

CT(Computed Tomography)の物理的基礎と隠された物体の推察

鈴木康文

1) はじめに

1-1. X線の発生について

1895年、レントゲンによって未知の放射線が発見されX線と名付けられた。クルックス管による陰極線についての研究中に、そばに置いてあった写真乾板が感光してしまったことから発見されたといわれている。光(可視光)では感光しないように黒い紙や木箱の中に入れていたものが感光したため、X線は光より物質を透過する力が強いことがわかった。その後の研究でX線は光と同じ電磁波の仲間であることが知られた。従って光と同じように回折や干渉を起こす。光の波長は数百nmであるが、通常、X線の波長は1nm以下である。波長が結晶の原子配列面間隔より短いため、原子配列面の間で干渉を起こす。これは、ブラッグ反射と呼ばれ有名である。また、X線は物質を透過する力が強いので、医療診断や機械の内部検査に用いられてきた。

X線の発生は実験室レベルの環境では真空に封じたX線管を用いる。これはフィラメントに電流を流し、発生する熱電子を数十keVに加速し、陰極の金属にぶつけ、そこから放出されるX線を窓を通して空気中に取り出すものである。原子の励起による特性X線と制動放射による連続X線が取り出せる。陰極は発熱するため、一般には水で冷却する。もっと大型の施設が必要な場合には、Spring 8などの放射光を用いる。これは加速器により加速された荷電粒子の軌道を磁場などで強制的に曲げたときに生じる制動放射のX線をその軌道の接線方向に取り出すものである。ごく少量のX線を発生する必要があるときは、数keVに電子を加速し、金属または気体原子(分子)に当てればよい。電子が当たった原子(分子)が励起し、その原子(分子)特有の色光とともに、X線も放出する。(今回はこの方法でX線を発生する。)

1-2. X線の検出について

X線は目に見えない光であるため、X線を検出するときには検出器を用いる。検出器にはシンチレーション検出器、比例計数管、GM計数管、半導体検出器などいろいろな種類がある。代表的で社会的にも有名なものがGM計数管(ガイガーミュラー計数管)である。GM計数管の中には低圧のアルゴンなどの希ガスを中心にしたガスが入れられており、細い中心線と周囲をとり囲む円筒との間に高い電圧がかけられている。X線が管内に入射してガスをイオン化すると、管内でガスがなだれ的にイオン化され、大きな信号を発生する。この装置はX線のカウント数(個数)を計るのに簡便なものであり、空間線量率の測定などに用いるサーベイメータとしても使われている。このときGMサ

ーベイメータと呼ばれる。(今回はX線の検出にGMサーベイメータを用いる。)

1-3. X線の減衰について

X線は物質に入射すると、その物質のX線吸収係数 a というファクターに応じて、指数関数的に減衰する。即ち透過するX線の強度は $I = I_0 \exp(-ax)$ と表される。ここで I_0 は入射X線の強度、 x は物質の厚さである。X線の真っ直ぐな通路に、吸収係数の異なる物質があれば、透過する強度 I が変わってくるので、投影した像にコントラストが生じる。このことはX線撮影などに利用されている。

1-4. X線CTについて

コンピュータを利用した断層撮影のことをCT (Computed Tomography) スキャンと呼ぶ。医療機器として用いれば、体を痛めず輪切りの形で内部を調べることができる。その他にも、傷を付けたくないものの内部を調べることにも広く利用されている。タイヤのゴムの検査などがこの例である。電磁波 (X線) や超音波を次々に方向を変えながら照射し、まっすぐ透過した強度を測定する。物体内の物質の違いによる透過率の違いをコンピュータで計算処理することによって断面の画像を作る。

CTスキャンとして最も一般的なものはX線CTである。X線CTの例を図1に示す。一組になったX線管と検出器が体を挟んで回転する。人間はコンピュータで制御されたベットに乗って、X線管と検出器が1回転するごとに、少しずつ平行移動する。透過したX線の量をコンピュータで処理して得られた輪切りの断面図を重ね合わせて、体内に生じた異常の形やコントラストから病気を発見する。(今回はこの原理を用いて未知物体の形の推察を行う。)

2) 実験

この講座では、コンピュータを使わず、手動で試料を動かし、データを処理し、断層を推察することにより物体の形状を推察する。CT撮影の人間の(ベッドの)平行移動に対応する移動は、今の場合上下移動である。CT撮影では人間は回転しないが、今回は試料の方を回転させる。また左右にも平行移動させることができる。

2-1. 実験装置

図2に実験装置の写真を示す。真空ポンプ(ロータリーポンプ)に取り付けた、ガイスラ管をX線源とした。ガイスラ管にインダクションコイルを用いて約7kVの電圧を印加する。X線を発生させるためガイスラ管の中を真空にするが、逆に真空度が良くなりすぎるとX線が発生しなくなるため、微量リーク弁を取り付けてある。

木箱の中の回転ステージ（ターンテーブル）の上の試料には、紙で作った箱がかぶせられ、試料の外形はわからない。ガイスラー管からのX線を直径10mm程度のスリットに通し、試料に照射し、真っ直ぐ透過したX線をサーベイメータで検出する。

試料の高さを固定し、ターンテーブルを回したり、平行移動させたりして透過X線の量を計ることにより、試料の断面図を推し量る。次に試料の高さを変え、同様に断面図を推し量る。これを3、4回程度繰り返し、つなぎ合わせることで、試料の形を3次元的に推察する装置である。

これらは、X線の漏洩を防ぐため、全て木箱（ふたは中が見えるようにアクリルで作ってある。）の中に入れてある。尚、一般には木はX線を防ぎにくいですが、今のX線はエネルギーが低いので、木箱で止まる。



図1 X線CT装置 (<http://ja.wikipedia.org/wiki/CT>)

(a)



図2 実験装置の写真 (a) 横から見た図

(b) (b) 上から見た図



2-2. 実験手順

2-2-1 練習

- ① X線検出器（サーベイメータ）の窓を取り除き，スイッチをいれる。（入れておきます。）
- ② X線しゃへい用のアクリルのふたをかぶせる。（ふたをかぶせないと，リレーが切れてX線を発生することがない仕組みにしてある。）
- ③ メインスイッチを入れる。（同時にファンのスイッチが入る。）
- ④ ロータリポンプでガイスラー管の中を真空にする。
- ⑤ インダクションコイルのスイッチを入れてガイスラー管に高圧を送る。ガイスラー管は中の気体を放電させ発光する。
- ⑥ ガイスラー管から放出されるX線の量が最も多くなる程度にリーク弁を調整する。（可視光が消える程度の真空度が最も良い。）
- ⑦ インダクションコイルのスイッチを切り，アクリルのふたを開き，既知物体の試料を回転ステージの上に乗せる。その物体の形を知るためには，回転・左右・上下に最小限どの程度の測定をするのが適当か検討する。試料がない場所でのX線の計数率 I_0 を測定しなければならないことに注意する。
- ⑧ 物体に紙の筒をかぶせ，アクリルのふたをかぶせる。
- ⑨ インダクションコイルのスイッチを入れ，X線の計数率の測定値 I から吸収率 $\exp(-ax) = I / I_0$ を算出し，円形，矩形の方眼紙上にプロットする。
- ⑩ 方眼紙に書いた結果から，既知物体の試料の外形が推測できるか考察する。
- ⑪ 最後にインダクションコイル，ロータリポンプのスイッチを切り，リーク弁を全開にしてロータリポンプの中を1気圧にする。

2-2-2 未知物体の推察

- ① 未知物体を回転ステージの上に乗せ，物体に紙の筒をかぶせ，アクリルのふたをかぶせる。（指導者がやります。）
- ② メインスイッチを入れる。
- ③ 未知物体の形を知るためには，回転・左右・上下に最小限どの程度の測定をするのが適当か検討する。試料がない場所でのX線の計数率 I_0 を測定する。
- ④ インダクションコイルのスイッチを入れ，X線の計数率の測定値 I から吸収率 $\exp(-ax) = I / I_0$ を算出し，円形，矩形の方眼紙にプロットする。
- ⑤ 方眼紙に書いた結果から，未知物体の試料の外形を推測する。
- ⑥ 最後にインダクションコイル，ロータリポンプのスイッチを切り，リーク弁を全開にしてロータリポンプの中を1気圧にする。