

気柱の共鳴実験

～ 色々なトレーサーを使った音速測定～

豊見城高等学校 3年 岸本卓也

3年 大城吉平

3年 城間裕樹

3年 松原弘幸

3年 国吉和馬

3年 又吉真生

2年 中村 守

指導教諭 安里清寛

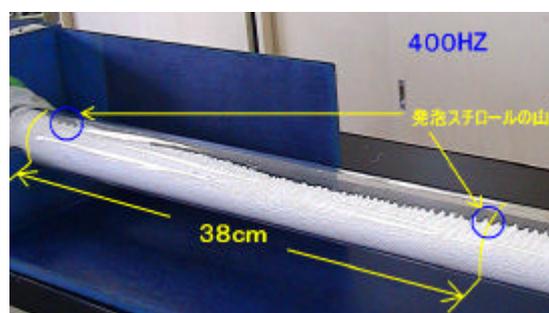
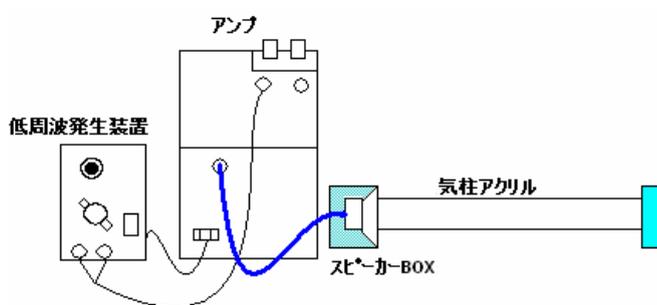
研究の動機

教科書で扱う弦の振動はギターなどを使い視覚的に観察が容易であるが、気柱の共鳴¹あるいは、音波の定常波²を視覚的に観察するのは難しい。そこで今回は、クントの実験を応用して視覚的に定常波を観察できるような実験装置を作成、さらに浮上していくトレーサー³等を作成した。

今回の実験では、4種類のトレーサーを使い、それぞれについて理論値⁴との誤差率⁵を求め考察を深めた。

実験内容

発泡スチロール球⁷を利用した音速の測定



[写真 1]

発泡スチロール球をトレーサーとして音速を測定する実験

内径 6.4cm のアクリル管の一方に蓋 (ふた) をし、
他方にはスピーカーBOX を付ける

低周波発生装置からアンプで増幅し、スピーカーBOX より出力する

管内の空気に音の定常波が生じ、発泡スチロール球が腹⁸ (山の部分) と節⁹ (谷の部分) を作る

低周波発生装置の周波数と、管内にできる定常波の波長を測定する
発泡スチロール球の山から山まで (半波長) を測定する (図 1 参照)

$V = fx$ より音速を求める
(V : 音の速さ、 f : 周波数、 x : 波長)

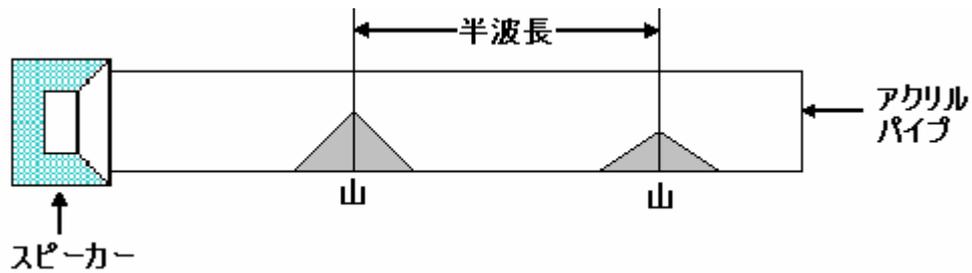


図 1

	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	6回目
波長[m]	1.05[m]	1.1[m]	0.94[m]	0.76[m]	0.7[m]	0.56[m]
周波[HZ]	330[HZ]	350[HZ]	370[HZ]	400[HZ]	500[HZ]	660[HZ]
音速[m/s]	346.5[m/s]	385[m/s]	347.8[m/s]	304[m/s]	350[m/s]	369.6[m/s]
誤差	0.38%	10.06%	0.57%	13.55%	0.32%	5.94%
理論値	347.82	349.8	349.8	351.63	348.89	348.89

表 1

トレーサーとして、発泡スチロール球を使った場合、測定しやすい安定した山が3カ所程度発生した。

特に周波数が330[HZ]、370[HZ]、500[HZ]で理論値⁴との誤差率⁵が1%以内と正確な音速測定ができています。

これは、発泡スチロール球が作る山や谷が測定し易いはっきりした形状だったことが分かる。

また、トレーサーとしての発泡スチロール球は、気柱内の定常波に比較的反応しやすく模様もきれいで視覚的インパクトがあった。

気柱の共鳴¹

気柱内の入射する音波と反射する音波が重なって定常波がきる

定常波²

時間が経っても移動しないように見える波

トレーサー³

振動を視覚的に見えるようにした

理論値⁴

音速の理論値は、 $331.5 + 0.61t$ (t は摂氏温度)である

誤差率⁵

(理論値 / 実験値⁷) / 理論値 × 100 であらわされる

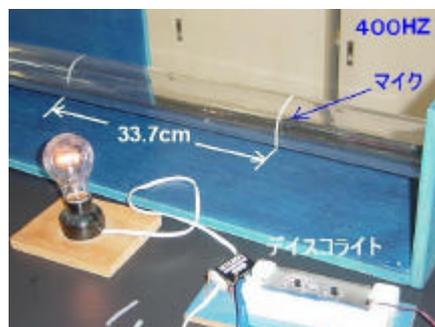
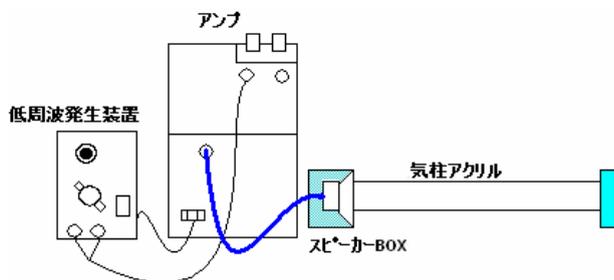
実験値⁶

実験によって得られた値

発泡スチロール球⁷

3mmの発泡スチロール球を多数トレーサーとして使う

ディスコライト¹⁰による音速測定実験



[写真 2]

内径 6.4cm のアクリル管の一方に中心に穴を開けた蓋 (ふた) をし、
他方はスピーカー-BOX を付ける

マイクロフォンを気柱内に入れ音の強弱を調べる実験をする

腹 (山の部分) で白熱球は暗くなり、節 (谷の部分) で明るくなる。

このことから、腹の部分の空気振動は激しいが音圧変化は小さいこと、又、
節の部分では空気振動は小さいが音圧変化は大きいことが分かる。

空気振動の激しいところで音が大きくなると考えがちだがその逆になる。それは「人の
耳は鼓膜の内外の圧力差で鼓膜が振動し音を感じるから」である。

低周波発生装置の周波数と、管内の定常波の波長を測定する
白熱球の暗い部分から暗い部分 (半波長) を測定する

$V = f\lambda$ より音速を求める
(V :音の速さ、 f :周波数、 λ :波長)

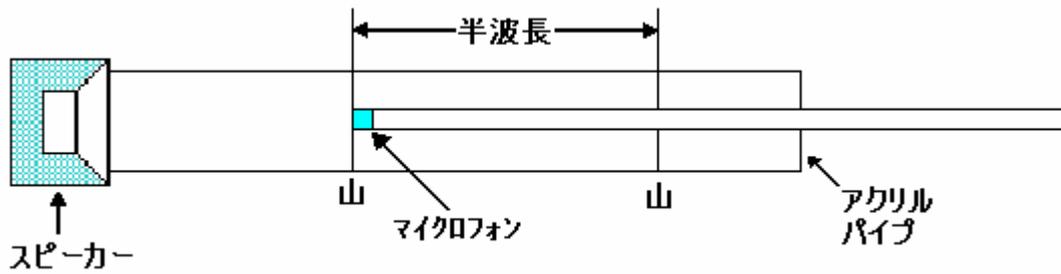


図 1

	1回目	2回目	3回目	4回目
波長[m]	1.04[m]	0.94[m]	0.84[m]	0.726[m]
周波数[HZ]	350[HZ]	400[HZ]	450[HZ]	500[HZ]
音速[m/s]	364[m/s]	376[m/s]	378[m/s]	363[m/s]
誤差	4.00%	7.00%	7.6%	3.4%
理論値	351[m/s]	351[m/s]	351.02[m/s]	351.02[m/s]

	5回目	6回目	7回目	8回目
波長[m]	0.694[m]	0.67[m]	0.608[m]	0.546[m]
周波数[HZ]	550[HZ]	600[HZ]	650[HZ]	700[HZ]
音速[m/s]	381.7[m/s]	402[m/s]	395.2[m/s]	382.2[m/s]
誤差	8.8%	14.5%	12.5%	8.9%
理論値	351[m/s]	351.02[m/s]	351.02[m/s]	351.02[m/s]

表 2

ディスコライトによる音速測定実験は、気柱にマイクロフォンを入れディスコライトで音の強弱を光の強弱として、暗い部分から暗い部分 (半波長) を測定する手法である。

この実験では、350[HZ]と500[HZ]で、誤差率が低くなっている。このことから音の強弱が2回目と6回目に強く表れ測定しやすかったことが分かる。

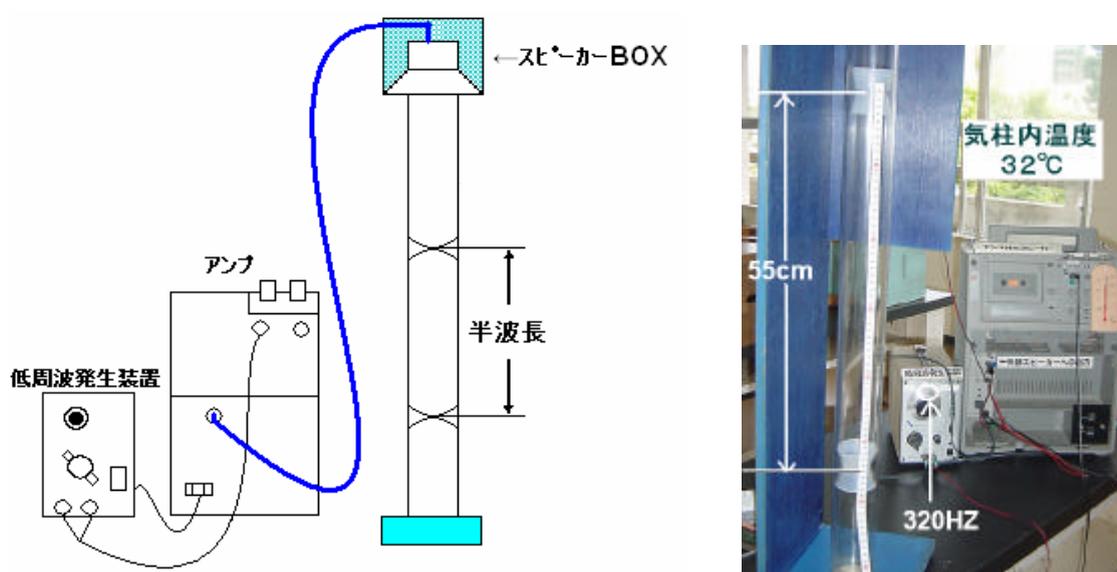
また、マイクロフォンを挿入する穴の密閉が難しく、定常波が安定するのに時間がかかった。このことがこの実験の欠点であるが、音の大きさと光の強弱を視覚的に見ることが出来るインパクトのある実験である。

腹⁸ 振幅の大きい位置

節⁹ 振幅 0 の位置

ディスコライト¹⁰ 音の強さを白熱球の明るさで表現できる装置

音波浮上実験のトレーサーを利用した音速の測定



[写真 3]

低周波発生装置からの入力端子をスピーカー付きアンプの有線マイクに接続し、スピーカー付きアンプの外部スピーカー出力端子にスピーカーBOX を接続する。

振動¹¹で物質浮上させる実験

音波浮上実験装置を使いスピーカーBOX を下に設置する

低周波発生装置からアンプにつなぎスピーカーBOX へ出力する

音波浮上実験装置に音の定常波が生じ、パラボラ型トレーサー¹² 浮上する

即座に、スピーカー付き気柱を上下ひっくり返す (図 3 参照)

パラボラ型トレーサー 2個は、振動の激しいところで安定浮上する。

パラボラ型トレーサー 2個の距離 (半波長) を測定する (図 3 参照)

$V = fx$ より音速を求める
(V : 空気の速さ、 f : 周波数、 x : 波長)

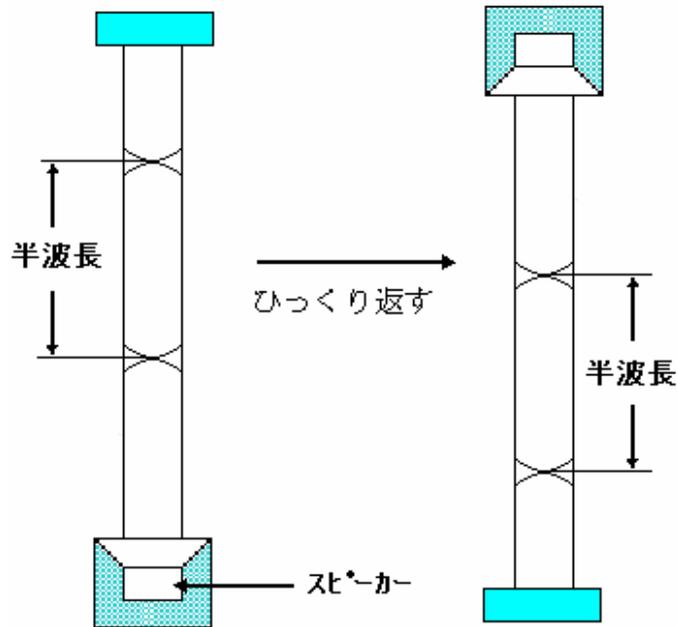


図 3

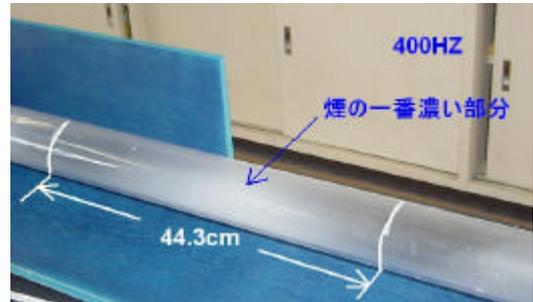
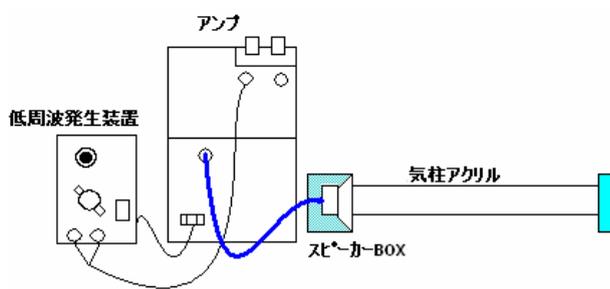
	1回目	2回目	3回目	4回目
波長[m]	1.37[m]	1.24[m]	1.24[m]	1.22[m]
周波数[HZ]	270[HZ]	280[HZ]	290[HZ]	300[HZ]
音速[m/s]	369.9[m/s]	347.2[m/s]	359.6[m/s]	366[m/s]
誤差	5.20%	1.26%	2.27%	4.09%
理論値	351.63	351.63	351.63	351.63

	5回目	6回目	7回目	8回目
波長[m]	1.18[m]	1.11[m]	1.11[m]	0.81[m]
周波数[HZ]	310[HZ]	320[HZ]	330[HZ]	400[HZ]
音速[m/s]	365.8[m/s]	355.2[m/s]	366.3[m/s]	324[m/s]
誤差	4.60%	1.19%	4.17%	3.66%
理論値	349.5	351.02	351.63	336.3

表 3

パラボラ型トレーサーを使って行った実験で分かったことは、振動によりパラボラ型トレーサーを浮上させたり振動の激しいところで静止させたりすることができること。また、気柱をひっくり返すことによって、トレーサーの質量を考慮した正確な測定実験が可能になったことである。

スモークマシン¹³による音速測定実験



[写真 4]

内径 6.4cm のクント管の一方は蓋 (ふた) をしたアクリル管、
他方はスピーカー-BOX を付ける

管内にスモークマシンからまんべんなくスモーク¹⁵を入れる

低周波発生装置からアンプにつなぎスピーカー-BOX から出力する

管内に音の定常波が生じ スモークの山 (濃い所) と谷 (薄い所) ができる

低周波発生装置の周波数と 管内にできたスモークの
谷 (薄い所) から谷 (薄い所) までの半波長を測定する (図 4 参照)

$V = fx$ より音速を求める
(V : 空気の色さ、 f : 周波数、 x : 波長)

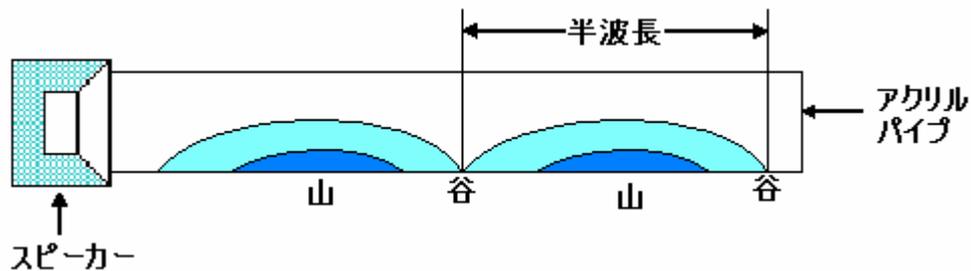


図 4

	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	6回目
波長[m]	1.1[m]	0.88[m]	0.77[m]	0.79[m]	0.62[m]	0.65[m]
周波数[HZ]	350[HZ]	400[HZ]	450[HZ]	500[HZ]	550[HZ]	600[HZ]
音速[m/s]	385[m/s]	352[m/s]	346.5[m/s]	395[m/s]	341[m/s]	390[m/s]
誤差	10.06%	10.63%	0.94%	1.29%	2.52%	11.49%
理論値	349.8[m/s]	349.8[m/s]	349.8[m/s]	349.8[m/s]	349.8[m/s]	349.8[m/s]

表 4

スモークマシンで行った実験では、これまでの実験に比べてスモークの濃淡の出方ははっきりしていて谷 (薄い所) から谷 (薄い所) までの半波長がとてもわかりやすかった。

しかし、450[HZ] ~ 550[HZ] までは誤差も小さいがそれ以外は測定が非常に難しい。その原因として、スモークは、安定した定常波ができる前に消えてしまうこともあり長時間測定するには不向きではないかと考えられる。

<u>振動</u> ¹¹	振動の大きなところでトレーサーが止まる (浮上する)
<u>パラボラ型トレーサー</u> ¹²	コップの底を合わせたパラボラ状のトレーサー
<u>スモークマシン</u> ¹³	不燃性の煙で <u>フォグリキッド</u> ¹⁴ は、ウォーターベースのものを使用
<u>フォグリキッド</u> ¹⁴	加熱すると煙になる液体でオイルベースのものどウォーターベースのもの
<u>スモーク</u> ¹⁵	スモークマシンで作った水性スモーク (煙)

考察と実験を通しての感想

音速測定実験については、発泡スチロール球,光の強弱,振動で物質浮上 (パラボラ型の円盤),スモークをトレーサーとして利用した実験を行った。

それぞれの音速測定結果より 振動で物質浮上 (パラボラ型の円盤)実験が精度の一番高い実験であるといえる。

また、直接目で見て理解できたのはスモークマシンを使ったスモークをトレーサーに使う実験ではないかと考える。

しかし、どの実験もそれぞれ良い値が出ていたことを考えれば、4つの実験とも精度の高い音速測定ができ、視覚的にインパクトがある良い実験であるといえる。

参考文献

- 『いきいき物理わくわく実験』(新生出版 1984)
- 理科おもしろ実験 ものづくりマニュアル』(東京書籍 1993)
- 楽しくわかる物理実験辞典』(東京書籍 2001)
- 『いきいき物理わくわく実験[改訂版] 2』(日本評論社 2002)
- 『沖縄県物理研究会誌』
- 理科年表』丸善社