

〔デートン・ミラー』火花・稲妻・宇宙線』訳注より〕

加藤 正

〔静電高压発生装置〕

以上の静電装置はいずれも五百万ボルト程度の高電圧を発生するように書いてありますが、実際に核実験のイオン加速などに利用できるのは、今のところ二、三百万ボルト程度です。一番強大なウエスティングハウスのものは、現在四百万ボルト程度まで出ているそうです。

高気圧タンクに収めたファン・ド・グラーフ型の静電高压発生装置は日本でも東大、阪大、九大に建設が進められています。（追記、東大ではいち早く完成し、この夏頃から実験を開始しました！ 十月には第一回の成績発表が行われました。）

巻頭写真の第一図、第四図、第五図に示したのは、阪大の高気圧型静電高压装置です。この装置はもう殆ど完成しているのですが、まだ実験を始めるまでには到っていません。東大のは、これよりも更に一層堂々たるものです。要領は一〇二頁第二十八図の設計を横倒しにして、ベルトの位置を少し変えたものと思えば宜しい。タンクはここでは円筒形です。第五図の奥にベルト車を運転する二つのモーターが見えます。荷電を運ぶベルトはアルミ管のフープ（コロナ・シールドの箍輪、互に絶縁したフープを筒状に組合わせてあります。その各々にコロナ針がついていて、コロナ放電を利用して、内部の電位差の分布を一樣にするためのものです）の中を通っています。一〇二頁第二十七図と同じ理窟で、整流した数万ボルトの電流を上から通じて、針の尖端からコロナ放電によってベル

トの上へ電気を吹きつけると、ベルトは電気を運んで中空の大きなトタン板の電極の中へ這入^{はい}ってゆきます。電気は必ず導体の表面へ分布するのですから、電極の内部にベルトに向つて針を装置しておく、それから収集されて、次第に電極の表面にたまってゆきます。阪大の装置では百四十万ボルトの電圧が得られます。(今度完成した東大では二百万ボルト出ています。更にタンク内に特殊のガスを応用して、三百万ボルトに漕ぎつける努力が払われています。東大のタンクは直径二・五メートル、長さ十一メートルあります。)

イオン源から出たイオン流は高電圧によつて加速され、フープの中の碍子管(磁器製の加速管)の中を通りながら次第に加速され集中されて、第一図の中央の口へ出て来ます。このイオンを原子核実験その他に使うのです。加速管は最高度の真空に保つ必要があります。第一図で、菊池博士の足許^{もと}にあるのは油廻転真空ポンプ、その左上の油拡散真空ポンプ、博士の手許^{もと}にある管は万一のときタンクの高圧空気を急速に吐出させる排気管です。第四図のタンクに附随して見える二つの装置のうち、手前の下方のは送気管ですが、装置が完成すればとりのけます。奥の上方のは高電圧装置です。また左方に立っているのは圧搾空気乾燥装置です。

〔サイクロトン〕

核の人工破壊に用いる装置は、一九三〇—三二年頃から多くの人々によつて考案され始めましたが、最初に成功したのは、ケーンブリッジのкокククロフトおよびウォールトンでした。彼等は蓄電器と整流管(ケノトロン)を組合せて、変圧器の交流から数十万ボルトの直流高電圧を得る方法を工夫し、その高圧電源を用いて、一九三三年に始めて水素陽極線(陽子)を加速してリチウムを破壊しました。この装置はやがて日本でも阪大、東京文理大、理研(百二十万ボルト)、京大、芝浦電気等に設立されました。しかし今では漸次振動電場を応用するサイクロトロンや、静電高圧を利用するファン・ド・グラーフ装置に圧倒されつつあります。

ファン・ド・グラーフ装置にしてもそうですが、この高電圧装置も設計通りの電圧は出ていません。阪大のも設計

は六〇万ボルトですが、精々出して五〇万ボルト、核実験に常用できるのは四〇万ボルト程度です。常用電圧としては、世界中どこでもこの装置では八〇万ボルト程度がとまりです。京都帝大では六〇万ボルト程度の電圧を使っていますが、これで陽子を加速して強い γ 線を得る装置は京大独特のもので、千七百万電子ボルト程度のエネルギーのものが得られています。 γ 線による陽子放出や核分裂の実験がそれによって行われています。

巻頭写真の第二図は阪大の装置で、昭和九年に出来上り、菊池博士の初期の大きな仕事は全部ここで得られました。右方に見える、三基の柱を中心にしたものが、つまりコッククロフトーウオールトンの高電圧発生装置です。下に左端の一基の説明図を掲げておきます。その奥にあるのが高圧絶縁台で、その上にイオン用ガス溜、同じくイオンを作るための電源（五万ボルト位の）、環流ポンプ、冷却ポンプ、その他のものが載せてあります。一番奥に高く出ている硝子筒はイオン加速管、その下部の鉛の箱は観測室になっています。鉛箱の中にある真空ポンプで硝子筒を真空にし、筒の上部で真空放電を行わせ、ガス溜からそこへ少しづつガスを送ると、イオンになって、数段に加速されながら管の根まで飛んで、そこで目的の元素に衝突して、核反応を起します。左端の、大きな球の上下に相對した装置は高電圧測定用の火花間隙です。なお白い実験衣をつけた人が二人見えますね。

サイクロトロンは直接高電圧電源を用いる方法と行き方を変え、イオンを磁場で回転させ、それがぐるりと一とまわりすると同じ週期の交番電圧をかけて加速し、高エネルギーのイオンを得るようにした装置で、「磁場共鳴加速器」とも言います。これは本文にあるように、カリフォルニア大学のローレンスの考案に成るもので、その最初のものは一九三四年に組立を完了しました。第八十七図はその写真です。その後諸所で建造されましたが、更に一九三九年には、再びローレンスによって重陽子で千六百万電子ボルト、 α 粒子で三千二百万電子ボルトまでのエネルギーのイオン流を得る大サイクロトロンが建設されました。ここに電子ボルトというのは、ボルト単位の電位差と、 e （即ち電子の荷電）単位の電気量との相乗積で言い表されるエネルギーです。

日本でも理研に大小二台、阪大に一台あります。また京大でも最近設計に着手しました。理研の小型装置は昭和十二年に出来上りました。電磁石の重さ約二〇トン（磁場の強さ一万三千ガウス）、重陽子ですと三百万電子ボルト近くまで加速できます。巻頭写真に出ている阪大の装置は電磁石の重さ約三〇トン（磁場の強さ一万七千ガウス）、四百万電子ボルトまで加速できます。昭和十四年の一月にその最初の実験成果が発表されました。現在運転しているサイクロトロンとしてはわが国ではこれが一番大きく、業績も大いに挙って居ります。京大で目下計画しているのは約一〇〇トン、一千万電子ボルトのエネルギーが得られる予定です。理研の大型装置はもう間もなく完成して実験を開始できるまでになっています。これは約二〇〇トンの電磁石を用い、カリフォルニア大学の大サイクロトロンと同型のもので、今のところこの二つが世界で一番大きいものです。

カリフォルニアでは、右の大型装置と別個に、更に四千トンの電磁石を用いた、一億電子ボルトの高エネルギーを得る超大型サイクロトロン^の建造が、ローレンスの指導^{しんちやく}下に進捗^{しんちやく}しつつありましたが、戦争でその後の模様は分かりません。大東亜戦争が終った暁には、世界中で最も華々しい核物理および宇宙線の実験観測を遂行していたアメリカの学界は、果してどんな展開を見せているでしょうか。とまれ、このような超大型サイクロロンが完成した暁には、宇宙線にも手のとどきそうな高エネルギー粒子が自由に得られ、宇宙線の中でなければ見られなかった中間子なども、実験室の中で作られるようになることでしょう。

巻頭写真第三図の装置について言うと、外構になっている厚ぼったい鉄のかたまりが電磁石の鉄心に当ります。上下に相對したまるい設備がコイル、コイルの右側に通じている管は、コイル冷却用の油道です。イオン加速函はコイルにはさまれて真中に這入^{はい}っているので、写真では僅しか見えません。手前の方へ引張り出して上から見ると下図のようになります。これは真空函^{はく}になっています。真空をよくするために液体空気で冷してやります。写真でコイルの間から左寄りに出ているのが、液体空気の管です。右下の隅にあるのが真空廻転ポンプ、ほかのポンプ

は裏側にあります。真空函の中には平たい丸い罐かんを真二つにしたような、銅製中空函（形がDの字に似ているのでディーとも言います）が収まっています。これに高周波の交番電圧を送ります。写真で右手の奥にあるのが、十メートル前後の短波長振動の交番電圧を送る発振装置で、中に三極真空管がはいっています。左手の奥にあるのは発振器に直流電力を送る水銀整流器群です。さて、右の略図で、真空函の中へ水素とか重水素などの所定のガスを入れると、ちょうど真中辺に電子発生装置があつて、ガスはそこで電子にたたかれてイオン化し、陽子或は重陽子が出れます。例えばaで出来たイオンは、電場の作用で加速され左のディーへ飛び込みますと、中空導体の中では電場がありませんから、磁場の作用でぐるっと半円を画いてbのところへ出て来ます。すると電場は振動しているのですからaを出発したときはディーの極性が逆になつていて、ここで右の方向に加速され、同様に右のディーの中をぐるっとまわつてcのところへ出て来ると、再び極性は反対になり、左の方向に加速されます。加速されるにつれ、まわり方が大きくなり、最外側に来て細窓sから飛び出したとき、静電場電極で引っぱりますと、円軌道から外れて実験函の中へ飛び込んで核反応を起します。

何分にもこの装置では高速度のイオン流が回転するのですから、方々に衝突して輻射線や放射線を発生させます。ところが、生物実験によつて分かつたのですが、その中でも中性子は生物組織を破壊する力を持っていますので、極めて有害で生命にも拘かかることがないとは言えません。そこで実験者は実験の間、中性子を遮せきるのに最も都合のよい水の層の後にかくれていなければなりません。写真の左端に見えるのは、そういう水桶の一つです。

第一講で述べたファン・ド・グラーフ式の静電高压装置は、均一なエネルギーが得られるので重要です。これをタンクに収めた高気圧型のこと、わが国でもその建設が進んでいることは既に述べました（一〇四頁）。

〔一次宇宙線の実験〕

この本は御存知のように一九三七年の暮のクリスマス講演を基礎にして、一九三八年に書き上げられたものです。

当時は種々な研究によつて、宇宙空間から大気圏に飛び込んで来たままの一次的宇宙線は、その大部分が陰陽の電子（ガンマ線も多少混っているでしょうが）であろうという結論に一先ず落ついていた頃でありました。それで著者ミラー博士も、ここで一次線を陰陽電子と述べたのです。ところが昨年（一九四一年）の春、シカゴのシャインとその協力者たちが『フィジカル・レビュー』に発表した実験によりますと、一次線は電子などではなく、どうしても陽子（プロトン）と考える方が正しいようです。この人たちは気圧が水銀柱二センチという非常な上空へ気球を昇せて実験したのですが、宇宙線は四センチから一八センチの鉛をぐんぐん透過しました。陰陽電子ですと、物質に衝突すると電子特有の「シャワー」現象というのが起つて、エネルギーを失い、そんな大きな透過力を示しません。

〔宇宙線測定〕

宇宙線測定の学術遠征は日本でも理化学研究所の仁科芳雄博士を中心にして屢々企てられて居ます。まず地下では始めて昭和十一年の夏から清水トネルに観測所を設けて測定を始めましたが、山頂から千二百メートル位のところでも僅ながらなお宇宙線はやつて来ました。水ならば三千数百メートルの深さに相当するでしょう。上空の方へは一萬メートル以上も海軍飛行機で上りました。巡航測定としては昭和十二年に濠洲航路で始めて実験が行われたのを手始めに、その翌年はヴァンクーヴァー通いの米国航路で測定に従事しました。次いで高山では富士山頂の観測が行われました。山頂における宇宙線の強度は地上の二・七倍の強さであったと言います。

これまで述べたように、地球の全表面にわたり、気団の高層から、地下、水底まで探りを入れ、宇宙線の強度分布や種類や各種現象を調べるのは、他の自然状況、例えば地磁気、気圧、気温、通路の物質の密度、観測高度等の影響で宇宙線の現れ方や変り具合がどういふ有様になつていふかが分かれば、それによつて宇宙線の本体をつきとめ、その法則を明らかにすることができるところです。また逆に宇宙線を観測して高層気象等の自然状況を判断する

ようなことも予想できます。

〔太陽黒点とオーロラ〕

太陽黒点の活動と磁気嵐およびオーロラの相伴なう著しい現象は、最近では一九三八年に観測されました。一月の中頃に稀に見る巨大な黒点が現れ、二十四日に太陽面の西端から消えて行きましたが、一方オーロラを伴なう磁気嵐は十六日、二十二日および二十五―六日に観測されました。殊に最後のときは、南はシチリア島に及ぶ全ヨーロッパおよびカナダ各地から望見できたほどの大北極光が現れ、強大な光輝を放ちました。この一月の磁気嵐は全世界にわたり、嘗て見ないほど著しいもので、同時に南極光も見られたと言います。更に同年四月十六日にも巨大黒点に關聯した大磁気嵐が世界各地で観測されました。

機械的

機械的はまた力学的とも言います。自然をあたかも機械のように、要素になる物体の運動から成り立っているものと見て、それに力学の法則をあてはめて、あらゆる現象を説明しようとするのを機械的な説明と言います。熱を分子の運動のあらわれと見るのも、そういう機械的説明の一例です。これは成功した説明ですが、一方同じ機械的な説明でも、熱や電気の現象を何かそういう特殊な流動物体が、水が運動するような具合に運動しているのだと考えたことは、事実に一致しませんでした。また光や電気をエーテルという宇宙に瀰漫した媒質の中を伝わる振動として理解しようとしたことも、結局は行詰まりました。電気は機械的には理解できないことが分かって、物体とは離れて電気力の分布の有様を表す電場というものを考え、その源として電気を理解しようとする試みがつぼら発展しました。この方面のことを知りたい方は、岩波新書の中に石原純博士が『物理学はいかに創られたか』という題で翻訳されたアインシュタインとインフェルトの本をごらん下さい。非常に面白く分かり易く説明してあります。

電位と温度

電氣量と電位、熱と温度の關係は、またちょうど水量と水位（水準）の關係に似ています。水が引力によつて高所から低所に流れる高低の差と、水量の大小とは別々の事柄です。このような關係の類似から、電氣を一種の流体と見て、それらの諸現象を力学的に説明しようとする試みが行われたことは、既に註^aで述べました。荷電の引力と斥力が万有引力の法則に似たような關係を示すことも後で述べます。しかし電流に伴なう力の關係は、もはや物体の力学に倣^{なら}つて機械的に説明することはできませんでした。例^たえば、下記二〇頁の中程、電磁氣学のところを見て下さい。電氣流体觀の破綻については、前記『物理学はいかに創られたか』上巻、一〇五頁以下をござらん下さい。

大氣の氣温

大氣は極く大體のところ、一キロ昇る毎に五・五度（摂氏）位ずつ氣温が下つています。しかし等温層に這^{はい}入ると、大體零下五五度乃至^{ないし}六〇度位に一定しています。更に地上三十キロあたりからは、昇るにつれて却^{かえ}つて段々温度の高まる層があります。等温層の始まる境は大體十一キロの辺ですが緯度や季節によつて一定しません。この境の低くなつている高緯度の方では等温層の氣温は赤道地方より高くなつています。

成層圏と航空

成層圏は殊に航空上注目されて居ます（今のところ實際的に利用されているのは本来の成層圏まで行かない亜成層圏ですが）、成層圏では対流圏のように上下混合の複雑な吹きまわしの氣流や雨風などの、時々刻々の氣象変化がなく、常に快晴で、地球自転に基づく一定した東西風が流れ、空氣は稀薄で抵抗も少く、航空上非常に有利です。ただ酸素が欠乏するため發動機の馬力が落ちます。これには空氣を圧縮してシリンドラに押し込む過給器が考えられています。且^かつ氣圧および氣温の低下は酸素不足とともに生理的困難を來すので、その対策として吸入装置、電熱被服、氣密服や密閉室などが考えられています。現在軍事的に本當の成層圏を利用する空襲の可能性が予想されて來ていることは、読者も御存じでしょう。

陰極線と陽電子

陰極線を始めて発見したのは、ドイツのプリュッカーという物理学者だとされています。この人は一八五八年にガイスラーに真空管を作らせて、真空放電を研究し、陰極線を発見し、同時にそれが磁場の中で曲げられることも分かりました。一八九七年に始めてジェー・ジェー・トムソンがこれを粒子だと見破り、後に電子と呼んだのです。陰極線という名前はベルリンのゴルトシュタインという物理学者が附けたのですが、この人はまた一八八六年に陽極から陰極に向う放射線があることを発見しました。後に陽極線と名付けられたのがそれです。これは放電管内の気体の分子や原子から電子がとれたイオンの流れであることも後に分かりました。

陽電子の発見は極く新しく、一九三二年にアメリカのアンダーソンが宇宙線の飛跡の写真をしらべていたとき、その飛跡の曲り具合から見て、どうしても質量が電子に等しく、ただ電子と反対に陽荷電を持っていると考えなければならぬ粒子を見つけ出しました、これが陽電子の最初の発見ですが、こういう粒子がある筈だということは既に一九二六年にイギリスのディラックが理論の上から予想していたのでした。

アルファ線

一九〇九年にラザフォードは α 線の粒子がヘリウムの核であること、即ちヘリウム原子から二箇の電子が取れて出来た二価の陽イオンであることを実験的に証明しました。

ガンマ線と電磁波

X線も γ 線も本質は同じ電磁波です。ただ γ 線の方が波長が短いだけの違いです。同じ波でも波長が変ると性質も次第に変わって、全く別物のように見えて来ます。スペクトルで七色に分かれる普通の光線も、やはり本質は電磁波であることは既にマックスウェルの唱えたところでした(本文二七八、一八二頁)。普通のラジオなどの電波は、これらの線の中で最も波長が長く、従って振動数(周波数)の低いものです。電波の長いのは何キロというよ

うにあります。短波と言つても波長は十メートルから五十メートルもあり、超短波と言つた処で数メートルもあります、十メートル位の波は周波数三万ほどの高周波になります。それが〇・四ミリ位からまだ短くなると、赤外線になります。更に二ミリの一億分の八―四程度、即ち〇・〇〇〇七七ミリから、〇・〇〇〇〇三八ミリあたりになると、これは人間の目にも見える赤から紫までの色の光です。紫外線はもっと短くなります。

さらに、一ミリの十万分の一、即ち〇・〇〇〇〇一ミリ以下の電磁波になつて来ると、次第にX線としての特徴を現して来ます。普通のX線は一千万分の一ミリ以下です。ラジオ電波からX線までみな同じ電磁波ですから、伝播の速さはすべて光と同じです。従つて波長が短くなると振動数は無暗むやみに大きくなり、エネルギーが高くなります(波長×振動数=速さ)。最後にγ線はX線よりも更に波長の短くなったものです(一億分の数ミリ以下)。およそどの辺までがX線で、どの辺からがγ線であるかというようなことは言えませんが、とにかく放射性元素から出て来るのをγ線と言つたので、陰極線の作用で出て来るX線の波長より著しく短いのが普通だというだけです。しかし現在では百万ボルト以上のずいぶん高圧の陰極線も作れますから、γ線ほどの短波長X線(十億分の一ミリほどの)も得られる訳です。

序ついでに述べておきますが、これらの波のエネルギーにはこれ以上分けられないという限界があつて、まるでエネルギーの粒の集りのように作用することが、一九〇〇年頃から次第に分かつて来ました(この方面のことを研究する学問を量子論と言います)。粒の含むエネルギーの量は波の振動数に比例して大きくなります。短波長X線やγ線になると一つ一つの粒のエネルギーが相当大きくなりますから、粒としての作用も目立つてきます。コンプトンは一九二三年にこのような粒が原子に衝突すると、玉突のように、原子の中にある電子をたたき出し、自分は斜の方
向に外れ、しかもその衝突の際のエネルギーの授受の関係がやはり玉突の球のような現象を発見しました。このようにこれ以上分割できない粒として作用するエネルギーをエネルギー量子と言いますが、その立場から光線や

X線、 γ 線をエネルギーの粒と見て光子または光子（フォトン）とも呼ぶことがあります。

重電子（中間子）、中性微子、陰子、その他

重電子は現在では一般に中間子（メソンまたはメソトロン）と呼ばれています。中間子の発見とともに、原子構造および宇宙線の理解には一時期が劃かくされましたので、その間の事情を少しく述べて見ましょう。近世の物理学では「場」というものを考えます。諸々の作用はすべてその「場」の上で行われると見るのです（場の観念については岩波新書の中の『物理学はいかに創られたか』を「ごらん下さい」）。例たとえば地球やその他の物体の周囲には引力の分布した場が出来ていて、この場に謂いわば波が起ると、それがつまり物体の運動となつて現れると見る訳です。光なども実は電磁力の分布した場、電気粒子の存在するところから出来ている電磁場の波で、この波の間に間に電気粒子が運動する、逆に電気粒子が運動すると波が起ると考えられます。電子が核の周囲をめぐったり、光電効果と言つて、原子に光や γ 線をあてると核外電子が軌道から飛び出したり、核外電子の運動状態が変わると物体から光が出たり、電子の流（陰極線）が物質に当たるとX線（つまりエネルギーの高い光）が出たりするのは、みな電磁場での出来事なのです。

ところで、原子核の外の電子の運動はすべて電磁場を用いて説明できたのですが、一步問題を核の中に移して、一体核の中では陽子と中性子がどんな力で結合しているのだろうか、また核の中には電子が存在しないのに核が崩壊して電子（つまり β 線）を放射したりするのはどういう訳だろうかと考えて行くと中々の大問題で、世界の物理学者が頭を悩ましていました。

ちょうど昭和九年の秋に京大の湯川秀樹博士、その当時はまだ二十八歳の新進学徒として、阪大の助教授をして居られたのですが、その湯川博士が「核力の働く新しい場」の理論を提唱されました。つまり核の内部の作用、 β 線放出等はこの核力の分布した特別な場の上で起る謂いわば波だと考えたのです。ところで、エネルギーの波は一方

から見るとまた放射粒子のような性質も持つていることは、既に述べた通りです（註の部三三五頁）。中性子と陽子が核内で結びついているのも、「核力の場」に起る波のためだとして、その場の性質を考えて見ると、電磁場の波に粒子の相（光子）が現れているように、この場もやはり一種の粒子の相を呈しているのです。更によく見ると、このエネルギーの粒は電子の約二百倍（陽子の約十分の一）位の質量を持ち、陰または陽の基本荷電（ $\pm e$ ）を具^{そな}えているのが分かりました。ただ核の中のエネルギー程度では、この粒子が十分目立って現れて来ません。光子の場合でもそうでしたが、振動数の大きい短波の高エネルギー γ 線ですとコンプトン効果のように粒として目立つ作用を示しますが、七色の光や電波のようにエネルギーの小さい長い波ですと、粒の性質はぼやけて波の性質の方が目立ちます。核力場粒子も陽子と中性子の相互作用の背景にかくされてはいますが、非常にエネルギーの大きい場面（例えば宇宙線の中）ではその性質が表面に現れ、陽子や中性子から独立の、実際に放出された粒子として観測されるでしょう。そういう予想を湯川博士は立てて居たのです。

果して昭和十二年（一九三七年）になって、カリフォルニア工業大学のアンダーソン達、理研の仁科芳雄博士達、その他のグループによって、宇宙線の飛跡の写真から湯川博士の核力場粒子にほぼ該当するような粒子が発見されました。最初この粒子は重い電子（バリトロン）とか、湯川粒子などと呼ばれました（ミラー教授がこの講話を執筆したのはちょうどその発見後間もない頃であつたので、本文に重電子とあるのもそのためです）。この粒子、即ち中間子の発見とともに、宇宙線の本体は急に明らかとなつて来ました。

宇宙線については、その頃大分いろいろなことが分かつて来ていました。一次宇宙線が帯電粒子であると考えられたことは既に述べました（本文二二四頁および二二五頁を見て下さい）。宇宙線を観測しますと帯電粒子に陰陽二種あり、陽粒子は陽子かと思つていきますと、そうではなくて、今まで知られていなかった陽電子だということも分かりました（一九三三年、註の部三三三頁）。その頃には宇宙線の透過力の研究から、成分に二種あると考えられ

て来ていました。透過力の弱いものは軟成分、強いものは硬成分と呼ばれます。軟成分は十センチほどの厚さの鉛板で全部遮られてしまいます。やがてこれは大部分陰陽電子から成るのであろうと唱えられました。この立場から一九三七年になって「シャワー」現象の本性が解決されました、それは、電子または陽電子が大気中を通り抜けるとき物質に衝突してエネルギーが減り、減っただけのエネルギーを γ 線（光子）として放出すると、その γ 線がまた他の核と衝突して陰陽の電子にvari（電子対発生）、そういう過程が反復されて多数の陰陽電子群が出来る現象です。一次宇宙線は大部分陰陽電子から成っていて、これが大気中に這入^{はい}ってシャワーを起し、次第にエネルギーを失い、地上に到達する前に殆ど全部大気に吸収されてしまうと考えられました。こうして軟成分の解決がつかまりましたが、他方十センチの鉛でも平気で貫ぬき、地の底、海の底までもやって来る硬成分は何でしょうか。そこで同じ年に前記のように中間子が発見され、硬成分が中間子であることが明らかになったのです。

湯川理論によりますと、中間子には寿命があつて、それがまた極めて短く、別に物質と衝突しなくとも、自然に消滅して陰または陽の電子と、中性微子（ネウトリノ）というエネルギー粒とに変つてしまいます。中性微子とは何でしょうか。話は何どりますが、核が崩壊して β 線を放射する現象（ β 崩壊）は核物理学上の難問で多くの学者を悩ませていました。湯川理論の出る少し前にイタリアのフェルミ（現在コロンビア大学）がそれを説明して、核の中の中性子と陽子とは相互に転化するもので、その転化に際して電子が出来て、それが β 線として飛び出してくるのだとしましたが、そのほかにもエネルギーが同時に粒の形で飛び去ると考えました。この粒は質量は電子よりもうんと小さく、しかも電氣を持っていないと考えられるので中性微子と呼びます。 β 崩壊の際にはどうしてもこういう中性微子が逃げ去ると考えなければならぬとは、既にその前にパウリが唱えていたところでした。これを湯川理論で考えると、核の中で中性子が陽子になると、核力場に波——即ち陰荷電の中間子の運動が生じ、これがすぐそばに別の陽子があつてそれを受け取つて中性子を作つてくれれば何のこともありませんが（実際核力の

作用をある一方から見れば、核の中で陽子と中性子が中間子をやりとりしてお互にお互を取換えツ子しながら釣合をとっている格好に見えるのです。そうでなければその中間子はすぐ消滅して、陰電子と中性微子とになってしまふ——という風になります。核の中で陽子が中性子になるときは反対に陽の中間子が生じ、それが更に陽電子と中性微子とに変わります。謂はば核力場としての中間子は、電磁場に波を起して電子と中性微子とを発生させると同時に、自身は消えてしまふ運命を持つて居るのです。中性微子はまだ観測にかかつて来ませんし、また中々かかろうにないのですが、電子発生の方は一昨年（昭和十五年（一九四〇年））にウィリヤムズ等が、中間子の飛跡が急に細い電子に変わっている宇宙線の霧函写真を得たことで実証できました。

中間子の寿命が極めて短いとすると、一次的宇宙線の中に始からあつたのではなく、地表に近くなつてから出来たものでしょう。一昨年（昭和十五年）のシャイン等の観測によりますと、十六キロ位の上空が中間子の強度が一番大きいそうです。そこで恐らく一次線は軟成分——陰陽電子や光子から成つていて、上空のそのあたりで中間子が発生するのだと考えられます。この何割かは更に物質と衝突したり、自然に消滅したりして二次的な陰陽電子になり、残りが地上、地下、水底まで貫通するのです。硬成分が全部中間子ばかりかどうかという問題はまだ十分決められません。また理論的に考えた中間子の寿命と、種々な方法で実測した寿命とを比較して見ると、実測の方が二桁も大きくて百万分の二秒程度になります。また大氣を通過するには物質と衝突して核反応を起しそうですが、理論的に考えられるほどしばしば実際には起りません。軟成分からどういふ風にして中間子が創生されるかも、まだよく分かりません。一次宇宙線が陽子だとすると、創生の問題もまた変わつて来ます。本文に出て来る「バースト」（二四九頁）の現象も単なる「シャワー」だけとは違つようです。一点から一度に多数の硬成分を放出する爆裂現象が観察されていますが、バーストの中にもそういう爆裂シャワーと見るべきものがあるかも知れません。中間子も一次線から何かそういう爆裂シャワーとして創生されるのではないかと考えられます。

因みに、中間子の寿命に関する理論と実測との喰ちがいを埋める必要から、坂田昌一博士は再びフェルミのように、電子と中性微子は直接陽子または中性子の交替から生ずるものと考え、中間子はむしろ中性子と陰荷電の陽子（陰子）とに変わり、それから電子が放出されるといふ仮説を立てました。ここに反陽子としての「陰子」という新粒子も予想されることになりました。（本文の表に「陰子」が挙っているのは、この本の書かれた当時コペンハーゲンのバーバーが一次宇宙線の中にその存在を予想していたので、或はその関係かとも思われます。その少し前にもガモフが核構造の仮説の中で陰子を考えたことがあったようです。）なおその後のことで本文の表にも出ていませんが、核力の説明のために中性の中間子なども仮定されています。

中間子理論は著しい成功によつて一期を劃かくしましたが、それと同時に上にもその一端に触れたように、一段の飛躍を要する種々な困難が含まれて居ます。各国の学者も色々頭をしぼっています。一方坂田博士らは更に一歩を進めて、宇宙線中の中間子は、湯川博士が核力場粒子として理論的に定立したものと異なり、この湯川粒子から転化して生じた一応別箇の粒子であろうといふ仮説の下に、解決を試みました。今年の六月にその発表がありましたので、一つの興味ある試としてここに附記しておきます。

一次的宇宙線

宇宙空間から地球の気圏の中に飛び込んで来た宇宙線は、大気の中を通過して地上に達するまでに種々な変化を受けます。吾々が普通地上またはその近くで観測するのは、この二次的に形成された宇宙線です。それ以前の、宇宙空間から気圏に飛び込んで来たときのままの宇宙線を一次的宇宙線と呼んでいます。ところで、電気の流と磁気とは互に影響しますから、帯電粒子の進路は磁場の中で曲ります（この関係は二〇頁の図から大体想像して下さい）。逆に磁場の作用で進路の曲るのは帯電粒子である証拠です。地磁気の赤道面を通つて地球へやって来る粒子には最も強く磁力線がはたりますから、余程高いエネルギーを持った粒子でないと、ぐるっと進路が曲つて地球から外

れてしまいます。地上で観測される宇宙線強度が赤道近くなるほど低いのはそのためだと説明されます。(また地球の中心と地磁気の中心が一致していないために、緯度だけでなく、経度その他も強度分布に影響します。)なお註Yを見て下さい。

宇宙線の諸粒子

宇宙線は地上の放射線には見られない強大なエネルギーを持ち、実験室では実現できない大規模なまた特異な現象を示して居ります。謂わば核物理学の強大、奔放、多彩な特殊実験場を成しているのです。ただ盲探し式に霧函を持ち歩いて、偶々、向うからひつかかって来る諸粒子を観測するしかないというのが不便と言えます。しかし、人間もいつかは実験室の中で宇宙線と同じような強大なエネルギーの放射粒子を自由に駆使して実験を進めることができるようになるでしょう。

ほんの最近まで宇宙線の諸現象はまず大体陰陽電子や光子を一次として、それと二次線の間子(註Z参照)によつて演ぜられるものと考えられて来ました。著者が註一四九に参照を求めているミリカン等も、上空で観測される宇宙線は殆ど全部が陰陽電子から成っているということを発表していたのです。オイラー及びハイゼンベルクなどもその立場で宇宙線の理論を立てていました。なお本文を読むと、電子と核とが反応して核崩壊を起すような意味にも取れますが、これは言葉が悪いので、厳密に言うくと、電子は核に衝突して光子(γ 線)に変わりますが、電子が核反応をひき起す可能性はまずなさそうです。中間子の発生に与るのは光子であろうと考えられ、更にこの中間子がまた二次的に諸粒子を生むとされていたのです。

これらの問題について種々議論が進められていた間に、今度は既に述べた通り、一次宇宙線を陽子と見るのが適当になって来ました。それにつれて宇宙線諸粒子の生成の上にはまた新しい面倒な問題が出て来ます。また宇宙線中の中間子にからまる最近の問題については註Zを見て下さい。原書には一次宇宙線を陰陽電子と見て、それから

二次的諸粒子の生まれる想像的な系統図が挿入してありましたが、もはや現在の考に適さないのでこの訳本からは省くことにしました。

物質の壊滅とエネルギー

相対性理論からすると、質量とエネルギーは同等で、質量とはエネルギーの或る状態なのです。「水素から普通の元素が出来るとき」(つまり陽子や中性子が結合して普通の元素の原子核を作るとき)、原子量がそれらの要素の和に等しくならないで、少し小さくなります。これは結合の際に質量(つまり物質)の形のエネルギーの一部が、他の形のエネルギーとなって出て行くためです。ちょうど化合の際に化合熱が放出されるようなものです。このような現象を質量欠損と言います。

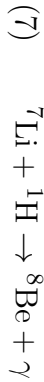
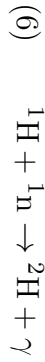
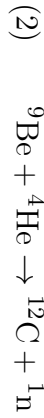
自然放射能とか、原子核の壊滅の多くの場合には、大量のエネルギーが(或は生成粒子の運動エネルギーとなって、或いは γ 線となって)放出されます。中性子によるウランの核分裂によって質量欠損の大きい元素原子核ができるときに放出される巨大なエネルギーは有名です。原子の質量が全部すつかりエネルギーに変わってしまったら、大変な量のエネルギーができるでしょうが、そういう事実がどういふときに起りうるかということはまだ知られて居りません。水素核つまり陽子と電子とが合体して質量の全部が非常にエネルギーの大きい γ 線に変わるような場合が想像されたことも曾てありましたが、陽電子は電子と結合して γ 線になることが知られています。

物質変換

放射性元素は自然放射によって崩壊し、次第に原子量の小さい元素の核に変換してゆきますが、任意の核に特殊な核要素(α 粒子、陽子、重陽子、中性子)や γ 線(光子)を衝突させても種々な核反応が起つて新しい変換生成核が出来ます。現在二十余種の反応型が知られています。大抵は反応に際して核変換と同時に α 粒子や陽子や中性子を放出します。中性子も実はこのような人工変換の途中で、イギリスのチャドクイックによって一九三二年に発

見されたのです。

いまその反応型の二、三の例を式で示して見ましょう。下の式のうち、元素記号の左肩につけた数字は質量数（つまり核の中に含まれている陽子と中性子とを加えた総数）です。この数字は人によると左肩でなく右肩に書いています。また α 粒子がヘリウム核（ ${}^4\text{He}$ ）、陽子が水素核（ ${}^1\text{H}$ ）であることは前に述べました。重陽子とは陽子一箇と中性子一箇との結合したもので、水素の同位元素たる重水素の核（ ${}^2\text{H}$ ）です。中性子は ${}^1_0\text{n}$ で表しておきましょう。



このうち(2)はチャドウィックの中性子発見の基礎になった反応です。(6)と(7)は中性子や陽子を捕獲して γ 線を出すだけで、物質粒子の放射を伴わない現象です。

反応による生成核の中には、放射性のもので自然には存在しないものも多く、人工放射性核（人工ラジウム）と呼ばれています。大抵は電子か陽電子を放射します。例えばアルミニウムに α 線をあてると、(2)と同型の反応をしますが（ ${}^{27}_{13}\text{Al} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^{30}_{15}\text{P} + {}^1_0\text{n}$ 、左脚の数字は原子番号、つまり核の中の陽子の数と一致します）、そのとき出来ると考えられる燐は普通の燐（ ${}^{31}_{15}\text{P}$ ）と異なるもの（同位元素）で、自然には存在しません。この核は不安定で

すから、自然に崩壊して陽電子を放射して珪素に変換します ($^{30}_{13}\text{P} \rightarrow ^{30}_{14}\text{Si} + e^+$)。ここに述べた反応は一九三四年にジョリオ・キュリー夫妻が始めて人工放射能を発見したときの実験です。なお陽電子が一九三二年に宇宙線の中で発見されたことは既に述べました。実験室ではその翌年ジョリオ・キュリーが、百万ボルト以上のエネルギーの γ 線を物質に打ちあてたとき、陰陽電子が対をなして出て来ること（電子対発生または輻射の物質化と言います）を実証しましたが、いままたここに陽電子は更に人工放射能によつても放出されることが明らかになつたのです。陽電子は安定な存在ではなく陰電子と結合して γ 線に変わります。これを物質の消滅と言います。

核の人工変換の草分けはラザフォードで、彼は一九一九年に窒素核に自然放射能の α 粒子を打ちあてると陽子を放出することを発見しました。その核反応を考えると、(1)のようになります。その後一九三二年になつてコッククロフトとウォルトンの二人が人工的に水素の陽極線、つまり陽子を加速する高電圧装置を考案して、それでリチウムをたたいて核崩壊を起させることに成功しました。この時の核反応は図のようであつたと考えられます。その後ローレンスの発明したサイクロトロンやファン・ド・グラーフの考案した静電高圧装置が一般に用いられるようになります、高速度イオンによる原子破壊実験は急速な発展を辿つて来ました。これについてはまたあとで述べます。陽子と並んで重水素の陽極線、つまり重陽子の加速も行われています。

中性子は荷電のない粒子ですから、電気斥力を受けず、原子破壊には好都合です。非常にエネルギーの低い緩速のものは容易に核の中へ入り込んで面白い重要な反応を起させます。核実験には自然放射 α 線や人工加速重陽子力やベリリウム、リチウム等をたたいたとき放出する中性子などを用いています。その際の中性子は高速ですが、水その他の水素化物の中を通すとすぐ緩速になります、これを例えばウランのように陽子や中性子を多数に含む不安定な原子核に吸収させると、核は破裂してバリウムとかクリプトンとか、その他種々な低位の原子核に分かれます。これを「核分裂」と言っています。重陽子や γ 線でも核分裂を起させることができます。核破壊に使う γ 線は

普通例^{たと}えば(7)のような人工核壊変による輻射を利用します。 γ 線のエネルギーが十分大きいときは、どんな核でも解離させることができる筈ですが、今のところは、ベリリウムと重水素、それに陽子・中性子を多く含む重い核が壊せるだけです。なお強い γ 線を得るには陰極線でX線を作るのと同じ理屈で、高エネルギーの加速電子を利用することもできます。

ついたり、電流のはなし、その他

本書は序文にもある通り、電気学の達成のある方面を一貫的に述べたものです。ある方面というのは静電気の学問のことです。従って電流に関する方面は背景として残されて居ります。そこで蛇足でもありましようが、第二講と三講の継ぎ目のお茶の時間のつもりで、その方面のことを少しばかり述べて見ましよう。

電流の発見 イタリアの解剖学者アロイジヨ（またはルイージ）・ガルヴァーニという人が一七八〇年代に、蛙の解剖が機縁になって種々実験を重ねた結果、鉄の台にのせた蛙の腿の神経を、その台にとどくまで銅針で貫くと脚がひきつること、また銅と鉄を接合した叉で神経に触れても同じ結果が起ることを確めました。ガルヴァーニは神経の中に電気の源があつて、それが針金によつて引出されるのだらうと思ひました。同じイタリア人のアレッサンドロ・ヴォルタは彼に反対して、原因は二つの異種金属の接触にあるのだと唱えました。これまで電気はいろいろな過程から起るのが知られていました。摩擦でも起りました。ある種の動物も電気を出します(例^{たと}えば「しびれえい」、『大自然科学史』第二巻、三九頁、第五巻、五〇頁以下を見て下さい)。その他種々の原因が見出されましたが、ここにまた新しく「接触」による発電が知られたのです。接触電気のことは第一講に述べました。第一講のは不導体の接触面に起る静電気の例でしたが、始めて接触電気が発見されたのは良導体の接触によつて起るものでした。従つて起つた電気は導体を伝つて後から後からと流れます。ここに始めて持続的な電流の得られる方法が見されたのです。ヴォルタは銅と亜鉛を一对にした電源を、濡れたフランネル片等の中に挿んで幾対も重ねて効果

を強めるようにした「電堆^{でんたい}」を作りました。一八〇〇年のことです。同時にヴォルタはフランネル片等の代りに塩水または稀酸のはいつたコップを用いたものも作りました。「電池」はここから発達しました。電圧（電位差）の大きさを示す「ボルト」は彼の名をとったのです。

持続電流が得られると、その物化学的効果も発見せられて水や加里^{カリ}や曹達^{ソウダ}をはじめ、各種の化合物の電気分解が行われました。カリウムやナトリウムはこのとき始めて（一八〇七年イギリスのデーヴィーによって）遊離金属として得られたのです。電気分解のことは本文にも間もなく出て来ます（電離の章、一八五頁以下を見て下さい）。

電磁気学 次に電流と磁気との関係が発見されました。ここから「電磁気学」と言う、学問的にも応用上にも極めて範囲の広い、非常に重要な分野が拓^{ひら}けて来ました。その端緒を作ったのがデンマルクの物理学者エールステッドです。彼は一八二〇年に、電流の回路の近くに磁針を置くと、その磁針がふれるのを発見しました。更に不思議なことに、針は電流の方向に動かないで、電流と直角の方向に動くのを見出したのです。続いてフランスのアンペールは同じ方向に流れる電流の間には引力がはたらき、反対の方向に流れる電流の間には斥力がはたらくことを発見しました。電流の強さ（つまり一定の時間内に流れる電気量のことですが）を示す「アンペヤ」は彼の名をとったのです。ファラデーは電流と磁力線（磁力の作用する方向を示す線）とは互に相手を丸く取囲む関係にあることを示しました。更にアンペールはソレノイド（長いコイル）に電流を通ずると、磁石と同じ働をあらわすのを見ました（一八二二年）。二〇頁の挿図を見て下さい。太線は電流、細線は磁力線を示します。電流の方向と磁力線の方向とは、ちょうどねじの進む方向とまわす方向との関係に一致していることに注意して下さい。これはアンペールが一八二〇年に発見した規則です。

電流の磁気作用が発見されると、間もなく磁針のふれの大きさによって電流の強さを量る電流計が発明されました。これによってオームは種々の金属の導線の電気伝導度を測定し、電流の強さは電位差に正比例し、電気抵抗に

逆比例することを発見しました。電気抵抗の大きさをオームで表すのは、彼の名を記念しているのです。電流の磁気作用や物化学作用のほかに熱作用も発見され、その後電熱器や電気炉や電灯が生まれたことは誰でも知っていることです。このように電流はエネルギーを持っています。電流が一定時間内に出すエネルギーつまり「電流の馬力」は「ワット」であらわされますが、これは蒸気機関の発明を完成したウォットがその昔機械の馬力を定めたのに因んだのです。エネルギー \parallel 電位差 \times 電気量、従ってワット \parallel ボルト \times アンペアとなります。

さて電流の磁気作用が発見されたのと反対に、磁石が電流を誘発する作用の発見される日が来ました。この点に著目して実験を行っていたファラデーは一八三一年に磁石をコイルの中で動かすと瞬間的に電流が流れることを発見しました。彼の発見の径路は『電気学実験研究』の第一篇に詳しく出ています（岩波文庫の翻訳を見て下さい）。上の磁石の代りに電流を通じたコイルを用いても結果は同様です。この現象は「電磁感応」と呼ばれました。一般に電気の導体が磁場（磁力の作用する領域）の中を運動するとき、または導体の周囲の磁場の強さが変化するとき、その導体に電流が誘発されるのを「電磁感応」と言い、電磁感応によつて起る電流を「感応電流」と呼びます、この発見によつて電磁気学の基礎が整いました。

電流の磁気作用を応用して電磁石（棒形または馬蹄形ばていの軟鉄心にコイルを捲いたもの）を作り、電鈴や電信電話機に応用していることは周知のことですが、逆に電磁感応を応用して、高圧電流を生ずる「感応コイル」を作ることができます。感応コイルというのは第一コイル（電磁石でもよろしい）の上へ第二コイルを捲いた装置で、第一コイルへ電流を入れたり切ったりする毎に第二コイルに感応電流が生じます。電流を入れるときと切るときとでは、第二コイルに生ずる感応電流は方向が逆になります。こんな風に毎瞬間方向が逆になって流れる電流を「交流」と言います。交流に対して、常に同じ方向に流れている電流を「直流」と言います。また第二コイルの捲数が多ければ多い程、得られる感応電流は高圧になります（しかしエネルギーに増減はない訳ですから、エネルギー \parallel 電圧 \times

電氣量の關係に従つて、電流の強さの方は却かえつて小さくなります。なお電流の磁氣作用を應用して電動機（電氣モートル）を動かす一方、電磁感應を應用して發電機（ダイナモ）が作られること等については、電氣の教科書類に詳しく出ています。

電流が流れる路を回路と言いますが、一つの回路に電流を入れたり切つたりしますと、この回路そのものに二次的な電流が起ります。この現象は「自己感應」と呼ばれます。電流を入れるときには二次的な感應電流は一次電流と反対の方向に流れ、切るときは逆に同じ方向に流れます。従つて二つの電流が一つに重つて、入れるときは電流が弱くなり、ちょうど回路の抵抗が大きくなったのと同じ結果になります。逆に切るときは電流が強くなります。よく回路を絶つとパチツと火花の飛ぶのが見られるのはそのためです。この現象を研究して自己感應を発見したのはファラデーでした。それは一八三四年のことですが、アメリカのヘンリーも同じ頃にそれを発見していました。

趣のちがつた電流 さて電流の話はこの位にとどめておきますが、電流は上に述べたように導体を伝わつてゆくものばかりとは限りません。静電氣のように物体の上に止つているものでも、その物体と一緒に運動して電流を形作ります。これは、普通の伝導電流とは非常に趣を異にしているので、特に携帶電流とか対流電流などと呼んで區別しています。しかしローランドの實驗（本文一七九頁）などからも分かるように、本質は同じものです。この種の電流の实例としては、帯電体を急速に人工回転させたりするまでもなく、電解質溶液中のイオンの運動があります。火花や稲妻、その他コロナ放電・刷子ブラシ状放電・尖端放電等も、電子やイオンが電氣を運ぶのです。運ばれる電氣を放電電流と言つています。真空放電における陰極線、原子崩壊のときの α 線や β 線、地球の大氣の外から飛来する宇宙線などもみな物質粒子によつて運搬される一種の電流と言えましょう。第三講には、現代電氣学の花形であるこれらの帯電粒子の諸現象が述べてあります。なお導線を伝つて流れる普通の伝導電流も、こまかく見れば物体内の電子の運動だと言うことをローレンツが唱え出しました。（しかしこのときの電子の運動は熱に變つてしま

います。電気が電子に乗ってどこまでも動いて行くのではありません。「光と同じ速さで針金を伝わる」と言うのは電子でなくて、次頁に述べる電波です。伝導電流は電波が針金の電子を煽動してゆく現象だと言えます。）

静電場と電媒質 ファラデーは一八三五年から静電気の研究を始めました。それについては第二講でもいくらか述べてあります。ここになお二、三のことを附加しておきましょう。

クーロンやその先達によって「逆二乗の法則」が明らかにされたことは、既に見た通りですが、荷電の間に働く力は一般に二つの荷電を結ぶ直線上に、何の媒質の助もなしに作用すると考えられていました。ファラデーは磁石の周囲に鉄粉を撒くときにできる鉄粉模様まに則のつとって磁力線または磁気指力線を考えたように、電機の場合にも電気指力線または電力線というものを考えました。本文の第二十一図を見て下さい。指力線の存在する場面を電場と言います。指力線の方向には引力（張力）が働きますが、ほうそう迸走する指力線の間には相反斥する力（圧力）がはたらきます。指力線の両端をなすものが陰と陽の荷電です。この線に沿うて起る感応を静電気感応と言います。第一講で述べた感応はすべて静電気感応でした。不導体は指力線の及ぼす電氣的歪力に抵抗しますから、荷電は自由に移動せず、指力線は保たれますが、導体ではその抵抗力がなく、荷電は自由に移動して指力線は消えます。つまり導体の内部では電場が成立しません。電場は不導体の中だけに存在します。そこで不導体は電気力の媒質と考えて、ファラデーにより電媒質と呼ばれました。本文八五、一七三頁を見て下さい。こうしてファラデーは荷電の電気力は媒質を通じて作用し、媒質に依じて効果の差（電媒常数としてあらわします）を有し、一般に曲線に沿うて作用するということを明らかにしました。

電気力学 ファラデーの研究は同国人マックスウェルによって整頓され、数学的に発展させられました。放電の場合には非常に交替回数おきかえの大きい交流（振動電流）があらわれますが、その交替毎に電気指力線に変化が起り電場が擾乱おそされます。この擾乱は週期的ですから、電場に波として広がります。同時に回路の電流の方向の交替につれ

て磁場にも週期的変化が起り、これも磁場の波として広がります。この相伴なう二つの波を、組合わされた一つのものと見て電磁波（または単に電波）と呼びます。電流に伴なう現象は必ず電場と磁場の双方の上で起るので、「電磁場」として二つを結びつけて考える必要があります。一八六四年にマックススウェルは電磁場を数学的に表現し、数学的に処理する道を拓ひらきました（第三講の一七八頁）。同じく電磁気学に属するのでしょうか、電磁場の性質やはたらし（電磁感応、電磁波など）を数理的に明らかにする学問を特に「電気力学」と言っています。その最も早い成果の一つは、電磁波が光波に等しい速さを持つという推論に基づいて、マックススウェルが一八七三年に立てた、光は電磁波の一つに外ならないという仮説でした。これは彼の死後ヘルツによって見事に実証されました（本文一八二頁）。

電子論と量子力学 次いでライデン大学のローレンツは、電気に最終単位（電気原子）があるという見解から出発して、電磁場はこの電気素粒子の荷なうものであり、電磁作用の媒質は真空（静止エーテル）であり、物質は電気素粒子から構成されていると考え、それによって光や電磁気の広汎な現象を説明する電磁場理論を樹立しました（二八九二―一九五年）。これをローレンツの電子論と呼びます。この電気素粒子が一八九七年に実際に発見され、後に電子と名づけられたことは間もなく本文で述べるでしょう（二〇八頁）。更に進んで、一九〇四年には、物質原子は陽荷電の核とその周囲をめぐる幾つかの電子から成るのであるという考が、わが国の長岡半太郎博士によって暗示され、一九一一年のサー・ラザフォードの実験的立論によって確認されました。この考は今日の物質構造の理論にも継承されています。

電子論によって議論が帯電粒子の運動に帰著するとともに、電気力学は真の革命に足を踏み込んだのです。それが続いて相対性理論（この理論では真空エーテルという媒質を考えませんが、電磁力を伝えるのは「空間」そのものの性質です）や量子論の考によって改造を遂げ、更に歩を進めて、電子のような物質粒子にも波動と見られる側面

があり（菊池博士その他の人々によって一九二七年頃に、電子が光のように「廻折」する写真がうつされました）、電磁波にも粒子のような効果が備っているという観念を基にして発展して来た「量子力学」に発展しました。この間種々の放射線や帯電粒子が発見され、物質の構造についても著しく認識が進みました。それにも拘らず量子力学が原子核の内部の力を解明することができず、電磁場と異なる新しい核力場の理論が湯川博士によって開拓されたことは前にもちよつと述べました。註fを見て下さい。後の註zでも触れてあります。

電気学は日本へも普及した

起電機のこととは蘭学が興るとともに日本にも伝えられ、明和二年（一七六五年）に出た『紅毛談』という本には、病人の痛所より火を取る器として摩擦起電機の噂話が載っています。その後平賀源内も長崎へ行った折に起電機を見学し、古物を手に入れ、江戸に帰って種々研究を重ねた末、安永五年（一七七六年、アメリカでは独立戦争の起っていた時です）に硝子筒の摩擦起電気を完成することができました。当時はこれが「エレキテル」と呼ばれていました。その頃幕府ではハイカラ好みの田沼意次が権勢を張っていた時代で、源内も彼に取入って各種の學術器械を輸入させたと言います。源内のエレキテル製作以来、江戸、大阪でも次第に広く製造販売され、人々の好奇心をそそりました。源内ははじめ導体、不導体の知識もなしに、古器械を分解して組立方の工夫を始めたのです。彼に後れて橋本宗吉が『オランダ始制エレキテル究理原』を著して電気の知識を系統的に伝えました。文化八年（一八一一年）のことです。これにはライデン壘の実験なども、百人嚇と呼んで載っています。彼はオランダのボイスやムッセンブルークの物理教科書を咀嚼して電気の知識を得るとともに、自分でも多くの実験を試みました。例えば高い松の木に鉄串を立て、空中電気を引いて火花を飛ばした実験なども出ています。（『日本科学古典全書』第六巻参照。）

電気のほかに一般物理学のことを附記しますと、天文学（力学、光学等の関係事項を含めて）の方では通詞出身

の偉材志築忠雄が蘭語天文書を記述して『曆象新書』三卷（寛政十年—享和二年、一七九八—一八〇二年）を著し、カントーラプラス説と独立に星雲説を唱えて気を吐いたことを別にすれば、本来の意味の物理学は水戸の医者青地林宗が前記ボイスの教科書を祖述して『氣海觀瀾』（文政十年、一八二七年）を著したのが始まりです。九年後の天保七年に帆足万里が『窮理通』の中でムッセンブルークの教科書を訳述しました。この人はヨーロッパで一流の名声を得ていた実験学者でした。

序に電流のことに触れますと、嘉永年間（一八五〇年頃）に佐久間象山が始めて絹捲銅線を用いて実験を試みました。電信機はペリーが幕府に献上したのが始まりで、明治になると間もなく電信局が設けられました。

核物理学

物質は原子（アトム）から成っています。その原子は中心に原子核があつて、その周囲を地球やその他の惑星が太陽のまわりをめぐるように、電子がめぐっています。物質の種類が異なれば、原子核の重さも異なり、その周囲をめぐる電子の数も異なっています。このうち電子がどんな運動をしているかということは、「量子力学」という学問によって大体はつきりしたことが分かりました。よく分からないのは原子核の中の模様です。

原子核は陽子（プロトン）と中性子（ネウトロン）とから出来ていると見てまず間違ないようです。陽子というのは水素の原子核に当るもので、電子の荷電と同量異符号の陽荷電を持っています。中性子というのは陽子とほぼ同じ位の質量を持っていますが、ただ電気を帯びていない中性粒子なのです。水素原子は陽子の外側に一箇の電子がめぐっているもの、ヘリウム原子は二箇の陽子と二箇の中性子の結合した核を中にして二箇の電子のめぐっているもの、酸素原子は陽子と中性子が八箇つつ結合した核を八箇の電子が取巻いているもの、いう風になっています。陽子や中性子に比較すると電子の質量は無視してよい位微小なので、水素原子の重さを一とすると、ヘリウムのは大体四、酸素のは十六となります。酸素元素の中にはこのほかに核が陽子八箇中性子九または十箇から成り、質量

が十七、十八という原子も極く少々混っています。このようなのを同位元素と言います。つまり陽子（または核外電子）の数が同じで、中性子の数の異なる元素同志のことです。塩素などは核が陽子十七箇中性子十八箇から成る原子のものと、陽子十七箇中性子二十箇から成る原子のものと、この二つの同位元素の混合した元素ですから、原子量が三五・五という端数になるのです。

ところで、それなら原子核の内部では陽子や中性子のような核を構成する粒子がどんな力（核力）で結びついているのでしょうか。物理学者たちは、現在サイクロトロン（本文二五三頁）や静電高圧装置で加速したイオン、その他各種の放射線を打ちあてては原子核を破壊し、どんな変化が起るかを調べて内部の様子を探ろうとしています。この方面の学問を核物理学と言います（なお後の註wを見て下さい）。量子力学もこの方面では中々思うように冴えを見せてくれなかつたのですが、数年前終つひに一先ひとまず「中間子理論」となって実を結びました。この理論は宇宙線と言われるものの種々な現象を説明する上にも有力な武器となりました。宇宙線に含まれている粒子と原子破壊によつて生ずる粒子との間、宇宙線の中なかに起る現象と原子核に係した現象との間には、互に深い一致と連絡が見出されます。このことは第三講で述べましょう。この「中間子理論」を提唱したのはわが湯川博士であつたことは、日本の学界の誇として人のよく知るところです。現在では観測実験が進むとともに、この理論の前にも種々な難問が現れ、なお一層つき込んだ打開の必要が感ぜられて来て居ります。これらの事情については後の註zをごらん下さい。

核物理学の研究

核物理学の目指す所は、原子核の構造とその構造を支配している法則を明らかにするのにあります。それを解明する手がかりは色々あります。分子スペクトルや、線スペクトルの超微細構造からは核の角運動量等（核はスピ
ン即ち一見自転でもしているかのような性質を現あらわします）が窺えますし、陽極線を磁場の中で分析すれば質量が分か
ります。

更に進んだ手がかりは、第一に自然放射能です。放射性物質の原子核が自然崩壊して α 線、 β 線、 γ 線を放射して違った別の物質に変換してゆくことは既に述べました。この壊変の模様を調べて原子核の多くの謎を解くことができます。同じようにして、第二に原子核の人工変換があります。これは人工的に加速したイオン粒子や核崩壊によって放出される粒子などを種々の元素に衝突させて、それらが崩壊し変換してゆく模様を見るのです。

第三に宇宙線の観測が極めて有力な手がかりになります。原子核の自然的人工的崩壊によつて出て来る諸々の素粒子は、宇宙線の中にも見出されます。その上宇宙線の中ではこれらの粒子の、実験室内ではとても観察できないような作用や性質を調べることが出来ます。こうして今では核物理学の理論と宇宙線の理論とは、互に関連させて取扱われています。

〔核物理学の邦語参考文献〕

核物理学についてはもっと新しい良い文献が出ていくでしょう。ここでは本書の読者のために邦語の平易な本を挙げておきましょう。まず最近創元社から出た『驢馬電子(原子核物理学二十話)』(伏見康治著)があります。この種の本には勿体ないほど高級な内容の知識を、専門外的一般読者のために巧妙に説き明かしたもので、伏見博士の趣味の横溢した快著です。この本がとりつきにくい人には、そしてもう少し入門的な所から勉強したい人には、昨年の夏出版された、研究社学生文庫の中の『原子物理』(松田栄著)があります。これは、中学の物理課程を一通り終えた人の補習参考書と言った感じの本ですが、核物理だけでなく原子に関する物理学の全般に亘つて極く新しい成果に到るまで教科書風に順序を追うて網羅した、相当内容の充実した本です。以上二つのほかに本年(昭和十七年)初めに岩波書店から出た『極微の世界』(湯川秀樹著)を挙げておきましょう。これは本書の読者にはやや難解の部分もあるかも知れませんが、隅から隅まで分かる必要はありません。原子核および宇宙線物理学の前線を窺い、その精神に触れることができます。前線は刻々に変わってゆきますが、かなり程度の高い一般読者は、『科学』(岩波

書店)などによつて研究の前線に携つている人の紹介や中間的・総合的報告に接することができましょう。専門の学会雑誌のことはここでは触れません。

その他河出書房の科学新書に關戸彌太郎『宇宙線の話』が予告されています。その道の権威者の著としてきつと立派なものと思います。ミリカンの『宇宙線』の翻訳(村上忠敬訳)も出ています。創元社科学叢書の菊池博士の近著『物質の構造』も博士の面目を盛つた明快な良書です。うんと易しく説いたのに鳩山道夫『原子の話』(僕らの科学叢書、誠文堂新光社)があります。中学初級生にも面白く読める本だからと言って中々馬鹿になりません。最後に少し古い本ですが創元社科学叢書にインフェルト(石橋栄訳)『物質の神秘』があります。何分一九三三年(昭和八年)までの材料で書いてあるので、宇宙線は暗中摸索の状態、中性子は発見されたばかりのときでまだ陽子と電子の中和体だろうと考えられて居り、原子核も陽子と核内電子とから成ると思われていた時代の立場で説明してあります。しかしそういう点を用心して読めば、原子核の「内部」へはいる以前の原子物理学、電磁場で解決できる範圍の物理学について、既に定評のあるこの著者一流の才筆を持つて巧妙明快に説明してあります。岩波講座『物理学』、共立社『量子物理学』(仁科博士監修)等の講座物にも一流の権威の優れた論述が収められています。

〔無線電信〕

マルコーニがアンテナ装置の振動器を工夫して無線電信の発明を一応完成したのが一八九五年、ちょうど明治二十八年のことでした。翌年彼は成功を夢みてイギリスに渡り、無線電信器の最初の特許も取り、数マイルから十数マイルの遠距離実験を行いました。ロンドンで彼の発明を賞讃し、その紹介援助に努めたのは中央郵便局の技師プリースでした。更にマルコーニは一八九七年にフレミングとともに無線電信会社を設立しました。この年即ち明治三十年は、はじめてプリースの紹介記事によつてマルコーニの発明の報が日本にもたらされた年です。通信技師松代松之助氏が恐らくその研究に著手した最初の人であつたでしょう。海軍もその研究に著目し、当時の海軍中佐外

波内蔵吉氏の建言を入れ、明治三十三年に同氏を委員長として海軍無線電信調査委員会を設けました。その頃二高の教授でこの方面を研究していた木村駿吉氏（昭和十二年十月七十二歳で故人となられた）が入って委員となり、松代氏も囑託となり、相協力して翌年（一九〇二年）の終には八十海里を目標とする通信器をほぼ完成しました。そして三十六年には正式に兵器として採用され、更に改良を加えて、その年の暮から三十七年の一月にかけて製造が開始されましたが、部分品の製作を請負った民間工場では、大晦日も正月三日も無休で仕事に当たったと言います。このときはコヒーラーを検波に用いていました。これが日本海海戦に、「敵艦見ゆ」の信号を始めとして、重要な役目を果たした海軍無線電信機だったので。当時日本の無線通信技術は諸外国を凌駕し、マルコーニ会社の壘を摩すに足る程度の進歩を遂げていたわけです。

なお無線電話の発明でも、日本は先端に立っていました。無線電話には減衰しない振動電流が必要ですが、最初デンマルクのボウルセンが一九〇七年（明治四十年）に電弧式の持続電波装置を発明して通話試験に成功しました。日本海軍でもこの年この式で試験に成功しました。次いで瞬滅火花式というのが現れましたが、この型式を完成したのが、日本の通信省電気試験所の鳥潟右一博士、横山英太郎、北村政治郎の三氏です。それぞれのローマ字頭字をとってTYK式無線電話機と呼ぶのがそれです。明治四十五年（一九一二年）二月のことでした。翌年には横浜、神戸、門司の各港で海上船舶との間の三十海里の試験通話に成功し、更に大正三年（一九一四年）には伊勢湾頭の鳥羽・答志島、鳥羽・神島間に通話機関を設置しましたが、世界中で無線電話が業務に実用化されたのはこれが最初という訳です。一方ヨーロッパではドイツのマイスナーという人が一九一三年に真空管を応用した電話機を発明して、その試験に成功しましたが、その後無線電話ももっぱらこの真空管式によって発達することになりました。

無線探測

無線気象観測としては、ラジオ・ゾンデが現れる数年前からラジオ・トラッキングが研究されていました。これ

は一定波長の電波を出す装置を風船で飛ばせ、無線方向探知機でその位置を求めて、高層の風向風速を測定するもので、米国の陸軍あたりがいち早く研究し始めたものです。ラジオ・トラッキングは気流ばかりでなく、海流の測定にも用いられています。ラジオ・ゾンデやラジオ・トラッキングは航空気象観測の必要上、日本でも昭和七年（一九三二年）頃から陸軍で研究を始めました。更に昭和九年頃からは海軍や気象台でも研究が始められました。しかし高層気象探測は航空に必要なだけでなく、「従来平面的であつた気象観測を立体化して天気予報の適中率を向上せしめると共に、戦時下各国に気象管制が実施されて隣接せる国家の気象報が暗号化されて入手できない時、平面の広さを立体にして救うという極めて貴重な役割を演ずる」ものです（湯浅光朝、ラジオ・ゾンデの研究、『科学』昭和十七年二、三、四月号）。

無線探測の発達は現在までのところアメリカが第一でしたが、日本もこの方面では中々活潑な活動をしています。大東亜がわが指導圏内にはいつて来るとともに軍事、経済、交通上にこれは益々重要性を持つて来ることでしょう。ゾンデには温度、湿度、気圧、気流、雲等の気象要素を測定するほか、輻射（紫外線等）、大気の電氣的状況（イオン及び電気伝導度等）、オゾン、宇宙線などの測定に用いられます。そしてそれぞれの目的に応じた特殊な装置が考案されています。

- 『加藤正著作集』第二巻（「加藤正著作集」刊行委員会、一九九〇年十二月）所収。
- PDF化するにあたり、図版はすべて省略した。
- PDF化するにあたり、旧漢字は新漢字に、旧仮名遣いは新仮名遣いに改めた。
- 読みやすさのために、適宜振り仮名をつけた。
- PDF化には $\text{L}^{\text{A}}\text{T}_{\text{E}}\text{X}_{2\epsilon}$ でタイプセットを行い、 $\text{d}^{\text{v}}\text{i}^{\text{p}}\text{d}^{\text{f}}\text{i}^{\text{x}}$ を使用した。

科学の古典文献の電子図書館「科学図書館」

<http://www.cam.hi-ho.ne.jp/munehiro/sciencelib.html>

「科学図書館」に新しく収録した文献の案内、その他「科学図書館」に関する意見などは、

「科学図書館掲示板」

<http://6325.teacup.com/munehiroumeda/bbs>

を御覧いただくか、書き込みください。