

理化学研究所 ニュース

Dec. - 1969

No. 15

サイクロトロンの医学への応用

人の命は、お金にはかえられない、という言葉があるように、病気の治療をしたり、人の生命を永びかせる事を目的とする医学には、その当時の物理や化学等の自然科学の第一線の研究成果が利用されています。たとえば、X線が発見されると直ちに、人体の透視に利用されました。現在では歯科医の診断にも、小型で便利なX線装置が使われるようになってきました。サイクロトロンが医学に利用されるようになったのもこのような傾向を反映しています。現在の原子核物理学の第一級の粒子加速器が、医学の診断や、治療に使われるようになったのです。サイクロトロンというのは、陽子など電子と比べて重い粒子を速い速度にまで加速する粒子加速器です。粒子加速器にはサイクロトロン以外にもいくつかの種類があります。それらのうち電子を加速するものは、すでにベータトロンや電子線形加速器のように産業や医学に用いられています。しかし、陽子等を加速するものは、主として原子核を破壊するものとして物理の実験室で用いられていました。加速器で高速に加速された陽子等の重い粒子を医学に利用する場合に、サイクロトロンは、各種加速器の中で、もっともよい加速器です。サイクロトロンを医学に用いる場合に、治療と診断との2つに分けて考えることが出来ます。まず診断用のサイクロトロンに

ついて述べます。

一 診断 (RI 製造) 用のサイクロトロン

原子炉で人工的につくられるRI (放射性同位元素) を用いて、病気の診断をすることは、第2次大戦後から、広く行なわれ、そのための放射線測定装置も高度に発達しております。しかし、原子炉で生産されるRIの種類には制限があります。人間の体の重要な構成元素である、炭素 (C)、窒素 (N)、や酸素 (O) のRIは原子炉ではできません。サイクロトロンで加速された重陽子等を用いると、C、NやOのRIのように診断用に適したRIをつくる事ができます。 ^{18}F は、骨に出来た腫瘍に集ることがわかっていますが、原子炉でつくるよりサイクロトロンで作る方が有利です。その他、鉄やヨウ素のRIは、原子炉でもできますが、サイクロトロンで作ったRIの方が医学上に便利なものができます。代表的な例を表1にまとめてみます。酸素-15は、半減期が短いので、サイクロトロンの重陽子で窒素ガスを照射して製造したものを直ちに使用します。数年前に駒込研究所にあった当所の26インチ・サイクロトロンで、このテストが国立療養所中野病院と協同で研究されました。このサイクロトロンは、現在、中野病院に移設され肺機能の診断に使用される計画です。表1からわかるように、診断用のRIは、重陽子10MeV以下、

第1表 サイクロトロンでできる診断用のRI

核種	半減期	診断の目的	用いる核反応	適当なエネルギー
^{11}C	20分	CO又はCO ₂ として 血流検査	$^{10}\text{B}(d, n)$ $^{14}\text{N}(p, \alpha)$	$d: 6\text{MeV}$ $p: 9\text{MeV}$
^{15}O	2分	肺機能 心臓の欠陥	$^{14}\text{N}(d, n)$	$d: 4\text{MeV}$
^{18}F	1.9時間	骨の腫瘍	$^{16}\text{O}(h, p)$	$h: 18\text{MeV}$
^{52}Fe	8.3時間	赤血球の動作	$^{50}\text{Cr}(h, n)$ $^{52}\text{Cr}(h, 3n)$	$h: 20\text{MeV}$ $h: 40\text{MeV}$
^{123}I	13時間	甲状腺	$^{121}\text{Sb}(\alpha, 2n)$ $^{122}\text{Te}(h, pn)$	$\alpha: 30\text{MeV}$ $h: 20\text{MeV}$

※ n : 中性子 d : 重陽子, d : アルファ線 $^4\text{He}^{++}$ h : $^3\text{He}^{++}$

ヘリウム-3の2価イオン(h)20MeVでいどの粒子を用いて、製造することが可能です。この程度のエネルギーの粒子を加速するサイクロトロンは比較的小型のサイクロトロンで間にあいます。

産業や科学に利用されている電子加速器に比べると価額も高く、維持、運転に手数のかかるサイクロトロンを医学に利用する場合、小型であることは大切なことです。現在では、診断用のサイクロトロンは、世界中で数社の電気会社の手で製造されその販売価格は、1.5億円内外です。病院に設置された場合、小型サイクロトロンの維持運転には数人の技術者と運転員が必要とされています。診断用RIの製造には、a型のサイクロトロンでも間に合いますが、大型のサイクロトロンを使用できる場合には、それにこしたことはいうまでもありません。当所の大和研究所にある1.6mサイクロトロンを用いて、 ^{18}F や ^{52}Fe を生産することは、すでに実験済みで、来年からは、医学関係との連絡を密接にして、診断に利用することを計画しています。

一放射線治療用サイクロトロン一

100MeV以上に加速された陽子や α 線を用いて、放射線治療を行うことは、十数年前から行なわれています。しかし、このように高速の粒子を得る

サイクロトロンは、現存する加速器を前提とする限り非常に大型になり、設備費用も数十億円になるため、医学専用ではなく、原子核実験に用いるためのサイクロトロンを、短時間だけ、医学用に用いています。当所サイクロトロン研究室では、現在のサイクロトロンとは別に、高エネルギー用加速器を作りたいと考えていますが、これが実現すれば、この目的にも利用できます。それから発生する中間子ビームは、このような照射治療に最適と考えられます。

これに対して、小型サイクロトロンより一まわり大きい程度の、設備費が数億円のサイクロトロンを用いて、高速中性子を発生し、癌治療を行なうことは有効だとされています。このため医学用サイクロトロンを、わが国でも、放射線医学研究所に建設しようという計画があります。

自然科学の第一線の研究成果を医学に利用する場合には、サイクロトロン技術者、物理や化学の科学者および医師の心からなる協力が不可欠であることは、言うまでもありません。当研究所の総合研究に関する特色はこのような場合に威力を発揮されるのです。

(サイクロトロン研究室 唐沢 孝)

ホログラフィ

われわれ人間は基本的には五感を通して外界の情報を得ているのであるが、中でも眼からは光にのせられた莫大な量の情報が入ってくる。さて眼に映ずるものを記録しようとするとき、われわれは写真を撮影する。写真はご承知のように光の持つエネルギーに応じて感光銀が黒化して記録を行うものである。ところで光は一種の波動と考えられ、光の来る一点では一定の振動振幅、一定の位相を持つ波が当ることである。光のエネルギーは振幅の二乗で示されるから、写真では光の振幅を記録していると言える。すなわち写真では光の一つの性質である振幅は記録するが、もう一つの性質である位相については感知しない。

ホログラフィは写真の片手落ちの記録法を補い、光の振幅と位相を共に記録する方法である。“ホロ”の言葉もギリシャ語の全体を表す $\delta\lambda\omicron\varsigma$ から来ていて、光の性質の振幅も位相もすべて記録し、これから光によって運ばれた情報のすべてを再生しようという技術である。

ホログラフィの基本的考えは今から20年前 D. Gabor によって出されたが、基本的には波動の干渉する性質によっている。従って干渉し易い光を出すレーザの発明を転機とし、眼に見えないような細かい干渉縞を解像する写真乾板の実現に助けられて、ホログラフィの技術は華々しく開花した。

簡単にその原理を述べよう。図1のようにレーザからの光を物体に当て、物体から反射されてくる光を写真乾板に受ける。乾板上では物体からの

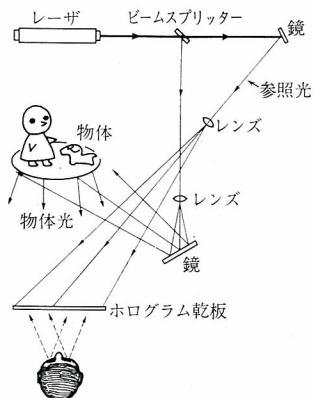


図1 ホログラフィ装置

光が散らばって一見一様な明るさの如く見え、像は写らない。レーザからの光は分けられて反射鏡を介して乾板を照明し(参照光という)、物体からの光と重ねてやる。この時、物体からの光と参照光との間に干渉が起って複雑な干渉縞となって写真に記録される。これがホログラムと言われるもので、物体からの情報がすべて記録されているのである。理解を助けるため干渉について復習してみよう。今、ある角度をなす二つの平面波が重なって干渉したとすると、等間隔の干渉縞が見られる。この時両方の光の振幅が等しければ縞のコントラストが良く、等しくないと悪い。また両波の位相の合った所で明るく、位相反対の所で暗くなって縞が生ずる。それで一部位相のずれている部分では縞は横ずれて曲がってしまう。実はホログラムはこの性質を複雑な物体からの波と参照波との間に実現させたものに外ならない。物体からの波の振幅と位相を干渉縞のコントラストと横ずれという形で各点で記録しているのである。

ではホログラムから物体の像を再生するにはどうするかと言うと、図1で物体を取り去りホログラムを元の参照光のみ用いて照明してやり、もと物体のあった方向を眺めればよい。ホログラムからは物体から出ていたと全く同じ光の波が出て来るから物体がそこにあるかのように見えるのである。これは光の回折という性質によっている。皆さんは光が細い白黒格子を通る時、いろいろの方向に曲げられて進むことを知っている。ホログラムは複雑な干渉縞の記録であるから、複雑な白黒格子を形成している。従ってこれに当てられた光はホログラムの各点でのコントラストに応じた強さで、また縞間隔に応じた曲がり方で光を送り出してくる。この光の送り出し方が元の物体によってしまったものなので、物体から出た光と全く同じ関係の光が送り出され、われわれは物体の像を見ることが出来るのである。

この記録と再生という二段階のプロセスの中には何もレンズ等はいっていない。すなわちレンズなしの作像技術と言われる所以である。また物体からの光と同じ状態の光の再現であるから三次元的な物体なら三次元的に、空間的に像が再生され

物体距離の違いによる視差も出てくる。立体映像の技術といわれる所以でもある。

ホログラフィの考えは何も光に限ったことではなく電子線、X線、マイクロ波、超音波、音波とすべての波動を扱う領域で適用出来る考えである。また情報を変換し、蓄積し、記録する技術として、現在の情報社会化の趨勢とマッチして一躍脚光をあびているのである。

当所光学計測研究室（主任研究員斎藤弘義）では、ホログラフィの計測面での広い応用性に着目し、精密計測にこれを用いる研究を行っている。その一つはホログラフィ干渉法で、これにより従来は光学的に磨き上げられた面にしか適用出来なかった干渉計測が、ごくありふれた粗面をもつ物体にも適用出来ることになった。これは光の波長を単位とする精密測定が、広い対象物について行えることを意味する。私共は物体の機械的変形を

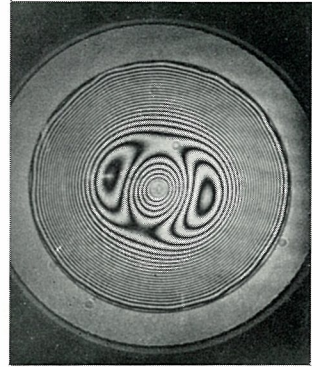


図2 振動する円板の振幅等高線を示す干渉縞

測定する方法を研究しているが、例えば図2は振動する円板の振幅の1万分の1.6mm毎の等高線を示す干渉縞であり、また理化学研究所ニュース11号に示した写真は曲げられた板の表面の変形を示す等高線である。これらは何れも粗面を持つ物体でホログラフィの技術なくしては得られない。

(光学計測研究室・主任研究員 斎藤弘義)

◆理研シンポジウムのお知らせ

12月には次のシンポジウムのほかに3件（このうち2件は前号で紹介）が開催されます。ふるって参加してください。（図書・発表課編集係担当）

◆テーマ 「深海研究」

と き 12月13日(土) 9時30分～17時
 ところ 日仏会館(千代田区神田駿河台2-3)
 講演者 吉村広三(気象庁)、井上雅夫、関文威、友田好文、(以上東大海洋研)、青木斌(東海大)、渡辺精一、佐々木忠義、岡崎守良(以上当所)の各氏

◆テーマ 「高分子結晶の物性と欠陥」

と き 12月22日(月) 10時～17時

ところ 当所会議室(大和研究所)

講演者 理瀬戸恒夫(都立大)、和田八三久(東大)、秀島光夫、金子元三、千葉明夫(以上北大)、石田陽一(阪大)、柴田俊之、岩柳茂夫、深田栄一(以上当所)の各氏

◆テーマ 「ポリペプチドの固体物性」

と き 12月23日(火) 10時～17時
 ところ 当所会議室(大和研究所)
 講演者 金子元三(北大)、小川成夫(織高研)、植松市太郎(東工大)、飯塚英策(信大)、杉浦嘉彦、深田栄一(以上当所)の各氏

「100年前」



今年も残り少なくなり、重大ニュースの回顧記事が新聞紙上を賑わしているが、今年のごときは読者諸氏におまかせして、100年前のニュースを採りあげよう。

ロシアの化学者メンデレーフは大胆にも、「元素を原子量の順

に並べると、元素の諸性質が周期的に変化する」として、空所だらけの63種の元素の表を示した。それから100年、表の空所は全部埋められ、102種の元素および多くの同位元素が知られている。

ドイツの物理学者ヒットルフは、師のプリュッカーが1859年に発見した真空管陰極付近のガラス

の蛍光は、陰極から出る放射線によることを証明した。これは後に陰極線と名づけられ、この現象の研究からX線が発見され、また、ブラウン管などとして、現在極めて広く実用化されている。

アメリカの化学者ハイアットはセルロイドの特許を得ている。実用化されたプラスチックのはじめであり、ほぼ100年の寿命を保っている。

イギリスの科学誌「ネーチャ」が発刊された。スエズ運河の記事やリビングストンの探険談などの外、当時の日本を紹介した記事があるのは興味深い。

スエズ運河の開通も同年であるが、100年後の今日閉鎖されているのは人間の愚さを示すものか？

(E.T.)