

大久保

れる。さらに縦軸に V_C ，横軸に V_R を目盛にしたグラフ上に点(V_C ， V_R)を連続してプロットしてリサージュ図形を描かせた(図28)。

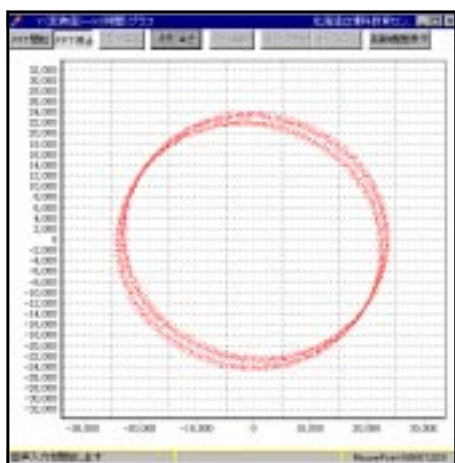


図28 図27の V_C と V_R によるリサージュ図形

予想通り円になって位相が90度ずれていることがわかる。円が多少ずれるのは，低周波発振器の電圧の振幅が完全に一定でなく微妙に変動することによって，円の半径が一定せず変化することによる。

7.3 空気中の音速を求める

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，電圧を入力する。図29のように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(ここでは拍子木をたたいた音)の到達時刻の時間差から音速を求める。

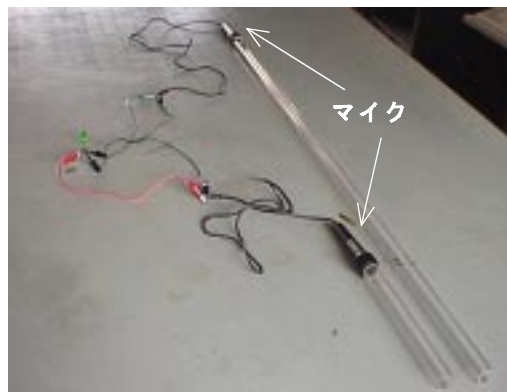


図29 音速測定装置

音源の近くにおいたマイクに届く音は図30，

31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 = $34002.336\text{cm/s} \approx 340\text{m/s}$ が正確に求まる。

Windowsになって正確な時間測定が困難になったが，音源ボードのA/Dコンバータを用いると，高精度の時間測定(最大の精度が $1/44100$ 秒)が可能となる。

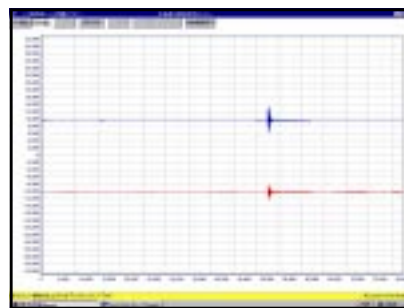


図30 距離が異なる2地点に到達した音波

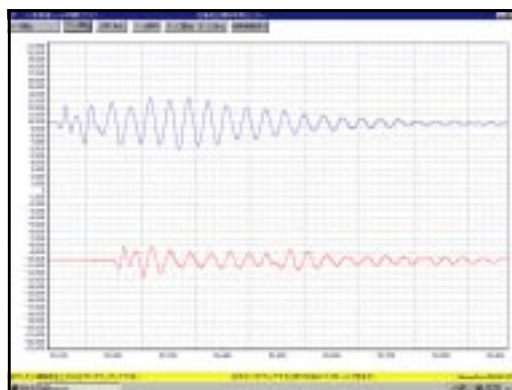


図31 図30の到達した音波を拡大して表示

7.4 水素中および二酸化炭素中の音速を求める

7.3の実験装置(アクリルパイプ)を縦にして使い，マイクが付いていない口を上に向けて空気より重い気体を，口を下にして空気より軽い気体を入れるといろいろな気体の音速測定実験が簡単に出来る。水素の音速を求める実験では，アクリル管の奥(一番上)までホースを通して水素を送り込んだ(図33)。



図32 水素の注入

図32では、一番左端のフラスコの中にアルミや亜鉛を入れて硫酸を注いで水素を発生させ、残りの2つのフラスコにそれぞれ水と濃硫酸を入れ、その中をくぐらせて、混合している硫酸ミストや水蒸気を吸収させた後、アクリル管の口から上の先端まで通したビニルホースで管の中を水素で充満させている。



図33 水素の音速測定装置

2つの管の下の方付近で拍子木をたたいて1秒間あたり44100サンプリングレートで2秒間録音した。

音源の近くにおいたマイクに届く音は図34、35の下の波形で示され41464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上の波形で示され41499サンプリング目に到達

している。

到達時間差 $(41499 - 41464) \div 44100$ (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 = $103950 \text{ cm/s} = 1039.5 \text{ m/s}$ が求まる。理科年表にある水素の音速 (ただし 0 , 1 atm) は 1269.5 m/s である。

図32ではアクリル管の下の方の口があいているので中の水素の圧力は大気中の圧力に等しいと考えられるので、値のずれは温度の違いや水蒸気などの他の気体の混じりなどが考えられる。

水素中の音速が単なる空気中の音速に比べ3倍弱も速くなることがこの実験でわかり、音速の理論値は分子量の平方根に反比例するが、改めて水素の分子量の小さいことを感じるができる。なおこの実験に要した時間は約30分で、2回測定できた。

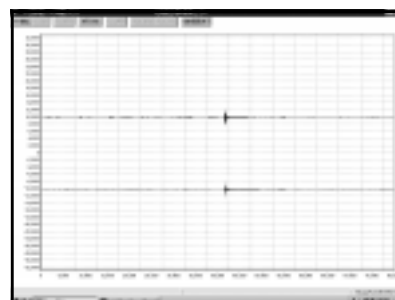


図34 2つのマイクに到達する水素中の音波

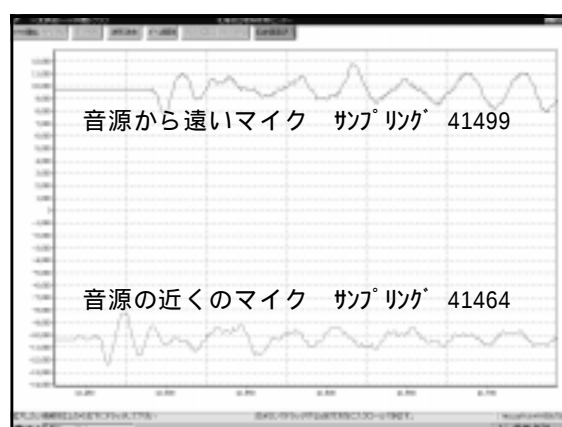


図35 図34の波形を拡大して対応する波形のサンプリング数を調べる。

二酸化炭素中の音速を測定するため、アクリル管のマイクがついていない口を上に向けて立

大久保

てて、炭酸カルシウムと硫酸を使って二酸化炭素を発生させ水素と同様に混合物を除去して管の中にためて実験を行った。この場合に対応する2つの音波のサンプリング数の差が136となり音速が267.5m/sと空気中より明らかに遅くなる。理科年表では258～268.6m/sで対応している。要した時間は20分。気体の入れ方に注意すれば、短時間に簡単に空気と異なる気体中の音速を求めることができる。

7.5 定常波の波長

4.3の定常波の実験で2チャンネルで音を拾って波長を求めた。2つのマイクのうち1つのマイクをアクリル管の口に固定し、もう一つのマイクを動かして調べた(図7)。スピーカが置いてある管の口と反対側の口の同じ所に2つのマイクを置いて2つの波形をオシロ表示し(図36)、図37はそのときのリサージュ図形である。2つの波形は同位相なので重なり、リサージュ図形は右上がりの直線となる。



図36 同じ所(管の端口)にマイクを置いたときの2つのマイクの波形の時間変化



図37 図36に対応するリサージュ図形
次に、1つのマイクは口に固定し、もう一つ

のマイクを少しずつ口から中の方にずらして、2つのマイクで拾った波形の位相差が180度になる地点(2つのマイクは互いに半波長ずれた地点にある)を探した。図38の山と谷がずれていること、および図39のリサージュ図形が左上がりの直線になることから180度ずれている(逆位相になっている)地点が求められる。

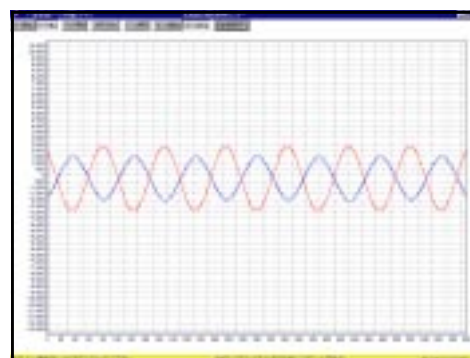


図38 互いに半波長ずれた地点においた2つのマイクの波形の時間変化



図39 図38に対応するリサージュ図形

図39の時の2つのマイクの距離を測ると33.1cmで半波長に対応し、これから波長を求めることができる。さらに振動数分析で求めた振動数504Hzを使って、音速は $0.331 \times 2 \times 504 = 333.6 \text{ m/s}$ と求まる。音速に対してほぼ妥当な値が求まり矛盾しないことがわかる。

8. 音源ボードの特性についての注意点

音源ボードのマイク入力アンプには、電圧の直流成分をカットするためのコンデンサーがつ

ながっている。したがって電圧の直流成分がカットされたり，低周波では波形が微分されたようになっていたりして，波形が歪む。

例えば図14の交流の波形では電圧波形の頂上の山が平らになったり，図19～図21の光電池の電圧では，電圧が最大値になった瞬間に本来は一定の電圧値を示すはずが減衰している。参考文献⁴⁾によれば，音波のような電圧波形が数百Hz以上の場合，ほとんど影響がないと考えられるが，音波以外の一般の電圧変化の場合，特に低周波の場合は実際の電圧波形と異なるので扱いには注意が必要である。

9. まとめ

Windows対応のコンピュータに装備されている音源ボード付属のADコンバータを使うと手軽に高速度・高分解能の計測を行うことができ非常に有効である。

コンピュータさえあれば簡単に計測ができるということを広く訴え，少しでも先生方の計測に対するしきいを下げていきたいものだと願っている。

参 考

ソフトは理科センターのホームページから自由にダウンロードして使える。

理科センターのホームページアドレス

<http://ricen@manabi.pref.hokkaido.jp>

なおこのソフトは平成11年度学習ソフトウェアコンクールで文部大臣奨励賞を受賞している。

参考文献

- 1) 柳沢正明 Windowsサウンド，InsideWindows 3月号 ソフトバンク (1998)
- 2) 平田邦男，山田盛夫 パソコン物理計測入門 共立出版 (1991)
- 3) 羽毛田信拓 ウェブフォーム・オーディオ機能の応用 BootStrap No.5 CQ出版社 (1994)
- 4) 神川定久 特殊なハードウェアを必要としない音声の取り組み 物理教育 Vol.43-1 (1995)
- 5) 北村俊樹 音声と運動の実験室 森北出版 (1996)
- 6) 互野恭治 VisualBasicでエンジョイプログラミング CQ出版社 (1998)
- 7) 天良和男 知的実験ツールとしてのパソコン活用 東京電機大学出版局 (1991)
- 8) コンピュータの計測・制御的な活用の研究 研究報告 第9号 千葉県情報教育センター (1995)
- 9) 南茂夫 科学計測のための波形データ処理 CQ出版社 (1986)
- 10) 小出俊夫 Delphi3.1リファレンスガイド 秀和システム (1998)
- 11) CharlesPetzold プログラミングWindows95, アスキー出版局 (1997)
- 12) 「先生と生徒のための物理実験」 共立出版 (1959)
- 13) 大久保政俊 コンピュータに内蔵されているADコンバータを使った計測 物理教育通信 No.98 (1999)
- 14) 大久保政俊 第16回物理教育研究大会 (日本物理教育学会年会) 発表 (1999.8.9)
- 15) 大久保政俊 全国理科教育センター研究協議並びに研究発表会物理部会 (第37回) 発表 (1999.11.11)

(おおくぼ まさとし 物理研究室研究員)