

# マイクロ波による光速の測定

小河 貴博 石橋 多郎 高田 翔 宮前 慧士  
指導者：仲達 修一

## 要 旨

本研究では、マイクロ波を用いて光速を測定するための装置を製作し、その装置を用いて、波長を測定することによって光速を算出する方法の妥当性を検討した。また、複数の測定方法を考案してより良い測定方法を探った。その結果、自作の実験装置とマイクロ波を用いた測定方法の妥当性を明らかにすることができた。

In our research, we measured the speed of light by measuring the wavelengths of microwaves using some devices that we originally made, considering the validity of our method. We measured it in two ways and compared which of the two ways was more accurate. As a result, we were able to prove the validity of our method.

キーワード：マイクロ波，光速，干渉，定常波，波長

## 1. 序論

マイクロ波は光と同じく電磁波であるから、光速とマイクロ波の速さは同じである。

また波の速さは

$$v = f\lambda \cdots (1)$$

( $v$ : 速さ[m/s]  $f$ : 周波数[Hz]  $\lambda$ : 波長[m])

という式で表される。

光速の測定方法としては、フィゾーの実験などが知られている。また、光の干渉を用いる方法もあるが、電磁波であるマイクロ波の波長を測定することによって光速を求めることが可能であると考えた。光の干渉と異なる点は、波長が3cm程度のため、スリット間隔を最適なものに容易に調整することが可能なことである。本研究では、周波数10GHzのマイクロ波と、自作の二重スリット、ディテクター移動装置を用いて、そしてマイクロ波が干渉する性質に注目して波長を測定し、マイクロ波と自作の装置を用いて光速が測定可能か検討した。また、複数の方法で光速を測定し、より良い光速の測定方法を調べた。今回の光速の文献値は文献<sup>1)</sup>より $3.00 \times 10^8$ [m/s]を用いた。

### 性質1. 波の干渉

文献<sup>2)</sup>によると、「2つ以上の波源からきた波が、波の重ね合わせの原理によって、互いに強めあったり

弱めあったりする現象。」<sup>2)</sup>である。

### 性質2. 定常波

文献<sup>2)</sup>によると、「振幅の分布が変わらない波。波の波面が止まって見えるような波。波長と振幅が同じ2つの波が互いに反対向きに進み、干渉するとできる。」<sup>1)</sup>である。

### 性質3. マイクロ波の反射

マイクロ波は金属板になるとほとんど透過せず、反射する。<sup>3)</sup>このことから、私たちは安価に手に入るアルミニウムを用いた。プラスチックダンボールをアルミニウムで覆ったものをアルミ板とした。

## 2. 研究内容

本研究では、マイクロ波を検出するディテクターをアルミ板に対して平行に移動するための装置を製作した(図1)。また、アルミ板を立てる台を製作した(図2)。マイクロ波発生装置とディテクターは学校にあるものを用いた(図3)。マイクロ波発生装置は、島津製 Microwave Demonstrator Type MW-3R Klystron Transmitter 10GHz (3cm)である。また、ディテクターは図3の電圧計の左にある円柱の形をしたものである。アンプ(図3の右端)を通して、マイクロ波の強さを電圧に変換する仕組みである。電圧計の針

を読み取ることによって、マイクロ波の強さの極大、極小の位置を特定した。アルミ板の二重スリットは縦15cm、横2cm、スリットとスリットの間隔（中心から中心の距離）は3cmのものを作った（図4）。

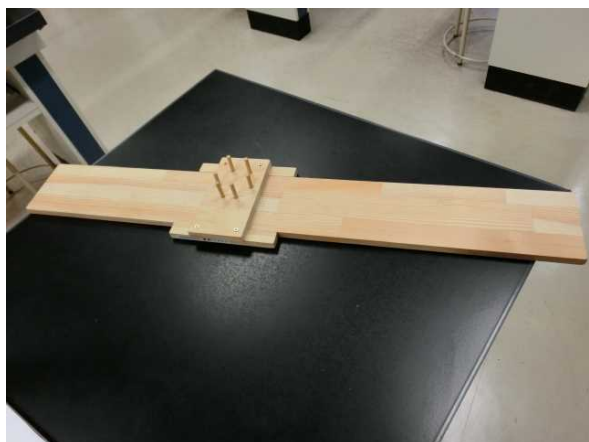


図1 ディテクター移動装置



図4 アルミ板

### 実験1. 二重スリットによる光速測定

#### <目的>

二重スリットを用いてマイクロ波を干渉させ、光速が測定可能かどうかを検討する。

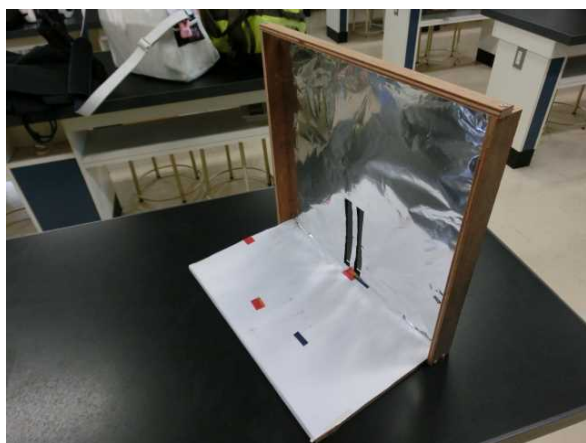


図2 アルミ板の台

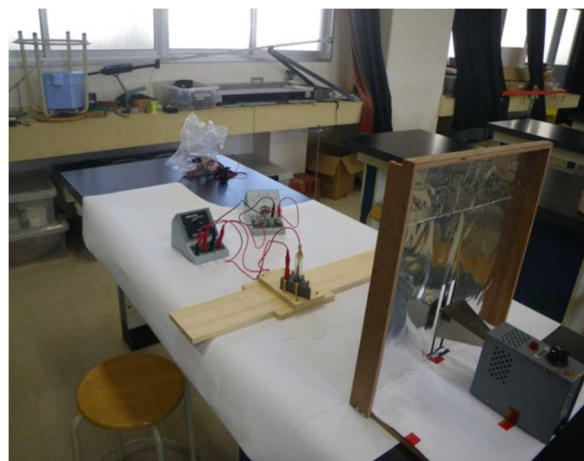


図5 装置配置図



図3 マイクロ波発生装置とディテクター

#### <実験>

図5のように実験装置を配置し、電圧計を見ながらディテクターをスリットに対して平行に移動させて極大、極小の位置に印を付けた。ただし、点を記録するとき、ディテクターの受信部の真下には書けないので、ディテクターの先端部分で点を記録して最後に受信部の真下から先端の距離のずれを修正した。ディテクターの位置をスリットからさらに離し、同じように測定する。それぞれのスリットから各点までの距離 $l_1$ 、 $l_2$ を測る。図6はマイクロ波干渉の模式図である。

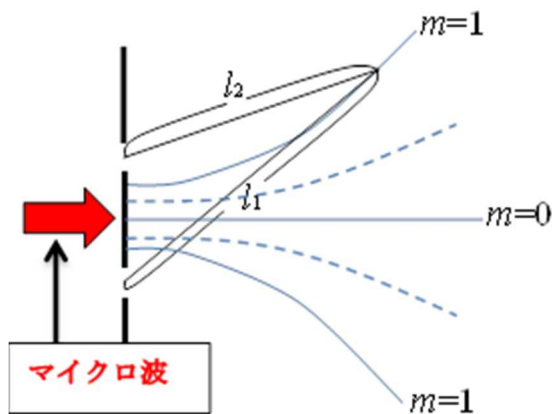


図6 干渉の模式図

極大(図6の実線上の点)の場合, その差は波長の整数倍すなわち

$$|l_1 - l_2| = m\lambda \quad (m=0, 1, 2, \dots) \dots(2)$$

となる。また極小(図6の点線上の点)の場合,

$$|l_1 - l_2| = (m + \frac{1}{2})\lambda \quad (m=0, 1, 2, \dots) \dots(3)$$

となる。これを利用して波長を求めた。さらに式(1)に求めた $\lambda$ を代入して、マイクロ波の速さ、すなわち光速を計算して求めた。この方法によりデータを集め、表1に整理した。

<結果>

実験結果を次の表1に示す。

表1 実験1の測定結果

|      | 波長の<br>平均値[m]         | 光速の<br>平均値<br>[m/s] | 標準誤差<br>[m/s]      |
|------|-----------------------|---------------------|--------------------|
| 極大   | $2.26 \times 10^{-2}$ | $2.26 \times 10^8$  | $0.04 \times 10^8$ |
| 極小   | $3.25 \times 10^{-2}$ | $3.25 \times 10^8$  | $0.06 \times 10^8$ |
| 全データ | $2.87 \times 10^{-2}$ | $2.87 \times 10^8$  | $0.07 \times 10^8$ |

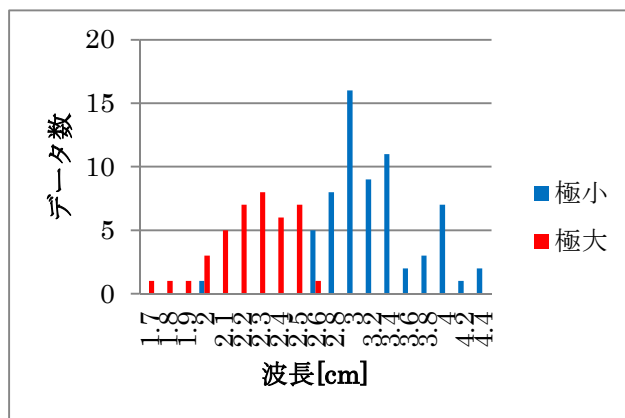


図7 波長の値とデータ数を表したヒストグラム

表1の全データから光速は $(2.87 \pm 0.07) \times 10^8$ [m/s]というデータが得られた。

読み取り誤差は約 $0.2 \times 10^8$ [m/s]であると見積もられるので光速は測定可能といえる。

表1にある、極大、極小のみのデータから求めた値をそれぞれ見てみると、極大は極小に比べてデータが文献値から大きく離れていることが分かる。これは極小に比べて極大は電圧計の針の動きが読み取りにくく、極大の位置を特定することが難しかったためだと考えられる。

図7によると極大に比べて極小の方が波長 $3.0 \times 10^{-2}$ [m]に近い値が多く得られていたことが分かる。しかし、大きく外れているデータもかなりあることが分かる。これは、測定用の物差しメモリがmmまでしか読み取れないことや、マイクロ波発生装置が発生させる周波数の正確さなどの測定誤差が原因だった可能性が考えられる。

## 実験2. 定常波による光速測定

<目的>

入射波と反射波が干渉してできる定常波を用いて、光速が測定可能かどうかを検討する。



図8 装置配置図

<実験>

図8のように実験装置を配置する。アルミ板は実験1で用いたもののスリットのない部分を使用した。マイクロ波発生装置とアルミ板の間に定常波ができていると考えた。電圧計を見ながらディテクターをアルミ板と垂直に移動させて極大、極小の位置を特定した。図8のように実線が腹、破線が節になると考えた。

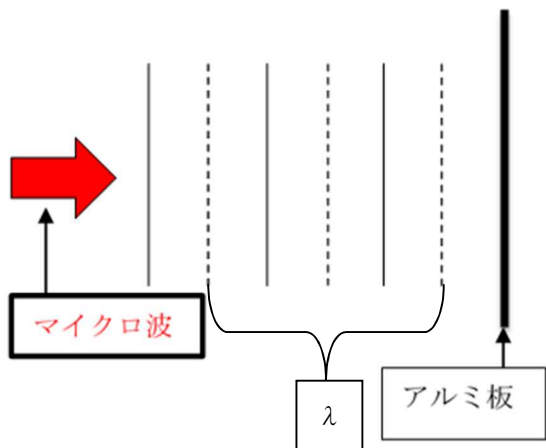


図10 定常波の模式図

ある極大(実線)から2つ隣の極大(実線)まで、またはある極小(破線)から2つ隣の極小(破線)までの長さ、つまり1波長分の長さを測る。この方法で求めた波長 $\lambda$ を(1)式に代入して光速を求めた。

<結果>

実験結果を次の表2に示す。

表2 実験2の測定結果

| 波長の<br>平均値[m]         | 光速の<br>平均値[m/s]    | 標準誤差<br>[m/s]      |
|-----------------------|--------------------|--------------------|
| $2.94 \times 10^{-2}$ | $2.94 \times 10^8$ | $0.01 \times 10^8$ |

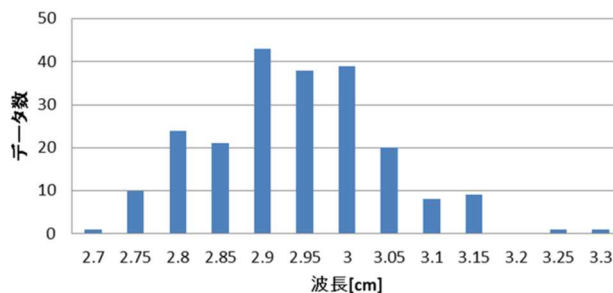


図10 波長の値とデータ数の関係を表したヒストグラム

図10に示したデータより、光速が  $(2.94 \pm 0.01) \times 10^8$  [m/s] という結果が得られた。読み取り誤差を見積もると約  $0.16 \times 10^8$  [m/s] となり光速は測定可能と言える。

また、誤差は実験1のものと同様の原因が考えられる。

3. 結論

メーカーに問い合わせたところ、マイクロ波発生装置の誤差は 10.0~10.5GHz の範囲であることが分かった。仮に、光速を  $3.00 \times 10^8$  [m/s] とすると、対応する波長は 2.86[cm]~3.00[cm] となり、実験1、実験2ともに測定した波長(実験1は 2.87cm, 実験2は 2.97cm)は、いずれもこの範囲に収まっている。このことから、この自作の測定装置とマイクロ波を用いた光速の測定方法が妥当であることを明らかにすることができた。また、実験2  $\{(2.94 \pm 0.01) \times 10^8$  [m/s] $\}$ の方が実験1  $\{(2.87 \pm 0.07) \times 10^8$  [m/s] $\}$ に比べて標準誤差が小さいことから、実験2の方が正確に光速を測定することができたと考える。

今後はより正確な光速を測定するために、さらに多くのデータを集めるとともに、装置による誤差を小さくするためのより精密な装置と測定方法を考案したい。

【文献】

- 1) 國友 正和, 著者 他 10 名 : 物理. 数研出版  
株式会社, p.424 (2013).
- 2) 用語監修 藤澤 皖, 用語解説 北村 俊樹 : 英  
和学習基本用語辞典 物理. 株式会社 アルク  
(2009 年)
- 3) ミクロ電子株式会社  
<http://www.microdenshi.co.jp/microwave/>