レーザーの波長の変化と温度の相関性

４年Ａ組　古川　雄規
４年Ｂ組　小山　諒子
４年Ｂ組　山本　奈都美
４年Ｃ組　大橋　美紗希
４年Ｃ組　中井　美嘉
指導教諭　藤野　智美
指導教諭　米田　隆恒

１. 要約

私たち地学班は天文分野について関心をもって活動を行っている。中でも空に浮かぶ天体について興味があり、その詳細を調べてみようと考えた。しかし、天体を直接手で触って調べることはできない。そこで天体の光によって伝達される情報に注目した。まずは光そのものにどのような性質があるかを調べてみようと思案していたところ、過去の先輩の論文の中に途中で終了しているレーザーの研究を見つけた。そこで私たちはこの研究を精密化し、光の基本性質を理解するための研究を行った。

キーワード　レーザー、波長、回折、干渉、ペルチェ素子、熱膨張

２. 研究の背景と目的

身近な光の中に、レーザーの光というものがある。このレーザーの光を回折格子に通すと、下の図１のように光の点が横に並ぶ現象が起こる。

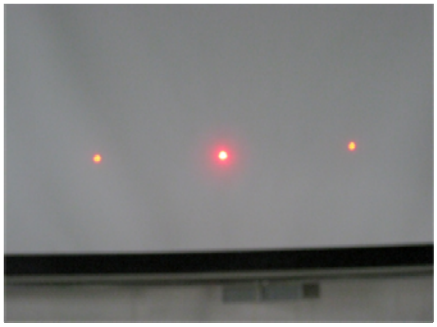

図１　光の点が横に並ぶ

先輩の過去の論文では、この現象を利用したレーザーの波長と温度変化の相関性の解析が行われていた。この研究では、レーザー本体を温めると、光の点の間隔が広くなっていくことが観測されており、この理由として、温度上昇によるレーザーの波長の伸びを挙げていた。

しかしこの論文には、以下のような課題点が見つかった。

１）データ数が少ないため、全体の傾向がつかみにくい。

２）波長の伸びの原因としてレーザーに使用されている金属の熱膨張を想定しているが、実証されていない。

そこで私たちは、データの精密化と金属の熱膨張と波長の伸びの関係性を深く追求し、光の基本性質を検証することを目標とした。

３. 研究内容

＜仮説＞

私たちは以下の仮説をたて、これらを検証する実験を行った。

１）レーザー装置を温めると、レーザー光の波長が長くなる。

２）波長が伸びる原因はレーザー内部に

ある金属の熱膨張である。

＜実験原理　光の回折と干渉＞

光がスリットを通過するとき、光の波はそのスリットを中心に放射状に広がる。この現象を光の「回折」という。

さらにスリットを増やすと波動が増え、それらが重なり合う。これを光の「干渉」という。ある地点で出会った波の山と山または谷と谷(同位相の波)が重なり合うと、振幅の絶対値は大きくなり、波の山と谷（逆位相の波）が重なり合うと振幅の絶対値は小さくなる。同位相の波が重なり合った部分は、光の強度が大きくなるためより明るく見える。反対に逆位相の波が重なり合った部分は、光の強度が小さくなるため暗く見える。以下の図２ではこの様子を模式化した。黒い実践部分は波の山を、黒いは線分は波の谷を、赤い実線は強め合っている部分をつないだものである。このような回折と干渉の結果、図２の赤丸のように、スクリーン上にはある一定間隔ごとに明るい点が映し出される。

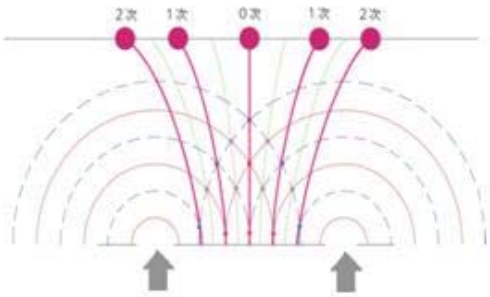

図２　光の回析と干渉

今回はこの光の回折と干渉を利用して、レーザーの波長を求めた。求め方の詳細は後述する。

４. 実験方法

［１］　実験装置の組み立て

今回の実験では、図３のようなレーザー装置を組み立てて実験を行った。この実験装置にはレーザー、回折格子、ペルチェ素子、熱電対温度計が使用されている。以下にこれらの器具の説明を行う。

＜ペルチェ素子＞

半導体の一種で、二枚の金属板でできている。電流を流すと熱エネルギーが片側の板に移動するため、一方が吸熱するにつれて他方が発熱する仕組みになっている。主に小型冷蔵庫の温度制御などに用いられている。本研究ではレーザー本体の温度制御に使用した。

＜熱電対＞

先端部で２種類の金属が接合している温度計で、熱による金属の膨張率から温度を測定する。本研究ではレーザー本体に取り付けて、その温度変化を測定した。

＜回折格子＞

1mm の間に 500 本や 1000 本もの細かい溝が彫られているシートで、このシートを通った光は回折と干渉という現象によりいくつもの光の点に分かれる。溝が細かいほど精度が高い。本研究では 1mm あたり 500 本および 1000 本の溝を持つ２種類の回折格子を使用した。

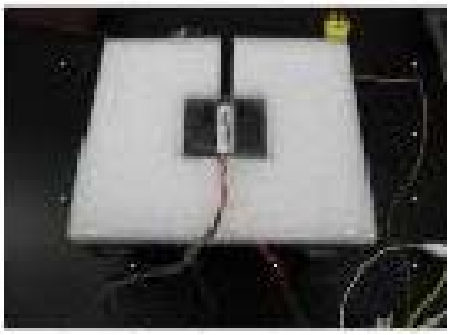

図３　ペルチェ素子の実験

このようなレーザー装置の光を回折格子に通してスクリーンに明線を映し出す。実験の精度を高めるために、以下のような工夫を施した。

1）レーザー本体をのせた装置全体をあらかじめ氷で冷やしておき、温度制御を広範囲で行うことを可能にした。

2）発泡スチロールで装置を密閉して外気を遮断し、温度測定の誤差をできる限り少なくした。

3）実験を精密にするため、回折格子は1 mm あたり 500 本、1 mm あたり 1000 本の精度の高いものを使用した。

図４に実験装置の様子を示す。

図４　実験の工夫

［２］ 実験１

光の回折と干渉によって映し出された明線用して、波長を求めた。図５は今回の実験の模式図である。

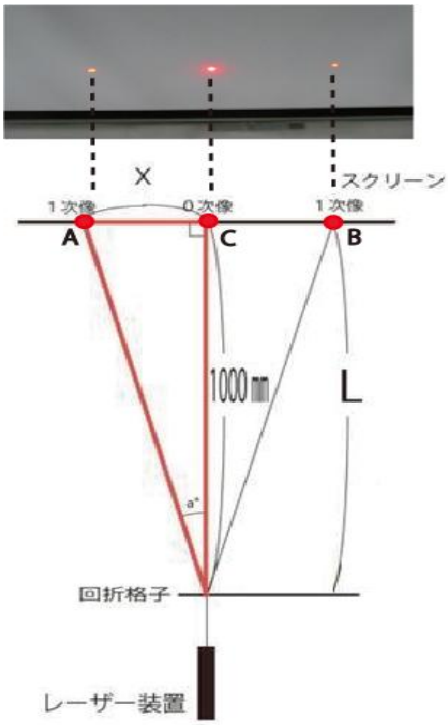

図５　実験の模式図

図５において、０次象と１次像の間の距離を x、スリットとスクリーン間の距離を L と表すと、ピタゴラスの定理より、スリットから１次像までの斜辺の長さは以下のように表すことができる。

$$\sqrt{x^2+L^2}$$

次に光が回折格子のスリットを通過した際の様子を考える。図６はこの様子を拡大して記載したものである。

スリット間の距離を d、光の波長を λ とおく。このとき線分 CD は一波分の差、つまり λ に等しくなる。

図５における太実線の三角形と、図６の色つきの三角形が二角共通の相似の関係になる。相似な三角形は対応する辺の比が等しいことから、次のような式を作り、光の波長 λ を求めることができる。

$$\sqrt{x^2+L^2} : x = d : \lambda$$

この式を λ について整理すると、以下のようになる。

$$\lambda = \frac{xd}{\sqrt{x^2 + L^2}}$$

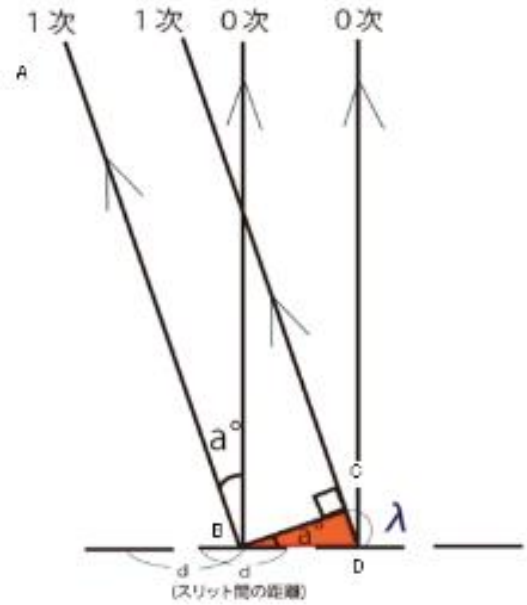

図６　回折格子のスリットを通過する光

式中の各変数について、実験では以下のように値を設定し、波長 λ を求めた。

・スクリーンと回折格子の間の距離 L

→1000mm に固定したので、

$L = 1000$

・スリット間の距離 d

→ 1 mm あたり 500 本および 1000 本の回折格子を使用したので、

$d = \frac{1}{500}$ および $d = \frac{1}{1000}$

・明線間の距離 x

→　実測により求めた

［３］ 実験結果

レーザー本体の温度を上げていくと、図７のようにスクリーン上に映し出されたレーザー光の明線が外側に向ってゆっくり移動していく様子が観測できた。

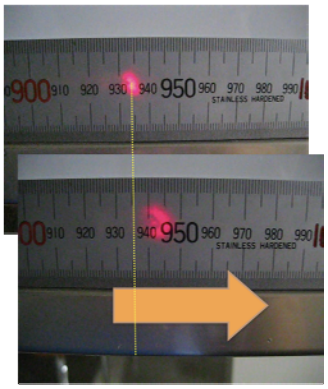

図７　温度上昇による明線の移動

前述した式を用いて各温度での光の波長を算出したところ、温度上昇に伴って光の波長が長くなることが確認された。 これらの実験データをグラフ化したところ、以下の図８および図９のようなグラフを得た。グラフ中の赤線のデータは前ページ図５の AC 間の明線の移動から算出した波長を、青線は同図の BC 間の明線の移動から算出した波長を表している。加えて、全体の傾向をつかむために、赤線と青線の数値を平均化したグラフを作成した。図 10 および図 11 のグラフがこれにあたる。

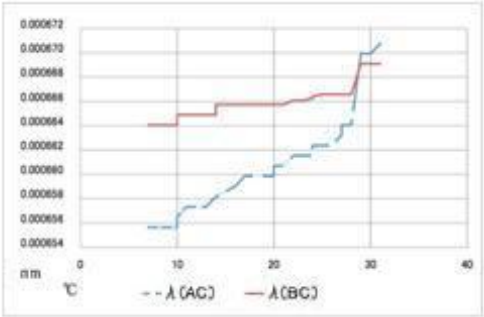

図８　スリット数 500 本/mm の回折格子
（横軸：温度，　縦軸：波長）

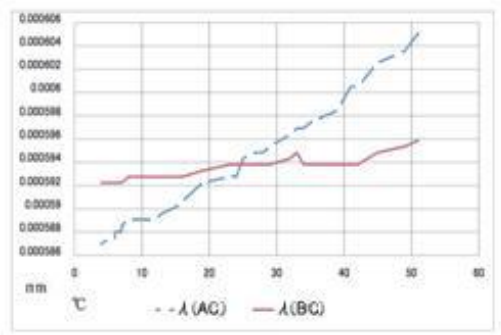

図９　スリット数 1000 本/mm
の回折格子

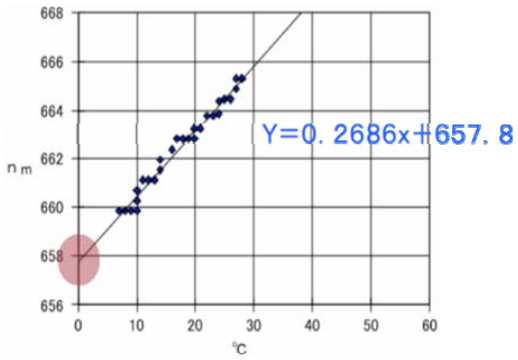

図 10　図８の２本のグラフを平均化したもの（横軸：温度，　縦軸：波長）

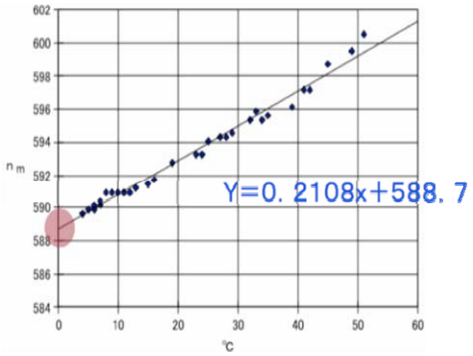

図 11　図９の２本のグラフを平均化したもの

図 10、図 11 のグラフからわかるように、今回の実験により、正の傾きを持つ、直線に近いデータを得ることができた。なお、図 10、図 11 では、最小二乗法を利用して直線の近似を行った。過去の論文に比べてデータ数を増やしたため、より精度の高い結果を得ることができた。このデータより、0℃のときのレーザーの波長の長さを求めることに成功した。この値は製品に記載されている値と非常に近い値となった。

［４］　実験１の考察

仮説通り、レーザー装置の温度の上昇に伴いレーザーの光の波長が長くなることが確認できた。しかし、図８および図９のグラフを見ると、左右のデータにかなりの差が生じている。この原因として以下のようなことが考えられる。

１）回折格子とスクリーンの位置関係が完全に直角になっていなかった。

２）実験途中でレーザーの位置がずれた。

より精密に装置の位置関係を設定する必要があり、次回への課題として検討したい。

［５］　実験２

仮説に示したとおり、私達はレーザーの波長の伸びる原因を金属の熱膨張によるものと考え、実験で得られた値を用いてレーザー装置に使われている金属の熱膨張率を調べた。図 12 の上の図は加熱前の金属の様子を、下の図は加熱後の金属の様子を示している。

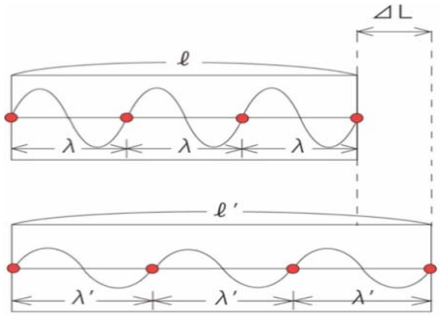

図 12　金属の熱膨張

図 12 において、λは加熱前のレーザーの波長を、λ′は加熱後のレーザーの波長

を表している。実験により得られたそれぞれの波長を以下のように表される熱膨張率の式に代入する。

$$熱膨張率 = \frac{\lambda' - \lambda}{\lambda}$$

このようにして２種類の回折格子のそれぞれを使用した場合について、金属の熱膨張率を求めた。この値と一般的に赤色レーザーに使われている金属である GaAs(ガリウムヒ素)の熱膨張率の値とを比較した。

［６］ 実験結果

測定の結果から、以下のような値を得た。

・スリット数が 500 本/mm の回折格子

→4.803×10^{-4}（1/K)

・スリット数が 1000 本/mm の回折格子

→3.580×10^{-4}（1/K)

・GaAs(ガリウムヒ素)の熱膨張率

→5.7×10^{-6}（1/K)

［７］ 考察２

私達の実験により得られた値はいずれも一般的な GaAs との値と比較して 100 倍近く異なることがわかった。

この原因として以下のような仮説をたてることができる。

1)今回使用したレーザー光に使用されている金属が GaAs ではない。

2）熱膨張以上に影響力のある要因が原因となってレーザーの波長が伸びている。

今後はこれらの課題に取り組みたい。

６. まとめ

今回私たちはレーザーの光の回折と干渉について実験を行い、レーザーの波長が温度変化によって伸びていくことを確認した。

そこで得られたデータを公式を用いて計算し、0℃のときのレーザーの波長の長さを得ることにも成功した。得られた値が製品に記載されているものとよく一致しているため、よい精度での実験を行うことができた。過去の研究の場合とは異なる温度制御を行ったことが、その精度を上げることに成つながったものと感じられる。

また、実験から得られた波長の値を用いてレーザー装置の金属が熱膨張率を求めることに成功した。今後は熱膨張について考察し、今回の実験で得られた値の研究をしたいと考えている。

最終的な目標は天体の光から情報を得ることであり、今回レーザー光を用いて実験をしたように星の光を分析したいと考えている。その過程として、発光ダイオードやナトリウムランプなどレーザー光とは異なる光についても実験を行う予定である。

７. 参考文献

[1] 「レーザー装置の温度と波長の関係」，小池剛央，大村啓輔著，2007 年度奈良女子大学附属中等教育学校 SSH 生徒研究論文集

８. 謝辞

今回の研究をするにあたってご指導いただいた藤野先生と米田先生に深く感謝します。