

ストローを用いた発音体の製作とその物理的性質の測定

— 長野高専における低学年の物理・化学のカリキュラム改革例 —

春原真一* 宮坂忠昭**

Making a Sounding Body with a Straw and the Measurement of its Physical Properties —A new Curriculum of Physics and Chemistry for Student in the Lower Grades—

SUNOHARA Shinichi and MIYASAKA Tadaaki

At Nagano National College of Technology, each basic teaching of physics and chemistry has been carried out separately so far. But we tried to reform the curriculum by using new styles of scientific experiments in the general education last year. In this paper, we report the results that we have obtained in using this curriculum for the past year, especially from the viewpoint of physics. We intend to describe further details about this in a future paper. These curriculum reforms are based on the following ideas: one is that students make objects using materials near at hand, and recognize production process. The other is that students collect, evaluate and interpret the data of their creations by themselves. We note that students made sounding bodies using straws, measured their physical properties by oscilloscopes, and reported their impressions about the new experiments.

キーワード: 応用物理, 物理実験, 発音体, オシロスコープ, 気柱の共鳴

1. はじめに

本校では物理と化学の領域を取り去り新たに「科学演習実験」を平成14年度にスタートさせた。このカリキュラムの改革は、とすれば小中学校における授業時間数の削減や、社会環境の変化に伴う自然科学現象の観察不足、実体験の減少を少しでも補うために、まず興味を持って自らが積極的に参加し、モノづくり¹⁾、²⁾を中心にした簡単な工作と実験をして、創意工夫の態度と理論的な思考とを養うことを目的としている。この報告は、物理関係のメニューとして「音を見よう」というタイトルで新たに用意した内容の実施例である。日常使っているストローで笛を作り、その過程で音の発生機構を考え、整然とした理論によって説明されることを学習する³⁾。また音を観察する方法を聴覚から視覚に変換し、その観察技術を実習することを目標にしている。具体的なレポートにあまり重点をおくのではなく、時間内(100分)に実験しながら記入し、終了

時に提出可能にした。

2. ストロー笛の製作

ビンの口にくちびるを当てて吹くと音が発生する。これは管口に空気の乱流が生じ管内の空気をかき乱し、空気を振動させる結果、定常波を発生するためである。ストロー笛も原理は同じで音が出る。しかしストローの場合口の径が小さいために、直接くちびるを当てて吹いても微妙な調節が必要でなかなか音が発生しない。従ってストロー笛を作るには、この乱流による定常波を生じさせる工夫を必要とする。

まず図1のように、ストローの先端から $L=10\text{ mm}$ ～ 55 mm の任意の箇所にはサミカカッターで切り口を正確に入れる。切り口の下 B は 4 mm くらい残しておく。角度は 15 度～ 30 度として BC 面はきれいに切ることがポイントである。ストローの先端をセロテープあるいは手でふさぎ、空気が漏れないようにして角度 Φ を変えながら吹いてみる。微妙な角度で音が良く出たり出なかったりするので、最も良く音が出る角度 Φ でテープを使って固定する。一回で成功する可能性は少ないので、繰り返し試行するよう指導する。

* 主任技術専門職員

** 基礎専門 応用物理教授

原稿受付 2003年5月20日

教育の場として、学生は将来の技術者として失敗を恐れず、絶え間ない創意工夫をしながらモノづくりの経験を重ねる機会を多くつくるのが大切である。

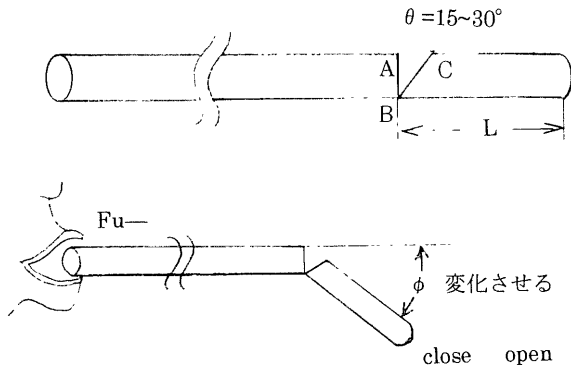


図1 ストロー笛

3. オシロスコープの使用方法

図2にオシロスコープの概略図を示す。電源はONにしておき、像が出ている状態しておく。2重ツマミの小さな方は回しきった状態で使う。

AはCH1の入力端子で、マイクを接続。BはCH2の入力端子で、発振器を接続。CはCH1の入力感度を調整するつまみで、5mV/cmにしてある。DはALTに合わせれば2現象の波形が観測できる。EはCH2の入力感度を調整するつまみで、2V/cmにしてある。Fは水平軸の走引時間（スイープ時間）を調整するつまみで、2ms/cm～1ms/cmにしてある。

4. 音を見る

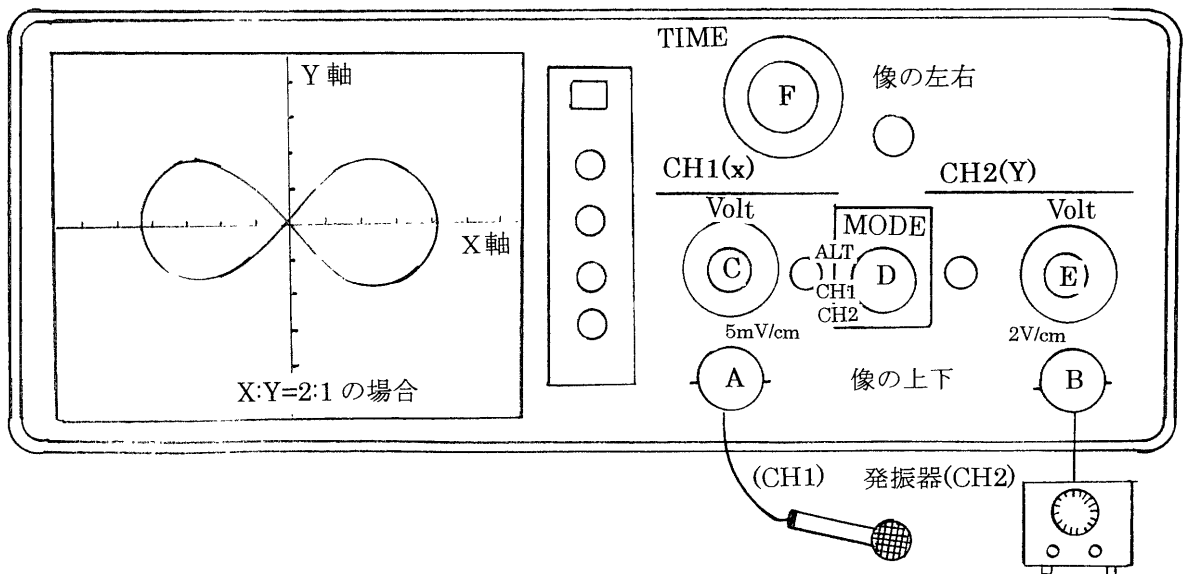
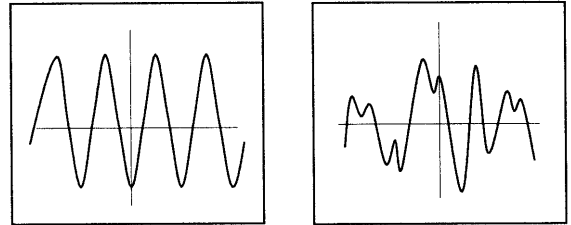


図2 オシロスコープ操作面

4-1 準備

Cつまみを5mV/cm, DつまみをCH1にする。CH1にマイクが接続されているのを確認して、まずマイクに音叉の音を入れて観察する。次に自分の声や口笛を入れてみる。CつまみとEつまみを調整して見やすい波形にする。



音叉 (きれいなsin波)

音声

図3 波形

4-2 リサージュ波形の観測

音叉の音と発振器の信号を同時に入れて、DつまみをALTにすると音叉の音と発振器の信号の2現象を同時に観測することができる。

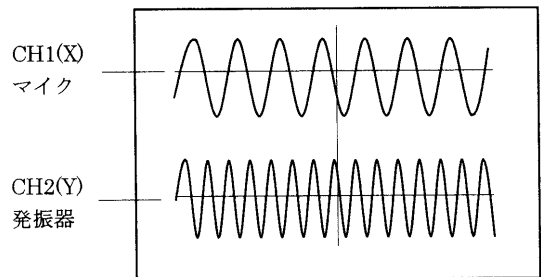


図4 2現象の波形の同時観察

発振器のつまみを回し、音叉の波形と同じにしておいてFつまみを回しきると、CH1のマイク信号がX軸、CH2の発振器の信号がY軸に変換され、1:1の円形のリサージュの観測が可能になる。その時の発振器の周波数が音叉の周波数になる。発振器のつまみを回し1:2, 1:3 などのリサージュの観測をしながら再び、2現象の観測を行うことを繰り返すとリサージュの意味が分かってくる。

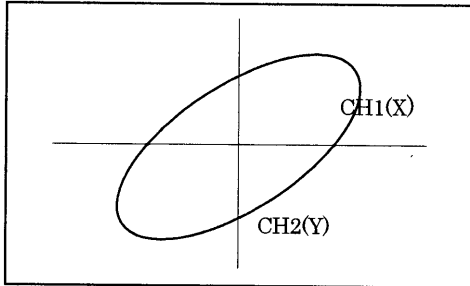


図5 リサージュ

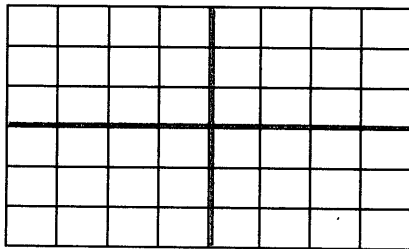
5. 報告書の様式

課題1

計測 A: 折り曲げた部分 (先端まで) の長さLをノギスで1/20 mmまで正確に測定する。

$$L = \text{_____ mm}$$

計測 B: ストロー笛の波形のスケッチ (記入グラフ用紙)



そのときの周波数レンジ (時間軸)

$$a = \text{_____ ms/cm}$$

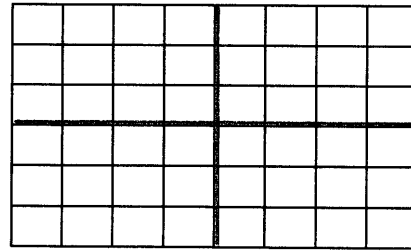
波形から1周期分の横軸目盛を読む

$$b = \text{_____ cm}$$

周期 $T = a \times b = \text{_____ ms}$

周波数 $f = \frac{1}{T} = \text{_____ Hz}$

計測 (C) リサージュ図形をオシロで観測してスケッチする。(記入グラフ用紙)



X:Y=1:1 (円) から発振器の周波数を記録する。
 $f = \text{_____ Hz}$

課題2 音の発生機構の考察

(A) 音速の計算 $V = 331.0 + 0.6t$

ここで t は, 実験室温

$$V = \text{_____ m/s}$$

(B) 波長 λ の計算

$$\lambda = \frac{V}{f} = \text{_____ m}$$

(C) 君の作った笛の発音の推定

ストロー笛は, 図6のように閉管か開管の空気の振動と考えられる。n=1 を基本音とすると、閉管の場合

$$\lambda_n = \frac{4}{2n-1} L$$

開管の場合

$$\lambda_n = \frac{2}{n} L$$

君の製作した笛はL=_____ mmであった。

閉管の場合

$$\lambda_n = \frac{4}{2n-1} L = \text{_____ m}$$

しかるに n = _____ であると推定される。

開管の場合

$$\lambda_n = \frac{2}{n} L = \text{_____ m}$$

しかるに n = _____ であると推定される。

従って周波数は $f = \frac{V}{\lambda} = \text{_____ Hz}$

オシロのリサージュの図からの測定値と

[一致した, かなり一致した, 一致しない]

一致しない場合はその理由を考察する。

課題3 製作したストロー笛の提示（音が出た状態でレポートにセロテープで固定する）

課題4 製作と音が出るまでの考察。（発音の理由、工夫したこと、音色、振動数等）

採点項目

笛の工作精度、オッシロのスケッチの正確度、測定値の信頼性、リサージュ図のスケッチと意味理解度、発音体の規則性の理解度、レポートのていねいさ。

6. 実施の結果

6-1 ストロー笛の製作

一般のストロー笛は、吹き口に振動板を形成するものが多く、先端部は管の振動による増幅機能を持つものが多い。今回開発した笛は、図7に示すようにこれとは異なり、先端部の気柱の共鳴を利用して、この長さにより振動数（音程）が定まる性質を持つ。従って定量的な学生実験のテーマとして適した性質もっている。

ストローへの切口の工作精度が発音の特性と質とを支配するので、学生に指導書を正確に読み、それにそって工作するようながした。先端を閉じると気柱の共鳴は閉管の形になり、この方が開いている場合よ

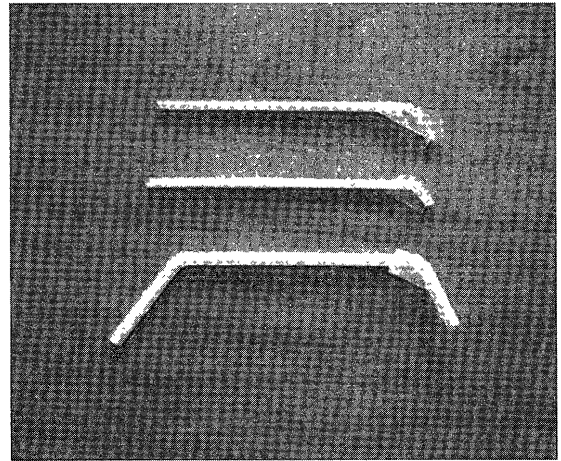


図7 製作したストロー笛

り発音しやすい。1つの理由は、切り口部分での乱流が生じ易く、これが起因して共鳴が起き易くなると思われる。

角度 Φ の変化は、乱流による流体の振動数と、閉管のもつ固有振動数の合致する条件を探すためであろう。学生はこの微妙な角度調整を何回も試み、予想していたよりも容易に笛の製作を終了していた。図7は製作したストロー笛の一例である。

6-2 音を見るためのオッシロスコープの操作

限られた時間であるため、オッシロスコープは電源を入れすべて調整済みとしておいた。更にマイク、発振器も入力端子に結線し、入力感度も入力信号に合わせた。画像は1周期の水平掃引が1cmになるように1KHzを出力調整し、周波数 f の測定の意味を理解した。ただちに自作した笛の音の観察に移ったが、笛のでき具合と吹き方により、一定の波形観測に苦しむ場面が多く、特に女子学生と肺活量の少ない学生はきつい実験となった。笛の角度 Φ の固定の方法、吹き方によって固有振動数が一定になること、また共鳴音の他の流体の乱流によるノイズが重なり、像が動くと共に不鮮明さが生じた。従って瞬間的な像をしっかりと観察して、1周期分の長さの他に半周期分の波形の長さを

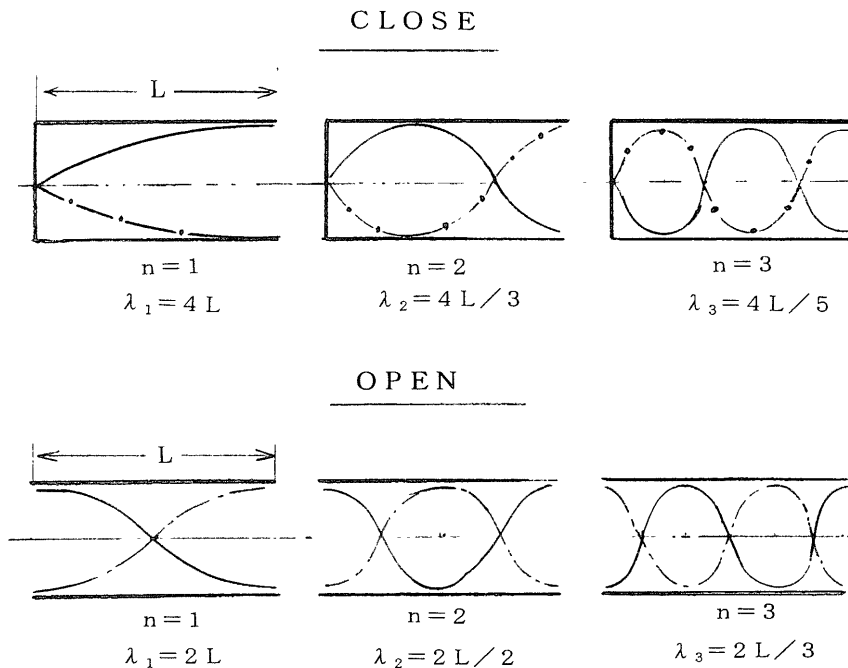


図6 閉管と開管の空気の振動

測定し、周期 T を算出するよう指導した。

図 8 は、図 7 の最上部の $L=18.75 \text{ mm}$ のストロー笛のオシロスコープ観測例であり、振幅の大きなものが笛の振動、きれいな小さな振幅は発振器の振動を示している。リサージュによる周波数測定値は、 $4.60 \times 10^3 \text{ Hz}$ であった。一方、室温 22.0°C での音速を用いた理論的周波数は $4.59 \times 10^3 \text{ Hz}$ であり、非常によい一致を示した。

6-3 リサージュによる周波数 (f) の測定

X, Y 成分の信号の合成図、いわゆるリサージュ図形に、学生は新鮮な驚きと感嘆の声をあげた。音叉信号を X 軸に、Y 軸に発振器の信号を加える。安定した音叉の信号であるから、このリサージュの説明には適している。2つの信号を独立に並べて見せてから「さあ、X 軸、Y 軸に信号を置き換えて、合成するよ！」と注意を喚起して、水平軸つまみを回しきると瞬時にリサージュが現れる。この場合 2 : 1 くらいの 8 の字型が印象が強い。すぐつまみを戻して水平波形を観察し、2 : 1 の周期を確認する。これを何回か繰り返すことで、学生は容易に理解できた。1 : 1 の場合、図形がなぜ 45 度 (入力電圧が等しい場合) の直線と、円と 135

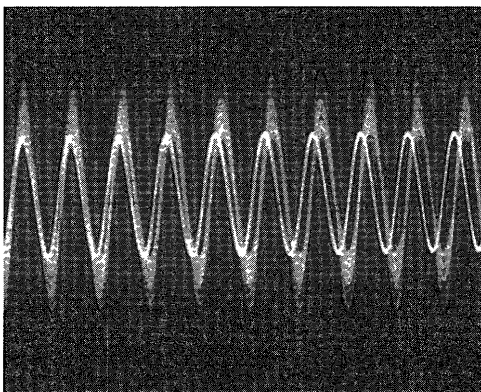


図 8 ストロー笛と発振器による波形の比較

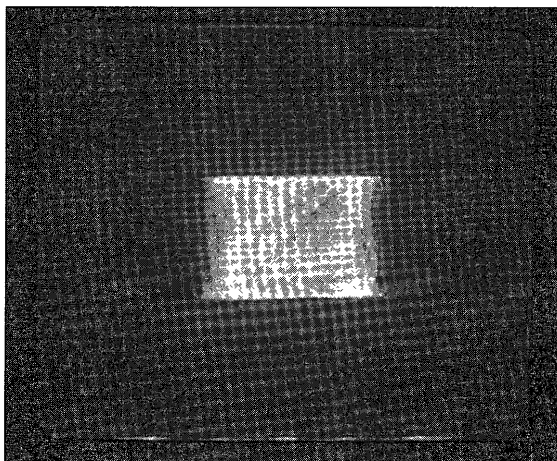


図 9 ストロー笛の音のリサージュ



図 10

度の直線とを繰り返すのが、このスイッチの切り替えによって、位相のずれによることを観察できるとともに理解できた。これによってオシロスコープの使用法が確実に習得でき、かなり高度な測定技術を会得できた。

図 9 は、図 8 に示した 2 振動のリサージュ図を示す。この場合も、吹き方の強弱により振動は微妙に変化する。また定常波のほかに、空気の乱流ノイズが重なるため、1 : 1 の円形リサージュも安定しない。一瞬の変化も見逃さないことが大切となる。

6-4 音の発生機構の考察

$v = \lambda \cdot f$ の波の基本式を自らの実験によって理解することに、かなりのとまどいと抵抗を示した。音速が何のために必要かと思う学生もかなりある。「気柱の共鳴、閉管」と提示しても、ストロー笛との関連に理解できない学生もいた。いかに実体験に根ざした科学的思考が乏しいか、また机上の学習しか身につけていないかを感じた。簡単な遊び道具に潜む、真の現象を、なかば強制的かつ理論的な計算によって説明する今回のカリキュラムであるが、理論値 (定常波) とリサージュから測定した実験値とは、ぴったり一致するものは少ないものの、20% の範囲内で一致していた。この現象を教材として採用するためには、開口端補正などを考慮して、正確な分析、検証をする必要がある。

開管の場合は、発音のしにくさがあるが、閉管より高音となり、学生に試みることを促したが今回は数名にとどまった。今後の検討課題である。図 10 は実験中の学生と指導者である。

7. あとがき

カリキュラム改革の 1 つとして実施した「音を見よう」の試みは、自然科学の実験を通して、自然の基本法則および、科学的方法論の基礎を学習し、その目的をかなり達成した。

100 分の時間内で、笛という遊び道具を自らの手で

完成し、正確な工作がモノづくりの原点であり、音という結果に現れることを体験した。さらに身近なものから製作したストロー笛からの発音性に科学的測定を加えることによって、この発音性は定常波という波動の規則性から説明できることを学んだ。学生は興味を示しながら熱心に取り組み、約9割は時間内にレポートを提出した。中には基本音の $n = 1$ の意味が理解できない少数の学生が見られた。これらは今後の授業によって指導する必要がある。

簡単な材料で、容易な工作によって、学生が興味を持って自然科学に含まれる現象を学ぶための、カリキュラムの実施例を報告した。新しい時代の学生には、

常に新しいカリキュラムを用意すべきであることを教える側は心がける必要がある。

おわりに、本実験に熱心に取り組んだ平成14年度2年生の諸君の努力を記して謝す。

参考文献

- 1) 精密工学会：モノづくり教育体系調査報告，p.p. 42-68 (2000年7月)
- 2) 宮坂忠昭：ロボコンによるモノ作り教育の実践例，長野高専紀要，第33号(1999)，51-160.
- 3) 宮坂・春原：発音性管の計測への応用，長野高専紀要，第13号(1982)，63-68.