

V 太陽と地球との関係

萩原 雄祐

東京大学名誉教授

昼夜の別や春夏秋冬の四季の別はすべて太陽によるものである。その上に太陽面の活動に応じて、地球上の諸現象が変動をする。太陽面現象と、個々の気象現象とについては確然とした相関がまだわからないが、今日最もよく知られているのは、太陽面現象と地球上の電波の伝播、したがって電離層の状況に対してである。太陽黒点、紅点、白斑、羊毛斑やフレーヤーあるいは太陽コロナ、太陽電波等の太陽面現象から、電波の伝播異常を予報しようとさえしている。これら太陽面異常は電離層に影響し、地磁気を乱して、デリンジャー現象や磁気嵐、無線通信の劣化を起し、極光、夜光を生じ、あるいは宇宙線の強度に変動を与える。しかしながらこれらの異常は、太陽からくる短波長の輻射と微粒子の作用であろうとされているが、今日でもこの機構についてはほとんどわかっていない。太陽面現象と地球上の現象とをカップルした現象と考えなくてはならない。このためにこそわれわれは世界に先んじて、全国の関係学者を集めて電離層総合研究を過去十カ年間行ってきた。そしてそれが今日の国際地球観測年の主題の一つとしてあげられている所以である。そのためにこそロケットや人工衛星がうちあげられ、極地でも世界協同観測が始められている。

ここでは太陽面現象を輻射並びに電波について観測方法とその現象を叙述し、今日考えられているその機構を略述する。そしてそれが地球上の電離層、地磁気、極光、夜光、宇宙線等に影響を及ぼす機構に関する今日の見解に触れようと思う。かくてまったく新しい科学の分野として、超高層物理学(Aeronomy)が誕生を告げる。〈昭和32年12月6日 講演〉

は じ め に

私が仁科さんと知りましたのは大正7年のことでございます。東京大学に入りまして、寺田寅彦先生だとか長岡半太郎先生などの講義をいっしょにききましたのでございます。仁科さんは、その前にすでに東京大学の工学部をご卒業になりまして、工学部の講師として東京大学におられたのでございますが、われわれといっしょに理学部の物理の講義をきかれたのでございます。仁科さんは非常にきょうめんな人でございまして、寺田さんの講義が低い声で非常に早口なので、私はその講義を取るのが上手なのでありますので、仁科さんはしょっちゅう私のところに毎時間やってきては、ここは先生何といった、ここは先生何といったといってきかれたのでございます。物理の方の学生諸君はそれほど熱心ではなかったんでありますが、工学部の方から聴講にきておられた仁科さんが、非常に熱心にひとつひとつききもらすまいとしてやっておられるので大変感心しておりました。そのうちに先生は、理化学研究所から外国にゆかれました。ちょうどそのころ、私も留学していましたので、コペンハーゲンで1924年に会いましたが、仁科さんはX線スペクトルの研究をしておられ、スウェーデンのジーヒバーンもちょうど同じことをやったので、ジーヒバーンに負けまいと徹夜で実験をしておられた時分でありました。日本に帰ってからもいろいろなところで出あったのでありますが、先年まだお若いのおなくなりになり、惜しいことをしたと思っております。ここへこの私がこの記念といたしまして講演させていただくということは、大変光栄に存ずる次第でございます。

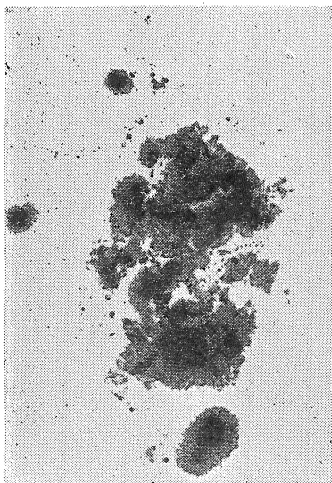
今日お話ししよういたしますことは、やはり多少仁科さんとの関係がありまして、それは戦後直ちに私たちが集まりまして電離層の総合研究というのを始めたのでございます。電離層というのは地球をとりまいて地球の表面数百キロのところに電気を帯びた層であります。これは地球をめぐる電波がつたわるのに関係がありますが、その電離層の研究をこれに関係しまし

た天文学、地球物理学のうちでも地球電磁気学、電波伝播、電気工学の電離層の研究とかいうことをやっている人たちが集まりまして、総合研究をしていたわけですが、そこへ仁科さん自身がお若い方をひきつれてやってこられまして、「おれたちも入れろ」というわけでございます。その時分の考えでは、どうも宇宙線は、電離層の研究としては二次的のものとされておりましたので、研究費も少ないのでお断りしたいと思ったのでありますが、昔からの関係がありますから、しぶしぶお入れ申したのであります。ところが、理化学研究所——そのころ科学研究所になっておりましたかどうか忘れましたが——の経費が足りなかったかどうか、文部省の経費を大変にくってゆかれたのであります。それはさておき、いま申し上げたいことは、今日になりますと、その時分、つまり10年ほど前、二次的のものであると考えておりました宇宙線が、太陽と地球との関係をしらべる上に、もはや二次的なものでなくなった、ということであり、これは仁科さんの卓見であったと考えるわけでございます。

長々しく前置きをいたしました但本論に入りたいと思います。

太陽は生命 の親である

われわれ、昔からであります、太陽というものがわれわれ生命の親でありまして、地球上の生物は何一つとして太陽の影響をこうむっていないものはないのであります。つまり昼と夜の別、あるいは春夏秋冬の四季の別などはもちろんのことであります、太陽にちょっとした変ったことがあります、何か地球上に影響を及ぼす。よく新聞記事をにぎわしております太陽黒点が、気象現象に影響を及ぼすとか、あるいは昔の経済学の本にありました相場の上がり下がり黒点説というようなこと——これは、今日あまり重きをなさないことになっておりましようが——、気象現象にどういふ影響を及ぼすかということにつきましては、統計的にわかっているだけです。つまり、約11年の太陽の活動の周期に応じまして多少とも変っ



第1図 これは太陽黒点を非常に大きく写したものであります。ウィルソン山天文台の太陽塔でとりました。太陽黒点の構造が非常にくわしくわかります。

が昼夜の別によってももちろん変化し、春夏秋冬の別によって変化いたします。これは季節変化と申しまして、国際的に無線通信をやりますときには——ちょうどこの建物の主でありまして、渋沢先生^{ぬし}の關係のことではありますが——それを考えに入れまして、使う電波の波長などを予報してそれに従っておるわけではありますが、突然に太陽の表面に、ある現象が起りますと無線通信が不通になる、あるいは通信がしにくくなるという現象が起ります。この原因はもちろん太陽であります、これがまず、今の天気予報の程度あるいはそれより、もうちょっと悪いくらいの程度までしか予報ができそうにもありませんが、現に国際無線通信ではこれを使っております。つまりこれから申します電離層の総合研究は、それによって、太陽と地球とがどういう作用機構によってそうなるかということを究明するためのものです。

こうして、私たちは電離層の総合研究委員会というのを作りまして、文部

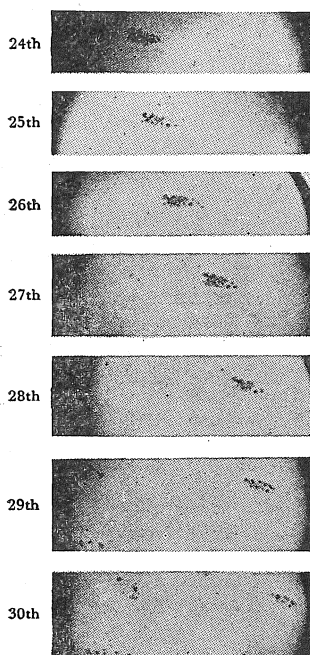
てくるくらいのものでありまして、ひとつひとつの太陽面の特殊現象が地球上の気圧配置にどういう影響を及ぼすかということにつきましては、まだはっきりわかっておりません。2年ほど前に外国人がそれについてひとつの論文を出しておりますが、それ以来、何とも後に続きませんから、まだはっきりしないと考えるてはなりません。気象現象はそうありますが、地球上に影響を及ぼしますのは電波伝播に対してであります。つまり、今さっき申しましたように、地球をとりまいて電離層という層がありますが、それ

省の研究費をもらいまして続けてきているのでありますが、その総合研究のやり方、ことに全国的に関係のある諸現象の間の総合的の協同観測のやり方が、今回の国際地球観測年に大仕掛にとり上げられまして、今回の地球観測年の主な議題、しかも急速に進歩しつつある議題のひとつとして、観測の表題といたしまして世界的の協同観測としてとりあげられているわけであります。今までわれわれの委員会できっしょにやりました若い方々の研究が、現在におきましても国際的に大変重要視されておる次第でございます。ただ今後の問題は、われわれのやり方をさらに大仕掛にいたしましてアメリカあたりで始めるということになりますというと、とてもわれわれの方では力が及ばないことになるかもしれませんが、この委員会で今までやってまいりました成績では、アメリカから帰られた若い方々の話によりますと、考え方の上では、われわれがまだ優位に立っておるというような話でございます。まず安心しているわけですが、これからも国際地球観測年の結果を使いまして、ことにわれわれの同僚がすでに南極地域の観測にまで行っておるのですから、それらの資料を使いまして、太陽と地球との関係につきまして立派な研究が出ることを期待しておるのであります。話を進めるために、失礼ではございますが、皆さんがあまりご承知ないと思ひまして、こういう現象の入門からお話させていただくことにいたします。

太陽の黒点

まず太陽から始めますと、太陽はご承知のようにまわるディスクをもっておりますが、あれがそれ自身に固定した軸のまわりに自転をしております。27日ばかりの速さで自転をしております。そのことは太陽の表面に現われる黒点の日々の位置を見ておりますと気がつきます。その動きによりまして、自転軸がどこにあるかということもわかります。

ところで、これをくわしく調べてみますと、たくさんの黒点が現われるとき——これは太陽の活動期であるとみなされます——と、それがだんだん減

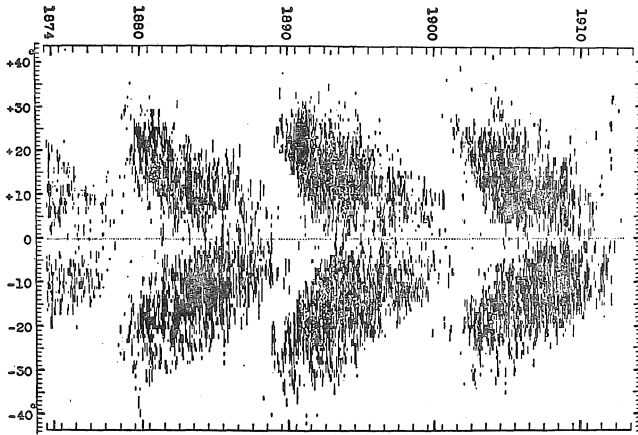


第2図 これが太陽黒点の
日によるうつり変りを示して
います。7月24日から30日ま
での間に、太陽の自転によっ
て順々にうつっているありさ
まがわかりと思います。

りまして黒点の見えることが稀になるときと
があります——これが太陽活動の極小期と考
えてよろしい——。その周期が11年くらい
であります。この周期は、こういうものを標
準にしていますので、はっきりしたことはき
めることができないのでありますが、この太
陽の黒点の周期の始め、黒点の現われるとき
は、太陽の高緯度の方に現われます——地球
と同じように、太陽もいま申しました自転軸
を極としまして、それに直角にちょうど地球
の赤道のようなものがあるわけで、この赤道
を基準としまして、地球上で緯度経度を考え
ますように、太陽表面で緯度を考えることが
できます——。太陽の南北両半球におきまし
て、高い緯度つまり極に近い方に、活動のは
じめには黒点が現われます。そして、その現
われる位置はだんだん低緯度にうつってまい
ります。個々の黒点が低緯度にうつるのじゃ

ない、個々のものは太陽の自転に従いまして、ほとんど同じ緯度で回ってい
るのでありますが、次の黒点が現われ、またその次の黒点が、というふうに
現われる位置を調べてまいりますと、徐々にその現われる緯度が高緯度から
低緯度、赤道の方へとゆきます。そしてまた黒点の活動期が終わりますと、次
の活動期には、また高緯度に現われまして、11年たつとまた赤道にゆく。こ
れをくり返してゆきます。これが太陽の黒点の周期であります。

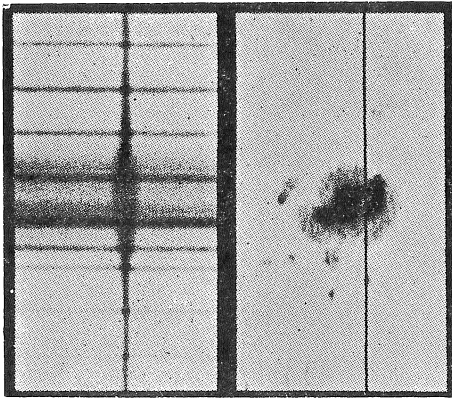
ところが、太陽のスペクトルを——スペクトルといいますのは太陽の光を
三角プリズムで分けますと、赤・橙・黄・緑・青・藍・紫と七色になる虹の色であ



第3図 これは黒点の現われた太陽面の緯度の記録であります。このひとかたまりの上から下までが、約11年のひとつの活動周期であります。左のはしは北の方と南の方の緯度が高いところにあります。つまり活動が始まりますときは、黒点がまず、高緯度から現われます。だんだん年がたちますと低緯度の方、つまり図のまん中によってきます。11年ばかりたちますと、また高緯度に現われて、次にだんだん低緯度になります。けれども黒点の磁石の向きを考えると、第一の活動周期と第二のとは反対になっています。したがって太陽の活動周期は、11年余りでなくて22年余りであるということがわかります。この図を蝶形図形と呼んでいます。あとの方の考えによりますと2つの蝶形で一周期といわなければなりません。

りますが——、あれを詳しく、光を分ける器械を使いまして調べますという
と、いまの色に応じた連続に光った連続スペクトルがありまして、そこに吸
収線、たくさんの暗い線が現われております。それは、太陽の表面にあるガ
スに応じまして、きまった光の波長のところに吸収線が現われる。その吸収
線をさらにていねいに分析することによりまして、太陽黒点のところにある
磁石の場を知ることができます。

太陽自体は地球と同じように、全体としてひとつの磁石であります。そ
のほかには太陽黒点がありますとそれにくらべて非常に強い磁石の場が生じま
す。つまり太陽表面に直角な方向に磁石の軸が向いておるわけであります。
その磁石の軸の向きが、いま申しました黒点が高緯度に現われて低緯度に下
る11年の間じゅう一定で、その太陽黒点の磁石の極の向きは、たとえば太陽



第4図 これは黒点の部分のスペクトルであります。右の方の図のたての線が分光器のスリットをあてたところで、左がそのスペクトルであります。黒点のところが幅がひろがっていますのは、ここに磁石の場があるからで、逆にこういう方法から、磁場の強さを測れるのであります。

の外側に北極があるといたしますと、ずっとそのままで続いております。もっとも黒点の中には2つ連なってあるのがよくあります。ほとんど同じくらいの緯度に現われまして、前にゆく黒点と後につづく黒点と2つ対になってあります。そういう場合にはいつも先頭の黒点の磁石の強さを測って申しますと、いま申したような規則がある。ところが次の——すぐ次に続く——11年余りの周期にきますと、

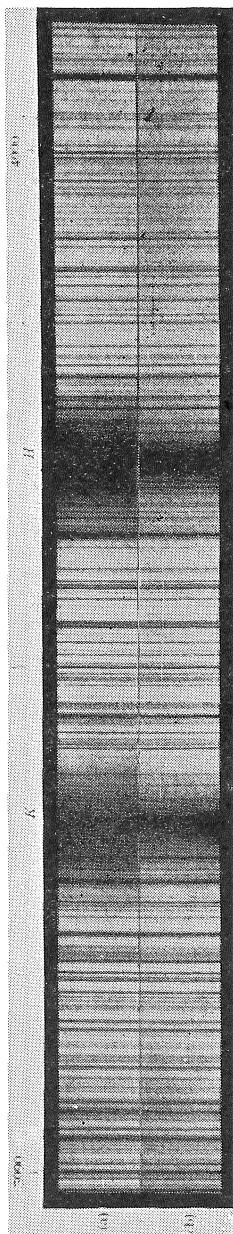
いま申しましたような太陽黒点の磁石の向きが反対になってしまいます。外側に北極があったのが、外側に南極ができるようになる。その次の11年の周期になりますと、またもとにもどりまして、北極が外側に向くというふうになります。したがって太陽の活動の周期は、実は11年余りでなくて、22年余り23年くらいであろうということが考えられるのであります。

しかも太陽黒点の運動を調べてみますと——日々見える黒点の太陽表面上の位置から経度に相当するものがあるのでありますが——、それからしまして太陽の自転をしらべてみますと、太陽の自転は赤道においてもっとも速く、高緯度にゆくにしがって徐々に遅くなっております。これはちょっと変なものでありまして、粘性をもった球を回しますと赤道の方で粘性のために遅くなるのが当然であるにもかかわらず逆になっておる。これはどういうわけか。ついでにこれと関連しまして、いまの太陽自体の磁石の場、あるいは太陽黒点のいまのこと、高緯度から低緯度に現われるということ、それか

ら磁石の向きが周期ごとに変るということ、これを説明しようとしたしまして、昔からいろいろ流体力学的なむずかしいことも考えられておったのでありますが、だんだん近ごろになりまして、地球の内部の磁石の場の研究と応じまして、磁気流体力学的に非常にむずかしい数学を使いました研究が進んでおります。しかしまだそこまではっきり理論が成功したといえるところまではきておりません。

太陽面をしらべる

ところで、いま申しましたのは、太陽全体の光を見ました様子であります。が、太陽面のスペクトルを取りますと、連続スペクトルのところに吸収線が、いわゆるフラウンホーファー・スペクトルと申しておるのがあります。その黒いフラウンホーファー線のある場所——フラウンホーファー線の波長——によりまして、そこにある元素が何であるか、そこにどういふ原子があるか、どういふイオンがあるか、その原子なりイオンなりがどういふ状態にあるか、そのこのところの温度は何か、圧力は何か、その磁石の場の強さはどのくらいあるか、電気の場がどのくらいあるか、ということが、近ごろのむずかしい量子力学、仁科さんなどが研究しておられた学問を使いまして、だんだんわかってく



第5図 これは太陽のスペクトルのうち、特に強いカルシウム・イオンのHとKという吸収線であり、上が太陽面の中央、下が縁近くであります。このほかのたくさんの線は、いろいろな元素による吸収線であります。

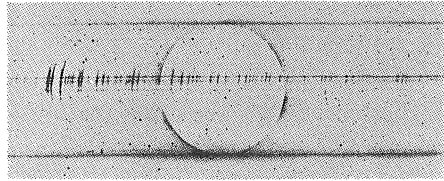
るようになりました。これはもちろん太陽のみならず、いろいろの星についてもわかってきておるのであります。こういうことをスペクトル分析をやりまして、太陽表面にあるいろいろの元素の比量、温度、圧力などを知ることができます。

あるいは太陽面の乱流——鉄ビンの中の湯が沸騰しておるときにありますように、乱流と申しまして乱れた流れ——というああいふ現象が起っておる。いろいろの観測されている数値がありますが、それらが説明されるためにどうしても乱流がなくてはならないということ、あるいは場合によりましてはこのごろ飛行機の力学でやかましくいわれておりますところの、いわゆる衝撃波というようなものまでも太陽面で考えられております。その証拠は太陽面を詳しく見ていますと、粒状の斑が現われたり消えたりしています。また太陽面の写真をとりまして端の方を見ていますと、ときどきピュッピュッと飛び出します。それが太陽表面のいまのようなスペクトルで調べられた表面温度から考えられる現象ではない、もっと高温度のものでなくてはならないと考えられております。衝撃波の前面では非常に温度が上がるのでありますから、そういうことも考えられる。まだそれだけではない。太陽自体の磁石の場で、そこに電気を帯びたものが動くと、そこに非常にむずかしい問題が起るわけであります。あるいは、やっぱり仁科さんがやっておられたシンクロトロンとかサイクロトロンとかいった現象がここに起ってくるかもしれない——もっとも、もちろん太陽はそれほど磁石の場が強くありませんから星の場合ほど著しいことは行なわれていない。あるいは原子核変換なんていうものは、おそらく強くはないでしょうが——、ある星においてはそれが相当強く行なわれているという確証があります。

太陽の外気——彩層

ところで太陽の表面——太陽自体の光って見えるところは光球と申します——その外側に非常に薄いガスがとりまいております。このことは皆既日食の場合わかりま

す。皆既日食の場合でありますと、月の見かけの大きさは太陽の見かけの大きさよりも少しばかり大きくなっております。そこで月が太陽面を徐々にかくしてゆきまして、皆既になった瞬間、すなわち太陽面の光球がすっかりかくれてしまった瞬間に、その光球の外に、ちょうど地球の硬い外殻の外に空気の層がありますように、この外に稀薄なガスがありますもの——これをクロモスフェア、彩層と申します——これが皆既日食のその瞬間、2~3秒間にパッとあらわれましてすぐに消えてしまう。



この彩層は太陽のまわりを取り巻いている非常に薄い層でありまして、月が太陽面をかくしながらゆきすぎ、その層もさらにかくしてしまいます。この彩層のスペクトルは連続部分は非常

第6図 これが皆既日食のときのスペクトルであります。太陽が月をかくしてしまった瞬間でありまして、中央のまいるのがコロナ特有の緑色のスペクトル線。そのほかのたくさんの線はまだ少し残っている彩層の輝線スペクトルであります。上と下の方に水平に長くのびていすのは太陽の光をコロナの物質が散乱してできた連続スペクトルなのであります。

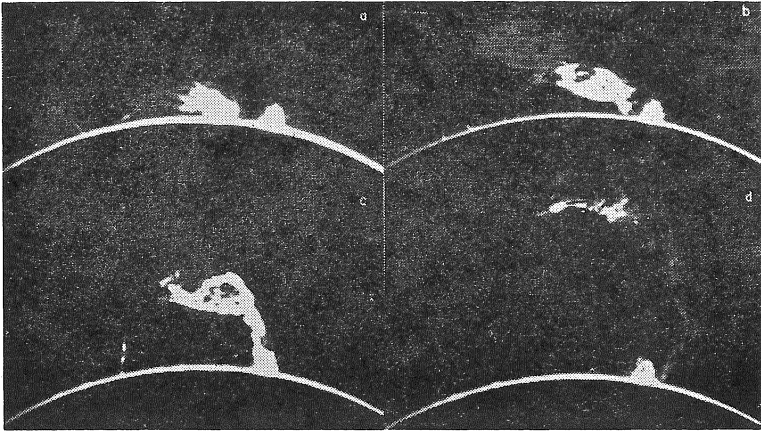
に弱くて、輝線のみをもっています。これを閃光スペクトルと申しまして、この研究は皆既日食のときの非常に重要なプログラムになっております。このスペクトル線の様子によりまして、その大気の上にどの原子が、どのイオンが、太陽のまわりにどのくらいの高さまであるかということがわかるわけであります。つまり、カルシウムのイオンが非常に高くまであります。同じカルシウムのイオンは、太陽のフラウンホーファー・スペクトルを取りましても非常に強く出ております。これがまず、大変むずかしい問題を提示しているわけではありますが、その次に水素、次にヘリウムがあります。はじめてヘリウムが発見されたのは、この閃光スペクトルの中でヘリウムの輝線が現われたのであります。つまり閃光スペクトルは、いいおとしましたが、稀薄なガスがそれ自体光っておりますので輝線を示しております。きまった

波長のところに光った線が見える。たとえば食塩をブンゼン燈の中に入れますと、黄色い光を出しますが、あれはナトリウムのD線と申しまして、黄色い光の波長だけ出る。ネオン・ランプが特殊の波長のところの輝線スペクトルをもっているというのと同じようなものであります。光を出しているものが稀薄ガスであるからであります。

そういうようにしまして、彩層と申しますものの物理的状態がわかります。さきほど申しました近ごろの量子力学というものを使いますと、彩層のどのくらいの高さのところにはどのくらいの密度、つまり 1 cm^3 当り何個の、問題の輝線を出す原子なりイオンなりがあるかということがわかってくるのであります。

太 陽 の 花 火— プロミネンス

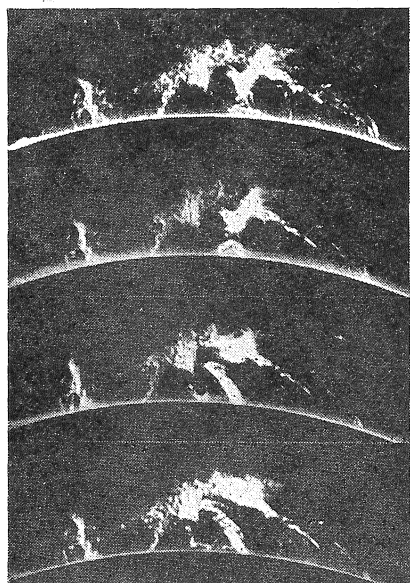
さて、日食のとき以外でも太陽面をかくしますと彩層をみることができます。普通の望遠鏡でよろしい、望遠鏡の焦点に太陽の像を作りまして、その前でこちら側に、ちょうど太陽面を覆いかくすような円盤をおきまして、太陽面をかくします。さらに特殊の装置をして光の散乱を防ぐようにしておきますと、まわりの彩層がちょっと見えます。ことに高い山に登りまして、空気自体の塵による光の散乱を防ぎ、望遠鏡自身の光の散乱を防ぐようにしておいたもの、つまり後で申しますコロナグラフという特殊の望遠鏡をもってゆきますと、そういうものが見えるわけですが、そのほかに、太陽の縁から、ちょうど両国の花火のように噴火とおぼしい焰が現われます。そのときに使う波長は、大抵水素の $H\alpha$ と名づけるスペクトル線であります。水素ガスがそういう輝線を出します。灼熱の光ったもののこちら側に水素ガスがあると、その $H\alpha$ という赤い色のところに、それが吸収線として現われるのでありますが、その光だけで太陽面を見ておきますと、そこに紅炎——プロミネンスといいます——が出てまいります。近ごろではこれを映画にとりまして——何秒かかかって1つとる。それから10秒かそ



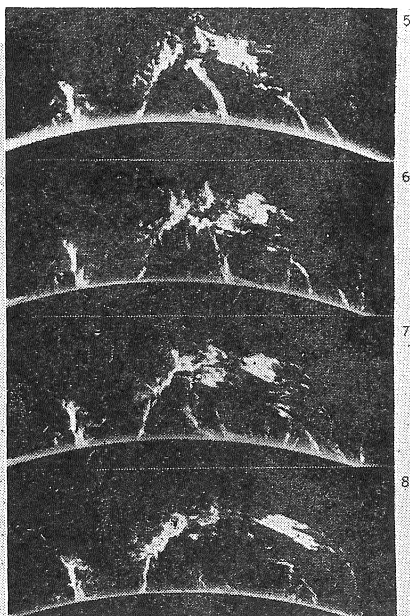
第7図 これはスペクトル線のうち、あるひとつの線だけを通して、太陽の縁を調べた紅炎の写真がこれであります。aは16時33分、bは17時27分、cは17時53分、dは18時14分のありさです。bが30分ばかりの間にcのようになる。それから20分ばかりたちますと、dのようになっています。ちょうど映画のように撮影してみますと非常に面白いものであります。

らたちますと次のを1つとる。そういうふうにしまして——紅炎の時々刻々の状態、つまり紅炎を作っているガスがどういう運動をするかということを研究しております。ことに、ちょうど日本はヨーロッパ、アメリカと昼夜が別でありますから、同じひとつの紅炎の活動の歴史を調べようと思いますときには、国際的に欧米も日本も、ずっと連続して調べなくてはならない。そこで同じ1本のフィルムの中にみんなおさめようというので、そういう計画をしております。

さらに、この運動を見ておりますと大変おもしろい。1937〜8年ごろであります。フランスのリオという人が特別の装置を考え出しまして、このプロミネンスの映画をとりました。1938年にストックホルムで開かれました国際天文学連合の総会に持ちだしまして、大変な呼びものであったわけです。アメリカはすぐに高い山にもってゆかなくてもすむように、特殊な非常に高価な太陽塔を、こういうふうな太陽スペクトル分析をやります特殊な装置を



第8図 これは短い時間の活動状況を表わしております。時間を見ますと、1, 2, 3, 4がそれぞれ12時45分、12時48分、12時49分、12時49.5分というわけで、非常に短い間に、こんなに変化しております。これはフランスのリオが、今からおよそ20年前にとった写真であります。



第9図 これは、第8図の紅炎の活動状況の続きであります。前の図とこの図のなかで、中ほどの場所に急にとび出しているのが、サージと呼ばれるものです。映画で見えておきますと、しょっちゅうこういうものが上がったり下がったりしております。5, 6, 7, 8はそれぞれ12時50.5分、13時10分、13時17分、13時25分であります。

作りました。かつて、アインシュタイン塔というのがベルリン郊外のポツダムにできました。これは相対性理論をためすためにできたというのでアインシュタイン塔と申します。ところが、ドイツでナチが盛んになりましたときに名前を変えましてゾンネントゥルムとしました。それと同じ製作所から東京天文台で買入れて作りました塔がまだ現在あります。それよりもさらに立派なものをアメリカのミシガン大学で作りました。確か自動車の部品を作っておるというような経歴の人が、太陽の研究に興味をもたれて、自分の金を出されて太陽塔を作られたのです。そして天文学者を呼んで研究

してもらふことになりました。さらに最近戦後になりまして、もっと立派なものを作りまして、いま申しました普通のスペクトルのほかに、もっと長い波長の赤外部のスペクトルの研究というのを——大変立派な研究を——最近そこでやっております。

話がそれてしまいましたが、いまの紅炎の運動というのを調べてみますと、大へんおもしろいことがあります。たとえばガスがずっと太陽の縁から急に上昇しまして、太陽面から離れ、そしてある時間高いところにガスが止まっているように見えます。それからある時期になりましてターッと落ちてくるようになります。また木の幹のように立ちまして、幹の途中からシューッと落ちてくるのがあります。こういうふうに——両国の花火のように——散ってきます。そのほかに見えますと——投影さ

れたもので見えますから空間的な三次元の運動はわかりませんが——、それがぐるぐるまわっているかのような形をもっています。つまり、下に磁石の場があって、飛んでいるものは



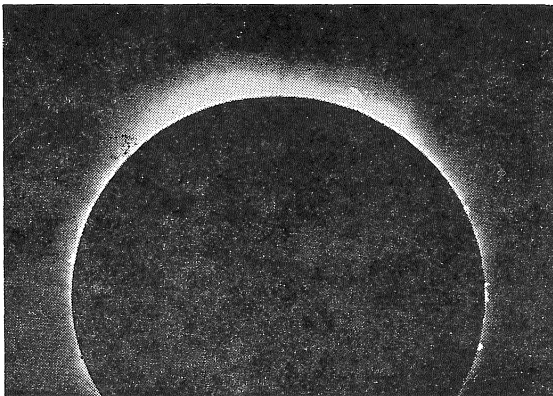
第10図 これは東京天文台の太陽塔で、ボツダムのアインシュタイン塔にならって作られたものであります。一番上のドームの中に2枚の平面鏡がありまして、見かけ上動いております太陽の光を、いつも垂直に下へおろすように、この鏡の向きを絶えず動かします。そして地面のところに鏡をおきまして、そこから光を水平に送ります。写真の、草のはえているところが半地下室になっていて、ここに強力な分光装置があり、これで太陽のくわしいスペクトル写真がとれるようになっています。ミシガン大学のはこれよりももっとりっぱな装置でありまして、光を横にやらないでそのまま地面の下の方に行き、またもどってくるようになっています。全体が筒になっていまして、それが真空中にできる非常に精巧なものであります。

電気を帯びているものがあると思われます。電気を帯びているものが磁場を飛んでおりますと、ぐるぐると動くということは、学校の物理でご承知のことと思いますが、ちょうどそういうことがおこっています。でありますから、磁石の場と、こういうものの運動とが関連するんじゃないか。これにつきまして、このごろまた、むずかしい数学を使いました理論をやしまして、磁石の場で電気を帯びたものがはやい速さで動いているときには、どういう運動をするかということが問題になってきておるわけであります。現在相当な速さで進歩しつつある分野でございます。

太陽の最外層

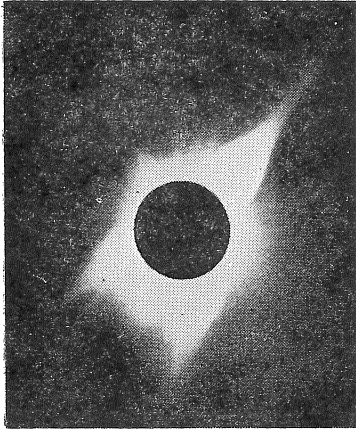
——コロナ

つぎの問題は、コロナでございます。皆既日食で閃光スペクトル、つまり彩層のスペクトルが見えなくなりますと、たちまち非常に目を奪うようなコロナが現われるのであります。コロナは、写真を方々でごらんになったことと思いますが、非常に特殊なものでありまして、実際われわれの精神を冷やすと申しますか、もう心臓がドキドキするような偉観でございます。ところでこのコロナであります、このコロナが一体何ものかというこ

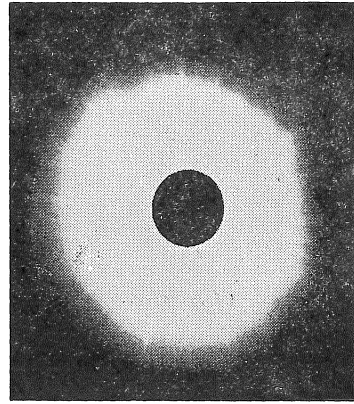


第11図 これが皆既日食のときのコロナの状況であります。写真の露出時間を短くして、ごく内側の部分をとったものであります。

とが大分昔から問題になりました。これは太陽が非常に温度が高いものでありますから、太陽の表面にある原子がその温度が高いために電離いたしまして、つまりイオンになりまして、それから電子を飛び出さず。電子は太陽から追い出されまし



第12図 これもコロナの写真であります。前の写真とは別の日食ですが、露出時間を多くかけ外側まで写してあります。このときは太陽活動期の極小でありましたので、このような細長い形でありました。



第13図 同じく日食のときにとったコロナの写真であります。太陽活動の極大のころには、このようにまるい形であります。コロナの形は、このように太陽の活動にともなって変わっております。

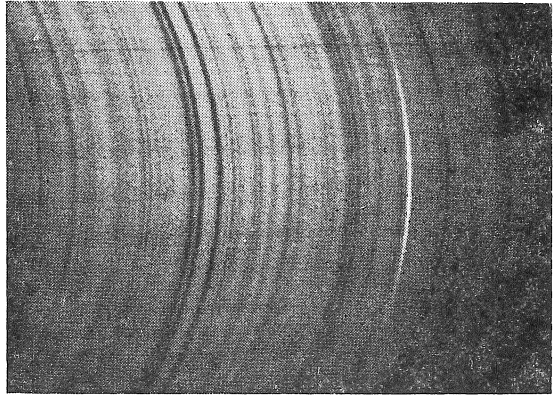
て、そして太陽のまわりにうろついている。それが太陽の強い光を散乱して、われわれにコロナとして見えるのではないかなという考えでありました。ところが、現在の考え方では、それだけでは不十分であるということになりました。これは数年前の話であります。そのコロナから来る光をいろいろ分析しましてわかったことでありますが、黄道光とも縁があることがわかりました。黄道光とは、黄道すなわち星の間を見掛け上太陽が通っております道のまわりに、太陽が沈んだあと、あるいはまだ太陽が出る前に、ぼんやりした光が見えます。これを黄道光と申します。黄道光の原因は太陽の通る道のまわりに、つまり黄道のまわりに散らばっておる塵であると考えられております。これは宇宙塵と名づけております。星と星との間の空間は真空ではなくて、宇宙塵があり、稀薄ではありますがガスがあるわけであります。もちろん太陽系におきましては、もっと濃いものがあるはずであります。それが太陽の光を散乱しまして黄道光として見える。このごろの詳しい研究

によりますと、コロナは太陽自体から飛び出したイオンと、宇宙塵つまりこういう黄道光の原因をなすものが混じったものであるだろうということになりました。それでは、太陽から遠ざかるにしたがってそれらが、どのくらい割合で混じっているかということ、これがこれからの皆既日食における大事なプログラムであります。

コロナは何で できているか

さて、宇宙塵以外の、いわば本当のコロナを作っている物質ではありますが、コロナのスペクトルをとりますと、地球上のどこの実験室でも見えないような波長のところに、輝線スペクトルが現われてまいります。これが何ものであるかということがわからなかった。そこである人は、その時分の——30年くらい昔の話であります、その時分の原子構造の理論を使いまして、未知の原子を仮想しましてその構造を考えたりしましたが、とうていうまくゆくはずがありません。それがこの戦争の直前になりまして、1939~40年になりまして、実験室における、いろいろのイオンがたくさんの電子を失って、非常に高度のプラスの電気を帯びたイオンになったとき、その出しますスペクトル線がどこに現われるかということを詳しく研究いたしました。その研究を延長いたしまして、さらに高度にイオンになった原子の出すスペクトルは何であるかということを研究いたしました。これはスウェーデンのエドレーンという人ですが、その結果、この太陽のコロナの出す、いままでわからなかったスペクトル線というのは、非常に高度に電離した、鉄、ニッケル、カルシウムなどであるということがわかってまいりました。ことにコロナのスペクトルで最も顕著な、 $5303\text{\AA}$ というところにある緑色の輝線が、これは鉄の13個の電子を失いました非常に強いプラスの電気をもったイオンのスペクトル線で、しかもそれはふつうの実験室で出ないようなふつうでないスペクトル線（禁制線）であるということがわかってきたのであります。高度に電離していることから高温度が想像されます。これの

イオンを同定、アイデ
ンティファイすること
によりまして、むずか
しい原子構造がわかっ
てくるわけでありませ
が、このような特殊の
スペクトル線がでると
いうことは、ふつうの
実験室では、これほど
稀薄にガスがえられな
い。また、これほど高
度に電離するような状
態に置けないというよ
うな状態が起っている
からであります。これ



第14図 これは乗鞍で撮影されたコロナのスペクトルであります。中ほどから右よりに、白い線が見えていますのが、緑色のコロナ線(波長5303Å)であります。左よりに見える3本の強い吸収線は、マグネシウム原子の線で、その他の吸収線とともに、みんな太陽の光が地球の空気で散乱されて混じって入っているものであります。このスペクトル線がみんな曲っているのは、ちょうど太陽の縁の形に合わせて曲った形のスリットを使ったからであります。

が太陽からどのくらいの距離まで、どう分布しておるかということを調べます。

もし太陽のスペクトルをコロナが散乱しているならば、つまり、コロナを作っている自由電子なり塵なりが散乱しているならば、そのスペクトルは太陽のスペクトルそれ自身でなくてはならない、その生き写しでなくちゃならない。ところがそれが少し様子が変りまして、さきほど申しました吸収線、ブラウンホーファー線が、そのコロナによって散乱されているスペクトルには現われていません。このことから、理屈は省略させていただきますが、コロナの物質は、つまり遊離電子なりイオンなりが非常な速さで熱運動をしていることがいえます。温度が上がりますと、それを作っているガスの分子は非常な速さで動く。その結果、いま申したような状態がおこっているのであ

ることがわかりまして、コロナの下の方は少なくとも百万度ぐらいの程度であると考えられております。一方太陽表面は6 000~7 000 度という温度とされておりますから、コロナがこんな高温であることはちょっとふしぎなようでありますが、このことはほかのことからも証拠があります。それはコロナから来る電波をつかまえたからであります。

天体からの電波

天体から電波が来るということは、これは1931~2 年ごろに、すでにそれとなしに電気工学の人たちがみつけたのでありますが、それがはっきりしなかった。それが仁科さんと関係のある宇宙線が発見されたと同じような過程によりまして、毎日毎日調べてゆきますと、あるきまった天体の見える方向からそれが来るということがわかってくる。つまり天の川、あるいは太陽から来ているということがわかってきたのであります。

もちろんこのごろは太陽のみならず、目に見えない、あるいは大きな望遠鏡でも見えないようなところからも電波が来ておる。それは電波天体と名づけておるのでありますが、近ごろはそういう電波天体、電波星といわれるものが数千個わかっておりまして、その位置がわかっており、そのあるもの、ごくその一部の何十個ぐらいのものが見えている天体と同じであるということも、ましてその電波を出す原因は何であるかということも研究されております。つまり、太陽でおこるものを大仕掛にしたことが天体であらわれている。さきほども申しましたように、サイクロトロンとかシンクロトロンとか、非常に強い磁石の場のところで電気を帯びたものが非常に速く動いているということからくるかもしれない。もちろん外から来る電波はこれのみではなくて、あるいは天の川の方から波長の連続スペクトルをもった強い電波が来ておるということもわかっておりますし、ことにこのごろは水素の出します21cm というきまった波長の輝線を、中性の水素ガスが出すということがわかりました。これを使いましてわれわれのまわりの銀河系の構造——銀河

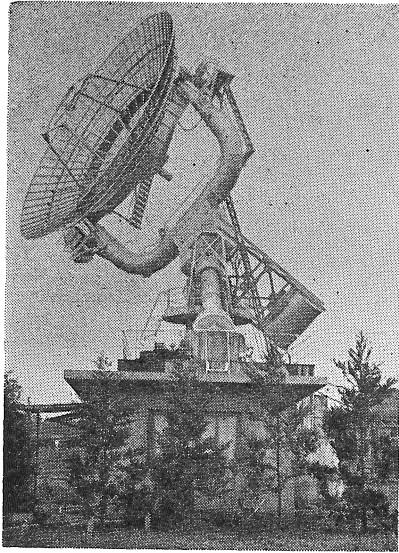
系はあの渦巻星雲の形をしておりますが、そのうずまきの構造——、宇宙にある水素ガスの分布状況などがだんだんわかってきておりますが、太陽自体も非常に水素ガスをたくさん含んでいます。ここでちょっと付け加えますと、さきほどコロナのスペクトル線が、鉄やその他の金属だと申しましたが、これはコロナが鉄などだけでできているではありません。大部分は水素であろうと思います。ただコロナでは、水素のスペクトル線が現われにくいためであります。

その様子が太陽の大気の構造の研究をするのに大変有力な手がかりであります。この研究のためには大変有力な分光器をそなえた立派な太陽塔が必要になってくるわけであります。

太 陽 電 波

さて電波で太陽をしらべますと奇妙なことがわかってきます。10メートルから数メートルあるいは数センチメートルなどいろんな波長でしらべますと、短い波長になるにしたがって太陽面の真中よりもむしろ太陽面の縁、あるいは縁よりも外に行った部分の方が電波が強い。しかも縁よりも見かけの太陽面の外において強いということがわかってまいりました。つまりコロナが強い電波を出しておる。このことは、コロナの温度が非常に高いということを表わしているであります。

このほか、電波で太陽を研究するためには非常に特殊の電波の受信装置が必要であります。非常に大きな放物面鏡を使う。光の反射鏡と同じようなかっこうをしておりますが、直径が非常に大きい。三鷹の天文台には10メートルのを作ってもらいました。現在アメリカでは20メートルというのがほとんど作られつつありますし、世界的にもイギリスのマンチェスターの郊外では70メートルぐらいの直径の大きなものを作りまして、それが太陽なり星なりをおいかけて自動的に動くようになっております。オーストラリアでもその程度のものをこれから作ろうとしております。そういうものはもちろ



第15図 これは三鷹の天文台にあります直径10メートルの放物面鏡であります。変なことをして不安定な感じではありますが、これが時間に応じまして動き、太陽や星をおっかけられるようになっております。これは文部省から約3千万円経費を出してもらってできあがったのであります。

調べることができます。2カ所の観測によりまして、太陽面上の位置を出すことができる——非常に複雑な装置でもわかりますし、こういうことでもわかります——、そういうような研究が起ってきております。さらに太陽から来る電波が何であるかということを見ますために、いろんな波長を調べなくてはならない。普通数メートル程度のものから数センチメートルまでのものを使っておるわけであります。

太陽から来る電波を受けておりますと、太陽の面の活動の状態に応じてこのセンチメートル程度の電波の波長は、全体の強さのレベルが変わり、活動が激しくなると上がってまいります。そしてときどき急にそれが上がるものが

ん電波天文学の研究のもとになりますし、あるいは太陽電波の研究のもとになりますが、いまの太陽面の電波による縁辺効果は、日本でもわれわれの電離層の委員会に、いつもずっと協力していただいております名古屋大学の空電研究所にそういう特殊の装置ができておりまして、10センチメートルよりちょっと短い波長における太陽面の縁への減り方、あるいは活動している場所の分布状況を調べております。ここにありますグラフのように太陽面のどこに活動する場所があるかがわかります。

また日食のときに太陽面を月がおおいかくすにしたがいまして、太陽表面で電波的なある活動区域の分布を

あります。これはバーストと申します。非常に強くなったのをアウトバーストと申しますが、そのバーストなりアウトバーストなりはメートル程度の波長の電波をとりますと、ことにいちじるしくわかります。

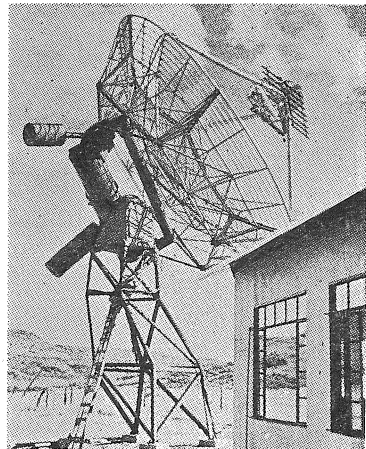
太陽面の模様 とフレイヤー

さて、話を太陽の表面にもどし

ますが、太陽表面をひとつの色で見えてみると、さきほど申しました $H\alpha$ という線、あるいはカルシウム・イオンの H とか B とか——これらは目にはすこし見えにくい紫の方によっておりまして、写真乾板にはよくうつる、そういうところに2つ広い線が出ております——、そのスペクトル線で使うべき波長を適当にとりますと、太陽表面に模様が現われましてそれが見ておるうちにどんどん変化いたします。さきほど申しました紅炎が変化するように、表面の模様も変化いたします。その中にところどころこういう黒いところが、つまり、 $H\alpha$ という赤い色の光で見えておりますと黒くなるところがある。つまりその光を出していないところであります、その模様が変わります。こ



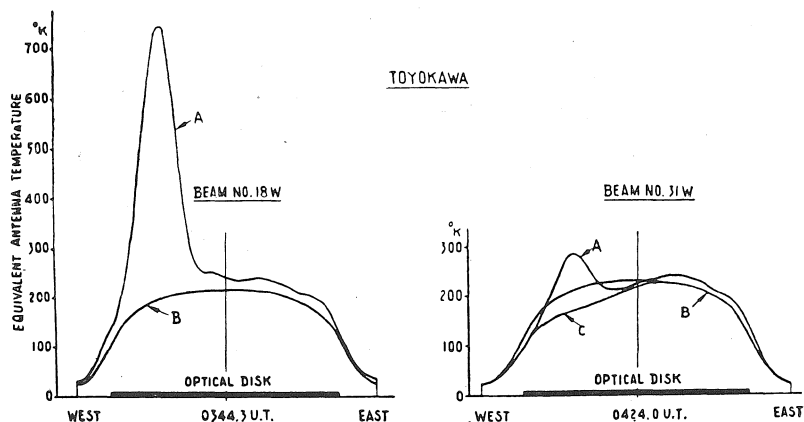
第16図 これはアメリカのハーバード大学の電波望遠鏡で、直径は18メートルあります。これは太陽というより、むしろもっと遠い天体や、銀河系の構造に主として使われています。



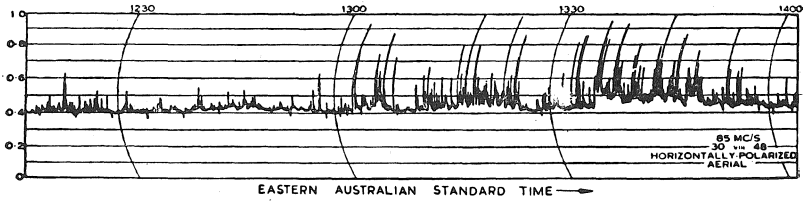
第17図 これはアメリカ、テキサス州にあります電波望遠鏡で、直径約8メートル。もっぱら太陽の観測をしています。



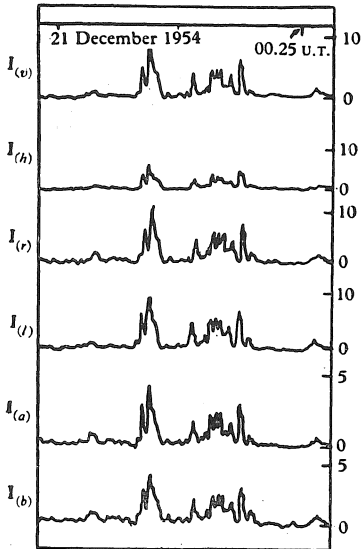
第18図 これは特殊電波望遠鏡でありまして、オーストラリアのシドニーの郊外にあります。左手は水道の貯水池であります。ここに小さな、直径2メートルの放物面鏡を東西に32個並べてあります。これですと、太陽面の非常に細かいことを、太陽面の水素ガスがどういふ活動をしているか、その活動状況の太陽面上の分布がどうであるかを知ることができます。現在はこれに、東西に32個、南北に32個をクロスするように作って観測しております。豊川市にあります名古屋大学の空電研究所では、こういう方法で東西に8個使っております。



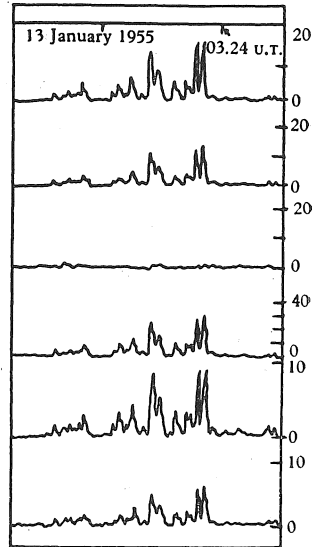
第19図 これは名古屋大学の空電研究所でやっている観測の一例でありまして、ちょうど1955年9月20日の部分日食のときのものです。左側は日食が始まる前です。Aという曲線がこの日の太陽電波の東西方向の分布図、Bは静かな日の分布図であります。Aの曲線中の左よりに高い山がありますのは、このところに強い電波源があるからであります。右の図は日食中のもので、Aという大きな山が、小さくなっています。つまり、ここが月にかくされたことがわかります。



第20図 これは太陽電波の変化するありさまを示しています。時間を右むきにとつてあります。このように太陽の電波ははげしく変化しています。ひとつひとつの山をバーストと呼んでおります。



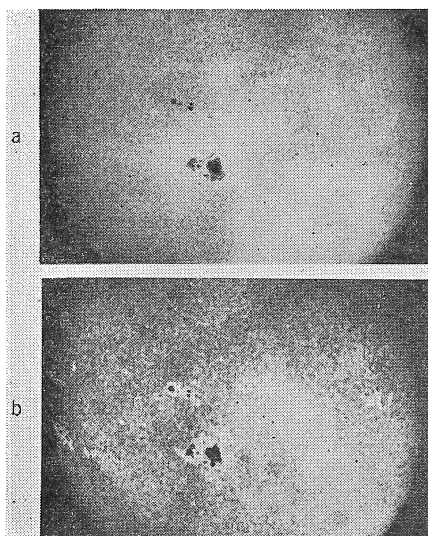
第21図



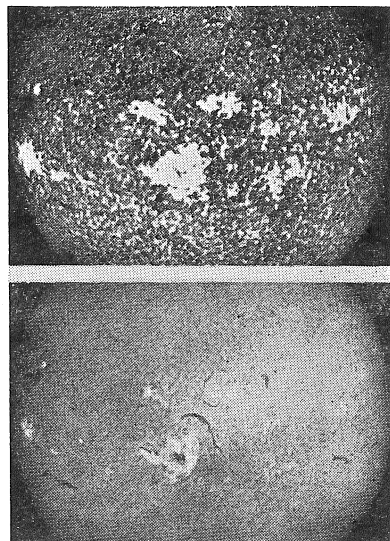
第22図

第21図 これは東京で畑中さんが始めました、太陽から来る電波が偏波しているという研究の結果であります。光の電波も進む方向に直角に振動しておるのであります。その振動する方向を投影してみても、それが直線ならば直線偏波、円ならば円偏波といいます。右まわりと左まわりとあります。これをくらべるのに、たて、よこ、斜め2つの直線偏波と、左右の円偏波にわけて観測しているのであります。この図ではたいていみな様子が似ていますから、いま受けている電波はみな勝手な方向を向いて、特定の偏波をしていないということになります。

第22図 これも同じ方法でとった太陽電波であります。このときは上から3番目、つまり右まわり円偏波が全く出ていませんので、電波は左まわりの円偏波だと結論できます。



第 23 図



第 24 図



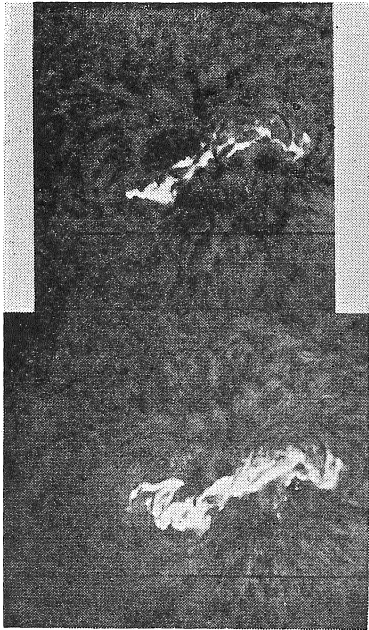
第 25 図

第23図 上段の図は、ふつうにとった黒点の写真。下段の図がカルシウム・イオンのK線とったものであります。

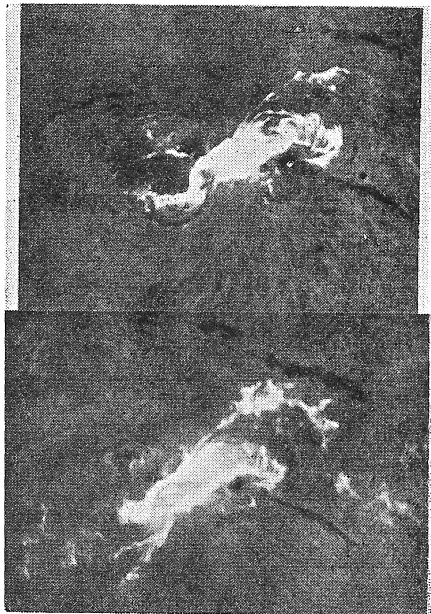
第24図 この上段の図は、23図の下段と同じK線ですが、スペクトル線のごく中心部だけでとるところ見えます。下のが水素のH α 線で、すべて同じ日の写真であります。黒いすじは暗条といいます。

第25図 これは太陽黒点のまわりの状況を、水素原子のH α のスペクトル線とった写真でありまして、磁石のまわりに鉄粉をまいたときに並ぶような模様が見えております。光の強いところもあれば、黒いすじもあります。こういうような模様をフィルムで映画のようにとっておきまして、あとでいろいろ測定しております。

とに太陽黒点があるようなところでは——磁石のまわりに鉄の粉をまきま
 と極のまわりに磁力線にしたがって模様をかきましますが——、ちょうど、あれ
 のような模様が現われてまいります。そのほかに、急にそのまわりとは比較
 にならないほど明るいスポットが現われることがございます。これをフレ
 ーヤーと申します。つまり、太陽面の一種の爆発であります。非常に急に強い
 光が現われる。それがだんだん弱まってまいります。場合によりまして数分
 から数十分になることがあります。こういうフレーヤーが現われますと、太



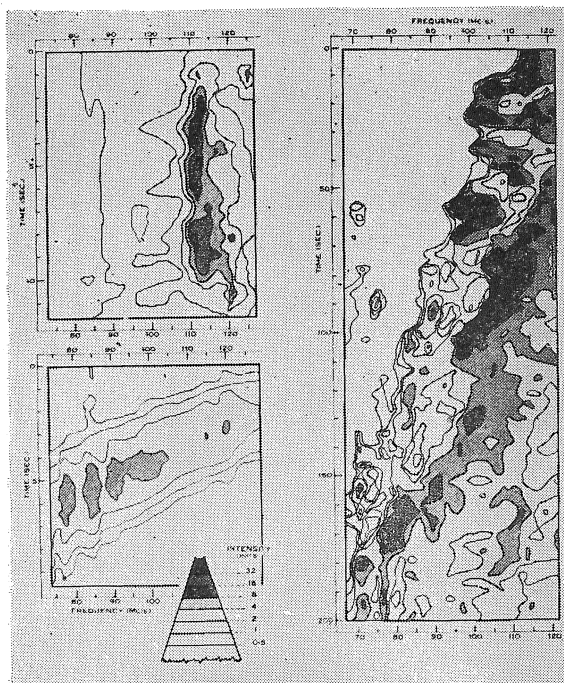
第26図 これがフレーヤーとよばれるもので、太陽面の一部分だけを拡大してあります。黒点のまわりには磁力線が見えています。この図と次の図を順にごらんになると、フレーヤーがどう変っていくかがわかります。これはH α 線で撮影してあります。撮影時刻は、上図は16時14分、下図は16時24分です。



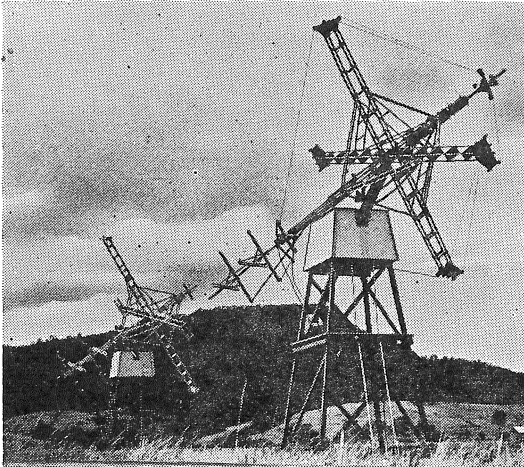
第27図 これは26図の続きであります。上図は16時41分、下図は17時32分の状態です。



第28図 フレーヤーのときに出る太陽電波の強さが各波長でどう変っているかを示す記録であります。これはアメリカでとったもので、この写真では時間が左から右へとってあり、波長は上下の方向で、下ほど短波長になっています。波長の短いものからだんだん長い方へ移っているありさまがよく見えます。このような波長のずれは、電波を出すものが次第に太陽の外側へ移っているためと考えることができます。



第29図 これは太陽から来る電波の強さが時間がたつにしたがってどういう波長に移っていくかということを表わしたグラフであります。ちょうど地図で高いところを濃く書くように、その濃いところが強いところを表わしています。上から下むきが時間で、左右は波長で、右の方が短いようにとってあります。はじめに波長の短いのがきまして、だんだん時間がたつにしたがって波長の長いのがくるように見えます。いろいろなタイプがあり、ここには3つの型を示しております。



第30図 これは電波の、広い波長域にわたってのスペクトルをとるためのアンテナであります。電波では光と違って広い波長を一ぺんにとってしまうわけにはゆかないので、ラジオのダイヤルを速く回すような装置でとってやります。このアンテナは、菱形——ロンビック——アンテナと申します。この2つは、受持つ波長域が違います。これはオーストラリアのものであります。

陽からくる電波にも——いま申しましたメートル波でもセンチメートル波でも——アウトバーストという現象が現われる。つまり非常に強くなることがあります。こういうことがありますと、直ちに地球の表面の電離層に影響いたします。いわゆるデリンジャー現象が生じるのであります。

デリンジャー現象と申しますのは国際無線通信が急激に杜絶してしまう、使っておりますあらゆる波長に対しまして急に止まってしまうのであります。それが数分から数十分まで続く。太陽面を今のようにして見ておきますと、そのいまの国際無線通信が止まってしまったのが、果して機械の故障であるか、あるいは太陽面のフレーヤーのおかげであるかということが、すぐにわかるわけであります。天文台は、その事業のひとつとしましてそういうことが起ったら、すぐ電信局に電話で通知することになっております。

いまではフレーヤー研究を、光のみならず太陽からの電波で研究することができるようであります。

日食外のコロナ観測

さて、太陽のコロナを皆既日食以外に見るようにしたのが、さきほど申しましたフランスのリオという人であります。フランスとスペインとの境のピレネー山脈の北側

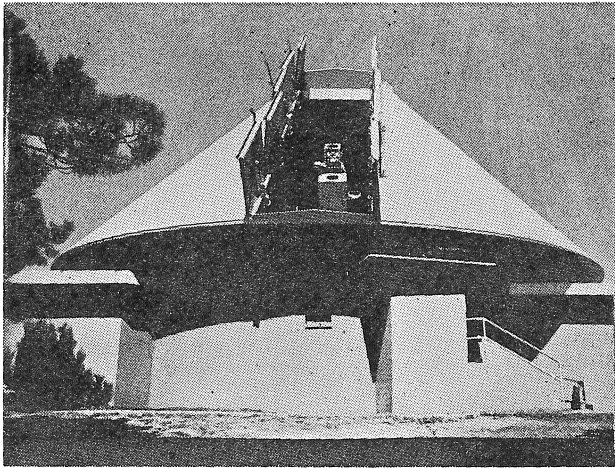
にそれよりも低い山がありまして、ピック・ドゥ・ミディと申します。高さが2860メートルであります。フランスではそこに気象観測所を、次には宇宙線の観測所をおきました。そこへ、リオはさきほど申しました望遠鏡の中の光の散乱をさけるような工夫をした特別な望遠鏡、コロナグラフと申しますものを持ち上げました。高い所にもってゆきますわけは、空気の散乱を防ぐためであります。そしてこのコロナの、さきほど申しました $5303\text{\AA}$ の緑色の波長の光によりまして、太陽のまわりのコロナの強さの分布を調べたのであります。

日食のときに露出時間を長くして写真にとれば太陽半径の5倍ぐらいの距離まではとれる。そういうような遠いところのコロナの状態は、日食外ではわからないのでありますが、太陽に近い内部コロナの状態、その分布はコロナグラフで調べることができます。そうすると面白いことは、コロナのスペクトル線が強いということは——太陽表面を見ておりまして横を見ておりますから——横のところで非常に活動しておる部分があるということでもあります。そうしますと太陽が自転によりまして、こうまわってきまして、その部分がわれわれのほうに向いてくるとしますと、われわれのところにその活動している部分が影響を与える時期がきます。その間は、ちょうど太陽の自転が27~8日とさきほど申しましたその4分の1、つまり5日なり1週間であります。それだけたちますというと、太陽面の活動している部分——コロナの活動しておる部分、そこからコロナが長くのびている部分、コロナのスペクトル線が非常に強く現われたところ——が、われわれのほうに面したところに来まして、地球に影響を与える。したがってデリンジャー現象の予報は、さき申しました $H\alpha$ で見ました、非常に光った部分プレーヤーが現われたときでは、すでに電波の伝播予報をするには時期遅れでありますけれども、コロナでやりますと、5日ぐらい前にはそれを知ることができます。

この大戦中に以上のようなことがわかりまして、そしてドイツは戦争中に

2カ所コロナ観測所を作りました。ミュンヘンの南の方のババリアであります。ヴェンデルシュタインと申します、ミュンヘンの平野を見渡す非常に景色のいいところではありますが、この上に作りました。それからオーストリアのカンツェルヘーエというところにも作りました。それからもう1つスイスは、南東の方のスキーの名所でありますアローザというところに作りました。ちょうどイタリアとの境のアルプスに沿った谷間の北側であります。さきほども申しましたフランスのピレネー山のピック・ド・ミディにもあります。

ところでこれをききましたアメリカは、金にあかしてコロラド州のクライマックス——デンヴァーから百何十マイルか西の方でありますが高さが一番



第31図 これがアメリカのニューメキシコ州のサクラメントピークにあるコロナグラフのドームであります。ここは海拔2760メートルであります。

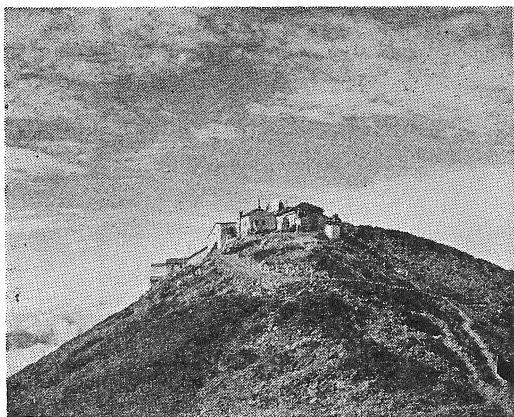
高い、約3500メートルであります——そこに立派なコロナグラフをおきました。さらにもう1つ、メキシコに近いところにサクラメントピークというところがあります。これも高さはいまのクライマックスほどではありませんが、近ごろ評判のロケットを上げております、ホワイトサンドの谷の片側の

山脈の上であります。そこへ近ごろは、16インチぐらいの口径の望遠鏡で、非常に精巧な装置をもったコロナグラフを製作しております。いままでののはふつつ6インチぐらいの口径のものでありました。

乗鞍のコロナ観測 所とウルシグラム

日本でも戦後直ちに無線通信事業の方々や、電離層の研究をしておる方々の強い要請によりまして、乗鞍の上にコロナ観測所を作りました。

これは、大きさはスイスにあります世界中で一番小さなのと同じ程度のものです。しかもその時分、向こうの戦時中の研究状況がわかっておりませんので、戦前のリオの書いた論文を参考といたしまして、たびたび試作をして乗鞍の上に作ったのであります。大事なことは、サクラメントビー

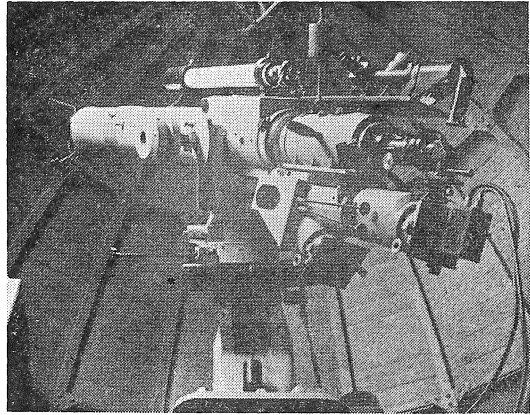


第32図 これは海拔2880メートルの乗鞍山頂にあるコロナ観測所の全景であります。コロナグラフのドームのほか、紅炎の観測室、宿舍などがあります。もちろんこと三鷹の天文台とは、無線電話で連絡しておりまして、毎日毎日の観測結果を知らせてまいります。それを、その他の三鷹での観測と合わせまして、無線で世界中に知らせています。これがウルシグラムであります。宇宙線観測所はこのすぐ下にあります。

クに作ったのとコロラド州のクライマックスに作りました両方の観測を合わせますというと、太陽のコロナ観測のできる日が一年中90%あるそうであります。つまり365日のうち320~330日観測されるわけであります。ところが日本中いろいろ考えまして、日本では乗鞍が一番いいだろう。富士山は高いことは高いのでありますが、冬は吹雪があり風が強い。乗鞍はそれほどでもない。それほど気象のデータはなかったのでありますが、幸いなことは、あすこに、戦時中に日本の陸軍が航空の研究所を作っておりましたために道が

できております。それを
利用いたしましてあそこ
に作ったのであります。

これを作った以上は、も
ちろん太陽の研究なり電
離層の研究なりのような
研究という意味だけで
なく、無線通信事業に対
しても重要でありますの
で、世界中で申し合わせ



第33図 これは乗鞍のコロナグラフであります。口
径12センチで国産であります。

うものをやることになり、これを毎日フランスと日本から放送しております。

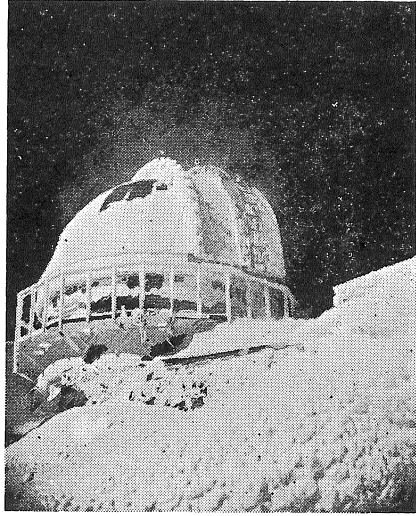
1950年、チューリッヒで開かれた国際電波科学連合の総会で欧州、アメリカ、日本の3カ所でウルシグラムを出すことを申し合わせたのであります。無線のコード、暗号まで決まり、どういうことを観測しどういうことを知らせあわすということが決まっております。その出すものはコロナの観測資料、それから太陽面の黒点とか、さきほど申しました $H\alpha$ の彩層の状態、それから紅炎の状態、それから太陽電波の状況のみならず、これには地球の磁石が影響しますから地磁気の状態を知らす。これは柿岡の地磁気観測所が送ります。それからもちろん電離層の観測は郵政省の電波研究所からその材料を提供する。のみならず、宇宙線もときどき変なことをやりますから、宇宙線のデータも日本中集めて、科学研究所の仁科さんの後継者である宮崎さんのところから送っているというわけなのであります。もちろん無線通信の事業の方からも、それ自体のあるデータを同時に送る。これを毎日時間をきめて世界中に放送するというをやっているわけであります。

デリンジャー 現象と磁気嵐

さて、これまで太陽を主体にして申しました
が、それでは地球の表面ではどうなるかという
ことにうつりますと、まずデリンジャー現象と
いうのが、つまり電離層が急激な変化をすることによって起ります。ふつう
電離層は高さに応じまして層をなしております。下の方から D, E, F, と
だんだん高さに応じてあります。それがデリンジャーのときにD層が非常に
変化する。この原因がいまだにわかっておりません。それからさらに、この
電離層に影響いたしますと、電離層は電気を帯びた層でありますから、それ
が運動することになりまして、そういうことが起りますと、磁石の場が狂っ
てまいります。これがつまり磁気嵐になるわけであります。これがほとんど
同時に起る。と同時に、もちろんひどいときには宇宙線も影響するでしょう
が、それからふつうはまず20〜30時間、場合によって違いますが、結果から
いいますと、太陽の表面の活動した区域から、主として電気を帯びた微粒子
が飛んで来まして、その速度によりまして、それが地球に到達するまでの時
間に相違がありますが、それだけの時間が経ってから地球上に磁気嵐という
ものを起すのであります。磁気嵐が起りますと、デリンジャーほどではない
のであります。国際無線通信が弱くなる、通信しにくくなるということにな
ります。これはデリンジャーが起りますと予報しうるのでありまして、その
ときに極地方を——オーロラ・ゾーンと申しております——、オーロラ・ゾー
ンを通ります電波がだめになるのでありますから、たとえば日本からアメリ
カなりニューヨークなりワシントンなり、あるいは日本からロンドンなりベ
ルリン、パリなりに送りますものはこういうオーロラ・ゾーンを通過してゆく
のであります。それがだめになる。というと今度は赤道地方の中継局を通
して国際通信をしなくてはならなくなる。そのためには準備がいる。それに
何時間かが必要である。その前にわれわれが太陽を見ておって予報したいと
いうわけであります。そのために例のコロナ観測所ができまして、高い山の

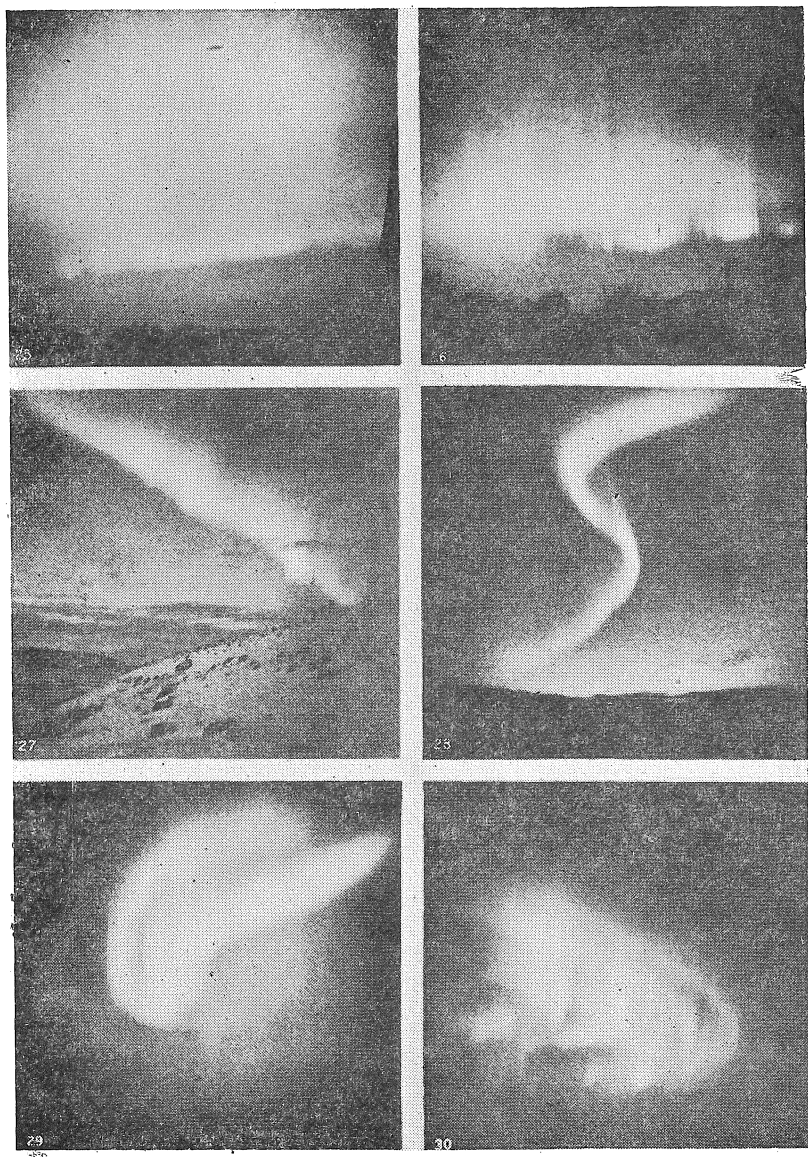
上に越冬してまで、苦しい生活環境でやっているわけであります。

ところでその微粒子の問題であります。太陽からどういう機構によって——太陽黒点をモデルにいたしますと、おそらく非常に強い磁石の場があって、そこに電気を帯びたものが回っておる。それがどういう機構で——飛んで来るかということが、まだわかっておりません。さっき申しましたデリンジャー現象のもとになる太陽面のフレイヤーのスペクトルをとっておりますが、どこかの波長の何者が、

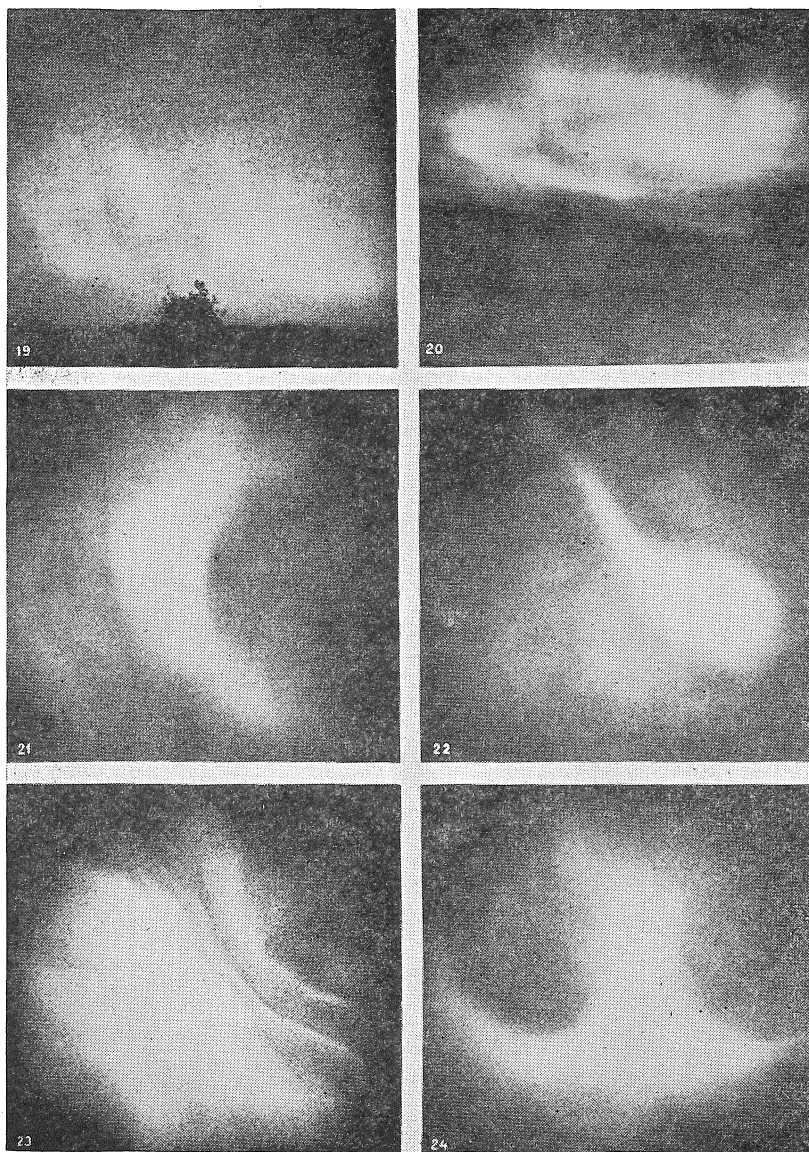


第34図 これは乗鞍山頂のコロナグラフの入っているドームの冬景色であります。毎日の日課は、まずこの雪をどけてドームの屋根を開くことから始まります。

この電離層に影響を及ぼすかということも、まだはっきりしておりません。さらに飛んで来たものが地球の近くに来ますと、地球自身が磁石でありますから、電気をもってきた微粒子はその道が曲るわけであります。そして恐らく極地方に——その途中の機構はいろいろありますが——それ自体が、あるいは前からきておったものが地球のまわりに回っておった、それが新しいものが加わったために、よけいな分だけ極地方に落ちてくるというようなことがある。それがつまりオーロラ、極光であります。そういう微粒子が空気の分子とぶつかりまして、そこで光を発する。そして、そこにあります物質に応じたある波長のスペクトル線を出すことになる。これが極光のスペクトル線でありまして、この極光のスペクトルも実験室で出ない禁制線が出ておるのであります。そういうものを調べることによりまして、地球の非常に高い層、つまり数百キロの高さのこともわかる。もちろんそういう状態は、



第35図 これは極光，オーロラの写真であります。ここには筋のような構造をもったものを集めてあります。



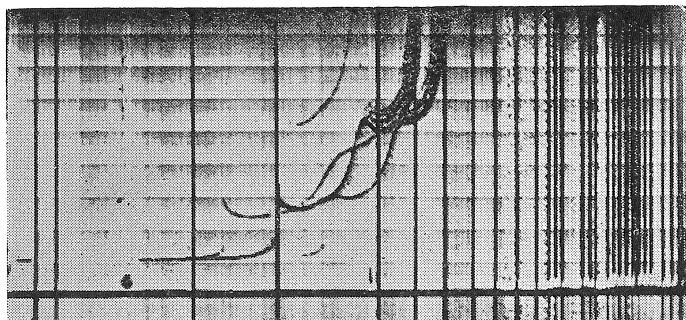
第36図 これもオーロラの写真ですが、このように形のはっきりしないものもあります。

流星が飛んでまいりまして流星が光を出しますが、この光のスペクトルを取ることによっても、やはり数百キロの高さの構造がわかるのであります。

さて、太陽からそういうものが飛んで来ますというと、つまり、電気を帯びたものが磁石の場に来ますから、全地球の磁石の場が狂う、つまり磁気嵐が起ってくる。ついでであります、地球上の磁石の場が狂いますと地電流が狂ってきます。地球の地面のすぐ下は電気の導体でありますから、ここに電気が流れております。これを地電流と申しますが、その地電流が、磁石の場が狂いますと狂ってくる。これも同時に観測しております。これは気象庁の多くの観測所でやっております。

電離層と夜光

さて、電離層を調べるためには、この地球上の観測所からいろいろの電波を打ち上げまして、非常に短い瞬間だけこのインパルスの電波を打ち上げまして、それが反射して返ってくるその時間の差でもって、反射してくる場所の高さを知ることができます。それに使う波長は、反射してくる層の遊離電子の密度をあらわすことになります。だんだん上にゆくほど密になると、だんだん短い波長のものがもどってくる。こんにち郵政省の電波研究所では種々の波長の電波



第 37 図 これは電離層の状況をあらわしたものであります。たて方向が高さ、左右の方向は送った電波の周波数でありまして、右の方ほど周波数が大きい。つまり反射する電子の密度が大きいことをあらわします。このような観測で、地上何キロのところにもどのような層があるかがわかります。これが時々刻々に変りますので、映画のようにとって調べています。

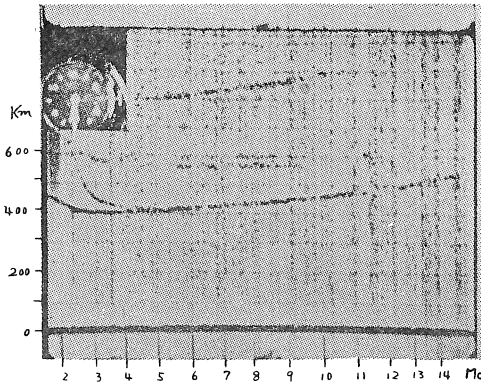
を出しまして、その反射して返ってくる高さとその波長との図をかいています。こんないろいろな模様があります。それが時々刻々変わってまいります。それをもとにして電離層の構造を知る手がかりにするのであります。ここにありますのは、こうして遊離電子の密度によって電離層の高さを見る図であります。

もちろん、それをだんだんやっていきますと時間的な変化もわかるわけがありますが、イオンが何であるかということを見るためにはどうしても夜光を使わなくてはなりません。ところが夜光というものは非常に光の弱いものでありまして、写真にとるのは厄介であります。それで光電管という、光の強さを電気になおす装置を使いまして、適当なフィルターを入れまして、ある波長域だけをとるということをやる。そのスペクトルをとることは、光が弱いから非常にむずかしいのでありますが、まれに立派なスペクトログラフを使いましてやっている人もある。こういうことによりまして電離層の高い場所の構造がわかるわけであります。

ロケットと人工衛星

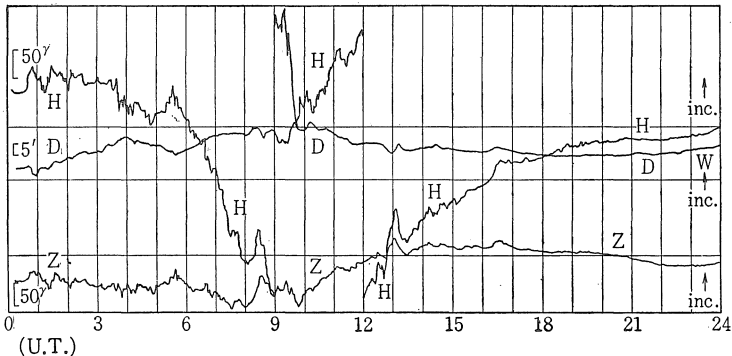
さらに、現在アメリカあたりでやっておりますロケットを上げることにによりまして、こういう高いところの、高層大気の物理的状态、温度なり密度なりそれから組成などがわかることのほかに、こういう電離層の構造を知りその機構を知るために必要な資料を得ることができます。ことに人工衛星によりまして、もう少し恒久的に地球のまわりを回って観測することができますと、大変いろんなことがわかってくるのみならず、こういう人工衛星なりロケットなりに、非常に紫外線にきく、あるいはX線ぐらいにもきくような特殊な装置をのせておきまして、太陽のそういう非常に短い波長の輻射の研究をすることができます。現在、数年前からアメリカのロケットの研究によりまして、紫外部の非常に短い波長のスペクトル線の状況がわかってきております。われわれの空気によってたくさん紫外部が吸収されておりますから、今までにわからな

かったことがこれによってわかってくるわけであります。いまさっき申しましたデリンジャー現象を起すのが太陽の光の輻射のどの部分であるかということは、従来わからなかったのですが、あるいは案外非常に短い、水素の出す非常に短い波長のスペクトル線——ライマン α といいます——そういうもの



第38図 これは電離層の観測であります。600kmあたりに、水平の線がぼっと見えておりますのがオーロラによる反射で、1957年9月13日、わが国でもオーロラが見えたときの国分寺の電波研究所での観測です。

のであるかも知れない。このライマン α のところのものは、すでにアメリカのロケットで観測されておりますから、そういうことがわかります。ちょうどデリンジャー現象が起っておりますときにロケットを上げたとなると、そういうことがわかるはずであります。まだそこまでぶつかつてはいないようであります。

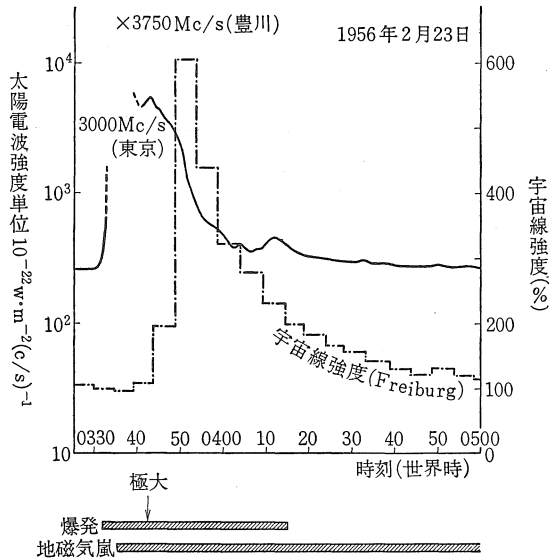


第39図 これは磁気嵐のときに、磁場の变化するありさまを示しています。Hというのは水平分力、Zは垂直分力で、Dは偏角であります。ちょうどこれは前の図と同じ1957年9月13日に大きな磁気嵐が起ったときの柿岡地磁気観測所の記録であります。

宇宙線も深い 関係がある

こういう研究に、実は宇宙線が大へん深い関係があります。宇宙線で申しますと、私が申し上げるのは遠慮しなくてはならないことでありますが、つまり太陽とわれわれとの間の空間がどういう状態になるかということを知るには、宇宙線が大変便利に用いられる。ことに宇宙線は電気を帯びたものが来ますから、太陽とわれわれの間の磁石の場が、どういうふうに変っておるかということを知るのに便利であります——もちろん空間において太陽系以外のところについても知ることができましようが、そしてこれがいま謎の問題になっておりまして、例の名古屋大学の関戸さんのところの宇宙線望遠鏡などに期待し

ておるわけではありますが——。太陽からやって来た微粒子が、地球のまわりに、地球の半径の何十倍かのところにまわっているのだろというような考え方もあります。それが地球のまわりの磁力線のところに来ますと特別な作用をして、極のところに集まってくことになるだろう。これはまあ仮説であります。太陽から飛んで来ますものは、近ごろの考え方によりますと、太陽からマグ



第40図 これは宇宙線の強度の異常増加の例でありまして、世界中で大変問題になっております。1956年2月23日のことでありまして、図にありますように、太陽のフレージャー、太陽電波の異常増加とともに、宇宙線がふえています。フレージャーや太陽電波に比べてすこし遅れておりますが、なぜ遅れるのかとかあるいはさらに、どういうわけで宇宙線がふえるかなど、大変興味ある問題であります。

ネティック・クラウド(磁性雲)というものが出てきます。つまり、それ自体たくさんの磁石が集まっているものが、たくさんの雲になりまして太陽からやって来る。これが地球の磁石の場に来ますとどういう作用をするかということが、現在理論的に非常にむずかしい問題であります。なお、時としては太陽のフレアーのときに、急に宇宙線のふえることがあります。このときは太陽で宇宙線ができたと考えなければなりません。

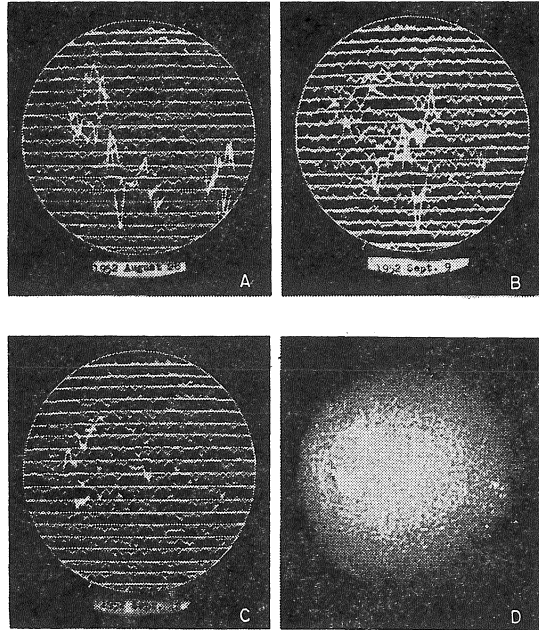
空電と超高層

さらにおもしろいことは、これはさきほどの名古屋大学の豊川の空電研究所でやっていることでありますが、雷であります。これは空電(アトモスフェリックス)と申しますが、波長の非常に長い何万メートルから何千メートルというものを使います。雷からそういう電波が来ております。そういうような電波が、ふつうならばそういう長い波長の電波は電離層を通して地球の外側に出ないはずであります。地球の磁石の場がありますと——そこでむずかしい反射散乱機構によりまして——、それを通りまして地球の磁力線にそって外側にゆきまして、それが日本から赤道を越えてオーストラリアにきこえる。途中ではきこえないという現象があります。これをホイッスラーと申して、これは地球の磁石の場における電気をもった粒子が、そういう地球の半径の10倍とかいふようなところまでどうなっているかということを知るために、非常に重要な資料になっておるのであります。近年こういう研究が非常に抬頭してまいりました。

これからの観測

もっと観測の装置が進みまして、太陽からそういう電気を帯びた雲がやってくることを光でつかまえられるようになれば非常にいいが、そのほかに電波でつかまえることができないか、つまり電離層をつき通して電波を送りまして、もどってくるのを見る。現にいまきいたところですが、月に電波を送りまして反射してきてそれをつかまえております。こっちで何とかしゃべるとい

聞こえてくるのだそうであります。アメリカで現にやっておるそうであります。もちろん月の反射は、数年前に、アメリカですでにやったのであります。月からの反射を見て電波の速さを仮定して月までの距離を出したりなどしておりますが、こういうふうにしまして、つまり電波というものを使うことによりまして、いろいろ珍しいことがわかってまいります。したがって電波を使って地球の外と交通するということになりますと、電離層の状況とい



第41図 これは最近アメリカでとりました太陽面の磁石の場の分布状況を表わしたものであります。写真のうちで水平の線が波をうっていないところは磁場が弱いところ。上か下にずれているのは磁場の強いことを表わしています。太陽黒点では磁場は非常に強いのですが、この写真はそれにくらべてずっと弱い磁場まで書いています。たとえば、太陽黒点が見えなくなってもこういう弱い磁場が残っていることがありますし、黒点にならないような弱い磁場ができたり消えたりしていることもわかっています。地磁気の方の専門家たちは、太陽面にM区域というのがあって、太陽の自転のためにM区域がわれわれの方に向いたとき地磁気が乱れるといっておったのでありますが、おそらくこういう弱い磁場と何か関係があると思います。この装置はアメリカのパサデナで数年前に作りまして、毎日規則正しく運転しております。マグネトグラフという非常に精巧な機械であります。

うものが非常に重要な役になってくる。したがって電離層とこういう関係現象、いままでいろいろなことを申しました現象間の関連というものが大変に重要になってまいります。それが近ごろごく最近におこりましたエアロノミーと申しまして、訳語は、まだ決まっていないそうですが、超高層のこういう物理学的現象を詳しく調べる学問の分野であります。これらは国際地球観測年の観測資料の整理を行なうことによりまして急激に進歩することだろうと思いますが、これらはいつも国際的に協同観測をしなくてはならないわけでありまして、各国が力をあわせて同じ目的に向かって進んでゆかなくてはならないわけでありまして、ここに世界中の国の国際協力ということによりまして、世界の平和が早くおとずれるということを期待している次第でございます。

Ⅵ 宇宙線研究 20 年

石 井 千 尋

気象研究所地球
電磁気研究部長

仁科先生のもとで宇宙線の研究を始めてから約20年の間、宇宙線の研究は、実際の方でも理論の方でも非常な進展を示した。その間新しい粒子を数多く発見し、また一方、宇宙物理の各方面にもいろいろ新しい現象をとらえ、それらについていろいろの問題を提起してきた。そしてまた現在もつぎつぎに問題を提起しつつある。これらの歴史的経過と現在の研究の展望を紹介する。

<昭和32年12月6日 講演>

宇宙線研究 20 年と題しましたが正確には 23 年と申した方がよいのかも知れません。

理化学研究所に仁科研究室が誕生いたしましたのは、昭和 6 年であります。初めから宇宙線の研究という項目がとりあげられておりましたから、この時から計算しますと 26 年になりますが、専門に宇宙線の研究を担当する部門ができたのは、昭和 9 年の末でありました。この時から 23 年になるわけです。

昭和 9 年 11 月に、日本学術振興会に第十小委員会というのが設立されて、宇宙線の研究をすることになりました。このときの委員長は当時の中央気象台長岡田武松先生で、委員には寺田寅彦先生、西川正治先生、木下正雄先生、石本巳四雄先生、と一番若い委員として仁科芳雄先生がおられ、私どもはこの委員会の助手という形で研究を始めました。

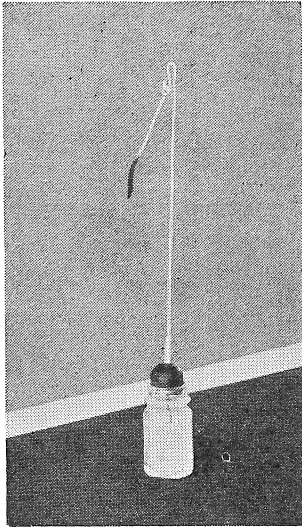
実は私、宇宙線の観測の器械作りばかりやってきましたので器械を中心にしてお話を進めたいと思います。

50 年前の測定

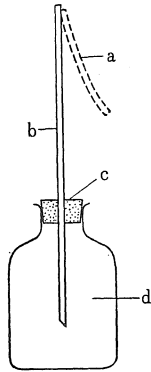
(金箔検電器)

話は 50 年ぐらいいさかのぼって、1900 年の初めごろの話になりますが、当時、放射能が発見され、この測定が、皆さんご承知のような金箔検電器を利用して行なわれておりました。

原理的に申しますと、第 1 図のような一本の電極を琥珀のような非常に電気絶縁物で支えて、一方に金属の薄い箔をつけ一方を一つの閉じた容器に入れて置きます。いまここで、セルロイドの棒をこすって電気を起して電極を荷電しますと、金箔は開きますが、もしここで、空気が非常によく乾燥しており、また近くに放射線の源がない場合には、いつまでも電気はにげないで箔は開いたままでおるはずで、ところがここに放射線を出すもの、たとえば、 Co^{60} のようなものを近づけますと、次第に金箔がしぼんでくるのが見られます。これは付近の空気中に、 Co^{60} のガンマ線のためにイオンが作ら



第 1 図 金箔検電器



れ、このために空気が伝導性を持って電極の電荷が放電されるためであることは、よく皆さんもご承知のことと思います。

このような原理で放射能研究の器械が作られておりました。もちろんこの第 1 図のとおりでは、風が当たれば金箔がふれますし、またマッチの炎を近づけても、イオンが

できて放電を起しますので、実際の器械はもう少し立派なものが用いられております。

宇宙線の発見

ところで、このような装置で研究を続けてゆきますうちに、放射線の源が全くないのになお微弱な放電が起ることがわかり、初めはこれが地殻を構成する岩石の中にあるウランやトリウムの系列の放射性元素によるものとして説明されておりました。しかし、次第に研究が進むにつれて、地殻からの放射線によるだけではないのだという事実が明らかになってきたのであります。それは地表から遠ざかれば放射線が弱くなると予想されるのにかわらず、ある程度地表から上に行くと一度は予想どおり弱まりますが、それからさらに上昇すると再び放射線が強くなることを見つけたのであります。

1900 年代の初めから第一次大戦のころまで、このような暗中模索的な研究が行なわれ、ついに地球大気の上層か、あるいは地球外かわからないが非常にエネルギーの大きな放射線——したがって非常に透過性の大きい放射線——

一がわれわれの住む地表に向かってやってくるのが明らかになり、これに宇宙線 (Cosmic Rays) と名をつけるにいたりました。

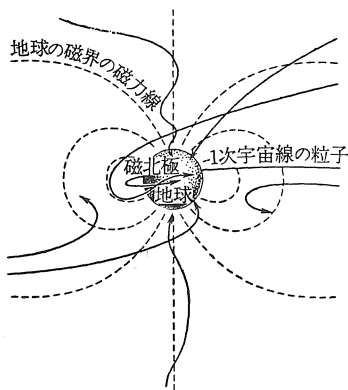
欧州では氷河の中にもぐったり、湖水の底に測定器を沈めたりして、どこまで透過するか、すなわち物質による宇宙線の吸収を測ったりしておりました。しかしその当時、いまだすべての物理学者がその存在を信ずるまでにはなっておりませんでした。

ボーテとコルヘル ルスターの実験

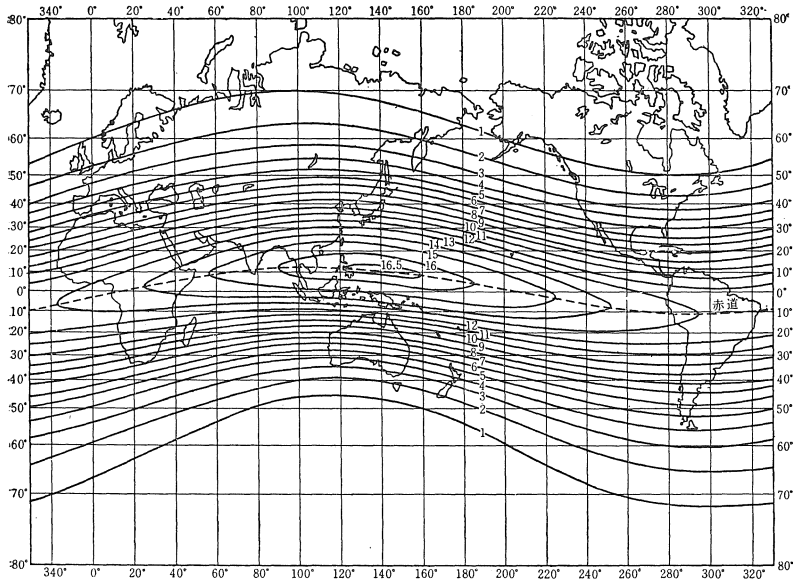
昭和4年ごろ、ボーテとコルヘルスターの2人が、銀行から金塊を借り出してやった有名な実験によって、“宇宙線は荷電粒子である”という証明をしました。すなわち電気を持った微粒子が飛び込んでくるものであるということです。

そこで、もし荷電粒子であるならば地球の磁石の力に作用されて、両極地方に多くの粒子が集中し、赤道地方にはよほど強大なエネルギーを持った粒子でないと到達できないであろうと推算されます。これについては当時すでに極光の理論家たちによって、相当細かい計算が行なわれておりました。

第2図に地球外から地球に向かってくる荷電粒子の軌道のいくつかの例が示してあります。



第2図 地球の磁場にはいつてきた荷電粒子が曲げられて、一部ははねかえされ一部は彎曲してはいる。エネルギーの大きいものは、あまり曲らないがエネルギーの小さいものは、非常に曲ってはいる。



第 3 図 地球上の宇宙線強度分布図。赤道地方に弱く極地方に強くなっている。

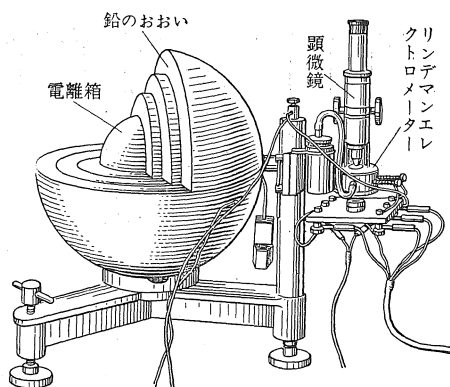
この推算は見事に当たりまして、その後の多くの人々の観測から、実際に地球上にきている宇宙線の強度分布図を作ると第 3 図のようなものができ上がりました。

まず観測器械製作から

(理研で作った宇宙線計)

仁科先生が日本学術振興会の委員として研究に着手されたのは、あたかもこのころであります。そこで何はともあれ、観測の器械を作るべきであるということになって、当時コンプトンが世界中を測定して、さきの地図のような結果を出すのに用いたものを参考にして、コンプトンと寸法の同じ電離箱式の宇宙線計を、理化学研究所の工作係で作りました。これが第 4 図に示してあります。

これは前に申しました金箔検電器(第 1 図)の a の部分が、リンデマン式のエレクトロメーターになり、d の部分を鉄の球(直径 7 cm)で作り、付近の



第4図 コンプトン型宇宙線計

球状の電離箱を三層に遮蔽して宇宙線だけに感ずるようにしてある。中心電極の電位変化をリンデマン式エレクトロメーターで読みとる。

電離箱式の宇宙線測定器としては小さい方で、移動観測を目的として設計されたもので、コンプトンはこれを携帯用宇宙線計と名づけております。携帯用とは申しますが、これを富士山頂に持って行きますときには、有名な強力が3人がかりで分解してかつぎ上げたほどの重量のものです。

コンプトン型 宇宙線計

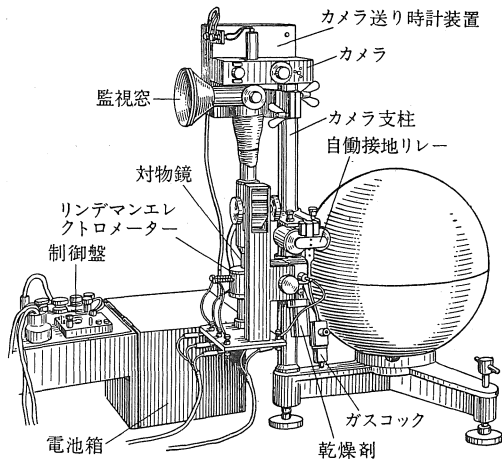
このコンプトン型を完成して、まず第一に箱根山で観測を行ないました。初めはリンデマン型エレクトロメーターの示度を付属の顕微鏡で読みとっておりましたが、箱根山の観測の経験に基づいて、写真フィルムの上に自動記録するように改造されました。富士山ではこの改造されたコンプトン型が用いられました(第5図)。

このコンプトン型を使って観測をつづけてみますと不満足な点が感ぜられてきました。それは、宇宙線の降ってくる粒子の密度があまり多くないという本質的な性質に原因があるためです。地表付近に降ってくる宇宙線の粒子数が平均1平方センチに対して1分間1個ぐらゐの割合で、これを受ける面が小さければ降ってくる割合が平均的には一定でも、ある短い時間の間では

地面からくる放射線——ガンマ線——の影響を除くために、鉛のおおいをしたもので、原理的には昔の金箔検電器と同じようなものです。

鉄の球の部分には宇宙線の粒子に感ずる度合を増すために、空気の代わりにアルゴンを入れ、さらにイオンの数を増すため30気圧ぐらゐに内部の気圧を高めたもので、これを電離箱といい

受けとる粒子の数は変動します。たとえば、1平方メートルのところに1時間10mmの雨が降っているときに、口の小さなトックリのような容器で受けたとしますと、ある瞬間にはひとつぶ雨がはいても、その次の瞬間からしばらくはトックリの中には、はいてこないでしょう。したがって、数個のトックリを置いてそ



第5図 自動式に改造されたコンプトン型宇宙線計

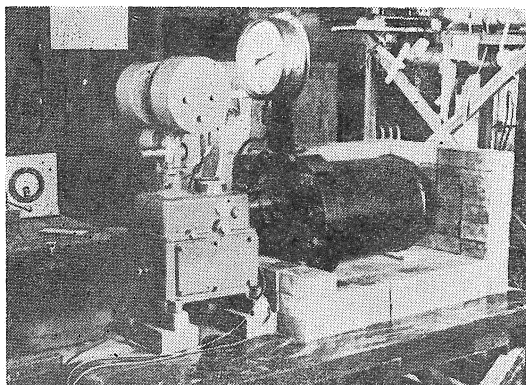
うの中にたまった雨水から計算すると、あるものは8m、あるものは12mというふういろいろな値が出ます。このような変動を統計的な変動と申します。宇宙線の場合にもこの統計的な変動が大きく影響いたします。コンプトン型は移動観測用としては便利ですが、統計的な変動が大きいため、長い時間の平均値を用いないとその地点の宇宙線の強度の精密な測定値が得られないという欠点があります。

仁科型宇宙線計

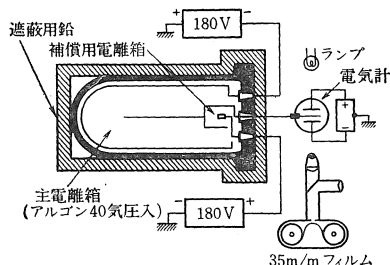
この欠点を除くためには大きな断面積を持った電離箱が必要なので、外国でも同じような考え方からいろいろな型のものが、すでに作られていましたので、その文献を集めて考えた結果うまれたのが今日、仁科型と呼ばれる宇宙線計であります。

第6図に仁科型宇宙線計の外観を、第7図にはその構造の略図を示してあります。

要するに、さきのコンプトン型の電離箱を22リットルぐらいに大きくし、



第6図 仁科型宇宙線計。遮蔽鉛を一部取り除いて内部の本体が見えている。中央の大きい圧力計のついている黒い円筒部分が電離箱で、その手前の箱に丸い頭部がついているのがリンデマン式エレクトロメーターを入れ、これをフィルムで記録させる部分。



第7図 仁科型電離箱設計図

さらに、観測精度を向上させるために、宇宙線の平均値と相殺する程度の逆向きの電気的作用をする補償用となえる小電離箱を、内部におさめてあるもので、電気計はやはり、リンデマン式を用いて宇宙線の強度の平均値からの差をフィルムに記録させるものです。

地表付近の天然の放射線の影響をさけるためには鉛のれんがで全部 10 cm の厚さにおおっております。

仁科型宇宙線計は昭和 11 年の 6 月、北海道の皆既日食の際、北見の斜里岳の観測小屋に据えつけられて最初の本格的な観測に参加して以来今日にいたるまで働いており、たくさんの成果を挙げております。現に国際地球観測年の事業のひとつとして乗鞍岳の観測所と東京板橋の理化学研究所の分室と、札幌の学芸大学とで働いております。

仁科博士の実験

一方このころ、同じような研究目的で、ネーヤが非常に便利な電離箱式の宇宙線計を自作して、フィリピンから印度方面に向かう途中日本に立ちよりました。仁科研

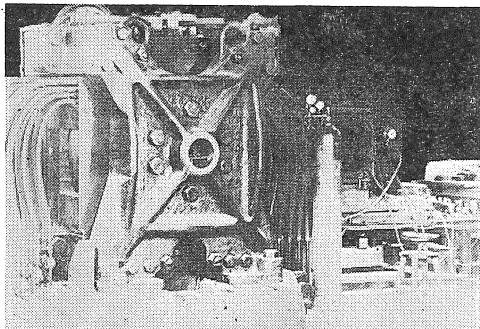
研究室ではこれを購入して、最初に北海道の日食観測に仁科型とともに山に運んで観測し、またこれを持って仁科先生自ら清水トンネルの中で観測をされました。その結果、あの谷川岳や茂倉岳を通して、地表付近に比べると非常に少なくなっているが、なお宇宙線が来ているという事実を見つけられました（昭和11年夏）。

このネーヤー型は、私どもの最初に作ったコンプトン型に比べて運搬手数は同じくらいですが記録するのが便利なので、日本郵船の豪州航路の船や、パンクーバー航路の船に依頼して長い間、航海観測をやり、太平洋上の緯度の異なった点でどのように異なるか(第3図の地図の各点)を、さらに精密に定めることができたほかに、気圧の変化との関係——私どもが気圧効果と呼んでいる現象を確実にする資料を得ました。

歴史的な中間子写真

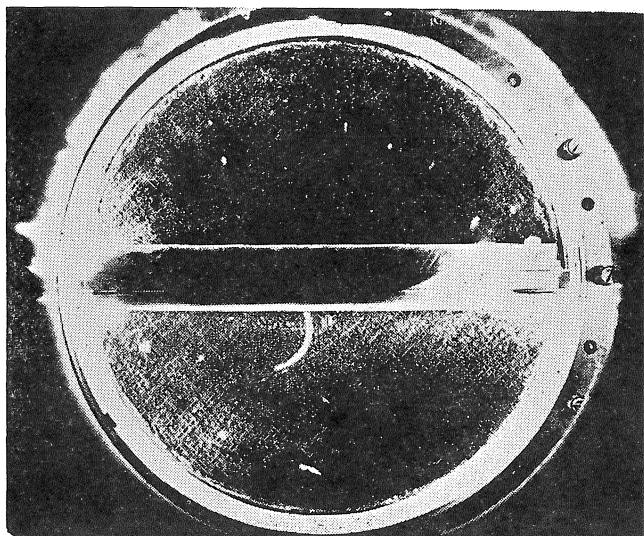
(ウィルソン霧箱による撮影)

またこのころ、仁科先生のもとでは、広い面積にわたって非常に強力な磁力を作用できる大きな電磁石を作って、この磁力の作用の下で宇宙線の粒子の通路が曲るのをウィルソン霧箱で写真にとることを始めております。



第8図 宇宙線の通路を磁力で曲げてその粒子のエネルギーを計るための装置。左が大きい電磁石で中央の丸い窓から写真を撮る。大きさはその右のボンベと比較されたい。

第8図にその装置の全体の様子と、これによって撮られた中間子の写真を(第9図)示しております。これは非常に強大な、直流電源を要するので初めは海軍の大きな充電機を借りて実験が行なわれました。



第9図 仁科先生のもとで撮られた歴史的な中間子の写真。
中央の板から下に左まがりの弧状に白く出ているのが中間子の通路。

湯川博士の中間子の存在を予想された論文が出て以来、各国ともおそらくこの粒子は宇宙線の中に発見されるだろうと考えてさがしていたもので、これはアメリカと独立に、日本で確認された歴史的な写真です。

このウィルソン霧箱と申しますのは、水蒸気とか、アルコール蒸気で気体が飽和状態あるいはちょっとそれ以上になっているとき、そこに何らかの擾乱が起ると擾乱によって霧が生まれます。

たとえば、非常な上空をジェット機が飛んでいるとき、その後方に飛行機雲ができるのをよく見かけるでしょう。あれも、空中に飽和か、あるいはそれ以上の水蒸気が存在しながら、なかなか霧ができずにいるところに、急に飛行機の通過によって擾乱され、雲が生じるのですが、あたかもそれとよく似て、霧箱の中を霧のできるちょっと手前にして置いて、宇宙線が通過した信号があったら間髪を入れずに容積を急に膨張させますと、このため温度が下がり、さらに露ができやすくなり、宇宙線粒子の通過した跡に、きれいな

な線状の露粒の列ができます。

第 9 図は上から宇宙線の粒子が突入して、途中にある鉛の板の中で鉛の原子核に当たり、ここから中間子が発生して飛び出したところで、宇宙線の粒子と中間子の通路に露粒が一行に線状にならんで見えているのです。

一方では、仁科型のような宇宙線強度の連続観測装置ができて、強度の時間的变化の統計的な研究が進みましたし、外国でもこれよりちょっと先に、コンプトンが、有名な C メーターと称する電離箱式宇宙線計を作って強度の時間的变化に着目しております。

宇宙線強度の 気圧気温効果

その結果、気圧の変化にしたがって強度が変化すること（私どもはこれを宇宙線強度の気圧効果といいます）のほかに、気温が上昇すると宇宙線が減少するような変化（これを気温効果と呼びます）がみつかりました。

これについては、素粒子——物質を構成する究極の粒子——の研究が進みこの解釈ができるようになりました。地球の大気の外から宇宙線として水素の原子核であるところの陽子が、非常な大きなエネルギーで 10^9 とか 10^{12} エレクトロンボルト——電子の電荷をもつ粒子が 10 億ないし 1 兆ボルトで加速されるエネルギーに等しいもの——というほどの大きさを持ったものが飛び込んできます。この飛び込んできた粒子が、空気の中で酸素や窒素の原子核に衝突していろいろの反応を起します。

このとき、中間子を発生させますが、これが非常に透過性が大きいので私どもの地表付近に設けた宇宙線計に飛び込んでくるのです（第 13 図参照）。

ところが、これがある短い寿命しかありませんので、発生点から地表まで到達するまでに寿命が尽きるものや、さらに地下まではいって行くものや、ちょうど観測器の中で寿命が終るものなどが混じっております。

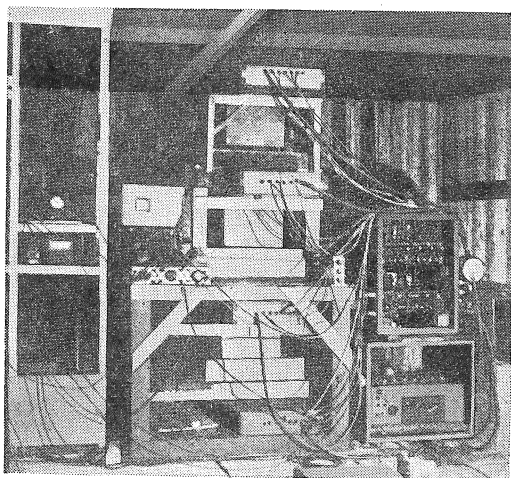
したがって、大気温度が上昇しますと、空気層全体が膨張して、中間子の

発生点から観測点までの距離が延びて、いままで寿命すれすれで観測器にはいったものが、われわれの観測器の上の方で寿命がつきて観測にかからなくなります。これで気温によって宇宙線の強さが変化するいわゆる気温効果が現われることがわかりました。

ガイガー計数管

宇宙線をつかまえるのに電離箱やウィルソン霧箱を用いることは前に申しましたが、このほ

かに、ガイガー計数管が用いられます。これは皆さんが、放射能雨の話などでおなじみの測定器ですが、これも2つ以上組み合わせると宇宙線粒子だけをつかまえるようにすることができます。普通の放射線はガイガー計数管を2つ以上同時に貫通して同時に作用させるだけの能力を持っておりませんが、宇宙線はエネルギーが大きいので同一の弾丸で2つ以上のガイガー管を貫通して作用しますので、同時に貫いたかどうかを精密に測定すれば宇宙線と他の放射線とを区別できるとともに、その飛び込んできた方向まで決めることができます。なおその上に通過した粒子の数をひとつひとつ数えることができる利点があります。



第10図 清水トンネルでの観測装置

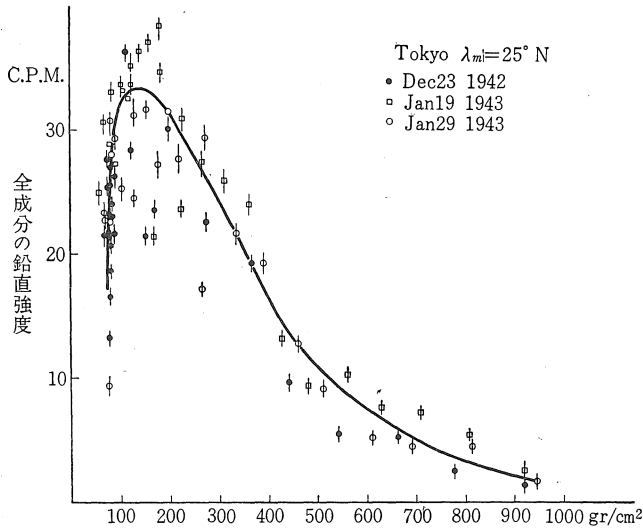
大阪大学では、菊池先生のもとで計数管を用いて、宇宙線粒子が物質を通過する際に起す現象を研究され、この流れは今日、大阪市大の宇宙線研究グループにつながっております。

理研では仁科研究室で、この計数管を用いた方式の測定器を昭和15年以来、清水トンネルの中に据えつけ

て、世界最深の地点での宇宙線観測をつづけました (第10図)。

宇宙線の陽子が大気圏外から飛び込んできて大気の上層で中間子を発生させることを研究しておりますと、ある高度で強度の最高になるところが存在すると結論されます。

これを実験的に確かめるためにやはり計数管が用いられました。昭和17年ごろ、仁科研究室は陸軍の協力のもとで、観測用気球を5個ぐらい縦につないで、これに計数管装置や発信器を吊して飛ばせ、これを受信記録しました。第11図はその時の宇宙線の強度と高度との関係を示したものです。



第11図 日本で最初にゾンデ方式で測定した宇宙線強度の大気の変化による変化の図。

このように、宇宙線の研究は、素粒子の研究という理論の最先端を行く研究と、測定器械の進歩によって非常に発展し、いろいろの現象がわかってきましたが、その結果のひとつとして宇宙線の地上観測から上空の大気の変化、とくに気温の変化をいながらにして知ることができるだろうと予想されます。

仁科先生はこの点に注目され、これが完成すれば、毎日気象ゾンデを飛ばさないでも、すぐに大気温度が知れるのではないかというので気象用宇宙線計の考案を指示されました。そのためには仁科型より1桁上の精度で測定できる宇宙線計が必要であるので、私どもはその設計をいたしました。

この設計を戦後引きついだのが、後にでてくる国際地球観測年用の大型電離箱式宇宙線計です。

以上が戦争末期までの日本の宇宙線の研究の概要でありまして、宇宙線研究年表にとりまとめてみましたものを参照していただきます。(末尾の年表参照)

戦後の研究

(気球による観測)

戦後日本で原子核の実験研究、とくに大型の加速器を用いたり、原子炉を利用する研究を禁止されましたのと、研究機関や大学の予算が原子核の実験をするためには非常に苦しかったことによって、期せずして上空における宇宙線現象の研究が盛んになったとみられます。

上空には、非常に大きなエネルギーを持った粒子(一次宇宙線と呼びます)が飛び込んできて、さきにも申しましたように空気の原子核との間で核同志の反応を起しております。これを利用すれば、サイクロトロンなど及びもつかぬような大きなエネルギーの現象を捉える可能性があります。

たまたま、写真乳剤で粒子研究に非常に便利なものが作られるようになってきましたのでこれを利用して、地上20kmないし30kmのところまで、気球で写真乾板を運んで行って、これを回収すれば、乳剤の中で起ったいろいろの原子核相互の現象の研究ができます。

日本ばかりでなく、イギリスやイタリアあたりもこれに相当力を入れてきました。第12図aにこのような実験のため気球を揚げるところ、第12図bにそれによって乳剤の中に得られた粒子の衝突現象の一例を示します。素粒子論の発展と、この種の実験や、高い山の上の霧箱の実験などからいろいろ

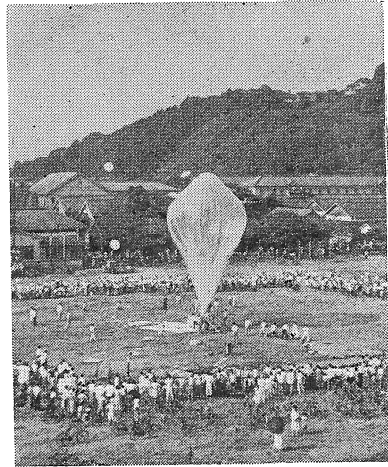
中間子にも種類があることや、大気中での宇宙線（二次宇宙線）の様子も非常に明らかになってきました。

その様子を第13図にモデル的に示しております。

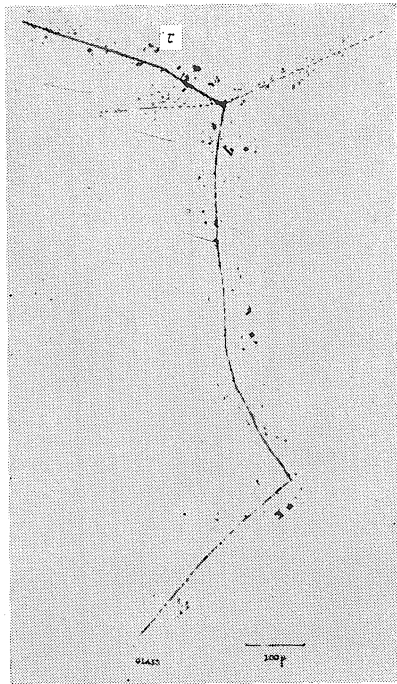
なお、戦後の特徴のひとつともみられますのは共同の研究が盛んになったことであります。これもあるいは予算が窮屈になったことにもよりましょうが、それにもまして研究がこまかく専門に分れるとともに、各専門のあいだの広い協力を要するようになったことも大きな原因と思われます。

研究組織の拡充

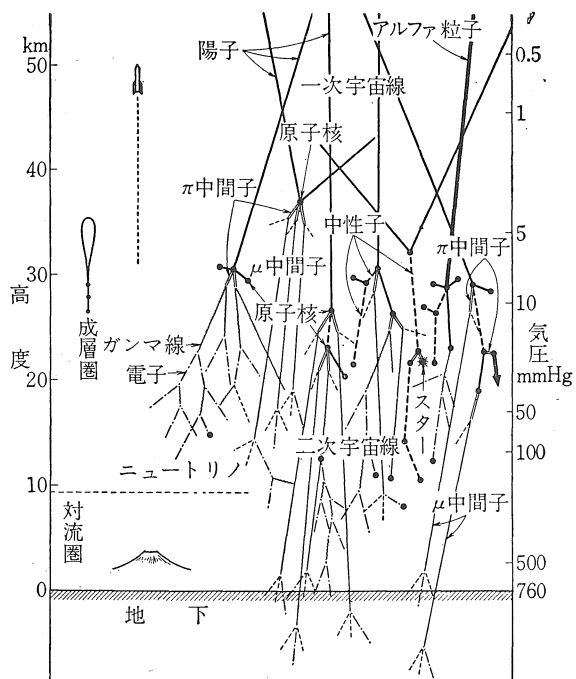
23年前、宇宙線の研究の始まったころ、仁科先生のもとに数名いたにすぎなかった日本の宇宙線の研究者が、今日ではすでに100名以上に及んでおり、全国の大学研究機関に分布しております。第14図にその分布の様子を地図で示します。このように研究者が分布すると同時にその協力共同の研究態勢がおのずから要望されてきて、一方には、宇宙線研究者の全国的な組織があり、また、上空の宇宙線現象をとらえるため気球を飛ばせて



第 12 図 a



第 12 図 b



第13図 上空から地上まで宇宙線粒子が変化しながらはいてくるモデル図

研究グループ P 1GY 観測

- 1~3名 △ 乗鞍岳宇宙線観測所
- 3~5名 ○ ロックーン観測
- 5~10名 ● ロケット観測
- 10~20名 ◯ 気球観測
- ◇ 宇宙線望遠
- 地下観測



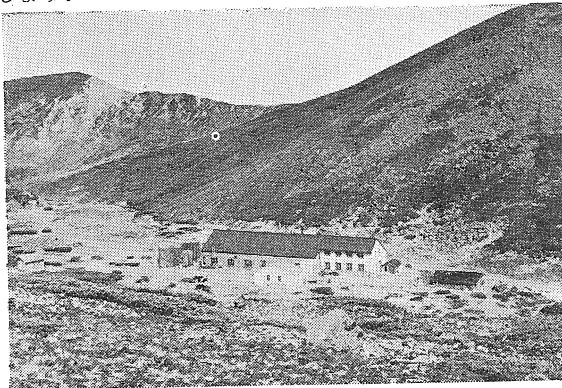
第14図 日本における宇宙線研究者および設備分布図

実験するグループ組織がありますし、高山での観測を行うための共同利用の観測所として、後に申しのべますところの乗鞍岳の宇宙線観測所があります。

乗鞍岳の宇宙線観測所

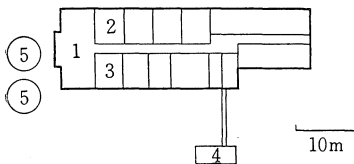
乗鞍岳の宇宙線観測所と申しますのは、このような協力によって生まれた特殊の研究施設であります。

ここは乗鞍岳の頂上からちょっと下ったところにありまして（高度 2840 m）、形式上は東京大学の付置となっておりますが、実質は全国の宇宙線研究者の共同利用の研究機関でありまして、ここには所長と設備および庶務の管理をする数名の職員があるほかには、研究員も助手もおりません。全国の実験者の中から、高い山で実験する必要のあるテーマを持った者が施設の利用を申し込んで、この申込を運営委員会が判断してその年の利用企画をいたします。



第 15 図 乗鞍岳の東京大学宇宙線観測所

手前のカマボコ型的小屋に、仁科型と宇宙線中性子モニターがある。右に離れて見える小屋はこの観測所の母体になった朝日奨励金で作られた観測小屋。



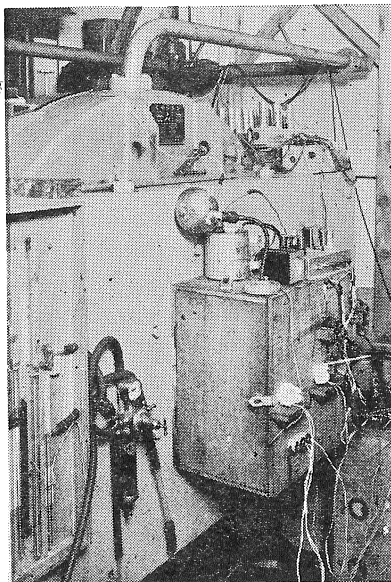
第 16 図 東京大学宇宙線観測所平面図

1. エンジン室 2. 大マグネット室
3. 小マグネット室
4. 中性子観測室 5. 燃料タンク
6. 朝日新聞奨励金でできた小屋

第15図に観測所の全景がだしてあり、第16図はその平面図であります。夏期は岐阜県高山から観測所の近くまでバスが運行されており、また、観測所にジープが用意されておりますので交通はきわめて便利ですが、冬になると、松本から島々にはいり、これからバスで山麓の鈴蘭小屋というところまではいり、そこからスキーで登ることになります。

観測所にはジーゼル直結の60 kVA 2台の直流発電機と、50 kVA と 25 kVA の交流発電機が据えられて、いつでもじゅうぶんな電力を供給できるようになっており、これに冬の間中、じゅうぶんな燃料を供給できるように2基の100トンの重油タンクが準備されています。

要するに、この観測所は宇宙線の研究者が、各自がそれぞれの研究課題を持って、この観測所にある研究施設を利用して仕事をするようになっておる



第17図 乗鞍の大マグネット

大きい円形部分は、油冷されたコイル部分。四角いのはマグネットのヨークの一部、手前の箱の中に記録装置。

のでありまして、設備の点から申しますと、諸外国の高山にある宇宙線観測所に比較してもひけをとるようなものではありません。

施設

主要な施設を挙げてみますと、

a) 大マグネット (第17図)、小マグネット

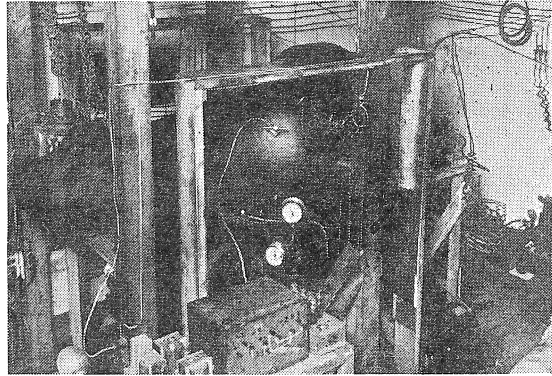
いずれも強大な電磁石の極の間にウィルソン霧箱を挿入して、この中を通過する宇宙線粒子の通路を電磁石の力で曲げて、そのエネルギーを測るのに利用されます。霧箱ではただエネルギーを測るだけでなく、途中にいろいろな物質を置いて、その前後の粒子の

行動と性質から、宇宙線粒子の物質との相互作用を研究したり、いろいろに利用されます。

大マグネットは、極の直径 60cm、両極の間隔 45cm で、小マグネットの方は、極の直径 50cm、両極の間隔 35cm でいずれも極の間に最高 8000 エルステッドの磁場を作ることができます。

b) 高圧霧箱

これは水素原子と宇宙線粒子の間の作用を調べるために用意されたもので、大きな鉄の容器に 100 気圧の水素がつまっており、一方に耐圧ガラスの窓があってこの窓から現象を観測するようになっています(第18図の写真)。



第 18 図 乗鞍の高圧霧箱

水素ガス約 100 気圧をみたして、陽子-陽子の衝突によって発生する透過性シャワーの研究を行なう。中央に見えるのが霧箱。

c) 宇宙線空気シャワー研究の設備

大気中の宇宙線現象の中で、とくに最近注目されてきているのは空気シャワーの現象であります。空気シャワーと申しますのは、地球の外から飛び込んでくる、とくにエネルギーの高い粒子が地球の大気中で非常に数多くの二次粒子を作って地上にシャワーのように降りそそぐ現象であります。もちろんこれは地上でも観測されますので東大の原子核研究所では、とくに非常に広い受感部を持った新しい装置を準備しておられます。しかし、山の上ではこの現象の発展途中のまた異なった断面を捉えることができるので、現在ガイガー計数管の群やウィルソン霧箱、ネオンホドスコープなど各種の測定装置を設けており、さらに来年ごろは(昭和 33 年)観測所の周囲百数十メートル

ルに及ぶ範囲に装置を配置しての研究が展開される予定であります。

d) 中性子の強度の連続観測

これは国際地球観測年の事業のひとつで、協定された型式の中性子標準計というものをを用いて観測されています。この記録装置は日本独自の考案で、電信用のテープ穿孔方式を利用して自動記録しております。

中性子は屋根に雪が積ったり霧氷が厚く付着したりすると強度測定に影響するので、特別設計の観測室を設けてありまして、屋根の雪は風力と屋根裏の温度の作用でいつも雪が積らないというようになっております(第15図の写真の手前の方に突き出ている小屋)。

これらのほか、現在いろいろの宇宙線の観測に、各大学および大学以外の諸研究所によって利用されており、居住設備に関しても相当努力が続けられ



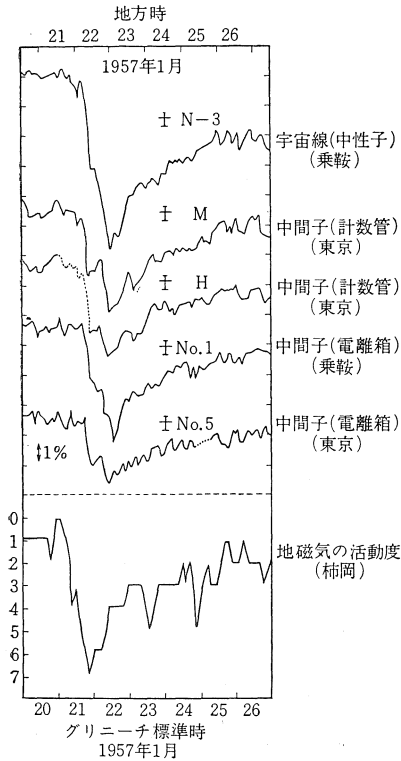
ております。とくに冬期研究者の交代などについては、長野県側山麓の鈴蘭小屋の付近に連絡所を設けて無線連絡をとりながら交代者の安全を計るなどの努力がなされております。

第19図 東大宇宙線観測所鈴蘭小屋

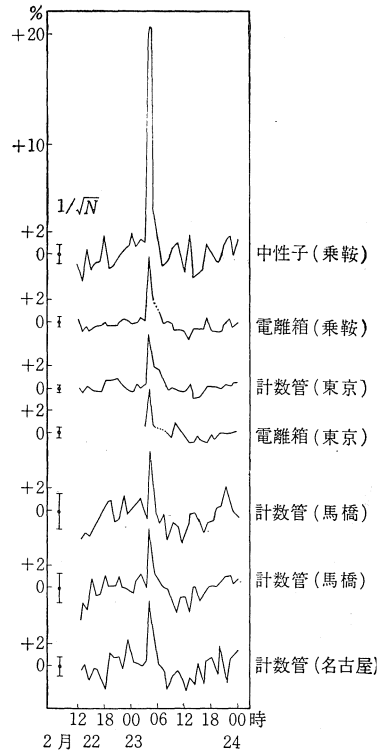
その他の研究施設

宇宙線研究者の国内協力共同の態勢は、このような乗鞍の観測所において非常によく発揮されていますが、そればかりでなく、さきに申しました気球観測をはじめとして、東大の原子核研究所には共同利用のための施設ができており、世界一流の設備を着々と準備しております。

第13図の模型図にあるように、大気中で起ってるシャワーでできた高エ



第 20 図



第 21 図

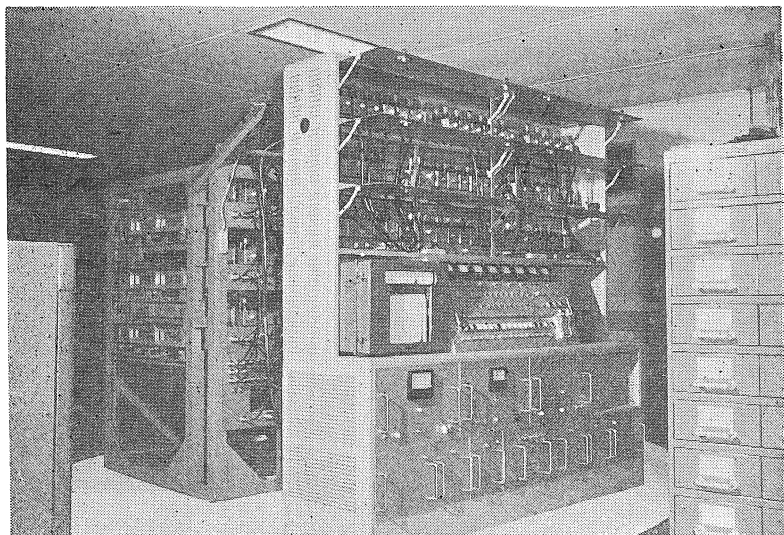
ネルギー粒子群の作用を調べるための設備として、チェレンコフ・カウンタ
 ー、シンチレーション・カウンターなどの組合せによるシャワーの中心部(コ
 ア)を調べるもの、それぞれの二次粒子のエネルギーを調べるもの、粒子の
 入射する方向と、地表付近の分布を調べる装置を設けつつあります。

また一方においては、宇宙線の時間とともに変る様子(実際の変化は数%
 程度ですが)を、仁科型をはじめとして、戦争前から長期にわたる記録が集
 まってきましたので、これを統計的に取り扱って、太陽活動周期にともなっ
 た長周期変動や、地磁気や電離層の変動や異状とともに変動する現象につい

での解析が進んできました。

たとえば、太陽黒点の活動が盛んになって、磁気嵐が起り、電離層にデリソジャー現象が起るような際には、これと同時に宇宙線強度が減少する宇宙線嵐をとまうことがしばしばあり、また、太陽面に重要度Ⅲぐらいの爆発現象があると、宇宙線に異常増加が現われることがあります。第20図には宇宙線嵐と、磁気嵐の対応している有様を、第21図には1953年2月23日に起った異常増加の様子を示しておきます。

このような現象の研究に関しましては、宇宙線研究者の中に一次宇宙線研究班が組織され、また、他の宇宙、地球物理学的現象（宇宙線も含めて）の関連研究のために、電離層研究連絡委員会と、電離層総合研究委員会とが設けられ、天文、地磁気、電離層、電波関係から、宇宙線など広い範囲の専門



第22図 中間子標準計

後方の鉄枠に計数管（各段35本）を3段におき、第二、第三の計数管群の間に鉛10 cm を挿入してある。前方の装置は上から同時放電選択回路、減数回路（2段目および3段目）記録器、下方は電源部分である。この装置全体回転架台の上ののせてあるので、自由に回転することができる。

家の共同の研究が、すでに戦後 11 年近く進められており、また世界的にも高く評価されております。

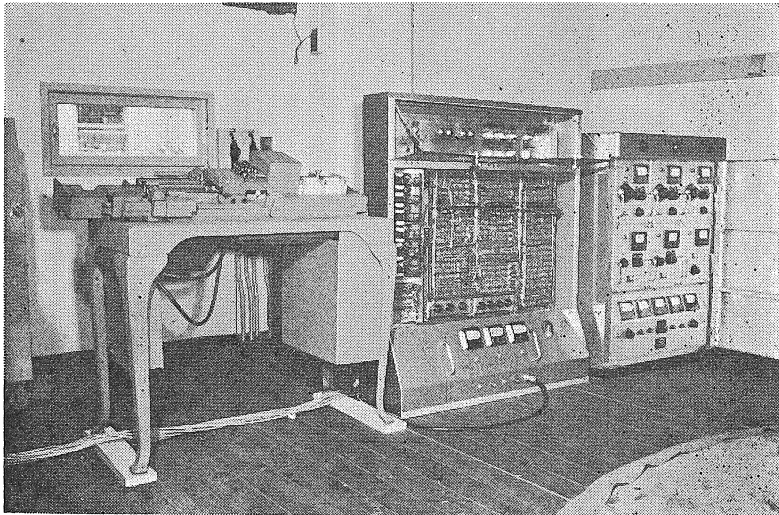
このような現象を確かめるためには宇宙線に関してだけでも地球全体に分布する観測所の資料を比較研究する必要があるので、各国の宇宙線研究者の提携がぜひ必要になってまいります。

国際地球観 測年へ参加

このような要望があるところに、たまたま国際地球観測年の話が始まりましたので、世界の宇宙線の時間的変化を研究するものは、こぞっ

てこれに参加するにいたりました。

日本では、東京で 2 カ所、乗鞍山の観測所、北海道 1 カ所で、ひとつは中間子標準計（これは東京板橋の理研分室に）、ひとつは中性子標準計（これは乗鞍に）、大型電離箱式宇宙線計（東京馬橋の気象研に）、仁科型宇宙線計



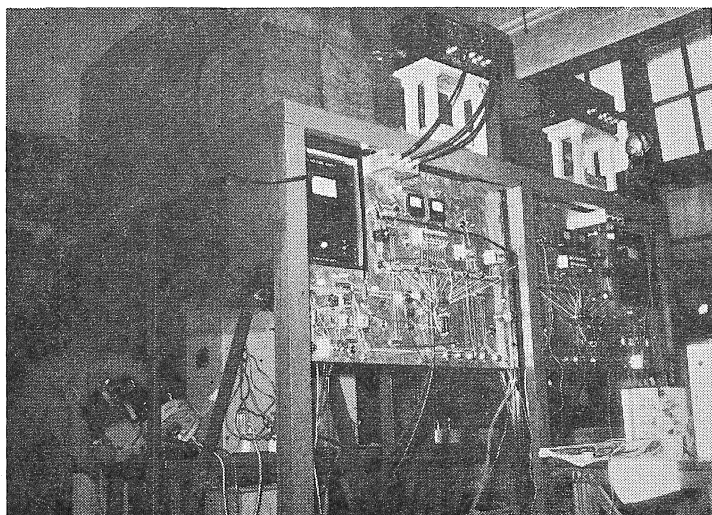
第 23 図 ガイガー計数管からのパルスを適当に減数したのち、パラメトロンを用いた計数記憶装置で、15分間のパルスを記憶させ、これを IBM パンチャーによってカードにパンチさせる。左側から IBM カード穿孔器、パラメトロン記憶装置、パラメトロン用高周波電源。

(東京板橋, 乗鞍, 北海道学芸大), 狭角垂直成分宇宙線計 (東京馬橋, 北海道学芸大) を用いて時間的变化の観測をしております。

中間子標準計

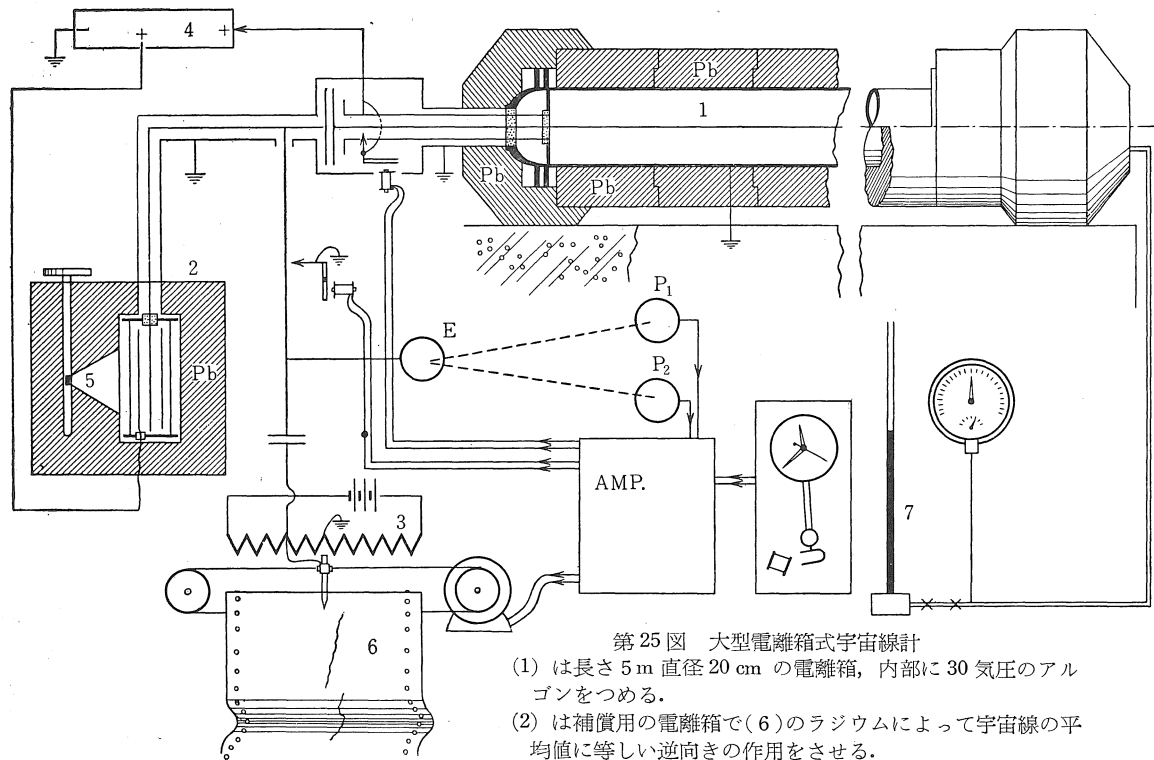
中間子標準計は, 国際地球観測年に際して全世界の宇宙線の強度観測の標準にするために定めた方式による測定器であり, ガイガー計数管の配列を三段に重ねてありまして, これが立方体になるような配置にすることになっております。そして1時間に50 000個以上の中間子を数えるような面積を持つことが要求されております。第22図の写真は, 東京板橋の理研分室に据えつけた中間子標準計の主要部分を示したものであり, 第23図の写真は, この半自動化された記録装置を示しております。

これは国際的な約束によって2台同じものを据えつけて, この測定数値が等しくなることで機械の検査をすることになっております。



第24図 乗鞍の中性子標準計

鉄枠の上に四角に見えるのがパラフィンで, この中に B^{10}F_3 ガスをつめた中性子計数管が, さらに鉛5 cm とパラフィンとでかこまれて12本入れてある。6本ずつの2組に分け, それぞれ増幅器, 記録器を独立につけて中性子強度を測定する。記録はリレー計算器を通して, 15分間のパルス数を記憶させ, 電信テープにパンチさせた。



第 25 図 大型電離箱式宇宙線計

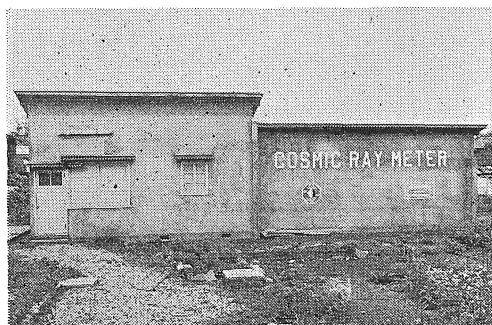
- (1) は長さ 5 m 直径 20 cm の電離箱、内部に 30 気圧のアルゴンをつめる。
- (2) は補償用の電離箱で(6)のラジウムによって宇宙線の平均値に等しい逆向きの作用をさせる。
- (E) はエレクトロメーターで、その光を光電管(P₁)(P₂)に受けサーボシステムを利用して(6)に記録をペン書きする。

中性子標準計

中性子標準計も、中間子標準計と同時に国際的な申告せによって作られたものです。これは、一次宇宙線の変動を割合に忠実に反映する特徴をもっているのですが、地表付近では強度が弱いので乗鞍岳の観測所に置かれております。中性子強度は屋根の雪などによって大きく変化するため、雪が降って屋根に付着しないようにすることは前に申したとおりであります。第 24 図にこの室内の装置の全般を示しております。

大型電離箱 式宇宙線計

大型電離箱式宇宙線計は、仁科型の受感部をもっと大きくしたようなもので、これは戦前、仁科先生が気象学的な応用に役立てることを考えられたときに試作されながら、ついに完成しなかったものとはほぼ同様に、第 25 図にその構造を、第 26 図の写真には外側の小屋を示しております。小屋と申しますがこれは宇宙線計の一部とも申すべきもので第 1 図の(d)の部分



第 26 図 大型電離箱式宇宙線計の小屋。右の方の部分は、第 1 図(d)に相当し、左の方が(a)(b)に相当する。

がこのくらいに大きくなり(a)(b)部分が第 26 図左の部分くらいまで成長したと考えていただければよいと思います。すなわち約 20 年の間に強力 3 名で富士山に運んだようなものがこの写真の小屋ぐらいいま

で大きくなった次第です。

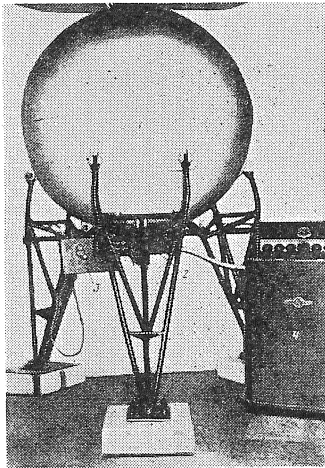
これに匹敵するものはソ連

で用いている ASK—1 型という 950 リットルの球型電離箱です (第 27 図)。

狭角垂直成 分宇宙線計

狭角垂直成分宇宙線計は北海道学芸大学のものは計数管の組合せで、東京気象研究所の分はシンチレーション・カウンターの組合せで作ら

れています。第 28 図には後者を示しておりますが、これも記録は半自動的



第 27 図 ソ連の大型電離箱式宇宙線計。

- 1) が鉛をかぶった球型電離箱
2) がエレクトロメーター部分



第 28 図 狭角垂直成分宇宙線計（気象研究所）。左の鉄枠がシンチレーション・カウンターの支え、右端が自動印刷装置

でタイプ印刷されてでできます。

日本ではこれらと、さきに述べた仁科型の資料とを、2 時間ごとの値を記録して国際地球観測年の参加各国と交換しております。

これらの外に国際地球観測年の事業のひとつとしてロケットおよびロッキーン（気球発射ロケット）による観測があり、これにも宇宙線観測が含まれております。さらにもひとつ、南極の観測にも宇宙線は重要な項目のひとつになっておりまして、現在昭和基地には、かつて北海道の日食の際に一役買ったネーヤー型宇宙線計が動いており、また、「宗谷」の上には宇宙線中性子観測用の測定器が乗せられて連続の記録をとっております。

その他の設備

なおこのほかに名古屋大学には宇宙線望遠鏡と名づける大きな設備で、宇宙線の源をみつ

けようとする機械があり、大阪市立大学では、静岡県焼津の東海道線の廃トン

ネルを利用して、地下まではいつてきた宇宙線現象について注目すべき研究が進められていることを申し添えておきます。

む す び

以上申しましたのが、大体測定設備を中心に
みた戦後から今日にいたるまでの研究のあらましであります。ところで、上空はロケットから気球、山頂にいたるまで観測をひろげ、地表付近は全世界に網を張り、その上地下までもぐって、ある者は、できないスキーを練習して冬乗鞍の山に登り、あるものは南極で冬越しをして、一体何を考えているのかという点に疑問をおもちの方々も少なくなることと思います。これについて私ども宇宙線の研究をする者には、それぞれいろいろの夢を持っております。ある者は、宇宙線の粒子の持つ、非常に大きなエネルギーを利用して、原子核との相互作用から物質の基礎をなす粒子、素粒子の研究資料をつかまえ、それによって、湯川先生をはじめ多くの日本の秀でた物理学者の組み立てた理論を、さらに前進させようと考えておるでしょう。また別の人々は、宇宙線が大気の中を通過するときには受ける変化の総合されたものを地上で観測することによって、これら変化を起させた上空の大気の状態を、あたかもX線で透視診断をすると同じように利用して、ひいては日々の天気予報にまで応用しようと夢みているかも知れませんし、また別の研究者たちは、宇宙線を通じて星の中の物質の生成から、ひいては新しい原子力、核融合反応の手がかりを得ようと考えているでしょう。また、ある者は宇宙旅行をするときの基礎資料に考えてもおるでしょう。

いずれにしても、自然科学の総合された力となるためのひとつの歯車であり、ひいては私どもの生活に、どんな形でかは今日不明ですが何かの形で反映してくるであろうと思われるものを得るための一齣であるはずであります。

理由や原因、あるいは環境といろいろの条件はありますが、いずれにしても戦後他の分野、とくに素粒子論の進歩と原子核物理の進歩の上に立

ち、あるいはまた、その基底となってもどもに大変進歩いたしました。

事実、片手に持つほどの電離箱に鉛をかぶせた国産一号のコンプトン型から写真(第26図)にお目にかけたような総重量 15 トンほどのひとつの小屋を単位にするような電離箱を作るまでになったわけです。しかしこれらのもの、ロケットと南極を除けば、いずれも、仁科先生が手をつけられたことは、いまさらおどろくべき慧眼であると申すよりほかありません。

今日、仁科先生の誕生日に当たるこの記念講演に際して過去の先生の業績をふりかえて、私どもの微力に自ら鞭撻を加える次第であります。

宇宙線研究年表（観測を主とした）

昭 6	1931	理化学研究所に仁科研究室発足
昭 9	1934	日本学術振興会第 10 小委員会(宇宙線研究)発足
昭 10	1935	富士山頂で宇宙線観測
昭 11	1936	斜里岳で日食時の宇宙線観測 清水トンネル内でバーストを見つける
昭 12	1937	船上観測開始
昭 12	1937	μ 中間子の写真による確認
昭 14	1939	清水トンネル内の連続観測開始
昭 16	1941	仁科型宇宙線計 5 台並列観測開始
昭 17	1942	気球による宇宙線観測
昭 19	1944	中央気象台に宇宙線研究室誕生
昭 20	1945	仁科先生宇宙線研究により、朝日文化賞を受ける
昭 22	1947	名古屋大学で宇宙線研究開始
昭 24	1949	朝日科学奨励金で乗鞍岳に観測小屋を作る
昭 27	1952	気球に写真乾板をつけた観測開始
昭 28	1953	全日本の宇宙線研究者の組織(C. R. C)結成
昭 29	1954	東京大学宇宙線観測所活動開始
昭 32	1957	国際地球観測年の観測開始

Ⅶ 放射線の生物作用とその機序

岡 小 天

小林理学研究所主任研究員

放射線が生物にたいして、どんな作用をするか、われわれ日本人は身をもって体験してきた。大量の放射線照射はつねに死を招くものであるが、致死量以下の放射線によっても種々の放射線症がひきおこされる。放射線は癌の治療に用いられる一方、癌の原因ともなる。

放射線の生物作用のうちもっとも恐るべきものは、将来の世代へおよぼす影響である。放射線による遺伝的影響は有害であり、しかもすぐには目だたないものである。

放射線の生物作用の機序を明らかにすることは医学の上から必要であるばかりでなく、現代自然科学の基礎的問題としてはなほ重要である。

生物は細胞からできており、細胞は種々の複雑な物質からできている。放射線の照射により、生物をつくる諸物質がどのような化学変化を受けるか、また細胞がどのような構造上、機能上の変化を受けるかがまず問題となる。

生物体は高度に組織された秩序ある体系であるから、放射線の高エネルギー照射により、重大な障害を受けるのは、むしろ当然である。放射線の生物作用を明らかにすることは、逆に生命の機序をうかがう手段ともなる。

放射線の生物作用機序の問題は物理学と化学と、生物学の三つの分野が交錯する広場である。しかし、この方面の研究は、問題がきわめて複雑な上に、日もなお浅く、現在まだ明らかにされていない点が多岐にわたる。ここでは、この広場の現状を展望し、それをできるだけ平易に紹介したい。

＜昭和33年12月6日 講演＞

ただいまご紹介いただきましたように、放射線の生物作用とその機序ということにつきまして、しばらくお話し申し上げたいと思います。

仁科先生のご誕生日にあたりまして、本日のこの記念講演会で講演させていただきます光栄をたまりましたことを深く感謝いたします。

は じ め に

放射線が生物にどういう影響をおよぼすかという問題は、それ自体、自然科学の問題としてきわめて重要なものであるばかりでなく、臨床医学的にも非常に重要な問題でございますので、現在各国で盛んに研究されつつありますけれども、なにぶん事柄が生物を対象としますものですから、いまだにはっきりしない点が非常に多いわけでございます。それでここでは細かい点はぬきにして、この方面の研究が大体どんなふうになっているかということをできるだけわかりやすくお話してみたいと思う次第でございます。

さきほど申しましたように、放射線というのは医学上重要な意味をもっているものですが、それは放射線障害ということがあって、放射線にあたったために病気になったり、あるいは死ぬことさえある一面、放射線を使ってガンの治療をすることもできるからであります。

ガンの治療と申しますと、以前には天然のラジウムからでる放射線、あるいはX線を使って治療していたものですが、最近ではコバルト 60 という人工放射能をもった同位元素が使われるようになってまいりました。このコバルト 60 は不安定な元素でございまして、崩壊してニッケルに変わりますが、その際コバルト 60 の原子核から電子が飛びだし、同時にガンマ線がでます。どのくらいの速さでコバルトがニッケルに変わるかと申しますと、これは5年4カ月ほどでコバルトの半分がニッケルに変わるような速さであります。電子は非常に大きな速さをもって飛びだしてくるのですが、これは薄い金属のフィルムで容易に遮断されてしまいますので、実際治療に使われますのはこのガンマ線だけを使うわけでございます。ガンマ線はご承知のように非常

に透過力が強いために、これを使って人体の深部の治療ができるわけでございます。

放射線の影響

ところで放射線が生物にどういう影響をおよぼすかという問題に対しては、まずわれわれの身近なところの問題からお話するのが一番いいと思いますが、そうするとわれわれを含む動物に対しての影響でございます。放射線に対する動物の抵抗力をどんなふうにしていいあらわしたらいいかが、まず問題でございますが、ふつうは同じ種類の生物のうち、その50%がある期間、たとえば、30日の間に死んでしまうような放射線の量によって抵抗力をいいあらわしております。このような放射線の量を致死量と申しますが、これが大きいほどその生物は放射線に対して強いわけでございますし、またこの致死量が小さければ放射線に対して感受性が高いということになるわけでありす。致死量をきめるのに、なぜ100%という値を使わないかという疑問が起るかもしれませんが、生物にはすべて個体差があり、たとえばモルモットならモルモットといっても、100匹のモルモットの中には放射線に対して少し強いものもあれば弱いものもあるというわけで、全部ということになるとごく少数のもので非常に結果が違ってくるおそれがあるからであります。

さて、いろいろな動物が一体どのくらいの抵抗力をもっているかということとありますが、それは動物の種類によって大変違うのでして、われわれを含む哺乳類は比較的他の動物にくらべて抵抗力が弱いのであります。そこで1カ月の間に50%死んでしまうような放射線の量をレントゲン (r) という単位を使っていいあらわしますと、おおよそ次のようになります。

いろいろな動物の致死量

モルモットは200~400 r, 豚は275 r, 犬は325 r, ヤギは350 r, サルは580 r, ハツカネズミは400~600 r, ネズミは600~700 r, ウサギは800 r, 人間はどのくらいかと申しますと、大体サルと同じ程度と考えてい

ただけがいいのであります。上の数字はもちろんそう正確な値と考えることはできないのでして、ある実験において得られた値にすぎないのであります。

さて、哺乳類以外の動物はどうか、といいますと、これはずっと抵抗力が強いのでして、たとえばキンギョは 700 r, カエルはやはり 700 r, カメは 1 500 r, イモリは 3 000 r, エビは 10 000 r です。動物ではないが、酵母は 30 000 r, 大腸菌は 10 000 r というように、微生物になりますと非常に強くなります。それから昆虫がまた強く 60 000 r, アメーバは 100 000 r, ゴウリムシは 300 000 r となっております。他のいろいろな種類の動物あるいは植物にくらべまして、人間その他の哺乳動物がいかに放射線に対して弱いものであるかということがわかるわけであります。これは実験的な事実でありますけれども、それではなぜそういうふうに哺乳動物は弱いのか、あるいは他の動物はなぜ強いのか、動物の種類によって、なぜそういうような違いがあるかということになりますと、現在その理由は全然わかっておらず、仮説すらないという状態であります。

ハツカネズミに ついての実験

それからハツカネズミのような小動物についてはいろいろな実験がなされておりますので、それを 2, 3 申しますと、ある実験におきましては、雌の方が雄よりも抵抗力が 10% ほど大きいというようなデータがございます。それから若いネズミは年をとったネズミよりも抵抗力が大きいのですが、これは若いと回復がはやく起るためと考えられます。それからおもしろいことには、冬眠中の動物は抵抗力が非常に大きいのであります。しかし、冬眠中の動物に放射線をかけた後、暖めてやると動物は普通の状態でかけられたのと同じようなふるまいをして、非常にへたばってしまうのであります。それから動物を、細胞の水の凍結点の 2, 3 度上まで冷却しておき、放射線照射いたしますと、抵抗力が増すというデータもございます。そのような

冬眠状態では、組織の中に酸素が非常に欠乏した状態になりまして、のちに申します酸素効果の弱くなるためと考えられます。こういうふうに冷凍して照射しますと、動物はふつうの致死量の2倍ないし3倍に耐えるのであります。

人間の致死量

《広島、長崎被爆の経験》

われわれに一番関心のありますのは、われわれ人間自身についてのことでありますが、もちろん実験というものはないのでありまして、広島あるいは長崎における被爆の状況から、人体に対する放射線の影響がある程度わかっているにすぎないのであります。それによりますと、爆心地から1000メートル以内の戸外におりました人は1000 r以上の放射線をあびていると考えられるのでありますが、そのような人々は1週間以内にすべて死んでいるのであります。ところが爆心地から1000メートルないし1200メートルの距離におりました人は、700 r程度の放射線をあびていると推定され、そのような人々は2カ月以内に大部分が死んでおります。このような事実から人間の致死量は、さきほど申しましたように、大体サルの場合と同程度であろうと考えられるのであります。

放射線の局部照射

それからまた動物の場合に話がもどりますが、動物は全身を照射される場合と一部遮蔽されて照射される場合とで、同じレントゲンだけ放射線をあびても抵抗力が非常に違うということがあります。全身を照射されますと非常に弱いのでありますが、一部大事なところをおおっておきますと割合に平気であるというわけであります。たとえばハツカネズミの場合、脾臓を防御しておきますと抵抗力が増すのであります。このことから脾臓は放射線に対してなにか重要な役割を演じているものと考えられるわけです。それからいま申しましたことに関連することですが、動物の体の一部分を、局部的に大量照射する場合には割合に抵抗力が高くて、死ぬというようなことはあまりみられません。こ

のことはわれわれにとっては、はなはだ有利なことであります。ガンの治療をしますときには数千rのガンマ線を非常に細くしぼって、局部にあてるわけですが、一般的な全身的な健康状態をたいしてそこなうことなしに局部を治療できるのは、以上のような理由に基づくのであります。

要するに、全身照射は非常に危険なのでありまして、これは生物学的にみて、非常に重要な点であると私は考えております。

またある一定線量の放射線を長い期間にわたって少しずつ受けるか、あるいは短期間に一度に受けるかによって、動物に対する放射線の影響は大いに違うのでありまして、一般に短期間に急激に受けた場合には抵抗力が減り危険であります。それは生物はある程度、体を損傷されても、またもとに回復する力をもっているからであります。

放射線を受けた 場合の症状

人間が放射線をあびた後で、どのような症状を呈するかということですが、日本の実例によりますと、600 r の放射線をあびたとき、あびた瞬間から2時間後には嘔吐を催し、1週間以内には下痢嘔吐が続き、第2週目には発熱し、さらに急激に衰弱がきて、ついに100%死亡いたします。400 r あびた場合にはどうかと申しますと、第1週、第2週にははっきりした症状はでてまいりません。しかしこれが安心ならないのでして、第3週になりますと、頭の毛がぬけ、食欲不振となり一般的に倦怠感を覚えて発熱し、顔色は蒼白となってまいります。その後急激な衰弱がやってきて、死亡率は50%ということになります。放射線量が200 r に下がりますと、今度は助かる見込みが非常に強くなってまいります。この場合には第3週になって頭の毛が抜けはじめ食欲不振となり、咽喉が痛み顔色は蒼白になり下痢を起しますけれども、特別に合併症を起さないかぎり回復するのであります。

さきほど申しましたように、哺乳動物は単細胞生物よりもはるかに抵抗力が小さいものであります。これに対してはいろいろな考え方ができるでしょ

うけれども、ひとつは哺乳類のような高等生物の場合には、いろいろな器官が分化して分業的に働いているわけでありましたが、ひとつの器官が照射されると他の器官の機能をそこなうということが考えられるのであります。つまり全身照射いたしますと各器官の間の平衡が雪だるま式に急激に破れだすわけでありまして、それで高度に分化した高等生物は単細胞生物にくらべて放射線に対する感受性が強いのではないかと推察されるわけでありまして。

放射線が致死量

以下の場合

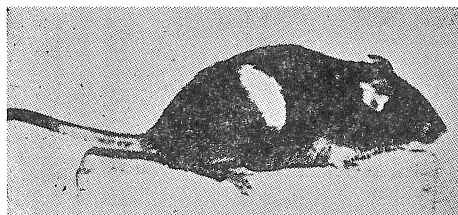
次に、致死量以下のわずかの線量の放射線をあびた場合に、生物体にどんな変化が現われるかということですが、たとえば血液に変化がすぐでてまいります。人体に 300 r を照射しますと、1 時間以内にリンパ球の減少することが明らかに観察されます。その後 3 日間ぐらいいはリンパ球がどんどん減少してまいります、それからあとは徐々に回復して正常な状態にもどります。これに反して多核白血球の方は、リンパ球ほど急激には減少いたしません、約 2 週間ほどの間、徐々に減少してそれからあとまた回復してまいります。赤血球の方ははるかに抵抗力が強く、はじめの 10 日ぐらいいの間は何も変化が現われません。ところがその後、3 週間ぐらいいまでの間は徐々に赤血球が減少し、その後ふたたび正常な状態にもどるのであります。

放射線照射により体重が減ります。たとえばハツカネズミについての実験がありますが、700 r の放射線をあてますと 10 日間ぐらいいの間どんどん体重が減って、ついに 100% 死亡いたします。ところが 550 r の放射線をあてた場合には、体重ははじめの数日間はずかに減少しますけれども、その後はほぼ回復し、死ぬものはほとんどありません。

それから放射線照射により病気に対する感受性が高まるということがあります。原爆の場合にもそうでありましたが、わずかな傷から敗血症をおこしたりいたします。これは放射線の照射により体の中で抗体を産生する能力が減るからであります。

それから放射線照射が生殖能力に重大な影響を与えるということもご承知のとおりでございまして、たとえば卵巣に10 000 rの照射を受けますと、この婦人は永久的に不妊になります。

【皮膚に対する影響】 次に、皮膚に対する影響ですが500 r以上の放射線をあびますとその部分がはげてしまいます。ところが200~300 rの場合には一時的に毛髪がぬけてしまいますけれども、1年ぐらいたちますと回復いたします。ちょっとここでスライドをご覧にいれましょう。第1図は、非常に狭くしぼったX線をネズミの体の一部に照射し、その部分の毛の色が白



第 1 図

く変ったところを示したものです。向こう側が見えておりませんが、X線はネズミの体をじゅうぶん透過しますので、反対側の同じ部分がやはり白くなっているのです。

【眼に対する影響】 つぎに眼に対する影響ですが、白内障になります。原爆で直接眼に放射線を受けた人は眼の水晶体がにごってまいります。非常に不思議なことに、このような放射線の影響は5年ないし10年後に現われるのでして、それまではなんの変化も現われません。このように放射線の影響というものは場合によっては非常に時間がかかるもので、これは大いに警戒しなければならないことであります。

【細胞に対する影響】 、つぎに放射線の生物に対する影響としてどうしても考えねばならないことは、細胞に対する影響であります。多細胞生物の場合には、細胞同志の相互依存性が非常に強いので、ひとつの細胞の損傷が他の細胞に影響を与えるわけでありまして、その間には非常に複雑な関係があるわけであります。これが多細胞生物に対する放射線の作用の問題が非常にむずかしくなる理由であります。さらに生物では、いわゆるストレス反応とい

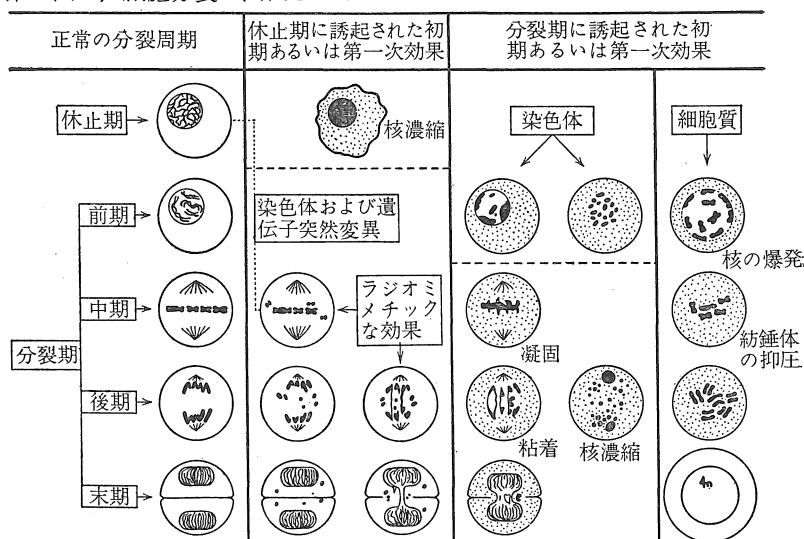
うのがありまして、なにが外界から平常と違ういやな原因がまいると、それに対していろいろなストレス反応が全身的に起るのであります。それで多細胞生物の場合には、直接、細胞自身への影響かどうかを区別することが非常に困難になるのであります。ですから単細胞に関する研究がまずもとなるわけであります。

【細胞分裂に対する影響】 その第一は、細胞分裂に対して放射線がどんな影響を及ぼすかということです。これは一口にいいると、細胞分裂が抑制され遅延するのであります。そして盛んに分裂しつつある細胞が、とくに影響を受けやすいという特徴があります。ですから同じ細胞でもふつうの体細胞と違ひまして、生殖細胞とかガン細胞がとくに放射線に対して敏感なのであります。ガンの治療に放射線を使うことは前に申したとおりですが、ガン細胞だけにガンマ線を照射することは不可能でありまして、どうしても正常の細胞まで照射されてしまうわけであります。もしガン細胞と同じように正常な細胞が破壊されるのでしたら、放射線は危険で使えないわけですが、幸いにして放射線の作用はガン細胞にとくに敏感なので、このような治療法が可能になるのであります。それでは、このように盛んに分裂しつつある細胞は、なぜ放射線に対して敏感なのかという問題ですが、それに対しては現在つぎのようなことがいわれております。

それは、盛んに分裂しつつある細胞中には、その代謝を行なっている酵素があつて SH 基をもっていると考えられるのであります。SH 基は放射線によって容易に酸化されるということが現在認められており、そのことによって酵素の働きがなくなります。酵素の働きがなくなるとことは、細胞の生活現象が遅くなることを意味するのでありまして、これで細胞の有絲分裂の遅れることが説明されるわけであります。実際、大腸菌は自然に分裂してどんどん殖えていきますが、放射線を照射された大腸菌は分裂できなくなつて、ついに長さ 100μ ぐらいの繊維状の大腸菌ができあがるのであります。

【その他の影響】 そのほかに細胞に対してどんな影響があるかといいますと、細胞質の粘性が増すとか、ミトコンドリアが分裂するとか、紡錘体に変化するとか、染色体が膨潤して粘着性をもつようになってきます。それから染色体の中には DNA 核酸という非常に重要な物質がありますが、その含有量が異常を呈するとか、いろいろな問題がでてまいります。しかしこれらのメカニズムについては現在まだはっきりしない点があります。

第 2 図に、細胞分裂の図表を示します。



第 2 図

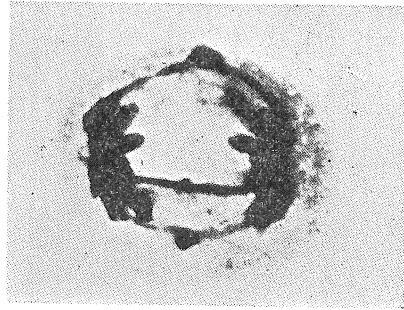
第 3 図はネズミの肉腫細胞の有糸分裂の後期で、3本のねばついたブリッジができて細胞が分裂できなくなったところを示したものです。第 4 図は放射線を受けるときの分裂周期での時期と感受性との関係を示したもので、休止期の終りから細胞分裂が始まろうとする時期にかけて、感受性がもっとも高いことがわかります。

第 5 図はチューリップの花粉細胞で染色体が切れて破壊しているところを示したものです。

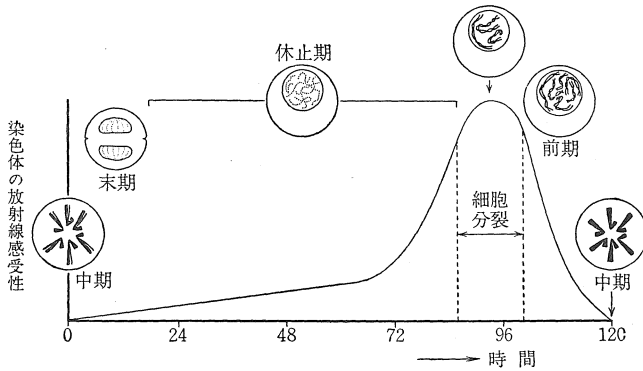
次に、細胞に対する放射線の致死作用ですが、いわゆる間接作用を消去しておく、と、残存バクテリア数 N と放射線量 D との間には

$$N = N_0 e^{-kD}$$

なる関係がありまして、これからバクテリアが死ぬという現象は、ある



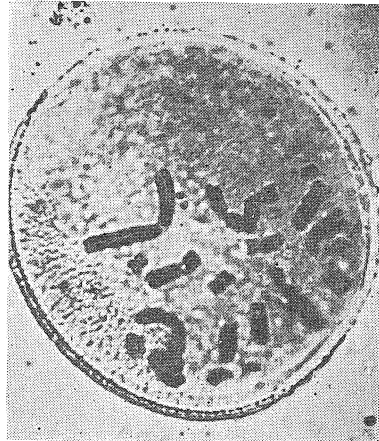
第 3 図



第 4 図

狭い部分（感受体積）での単一電離によって起ると結論されるのであります。この場合に放射線の致死作用は水の中に酸素があるかないかに非常に依存するのでして、酸素のあるときは放射線的作用が大きいのであります。

それから、さきほど申しました染色体の破壊がどんなふうになるのかという問題ですが、ちょっと考えるとピストルで網を射って網がまっぶたつに切



第 5 図

れるように、染色体が放射線によって切れたのではないかと考えられますが、必ずしもそうとはいえないのです。それは染色体をつくる細胞の能力にまず影響して、合成が中断された結果とも考えられるからであります。

放射線は遺伝に対してどのような影響を及ぼすか

次に、遺伝の問題についてお話ししたいと思います。生物の種の数が非常に多いということとは、非常に不思議なことですが、それに対して、むかしからいろいろな考えがありました。第一は、はじめから現在のままの形で地上にいろいろな種の生物がつくられたと考える考え方です。第二は、そうではなくて、共通の祖先というものがあって、遠いむかしにそれからだんだんに分れて、ついに現在のような多種類の生物が現われたという考え方でありまして、これがいわゆる生物の進化であります。その場合に、分れるといっても最初から将来どうなるかが決定されていたという考え方もありうるわけですが、それに対して生物の進化は非決定論的であって、それは最初からきまっていたのではないという考え方もありうるわけです。そういう考え方に基づいたのが有名なダーウィンの進化論でありまして、ダーウィンは生物には偶然変異があり、自然淘汰によって淘汰され、それによってある種類のものが現在のようにその環境に順応して残存したと考えたのであります。ところがそのような変異は遺伝しないということが、その後わかってまいりましたので、オランダのド・フリースは、突然変異の現象が生物進化の要因であると唱えたわけであります。

突然変異について

突然変異というのは、親の形質と違った形質の子どもが突然に現われる現象であります。こういうことは自然には非常にまれにしか起きませんが、いったん変化した形質は遺伝します。突然変異の現われる頻度は、生物の種類にもよりますし、また同じ種でもどういう形質についていうかによって違います。

さて、突然変異はいったいどういう原因で起るかということですが、染色

体の上に遺伝子と呼ばれるものがある、この遺伝子になにか重大な不連続的、不可逆的な変化が起ったためと、現在、一般に考えられております。

第6図は、ベータ線とガンマ線の混合した放射線であらかじめ雄のオタマジャクシを照射し、その精子によって受精された卵から生じたオタマジャクシを示し、下側のは正常なオタマジャクシであります。

第7図は、ショウジョウバエの唾線の細胞の染色体を示したものであります。染色体の上に見られる縞模様のひとつひとつがショウジョウバエの遺伝的形質に関係があると考えられており、現在では地図が作られております。

ところで、アメリカの遺伝学者マラーは、1927年に、放射線が生物の遺伝的形質にどんな影響を及ぼすかということの研究しようとして、ショウジョウバエにX線をあてて調べてみたのであります。その結果、突然変異の起る頻度は、自然に起る頻度の150倍にも達することがわかったのであります。そして放射線による頻度の増加は、線量に比例することもわかりました。それで単位の線量に対する頻度の増加をX線係数と呼んでおります。X線係数は生物の種や、問題にしている形質に



第 6 図



第 7 図

よって違うものです。放射線によって起る突然変異の頻度の増加が、線量に比例するということから、突然変異の現象は、以前に照射されたことに無関係に起ることがわかります。したがって放射線を少しずつかけたか、あるいは一度にかけたかにはよらず、現在までにどれだけの放射線を受けたかということだけによって突然変異の起る頻度がきまってしまうわけであります。

さらに上に述べたことから、突然変異はただ1個の電離によって起ることが結論されます。第二にわかったことは、X線係数は波長の長いX線からガンマ線にいたるまで、波長に無関係であるということであります。波長によらないということは、あとで述べることですが、飛跡上におけるイオンの密度に無関係であるということであります。このことから突然変異の現象は非常に狭い体積内での電離に起因する現象であることが結論されます。これがさきほど申しました遺伝子の電離に関係があるわけであります。なお実験の結果によりますと、突然変異の現象は酸素の影響を強く受けるもので、酸素が欠乏しますと突然変異は起りにくくなります。

X線ばかりでなしに、ガンマ線、中性子線、あるいは紫外線も種々の生物に対して突然変異を起すものであります。とくに下等な生物に対してはいろいろな実験があります。カビやバクテリアはX線で突然変異を起すほかに、紫外線でも突然変異を起します。この場合、波長 $260\text{ m}\mu$ の紫外線が一番突然変異を起しやすいということがわかっております。

光のように弱い放射線でも突然変異を起しうることが知られております。すなわち、霊菌というバクテリアにエリスロシンという色素を吸着させて光をあてますと霊菌が突然変異を起すのであります。これはエリスロシンが光を吸収して、分子がエネルギーの高い状態になり、その結果霊菌が突然変異を起したものと考えられます。

あとで述べますように、バクテリアよりもさらに小さなものでウィルスというものがありますが、これもX線や中性子線、紫外線などによってやはり

突然変異を起すことが知られております。

いままでに述べた実験では、外から人為的にX線・中性子線・紫外線などをあてて観測しているわけですが、よく考えてみるとわれわれの住んでいるこの地球というものは、足下からも頭上からもたえず自然の放射線をうけているのでありまして、地中には種々の放射性元素があつて、たえず地上に放射線を出しているわけであります。さらに頭の上からも非常に高速度の粒子がどんどん降ってきているのでありまして、これが宇宙線であります。宇宙線は太陽その他の天体からやってくると思われております。宇宙線は高いところでは強くなるものですが、一方、高山植物には変種が多いということがよく知られておりますので、宇宙線による突然変異と関係があるのではないかと考えている人もあります。

少し話が変わりますが、放射線と非常によく似た働きをするいろいろな物質が最近みつかりまして、ラジオミメチックな物質と呼ばれております。たとえば、ナイトロジェン・マスタードとかサルファ・マスタードとか呼ばれる有機物質は突然変異を起したり、細胞分裂を遅くしたりするのであります。さらにバクテリアは発ガン性物質によつても突然変異を起すということが知られております。ある種の有機物質はこれを皮膚に塗ったり、あるいは飲んだりすると、ガンが発生するので、このような物質を一般に発ガン性物質と呼んでいるのです。

以上のようなことを考えますと、放射線の作用はまず体内に化学変化が起り、それがもとになって二次的に生物作用が現われるのではなからうかと考えられます。この考えが正しいかどうかをきめるためには、まず放射線とはどういうものかということから始めなければなりません。

放射線の実体

いままでは単に放射線といつてきただけで、その実体がどんなものであるかということにはことさらふれなかつたのでありますが、これから少しく放射線とはどういう

ものかということについてお話しします。

ご承知のように、いろいろな物質は原子からできております。原子は中心に核があり、ここに大部分の質量が集まっております。核は陽子と中性子とからできており、陽子は正電気を有し、中性子は電気をもっておりません。核のまわりには電子が高速度で回っており、一定の核のまわりには一定数の電子が回って安定な電氣的に中性な集団をつくり、これがいろいろな原子となって自然に現われているわけであります。原子の種類を軽い方から順々にあげていくと、水素、ヘリウムというようになって、ついに 92 番目の元素ウランに達するわけであります。ところが重い元素の中には自然に崩壊して種々の放射線を出すもののあることが、前世紀のごく終りに発見されました。このような不安定な元素を放射性元素といっております。

【放射線の種類】 放射線の種類としては、アルファ線・ベータ線・ガンマ線などがあります。アルファ粒子はヘリウムの原子核と同じもので、2 個の陽子と 2 個の中性子とより成る粒子であり、ベータ線は高速度の電子から成っております。その後高速粒子を原子核内にぶち込むことにより、不安定な放射性元素がいろいろ作られました。最初に申しましたコバルト 60 もこのような人工放射性元素であり、原子炉の中で作られるものであります。それで放射線の実体としては 2 通りのものがあるわけで、そのひとつはアルファ粒子・陽子・中性子・電子などの高速粒子であり、他は X 線やガンマ線のように質量はないが、非常なエネルギーをもった光子であります。

【化学反応】 このような種々の放射線が物質に当たったときに、まずどのような変化が起るかということですが、X 線やガンマ線の場合には、原子のまわりの電子がたたきだされて非常ないきおいで飛びだします。この速さは大変なもので光の速さの $\frac{1}{3}$ ぐらいの速さです。この高速電子は近くの原子からまた電子をたたきだします(高速粒子でも同様です)。このようにして、電子の通過する道すじにそって電子をとられた原子、つまりイオンが生じるわ

けであります。イオンは非常な化学的活性をもった遊離基をつくり、これがその後の非常に複雑な化学変化をひき起すものと考えられます。放射線の生物作用も結局はこのような化学反応に基づくものと考えられるのであります。

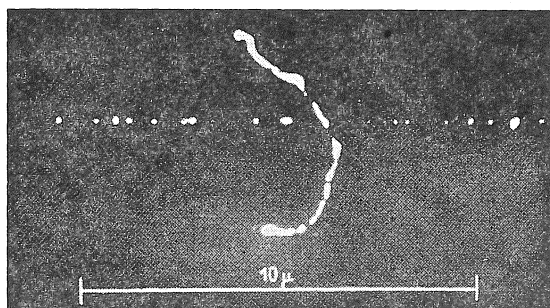
とくに中性子の場合には上の事情が異なります。中性子は電気をもっておりませんので、まわりの電子の雲の中をつき抜けて原子核に近づき、軽い元素の場合なら原子核をつきとばします。水素の原子核は陽子ですから、水素を含んだ物質ではこうして陽子が飛びだします。また中性子は原子の核の中にもはいりうるわけで、この場合には核の中から新たに陽子や中性子が飛びだします。

以上に述べましたように、一般に物質の中に電離現象が起りますので、このような放射線を電離性放射線といっております。しかし電離性放射線といっても、単に電離するだけであるかという点、実はそうではないのでして、そこらにある分子の状態をエネルギーの高い状態にひき上げる（励起する）ということも同時にいたします。さて励起された分子も化学的に活性に富み、その後いろいろな化学変化を起す可能性をはらんでいるものであります。

紫外線はふつう一種の電磁波と考えられておりますが、実はこれもX線やガンマ線と同じようにエネルギーの粒とみられるものです。紫外線が物質に当たると分子を励起します。このようにして紫外線は生物の突然変異を起したり、バクテリアを殺したり、その他いろいろな生物作用をするものであります。日光消毒が紫外線の殺菌作用に基づくことは申すまでもありません。

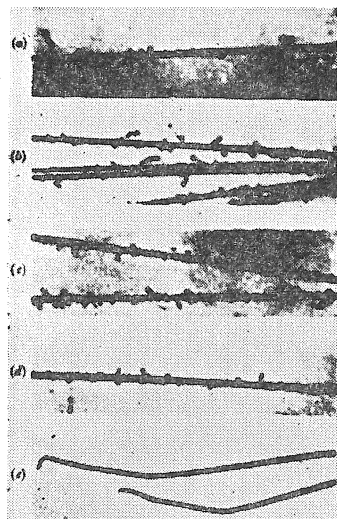
【霧箱の原理】第8図は200 kV という非常に高いエネルギーをもった高速電子が霧箱中を左から右へ通過したところを写真にとったものであります。高速電子が空気中を通過しますと、酸素や窒素の分子が電離してイオンになりますので、もし空気中に過飽和の水蒸気があると、イオンを中心にして水滴がつくられます。これが霧箱の原理です。

図の中にミミズみたくに見えるのは、上の方から約20 kVの電子が飛びだ



第 8 図

してきたところをとったもので、電子のエネルギーが小さなために、電子は空気分子に散乱されて道すじが曲げられているのです。



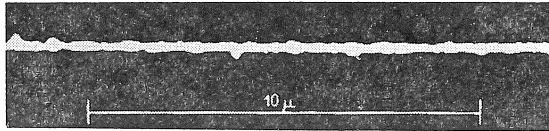
第 9 図

第 9 図はアルファ粒子が霧箱を通過したところを写真にとったものであります。(a), (b)は空気中の場合で、何本も見えるのは、それぞれ 1 本が 1 個のアルファ粒子の通過した道すじを示しております。道すじからケバのようなものが出ておりますが、これは道すじで電離された電子が、速度が小さいためにすぐに、いきおいなくなり止まってしまったもので、デルタ線とよばれております。(c), (d) は、

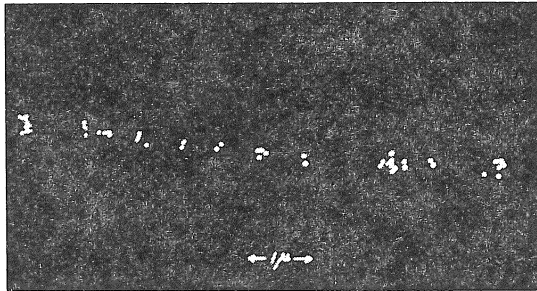
アルファ粒子がヘリウムの気体中を通過したときのものであります。図からすぐにわかりますように、アルファ粒子は電子の場合にくらべて、はるかに密に道すじの上にイオンをつくります。このように放射線の種類の違いは、まずイオン密度の違いにあるわけであります。(e)は右からアルファ線がやってきたときの道すじの終りの部分を示し、道すじが折れ曲っているのが特徴

であります。

第 10 図は、中性子をあてて原子核の中から飛びださせた陽子の道すじを写真にとったものであります。第 11 図は電子の道すじで、電離が群をなしていることが見られます。



第 10 図

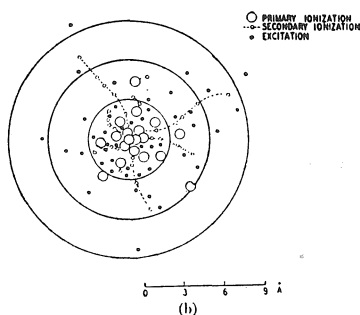
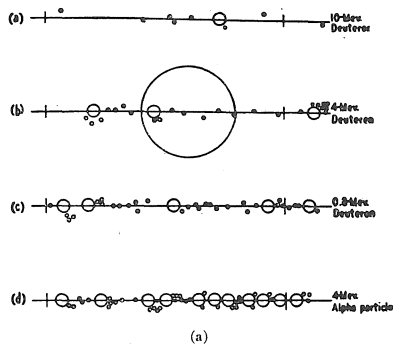


第 11 図

【放射線の量】次に、放射線の量をどうやってあらわすかということです。が、わたくしははじめからなんの説明もなしに r という単位を使いました。これは 0.001293 g の空気、すなわち 0°C 、 1 気圧の空気 1 cm^3 の中に、 1 静電単位の正および負の電気を発生するような放射線の量と定義されております。これは 0°C 、 1 気圧の空気 1 cm^3 中に約 21 億個の正および負のイオンをつくるような放射線の量であります。 $1r$ の放射線は空気 1 g に 84 erg のエネルギーを与えることに相当し、またやわらかい組織 1 g に 93 erg のエネルギーを与えることに相当します。

次に、電離粒子の道すじの上におけるイオン密度ですが、同じ電子でも高速の場合にはイオン密度が小さく、遅い場合にはイオン密度が大きくなります。

【透過力】 それから放射線の透過力でありますが、これは粒子の速度と電荷とに関係し、電荷が大きいほど透過力は小さくなります。たとえば、アルファ線は電荷が大きく透過力が小さいので、容易に遮断することができます。危険なのはガンマ線やX線のような透過力の高いものであります。それから高速度の電子が一对の正負イオンをつくるに要するエネルギーですが、電子ボルトという単位を使うと、34 電子ボルトと知られております。もっともこれだけのエネルギーで、同時に数個の分子が励起されるのであります。それで高速電子が非常にたくさんのイオンをつくっていくことがわかりましょう。



第 12 図

第 12 図は、いろいろな高速粒子が物質を通過するときのありさまを模式的に示したもので、上の 4 つは粒子の道すじにそっての図で、大きな白丸は一次電離を、小さな白丸は二次電離を示し、黒い点は励起分子を表わしております。非常に大きな円は蛋白質の分子の大きさを表わしております。一番下の図は高速粒子の道すじの断面でのありさまを示したものです。

電離性放射線が物質を通過するときは、生体であると否とを問わず、以上のような変化が起るわけですから、生物体に甚大な影響を及ぼすのはむしろ当然であって、いまさらな

がら放射線のおそろしさがわかるのであります。

放射線の化学作用

次に放射線の化学作用の問題にはいりましょう。生物の体の特徴は水が多いということであり、われわれ成人ですと、体重の約65%は水であり、赤ん坊ですと70%ぐらいが水であります。1個の細胞にしても水が70% もはいつているので、細胞がどんな化学変化を受けるかということを考える場合には、まず水の化学変化を考えることが根本になるわけです。

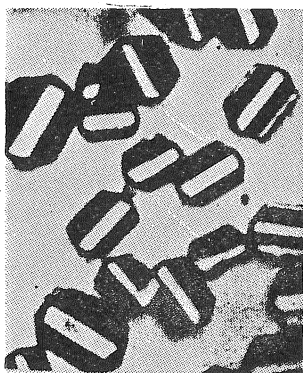
さて、X線・ガンマ線・アルファ線・ベータ線などが水に当たりますと、水の分子 H_2O からまず電子がとれて H_2O^+ となりますが、とれた電子も他の水分子と結合して H_2O^- となります。 H_2O^+ は不安定ですぐにこわれて OH と H^+ イオンとになりますが、この OH は化学的に活性の高いいわゆる遊離基であります。 H_2O^- も不安定で遊離基 H と OH^- イオンとに分れます。このように遊離基が生じますので、その後いろいろな化学変化が起るわけです。ふつうの水は酸素を含んでいるので H は O_2 と結合して HO_2 となり、これはさらに H と結合して過酸化水素 H_2O_2 を生じます。 OH , HO_2 , H_2O_2 などは酸化剤であります。一般に放射線の生物作用は酸素が存在すると強くなるもので、これを酸素効果といっておりますが、これは水の中に上のような酸化剤が作られることによるのであります。

単細胞生物の浮遊液に放射線をあてる場合には、まわりの水の電離に基づいて起る間接作用と、細胞が直接変化をうける直接作用とがあるわけであり、ます。細胞の濃度の小さいとき、または線量の小さいときには間接作用が主になり、これに反して細胞の濃度が大きい、線量の大きいときには直接作用が主になります。ところがゼラチンその他の蛋白質を液の中にごくわずか入れておきますと、その蛋白質が過酸化水素、 HO_2 , OH など酸化剤の作用を引き受けてくれて、バクテリアはほとんど間接作用をうけないということがわかってきました。つまり間接作用から保護されるわけで、このような蛋白質のことを一般に保護蛋白質といい、その働きを保護作用といっております。

す。適当な保護蛋白質を用いれば直接作用だけを観測することができるわけ
で、その場合には、いろいろな事柄がはっきりとわかってくるのであります。

【酵素に対する影響】 生物の体を作っている水以外のいろいろな物質に放
射線がどのような変化を与えるかということですが、ここでは蛋白質、とく
に酵素と核酸についてお話したいと思います。

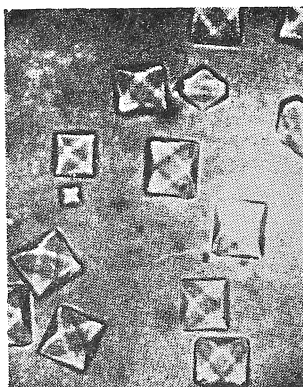
酵素は細胞の中で作られる一種の蛋白質で、触媒作用を有し、化学反応の
速度を増す働きをするものであります。酵素は細胞の中から、純粋な結晶状



第 13 図

に取り出すことができます。

第 13 図は、人間の唾液の中のアルファアミラーゼの結晶の写真です。この酵素はデンプンを麦芽糖に変えるものであります。ごはんを長いこと噛んでいると甘くなるのは、この麦芽糖ができるためです。



第 14 図

第 14 図は、サツマイモの中のベータアミラーゼの結晶の写真であります。ベータアミラーゼも、アルファアミラーゼと同じくデンプンを麦芽糖に変える働きをするのでありますが、アルファアミラーゼにくらべて熱に弱い違いがあります。

さて、酵素に放射線がどんな影響をおよぼすかということですが、X線を酵素にあてると酵素の働きはなくなっていきます。その場合に保護蛋白質を用いて間接作用を消しておきますと、酵素の活性分子数 N は、放射線量 D に対し指数函数的に減少することが知られております。すなわち

$$N = N_0 e^{-kD}$$

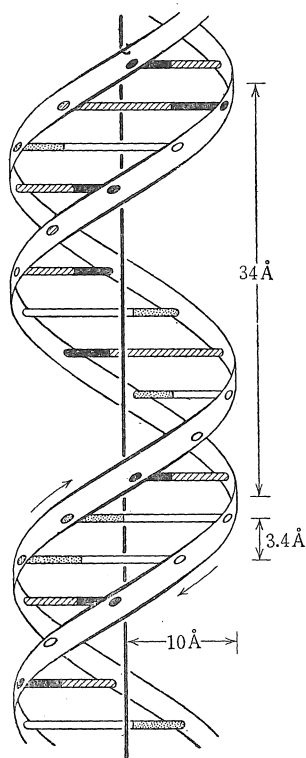
このことは、酵素分子の不活性化という現象が1個の電離に起因する現象であることを示しております。酵素の不活性化は、酵素分子中のSH基が酸化されるためと考えられております。それはなぜかと申しますと、SH基を含む酵素を化学的に酸化してもやはり酵素作用がなくなり、またSH基を含む低分子量の化合物もX線で酸化されることが知られているからであります。酵素はX線のほかに、アルファ線、ベータ線あるいはガンマ線によっても酵素の作用を失います。SH基が関係があるということは、X線で活性を失った酵素にSHを含む化合物、たとえばグルタチオンを加えてやると、酵素の活性がある程度回復することからもわかります。しかし放射線の量があまり大きすぎますと、蛋白質の変性が起って酵素の働きは回復いたしません。酵素の不活性化に酸素の影響があるかどうかということですが、実験の結果によると酸素効果はないのでして、このことからSH基の酸化は放射線によって作られたOH基によるものと結論されるのであります。

生物体内の働きはまことに不思議なもので細胞内にあるいろいろな種類の酵素は互に順序よく働き、全体として統制のとれた化学変化が起っているのです。もしこれらの酵素がでたらめに働きだしたとしたら非常な混乱がおきて、生きていることはもはやできなくなるでめいしょう。ちょうど工場の中で原料がつぎつぎに変化していくように、細胞の中で順序よくつぎつぎに化学反応が起って、いろいろな物質が合成されたりあるいは分解されたりしているのです。こういうふうに考えますと、細胞は非常によく整頓された大化学工場とでもいうべきものであります。

ショ糖を分解する酵素のインペルターゼを重陽子または高速度の電子で照射しますと、その酵素としての活性も血清学的活性もなくなってまいります。インペルターゼを動物に注射しますと、それに対する抗体がその動物体内でつくられ、これはインペルターゼと特別な仕方で反応するもので、これを血

清学的活性というのであります。インペルターゼの酵素活性と血清学的活性のどちらが先に放射線によって失われていくかということは興味あることでありますが、実験の結果によると、酵素活性の方がさきに失われてしまいます。これは非常におもしろいことで、酵素の働きの方が抗体と結合する働きよりも、もっと微妙な局所的な過程であろうと考えられるのであります。

酵素分子が電離されると、なぜ酵素の活性が失われるかということは、非常に重要な問題であります。残念なことに現在まだはっきりしたことはわかっていないのです。酵素の分子は蛋白質の長い鎖状分子がコイルして規則



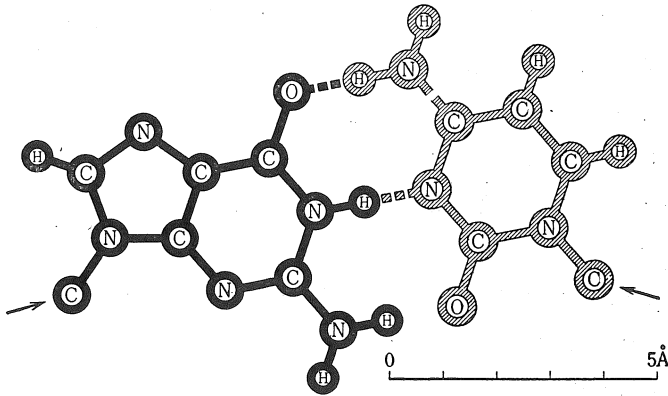
第 15 図

正しい構造をとっているものと考えられております。いまこの鎖状分子の一カ所に高速粒子が当たって電子がとられたとすると、電離された原子は正に帯電するわけですが、電子が足りないのと成りの原子から電子をとろうとします。そうするとそれがまた、成りの原子から電子をとろうとして、酵素分子に大変な騒ぎが起るわけであり。それで酵素の分子は電離された状態ではもはや安定ではなく、たえず形を変える不安定な状態にあるものと考えられます。これが酵素の活性や血清学的活性の失われる原因かもしれません。

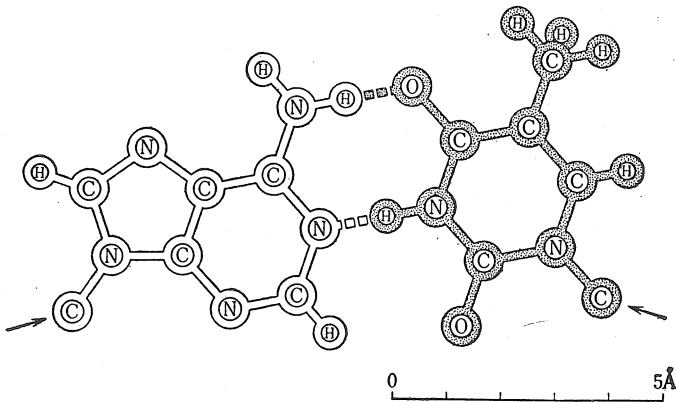
【核酸に対する影響】 次に生物体をつくっているもっとも重要な物質のひとつである核酸に、放射線がどんな影響をおよぼすかということについてお話してみたいと思います。

核酸は細胞の核にあるのでその名前がついているわけで、染色体の主要成分が核酸であ

ります。まず核酸の分子模型を第15図に示します。ラセン状の細長い分子が対をなして存在しているのであります。リボンの上には糖と磷酸が結合して並んでおり、水平な棒は糖に結合した塩基の分子が水素結合で互に強く結びついていることを示しております。このような核酸の二重ラセン構造は核酸の繊維のX線回折の実験からわかったものであります。第15図で水平な棒は、塩基に4種類のものがありますので、4種類に分けて書いてあります。



第 16 図



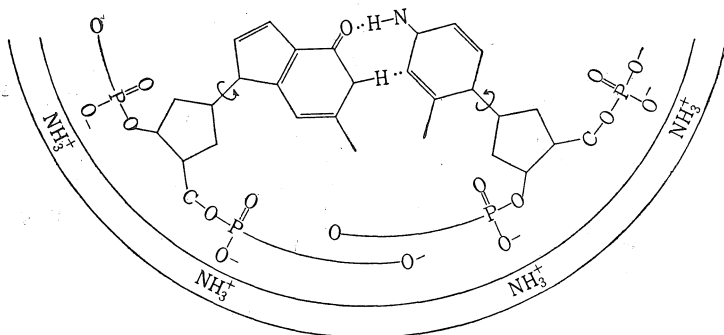
第 17 図

これらの4種類の塩基のうち、2つずつが対をなして水素結合をつくっており、その様子を示したのが第16図および第17図であります。塩基の分子はいずれも平面的で、大小2種のものがそれぞれ対をなしているわけです。ここでも第15図と同じように区別して表わしておきました。

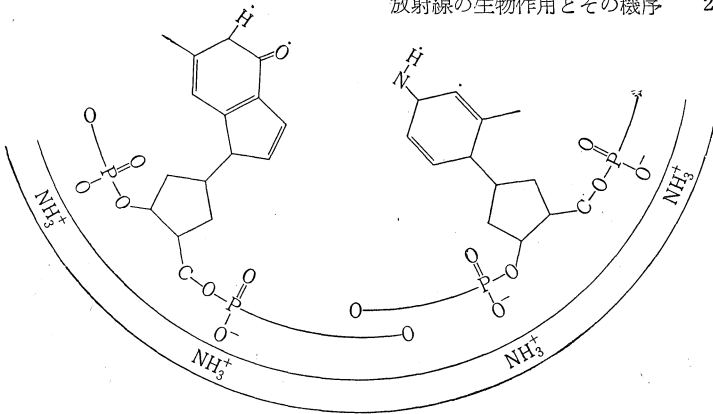
さて細胞が分裂する際には、1本の染色体が2本になるわけですが、そのためには1つの核酸分子が自分と同じ写しをつくって2つになることが必要です。ところで、前に述べたような分子模型を考えますと、このように核酸の分子が写しをつくることも一応理解できます。ひとつの考え方はつぎのようなものです。

はじめに第18図のようなものがあります。これは第15図の二重ラセンを棒のところで水平に切ったものにあたります。こういうところが分裂するとき切れて、矢印のようにまわって裏返しになると考えます(第19図)。そうしますと、位置は変わりますが自分に対して相手になるものがここにでき、こちらに対してはこれができます(第20図)。次に、それぞれがきれてもう一度くると回ると第21図のようになります。するとはじめは下の方しかなかったわけですが、ちょうどこれに対になる相手ができて、全く同じものが2つに殖えたわけであります。

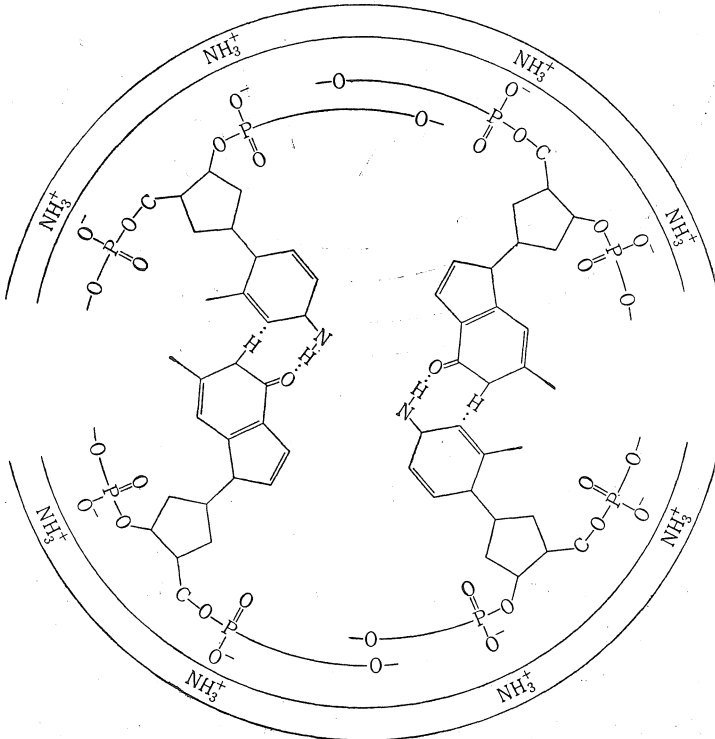
さて遺伝の現象は核酸によって支配されると考えられておりますが、それ



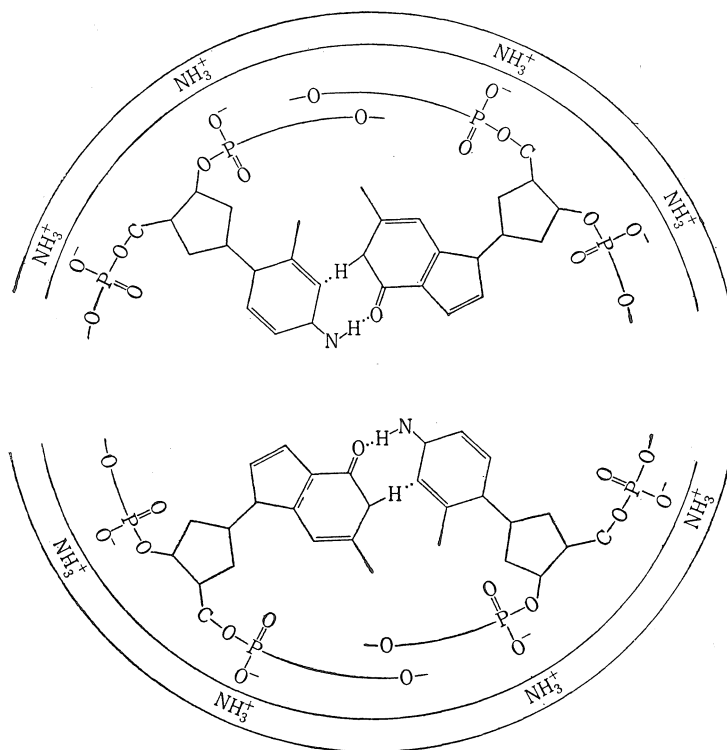
第 18 図



第 19 図



第 20 図



第 21 図

それぞれの形質に対して異なる遺伝子があると考えますと、それらに対応する核酸の分子は個性をもつものでなければなりません。核酸分子が個性をもてるかということですが、細長い分子鎖にそって4種類の塩基が結合していることを考えますと、各塩基の数と結合の順序によって非常に多種類の核酸が存在することになります。

このように核酸の分子はきわめて秩序の高い構造をもっているのです、もし放射線が当たって核酸の分子になにか異変が起ったとすれば、細胞が分裂しなくなったり、あるいは遺伝的性質に変化が起きても別に不思議はないわけ

であります。

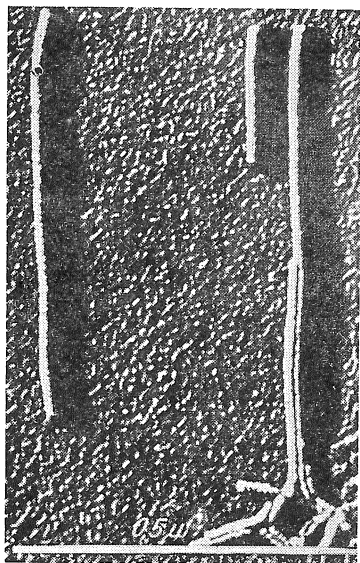
核酸の溶液に放射線を当ててどのような変化が起るかを調べた実験もいろいろあります。たとえば、粘度が減り、構造粘性も減ることが知られております。これらの事実は核酸の長い分子が切れて短くなったことを示唆いたしますが、実際、沈降や光散乱の実験から分子量の減っていることがわかります。この場合分子はOH基によって切れるものと考えられます。それからおもしろいことには、核酸の溶液にX線を当てるのをやめたあとでも、核酸の分子はしばらくは切れていくのでありまして、これは水の中に発生したOH基があとまで影響を及ぼしているためと考えられます。非常に大量の放射線、たとえば200万rというようなX線を照射しますと、核酸の分子は分解してアンモニアがでてきたり、塩基が開環したりすることが紫外線スペクトルの研究からわかってまいります。

核酸は試験管内の実験では放射線に対して割合に強いのですが、細胞内では放射線に対する感受性が強いということが知れております。それで試験管内の実験結果から直ちに生体内でのことはいえないわけです。

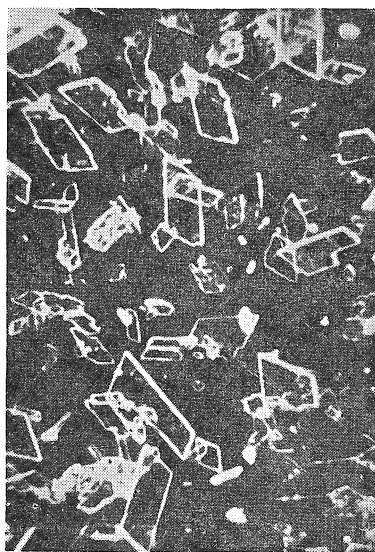
【ウィルスに対する影響】 次に、ウィルスに対する放射線の影響についてお話してみたいと思います。

まずウィルスとは何かということですが、これはある種の伝染病の病原体で、バクテリアよりはるかに小さなものです。日本脳炎・インフルエンザ・ハンカ・狂犬病・天然痘などいずれもウィルスに起因する伝染病で、一般にウィルス病と呼ばれております。ウィルスはバクテリアと違って生きた細胞の中でないと決して殖えませんが、いったん宿主の適当な細胞の中にはいるとどんどん殖えていきます。たとえば日本脳炎のウィルスは、蚊によって媒介され、このウィルスは人間の神経系統を犯すわけであります。

第22図は、タバコのモザイクウィルスの電子顕微鏡写真であります。このウィルスはタバコの葉に褐色の斑点を生ずる伝染病の病原体であります。写



第 22 図



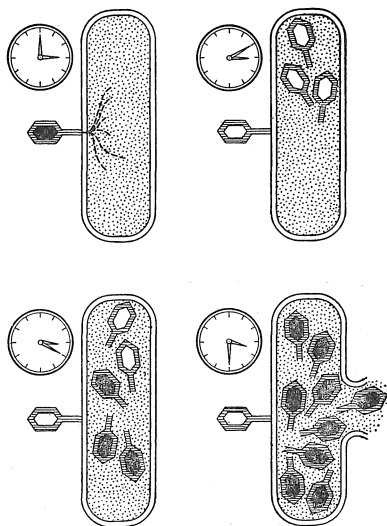
第 23 図

真からわかるように、このウィルスは大体一定の長さをもった棒状のものです。

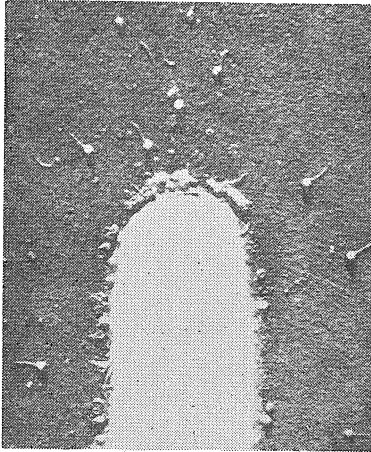
このウィルスは19世紀の終りに発見されたものですが、1935年にアメリカのロックフェラー研究所のスタンレーによって結晶状にとり出されたもので、この功績に対して1946年度のノーベル化学賞が彼に授与されております。

第23図はタバコのエソ病ウィルスの結晶の顕微鏡写真です。

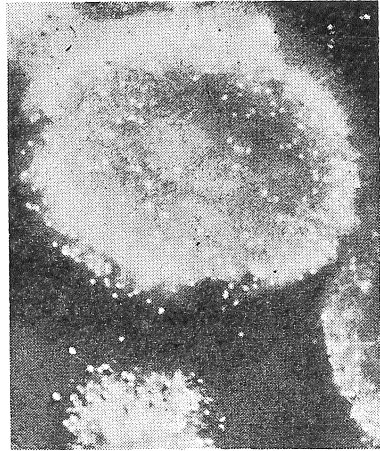
第24図はバクテリオファージがバクテリアの体内で殖えて、ついにバクテ



第 24 図



第 25 図



第 26 図

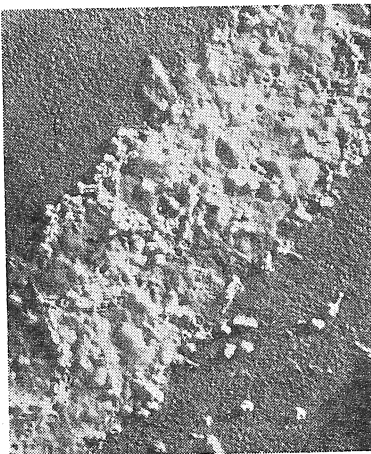
リアのこわれるところを模式的に示したものです。バクテリオファージというのはバクテリアを犯すウィルスです。

第25図はバクテリオファージが大腸菌についたところを示す電子顕微鏡写真で、大腸菌の浮遊液にバクテリオファージを入れてすぐにとったもので

す。バクテリオファージはオタマジャクシのような形をしていて、柄の方から大腸菌にくっついております。

第26図はしばらくして大腸菌の体内に非常にたくさんのバクテリオファージが殖えたところです。

第27図はついに大腸菌がとけてバクテリオファージがみんな外に出たところです。



第 27 図

さて、ウィルスに対しては放射線

がどんな影響を及ぼすかという問題ですが、ウィルスは放射線により増殖する能力を失い、不活性化いたします。

間接作用を消して実験した結果によると、殖える能力をもった活性ウィルス数 N は、放射線量 D とともに指数函数的に減少いたします。すなわち

$$N = N_0 e^{-kD}$$

このことからウィルスの不活性化の現象は、1個の電離に起因する現象と結論され、また感受性体積が求められます。ウィルスの中には感受性の部分があって、そこで電離が起ったときに限って活性がなくなるわけです。放射線の種類によってイオン密度が違うので、 k とイオン密度との関係を調べてみることは興味のあることです。

ウィルスに紫外線を長時間照射しますと、突然変異を起し、あるいは不活性化いたしますが、その場合 $260\text{ m}\mu$ の波長が一番有効です。この波長は核酸の吸収の極大と一致しており、核酸が遺伝や増殖と密接な関係にあることを示しています。おもしろいことに、紫外線で不活性化したバクテリオファージをバクテリアといっしょにして光を当ててやると一部活性を回復します。

放射線の生物 作用の特徴

最後に放射線の生物作用の特徴ということについて一言申しておきたいと思います。すでに申しましたように、放射線が物質に当たりますと、まず電離を起し、それによって遊離基がつくられ、それがもとになって複雑な化学変化が起って、これが生物作用をひき起すわけです。ただ不思議なことは、化学変化としてはきわめてわずかしき起らないような線量で大きな生物作用が現われるということです。これはいったいどう解釈したらよいかという問題ですが、それに対してはいくつかの考え方がだされております。そのひとつは、放射線によって蛋白質や核酸が分解して有毒生成物を生じ、その毒作用により微量ながら生物体に甚大な影響をおよぼすのだという考え方です。第二の考え方は、感受体積の一部での変化が増幅拡大されるとい

うのです。この立場に立てば、放射線の生物作用は、たとえば酵素系の不活性化にあるのではなくて、細胞質内部の構造が乱されるためということになります。いうまでもなく生物体の構造はきわめて秩序の高いものでありまして、生命の起原から考えてみても数億年という長い時間を経てあらわれたものであり、一朝一夕に試験管内で作られそうにはありません。生物体が高度の秩序をもった系であればこそ、電離によって甚大な影響があらわれるものと考えられるのであります。

たとえば、非常によく整頓された機械工場というものを考えてみますに、その破壊は単に個々の工作機械が破壊される場合だけではなく、工作機械から工作機械へと品物を受け渡しするメカニズムが破壊される場合もあるわけでありまして。実はこのような内部機構が非常に重要なのでして、それが最高度に発達したものが生物体と考えられるのです。

ジャガイモを切ると、切り口がすぐ褐色になります。これはジャガイモの細胞の中にディハイドロオキシフェニルアラニンという物質があって、これがトリプシナーゼという酵素によって酸化されて褐色の色素となるからであります。すると生きた無傷の細胞の中では、ディハイドロオキシフェニルアラニンとトリプシナーゼとが反応しないようなメカニズムがあるはずで

このように細胞というものは、酵素に関してだけでもその配列が規則正しく秩序をもっているものであり、酵素に限らずあらゆるものがそういうように秩序をもった体系であります。このように考えますと1個の酵素の分子の中において、なにか電子が1個とられたというだけでも分子の形は変り、触媒の働きはなくなるでしょうし、あるいはまた、もっと甚大な変化が起って酵素のつぎの受け渡しということができなくなるといようなことが起れば、当然生物の生活機能というものは低下するわけでありまして。放射線の作用というのは、このように一般にじわじわとその結果が現われてくるのが特徴であります。長時間ご静聴ありがとうございました。

あ　と　が　き

この本は、仁科記念財団が設立以来4年間に開催した定例記念講演会でおこなわれた7つの講演の記録をまとめたものであります。

わが国の原子物理学の草分けであった故仁科芳雄博士は、戦後困難な経済情勢の中で、株式会社科学研究所社長として、科学と産業の結合による日本の復興のために奮闘されましたが、にわかに病をえて1951年1月10日、60才で逝去されました。その逝去は、世界中の学界から惜しまれると共に、国内では学界のみならず、ひろく政界、実業界その他各方面から哀悼の意が表されたのであります。没後、故博士の徳を永遠に記念するために、記念事業をおこそうという声が学界からあがり、欧米の学界および日本の各界の指導的な人々の賛同をえて、約2千万円の寄付金があつめられ、仁科記念財団が発足しました。仁科記念講演は、この財団が5つの事業のうちの1つとしておこなっているものであります。

故仁科博士は量子論、原子核および宇宙線の物理学の専門分野で、偉大な業績をのこされましたが、それとともに、倦むことのない啓蒙家として、講演や執筆を通じて、この方面の科学に対する理解をわが国において広めるのに大きな寄与をされました。ことに、故博士の講演は、幻燈やデモンストレーションを準備した力のこもったものでした。今日では原子物理学に関する通俗読物はいりあまるほどになりましたが、しかしよく準備された力のこもった通俗講演はむしろ少なくなった感があります。そこで仁科記念財団でおこなう講演は、幻燈や映画を利用し、またできるだけデモンストレーションも用意して、特色のあるものにしようというのが、財団関係者たちの念願するところでありまう。

記念講演会第1回は1955年12月6日、財団の発会式のあとでおこない、

その後、定例のものを毎年12月6日におこなってきました。12月6日は故博士の誕生日にあたる日なのであります。講演会は、財団の広報活動の不慣れのため、いつも盛会とは申せませんでしたが、聴衆に深い感銘をあたえ、好評を博しました。そして、これをただそれだけに終らせるのは惜しい、録音をもとにして講演集をつくって出版すべきだ、という声がかれるようになりました。そこでその準備にとりかかったのですが、担当者の不慣れのため、予想外に手間どり、今日になってようやくできあがったのであります。

申すまでもなく、講演と、それを活字にしたものとは、いろいろな点で差異があります。形式上のことだけでも、たとえば、1回の講演は、本にすればたかだか数十ページで、はなはだ物たりないものになります。また、講演ならば、何度かの講演で内容に多少の重複があるほうが、よくわかるし興味もわくものですが、本となると何回でも読み直しがきくから、重複はなるべくさけたほうがよい。図の説明の点でも、講演では眼と耳とが同時にはたらい、すらすらとわかるところを、本では、くどくどと説明しなくてはならず、そのためまたかえってわからなくなるおそれがあります。

もっと本質的に言って、講演では、講演者の話術の妙が重要な因子になります。きいておもしろかった講演を、そのまま活字にしても、必ずしもおもしろいとはかぎりません。だからといって、記念財団の編集担当者は、多忙な講演者たちに、講演とは別に、手ごろな本を1冊ずつ書いていただくというようなことはいたしませんでした。財団の事業としては、あくまで講演が主体であって、その講演をすこしでも理想に近い形でおこなうことが第一なのであります。

この講演集の編集にあたって、私どもはいま述べた制約を考えたうえで、この本を少しでもよく講演のおもかげをつたえるものにしようと努力しました。たとえば講演のときにつかわれた幻燈は、ほとんど全部、挿図としてとりいれました。本文は録音から原稿にしたものを、講演者におみせして加筆

していただきました。挿図の説明では、講演者は申すまでもなく、それ以外にも、講演の準備を手伝ってくださったかたがたに、お骨折りをねがいました。この本が出せるようになりましたのは、ひとえに、講演者ならびにそれらの協力者たちのご好意のたまものであります。

仁科記念財団の講演会は、まえにも述べましたように、12月6日に定例のものがおこなわれます。そして、その際に、その年度の仁科記念賞の発表がおこなわれることになっております。そのほかに、財団は東京以外の地方のかたがたのために地方講演をおこなっております。1957年には岡山で、1958年には名古屋で、それぞれ地元の新聞社の協力をえて、講演会を開催しました。それらの講演会は、非常に盛況であり、このような事業がいかに有意義であるかを証明しました。

仁科記念財団では、このほかに今年から中学校・高等学校の理科教育にたずさわるかたがたを対象とする講演会を大いにやろうと企てております。これはまず、東京でおこなうつもりですが、成功すれば、これを地方にもおよぼすことを考えております。このような講演が成功するかどうか、期待した効果をあげるかどうかは、財団側の努力によることはもちろんですが、それにもまして、各方面の多くのかたがたが財団の活動について理解して下さるかどうかに依存します。財団のそのほかの事業についても、まったく同様のことがいえます。そこで、この本のあとがきに続いて、仁科記念財団の目的および事業の概要の紹介をのせたいと思います。

1959年4月22日

仁科記念講演集
編集代表者

玉 木 英 彦