

音速の測定実験

- 「物理」における「音の伝わり方」での指導法について -

大久保 政俊

物理での音速の測定方法を中学校理科第1分野等の関連から検討し、「音の伝わり方」の指導目標・内容と一番合致する実験方法として、コンピュータを利用した音速の測定方法を紹介した。

[キーワード] 高等学校理科 物理 波 音の伝わり方 音速の測定

はじめに

新学習指導要領の高等学校理科の科目「物理」の解説には、項目(2)「波」の内容イ「音と光」の(ア)「音の伝わり方」で、音速の測定が取りあげられている。具体的には「音の速さの測定については、例えば、2現象オシロスコープなどを用いて空気中の音速を測定する」とある。また、同じ項目の内容ウ「波に関する探究活動」でも「例えば、オシロスコープや低周波発信器、周波数カウンターなどを用いてパイプ内を伝わる音の速さを測定したり」という具体的な装置が記述されている。この物理ではどのような方法で音速を測定したらよいのだろうか、物理のねらい・内容から検討した。

1 物理のねらいから考えられる音の速さの理解の仕方

「物理」の内容は、中学校理科第1分野及び「理科総合A」などとの関連を考慮し、基礎的で比較的平易な事項を取り上げ、物理に親しむとともに基本的な概念や原理・法則を一通り学習することになっている。

波では、観察、実験を通して波動現象に共通の性質や特徴を見だし、それらを日常生活に見られる波動現象とも関連付けて考察するようにすることがねらいである。波を表す基本的な量として波長、振動数、伝わる速さを理解させることになっている。しかし、いわゆる直接目で見て観測できない位相、さらに波の式は表だって扱われてはいない。

中学校理科第1分野との関連を考慮すると、中学校では空気中を伝わる音の速さについては、雷鳴や打ち上げ花火などの体験と関連させて考えさせるとある。このことから、音の速さを、「振動がある距離伝わるのに時間がかかる」という視点で学ぶのが最も自然だと考えられる。従って、音の速さが有限で、ある距離を進むのに時間がかかるという、もっとも基本的な速さの定義「距離/時間」で音速の測定を指導することが望ましいといえる。

2 これまでの音速測定法の検討

(1) 代表的音速測定法 ~

マイクを移動し、シンクロスコープの波形の移動を調べ、波形(位相)が再び一致したときのマイクの移動距離から1波長の長さを測定し、 $速さ = 波長 \times 振動数$ で音速を求める。

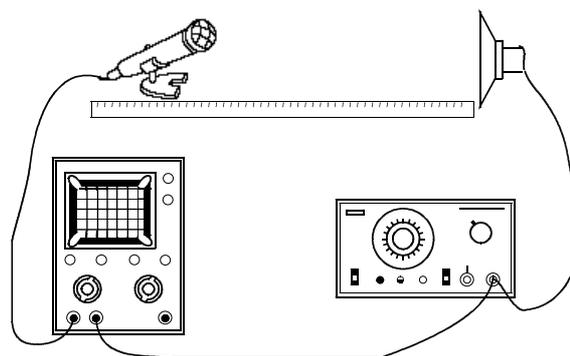


図1 音速測定法

クントの実験のように気柱共鳴での定常波の波長を求めて、 $速さ = 波長 \times 振動数$ で音速を求める。ここでは共鳴を利用している。

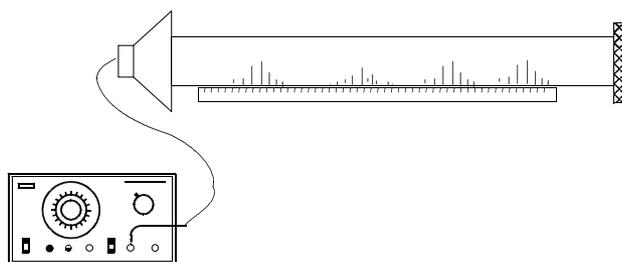


図2 音速測定法

クインケ管の干渉から波長を求め、 $速さ = 波長 \times 振動数$ を求める。

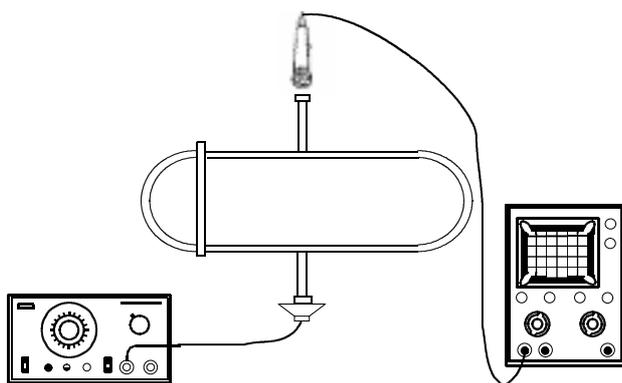


図3 音速測定法

パイプの中にパルス状の音を送り、直接音と反射音がマイクに到達する時間の遅れをオシロスコープの画面から読みとり、音速を求める。ここでは $速さ = 距離 / 時間$ を使う。

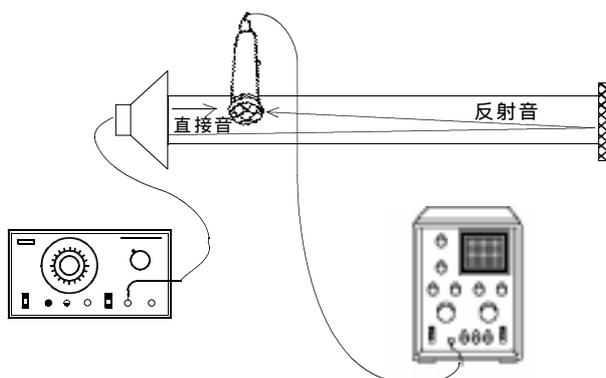


図4 音速測定法

(2) $速さ = 波長 \times 振動数$ を利用する音速測定法
～ の検討

以上のなかで～の方法は位相の一致や共鳴、干渉などを利用しているのので、それらを学習していない段階(「波」のイ「音と光」の(ア)「音の伝わり方」の学習時)での音速の測定法として、使うのは無理がある。

音速測定法～の実験の様子を生徒の立場になって想像してみよう。常にスピーカから音が鳴り続けている状態で音速を測定することになる。中学校で習った雷や花火のイメージを持っている生徒には、連続して音が届く状況でなぜ音速が測定できるのか、理解できないのは当然である。常に一定の強さや高さに聞こえる音でも、山、谷があり、その振動が移動していること、すなわちある地点で時間的に位相が変化していくことが音の伝播だということがわからないと～の音速測定法の原理の理解はとても難しいものとなる。

(3) $速さ = 距離 / 時間$ を利用する音速測定法の検討

の方法は到達の遅れの時間から速さを求めるという点で、「音の伝わり方」の学習時には中学校の学習の流れを考慮すると指導しやすい。

ただし、この方法には使用するオシロスコープの性能によってそれぞれ条件設定や装置の工夫が必要となり、実際に生徒が実験をすることを考えると、以下に述べるように相当難しい。

(a) 音速測定法でトリガ機能のないオシロスコープを使用する場合

この場合は、瞬間的なパルス状の直接音と反射音の両方ををたった1度できちんとオシロスコープの画面に(表示可能な時間内に)キャッチするのは難しい。オシロスコープは周期的な現象を表示するので単発的な非周期的な瞬間現象は観察できない。したがって、単発的な非周期的な瞬間現象を観察するには、これ自身を繰り返して起こす必要がある。そのため、パルス状の音を継続的に繰り返し、さらに、オシロ画面に両方の波形が安定して入るように、パルス状の音のくりかえし時間およびオシロスコープの掃引時間を調整する必要がある。しかし、これらの2つの時間の調整は生徒にはあまりにも難しすぎる。

(b) 音速測定法でトリガ機能のあるオシロスコープを使用する場合

トリガ機能があると瞬間的な現象をキャッチ

できるが、問題は画面内で直接音と反射音が同時に表示できるかという問題がある。直接音をトリガとしてオシロスコープが観測を開始した後、反射音が画面に入るためには、反射して戻ってくる時間を、波形が変化する掃引時間での画面に対応する時間内に入るよう調節する必要がある。それでも無理な場合は、パイプの長さを短く調整する必要がある。これでは本末転倒である。従って、パイプの長さを調整しないで反射音をキャッチしてオシロスコープの画面に表示するには、トリガ機能がありかつメモリ付きのストレージデジタルスコープを使うしかない。ただし、メモリ付きストレージオシロスコープは普通の高等学校にはなく、この方法はどこでも行えるわけではない。

(a),(b)ともに、直接音と反射音をいかに画面に表示するかで、条件設定や装置の工夫が必要になり、普通の学校での生徒実験ではすぐに実施するのは難しい。

3 コンピュータを利用した簡単な音速測定

(1) NHKの高校講座物理の音速測定法

NHKの高校講座物理では、(b)の方法で音の反射を利用した音速実験が紹介されている。図1のように両端が開いている開管の一端にシンクロスコープをつないだマイクを置き、マイクと開管の間で、空気が入ったツブツブがある梱包用のポリ・シートのツブを手でつぶして、音をたてる。

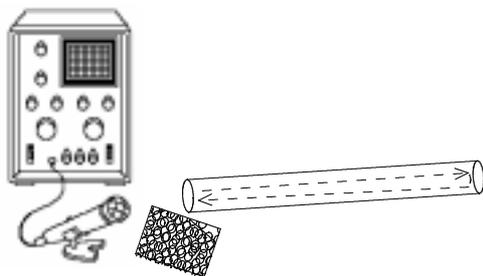


図5 音速測定法 (原理は図4と同じ)

マイクから管の中で繰り返し音の波形がオシロスコープに記録されるので、管の往復の時間から、音速を求めることができる。

NHKの講座の中では瞬間的な現象をとらえ

るのにトリガ機能がありかつメモリ付きストレージデジタルスコープを使って記録した波形の上をカーソルを動かして時間を測定している。

しかし、前にも述べたように、この機器はどここの学校でもあるわけではなく、現実的ではない。

(2) 音オシロソフトを使って音速測定法を改良した音速測定法

ストレージオシロスコープの代わりとなるものとしてコンピュータと自作ソフト(名称音オシロ)を用いる方法を検討した。コンピュータの音源ボードを使った音オシロソフトは、瞬間的にマイクから任意の時間、音を取り込むことができ、コンピュータの画面上で、記録した波形の任意の部分を拡大したり、拡大して見えなくなった部分をスクロールして見ることができるので、コンピュータをストレージデジタルスコープの代わりに使用できる。音オシロソフトの操作はわかりやすく、生徒も簡単に扱える。

また、図5の方法では、マイクと開管が離れているため、直接音と反射音の到達時間の差を測定すると誤差を伴うので図6のように配置を変えて、反射音の繰り返しを拾うことにした。

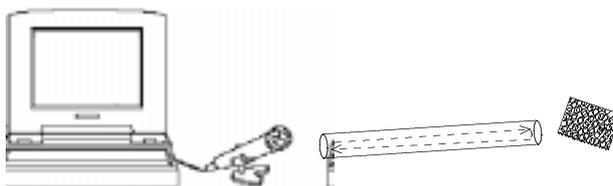


図6 音速測定法 (図5を改良)

実際にサンプリングレート22.05KHZで音をマイクで拾って測定し、拡大したのが図7である。反射音が減衰しながら繰り返されている。

マウスのカーソルでピーク間を調べると、ほぼ、このサンプリングレートの周波数(時間間隔)で測定して、138で、時間に直すと $t = (1/22.05 \times 10^3) \times 138$ 秒になる。使った管の長さが $L = 1.05$ m なので、音速は $2 \times L / t$ より約336m/s と妥当な値が求められる。

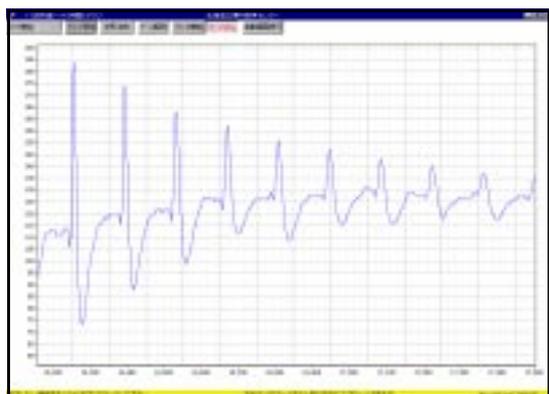


図7 開口した管の中の音の反射の繰り返し
(3) 2地点間の到達時間差を利用した音速測定法

音速測定法は、音の反射および反射波の性質を理解していなければならない。そこで、反射を考えず、単純に音源から出た音を音源からの距離が異なる直線上の2地点で受信する際の到達時間の遅れの差と2地点間の距離から音速を求める方法（音速測定法）を検討した。

2つのダイナミックマイクロフォンをステレオピンジャックの左、右チャンネルへそれぞれつなぎ、マイクからの電圧をコンピュータのステレオ端子に出力できるようにする。2つのマイクは図8のようにそれぞれ長さの異なるアクリル管の端に固定する。アクリル管の長さの差だけ互いに離れた2つのマイクに届く音（ここでは図8の手前で拍子木をたたいて音を出す）を音オシロで記録し到達時刻差から音速を求める。

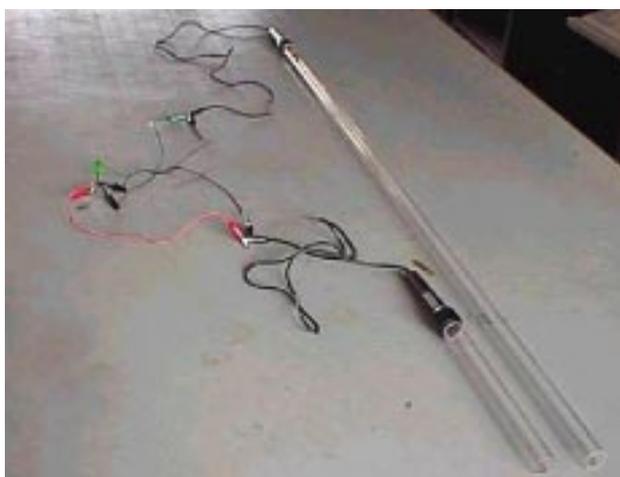


図8 音速測定法（アクリル管とマイク）
音源の近くにおいたマイクに届く音は図9の

上の波形で示され50103サンプリング目に到達し、音源から遠くにあるマイクに届く音は下の波形で示され50210サンプリング目に到達している。

到達時間差 $(50210 - 50103) \div 44100$ (1秒間に44100サンプリングする)秒と2つのマイク間の距離 82.5cmより 音速 = 距離 ÷ 時間差 = $34002.336\text{cm/s} = 340\text{m/s}$ と求まる。

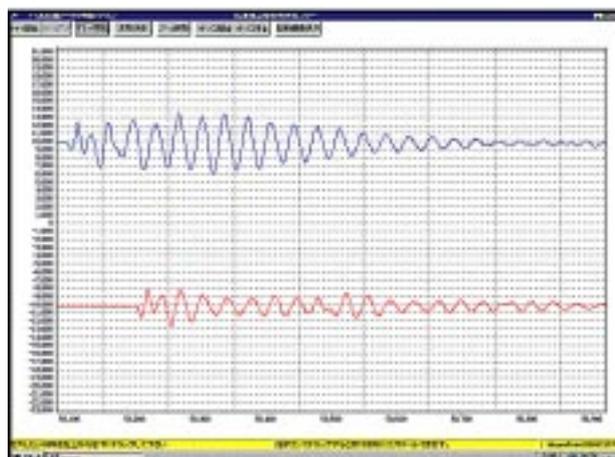


図9 距離が異なる2地点に到達した音波を拡大表示

測定法は中学校での地震波の速さを導出する方法と全く同じ原理で、地震計による、図9と類似の、地震波の記録が教科書に掲載されている。新学習指導要領の中学校解説でも「同一の地震について、震源距離の異なる場所に置かれた地震計で観測した記録を調べて、揺れの伝わる速さを推定させたり」と述べられている。

4 まとめ

物理の「音と光」の(ア)音の伝わり方での音の測定法は、中学校での音や地震波の学習内容との関連及び物理の(イ)音の干渉と共鳴の前の授業での実施を考えると、速さの定義「距離/時間」を使って音の速さを、「振動がある距離伝わるのに時間がかかる」という視点で学ぶのが最も自然だと考えられ、この点で物理の音速の測定法としてが一番妥当である。

参考文献

- 物理実験事典 講談社 1981
鬼塚史朗 音速測定 物理教育 35-1 pp.1-4 1987
川角博 NHK高校講座物理 気柱の振動 2000

(おおくぼ まさとし 物理研究室長)