

「光の干渉」の授業実践

－毛髪の直径を測定する－

阿部 龍史

物理 I 「光の干渉」の単元のまとめとして、北海道立教育研究所附属理科教育センターの研修講座で紹介された回折光による干渉実験と、スライドガラスを利用した反射光による干渉実験を計画し、毛髪の直径を測定する実験授業を行ったので報告する。

[キーワード] 光 回折 反射 干渉縞 レーザー くさび形空気層

はじめに

光の波動性を示す現象は、日常あまり目にすることがない。しかし条件を整えることで比較的容易に回折現象や干渉現象を観察することができる。「光の干渉」の単元のまとめとして、毛髪の直径を測定する実験を2種類計画し、実践を行ったので報告する。

(本実践報告は筆者が札幌あすかぜ高等学校に在任していた平成23年度のものである)

1 学校の状況

札幌あすかぜ高等学校は、札幌市手稲区山口にあり、平成23年度より、旧札幌稲西高等学校と旧札幌稲北高等学校を統合して普通科フィールド制として新たにスタートした。平成23年度入学生は、進路先に応じた4つのフィールドの選択が可能である。進路実現を目指し、総合的な学習の時間を活用した進路探究活動(職場一日体験、インターンシップ、高大連携教育、上級学校見学)により全生徒に卒業後の4進路(就職、理系大学、文系大学、専門学校)をすべて体験させ、進路意識の向上をはかっている。

本授業を行ったのは、2学年の理系コース(3クラス)のうちの物理選択者(20人)であり、旧課程「物理 I」を履修している。授業中の発言や反応は活発であり、取り組みの状況は良い。

2 授業のねらい

本授業のねらいは次の通りである。

- (1) 干渉現象を利用し毛髪の直径を測定する。
- (2) 原理の異なる現象を利用しても、同程度の値が得られることを確認する。

教科書には、「光速度」の単元で光速度測定の歴史について記載がある。ガリレオ(ランプの光の往復時間)から始まり、レーマー(木星の衛星の食周期)、ブラッドリー(恒星の光行差)、フィゾー(歯車の回転)など、原理の異なる方法を用いて測定を行い、光速度の値を追究していく。このように、ある物理量を異なる原理の方法を用いて測定し、それらが一致したとき客観的な物理量として認知することができる。このような科学的態度を伝えるべく次の2つの実験で毛髪の直径を測定し、比較を試みた。

実験 A : 反射光による干渉縞

実験 B : 回折光による干渉縞

実施に当たっては実験器具の制約上、10人ずつの2班に分け、実験 A と実験 B を交代で行った。測定値は3桁とり、計算後に有効数字2桁を得られるよう指導した。できれば紙やビニール袋などの厚さも測定してみたかったが、残念ながら余裕はなかった。

3 実験内容

(1) 実験A：反射光による干渉縞

教科書や問題集などでよく見かける、2枚のガラス板を用いる実験である。干渉の単元の導入実験としても行った。スライドガラスを2枚重ね、指で強く押し付けると縞模様やニュートンリングが現れる。この現象を応用して毛髪の直径を測定しようという試みである。なお、実験A、Bとも、空気の絶対屈折率は1として処理した。

ア 手順

- (ア) スライドガラスを2枚重ねて一端を接触させ、セロテープで固定する。
- (イ) 他端に毛髪をはさみ、ガラス間にくさび型の空気層を作る。
- (ウ) ナトリウムランプの単色光を当て、生じる干渉縞の暗線の間隔を定規を用いて測定する。

イ 原理

図1で、上部スライドガラスを通過した光は空気層との境界面で一部が反射される。これを反射光aとする。反射せず透過した光は、下部スライドガラスの表面で一部が反射される。これを反射光bとする。反射光aとbの光路差が、入射光の波長の整数倍に等しいときに、弱めあいの暗線が現れる。(光bは固定端反射になり、位相がずれる)

光a、bの光路差は上下ガラスの間の空気層の厚さに比例するので、暗線の間隔は空気層の厚さを反映していると考えられ、縞の間隔から毛髪の直径を見積もる。

ガラス間にはさんだ物体の厚さを D [m]とすると、暗線の間隔を Δx [m]、ガラスの端から毛髪までの長さ L [m]、入射光の波長 λ [m]を用いて次のように表わされる。

$$D = \frac{L\lambda}{2\Delta x}$$

ウ 工夫した点

- (ア) 自然光ではなく単色光を用いた。
→自然光では7色の干渉縞が生じ、測定時に迷うのを防ぐためである。
- (イ) 新品のスライドガラスを使用した。
→古いものではガラス自体のひずみ等が原因でむらのある縞模様が生じる。

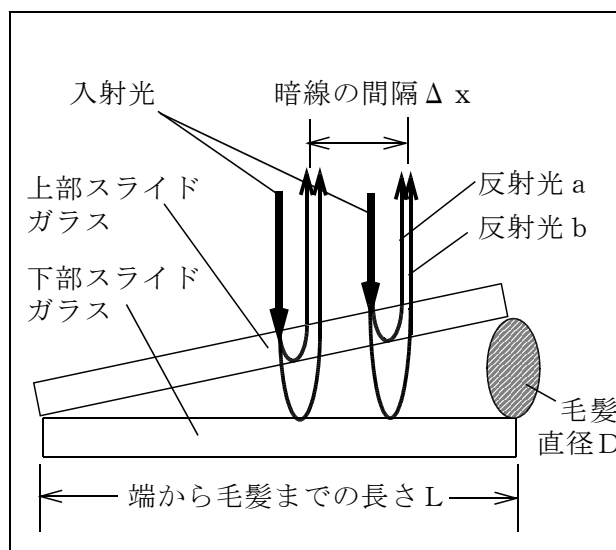


図1 実験Aの原理図



図2 干渉縞を定規で測定する様子

(2) 実験B：回折光による干渉縞

理科教育センターでの研修講座でご紹介いただいた実験である。毛髪に単色レーザー光をあてると鮮明に干渉縞が現れる。

ア 手順

- (ア) 毛髪を貼る台紙（マウント）を作成する。5 cm四方に切った工作用紙の中央に自分の毛髪の長さに応じて1～3 cm四方の穴をカッターで切り抜く（図3）。
- (イ) 自分の毛髪を1本採取し、マウントにセロテープで固定する。
- (ウ) スタンドに支持器具を2つ取り付け、上の器具にレーザーポインター、下の器具にマウントをはさむ（図4）。
- (エ) 明暗の干渉縞（図5）が床に映るよう、レーザー光の位置を調節する。
- (オ) 床にグラフ用紙を敷いて干渉縞の間隔を写し取り、明線の間隔を測定する。

イ 原理

レーザー光は同波長，同位相の可干渉な光である。波長と同程度の幅のスリットや障害物を通過するときには後方への回折現象が目立つようになる。本実験では毛髪を障害物として使用した。毛髪の両側を通過した回折光が後方のスクリーンに干渉縞を生じさせる。毛髪の直下に最も明るい0次干渉縞，その両側に1次干渉縞，以下同様に，外側に向かって等間隔にn次干渉縞（本実験ではn = 7～8）が観察される。

毛髪の直径D[m]は，マウントから床までの距離L[m]，レーザー光の波長λ[m]，干渉縞の間隔Δx[m]より次式で求める。

$$D = \frac{L\lambda}{\Delta x}$$

ウ 工夫した点

マウントの切り込みの大きさは各自で調節させた。→短髪の生徒に対する配慮。

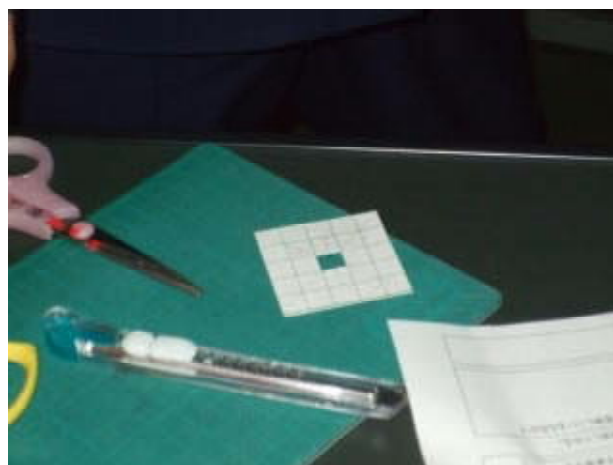


図3 マウントの作成（中央の切り込みに毛髪をはりわたす）

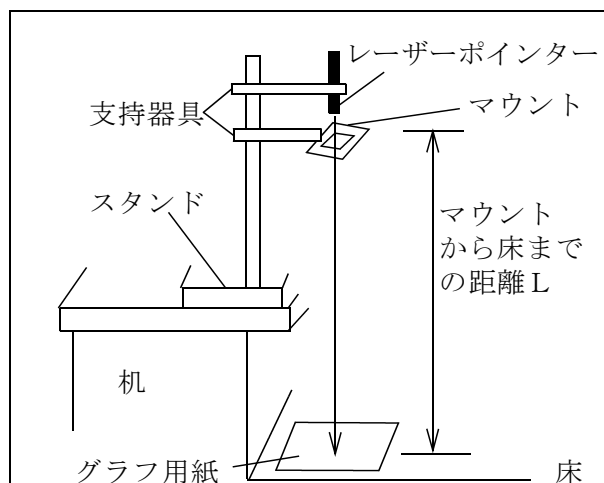


図4 実験Bの装置図

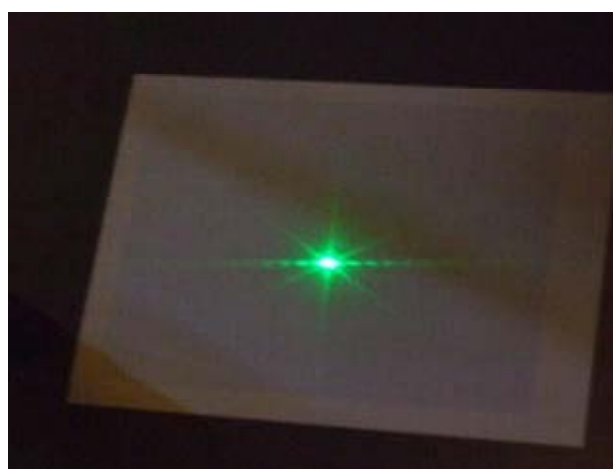


図5 毛髪による干渉縞

4 結果と考察

(1) 実験結果 (表)

日本人の毛髪の直径の平均値は、 $0.50 \sim 1.5 \times 10^{-5} [\text{m}]$ (理科教育センターテキストより) であり、この範囲内の測定値は網掛けで示した。実験A, Bとも、これに近い値が得られた。

表 実験A, Bの測定値およびその差

生徒番号	実験A [$\times 10^{-5} \text{m}$]	実験B [$\times 10^{-5} \text{m}$]	実験AとBの差 [$\times 10^{-5} \text{m}$]
1	8.4	1.3	7.2
2	2.5	7	1.8
3	27.0	28.0	1.0
4	7.2	1.2	6.0
5	8	1.4	6
6	7.2	1.0	6.2
7	6.5	1.6	4.9
8	8	1.3	5
9	78.0	—	—
10	—	53.0	—
11	—	140.0	—
12	1.2	1.4	2
13	7	1.5	8
14	4.1	—	—
15	7.2	8	6.4
16	—	—	—
17	30.0	8	29.2
18	1.3	9.3	8.0
19	1.1	1.1	0
20	7.1	8	6.3
平均	9.5	12.0	2.8
日本人の平均値内の測定値	6件	12件	—

注:「—」は測定できなかったことを示す。

(2) 実験Aについての考察・課題

- ア 暗線間隔の測定が難しかった。
- イ 新品のライドガラスを使用した。ガラス自体のひずみによる干渉縞が生じたものもあった。

(3) 実験Bについての考察・課題

- ア 明線が明瞭であり、測定しやすい。
- イ マウントを自作し、大きさを調節できるようにしたことが良かった。

(4) 全体を通して

終了後、理科センターの伊藤先生、松田先生と協議を行い、貴重なご指摘、ご助言をいただいた。主な内容は次の通りである。

ア 授業の構成について

実験のねらいや原理についての説明が不十分であった。これらは前時に説明済みであったが、新学習指導要領の目標にもあるとおり、「目的意識を持って」観察、実験を行うことを意識させていきたい。

イ 実験の内容について

実験AとBで別々の毛髪を使用したため、測定値を単純に比較できなかった。毛髪をマウントに貼りつける必要があったため、それをはがして実験Aに使うのが難しく、別々の毛髪を使用したのだが、比較という目的は達せられなかった。

ウ 生徒の様子について

測定や計算に抵抗感を示さず、積極的に取り組んでいた。

おわりに

本授業では失敗や反省が多かったが、生徒の感想を見ると、毛髪の直径を測れることに驚いたり、異なる原理による測定の意図を察したりと、本実験のねらいはある程度伝わったと思う。

本授業を実施するにあたり、北海道立教育研究所附属理科教育センターからレーザーポインターをお借りするとともに研修講座の資料を活用させていただいた。改めてお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 北海道立教育研究所附属理科教育センター 理数教育研修講座平成22年度 (物理・化学) 講座テキスト
- 2) 川勝博 川勝先生の物理授業 (下) 海鳴社

(あべ たつし 北海道幕別高等学校)