

光のはなし

光速度の測定，マイケルソンーモーリーの実験

1. はじめに

■ 光の正体は何か

昔の人々は，光は何よりも早く瞬間的に伝わるので，光の速さは無限大ではないかと考えた。

また，星の光は，真空の宇宙空間を通過して，地球に届いているので，光は高速度で飛んでいく，微粒子かガスのようなものであろうと考えられた。

ところが 19 世紀になって，光の干渉や回折などの実験で，光は波動性を示すことが明らかになった。

■ 光を伝えるエーテル

真空中を光の波が伝わるのなら，真空中にも光の速さを伝える媒質がなければならぬ。これを，光の波を伝えるエーテルと名づけた。

光の速さは，この静止したエーテルに対する速さと考えられるようになった。

そして，エーテルのさまざまな性質や，エーテルが実在することを実験的に証明するには，どうしたらよいか，研究が行なわれた。

■ さて，アインシュタイン（1879～1955年，ドイツ）は，19世紀の物理学を迷わせた，このようなエーテル説の問題に，どのような解決を与えたのでしょうか。

2. 光速度の測定 —測定をめぐる歴史—

(1) 光の性質

一様な物質の中では直進し，異なる物質の境界面では，反射及び屈折をする。波の性質をもち，回折現象を起こす。

(2) 光の速さは，どうやって測るのか。

17世紀には，無限に速いと思われた光の測定をしようとする人々が現れた。

● ガリレイ（1564～1642年，イタリア）

ガリレイとその弟子は，ランプを持って約1マイル離れた山の頂上に立ち，光の速さを測定しようと試みたが，光が速すぎてうまくいかなかった。400年前。

● レーマー（1644～1710年，デンマーク）

1676年，初めて科学的に光の速さを求めた。木星の衛星イオの“食”の観測から，

光速度 22 万 km/s を得た。

- **フーコー** (1819~1868年, フランス)

1862 年, 実験室内で初めて光速度を測定し, 光速度 29.8 万 km/s を得た。

■ **参考** 当初, 光の速さが無限大ではないというこの結果は, なかなか受け入れられなかった。なぜなら, 時間はいつでもどこにいる観測者にも共通に経過するものと考えられ, 相対論の概念はまったくなかったからである。

- **1945 年以降**

エレクトロニクスの進歩により, マイクロ波技術による光速度の測定

- **1970 年前後**

レーザーを用いた高精度な光速度の測定

(3) 光の速さは, どのくらいか

- 真空中での光速度 c (定数)

$$c = 299,792,458 \text{ m/s}$$

▶ 秒速 30 万 km, 1 秒間に地球を 7 周半 (1983 年, 国際度量衡委員会, 1 メートルの定義)

3. マイケルソン-モーリーの実験

(1) 実験の目的・原理

地球の進行方向と, 直角な方向の, 光速度の差から, 地球とエーテルの相対運動を検出しようとした。

マイケルソン干渉計を用いる。1887 年。

■ **参考** 東西方向を往復する光と南北方向を往復する光の速度の違い, すなわち光速度の異方性によって生じる干渉縞のずれを検出しようとする実験である。

(2) 実験の結果

干渉縞のずれは, 観測されなかった。

(3) 結果の意味するもの

静止エーテルの仮説は正しくないことがわかったと, 論文で公表した。

▶ 後に特殊相対性理論の実験的基礎とみなされるようになった。

■ **参考** 従来の自然科学的原理や理論と実験との間に, このような重大な食い違いが生じた。

光がエーテルの中を一定の速さで進み, 地球がエーテルに対して運動しているなら, マイケルソン-モーリーの実験で, 必ず, 干渉縞のずれが観測されていたはずである。

そこで, このような矛盾を解決しようとするさ

まざまな仮説が提案された。

4. まとめ —現代の解釈—

- 光の速度は、最も重要な基礎定数のひとつである。
- マイケルソン—モーリーの実験は、エーテルに対する地球の運動が検出されないことを示した。
- 1905年、アインシュタインは、このマイケルソン—モーリーの実験事実に基づいて、エーテルの概念を否定し、空間自体が光（電磁波）を伝える性質をもつと考えた。

光速度不変の原理を立てて、特殊相対性理論を構築し、これまでに矛盾を解決した。

■ 参考 空間が粒子の位置を決定するための単なる枠に止まらず、一つの物理的対象と考えられているところに、新しい意味がある。

ちなみに、特殊相対性理論によれば、慣性系でマイケルソン—モーリーの実験をしたとき、干渉縞のずれは観測されない。

5. 本日の実験

5-1 光速度の測定（フーコーの実験）

図1のように、回転鏡Rを用いて、反射鏡Mで反射されて、もどってきたレーザー光を、ガラススケールG上で観測する。

回転鏡が高速で回転しているとき、もどってきた光は、G上でもとの位置からずれた位置に観測される。

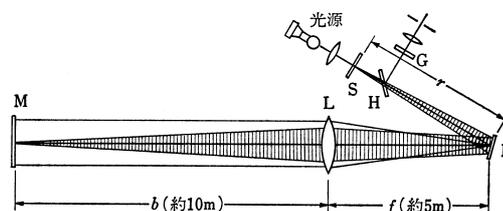


図1. 光速度の測定，光学系の配置

このずれ s から、レーザー光がRとMとの間を往復するのに要した時間を求め、往復した距離 $2(f + b)$ とから、求める光の速度 c は、

$$c = 4(f + b)\omega r / s$$

となる。

ここで、 ω は回転鏡の角速度である。

今回は、G上でどれくらいずれるのかを目視で観測する。

5-2 マイケルソン干渉計

図2のように、マイケルソン干渉計を用いて、レーザーの干渉縞を、スクリーン上で観察する。

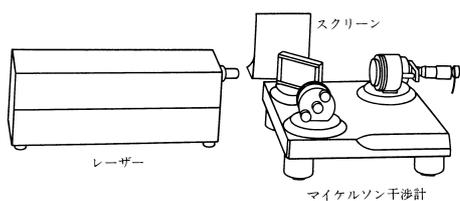


図2. マイケルソン干渉計, 実験装置

■ 注意事項

レーザー光は、通常の光源からの光に比べ、高いエネルギー密度を持つ。直接光や反射光などが目に入らないように、十分注意して下さい。

✚ 参考図書

- (1) 『アインシュタインとボーア』
日本物理学会編, 裳華房, 1999年.
- (2) 『アイザック・アシモフの科学と発見の年表』 丸善, 1996年.
- (3) 『六訂 物理学実験』 三省堂, 1993年.
- (4) 『物理学辞典』 培風館, 1992年.