

多段式多重線比例計数管による
一次宇宙線陽子のエネルギースペクトルの測定*

久下 章**・関口 宏之**・久保田 正***
柳町 朋樹**・渡辺 博之**・奥平 清昭**

(1983年5月27日受理)

Measurement of the Primary Cosmic-ray Proton
Spectrum using Multistage Multiwire
Proportional Counter (MMPC)

By

Akira KUGE, Hiroyuki SEKIGUCHI, Tadashi KUBOTA,
Tomoki YANAGIMACHI, Hiroyuki WATANABE
and Kiyooki OKUDAIRA

Abstract: Derivation procedure of the primary proton spectrum using the relativistic rise in ionisation loss is described. Further improvement is discussed in order to compare our spectrum precisely with the spectra derived from other instruments.

概 要

電離損失の相対論的増加を利用した一次宇宙線陽子のエネルギースペクトル導出の過程を示し、どのような点を改良すれば多段式多重線比例計数管がエネルギー測定器として他の測定器と比肩できるものとなるかについて述べる。

1. はじめに

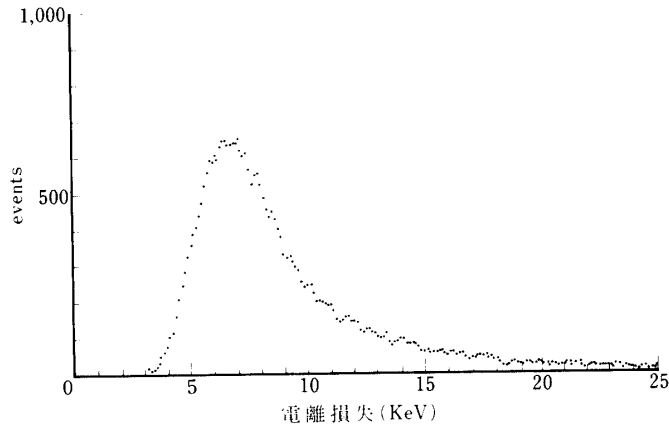
陽子、電子などの単荷電粒子の電離損失は速度に依存する。10 GeV～1000 GeV のエネルギー領域の陽子の速度は 5 MeV～500 MeV のエネルギー領域の電子の速度とほぼ等しい。そこでこの速度領域の陽子の電離損失の分布に近いと考えられるものを東京大学原子

* 宇宙研特別事業費による研究論文

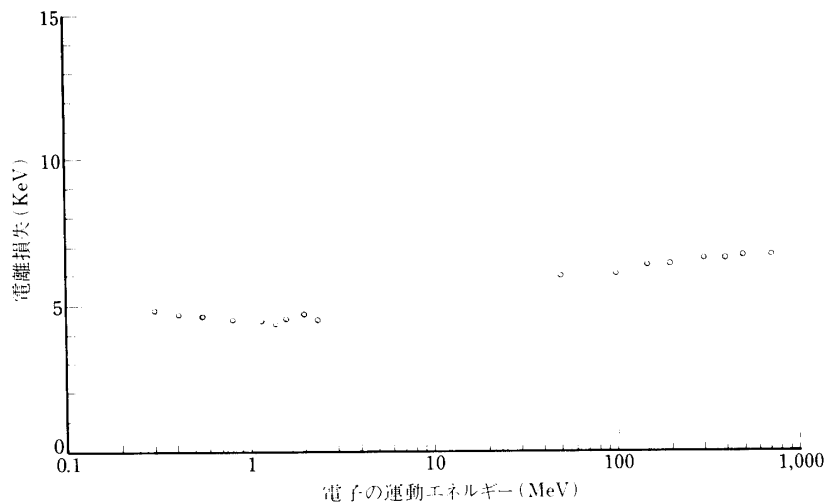
** 立教大学理学部

*** 掛川工業高校

核研究所の電子シンクロトロンで500 MeV電子を利用して測定した。500 MeV電子によって得られた電離損失の分布を図1に示す。電離損失の相対論的増加をおさえるために Sr^{90} の β 線を利用して最小電離付近の電離損失の分布を測定した。これらの実験から得られた相対論的増加を図2に示す。また $\text{FWHM}/\Delta mp$ がエネルギーによらずほぼ一定で67%であった。FWHMは電離損失の分布の半値幅、 Δmp は電離損失の最確値を表している。これらの結果を一次宇宙線陽子のエネルギースペクトル導出のために用いる。



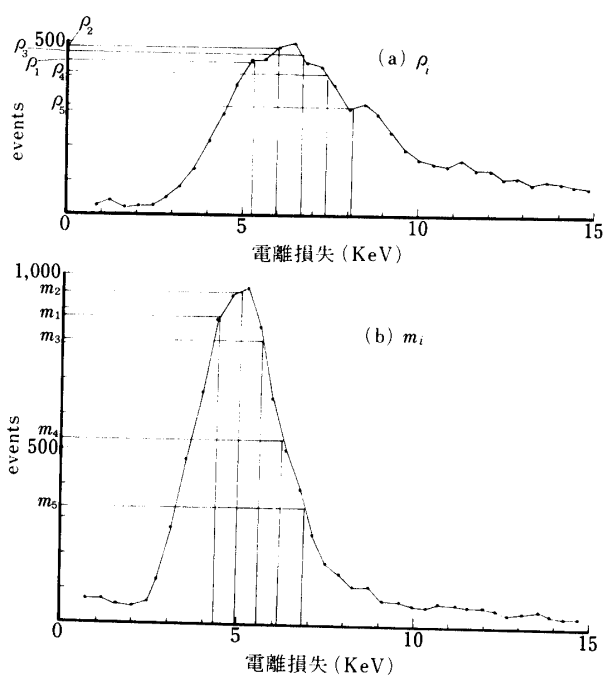
第1図 500 MeV 電子の電離損失の分布



第2図 電離損失の相対論的増加

2. 一次宇宙線陽子の測定

1980年9月22日に5段式7本集電極比例計数管により一次宇宙線陽子の電離損失の分布を測定した。今回の解析では参考文献[1]の図9を一次宇宙線陽子の電離損失の分布とする。これを図3に再掲する。

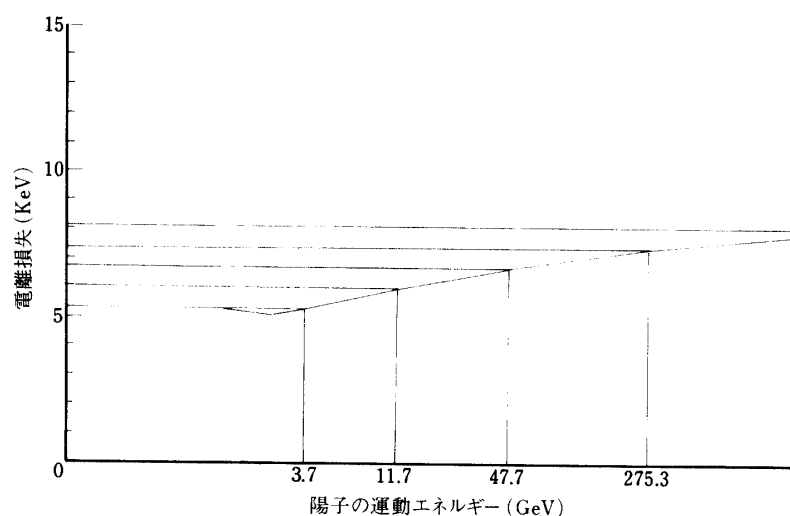


第3図 一次宇宙線陽子の電離損失の分布

3. 一次宇宙線陽子のエネルギースペクトルの導出

5 段式 7 本集電極比例計数管の 1 段あたりの物質の厚さが Ar 90 % CH₄ 10 % Gas 4 cm であったため図 1, 図 2 に次の補正を加える。

- ① Δmp を (4.0/3.4) 倍にする。
- ② FWHM を (4.0/3.4) 倍にする。



第4図 相対論的增加の分割

図1, 図2の結果を得るのに用いた比例計数管中の同じGasの厚さが3.4 cmであったためである。

$FWHM/\Delta mp$ がエネルギーによらず一定でほぼ67%であることから500 MeV電子の電離損失の分布をもとにして各エネルギーの陽子の電離損失の分布を求める。以上のことからもとづいて一次宇宙線陽子のエネルギースペクトル導出の手順を述べる。

(1) 相対論的增加の分割

相対論的增加を何KeVきざみにするかでエネルギー分布の測定点の数がきまってくる。ここでは5つに分割した場合について解析を行う。相対論的增加の分割を図4に示す。

(2) 電離損失の分布

各分割に対応するエネルギー領域の陽子による電離損失の分布を図5に示す。 j 番目の分割に Δmp をもつ陽子が i 番目の電離損失幅に入る電離損失をする確率を A_{ij} とすると、図5より

$$(A_{ij}) = \frac{1}{640} \begin{pmatrix} 79 & 60 & 40 & 24 & 14 \\ 68 & 70 & 56 & 39 & 25 \\ 53 & 62 & 62 & 51 & 37 \\ 41 & 50 & 57 & 56 & 47 \\ 31 & 40 & 47 & 52 & 51 \end{pmatrix}$$

となる。

(3) 一次宇宙線陽子の電離損失の分布

i 番目の分割に電離損失をした一次宇宙線陽子の数を ρ_i とすると、図3(a)より

$$(\rho_i) = 1.75 \begin{pmatrix} 440 \\ 485 \\ 470 \\ 405 \\ 320 \end{pmatrix}$$

を得る。

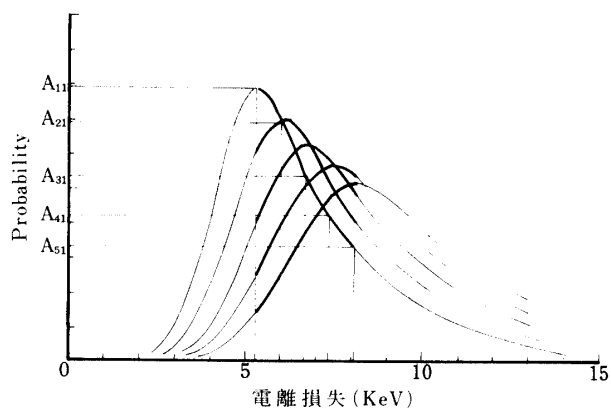
(4) 5段の比例計数管での電離損失のうち最小のものをとったときの電離損失の分布

各分割に対応するエネルギー領域の陽子が5段の比例計数管をつらぬいたときの各段の比例計数管での電離損失のうち最小のものをとったときの電離損失の分布を図6に示す。

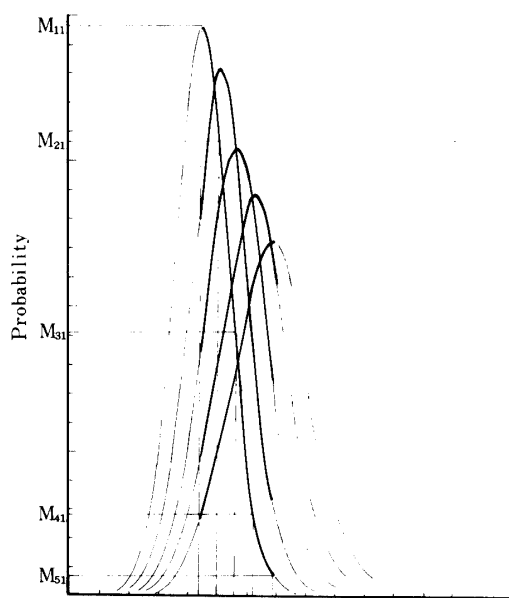
j 番目の分割に Δmp をもつ陽子が i 番目の電離損失幅に電離損失をする確率を M_{ij} とすると、図6より

$$(M_{ij}) = \frac{1}{555} \begin{pmatrix} 198 & 134 & 86 & 48 & 28 \\ 155 & 183 & 130 & 83 & 51 \\ 90 & 144 & 155 & 116 & 81 \\ 32 & 83 & 126 & 139 & 108 \\ 9 & 32 & 77 & 112 & 122 \end{pmatrix}$$

となる。



第5図 A_{ij}



第6図 M_{ij}

(5) 最小の電離損失をとったときの一次宇宙線陽子の電離損失の分布

i 番目の分割に電離損失をした一次宇宙線陽子の数を m_i とすると、図3(b)より

$$(m_i) = 1.75 \begin{pmatrix} 857 \\ 974 \\ 795 \\ 553 \\ 354 \end{pmatrix}$$

となる。

(6) エネルギースペクトルの導出

各分割に対応するエネルギーをもつ一次宇宙線陽子の数を β_j とすると

$$\rho_i = \sum_{j=1}^5 A_{ij} \beta_j$$

$$m_i = \sum_{j=1}^5 M_{ij} \beta_j$$

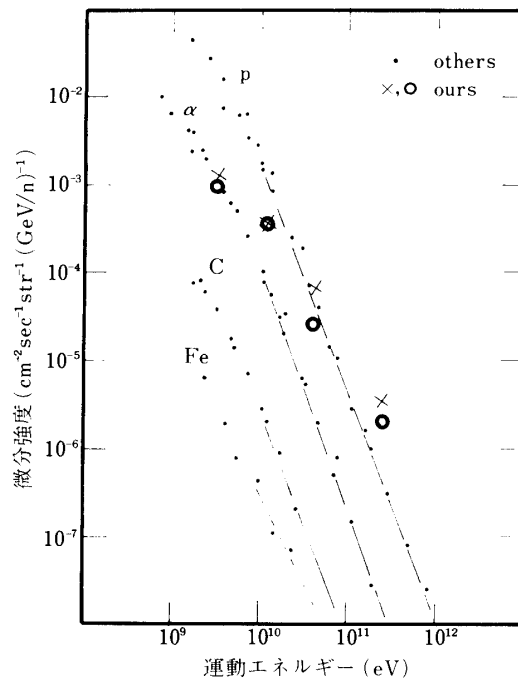
となる。そこで

$$D = \sum_{i=1}^5 \frac{1}{\sigma_i^2} \left(\rho_i - \sum_{j=1}^5 A_{ij} \beta_j \right)^2$$

$$D_M = \sum_{i=1}^5 \frac{1}{\sigma_{iM}^2} \left(m_i - \sum_{j=1}^5 M_{ij} \beta_j \right)^2$$

が最小になる β_j をそれぞれ求める。 $\sigma_i = \sqrt{\rho_i}$, $\sigma_{iM} = \sqrt{m_i}$ である。

こうして得られた一次宇宙線陽子の微分エネルギースペクトルを図7に示す。



第7図 微分エネルギースペクトル

4. 測定精度について

PC1のみから導出したエネルギースペクトル(図7×印)の11.7 GeV測定点と47.7 GeV測定点を結んで得られるスペクトルのかたむきはすでに他の測定器によって得られた測定点(・印)を結んで得られるスペクトルのかたむきに比べてゆるやかである。これは電離損失の相対論的増加 $\Delta mpF - \Delta mpM = 3.5 \text{ KeV}$ に対して $FWHM = 3.3 \text{ KeV}$ であ

るため 47.7 GeV 測定点にかなりのより低いエネルギーものが混入しているためと考えられる。参考文献[1]に示した単荷電粒子選択がまだ甘いためである。

5段の比例計数管のうち最小の電離損失を示すものの分布から導出したエネルギースペクトル(○印)の同じ測定点間のかたむきが他の測定器によるものに近づいている。これは5段の比例計数管のうち最小の電離損失を示すものの分布の *FWHM* が PC 1 だけのときの約 1/2 にせばまったためである。参考文献[1]に示したような単荷電粒子選択でも比例計数管を5段にすれば他の測定器で得られたエネルギースペクトルに近いものを得ることができるということである。

3.7 GeV 測定点はいずれの場合も地磁気 cut off の影響を受けて他の測定器によって得られたものより低く出ている。

275.3 GeV 測定点はより低いエネルギーのものの混入を除去しきれていないために他の測定器によって得られたものより高く出ている。しかしここでも比例計数管を5段にしたものの方が他の測定器によって得られたものに近くなっている。しかしこの測定点では参考文献[1]に示したような単荷電粒子選択が通用していないのがわかる。

ここでは相対論的増加を5つに分割した場合を示したがいくつに分割するかは各分割に何個の陽子がやってきているかにかかっている。各分割に入る陽子が多ければ多いほど原理的には分割をふやしてよいことになるが、図1、図2の測定精度が問題となってくる。参考文献[1]に示した単荷電粒子の選択を改善しなければならない。

5. おわりに

上昇中のデータを利用して大気宇宙線の混入を評価し単荷電粒子の選択を改善することが今後の課題である。

電離損失の分布の形をおさえるために同じ速度の電子を利用したが、機会があれば 1 GeV~1000 GeV の陽子の電離損失の分布の形を次に使用する多段式多重線比例計数管で測定したい。

データ処理上の問題点がまだいくつか残されているが測定精度を向上させるための近道は比例計数管の段数をふやすことである。段数を n とすると *FWHM* を $1/\sqrt{n}$ 倍にすることができる。段数を 50 にすると *FWHM* が ~1/7 倍になるので5段のときの3倍強の測定点を得られるものと期待される。図7からわかるように測定点が3倍強となれば他の測定器と十分競えるものとなる。

参考文献

- [1] 久下 章他, 宇宙科学研究所報告 特集第1号, 57 (1981)