

南極・昭和基地付近の局地地震

神沼克伊¹・金尾政紀¹

Local Earthquakes Recorded at Syowa Station, Antarctica

Katsutada KAMINUMA¹ and Masaki KANAOKI¹

Abstract: The Japanese Antarctic Station Syowa (69°S, 39°E) is located at the edge of the East Antarctic Shield area. Seismic observations at Syowa Station were started in 1959. Phase readings of earthquakes have published by the National Institute of Polar Research as one of the JARE Data Report once a year since 1968. Eight local earthquakes were detected empirically on short-period seismographs at Syowa Station in 1990–1996. The seismicity during that period was very low compared with that in 1987–1989 when local earthquake locations were determined by the tripartite seismic array. An intraplate earthquake occurred about 400 km north-east of Syowa Station on September 25, 1996 of magnitude 4.6. This earthquake was the biggest one and the first which locates within 500 km of Syowa Station during the last four decades.

要旨: 南極・昭和基地 (69°S, 39°E) は東南極大陸盾状地の縁に位置している。そこでの地震観測は 1959 年に始まった。地震の記録の読みとり結果は、世界の地震観測網の一点として、震源決定に利用されており、1968 年以来毎年 JARE Data Reports の一つとして、国立極地研究所から出版されている。1990–1996 年の 7 年間に、8 個の局地地震が昭和基地の短周期地震計で記録された。この地震活動度は臨時に設置した三点地震観測網により、局地地震の震源決定がなされた 1987–1989 年の 3 年間に比較して極めて低いといえる。また 1996 年 9 月 25 日、マグニチュード 4.6 のプレート内地震が、昭和基地の北東 400 km の地点で発生した。昭和基地から 500 km 以内で、このような大きな地震が起こったのは、昭和基地の開設以来 40 年間で初めてである。

1. はしがき

昭和基地 (69°S, 39°E) は 1957–58 年の国際地球観測年に備え、開設した日本の南極観測基地である。その頃の地震学の知識では、南極大陸には火山性地震は起こっているが、構造性地震は起こらないとされていた (GUTENBERG and RICHTER, 1954)。昭和基地での地震観測は 1959 年から始まったが、1967 年からは地震記象の読みとりを当時のアメリカ沿岸測地局 (USCGS) に報告し、データが地球上で起こった地震の震源決定に寄与するようになった (神沼ら, 1968; KAMINUMA, 1969, 1976)。その後、南極観測基地でのデータが蓄積されるにしたがい、地震が起きないと考えられていた南極大陸内に震源決定がなされる地震が起こり、局地的な地震の発生

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

も報告されるようになった (KAMINUMA and ISHIDA, 1971; ADAMS, 1969, 1972, 1982; ADAMS *et al.*, 1985; KAMINUMA, 1976, 1990)。しかし、南極での地震観測のほとんどは地球上の定常的な一観測点での観測であるから、局地地震の詳しい解析は行われなかった。

1987-89年、昭和基地を中心に三点の地震観測網を設け、局地地震の震源決定を行った (AKAMATSU *et al.*, 1988, 1989; KAMINUMA and AKAMATSU, 1992)。この観測により、昭和基地付近で微小地震や極微小地震が発生していることが明らかとなり、その特徴や波形がかなり分かってきた。昭和基地付近では局地地震が確かに発生していたのである。その局地地震の活動度を調べるために、地震記録を調べた。

一点観測であるから、震源決定はできないので、空間的な活動度は調べることはできないが、その時間変化を調べることはできる。三点観測の結果を中心にこれまでの局地地震波形を調べた経験をもとに、昭和基地の短周期地震計 (HES 地震計) 三成分の地震記象の上で局地地震の発生を調べた。調査期間は三点観測の終了した次の年の 1990 年から 1996 年の 7 年間である。1987-89 年は南極としては地震活動が高い期間であったが、この 7 年間は毎年の地震数が 0~2 と、活動度は低かった。

2. 局地地震の検出

昭和基地の地震計には、多くの海水の氷震をはじめ、大陸氷縁での氷床の崩壊と思われる継続時間が数十秒から数分の震動現象が記録されている。本稿では P 波、 S 波が識別でき、 $P-S$ 時間が 20 秒程度までの現象を局地地震と判定することにした。三点観測での局地地震は P 波、 S 波が明瞭で、昭和基地で定常的に続けられている HES 地震計による短周期地震記象上でも識別できた。三点観測の結果では、局地地震は昭和基地での $P-S$ 時間が 30 秒以下で、大陸沿岸から離れて起こった場合でも、大陸棚の内側に起こっている。この 3 年間の験震の経験から、筆者らは昭和基地付近で発生する局地地震の識別や氷震と自然地震の判別は、自信を持ってできるようになったと考えている。今回もその経験に基づき、局地地震を判定した。

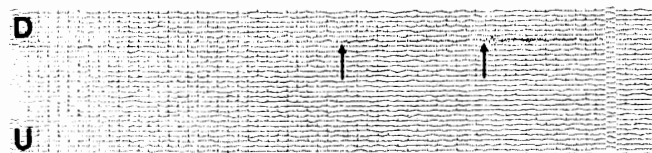
局地地震の抽出にあたっては、客観性を維持するため次のような手順で行った。1990-95 年のデータについては、昭和基地の定常観測の地震記象の読みとりに従事している人と、地震記象の読みとりの経験の無い人の 2 人に、三点観測で決定した昭和基地付近の局地地震の記象を示し、それぞれ独立に局地地震と推定される現象を選んでもらった。1 年に数個から十数個、6 年間で約 50 個の記象が選ばれた。この 50 個の地震について、著者が別々に確実に局地地震と思われる記象を選んだ。波形に対する先入観を無くすため、6 カ月間の間隔を置いて、このような作業を繰り返し、最終的に局地地震として選んだ現象は 7 個であった。

1996 年のデータについても同様に行い、第一段階の選定後、先入観にとらわれることの無いよう 3 カ月間の間をおいて、著者が最終決定をした。1996 年に起こったのは 1 個で、7 年間で 8 個の局地地震が発生していると推定した。なお先に 1990 年度は 6 個の局地地震が発生した

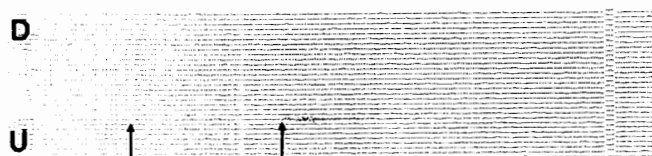
表 1 局地地震
Table 1. List of local events.

Date	Phase	Arrival time	P-S time
1990 May 29	iP	07h 36m 33.5s	14.4 s
	eS	07h 36m 47.9s	
1991 Jan. 12	iP	01h 51m 12.4s	15.2 s
	eS	01h 51m 27.6s	
1991 May 29	iP	01h 17m 30.8s	9.9 s
	iS	01h 17m 40.7s	
1992 Jan. 11	iP	12h 49m 07.1s	3.7 s
	iS	12h 49m 10.8s	
1992 Sep. 21	iP	16h 14m 51.8s	7.2 s
	iS	16h 14m 59.0s	
1993 Dec. 15	iP	04h 13m 16.5s	12.3 s
	iS	04h 13m 28.8s	
1995 Sep. 28	eP	08h 06m 04.0s	13.0 s
	eS	08h 06m 17.0s	
1996 Aug. 03	iP	14h 32m 24.2s	13.2 s
	iS	14h 32m 37.4s	

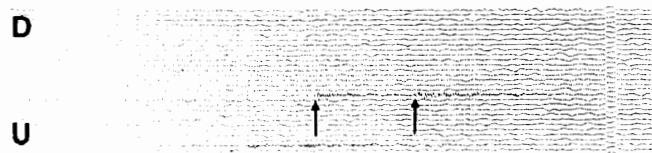
Syowa Station May 29, 1990



Syowa Station Jan. 12, 1991



Syowa Station May 29, 1991



Syowa Station Jan. 11, 1992



☒ 1a

← 10S →

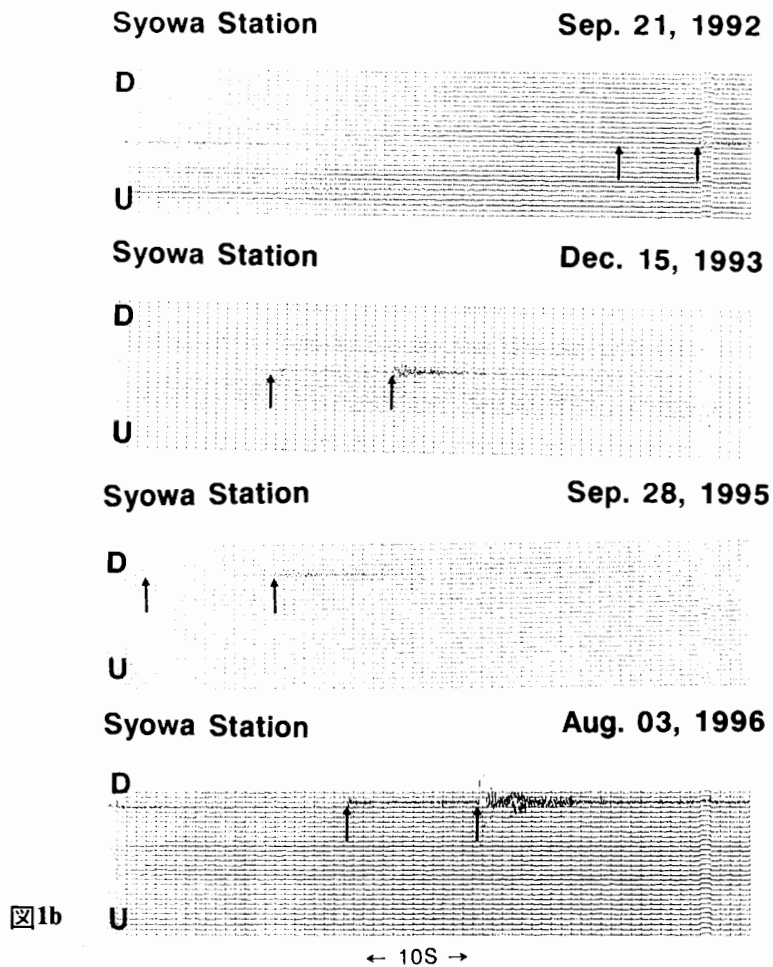


図 1a, b 昭和基地の短周期地震計で観測された局地地震の上下動成分。矢印は P 波, S 波の到達を示す。

Fig. 1a, b. Vertical components of short period seismograms of local earthquakes recorded at Syowa Station. The first and the second arrows show P and S phases, respectively.

と報告したが (KAMINUMA and AKAMATSU, 1992), 詳細にみると確実に局地地震と断定できる現象は 1 個だけであったので, ここに修正する。局地地震と断定した地震の P 波, S 波の到達時刻の読みとりを表 1 にまとめた。またそれぞれの地震記象の上下動成分のみを図 1a, b に示した。 P - S 時間の最小は 3.7 s, 最大は 15.2 s で三点観測の結果から類推すると, いずれもリュツォ・ホルム湾の沿岸から湾内に震源を有すると推定される。これらの地震のマグニチュードは未決定であるが, 三点観測の地震記象との振幅の比較から, 表 1 に示した地震のマグニチュードは $M_b=2$ 前後と推定している。

3. 局地地震数の時間変化

昭和基地で記録された毎年の局地地震数の変化は KAMINUMA and AKAMATSU (1992) によって報告されている。年により地震計の倍率が最大 20% 程度異なるので, 必ずしも全期間を通し

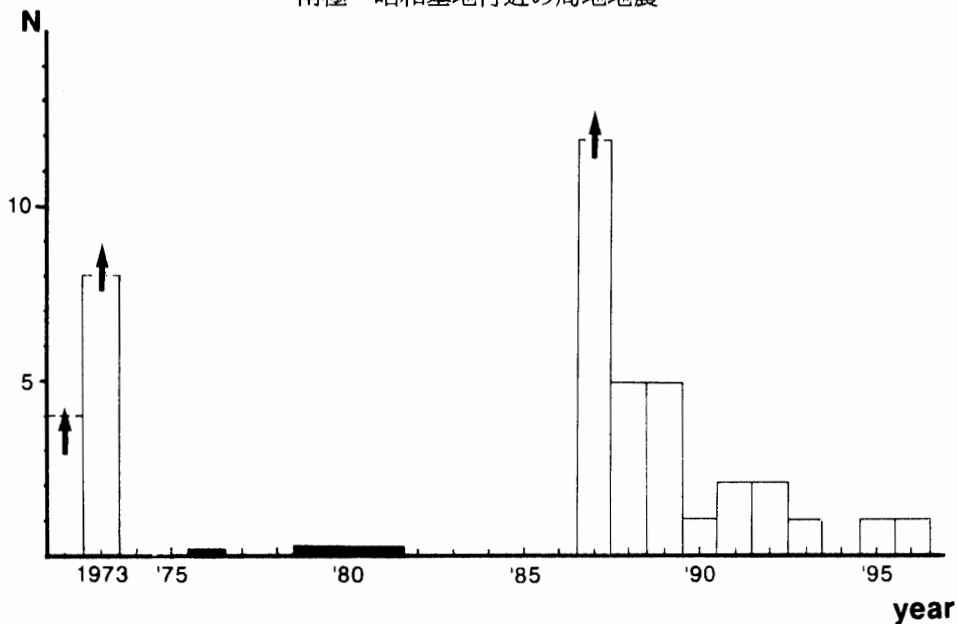


図2 昭和基地の短周期地震記象上で数えた毎年の局地地震の数。矢印の年は欠測期間があり、実際数は図より多い可能性のあることを示している。横軸の太線は地震の専門家が越冬した年である。1987年以後は地震の専門家は毎年越冬している。

Fig. 2. Annual numbers of local earthquakes observed at Syowa Station. Arrows show the possibility that the exact number is larger than that shown. Solid lines show when seismologists wintered at Syowa Station. Seismologists always have wintered since 1987.

て同じ基準ではないが、相対的に地震活動の推移を示していると考えている。KAMINUMA and AKAMATSU (1992) が報告している地震数の年変化の図に 1990-96 年のデータを加えたのが図 2 である。ただし、1990 年の地震数は 6 個から 1 個に修正した。

コラムの上の矢印は、この年に欠測期間があり、実際の地震数は図の値より大きくなる可能性のあることを示している。また 1976-1981 年にある太線の期間は、地震の専門家が昭和基地で越冬し、注意深く観震したが局地地震は見いだせなかったことを示している。1987 年からは毎年地震の専門家が越冬するようになった。図 2 から明らかなように、1987-89 年の 3 年間に比較して、1990 年以降は昭和基地付近の局地地震活動度は低い期間であったことが示されている。

4. プレート内地震

1996 年 9 月下旬、昭和基地で越冬していた第 37 次日本南極地域観測隊の根岸弘明、野木義史両越冬隊員から、昭和基地付近で一つの地震が発生したことを報告してきた。その概略はただちに、日本地震学会ニュースレターで紹介した (神沼, 1996)。

アメリカ・地質調査所 (USGS) で決定した震源から、地震は昭和基地の北東約 400 km の海底で起こった $M_b=4.6$ の地震であることが分かった。これまで昭和基地で観測した地震の中で大きな地震は北方のプレート境界で起きる地震で、その震央距離は 1500 km はある。この地

Hypocenter (QED)
 Origin time : 1996/09/25
 14h59m50.30s
 Location : 65.678°S
 44.461°E
 depth : 10km
 magnitude : mb=4.6
 distance from SYO : $\Delta = 3.8^\circ$

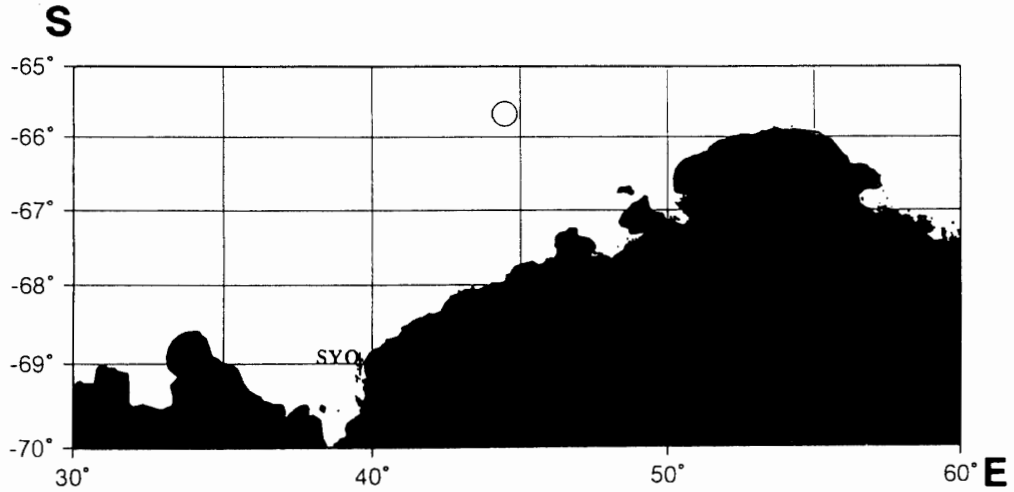
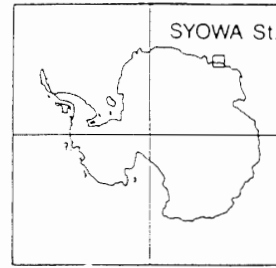


図3 1996年9月25日に起こったプレート内地震の震源要素と震央
 Fig. 3. Location of an intraplate earthquake which occurred on September 25, 1996.

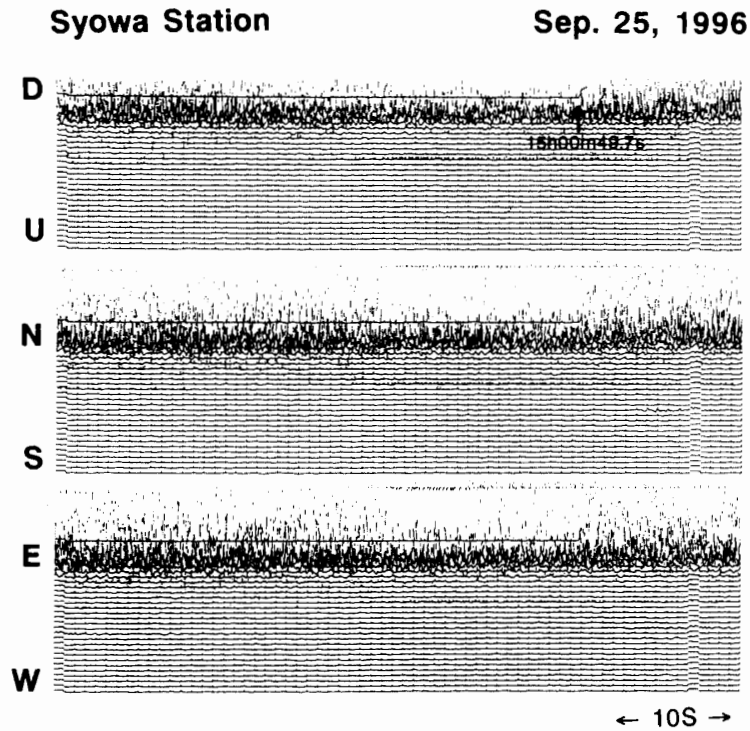


図4 図3に示した地震の昭和基地の短周期地震計3成分の地震記象
 Fig. 4. Three components of short period seismograms recorded at Syowa Station. The details of the events are given in Fig. 3.

震のように、震央距離が 400 km (P - S 時間約 40 秒) でマグニチュードが 4 以上の地震が発生し、その震源要素が国際地震観測網によって決定されたのは、昭和基地の地震観測史上初めてである。その震源情報と HES 地震計 3 成分のモニター記象とを図 3 と図 4 に示した。図 3 から明らかなように、この地震は南極大陸沿岸から 200 km も離れた大陸棚外側の水深 2000 m の海洋底で起こったプレート内地震である。図 4 の地震波形と図 1a, b の地震を比較すれば、この $M_b=4.6$ という地震に比し、局地地震がいかに小さいか理解されるだろう。

5. 討論と結論

局地地震と断定した 8 個の地震以外にも、表 2 に示した 4 個の自然地震が昭和基地の短周期地震計に記録されている。その上下動成分の地震記象を図 5 にまとめて示した。図 5 から分かるように 1997/5/03 の記象は局地地震の一つかもしれない。 P - S 時間は 16.2 s である。ただ、 P - S 時間とその振幅に比して、継続時間が 3 分に近く、全体には数ヘルツという周波数で、地震としては短周期の波が卓越していることから、氷床縁での氷の崩壊ではないかと推定した。1994/5/26 の現象は、国際的な地震観測網では震源決定が成されていない。しかし、継続時間が 2 分程度で初動部分の周期が 0.5-0.7 s と長いので、遠震と推定した。このような理由から、

表 2 局地地震に似た地震
Table 2. List of events.

Date	First phase	Arrival time	Duration time
1994 May 03	iP	10 h 10m 13.3s	1m 40s
1994 May 26	iP	00 h 25m 33.0s	1m 50s
1995 Oct. 22	iP	16 h 23m 21.1s	1m 02s
1996 Sep. 30	iP	04 h 16m 04.5s	58s

この二つの地震は局地地震から除外した。

1995/10/22 の現象は、二つの現象が重なっている可能性がある。その場合、はじめの現象は P - S 時間 12.6 s の局地地震、後の現象はその周波数と波形から氷震であると推定される。はっきり断定できないので、局地地震とはしなかった。

1996/9/30 の記象も、一つの地震とみれば、 P - S 時間 15-16 s の局地地震とも考えられるが、初動部分に対し、 S 波に相当する領域の周波数が高いことから、この部分は氷震であろうと推定した。

このように 1990-96 年の 7 年間に表 1 に示した 8 個の局地地震が昭和基地の短周期地震計のモニター上に記録された。本節で議論したように、さらに数個の局地地震が発生している可能性はあるが、一点だけの記録でははっきりとは断定できない。いずれにしてもこの 7 年間の昭和基地付近の局地地震活動は、その前 3 年間 (1987-89 年) に比して明らかに低かったといえる。

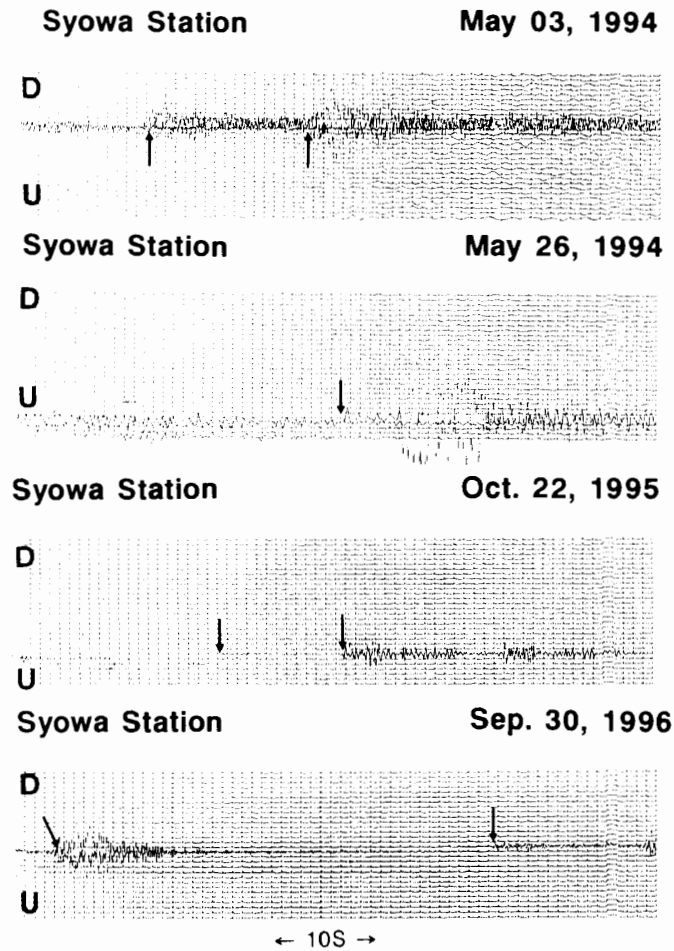


図5 昭和基地で観測した局地地震に似た地震波形の上下動成分

Fig. 5. Vertical components of seismograms resembled to local events. The first arrow shows the initial phase of each event, and the second phase seems to be the S phase.

なお、1987-93年の昭和基地で観測した遠地地震の検知率は KANAOKI and KAMINUMA (1995) によってまとめられている。検知率は年によって多少の差があるが、1987-89年が特に良いという結果にはならず、検知率の良し悪しは局地地震の数の変動とは無関係である。このような事実から考えても、昭和基地付近の局地地震が1987-89年には多く、その後は少なくなっているのは確かだと考える。

謝 辞

局地地震の第一段階の選定という地味な仕事を長期間して頂いた茨木亜裕子さん、峯岸素子さんに感謝する。峯岸素子さんには本稿の作成すべてに協力して頂きお礼申し上げます。

文 献

ADAMS, R.D. (1969): Small earthquakes in Victoria Land, Antarctica. *Nature*, **224**, 255-256.

- ADAMS, R.D. (1972): Local earthquakes in Victoria Land. *Antarctic Geology and Geophysics*, ed. by R.J. ADIE. Oslo, Universitetsforlaget, 495-499.
- ADAMS, R.D. (1982): Source properties of the Oates Land Earthquake. *Antarctic Geoscience*, ed. by C. CRADDOCK. Madison, Univ. Wisconsin Press, 955-958.
- 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.
- AKAMATSU, J., YOSHIKAWA, S. and KAMINUMA, K. (1988): Preliminary report of local seismic activity around Syowa Station, East Antarctica. *Proc. NIPR Symp. Antarct. Geosci.*, **2**, 1-6.
- AKAMATSU, J., ICHIKAWA, N. and KAMINUMA, K. (1989): Seismic observation with local telemetry network around Syowa Station, East Antarctica. *Proc. NIPR Symp. Antarct. Geosci.*, **3**, 1-12.
- GUTENBERG, B. and RICHTER, C.F. (1954): *Seismicity of the Earth and Associated Phenomena*. Princeton, Princeton Univ. Press, 93.
- KAMINUMA, K. (1969): The seismological observation and the earthquake detection capability of Syowa Station, Antarctica. *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **47**, 453-466.
- KAMINUMA, K. (1976): Seismicity in Antarctica. *J. Phys. Earth.*, **24**, 381-395.
- KAMINUMA, K. (1990): Local earthquake activities around Syowa Station, East Antarctica. *Tohoku Geophys. J.*, **35**, 127-136.
- 神沼克伊 (1996): 昭和基地付近で起こった地震. *日本地震学会ニュースレター*, **8**(4), 23-24.
- KAMINUMA, K. and AKAMATSU, J. (1992): Intermittent micro-seismic activity in the vicinity of Syowa Station, East Antarctica. *Recent Progress in Antarctic Earth Science*, ed. by Y. YOSHIDA *et al.* Tokyo, Terra Sci. Publ., 493-497.
- KAMINUMA, K. and ISHIDA, M. (1971): Earthquake activity in Antarctica. *Nankyoku Shiryô (Antarct. Rec.)*, **42**, 53-60.
- 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.
- KANAO, M. and KAMINUMA, K. (1995): Detection capability of earthquakes recorded at Syowa Station, Antarctica, from 1987 to 1993. *Nankyoku Shiryô (Antarct. Rec.)*, **39**, 156-169.

(1997年8月28日受付; 1997年9月16日改訂稿受理)