

# 談 想

## 清水隧道に於ける宇宙線の測定

理化學研究所研究員 理學博士 仁科芳雄

### 1. 緒 言

日本學術振興會宇宙線小委員會は、最近米國の Millikan 博士に依頼して、運搬及び取扱に極めて便利な Neher 型宇宙線測定器を購入した。そこで此器械の試験を兼ねて、宇宙線が物質をどの位の厚さ迄透過するものであるかを研究する爲に、鐵道省にお願して何處か隧道内で宇宙線の測定をさせて貰ひ度いといふ事を申出た所が、快く承諾せられ清水隧道が適當であらうといふので、8月14日より同22日迄観測上多大の便宜を與へられた。茲に述べるのは其結果であつて、専門外の事であるから本誌の讀者諸君には面白くもない事かも知れないが、吾々にとつては興味ある收穫なのである。

### 2. 宇宙線とは何か

宇宙線は目にも見えなければ耳にも聞えないが、四六時中間断なくボツリボツリと雨の様に地上に降り注ぐ一種の放射線である。其やつて来る頻度は  $1 \text{ cm}^3$  の水平面積を凡ての方向から通るものが平均1分間に約1個の割合である。そして其最も著しい特徴はそれが驚くべき透過力を持つて居る事であつて、鐵筋コンクリートの大建築物も宇宙線にとつては、全くの透明とは行かない迄も半透明ではある。従つて人體などは易々と貫通する。只時々骨などに衝突して、爆撃の破裂するやうな現象を起す事もあるが、孰れにしても其傷は極微小なものであるから、人に何等の感覚を與へない。或は無意識的には何等かの作用を及ぼして居るのかも知れないが、此邊は未だよく解つて居ない。或る人は動物に突然變異を起させ新しい變種を創るものは宇宙線であるといふが、其真否は今の處不明である。

### 3. 宇宙線の驗出

こんなものの存在を吾々はどうして驗出し得るであらうか。それは宇宙線が空氣などの分子に衝突すると、これから陰や陽の電氣を帶びた電子とか分子即ち陰陽のイオンを作る。依て其イオンの驗出によつて宇宙線の存在を知る事が出来るのである。

此驗出にも今日3種の方法がある。清水隧道で用ひたものは、一定の器の中の瓦斯中に宇宙線が作る陰陽イオンの有つ電氣の總量を測定して、宇宙線の強さを知るといふやり方である。此器を電離槽と呼んで居る。此方法は從來 X-線やラヂウムの出すガンマ線の強度を測定するのに用ひられた方法であつて、それ等の放射線によつて電離槽内に作られるイオンの電氣量を測定するのである。

### 4. 宇宙線の發見

こんなに奇妙な特性を帶びる宇宙線はどうして發見せられたか。それは今から24~25年前に溯る。地殻の土壤や岩石は極めて微量乍ら、ラヂウムやトリウムなど放射線を出す所謂放射性物質を含有して居る。従つて前記の電離槽を用ひて其放射線の強度を測定することが出来る。

此放射線の中で透過力の最も強いものはガンマ線である。これは光又は X-線と同じ本質であつて、只其波長が光の 10萬分の 1 乃至 100萬分の 1, X-線の 1000 分の 1 に過ぎない短いものである。その爲に物質をよく透過する事が出来る。それでも空氣中にイオンを作る事によつて其エネルギーを失つて行くから、地殻の出すガンマ線は地上約 1 km も昇れば、其間に介在する空氣に吸収せられ、理論上殆ど無くなつて了ふ筈である。

此理論を實地に試して見たのがスキッツルの Gockel、オーストリヤの Hess 兩人であつて、孰れも氣球に乗り電離槽を持つて地上 4~5 km に上昇し、放射線の有無を調べて見た。なるほど初めは放射線は昇るに従つて減少したが、4~5 km になると却つて電離は増すといふ事が判つた。此結果は何を意味するものであらうか。それは第一に放射線が地球外から來て居るといふ事を示して居る。第二に其放射線の透過力は驚くべきものであるといふ事である。といふのは X-線にしてもガンマ線にしても、普通の強度では水數十釐で吸収されて了ふものである。處で大氣の重さは水に直して約 10 m の厚さに相當して居る。放射線が地球外から地上 4~5 km の處に到達するには、どうしても水 5~6 m に相當する空氣層を通過せねばならぬ。これは上述の X-線やガンマ線の透過力とは比較にもならない大きなものである。これが宇宙線の發見であつた。

間もなく歐洲大戰によつて其研究は一時中絶したが、戰後は各國共非常な經費と努力とを拂つて其研究に熱中し、殊に多くの物理學者がこれに没頭するに至つて愈々其研究が進められた。然し研究が進めば進む程宇宙線の不思議な性能が明となり斯界の注目を惹いて居る。そして今日では其研究の發表せられる論文の數は應接に暇あらずといふ状態である。

### 5. 宇宙線の本質

それでは此宇宙線の正體は一體何であらうといふのは誰しも發する質問である。發見後 14~15 年の間は其物質透過力の大きい點からして、X-線及びガンマ線と同様に光とかラヂオの波と同じく電磁波であり、其波長はガンマ線よりも更に短いものであらうとせられたものである。

處が最近の研究結果によればさうではなくて、物質を構成して居る電子とか水素原子の核など電氣を帶びた微粒子であらうと考へられる様になつた。そして上述の様に異常な物質透過力を有つて

居るのは其エネルギーが想像もつかぬ大きな爲である。

今日宇宙線の大部分はかやうな帶電粒子であると考へられて居るが、然し其全部がさうであるかどうかは不明である。又帶電粒子にも色々あるが其孰れが主要部をなすかといふ事も未だ議論のある處であつて、これ等の事は今後の研究に其解決を俟つより外はない。

此宇宙線は今日吾人の有する如何なる手段を以てしてもこれを發生せしめる事は不可能である。それではどうして出來たものであらうか。これは全く大きな謎である。最近は新星の發現即ち星の大爆發の際生ずるものであらうと云つて居る人もあるが、未だ確證はない。恐らくこれは宇宙進化に當つて發する何等かの信號であらうが、これを讀むには吾人の智識は餘りに貧弱である。

### 6. 宇宙線の透過力

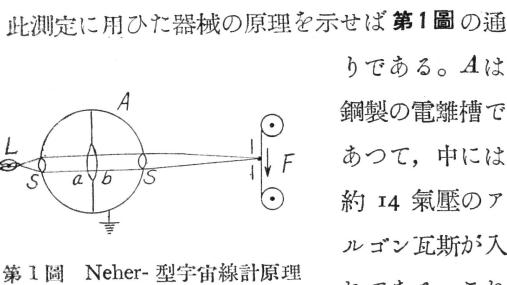
宇宙線の透過力の大きい事は既述の通りであるが、然し其全部がさうであるといふのではない。其透過力は成分によつて 1 から 160 位の比の範圍に變つて居る。そして地球外から來るものの大半は大氣中で吸収せられて是ひ、地上に到達するのは僅に其 1/300 内外に過ぎない。更に地中深く貫通するものは又其數百分の 1 に過ぎないであらう。そんなに僅かの部分ではあるが、ともかく宇宙線は隨分地下深い處迄達して居るらしい。此點を從來より一步進めて研究する爲に清水隧道で測定を行つたのである。

今日迄に地下最も深い處で宇宙線の存在を確めたのは獨乙の Kolhörster と瑞典の Corlin とである。前者は Stassfurt の岩鹽坑に入り、水に直して約 800 m (地下 325m) の深さに相當する處で測定を行つて居り、後者は Kiirunavaara の鐵礦山の坑道に入り、これも水に直して約 800m (地下 160m) に相當する深さで同様の測定を行つて居る。宇宙線の透過する深さは物質の密度に大體逆比例するから、岩石の質によつて到達距離は異なる。それで到達距離を述べるには、深さに其物質の密度を乗じて、水の深さに直したもの用ふる事になつて居る。

一體に電離槽の中の電離は宇宙線が全然無くて

も消失しない。其理由は電離槽の内壁には極微量ではあるがラヂウムなどの放射性物質が自然に附着して居る。これは地球の物質である以上避け得ない。従つてたゞへ宇宙線の無い處に持つて行つても電離がある。これを残留電離といふ。その爲に或る深さの地底に於て宇宙線の存否を明にするには、どうしても更に深い處迄行つて電離槽の電離が減るかどうかを見る必要がある。若し減れば残留電離は不變であるから宇宙線による電離が減つたといふ事になり、其上の所迄は確に宇宙線が来て居たといふ事になる。若し減らなければそれは残留電離だけであつて、従つて其上の所へも宇宙線は来て居なかつたといふ事になる。前述の兩人は共に水 800 m に當る所より深い場所では實験を行つて居ないから、800 m の深さに宇宙線が来て居るかどうかは判らなかつた。吾々は清水隧道の實験によつて此點を明にした。

### 7. 清水隧道の測定

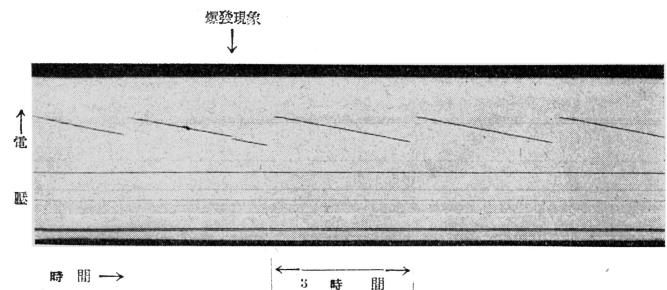


第1圖 Neher-型宇宙線計原理

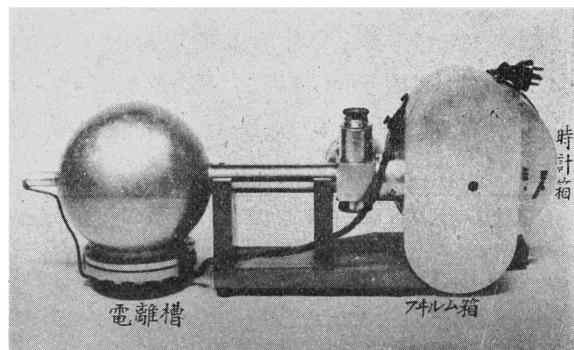
は宇宙線によつて出来るイオンの數を多くし、器械の感度を増す爲である。Aの中央には石英で出来た検電器の一種が絶縁されて入れてある。今其原理だけを示せば(實物は全く異つたものである)、例へば2本のa, bなる細い毛の様な石英線に金の鍍金をして、これを電離槽の中央に絶縁して置く。そして今これに電氣を與へて或る電壓にしてやると、aとbとは反

撥して其間隔は開く。處が宇宙線が電離槽内に陰陽のイオンを作ると、それは石英線の電氣を中和放電するから其電位は下り、a, bの開きは時と共に減少する。

そしてある一定の時間が経つと石英線には再び自働的に電氣を與へてやる様な裝置となつて居るから、a, bの



第2圖 Neher型宇宙線計記録(ボジ)



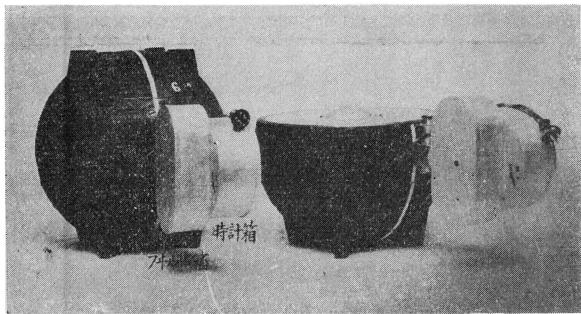
第3圖

間隔は又元の開きとなり續いて放電を始める。此動作を絶えず繰り返す譯である。そして此石英線の動きを、ランプ L とレンズ S により、一定の速度で動いて居るフィルム F に投影して寫真に撮ると、第2圖に示す様な傾いた線が得られる。此線の傾斜から電離槽内に於ける宇宙線による電離と残留電離との和が求められる。Neher の與へた器械の常数から、此電離を常温常壓の空氣 1 cm<sup>3</sup> 中に 1 秒間に出来るイオンの數に換算する事が出来る。

實際の器械の外觀は第3圖の通りであつて、左の球形のものが電離槽、右のものはフィルムを入れる箱と夫を動かす時計仕掛け入れた箱である。

既述の通り地殻からは、ラヂウムなどの放射性物質からガンマ線を出して居る。これは隧道内にもあつて其強さは隧道内の宇宙線より遙に大き

い。従つて宇宙線を測るにはこれを除く必要がある。それには電離槽の周囲を厚さ 11 cm の鉛で被つて用ひた。ガンマ線は此鉛に吸收せられて了ふが、宇宙線はこれを貫いて電離槽に入る。第4圖は鉛を付けた圖であつて、右方のものは上の鉛を



第 4 圖

少し取り除けた處を示して居る。鉛の重さは全體として 100 貫に近いものであるから、6 個に分けた運搬する様になつて居る。

此器械は乾電池と時計仕掛け併せて自働的に働く様になつて居るから、これを隧道内にあるマンホールに置いて約 1 曜夜放置して自働記録を行ひ、次の日に又他のマンホールに移すといふ様にして 8 個所で測定を行つた。

期様にして得られたフィルムを測定し、それから計算した結果を示せば次表の通りである。此表

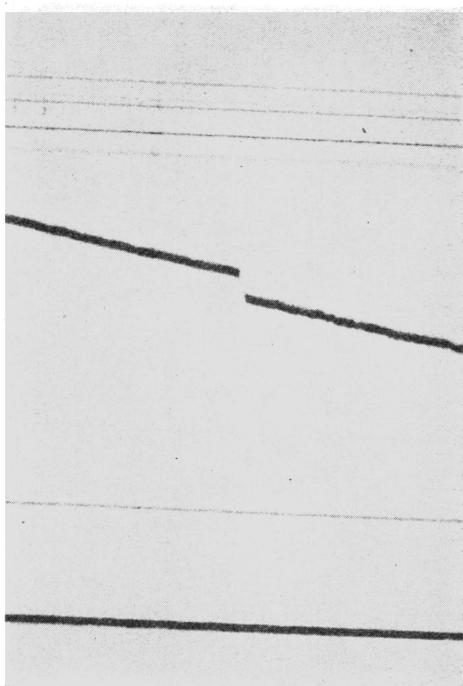
見て地殻の最も薄い方向の厚さであつて、これは參謀本部の 5 萬分の 1 の地圖及び鐵道省の地圖によつて計算したものである。これを水の厚さに直すと次列のものとなる。最後の列に與へたものが記録から換算して得られた電離である。此數字はかなり變動を示して居る。土……で與へるものは變動の蓋然値である。これは主として殘留電離の統計的變動であつて、それが大きい爲に深い所の宇宙線の存否が明にならない。これは此器械の缺點である。

最後の列を見ると電離槽の電離は、最も深い處迄次第に減少して居る様である。これが若し事實ならば宇宙線は少くとも水にして 1500~1800m の深さ迄到達するものと云へやう。然し深い所では統計的變動の方がお互の間の差より大きいから、果して實際に電離が最後迄減少して居るかどうかよく解らない。これは更に長期の觀測によつて決定せられる問題である。然し此結果だけからしても、どうも宇宙線は Kolhörster, Corlin の觀測したよりも深い所迄達するらしい様に思はれる。

マンホール番號 (高崎側より)	11	2	1	9	4	5
地殻の垂直の厚さ (m)	120	175	220	325	650	1230
水に直した其厚さ (m)	340	490	620	910	1800	3400
地殻の最小の厚さ (m)	120	175	175	290	540	880
水に直した其厚さ (m)	340	490	490	810	1500	2500
常温常壓の空氣 1 cm <sup>3</sup> 中 に 1 秒間に出来るイオン の数 (宇宙線と殘留電離との和)	0.230 ±0.001	0.223 ±0.003	0.224 ±0.003	0.222 ±0.004	0.221 ±0.002	0.220 ±0.005

の第 1 列は測定を行つたマンホールの高崎側から數へた番號である。次列は各觀測點の頭上にある岩石の垂直の厚さである。岩石は殆んど閃綠岩で出来て居るから、其比重を 2.8 として水の厚さに換算すると其次の列の値が出る。次は觀測點から

處が第 9 マンホールで撮つたフィルムを點検して見ると、興味ある結果が觀察せられる。即ち第 2 圖の矢で示した處に線がグキリと下つて居るのが見られる。これを 10 倍に擴大すると第 5 圖の通りである。これは何を示すかといふと電離槽内



第 5 圖

に驚くべき多數（約 $10^7$  個）のイオンが一時に出  
來たといふ事である。これは宇宙線爆發現象と呼  
ばれるものであつて、電離槽の周圍に置いた鉛に  
宇宙線が衝突し、これが無數の電子を發生させ、

それが電離槽の壁を通して入つて來て電離を起し  
たものである。此現象は地上から高く昇る程頻繁  
に起る事が知られ、それは宇宙線以外のものによ  
つては起す事の出來ないものである。

此結果からして第9マンホールには確に宇宙線  
が來て居るといふ事が結論される。即ち宇宙線は  
少くとも水 800 mに相當する物質を透過するもの  
であるといふ確證が得られた譯である。前述の通  
り Kolhörster, Corlin の観測からは 800 mの處  
に達して居るかどうかは判らなかつたのである  
が、吾々の結果は明に其邊に來て居る事を示して  
居る。そして恐らく更に深く迄到達して居るので  
あらう。これは今日知られて居る宇宙線透過力の  
最大値を與へるものである。

以上の研究は鐵道省工務局保線課長阿曾沼均氏、東京  
帝國大學地震研究所長石本巳四雄博士、鐵道大臣官房研  
究所渡邊貫博士、上野保線事務所長渡邊榮五郎氏の御援  
助によつて始めて行ふ事が出來た。又水上驛保線區主任  
南出保太郎氏並に同保線區の諸氏は、觀測に際してあら  
ゆる助力を與へられた。茲に厚く感謝の意を表する。

尙此研究は石井千尋理學士と筆者との共同により行  
はれたものである。（昭和 11 年 9 月 15 日）