

「メルデの実験」の可視化を容易にする実験装置の改良

吉田慎吾

Yoshida Shingo

大分大学大学院教育学研究科

【キーワード】メルデの実験、波動の視覚化、物理実験、実験装置の改良

1. はじめに

平成 21 (2009) 年 3 月に高等学校の学習指導要領が改訂され、平成 25 年度入学生から本格実施された。今回の改訂により理科の時間が増加し、文部科学省は高等学校学習指導要領の改訂のポイントとして理数教育の充実を挙げている。しかし、このように理数教育の充実が求められてはいるが、理科に苦手意識をもつ子どもは少なくない。また、文部科学省告示の高等学校指導要領では、学習すべき科目を改善し、必修科目については、「科学と人間生活」、「物理基礎」、「化学基礎」、「生物基礎」、「地学基礎」のうち「科学と人間生活」を含む 2 科目、又は、「物理基礎」、「化学基礎」、「生物基礎」、「地学基礎」のうちから 3 科目としている。このことにより、基礎的な科学的素養を幅広く養い、科学に対する関心をもち続ける態度を育てるとともに新規項目が設定されることやそれに伴い授業時数の増加がなされ、より一層の内容の深化も行われている。その中で計算を用いて学習する内容が大半を占める物理は生徒に毛嫌いされている。また、深澤優子(2005)においても波動の分野は物理領域の中で最も苦手とされる分野の一つであると示されている。波動の分野が苦手とされる理由として、波動と言うと水に波が生じるということだという小学生の理解レベルでとどまっておき波動の概念を熟知しているとは考えにくいことと、波は動くために視覚的に捉えることが難しいことなどにより、波動の分野を理解することの妨げとなっている

のではないかと考えられる。そこで、本研究では波動の分野の理解を促すべく「メルデの実験」を取り上げ、波を視覚的に捉えることが困難であるという事に焦点を当て、波動を視覚化することで、生徒の波動の概念の習得の手助けをすることのできる実験装置の作成を目的とした。

2. 実験装置

実験装置の開発・改良を行うに当たり、既存の振動子では縦と横の両者の波の成分を持っていることと実験装置の糸の長さを調節する操作が困難であるといった問題点があった。この問題を解決すべく、以下のように装置の制作・改良を行った。

(1) 振動子の作成

この振動子では、図 1 のようなコイルに電流を流した際に生じる磁場と永久磁石の磁場を利用し引力、斥力によって振動するという構造とした。

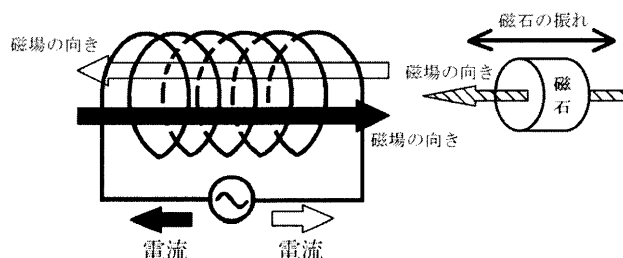


図 1. 振動子の構造

コイルに流す電流を交流電流とすることで、一定周期で流れる電流の向きが変わるにことに伴い生じる磁場の向きも変化する。この磁場の向きが変化するコイルに隣接するように、永

久磁石を置き、極性の変化を磁石の運動に置き換える仕組みを作成した。コイルには 0.32mm の銅線、永久磁石には $\phi 12 \times 5$ 380mT のネオジム磁石を用いてばねとともにプラスチック容器に収納することで直線運動のみ可能とした。しかし、このコイルと磁石の組み合わせでは、振動が弱く波長の読み取りが困難であった。そこで、銅線はそのままコイルの巻き数を 2 倍にし、ネオジム磁石を $\phi 12 \times 10$ 476mT のものに取り替えた。この組み合わせで振動子を作成したところ振動が強くなり波長を読み取ることが容易なものとなった (図 2)。

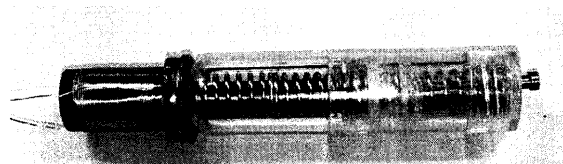


図 2. 作成した振動子

(2) 定常波装置の改良

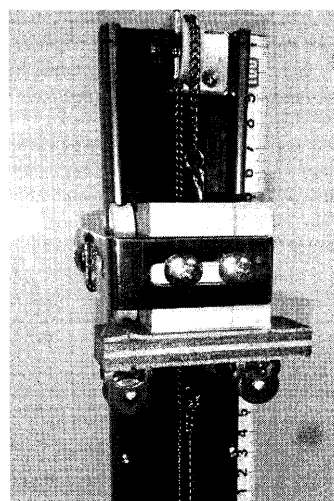


図 3. 改良した定常波装置

次に振動子が発生する振動を定常波として可視化するため、糸の長さを調整する装置を改良した。振動を定常波として固定するためには、糸の長さの調節を容易にしなければならない。そのため滑車を台車に取り付け、その台車を移動させることで糸の長さの調整を行うこととした。台車は、加工がしやすく軽量の木材に滑車を取り付けたものである。この台車の上下にチェーンを取り付け、レールの上を上下に移動するという構造の装置とした (図 3)。台車がレール上を移動することで、台車の横へのぶれを少なく安定したものとなり、糸の長さの微調節が容易となった。しかし、この定常波装置を横に倒したときに台車の

ベアリングが浮いてしまうという問題が生じたので、裏側からベアリングを用いて台車の動きの妨げにならないようにしながら、台車のベアリングがレールから浮き上がることをおさえた。

3. 実験方法

作成した実験装置に、振動子を取り付けた。その振動子に糸の片側を結び付け、その糸の反対側には先に S 字フックを結び付けておき、その S 字フックに重りを乗せる皿を取り付けた。そして、ワニ口付きクリップを用いて、交流電源と振動子のコイル部分を接続した。ここで使用する電源は、交流電源装置による 50Hz の交流である。また、この回路に流れる交流電流の値はテスターにより測定した。このように回路をつないだ後、糸に取り付けた皿の上に重りを置いて糸の張力を調節した。この際に重りは、10, 15, 20 g の 3 つの分銅を用いて糸の張力を変化させた。ここで、交流電源のスイッチをいれ回路に交流電流を流し、テスターを用いて交流電流の値が 0.70A、交流電圧が 18V 程度になるように交流電源の電圧を調節した。そして滑車のついた台車を上下に移動させ、定常波の節の数が最大で波の振幅が最も大きく発生した位置で台車を止めた。そして、この時に発生した波の節の位置をその横に取り付けた目盛りにより波長を測定した。

さらに、この実験では張力を変化させるだけではなく、線密度も変えて実験を行った。そのために 3 種類の糸を用いた。この 3 種類の糸は線密度を考慮し質量の異なるものを使用しており、太い糸ほど質量が大きい。そこで糸の区別をするために糸が太い順に大、中、小の糸とし、以下はこのように表記する。またここで使用した糸は、大の糸が綿のたこ糸、中の糸がポリエステル製のたこ糸、小の糸がポリエステルのミシン糸である。

このように、張力と線密度の 2 つの条件をそれぞれ変えて実験を行った。また、実験装置を

縦にしているとき、すなわち振動子の振動が糸に対して垂直な場合に発生する波（以下、縦の波）と、実験装置を横にしているとき、すなわち振動子の振動が糸に対して平行な場合に発生する波（以下、横の波）それぞれの波での波長を前述の方法で測定した。その測定した波長から交流の周波数を算出した。そして、算出した交流の周波数と交流電源で設定している交流の周波数とを比較しその誤差を求めることで、この実験装置の有用性について検討した。

4. 実験結果

読み取った波長 λ [cm] より交流の周波数 ν

[Hz] を求める際、線密度を ρ [g/cm], 分銅と皿, S 字フックそれぞれの質量を合わせたものを M [g], 重力加速度を g [m/s²] とすると縦の波では,

$$\nu = \frac{1}{\lambda} \sqrt{\frac{Mg}{\rho}} \quad [\text{Hz}]$$

に代入して計算し、横の波では,

$$\nu = \frac{2}{\lambda} \sqrt{\frac{Mg}{\rho}} \quad [\text{Hz}]$$

に代入して計算することで、交流の周波数を求めることができる。

改良を行った実験装置を用いた実験の結果を次の表 1, 2 である。

表 1. 横の波における実験結果

糸 (線密度 [g/cm])	波長 [cm]			周波数 [Hz]		
	10g	15g	20g	10g	15g	20g
ポリエステルのみシン糸 (0.00021)	150.7	178.7	測定不可	49.8	49.9	測定不可
ポリエステルのたこ糸 (0.00231)	46.1	53.8	59.6	49.0	50.0	51.3
綿のたこ糸 (0.00648)	27.7	31.9	36.2	49.0	50.6	50.6

(波長は 10 回の平均値)

表 2. 縦の波における実験結果

糸 (線密度 [g/cm])	波長 [cm]			周波数 [Hz]		
	10g	15g	20g	10g	15g	20g
ポリエステルのみシン糸 (0.00021)	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可
ポリエステルのたこ糸 (0.00231)	98.3	119.1	131.4	46.0	45.2	46.5
綿のたこ糸 (0.00648)	57.3	68.9	77.8	47.4	46.8	47.1

(波長は 10 回の平均値)

5. 考察

今回の実験で振動子から糸へと振動を伝え、波を発生させることができた。しかし、綿密度が小さいほど波の波長が大きくなることからポリエステルのみシン糸を使用した、波の波長が作成した実験装置の可動域を越してしまったために、ほとんど測定することができなかった。そのため、この装置では線密度が小さすぎる糸の使用はできないことが分かった。また、ポリエステルのたこ糸と綿のたこ糸では、今回使用した分銅 (10g, 15g, 20g) で波を発生させることができたが、綿のたこ糸では波は発生するが振幅が小さく観測することが難しか

った。それに比べ、ポリエステルのたこ糸は観測することが容易となっている。理論上は波の波長と糸の線密度が反比例の関係となっているため、線密度を大きくすることで波長を短くすれば発生する節の数を増やすことができる。そうすることで、観測しやすくなると考えたのだが、振動子の振動の強さの関係で線密度を大きくしてしまうと質量が大きくなるために波の振幅が小さくなってしまったことが分かった。このことから、今回作成した実験装置で実験を行う際に使用する糸はポリエステルのたこ糸が一番適していると考えられる。

さらに今回作成した実験装置では、きれいな

波形を取り出すこと、容易に実験を行うことができるようにすることを目的としていた。結果として交流電源から振動子のコイルへ交流電流を流すことで、振動する糸が作り出す波形が安定しており、かつ、その波形は台車の位置を移動させるだけの簡単な操作で作りに出すことができた。さらに、実験の測定結果についても前述のとおり、理論値に近い値が出ており信頼性の高い値であると言える。そのため、今回の実験装置の改良は「メルデの実験」の可視化を容易にするという目的が達成できたと考えられる。

6. 装置自身の問題点と今後の課題

今回の実験装置の開発によって、メルデの実験の容易さを求めつつ理論を説明するための実験結果として十分納得できる値を測定することができた。しかし、今回の実験では糸をポリエステルのミシン糸とポリエステルのたこ糸、綿のたこ糸の3種類の糸を用いただけにとどまっており線密度の値の差が激しい。そのため、今回はポリエステルのたこ糸の使用が最適であるとの結論に達したが、さらに観測に適した線密度の糸がないとは限らない。また、実験装置の改良で振動子の振動の観測はできるが動きが小さく観測が難しかった。これは磁場の強さが弱いことや振動子のコイルの固定が不十分であったために、ネオジム磁石とコイルからの磁場の向きが微妙にずれ一直線上となっていないこと、振動の際にプラスチックの容器とばねが引っ掛かりうまく振動を伝えられないことなどが挙げられる。そのため、コイルの巻き数をさらに増やすことや磁力の強い磁石を用いることで磁場の強さを上げることや、コイルと磁石の磁場の向きが一直線上となり最も引力と斥力が加わることができる位置にコイルと磁石を固定できる構造にすること、ばねのずれを抑制するために容器との間の隙間をできるだけ小さくすることなどが考えられる。また、振動子の構造についても、今回の作成で

はばねの取り付け部分は2箇所であるが、そのうちの1箇所では2つのばねで用いている。この2つのばねを1つにすることでバネどうしの接触によるロスをなくすことや、弾性力の異なるばねと磁力の異なる磁石をそれぞれいくつか用意し、振動が最も大きくなる組み合わせを探ることで、さらに、良い振動子の作成を行っていく必要がある。さらに、実験中にコイルの熱でプラスチックの容器が溶けてしまうという問題も発生した。そのため、容器をコイルの熱で溶けることのない金属を用いることも必要である。台車の構造については当初想定していたものよりも形状が大きく質量も重いものとなってしまった。また、チェーンによって台車を移動させているが台車の重さにより勝手に台車が下がってしまうため、手で押さえて固定するという場面があった。このことを改善していくために、台車の金具を質量が小さく加工のしやすいアルミニウムを用いることや前後からベアリングで挟む構造であるならば前部分のベアリングも2つにすることで、小型で軽いものとするのが可能ではないかと考える。このように台車を軽量化したことによって、台車の位置の固定ができるのではないかとと思うが、さらに、チェーンを動かす滑車部分を停止させる構造をつくるのが挙げられる。その他にも今は実験装置そのものを縦や横と動かしているが、これでは毎回糸を張り直さなければならぬ。そのため、振動子の向きを90°動かすことのできるような構造にすることでこの問題を解消していこうと考えている。

7. 引用・参考文献

- 1) 文部科学省:「高等学校学習指導要領解説 理科編 理数編」, 実教出版株式会社(2010)
- 2) 深澤優子ほか:「大阪教育大学紀要 第V部門 第54巻 第1号 115~122頁 波源の振動に向けて斜めに張った糸にできる定在波を扱う物理教材の製作」(2005)
- 3) 吉田卯三郎ほか:「六訂 物理学実験」, 株式会社三省堂(2006)
- 4) 前田和茂ほか:「ビジュアルアプローチ 電磁気学」, 森北出版株式会社(2010)
- 5) 文部省検定済教科書:「改訂版 高等学校 物理Ⅰ」, 数研出版(2008)
- 6) 文部省検定済教科書:「改訂版 高等学校 物理Ⅱ」, 数研出版(2009)