

第9次南極地域観測越冬隊宇宙線部門報告

—宇宙線中性子連続観測—

須田友重*・小玉正弘**

Report of Cosmic-Ray Neutron Observation in the
9th Japanese Antarctic Research
Expedition 1968-1969

Tomoshige SUDA* and Masahiro KODAMA**

Abstract: From February 1968 to January 1969, cosmic ray nucleonic component was observed at Syowa Station, Antarctica ($69^{\circ}00'S$, $39^{\circ}35'E$), using a duplicate set of 5-NM-64 super neutron monitor with a multiplicity meter. Almost complete observations were achieved except the lack of 4 consecutive days for one monitor.

The mean multiplicity of the monitor is 1.42 ± 0.03 and is in agreement with the value of the standard 6-NM-64 monitor obtained by HATTON, *et al.* The mean life time of neutrons in the pile is found to be $547 \pm \frac{123}{85} \mu s$ which is a little longer than that in the 6-NM-64 monitor. These results come from the pile which was constructed as a single pile consisting of 10-NM-64 neutron counters.

The annual change of neutron intensity covers 9.0% in range, showing the maximum in April and the minimum in November, with larger disturbance in the later half year than in the former half.

The multiplicity dependence of the barometric pressure effect and Forbush decreases are surveyed briefly. Using the data from three large Forbush decreases, the relation between the multiplicity events and their corresponding primary rigidities is discussed by comparing the latitude dependence of the amount of decrease.

Descriptions and data of the solar cosmic ray event of November 18, 1968 are also given.

1. はじめに

1957年3月に、ネヤー型電離箱で始まった南極昭和基地 ($69^{\circ}00'S$, $39^{\circ}35'E$) の宇宙線観測 (北村等, 1959) は, 1967年2月に3本のNM-64中性子計数管からなるIQSY型宇宙線計

* 気象研究所. Meteorological Research Institute, Koenji-kita, Suginami, Tokyo.

** 理化学研究所. The Institute of Physical and Chemical Research, Kaga 1-7-13, Itabashi-ku, Tokyo.

をおき新しい観測の時代に入った(石田等, 1969). 1968年1月には, 基地再開時の計画に基づき, 更に7本の NM-64 計数管を加え, 精度の向上を計った. 観測方法は, 前年度と同様, 多重度毎の中性子強度を記録した. 但し, 10本の計数管を5本ずつの組に分け, それぞれ独立な2台の記録装置で観測し, 装置の故障による欠測を少なくするように考慮した. 計数管をならべたパイル(pile)は, NM-64型 (CARMICHAEL, 1964) と若干異なるので, パイルの特性につき, 平均多重度, パイル中の中性子の平均寿命等を調べた.

観測結果の整理はまだ本格的に進んでいないが, 気圧効果, 宇宙線嵐の多重度による効果, 太陽爆発に伴う異常増加等につき, 中間報告を行なう.

2. 観測装置の概要及び観測経過

観測装置の詳細は, 8次隊の報告(石田・小玉, 1969)にあるので省略する. 変わった点は, NM-64中性子計数管を3本から10本に増した事と, 10次隊以後に予定している中間子計増設のために, パイル全体を鉄の架台にのせた事である. 図1に, 全体の約半分の正面図を示してある. 架台は, 縦5.9m, 横2.2m, 高さ62cmの大きさで, 厚さ6mmの鉄チャンネルで作られており, 全重量約1.5トンである. この上に, 16.2トンの鉛, 3トンのポリエチレン, 10本の計数管からなる約20トンのパイルがのせてある. 中間子計用のシンチレータを架台の下へそう入する時のために, 架台中間部の支柱はジャッキを用い, 取りはずせるようになっている.

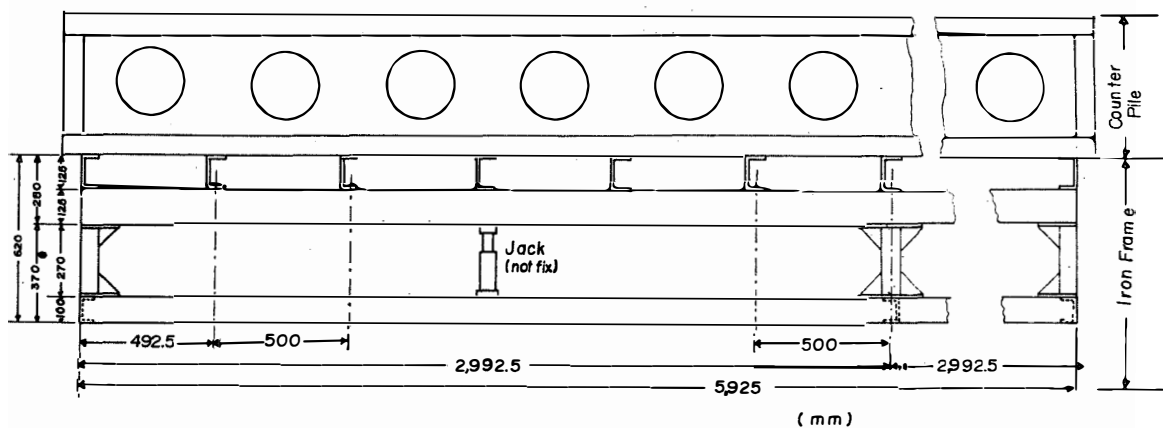


図1 宇宙線中性子計の前面図

Fig. 1. The front view of the neutron monitor pile.

モニターの有効面積は, $5\text{m} \times 2.2\text{m} = 11.5\text{m}^2$ となり, 図2に示すように, 8次隊に比べ, 全計数率では, 約3.3倍, 統計精度では1.8倍になった. 観測は, 前年と同様, 多重度毎に1, 2, 3, 4, 5と6以上の6つの段階に分け, それぞれ M1, M2, M3, M4, M5, M6 とし

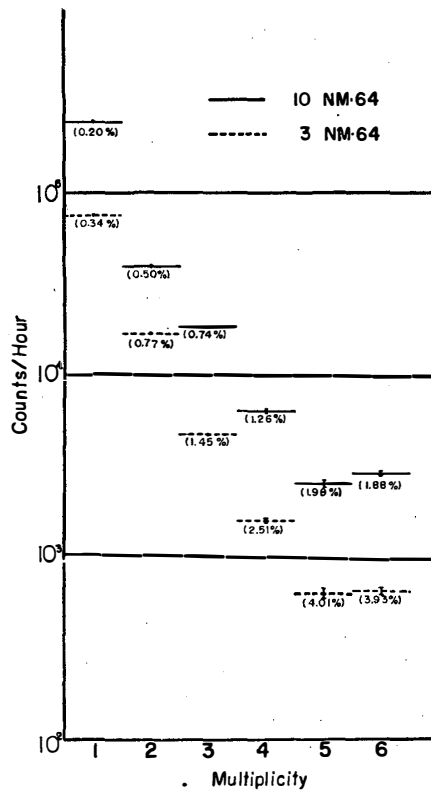


図2 3-NM-64 と 10-NM-64の各multiplicity毎の計数率，パーセントの数字は \sqrt{N} 誤差を示す。
 Fig. 2. The counting rates of 3-NM-64 and 10-NM-64 neutron monitors as a function of multiplicity.

各現象毎に10分毎の計数を記録した。10本の計数管は1つのバイルに入っているが、これを5本ずつの組に分け、それぞれに多重度計をつけて、独立な2台の宇宙線計1号機、2号機とした。

1号機は、1968年1月25日から観測を始めた。2号機は、2月4日に組立てを終わり、2月10日の越冬成立時より観測に入った。1969年1月までの1年間を通じ、1号機に4日間の連続した欠測を生じた他は、こまかい故障を除き、安定した観測が出来た。

3. 観測結果

1号機、2号機は設計上全く同じものであるが、実測にあらわれる差を示すために、表1にそれぞれの多重度毎の計数率を示した。図3に、1968年2月から1969年1月までの、気圧補正済み月平均強度を示した。ただし昭和基地については、1号機のM1の値であり、Mawson (67°36'S, 62°53'E)の値は、IGY型の宇宙線計で、多重度に分けてない全計数である。Kiel(54°20'N, 10°08'E)は、昭和基地と同様 IQSY型の宇宙線計を用いた測定で、同じく全計数の資料である。年変化として、いずれの地点でも4月に最大、11月に最小を記録して

表 1 1号機, 2号機の計数値 (1000mb換算の1時間値)

Table 1. Comparison of the counting rate observed with No. 1 and No. 2 neutron monitor, normalized to 1000mb.

	M 1	M 2	M 3	M 4	M 5	M 6	Total event	Total counts	
No. 1	Counts/h	105,696	24,460	7,341	2,519	1,060	1,149	142,225	200,047
	%	74.32	17.20	5.16	1.77	0.75	0.81	100.00	
No. 2	Counts/h	104,958	24,893	7,600	2,752	1,119	1,144	142,466	202,199
	%	73.67	17.47	5.33	1.93	0.79	0.80	100.00	

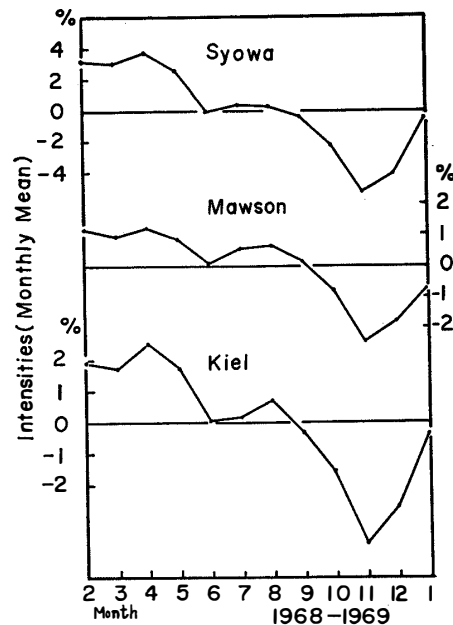


図 3 月平均強度の年変化

Fig. 3. Annual variation of monthly mean values of neutron intensity.

いる。中性子計の大気気温による変化は、高緯度でも1%以下 (BERCOVITCH *et al.*, 1965) と考えてよく、また図3にみるように南北両半球の地点で同様な傾向がみられることから、この変化は大部分、地球外での1次宇宙線の変動を反映するものとみてよい。宇宙線強度の極小が6月と11月に見られるが、これは、太陽の黒点相対数の極大が、5月と9月に現われていることに対応しているかもしれない。宇宙線は、太陽活動による惑星間空間の乱れを反映するものであり、太陽活動との時間のおくれが考えられるからである (KANE *et al.*, 1969)。

図4に、やはり1号機のM1についての日平均値を太陽自転周期毎に示した。1968年は、IGY (1957~1958) から11年目に当り、太陽活動が極大になる年と考えられた。宇宙線から

Rotation No.
(1st day, 1968-
1969)

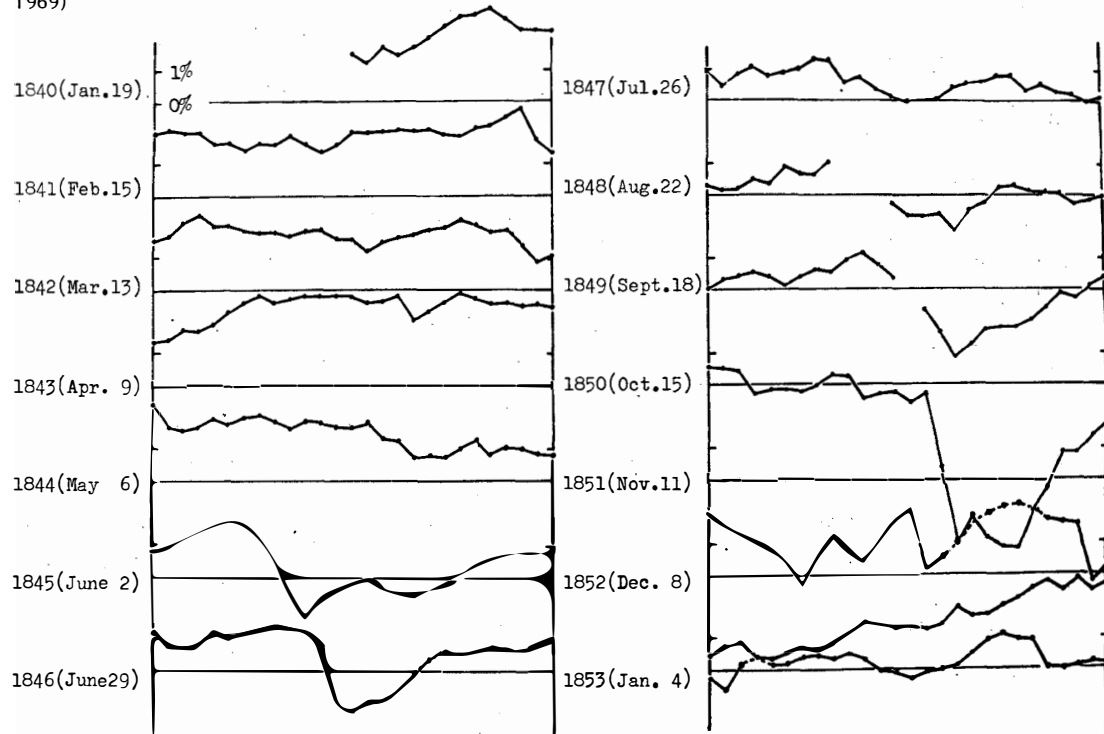


図4 逐日変化

Fig. 4. Day-to-day variation of event number of multiplicity = 1.
Daily mean values are plotted for every solar rotation cycle.

みた変動は、IGYの時程大きなものではなかったが、図1とあわせてみると、6月以後は常にじょう乱を示している。宇宙線嵐は、10月28日に約11%の減少を示したものが最も大きく、2%以上の減少を示したものは、表2に示すように全部で14回起きている。この他特異な現象として、11月18日に太陽面爆発にともなう異常増加が観測された。

表2 宇宙線嵐(1968)

Table 2. Forbush decrease (1968).

No.	Date	ΔI	No.	Date	ΔI
1	Apr. 25	2%	8	Oct. 16	2%
2	May 7	2	9	Oct. 23	2
3	May 21	2	10	Oct. 28	11
4	June 11	4	11	Nov. 16	6
5	July 10	5	12	Nov. 24	5
6	Aug. 3	2	13	Dec. 5	4
7	Oct. 1	5	14	Dec. 26	2

4. Multiplicity 特性

NM-64宇宙線計は、IQSY型の宇宙線計として開発され (CARMICHAEL, 1964), 測定精度の向上により, 宇宙線変動を細かく観測出来るようになった. 図5に中性子計パイルの構造を

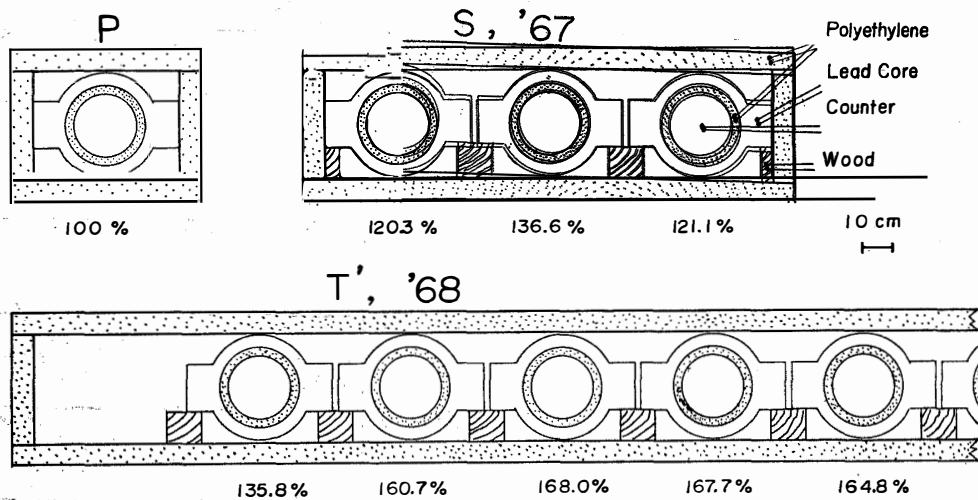


図5 宇宙線中性子計の構造

Fig. 5. The arrangement of various types of NM-64 neutron monitors.

示してある. B^{10} ガスをつめた計数管の回りを2cmのポリエチレンでかこみ, その回りを5cm厚の鉛でかこんである. これを7.5cmのポリエチレンでおおって, 1つのパイルにしてある.

測定の原理は, 外部から入射した宇宙線核子 (中性子, 陽子等) が計数管をとりまく鉛の核と, 原子核反応を起こす. 宇宙線核子の代表的エネルギーを200~300MeVとすると, 平均エネルギー2MeV位の中性子が約8個生ずる (BERCOVITCH *et al.*, 1960). この時, 入射する核子のエネルギーが大きければ, より多くの中性子が生ずる. 例えば, 1 GeVの核子では約16個の中性子が出来る (PEARCE *et al.*, 1964). これらの中性子は, 計数管をとりまくポリエチレンで急速に減速され, パイルの中を熱運動をしながら拡散して行く. この過程で計数管中の B^{10} に捕獲されると,



の反応を生じ, 1つの数として記録される. CARMICHAEL達の宇宙線計では, 6本の計数管を1組としてパイルを作っている. このパイルの中で B^{10} に吸収される中性子は, 出来たものの約6%で, 他はパイル中の不純物に吸収されたり, 外部へ拡散してしまう. 外側のポリエチレンは, 主として拡散の媒質となっており, パイル中に長く中性子を留めておく役割もっている.

我々のパイルは, 図1及び図5の'68で示すように, 12本の計数管が入る1つのパイルの中

に、10本の計数管があり、それを5本ずつの組にして、2つの宇宙線計を作っている。したがって、5本同志の境界にはポリエチレン板は入っていない。この他、鉛の支持に、CAR-MICHAEL達がアルミニウムの1cmの板を用いているのに対し、我々のは木を用いている。このような差違は、拡散現象に若干の影響を与えられられる。種々なパイルについて、多重度がどのように変わるかはHATTON達(HATTON *et al.*, 1964)の測定がある。図5に3種類のパイルが示してある。HATTON達は、1本の計数管のものをP、3本1組にしたものをS、6本を1組にしたものをTとして各々の特性をしらべた。Sは鉛の支持が異なる点を除けば、1967年度に昭和基地で用いたものと同じであり、図に'67と併記した。下の図は、今回のパイルで、6本1組になるように設計されており、HATTON達のTに相当する。但し、右半分との間に、ポリエチレンが入っていない点がTと異なり、T', '68としてある。各計数管の下に示したのは、全粒子数の計数率で、Pを100%にしたものである。我々のをHATTON達のものと比較するために、Sと'67の平均値が同じになるようにした。この図から分かるように、パイルが大きくなると、計数率が増加し、またパイルの中心の方が、端の計数管よりも計数率が多くなっている。これは、パイルが大きくなると、表面積と体積の比が小さくなり、パイル表面から中性子の逃げ出す割合が少なくなるためである。表3に粒子数、event数、それらのPに対する比、及び平均多重度を示してある。P, S, Tについては、HATTON達の値である。

表3 種々の中性子モニターの計数率

Table 3. The counting rates in different arrangement of the NM-64 neutron monitor.

Geometry	P	S	T	S, '67	T', '68
N per counter per hour (1000mb)	33,310	41,970	44,180	40,234 ±117	50,881 ±46
N _E per counter per hour (1000mb)	26,650 ±830	30,630 ±860	31,330 ±430	29,402 ±109	35,886 ±40
N per cent	100	126.0	132.6	(126.0)	159.4 ± —
N _E per cent	100	115 ± 4	118 ± 3	(115 ± 4)	140.4 ± 4.6
\bar{v}	1.25 ±0.04	1.37 ±0.04	1.41 ±0.02	1.37 ±0.005	1.42 ±0.03

N: total count, N_E: total event, \bar{v} : N/N_E

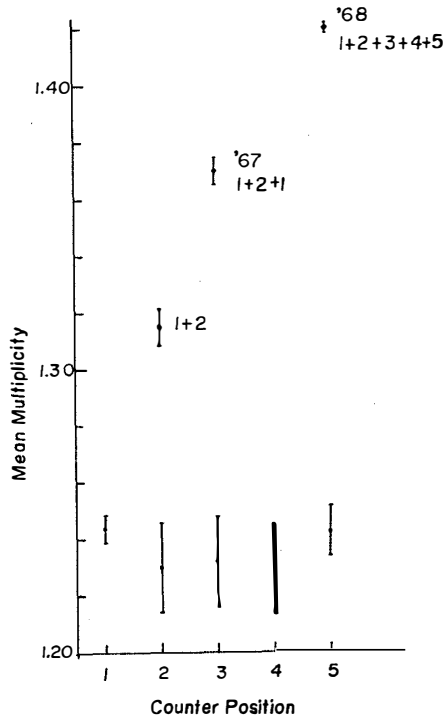


図 6 計数管の位置および本数と平均多重度との関係
 Fig. 6. Mean multiplicities as a function of the number and position of neutron counters.

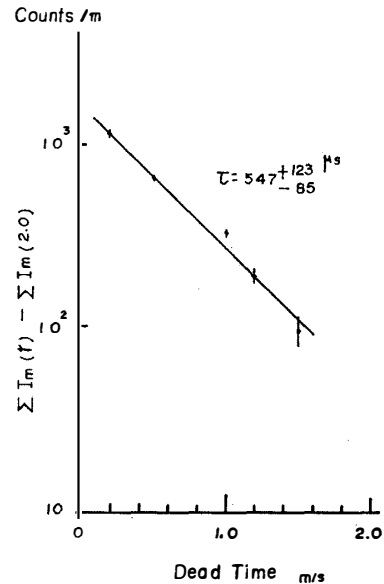


図 7 10-NM-64宇宙線計の中性子強度と回路のdead timeとの関係
 Fig. 7. Total counting rates of neutron intensity as a function of dead time in circuits.

パイルの中の計数管の位置で、平均多重度がどのようになるかを示したのが、図6の下の点で、パイルの端から中心に、向かって1から5までの位置についての、 u_i の値を示している。これから1つのパイルの中では、どこでも同じ多重度の値を示すとみてよい。

図6の上の点は、計数管1及び2をつないだ時、1から5までを一緒にしたときの値を示している。ただし、'67の点は、3本の計数管のパイルでの値である。これから1つのパイルの中では、多くの計数管を並列につないだ方が平均多重度が大きくなる事が分かる。これは、作られた中性子が、パイルの中を拡散していく事から、検出器である計数管の本数が多い程、中性子検出の確率が高くなり従って、多重度の大きなものを数え落とすことが少なくなるためと考えられる。しかし計数管の本数を増していけば、無限に多重度が大きくなるわけではなく、次の中性子の平均寿命とのかねあいとなる。

パイルの中に中性子がどの位の時間とどまっているかは、所謂平均寿命として表わされ、パイルの特性の指数となるものである。図7に示すように、計数回路の不感時間の関数としての計数率の変化から、平均寿命 τ として、

$$\tau = 547 \begin{matrix} +123 \\ -85 \end{matrix} \mu\text{s} \text{ を得た.}$$

この値は、IGY型の中性子計の平均寿命 $330 \pm 20 \mu\text{s}$ より長く、6本のIQSY型中性子計の値 $520 \pm 20 \mu\text{s}$ (HATTON *et al.*, 1968)とは誤差の範囲で一致している。

5. 気圧効果

中性子宇宙線計で観測されるのは、宇宙線中の核子成分であり、物質との反応は強い成分である。気圧の増減は、核子成分の吸収現象として直接影響を及ぼす。昭和基地での気圧効果係数は、石田・小玉(1969)、KODAMA and INOUE (1970)により報告されている。しかし、大気外の宇宙線のエネルギースペクトルの永年変化を反映する経年変化 (GRIFFITHS *et al.*, 1966) もあり、パイル構造の変化による効果も考えられる。

図8に8月12日から18日までの気圧、及び各多重度毎の2時間値を示してある。1番上が

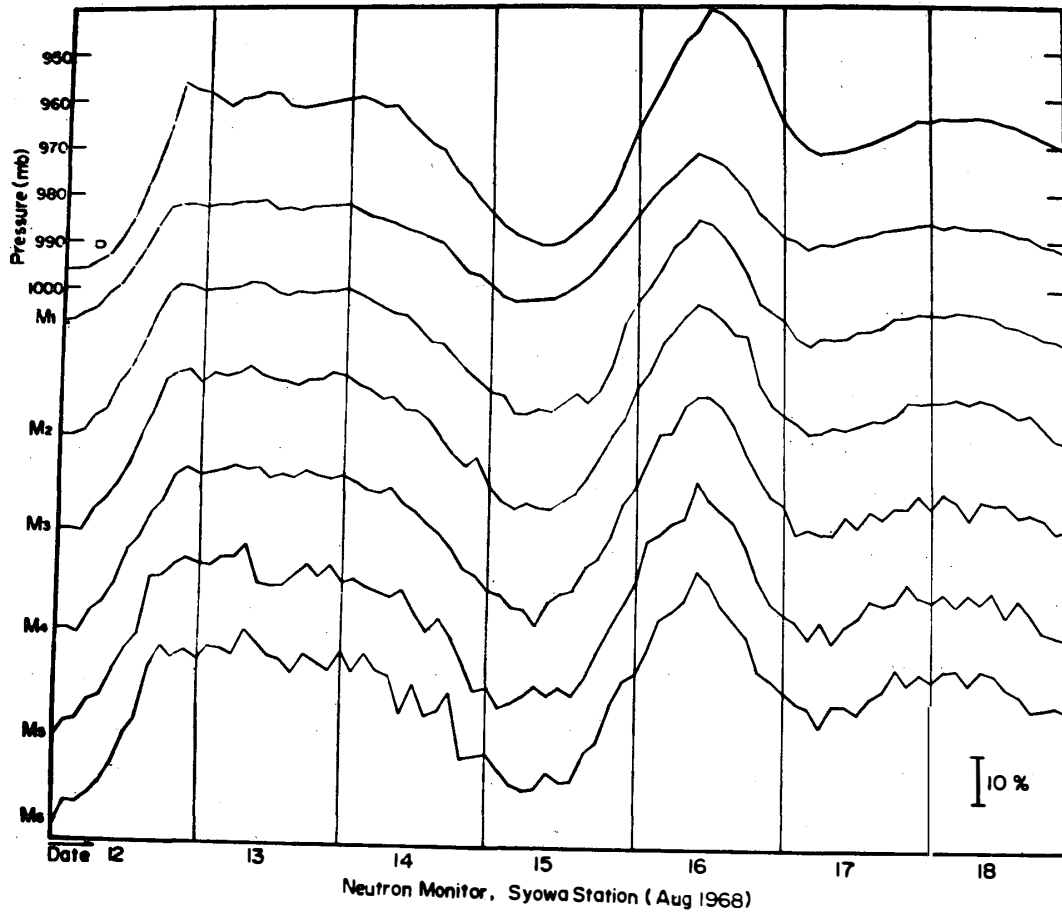


図8 多重中性子強度変化と気圧変化

Fig. 8. Time variations of barometric pressure and frequencies of multiple neutron events from $m=1$ to $m \geq 6$.

気圧で、振幅が40mbに達するような大きなブリザードが通過した時の例である。M1 からM6 までの6本の線がいずれも気圧とよい相関にある事が分かる。計数率 N 、気圧の変化量 δp 、気圧効果係数 β とすると、

$$\frac{\delta N}{N} = \exp(-\beta \delta p) - 1$$

の関係から、相関分析をした結果を表4に示した。比較のために前年の値も示した。前年と比べて、効果係数が、平均して小さくなっているのが見られる。この原因には、前述の経年変化、パイルの形の差、統計例の多少などによる影響が考えられるが、詳しい事は今後の解析に待ちたい。

表4 気圧効果係数

Table 4. The regression coefficients of pressure effect.

	M 1	M 2	M 3	M 4	M 5	M 6	Total event	Total count
'68 Correlation coefficient	-0.970 ±0.025	-0.970 ±0.025	-0.975 ±0.023	-0.975 ±0.022	-0.925 ±0.040	-0.975 ±0.027		
'68 Regression coefficient	-0.60 ±0.015	-0.76 ±0.018	-0.83 ±0.019	-0.84 ±0.019	-0.83 ±0.035	-0.82 ±0.023	-0.65 ±0.016	-0.69 ±0.018
'67 Regression coefficient	-0.70 ±0.01	-0.82 ±0.02	-0.87 ±0.02	-0.88 ±0.03	-0.90 ±0.03	-0.87 ±0.02	-0.73 ±0.02	-0.76 ±0.02

6. 宇宙線嵐

表1の14個の宇宙線嵐の中、減少の大きかった10月28日(11%)、11月16日(6%)、11月24日(5%)の3例を平均したものについて、多重度による効果をしらべた。図9には、全計数値に対する各多重度毎の event 数を示した。この傾斜から各多重度のエネルギー依存性がみられる。図10には昭和基地での全計数値の変化に対する、Resolute (0.0GV), Churchill (0.21GV), Deep River(1.02GV), Dallas(4.35GV), Hermanus (4.90GV)の各観測点でのそれぞれの変化量を示した。各地点での傾斜の差は、cut-off rigidity (かっこ値)の差によるものである。この2つの図を合わせて、縦軸にそれぞれの傾斜をとり、図11を作った。この2つの図を比較すると、各多重度のエネルギー(又はrigidity)が平均どの位に相当するかが分かる。即ち縦軸の同じ値の所が同じrigidityをもつとみなせる。多重度の図で、M1よりもM2, M3の方が大きな変化を示している。この原因については、未だ問題が残っており(小玉, 1970), 1つには、 μ 捕獲で生じる中性子があり、これがM1に入ることが、1番多く、M1の平均エネルギーが高くなる可能性があること。もう1つの大きな原因は、パイル内で発生した中性子に、パイル内での寿命があり、多重度計には1つの event をはかる動作

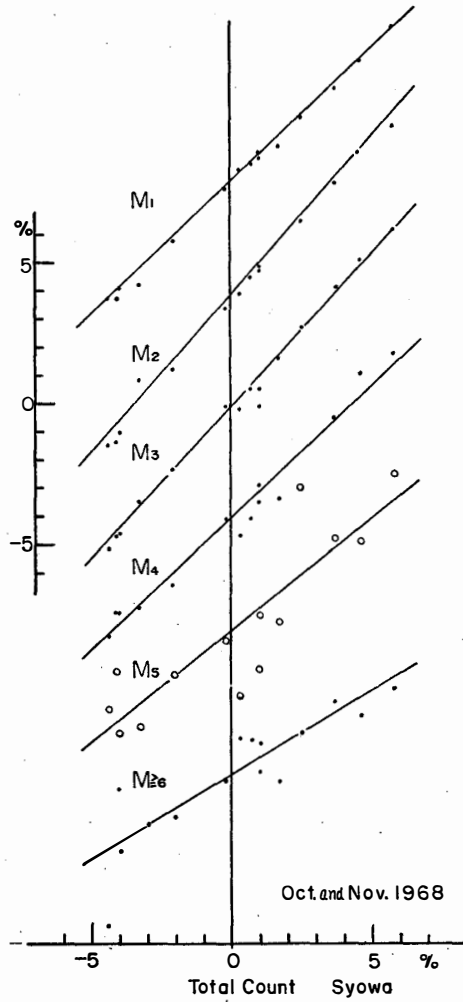


図9 宇宙線嵐の多重度効果
 Fig. 9 Multiplicity effect of three Forbush decreases observed in October and November, 1968.

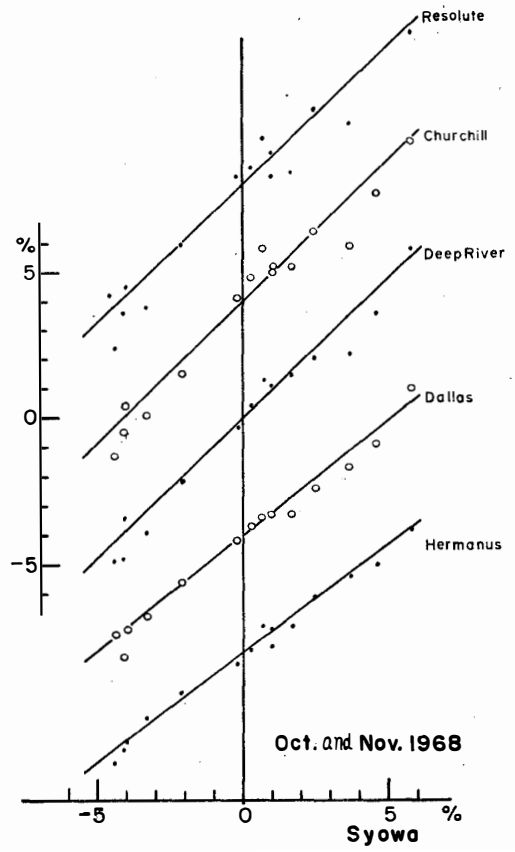


図10 宇宙線嵐の緯度効果
 Fig. 10. Latitude dependence of the Forbush decreases

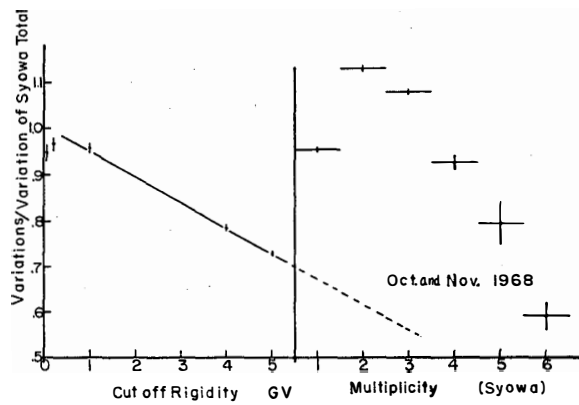


図11 宇宙線嵐の多重度効果と緯度効果
 Fig. 11. Multiplicity and rigidity dependences of the Forbush decreases.

表 5 多重度と rigidity (BV) の関係
 Table 5. The threshold rigidity(BV) corresponding to observed multiplicities.

	M 1	M 2	M 3	M 4	M 5	M 6
Forbush decrease 1968	~1.0	~1.0	~1.0	1.5±0.25	3.8±0.65	7.5±0.50
Unusual increase 1967	1.1±0.1	<1.0	1.0±0.4	1.5±0.5	1.9 ^{+1.9} _{-0.6}	4.4±2.4

表 6 異常増加時の計数率 (10分値) (1968年11月18日)
 Table 6. Ten-minutes counting rate at unusual increase, Syowa Station.

Time(UT)	Pressure (mb)	Total counts (×100)		Time(UT)	Pressure (mb)	Total counts (×100)	
		No. 1	No. 2			No. 1	No. 2
0800-0810	987.0	363	375	1200-1210	987.2	372	378
0810-0820		364	375	1210-1220		370	376
0820-0830		367	366	1220-1230		369	374
0830-0840		369	368	1230-1240		370	371
0840-0850		363	369	1240-1250		365	373
0850-0900		364	377	1250-1300		365	370
0900-0910	987.0	362	367	1300-1310	987.3	367	369
0910-0920		369	368	1310-1320		365	374
0920-0930		365	370	1320-1330		368	370
0930-0940		367	368	1330-1340		367	372
0940-0950		358	372	1340-1350		367	365
0950-1000		357	366	1350-1400		364	371
1000-1010	987.2	364	370	1400-1410	987.2	364	369
1010-1020		361	370	1410-1420		355	370
1020-1030		358	372	1420-1430		365	371
1030-1040		363	365	1430-1440		365	373
1040-1050		367	373	1440-1450		366	373
1050-1100		401	399	1450-1500		367	363
1100-1110	987.2	387	396	1500-1510	987.1	361	374
1110-1120		377	387	1510-1520		364	368
1120-1130		373	376	1520-1530		360	368
1130-1140		371	374	1530-1540		367	366
1140-1150		369	377	1540-1550		364	370
1150-1200		374	374	1550-1600		366	369

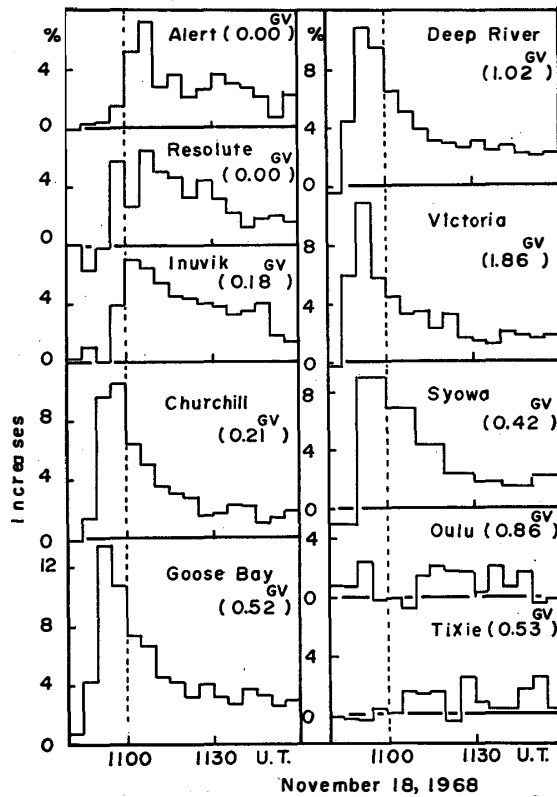


図12 1968年11月18日の異常増加

Fig. 12. Time profiles of unusual increases observed at different 10 stations on November 18, 1968.

時間（ゲート幅, 1m s）が必要であることから、実際に発生した多重度を偽の多重度として記録される効果（overlapping and overpassing 効果）があることで、これが20~30%にも達すると考えられる。これらの点は、更に詳しい解析が必要である。一応の目安として、各多重度に相当するrigidityを図11からよみとって、表5に示した。ここでM1, M2, M3のものは、全部~1GVに相当すると仮定した。最後の欄の値は、1967年1月28日に起きた異常増加の緯度効果から求めたものである（KODAMA *et al.*, 1968）。まだ誤差は大きいですが、いずれの方法で得たものも大体同じ位の値を示しており、これで、多重度計が一種のエネルギー分析器として用いられる目安がついたとみてよい。

7. 異常増加

1968年11月18日10時50分U.T.から11時U.T.の10分値で、昭和基地の宇宙線計に約8.9%の増加現象が観測された。表6に、1号機、2号機で観測された全計数の10分値を示した。図12には、世界各地のこのeventの増加量を示した。最もふえたGoose Bay (53°16'N, 60°24'W)では、13%の増加を示している。

この増加をおこしたとみられる太陽面の爆発は、太陽電波の観測によると、同時に広い周波数領域で起こっており、IV型の電波放射であった（LINCOLN, 1970）。電波放射が11時25

～26分U.T.に生じたのに対して、宇宙線が20分から30分おくれて地球に達している。これは、太陽地球間の空間磁場中を荷電粒子が伝播して来たためと考えられる。

今回の増加の特長は、図12から分るように、増加が非等方的で、アメリカ帯に限っている事である。昭和基地も、宇宙線の入射方向からみると、アメリカ帯に属している。ヨーロッパのOulu (65°01'N, 25°30'E)でも、アジアのTixie Bay (71°36'N, 128°54'E)でも増加がみられなかった。これは1967年1月28日に起こった非常に等方的な増加と対照的なものである。1967年のものは増加の開始もゆるやかであり、非常に乱れた空間を拡散してきたと考えられるが、今回のものは、はっきりした方向性をもっている。エネルギースペクトルについては、アメリカ帯のDallas (36°47'N, 91°04'W, cut-off rigidity 4.35 GV)では増加がみられない事から、かなり急なものと考えられる。多重度と入射粒子エネルギーの関係については、表5と矛盾しない結果を得ている、小森等 (KOMORI *et al.*, 1971)が、更に詳しい解析を進めている。

8. む す び

昭和基地は、オーロラ帯で我々が自由に観測できる唯一の場所である。特に地磁気、極光、電離層などの超高層関係の観測が一箇所で行なわれているのは、非常に貴重な事である。この報告は、中間的なものであり、資料の整理をまって、更に解析をすすめると同時に、いくつかの基礎的問題も解決していかなければならない。宇宙線の観測も今後更に充実される計画であり、よい観測結果がえられると期待できる。

最後に、著者の一人(須田)が越冬隊に参加できた事は、理化学研究所の宮崎友喜雄博士、南極関係及び気象庁、気象研究所の各位の御尽力と、激励によるものであり、感謝の意を表したい。又観測実施にあたっては、第9次観測隊の各位の御指導と御協力を得た事を感謝します。資料の整理を手伝っていただいた、月田秀夫氏に御礼を申し上げます。

文 献

- BERCOVITCH, M., H. CARMICHAEL, G. C. HANNA and E. P. HINCKS (1960): Yield of neutrons per interaction in U, Pb, W, and Sn by protons of six energies between 250 and 900 MeV selected from cosmic radiation. *Phys. Rev.*, **119**, 412-431.
- BERCOVITCH, M. and B. C. ROBERTSON (1965): Meteorological factors affecting the counting rate of neutron monitors. *Proc. 9th Int. Conf. on Cosmic Rays, London*, **1**, 489-491.
- CARMICHAEL, H. (1964): IQSY Instruction Manual. No. 7, Cosmic Rays. IQSY Secretariat, London.

- GRIFFITHS, W. K., C. V. HARMAN, C. J. HATTON and P. RYDER (1966): The variation of the barometric coefficient of the Leeds neutron monitor during the solar cycle 1954-1965. *J. Geophys. Res.*, **71**, 1895-1898.
- HATTON, C. J. and H. CARMICHAEL (1964): Experimental investigation of the NM-64 neutron monitor. *Can. J. Phys.*, **42**, 2433-2472.
- HATTON, C. J. and E. V. TOMLINSON (1968): The lifetime of neutrons in cosmic-ray neutron monitors. *Nuovo Cimento*, **53B**, 63-72.
- HATTON, C. J. and W. K. GRIFFITHS (1968): Barometric coefficients of multiplicities in neutron monitors. *J. Geophys. Res.*, **73**, 7503-7509.
- 石田喜雄・小玉正弘(1969): 第8次南極地域観測越冬隊宇宙線部門報告 一宇宙線中性子連続観測. 南極資料, **35**, 1-21.
- KANE, S. R. and J. R. WINCKLER (1969): Hysteresis effect in cosmic ray modulations and the cosmic ray gradient near solar minimum. *J. Geophys. Res.*, **74**, 6247-6255.
- 北村泰一・福島紳・小玉正弘(1959): 第一次越冬隊宇宙線部門報告. 南極資料, **6**, 1-21.
- KODAMA, M., T. SUDA and K. OGURA (1969): Multiple neutron studies of unusual cosmic ray increases during 1967-1969. Presented at the 11th Int. Conf. on Cosmic Rays. Budapest, Aug. 25-Sept. 4, 1969.
- 小玉正弘(1970): 宇宙線中性子モニターにおけるMultiplicity分布. 日本物理学会誌, **25**, 548-551.
- KODAMA, M. and A. INOUE (1970): Availability and limitation of multiplicity measurements in the NM-64 neutron monitor at Syowa Station, Antarctica. *JARE Sci. Rep., Ser. A*, No. 9.
- KOMORI, H., T. SUDA and M. KODAMA (1971): to be published.
- LINCOLM, J. V.(1970): Data on cosmic ray event of November 18, 1968 and associated phenomena. Report UAG-9, 5-8, Research Lab. ESSA, Boulder, Colorado.
- PEARCE, R. M. and A. C. FOWLER (1964): Calculated spectral sensitivity of IGY and IQSY neutron monitors. *J. Geophys. Res.*, **69**, 4451-4455.

(1971年7月1日受理)