

Title	直接観測による1012～1014eV領域における宇宙粒子線の研究
Author(s)	富永, 孝宏
Citation	大阪大学, 1986, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/35378">https://hdl.handle.net/11094/35378</a>
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉</a> 大阪大学の博士論文について <a>〉</a> をご参照ください。

***Osaka University Knowledge Archive : OUKA***

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

## 【4】

氏名・(本籍)	とみ 富	なが 永	たか 孝	ひろ 宏
学位の種類	工	学	博	士
学位記番号	第	7462	号	
学位授与の日付	昭和61年10月20日			
学位授与の要件	基礎工学研究科数理系専攻 学位規則第5条第1項該当			
学位論文題目	直接観測による $10^{12} \sim 10^{14}$ eV領域における宇宙粒子線の研究			
論文審査委員	(主査) 教授 高木 修二			
	(副査) 教授 竹之内 脩 教授 丘本 正 教授 宮本 重憲			

## 論文内容の要旨

本論文では筆者が日米共同気球実験 (Japanese American Cooperative Emulsion Experiment, JACRE) の一員として主に研究してきた $10^{12}$ eVから $10^{14}$ eV領域における宇宙粒子線の組成と各成分のエネルギースペクトルに関して詳細な実験方法および実験結果を述べ、他の実験結果との比較考察を行う。本実験の目的としては、

- (1) この領域の宇宙線の組成およびエネルギースペクトルを求める。特にPROTON衛星実験により報告されている陽子エネルギースペクトルの $10^{12}$ eVでの傾きの変化と50GeV/nucleon以下の領域における直接観測結果及び $10^{14}$ eV以上の領域における間接観測から予想されるエネルギー増加にともなう宇宙線組成の変化(鉄核成分の増加)をこの領域で直接的に観測する。
- (2) 間接観測により報告されている $10^{15}$ eV付近における全粒子スペクトルの傾きの変化(Knee)、頻度の盛り上がり(Shoulder)の存在の有無及びその原因を直接観測により調べる。
- (3) 50GeV/nucleon以下の領域における直接観測結果に基づく宇宙線伝播モデルの検証が挙げられる。

測定器としては原子核乾板X線フィルム、プラスチックフィルムを主体としたエマルジョンチェンバーを用いこれまでのカウンター系と比較すると約5~10倍の有効立体角( $S\Omega$ )を持つ。現在までに6回の気球による観測が行われ約 $200\text{m}^2 \cdot \text{sr} \cdot \text{hr}$ の照射面積を得ている。本論文では1982年までに行われた4回の観測で得られたデータを用いた。

それぞれのチェンバーにおける事例のトレーシング効率を発生層ジェットとカロリメータージェットに分けて求め、3つの選択条件においてトレーシング効率が100%であるチェンバーのみの事例を使って解析を行った。入射粒子の電荷は銀粒子密度計測法、 $\delta$ 線密度計測法、エッチピット計測法により求め

た。

電荷分解能は陽子について $\Delta Z \leq 0.1$  (電荷単位), ヘリウムについて $\Delta Z \leq 0.3$ , シリコン核について $\Delta Z = 0.39 \sim 1.75$ , 鉄核については $\Delta Z = 0.4 \sim 2.70$ である。

エネルギーはカロリメーター中で発達した電磁カスケードシャワーの測定により全 $\gamma$ 線エネルギー( $\Sigma Er$ )から求めた。エネルギー分解能は $\Sigma Er$ にたいして18%~42%である。

解析の結果得られた $\Sigma Er$ スペクトルに各種補正及び変換(検出効率, エネルギー測定の誤差, 測定器の収集率,  $\Sigma Er$ スペクトルから一次宇宙線エネルギースペクトルへの変換, 大気補正)を行い大気頂上における宇宙線各成分のエネルギースペクトルを求めた。

実験結果として得られた結論を以下に示す。

- (1) 陽子及びヘリウムの積分エネルギースペクトルはそれぞれ $10^{14}$ eVまで一様な傾きを持って表わすことができPROTON衛星, 或いはMOSCOWグループによって報告されている $10^{12} \sim 10^{13}$ eV領域での陽子エネルギースペクトルの傾きの変化は見られない。
- (2) ヘリウムより重い原子核成分は $10^{12}$ eV/nucleon以下のこれまでの直接観測結果を積分係数 $\beta - 1 = 1.7 \pm 0.1$ の傾きで外挿したスペクトルに一致する。
- (3)  $10^{12}$ eV/nucleon領域の鉄核成分の頻度は20~60GeV/nucleonでのJACEE 3及び100GeV/nucleon領域におけるSimon等の外挿( $\beta - 1 = 1.7 \pm 0.1$ )に一致し, 20GeV/nucleon以下の領域の外挿で( $\beta - 1 = 1.5$ )鉄核成分がエネルギーと共に増加するという傾向は見られない。
- (4) 20GeV/nucleon以下の領域でHEAO3衛星の観測結果から求められた通過物質量のエネルギー依存性( $\lambda \propto R^{-0.6}$ ), 及び源におけるエネルギースペクトル( $NdE \propto E^{-2.41}dE$ )に基づいて計算したときに単純なleaky boxモデルでは $10^{12}$ eV/nucleus領域の観測結果は説明できない。
- (5)  $5 \times 10^{13}$ eV/nucleus以上の領域における全粒子エネルギースペクトルは誤差の範囲内でPROTON衛星の実験結果と矛盾しないが,  $10^{14}$ eV/nucleus以上で傾きが緩やか(Shoulderの存在)になる傾向が見られる。

## 論文の審査結果の要旨

本論文は日米共同実験の一環として著者が担当した $10^{12} \sim 10^{14}$ eV領域の一次宇宙線粒子の組成および各成分のエネルギー・スペクトルの測定結果をまとめたものである。これらの量は, 宇宙線の起源, 加速機構, 銀河系内での伝播機構, さらにそれを通じて宇宙空間の性質を知るための重要な量であるが, 本論文であつかわれているエネルギー領域での直接測定はほとんど行われていない。わずかにソビエトのプロトン衛星による $10^{13}$ eV領域までの陽子, ヘリウムおよび全粒子のスペクトルが報告されているだけである。測定は, 原子各乾板, X線フィルム, プラスティックフィルムを組合せたエマルジョン・チェンバーを気球に搭載し, 約5 g/cm<sup>2</sup>の上空で10~30時間飛行させて行われた。これまで6回の飛行が行われたが, 本論文ではそのうち4回分のデータがまとめられ解析されている。その結果, 次のことが明

らかになった：

- 1) 陽子成分の微分エネルギースペクトルは  $E^{-2.81 \pm 0.13}$  の形で表わされ、これは今まで知られている  $10^{12}$  eV 以下のスペクトルを外挿したものと一致し、プロトン衛星による報告が主張するような  $10^{12}$  eV 付近での急激な変化は認められない、この差異について著者は両者の測定器および解析方法を詳細に比較検討し、プロトン衛星の場合に入射粒子の電荷決定精度が不十分である可能性を指摘している。
- 2) ヘリウム成分のスペクトルは  $E^{-2.75 \pm 0.2}$  形で表わされ、 $10^{12}$  eV 以下のスペクトルを延長したものとプロトン衛星のデータとも一致している。
- 3) (C, N, O) 群, (Mg, Ne, Si) 群, Fe群のスペクトルはいずれも  $10^{12}$  eV 以下のデータを  $E^{-2.7 \pm 0.1}$  の傾きで滑らかに外挿したものと一致している。

著者は更に銀河系内の宇宙線粒子の伝播機構について若干の考察を行っている。宇宙線中の Li, Be, B は源で作られた一次核が伝播中に星間物質と衝突して創られた二次核であり、(Li, Be, B) 群と (C, N, O) 群あるいは、Fe群との成分比はエネルギーに依存している。これは一次核が伝播中に通過する物質量がエネルギーに依存していることを示す。この依存性を説明するため、いくつかの伝播モデルが提唱されているが、それらは  $10^{11}$  eV / 核子以下の領域のデータに基いている。著者はこれらのモデルを単純に適用したのでは  $10^{12}$  eV / 核子以上の本実験のデータを説明できないことを示し、モデルの改良の方向を示唆している。

これらの結果は、一次宇宙線の性質について新しい知見を与え、宇宙空間の研究に著しく貢献するものであり、学位論文として価値あるものと認める。