

# 心臓や声帯の動きを測れるか？

越前市立武生第二中学校 2年5組

佐藤信太

## 1. 研究のきっかけと目的

昔、本で心電図を見て、どうやって心臓の動きを測っているのだろう、自分で心臓など体の動きを測ってみたいと思ったことがあった。心電図のことを調べると、心電計という特別な機械を使うことを知った。自分で測るにはどうしたらいいかと色々考えてみたが、その時はどうしていいか判らなかつた。

昨年度、自由研究でスピーカの実験をした。その結果、

(コイルと磁石) + (電気信号) = (音 (コイルの動き))

になった。調べてみると、紙皿や紙コップが震えると、空気疎密波の疎なところと密なところが出て音が鳴る(空気疎密波)ことが判った。学校で習った「空気中では物体の振動がまわりの空気に次々と伝わり、波のように広がりながら音が伝わっていく」ということを実感できた。

このとき、試しにと思って、スピーカにプラグを付けて CD ラジカセのマイク端子に入れてみた。そして紙皿を叩いたら、音が出た。音が出るということは、電気信号が発生したということだ。コイルを動かしても、同じように電気信号が発生し、スピーカから「ポッ」という音が出た。コイルを固定して、磁石の方を動かしても電気信号が発生した。

次に紙コップの底にコイルを貼り付け、磁石を近づけ、紙コップに向かって「アー」と言うと CD ラジカセから「アー」と聞こえた。これはマイクだ。マイクは意外と簡単に作れるなと思った。

人間が声を出すとき、声帯を震わせて空気疎密波を作っている。これが紙コップの底を震わせコイルを動かし電気信号を発生させ CD ラジカセのスピーカを震わせている。次のような流れになっている。

声帯の動き → 疎密波 → 紙コップの振動 → コイルの動き → 電気信号  
→ スピーカの coils の動き → スピーカの振動 → 疎密波 → 鼓膜の振動  
→ 電気信号 (神経) → 脳 (音として聞こえる)

このとき、声帯の動きを測りたいと思った。音(声)を測れば、声帯の動きを間接的に測っていることになるのかなとも思った。心臓の動きも、心臓の「ドック ドック」という音を測れば、心臓の動きを測ることになるのかとも思った。音で体の動きを測ることを考えたが、上の流れをみると、「動き」から「音」までに別のものが入っている。そうでなく、直接動きを測りたいと思った。しかしこの時も、どうしていいか判らなかつた。

中学2年になって、電流と磁界のことを習った今、昨年度の研究をもう一度考えてみた。まとめると次のようになる。

- ・スピーカ … 磁石のそばにあるコイルに電流を流すと、コイルが動く (電磁力)
- ・マイク … 磁石のそばでコイルを動かすと、コイルに電流が流れる (電磁誘導)

ここで、マイクの実験のとき、紙コップからコイルを外して色んなところにくっ付けてみたことを思い出した。端子を CD ラジカセのマイク端子に入れたまま、のどぼとけにも貼り付けてみた。「アー」と声を出すと、CD ラジカセから「アー」と声が聞こえた。紙コップなど、振動するものが無いのにマイクになったことに驚いた。今度は

声帯の動き → コイルの動き → 電気信号 → スピーカの coils の動き  
→ スピーカの振動 → 疎密波 → 鼓膜の振動 → 電気信号 (神経)  
→ 脳 (音として聞こえる)

と、紙コップの時より短くなったということだ。ここで、上の流れの中の最初、

声帯の動き → コイルの動き → 電気信号

の部分を見て、次のことを思いついた。

端子を CD ラジカセから抜いて、パソコンのマイク端子にアンプを通して繋ぎ、サウンドレコーダーを起動し、「アー」と言ってみた。すると、声を出したときに、次のような波形が観察された。



予想通りだった。ここで次のように考えた。「これはマイクで拾った音ではなく、コイルの動きそのものが発生した信号だ。ということは、「動き」そのものに関係した電気信号を図っていることになる。この仕組みを使えば、磁石とコイルで色々な動きが測れるはずだ。動きが測れるのなら、以前はどうしていいか判らずあきらめた、「心臓や声帯の動きを測る」ことも出来るはずだ。」

心臓の所を見ると、皮膚がピクピクと動いている。声を出すと声帯が震える。動きがあると電気信号を得ることが出来ることもわかっている。これらのことから、今回の研究の目的を次のように決めた。

目的① 磁石とコイルを組み合わせて「動き」と「発生する電気信号」の関係を調べること

目的② 心臓の動きを測ること

目的③ 声帯の動きを測ること

## 2. 予想

・目的①の予想

スピーカの自由研究のとき、

電気信号 → コイルの動き

となったので、マイクはその逆で

コイルの動き → 電気信号

となり、発生する電気信号はコイル（あるいは磁石）の動き方に関係して変化すると思う。学校で電磁誘導について学んだ時もそのように理解した。しかし、発生する電気信号が、コイルの動いた距離に関係しているのか、それともコイルの速度なのか、それ以外の量に関係しているのかは予想が出来ず、実験で確認するしかない。

・目的②の予想

胸の中心を見ると心臓の動きに合わせてピクピク動く所がある。コイルと磁石の動きと発生する電気信号に関係があれば、この動きを測ることが出来るはずだ。しかし動きはとも小さく、測るのは難しいかもしれない。

・目的③の予想

スピーカの実験のときにしたマイクの実験では、コイルを直接のどぼとけに貼り付けて磁石を近付け、「アー」と言うとき声が CD ラジカセのスピーカから聞こえた。ということは、声帯のふるえがコイルのふるえになり、これが電気信号になっているということだ。「ふるえ」は「動き」なので、測れるはずだ。

### 3. 実験

#### 3-1. コイルの自作

スピーカの自由研究のときと同じ手順でコイルを自作した。材料、製作手順は次のようにした。

【材料】

ポリウレタン銅線（リンクマン株） φ0.5[mm] 10m、工作紙（KOKUYO）  
両面テープ、エポキシ接着剤、リード線、プラグ

【製作手順】

まずコイルを巻くためのボビンを作る。厚紙に両面テープを貼り短冊状に切る。両面テープをはがしながら、磁石より大きい径のパイプにきつく巻きつける。これはボビンの筒になる。

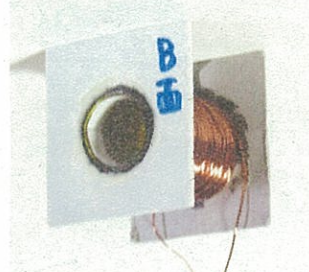
パイプ外径と同じ円を描いた正方形の厚紙を2枚用意する。これがボビンの上下板になる。円には細かく放射状の切込みを入れる。

上下板の切込みを折り曲げ、ボビンにはめこみエポキシ接着剤で貼り付ける。

接着剤が乾いたら、ポリウレタン銅線をコイルに巻く。このとき、出来るだけ線と線の間がすき間が出来ないように、全体が均一になるように注意して巻く。



3



このようにしてコイルを自作した。コイルの向きを分かりやすくするため、A面、B面と記入した。

#### 3-2. 磁石・コイルの動きと、発生する電気信号の関係を調べる実験

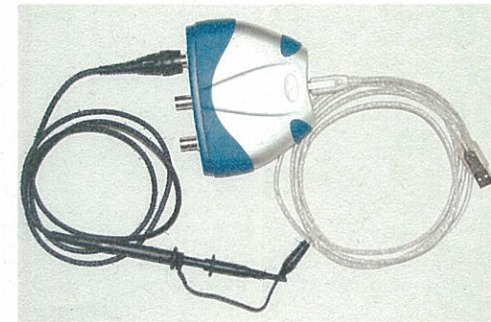
昨年、マイクの実験をしたとき、次のことが分かった。

- ・磁石のそばでコイルが動くと、コイルに電気信号が現れる
- ・コイルのそばで磁石が動くと、コイルに電気信号が現れる

パソコンのサウンドレコーダを使うと、電気信号の変化が波形として現れることも分かった。しかし、サウンドレコーダでは正確な値を測ることが出来ない。そこでテスターを使ってみた。しかし、一瞬針が振れるだけで、値が測れないし波形も観測できない。そこで、実験には次の測定器を使うことにした。

【測定器】

USB オシロスコープ (DS1M12 StingRay, USB Instruments)

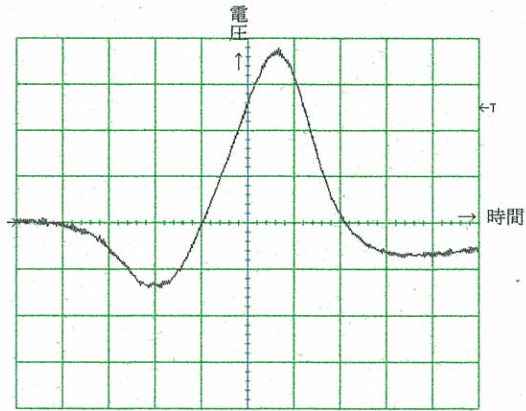


パソコンに接続し、電圧波形をパソコンの画面に表示するものである。波形を図として保存することも出来る。

コイルを動かすのは、測定器の端子が付いているため難しいので、コイルを固定して磁石を動かすことにした。写真のようにコイル、測定器、パソコンを接続しコイルのそばで磁石を手で動かし、波形を観察した。プローブは×10として使った。



4



手で磁石を動かしたときの波形

幾つかの電圧波形を観察し、次のことが分かった。

- ①コイルのそばに磁石があるだけでは、電圧が発生しない。
  - ②コイルのそばで磁石を動かすと、電圧が発生する。
  - ③発生する電圧は、大きさや向きが変化する。
  - ④磁石を速く動かすほど、大きな電圧が発生する。
  - ⑤磁石をコイルに近づけるとときと遠ざけるとときは、電圧の向きが逆になる。
  - ⑥磁石のN極とS極を逆にすると、同じ動きでも電圧の向きが逆になる。
  - ⑦コイルの向きを（A面とB面）逆にすると、同じ磁石の動きでも電圧が逆になる。
- ここで、コイルに発生する電圧の大きさは、磁石の速度に関係があると考え、磁石の速度と電圧の関係を調べることにした。

しかし、手で動かしたのでは速度を正しく求めることができない。そこで、次のような実験を考えた。

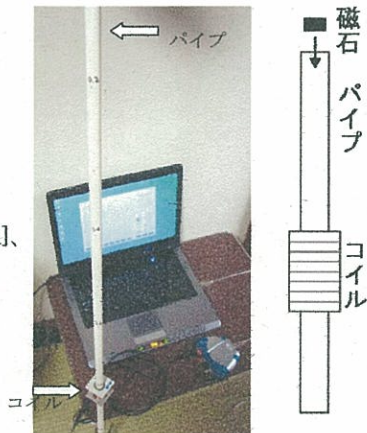
【実験 1】

写真のように、プラスチックパイプにコイルを固定する。パイプはコイルの中を通してある。プラスチックパイプを地面に垂直に立て、磁石をパイプの上端から落とす。パイプ上端からコイル中心までの距離を変え、電圧波形を記録する。

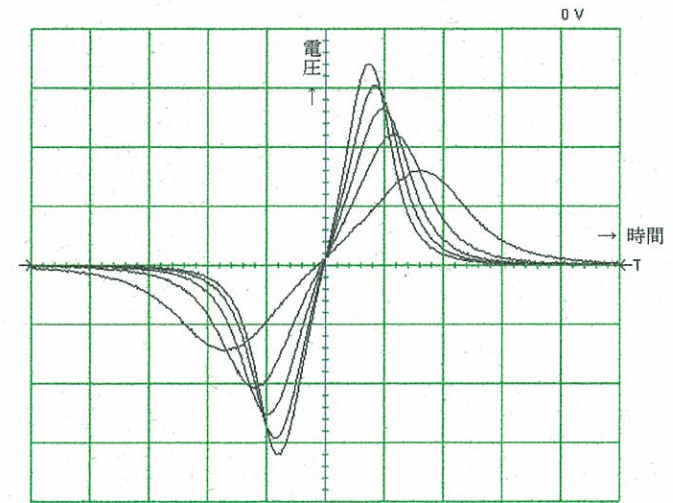
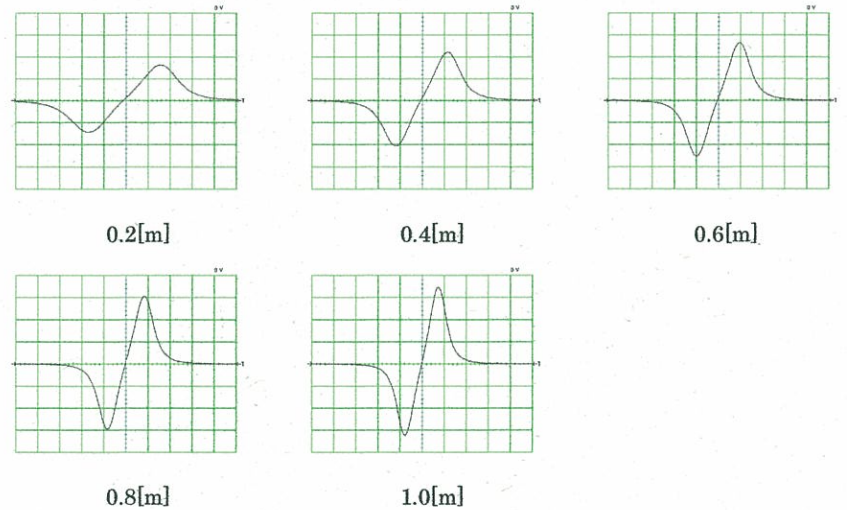
落下距離（パイプ上端～コイル中心）は、0.2[m]、0.4[m]、0.6[m]、0.8[m]、1.0[m] の5通りとし、それぞれ5回測り、その平均をとった。

【結果 1】

画面上で電圧の値を読むと、小さいので誤差が



大きくなると思い、図として保存した波形を大きく印刷して、紙の上で読みとることにした。磁石はネオジウムΦ10×10（二六製作所）を用いた。



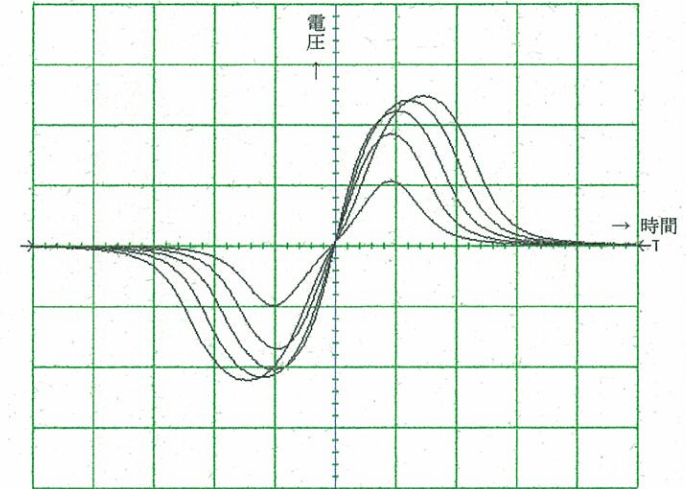
0.2[m]～1.0[m]の電圧波形を重ねたもの

磁石がコイルに近づくときと、遠ざかるときにピークが表れている。これを最小値、最大値として読んだのが次の表である。値は符号をつけずに絶対値で示す。

最小値(電圧[V])					
	0.2[m]	0.4[m]	0.6[m]	0.8[m]	1.0[m]
1回目	0.287	0.405	0.507	0.585	0.635
2回目	0.286	0.410	0.508	0.579	0.641
3回目	0.283	0.410	0.503	0.586	0.644
4回目	0.288	0.414	0.503	0.580	0.640
5回目	0.285	0.407	0.493	0.576	0.648
平均	0.285	0.409	0.503	0.581	0.642

最大値(電圧[V])					
	0.2[m]	0.4[m]	0.6[m]	0.8[m]	1.0[m]
1回目	0.322	0.438	0.528	0.613	0.684
2回目	0.321	0.442	0.533	0.607	0.689
3回目	0.316	0.446	0.530	0.611	0.679
4回目	0.330	0.445	0.529	0.608	0.679
5回目	0.319	0.435	0.529	0.602	0.691
平均	0.321	0.441	0.530	0.608	0.684

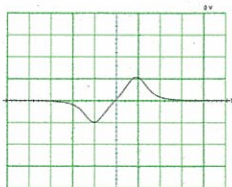
実験1の結果の表



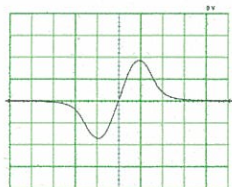
1個~5個の電圧波形を重ねたもの

【実験2】

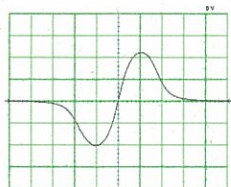
落下距離を0.6[m]に固定し、落とす磁石の個数を1個~5個と変え、電圧波形を測ったところ、次のようになった。



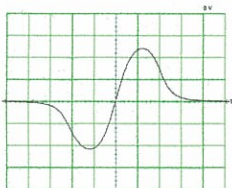
1個



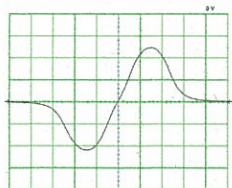
2個



3個



4個



5個

波形から最小値、最大値を読んだのが次の表である。値は符号をつけずに絶対値で示す。

最小値(電圧[V])					
	1[個]	2[個]	3[個]	4[個]	5[個]
1回目	0.507	0.849	0.997	1.08	1.08
2回目	0.508	0.846	1.01	1.07	1.08
3回目	0.503	0.846	1.01	1.07	1.11
4回目	0.503	0.846	1.01	1.07	1.10
5回目	0.493	0.849	1.02	1.06	1.08
平均	0.503	0.847	1.01	1.07	1.09
最大値(電圧[V])					
	1[個]	2[個]	3[個]	4[個]	5[個]
1回目	0.560	0.912	1.09	1.20	1.21
2回目	0.565	0.919	1.10	1.19	1.22
3回目	0.562	0.917	1.10	1.19	1.23
4回目	0.561	0.912	1.10	1.19	1.23
5回目	0.561	0.910	1.10	1.18	1.22
平均	0.561	0.914	1.10	1.19	1.22

実験2の結果の表

【考察】

①電圧波形の持つ意味（波形のピークとコイル長）

実験 1 の結果の表を見ると、落下距離が長いほど、発生する電圧も大きくなることが分かる。また、最小値（コイルに磁石が近付くときの電圧のピーク）よりも、最大値（コイルから磁石が遠ざかるときの電圧のピーク）の方が、わずかに大きいことも分かる。

しかし、このままでは大まかなことしか分からない。そこで、磁石を落とすときの運動について考えることにした。

磁石の底がパイプ上端に一致したところを落下開始位置として考えた。

\*\*\*\*\*

【自由落下の基本式】

$$v = gt \quad \dots ①$$

$$y = \frac{1}{2}gt^2 \quad \dots ②$$

【 $v(t)$ ：速度、 $y(t)$ ：落下した距離、 $g$ ：重力による加速度、 $t$ ：時間】

【磁石が落下開始点（パイプ上端）から距離  $y[m]$  落ちたときの速度  $v[m/s]$ 】

自由落下の基本式①、②より

$$\begin{aligned} v^2 &= g^2 t^2 \\ &= g^2 \cdot \frac{2y}{g} \\ &= 2gy \end{aligned}$$

よって

$$v = \sqrt{2gy} \quad \dots ③$$

【落下開始点（パイプ上端）から距離  $y_1[m]$  の点～ $y_2[m]$  の点に達するまでにかかる時間】

距離  $y_1[m]$  の点まで落ちるのにかかる時間を  $t_1$  とすると、自由落下の基本式①より

$$t_1 = \frac{v_1}{g}$$

距離  $y_2[m]$  の点まで落ちるのにかかる時間を  $t_2$  とすると、自由落下の基本式①より

$$t_2 = \frac{v_2}{g}$$

したがって、距離  $y_1[m]$  の点から  $y_2[m]$  の点に達するまでにかかる時間は

$$t_2 - t_1 = \frac{v_2 - v_1}{g}$$

となる。ここで③式より

$$v_1 = \sqrt{2gy_1}, \quad v_2 = \sqrt{2gy_2}$$

だから、

$$\begin{aligned} t_2 - t_1 &= \frac{v_2 - v_1}{g} \\ &= \frac{\sqrt{2gy_2} - \sqrt{2gy_1}}{g} \quad \dots ④ \end{aligned}$$

となる。

【コイル上端に磁石がさしかかった時の速度】

コイル中心までの距離  $L[m]$ 、コイルの長さ  $l[m]$ 、磁石の長さ  $d[m]$  とする。コイル上端を磁石中心が通過する瞬間、落下開始点（パイプ上端）からの落下距離は

$$L - \frac{l}{2} + \frac{d}{2} [m]$$

この点での速度は、③式より

$$\begin{aligned} v &= \sqrt{2g \left( L - \frac{l}{2} + \frac{d}{2} \right)} \\ &= \sqrt{g(2L - l + d)} \quad \dots ⑤ \end{aligned}$$

となる。

【コイル下端に磁石がさしかかった時の速度】

コイル中心までの距離  $L[m]$ 、コイルの長さ  $l[m]$ 、磁石の長さ  $d[m]$  とする。コイル下端を磁石中心が通過する瞬間、落下開始点（パイプ上端）からの落下距離は

$$L + \frac{l}{2} + \frac{d}{2} [m]$$

この点での速度は、③式より

$$\begin{aligned} v &= \sqrt{2g \left( L + \frac{l}{2} + \frac{d}{2} \right)} \\ &= \sqrt{g(2L + l + d)} \quad \dots ⑥ \end{aligned}$$

となる。

【落下磁石がコイル上端を通過してからからコイル下端を通過するまでにかかる時間】

④、⑤、⑥式より

$$t = \frac{\sqrt{g(2L + l + d)} - \sqrt{g(2L - l + d)}}{g}$$

となる。

\*\*\*\*\*

これらの式を用いて、次のような計算を行った。

	0.2[m]	0.4[m]	0.6[m]	0.8[m]	1.0[m]
コイル上端+磁石半分までの距離[m]	0.188	0.388	0.588	0.788	0.988
コイル下端+磁石半分までの距離[m]	0.222	0.422	0.622	0.822	1.02
コイル上端速度[m/s]	1.92	2.76	3.39	3.93	4.40
コイル下端速度[m/s]	2.09	2.88	3.49	4.01	4.48
上端速度と 下端速度の差[m/s]	0.166	0.118	0.0968	0.0839	0.0751
コイル通過に 要する時間[ms](理論値)	17.0	12.1	9.87	8.56	7.66

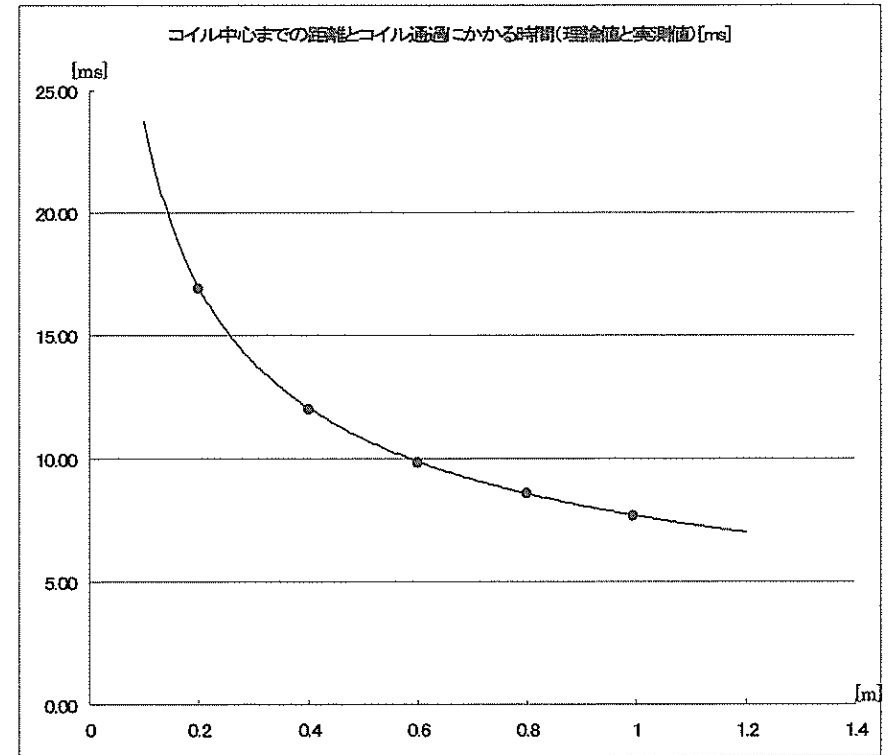
ここで、測定した波形最小値から最大値までをコイル通過に要した時間[ms]と考え、実験1で得られた波形データから読んだのが次の表である。

	0.2[m]	0.4[m]	0.6[m]	0.8[m]	1.0[m]
1回目	17.0	12.0	9.8	8.5	7.7
2回目	16.7	11.8	9.9	8.6	7.6
3回目	17.0	12.0	9.8	8.6	7.7
4回目	16.9	12.0	9.8	8.6	7.7
5回目	16.9	12.1	9.8	8.6	7.6
平均	16.9	12.0	9.8	8.6	7.7

まとめると次のようになる。

コイル通過に要する時間[ms]					
	0.2[m]	0.4[m]	0.6[m]	0.8[m]	1.0[m]
計算値	17.0	12.1	9.87	8.56	7.66
測定値	16.9	12.0	9.82	8.56	7.66

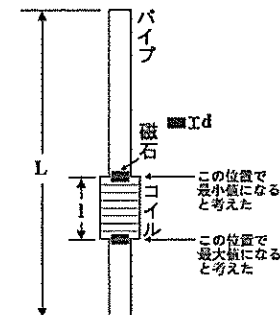
さらに計算値を0.1[m]~1.2[m]まで細かく求め、グラフにした。その上に測定値を重ねて示すと、次のようになった。



実線が計算値、赤丸が実際の測定値である。計算値と測定値データとは大変よく一致していることが分かる。そこで、測定した電圧波形の最小値と最大値は次のことを表していると考えたことにした。

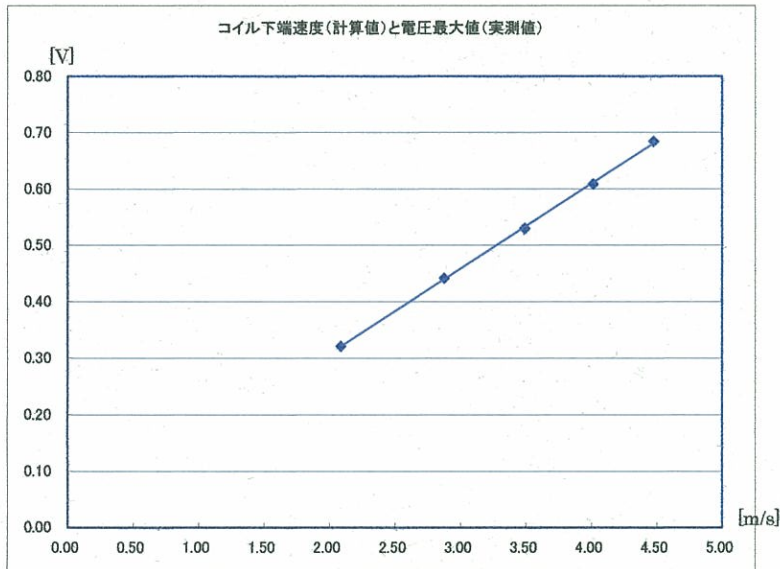
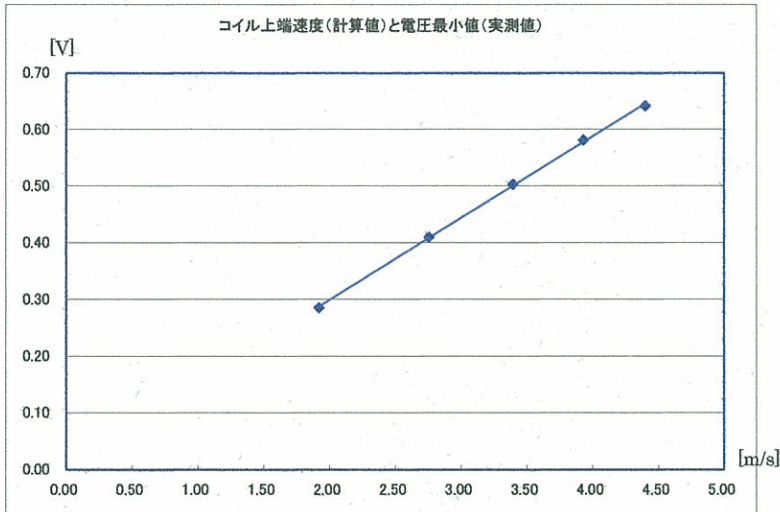
**【考え①】**

磁石の中心がコイルの上端を通過するとき電圧波形の最小値が現れ、磁石の中心がコイルの下端を通過するとき電圧波形の最大値が現れる



②電圧は速度に関係しているか

手で磁石を動かす実験をしたとき、速く動かすほど大きな電圧がみられたので、コイルに発生する電圧は、磁石の速度に関係していると考えた。そこで、[コイル上端速度]と[電圧波形の最小値]の関係を、また[コイル下端速度]と[電圧波形の最大値]の関係をグラフにすると、次のようになった。



この結果をみると、磁石の速度と電圧のピークの値は、比例関係にあることが分かった。比例関係を式で表すと次のようになる。

$$e = kv \quad e: \text{電圧}, v: \text{速度}, k: \text{比例定数}$$

グラフの傾きから比例定数を求めると、最小値の場合  $k = 0.145$ 、最大値の場合  $k = 0.151$  となった。このことから、次のように考えた。

【考え②】

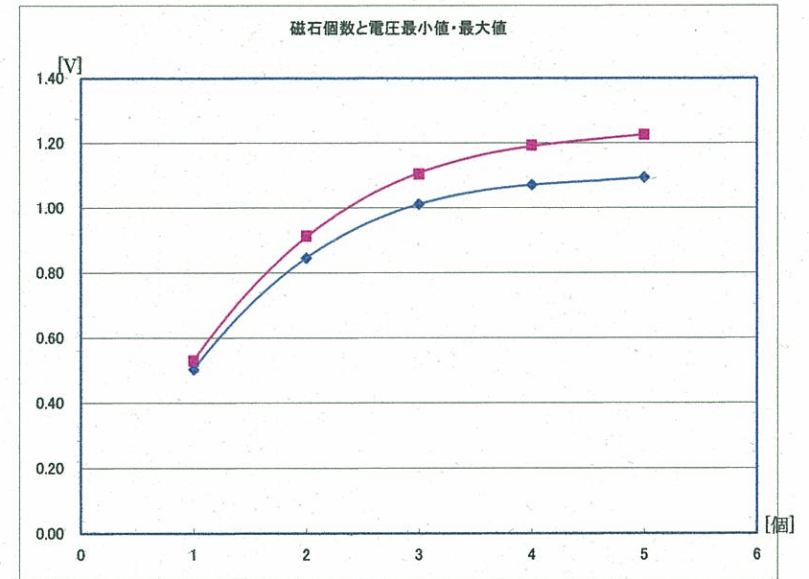
磁石速度と電圧のピーク値は比例関係にあり、今回の場合、比例定数  $k$  は

- ・コイル A 面に磁石 1 個が S 極を向けて近付く場合、 $k = 0.145$
- ・コイル B 面から磁石 1 個が N 極を向けて遠ざかる場合、 $k = 0.151$

磁石が近付くときと遠ざかるときで比例定数が異なるのは、おそらくコイルの巻き方が均一でないため、A 面に磁石が S 極を向けて近付くときと、コイル B 面から磁石が N 極を向けて遠ざかるときで、発生する電圧の大きさに差が出たと考えられる。

③磁石の個数と電圧のピーク

実験 2 の結果の表をグラフに表すと、次のようになった。横軸は落とす磁石の個数、縦軸は電圧のピークである。赤が最大値、青が最小値を表している。



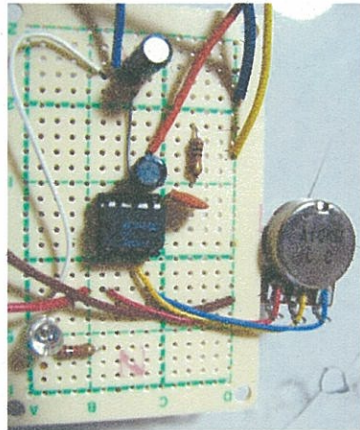
磁石の個数を増やすほど電圧のピークは大きくなるが、その増加のしかたは次第に緩やかになり、4 個から 5 個に増やしたときは、1 個から 2 個に増やしたときの約 1/12~1/15 の変化しかなくなる。ただし、今回の磁石の個数の増やし方は、直列に磁石を結合したもので、それ以外の磁石の配置は、ネオジム磁石の力が大変強いため試すことができなかった。

### 3-3. 心臓の動きを測る実験

#### 【実験】

3-2 の実験で用いたコイルを心臓の上の皮膚に貼り付け、磁石を棒に固定しコイルの近くに置いた。この状態で電圧波形を測った。

ところが、電圧が小さくて測定が出来ない。そこで、スピーカの自由研究のときに用いたアンプを、コイルと測定器の間に入れることにした。

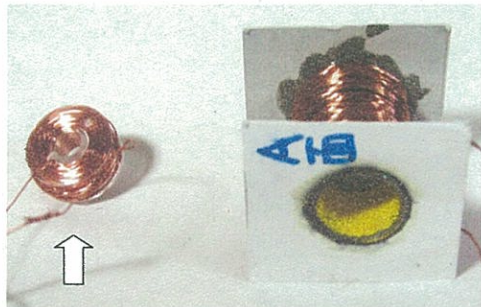


実験に使用したアンプ

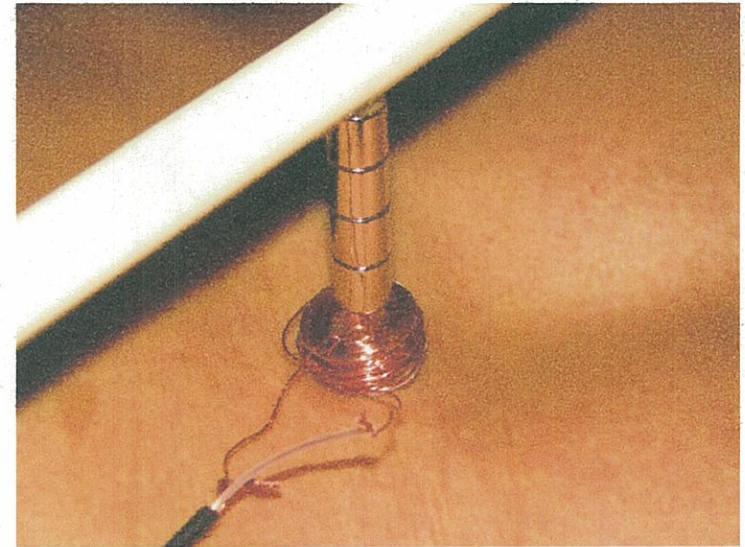
アンプを用い、測定器の縦軸 1 目盛 0.01[V]、横軸 1 目盛 50[ms]として測った。その結果、波形を見ることができたが、ノイズが多く、コイルの動きも悪い。これはコイルの巻き数が多いことと、コイルが重いことが原因と考えた。そこで、より軽いコイルを自作することにした。磁石の個数は、実験 2 の結果から 4 個直列とした。

#### 【軽量版コイル材料】

ポリウレタン銅線 (リンクマン㈱)  $\phi 0.5[\text{mm}]$  3m、  
ミシン用プラスチックボビン

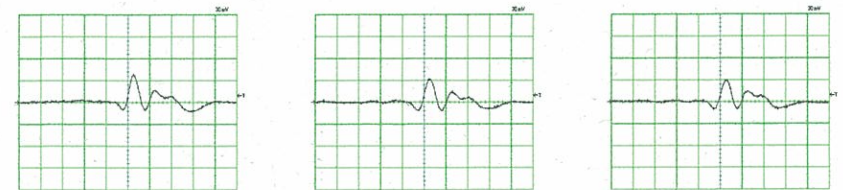


自作コイル (軽量版)



コイルを胸に固定し、磁石をその付近に固定したところ

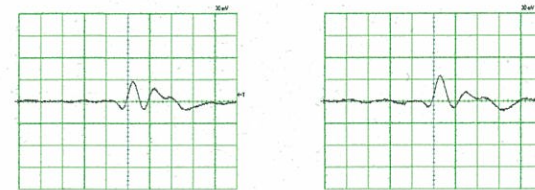
呼吸の影響を受けるので、呼吸を止めて測った。電圧波形は次のようになった。



1 回目

2 回目

3 回目



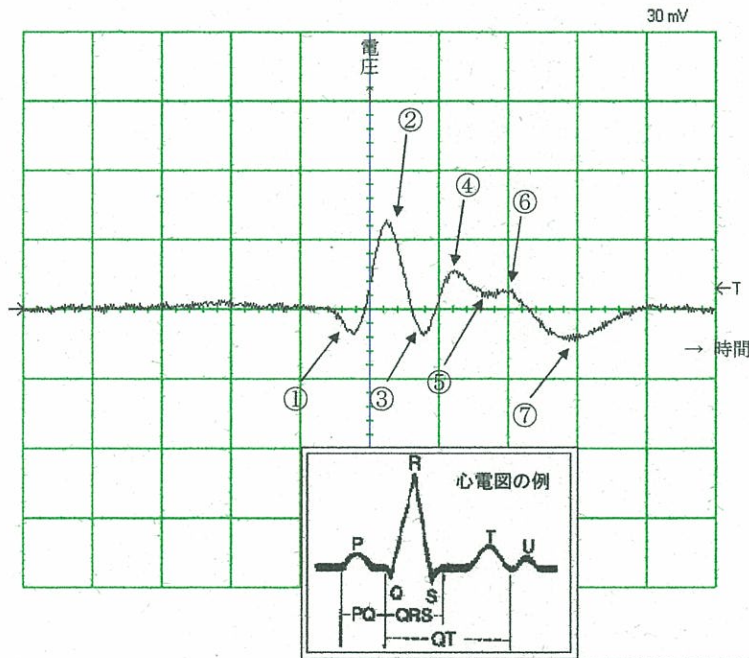
4 回目

5 回目



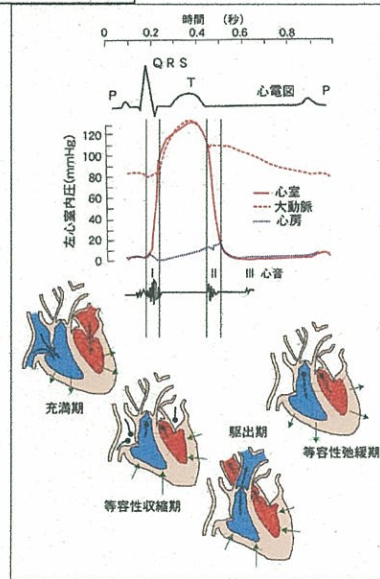
**【考察】**

電圧の大きさに多少の差はあるが、何度も同じ電圧波形が得られたので、測定は正確に行われたと考えられる。波形には全て同じ特徴がある。



3-2の結果をもとに、電圧波形から心臓の上の皮膚の動きを考察すると、次のようになる。

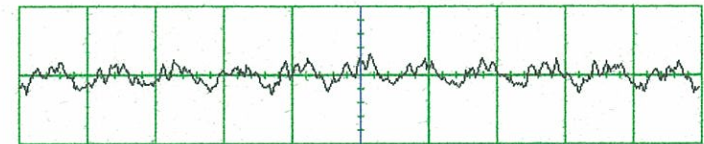
- ①心臓付近の皮膚が前へ出る（心臓が膨らむ）
- ②大きく凹む（心臓が凹む）
- ③少し前へ出る（心臓が少し膨らむ）
- ④やや凹む（心臓がやや凹む）
- ⑤凹み続ける（心臓が凹み続ける）
- ⑥凹みが終わる（心臓が凹み終わる）
- ⑦前へ出る（心臓が再び膨らむ）



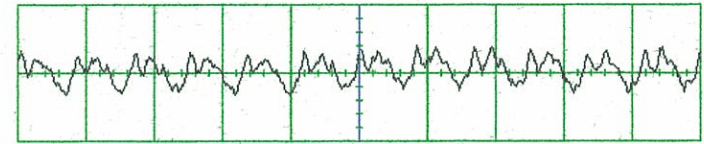
今回の測定電圧波形と比較のため、図の上に心電図の例を重ねた（参考文献 3）。波形の変化は似ているように見え、満足いく測定結果が得られたと考えた。ただし、今回の測定は心臓の一部分の動きを測っているのに対し、心電図は単に心臓の動きを表したものではないため、単純な比較をすることは難しいと思う。さらに心臓の動きと心電図の関係を調べたところ、上図のようなことが分かった（参考文献 4）。

**3-4. 声帯の動きを測る実験**

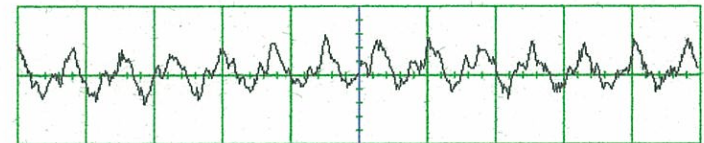
3-3の実験と同じ環境でコイル（小型）をのどぼとけのやや下の皮膚に貼り付け、磁石を棒に固定しコイルの近くに置いた。声帯付近の皮膚の動きは、心臓付近の皮膚の動きに比べ、さらに小さい。測定にはアンプを用い、測定器の縦軸 1 目盛 0.01[V]、横軸 1 目盛 5[ms]で測った。この状態で声を出し、電圧波形を見たところ、次のようになった。



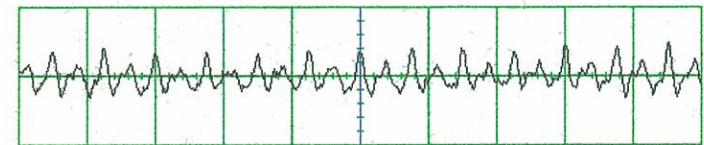
小さな低い「ア」



大きな低い「ア」



中ぐらいの高さの「ア」



高い「ア」

いずれも、規則的な波が繰り返し現れている。声帯は周期的に振動することで音を発していることがわかる。声を大きくすると電圧が大きくなることから、大きな声のときは声帯の振動速度が大きい、つまり同じ時間（周期）ならば声帯の動き幅が大きいことがわかる。そして、声を高くすると波形の山が鋭くとがるのが分かる。低い「ア」も高い「ア」も約 4[ms]周期で波が繰り返されているが、高い「ア」は波の刻みが深くなるので、半分の周期で波が繰り返すように見える。周期が短くなると音は高くなるので、波形と実際の声の関係は一致している。

#### 4. 研究のまとめ

コイルと磁石を用いて、動き、特に心臓や声帯の動きを測ることを目的に実験を行い、得られた結果に対し考察を行った。

電磁誘導の基礎は 2 年生になり学校で習ったばかりだったので、興味を持って取り組むことができた。コイルに発生する電圧と、コイルや磁石の動きとが、どのような関係にあるのかが分からないと、心臓や声帯などの動きを測っても、何を測っているのかが分からない。そこで、基礎的な実験に特に時間を割き、考察を行った。

自由落下運動は、まだ習っていない内容なので、理解するのに苦労した。計算式もルートが出てくるので難しく、今回は式を導き計算値を得るだけで精一杯だった。もっと理解を深めて、今回の結果をさらに深く考察できるようになりたいと感じた。

今回の研究では

1. 磁石の中心がコイルの上端を通過するとき電圧波形の最小値が現れ、磁石の中心がコイルの下端を通過するとき電圧波形の最大値が現れる
2. 磁石速度と電圧のピーク値は比例関係にあり、今回の場合、比例定数  $k$  は
  - ・磁石 1 個がコイル B 面に N 極を向けながら遠ざかる場合、 $k = 0.145$
  - ・磁石 1 個がコイル A 面に S 極を向けながら近づく場合、 $k = 0.151$
3. 磁石の個数を増やすほど電圧のピークは大きくなるが、その増加のしかたは次第に緩やかになる（直列結合の場合）
4. 心臓の動きを皮膚の上からコイルと磁石で測ったところ、心電図の波形と似た電圧波形が見られたが、まったく同じではない
5. 声帯の動きを皮膚の上からコイルと磁石で測ったところ、周期的な電圧波形が見られており、声帯は周期的に振動することで音を発している

ということが分かった。

何かを測るといことが、こんなに難しいことだとは知らなかった。測りたいものがどんな現象なのか、そこで変化するものは何か、測るために使うものはどんな原理に基づいているのか、それは測りたい対象に適切なものか、それらを全て理解した上で測る道具を作っていく必要がある。そして測る道具を作ったら、それがどんな特徴をもっているかを正確に調べる必要がある。

これらを理解できたことが、今回の一番の収穫だった。また、一度は諦めていた心臓や声帯の動きを測れたことが嬉しかった。

#### 参考文献

- [1]新編 新しい科学 1 上、東京書籍、p130～p140
- [2]中学 自由自在 理科、受験研究社、p121～p130、p177～p194
- [3]看護師交流広場（ホームページ）
- [4]東邦大学医学部基礎統合コースホームページ