

1970年, 1971年, 1972年における銀河宇宙線中のヘリウム成分

玉井英次・境 孝祐・成田信男・小倉紘一・湖上農一*

Cosmic Ray Helium Flux during the Period 1970–1972

Eiji TAMAI, Takasuke SAKAI, Nobuo NARITA, Koichi OGURA,
and Shinichi KOGAMI*

Abstract: Cosmic ray helium flux at the energy around 100 MeV/N was measured by four balloon flights in the summer during the period from 1970 to 1972 at Syowa Station, Antarctica, with the aid of scintillation counter telescopes. The observed helium intensity of 1972 at the energy of 100 MeV/N showed about 100 % increase over that of 1970. This value seems to be consistent with the estimated values from the data obtained by Mt. Washington neutron monitor, balloons and satellites in other years. Also the absolute intensity of the present data seems to be 20–30 % higher than the value extrapolated from the data obtained by LEZNIK and WEBBER in 1965–1968.

1. 序

太陽フレアーにともなって放射される粒子（太陽宇宙線）中には、陽子のほか、He, C, N, O等の原子核が含まれていることが、1957年から始まった国際地球観測年（IGY）中のいくつかの観測によって明らかにされた。このうち、C, N, O核については、いくつかの論文で発表されているが、定量的な測定は、今後行われる実験に期待される。陽子、He-核については、今まで大きなフレアーごとに観測されており、かなりくわしいデータが報告されている。これらの観測によれば、フレアーごとに、陽子とHe-核の強度とその強度比が異なっているので、フレアー時の粒子の加速機構、あるいは、太陽宇宙線が伝播してくる惑星間空間の電磁状態が複雑であるように考えられる。また、加速時に太陽大気での核衝突の情報を与えてくれると思われるフレアーごとのHe³-核の観測はいまだ少ない。

これらの現象を解明する手がかりを得るため、太陽宇宙線の陽子とHe (He³, He⁴)-核の強度、およびそれらのエネルギー・スペクトルの時間変化を観測することを計画した。しかし、気球浮遊中に、太陽フレアーに遭遇しない場合もあるので（むしろこの場合のほうが多

*日本大学生産工学部物理教室. College of Industrial Technology, Nihon University at Narashino, Funabashi-shi, Chiba.

い), 銀河宇宙線をも観測できるように, 測定器の有効面積の大きさについて考慮した. 太陽宇宙線強度は, 過去の観測によれば, 銀河宇宙線にくらべ, 我々の測定エネルギー範囲で50倍ないし100倍も強い. したがって太陽宇宙線をおもに観測するには, データの電送量の時間的制限のため, 測定器の有効面積はあまり大きくできない. 一方, 銀河宇宙線に対しては, 有効面積が大きいほうがよい. 今回の主目的は, 太陽宇宙線であるので, 銀河宇宙線を観測するには, 有効面積は少し小さめで, その大きさは $2.6 \sim 6 \text{ cm}^2 \text{st}$ である. 我々が行った気球観測('70, '71, '72)では, 太陽宇宙線が放射されるような大きな太陽フレアに遭遇しなかった. そこで, さきに述べたように, 有効面積が小さくて, 統計精度は良くないが, 銀河宇宙線中の He-核について報告する. なお, 気球高度での陽子成分の強度から, 大気頂上の強度を知るには, 大気中の二次粒子の補正が必要である. この補正の量は数人の研究者 (VOGT, 1962; VERMA, 1967; FICHTEL *et al.*, 1961; RYGG *et al.*, 1971) によって求められているが, その値がおたがいに異なっているので, 現在我々はその差を研究中であり, これについては他の稿で述べたい.

2. 観 測 器

用いた観測器の断面図は, 図1 (a, b) に示してあるように, dE/dx-counter, E-counter, Guard-counter (Anti-counter も含む) からなっている. dE/dx-counter は直径2'', 厚さ1/4'' の NE 102 プラスチック・シンチレーターで, E-counter は直径2'', 厚さ1'' ('70年の観測に用いた型) または, 2'' ('71, '72年型) の CsI (Tl) である. また, Anti-counter は dE/dx-counter と E-counter をほぼ円筒形に包むように, 厚さ1 cm のプラスチック・シンチレーターから作られている. この装置の重量は, light guide のアクリライトおよび光電管 (東芝7696) を含めて, 7~8 kg である. これにエレクトロニクス回路, 電池および保温材の発泡スチロールを加えると, P.I 部分の重量は, '70年型で~10 kg, '71, '72年型では12 kg であった. これらの観測器の概要および原理については, 他の稿 (玉井他, 1970, 1972) で詳細に述べているので, ここでは簡単に述べる. 図1 (a) は '70年型, 図1 (b) は, '71, '72年型である. 後者は, 粒子弁別の分解能をあげることに, および測定エネルギー範囲を広げるように前者を改良したものであるが, 原理的にはまったく同じである. それぞれの測定器の幾何学的条件およびエネルギー測定範囲は表1に示す通りである. ここで観測器の有効面積 ($S\Omega$) は観測粒子のエネルギーによって異なり, '71, '72年型の場合を図示すると, 図2のようになり, 表1の値は, ほぼ平均値を示している. '70年型

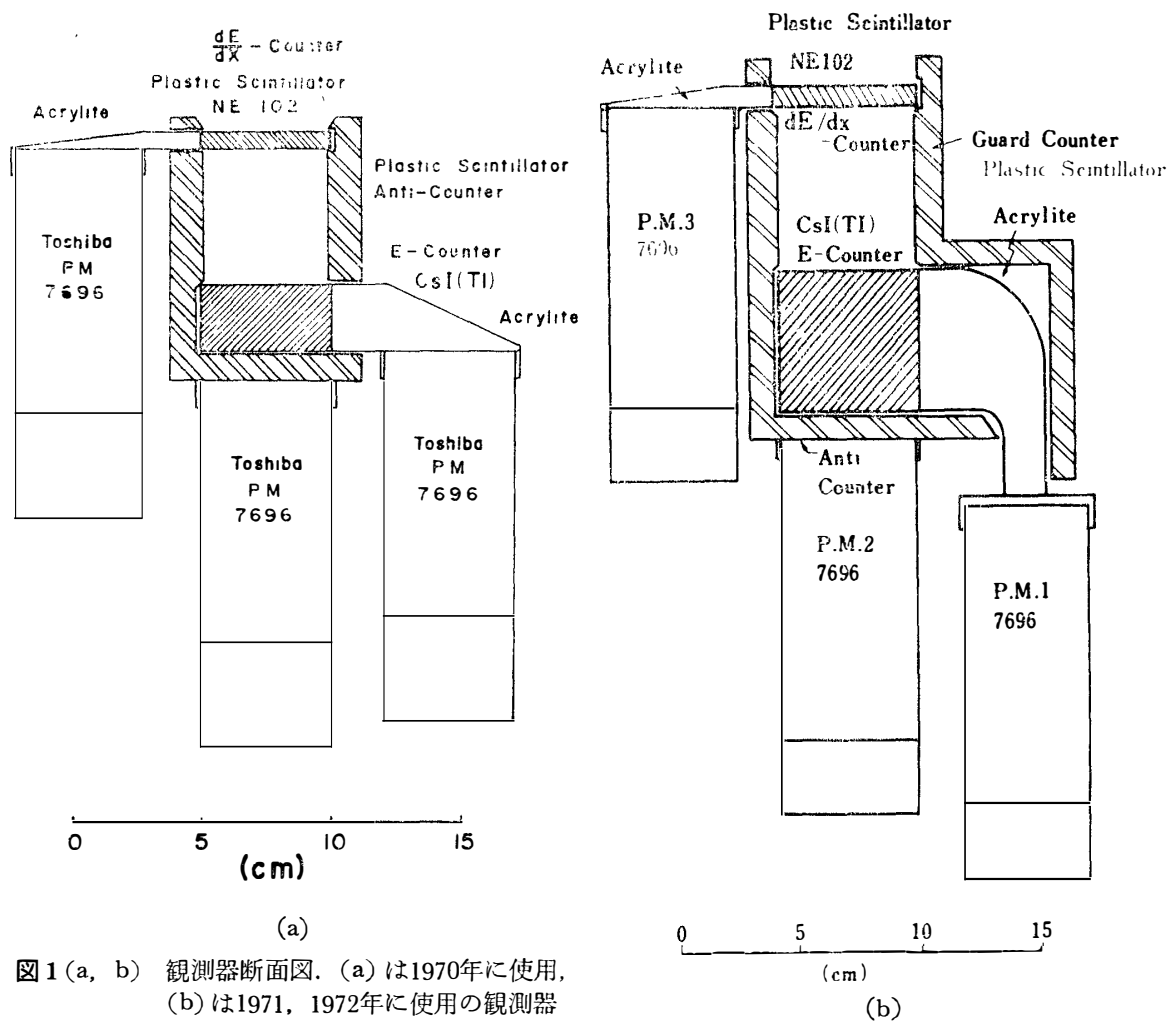


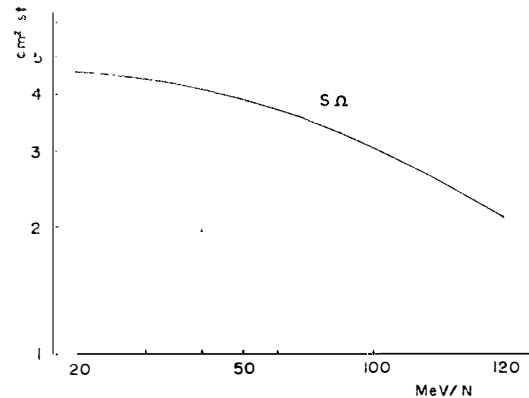
図1 (a, b) 観測器断面図. (a) は1970年に使用,
(b) は1971, 1972年に使用の観測器

表 1 1970年度と'71, '72年度の幾何学的条件, およびエネルギー範囲

	1970	1971	1972
$S\Omega$ (cm ² st)	~6.3	~3.3	
Energy range (MeV/N)	24.5~94	24.5~134	
Maximum incident angle	~39°	~33°	

も絶対値は異なるが, 図2と同様な曲線を示し, 表1の値は平均値である.

入射粒子のうち, dE/dx -counter を通過し, E-counter 内で静止した粒子が, 我々の解析の対象となり, 陽子成分と helium 成分とに弁別され, 同時にその粒子の持つ運動エネルギーも dE/dx -counter, E-counter からの信号の大小によって決定される. 粒子が E-counter 内で静止したかどうかは, dE/dx -counter, E-counter で信号が生じ, これらを囲む Guard-counter で信号が起こったかどうかで判定され, ここで信号がない場合, E-

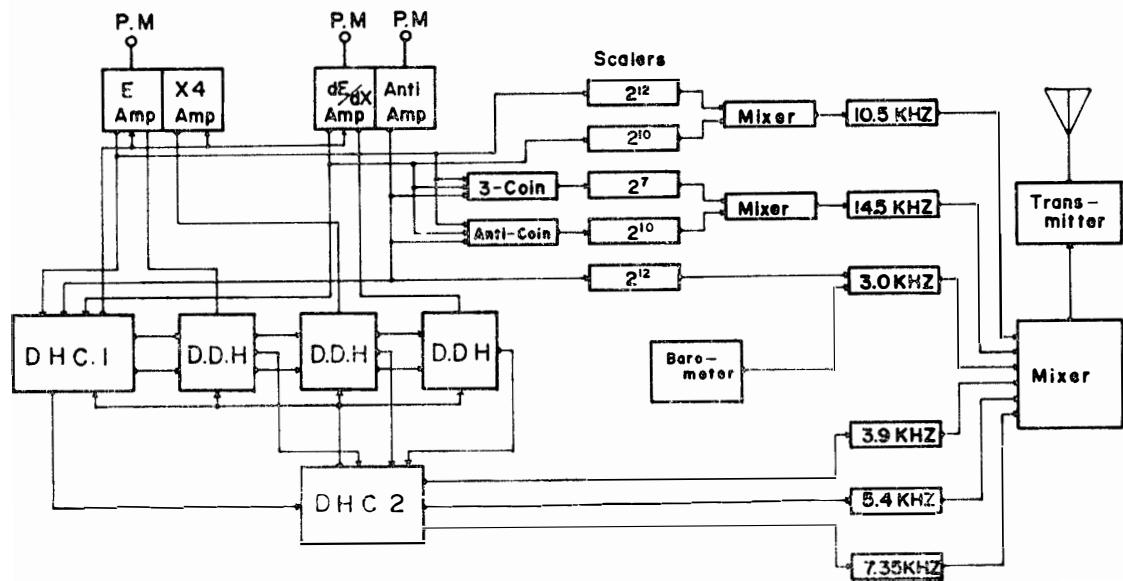
図 2 観測器の有効面積 ($S\Omega$) のエネルギー依存性

counter 内で粒子が静止したとみなされる． Guard-counter はまた，スプラッシュ・アルベド粒子とか，counter 内で発生する二次粒子およびエア・シャワー等のバック・グラウンドを除く役目をする．

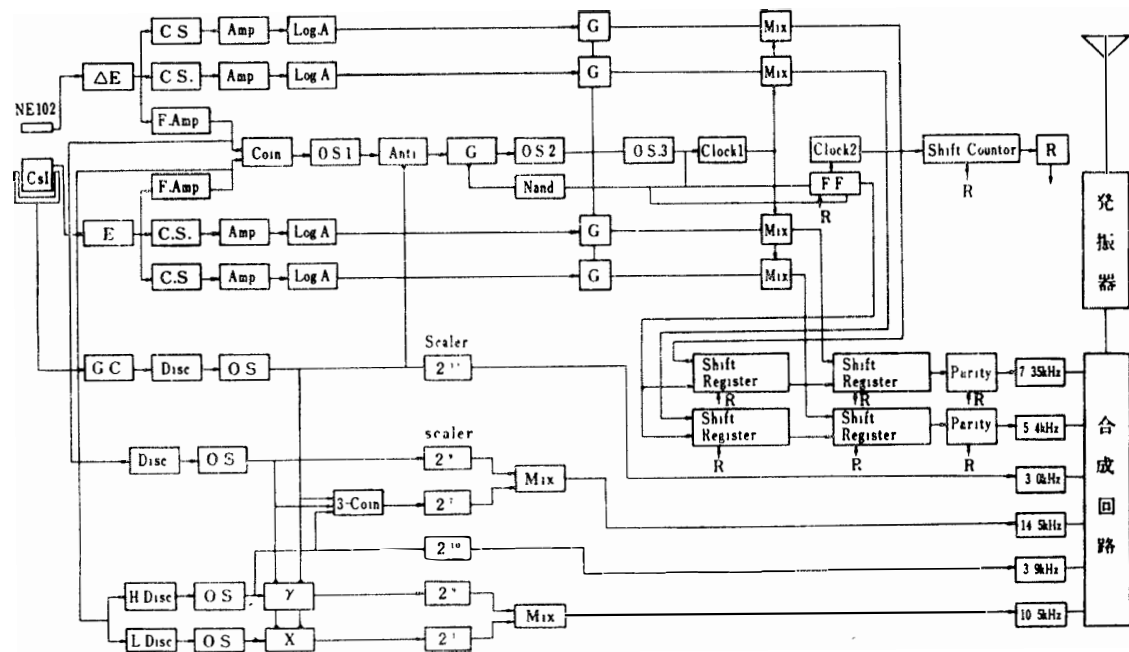
バルーン浮遊時に各 counter が，正常に作動しているかどうかの判定になる各 counter の計数，dE/dx-counter と E-counter と Guard-counter による 3-fold coincidence の計数，および dE/dx-counter と Guard-counter を anti-coincidence counter とした時の E-counter の計数（X or γ -線の計数に対応）も電送されるようになっている． '70年型，'71，'72年型についての電子回路のブロック・ダイアグラムを，それぞれ図 3 (a, b) に示した．基本的には両者同じであるが，異なる点をつきにあげる． '70年型は，4E の波高（dE/dx-counter から信号）を対数にして channel 2 (3.9 kc) で電送し，E の信号は，回路のダイナミック・レンジが広くないので，線形のまま陽子用，helium 用にわけ，それぞれ，ch. 3 (5.4 kc)，ch. 4 (7.35 kc) を使って電送した．これに対し，'71，'72年型は，ch. 3 に陽子用の 4E，E の信号を，ch. 4 に helium 用の 4E，E の信号を，線形のまま直列に電送した．

3. Balloon Flight

Flight は1970年に2機 (B_5-1 , B_5-5)，1971年，1972年とも各1機 (B_5-7 , B_5-12)，それぞれ昭和基地で行われた． B_5-1 は，1月23日14^h00^m (UT) に放球され，約2時間半後～11 mb の高度に達し，12時間にわたって観測された． B_5-5 は2月15日18^h33^m (UT) に放球され，～11mb の高度で22時間観測が続けられた． B_5-7 は2月28日17^h18^m (UT) に放球され，全観測時間は，9 mb の高度で約17時間であった．しかし，バルーン上昇中，dE/dx-counter が雑音を発し（高圧の放電と考えられる）たので，陽子，He-成分の高度変化はとれなかった．この雑音は level flight にはいって一応安定した．一方，E-counter も level



(a)



(b)

図 3 (a, b) 電子回路のブロック・ダイアグラム (a)は1970年, (b)は1971, 1972年使用

にはいって約一時間後 (UT 20^h) およそ一時間にわたって雑音を発し、その間、陽子、He-成分のデータはとれていない。また放球後～9時間 (UT 3.00^h) 頃から、陽子、He-成分とバックグラウンドを分離するに必要な、Guard-counter と dE/dx-counter, E-counter との Anti-coincidence 回路が働かなくなっただけで、電送しなくてよい粒子の情報をも電送

するようになり、我々の観測したい粒子は、ほとんどとれなくなった。結局、陽子、He-成分は、正味3時間の測定であった。

B₅-12は1月24日11^h23^m(UT)放球された。放球時に送信用アンテナを一部破損したので、放球後8時間頃より受信状態が悪くなり、10時間以後は受信不能になった。それまでは、11 mbの高度で、ほぼ正常なデータがとれた。

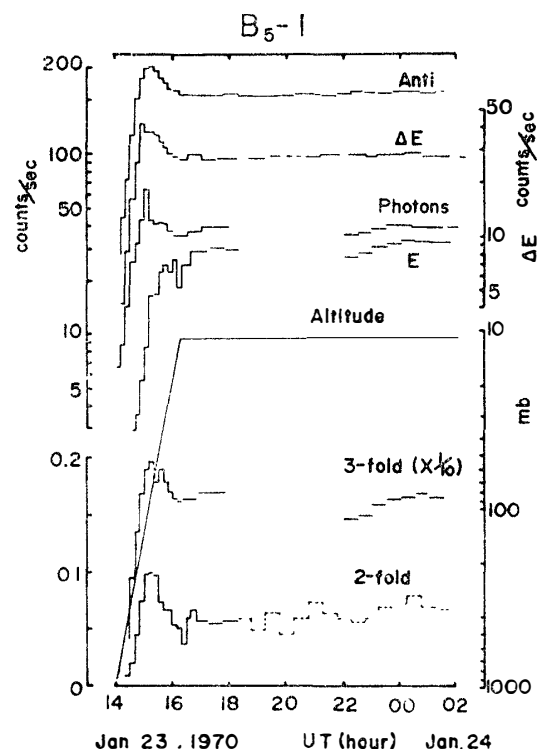
これらのバルーン飛行状況をそれぞれ、図4(a, b, c, d)に示した。図中、photonsとあるのはX-rayに相当するものである。

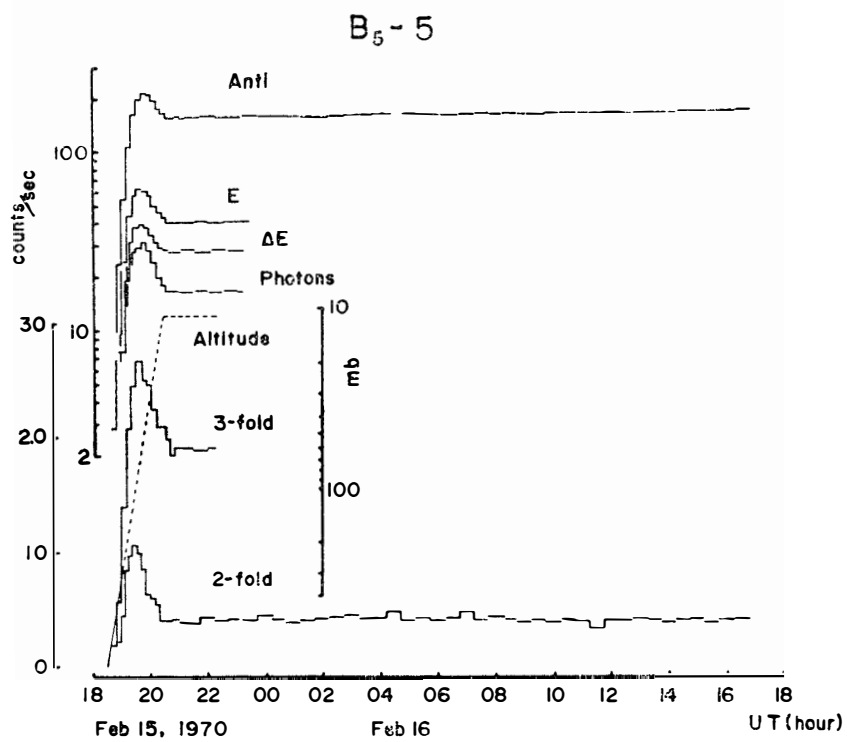
4. 測定結果

図5に1970年観測の ΔE (dE/dx-counterの信号)、E(E-counterの信号)ダイアグラムを示す。この図から、陽子、重水素、He-核が分離できることがわかる。この図を使って各粒子成分は、 ΔE 軸のあるchannelを固定した時、E軸に対して粒子がガウス分布になることを仮定し、全体の粒子数を決定した。こうして得た陽子、He-成分の高度変化を1970年、'71、'72年について図6(a, b)に示す。図には参考のために陽子成分も示してある。1970年の測定エネルギー範囲は、観測器のところで25 MeV/N~92 MeV/Nであり、'71、

図4(a, b, c, d) バルーン放球後の各 counter からの計数率

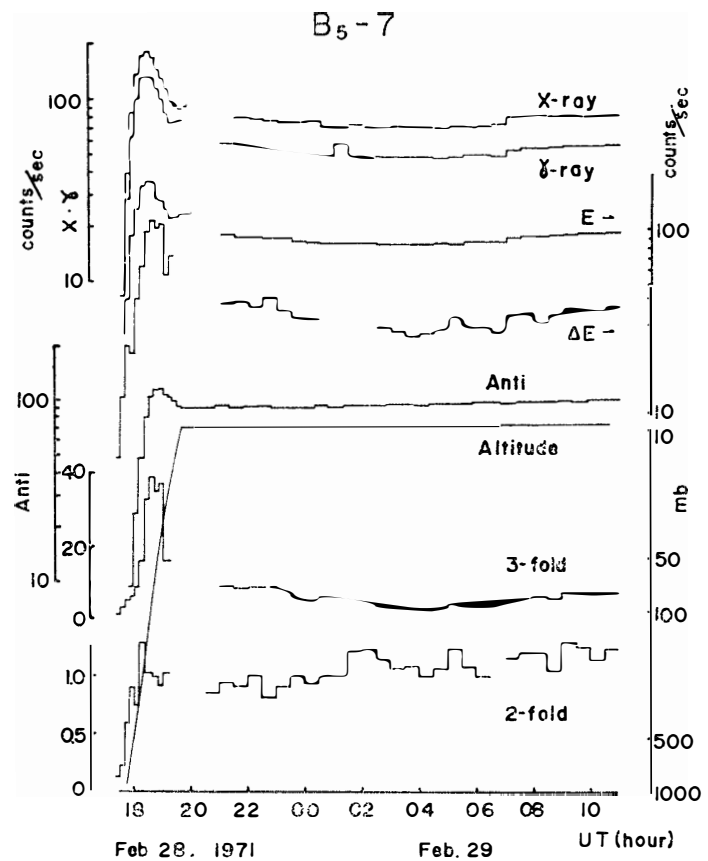
(a) 1970年1月23日

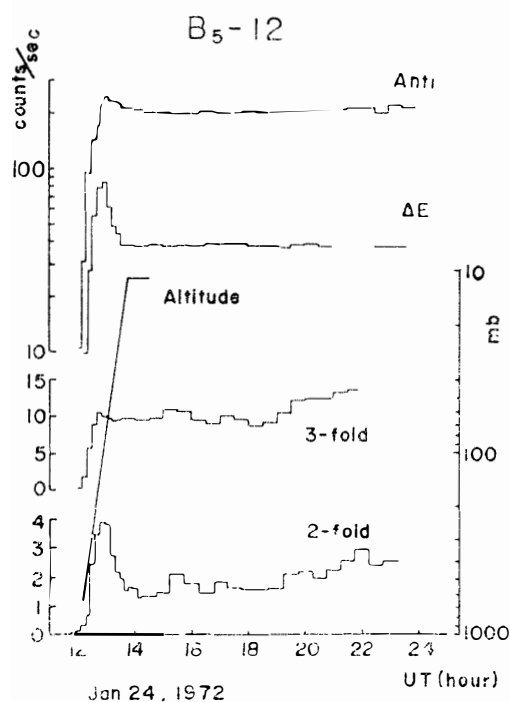




(b) 1970年2月15日

(c) 1971年2月28日





(d) 1972年1月24日

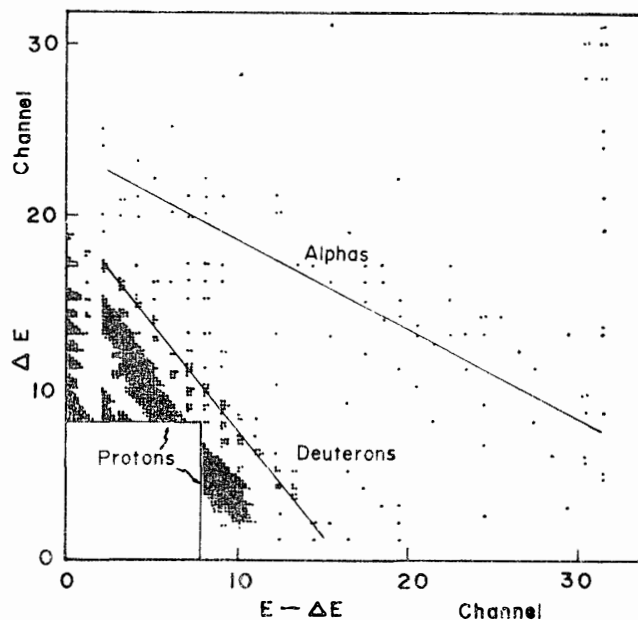


図5 ΔE-E のダイアグラム

'72年のそれは、 $25 \text{ MeV/N} \sim 138 \text{ MeV/N}$ となっており、しかも測定器の有効面積も異なるので、この図から He-成分の年変化については直接比較できない。大気頂上での He-粒子のエネルギー・スペクトルは、(I) 図6中の直線(吸収の mean free path), すなわち最小自乗法で求めた高度変化の直線を大気頂上まで外挿して得た値と、(II) バルーン浮遊高度での He 計数率を、大気中での電離損失による粒子エネルギー変化にともなう He 強度の減少、および、空気核との核反応による He-粒子の損失を補正して得た値との両方から求められる。前者は測定器のところでのエネルギー範囲の粒子であり、後者は前者のエネルギー範囲を、空気中のエネルギー損失を補正した範囲の粒子になっている。1971年については、さきに述べたように、高度変化がとれなかったので、吸収の mean free path をかりに $45 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2}$ ('70年度の観測から得た値) と仮定して (I) の場合の値を得た。したがって、'71年の場合、浮遊高度でのデータの統計不足に加えて、上記の仮定のため、大気頂上でのスペクトルの精度は必ずしも良くない。図7に各年度のエネルギー・スペクトルを示してある。なお、大気中で作られる二次 He-粒子の影響は統計精度に比べ無視できる。

5. 議論と結論

我々は南極昭和基地において、1970, 1971, 1972年の3年間、宇宙線中 He-粒子を観測し

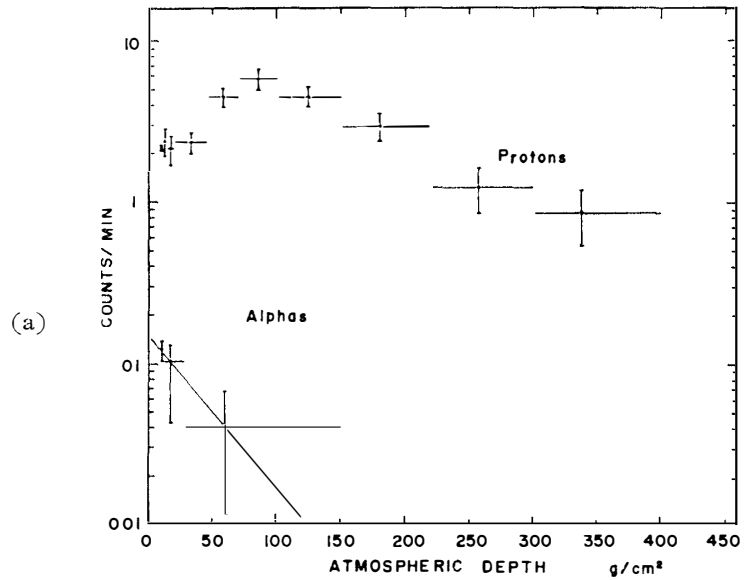
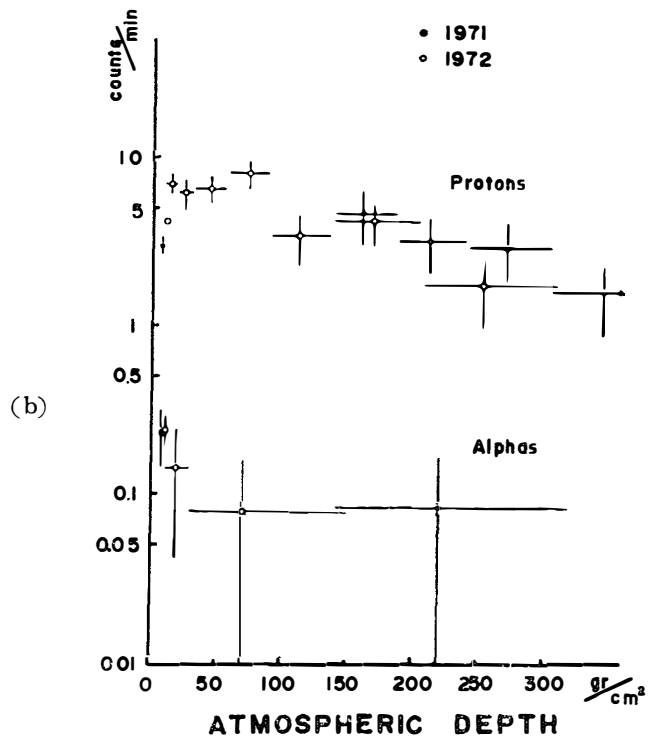


図 6 (a, b) 1970年と'71年, '72年の陽子, He-成分



てきた。その結果からつぎのような結論が得られる。

- 1) この観測期間で、11年変化による強度変化は $\sim 100\text{MeV}/N$ 付近で $\sim 100\%$ である。この変化は他の観測量 (neutron monitor のデータおよび、我々の観測期間と異なる時にバルーン、人工衛星によって得られたデータ) から予想される値と一致する。

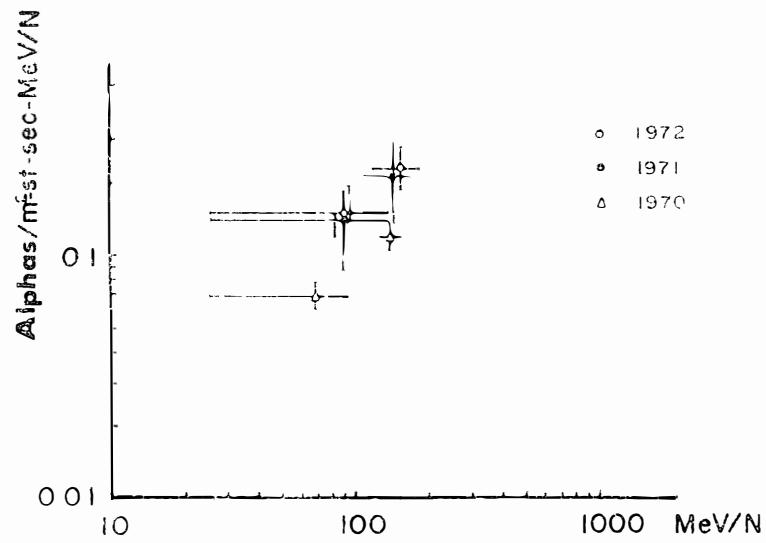


図 7 1970 年と '71, '72 年に観測された spectrum

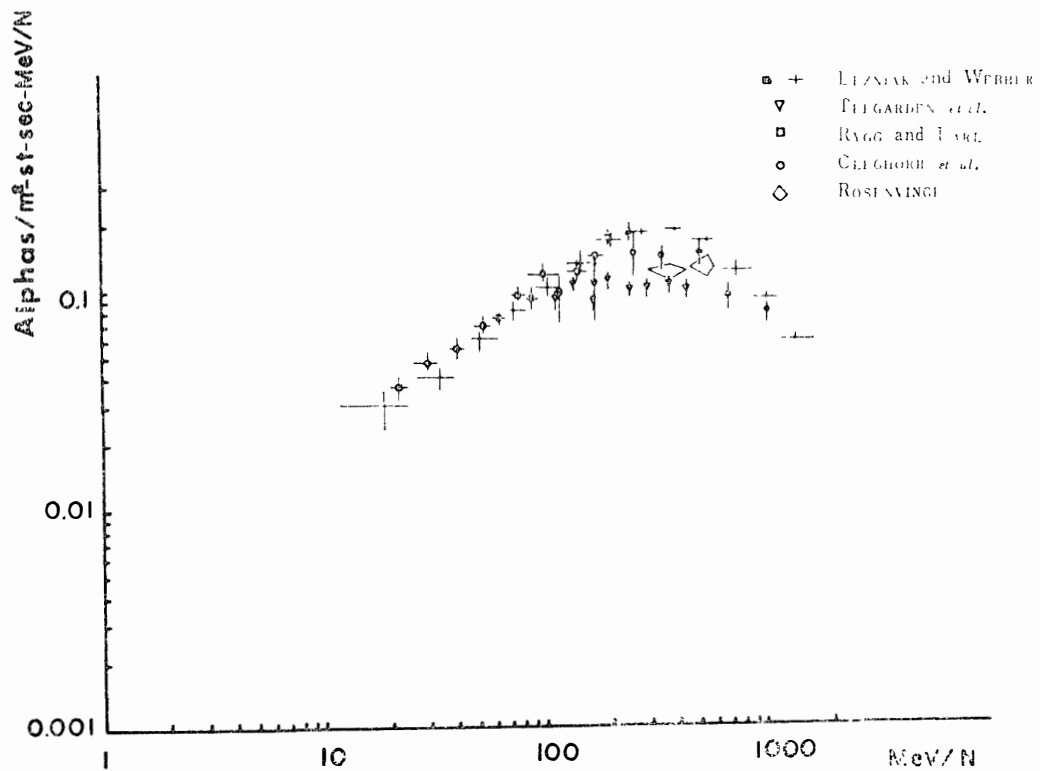


図 8 1968年に異なった観測者によって得られたエネルギー・スペクトル

2) エネルギー・スペクトルのベキは、他の観測者 (LEZNIK *et al.*, 1971; RYGG *et al.*, 1971) のものとはほぼ一致する。

3) しかしスペクトルの絶対値は、たとえば、LEZNIK *et al.* とくらべると約 20~30 %

高いように思われる（同時観測でないので推測値）。この原因については、 $\Delta E-E$ diagram（図2）からHe-粒子を抽出する場合の誤差，すなわち陽子成分の，He-成分への混入とも考えられる。しかし1968年に異なった観測者によって測定されたHe-粒子のスペクトル（図8）からも明らかなように，各観測者によって絶対値は，50～100%の差がある。したがってこの意味で，我々の強度の絶対値も，LEZNIAK *et al.* の観測とほぼ一致していると考えていいかもしれない。

謝 辞

昭和基地での4回の気球飛揚に際し，第11次，第12次，第13次南極地域観測隊員諸氏，とりわけ楠瀬昌彦（第11次），伊藤正則，松村政美（第12次），田中良和（第13次）の四氏の好意と協力に謝意を表するとともに，本研究の計画段階から，観測実施にいたるまでの長い間にわたり，多大のご援助と有意義な助言をいただいた，理化学研究所の小玉正弘博士に深く感謝いたします。また，データ解析に助力された小林美喜枝，須藤勢津子および今井裕子さんに感謝します。

文 献

- CLEGHORN, T. F., P. S. FREIER and C. J. WADDINGTON (1971): On the modulation and energy spectrum of highly charged cosmic ray nuclei. *Astrophys. Space Sci.*, **14**, 422-430.
- FICHTEL, C. E. and D. E. GUSS (1964): Cosmic-ray hydrogen and helium nuclei during a solar quiet time in July 1961. *Phys. Rev.*, **133**, B 818-827.
- 湖上晨一・成田信男・小倉紘一・境 孝祐・玉井英次・坪松 学 (1969): 低エネルギー一次宇宙線（陽子，He）測定器の開発。大気球シンポジウム，東大宇宙航空研究所，**1969**，103-106.
- LEZNIAK, J. A. and W. R. WEBBER (1971): Solar modulation of cosmic ray protons, helium nuclei and electrons. *J. Geophys. Res.*, **76**, 1605-1624.
- RYGG, T. A. and J. A. EARL (1971): Balloon measurement of cosmic ray protons and helium over half a solar cycle 1965-1969. *J. Geophys. Res.*, **76**, 7445-7469.
- 玉井英次・成田信男・小倉紘一・百木悟郎・湖上晨一 (1967): 気球による太陽 ^3He , ^4He の観測。大気球シンポジウム，東大宇宙航空研究所，**1967**，233-236.
- 玉井英次他 (1968): 気球による太陽 ^3He , ^4He の観測計画。大気球シンポジウム，東大宇宙航空研究所，**1968**，284-285.
- 玉井英次・境 孝祐・湖上晨一・成田信男・小倉紘一・坪松 学 (1970): 気球搭載用低エネルギー一次宇宙線。日本大学生産工学部報告，**3**(2)，61-65.
- 玉井英次・境 孝祐・湖上晨一・成田信男・小倉紘一 (1972): シンチレーションカウンターを使った気球搭載用宇宙線検出器。日本大学生産工学部報告，**5**(2)，167-172.
- TAMAI, E., T. SAKAI, N. NARITA, K. OGURA, S. KOGAMI, M. KUSUNOSE and M. KODAMA (1971): Low energy cosmic ray protons, He and neutral particles over Syowa Station, Antarctica.

Proc. 12th Int. Conf. on Cosmic Rays, Cosmic Ray Conf. Papers, **2**, 555–560.

VERMA, S. D. (1967): Measurement of the charged splash and re-entrant albedo of the cosmic radiation. J. Geophys. Res., **72**, 915–925.

VOGT, R. (1962): Primary cosmic ray and solar protons. Phys. Rev., **125**, 366–377.

(1973年12月17日受理)