東京物理學校雜誌 559. 560. 561 號別刷

# 宇宙線及び原子の人工變換に關する座談會

仁科芳雄先生
淺野芳廣先生　一宮虎雄先生
嵯峨根遼吉先生　關戸彌太郎先生　竹內柾先生
矢崎爲一先生　渡邊扶生先生
眞島正市先生

副會長　幹事　委員

昭和13年6. 7. 8月

# 宇宙線及び原子の人工變換に關する座談會

## ——宇　宙　線——

仁科芳雄先生

淺野芳廣先生　一宮虎雄先生

嵯峨根遼吉先生　關戸彌太郎先生　竹內柾先生

矢崎爲一先生　渡邊扶生先生先生

眞島正市先生

副會長　幹事　委員

**白井**　東京物理學校同窓會編輯部一同を代表しまして御挨拶を申上げます。

今日，御多忙の所を態々お出下さいました事は，洵に一同の深くお禮を申上げる所でございます。未だ御承知無い方が多からうと存じまするので，この際五分間許り時間を頂きまして，我が同窓會の性質を御說明申上げて置く事は無益であるまいと存ずるので，簡單に申上げ度いと思ひます。

東京物理學校は，財團法人に成つて居りまして，經營は東京物理學校同窓會であります。同窓會は卒業生を本體と致しまして，緣故の深い諸先生方を賛助員にお願ひを致しまして組織して居る會で，會員は三千名內外あるのでございます。多數學界の方々，殊に理研の方々は，特に學校の爲に御後援下さいまして洵に難有く存じて居る次第でございます。

同窓會の事業の主なるものは學校經營と東京物理學校雜誌の發行等であるのでございます。幸ひにも學校の方は相當の發展をしつゝあるやうに考へますが，遺憾な事には，雜誌の方の進步はそれに伴はない樣な感が致すのでございまして，我々編輯に携はる者の甚だ微力なる點を遺憾に存じてゐるのであります。先年，眞島先生その他の職員卽ち物理學校の先生方の幾名かに編輯顧問をお願ひ申しまして以來，非常に其の面目を一新した樣な感じもあるのでございます。眞島先生は東京物理學校の理事でありまして，申す迄もなく，先生は學校經營に就いてはその責任を負うて居られる事でございますが，東京物理學校雜誌と理事とはマア法的には無關係でございます。併し德義的に申しますと，非常に關係が深い。卽ち，學校と雜誌とは一身同體と云ふ意味でございまして，學校の爲にお骨折を下さる眞島先生は同時に雜誌の爲に多大の關心を有つて居られる事と存じます。何にいたせ，雜誌の盛衰消長が最も學校の盛衰消長にも重大なる關係があるのでございますから，雜誌の編輯に携はる者としましては，やはり學校の聲價を高むる上に於いても，此の編輯には非常なる力を竭さなければならんと思ふのでございます。

何卒，今後とも學校に對する御同情と同樣に，この雜誌の編輯の方に於きましても，何分の御助力を賜はり度いと願ふ次第でございます。雜誌の發展に就いて，我々同窓に代りまして希望を申述べ，一層の御助力をお願ひ致し度い。これは同窓三千の喜びとする所でございます。一言お願と御挨拶と希望とを申上げた次第でございます。

### 宇　宙　線

**眞島**——それぢや，早速ですがお願ひ致しませう。宇宙線のお話をお願ひする前に一つお願ひがあるのです。それはなる丈平易に，言葉を換へると萬人向にお話を願つたらいゝかと思ふのでございます。宇宙線と云ふ名前位は承知致して居りますけれども，どう云ふ方面に研究がされて居るか，又，宇宙線と云ふのはどう云ふものであるかと云ふ樣な事に對しては，餘り知識を有つて居ない人が相當あると思ひますから，さう云ふ方に敎へると云ふ樣なお氣持で，極く分り易くお話をお願ひし度いと存じます。

先づ，宇宙線 (Cosmic ray, Kosmische Ultrastrahlung) 發見の歷史と云ふ樣なことからお願ひ致し度いと思ひます。

**仁科**　それでは，發見の歷史を話します。

これはスキッツルの A. Gockel (1910 年)，その次にオーストリヤの V. F. Hess (1911 年)——斯う云ふ人がやつたのですが，普通土壤とか地殼及び空氣の中には極く微量ではありますが，放射線を出す物質，例へばラヂウムとかトリウムとか，さう云ふ物があるのでありまして，それから出て居る放射線が空氣を電離して居ります，そしてその爲にエネルギーが使はれます。これ等の放射線の中で γ 線が最も

物質に對する透過力が大きいのでありますが，その γ 線にしても空氣を電離する爲にエネルギーが失はれ，空氣に吸收されます。從つて其吸收率から計算して見ますと，地上約 1 km 位迄昇れば，γ 線のさう云ふ作用も及んで居ないだらうと推定できるのであります。此計算結果が實際と合つて居るかどうかと云ふことを上の二人の人 (A. Gockel, V. F. Hess) が實驗した譯でありまして，それは測定器を持つて氣球に乘り段々上に昇つて空氣の電離がどう云ふ樣に高さと共に變るかと云ふことを見ると，はじめは成程高く昇る程電離が段々減つて行つたので，これは計算通りに成つたと思つたのです。所が段々上昇して行きますと，今度は減らないで，逆に殖えて行くと云ふことが分りました。殖えて行くと云ふことは，取も直さず，地球の外界から地球に向つて何か放射線がやつて來て居ると云ふことを示して居ます。さうだとすると，やつて來て居る放射線は物質に對する透過力が非常に大きいと云ふ事が分る譯です。と云ふのは例へば，地上から 5 乃至 6 km の高さ迄その放射線がやつて來て居ると云ふ事は，水 5 乃至 6 m に相當する空氣を通つてその邊にやつて來たといふ事になります。所で，吾々が識つて居る X 線とか γ-線とかは，普通の强度のものは，大體水で數十糎乃至一米もあれば吸收されるわけです。處が水を數メートルも通して尙ほやつて來て居ると云ふことは，明かに吾々の識らない非常に大きな透過力を有つた放射線が地球の外部から地球に向つて來て居ると云ふことを示して居る譯でありまして，その透過力の駭くべきものであると云ふことが分つたのであります。これが宇宙線の發見でありまして，それは今日から 25, 6 年前卽ち歐州大戰前の事であります。それから段々種々な研究が出て來た譯であります。——以上が大體發見の歷史であります。

それでは測定の方法に就いての說明を淺野君にお願ひしませう。

**淺野** 宇宙線の測定には三つの方法があるのですが，先づ僕が一番やつて居る方法から敍べまして，あとは夫々專門家が居らつしやるから，そちらの方へお願ひ致します。

その三つの方法と申しますのは，宇宙線が通る時に物質を電離しますから，その電離する强度 (intensity) を使つて測定する電離槽 (ionisation chamber) に依る測定が一つ。それから宇宙線が一つ通つて來た時に，計數管 (Counter, Zählrohr) 內に放電を生じ，それが增幅器に依つて記錄される計數管に依る方法が一つ。それから宇宙線の通つた跡 (Track) を見る爲につくつた Wilson 霧函 (Cloud chamber, Nebelkammer) の方法と云ふのがあります。その外に，寫眞乾板に依つて宇宙線の飛跡をみる方法がありますが，これはまだ精確な結果を得る迄に到つて居りません。

電離槽 (Ionisation chamber, Ionizationskammer) に依る測定に就いて申上げます。これは大體二つの方法で發達して來たものであります。はじめに仁科先生が仰言いました樣に，驗電器をその儘空中に放置して置きますと，自然に開いて居た箔がしぼんで來ます。さう云ふ風に，一度荷電を與へて置いた electroscope (驗電器) が如何に絕緣をよくしてもだんだん discharge して行くものであつて，それが宇宙線による譯であります。その驗電器がしぼんで行く詰り時間的に迅(はや)くしぼんで行くかどうかと云ふ率をとりまして宇宙線を計る。所謂 discharge して行く方法と，それからもう一つは Ionisation chamber の一方の電極に 200 volts とか 300 volts の電壓を與へまして，宇宙線に依つてつくられたイオン (ion) を電氣計に集めて行く方法と二つあります。

第一の discharge の方法は，裝置が非常に簡單でありますから高い處，例へば飛行機，氣球に乘せたり或は山に持つて行つたりする時に割合便利です。それから又水中深く沈める場合に行つた實驗，例へば，Regener が一週間以上も水中に入れたのは discharge-type の測定器であります。

次に，宇宙線の測定を非常に正確に知り度い時には，その宇宙線を計る電離槽に例へばアルゴン 40 氣壓とか 50 氣壓とかを詰めますと，非常に感度が好く成り，更にその上感度をよくする爲には compensation の方法を用ゐてやるのであつて，これが第二の電氣を集める方法であります。A. H. Compton 或はドイツでは E. G. Steinke に依つて連續的に研究をされて居る裝置で，之れに依つて時間的變化とかその他 barometer に依る變化を詳しく識り得る方法であります。

これは正確な方法でありますが，宇宙線の澤山の量を一度に計ることに成るのであつて，從つて一本々々宇宙線を計る實驗をする時には，他の方法によらなければならないのですが——

**仁科** その方法を一つ關戸君に願ひませう。ioni-

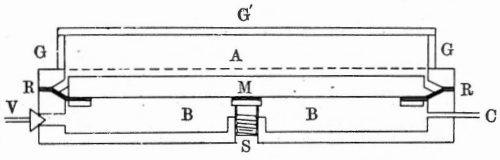
sation の話はその邊で結構です。

**關戸** 宇宙線を計る今一つの方法は，Geiger-Müller の計數管 (Counter, Zählrohr) と云ふものを使ふのであります。これは元ラヂウムから出る放射線を一箇一箇數へる爲に發明された物でありまして，金屬の中空の筒の中に細い針金を一本張つた物をつくり，水銀柱で 5 cm 內外の低い氣壓の gas を詰めたものであります。此の兩方の電極の間に高い電壓を掛けて，今少しで放電が始まらうとする狀態に置きますと，宇宙線は雨の樣にばらばらと降つて來るものでありますから，これが此管の中を通りますと，此中にかすかな放電を起します。之れを增幅器に依つて增幅して此の管の中に入つて來る宇宙線の數を算へる譯であります。

**仁科** その次にサツキ淺野君が言つた Wilson 霧函に就いて一つ竹內君にお願ひします。

**竹內** Wilson 霧函 (Cloud chamber, Nebelkammer) で宇宙線を研究する方法，是は非常に吾々に取つて面白い。といふのは，宇宙線の通つた跡が眼に直接見られるといふ事で，これは宇宙線の本質が何であるかと云ふ事を知る爲に非常に役立つ方法であります。

此の Wilson 霧函と云ふものゝ原理は，蒸氣が過飽和狀態に成つて居る時にイオンとか，塵埃とかゞあると，それに蒸氣が凝集して液滴をつくるといふ性質を利用したものでありまして，Wilson 霧函の重要なのは，蒸氣をその過飽和の狀態にすると云ふことだけであります。それには斷熱的變化を瓦斯に起させます，ある溫度例へば室溫の時に飽和蒸氣を含んで居る瓦斯を急に膨脹させまして溫度を降下させ，過飽和狀態に致します。その樣に瓦斯を膨脹させる機構は數種類はありますが，原理としては唯それだけで，ある氣體を膨脹させますと斷熱的變化に依つて溫度が急に下りますので其處を恰度宇宙線が通つて呉れますと，その通つた道筋に沿つてイオンをつくつて呉れますから，そのイオンを中心に蒸氣が凝結しまして，宇宙線の通つた跡が液滴の線として殘るのであります。その殘つた跡をみることに依つて種々な實驗結果が獲られます。




第 1 圖　ウイルソン霧函略圖

G′ は硝子板，G は硝子輪，R はゴム，M は金屬圓板．これらに依つて A なる場所が外と氣密にされてゐる．鏝 V を閉し細孔 C より壓搾空氣を B に入れると M はその表面が點線の位置まで押出され，A 內の瓦斯は壓縮される．

鏝 V を開けると B の壓搾空氣は逃げ，壓縮されてゐた A 內の瓦斯は M を押戻して膨脹し，溫度が急に降下する．

S は M の止め金．

**仁科** 先程淺野君が話しました電離を用ゐる方法では，曩に學術振興會の小委員會の仕事として，淺野君が今出征して居る石井君と二人で富士山に登つて宇宙線を測定したのですが，その話を一つ簡單に述べて下さい。

**淺野** 昭和十年の八月半頃から Compton 型の宇宙線計を持つて石井さんと二人で富士山に登つたのであります。當時，電氣計その他に就いても種々苦心をしまして先づ頂上に往つて測定を始めたのです。是れ迄に既に A. H. Compton 及び R. A. Millikan に依つて高さに依る變化の記錄は出て居りますが，日本に於いても同じ樣な高さに依るカーブが得られるかどうかを吾々は期待を有つて行つた譯であります。

先づ富士山の上で，その針の動きを寫眞に撮りまして，(山頂は 3,700 m でありますが) 漸次降つて五合五勺，次に太郎坊といふ具合に測定したのでありますが，その結果は，今迄やつた人の結果とよく一致いたしました。吾々の研究が歐米の研究に追付く爲に先づ第一の出發をした譯であります。新しい結果を得るといふことの出來ないのは寧ろ當然であつたかも知りませんが，同じ結果を得て吾々は自信を獲たのであります。

**仁科** 富士山の宇宙線の强さは，東京のどの位に成つて居りますか。

**淺野** 2.5 倍位です。

**仁科** その次に今 Wilson 霧函の實驗で一宮君がやつて居るのを一つ話して下さい。

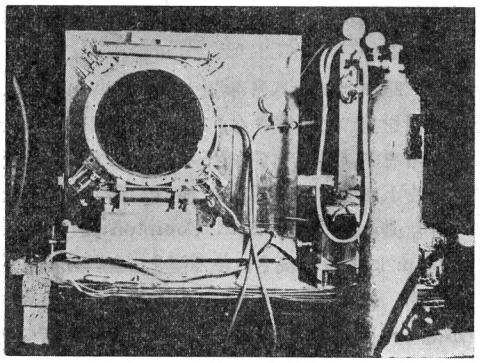
**一宮** 一つはやつて來ます宇宙線のエネルギーがどう云ふ分布をしてゐるかと云ふ事，もう一つは，宇宙線がやつて來ます時にそれが鉛や何か種々の物質に依つてどう云ふ樣にエネルギーが吸收されるか，その二つが今の所 Wilson 霧函でやつて居る主な實驗だと思ひます。

私達ははじめに恰度その頃イギリスで以て P. M. S. Blackett と云ふ人がエネルギーの分布をやつて居りましたからそれをチエックする意味に於いて，そのエネルギーの分布をやりました。その內に宇宙

線のエネルギーの吸收と云ふことが非常に面白いものであるといふことを，恰度その頃においでに成つたデンマルクの N. Bohr 先生のお話で知つたので急にその方の實驗をやる事に成つたのです。

**仁科** その chamber の大きさとか，どう云ふ樣な事をやつたかと云ふ樣な事を先づ話したら——

**一宮** Wilson 霧函は，普通大體その大きさは深さが數糎で直徑が 15 cm 位の圓壔形の物であります。私達はその直徑をもう少し大きくして宇宙線の

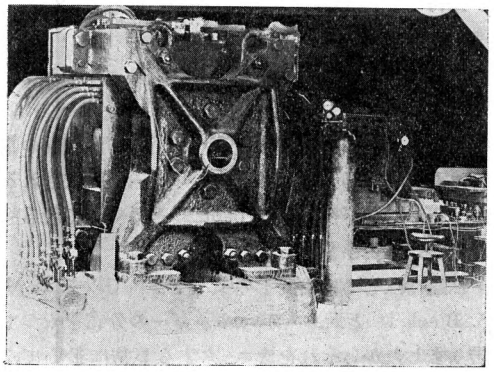


第 2 圖　宇宙線撮影用ウィルソン霧函（直徑 40 糎）

撮れる長さを長くした方が宜からうと云ふ事で，大きな 40 cm の Wilson 霧函をつくつて，それで實驗をしたのです。P.M.S. Blackett のは 30 cm であつたが，こちらの方がずつと大きいのでエネルギーなどもつと精確に行くだらうと思つてやつたのであります。

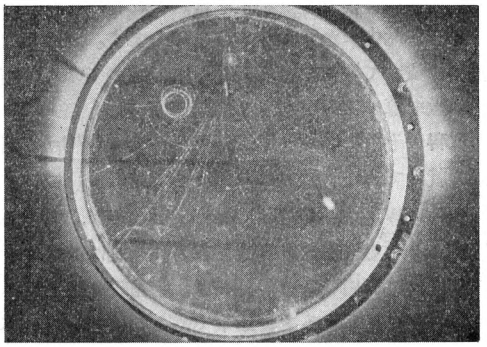
**仁科** それに使つた power とか重さと云つたものは?

**一宮** たゞ Wilson 霧函で以て撮影だけ致しましても，宇宙線のエネルギーが分る譯ではございません。エネルギーの大さを知る爲には磁場の中で以て電氣を帶びた粒子が走りますと，其徑路が曲げられ



第 3 圖　宇宙線撮影用電磁石

ると云ふ事から，大きな磁場の中で以て粒子の徑路を曲げるのであつて，その磁場の强さが强ければ强い程同じエネルギーのものでもその曲り方は劇しくなるから磁場の强いものを用ゐる。それには磁石の大きな物が要る事に成ります。それで，17,000 ガウス位出る電磁石をつくつて，それは隨分大きなものであつて鐵壔全體で 15 瓲位のものですが，之れにコイルを卷いて電流を數千アムペア通してやると磁極と磁極の間が 20 cm で 17,000 ガウス位磁場が出て來ます。さう云ふ强い磁場の Magnet の中に



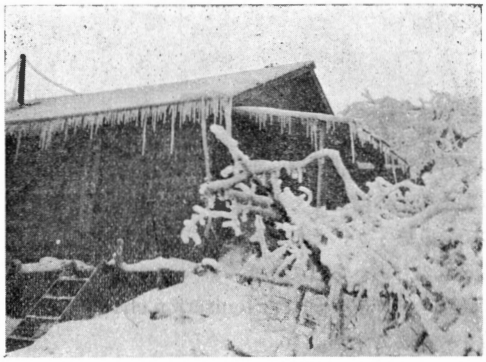
第 4 圖　Wilson chamber で path が曲げられた寫眞

Wilson 霧函を入れまして，さうして宇宙線の曲りを一々寫眞に撮つて計る譯であります。

**仁科** 關戸君は北海道の皆既日食の時，斜里嶽の上に行つて觀測をしたが，その事を一つお話を願ひます。

**關戸** 昭和 11 年の 6 月 19 日に北海道地方に日食 (solar eclipse) がありまして，その際吾々は宇宙線の强度 (intensity) と日食との關係を調べる爲に觀測に行つたのであります。日食の際には種々の地球物理的な變化が起りますからその第二次的變化として宇宙線强度の變化が有り得るのであります。宇宙線は大氣に依つても一部分吸收されるのでありまから成べく吸收されない以前の狀態を調べようと思つて，出來るだけ高い山の上に上つて觀測する事に致しました。その爲に日食の中心地帶上の斜里嶽を選びまして，その年の 4 月今出征して居られる石井さんが實地踏査に赴かれ，斜里嶽の八合目位の所，高さで 1,260 m の地點を選びました。その頃，斜里嶽は悉皆雪に蔽はれて居りましたが，その上で觀測小屋を建てる爲の材料を運搬し，5 月の半ば頃に到つて漸く觀測小屋が完成致しました。吾々は理化學研究所で製作しました感度の高い電離槽一箇と

Neher 型の簡單な電離槽一箇を觀測に使つたのであります。理化學研究所でつくりました型のものは感度を上げる爲に先程淺野さんからお話がありました樣に，氣壓が高く且つ大きいものでありまして，その爲め目方が 30 貫あまりになります。又宇宙線以外の放射線を遮る爲に使ふ鉛が 120 貫乃至 130 貫に成るのであります。それを雪の降つて居る嶮しい山道を引上げる爲に北海道廳始め土地の公共團體の



第 5 圖　斜里嶽の觀測小屋

方々に非常にお世話に成りました。觀測は日食の前後一ケ月餘りに亙つて自働的に宇宙線强度を記錄しました。その結果を調べて見ました所が，日食當時の宇宙線强度も，それ以外の時に比べて何等著しい變化がなかつたのであります。

**仁科**　日食が宇宙線に影響が無いと云ふことは前から大分實驗をした人があつたのですが，吾々が何故やつたかと云ふのは，此の前アメリカに日食があつた時に測定した人がありまして，さう云ふ人は影響がある，即ち日食の時に宇宙線に變動がひどくなつた――さう云ふ結果を報告して居るのでありまして，それが嘘か本當か實驗してみようと云ふ事が一つの目的であつて，もう一つの目的は，先程の御話の樣に測定器を理研でつくつたのでありますが，これは日本學術振興會の仕事として，日本全國に 5 ケ所の宇宙線觀測所を置くことになつて居り，それに据付ける器械であります。それが巧く働くかどうか，又觀測所は南は南洋のパラオ，その次が臺灣の阿里山，富士山の頂上，東京，樺太の豐原――それだけに置くのでありますから，これ等の目的地に運んだりなんかする時に毀れないで，巧く向ふの測定が出來るか，それから寒い處例へば富士山の頂上などに持つて行く時にどう云ふ樣に成るかと云ふやうな事の經驗を獲ることが大切です。これがも一つの目的であつたのであります。

**眞島**　今据付けてあるのですか。

**仁科**　今年――昭和 13 年度中には完成されて，方々に据付ける積りで居ります。これは餘程前からの宿題として，日本始め日本附近の宇宙線の測定をやると云ふ事が目的で日本學術振興會の小委員會が出來た譯ですから――

**眞島**　東京のはそれであります。

**仁科**　斯う云ふ宇宙線は一體何だ。――それは誰でも懷く質問ですが，之を決定するには種々の實驗が必要なのです。先程宇宙線は非常に物質を透過する力が强いと言ひましたが，是れは全部が全部さう云ふ樣に透過する力が强いのではなくして，大部分は空氣に吸收される譯です。從つて本當に吸收されて居ない宇宙線を識らうとする爲にはどうしても先程言つた樣に，富士山に登つたりなどして高い所に行く必要があるのです。それから又高い處のみならずずつと水の深い處に行くとか，地の底に行くとか，さう云ふ事をして種々の條件に於いてどう云ふ樣な性質を現はすかと云ふ事を觀て，此の本質を知る必要がある譯です。どう云ふ樣な事をして，高い處で宇宙線の測定をするかと云ふ事を一つ淺野君にお願ひします。　（未完）

# 宇宙線及び原子の人工變換に關する座談會(II)

## ——宇　宙　線（續）——

### 宇　宙　線（續）

**淺野**　初めは人が乘る樣な例へばピカール（A Picard）教授が行つた樣に氣球に人と器械を乘せて上つたり，或は飛行機に乘せたりして 10,000 m 近く迄上昇したのですが，近頃ではそれでは到底上空の宇宙線を測定する事が出來ませぬから，今度は宇宙線を測定する器械を人の乘らない氣球に乘せまして，それに依つて氣球の達し得る高い處迄測定しようと思つて，今世界の宇宙線を研究する人々は進んで居る譯であります。氣球が拾へる場所ならいゝのですが，例へばヨーロッパ大陸とかアメリカ大陸の樣な所では落下して來たところを拾へますが，墜ちて來た所を拾ふことができない日本の國の樣な處ではどうしたらいゝかと云ふ問題が起る譯であります。今までに結果を獲られて居つたのは，落ちて來た宇宙線計を拾つてその强度をみたものであります。例へば，ドイツの E. Regener 或はアメリカの R. A. Millikan 達が測定したのでありますが，先づ宇宙線が段々上に上ると共にずつと增しまして丁度 200 倍近くに成るのであります。それで大氣の上から水銀柱で 8 cm 位の所で，一番强く成つて，それからあとすこし降つて行く樣な傾向を示して居るのでありますが，その先がどう成るかと云ふことが，本質を識る爲に今大きな問題に成つて居る譯であります。それで，その爲に今度はサッキ御話のあつた計數管を用ゐまして，宇宙線が計數管を通る度毎に，ラヂオに依つて地上に送ると云ふ方法に依つて今研究を進めて居るわけで，最近アメリカの人々に依つて得られた結果に依れば，その大氣の非常な上層に參りますと，宇宙線が又下つて來る——さう云ふ現象が知れて來た譯であります。さう云ふ風に宇宙線がやつて來て，一度强度（intensity）を增して又減つて行くと云ふ狀況は，地上でシヤワーの生ずる回數がその上の鉛を厚くして行くと一度上つて又減るのでありますが，それと高い所での現象とは關聯があるものと考へられてゐます。

**眞島**　ラヂオを使つて Ionisation chamber の實驗をやるのですか。

**仁科**　吾々がやらうと思ふのは，先程關戸君が言つた樣に Geiger-Müller 型の計數管を使ふのです。

**眞島**　それを使へば日本でもできるわけですネ。

**仁科**　日本學術振興會でもそれを計畫して，今その裝置を設計中ですから，その內に出來ると思ひます。

**眞島**　氣壓 8 cm と云ふと，どの位に成りますか——

**仁科**　25 km 乃至 30 km です。

**眞島**　ピカール（A. Piccard）は？

**仁科**　16 km です。

**眞島**　すると約 2 倍なんですな。

**仁科**　アメリカで Major, A. W. Stevens と Captain, O. A. Anderson とがやつたのは 22 km で，これは飛行船で昇つたものです。

**原田**　その時の氣壓は判りませんでしたか。

**淺野**　50 mm Hg 以下と記憶してゐます。

**仁科**　今のは高い所のお話ですが，今度はずつと深い所の宇宙線の測定に就いて誰か？

**竹內**　先生は御自身で隧道迄入られたのですから——

**仁科**　先程のお話の樣に E. Regener なんかは水の底 250 m 位の所に測定器を沈めて計つたので，その邊にも宇宙線が來て居ると云ふことが判つたのですが，もつと深い所での測定をやらうと云ふのでいろいろの人が炭坑とか種々の鑛山の坑道に測定器を

持つて行つて測定をした譯であります。吾々も前に上越線の清水隧道に宇宙線計を持つて行つて測定をして見たのですが，測定器が餘り正確でなかつたものですから，判然した事は分りませんでした。その時は測定器の零ポイントを決めると云ふ事が目的だつたのですが，それは目的を達しました。宇宙線が何處迄來て居るかそれははっきりした事は分りませんでしたが，然し土壤を水に直して 800 m 位の深さの邊迄來て居ると云ふ事は判りました。それは，その測定器が宇宙線に特有な現象を示して居つたからです。宇宙線が鉛等に當りますと，一遍に數百萬，數千萬のイオンを測定器の中につくることがあります。これを宇宙線の爆發現象と云ひます。所で清水隧道で水に直して 800 m の深さの地點で，それを記錄計が記錄して居つたのです。さう云ふ樣な事は，他の放射線ではできないのであつて，宇宙線に限られて居る譯ですから，その邊迄來て居る事が判つたのです。

最近アメリカの A. H. Compton 等はもつと深く，水に直してその倍の 1,400 m 位の處迄入つて行きまして，宇宙線が來て居ると云ふ事を判然示しました。

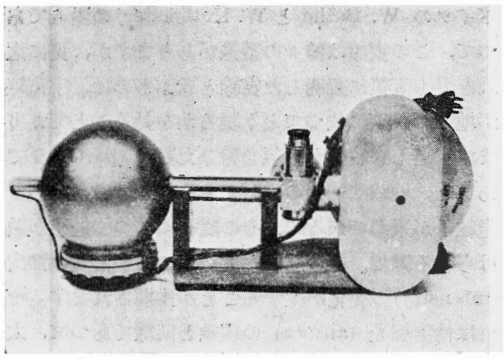
それからハンガリーの J. Barnóthy, M. Ferró の二人がやりましたが，やはり深さは水 800 m 位のものです。然し計數管を使ひまして地面を斜めに入つて來る宇宙線を觀て，その斜めに通つた厚さから勘定をして，大體水 2,500 m 位迄通つて來ると云ふことを言つて居ります。水 2,500 m は普通土壤にすると 1,000 m 位ですが，實際地の底 1,000 m 迄行つて測定したのではないのです。若し宇宙線が地の底までちつとも曲らずに眞直ぐに來れば，この結論はいゝのですが，これは確かな事は言へないのです。吾々の實驗は確かです。何故なら吾々は地の底に入つて行つた譯ですから。この清水隧道の研究は更に續けて行き度いと思つて居ります。かやうに深い所の實驗で，段々宇宙線の本質が分つて來たのです。

それでは，その宇宙線の本質に就いて話すことにします。

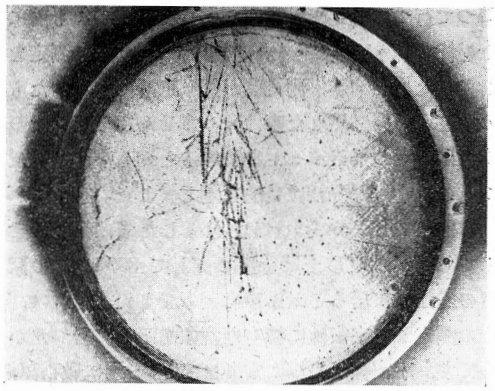
宇宙線は初めは光や X 線——さう云ふものと同じ本質を有つて居る，つまり電磁波で波長が非常に短かいものであると云ふ樣に考へられて居つた譯です。所が，種々の實驗からしてさうではなささうである。これは電氣を帶びた粒子で，電子或は水素原子の核即ち陽子 (proton)——さう云ふものらしいと云ふ事が言はれて來た。最初にこれを言出したのはドイツの W. Bothe と W. Kolhörster の兩人であつて，この實驗は種々の議論がありますが，更に之れを最も直接に證明した實驗と云ふものは，宇宙線が地球の緯度に依つてどう變るかを見ることであります。若し宇宙線が電氣を帶びた粒子 (particle) であると，地球は一つの磁石であるから，さう云ふ帶電粒子が飛んで來る時，その磁石に依つて進路が曲げられる譯で，その爲に緯度によつて宇宙線の强度 (intensity) の變化が生ずることが豫期されます。それは恰度極光 (aurora) の現象と同樣であつて，太陽から帶電粒子がとんで來る。さうすると赤道附近の緯度の低い所には地球の磁氣の爲に行けないのですが，兩極の地方にはそれが行つて極光を起すのです。それに似た事が宇宙線にもあるのではなからうかと云ふ事で實驗された譯です。

此緯度に依る宇宙線の强度 (intensity) の變化の實驗——之れに就いて淺野君に御願ひします。

**淺野**　荷電粒子でありますと，地球には磁場がありますから，それに依つて曲げられて，赤道に近づくに從つて强度が減ずる譯です。さう云ふ事を氣付きまして皆んな研究を始めたのでありますが，不幸にして宇宙線を研究して居る人達は孰れも緯度の高い所に居りまして，あとから考へて見ると，緯度の高い處は割合一定であると云ふ事が知れたのです。それにも拘らず一つ赤道の近く迄行つてみようと，オランダの J. Clay はアムステルダムから態々ジャワ迄出掛けて行つて，はじめて宇宙線が 12,3% 迄明かに地球上の位置に依つて，赤道程少なく成つて居ると云ふ事が判つた譯です。それから後，研究が擴まつて，アメリカの A. H. Compton, R. A. Millikan 等が世界中の宇宙線を計つてみようと云ふ事に成つて，船に乘り，或は宇宙線計を持つて世界中を旅立つたのであります。で，初めて宇宙線の强度の地圖を書いた譯であります。それが磁場の變化を受けると云ふことを非常に明白にし，宇宙線の中には荷電粒子が明かにあると云ふ事を明瞭に示したのです。吾々も日本の近くの宇宙線の强度 (intensity) を測定致し度いと思ひまして，その魁けと致しまして，日本郵船會社の北野丸（濠洲航路）に宇宙線計を搭載致しまして，緯度に依る變化を測定致しました。その結果を觀ますと，赤道に於いては高緯度の約 13% だけ減少して居ると云ふ事に成つて，明かに地球の磁場に依つて影響を受ける と云ふ事を吾々も識つた譯であります。



第 1 圖　濠洲航路宇宙線測定に使用した測定器（北野丸上に於ける）



第 2 圖　Shower の寫眞

**仁科**　それで，確かに宇宙線のある部分は電氣を帶びたものであると云ふ事は分つた譯ですが，全部がさう云ふ樣に電氣を帶びたもの許りかどうかと云ふ事は，まだ相當に疑問のある所でありまして，現在の理論から致しましては，それは一寸決定し難い問題だらうと思ひます。確かに電氣を帶びたものは相當にある。併し元々地球にやつて來て居るもので，電氣を帶びないものは全然ない，即ち γ-線型のものが全然無いと云ふ事は其處へ行つてみなければ分りませぬが，さう云ふ處に往けませんから，理論でやらなければならない，所が理論ではその識別は一寸困難だらうと思ひます。

**眞島**　サッキお話の水にして 1,400 m と云ふ深い所へ來る宇宙線は，それは帶電粒子なんですか，γ 線型のものですか。

**仁科**　それはまだよく判らないのです。さう云ふ深い所迄來ると云ふ事は實は非常に不思議なのです。現在の理論では陽子とすれば，それが非常に大きなエネルギーを持つて居れば，そんな深い所まで達し得るのです。然しそんな大きなエネルギーを持つたものは極めて稀です。更に，不思議な事は，水 800 m 邊迄もやつて來て，先程言ひました樣に，一遍に非常に澤山のイオンをつくるのです。一遍に澤山の帶電粒子を出すと云ふ樣な現象がそんな深い處迄あると云ふ事は，實際不思議なのです。と云ふのは，今日の理論からして，さう云ふ樣に一遍に澤山の粒子 (particle) を作ると云ふ事は了解出來ますが，併しさう云ふ粒子は今日吾々の識つて居る限りでは，そんな深い所迄行き得ないと云ふことが云へるのです。

**眞島**　行けたとして，其處迄シャワー (shower) を出すエネルギーを持つて居るのですか。

**仁科**　シャワーを作つたとすればそれは非常に大きなエネルギーです。所が，さう云ふ非常に大きなエネルギーとなれば電子の樣なものがあつたとしても，其處迄行かない內に shower が起る。そしてエネルギーを失つてしまう。從つて今日吾々の識つて居る粒子では說明が出來ません。そこで新しい粒子を考へる譯です。それは次の人工變換の話の中で述べることですが，β-線崩壞の時に電子よりも，質量がもつと小さくて，電氣を持たぬ粒子を出して居ると考へて，それを Neutrino と稱して居ます。そんな粒子があれば，そんな深い所に行つてシャワーを作るかも知れない。併しさう云ふ Neutrino は實驗室內で觀測することは不可能とされて居ます。さう云ふ觀測出來ないものを假定すると云ふことは，どうも感心できないわけなんですが，若し宇宙線のさう云ふ深い所で shower を生ずるのが Neutrino とすれば，或はこれは Neutrino を觀測する唯一の方法かも知れないのであつて，それは今日問題に成る譯です。

**眞島**　要するに 500 m，800 m 水を通るものは何であるか，現在に於いてはまだ分らない譯ですネ。

**仁科**　唯通るだけの事ならば，エネルギーさへ大きければ問題はないわけですが，さう云ふ深い所に入つて shower が起ると云ふことに成るから分らなく成るのです。かう云ふわけで兎に角宇宙線と云ふものゝ本質はまだ判きりしないのですが，併し大體に於いて宇宙線は，透過力の非常に大きいものと空氣にも吸收されてしまふものとの二つの成分に分けることが出來ます。よく吸收される方は電子若くは γ-線で，その細かい事は分りませんが，大體は理論の方で說明できるものです。處で空氣に中々吸收されぬもの，即ち地上まで來て，更に鉛を何 cm か慥かに通ると云ふ透過力の大きい性質のもの，是れが現

在非常に問題になつて居る宇宙線の新しい粒子に關聯をして居るものです。アメリカのC.D. Anderson と S. H. Neddermeyer, J. C. Street と E. C. Stevenson ――さう云ふ人々が電子と陽子との間の質量を有つた粒子が宇宙線の中に含まれて居ると云ふことを發見した。粒子の中では電子が最も質量が少なくてその次は水素の原子核の陽子であると考へられて居たが，その間の質量を有つたものが宇宙線の透過力の大きい成分に含まれて居るといふことが判つて來た。吾々もさう云ふ新しい粒子があると云ふ事を認めたのであつて，竹內君にその實驗の結果を報告願ひ度いと思ひます。

**竹內**　宇宙線の粒子の中に，今迄吾々が識つて居つた電子，或は水素原子核である陽子以外の粒子があると云ふ事が，アメリカの C. D. Anderson に依つて言はれましたが，それよりも前に，私達が Wilson 霧函の實驗をして居りました時に，Wilson 霧函の中に鉛を 2 cm 入れて，その鉛を透過させる樣な粒子に就いて實驗をして居りました。その時，今迄知られて居りました粒子の性質として，理論で與へられて居る樣な性質を與へますと，說明の付かない樣な現象が起きて困つたのでございます。それは鉛を 2 cm 置いておきますと，例へば電子が來ますと，その 2 cm の鉛の爲に作用されまして，鉛の中を通つたあとに非常に澤山の粒子を出すか，或は鉛の中で止つてしまふかと云ふやうなことが，理論から豫想されて居つたのでございますが，實際實驗を致しますと，50 本位の中で，さう云ふことをするのは1本位しかありませんで，あとは平氣で鉛を通つて行つてしまふのです。それで先づ電子ではないのではないかと云ふことに氣がつきまして，今度は鉛を 3.5 cm にして尙ほ實驗をして居りました。その時恰度アメリカの雜誌にさう云ふ假定みたいなものが出ましたので，アメリカでも同じ樣な事が實驗の結果出たのだから，それでは一つそれが電子でもなく，また陽子でもないとして，どの位の重さの粒子であるかと云ふことを研究しようと云ふ事に成りまして，その鉛 3.5 cm を通ることに依つて，どの位そのエネルギーを失くなすかと云ふ測定に掛りました。所が，恰度吾々の測定に都合の宜いエネルギーを有つて居る粒子が少なくてなかなかはつきりした結果は獲られませんが，今迄に獲られた結果に據ると，陽子の 1/10 の質量を有つた粒子があると云ふ事が判つて參りました。尙ほその實驗の時に行なつたのでございますが，Wilson 霧函の上の方に鉛を 1.7 m 位積上げまして，その下へ Wilson 霧函を置きまして寫眞を撮りますと，やはり宇宙線の通つた跡が撮影出來ます。これは先程から宇宙線が鉛を通すと云ふ話がありましたが，それを實際に吾々が眼で見，寫眞に寫せる實驗で面白いと思ひます。鉛を 1.7 m も通つて來るからには，これはどうしても電子ではないと云ふことは確かだらうと思ひます。

**眞島**　その新しい粒子は帶電をして居るのですか。

**竹內**　帶電をして居るのであつて，(+) の帶電をして居るのもありますし，(−) の帶電をして居るのもあります。

**仁科**　新しい粒子に就いて一言附加へますが，斯う云ふ粒子の存在は大阪の大學の湯川君（大阪帝大理學部物理學教室湯川秀樹氏）が 2, 3 年前にさう云ふものゝ存在すると云ふことを理論的に豫言したのです。吾々の見て居るのはどうもそれらしい樣であります。此の粒子は次の話の原子核の方面に非常に重要な關聯を有つものであります。宇宙線にさう云ふものがあると云ふことがはつきり判れば確かにその理論は正しいと云ふ事を證明し得るのであります。今の所，原子核の方の實驗でそれの存在を認めると云ふ事は困難であります。と云ふのは，原子核の實驗で吾々の使つて居るエネルギーではさう云ふ粒子は到底できない，宇宙線のエネルギーではそれができると云ふ事を湯川君も述べて居りました。

かやうに宇宙線の研究は理論の方の進步に非常に重要な指針を與へるものでありまして，前に陽電子の發見と云ふものがあつたのも，宇宙線の實驗の結果であります。

その外，宇宙線には，これは何處で如何にして起きたかと云ふ問題がある譯ですが，これは今日全く分らないのであります。太陽から來るかと言ふに今日の實驗の結果では來て居ないらしい。よしんば來ても非常に僅かであらう。ずつと高い所で地上 10 km 邊りに來て居る宇宙線は或は太陽から來て居るかも知れないが，併し地上に來て居るものは太陽とは無關係であります。

その外，宇宙線に就いては其の發生の機構がどう云ふものかと云ふ問題があるわけです。併し斯う云ふ問題はすべてまだ混沌として，其解決は今後の研究に俟つより外ないのであります。

**眞島**　宇宙線が人間の頭の中にとび込んで來て，そこで shower を起したと假定をしたら――

**仁科** 假定しなくてもいゝので，實際ある譯です。

**眞島** それが偶然比較的澤山の宇宙線が頭の中にとび込んで來て，そこで shower を起した時に氣違ひに成る樣な事はありませんか（笑聲），影響はないでせうか，突然その爲にインスピレーションが起つたりすると云ふ樣な事は——

**仁科** それは吾々の方ではなんとも言へませんな。併し兎に角それ一つ位では氣違ひには成らないでせうネ。

**原田** shower の時に出るのはエレクトロンですか，イオンですか。

**仁科** 出て來るのは（＋）及び（－）の電子であつて，一時に澤山つくるわけです。

**原田** その寫眞があるわけですネ（仁科"さう"）。非常に深い所に行つて居つて shower が起ると，どう云ふ事に成りますか。

**仁科** 途中で shower が起つて了ふでせう。

**原田** チヤンスが多い譯ですか。

**仁科** えー起り得るチヤンスが多い譯で，……1,000 m 迄通つて來得るチヤンスは少ない譯です。

**原田** エネルギーは少なく成る譯ですネ。

**仁科** 少なく成る譯です。

**眞島** もう一つお訊し度い事は，地球の表面に達する宇宙線の數は‥‥

**仁科** ざつとした事しか判りませんが，1 平方糎の水平面積に付て，種々の方向から來る宇宙線を合せて大體 1 分間に平均 1 個位これを貫く割合です。

**眞島** 方向は，全く任意の方向から來るのですか，多少方向性があるのですか。

**仁科** 地上では方向性があるのです。併し空氣の外に出て行けば卽ち free space ではどつちから來るものも同じである。地球上に來て何故さう云う方向を示すかと云ふと，斜めから來るものは空氣を長く通すから吸收が多いが，眞上から來るものは通す空氣の層が少ないから吸收が少く，そのために方向性を生ずるのです。

**眞島** 宇宙線は何處から來るのですか。

**仁科** 吾々の銀河系以外から來ると云ふ說があります。

**眞島** 吾々には銀河系以外に出て行つては薩張り分らないな。序でに宇宙線ができる機構に就いて一二御話下さいませんか。

**仁科** はじめは新しい星から出て來るとさう言つて居つたのです。新しい星では新しい原子が出來て居つて，それから透過力の强い放射線が來て居る筈で，それが宇宙線ではないかといふのであつた。そこでドイツの Kolhörster などは實際山の上に昇つて，さう云ふ星が頭の眞上に來ると空氣の吸收が少なくて實際宇宙線が强く成るものだらうかといふことを試驗しました處が，アンドロメダの星雲などが頭の眞上に來ると實際强く成る。從つてこれから宇宙線が來て居ると言つたが，後にそれは嘘で，さう云ふ事はないと云ふことが判つた。從つて何處から來るか判らないのです。Compton が言出したことですが，宇宙線强度の一日中の變化からしてそれが吾々の銀河系より外から來て居ると云ふことが判つたのです。

**眞島** どう云ふ譯で——

**仁科** 吾々の銀河系は全體として回轉して居るのですから，全體としてある方向に走つて居る譯です。處で地球は自轉をして居りますから，地表の一點に立つて考へると，ある時は頭が銀河系の運動方向に向ふこともあれば，又ある時にはその反對に向くこともある。前者に於ては Doppler 效果の爲に宇宙線の强度が强く，後者に於ては弱くなる，但し宇宙線は地球を通さないとしての話であります。それで一日中の宇宙線の强度の變化を見れば，銀河系の回轉と對照して見て宇宙線が吾が銀河系外から來て居るといふことが知れるといふのです。然しこれは今日未だ確定したことではないやうです。

**眞島** あれはどうなつたのです。——昔，平均密度が 20 以上位の星から出て來ると云ふ樣な事を言つた事もある樣ですが，それは大きいと云ふ事と關聯をして居るのですか。

**仁科** そんな星からは來て居ないやうです。一つ問題に成つて居るのは，Novae（新星）と云ふ奴で，太陽の何千萬倍と云ふ光を一遍に出して爆發をして間もなく消えるのですが，その時に宇宙線を出すのだと云ふ事であつて，さう云ふのが宇宙には澤山あるのです。眼に見えるのもあるし，見えないのもある。それがずつと前に遠くの方で爆發をしたもの，また近くで遲く出來たもの——それ等から宇宙線が出たのだと云ふのですが，それも積極的な證明は出來て居ない譯です。從つてどうもはつきりした事は言へないのです。

**原田** 速度は——

**仁科** 速度は運動量又はエネルギーから質量を假定して算出して居る譯です。（未完）

# 宇宙線及び原子の人工變換に關する座談會

## ——原子の人工變換——

### 原子の人工變換

**眞島** それでは，一つ次の原子の人工變換 (artifiial transmutations of atoms) の話に移つて頂きませうか。

**仁科** では，先づ人工變換の歴史からお話しませう。

その試みの歴史は隨分古く，支那とかエヂプトに昔からありました。それは銅とか鐵とか云ふ金屬を金とか銀とか云ふ貴重な物に換へようとする努力です。これは所謂錬金術と稱するもので孰れも悉く失敗をし，成功したものは一つもなかつたのです。所が最近に成つてそれが出來る樣に成りました。出來る樣に成つたと申しましても，何も澤山な銅を一遍に金にするなどと云ふことは出來ません。出來る分量は極く僅かなもので肉眼では見えず，たとへどんなに倍率の大きな顯微鏡を持つて來ても眼に見えると云ふ譯には行きません。又大體原子量の近いものの間の變換であつて，銅を一足飛びに金にするといふやうな事は不可能です。

これには最近歿くなつたイギリスの E. Rutherford が先づ一番はじめに成功したのです。人工でかやうに原子を變へようとする努力を何故したかと言ひますと，Radium やその外放射線を出す元素は，一つの元素から他の元素に變はることを自然に行つて居るわけであります。それで Rutherford-Soddy の元素變換說が出たのです。さう云ふ風に自然に元素が變化をして居る以上は人工的にも出來るだらうと云ふ事で，それで努力しはじめたのです。それはどうすれば好いかと云ふと，原子の構造で，御存知の樣に眞中に核があつて，それは ＋ の電氣を持つて居り，その周りに － の電氣を帶びた電子がある。從つて全體としては ± で電氣的には中性に成つて居る。さうして電子の質量は極めて小さく，原子の質量の殆ど全部は原子核が有つて居る。その原子核を變へると云ふ事が一つの元素を他の元素に變換させることになるのです。普通自然に行はれて居る元素の變換は原子核が自然に變つて居る譯です。E. Rutherford が考へたのは，これを人工的にやつて一つの元素から他の元素に變へやうといふことです。どうしてこれを行つたかと云ふと，Radium などから出て居る α-線，これは非常なエネルギーを以てとび出して來るヘリウム原子核ですが，それを色々の原子核にぶつつけるのです。原子核は原子の眞中にあるわけですからその大きさは非常に小さなものですが，それに巧くぶつかれば核が毀れるのです。それで 20 種近くの元素を種々調べてみて一つの元素が他の元素に變はると云ふ事が判つたわけで，その時にぶつつけられた原子核からは水素原子核即ち陽子 H が出て來たのです。例へば窒素の原子核に α-線がぶつかつて，水素がとび出し殘りは酸素に成つたと云ふ現象が起りました。つまり一つの元素を人工的に他の元素に變へると云ふ事が可能である事が分つたのです。これが 1919 年ですから今日から 19 年許り前の事で，元素の人工變換のはじめであります。

その次に此の元素の人工變換の問題に大きな進歩をさせたのは J. Cockcroft と E. T. S. Walton の 2 人です。この話を一つ簡單に矢崎君にお願ひします。

**矢崎** 今仰言つた樣に，元素の人工變換を起させますには energy の大きい，言ひ換へると speed の速い荷電粒子を打ち付けるのが有力な方法であります。Rutherford が用ひた樣な天然にある放射性元素例へば Radium から出て來る α-粒子を用ひるの

と異り，人工的に作つた速い speed の荷電粒子を用ひて元素の人工變換に最初に成功したのが英國 Cambridge 大學 Cavendish 研究室の Cockcroft と Walton の兩人であります。之は整流管 (Kenotron) と蓄電器 (Condenser) の巧妙な組合せによりまして一個の變壓器 (transformer) の有效電壓の數倍の高電壓を得，之を放電管に適用して，水素の原子核 Proton を約 12 萬 volt に加速させました。此高速度の Proton を Lithium に打ち付けた結果，二個の α-粒子が出來るのを觀測しました。其後種々の方法で高速度イオンを作る事が各國で企てられまして，今日之には大體 4 つの方法があります。

**仁科**　それぢや次に一つ現在行はれて居る方法として，ざつとどう云ふものがあるかと云ふ事を嵯峨根君に——

**嵯峨根**　今矢崎君が仰言いました樣に，現在人工で非常な勢力のイオンをつくる方法は專ら四通り使はれて居りますが，その外にも Cockcroft が成功する前から Rutherford なんかの實驗にヒントを得まして，なんとかして早く高勢力のイオンをつくる手段として非常に高い電壓を獲ようとする試みがさかんに行はれて居た譯であります。それで突飛なものと申しますと，例へば雷を摑まへると云ふ樣な試みもあつて，相當に成功を收めましたし，その外，蓄電器を澤山使ひまして，インパルス・ヂエネレーターと云ふ非常に短かい時間で高い電壓を獲られる方法も用ゐられて居りました。併しそれよりも現在便利な方法としては，先づ最初に Cockcroft の使ひました樣な transformer (變壓器) と condenser (蓄電器) とを巧妙に組合せた裝置を使つた方法を，それから唯簡單に非常に高電壓に堪える樣につくつた變壓器の方法と，それからもう一つは ファン・ド・グラーフ (Van de Graaf) と云ふボストンの M. I. T. の教授が試みたベルトを使つて，そのベルトに荷電を與へて絕緣をされた上の同極の電極に Charge を與へるフアン・ド・グラーフ (Ven de Graaf) の發電器とか申して居るものを使ふ。最後に現在最も强力と考へられて居るのはサイクロトロン (Cyclotron) と云ふものであります。

サイクロトロン (Cyclotron) と申しますと，眞空にしてあります中に二つの電極を置きまして，それに交互に周期の短い高周波の電壓を與へます。更にその電極自身は非常に高い磁場の中に容れられて居ります。若し中に水素のイオンの樣なものが出來ますと，先づ最初一方の電極に引寄せられます。それが磁場の爲にある一定の弧を描きましてもう一度二つの電極の間に現はれますと，丁度電壓が前と逆に成つて居るときがあります。その時は更にもう一度加速されますから，更に速いイオンに成ります。それで又それは此の磁場の爲に曲げられまして，もう一度弧を描いて二つの電極の間に現はれまして，何回か同樣な方法でぐるぐると電極の間を廻りますと，最後には，非常な高勢力のイオンが出來る樣に成ります。それを電極の端について居りますスリットから今度は靜電場をかけまして，幾分か弧を變へまして外へ引出して種々な實驗をすると云ふ方法であります。

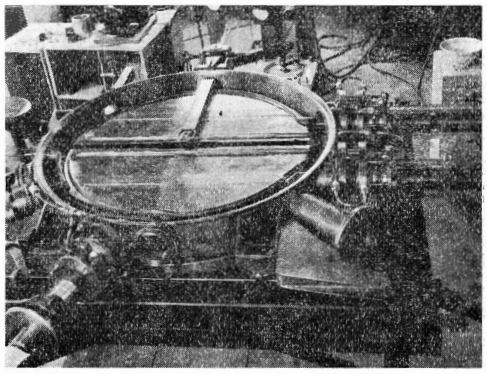
**眞島**　電極はどうなつて居るのですか。

**嵯峨根**　半圓形です。

**原田**　靜電場の板か何か入れてあるのですか。

**嵯峨根**　板を電極と向ひ合せまして，間隔は時に依つて違ひますが，1/4 吋位のものです。

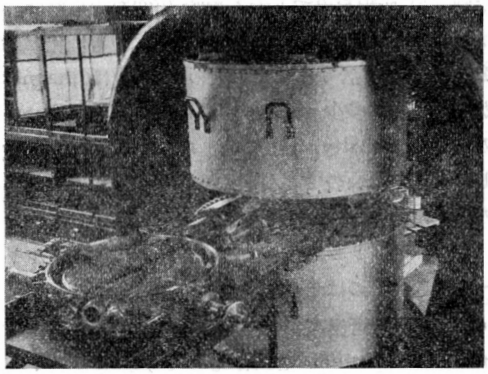
**仁科**　今の嵯峨根君のお話の樣にサイクロトロンは現在元素の人工變換をするのに最も有力な武器です。日本にも大阪の大學に一つあります。それから理研にも一つあります。此の理研のサイクロトロンは渡邊君と矢崎君が主に設計をしましてつくり上げたのでありますが，一つ矢崎君に設計の話をして貰つて，渡邊君に Operation の經驗談を願ひます。



第 1 圖　サイクロトロン

**矢崎**　先づサイクロトロンには今嵯峨根君のお話にありました樣に强い磁場 (magneticfield) を必要とします。恰度幸に以前日本無線電信株式會社の原町出張所で「バウルセン」電孤發振器として使用してをつた 23 噸の電磁石を長岡半太郎博士の手を經て同會社の好意に依りまして理研に寄附されました。此マグネットを使つてサイクロトロンを作らう

と言ふ計畫が立てられ，先づ magnet を芝浦製作所で改造させて，直徑 66 cm の圓形の磁極間に均等 (uniform) な 13,000 ガウスの强磁場を適用出來る樣に致しました。サイクロトロンと言ふ機械は米國カリフオルニア大學の E. O. Lawrence と M. S. Livingston が創案したもので，其處へ私は見學に出掛けて行きました。丁度嵯峨根君も先に行つて居り種々便宜を與へて呉れました。歸朝致しまして，種々彼方で獲た知識を基にして作つたのが此サイクロトロンであります。今之によつて速い重水素原子核 Deuteron を作つてをりますが，之が出口から出て來る speed は毎秒 15,000 km, energy で言ふと 300 萬 volt で一度に加速したと同じであります。半圓形の中空電極の半徑は 27 cm であつて，之が二個直徑に沿ふた約 1 cm の間隙を隔てゝ對峙してをります。重水素原子核は大體中心に近い處で作られ，此二個の電極に 1000 萬 cycle (波長にして 30 米の短波) の交流電壓が適用され，同時に 13,000 ガウスの强磁場の下にイオンは圓軌道を畫きます。イオンは二個の電極間の間隙を通過する毎に加速され



第 2 圖　マグネット及サイクロトロン全景

て speed が次第に大きくなりますので同じ磁場の下に次第に大きな圓軌道を畫くので，丁度螺旋狀の Path を畫いて出口に到達する時には前に述べた樣な高速度イオンになるのです。之を負の靜電場を適用する事によつて實驗する場所に誘き出して種々の元素に打ち付けてをります。工作の實際問題に付いては理研工場の綾部氏はじめ多くの人々のお世話になりました。又高周波發生裝置は仕事を急ぎます爲め東京電氣無線株式會社で作らせました。後で渡邊君からお話があると思ひますが，サイクロトロンの眞空テスト其他操作に必要な備準を了へて，漸く昨年の 4 月 3 日に所要の高速度 Deuteron が水晶に當るのを目擊した次第であります。

**眞島**　一寸伺ひますが何回位イオンが廻つて外へ出る勘定になるのですか。

**矢崎**　二つの電極間の Peak Voltage が約 6 萬 volt だと思ひます。從つて一回の加速電壓が 6 萬 volt で最後に得られるイオンの energy が 300 萬 volt で加速されたと同じですから，加速される回數は 50 回であります。之は二個の電極間隙を通過する回數ですから，spiral motion は 25 回する譯です。毎回の加速電壓がもつと低ければ此回數は增しますが，最後にイオンの得る energy は一定であります。

**仁科**　それでは，渡邊さん一つ——

**渡邊**　種々面白い話もあるのですけれども——

**藤井**　その面白い話を一つ——

**渡邊**　兎に角裝置が出來て來まして，一番はじめに全體の眞空の試驗をしましたが，なかなか巧く行かないで，思つたよりも長い時間を費しまして，大體それがどうにか巧く行く樣に成りまして，いよいよ磁石の間に入れて高周波をかける樣に成つて，是から徐々本物の實驗に掛ると云ふ段階に成つたのです。

**仁科**　Vacuum に成つたのは——

**渡邊**　昨年の 2 月です。

それから，眞空の悪い點もあるので，それを種々直したりして居る中にある事情がありまして，どうしても 3 月の中旬迄には完成しなければならないと云ふことに成りまして，大變急ぎまして，仁科研究室の全員に手傳つてもらつて，毎晩二時半頃迄仁科先生はじめ皆んな一生懸命やつたのです。

**眞島**　それでは晩ではない。(笑聲)

**渡邊**　どうも種々むつかしい條件がありまして調べてみると巧く行かないのです。中でもむつかしいのは高周波の周波數と磁場の强さをきちんと合せなければならない。それが，周波數や磁場の强さを嚴密に計ることがむつかしいのです。初めの內はイオン電流を電流計を用ゐて計つてゐたのですが，どうも電流計では變なものが出て來て正體が判らない。これでは何を一體探して居るのか見當がつかない。そこでもつと直接な方法を用ゐて探さうと云ふことに成つて，重水素核がベリリウムにあたると中性子が出ますから，その近所に他の元素を置くと人工放射能を有つことに成るので，それを使つて見付けたらと云ふ事に成りました。一番感度のいゝのは銀で

すから銀を用ゐてその人工放射能を調べてやつと見付けた譯です。

見付ける迄には實は一つのエピソードがあつたのです。はじめは勵磁電流を細かく變へてやつて行く方針だつたのですが，容易に見付からないので，矢崎君が少しやけになつて電磁石に通つて居る電流をいきなり大きく變へてしまつたのです。さうしたら，急に銀の人工放射能が現はれて來たので，それに端緒を得まして，だんだん勵磁電流を少し宛變へて人工放射を增して行つたのでして，豫定より遲れてやつと 4 月 3 日に確實にビームが出て居ると云ふことが判つて，そこでベリユームを水晶に置換へて，その水晶が螢光を放つのを確認してビームが出てゐると云ふことが判つたのでして，それから先はさう大したことはありませんでした。一番初め水晶が光つたのを確認した時は 1 億分の 1 アムペア程度でしたが今は 25 マイクロアムペア位出てゐます。

**仁科**　中性子 (neutron) のお話がありましたが，此粒子は全然電氣を有つて居ないのであつて，その重さは水素の原子核の重さと同じです。さう云ふ粒子が元素の人工變換の際に出て來るのです。

それから只今の人工放射能即ち俗に人工ラヂウムと謂はれて居るもの，これは $\beta$-線と $\gamma$-線と此の二通りの放射線を出すのですが，自然の放射性元素のやうに $\alpha$-線は出しません。さう云ふ人工放射性の元素が出來ます。勿論普通存在して居る安定な元素も出來ます。人工放射性元素は其の原子核が不安定で、電子を出して他の元素に變るのです。これで大體人工變換に依つてどう云ふものが出來るかと云ふ事を申上げた譯です。

嵯峨根君は最近アメリカ，ヨーロツパ方面の方の事情をよくみて歸つて來られたのですから，一つ嵯峨根君に歐米に於ける人工變換竝に日本でやつて居る人工變換に對する感想意見といふやうなものを話して貰ひませう。

**嵯峨根**　人工 Radium をつくりますには，先程申しました樣に，サイクロトロンが一番具合が宜いのでありまして，元素の變換に最初に成功しました J. D. Cockcroft さへも自分の最初に成功を納めた Cockcroft の方法よりもサイクロトロンの方が宜いと言つて，アメリカ人のやつた人工變換をイギリス人の J. D. Cockcroft が眞似をして使つて居るのをみても判る通りであります。

現在サイクロトロンの最も進歩をして居るのはアメリカのカリフオルニヤ大學と其處で習つて行つたミシガン大學とプリストン大學位のものでございます。隨て人工 Radium の研究もアメリカが世界で最も進歩をして居る譯です。從つて，種々の元素を變換してどう云ふ人工放射性元素が出來るかと云ふ事は殆んどアメリカでやられて居りまして，極く初期のものは，Radium を使ひます方法で以てヨーロツパでやられて居りましたが，現在は殆んどサイクロトロンに押へられてしまつた形です。要するに energy の大きい重水素の beam は非常に人工變換の能率が好い譯ですから，結局大きなサイクロトンを有つて居る大學の連中がどんどんやつて居る譯です。現在周期率の表を見ますと，殆んど全部の元素が毀されて居りまして，單に直接にそれらの元素に beam をあてる許りではなくしてさう云ふやうな高勢力の beam をベリウムにあてますと非常に强い中性子の source に成りますから，それを使つて人工放射性能をつくる樣に成つて居る譯であります。それ等の人工放射性元素がどう云ふ樣な半減周期で變つて行くとか，どんな强さの $\beta$-線を出す，或はどんな硬さの $\gamma$-線を出すと云ふ樣な研究をやらなければならない狀態に現在あります。日本でも理化學研究所で出して居ります重水素の beam は magnet が小さい爲に多少 energy が小さいのですが beam の强度 (intensity) としては，中性子の source としても相當强いのでどんどん外國に負けずに其の方の方面にも進んで行かうとして居るのです。

**仁科**　アメリカあたりで，最も beam のエネルギーの大きいものはどんなものですか。

**嵯峨根**　最近出來ましたバートールファウンデェイションの 8 milion と云ふものです。カリフオルニヤ大學で 8 milion volt で 35 マイクロアムペアなどといふ手紙を獲て居ります。

**仁科**　さう云ふ樣に段々エネルギーの大きいものをつくつて，それで人工變換をやらうと云ふ試みが行はれて居る譯です。日本でも日本學術振興會の仕事として今度，magnet 210 瓲の重さのものを用ゐてサイクロトロンをつくらうと云ふことで，目下渡邊君，矢崎君，嵯峨根君あたりが此の設計に衝つて居る譯でありますが，種々の事も大體に準備が整つて來ました。此の magnet はカリフオルニヤ大學の Prof. E. O. Lawrence が非常な好意を有つて與れまして，カリフオルニヤ大學でつくると同樣なものを世話して貰つてつくると云ふ事に成りました。嵯峨

根君が行つて居りました爲にいろいろな事を世話して貰へたのでありまして，今年の初め材料は日本に到着しまして目下東京石川島造船所でその工作を濟ませ，之れを据付ける許りに成つて居ります。之れに使ひます發振器は非常に大きなもので 120 kw であります。東京大電力放送所は 150 kw ですからそれに略近い樣なものとなりました。これは東京電氣無線の方で拵へて貰ふことに成りまして，その方の方々の非常な御盡力になつて居る譯であります。此サイクロトロンが出來上りますと，2,000 萬ヴォルトで加速したと同等のエネルギーを持つ重水素核が得られます。斯う云ふエネルギーの大きなもので人工變換をさせますと恐らく總ての元素が變換をするでありませう。こんなにエネルギーが增すと出來る放射性元素の種類がずつと殖えて來るのだらうと云ふことを豫期して居ります。現にエネルギーが小さくて放射性にならない物質でも，エネルギーの大きいサイクロトロンを使ふと放射性になるといふ例は澤山あります。斯う云ふ樣に人工變換を起すと云ふ事は，原子核の構造並に核內に行はれる物理的法則と云ふものを明かにする上に非常に重要な手段であります。その場合にエネルギーの大きなものがあればさう云ふことを識るのに今迄にはなかつた手段を獲る譯ですから，原子核の研究と云ふ事に非常に進步を促がす事に成るだらうと思ひます。それは物理の方でありますが，さう云ふ樣にして出來た人工放射性の元素，これは又種々な方面に使はれる譯であります。例へば中性子が出來ると，その中性子が生物にどう云ふ樣に作用するかと云ふことを研究する必要がある譯であります。現に Prof. E O. Lawrence の所では，さう云ふ研究が種々行はてれ居りまして，實際癌の治療には外の放射線よりも中性子の方が有效だと云ふ樣な結果が出て居る樣であります。

それから人工放射性の物質をつくつて，それを實際醫療の方面に使ふと云ふ應用方面がある譯です。これも從來の Radium と異りまして，種々の化學的性質を有つた放射性物質が出來る譯ですから，放射性と同時に化學作用を利用して今迄に行はれなかつた醫療の應用方面が開けるのではないかと思ひます。それから斯う云ふ人工放射性の元素を使ふと，種々の元素が生物の體內をどう云ふ樣に循環するかと云ふ事が非常にはつきり判ります。從つて生物の生活機能と云ふものに就いて，從來よりもつと正確な知識を獲る手段に成るだらうと思ひます。

その他，化學の方の從來知られなかつた種々な事柄をもつと具體的に識る方法を是れで獲られると思ひます。これ等の應用方面からみましても，元素の人工變換といふことは重要な研究であります。ですからサイクロトロンは原子核の研究と云ふ純學術的方面のみならず，他の方面に於いても非常にその應用の範圍が廣いのです。さう云ふ點から大きなサイクロトロンをつくると云ふことは，日本の學術の進步と云ふ事に大きな貢獻をするものであると云ふ事を考へて吾々努力をして居る譯でございます。

**眞島**　大變に好い話を承りまして有難うございます。

實際に體驗をされた各部門御擔當の皆さんから苦心談もあり，又エピソードも承つて非常にそのお話が活きて居る樣な感じが致しました。この點，同窓生の方々が此處へ出て直接話を聽かれないと云ふ事は非常に殘念だと思ひます。若し之れを聽く事が出來たら餘程實際の事が味はれただらうと思ひます。

只今謎である宇宙線の事，それから元素の人工變換の問題——是れは世界各國の學者が血眼に成つて研究をやつて居る。恰度近頃新聞で喧しい建艦競爭或はそれ以上の猛烈さで研究をやつて居る事であり，此處にお集りに成つた方々は日本に於けるそれ等の研究を御擔當に成つて居る方で，將に世界の競爭場裡に立つて世界をあつと言はせる樣な御決心で御研究をなされて居られる事と思ふのであります。建艦競爭ならまあ金があればなんとかなるでせうが，この方面の研究は，唯金だけではいかないと思ふ。その意味に於いて皆さんは日本を代表せられる非常に大切な方で在られるのですから，何卒我國の名譽に賭けて世界に劣らない，否や一層秀れた御研究を願ひます。

本日は非常にお忙しい所をお集り頂き，有益なお話を承りまして有難うございます。重ねてお禮を申上げます。