

「フーコー理論による光速測定の研究」

高知小津高等学校 理数科3年

伊賀 一哉, 沖村 光司, 安岡 大基

「A Study of the velocity of light Measurement by the Foucault's theory」

Kochi Ozu High School

Science and mathematics course A third grader

Kazuya Iga, Koshi Okimura, Daiki Yasuoka

1 研究の概要

平成18年度から、初めて実験室内で光速を測定したフランスの物理学者フーコーの理論に基づいて、光の速さを求める研究を始めた。4年目となる本年度も、その研究を引き継いで、物理実験室内で光速をできるだけ正確に測定する研究に取り組んでいる。

2 目的

これまでの研究を引き継ぎ、フーコーの理論に基づき、実際に実験室内で光の速度をできるだけ正確に求めることに挑戦する。

また、センター模試などにも出題された光速をを求めるフーコーの理論と原理を理解し、物理に対する理解を一層深める。

3 方法

(1) フーコーの測定原理

光源とするグリーンレーザー光を、回転鏡に当て反射鏡に送る。回転鏡を静止させておくと光は同じ道筋を戻ってくるが、回転鏡を高速に回転させると、光が回転鏡と反射鏡の間を往復する間に回転鏡が回転するので、反射光の道筋が変化する。

図1で、回転鏡がAの位置の時に時刻 $t = 0$ 、Bの位置の時に時刻 $t = \Delta t$ とすると、 Δt 間で往復する距離が $2l$ であることから、

$$\text{光の速度 } c = \frac{2l}{\Delta t} \dots\dots\dots \text{①}$$

ここで、回転鏡とスクリーンの間において

$$\Delta l = a \times 2\theta \dots\dots\dots \text{②}$$

$$\text{さらに、} \theta = \omega \Delta t \text{ と } \omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi n \text{ より}$$

②式は、

$$\Delta l = a \times 2 \times 2\pi n \times \Delta t$$

これより

$$\Delta t = \frac{\Delta l}{a \times 2 \times 2\pi n}$$

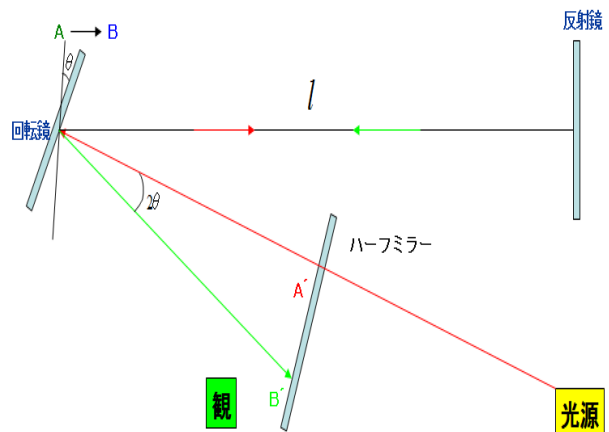
この式を、①式に代入して

$$c = 2l \times \frac{a \times 2 \times 2\pi n}{\Delta l}$$

$$\therefore c = 8\pi an \frac{l}{\Delta l} \dots\dots\dots \text{③}$$

③式中の回転鏡とスクリーン間の距離 a [m] と回転鏡と反射鏡間の距離 l [m] を測り、回転鏡の回転数 n [回/s] とスクリーン上の光点の移動距離 Δl [m] を測定すれば、光速が算出できることになる。

なお、実際には、光点の移動距離がよく分かるように光源と回転鏡の間にハーフミラーを置き、測定実験(図1)を行う。

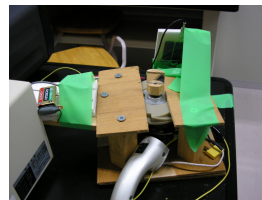


【図1】

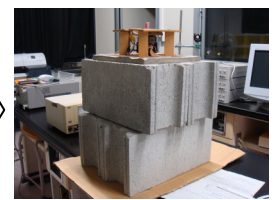
(2) 測定の実施

① 回転鏡の改良

当初は、掃除機を解体して得たモーターを利用して製作した回転鏡(図2)を使用していたが、固定が十分ではなかったため、コンクリートブロックなどを用いて安定化を図った(昨年度)。これにより、回転鏡全体が回転の振動で動く心配が全くなかった(図3)。



【図2】



【図3】

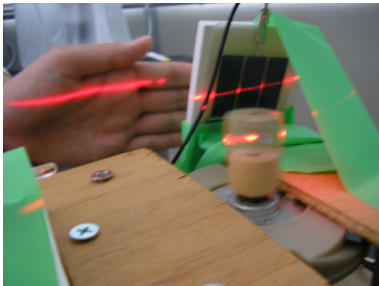
② 回転鏡の回転数の測定

回転鏡のモーターに交流電源装置をつなぎ、回転数を自由に調節できるようにしたが、この回転数が分からないと光速を求めることができない。その

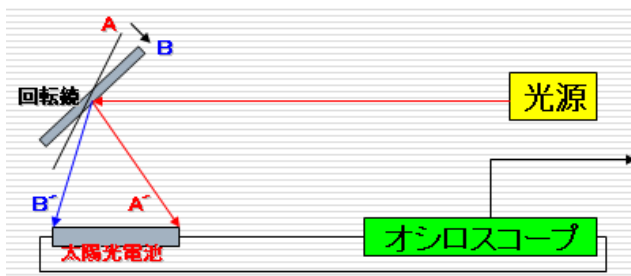
ため、次のようにして回転数の測定を行った。

回転する回転鏡から反射してくるレーザー光を太陽光電池（ソーラーパネル）で受光し、オシロスコープを使って、このときに発生するソーラーパネルの電圧の変化を測定し、回転数を求めた（図4、図5）。

オシロスコープに表示される波形の一波長の目盛数に、1目盛の時間をかけることで、一周期の時間が分かるので、これから回転数 n が求められる。



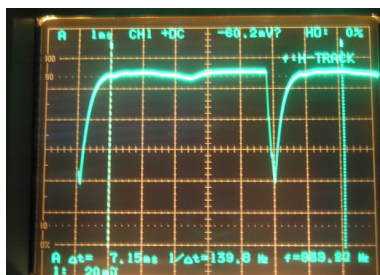
【図4】



【図5】

〈測定例〉

電圧約18V、1目盛間の時間が1msの時に、一周期の間は約6目盛だったので、一回転に約6ms要することがわかる。（図6）



【図6】

$$6 \text{ (目盛)} \times 1 \text{ (ms)} = 6 \text{ (ms)}$$

これより、 $6/1000 \text{ s}$ で一回転していることが分かる。

よって、一秒間の回転数は周期の逆数であることから求めることができるので、

$$1000/6 \div 167 \text{ Hz}$$

従って、一秒間に約167回転していることが分かる。

なお、今回の実験では、回転数を、限界値に近い250 [回/s]にして行った。

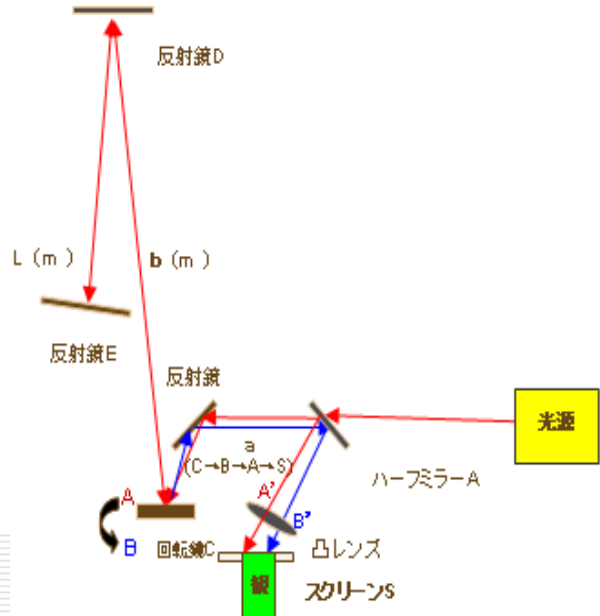
③光速の測定

物理実験室内で行うため、最終的には、次の図7の

ように測定に必要な各装置を設置して測定を行った。

この場合、③式中の a と l は次のようになる。

$$a = CB + BA + AS, \quad l = b + L$$



【図7】

(3)工夫した点

今回の研究で工夫した点は次の通りである。

○反射鏡の数を1つ減らして光の散乱を防いだ。

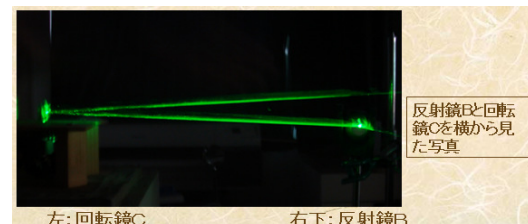
（光が回転鏡と反射鏡を往復する距離は十分であったが、光の散乱により、戻ってくる光が十分でなくなっていた。）



【図8】

○回転鏡Cからの反射光が反射鏡Bに直接当たらないように回転鏡Cと反射鏡Bに高低差をつけた。

（これにより、反射鏡D、Eで返ってきた光だけが、反射鏡Bにもどるので、スクリーンでのずれが測定しやすくなった(図9).)



左: 回転鏡C 右下: 反射鏡B

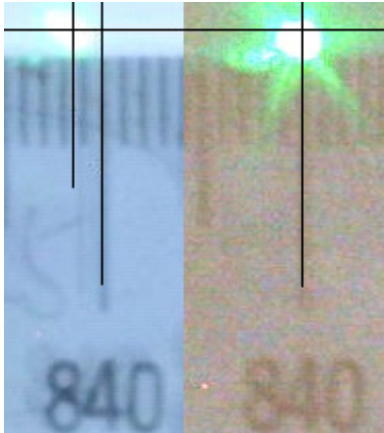
【図9】

4 結果

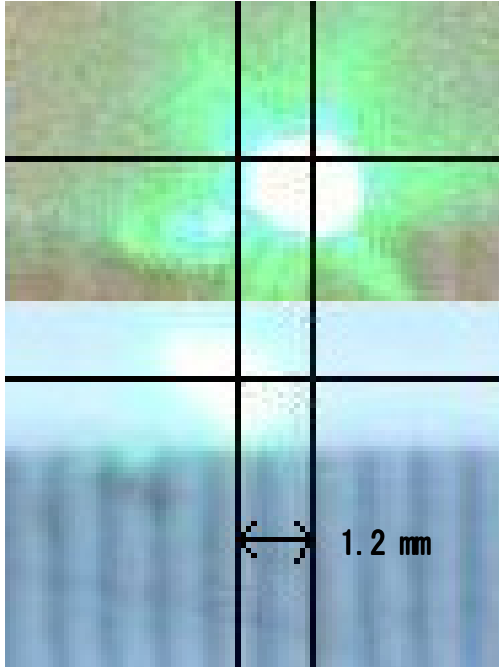
$a = 3.575(\text{m})$ 、 $L + b = 15.95(\text{m})$ 、として、測定を行ったところ、スクリーン上の光点の移動は図 10 のようになった。

昨年度に続き、今回もこの移動距離を測定するのに、一眼デジタルカメラのバルブ機能を用いて 20 秒程度の露光時間で撮影した。

この時、定規と一緒に撮影し、この画像を拡大比較 (図 11) して、定規の 1 目盛りの長さから移動量 Δl を算出した。



回転中 回転前
【図 10】



上：回転前 下：回転中
【図 11】

Δl の結果は次のとおりとなった。

$$\Delta l = 1.20 \times 10^{-3} \text{ (mm)}$$

以上から、光速度 c を計算すると、

$$c = 8\pi a n \frac{b + L}{\Delta l}$$

$$c = 8 \times 3.14 \times 3.575 \times 250 \times \frac{15.95}{1.20 \times 10^{-3}}$$

$$c \doteq 298,411,208(\text{m/s})$$

$$c \doteq 3.0 \times 10^8 (\text{m/s})$$

およそ秒速 30 万 km が求められた。

5 まとめ

今回の実験では、これまでの方法に工夫を加え、改善することで、光の速度をかなりの精度で測定することができた。

研究三年目でようやく、満足のいく光速度の値を測定することができた。しかし、まだ一度しか測定に成功していないので、今後も同様な結果が出せるように実験を行い、結果をより確実なものにしたい。

6 参考文献

- ・『いきいき物理わくわく実験 2』愛知・岐阜・物理サークル編著 日本評論社
- ・『SOPHIA21 現代総合科学教育大系 8 現代物理の世界』講談社
- ・『理解しやすい 物理 I・II』近角聰信／三浦登 共著 文英堂
- ・『高等学校 物理 I 教授資料』数研出版
- ・『光速度の測定 ～フーコーの方法の改良～』大阪府教育センター研究発表

7 指導教員から

研究も 4 年目となっている。測定手順はほぼ確定したが、測定結果が理論どおりえられない状態が続いている。

昨年度は、工夫点を見出して改善を加え、満足のいく測定に成功したが、誤差の範囲内であった疑いも残る。

本年度の研究チームのメンバーは手先が器用でセッティングがうまく、反射鏡を一つ増やし、反射距離を長くして実験を行っている。反射距離を長くすれば、スクリーンに帰ってくる光のずれ Δl が大きくなるので、有利になるはずである。

今回は、これまでの成果と本年度の途中経過を発表させていただく。

今後につながる貴重なアドバイスなどが、いただければ、幸いである。