

## 気球による粒子線の観測

小 柴 昌 俊\*

昨年 11 月末に気球シンポジウムを行なうについて前座に「いかに気球は楽しいか」を話して皆さんの気球に関する印象をよくしてくれといった意味の連絡をうけて当日は 8 mm のカラームービー等を持ち込み上記の題目からは大分はずれた内容の話をしました。ところが上記の題で原稿をまとめろといわれると当然当日の話の内容からはなれたものになりますからこれをお読みの方々はこんなことは聞いた覚えがないなどとおっしゃらないで下さい。

さて、気球による粒子線の観測は大きく分けて一次宇宙線の観測と二次宇宙線の観測とあるわけですが、ここでは宇宙研のシンポジウムであるという事情も考えて前者だけを主にとりあげることとします。これは決して後者を軽くみているわけでないのはもちろんです。一次宇宙線の気球による観測はどんなことが行なわれたかを言いかえてみると宇宙線は何であるかを知るうえで本質的な役割をした実験はほとんどすべて気球によって行なわれたことが分ります。第一に宇宙線が本当に地球外からきているのだを知る上にも気球は決定的な役割をし、さらには一次線が正の電荷を持ちまた強い相互作用をする粒子からなっていることを知るうえにも、またそれらが実は水素からヘリウム、炭素など鉄族に至るまでの高エネルギー原子核から成っているのだと知るうえにも欠くべからざるものであったことはよく知られていることです。これは当然なこととわれわれの地球大気が水深 10 米に相当する物質層である以上、地球外からふりそそぐ何かが一体何であるかを知るうえにはその上層まで出なくてはならないことは自明です。それではどのくらい上層に昇ればよいかを知る目安として空気中での各種粒子の衝突平均自由行程をながめてみますと、陽子で 80 gr/cm<sup>2</sup>、He で 50 gr/cm<sup>2</sup>、炭素から酸素位で 27 gr/cm<sup>2</sup>、さらに重くなって鉄族くらいになると 16 gr/cm<sup>2</sup> 位の空気の量がそれらの粒子の大多数を衝突でこわしてしまいます。そこで一次宇宙線の化学組成やエネルギースペクトル等を直接に調べるには少なくとも 10 gr/cm<sup>2</sup> 位、約 30 km 上空、に検出器を長時間浮遊させることが必要です。実験の複雑化に伴うテレメータリングの複雑化あるいは人工衛星の回収上の問題、費用の点などを考えると高々度に長時間浮遊して回収も比較的容易であり費用もけたはずれに安い気球が依然として地球外粒子線放射線の研究に大量に用いられさらに気球の性能を向上させるたびに大きな努力がはらわれているともうなづけることです。現在のところ高度記録としては 1.5 gr/cm<sup>2</sup> で約 10 時間というのもありますし、長時間記録としては 8 gr/cm<sup>2</sup> で約 1 トンの荷物を約 40 時間というのもあります。さらに高度が低くてもよいというのなら 100 gr/cm<sup>2</sup> の高度で密閉バルーンを用いて 1 週間以上という記録もあります。さてこれで気球による地球外物理現象の研究が、直ちにロケットや人工衛星にとってかわられるものではなく、のせる検出器の改良気球の改良などは今後の

\* 東大理学部物理学教室

切実な問題であることを一応了解していただき、次に最近の数年間どんな実験が行なわれたかを述べ今後考えられる幾つかの問題点をも含めて限られた枚数内に終えることにします。

過去数年に行なわれた気球による実験で目立つのは第一に一次電子線の発見と研究でしょう。ずっと以前に同じような気球実験で一次電子線は存在してもきわめて少ないというミネソタの実験結果があつて多くの宇宙線学者はなぜそんなに電子成分が少ないかを説明するのに苦心したものでしたがミネソタの Earl が霧箱でシカゴの Meyer がシンチレーターの積み重ねで独立に電子成分の測定を気球実験で行ないました。その後そのエネルギースペクトルや陽電子-陰電子のこれら測定されて、宇宙線の加速に際して相当量の陰電子も直接加速されているらしいとか宇宙線が星間空間を通過する際の星間物質との衝突から創られる二次粒子のふるまいなどについて貴重なデータを与えております。もともと宇宙線と星間物質との相互作用は一次宇宙線中の軽元素 (Li, Be, B) を定量しこれらが自然界にはきわめて少量しか存在しないことからどれだけの星間物質を通過してきたはずだという形でしらべられてきました。この方面の研究もますます精密化されてきて通過した星間物質量は宇宙線のエネルギーと共にどう変るかのデータも宇宙線の加速伝ばの研究に大きな役割を果しております。さらにはこうして推定された通過物質の量から逆算して宇宙線が実際に加速された場所ではどんな化学組成を持っていたかを調べるにより加速領域は宇宙の平均よりも元素合成の進んだ (たとえば超新星のごとき) ものであろうとか他の方面電波天文学などから得られるデータとにらみ合わせて面白いことが出てきております。さらには化学組成ばかりか同位元素組成も二、三の元素について行なわれはじめ、われわれの宇宙に関する情報は着実に詳細化されつつあります。よく月の破片を持ちかえることの重要性が指摘されますが、考えてみればわれわれがつかまえる一次粒子線は少量ながらも月や惑星などよりはるかに遠い天体から実際にとどいた物質なのでからこれを精密に測定することはいかに重要な意味を宇宙物理学上に持つか測り知れないものがあります。ただそれらがあまりに少量なので長い露出時間を必要としそれがひいてはより高々度のより長時間飛べる気球をとという願望になっているわけです。最近の気球実験でもう一つ頭に浮ぶのは IGY に際してミネソタ大学が行なった風船作戦です。これは IGY 期間中ずっと切れ目なしに風船を上げようという大計画で実際千個以上の大気球を用いて行なわれました。これにより太陽面爆発にともなう低エネルギー粒子線の強度エネルギースペクトル、時間的变化などかけがえのないデータが得られて太陽物理惑星間空間の物理に役立っております。ここで時間変化が出てきましたが、地上の連続観測装置が約 1 Gev 以上の粒子の時間変化しか測れないことを考えると、気球による低エネルギー粒子の短時間変動の観測はわれわれのまわりの惑星間磁場を知るうえにもっと真剣にとりあげられてよい問題でしょう。

さて残りの枚数も心細くなってきましたので今後の問題として考えられる気球による粒子線観測を二、三考えてみましょう。もちろん太陽の静かな時期つまり太陽活動に由来する惑星間磁場による変動が一番少ないと考えられる時期に、これまでおもに太陽活動のはげしい時期に行なわれた幾つかの精密実験粒子のエネルギースペクトル化学組成、同位元素組成などを測りなおして、以前のデータとくらべて変動の様子を知りさらに変動を全然大げな前つまり太陽系にとどく前のそれら一次粒子線の様相を推測することはきわめて大切ですが、こ

ここではそういったどちらかといえばオーソドックスな事柄以外に二、三考えてみましょう。一つは前記軽元素の同位元素組成を核子当り 50 Mev から 200 Mev 位の領域で正確に測ることです。くわしいことは述べる紙面がありませんがその結果を適当に分析することによって太陽系に入る以前の一次粒子線の様子が一義的に決定されます。これは他の方法が二つの未知量、つまり一次粒子線の太陽系に入る前の形と惑星間磁場による変調の程度、に対してそれらを分離して解析できないという本質的な弱味を持っていることを考えるとこの形の実験がいかに重要かがうなづけることと思います。もちろんこのとき変調のされ方も一義的に決められます。この点に関するくわしい議論は後述の参考書にゆずるとして、それではこの実験はどの程度むつかしいだろうかを考えてみます。核子当り数 Mev 位では現在の加速器物理で用いている検出器で十分な精度でこれら同位元素を分けて測定することができます。しかしこの程度のエネルギーでは地球近傍の一次宇宙線に含まれるそれらの粒子の強度が低くて何とも致し方がありません。エネルギー領域を一けた以上あげるとは相当にむつかしいことにはちがひありませんが、もしこれができたとすると 10 cm×10 cm 程度の検出器を 1.5 gr/cm<sup>2</sup> で約数時間とばすことにより十分の精度に上記の目的が達成できます。もう一つ考えて見たいことはより以上に高いエネルギーでの化学組成です。この程度高いエネルギーでは同位元素の分離は絶望ですが化学組成なら十分分離して測れますし、そのデータは宇宙線の加速機構や星間空間内の伝ばに重要な手がかりを与えます。それでは今のところどの程度のことか可能であろうかと考えてみますと、10 gr/cm<sup>2</sup> 以上にあがってそれらの重原子核を直接つかまえようとする気球の点からみて検出器は約 1 トン位、露出時間は 40 時間として核子当り 10<sup>12</sup> ev 位まで測定可能でしょう。しかしもう少し遠慮して直接見なくてもよい（たとえばそれらがこわれたときの破片、He や陽子、中性子が束になっているのを見るだけでよい）というなら高度はもっと低くてよいわけでたとえば数トンの検出器を密閉バルーンで 50 gr/cm<sup>2</sup> 位の高度を数週間浮遊させることもあながち夢ではなさそうです。こうすれば核子当り 10<sup>13</sup> ev 以上 10<sup>14</sup> ev 近くまで測定領域をひろげることができます。このくらい長時間露出になると日本であげて地球を一周させてから回収することを真剣に考えねばなりません。

以上紙数の都合上あまり定量的なことを述べられませんが興味をお持ちの方はどうか。

#### Origin of Cosmic Rays:

Supplement of the Progress of Theoretical Physics, No. 30 (1964)

をご参照下さい。

なお、現在のプラスチック気球の米国における発達程度、使用状況、今後の可能性などにふれることができなかったのは残念ですがまたいつか機会もあることでしょう。