

電磁誘導を用いた波高観測装置の開発

徳島県立城南高等学校応用数理科 3 年

後藤梨玖 永峰帆ノ香

西口舞 橋本愛美

1. 研究の概要
2. 研究の動機と目的
3. 仮説
4. 実験機器
5. 模擬実験 1（水槽での実験）
 - 5－1 方法
 - 5－2 結果
 - 5－3 考察
6. 模擬実験 2（コイルをどこまで水に沈めるか）
 - 6－1 方法
 - 6－2 結果
 - 6－3 考察
7. 本実験（海での実験）
 - 7－1 方法
 - 7－2 結果
 - 7－3 考察
8. まとめ
9. 参考文献・参考サイト

1. 概要

気象に関する研究を行いたいと思い、本校の先行研究から波高観測機器の開発についての研究を見つけ興味を持った。磁石が入った浮きが波によりコイル中を動くことで電磁誘導が生じ、この電磁誘導の強さを測定することで、波高の測定装置が作成できると考えた。模擬実験1で水槽での実験では、作成した装置において波高と生じた誘導電流の差に非常に強い相関がみられた。また、模擬実験2では装置を75%水につけた場合、最も強い誘導電流の差が生まれたが、コイル外に磁石が出ることで生じた誘導電流であることが示唆されたため、装置を50%水につけた状態で測定することとした。装置を改良して、海での6回の計測では、波が0.24mから0.55mの場合、気象庁発表の波高と誘導電流の差に関係は見られなかったが、潮位や風速と誘導電流の差には関係が見られた。

2. 研究動機・目的

気象に関する研究を行いたいと思い、本校の先行研究から波高観測機器の開発についての研究を見つけ興味を持った。そこで、今現在の波高観測機器について調べてみた。

- ・超音波波高計…超音波センサーを海底に設置し、海底から発射した超音波の海面反射を受信して波高の計測を行う。
- ・水圧式波高計…水圧センサーを海底に設置し、水圧変化から波高を計算する。
- ・電極式波高計…海上の構造物から海底に向け電極を2本垂らし、電極間の電気抵抗値や電気容量を測定し、波高を計測する。
- ・浮体式波高計…海面に浮かべた浮体にGPSや加速度センサーを設置して、波高を計測する。
- ・レーザ波高計…海面に向け垂直方向にレーザ光を発射し、反射時間から波高を計算する。

上記以外にも波高は様々な方法で計測されているが、これらには製作費用や設置方法、安全面など問題があることが分かった。そこで、先行研究を改良し、電磁誘導を用いたより低予算で安全な機器の開発を行いたいと思った。

3. 仮説

＜全体の仮説＞

波高により、上下に動く浮きの中に磁石を入れ、コイルの中を動かすことで、波高と生じる誘導電流の関係に正の相関があり、電磁誘導を用いた波高観測装置を開発することができる。

＜模擬実験の仮説＞

水槽の中で起こした波高が高いほど発生する誘導電流の大きさは大きくなり、波高が低いほど値は小さくなる。

コイルをどのくらい水に浸けるかを変えると、起こす波高が同じでも誘導電流の大きさは変化する。

4. 実験器具

(模擬実験1、2)

- ・エナメル線(直径 0.4mm)
- ・円柱型ネオジム磁石(直径 2 cm 高さ 5 cm)
- ・筒(直径 6.5cm 高さ 17cm)
- ・導線
- ・水槽(縦 29cm 横 44.5cm 高さ 29cm)
- ・台車
- ・セロハンテープ
- ・データロガー(測定用)
- ・円柱型発泡スチロール(直径 4.5cm 高さ 11cm)
- ・50cm 物差し

(本実験)

- ・エナメル線(直径 0.4mm)
- ・円柱のネオジム磁石×2 (直径 4cm 高さ 2cm)
- ・塩化ビニルパイプ(直径 11.5cm 高さ 70cm)
- ・導線
- ・おもり (1125g) × 2 個
- ・ロープ(約 5 m)
- ・釣り糸
- ・データロガー(測定用)
- ・円柱型発泡スチロール(直径 7cm 高さ 17cm)

5. 模擬実験 1（水槽での実験）

5-1 方法

①直径 6.5cm、高さ 17cm の筒にエナメル線を 500 回巻いてコイルを作る(写真①)。直径 4.5cm、高さ 11cm の円柱発泡スチロールの中心部分に穴をあけ、円柱型の直径 2 cm 高さ 5 cm の磁石を入れて浮きを作る（写真②）。

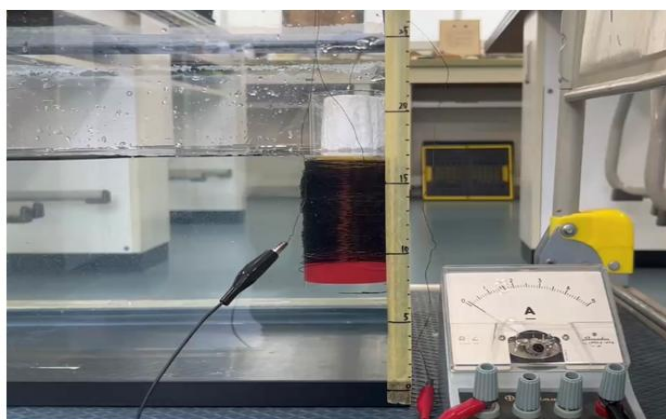
②作ったコイルを縦 29cm、横 44.5cm、高さ 29cm の水槽にセロハンテープで固定し、コイルの中に浮きを入れて水面に浮かべる。その水槽を台車にのせ、台車を揺らして水槽の中で波を起こす。また、水槽に 50cm の物差しを取り付けておき、波の高さが分かるようにしておく（写真 3）。

③起こした波で浮きがコイルの中を上下に動くことによって電磁誘導が起こり、その電流の値を電流計またはデータロガーを使って計測する。

④台車を押す力を変えて様々な高さの波を起こして計測を行う。事前に水槽の側面に水面を 0 cm として 1 cm ずつ目盛りを記しておき、実験の様子を動画撮影し、波高と電流計で示される電流の値を記録する。



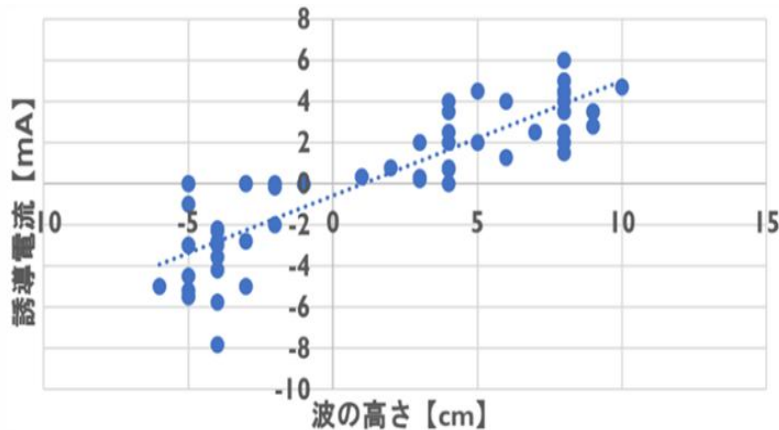
(写真 1) 筒にエナメル線を 500 回巻いたコイル (写真 2) 円柱発泡スチロールに磁石を入れた浮き



(写真 3) 測定用水槽に入れたコイルと浮き

5-2 結果

記録した波の高さ(cm)と誘導電流(mA)をグラフにプロットし、散布図を作成した。近似曲線を引いてみると波の高さが高くなるにつれて生じる誘導電流の大きさは大きくなった。波高と誘導電流の大きさの相関係数は0.874659となり、かなり強い相関があることが分かった(図1)。



(図1) 波の高さ(cm)と誘導電流(mA)における散布図

5-3 考察

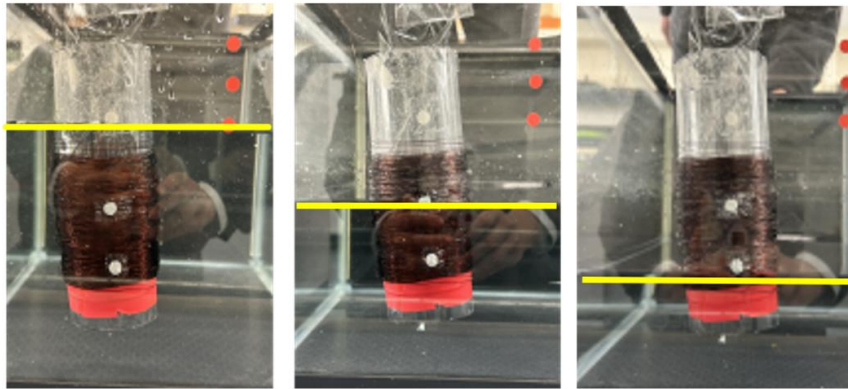
波高と誘導電流の大きさにはかなり強い相関関係がある。これは波の高さが高くなると振幅も大きくなるので、コイル内の磁石も上下に大きく動き、生じる誘導電流が大きくなったと考えられる。

6. 模擬実験2 (コイルをどこまで水に沈めるか)

模擬実験1では、コイルを巻いた筒の真ん中まで水につけ、測定を行った。コイル巻いた筒をどれだけ水につけるかによって、コイルのどの位置を浮きが上下するか変化するため、コイルを水につける位置によって生じる誘導電流が変化するか調べた。

6-1 方法

- ①～③模擬試験1のときと同様に行う。
- ④コイルを巻いた筒の長さを4分割し、25%、50%、75%としてシールを貼り、印をつける。
- ⑤コイル巻いた筒の25%が水槽の水に浸かるように固定して計測を行う。50%、75%も同様に行う。
- ⑥コイル巻いた筒の25%、50%、75%のそれぞれの場合で3cm、5cm、7cmと3種類の高さの波を起こし、起こった電磁誘導により生じた誘導電流を、電流計を使って計測する。これも同様に動画撮影を行って値を記録する。(写真4)



75%

50%

25%

(写真4) コイルをつける位置を変化させたもの

6-2 結果

それぞれの波の高さで、コイル巻いた筒の75%を水に浸けた時最も多く誘導電流が生じた。

コイル巻いた筒の50%を浸けた時に、波の高さを変えた時の誘導電流の値の差が最も大きくなった(図2)。

水面の高さ 波の高さ	25%	50%	75%
3cm	1.17mA	2.40mA	4.18mA
5cm	3.58mA	5.00mA	5.59mA
7cm	4.70mA	6.17mA	7.00mA

(図2) コイルを水につけた位置と波の高さ

による生じた誘導電流の値の差の平均

6-3 考察

実験2からコイル巻いた筒の75%が水に浸かっており、波の高さが7cmのとき、誘導電流の差が大きくなった。これはコイル内を動く磁石が、コイルを抜けたことにより、磁場の変化が大きくなり、誘導電流が大きくなったと示唆される。25%の場合はコイルの下には抜けず、コイル内を移動したことにより、誘導電流の差が少なかったと考えられる。コイルの50%を水に浸けた時、磁石はコイルの真ん中を動き、コイルを抜けることがなかったため、磁石の動きに電磁誘導の大きさが比例することが示唆される。ゆえに、できるだけコイル内を磁石が移動させるため、コイル巻いた筒のちょうど真ん中である50%を水につけて測定することが重要であることが示唆された。

7. 本実験（海での実験）

7-1 方法

①直径 11.5cm、高さ 70cm の塩化ビニルパイプの中心付近にエナメル線を 500 回巻き、上部下部に穴を 2ヶ所ずつ開け、下部には釣り糸を通し、上部にはコイルを手でもって計測するためにタイガーロープを通す。波で装置が揺れないために釣り糸を重りに通して吊るす(写真 5)。

②直径 10cm、高さ 20cm の円柱型発泡スチロールの中心部分に直径 4 cm、高さ 4 cm のネオジム磁石を入れて浮きを作る(写真 6)。

③実際に海に行き、作ったコイルと浮きを海に浸けて波の動きで電磁誘導を起こし、データロガーを使って生じた誘導電流をはかる。その際、観測は毎回同じ位置（写真 7 の B）で行い、コイルの長さの 50%を海水に浸ける(写真 8)。

④測定場所は測定しやすい津田の堤防（〒770-8001 徳島県徳島市津田海岸町 4-1）で行った。堤防の中で 2箇所（写真 7 の A、B）で測定したところ、Aでは浮きが上下し誘導電流の値も大きくでたが、Bではあまり浮きはあまり動かず誘導電流の値は小さかった（図 3）。Aの場所は堤防の中でも窪んでいる場所（写真 9）であり、反射波の影響で波が高くなったと考えられる。そこで、反射波の影響が少ないBの場所が実際の波高に近いと考え、Bで測定することにした。また、コイルを手で動かしてみたところ、大きな誘導電流が得られた（図 3 の C）。比較的コイルが大きな動きをしても、誘導電流が測定できることが確認された。



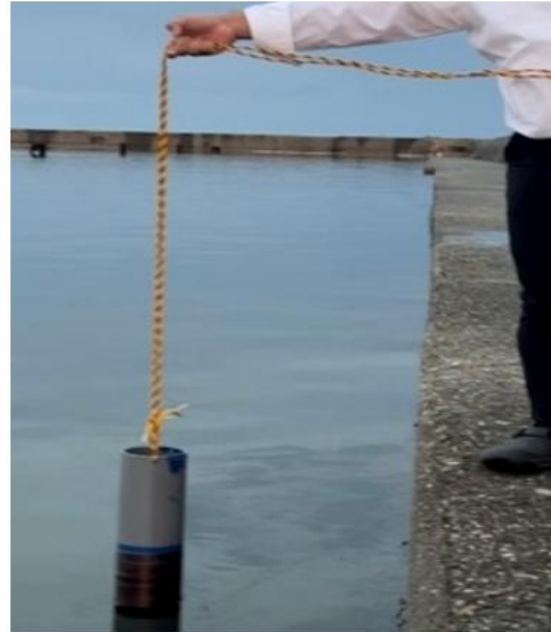
（写真 5）海での使用する塩ビパイプに巻き付けたコイル



（写真 6）磁石が入った浮き



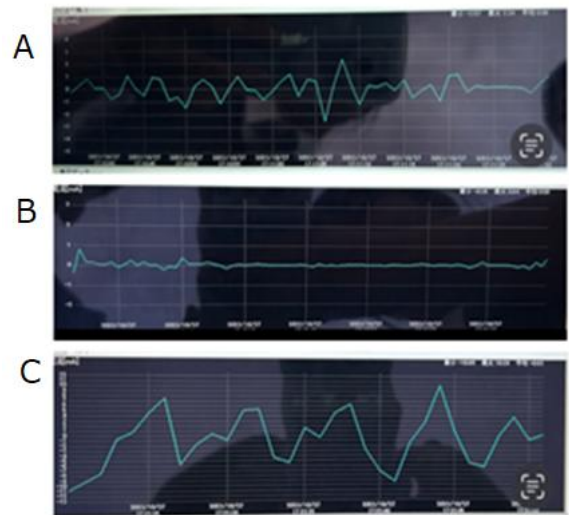
(写真7) 測定場所 (津田の堤防)



(写真8) Bの場所での測定の様子



(写真9) Aの場所での測定の様子



C: Bと同じ条件で筒を手動で上下に動かした場合

(図3) 地点A, Bでの誘導電流の値

6-2 結果

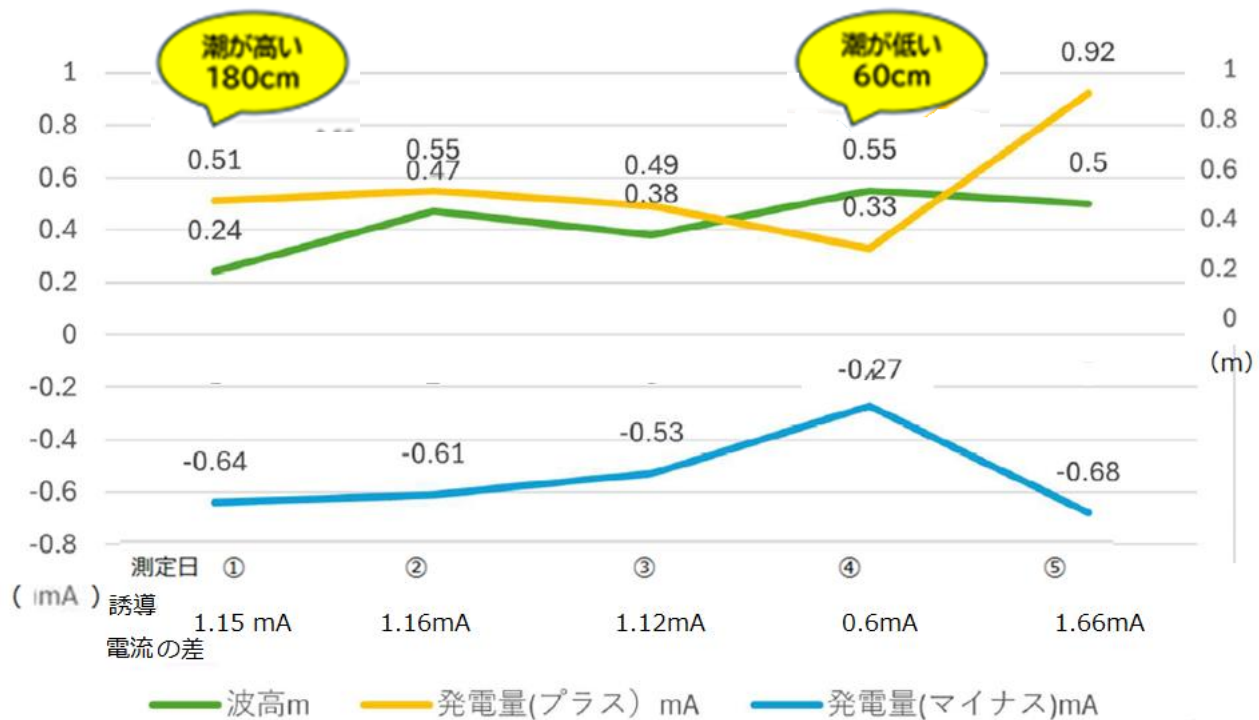
日を変え、6回計測を行った。気象庁と国土交通省のデータから、計測日の風速、風向、観測時の潮位、満潮時、干潮時の潮位を得た(図4)。これらのデータから測定日の波高と誘導電流の値(図5)、風速と誘導電流の値のグラフを作成した(図6)。

波高と誘導電流の値を比べると、10月27日は波高が最も低かったが、発生した誘導電流は最も小さくならなかった。対して1月19日は波高が最も高かったが値は最も低かった。

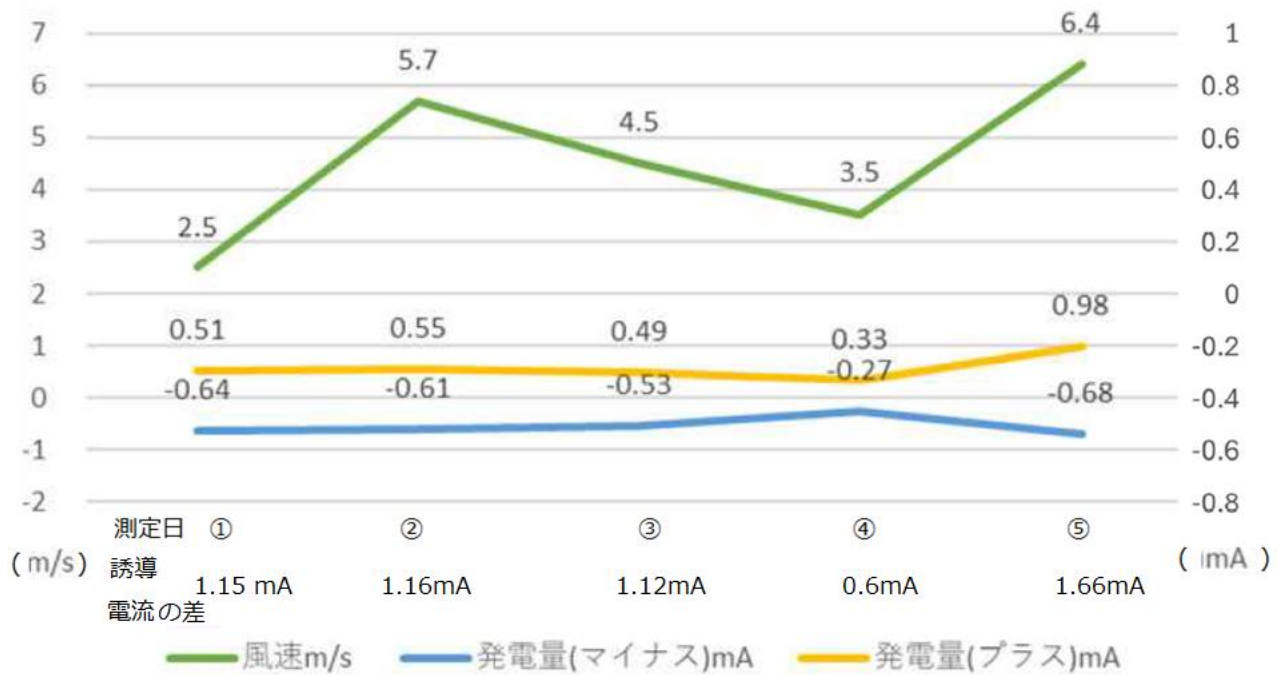
風速と誘導電流の値を比較すると風速が大きくなると、それに伴い値は大きくなり、風速が小さくなると小さくなった。

計測日	時刻	風速 (m/s)	風向 (16方位)	潮 (cm)	満潮 (cm)	干潮 (cm)	発電量 (mA)	波高 (m)	周期 (s)
① 10/27	17:00	2.5	南南西	180	朝:172 夜:180	朝:45 夜:33	0.51 -0.64	0.24	3.8
② 11/24	17:00	5.7	西北西	150	朝:141 夜:158	朝:62 夜:31	0.55 -0.61	0.47	3.1
③ 12/27	13:00	4.5	北北西	90	朝:150 夜:151	朝:-10 夜:88	0.49 -0.53	0.38	3.0
④ 1/19	17:00	3.5	北北西	60	朝:103 朝:129	朝:72 夜:40	0.33 -0.27	0.55	3.0
⑤ 1/23	17:00	6.4	西北西	130	朝:130 夜:131	朝:96 夜:-2	0.92 -0.68	0.50	2.3

(図4) 測定日における気象庁と国土交通省のデータ



(図5) 波高と誘導電流の値



(図 6) 風速と誘導電流の値

6－3 考察

波高と発電量のグラフ（図 5）より、波高と生じる誘導電流には相関関係があるという模擬実験Ⅰの結果と異なっていた。波高ではなく、潮位に注目してみると、発電量が最も大きいときの潮位は 180 cm と高いときで、発電量が小さくなった時の潮位は 60 cm と低いときであった。よって、発電量には波高だけでなく、潮位も関係していると考えられる。また、風速と発電量の関係のグラフより風速が大きいとき発電量は大きくなり、小さいとき発電量は小さくなった。これは、測定日の波が低く、風によるコルクの動きや浮きの揺れに由来することが示唆される。

8. まとめ

今回制作した装置は、実験室でコイル内を浮きが動く場合、浮きの動きの量と誘導電流の大きさが比例することが分かり、波高の測定ができると考えられた。しかし、海で行った本実験の結果から、今回作成した装置で発生する誘導電流と波高には比例の関係ではなく、潮の高さや風速などで大きく変化することが分かった。今後は装置の設置方法を改善し、より正確な波高を測定できるようにする。

9. 参考文献・参考サイト

波高観測機器の製作、小林円来 四宮樹 多田萌香 西村日那、徳島県立城南高等学校課題研究収録、
(2018)

国土交通省 リアルタイムナウファス

<https://www.mlit.go.jp/kowan/nowphas/>

気象庁

<https://www.gma.go.jp/jma/index.html>