

■ 大量放射線照射によってガラスに突発的に生じる放電亀裂。
 4.3×10^6 レントゲン
(1961年3月, 大阪府立放射線中央研究所撮影。阪大浅田教授ご提供による)

外側より見た写真



内側より見た写真



放射能の話

定例第6回記念講演

1960年12月6日 朝日講堂において

朝永振一郎

はじめに 先程もご紹介ありましたように、仁科記念財団といたしましてこのような大きな講堂で講演会を催しますのは今日がはじめてでございます。多数おいで下さいまして大変ありがとうございます。

今日はスライドを使いながら放射能の話という題の講演をいたしたいと思うのですが、この後でここに持ってまいりました器械を用いまして、放射能についての実験をいろいろやってみてご覧に入れます。それに関連のあるような事項についてお話し、そのあと映画でアイソトープの利用についてのフィルムをご覧に入りたいと思います。

すでにご承知かと思いますが、今日では原子炉の中で、放射能をもった元素を非常にたくさん人工的につくることができるようになりました。それを使っていろいろな利用ができるということをご覧に入れようと思います。そこでその映画とも関係のあるようなこ

とをお話いたします。

放射能の発見とアイソトープ 放射能が発見されましたのは随分昔のことでありまして 1896 年、前世紀の終り頃でございます。1896 年と申しますと明治 29 年でございます。大分昔のこと、ちょうど日清戦争が終った頃、私の生まれる 10 年前でございます。そんなことをいうと自分の年がわかってしましますが。その年にフランスのベクレルという学者が、ウランから不思議な放射線が出てくるということを発見いたしました。これがことの始まりでございます。それに引き続きまして有名なキュリーがラジウムを発見しておりますが、ウランよりもさらに強い放射能をもつ元素があるということを見つけまして、それをラジウムと名づけたのであります。これが放射能の始まりなのであります。その後いろいろ研究され、その結果まずわかりましたことは、放射性元素からでてくる放射線には α 線、 β 線、 γ 線とい

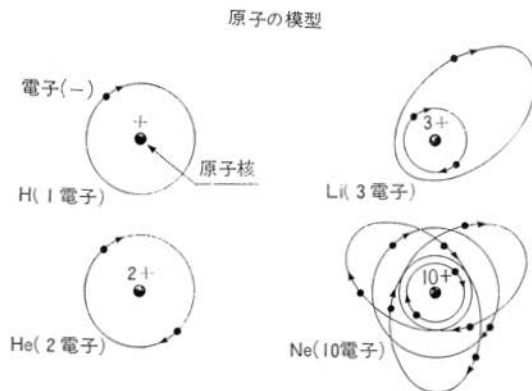
う3つの種類があるということであります。 α 線と β 線は、電気を持った小さな微粒子がウランとかラジウムとかいうものから飛び出してくるものだということがわかりました。 γ 線の方は、そういう物質の微粒子ではなくて、X線に似た放射線、——現代の言葉で申しますと、電磁波——で光の仲間でございます。つぎに、それと同時にわかりましたことは、それまでは元素というものは変化しないと考えられていたのでございますが、放射性の元素は放射線を出すと変化していくということでございます。例えばラジウムが α 線を出しますと、ラドンという元素に変わります。ラジウムは金属性の元素なのでありますが、ラドンと申しますのは、ガス状の元素であります。ラドンという映画をご覧になった方があるかもしれませんが、あれとは別に関係ございません。さらにそのラドンはまた α 線を出しまして、ポロニウムという元素に変化いたします。ポロニウムがまた放射線を出しますと、鉛に変化いたします。ところが、この鉛は化学的性質は全く鉛と同じで、見たところも鉛と同じでありますけれども、ふつうの鉛と違いまして放射能をもっている鉛であるということがだんだんわかってまいりました。

た。こういうことがわかるまでのいきさつについては省略し、結果だけ申し上げたのでございます。つまり元素は変化するものであるということ、それから、もう一つここで面白い発見は、同じ鉛という元素にいろいろなものがあるということです。ふつうの鉛は放射能をもっておりませんが、ラジウムから変化した鉛は放射能をもっている、——化学的性質、あるいはふつうの性質は同じでありながら、一方の鉛は放射能をもっていない、他方の鉛は放射能をもっている——そういう違ったものがあるということがここでわかったのであります。これを同位元素、あるいはアイソトープといいます。とくに放射能を持っておりますアイソトープは、放射性アイソトープと名前がつけられました。これが今日の、これからあとのお話の中心になるわけでございます。

この辺で手っ取り早くスライドをご覧に入れながら説明を申し上げた方がよろしいかと思ひます。

原子の構造

さて問題は、放射能に關係している α 粒子、 β 粒子あるいは γ 線は、原子のどこからでてくるかということであります。そこで原子は一体どう



第1図 原子の模型

原子の中心にはプラスの電気をもつきわめて小さい原子核があり、これは原子の重さの大部分を占めている。外側には原子の種類によって定まった個数のやはり小さい電子が回っており、これはマイナスの電気をもち原子核よりもはるかに軽い。図では左上から水素、ヘリウム、右上からリチウム、ネオンの原子。

いう構造を持っているかということが問題になります。まずそのことが 1912 年ごろははっきりいたしました。皆さんは第1図のような絵をよくご覧になったことがあるかと思いますが、原子は小さな太陽系のような構造を持っており、真中に太陽に相当する粒子があります。その周りを太陽系のいろいろな星に相当する粒子がグルグルと回っています。そ

して中心の太陽に相当する粒子はプラスの電気を持っており、周りに回っております粒子はマイナスの電気を持っております。そういうことがわかったのであります。そして放射線はどこから出てくるかと申しますと、この真中の粒子から出てまいります。このまん中の粒子を原子の「核」と申しますが、この「核」から出てくることがわかったのであります。その周りを回っておりますマイナスの電気を持った粒子をいまでは「電子」というのでありますが、この外側にあります電子—これがふつう日常的な現象にあずかるもので、元素が化合して分子になるとか、光を出すというのは皆この外側の電子の仕業であります。これに対して放射能は核の中から出てくることがわかってまいりました。図にありますのは水素の原子、ヘリウムの原子、リチウムという金属状の元素の原子、およびネオンの原子でありまして、その違いは、外にある電子の数で、これが元素の化学的性質の違いを支配しているということになります。水素は外側を1つだけ電子が回っていて、ヘリウムは2つ、リチウムは3つ回っており、ネオンは10個回っています。電子がいくつつかということは、真中にある核のプラス

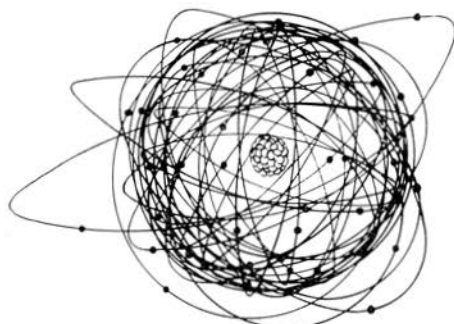
の電気の量が大きい小さいかということによって決まります。水素はなぜ1つしか電子をつけていないかと申しますと、核がある単位で1というプラスの電気量しかもっていないので、結局電子を1つしか吸いつけない。ヘリウムはその2倍の、つまり2単位のプラスの電気を持っているので2個の電子を吸いつけることができる。リチウムは3単位の電気を持っているので3個の電子を吸いつける。ネオンは10単位のプラスの電気をもっているので10個の電子が周りにくっついていて。そして原子全体としては中性になっているというわけなのであります。従って元素の性質を決めますものは、結局、核の電気が1であるか2であるか3であるか、あるいは10であるかということでもあります。この外側の電子が何かの拍子にとれることがあります。これがとれましても水素はやはり水素ですが、マイナスの電気がとれますから、プラスの電気を持った水素になり、これをイオンといいます。イオンというのはそういうもので、原子から外の電子をとったものです。ヘリウムの外側の電子を1つ取りますとヘリウムのイオンができますが、しかしこれはあくまでヘリウムであって、真中の核の電気が変

わらない以上はいつまでもヘリウムであります。ところが放射線が出ますのは、外側の電子がとれるのではなくて、核のそれ自身の電気量に変化いたします。その結果、元素が変化することがわかってまいりました。

原子の中は つぎの問題は、この核とい
すき間だら うものは一体どんな構造を
けである 持っているものであろうかと

いうことであります。この核の中から α 線とか β 線とか γ 線とかが出てくるわけですが、それが一体どういうからくりで出てくるのかという事がつぎに問題になりました。そこでいろいろな研究が行なわれたのでありますが、結局この核にやはり構造があるということがわかってまいりました。ここでちょっと脇道へ入りますが、原子というのは非常にすきまが多いということが第1図からおわかりになると思います。この全体——原子——の大きさは1億分の1cmという程度の小さなものでありますけれども、核の大きさはそのまた1万分の1ないし10万分の1という程度であります。電子の大きさも全体の10万分の1という程度で、あとは何もない隙間であります。非常に隙間の多い構造をもっているということが、これでおわかりにな

ウラン原子の模型

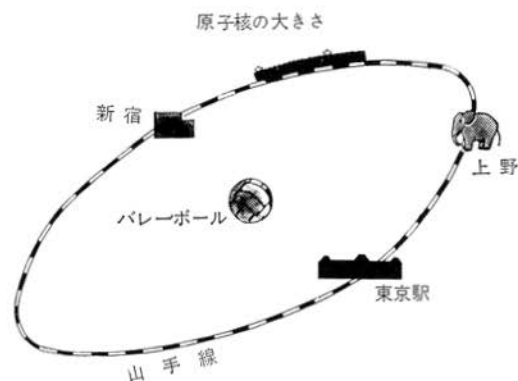


第2図 ウラン原子の模型

自然界に存在する原子のうちで最も重く、かつ複雑なウラン原子は92個の電子をもち(図の小さい黒丸)これらがさまざまな軌道をえがきながら回っている。中心の原子核にはプラスの電気をもつ陽子が92個(電子の数と同じ)および中性子が140数個密集している。

ったと思います。原子の中でごく複雑なウランについてつぎの絵でご覧に入れます。第2図がウランです。ウランは核の周りに92個の電子が回っております。これはなにかメチャクチャな絵みたいですが、92個もありますときれいな絵が書けないのです。で、結局92個の電子が回っていて全体として中性になっておりますので、このウランの核はプラスの92単位だけの電気を持っておるわけで

す。先程隙間が多いという話をいたしましたので、それがどんなものかということをつぎの絵でご覧いただきます。第3図です。原子全体を東京位の大きさにしますと、山手線を電子が回っております。新宿、上野、東京駅……と、この辺に朝日講堂があるわけでありまして。そうしますと核の大きさは、この真中の——ここは宮城の奥深くということになりますか——そこにあるバレーボールの球くらいで、その外を野球の球くらいの電子



第3図 原子内での原子核の大きさ

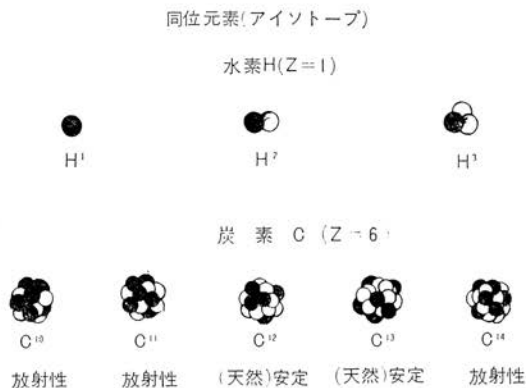
原子の直径はおよそ1億分の1cmだが、その小さな原子の中で原子核はさらにこのように小さい。原子全体の大きさを山手線の線路であらわせば、その中で原子核はバレーボールの球くらいになる。

がグルグル回っていて、あとは何もない真空であります。原子というものは非常に隙間だらけのものだということがおわかりになったことと思いますが、すべての物質は原子からできているものなので物質もこんなに隙間の多いものなのです。皆さんの体も同様で、ほとんど全部が隙間です。力道山のようなガッチリした男も、クレオパトラのような美人もほとんど全部隙間であるということになります。これを色即是空というんだそうであります。

核の構造

これはちょっと脱線いたしましたが、この小さな核から放射線がでます。今度は核の構造が問題になってくるわけですが、結局わかりましたことは、原子核はすべて2種類の微粒子からできていて、その1つはプラスの電気、つまり陽電気を持っておりますのでこれを「陽子」と申します。もう1つは電氣的に中性な粒子で、これを「中性子」と申しますが、そういう2種類の粒子からできております。第4図でご覧に入れますのは上段が水素の原子核ですが、左(H^1)がふうの水素で、これは陽子そのものです。ところが水素にはやはり同位元素がありまして、同じ水素でありながら、

違ったのがあります。中央(H^2)が重水素というもので陽子1つと中性子1つからできています。水素には他にもう1つ同位元素がありまして、陽子1個と中性子2個がついています。右(H^3)がこれで、この水素は同じ水素でも放射能をもっており、つまり水素の放射性同位元素であります。先程申しましたように原子の化学的性質を決めるもの、つまり水素の原子を水素らしくさせているものは、要するにこの核のプラスの電気の量が幾らであるかということです。中性子の方は電氣的に中性ですからその電氣量にはあづからないわけです。これはすべて陽子1個をもっているのですきほど申しました1単位の電氣量があり、いずれもこれらは皆水素の核になるわけです。つぎに第4図にはありませんが、ヘリウム—陽子が2個と中性子が2個、これがふうのヘリウムでありまして、これは電氣的には2単位になります。この2単位であるということが、この原子核をしてヘリウムらしくしているということになります。さらに、ヘリウムの3というものがあり陽子が2個に、中性子が1個で粒子1個足りないヘリウムです。これもしかし陽子が2個ありますので、電氣量が2単位で、従ってこれもヘリウムで



第4図 水素および炭素の同位元素の原子核

原子核の中の陽子の数(Z であらわす)は原子の種類できまっており、水素では1個、炭素では6個である(図では黒丸)。一方中性子(図の白丸)の数は同じ水素でも、0, 1, 2個、炭素では4, 5, 6, 7, 8個とさまざまであり、このように中性子の数の異なる原子を同位元素つまりアイソトープといっている。

す。ここでちょっと申し添えますが、勿論、図のように陽子が赤い色^{*}をしていて、中性子が白い色をしているというものでございませぬ。これは記号です。ここに黄色の雲をつけてありますのは放射性であることを示すためです。下段の炭素は陽子が6個で、中央(C^{12})がふつうの炭素です。いずれも陽子の数は6個でありますが、中性子が6個つ

^{*} 講演で用いられたスライドはカラーであった。

いたもの(これがふつうの炭素)、7個ついたもの、そして8個ついたものがあり、8個のものは放射性になります。それから、中性子の足りないものも2種類あり、これらも放射性であります。それぞれ右肩に書いてありますのは全体の粒子の数です。陽子の数をふつう Z で表わします。炭素にはこのように5つの同位元素があります。

つぎに一足飛びにウランです。ウランは陽

天然に存在するウラン

Z	92	92	92
N	142	143	146
A	234	235	238
存在比(%)	0.0052	0.719	99.276

第5図 天然に存在するウランの同位元素の原子核

ウランの同位元素はすべて放射性で、天然に存在するものの大部分はウラン238(右)である。 Z は陽子の数(電子の数にもひとしい)、 N は中性子の数、 A は Z と N を加えたもの。ウラン235(中)は原子力の利用で特に重要なものである。

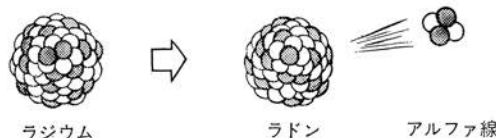
子の数が 92 個あります。それに中性子が 142 個くっついたもの、143 個くっついたもの、146 個くっついたものと、第 5 図には 3 種類の同位元素が書いてございます。天然に存在するウランでは、全体中の 99.276 % がこの中性子 146 個のものです。そしてごくわずか、中性子の足りないウランがございます。足りないウランというのはウラン 235 というものです。これは全体の粒子の数が 235 で、これが、原子力で非常に重要な役割をします。これらのウランはいずれも放射性でございますので、いずれも黄色い後光が書いてございます。

原子核からと
び出す放射線

そこでつぎに、先程 α 線
 β 線、 γ 線というのがあ

ると申したのでありますが、それが核からで
てくるのはどういうことかということをお話
します。第 6 図はラジウムが α 線を出すところ
を書いたものですが、ラジウムは陽子の数
が 88、ウランよりいくらか少ないのです
が、それでも相当大きなかたまりになりま
す。先程のウランもそうなのですが、集団が
余り大きくなりますと、時々脱走するものが
います。そしてこういうもの—— α 粒子——
がとび出してまいります。これはヘリウムの

アルファ線はヘリウム核の速い流れである



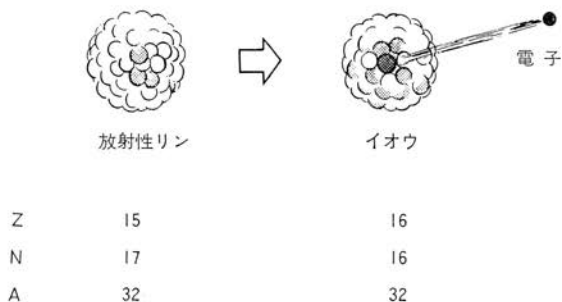
Z	88	→	86	+	2
N	138	→	136	+	2
A	226	→	222	+	4

第 6 図 α 線の放射

放射性元素の原子核からヘリウムの原子核
(陽子 2 個、中性子 2 個のかたまり) がとび
出すのが α 線である。ラジウムの原子核から
 α 線が放射されるとラドンの原子核に変わ
る。

原子核と同じかっこうをしておりますが、こ
れがつまり α 粒子といわれるものです。こ
ういう大きなかたまりの中から、この 4 人組
がとび出してきます。これが相当なエネルギー
で飛び出しますが、 α 放射線であります。
ウランでも全く同様です。つぎに β 放射線
ですが、第 7 図の例では放射性のリンを取っ
ております。この核の中の子が陽子に変化
してその時に電子が飛び出てきます。この
電子は核の外を回っている電子と全く同じ粒

ベータ線は電子の速い流れである



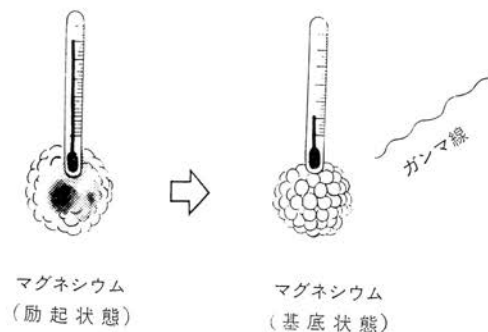
第7図 β 線の放射

放射性元素の原子核の中で中性子1個が陽子と電子に変わり、その電子が大きな速度でとび出してくるのが β 線である。このとき核の中では中性子が1個減りそのかわり陽子が1個増すので、Nが1だけ少なくなりZが1だけ多くなる。

子であります、ただ外を回っております電子は外にいるだけなのですが、こういうふうになから飛び出してきましたものは相当大的なエネルギーをもって出てまいりますので、 β 線といわれるのであります。その時にマイナスの電気が1つ飛び出しますので、核の電気が変化し、従って違った原子に変わります。つぎに γ 線はどういうものかと申しますと、第8図で示すように原子核はこういう大

きな集団なのですが、これは集団でありますと一番おとなしくしている状態のほかに、ここには励起状態と書いてありますが、英語でいいますと excited state ——直訳しますと興奮状態ですが——静かにしていない状態があります。この図は、赤くぬって少しゴタゴタしているということを絵で書いたものですが、また別の仕方でもいいですと、もし非常に小さな温度計を原子核の中につっこんだなら

ガンマ線は波長の短い電磁波である



第8図 γ 線の放射

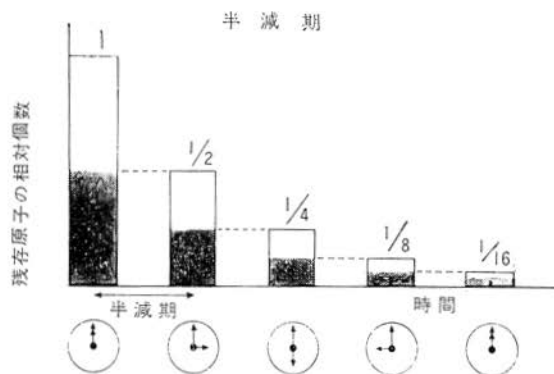
γ 線は、 α 線や β 線のように原子核の中から“もの”がとび出すのではなく、原子核の興奮状態がおさまる際に出てくる電磁波(X線や光や電波もこのたぐいのもの)の一種で波長がごく短い。 γ 線がとび出すと核の温度が下がり安定になる。

温度が高くなっているというふうに考えることもできます。こういう温度の高い興奮状態、あるいは励起状態にありますと、これが光に似た電磁波を出しまして、そして静かな状態に変わる、この時出るものが γ 線です。ですからこの時は物は変化いたしません。ただ温度が変わったという、あるいは興奮状態が冷静な状態に変わったということで物自身は変化いたしません。これが γ 線でありま

す。

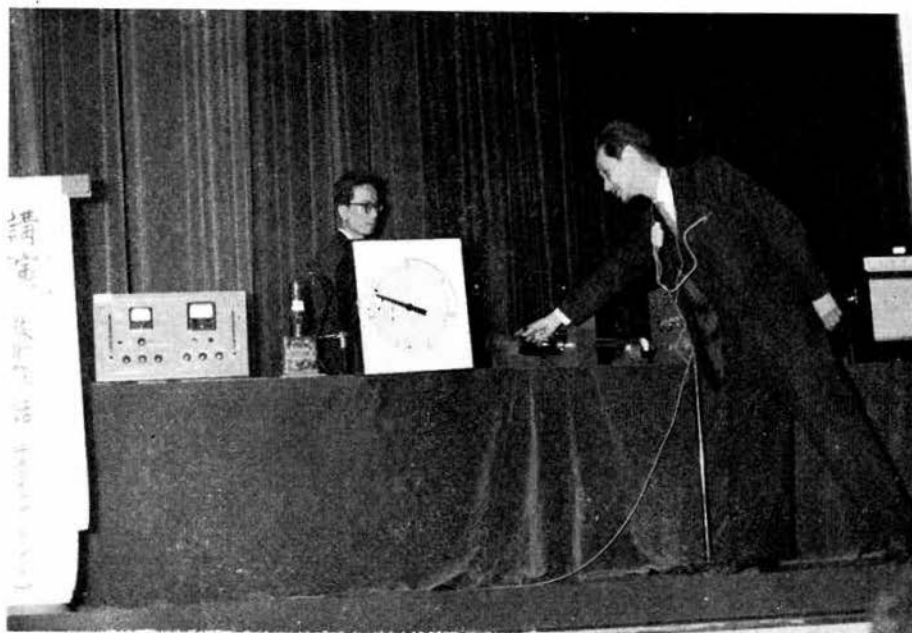
放射性元素の半減期と“原子時計” こういう放射性の元素は放射線を出してだんだんにほかのものに変わってまいります。例えば、ラジウムが1g なら1g ありますと、放射線を出すにつれてその中のラジウムがほかのものに変化して、ラジウムとしての放射能がなくなってまいります。その時に、よくいわれる半減期とか、あるいは寿命という言葉が出てまいります。それを説明いたしましょう。第9図に示すようにある時間たちますと、放射能の強さがもとの半分に減ります。ということは、ラジウムならラジウムの量が半分に減るということです。さらにそれと同じ時間だけたちますと、そのまた半分になります。こういうことであります。

この半分に減る時間を半減期と申します。この図は半減期3時間の例ですが。12時に1という量ありますと3時に2分の1になって、6時に4分の1になり、9時に8分1の1の……というぐあいになります。これが半減期です。ここに、これを利用した時計を持ってまいりました。このしかけはインジウムと



第9図 放射性元素の半減期

放射性元素が放射線を出して次第にこわれていくとき、もとの量の半分になる時間が半減期である。この図は半減期が3時間のものの例であり下の時計が12時のとき残存原子の量1がであるとその上半分(白塗り)の $1/2$ 量が失われるのに3時間かかり、従って3時にはもとの $1/2$ 量になり、そのまた上半分が失われるのに3時間かかるので6時には12時のときの $1/4$ 量だけ残る。



第10図 放射能を応用した“原子時計”

中央の大きな文字盤が放射性元素の半減期を利用した時計。放射性元素はすぐ左の円筒の下部に入れてある。講演者(右)の指しているのは別の目的の放射線源。

いう、約1時間(正確にいうと54分)の半減期をもったものを入れておきまして、その放射能の強さをこのメーターの針の目もりで

示しているわけであります(第10図)。ですから、ここが今時刻0としますと、目もりが半分になりますのが、だいたいこの辺です

第1表 放射性元素の崩壊型と寿命

放射性元素の寿命はふつう半減期であらわす。半減期はもとの量の半分だけ崩壊してしまう時間であるので、これが長いほどその元素の寿命が長いことになる。

放射性元素の例

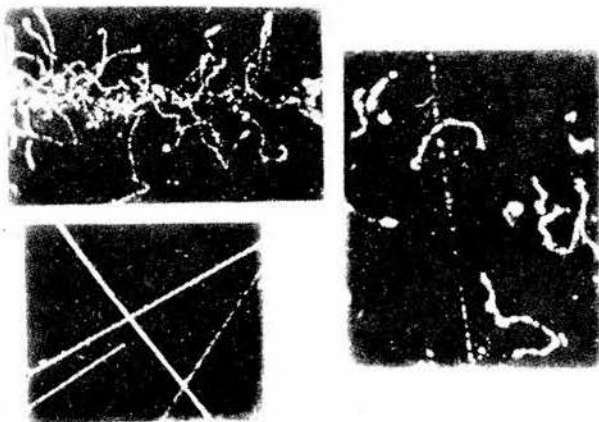
名 称	放 射 線 の 種 類	半 減 期
リ ン 32	ベ ー タ	14.2 日
カルシウム 45	ベ ー タ	162 日
コパルト 60	ベ ー タ, ガ ン マ	5.24 年
ヨウ素 131	ベ ー タ, ガ ン マ	8.08 日
ラジウム	アルファ, ガンマ	1662 年

から、今から 54 分たちますと、針がここへくるはずで。ただいま 3 時 10 分過ぎでありますから、4 時 5 分過ぎになると針がそこへ行くということになります。ちょっとマジックインキで赤いしるしをつけておきましょう。こういのものを時計の代わりに使おうというわけです。あまり話が退屈になりますと皆さんこの針ばかり見ていることになるかと思うんですが、とにかく半減期を利用した時計で原子時計、あるいは放射能時計とでもいえるでしょう。第 10 図にいろいろな原子の半減期の表がございますが、これをご覧になりますと半減期というのは非常に長いのと非常に短いのとあり、ラジウムは 1622 年、1622 年たたなければ半分に減らないのです。ところがリンは 14 日で半分に減ります。その中間にいろいろのものがございます。短いのは数分、なかには秒の単位のものさえございますが、ウランはラジウムより長く、何十億年という非常に長いもので、こんなものはここで時計に使うわけにはまいりません。インジウムは幸い 54 分というわりあい短い、ちょうど手ごろな半減期を持っております。

放射線の検出

つぎにこうした放射線をどうしてみつかるかという検出の方法

ですが、これにはいろいろございます。あとでご覧に入れます有名なガイガー計数管というのはその 1 つなんですが、もっと面白い、目で見えるのに都合のよいのはウィルソンの霧箱という仕掛けでございます。この放射線、電気を持った粒子—— α 粒子にしても β 粒子にしても結構なんですが、——これが、ガスの中を走りますとガスの原子と作用いたしまして、ガスの原子の核のまわりを回っております電子をはじき出すということをやります。そうしますと、つまりイオンができるのです。外側をまわっております電子をはじきとばしますとイオンができるということを申しましたが、ここでもイオンができます。そのガスの中に、水蒸気でも何でもいいのですが、蒸気が非常にたっぷり含まれておりますとそのイオンにその蒸気が凝縮するという性質がございます。したがって粒子が飛びますと、道に沿ってイオンができ、そのイオンに滴がつきまして、通ったあとに蒸気が凝縮した滴のすじができます。それを光で照らして写真にとることができます。すると、そこにスーッと走ったあとが見えるわけです。ちょうどこれは飛行機雲のようなものと考えていただければよいかと思ひます。晴れた日に上空



第 11 図 霧箱でとらえた放射線の飛跡

左上は γ 線の軌道にそって生ずる電子の飛跡。電子は軽いのでふらふらしている。

左下は α 線、 α 粒子は重く速いのではっきりした直線をえがく。

右の点線状のものは宇宙線中の β 線（電子）特に速いのでまっすぐ進む。

第 12 図 β 線の霧箱写真

ラジウムEからでた β 線。磁場がかかっている
ので飛跡が彎曲している。線源は下部にある。

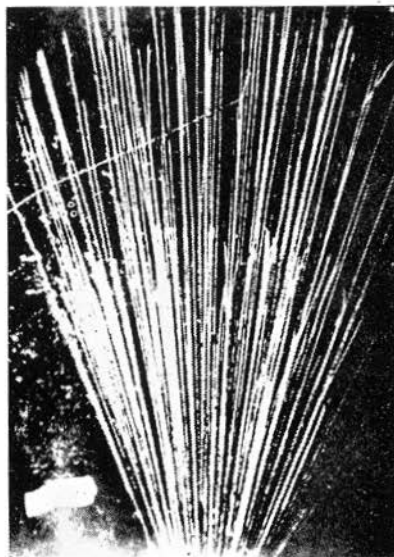
が、水蒸気を非常に多く含んでいて凝縮の寸前にあるような気象状態の時に飛行機がとび、その飛んだあとに排気ガスやその他いろいろのものが出ますと、それを“たね”にして水蒸気が凝縮して飛行機雲ができます。それと同じようにして、第 11 図左下は α 粒子が飛んだあとにできた滴の飛行機雲です。この時には非常にみっしりと滴がたくさんできます。また、 α 粒子は非常に重いものですから、まっすぐに飛びます。左上は電子が飛んだ時で、電子はフワフワと目方が軽いものですからフラフラとまがります。そして水滴もまばらにできるわけです。右も同様です。これは同じ電子ですが非常に大きな速度で進み

ますので、まがらないでまっすぐ走りますが滴のでき方は α 粒子とは大分違います。こういうやり方で放射線が何であるか見当をつけることもできます。

第12図は β 線が出ているのです。このへんに放射能をもった物質があって、そこから α 線が飛び出して、そのあとに水滴が凝縮してできたものです。それを光に照らして撮った写真です。この仕掛けをウィルソンきり箱と申します。「きり」というのは水滴でできたあの霧です。

ウィルソン霧箱で 第13図はラジウムか
は原子核反応をも
とらえられる

にラジウムがおいてあります。それから出た α 粒子が走ったあとに水の滴がつながったものが白い線になって見えます。よく見ますと、ここに面白い二又に分かれた白線がありますが、これが何であるかということをご説明します。その前に、原子核が中性子とか陽子とかからできているというその構造が、どういうことかわかるかと申しますと、原子核にいろいろ外から他の粒子をぶつけてやります。そうしますとかけらが飛び出すわけです。その飛び出し方などからわかるのです。これはラジウムか



第13図 α 線の霧箱写真

下部にある線源（放射性物質）からでた α 線は霧箱中を直進しやがて止まってしまう。途中横断している線は、 α 線が窒素の原子核をこわしたために生ずる水素の原子核（陽子）の飛跡。

らでた α 粒子が、空気中で窒素の原子と衝突して、それをこわし、そのかけらがこう飛び出したのです。このかけらは水素の原子核です。つまり陽子が飛び出したわけです。それからこっちはそのかけらの残りで酸素の原子核です。こういうふうになら外から影響を与えて原子をこわすことができるというこ

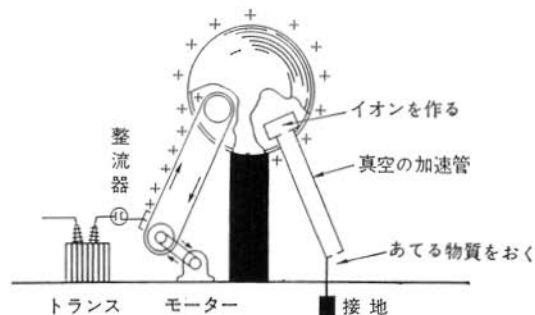
の研究が 1919 年に行なわれました。これは 1 つの画期的な発見であります。つまりラジウムとかウランとかいう放射性元素は放っておいてもだんだん他の元素に変わるのでありますが、窒素——これはふつう空気中にある窒素ですが——これも、外から α 粒子のようなものをぶつけてやると、こわれてかけらが飛び出し、したがってほかのものに変化いたします。そういうことが 1919 年にみつかったのです。



加速器の話

そこで、今のはラジウムから出てくる α 粒子をぶつけたわけですが、もっとほかのものをぶつけよう——ほかのものといいますのは例えば水素の原子核をぶつけるとかあるいは重水素の核をぶつけるというようなことでありますが——そういうふうなことをだんだん研究するようになりました。それにはそうとうなエネルギーでそれらの核を走らせなければいけないのです。それを走らせる器械を加速器と申し

ファン・ド・グラフ型加速器



第 14 図 ファン・ド・グラフ型加速器

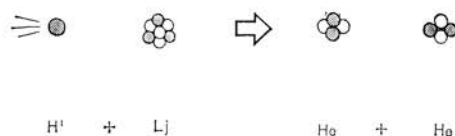
ます。これは原理的に一番簡単なやり方なんです。原理的に申しますとまずイオンを作ります。イオンを作るには外をまわっている電子を何らかの方法で払いおとしてやればよいわけです。しかしそのイオンはあまり大きな速さで走ってはおりません。そこでそれをプラスとマイナスの電極の間に入れて、もちろん中は空気を抜いておきますが、その電極のプラスの側にイオンをおきますと、イオンはプラスの電気をもっておりますからマイナスの方へ引っぱられて行きだんだんスピードが上がってまいります。このとき電圧を 100 万ボルト程度にしますと、このイオンが α 粒子程度のエネルギーが持って走り出すので、要するに 100 万ボルトの電圧を真

空中で作るといふ器械が加速器であります。第 14 図でごらんに入れるのはファンダグラフという器械ですが、これはここに絹のベルト——絹でなくてもいいのですが絶縁体のベルトをおきまして、ここにトランスでプラスの電気をのせてやります。そしてこれをグルグル回しますと、上のプラスに電気がもちあがりまして、結局この上の玉のところにプラスの電気がだんだんたまってまいります。そして電圧がだんだん上がって、これとアースとの間に 100 万ボルト程度の電位差ができます。そこでここ（右）に真空の管をおきましてその上部にイオンを作ってやりますとマイナスの方へ引っぱられて行きます。ズウッと下部へきてだんだん速くなります。下端でいろいろなものにぶつけます。そういう仕掛けであります。加速器にはもっとほかの型のもものございますが、それはまた、時間がありましたらあとでお話いたします。

元素の人工変換
による放射性同
位元素の生成

第 15 図が 1 つの例ですが、これは水素の原子核です。このまわり

にまわっております電子を何かの方法で取ってしまつてイオンにいたします。そしてリチウムという 3 つ陽子のくっついた核にぶつ



第 15 図 原子核の人工変換

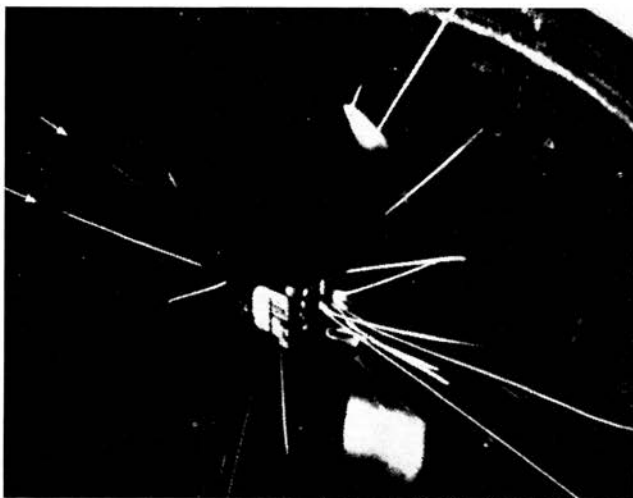
リチウムの原子核に加速された水素の原子核（陽子）をぶつけると 2 個のヘリウムの原子核に変わる。黒丸は陽子、白丸は中性子をあらわし、記号の左下の数字は原子番号（陽子数）、右肩の数字は質量数（陽子と中性子の合計数）をあらわす。

けます。そうしますとまずぶつかった水素核がリチウム核の中に入りこみますが、相当な勢いで入りこむためにこれが興奮状態になるわけです。そしてそれが 2 つにわれます。われてできたものはご覧のように 2 つのヘリウムの原子核です。これらが相当の勢いで飛び出します。この発見がまた 1 つの画期的なものでした。つまり、先程お話しした窒素をこわした時にはラジウムから自然に放っておいてもでてくる α 粒子をぶつけたものでありますが、それとは違ってこれは人工的に、先程ご覧に入れたように加速器で加速した粒子で原子核をこわしました。

第 16 図がそのこわれたものを、先程のウ

イルソンの霧箱でみたところです。ここにリチウムという金属がおいてありまして、上から水素イオン、あるいは水素原子核の加速したものをぶつけます。それがこわれてヘリウムの原子核が両方に飛び出します。一時にたくさんこわれるわけではなくて、1つこわれますと両方に2つ飛び出します。これが1つの例であります。

第17図にいろいろな例がありますが、先程申しましたように水素の原子核を加速し



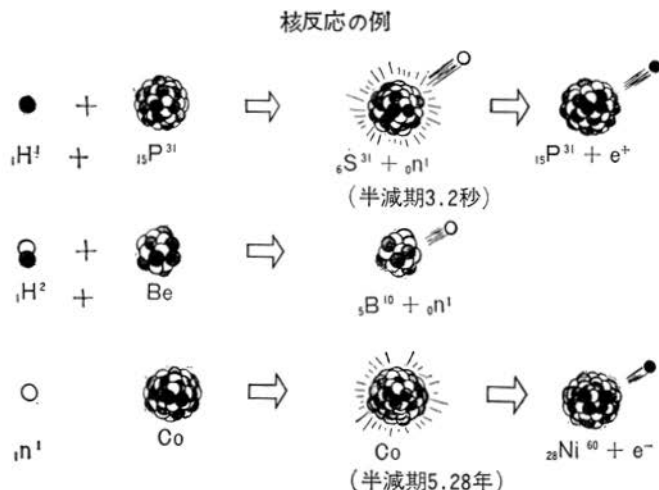
第16図 原子核の人口変換の写真

中央部にあるリチウムに上方からとんてくる水素原子核がぶつかり、2組のヘリウム原子核がそれぞれ反対方向にとび出している。(矢印で示したもの)。

て、ふつうのリンにぶつけますと、水素の原子核が一度リンの原子核の中へとびこみましてその拍子に中性子がとび出します。その結果電氣量が変わりましてリンがイオウに変化します。このイオウが放射性のイオウで黄色の後光が書いてあります。これが α 線を出しましてまたリンに変わります。それからベリリウムという金属に重水素を加速してぶつけますとホウ素ができて中性子が1個とび出します。こういうことが起こります。ところがぶち

こわす弾丸として使えるものは水素の原子核、あるいは重水素、あるいは α 粒子、つまりヘリウムの原子核のほかに、前の例で飛び出しました中性子、これを弾丸に使うことが非常に便利だということがだんだんわかってまいりました。下がその例です。コバルトに中性子をぶつけますと、この中性子がコバルト核の中へ入ってしまいます。入りますとコバルトはやはりコバルトですが、これは中性子が1つふえたためにふつうのコバルトと違

った同位元素となります。しかもこれが放射性同位元素です。これは β 線を出すという性質を持っております。こういうふうになまず中性子をつくり、この中性子を使ってさらに原



第 17 図 種々の核反応の例

上；ふつうのリンに陽子をあてると陽子は吸われて中性子 (${}_0\text{n}^1$) がとび出し、半減期のごく短い放射性的イオンに変わる。これは陽電子 (e^+) を放射してふつうのリンにもどる*。

中；ベリリウムに重水素核をあてるとこれが吸われて中性子 がとび出し、ホウ素になる。

下；ふつうのコバルトに中性子をあてるとこれが吸われて半減期がかなり長い放射性的コバルト 60 になり、これは電子 (e^-) を放射してニッケルになる**。

*原子核の陽子が 1 個中性子に変わって 陽電子 (e^+) を放射 することもある。この場合は原子番号すなわち陽子の数 (Z) が 1 だけ減り質量数は変化しない。陽電子はふつうの電子 (e^-) と違ってプラスの電気をもつ。

**原子核の中性子が 1 個陽子に変わるとき電子 (e^-) を放射 する。

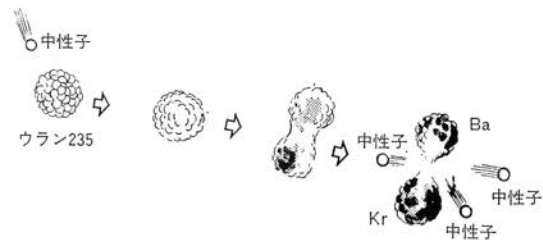
子核にぶつけてやりますと、ほとんどありとあらゆる原子核が変化 いたしましていろいろな種類の放射 同位元素がたくさんできるとい うことがわかってまいりました。天然に存在する放射性同位元素と いうのは、先程のラジウムからで てきた鉛くらいのもです。放射 性のラジウムとかウランとかの辺 にはいろいろありますが、イオウ とかコバルトとかいうようなふつ うの元素でしかも放射能をもって いるものを人工的につくることが できるようになりました。これは、人工ラジウムといったような ことをいった時代もあるのです が、いまではこれを放射性同位元 素というわけです。ほとんどあり とあらゆる元素の放射性同位元素 をこうして人工的につくることが できるようになりました。しかも 中性子は原子炉ができましてから 非常に大量につくることができる ようになりました。こんな加速器 でつくっていたのでは大した数は

できないのですが、原子炉の中では、中性子は秤ではかれるくらい、あるいはバケツにいっぱい入れられるくらい——もっとも実際には入れられませんけれど——、量からいましてそのくらいのものはお茶のこさいさいでつくれるようになりましたので、それをつかって種々の同位元素を原子炉の中で大量につくられるようになりました。そこでいろいろな応用が考えられるようになりました。

**ウラン 235 の
連鎖反応による
中性子生産と原子炉**

ここで原子炉の話がでてまいりましたが、先程ウランの同位元素で 235 というちよっとたりないのが 0.7 %含まれていると申しましたが、それが非常に変わった性質をもっております。それに中性子をぶつけますとこの図のようにまっ2つにこわれます。ふつう原子核に弾丸をぶつけてこわしましても、ごく表面のかけらがちょっと飛び出す程度なんですありますが、このウラン 235 は、かけらが飛び出すどころではなくて、このようにほとんど2つに割れるということがわかりました。これは非常に大きなエネルギーを持っているわけでありまして。それだけなら大したことはないのですが、それと同時に中性子が3つば

ウラン核の分裂



第 18 図 ウランの核分裂

ウラン 235 に中性子があたるとこれが吸われ核内の擾乱が起こってやがて核が大きく二分され、たとえばバリウムとクリプトンの核になると同時に中性子が3個とび出す。

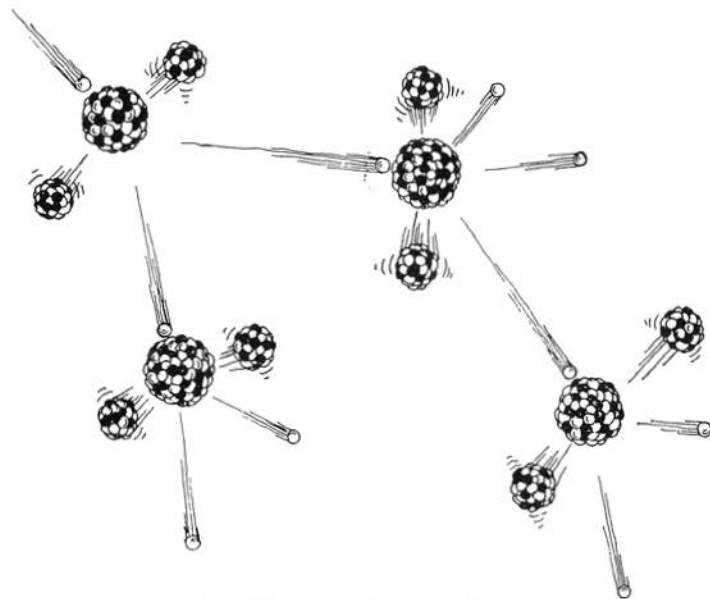
かり飛び出します。これがまた大へんなことなのです。

第 18 図はやはり色つきなのですが、ここにウラン 235 があって中性子が飛んできますと、まず中性子がウラン 235 の核の中に飛びこみます。飛びこみますとごたごたして興奮状態になります。そのうちに餡がちぎれるようにこういうふうにまん中がくびれができてましてそれが2つに割れてそれぞれが両方に飛び、それと同時に中性子が3つ出ます。これは2つしか出ないこともありいろいろですが、だいたい平均3つくらい出ます。こういうことがわかりました。で、もと

もとは中性子1個だったのが、3つにふえました。そばにウランの原子がたくさんありますと、この3つがまた、それぞれそういうことをやるのです。そうしますと9つになるわけですね。その9つがまたそれぞれやりますと

27になります。27がそれぞれやりますと81になって、81がそれぞれやりますと243、243がそれぞれやりますと729ですか、729がそれぞれやりますと——その辺から暗算できなくなります。2,000いくら、2,000いくらが

それぞれやりますと6,000、6,000がそれぞれやりますと18,000、それらがまたそれぞれやりますと……、こういう風にだんだんふえてまいりまして、いまのそれぞれ、それぞれ……といった言葉を60回ばかりくりかえしますと、だいたいひと塊のウランが全部こういうことをやることになりまして、中性子の数がどれくらいにふえるかと申しますと、約1億の3乗位になります。パケツに入れられるくらいというのはそういうことなのですが、とにかくもともと1つの中性子がこのようにだんだん増殖いたしまして非常な数になるわけです。それと同時に、非常に大きなエネルギーがでてくるのであります。しかし、今日はエネルギーの話は別にいたしまして、中性子の

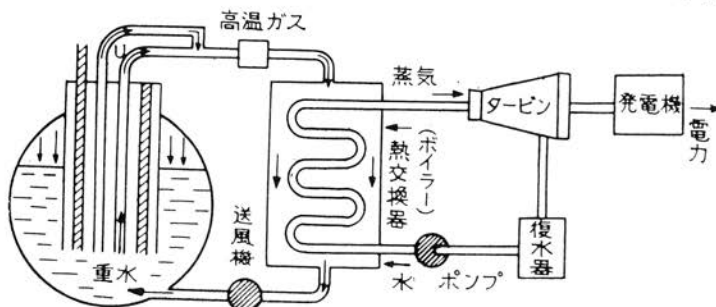


第19図 ウラン核分裂の連鎖反応

左上から中性子(白丸)1個がとんできて、ウラン235の原子核にあたる。ウランの核は2つに割れ同時にできる中性子が次のウランにあたる。(左下、中)ここでまたウランがわれ中性子が生じ次のウランに衝突。(右下)またまたウランが分裂し中性子がとび出す。このようにして瞬間的に莫大な数のウランの原子核が分裂してしまう。

数が非常にたくさんでくるということをお話するわけです。これがいわゆる連鎖反応です。

第 19 図はいままで申しましたことを絵で書いたものです。こっちから飛んできてどこかにぶつかるとういうふうに割れる、割れた拍子にこう出て、それがまたどこかでやる、どこかでやってまた 3 つ出る。ここでまた 3 つ出る。それがまたどこかでやる……というふうにして、全然無駄なく行なわれれば 3 の 3 倍、またその 3 倍……となりますが勿論中性子の中に無駄になるものがありますからその理屈通りにはまいりません。また、理屈通りにいかないところに、これを制御するいろいろな方法が見つかるわけなので、いまの調子でいきますと大爆発がおこるわけです。



第 20 図 原子炉と原子力発電の模型

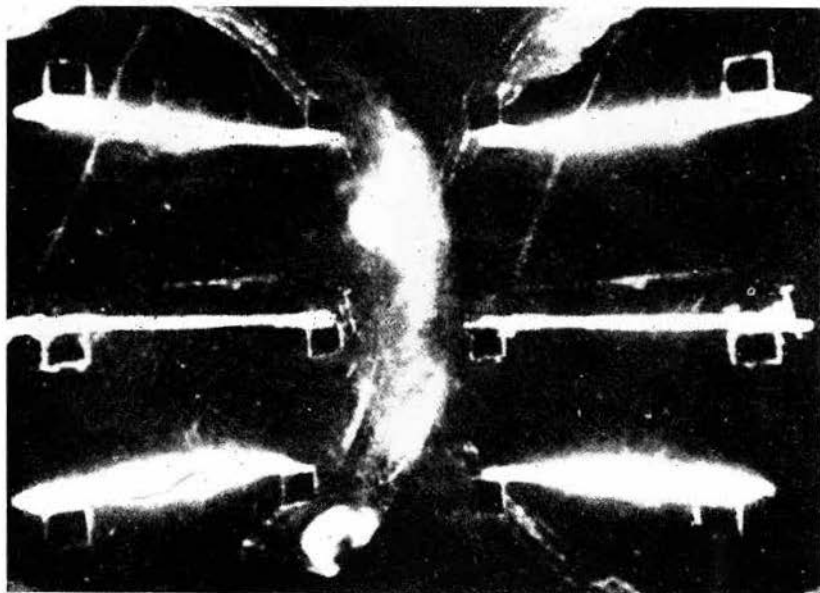
ここでウランから出る中性子を途中で適当に減らしてしまうような仕掛けを入れて、大爆発しないようにしたのが原子炉です。

第 20 図が原子炉の絵ですが、まん中にウランが入っておりまして、そのまわりに中性子をはねかえして逃げるのを防いだり、スピードをおそくしたりする役目の物質があります。ここに制御ざおというものが入っていますが、これがつまり、中性子が先程のようにしてできすぎると、それを適当に減らすような、制御する装置です。このあなの中に非常にたくさんの中性子ができますので、そこへいろいろなものを入れておきますとそれが放射性同位元素に変化します。

ウランの核分裂は
霧箱や写真乾板で
とらえられる

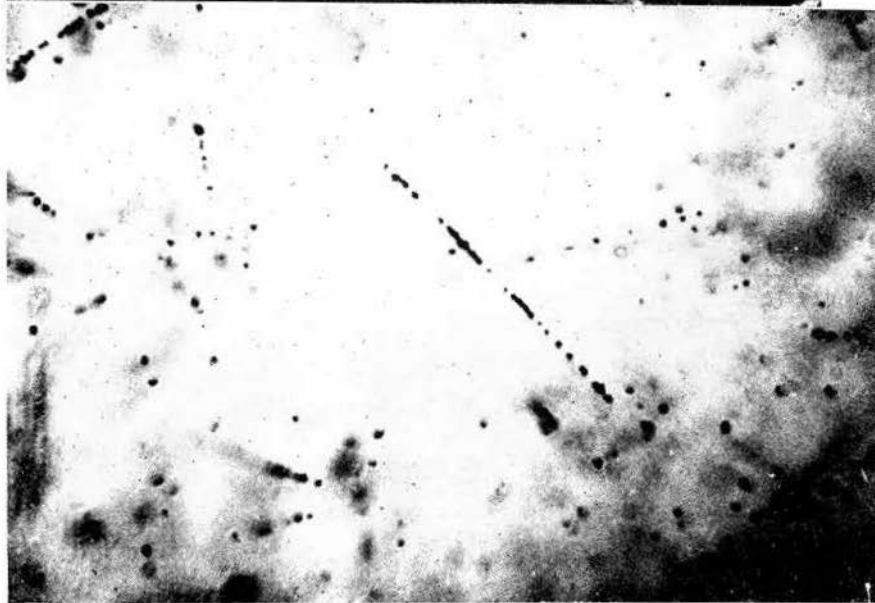
先程ウランが 2 つに
割れると申しましたが、それを実際にご

の覧に入れているのは、第 21 図ウィルソンの霧箱写真で、ここにあるのがウランです。ウランの何か化合物をつけた糸です。どこから中性子を入れてやります。中性子は電気を持っておりませんからイオンをつくらないので跡は写らないのですが、ここでウランを



第 21 図 霧箱写真でみる
ウランの核分裂

これは一対で立体写真になっている。ウランをちりばめた膜が3枚入れてあり(白い太い線), 外から中性子を入れると分裂がおこって生成物が互に反対側に飛ぶ。(左上または右上の細い斜めの白線はその飛跡で, ウランの膜をはさんで両側に一直線をえがいている。



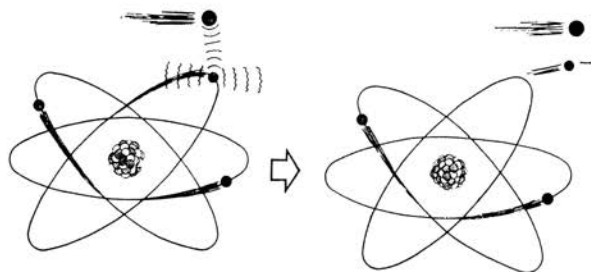
第 22 図 写真乾板でと
らえたウラン 235 の
核分裂

ウランをしませたエマルジョン中に中性子が入る。一番長い中央線の部で分裂がおこり, そこから対称的に反対方向に破片がとび散ったところ。

こわして両方に破片が飛び散っているところ
です。こういう霧箱は蒸気を利用してさせた
わけですが、もう1つ電気を持った粒子の性
質としまして写真に感ずるということがあり
ます。つまり写真の乾板の中の臭化銀にぶつ
かりまして臭化銀を分解させて銀をつくる
という性質がありますので、写真のエマルジョ
ンの中をそれに沿って α 粒子のようなものが
走りますとその道筋に銀ができてまいります。
それを適当に現像しますと目で見ることが
できます。第22図は写真の乾板を使って
撮ったウランの分裂です。これがそうなの
で、これは写真の乾板にウランの化合物を吸
収させておきました。そこに中性子をぶつけ
ましたら、ここにあったウランがこわれて両
方に分裂しております。これはそんなに大き
いものではございません。顕微鏡で見てもは
じめに見えるくらいのもです。これは東海村
で撮った写真です。これが、ウランの核分裂
を利用しまして中性子を非常に多量につくる
ことができるというお話です。

放射線による
気体のイオン
化と検出器

放射線がガスの中を通る
とイオンをつくと申し
ましたが、第23図はそ
の理屈をこういう絵で書いたものです。これ



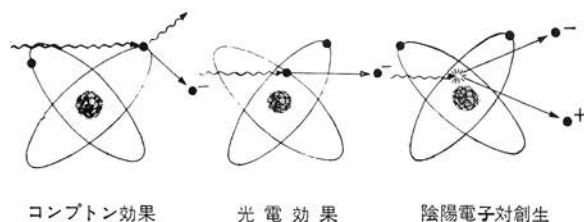
第23図 荷電粒子と原子のイオン化

荷電粒子(α 粒子や β 粒子など)が物質中を
通過するとき、それに近接している物質原子
の電子が、刺戟されてとび出す。このため、
原子はマイナスの電荷が減って陽イオンとな
る。大きい方の黒丸は荷電粒子、小さい方は
電子。

は原子の図で、核の外を電子がぐるぐるまわ
っているのですが、これが1つ取り去られれ
ばイオンになるわけです。何か原子のそばに
荷電粒子が——たとえば α 粒子でもよろしい
んですが——飛んでまいりますと、それらの
間に電氣的な作用がおこりまして原子の外側
の電子が荷電粒子から受ける力で外へ飛び出
してしまいます。するとあとに残ったもの
は、核の電気のプラスが勝ちましてこれ全体
がプラスのイオンになります。このイオンを

中心にして蒸気がつくというのがさっきのウィルソン霧箱の原理であります。これが物質と粒子との作用の仕方、放射線がイオンを作るというのはこういうメカニズムによるのであります。このイオンを作るということ

ガンマ線と物質

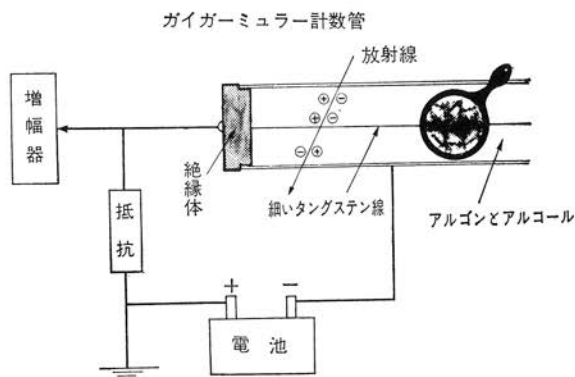
第 24 図 γ 線と物質

γ 線は光と同様に電磁波の一種であるが物質中を透過するとき物質原子に作用して電子を放出させる。

左：コンプトン効果では γ 線が原子の電子をはじきとばし自らは波長がのび（エネルギー減少）方向を変える。

中：光電効果では γ 線（ふつうの光でも同様）が原子に吸収され電子がとび出す。

右：陰陽電子対創生では γ 線が原子核附近で消滅して陰電子（ふつうの電子）と陽電子各 1 個を創生してこれを放出する。



第 25 図 ガイガー・ミュラー計数管

図のように放射線が計数管を横切ると生じたイオンによって放電が起り電流が流れる。つまり回路が閉じ、そのショックは抵抗を通して増幅器に入り、そこでさらに拡大される。

利用して放射線の検出が行なわれるわけで、先程のウィルソンの霧箱もやはりイオンをつくるということがその原理になっているのです。これに水の滴をつけて光で照らして見ようというわけです。一方 γ 線は荷電粒子ではありませんがやはり物質の原子をイオン化することができます。（第 24 図）

こういう放射線を検出するのにガイガーの計数管という仕掛けがあることはご存知かと思いますが、第 25 図がガイガー計数管の絵です。ガイガー計数管というのは要するに図

のような筒の中に適当なガスを入れておさまして、真中に針金が1本入っております。そして外側をマイナスに、真中をプラスにしておきます。この両極の間に数千ボルトの電圧をかけてやります。この中に放射線がとびこみますと筒の中にイオンができるわけです。つまり、まず電子が飛び出し、残りの原子はプラスのイオンになります。そうしますと、プラスのイオンの方はあまり動かないのですが、飛び出した電子が真中へ引っばられて行きます。その引っ張られて行く間に電子自身がまたガスにぶつかりまして——これがだんだん速くなってくるわけですが、針金の近くのガスにぶつかりましてそこでまたイオンと電子をつくります。その電子がまた加速されて行く途中でイオンと電子をつくって、イオンと電子が非常にたくさんここにできます。その結果このプラスとマイナスの間に放電が起こりまして、電流が流れるのですが、それを増幅してメーターにかけたり、あるいは音にして聞かせております。この仕掛けですと放射線の粒が1つやってきますと電流がパッと流れるわけでありまして。それを増幅しますとカタッという音がいたします。ここで先程からなっているのですが……（カウンターの

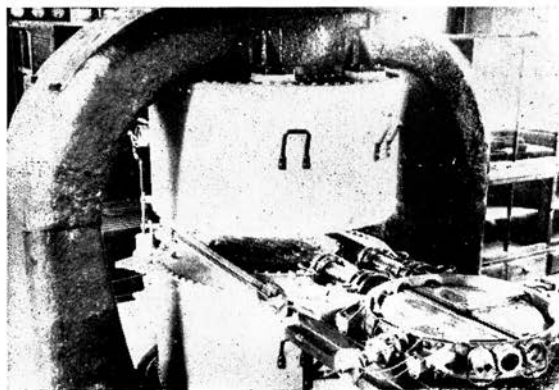
音）これが計数管です。この音を皆さんに少しお聞かせしましょう。（ふたたびカウンターの音）いまポッと音がなった時に放射性の粒子が1つここを通ったわけです。私はいま夜光時計の上等なのを持っていますが、これはラジウムがついておりますので……（盛んにカウンターの音）こういうふうにして勘定ができるわけです。こういう装置を使いますと放射線として出てきます粒子を1つ1つ数えることができます。そういうわけで計数管と名づけるのです。

あとの実験と関係がございますが、放射線は物質をよく通りぬけます。とくに γ 線は非常によく物を通りぬけるのですが、やはり途中に物をおきますと、そこで吸収されてだんだんなくなってまいります。あるいはエネルギーがだんだん減ってまいります。吸収する物を入れますと、計数管の目盛がだんだん減ってまいります。いまこの計数管で音でお聞き願ったのですが、1つ1つポツンポツンといているような間はメーターはとても動かないのですが、非常にたくさんきまして全体がガーッと鳴る程度になりますと（カウンターの音）メーターで数を表わすことができるようになります。この実験もあとでやっても

りますが、吸収でだんだん減って行くという事です。

加速器のあれこれ

これでだいたいお話は終わったのですが、最後にちょっと絵だけご覧に入れます。いままで殺風景な絵ばかりですが少しきれいな絵をご覧に入れます。それは、先程加速器のお話をしましたが、加速器にもう1つサイクロトロンという器械がございます。先程のファンドグラフというのはベルトで電気を持ち上げて一度に100万ボルト位の電気をかけるという仕掛けであり



第 26 図 理研のサイクロトロン

上下の円筒のものは電磁石のコイルの入ったタンク。手前の台の上に引っぱり出されている円形のものが粒子を加速する容器で加速するには上下の電磁石の極の間に入れる。これの直径が 27 インチ。

ますが、一度に 100 万ボルト位 かけるというのは大へん面倒なので、小刻みに、まず数千ボルト、つぎにまた数千ボルト……とだんだんかけて行く仕掛けがございます。その1つがサイクロトロン（第 26 図）という器械で、まずごくわずかな加速をいたしまして、さらにここから今度は2段目の加速をいたします。それから3段目の加速……。こういうふうに段階的にやるわけです。こういうふうに小さい加速をやる装置をならべるわけですがそれをまっすぐやりますと大へんな長さになるものですから、磁石を利用して磁石の間では電気を持った粒子はまっすぐ走らないでグルグル回りますので、磁石の間でうずまき状にグルグル回しながらだんだん電圧を高めていきます。これがサイクロトロンという器械です。これですと非常に小さな仕掛けで——ファンドグラフは相当大きな形になりますが——そんなに大きくなくて、直径 27 インチです。ここに戸棚がありますので大体の大きさはおわかりかと思いますが、ここで数千万ボルトの程度に加速することができます。これがその加速される真空の箱で、この真中にイオンを作ってやりますとそれがグルグルまわりながら加速されていくわけです。

我国ではこの種の器械で一番大きいのは東京大学原子核研究所にあるもので第 27 図にその全景をお見せします。この器械の電磁石の直径は 160 cm で、加速出来る陽子のエネルギーは 750 万電子ボルトから 1,600 万電子ボルトまで変えられます。一般に加速される粒子のエネルギーが増してゆくと、その質量は重くなってきて、グルグル廻る周期が延びてきます。こうなりますとちょうどよい時に加速が行なわれず、時間がずれてきて、だんだん加速の効率がわるくなってしまい、加速されるエネルギーには限界があることになります。このような困離を救うため、何時でもちょうどよい時に加速が行なわれるように、加速電圧の周期を変えてやります。この方式は周波数変調サイクロトロンと呼んでいますが(略して FM 式)核研の器械はこの方式も可能なようにできていて大変便利なものです。このようなサイクロトロンでは陽子のエネルギーを 5000 万から 5730 万電子ボルトまで上げることが出来ます。

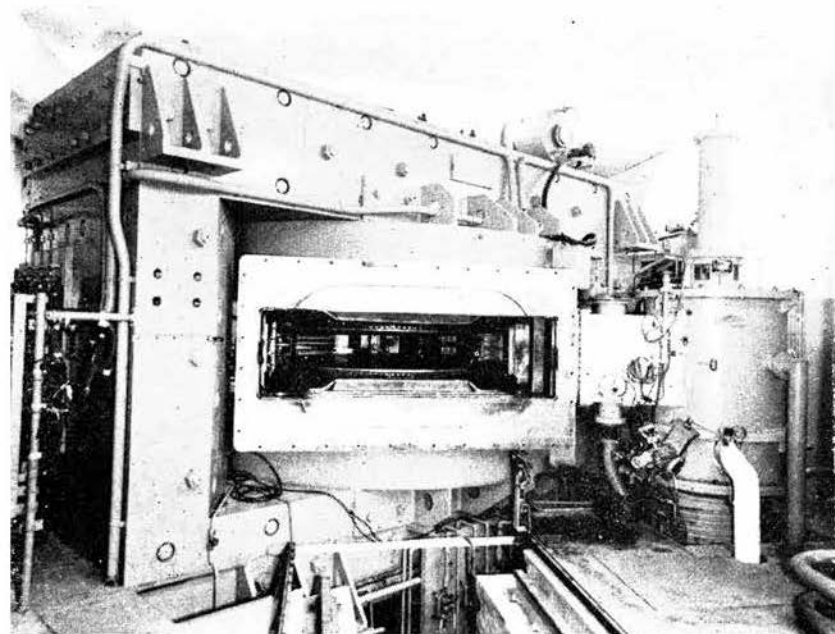
次にもっと高いエネルギーまで加速するもう 1 つの器械シンクロトロンについてお話ししましょう。サイクロトロンでは電磁石の磁界の強さが一定なように作られていますから、

エネルギーを増すと共にその回転半径はどんどん大きくなっていきます。これに対してシンクロトロンでは、磁界の強さが半径がふえる方向に大きくなるように作ってあります。そのためエネルギーが大きくなっても粒子の回転半径は僅かしか変わらないようになり、加速粒子は大体半径が一定の細いドーナツ型の真空の管の中を走り続けます。実際には粒子を予め加速しておいてドーナツの管に打ち込み、あとは途中で何回も加速が行なわれるようにしてあります。この方式では磁石の中心部はもはや必要でなく、ドーナツ管のまわりに電磁石をぐるりとならねば良いわけです。第 28 図は東大原子核研究所にある電子シンクロトロンの写真です。直径 8 m の円周上に 8 つの電磁石がずらりとならんでいるのがおわかりでしょう。又左上のすみにちょっと見えているのは電子を予め加速しておくための器械で線型加速器とよばれているものです。このシンクロトロンも我国で最大のもので電子を 7 億 5000 万電子ボルトまで加速することが出来ます。

これが外国へ行きますともっと大きくなります。

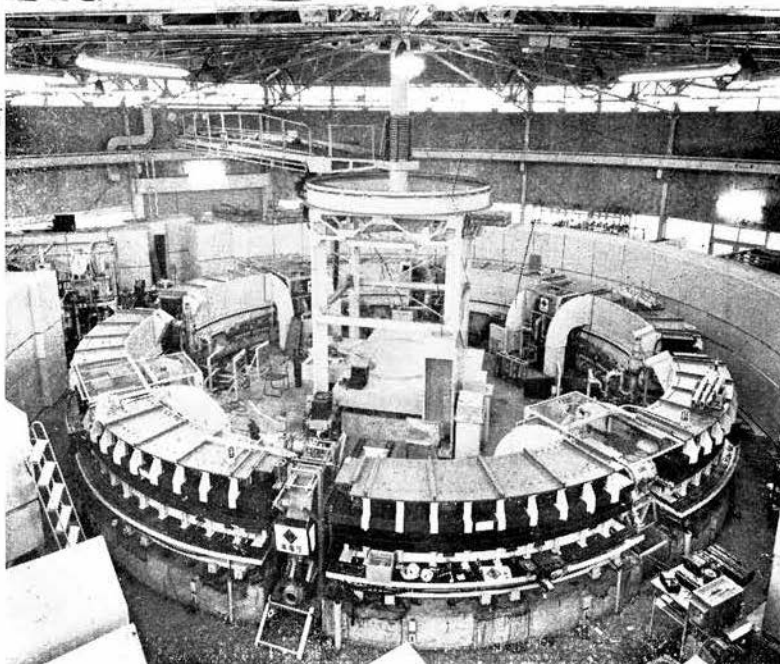
第 27 図 東京大学原子核研究所のサイクロトロン

電磁石の直径 160 cm, 陽子の加速エネルギーは 750 万~1600 万電子ボルト。
(1 電子ボルトは, 1 ボルトの電位差のところで電子が走るとき獲得するエネルギー)



第 28 図 東京大学原子核研究所の電子シンクロトロン

直径 8m のドーナツ型で, 電磁石 8 個, 電子の最大加速エネルギーは 7 億 5000 万電子ボルト。

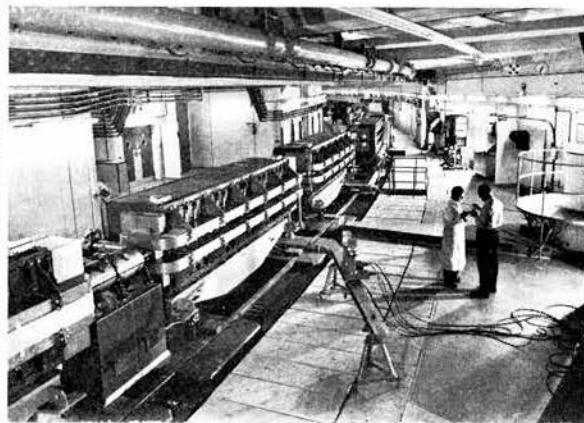


第 29 図 ジュネーブにあるヨーロッパ共同研究所



第 30 図 ヨーロッパ共同研究所の外景

直径 200 m の加速器が円形広場の地下におさまっている。



第 31 図 ヨーロッパ共同研究所の地下洞

この地下洞はドーナツ型で、その一部がカーブした地下鉄のホームのようにみえる。まだ加速器は入っていない。

第 29 図はジュネーブにあるヨーロッパ共同の研究所で、こんな大きな器械になりますと、アメリカやソ連はよいのですが、ほかの国はとてもできませんので、ヨーロッパの国が連合して研究所を作りました。ここに旗が立ったおりますが、これは博覧会でも見本市でもないのであって参加国の旗です。器械は、この建物の中に入っていると申しあげたいんですが実はそうじゃないんです。どこに器械があるかといいますと、つぎの写真をご覧に入れます。(第 30 図) これは一面の牧場のようなきれいな草原なんですが、ここに白い点々がグルッとまわっております。器械はこの地面の下に入っております。これは直径 200 m の器械です。この下に器械が入っているのです。先程も申しましたように大きくなりますと、真中はあいてきますが、このところをグルッとまわるように地下に入れてあります。地下に入そてある理由は、非常に精密を要する器械なので、直径 200 m でありながら精密度が 10 分の 1 mm ということを要求され、従って温度の変化があってはいけない。震動もあってはいけない。また、放射線が外へ出てきてはいけないといういろいろな意味で地下に入れてあります。

ここが入り口で中へずっと入っていきます。地下は大部暗いのですが、これ(第 31 図)が直径 200 m の地下洞です。ここに本当の器械があるんですがこれはまだ入っていないところです。器械が入りますとギッシリつまってしまって写真なんかなかなか撮りにくくなります。これはまだ器械が入らない前です。こういう大きな仕掛けを使っているということになります。ついでお値段を申ししますと、この器械は 50 億円です。先程の原子核研究所で作った 60 インチというのは 4 億円で、これは負けさせて 2 億 8 千万円です。負けてもらったんです。相当お金がかかったということがおわかりと思います。いまではもっと大きなのをアメリカやソ連で作りかけております。



放射線の利用

これから実験をしてご覧に入れましょう。まずあとの映画にも関係がございますが、これが計数管です。先程は暗くてあまりよくおわかりにならなかったことと思います。この筒の真中に針金が入っておりまして。で音を……(カウンターの音) こういう音がいたします。

(夜光時計の放射線でカウンターが鳴る)これが携帯用のカウンターでこれをもってウランの鉱石をさがしに行くわけです。あるいは部屋の中で放射性の物質を扱っておりますと部屋が汚染されると困りますのでこれで調べます。それから、ここにその計数管の裸のものを持ってきてまいりました。この真中に針金がズウッと通っておりまして、外に電極があります。真中がプラスで、その外側をマイナスにした、ただこれだけの仕掛けのものです。この中に入れますガスにどのようなものを使うか、そこにいろいろこれを作る秘伝があるわけです。かっこうだけ似たものを作ってもなかなかそううまくいくとは限りません。

その 1 さて、この放射性の元素
物質による吸 を使う応用にはいろいろ
収を利用して な面があります。その 1

つは吸収を利用したのですが、物が厚くなりますと、吸収が大きくなりますので、厚さを調べることができます。厚さを調べるのにも、ふつうの物指で測れるものには、このようなものを使う必要はないのですが、例えば、あとでご覧に入れますように、冬、山に降った雪の降雪量を測るのに、放射性のコバルトを地面の上に置いておきます。その上

に、その強さを測るこういうメーターを置いておきます。雪が積ってくると、上にくる放射線が、雪に吸収されてだんだん弱くなってまいりますので、それを無線で測候所へ送って、どこの山のどこに雪がどのくらい積ったかということを知ることができるわけです。また、この吸収を利用して、いろいろなものの中、例えば鋳物の中にできた穴とか割れ目とかを知ることができます。つまり穴や空洞や割れ目がありますとその分だけそこには金属がないわけですから、その部分は吸収が少なくなります。X線で胸を調べる場合も、これと似たようなものですが、結核の人の肺に空洞ができていますと、吸収がその部分だけ少なくなりますのでそれを写真で調べるわけです。

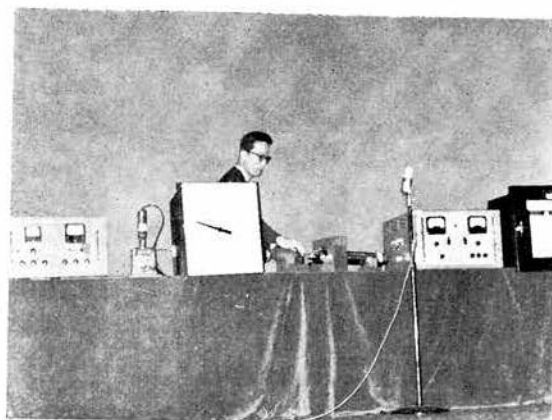
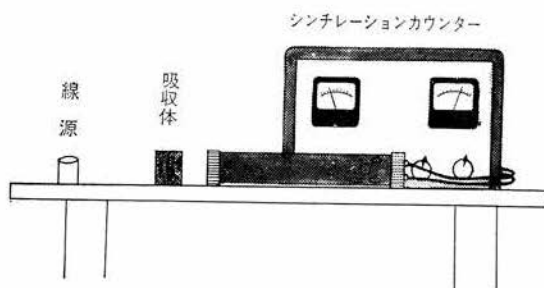
その 2 もう 1 つの応用として、こ
トレーサー ういう計数管などを使いま
と し て すと放射性元素は非常に微

量でも検出できますから、ふつうの化学分析などではとても測れないような微量のものを、これで検出することができます。それを利用いたしますと非常に微量な元素の分析をすることができるということのほかに、例えば、生物がある元素を食物と一緒に食べると

それがどういうふうに体の中を動いていくかというようなことを調べることもできます。非常に面白い例は、これもあとで映画でご覧に入れますが、人間ののどのところに、甲状腺といって何か内分泌する腺があります。ここには食べたヨードが集まるという性質がありまして、放射性のヨードを食べさせますと、それが体をめぐりめぐって結局ここへやってくるということがわかります。それが治療に使えまして、甲状腺のガンの場合には、放射性のヨードをのませますと、ちょうどガンの所に放射能が集まってきて、それがガン細胞をうまく征伐してくれます。このように放射能をたよりにして、例えば植物が肥料を吸った時にそれがどういうふうに動いてどういうふうに集まるかというようなことを調べることができます。これをトレーサーと申します。トレイスというのはあとをつけるという意味です。こういうことによって、生き物を殺さずに生体中を元素がどう動いていくということがわかるわけです。例えば血液の流れる速さなどを調べることができます。これは動物を使えばよいのですが、例えば兎の右側の耳に放射性のナトリウムでできている食塩水を注射しますと、それが左の耳へやっ

てくるのにどれくらいの時間がかかるかがわかり血のめぐりの速さがわかります。トレーサーには、いま申しましたような細かなものもありますが、もっと大ざっぱなものとしましては、例えば川に大水がでると土砂がいっぱい流れてくるわけですが、それがどれくらい上流からどれくらい下流まで動くかなどというのは、石に放射性同位元素をつけておきますと、それをたよりにして、このカウンターを持って歩きますとどの辺までできたかということがわかるわけであります。いちいち石のかっこうを覚えていたりすることはできませんが、これですと放射能を持った石ですからすぐわかります。これも映画にございます。海の中で砂がどういうふうに動くかということ調べるのです。また、建物から雨が漏った時もふつうの日本家屋ならどこから漏るかということはすぐわかるのですが、コンクリートの家になりますと、どこの割れ目からどう伝わってくるのかわからなくて困るのですが、それをみつけることもできます。それから、地下水の水脈を調べることもでき、いろいろな使い方がございます。その例はあとでご覧に入れます。いうなれば「行方探し」です。

放射線の吸収の実験



第 32 図 シンチレーションカウンターと放射線の物質による吸収実験

シンチレーションカウンターは放射線の量を計測する計数管の一種である。左に線源をおき計測する。つぎにカウンターと線源の間に物体（タバコのピースの箱を手でおさえているのは理研の浜田達二氏）をおくと放射線がこれで吸収されることがわかる。このカウンターの右側の（下図の右端）自記記録計でその変化を記録できる。

デモンストレーション

ひとつ実験をしてごらんに入れましょう。ここにある

メーターの赤い針が、放射線の強さを示します。弱くなるとだんだんこっちへきて、0でここになります。ここに大砲の弾みたいなのがありますが、これが計数管です。（第32図）これはガイガーの計数管ではないのですが、一種の計数管で放射線の強さを測るものです。ここに放射線の源があり、つまり放射性元素が入っております。ここにピースの箱をおきますと、吸収がおこりましてごらんのようにこの目もりがずれます。ピース1箱の厚さでこれだけ減ります。もう1箱おきますと……またこれだけ減ります。もう1箱おきますと……。これは、あとで映画でご覧になる山に雪がつもってくるのと同じです。おや今度はあまり減りませんな。種あかしはいまのピースの箱は空っぽだということです。ですから鋳物の中に穴があいていますといまの空っぽのピースのようになりまして吸収があまりおこらないのです。これが1例で、吸収を利用した例はいくつかあとにございます。

そのつぎは、トレーサーの例です。ここにトランプがございますが、この中の「パパ」の行方を探そうというわけです。これをメチャ

クチャに切ります。実はパパには放射性のリンがちょっとつけてあります。

それから、放射線が体に非常に悪いのではないかということですが、確かにそうなのでして、夜光時計の字を書く職人が、小さな字を書くためよく筆をなめるのだそうですが、そのために白血病のような病気になるという例がたくさんございます。それから、広島
の例、ビキニの例などいろいろご承知かと思いますが、1つは、体の中へ入る放射能の半減期が問題です。半減期の非常に短いものは害が少ないのですが、非常に長いものは放射能がいつまでも体の中に残っています。もう1つは、体からすぐ尿になって出てしまうというようなものはあまり害がありません。ナトリウムのようなものはそれ程心配はいらないのです。ところが、例のストロンチウム 90 というのは一度体へ入りますと、骨の中へ入ってしまいましていつまでも体の中へたまっています。しかもストロンチウム 90 は半減期が相当長いことです。あれは 28 年なので一度体へ入りますと長い年月の間放射線がでています。ですからこれらは相当な害があるというわけです。



第 33 図 放射能はトレーサーとしてつかわれる

放射性元素はカウンターをつかってその行方を追っていくことができる。これはその実演のためのデモンストレーションで大きなトランプをつかった“パパ抜き”の実況。“パパ”には放射性元素が塗りつけてあるのでガイガーカウンターですぐみぬかれてしまう。

さて、ここでサクラの方を登場願いました……、もし皆さんの方の中でやってみようという方がありましたら、どうぞ遠慮なくお上り下さい。(何人が登壇、「パパぬき」を行なう。)このトランプを適当に1つずつもって下さい。(第 33 図)それではこのカウンターでトレイスしてみることいたします。(ト

レイス、しばらくしてカウンターの音), はあ、パパはそこにおります。それではちょっと表をむけて下さい。ほらうまくあたりました。まあこういう応用もできるというわけです。

最後に、このほかにもいろいろな応用が考えられると思いますが、私どもが今日考えました応用は、仁科記念財団の宣伝に放射能を使おうということであります。いまちょうど財団が寄付金集めをしておりますので、この放射能の実験が大いに宣伝となり寄付金の方にいい影響を与えるだろうことを期待して私

の話を終りたいと思います。ちょうどいま4時2分です。4時5分にはちょうどこの原子時計の針がさっきつけた赤いしるしのところへくるだろうと申しましたが、だいたいそのようになりました。この放射能時計というものがいかに正確かということがこれでおわかりだろうと思います。またあと54分たちますと、今度はいまの半分の目もり、ちょうどこの辺にまいります。

それでは、私の話はこれで終ることにいたします。





アイソトープとともに10年

山崎文男*

仁科先生が原子炉でできたアイソトープを一日も早く日本でつかえるようにしたいとされた努力は「科学」に書かれた文中からも十分に窺われよう。苦難の連続であった戦争は終り、まだ、日本人は虚脱の状態にあったとき、先生は焼野に残された理研の60インチサイクロトロンを使ってアイソトープを作り、トレーサーとして生物学の研究に役立てようと考えられた。しかしこの夢は、その年の11月24日に始まったサイクロトロンの破壊撤去で完全にうち破られてしまった。なぜ生物学のために使おうとされたかは、原子核の研究が当時受けていた厳しい制限にもよるが、そのころの、きわめて悪い食料事情に大きく関係していたことは確かである。

アイソトープのトレーサー利用の望みが絶たれたのに代って窒素15の濃縮が始められ、農林省と密接な関係をもってこの仕事は続けられ、望みの一部は満たされた。

しかし、先生のアイソトープ利用への執念はまことに深いものがあつた。アメリカがOak Ridge でできたアイソトープを国外にも頒けるようになったのは1947年の夏であったが、その前から日本に送って欲しいと司令部に交渉しておられた。

1948年ごろからは、ときおり入手可能のきざしが現われてきた。いくたびか申請書が作られては提出された。戦前アメリカでサイクロトロンでできたアイソトープを使ったことのある、東大医学部の吉川春寿君がその申請書のやかましいのに驚いたのは、1948年の夏、Allen 中佐がアメリカへ一時帰国する

* 理化学研究所主任研究員、仁科記念財団常務理事。

Vol. 20 No. 4

163

話題

ラジオアイソトープが輸入されるまで

最近 radio isotopes (RI) の輸入に日本に許可したというアメリカ政府の発表は、わが學界に對する一大朗報であつて、その後聯合軍司令部 (GHQ)、科學技術行政協議會 (STAC) およびわが學界との連絡のもとに、その受け入れに對する準備が進められつつあることはまことに喜ばしいことである。

自分はこの問題については初めから關係をしてゐたので、今その記憶を辿つて今日にいたつた経緯を述べて見たいと思う。これは本誌の編輯者の要求でもあり、かつこの輸入が可能になったというのも、GHQ 科學技術行政協議會 (STAC) 局長 KELLY 博士以下、科學者、およびアメリカの科學使節團その他の科學者の好意ある助力によつたものであることを明かにしたいのである。

舊理化學研究所 (現科學研究所) ではサイクロトロンによつて、いろいろの RI を作り、これを tracer (追跡標識元素) として生物學上の各種の問題を究明し、興味ある研究結果をあげてきたのであつた。それで診察後サイクロトロンをこの目的のために使用したいという希望をもつておつたので、1945 年 9 月に K. T. COMPTON 博士を賓賓とする Scientific Intelligence Survey が我々の研究家を檢査に来た時にこの事を述べた。

幸にして、この願望——應は GHQ の許可を得たのであるが、間もなくサイクロトロンは破壊の運命にあり、われわれの希望も空しく消え去つたのであつた。しかしアメリカの原子力委員會が選定してゐる工事は研究所では各種の RI を多く作り得ることは明かであつたのでアメリカの科學者にある機会ある毎にこれを送つてもらいたいという念願を述べておつた。

1945 年 11 月 11 日に KELLY, FOX の兩博士が前達の GHQ 科學技術行政協議會として來賓し、度々面談する機会があつたので同じように自分の希望を述べたのであるが、まだこれが實現する望みは當時としては全くないことが感じられた。

越えて 1947 年の春 KELLY 博士が 1 個月餘歸米する機会があつたので、RI の入手が可能であるかどうかを調べてもらうことを依頼したのであつたが、それはまったくだめであつたと見えて KELLY 博士は日本に歸つてもそのことにはふれないでしまつた。その年の夏にはアメリカの學士院から第一次の科學使節團が日本に招かれた。そのときも自分は同じ希望を述べたところ、これ等の科學者の中にはそれは何でもないことだという意見の人であつた。しかし實際には多くの困難があつたと見えてなんらの進展も見られなかつたのである。

KELLY 博士は 1948 年の春に再び歸米することになったので、自分はまたもやこの問題をもち出して頼んだが、その頃はアメリカは他の國には RI の輸出を行つたので多少の望みをもつておつたのである。豫想通り

こんどは KELLY 博士もアメリカの原子力委員會と密に話合つた上、その可能性のあることを確めて日本に歸つてきた。そして日本からこの問題について更に委員の往復を行つてくれたのであるが、RI を買つた場合これをどうして支拂うかということが現時の問題となつた。

そこで KELLY 博士は前の使節團の一員であつたニューヨークの植物園長 ROBINS 博士に相談の手紙を出したところ、それは American Philosophical Society (APS) の補助金を買つたが好い、同博士はその役員であるから盡力しようということで、申請書の用紙を送つてくれた。そこで自分の名で申請したところ、しばらくしてその補助金は希望通り出してくれることになつたということが KELLY 博士のところに通知があつた。そこで KELLY 博士はすぐアメリカの原子力委員會に交渉して送つてもらふ正式の手帳をとつてくれた。しかしそれに対する返事はなかなか來なかつた。

ところが 1948 年の春には第二次の科學使節團が來た。このときにも自分はこの話をもつたが、その部長の BRONK 博士は APS の役員であつて、このことをよく知つており、歸米してから手帳をよこして、補助金は出ることになつたが、まだ多少問題があるからそれを解決せねばこちらの希望通りにはなぬという話であつた。

その内に援助資金による試験研究用機器の輸入が實現せられることになつたので、KELLY, DEES 兩博士の取組みで、前の話とは別個に RI を 1949 年の輸入項目に入れることになり、DEES 博士豫案のもとに申請書を作つて出したのであるが、まだその機が熟せず 1949 年分の輸入は取消しとなつてしまつた。そこで 1950 年の申請をしようといつておるときに、日本へ輸入許可という郵便がやつて來たのである。

そこで先ず日本に輸入されるのは、先に APS から承諾を得た補助金によるものであつて、ニューヨークにある GHQ の代理事務所を介して原子力委員會から買ひとつて送つてくれることになつてゐる。その要々種類は多くはないが、この 3 月か 4 月頃には到着して tracer の仕事が始められるであらう。以上でわかる通りこの輸入が實現せられたのは、まったくアメリカの多くの科學者の助力によつたものである。特にサイクロトロン破壊によつて研究ができなくなつたことに對する同僚からのをいへる。KELLY 博士は来る 1 月 27 日出発するが、自分としては、まことに深い感激に打たれる。

なお 1950 年以後は STAC が中心となり、輸入機器の 1 項目としてこれを取扱うことになつてゐる。そして各客がその使用申請を催め、これを STAC の委員會が検討して原子力委員會への申請を作り、國內の研究上の連絡をとることになつてゐる。RI は貴重なものであるから、その使用に當つては各分野の専門家の緊密な協力が望ましい。そしてこれはまず日本の經濟復興に資する研究に利用するという建て前となつてゐる。(1950.1950)

仁科 雄



原子炉で造られたアイソトープが昭和 25 年 4 月 10 日始めて
我國にもたらされた。——その日の故仁科博士と ^{125}Sb ——

仁科博士の自ら書かれたラジオアイ
ソトープ輸入までのいきさつ。
(岩波「科学」Vol. 20より)

ので、それに託して持ち帰るとて、初めて正式入手の書式を見たときのことであった。もちろん、これも許可にはならなかった。

一方、利用されるアイソトープのなかには ^{14}C 、 ^{35}S のようにきわめて soft な β 線しか出さないものがある。受け入れ態勢としては、これを十分測る器械が必要なので、わたくしどもはその準備も始めていた。司令部の Dees 博士より tracerlog など、測定器のカタログをもらっていたので、雲母窓の G-M 計数管が売り出されていることも知っていたが、当時の研究費を考えて、また、早急に間に合わせるといふ面からも、確実に使える自信をもっている Lauritsen の電気計を用いようと、その準備をしていた。

いくたびかの無駄になった申請書提出で、アイソトープ利用は占領下にあっては望みがないものかとなかば諦めていたが、1949 年夏に出したのが結局実を結んだことになった。間違いのないように先生からいわれ、Oak Ridge の Catalog に従ってアイソトープの代金、手数料、それに木村健二郎教授への Irradiated Unit の通い箱に対する供託料など、きわめて慎重に計算して出したのが、American Philosophical Society から仁科博

士へ寄贈の形式をとって、ほんとうにはいつてくることになったのであった。

アメリカ原子力委員会の正式許可が発表されたのが、その年の 11 月 10 日であった。

ひとたび開かれた扉は、そののち閉ざされることなく、アイソトープの利用は今日の隆盛をみるに至ったのである。

こんにち入手が 1 日おくれても手強い文句がつけられるアイソトープも、仁科先生にとっては 3 年の辛抱が必要であったのだ。

顧みて、この 10 年は歩みでなく、まさに駆け足の連続であったと言えよう。

(日本放射性同位元素協会編「アイソトープ十年の歩み」, 昭和 38 年 5 月 1 日発行, 90~91 ページより)



ヘヴェシー先生とトレーサー

松 浦 二 郎*

George De Hevesy (1885~) 先生はハンガリーのブタペスト生れで貴族の出身者です。1908年にフライブルグ大学で博士号をとり、スイスの工業大学の助手、カールスルエのハーバーのもとでの研究、ラザフォードのもとでのマンチェスター大学時代などを経て1913年にブタペスト大学講師、1918年に教授となりました。1921年コペンハーゲンの理論物理研究所の所員となり、1923年にCoster (コスター)とともに72番元素ハフニウムを発見し、1926年フライブルグ大学の物理化学の教授に就任、1930年にアメリカへの帰途来日したことがあります。1935年理論物理研究所にもどり、放射性同位体を応用する生物学、医学の研究をはじめ、第2次大戦中はスウェーデンに亡命し、この研究をストックホルムの大学で続けています。コペンハーゲン時代に故仁科芳雄博士、原子力研究所理事東京大学名誉教授木村健二郎博

士、フライブルグ時代に金沢大学学長、京都大学名誉教授石橋雅義博士など多くの日本化学者と親交を結びました。日本分析化学会その他学会の招待で1958年に来日の予定でその訪日講演の予稿も印刷頒布されましたが、突然の発病のため来日が中止となったことはいかにも残念なことでした。

ヘヴェシー先生は第2次大戦が起こった後である1943年にノーベル化学賞を受賞し、1958年には原子力平和賞が贈られています。戦後の作であるRadioactive Indicatorsの書物は生物、医学への放射リン、イオウなどの応用の手引として、実験の伴侶として親しまれています。この方面の開拓者であるヘヴェシー先生の仕事は鉛の放射性同位体を使用する放射性指示薬に関するもので、ノーベル化学賞もこの仕事を対象としています。その歴史的回顧はノーベル受賞記念講演や訪日予定講演予稿集中にヘヴェシー自身の言葉で語られています。

この方面のかれの最初の論文は、1915年

* 東京大学教養学部教授。昭和32年度仁科記念財団留学生としてフランスに留学。

Zeitschrift für physikalischen Chemie, 89 卷 294, 303 頁にのりました。難溶性のクロム酸鉛の溶解度(水に対する)が室温で 2×10^{-7} モル/l で、電気伝導度でしらべた値 3.2×10^{-7} モル/l および化学平衡定数から測定された値 1.4×10^{-7} モル/l と比べてちょうど中間にありました。これは鉛の同位元素で 11 時間の寿命で壊変する トリウム B をふつうの鉛に加えることによって測定できたのでした。すなわち 10 mg のふつうの鉛に 10^4 単位(放射性を測定するエレクトロスコープの単位)のトリウム B を加えれると、ほぼ 1000 分の 1 mg の鉛を正確に秤することができます。1000 分の 1 mg という目方は、ふつうの化学天秤ではとうてい秤量できない目方ですから、この方法が巧妙であることがよくわかります。

ところでどうしてヘヴェシーが放射性同位体を同じ化学元素のあとづけ元素として用い得ることに気づいたかという話は興味があります。それは 1913 年にヘヴェシーがラザフォードのところで研究していたころ、放射性の鉛である ラジウム D をふつうの鉛かう分離せよといいつかりました。ところがラジウム D とよばれる鉛の同位体とラジウム G とよばれる鉛の同位体(ふつうの鉛)とは化学的

性質はごく僅かの違いしかありませんので、ヘヴェシーの努力は成功を収めませんでした。同位元素は質量の異なる双生児で、化学的性質に関係のもっとも深い原子の外側電子数や配置は全く同じで、原子の中心のごくせまい部分しか占めていない中心の核の目方が約 300 分の 1 ほど違うだけだからです。ヘヴェシーはこのように同位元素を分離することができにくいことは、それを逆用すれば同位元素の一つを用いて他の同位元素に目じるしをつけ、その化学的行動を追跡することに利用できるに違いないと考え、これを試みました。鉛の同位体としては前記のラジウム D のほかラジウム B やトリウム B などが天然のウランやトリウムの鉱物からえられます。ことにこれらは不安定な原子で放射線を出して壊変しますから、その放射線を目じるしにすれば、極めて微量の物質を認知できます。この目的にもっとも都合がよいという理由でトリウム B が選ばれたわけです。

放射性指示薬と称せられた放射性同位体でヘヴェシーらが行なった仕事は無機化学、分析化学への応用が広いものです。溶液中から沈殿が生成するとき、他の種類の物質と一緒に沈殿を起すという現象があります。これは

共同沈殿とよばれ、極めて微量のラジウムを性質の似た元素バリウムと一緒に沈殿させるときなどにつかわれているものです。そのような共同沈殿現象に放射性指示薬が有効に使われるであらうことは直ぐに理解できますが、ヘヴェシーらはさらにその共同沈殿の機構に関連して、結晶性沈殿の生成および生長の様子を観察しました。また沈殿をつくる結晶中の鉛イオンと溶液中の鉛イオンの交換速度ばかりでなく、金属原子である金属の鉛と溶液中の鉛イオンの交換速度を放射性同位元素を使ってしらべました。今日でもあまり明瞭には理解されていないラジオコロイドの生成についての報文もヘヴェシーらにより初めて出されました。

放射性指示薬は元素の放射能を利用して元素の化学的性質を追跡するものですが、その放射能をもつ元素自身の性質、すなわち他の同位体でうすめられていない元素の性質を知ることができます。これは極微量または極希薄溶液の化学で、前人未踏の領域でした。その一つとしてビスマスの電気化学的

SOME APPLICATIONS OF ISOTOPIC INDICATORS

Nobel Lecture, delivered at Stockholm, December 12, 1944.

by GEORG DE HEVESY

The method of isotopic indicators had its ultimate origin in the Institute of Physics at the University of Manchester, which then was under the inspiring leadership of that great physicist the late Lord (then Professor) ERNEST RUTHERFORD.

The cradle of radium is the Czecho-Slovakian town Joachimstal; it was from Joachimstal pitchblende ore that Professor and Madame CURIE isolated that element. The Austrian Government, the owners of these mines, generously supplied Professor RUTHERFORD not only with radium, but also with the by-products of radium production, equally important for the worker in the field of radioactivity. One of the most significant by-products is radium D, which has a half-life period of 20 years and is found associated with the very substantial amounts of lead present in pitchblende. The Austrian Government presented to Professor RUTHERFORD several hundred kilograms of such "radio-lead". In view of its association with very large amounts of lead, which absorb the radiation emitted by radium D, this precious radioactive material nevertheless proved to be almost useless. When I met Professor RUTHERFORD one day in 1911 in the basement of the laboratory where the radio-lead was stored, he addressed me in his friendly and informal way, saying: "My boy if you are worth your salt, you try to separate radium D from all that lead." In those days, I was an enthusiastic young man and, on immediately starting to attack the problem suggested to me, I felt quite convinced that I would succeed. However, although I made numerous attempts to separate radium D from lead and worked for almost two years at this task, I failed completely. In order to make the best of this depressing situation, I decided to use radium D as an indicator of lead, thus profiting from the inseparability of radium D from lead. Suppose that we dissolve 1 g. of lead in the form of nitrate in water, add radium D of negligible weight showing a radioactivity of one million relative units (an electroscope being used to measure the activity), and proceed to carry out the most intricate operations with this "labelled" lead. If we then

ノーベル賞受賞記念講演記録の最初のページ

(仁科記念文庫所蔵ノーベル賞年報より)

性質，ポロニウム電気化学に関する研究があります。

ビスマスという元素は希薄な酸にとけにくい貴金属に似た重い金属です。金属の酸に対するとけやすさ，またはイオン化傾向は，化学電池の構成で知られているネルンストの式により表わされます。

$$E = \frac{RT}{zF} \ln C + E_0$$

ここで E はイオン化傾向の尺度を表わす，化学電池の起電力で， z は溶液中の金属イオンの原子価を表わし，ビスマスでは $z=3$ です。室温においては式の自然対数 $\ln$ を常用対数 $\log$ に直すために掛算をすれば

$$E = (0.059/3) \log C + E_0$$

ただし C は溶液中のイオンの濃さで， E_0 は定数を表わします。 C が 10^{-1} モル/l ぐらいまでは実験で知られますが，それから先のうすいときにはどうなるかについては他にこれを確かめる方法がありません。トリウム B と Ra E とを使いヘヴェシーは 10^{-9} モル/l までの極希薄溶液でもネルンストの式が成立することを確かめました。その後の研究によってネルンストの式の適用はいかなる場合にもできるものではないことが知られました

が，Haissinsky（ハインスキー）らにより，ビスマスの場合は 3×10^{-12} モル/l の希薄溶液でもネルンストの式が当てはまる^{*}ことが裏付けされています。

電気化学の方面でヘヴェシーはポロニウムが陽極にその水溶液から過酸化物として析出することを指摘しています。その後 mg 量のポロニウムを原子炉でつくり出せるようになってから，アメリカ学派はこの mg 量のポロニウムを用いたところ，陽極にポロニウムを析出させることができませんでした。これに対してポロニウムは mg 量であると，そのアルファ線の放射線化学的作用により容易に分解するものであることをハインスキーらが立証し，ヘヴェシーの実験結果は誤りでないことを示しました。筆者らもこれと同様に高原子価のポロニウム（過酸化物といわれるもの）が過酸化水素により還元され低原子価（IV 価で安定）のポロニウムになることを示しました。IV 価——VI 価の原子価変化のポテンシャルは過マンガン酸などと同じ位の大きさの 1.5 V という値になります。

分析化学への直接応用としてヘヴェシーは

* 白金板を電極にもちいたとき。

今日でも広く採用されている放射化学の基本的方法の一つである希釈分析法を鉛の同位体を用いて行ない、種々の鉱物中の鉛の含有量の決定法を正確にすることに貢献しました。戦中及び戦後は中性子その他により放射性元素をつくり、できた放射性元素の放射能から分析をするという活性化分析法を、希土類元素などについて行なっています。ヘヴェシーの近年における活躍は無機化学よりは、むしろ生物学、医学方面における放射性同位体の応用とその基本的方法の発見、改良に向けられています。

ヘヴェシー先生の自慢の一つに、放射性同位元素を用いる元素の自己拡散の測定や、金属水素化合物の発見、四エチル鉛の熱分解による遊離エチルラジカルの確認などがありま

す。今日放射線化学のラジカル説や有機化学反応理論でさかんに用いられているラジカルまたは不安定な遊離基の存在を始めて確認したものといえます。

ヘヴェシー先生の業績を数え尽くすには紙面もたりませんし、この稿の目的でもありませんので、一つのなごやかなニュースを記して終りにしたいと思います。昨年5月に日本からヘヴェシー先生に、先生の発見にかかる元素ハフニウムでメダルをつくり、日本分析化学会より同学会の名誉会員のヘヴェシー先生に贈りました。純度 95 % で少量のジルコニウムを含むものですが、この日本国産品としてつくられたメダルを、先生はたいへん喜んでお受けになりました。



財団法人仁科記念財団役員名簿

現在（昭和38年7月）の理事，監事，評議員は，次のとおりであります。

理事長 渋沢 敬三

常務理事 朝永振一郎 村越 司 山崎文男

理事 石川一郎 植村甲午郎 茅 誠司 木川田一隆 酒井杏之助
 嵯峨根遼吉 瀬藤象二 長岡治男 原安三郎 矢野一郎
 我妻 栄

監事 安藤豊禄 武見太郎

評議員 有山兼孝 安藤豊禄 石井千尋 石川一郎 一万田尚登
 一宮虎雄 植村甲午郎 太田清蔵 茅 誠司 菊池正士
 木川田一隆 木村健二郎 小谷正雄 小林 稔 駒形作次
 酒井杏之助 嵯峨根遼吉 渋沢敬三 杉本朝雄 瀬藤象二
 千秋邦夫 武見太郎 田島英三 玉木英彦 富山小太郎
 朝永振一郎 中泉正徳 長岡治男 仁田 勇 畠山蔵六
 原安三郎 藤岡由夫 藤山愛一郎 宮崎友喜雄 村越 司
 矢崎為一 矢野一郎 山崎文男 湯川秀樹