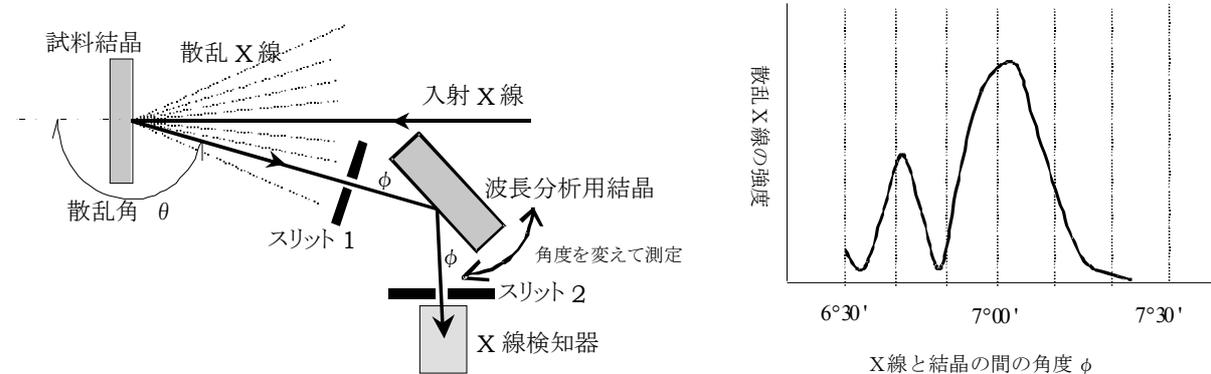


## コンプトン効果入門

( ) 組 ( ) 番 氏名 ( )

1923年、コンプトンは結晶にX線を当てて散乱してくるX線を観察していた。そのとき、散乱してくるX線の中に「入射させたX線の波長より長い波長の散乱X線」が含まれていることに気付いた。

### コンプトンのX線散乱実験装置



コンプトンの実験装置は上の図に示すようなものであった。X線を照射する試料結晶はグラファイト(黒鉛)である。特定の角度に散乱してくるX線をスリット1で選び、波長分析用結晶(格子定数は  $d$  [m])でX線をブラッグ反射<sup>1</sup>させその波長を測定する。コンプトンが得た実験結果は、スリット1で散乱角を135度に設定したとき、散乱X線の波長分布は実験装置図の右に示すようなものであった。

このブラッグ反射の条件 [ ] より波長が分かる。

「入射X線と同じ波長のX線 ( $\phi \rightarrow$  [ ] )」と、「それより波長の長い波長のX線 ( $\phi \rightarrow$  [ ] )」の二種類の波長のX線が含まれていることである。

では、なぜ2種類のX線になるのか。また、入射X線より波長が長い(振動数が小さい)X線が出てくるのかを考察してみよう。原子と衝突するとき、ドップラー効果<sup>2</sup>が起きていると考えると

「ドップラー効果」によるものと仮定

試料結晶全体は固定されているが、結晶を構成している原子や電子が運動している。この原子や電子での反射によるドップラー効果と考える。正面衝突して逆方向に反射されるX線の振動数は  $f' = f \times \frac{c-v}{c+v}$  である。

ドップラー効果としたときの結論 [ ]

矛盾 → コンプトンの実験結果からは「特定の値の波長の変化(振動数の変化)しか起きていない」

[ ]

結論 → 「ドップラー効果」はコンプトン散乱の原因とはなり得ない。

ドップラー効果がだめになった！ では、アインシュタイン(光量子説<sup>2</sup>)の助けを借りて考えて見よう。

アインシュタインの光量子説 とは

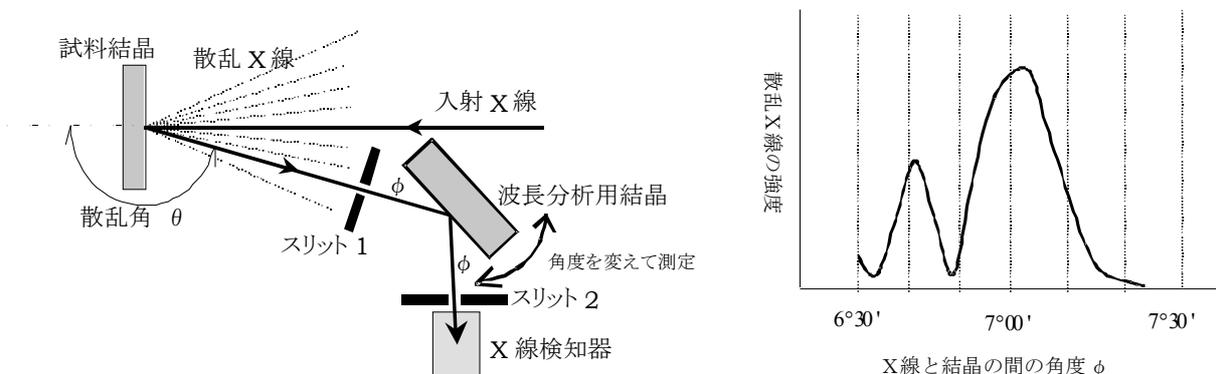
<sup>1</sup> **ブラッグ反射** ブラッグが1912年に発表した。結晶の原子面でX線が特定の角度に強く反射される現象。X線の波長を  $\lambda$ 、結晶の格子定数を  $d$  とすると、ブラッグ角  $\theta$  は  $2d \sin \theta = m\lambda$  の式で与えられる。

<sup>2</sup> **光量子説** アインシュタインが1905年に発表した。当時は「光量子仮説」と呼ばれていた。光を粒子として扱い光電効果をはじめとする物理現象の理論を作り上げた。

コンプトン効果入門 (解説) ( ) 組 ( ) 番 氏名 ( )

1923年、コンプトンは結晶にX線を当てて散乱してくるX線を観察していた。そのとき、散乱してくるX線の中に「入射させたX線の波長より長い波長の散乱X線」が含まれていることに気付いた。

### コンプトンのX線散乱実験装置



コンプトンの実験装置は上の図に示すようなものであった。X線を照射する試料結晶はグラファイト(黒鉛)である。特定の角度に散乱してくるX線をスリット1で選び、波長分析用結晶(格子定数は  $d$  [m])でX線をブラッグ反射<sup>3</sup>させその波長を測定する。コンプトンが得た実験結果は、スリット1で散乱角を135度に設定したとき、散乱X線の波長分布は実験装置図の右に示すようなものであった。

このブラッグ反射のデータから  $2d \sin \theta = m\lambda$  より波長が分かる。

「入射 X 線と同じ波長の X 線」と、「それより波長の長い波長の X 線」の二種類の波長の散乱 X 線が含まれていることである。

では、なぜ2種類の散乱 X 線になるのか。また、入射 X 線より波長が長い X 線がなぜ散乱されているのかを考察してみよう。

「ドップラー効果」によるものと仮定したとき

試料結晶全体は固定されているが、結晶を構成している原子や電子が運動している。この原子や電子での

反射によるドップラー効果であると考え、 $f' = f \times \frac{c-v}{c+v}$  である。コンプトンの実験結果からは「特定の値

のドップラー効果しか起きていない」ことを示している。すなわち、「すべての原子や電子が特定の速度で遠ざかっている」ことになる。しかし、原子や電子はランダムに運動しているはずで、すべての原子や電子がその速度を特定の値のみであるはずが無い。その場合、振動数は大きくなるもの、小さくなるものの両方が含まれるはずである。「散乱 X 線が二つの波長になる事実」の説明においてドップラー効果では矛盾が起きることになる。したがって、「ドップラー効果」はコンプトン散乱の原因とはなり得ない。

そこで、アインシュタインの光量子説<sup>4</sup>の助けを借りることにしよう。

#### アインシュタインの光量子説

1. 光(電磁波)は粒子として振る舞う。その粒子の名前を「光子(photon)」という。
2. 光子1粒が持つエネルギーは  $E = h\nu$ 、運動量は  $p = \frac{h\nu}{c}$  と表せる。
3. 今までの光の強さは 光子のエネルギー×光子の個数 に相当する。

<sup>3</sup> **ブラッグ反射** ブラッグが1912年に発表した。結晶の原子面でX線が特定の角度に強く反射される現象。X線の波長を  $\lambda$ 、結晶の格子定数を  $d$  とすると、ブラッグ角  $\theta$  は  $2d \sin \theta = m\lambda$  の式で与えられる。

<sup>4</sup> **光量子説** アインシュタインが1905年に発表した。当時は「光量子仮説」と呼ばれていた。光を粒子として扱い光電効果をはじめとする物理現象の理論を作り上げた。