

## 宇宙線の本性

理學博士 湯川 秀樹

### 宇宙線研究の意義

理論物理學研究の第一の目標は出来るだけ廣い範圍の自然現象に適用される、出来るだけ一般的な法則を発見することにある。一つの法則がある範圍の現象に對して成立つことがわかると、われわれはことさらにこの法則が當はまらないやうな現象を探し求める。そしてこのやうな異常現象をも包括し得る、さらに一般的な法則の發見に志すのである。この意味において、現在知られてゐる範圍内で最も桁外れの現象である宇宙線を研究する事は極めて重要である。

さらに別の角度から見ると、今日の物理學の根本問題は、物質を構成する最も窮極的な要素、すなはち電子、陽子等のいはゆる素粒子の本性を明かにし、各種の素粒子間の相互作用によつて、いかなる現象が起るかを論ずることにある。最近數年間において宇宙線の研究がこの問題の解決に非常な貢獻をしたことは周知の通りである。たとへば陽電子、中間子(メソトン)のごとき新しい粒子は、いづれも最初宇宙線において發見されたのである。なかんづく中間子のごときは、現在の實驗裝置を以てしては、人工的に創り出すことが困難であるから、宇宙線研究はこの意味においても他に代へることの出来ない獨歩の地位を占めてゐる。

### 宇宙の大旅行者

さてこれらの根本問題を解決するためには、宇宙線中の粒子が、地球上の物質を構成する諸種の粒子と衝突する際に惹起す、多種多様な現象を詳しく調べ必要がある。ところが大宇宙のどこかで發生して、長い長い空の旅を續けてやつと地上で待構へてゐる、觀測器械に捕へられるまでに、宇宙線はすでにすでに幾多の有爲轉變に遭遇してゐるのである。

まづ第一段として、宇宙に散在する星と星との間に電位差があれば、宇宙線の主要部分を構成する帶電粒子は、一方から反撥され、他方へ吸引され、迂餘曲折した路を描くであらう。さらに想像を逞しくすれば、宇宙線中には陽電氣を帶びた粒子が、陰電氣を帶びた粒子よりやゝ多いことも、これと關係があるかも知れず、またそれ等粒子の有する莫大な勢力も、このやうな靜電的な電位差に起因するものかも知れない。しかし今日宇宙間の電場分布の詳細は知られてゐないから、これらの問題に對し、明確な解答を與へる事は不可能である。

第二段として多數の粒子中、偶然われらの太陽系内に入り來つたものも、相

當遠方から地球の磁場の影響を受け、その進路を曲げられるであらう。特に地磁氣の赤道面に沿ふて走る粒子は、最も強く磁力線の作用を受け、100億ヴォルト程度以上の勢力を有するものでないと地表に到達し得ないことになる。この影響は地磁氣の兩極に近づく程少なく、從つて地表で觀測される粒子の數は、磁氣的緯度が高くなるほど増すことになる。これがすなはち宇宙線の緯度効果の原因であると考へられる。

ところが實際は、緯度が50度以上になると、上空においても宇宙線強度はほとんど一定である。これは地球に近づく以前に、すでに太陽の磁氣の影響を受け、20億ヴォルト以下の勢力の粒子は、全く遮斷されてしまふためではないかともいはれてゐる。

### 宇宙線と氣象

第三段として、無事に地球表面に接近し得た帶電粒子は、さらに地球を圍む大氣の層を通過せねばならぬ。その間に空氣を構成する窒素乃至酸素原子中の電子としばしば衝突し、徐々にその勢力を失つて行くであらう。平地の上を蔽ふ大氣の全層は、同じ重さの水の層に直せば、約10メートルの厚さに相當する。從つて宇宙線が垂直方向に入射し、かつ電子との衝突以外に、勢力損失の原因がない場合においても、最初20乃至30億ヴォルト以上の勢力を持つてゐないと、平地には到達し得ないことになる。ところが大氣層の厚さは時によつて變化する。そして厚さの大小は、地上における氣壓の高低として現はれて來る故、氣壓が高いほど、地上で觀測される宇宙線の數は少なくなる傾向を有するはずで、これがいはゆる氣壓効果に他ならぬと考へられる。

さらに地磁氣や氣壓のみならず、大氣の密度乃至溫度なども宇宙線の強度と密接な關係があることが、最近になつて段々明瞭になつて來た。その結果一方において宇宙線の研究には大氣、特に上層大氣の狀態に對する、詳しい知識が必要になつて來たと同時に、他方において宇宙線の觀測から逆に、大氣の微妙な變化を推定する可能性を生じたのである。かくして、宇宙線の強度を氣象狀態の一要素と見做すべき時期が、すでに到來しつゝあるのである。本邦におけるこの方面の研究は、専ら理化學研究所仁科研究室、及び中央氣象臺の荒川技師の協力によつて行はれ、最近興味ある結果が續々得られてゐるやうである。

ところが宇宙線と氣象の間にこのやうな深い關係があるのは、決して偶然ではないのであつて、實は宇宙線の本性に關する理論的研究から當然豫期されることなのである。これについて少しく論じて見たいと思ふ。

### 硬軟兩成分と中間子

宇宙線中には貫通力の著しく異なる硬軟兩成分が含まれてゐる。軟成分は鉛10櫃の壁によつてほとんど完全に吸收され、かつ物質を通過する途中でいはゆ

るシャワーを発生しやすい。硬成分は鉛10厘の層を容易に通過し、シャワーを伴ふことが稀である。平地上では軟成分は数において硬成分の約三分の一しかないが、高さとともに数が急激に増加し、上空ではほとんど全部が軟成分である。これ等兩成分の性質の著しい差異が何に原因するか。これを明かにすることが宇宙線研究の中心問題であつたが、一昨々年中間子が發見されるにおよんで懸案は一舉に解決し、さらに他の諸問題にまでも新しい光明が投げかけられるに至つた。

すなはち、今日では硬軟兩成分の差異が、第一にその質量に原因することは疑ふ餘地がない。軟成分は通常の電子(即ち陰電子)および陽電子にさらに光子を含めたものであり、硬成分は主として陰電氣または陽電氣を帯びた中間子より成る。高速度の陰陽電子は物質中を通過する際に、その中の電子と單なる衝突をして勢力を失ふだけでなく、寧ろ光子を放出して勢力を失ふ確率の方が大きい。そのために貫通力が著しく小さくなると同時にシャワーを生じ易くなる。これに反して中間子の質量は電子の約200倍であるから、光子を放出する機會は極めて稀で従つて貫通力も大きいことになる。

たとし宇宙線に關する今日までの實驗だけから中間子の質量が唯一であるか否かを決定することは困難であるのみならず、他の基本的な性質についても一義的な解答を與へることが出来ない。そこでどうしても、中間子に關する理論的研究の力を借りる必要がある。

ところが現在の理論の根本的假定が正しいとすると、中間子は原子核中の陽子および中性子と極めて強い相互作用を有するはずである。従つて高速度の中間子が物質中を通過する際には、電子との衝突以外に、時には原子核によつて散亂されたり、吸収されたりする譯であるが、實際はこの種の過程が豫期される程頻繁に起らないのである。これは現在の理論の缺點であつて、改良の必要があることは確かであるが、量子論全體にわたる根本問題と聯關してゐるので、一朝一夕に解決が出来ない。

#### 中間子の壽命の問題

理論の根本假定から出て來る今一つの重要な結果は、中間子が電子および中性微子に轉化し得ることである。そのために中間子は真空中でも自然消滅し、有限の壽命しか持ち得ないことになる。坂田氏の計算によれば、中間子が止つてゐる場合に、それがなくなつてしまふまでの平均の時間、すなはち固有壽命は千萬分の一秒乃至百萬分の一秒に過ぎない。ところで相對性原理によると、觀測者に對して運動してゐる時計は、靜止してゐる時計より遅れる。その結果走つてゐる中間子は止つてゐる場合より長生きすることになり、平均壽命は勢力に比例して増加することになる。たとへば、百億ヴォルトの中間子は平均と

して、十萬分の一秒乃至一萬分の一秒位は生延びる譯であるが、それでもその間に走る距離、すなはち真空中における平均自由行路は3キロ乃至30キロにしかない。これ等の一見奇矯と思はれる結論が、實は宇宙線に関する色々な謎を解く鍵であつたのである。

すなはち中間子の平均自由行路が短いために、大氣の全層を通過し切らぬ間に、大部分電子と中性微子とに變つてしまふ事になるから、地上で觀測される中間子は地球外の遠方から飛んで來たものでなく、全て大氣中で他の種類の粒子から創り出されたものと推定される。實際ミリカン等の指摘せる通り、上空において觀測される宇宙線はほとんど全部軟成分であるから、その一部が地球外から來た一次線で、硬成分即ち中間子は軟成分から派生した二次線であると考へるのは、極めて自然である。

たゞ中間子が如何なる機功によつて創り出されるかといふ問題や、一次線が果して全部軟成分であるかどうかといふ問題に對しては、理論的にも實驗的にも未だ明確な解答が與へられてゐない。しかしいづれにせよ、中間子の大多數が成層圏附近で出來たものであることは、まづ間違ひのないところである。それらは大氣層を通る間に段々勢力を失つて行くと共に、中には途中で電子と中性微子に變つてしまふのもあり、結局地上に到達する時分には、比較的勢力の大きな中間子だけが硬成分として残るであらう。それと同時に變化によつて生じた多數の電子が、地上における軟成分の主なる部分を占めることになる。オイラーはこのやうな考へに基づいて地上における兩成分の数の割合からつひに中間子の固有壽命を推算し、約五十萬分の一秒といふ値を得た。これに比して前述の理論値はやゝ小さ過ぎるが、色々な事情を考慮すると、この程度の差異は許し得るのであつて、むしろ理論の根本假定が本質的には正しいことを示すものと考へられる。

このやうに中間子の壽命の問題は極めて重要な意味を持つて居るので、最近非常に多くの學者によつて研究され、固有壽命を定める様々な方法が案出された。

#### 中間子の壽命決定の方法

それらの方法を大別すると、つぎの四種類になる。第一は上述のやうに、轉化によつて生じた電子の数を調べる方法で、第二は自然消滅に原因する中間子の勢力分布の變化を調べる方法である。つぎに空氣のやうな稀薄な物質中を通過する際には、電子との衝突によつて勢力を失つて止るまでに走る距離が長いから、自然消滅の影響が極めて大きいのに對し、鉛とか水とかいふやうな密度の大きな物質中では、走る距離が短いために、自然消滅はほとんど問題にならず、従つて同等な厚さの層を通過する際に、空氣の方が鉛や水より餘計に中間

子を吸収するであらう。これを利用するのが第三の方法である。例へば平地上における宇宙線硬成分の強度と、高い山の上において、平地までの大気層に相當する吸収物質を貫通する、硬成分の強度との差を取ると、山の高さだけの距離を走る間に、どれだけの中間子が消滅したかがわかり、それから固有壽命を推定出来る。最後に同じ空氣でも、高さとともに密度が減少すること、あるひは溫度その他の原因によつて密度が變化することなどを利用するのが第四の方法であるが、さらに細かく幾種類かに分けることが出来る。その中で特に興味があるのは、宇宙線強度の季節による變化である。たとへば夏には大氣の溫度が冬よりも高く、従つて大氣層が全體として膨脹してゐる故、中間子が發生する場所も冬より高いから、地上へ來るまでに消滅する機會が多く、従つて地上で觀測される宇宙線の數は減る事になる。ブラツケットはこのやうないはゆる溫度効果から逆に中間子の壽命を決めた。たゞしこの場合氣壓の影響をも同時に考慮せねばならぬことは勿論である。これらいつれの方法によつても、固有壽命として常に五十萬分の一秒程度の値が得られてゐる。さらに最近問題となつてゐる、宇宙線強度と低氣壓の間の密接な關係も、矢張り同じやうに解釋できるのであらう。

### 神秘の扉は開く

上記の諸方法は、いつれも中間子の自然消滅を驗證する間接の方法であつて、果して實際中間子が、電子と中性微子に轉化するかどうかといふ根本問題に對する確答を與へるものではなかつた。しかるに今年になつて、ウイリヤムスとロバーツとは非常に大きな霧函を働かすことによつて、中間子の電子への轉化を示す美事な寫眞を撮影することに成功した。すなはち陽電氣を帶び電子の250倍前後の質量を有する中間子が、霧函中で完全に靜止したことを示す飛跡の末端から、70萬ヴォルト程度の勢力の陽電子の飛跡が現れてゐる。これは全く理論の豫想通りであつて、中間子理論に立脚せる宇宙線に関する諸現象の解釋が正しいことを示す有力な證據でもある。

これによつてこれを見れば、宇宙線が大宇宙の何處かで呱呱の聲を擧げて以來、地上に到達するまでの經歷は實に複雑であるのみならず、その間には世代さへも變つてゐる。大氣中で軟成分は一轉して硬成分となり、再轉してまた軟成分となる。地上でわれわれの觀測器械に捕へられる粒子は、最早虛空を走つてゐた粒子と同一物ではない。その間において宇宙線粒子は地磁氣、氣壓、氣溫の少しの變化にも影響されずにはゐない。從來何となく神秘的なものと思はれてゐた宇宙線が、案外身近く感ぜられるのである。それと同時に宇宙線に関する多種多様で、かつ極めて異常な諸現象が、すべて一貫せる自然の根本法則に従ふ事がだんだんと明かになつて行くのはまことに愉快である。(報知新聞)