年の正確な倍率については、前述の Data Reports を参照されたい。

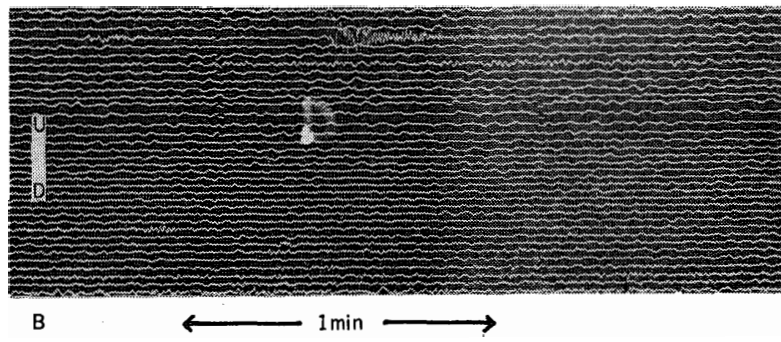
USCGS の観測網によって震源の決まった地震のうち、昭和基地から一番近い場所で起こった地震でも、北方に約1,600km 離れている。少なくとも昭和基地付近では、有感地震となるような大きさの地震は起こっていない。

3. 地震の型

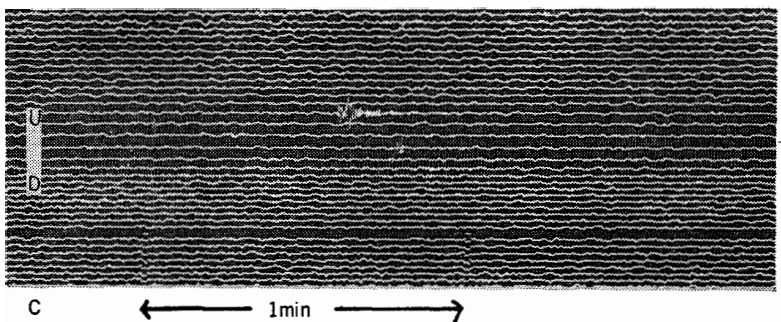
昭和基地で観測されている微小地震は、2つの型に大別される。第I型は、図1に示すよ



1966年2月～1970年1月の期間で、この型の地震としては最大の地震
The largest shock of this type during February 1966～January 1970.



S波の振幅の小さい例
An example of small S phases.



S波の振幅の大きい例
An example of clear S phases.

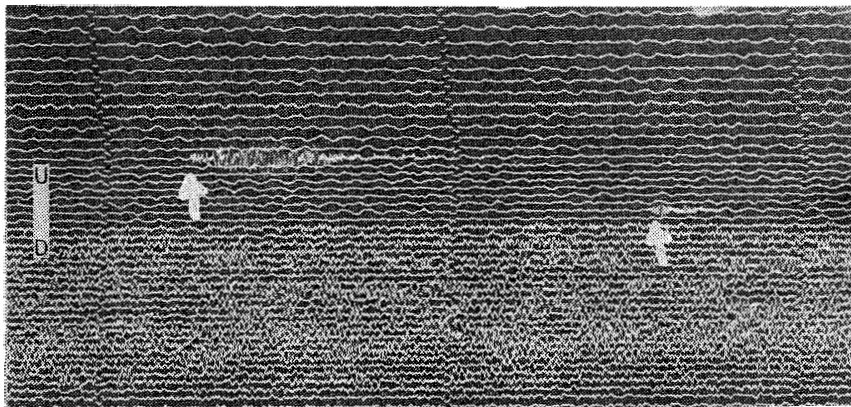
図 1 昭和基地の HES 地震計上下動成分に記録された微小地震。初動の立ち上がりの鋭い型（第 I 型）の例

Fig. 1. The vertical component seismograms of small shocks recorded at Syowa Station. These shocks have a sharp initial motion (type I).

うに、初動の立ち上がりが鋭いものである。図1(A),(B)のように、S波部分の判別がでにくい型と、(C)のように、明りょうに判別できる型とがある。

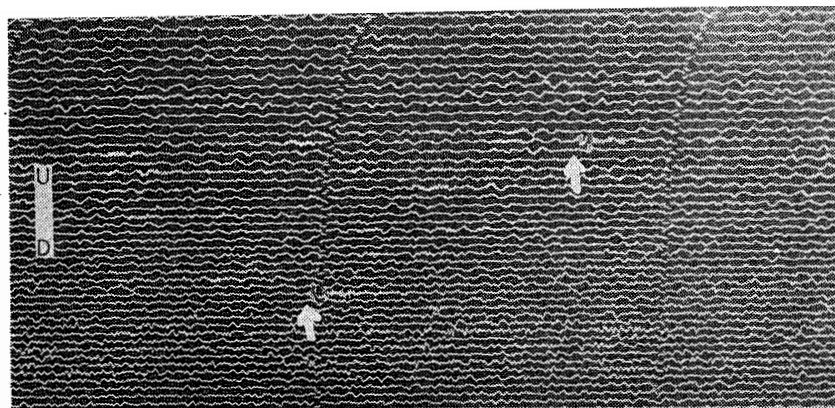
第IIの型は、図2に示すように、その振幅が、立ち上がりは比較的小さく、徐々に大きくなる、いわゆる紡錘形をなす型である。

図1(A), 2(A)の shock はともに、この3年間に起こったこの種の shock としては、最大の大きさを示す。特に、図2(A)は、1969年2月19日に起こったが、この期間の倍率が低いにもかかわらず、その振幅は大きく、他の同じ現象に比べて、1~2 けた大きな規模である。



A ← 1min →

1966年2月~1970年1月の期間でこの型(第II型)の地震としては最大の地震



B ← 1min →

この型(第II型)の小さい地震

図2 初動の立ち上がり振幅の小さい型(第II型)の例

Fig. 2. The vertical seismograms of small shocks recorded at Syowa Station. The shock has a small first motion (type II). (A) The largest shock of this type during February 1966~January 1970. (B) Examples of the small shock of this type.

第I型の数は、第II型に比べて非常に少なく、年間を通じても10数個位である。一方第II型の数は、第I型の数倍で、1年に1~2度 swarm がある。この swarm が、南極の夏季に限られることから、この型の shock は、地震ではなく、氷震 (ice shock または ice-quake) であると考えられる。

4. 永 震

前述の ice shock swarm と思われるものは、表1に示したように、昭和基地の地震観測設備が整備された1967年から、1970年1月迄の3年間に4回起こっている。その記録の例を図3に示した。

表1 群発永震の表

Table 1. The list of ice shock swarms.

Date	Duration	Number of shocks
Dec. 29~31, 1967	30h	31
Dec. 27~29, 1968	29h	21
Feb. 11~12, 1969	24h	12
Mar. 9, 1969	4h	8

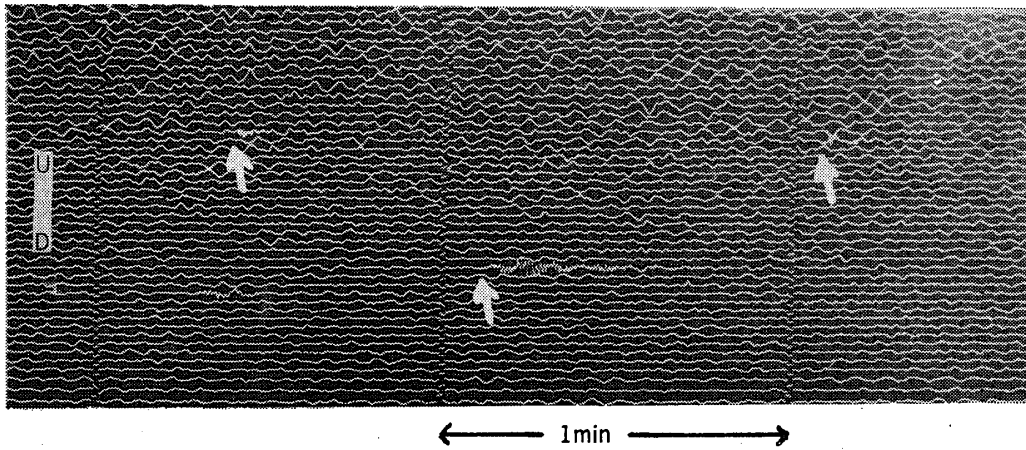


図3 第II型の群発地震の例

Fig. 3. An example of small shock swarm.

Swarm と断定する基準は、次のように決めた。(1) 24時間で10個以上の shock が起こった場合。(2) 1時間以内に1個以上の shock があり、それが数時間続いた場合。

後者の例が、表1に示した1969年3月9日の swarm である。氷震は全体にその振幅が小さいのでノイズの大きい日には、正確な観震はできない。したがって表1は、この現象の大

体を示していると考えられる。

前述のごとく、昭和基地では、保守のため時々電流計の交換をするので、地震計の倍率は、年ごとに多少異なる。そこで1969年についてのみ、この第Ⅱ型の shock の石本—飯田の“ m ”^{*}について調べた。

1969年2月～12月の間に読みとった shock の数は139個である。その結果を図4に示した。横軸は全振幅、縦軸は積算した地震数を示す。2～5月の倍率は、6～12月の1/2であるので、この期間は、読みとった振幅を2倍してある。

“ m ” は宇津 (1965) の式を用いて計算した。全振幅 1mm 以下の shock をすべて読みとることはできないので、全振幅 2mm 以下のデータは除き、89 個の shock を用いて計算した。その結果 $m=1.99$ を得た。

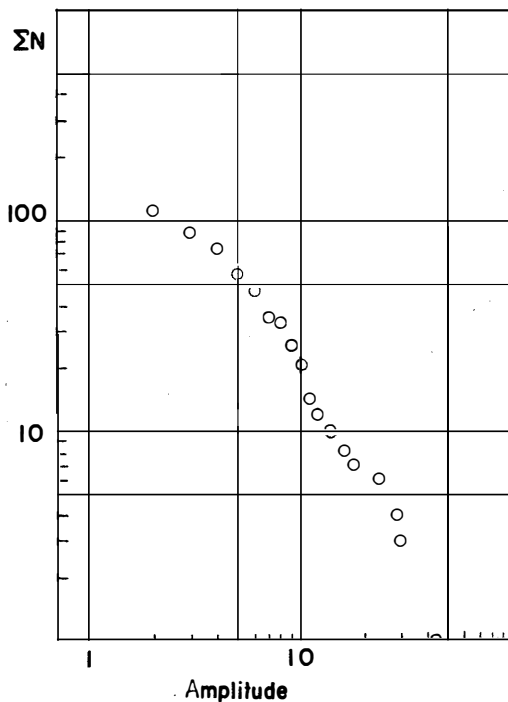


図4 第Ⅱ型地震の石本—飯田の m . 宇津の方法により求めた m の値 $m=1.99$

Fig. 4. ISHIMOTO-IDA'S relation of the type II shock. The constant is obtained as $m=1.99$.

* 石本—飯田の式. ある一定期間中に、ある場所で、大小それぞれの地震が、どの程度起こるかについては、多くの統計に基づき、次のような関係式が得られている。

地震記象の上で、その地震の最大振幅を A 、振幅が A と $A+dA$ の間の値をとる地震数を $N(A)$ とすると、 $N(A)dA=kA^{-m}dA$. k と m は定数である。一般にこの式を石本—飯田の式と呼び、 m を“石本—飯田の m ” と呼ぶ。

同じような意味で、GUTENBERG-RICHTER の式がある。これはある大きさのマグニチュードの間 ($M \pm \Delta M$) の地震が、どの位の数 (N) で起こるかを表わす式で、 $\log N=a+b(8-M)$. a と b は定数である。 b を“GUTENBERG-RICHTER の b ” と呼び、 b と m の間には $b=m-1$ の関係がある。

日本では、諏訪湖と蓼の海において、表等 (1955, 1961) により、氷震の研究が行なわれ、諏訪湖の結果では、 $m=1.8\pm 0.2$ が得られている。また蓼の海の例では、 m は日別に求められているが、その値は1.41~2.05とかなりの幅がある。しかし一般に求められている自然地震の m は、1.5~2.0 であり、上の値とは一致している。

Mogi (1962 a, b) は、岩石破壊の実験結果から、 m の大小は、その shock の起こっている媒質の不均一性を現わすことを示した。すなわち m または GUTENBERG-RICHTER の b ($b=m-1$) の値が大きいほど、媒質の構造的不均質の度合、さらには媒質内の応力分布の不均一の度合が大きいことを示した。

m の値は、同一地域で起こった地震でも、時間的に変化するし、また観測された地震の大きさにより異なることが、松代群発地震などの観測結果で報告されている。

宮村 (1962) は、マグニチュードの大きな地震について調べ、その結果 m または b の値が小さい地域は、地球上でも安定した地域であることを指摘している。この点だけから考えれば、昭和基地のある東南極大陸は、プレカンブリアン時代の楯状地であり、安定しているので、自然地震が起こっているとしても、その m は 1.4~1.5 の小さい値になるはずである。

氷は普通均質なものと考えられている。事実フィンランドの Sääksjärvi 湖の氷震の観測結果では、 $m=1.55$ という小さい値が得られている (LUOSTO and SAASTAMOINEN, 1964)。しかし、前述の蓼の海の例でも分かるように、その時の氷の状態に応じ、 m の値はいろいろに変わるようである。先に求めた $m=1.99$ という値も、地球上では造山帯に起こっている地震の m とほぼ同じであり、比較的不均質な媒質の値である。これは、融氷期には、氷河の流速も速く、大陸氷内部には無数の割れ目が発生し、氷全体が不均質な構造になっているためと考えられる。

しかも表1に示したように、swarm は夏季に起こるし、shock も冬季は少ない。昭和基地付近の大陸氷河の流速度は、現在まで正確な測定結果は得られていないが、数 100m~2 km/year と考えられている。そして氷河の運動は、夏季に活発になることも事実である。したがって回数こそ少ないが、観測された swarm が、年間を通じて起こるのではなく、氷河運動の活発になる夏季にのみ起こっている事実から考えれば、この swarm は前で述べたように、ice shock swarm と考えられる。

スコット基地などの報告 (HATHERTON, 1961) では、大陸氷が割れて冰山になる時の振動なるものを記録している。同じような型の振動は、昭和基地でも観測されることがあるが、現在のところ、氷山の生成と対応をつける方法もなく、またその震動源も決定できないので

その原因は不明である。

5. 結 語

第Ⅰ型にしろ、第Ⅱ型にしろ、昭和基地での1点3成分の観測のみでは、その震源を決定することもできない。また HES 1-1 型地震計（振子・電流計とも1秒の固有周期）では、必ずしも微小地震の観測に適しているともいえない。さらに1969年度迄は、地震計室が露岩上に建てられており、気象条件、特に風の影響を直接うけたので、微小地震の観測にとっては、観測の条件は良くなかった。

1970年2月には、半地下式(岩盤を削り、地震計室を建設し、建物全体を岩石でおおった)の新地震計室が、東オングル島最高点の東側に建設され、観測を開始した。また上下動1成分のみであるが、臨時に微小地震の観測も実施している。これらのデータが蓄積されれば、さらに詳しい統計的な検討を加えられることが期待される。

また微小地震の震源決定のためには、リュツォ・ホルム湾内に少なくとも4点位、臨時無人観測点を設け、数年間観測を実施することが理想である。その手始めとして、東オングル島内で三点観測を実施すれば大体の震源決定は可能である。特に第Ⅰ型の shock の震源が、地下数 km の所と断定されれば、明らかに自然地震であり、南極大陸の地下構造の地球物理学的解釈のうえに、重大な貢献をなすであろう。またⅠ、Ⅱ型を問わず、その震源が、氷の中に決まれば、昭和基地付近の微小地震は、ほとんど氷震であるといえる。同時にその結果は、昭和基地近傍の大陸氷の運動を調べるうえに、大きな役割をはたすと考える。

この論文を読んで下さり、ご討論下さった東京大学地震研究所・宮村撰三教授および建設省建築研究所国際地震工学部・表俊一郎部長にお礼申し上げる。

文 献

- BROWNE-COOPER, P. J., G. R. SMALL and R. WHITWORTH (1967): Probable local seismicity at Wilks, Antarctica. *N.Z.J. Geol. Geophys.*, **10**, 443-445.
- HATHERTON, T. (1961): A note on the seismicity of the Ross Sea Region. *Geophys. J. Roy. Astr. Soc.*, **5**, 252-253.
- 神沼克伊・江頭庸夫・吉田光雄(1968): 昭和基地の地震観測. 南極資料, **33**, 65-70.
- 神沼克伊(1968): 昭和基地の地震検知率. 地震学会春季大会講演.
- KAMINUMA, K. and S. MURAUCHI (1969): Seismological bulletin of Syowa Station, Antarctica 1959-1962 and 1966-1968. *JARE Data Rep.*, No. 4.
- KAMINUMA, K. (1970 a): Seismological bulletin of Syowa Station, Antarctica 1968-1969. *JARE Data Rep.*, No. 6.

- KAMINUMA, K.(1970 b): Seismological bulletin of Syowa Station, Antarctica 1969. JARE Data Rep., No. 9.
- LUOSTO, U. and P. SAASTAMOINEN(1964): Observations about ice-shocks on lake Sääksjärvi. *Geophysica*, **9**, 87-94.
- 宮村撰三(1962) : 地震活動と地体構造. 地震, [ii], **15**, 23-52.
- MOGI, K.(1962 a): Study of elastic shocks caused by the fracture of heterogeneous materials and its relations to earthquake phenomena. *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **40**, 125-173.
- MOGI, K.(1962 b): The fracture of a semi-infinite body caused by an inner stress origin and its relation to earthquake phenomena (1). *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **40**, 815-829.
- OMOTE, S., Y. YAMAZAKI, N. KOBAYASHI and S. MURAUCHI(1955): Ice tremors generated in the floating lake ice. *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **33**, 663-679.
- 表研究室(1961) : 蓼の海に於ける氷震の研究. 東大震研.
- 宇津徳治(1965) : 地震の規模別度数の統計式 $\log N = a - bM$ の係数 b を求める一方法. 北大地物研究報告, **13**, 99-103.

(1970年12月25日受理)