

## 南極・昭和基地付近の地震

神沼克伊\*・赤松純平\*\*

### Local Earthquakes around Syowa Station, Antarctica

Katsutada KAMINUMA\* and Junpei AKAMATSU\*\*

**Abstract:** There were no earthquakes located in the Antarctic continent before the International Geophysical Year (IGY) in 1957. About ten seismic stations have been operated in the Antarctic continent since IGY. Four earthquakes were reported to locate in and around the Antarctic continent since 1968. One of the four earthquakes which occurred in 1980 was located in Queen Maud Land, the east Antarctic shield area.

The occurrence of small and microearthquakes around each seismic station has been reported. However, no earthquake locations were determined because the earthquakes were recorded at only one or two seismic stations.

A tripartite seismic network of radiotelemetry was established at Syowa Station (69°S, 39°E) in 1987. Some tectonic earthquakes were recorded by the network. Magnitude of the earthquakes is less than 3, and P-S $\approx$ 20s. The earthquakes are estimated to be located at about 160 km northeast of Syowa Station. The activity of the earthquakes in relation with the geological structure is a very important item in the Antarctic geoscience.

**要旨:** 1957年に国際地球観測年が始まり、地震観測点が設置されるまでは、南極に震源のある地震は観測されていない。南極での地震観測が継続されるにしたがい、南極大陸やその周辺海域での地震発生が報告されるようになった。過去20年間に4個の地震の震源が南極大陸内や沿岸に確認されている。その一つは東南極盾状地に位置している。マグニチュードはいずれも4ぐらいで、南極大陸内にマグニチュード5以上の地震が起こっていないのも事実である。

各観測点近傍の地震活動も、国際地球観測年の頃は報告されている。昭和基地でも局地的な地震活動が認められているが、1987年に始めたテレメータ観測でも、局地的な地震が4カ月間に10個ほど記録された。これらの地震のマグニチュードは3以下で、昭和基地でのP-S $\approx$ 20秒、北東方向160 km付近に震源域があることがわかった。

この震源域の付近は地質断層の存在も推定されており、このテクトニックな局地的地震と地質構造との関係も興味深い。

### 1. はしがき

南極大陸内の地震活動は南極の地球科学の諸課題の中でも、古くて新しいテーマである。1957年の国際地球観測年の開始頃までは、南極に地震が起こらないと言われていた

\* 国立極地研究所. National Institute of Polar Research, 9-10, Kaga 1-chome, Itabashi-ku, Tokyo 173.

\*\* 京都大学防災研究所. Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, Gokasho, Uji-shi, Kyoto 611.

(GUTENBERG and RICHTER, 1954). 地震の大きさについては、特に注意されていなかったが、当時の世界の地震観測網では、南半球には観測点も少なく、マグニチュードが6程度より大きな地震が南極では起こっていないというのが正確な知見であった。

地震の起こらない原因として、1) 極に近い、2) 寒い、3) 大陸が氷床に覆われている、などの理由が提唱された (たとえば HATHERTON and EVISON, 1962). その後、世界の地震観測網が充実するにしたがい、北極にはかなりの地震が起こっていることが明らかになり、少なくとも原因の1) は否定された。2), 3) については、その後議論の進展はない。

国際地球観測年で南極大陸内にも地震観測点が設置され、データの蓄積が始まった。その結果、大陸内にもマグニチュード4程度の地震が、数年に1度ぐらいの割合で、発生していることが明らかになってきた。しかし、過去30年間、マグニチュード5以上の地震の報告はない。活火山もある広大な面積の南極大陸で、マグニチュード5以上の地震が、30年以上も長い期間起こらない理由は、まだ解明されていない。

昭和基地付近でも、微小地震の活動は報告されている (神沼, 1971)。1987年から開始した地震のテレメータ観測では、P-S time が約20秒の地震が記録された。この新しい記録を得たのを機会に、これまでの南極の地震活動について整理してみた。

## 2. 南極大陸内の地震

南極大陸周辺域に震源の決まった最初の地震は、1967年12月4日のデセプション島の噴火であることが当時の PDE card (U.S. Coast and Geodetic Survey 発行) に報告されている。大陸内に震源の決まった最初の地震は筆者の一人ら (KAMINUMA and ISHIDA, 1971a) による報告である。1968年6月26日に発生した地震で、今日よりはるかに貧弱な地震観測網であったため、南極大陸内の5点の観測点のデータを使って震源決定された。

この地震の報告に対し、1) 氷震ではないか、2) もし自然地震ならもっと起こってもよいはず、などの疑問が出された。この地震のマグニチュードは4.3であるが、テクトニックな地震としての波形を有していること、震源域には地質断層があり、地震が起こっても不思議はないと反論した。また、データが蓄積すれば必ず、同じような地震の発生が確認されるだろうと主張した。

事実、この10数年間に図1に示すように、前記の地震を含め、4個の地震が南極大陸内とその沿岸で記録されている。1974年に起こった図中のBは、データの蓄積した成果の一つである (OKAL, 1981)。Aともども、南極横断山脈の周辺で起こっており、地質構造的に見ても第3紀以降に隆起が起こっていると考えられる地域であり、テクトニックな地震と考えられる。

1980年に起ったCの地震は国際地震センター (ISC) により決定された初めての大陸沿岸に起こった珍しい地震で、Bと同様 OKAL (1981) により議論されている。マグニチュード

## Earthquakes in the Antarctic Continent

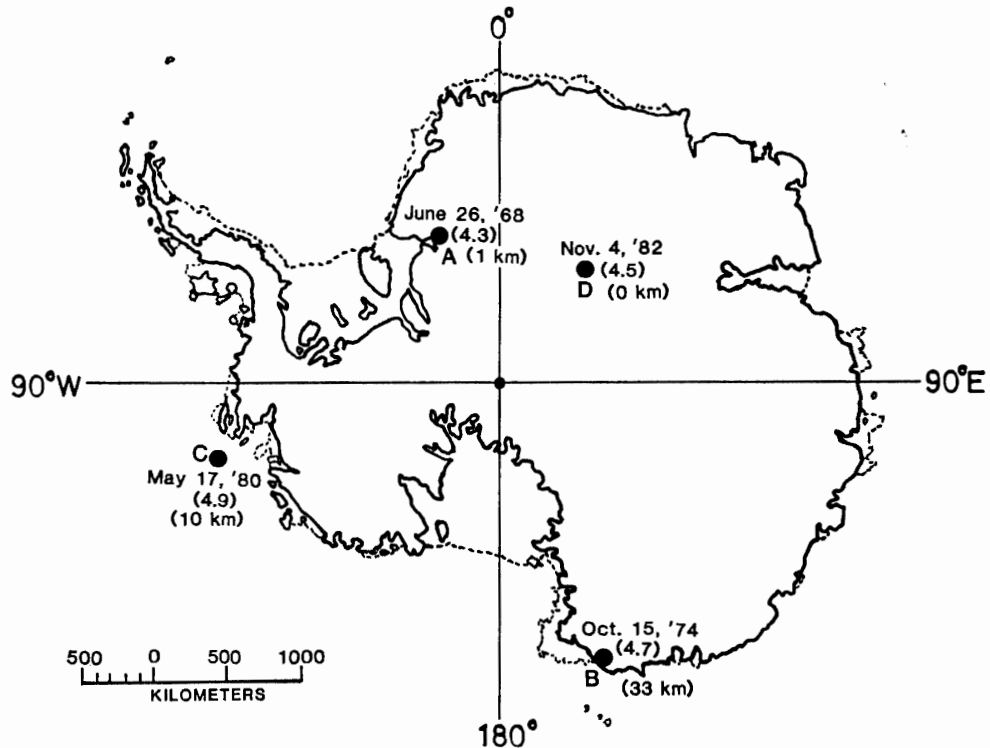


図 1 南極大陸の地震. A: 神沼・石田 (1971), B: OKAL (1981), C: ISC (1980), D: ADAMS *et al.* (1985). ( ) 内はマグニチュードと震源の深さ

Fig. 1. Earthquake locations with magnitude and depth in the Antarctic continent. A: KAMINUMA and ISHIDA (1971a), B: OKAL (1981), C: ISC (1980) and D: ADAMS *et al.* (1985).

も 4.9 と大きく、震源決定に用いた観測点の数は 61 点である。

1982年の D は ISC で地震記録をよく見ている ADAMS *et al.* (1985) らによって求められている。海岸から 1200 km も大陸内に入った内陸で起こっている。東南極大陸はプレカンブリア時代の盾状地で、テクトニックには非常に安定した大陸である。 Gondwana大陸を構成していたと推定される他の大陸の盾状地でも、地震活動は極めて低い。南極大陸の内陸域、しかも盾状地で地震が起こったという貴重な記録である。この震源地付近の氷床の厚さは 3000 m に達する。震源の深さ 0 km は、この地震が氷震の可能性を示している。しかし、この 0 km は震源計算上の仮定であって、観測された反射波の到達時刻を考慮すると、震源の深さは 17 km で自然地震と推定される。

A の震源の深さは海面下 1 km で、氷床下の基盤内で起こった地震と考えられると報告されている。また、B の深さ 33 km は震源計算上の仮定された値であるが、浅い地震であることは間違いない。この二つの地震については、大きな氷震ではないかという可能性が完全には否定できないが、前述した理由と震源付近の氷床が 1000 m よりも薄いことを考慮して、自然地震と判断してほぼ間違いないと考えている。

1987年に入り南極科学委員会 (SCAR) の固体地球物理作業委員会 (Solid Earth Geophysics Working Group: SEG/WG) のメンバーへの、ISC の R. ADAMS からの報告によると、1986年9月17日、07時15分02.0秒に南極点付近でマグニチュード3.0の地震が起こったとのことで、各国の地震記象の詳しい読み取りを求められた。南極点基地の3成分の記録から震源は  $88.5^{\circ}\text{S}$ ,  $45^{\circ}\text{W}$  と推定している。

この地震は昭和基地では記録されていない。マグニチュードが小さなうえ、2000 km 以上も離れているので、記録されなかったのであろう。同じ理由で、他の基地でもほとんど観測されていないと推定される。図1でも分かるように、これまで南極点付近に地震は起こっていない。南極点基地での地震波形では、P波、S波が明瞭に記録されているようなので、テクトニックな自然地震と考えて間違いはないと思うが、氷震の可能性が皆無ではない。

### 3. 昭和基地付近の地震

南極の地震観測点で困ることは、自然地震と氷震をいかに判別するかである。遠方で起こった大きな地震（少なくともマグニチュードが5以上）はともかく、近地地震はほとんど微小地震であり、氷震との区別が難しい。それでもスコット基地やウィルクス基地で、1点3成分の地震観測結果から自然地震の発生を報告している (HATHERTON, 1961; BROWNE-COOPER *et al.*, 1967)。

昭和基地付近の地震と氷震については、筆者の一人の一連の報告・研究がある (神沼, 1971; KAMINUMA and ISHIDA, 1971a, b; KAMINUMA and TAKAHASHI, 1975; KAMINUMA, 1976; 神沼・羽田, 1979; KAMINUMA, 1982)。1973年頃には P-S time が3-4秒程度の微小地震が年数回発生したが、その後は、昭和基地の地震記象を見るかぎりでは、記録されていない。1973, 1974年は昭和基地の東オングル島内で定常の地震観測に加え、一辺約1 kmの3点の観測を実施している。同じような観測は1976, 1979年にも実施しているが、この時には、3点観測網でも微小地震は記録されていない。このように地震が起こっていないこともあり、最近では昭和基地の地震活動の報告はない。

他の地域でも、スコット基地とバンダ基地の観測から決定した震源分布 (ADAMS, 1969) の報告や地震活動 (EVISON, 1967) の報告などがある。しかし、1970年代以後、この種の報告は火山地域を除いては、見当たらない。局地的な地震活動を調べるには、現在の南極の地震観測網では不十分である。

### 4. 昭和基地での地震テレメータ

昭和基地付近の基盤岩は後期原生代のもので、人工地震で得られている地表付近のP波速度は  $6 \text{ km/s}$  である (IKAMI *et al.*, 1984)。このような典型的な盾状地における地震波の伝播特性、特に散乱減衰などの研究、周辺地域で発生しているテクトニックな地震の観測を主

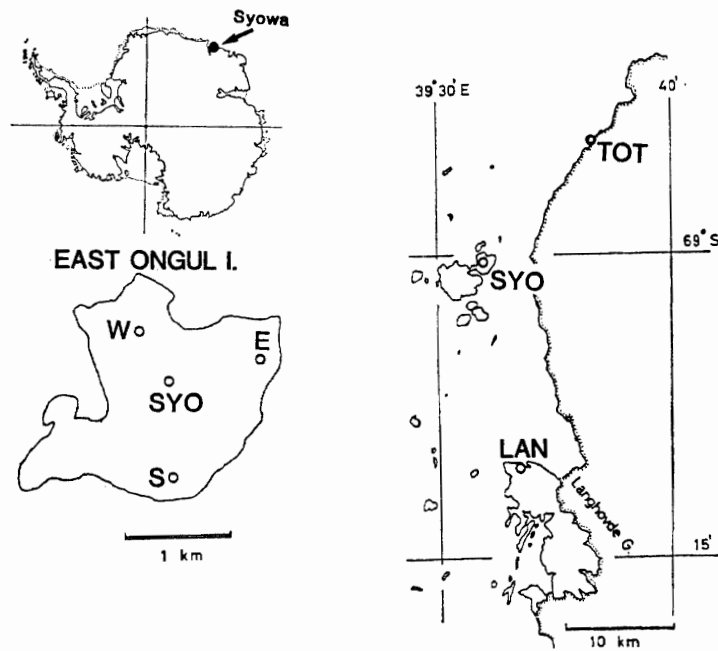


図 2 昭和基地のテレメータ観測点 (TOT: とっつき岬, LAN: ラングホブデ)  
 Fig. 2. Location of the tripartite seismic array linked to Syowa Station by radio-telemetry.

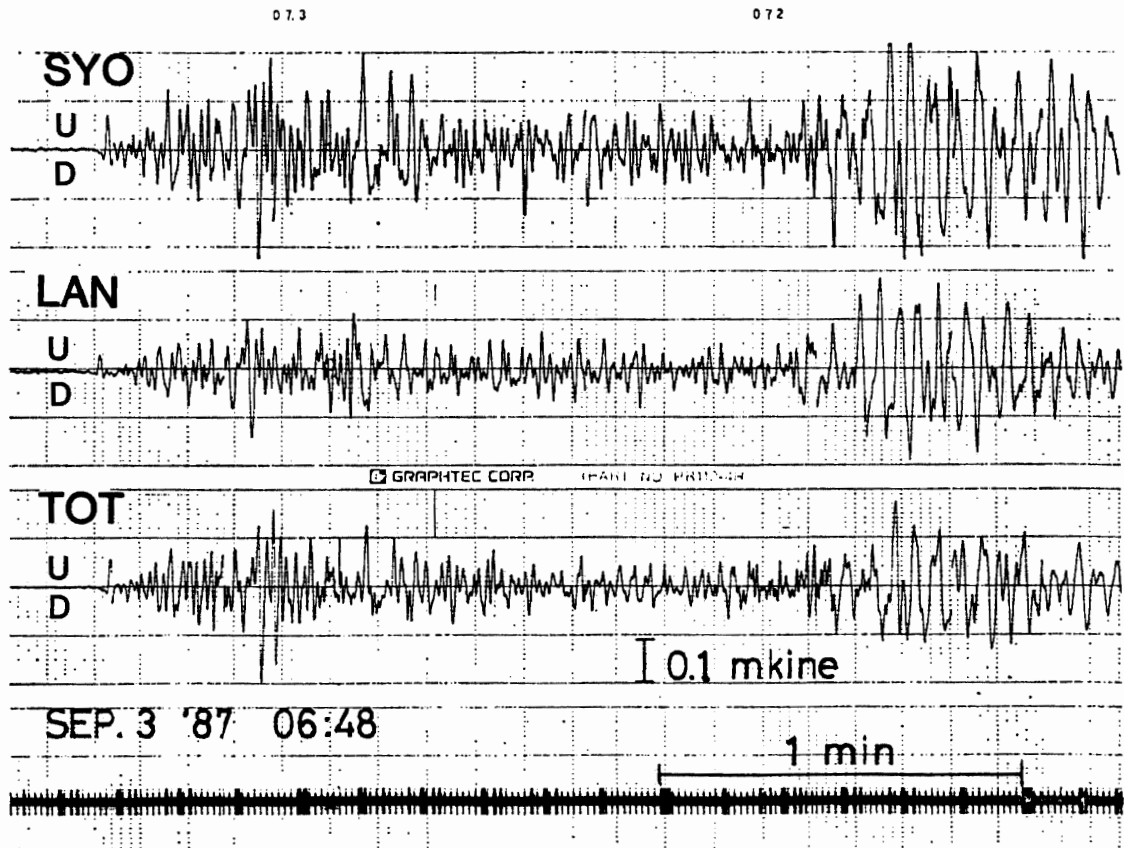


図 3 三点のテレメータ観測点で記録した地震記象  
 Fig. 3. Seismograms of teleseisms recorded at the three stations of the tripartite seismic array.

な目的とした地震観測を、著者の一人が越冬するのを機会に昭和基地で開始した。

観測点は図2に示したように、昭和基地の地震計室 (SYO), とっつき岬 (TOT), ラングホブデ (LAN) の3点である。底辺の長さ 30 km, 他の2辺が 15, 20 km の二等辺三角形に近い変形の三角形である。三角形の形はよくないが, これは無線テレメータを実施する上で見通しがきくことが必要であり, 与えられた条件下では最良の形で, 基地周辺の地形からの制約である。この大きな tripartite array に加え, 東オングル島内に図2左に示した小さな tripartite array も計画されている。

大 tripartite array の観測網は 1987年2月下旬に SYO点, 5月27日に TOT点, 7月29日に LAN点の観測を開始した。各観測点には3成分速度型地震計 (固有周期1秒) を設置し, PCM テレメータで送信してイベント・トリガー方式でアナログ磁気記録を得ている。総合感度は 1-30 Hz で  $4 \text{ V/m}\cdot\text{cm/s}$ , ダイナミックレンジは 60 db である。送信機の電源は太陽電池システムを利用するほか, バッテリーも併用している。

3点で観測した遠地地震の記象例を図3に示した。3点とも上下動成分で, 記象を見れば分かるように, 正常に動作していることが確認される。地震は1987年9月3日, 06時48分の発震時である。

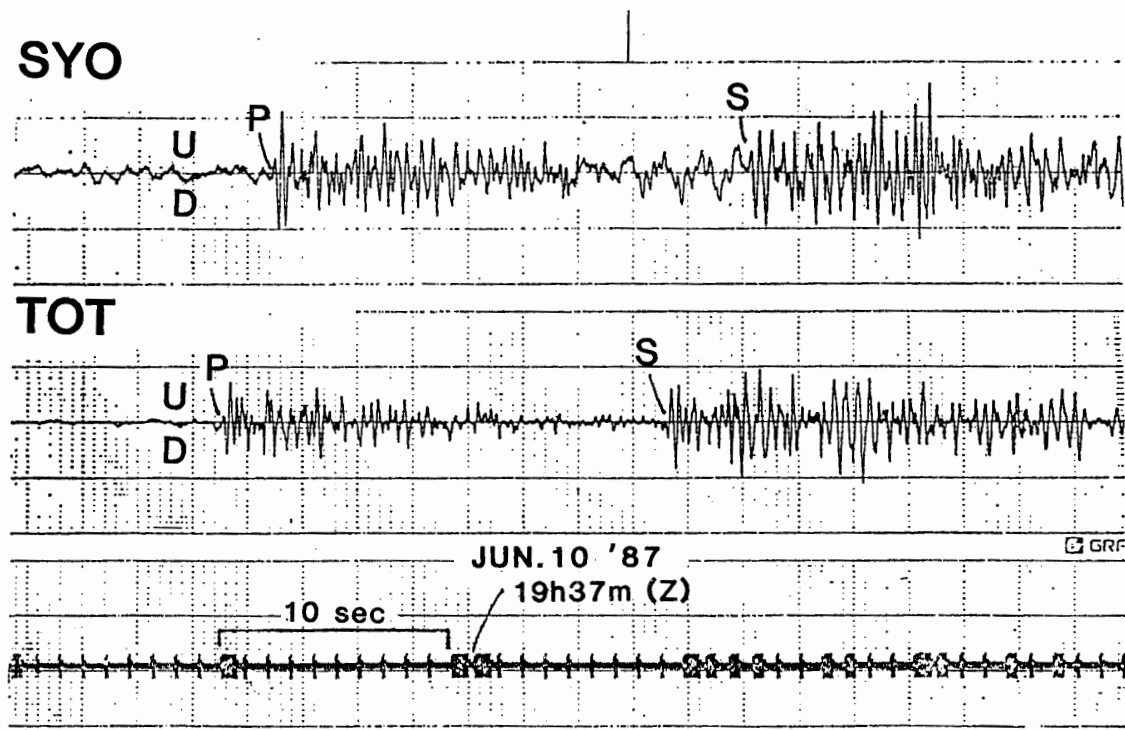


図4 昭和基地 (SYO) ととっつき岬 (TOT) で観測した近地地震 (昭和基地北東方向約 160 km に起こったと推定されている)

Fig. 4. Seismograms of the local earthquake located at 160 km northeast of Syowa Station.

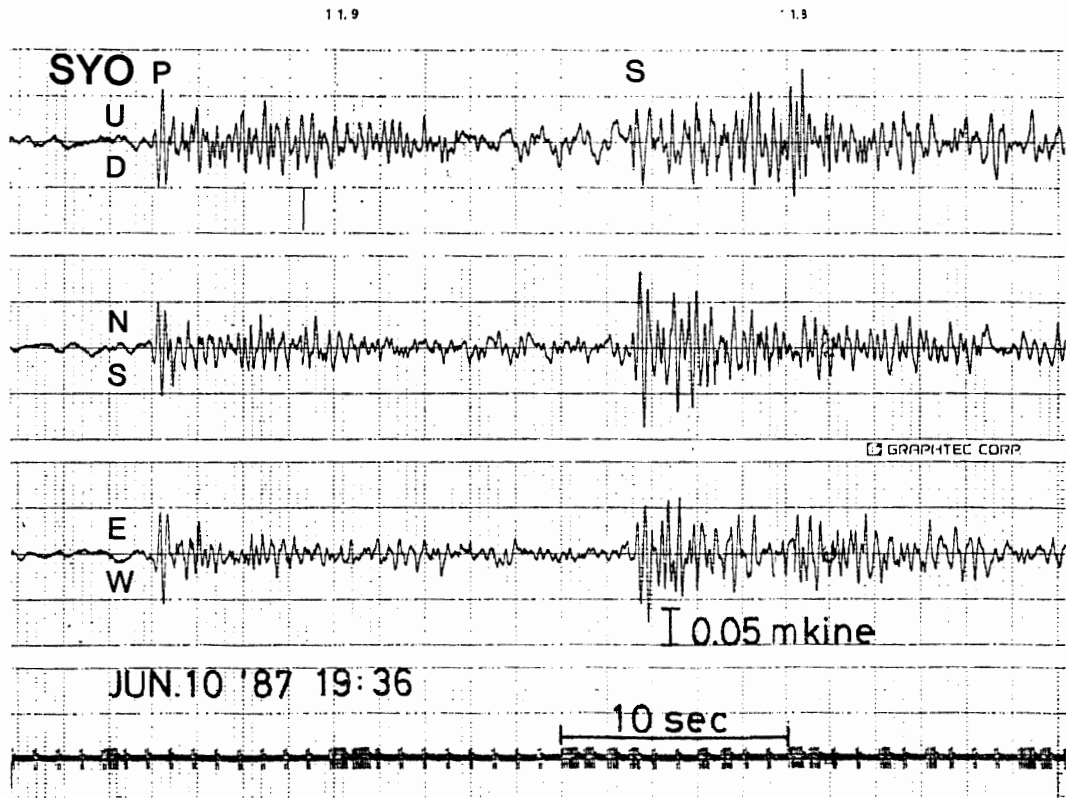


図5 近地地震の昭和基地 (SYO) での3成分記録

Fig. 5. Three component seismograms of the local earthquake recorded at Syowa Station.

LAN点観測開始前の6月10日19時35分頃、図4に示した近地地震が観測された。同じ地震のSYO点の3成分の記象を図5に示した。両図から分かるように、2つの観測点でP波、S波とも明瞭に記録されている。2点間でP波の着震時の差が2.2秒、P-S timeの差が1.5秒であることから、 $V_P/V_S=1.68$ となり通常の上部地殻の値となる。TOT点の初動が2.2秒ほど早いことから、この波の到来方向は昭和基地からみて北東方向である。図5に示したSYOの3成分初動方向もU, S, Wで水平2成分の初動の大きさも、この波が北東方向から到来したことを示している。P-S=20秒であるから、震源域は昭和基地の北東160kmの大陸沿岸地域と推定される。

昭和基地の東北東約300kmにあるソ連のマラジョージナヤ基地からエンダービーランドにかけてのレイナー岩体は、昭和基地付近のリュツォ・ホルム岩体とは異なる変成作用を受けている(広井・白石, 1986)。その境界は明らかではないが、恐らく境界付近には断層も存在するであろう。地震の発生場所はこの付近またはその沿海と想定される。そのような地域で、このようなテクトニックな地震が発生したことは大変興味深い。なおこの地震のマグニチュードは2.5-3程度と見積もっているが、詳しくは今後検討していく。

2月から6月までの間に、同じような地震が10個記録されている。P-S≒19-21秒で、前述の地震とはほぼ同じであり、たがいの波形も似ている。

## 5. あとがき

昭和基地で1987年2月より始めた地震のテレメータ観測で、これまで報告されていなかったP-S≒20秒の地震が記録されたので、その概要とその学問的背景とをまとめて述べた。ここで報告した地震は、地質構造との関連から考えても大変興味深く、広い視野にわたる研究の必要性を感じる。

現在昭和基地で始められているテレメータによる地震観測では、tripartite arrayの形が必ずしも震源決定に適しているとはいえないが、地質構造と地震活動の関係の解明には十分に役立つ記録が得られている。ここで報告したP-S≒20秒の地震群が、昭和基地の定常観測の記象に見いだされなかったのは、多分1点だけの観測だったからと思われる。しかし一方では、このような地震の発生パターンが間欠的な可能性も否定できない。

少なくとも数年間、この観測を続けることにより、昭和基地付近の地震活動についての知見は飛躍的に増大するであろう。

このテレメータ観測の開始にあたっては、国立極地研究所の地学部門、管理部、事業部の多大の御支援を得た。京都大学理学部の伊藤潔氏には原稿を読んでいただき貴重な御指摘を頂いた。原稿の整理、昭和基地との連絡を担当したのは周藤由美子さんである。併記し、厚く御礼申し上げます。

## References

- ADAMS, R. D. (1969): Small earthquakes in Victoria Land, Antarctica. *Nature*, **224**, 255-256.
- ADAMS R. D., HUGHES, A. A. and ZHANG, B. M. (1985): A confirmed earthquake in continental Antarctica. *Geophys. J. R. Astron. Soc.*, **81**, 489-492.
- BROWNE-COOPER, P. J., SMALL, G. R. and WHITWORTH, R. (1967): Probable local seismicity at Wilkes, Antarctica. *N.Z. J. Geol. Geophys.*, **10**, 443-445.
- EVISON, F. F. (1967): Note on the seismicity of Antarctica. *N.Z. J. Geol. Geophys.*, **10**, 479-483.
- GUTENBERG, B. and RICHTER, C. F. (1954): *Seismicity of the Earth*, 2nd ed. Princeton, Princeton Univ. Press, 273 p.
- HATHERTON, T. (1961): A note on the seismicity of the Ross Sea region. *Geophys. J. R. Astron. Soc.*, **5**, 252-253.
- HATHERTON, T. and EVISON, F. F. (1962): A special mechanism for some Antarctic earthquakes. *N.Z. J. Geol. Geophys.*, **5**, 864-873.
- 広井美邦・白石和行 (1986): 昭和基地周辺の地質と岩石. 南極の科学, **5**. 地学, 国立極地研究所編. 東京, 古今書院, 45-84.
- IKAMI, A., ITO, K., SHIBUYA, K. and KAMINUMA, K. (1984): Deep crustal structure along the profile between Syowa and Mizuho Stations, East Antarctica. *Mem. Natl Inst. Polar Res. Ser. C*, **15**, 19-28.
- ISC (1980): *Bulletin of International Seismological Center*, **17**(5), 71.
- 神沼克伊 (1971): 昭和基地で観測した微小地震. 南極資料, **40**, 65-73.
- KAMINUMA, K. (1976): Seismicity in Antarctica. *J. Phys. Earth*, **24**, 381-395.



- KAMINUMA, K. (1982): Seismicity in Antarctica. *Antarctic Geoscience*, ed. by C. CRADDOCK. Madison, The Univ. Wisconsin Press, 919-923.
- 神沼克伊・羽田敏夫 (1979): 南極・昭和基地で観測された氷震. *南極資料*, **65**, 135-148.
- KAMINUMA, K. and ISHIDA, M. (1971a): Earthquake activity in Antarctica. *Nankyoku Shiryô (Antarct. Rec.)*, **42**, 53-60.
- KAMINUMA, K. and ISHIDA, M. (1971b): Earthquake interpretations at Syowa Station, Antarctica. *JARE Data Rep.*, **12**, (Seismol.), 76 p.
- KAMINUMA, K. and TAKAHASHI, M. (1975): Iceshock swarms observed at Mizuho Camp, Antarctica. *Nankyoku Shiryô (Antarct. Rec.)*, **54**, 75-83.
- OKAL, E. A. (1981): Intraplate seismicity of Antarctica and tectonic implications. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **52**, 397-409.

(1987年9月14日受理; 1987年10月20日改訂稿受理)