

音教材における実験器具の開発

松井 明*・藤高 英男**・福島 和洋*

A Sound-Detecting Equipment as a Teaching Material

Akira MATSUI, Hideo HUIJITAKA and Kazuhiro FUKUSHIMA

Abstract

We newly make an equipment to detect sounds appearing in lower secondary school course of study. Signals of sounds can be taken into a PC through an A/D converter. To view waveforms on the PC screen an adequate software is also made with Visual Basic.

はじめに

音について、中学校1年生では「音はものが振動することによって生じ空気中などを伝わること」、「音の高さや大きさは発音体の振動の仕方に関係すること」を実験などを通して学習することになっている¹⁾。

音源の振動のようすや音の伝わり方、音の大きさについては、教科書に記述してある内容について実験を通して検証できる。しかし、音の高さについては、教科書に「音源の振動数が大きいほど、音は高い」という記述でまとめてある²⁾ものの、そのことを検証する有効な方法は示されていないため、これまでの授業の中では「教科書に書いてあるとおり・・・」というあいまいな説明のみで授業が行われてきたように思う。つまり、「音源の振動の速さの違い」を実験を通して、具体的なデータとして提示できないところに課題があると考えられる³⁾。

また、音の高さや大きさを視覚的に捉える方法としてオシロスコープがあるが、学校にあるオシロスコープの場合、音の変化を瞬時に見ることはできてもすぐに波形が消え、また2つの波を同時に表示することができない。音についての情報を視覚的に捉え、しかも数値化したり、比較したりすることができれば、生徒の驚きや感動を呼び起すことができるし、保存したり、結果を印刷表示することができれば、音の性質についての概念をより深めることができると考える。

そこで、弦の振動の速さを検知できる器具の製作と、その結果を視覚的に処理することができるパソコン用オシロスコープの製作を行った。弦の振動の速さを検知できる器具として、光センサの一種であるフォトトランジスタを使用し、光センサから出る信号の変化によって弦の振動を直接測定できるようにした。パソコン用オシロスコープの製作では、Visual Basicを使ってプログラムを作成し、A/Dコンバータと組み合わせることにより、パソコン用メモリスコープを作成することができた。

今回製作した器具を使って、教材用モノコードの弦の振動を測定することができた。また、中学1年生の理科授業と2年生の選択授業を行った結果、音に関する教材として活用できることが認められたので、その結果をここに報告する。

実験装置および方法

1 光センサ

今回使用したフォトトランジスタは、回路構成が比較的シンプルで、出力電流も大きいため比較的低周波(数kHz)の光センサー回路に幅広く利用されている^{4) 5)}。このため弦の振動測定には十分であると考えられる。

このフォトトランジスタを作動させるために、回路をエミッタ出力形式とした。この回路では、フォトトランジスタに光があたっているときは電圧を生じ、光があたらないときは電圧が0Vとなる。

図1は、光センサを用いて弦の振動を測定するときの原理図を示してある。弦の上部に光源を下部に光センサを置き、弦の振動によって弦が光を遮断するときとしないときの光センサからの信号の変化を

* 理科教育

** 熊本市立花陵中学校

捉えるしくみになっている。光源からの光が弦によって遮断されるときは、光センサに光があたっていないため、回路に電流は流れない。しかし、弦が移動し光センサに光があたると、回路に電流が流れるしくみになっている。実際の測定においては、光源からの光を細い弦が十分に遮断できるような黒い紙で筒を作り、フォトトランジスタを覆い、弦の振動による光の変化を十分に取り出せるような工夫を行った。

2 モノコードの弦の振動と音信号の測定

製作した器具を用いて、教材用のモノコードの弦の振動を測定したときの実験装置を図2に示してある。コードの下部に製作した光センサを置き、上部から蛍光灯を使って光をあて、コードを指で弾いたときの光センサからの信号の変化を捉え、パソコンを使って処理した。実験では、コードの長さを30cmと40cmと変えて測定を行った。モノコードの横に設置したマイクは、音信号として入力し、光センサから得られる信号の変化との比較を行った。

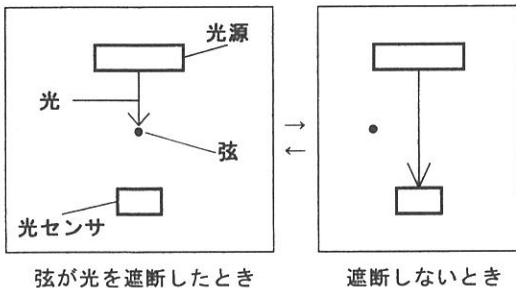


図1 光センサによる弦の振動測定

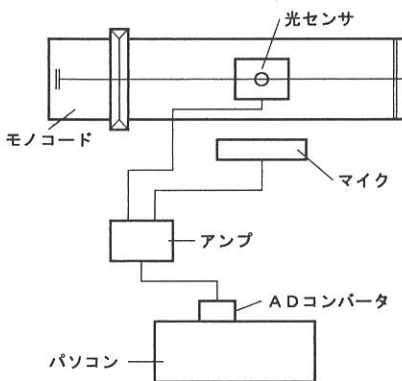


図2 光センサを用いた実験装置

パソコン用メモリスコープの作成

1 A/D コンバータ (Pico Technology ADC-11)

コンピュータは、デジタル信号のみを認識するが、オシロスコープで扱う信号はアナログ信号が多いため変換するための装置が必要である⁶⁾。この装置がA/Dコンバータであり、今回はADC-11を使用した。ADC-11のおもな特徴としては、10ビットの分解能を持ち、アナログ入力ポートを11チャンネル持つため、各種センサーからの情報収集ができるので発展性があり、小型で安価なことがあげられる。

2 入力用アンプ

今回使用したA/Dコンバータは、0~2.5Vの範囲でAD変換をする。このため、交流電圧をA/Dコンバータに入力した場合、マイナスの信号はすべて0Vと判断され、そのままではオシロスコープとして使用できないため、測定したい信号に電圧を加えることで使用できるようにした。

また、測定したい信号に安定した電圧を加えるためにオペアンプを使用した。図3は、その回路図を示してある。この回路は、次の3つの部分から構成されている。

(1) 信号入力部

図3に示してある端子(T1, T2)とマイクジャック(J1)がこれに相当する。マイクジャックは、マイクからの音声を容易に信号にすることができる。また、信号に電圧を加えるための乾電池(V1)を接続している。

(2) 加算回路部

図3に示してあるOp-Amp1と抵抗(R1~R4)がこれに相当する。入力端子(J1)および端子(T1)から入力した信号と乾電池(V1)と可変抵抗(VR1)で組み合わせた電圧発生部の2つの信号を加算された信号が、逆位相でOp-Amp1から出力される。

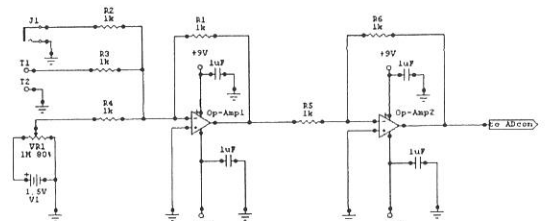


図3 アンプの回路図

(3) 反転増幅部

図3に示してあるOp-Amp2と抵抗(R5, R6)がこれに相当する。加算回路部から出力された信号は反転されたものが出てくるので、ここでもう一度反転させることにより、入力信号と同位相の信号をA/Dコンバータに出力することができる。今回は、2チャンネルの入力ができるように図3の回路を2つ組んでいる。また、使用したA/Dコンバータは、プリンタケーブルと接続するようになっているので、オペアンプの出力とプリンタケーブルを直接接続した。

3 Visual Basic を用いたプログラムの作成

(1) プログラムの構成

Visual Basicでプログラムを作成するとき、いくつかのプログラムを組み合わせることができる。そのプログラムを組み合わせた1つのユニットを「プロジェクト」と呼んでいる。プロジェクトには、画面表示によりプログラム利用者が目にする部分で作業をする「フォームモジュール」と、利用者が目にすることなくプログラム内のみで作業する「標準モジュール」などがある。プログラム作成者は、これらを組み合わせてプログラムを作成することになる。また、図4に示してあり、1つのプロジェクトにフォームは複数設定することができる。

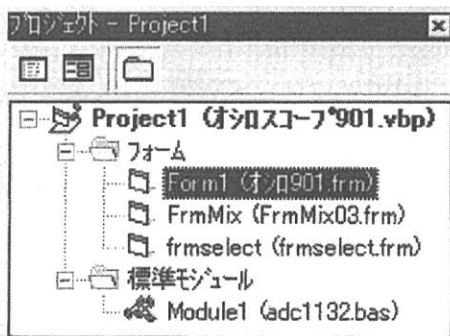


図4 プロジェクトの例

(2) プログラムの作成手順

プログラムの作成手順は、次の通りである。

- | |
|--|
| ①画面のデザイン→②プロパティの設定→
③コードの記述→④試行→⑤デバッガー→
⑥実行可能ファイルの作成 |
|--|

①画面のデザイン

作成するプログラムに表示させる画面をマウス操作により作成する。このとき、Windowsで利用されている一般的な画面を作成するための部品は、標準で設定されている。そのため、プログラマーはその部品を選び、配置することで画面を作成することができる。

②プロパティの設定

①で作成した各部品の位置やサイズなどを決める値を設定する。位置は①で設定可能であるが、表示する色や文字のフォントなどはここで設定する。

③コードの記述

①で作成した画面上の部品に対して、プログラムの利用者が行う操作に答えていく形で記述する。コードについてはさらに後述する。

④試行

作成したプログラムが作成者の意志通り動くかを確認する。

⑤デバッグ

試行して、プログラムミスが発覚した場合に修正する。

⑥実行可能ファイルの作成

実行可能ファイルにすると、Visual Basicを起動しなくても実行できるプログラムになる。

(3) コードの記述

Visual Basicでは、イベントドリブンの組み合わせによってプログラムを作成する。イベントドリブンとは、コマンドボタンがクリックされたとき、次の計算処理をしないといふことをプログラムの順番に関係なく、その処理を行うことができることである。これにより、プログラム作成時に新たな機能を随時追加していくことも容易である。

4 作成したソフトウェアの特徴

オシロスコープを作成するにあたっては、市販のオシロスコープのように波形の変化をリアルタイムで表示できるプログラム作成を試みた。しかし、信号の入力と波形表示の時間が短すぎて表すことができなかつたため、いったん信号をコンピュータに取り込み、その後画面に波形表示させる形のメモリスコープの作成を行った。また、信号のデータ保存、読み込み、及び画面(波形)印刷を行うことができるプログラムの作成を行った。

メモリスコープは、次の4点を念頭において作

成することにした。

- 2つの波形を同時に表示できること
音の大きさ、音の高さの違いにより、現れる波形が異なることを確認できるようにするため、同時表示できるようにした。
- 座標上の間隔をマウス操作で計測できること
入力信号がどれだけの周波数を持っているかを重視するため、マウス操作で2点間の間隔を測定できるようにした。
- 2つの波形を合成できること
高等学校の学習内容である「うなり」を考慮することができるようにした。
- 信号の取り込みを1秒間とすること
0.1ミリ秒ごとの電圧をAD変換しコンピュータに取り込むため、1秒間で10,000個のデータ（2チャンネル同時であれば20,000個）となる。

(1) プログラムの内容

図5は、今回作成したプログラムを表している。3つのフォームモジュールと1つの標準モジュールからできている。



図5 作成したプログラム

1) フォームモジュール

a) Form1 (オシ0901.frm)

メイン画面となるフォームであり、外部入力信号を表示したり、保存データを読み込み2つの波形を2つの座標で表示させることができる。図6に、このフォームが表示する画面を示してある。

b) FrmMix (FrmMix03.frm)

2つの波形を1つの座標で表示したり、合成波形を表示するフォームである。図7に、このフォームが表示する画面を示してある。

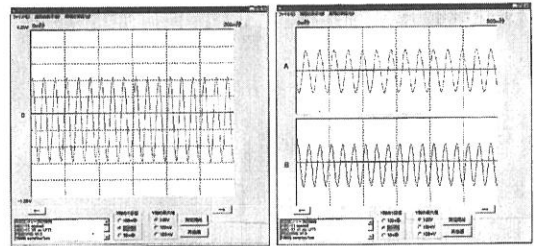
c) frmselect (frmselect.frm)

信号入力を選択するためのフォームであり、図8に、このフォームが表示する画面を示してある。

2) 標準モジュール

a) Module1 (adc1132.bas)

2つ以上にまたがった変数は、この標準モジュールの中で定義することで、共通利用できるようにしている。また、DLL (Dynamic Link Libraries) を使用する宣言をここで



1 波形表示

2 波形表示

図6 メイン画面

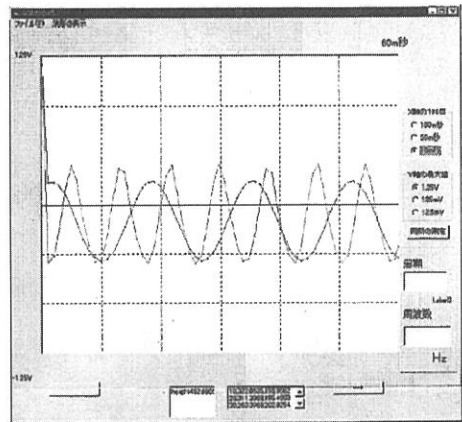


図7 合成波形表示画面

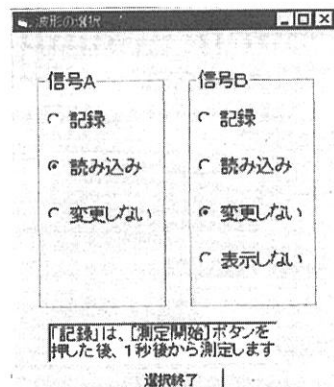


図8 波形の選択画面

行っている。DLLとは、1つのまとまったプログラムであり、プリンタポートを使った入・出力で、必要かつ複雑な操作を処理するものである。このようなDLLファイルを使用することで、メインプログラムの負担を軽減している。また、使用するDLLファイルは、コンピュータのバス(¥)に配置するか、メインプログラムと同じフォルダに入れておく。

(2) プログラムの操作性

今回作成したプログラムの操作は、全てマウス操作のみで可能である。

1) 波形の選択

メイン画面の上部のファイルメニューから、図9に示してある「波形の表示(W)」→「表示の選択」を選択すると、先に示した図8の画面が表示される。ここで、表示する信号を選択する。選択が終わったら、「選択終了」をクリックする。信号が1つの場合は、波形を大きく表示できるように、信号が2つの場合は、上下に並列表示できるようになっている。

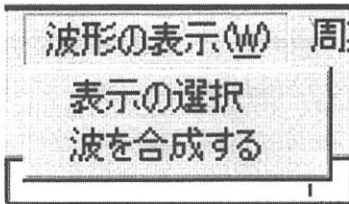


図9 ファイルメニュー (波形)

2) 信号入力

保存しているデータを読み込む場合は、図10に示してあるような一般的なアプリケーションソフトで使用されているファイル選択画面が表示される。また、外部から信号を入力する場合

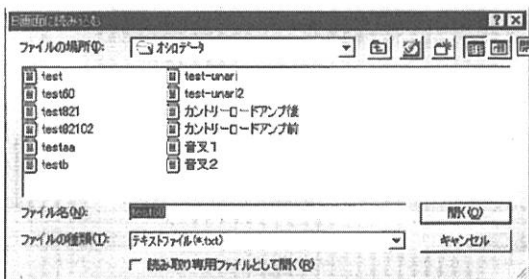


図10 データ読み込み画面

は、メイン画面の下部にある「測定開始」ボタンをクリックすると、1秒後から信号を入力できるようにになっている。

3) 表示された波形の変更

時間軸(X軸)及び電圧軸(Y軸)の変更も、図11に示してあるようなマウスで簡単に変更できるようにになっている。

4) 時間の間隔の測定

メイン画面上部のファイルメニューから、「周期の測定」→「波形A」と選択すると、図12に示してあるような波形Aにチェックマークがつき、波形を表示している座標に赤線と青線が現れ、座標右に図13のような表示が現れる。座標上に現れた線は、マウスで移動することができ、その2本の線の間隔は図13で表示される。

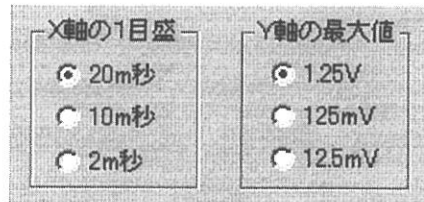


図11 X軸・Y軸の選択画面



図12 ファイルメニュー (周期)



図13 周期・周波数表示

5) 波形の合成

メイン画面上部のファイルメニューから「波形の表示」→「波を合成する」を選択すると、メイン画面で表示している2つの波形を1座標

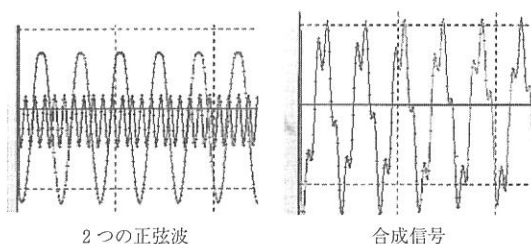


図14 2つの信号の合成

で表示できるようになる。また、選択によって、2つの信号を合成した波形を表示することも可能である。さらに、この3つの波形を同時に表示することも可能である。図14は、50Hzの信号と100Hzの正弦波を同じ座標で表示したものと、2つの信号の合成信号を示してある。

結果と考察

製作した光センサーを使って、測定した弦の振動を図15に示してある。ともに、X軸の目盛りは10ms/div、Y軸の目盛りは125ms/divである。

長さが40cmの弦の振動においては、振動のようすを視覚的に捉えることができ、周期や振動数の測定も行うことができた。しかし、長さが30cmの弦においては、正弦波と光センサーからの信号が合成されたような波形をしており、振動のようすをはっきりと測定することができなかつた。これは、弦の長さが短くなるにつれ弦の振動がより小幅で速くなるため、光センサーが反応するための十分な光量の変化が得られず、正弦波のノイズを十分に除去できなかったためであると考えられる。

図16は、2つの音信号を測定し、その波形を同時に表示したものである。Aは弦の長さ40cm、Bは弦の長さ30cmのモノコードの音信号をマイクで取り込んだものである。同じような波形であるが、今回作成した周期測定機能を使用することにより、Aの周期4.5m/秒、Bの周期3.8/秒とその周期の違いを測定することができた。さらに、周波数についてもAの周波数222Hz、Bの周波数263Hzを表示しているため、音の高さと周波数の関係についても簡単に説明できる。同様に、音の大きさと振幅の大きさの関係についても十分に説明することが可能である。

また、今回作成したメモリスコープが、授業で有効に使うことができるかを確認するため熊本市内の中学校1年生、及び2年生選択理科で授業を行った。

中学校1年生では、「音の高さや大きさは音源の振動に関係する」を学習目標とし、授業を行った。実験としてタッパー容器に輪ゴムをかけた簡単な弦楽器を作り、その楽器でより高い音、大きい音を出す方法を考えさせ、その検証に光センサーを用いて製作した器具を使用した。授業後の感想の中に「オシロスコープの波の意味とか、知らないことがわかってよかった」とあるように、興味や関心を引き出すことができたのではないと思う。

中学2年生の選択理科では、発展学習として「笛を作ってドの音を鳴らそう」を目標に授業を行った。笛は、ストローの一端をつぶした簡単なものである。自分が鳴らしている音がどの高さの音かを確認するために、作成したメモリスコープを利用してその音の高さを確認させた。ドの音(261.63Hz)に近づけるためのストローの工夫に取り組みしたが、時間内に目標としていた「ド」の音をメモリスコープで確認できた生徒はいなかった。しかし、音の高低を決定づけるのが、息を吹く強さとストローの長さであることを確認できた生徒がいたことは、音の学習に広がりを持たせることができたと考えられる。

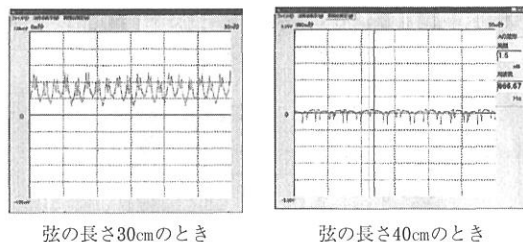


図15 弦の振動の測定結果

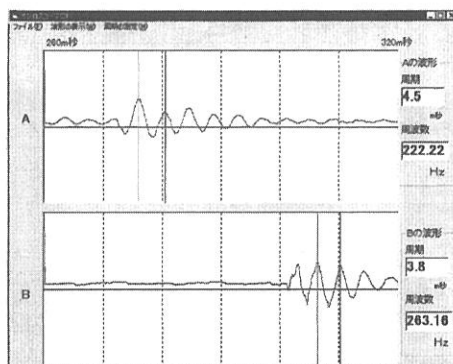


図16 2波形の同時表示

ま と め

「音源の振動の速さの違い」を光センサを用いた器具とパソコン用メモリスコープを使い実験を通して、具体的なデータとして提示することができた。たしかに生徒たちにとっては、光センサやパソコンなどその理論を理解するのは難しいものであるが、それらをうまく活用することで、「教科書に書いてあるとおり・・・」というあいまいな説明のみの授業から、より科学的な根拠に基づいた授業へと変えることができた。また、弦の振動という目で確認できないような速さを光センサで捉えることができたということは、理科学習において多方面への活用ができる可能性を持っていることを示していると考えられる。

パソコン用メモリスコープの作成では、教材として使用するには不十分な点も残されているが、できるだけ教科書の結果を使わずに自分たちで行った実験の結果を処理し、活用することによって、音に関する学習を深めることができた。また、音を視覚的

に捉えたり、数値化することができるため、活動している生徒たちの興味や関心を十分に引き出すことができたと確信する。

謝 辞

本研究にあたっては、当時本研究の教授であられた桃井凡夫先生にご助言、ご指導頂いたことを研究に携わった一同深甚なる感謝を申し上げます。

文 献

- 1) 文部省：中学校学習指導要領 解説 理科編，20-22，133(1999)
- 2) 戸田盛和他：中学校理科1分野上，大日本図書，18(2001)
- 3) 前田弥生：熊本大学実践研究，18，59(2001)
- 4) 谷腰欣司：光センサとその使い方，日刊工業新聞社，99-133(1994)
- 5) 谷腰欣司：メカトロニクスのためのセンサ応用回路101選，日刊工業新聞社，17-24(1991)
- 6) 桃井凡夫，森迫常生，平井智憲：熊本大学教育実践研究，7，9(1990)