

1985–1986年に南極・エレバス山で観測された群発地震

村上 克美*

Earthquake Swarms Observed at Mount Erebus, Antarctica in 1985–1986

Katsumi MURAKAMI*

Abstract: Mount Erebus (77°32'S, 167°09'E, 3794 m) is one of the active volcanos in Antarctica. A program to monitor the seismic activity of Mount Erebus was started in December 1980 as an international cooperative program of Japan, the United States and New Zealand, named IMESS (International Mount Erebus Seismic Study).

Usually 10–30 volcanic earthquakes were recorded per day for the period from 1985 to 1986. Three earthquake swarms (85-A, 86-A, 86-B) with more than 250 events occurring within 24 hours were recorded in 1985 and 1986. The activities of swarms 85-A, 86-A and 86-B are as follows: 1) The duration of the activities was 66, 24 and 59 hours. 2) The total number of the earthquakes was 2315, 357 and 689 events. 3) The average number of the earthquakes per hour was 35.1, 14.9 and 11.7. 4) Ishimoto-Iida's "m"-value of the three earthquake swarms was 2.14 ± 0.10 , 2.54 ± 0.32 and 2.62 ± 0.23 , respectively. 5) The hypocenters of swarm 86-A were located at the western part in Mount Erebus. 6) Hypocenters of swarms 85-A and 86-B were difficult to determine because the number of operating stations was not large enough for undertaking hypocenter determination. The hypocenters of the swarms 85-A and 86-B were estimated to be located in the same area as that of 86-A, on the basis of using the arrival times of initial phases and the amplitudes of the seismic waves at Hoopers Shoulder and Truncated Cone Stations.

要旨: エレバス山 (77°32'S, 167°09'E, 3794 m) は、南極において活発な活動をしている火山の一つである。このエレバス山で、1980年12月に日本、アメリカ、ニュージーランドの三国により、「エレバス火山国際地震研究 (IMESS)」として地震観測が定常的に開始された。

これまでのエレバス山の地震活動の研究では、24時間以内に観測された地震が250個を超えた場合、その前後の地震数の多い期間を含めた一連の活動を群発地震と定義している。この定義に従うと、1985年に1回 (85-A)、1986年に2回 (86-A, 86-B) の群発地震が観測されている。この3つの群発地震について解析を行った。その結果 85-A, 86-A, 86-B の活動継続時間および観測された地震の総数は、それぞれ66時間に2315個、24時間に357個、59時間に689個であった。また、石本・飯田の式の係数 m は、それぞれ 2.14 ± 0.10 , 2.54 ± 0.32 , 2.62 ± 0.23 という値が得られた。86-A の震源は、山体の西側の浅いところに分布していた。その他の群発地震は、データが不十分なために震源決定はできなかったが、85-A の場合は2観測点の地震波形の比較から、86-B の場合は4観測点の地震波の初動時刻の順位から、震源はいずれも山体の西側にある Hoopers Shoulder 点付近に分布していることが予想された。

* 東海大学理学部, Department of Physics, Faculty of Science, Tokai University, 1117, Kitakaname, Hiratsuka 259-12.

1. はしがき

エレバス山 (77°37'S, 167°09', 3794 m) では, 1980年12月に, 日本, アメリカ, ニュージーランドの三国により, 「エレバス火山国際地震研究」(IMESS: International Mount Erebus Seismic Study) として, 定常的な地震観測が開始され (KIENLE *et al.*, 1981; TAKANAMI *et al.*, 1983a, b), 1986年12月まで続けられた. 1987年以後も日本とニュージーランドの間で, 「エレバス火山噴火機構の研究」(IMEEMS: International Mount Erebus Eruption Mechanism Study) として, 地震観測や噴火観測が継続されている (KAMINUMA *et al.*, 1988).

この火山の最も大きな特徴とも言える溶岩湖は, 1972年から1984年まで10年以上にわたり存在していた. このように長期間にわたり溶岩湖が存在している火山は, 全世界的に見ても大変珍しい. そしてこの溶岩湖は1984年9月の噴火の際に消失したが, 1985年12月には再び出現していることが確認されている. その後の1986年から1987年には直径約 30 m の溶岩湖が山頂の内側火口の北側に存在している (KAMINUMA *et al.*, 1988).

KAMINUMA *et al.* (1986) は 24 時間に観測された地震が 250 個を超えた場合, その前後の地震数の多い日を含めた一連の活動を群発地震と定義し, 1982年から1984年のエレバス山の群発地震を解析している. この定義に従うと1982年には3回, 1983年には7回, 1984年には6回の群発地震が観測されている (KAMINUMA *et al.*, 1986). 1984年9月13日にエレバス山としては, 大規模な噴火活動が始まり以後3カ月間この活動が続いた (KAMINUMA, 1987). この噴火活動を境に, 1日に観測される地震数は急激に減少し, 20個以下になった. そして1985年には群発地震は1回しか観測されなかった (KAMINUMA *et al.*, 1987). 1986年に入っても観測された群発地震は2回であった.

本論文では1985年と1986年に観測された3回の群発地震についてその活動継続時間, 地震の総数, 地震数の時間別頻度分布, 石本・飯田の式の係数 m の値, 震源分布などを調べた.

2. エレバス山周辺の地震活動

2.1. 地震の日別頻度分布

1985年から1986年のエレバス山のテレメーター地震観測網を図1に示す. これまでIMESSグループでは, エレバス山の中腹にあり欠測の少ない Hoopers Shoulder 点 (図1で HOO と示している) で記録された地震数について日別頻度を求め, その活動の変化を調べている (KAMINUMA *et al.*, 1986).

1982年から1984年の地震数の日別頻度分布 (KAMINUMA *et al.*, 1986) と, 1985年から1986年の地震数の日別頻度分布とを合わせて図2に示す. 図2で数えられている地震のマグニチュードは正確に決められていないが, 最大でも2を超えることはなく, 大半の地震は1以下の小さい地震である (KAMINUMA *et al.*, 1986).

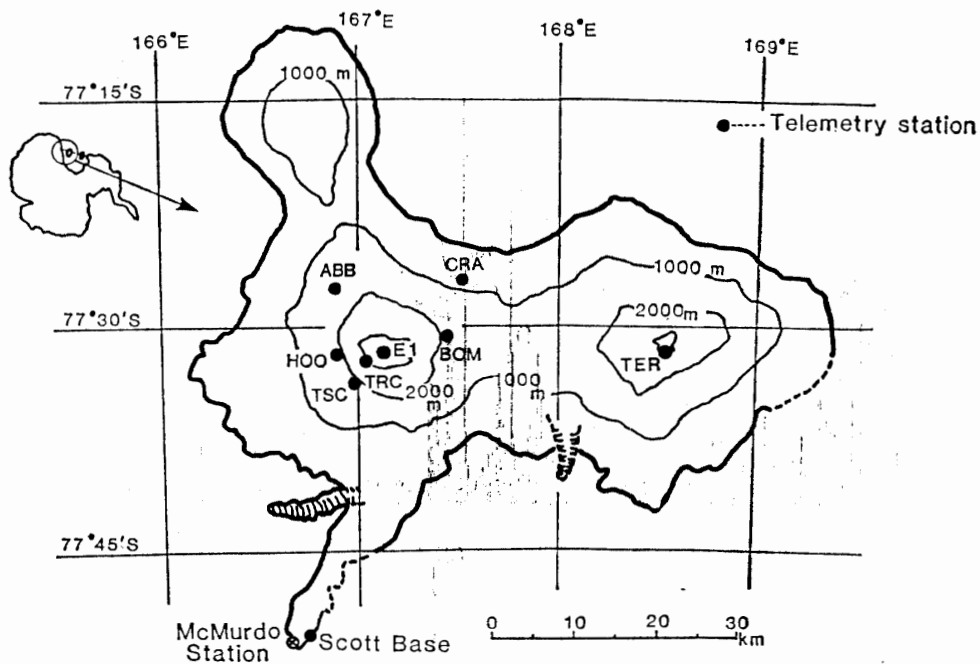


図 1 1985年から1986年に使われた IMESS のテレメーターによる地震観測点
 Fig. 1. Seismic stations of IMESS in 1985-1986.

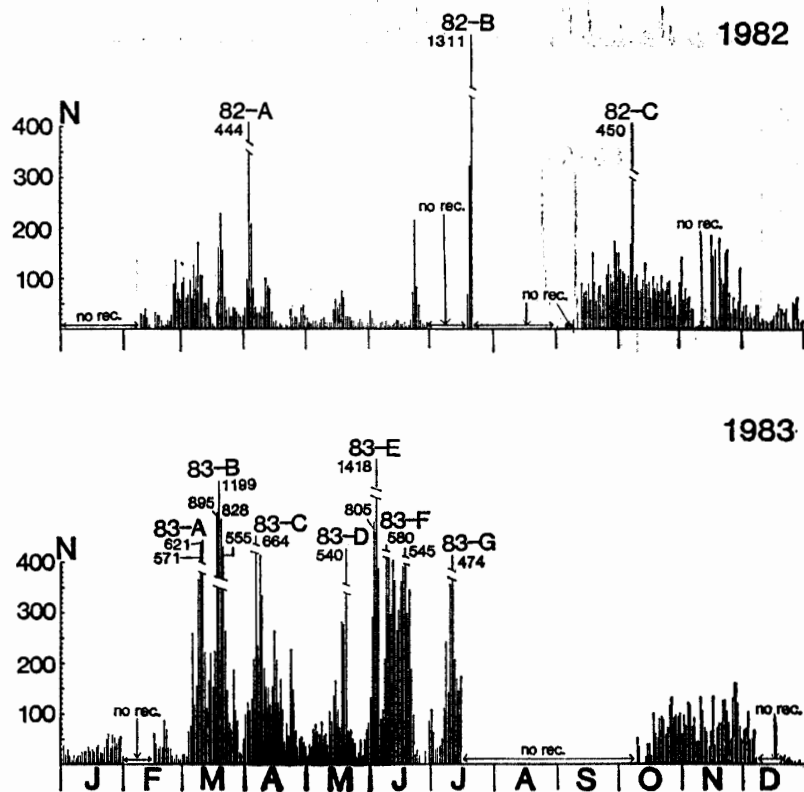
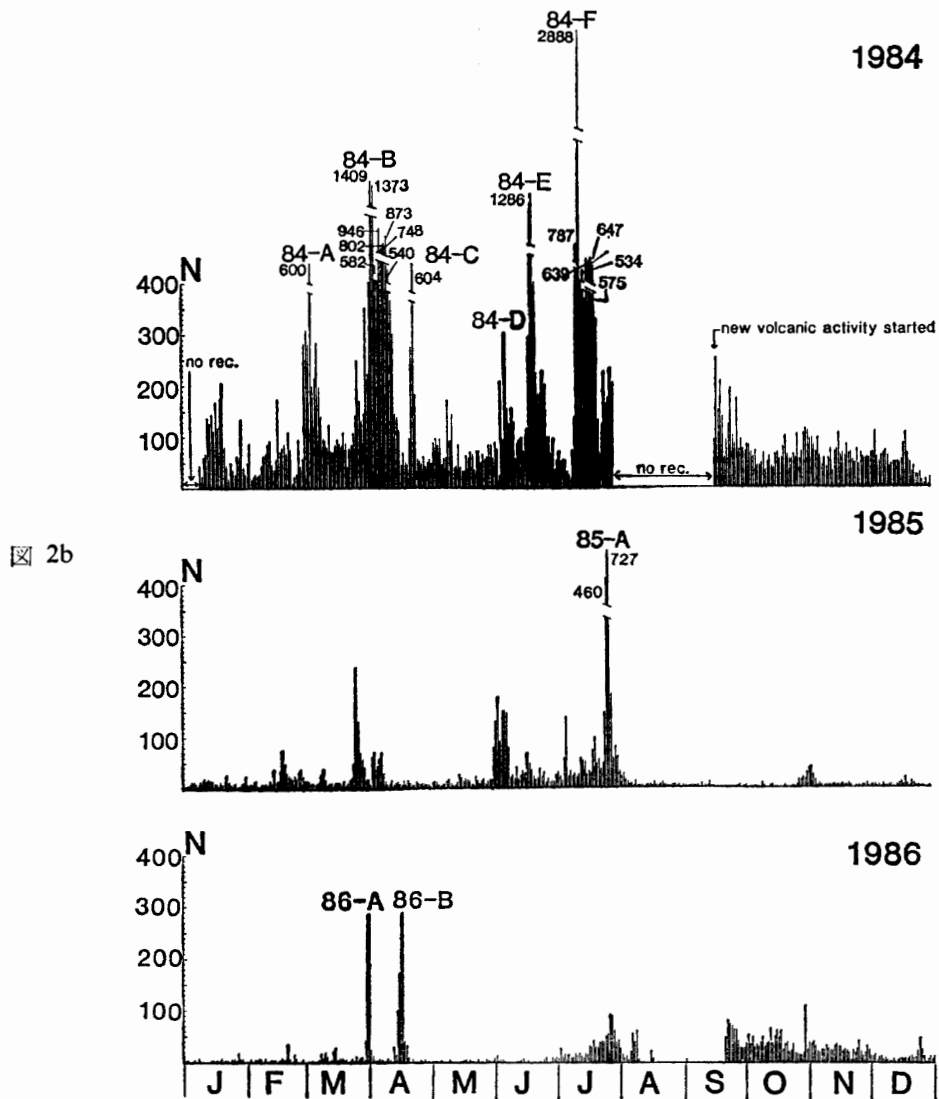


図 2a

図 2a, b 1982年から1986年に HOO 点で数えられた地震の日別頻度. 82-A, -B... と書かれているのは群発地震. 1982年から1984年は, KAMINUMA *et al.* (1986) による.

Fig. 2a, b. Daily frequency of earthquakes observed at Hoopers Shoulder Station in 1982-1986. 82-A, -B... etc. denote the earthquake swarms. The data of 1982-1984 are from KAMINUMA *et al.* (1986).



1982年から1984年におけるエレバス山付近の地震活動は以下のようにになっている (KAMINUMA, 1987). 1) 1982年から1984年の間に観測された地震数は20個から250個を超える日もあった. 2) 観測された1日平均の地震数は1982年で64個, 1983年では134個, 1984年では146個であった. 3) 1984年9月13日, 降灰や多量の噴出物を伴った多くの爆発が起こる新たな噴火活動が始まり, 同年12月の中旬まで続いた. 12月下旬からは地震数は急激に減少し, 1日に観測される地震数は20個以下になった. 4) 群発地震は1982年に3回, 1983年に7回, 1984年に6回観測された.

1985年に入ると, 地震数は前年に比較して大きく減少した. 図2bからわかるように1985年1月から7月までは比較的 earthquake 数が多く, 1日平均の地震数は34.0個であったが, その後地震数は減少し, 8月から12月までの1日平均の地震数は6.9個になった. 1986年に入っても地震数の少ない傾向は続き, 1月から6月までの1日平均の地震数は10.2個であった. 7月

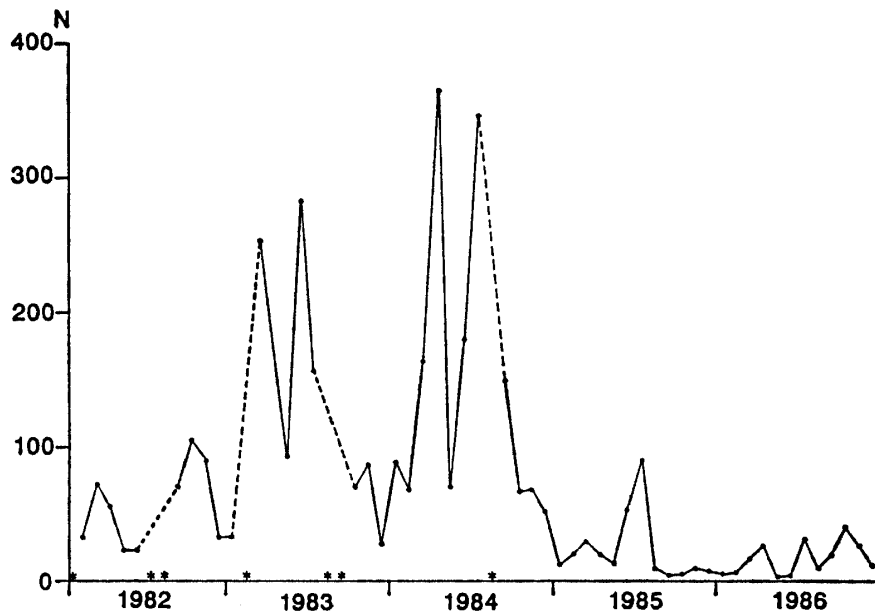


図 3 1982年から1986年にHOO点で数えられた月別の1日当たりの地震数。*印は、欠測している月

Fig. 3. Monthly average number of earthquakes per day at Hoopers Shoulder Station in 1982-1986. * is the month without record.

は地震数が増加し、1日平均の地震数は26.9個になったが、8月の中旬以後地震数が少なくなった。9月中旬になって地震数の増加傾向が見られ、9月中旬から12月までの1日平均の地震数は15.7個となった。群発地震は1985年に1回、1986年に2回観測されただけであった。

1984年9月の噴火を境に地震数が急激に減少している様子を示すために、1982年から1986年においてHOO点で観測された月別の1日当たりの地震数の変化を図3に示す。*印の付いている月は、観測日数が半月に満たなかった月を示している。この図から、ばらつきは大きいものの1982年から1984年9月の噴火に向けて増加してきた地震数がこの噴火を境に急激に減少し、1985年、1986年と地震数の少ない傾向が続いていることがわかる。

2.2. 震源分布

1982年2月から1984年5月までの期間の震源分布を求めた。データはKAMINUMA (1987)と同じ読み取り値を用い、人工地震観測から得られた速度構造(表1)を用いて震源決定を行った。その結果、水平・垂直誤差が2.0 km以内、残差の平均値が1.0秒以内に決定された地震は245個であった。その震源分布を図4に示す。震源は、エレバス山を中心に山体の外にも多く分布している。

1984年9月13日から1985年12月の期間についても同様にKAMINUMA (1987)が震源決定に使用したデータを用い、さらに1986年のデータを加え、同様に表1の人工地震観測から得ら

表 1 人工地震観測の結果から得られたエレバス山のP波速度構造. 深さ 0 km は, エレバス山頂の高さ

Table 1. P-wave velocity model of Mount Erebus based on the seismic explosion experiments. Depth of 0 km is at the summit of Mount Erebus.

Depth (km)	V (km/s)
0-2.0	3.1
2.0-4.3	4.2
4.3-9.9	4.7
9.9-	6.5

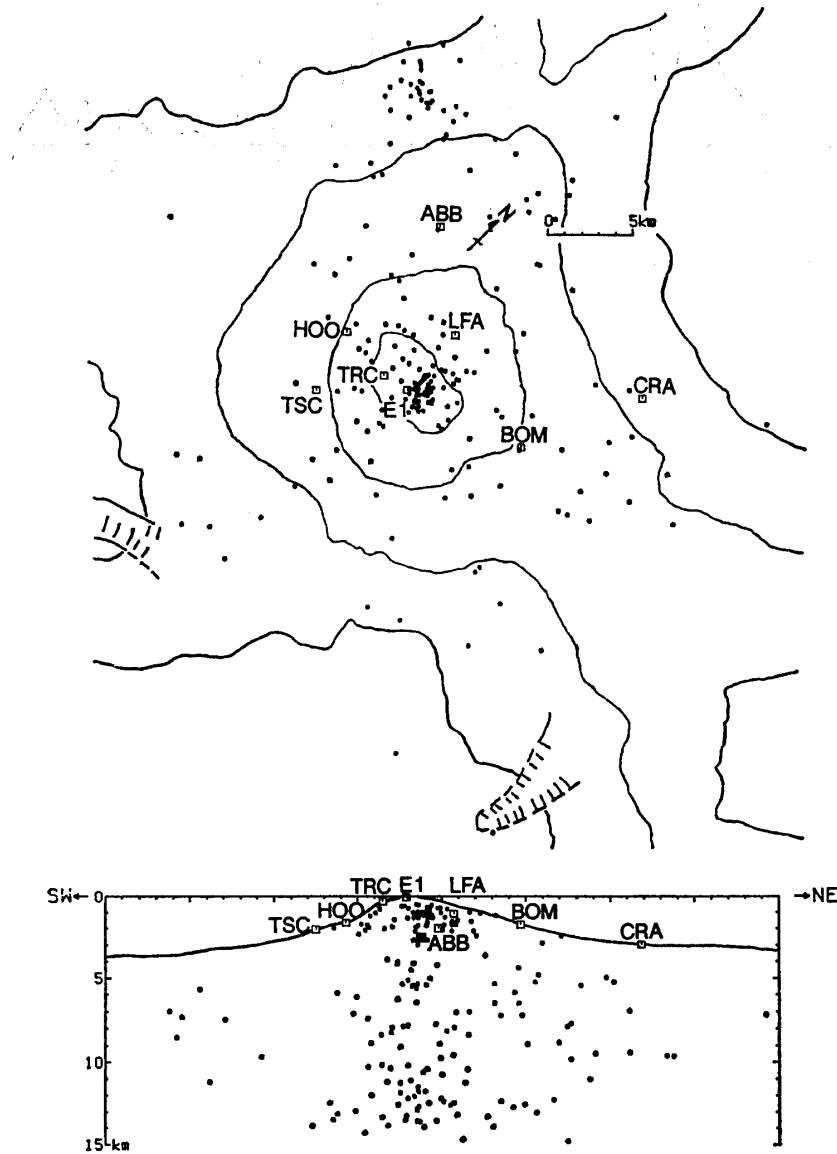


図 4 1982年2月から1984年5月に起こったエレバス山付近の地震の震源分布
 Fig. 4. Hypocenter locations of the earthquakes in the period from February 1982 to May 1984. The focal depth distribution is projected onto the vertical NE-SW section.

れた速度構造を使って震源決定を行った。その結果、水平・垂直誤差が 2.0 km 以内、残差の平均値が 1.0 秒以内に決定された震源は 124 個であった。その震源分布を図 5 に示す。図 4 とは異なり、震源はエレバス山頂付近に集中し、それ以外のところにはほとんど分布していない。

これらのことから、1984年9月の噴火を境に震源分布が異なっていることがわかる。

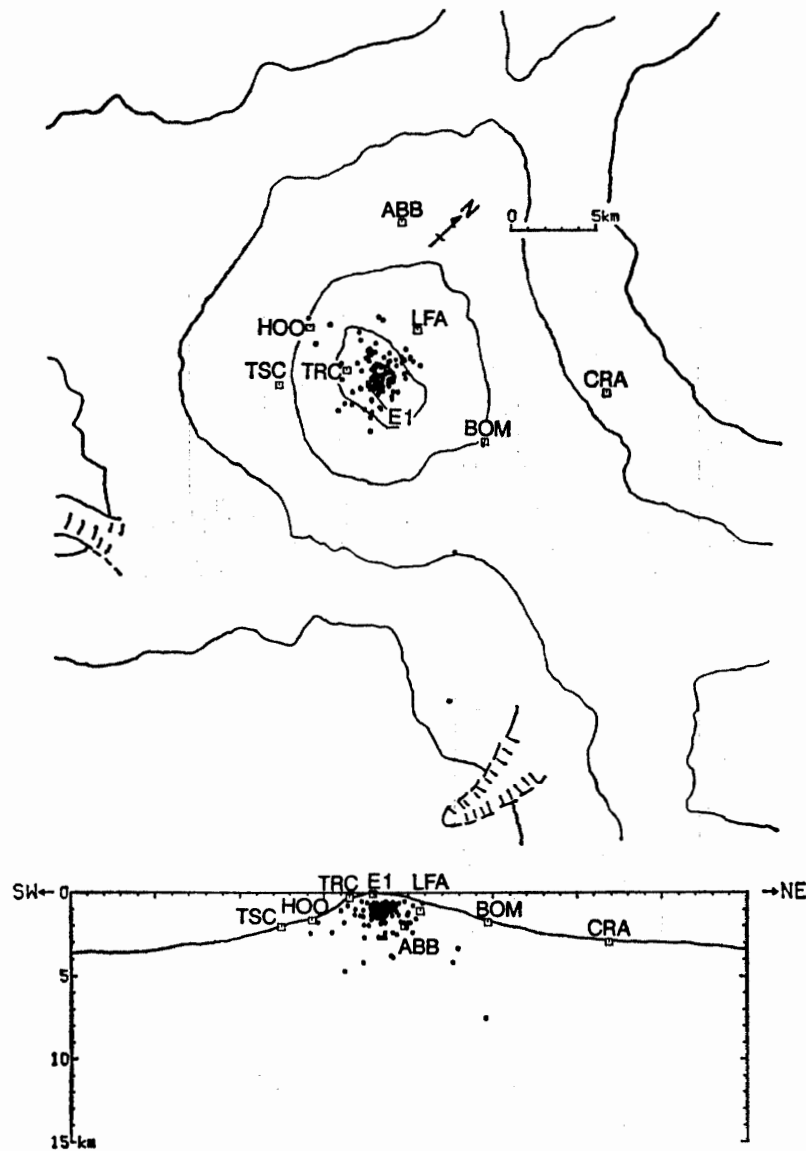


図 5 1984年9月から1986年12月に起こったエレバス山付近の地震の震源分布
 Fig. 5. Hypocenter locations of the earthquakes in the period from September 1984 to December 1986. The focal depth distribution is projected onto the vertical NE-SW section.

3. 群発地震

3.1. 時間別頻度分布

1985年から1986年に観測された3つの群発地震(図2で85-A, 86-A, 86-Bと示されている)の地震数の時間別頻度分布を図6に示す。

図6の地震数の時間別頻度分布から、群発地震85-Aの活動期間は矢印で示したように7月25日17時から7月28日10時までとした。この頻度分布の中で、7月26日9時と7月27日19時にそれぞれ71個と75個の大きなピークが見られる。この群発地震の活動継続時間は66時間で、2315個の地震が観測され、1時間当たりの地震数は35.1個であった。

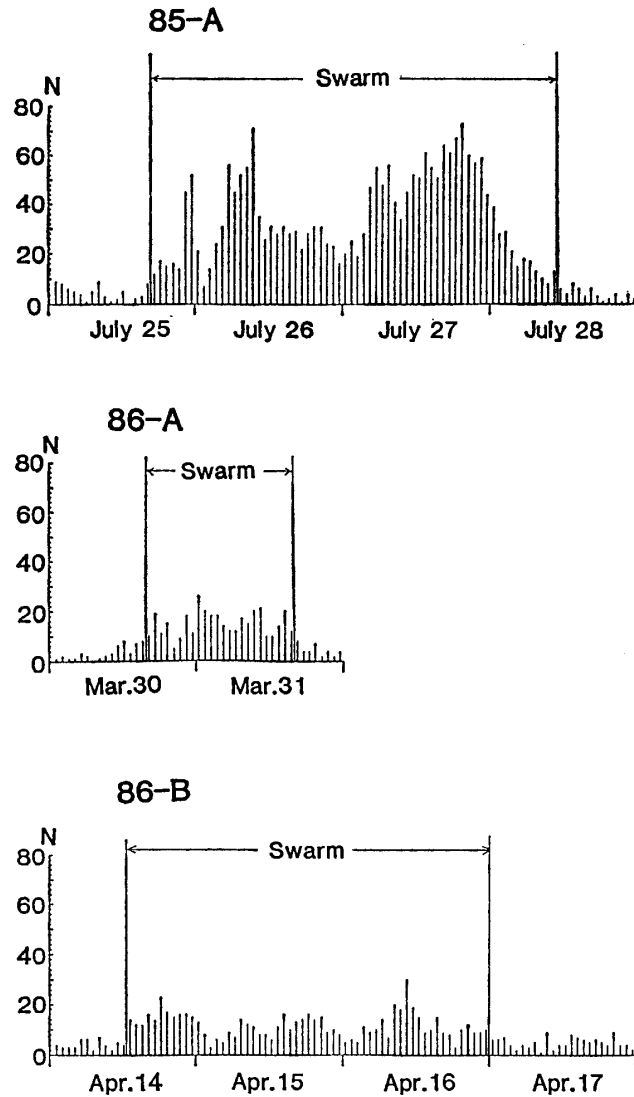


図6 群発地震 85-A, 86-A, 86-B の地震数の時間別頻度分布
 Fig. 6. Hourly frequency of earthquakes of swarms 85-A, 86-A and 86-B observed at Hoopers Shoulder Station.

地震数の時間別頻度分布から、群発地震 86-A の活動期間は 3 月 30 日 16 時から 3 月 31 日 15 時までとした。この群発地震活動は、群発地震 85-A とは異なりはっきりとした地震数のピークは見られない。活動継続時間は 24 時間で 357 個の地震が観測され、1 時間当たりの地震数は群発地震 85-A の半分以下 14.9 個であった。

群発地震 86-B の活動期間は 4 月 14 日 13 時から 4 月 16 日 23 時までとした。この群発地震活動でも、群発地震 86-A と同様にはっきりとした地震数のピークは見られない。活動継続時間は 56 時間で 689 個の地震が観測されたが、1 時間当たりの地震数は群発地震 86-A よりさらに少なく 11.7 個であった。

これらのことから、1986年に観測された 2 つの群発地震は、1985年に観測された群発地震より活動の規模が小さくなっていることがわかる。

3.2. 群発地震 85-A の震源の推定

群発地震 85-A が観測されたのは、南極では冬期間にあたる 7 月で、太陽電池による電力の供給が困難な時期であった。このため、山頂付近の観測点の中では TRC 点と HOO 点のデータしか得られていない。TRC 点と HOO 点で観測された群発地震 85-A の記象例を図 7 に示す。図 7 の上側は、群発地震 85-A の活動期間中において、1 時間当たり 2 番目に多く地震が観測された 7 月 26 日 9 時の記象例である。また図 7 の下側は、群発地震 85-A の活動期間中において、1 時間当たり 1 番多く地震が観測された 7 月 27 日 19 時の記象例である。それぞれ約 6 分間の地震記録を表している。

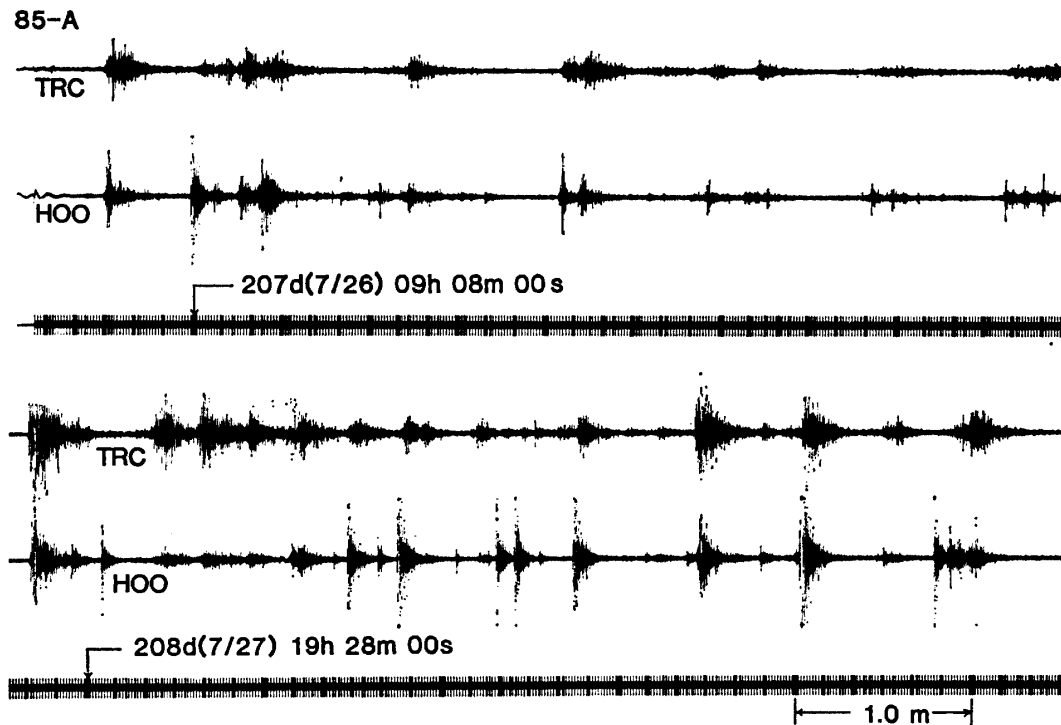


図 7 群発地震 85-A の記象例

Fig. 7. An example of seismograms of swarm 85-A.

2 点の記象の特徴から、これらの地震は 5 つのタイプに分類できる。2 観測点のデータしか得られていないので震源決定をすることはできないが、各タイプについて震源位置の推定を試みた。タイプ別の地震数の時間別頻度分布とそれぞれの記象例を図 8 に示す。各タイプの特徴と地震数は以下のとおりである。

1) 両点の振幅を比較すると TRC 点の振幅が HOO 点に比べて大きく、TRC 点への地震波初動の到達時刻が HOO 点よりも早い地震が観測されている。この地震は、両点の振幅及び初動到達順位から、HOO 点よりも TRC 点の近くで起きていると推定される。このような地震を Type 1 とした。Type 1 は、総地震数の約 25% に当たる 589 個観測された。

2) Type 1 に似た波形であるが、TRC 点での初動の立ち上がりが鋭い地震も観測されている。この地震は、TRC 点での初動の立ち上がりが鋭く振幅が HOO 点と比べてはるかに大きいことから、Type 1 よりも TRC 点に近いところで起きていると推定される。このよ

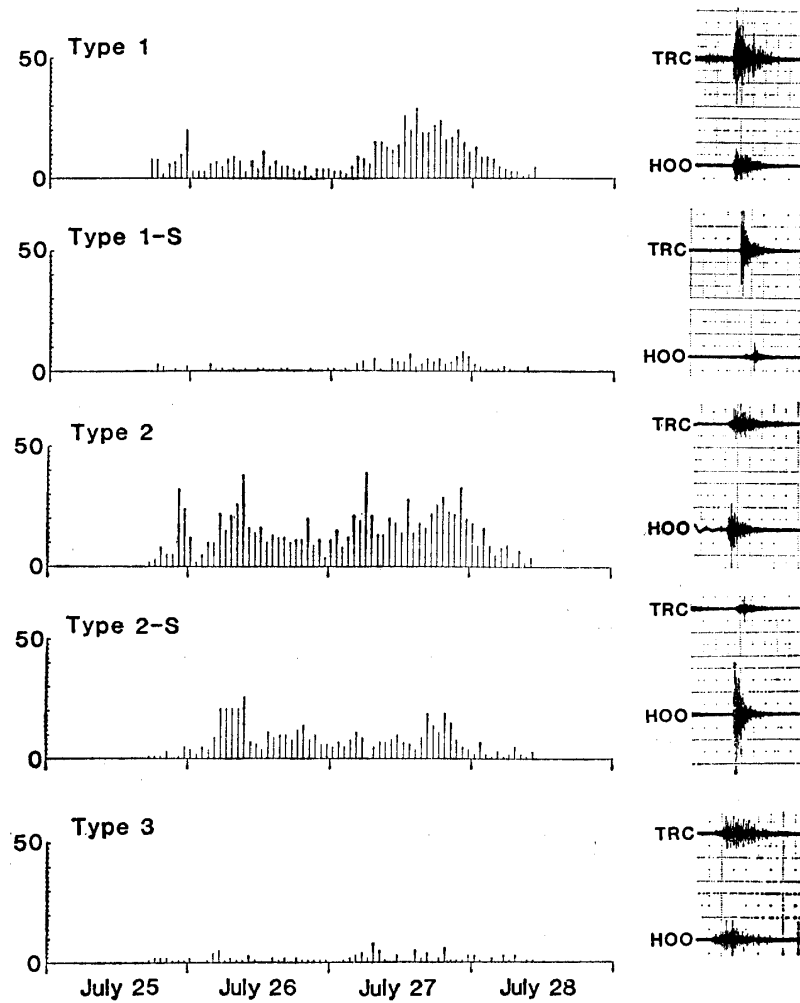


図 8 群発地震 85-A のタイプ別の時間別頻度分布

Fig. 8. Hourly frequency of earthquakes distinguished from five types of swarm 85-A observed at Hoopers Shoulder Station.

うな地震を Type 1-S とし Type 1 と区別した。Type 1-S は、総地震数の約 5% に当たる 115 個観測された。

3) Type 1 とは反対に両点の振幅を比較すると HOO 点の振幅が TRC 点に比べて大きく、HOO 点への地震波初動の到達時刻が TRC 点よりも早い地震が観測されている。この地震は、両点の振幅及び初動到達順位から、TRC 点よりも HOO 点の近くで起きていると推定される。このような地震を Type 2 とした。Type 2 は、総地震数の約 42% に当たる 973 個観測された。

4) Type 2 に似た波形であるが、TRC 点での初動の立ち上がりが鋭い地震も観測されている。この地震は、HOO 点での初動の立ち上がりが鋭く、振幅が TRC 点と比べてはるかに大きいことから、Type 2 よりも HOO 点に近いところで起きていると推定される。このような地震を Type 2-S とし、Type 2 と区別した。Type 2-S は、総地震数の約 26% に当たる 500 個観測された。

5) 両観測点で、地震波初動の到達時刻および振幅が、ほぼ等しく紡錘型の波形をした地震が観測されている。この地震は、両点でほぼ同時刻にはほぼ同じ振幅で観測されるため、両点からの距離がほぼ等しいところ、もしくは両点から離れたところで起きていると推定される。このような地震を Type 3 とした。Type 3 は、総地震数の約 6% に当たる 138 個観測された。

1) から 5) をまとめると以下のような結果になる。Type 1 と Type 2 の地震数を比べると、Type 2 は Type 1 の約 1.7 倍であることから、TRC 点に比べて HOO 点に近いところで起きている地震が多いことがわかる。Type 1 と Type 2 は見分けがつきにくいものもあるが、Type 1-S と Type 2-S は、違いがはっきりしているため、Type 1 と Type 2 の比較よりも信頼性が高い。この Type 1-S と Type 2-S の数を比べてみると、Type 2-S は Type 1-S の 4.3 倍になり、HOO 点の近くで起きている地震が多いことを示唆している。また、Type 3 の地震が少なかったことから、震源の深い地震または両点から離れた地点で起きている地震が少ないものと思われる。これらのことから群発地震 85-A の震源は、山体の西側に位置している HOO 点付近に多く分布している可能性が高い。

3.3. 群発地震 86-A の震源分布

群発地震 86-A の発生期間は、山頂付近の 6 観測点(図 1 で E1, TRC, TSC, HOO, BOM, ABB と示している)のデータが得られていることから、表 1 の人工地震観測の結果から得られた速度構造を使って震源決定を行った。ただし 6 観測点のデータが得られていても多くの観測点で地震波が観測されることが少ないうえに、地震波の立ち上がりが不明瞭なことも影響して、水平・垂直誤差が 10.0 km 以内、残差の平均値が 2.0 秒以内に決まった震源は 9 個であった。この震源分布を図 9 に示す。図中の震源のうち水平・垂直誤差が 2.0 km 以内、残差の平均値が 1.0 秒以内に決まった地震は 4 個で、これらは黒丸で示している。この図か

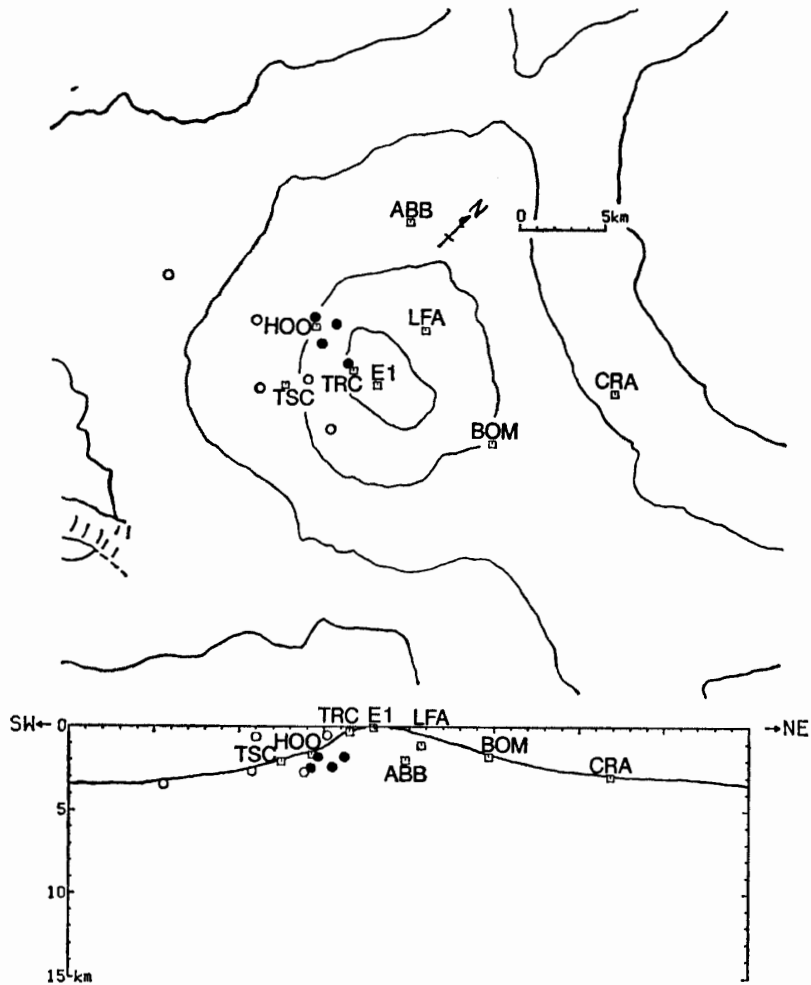


図 9 群発地震 86-A の震源分布. 白丸, 黒丸は水平・垂直誤差が 10.0 km 以内, 残差の平均値が 2.0 秒以内に決まった震源. これらのうち, 水平・垂直誤差が 2.0 km 以内, 残差の平均値が 1.0 秒以内に決まった震源を黒丸で示している.

Fig. 9. Hypocenter locations of 86-A. The focal depth distribution is projected onto the vertical NE-SW section. Open and solid circles indicate the hypocenters of which location errors and RMS of residuals are estimated to be less than 10.0 km and 2.0 s, respectively. All solid circles indicate the hypocenters of which location errors and RMS of residuals are estimated to be less than 2.0 km and 1.0 s, respectively.

ら, 精度良く決まった震源は, 山体の西側の浅いところに分布していることがわかる.

群発地震 86-A で, 震源決定ができた地震が少なかったために, 震源に最も近い観測点に地震波が最初に到達すると仮定し, 各観測点に地震波が最初に到達した頻度を求め震央の推定を行った. その結果, 地震波が最初に HOO 点に到達する頻度が最も高く, このタイプの地震は, 群発地震 86-A の総地震数 357 個の約 38% に当たる 135 個観測された. つづいて TRC 点と TSC 点の頻度が高く, 両点とも 10 個観測された. このことから, 群発地震 86-A の震源も群発地震 85-A 同様に山体の西側にしている HOO 点付近に分布しているものと考えられる.

3.4. 群発地震 86-B の震源の推定

群発地震 86-B の期間は、山頂付近の観測点のデータが 4 点分しか得られていないことと、規模の小さい地震が多いために震源決定はできなかった。そこで群発地震 86-A と同様に、震源に最も近い観測点に地震波が最初に到達すると仮定し、各観測点に地震波が最初に到達した頻度を求め震央の推定を行った。その結果、地震波が最初に HOO 点に到達する震度が最も高く、このタイプの地震は、群発地震 86-B の総地震数 689 個のうち 276 個観測され、これは全体の約 40% に当たる。つづいて山頂付近の TRC 点, E1 点の順に多く、それぞれ 76 個, 75 個観測された。これらはいずれも全体の約 11% に当たる。このことから、群発地震 86-B の震源も山体の西側に位置している HOO 点付近に多く分布していることが予想される。

3.5. 石本・飯田の式の係数 m の値

1985年から1986年の間に観測された 3 個の群発地震の振幅別頻度分布を図10に示す。縦軸に地震数、横軸に各地震の最大振幅をとり、その傾きを最尤法 (宇津, 1965) で求めて、石本・飯田の式の係数 m を求めた。なお両振幅 5 mm 未満の地震は、ノイズレベルに隠れて判別が難しいものがあるために切り捨て、両振幅 40 mm 以上となる地震は、記録紙上で振り切れてしまうことから両振幅 39 mm までの地震を採用し、1 mm 間隔で各振幅の頻度を求めた。最終的に、群発地震 85-A は 1900 個、群発地震 86-A は 244 個、群発地震 86-B は 490 個の地震を使って m 値を求めた。その結果、群発地震 85-A, 86-A, 86-B の m 値はそれぞれ 2.14 ± 0.10 , 2.54 ± 0.32 , 2.62 ± 0.23 となった。

1982年から1984年にエレバス山で観測された群発地震の m 値は、地震記録に大きなノイズが入っている 3 個の群発地震 (83-D, 83-E, 83-G) を除くと大半の群発地震が、一般に構造性地震から得られる 2.0 程度の値になっている (KAMINUMA *et al.*, 1986)。このことから 1985年と1986年に観測された 3 個の群発地震の m 値は、過去に観測された群発地震の m 値

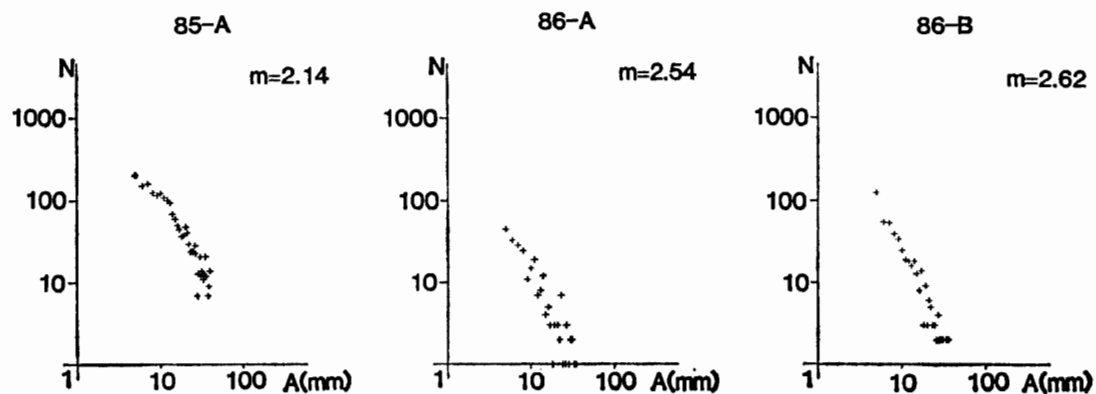


図 10 群発地震 85-A, 86-A, 86-B の振幅別頻度分布と石本・飯田の式の係数 m の値
 Fig. 10. Frequency distributions of maximum amplitudes and Ishimoto-Iida's " m " of swarms 85-A, 86-A and 86-B.

と比べてやや高い値が得られたことがわかる。また、一般の構造性地震の m 値 1.8-2.2 (MINAKAMI, 1960) と比べてもやや大きい値が得られている。

1982年から1984年の間に観測された群発地震の中で、3つの群発地震 (82-C, 83-C, 84-B) について震源決定が行われている。UEKI *et al.* (1984) や KAMINUMA *et al.* (1985) の報告によると群発地震 82-C の震源は、ABB 点付近直下の深さ 4 km から 11 km (エレバス山頂を深さ 0 km とする) を中心に分布していることがわかる。また群発地震 83-C は、山頂の西側に震源が分布し、群発地震 84-B は、山頂の北側の深さ 2 km から 5 km 付近に震源が分布している (KAMINUMA *et al.*, 1986)。一方、1985年から1986年に観測された3個の群発地震は、3.2, 3.3, 3.4 節で述べたように HOO 点付近の浅いところで地震が起こっていると推定される。つまり1984年以前に観測された群発地震が山体の比較的深いところで起こっているのに対し、1985年から1986年に観測された群発地震は山体の比較的浅いところで起こ

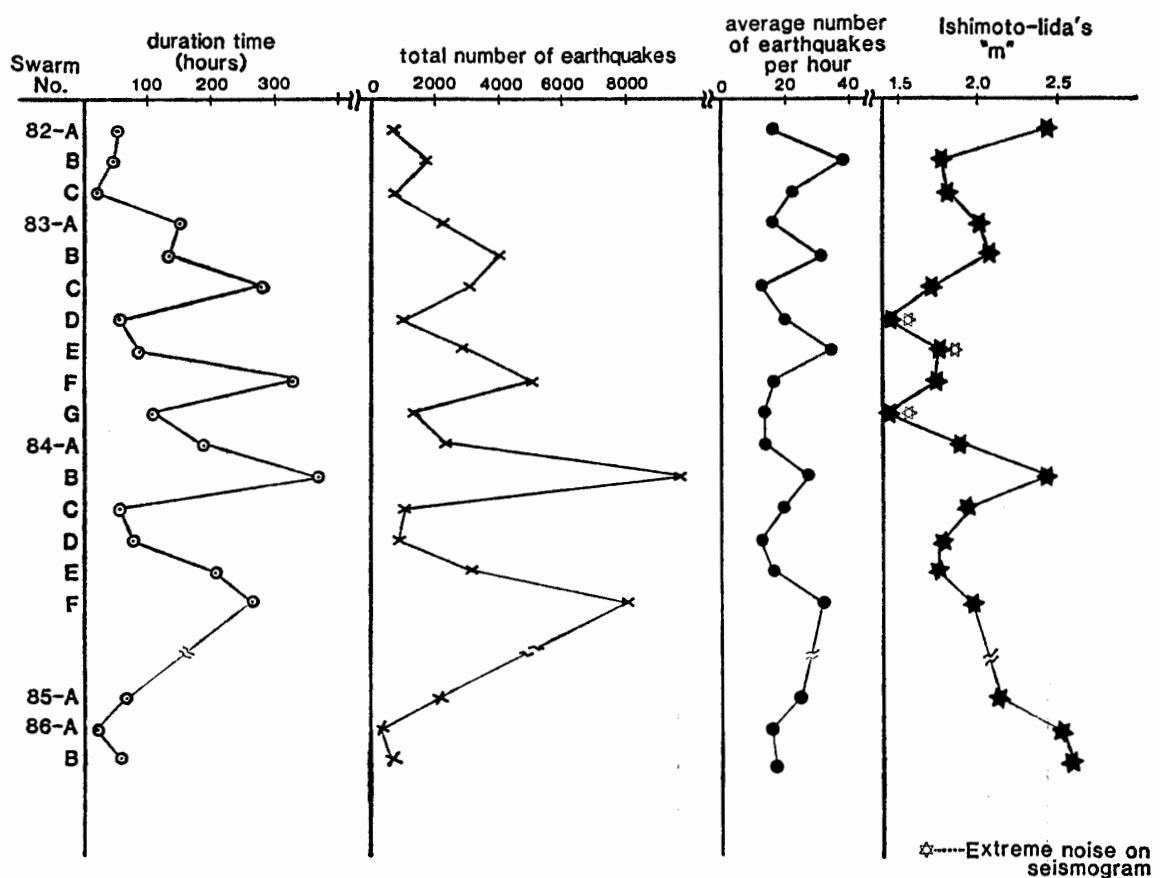


図 11 1982年から1986年に観測された群発地震の活動継続時間、地震の総数、1時間当たりの地震数、石本・飯田の式の係数 m の値。星印は、ノイズを含んだ地震記録から m 値を求めたもの (KAMINUMA *et al.* (1986) の Fig. 4 に加筆)。

Fig. 11. The duration, total number of earthquakes, average hourly number of earthquakes and Ishimoto-Iida's " m " for the earthquake swarms in the period 1982-1986. Open stars are " m "-values which are obtained from the seismic waves with very large noise (data of 85-A, 86-A and 86-B are added to Fig. 4 of KAMINUMA *et al.* (1986)).

ていると考えられる。また、火山体内、特に山体上部は下部に比較して不均質度が大きいと推定される。

石本・飯田の式の係数 m の値は、地震の起こる場の不均質性の増加とともに増加する傾向にある (Mogi, 1962)。1985年から1986年の3つの群発地震の m 値が、2.14から2.62とそれ以前に起こった群発地震の m 値より大きくなっているのは、地震が浅いところ、つまり場の不均質性の大きなところで起こっていることと調和的である。

3.6. 1984年以前の群発地震との比較

解析を行った3つの群発地震を含めて1982年から1986年までに観測された群発地震の活動継続時間、地震の総数、1時間当たりの地震数、石本・飯田の式の係数 m の変化を KAMINUMA *et al.* (1986) の図に加筆し図11に示す。この図から、1982年から1984年において群発地震の活動継続時間、地震の総数、1時間当たりの地震数などは、ぼらつきはあるものの徐々に大きくなっていることがわかる。しかし、1984年9月の噴火活動以後に観測された群発地震は、継続時間、総数、1時間当たりの地震数の3つの値すべてが比較的小さくなっている。このことから1984年の噴火活動以後は、群発地震の絶対数が減っただけではなく、群発地震活動の規模そのものも小さくなっていると考えられる。

4. 結 果

以上の結果をまとめると以下のようになる。

1) 1985年から1986年において、以下の期間に3回の群発地震が観測された。群発地震 85-A: 1985年7月25日17時から7月28日10時、群発地震 86-A: 1986年3月30日16時から3月31日15時、群発地震 86-B: 1986年4月14日13時から4月16日23時。

2) 1984年9月の新しい噴火活動を境に、1日に観測される地震数、群発地震の発生頻度、それぞれの群発地震の活動継続時間、およびその期間内の地震の総数、1時間当たりの地震数のいずれも減少している。また、1984年9月以前は、山体の外にも多くの震源が分布していたが、それ以後は山頂付近に震源が集中しているだけでそれ以外のところには、ほとんど分布していない。これらのことから、すでに KAMINUMA (1987) で指摘されているように、この噴火活動で、1984年9月の噴火活動に向けて徐々に高まっていったエネルギーが解放され地殻応力場が変化し、山体の地震活動が鎮静化したものと考えられる。

3) 85-Aの地震波形のタイプ分けによる震源の推定、群発地震 86-Bの地震波の各観測点の地震波到達順位および群発地震 86-Aの震源分布から、本論文で解析した3つの群発地震は、いずれも山体の西側の浅いところを中心に起こっている可能性が高い。

4) 解析した群発地震について石本・飯田の式の係数 m の値を求めた結果、一般の構造性地震と比べてやや高い値が得られた。これは不均質な場を有する火山体の浅いところで地震が起こっているためと推定される。このことは3)の結果と調和的である。

謝 辞

本論文を書くに当たり、多くの方にお世話になった。本研究を行う機会を与えてくださり、ご指導、ご助言を頂いた東海大学開発技術研究所の浅田敏教授に心から感謝します。国立極地研究所の神沼克伊教授には、研究全般にわたってご指導、ご教示して頂き心から感謝します。また図の作成においては、国立極地研究所の周藤由美子さん、高橋明子さんには多大なご尽力を頂くとともにいろいろな面でお世話になり、厚くお礼申し上げます。

文 献

- KAMINUMA, K. (1987): Seismic activity of Erebus Volcano, Antarctica. *Pure Appl. Geophys.*, **125**, 993-1008.
- KAMINUMA, K., UEKI, S. and KIENLE, J. (1985): Volcanic earthquake swarms at Mt. Erebus, Antarctica. *Tectonophysics*, **114**, 357-369.
- KAMINUMA, K., BABA, M. and UEKI, S. (1986): Earthquake swarms on Mount Erebus, Antarctica. *J. Geodyn.*, **6**, 391-404.
- KAMINUMA, K., AMINO, J. and MIURA, S. (1987): Seismic activity of Mount Erebus in 1984-1985. *Proc. NIPR Symp. Antarct. Geosci.*, **1**, 1-5.
- KAMINUMA, K., MIURA, S. and DIBBLE, R. R. (1988): A process of Mount Erebus eruption. *Proc. NIPR Symp. Antarct. Geosci.*, **2**, 7-16.
- KIENLE, J., KYLE, P. R., ESTES, S., TAKANAMI, T. and DIBBLE, R. R. (1981): Seismicity of Mount Erebus 1980-1981. *Antarct. J. U. S.*, **16**(5), 35-36.
- MINAKAMI, T. (1960): Fundamental research for predicting volcanic eruption. (Part 1)-Earthquakes and crustal deformations originating from volcanic activities. *Bull. Earthquake Res. Inst.*, **38**, 497-544.
- MOGI, K. (1962): Magnitude-frequency relation for elastic shocks accompanying fracture of various materials and some related problems in earthquakes (2). *Bull. Earthquake Res. Inst.*, **40**, 831-853.
- TAKANAMI, T., KAMINUMA, K., TERAI, K. and OSADA, N. (1983a): Seismological observations on Mount Erebus, Ross Island, Antarctica, 1980-1981. *Mem. Natl Inst. Polar Res., Spec. Issue*, **28**, 46-53.
- TAKANAMI, T., KIENLE, J., KYLE, P. R., DIBBLE, R. R., KAMINUMA, K. and SHIBUYA, K. (1983b): Seismological observations on Mount Erebus, 1980-1981. *Antarctic Earth Science*, ed. by R. L. OLIVER *et al.* Canberra, Australian Academy of Science, 671-674.
- UEKI, S., KAMINUMA, K., BABA, M., KOYAMA, E. and KIENLE, J. (1984): Seismic activity of Mount Erebus, Antarctica in 1982-1983. *Mem. Natl Inst. Polar Res., Spec. Issue*, **33**, 29-40.
- 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. 北大地球物理学研究報告, **13**, 99-103.

(1989年3月31日受付; 1989年5月29日改訂稿受理)