

中学校理科実験におけるパソコン利用に関する検討

中西宏文・中野幸子
Hirobumi NAKANISHI・Sachiko NAKANO
(情報科学選修)

1. はじめに

昨今の半導体技術の進歩ならびに量産化による価格低下, および利用しやすい基本ソフトの開発により, ここ数年における社会へのパーソナルコンピュータ(以下, 「パソコン」と略す)の普及は目を見張るものがある。特に, それまで日本語の漢字処理という困難な問題のために専用のハードウェアを必要とし国際化の遅れていた日本のパソコンも, 中央演算処理装置(CPU)の高速化により, DOS/V と呼ばれる基本オペレーティングシステムや Windows を用いることでソフトウェア的に漢字の問題を処理できるようになった。この段階で, パソコン本体であるハードウェア部分は, 完全に全世界共通のものが使用できるようになり, 今では, 他の家電製品並の低価格で, かなり高性能なパソコンが入手できるようになっている。20年ほど前との価格性能比は数千倍とも数万倍とも言われ, 今後さらに普及が進むものと思われる。

これに伴って, 学校教育の現場に急速にパソコンが普及し, 様々な用途に用いられるようになってきた。コンピュータには, 正確性・高速性といった点で人間よりも優れた能力を持っているため, この能力を活用することで人間の能力では不可能なことを次々と可能なものにしてきた。しかしながら, 学校教育の現場における利用方法としては教師の代わりをするようなものが多く, 必ずしも十分な人数の教師がいない現状での有効性はあるものの, パソコンの能力を十二分に活用している事例はあまり多くないと思われる。

そこで本研究では, パソコンを中学校理科における実験で利用することを検討するとともに, その一事例として, 「音の性質」の単元における音速を測定する実験に用いた場合の生徒の反応等について研究を行った結果について報告する。

2. 教育現場でのパソコン利用について

学校教育の現場へのパソコンの導入に伴い, 数多くのCAI教材が開発され, 授業や自習用としての活用がなされている。これらのCAI教材は, 教師が教える際

に理解を深めるための補助として, また様々なレベルの生徒が自学自習できる点で一定の成果を挙げている。

本研究では, 従来のパソコンの利用方法に関して再検討を行った上で, 以下の視点に立って今までとは異なる形態の教材開発を進め, その効果について検討することとした。

- ・人間が実験を行うことが不可能であるか, もしくは著しい困難を伴うような実験を実行可能な教材の開発
- ・専用の実験装置が市販されていないか非常に高価であるような実験を安価に実現可能とする教材の開発

この研究の究極のテーマは, 人間のできることを代行するのではなく, 人間ではできないが, コンピュータを使用すれば容易に実現可能なことをコンピュータを用いて行うことである。そこで比較的多くの実験が考えられる理科について, どのような教材・テーマが考えられるのかについて検討した。

まず, 危険を伴うものとして化学反応の実験が挙げられる。反応の中には全く危険の無いものも多く存在するが, 中には不安定な危険物質ができたり, 爆発を伴うものもある。しかしこのような分野を, 全く実験なしで机上の学習のみで済ますというのでは, 単なる暗記学習となり, 化学に対する興味も半減してしまう。このような場合, コンピュータによるシミュレーションであれば危険を伴うこともなく, 生徒が自由に様々な薬品を組み合わせでどのような反応が起こるのかを確認することができる。

次に, 電気回路などの実験を考えるてみた場合, 間違った配線をする, ショートしたり, 高価な機器を壊したり, 感電したりといった危険があるが, シミュレーションでは, このようなことはない。このようなケースでは, シミュレーションで回路について検討した上で, 配線に問題が無いことを確認した後に, 実際の実験を行うことが望ましいと思われる。

また自然現象を観察したり説明しようとする場合、人間が行うとその人的要因による誤差が生じ、それが致命的な原因となり正確な測定が不可能となってしまうようなケースは数多く考えられる。その一例として人間が音速等を測定しようとする場合などが挙げられる。また、天体に関する分野などは、授業が行われる時間帯に観測することは不可能である。

これらの分野で、パソコンの特性を活かして、従来の授業形態では実現されていなかった実験などを可能とするような教材の開発について、研究を行っている。

その中で本研究では、中学校理科の中から、「音の性質」の単元を選び、人為的な要因により正確な実験ができなかった音速に関して、パソコン使って正確に音速測定のできるシステムの原型を作成し、実際に中学校の授業の中で実験を行った。

3. 従来の音速測定実験

3.1 実験方法

従来、教科書では音速を測定する方法の一例として、以下のような方法が示されている⁽¹⁾。

20メートル毎に計5人の生徒が旗を持って立ち（つまり、距離は100メートル）、分かりやすいように、100メートル地点に立つ生徒は赤い旗を持ち、他の4人の生徒は白い旗を持つ。そして、0メートル地点で、ピストルを鳴らし、旗を持っている生徒は音が聞こえた時点で、旗を上げる。また、ストップウォッチ系の生徒は、0メートル地点に立ち、音を鳴らしたと同時に、ストップウォッチを押し、100メートル先の赤い旗を持った生徒が旗を上げた時点で、ストップウォッチを止める。旗の係りとストップウォッチ係以外の生徒は、その時間を記録する。

3.2 実験結果

3.1で示された方法に従い、中学校1年生の生徒を被験者として理科の授業を利用して、人間が音速を測定する実験を行った。今回は、上記の方法を50回繰り返す、その中から極端に値の異なる10個のデータを除く中間値のデータ計40個の平均を求めた。

この実験による結果は、40回の観測値の平均で、音速約160メートルとなった。実際の音速が約340メートルというのに比べると、かなり遅くなっている。考えられる原因としては、

- ・風によって音が流された。
 - ・赤い旗を持った生徒が音を聞いた瞬間ではなく、旗を上げたのを見てからストップウォッチを止めるので、その間の時間にロスがある。
- といった点が挙げられる。

風が原因の場合は、雨天の場合と同様に、自然現象

であり、普段の風速は数メートルから十数メートルであるので、観測値が実際の音速と大きく離れた値になった原因としては、旗を上げたのを見てからストップウォッチを止めているための時間のロスの方が大きい。生徒の中には、反射神経が悪いからであると言っている者もいたが、どのような人でも音を聞いた瞬間に旗を上げるということはかなり難しく、またその動作を見てストップウォッチを止めるため二重に時間的なロスが生じる。これは、交差点において赤信号の側の車が信号が青になっても直ちに一齐同時に動き出さずに、どの車も前の車の動きを見てブレーキを外し発進するために、渋滞の後尾の車が動き出した時には既に信号が再び赤に変わっている、といったケースと同様の問題を含んでいる。従って、反射神経が悪いからといって片付く問題ではないであろう。この問題は、風の場合のように、風がない日に実験を行えば避けられるといった部類のものではないので、人間が実験の重要な部分に関与した場合、人間の生成する誤差要因を取り除くことはかなり難しいであろう。

また、誤差が大きかったこと以外にも、この実験を行うには、少なくとも直線で100メートル程度の距離を必要とするので、運動場などの広い場所が空いていなくてはならない。このような広い場所はほとんどの場合、屋外であるので、雨天の場合は実験ができないこともある、といった欠点もあり、計画的に行わなければならない授業中の実験としては実施しにくいものとなる。

指導書には、教科書の実験以外にも音速の測定実験の方法として以下のものが記述されている⁽²⁾。

- ・今回の実験と同様に、まず100メートルを測る。そして0メートル地点にピストルを持った者が立ち、100メートル地点にストップウォッチ係が立つ。ストップウォッチ係の者は、ピストルの煙を見たら、計測を始め、音が聞こえたらストップウォッチを止める。
- ・ビルに向かって手をたたくと同時にストップウォッチを押し、反響を聞いて、ストップウォッチを止める。

前者の場合において、ストップウォッチ係が煙を見た瞬間というのは、既にピストル係が音を発した後である。また、ストップウォッチを止めるときも、音を聞いた瞬間に押したと思っけていても、多少のズレがあるはずである。後者の場合も同様にズレが生じるであろう。計測時間は、340メートル以上離れていない場合、1秒以内であるので、多少のズレが音速を計算する際に大きく左右される。従って、いずれの場合も正確な実験結果を出すのは難しいであろう。

4. パソコンを利用した音速測定 実験システム

3. で述べたように、従来の人間が行う実験では、実験を行いたいときに必ずしも行えるとはいえず、また、実験結果も不正確・不安定である。そこで、この音速測定実験をパソコンを用いることで、正確に、しかも教室で行えるようシステムを開発した。今回システムを開発するにあたり、まず音をどのようにしてパソコンに入力するかが問題となる。基本的には、パソコン本体の拡張スロットに、マイクから取り入れたアナログ信号を2進数のデジタル信号に変換するための、A/Dコンバータと呼ばれる機能を持つボードを挿入する必要がある。こういったボードは以前は非常に高価であったが、最近ではマルチメディアの普及により、サウンドボードという形で非常に安価に供給されるようになり、最新のパソコンなどでは、最初からこのような機能を持ったボードがセットで組み込まれる機会が多くなり、その点でも、今後容易に実現可能と成りうる研究であると考えている。本研究においては、従来から音声の研究などに利用して実績のある、ステレオ録音が可能なカノーブス社の「Sound Master」⁽³⁾を使用して測定装置の開発を行うこととした。

4.1 Sound Masterについて

Sound Masterは、Hi-Fi オーディオ信号・音声・振動などのアナログ信号の収集・編集・分析・加工・保存及び再生まですべてをPC-98上で実現するためのボードと専用ソフトのシステムである。これを用いることにより市販のCDプレーヤで用いられているのと同じ条件で音をデジタル信号として処理できる。

今回は、その中のA/D、D/A変換ボードのみを利用し、ソフトウェアについては独自に開発を行った。今回行った処理のハードウェアの流れは、およそ以下の通りである⁽⁴⁾。

今回用いたボードでは、マイクからの入力信号をアンプを通して入力することにより、ボード上でアナログ信号である電圧値を、16bitのデジタル信号に変換できる。そこで、A/D変換結果をPC98の内部のメインメモリに、また、逆にメインメモリのデジタル化された音声データをSound MasterにDMA (Direct Memory Access) 転送することで音声のデジタル録音・再生ができるようになっている。DMA転送はCPUのシステムバスへのアクセスを一時中断し、バスの使用権をもらうことにより実行可能になる。このようなDMA制御はPC98内部のDMAコントローラ8237Aを介して行う。A/D変換を終了してデータが得られた時、またD/A変換したい時に、ボード上では8237AにDMA要求信号が出される。8237Aはこれ

を受けてCPUのシステムバスのアクセスを止め、A/D変換時はSound Masterのボードからメモリへ、D/A変換時はメモリからSound Masterのボードへ、直接デジタル化された音声データを転送する。

本システムでは、Sound MasterとPC98内部の8237Aに直接データやコマンドを書き込むことによって音声データを得ている。なお、このボードはPC98シリーズの汎用拡張スロットに挿入して使用されるものである。

また制御プログラムはC言語を用いて、上記のDMAコントローラ等の制御を直接行うことができるよう独自に開発を行った。

4.2 本システムの概要

本システムで使用した機材は以下の通りである。

- ・パソコン本体 (NEC PC9800シリーズ)
- ・Sound Master (A/D変換ボード)
- ・マイク2本とマイクスタンド
- ・アンプ (2チャンネル分)
- ・メジャー
- ・音のでるもの (おもちゃのピストル)

本システムを立ち上げ、何かキーを押し、音を出す。キーが押されると、0.2秒間待った後、1秒間音を取り込まれる。

この待ち時間は、一人でパソコンの操作と音を出す操作を行うための時間のロスを考慮したものである。しかし、この形式でシステムを構築したために、後述するような実験の失敗が生じたため後日改良し、近い方のマイクに一定レベル以上の音が入力された時点から1秒間のデータを保存し、使用するようにした。音は、1秒間に44,100個(サンプリング周波数44.1kHz)取り込まれる。

音を取り込まれると、それぞれのマイクから取り込まれた音の波形が出力され、それぞれのマイクの音の始端部分に線が引かれる。そして、以下の式

$$(\text{両マイクの音の始端部分のデータ数の差}) / 44100$$

により、時間差を求め、出力する。

始端の検出方法は、まず両マイクから入力されたデータをもとに、各々のデータの平均値を求め、それを比較し、音源に近いマイクと、遠いマイクを判別する。そして、それらの比を求め、音源から遠いマイクのデータを、近いマイクのデータに近くなるように、求めた比を掛けて修正する。

修正されたデータから、両データの最高値を求める。最高値から、Width (任意) 個のデータの合計 (a) と、左側に隣接した、Width 個のデータの合計 (b) とを比較し、

$a < b * \text{Multi}$ (任意)

かつ

$a / \text{Width} < \text{Thresh}$ (任意)

になる点をそれぞれ近い方、遠い方両マイクからのデータについて求める。この点を始端とする。

4.3 実験方法

実際の実験では、1クラスを5つのグループに分けて、マイク間の距離をそれぞれ1, 3, 5, 7, 9メートルの場合について、各グループごとに実験を行った。すべての生徒が自分自身で実験を行うようにし、到達時刻の差とマイク間の距離を記録し、そこから自分でわり算を行い、音速を計算するようにした。しかし、実際には到達時刻の差が小数点以下数桁に及ぶため、計算に時間がかかる生徒が多く、途中からは、パソコンで計算した音速値を記録させるように変更した。

4.4 実験結果と生徒の反応

マイク間の距離が短いときは、音速はほぼ340メートル前後で落ちついたが、7メートル以上になると、遠い方のマイクが周りの雑音を拾ってしまい、うまく始端部分が検出できない場合もあった。また、何かキーを押してから音を入力するまでの時間は、前述のとおり、0.2秒間であるが、生徒によって音を出すのが早すぎたり、反対に、遅すぎたりしてうまくいかない場合もあった。うまく音を出せなかった生徒は、初めの方のグループに多かったが、後の方のグループになるに従って、タイミングをつかんだようで、うまく音を出すことができるようになった。

生徒の反応としては、まず、コンピュータ自体に興味を持っている生徒がかなりの数いた。しかし、音速を測るシステムは一度に1グループしか使用することができないので、初めの方は興味深く見ていたが、次第につまらなさそうにしていた生徒もいた。そうした生徒には、女生徒が多かった（これは、コンピュータに興味なくなったのか、待たされて疲れてしまったのかは定かではない。しかし、実験をし終わった男子生徒は、他のグループの実験にも積極的に参加していた）。そうはいうものの、自分たちの番になると、実験というよりも遊び感覚で、参加しているように見受けられた。これらの事からも、ファミコンなどの電子機器に遊びの道具として慣れ親しんでいる現代の子供達にとって、コンピュータによる実験は、理科の授業としてのイメージよりも遊び・ゲームの延長上のもので捉えることができ、自然現象を身近なものとして把握する上で非常に有効であると考えてよいだろう。

5. アンケート調査について

5.1 調査内容

この調査は、豊橋市立東陽中学校1年の全6クラス、約200名を対象に行った。

初めは、マニュアルによる実験を、2, 4, 6の計3クラスが行い、他のクラスはパソコンによる実験のみを行った。なお、マニュアルによる実験を行ったクラスについても、後日パソコンによる実験を行った。

調査内容は以下の通りである。

- ・実験から音の進む速さがどれくらいかということが理解できたか。
- ・音の性質の授業を通して音について理解できたか。
- ・コンピュータで音の速さを調べる実験をしてどのように感じたか。(コンピュータによる実験終了時に調査)

5.2 調査結果

まず初めに実験から音の進む速さが理解できたかという調査結果を表1, 表2に示す。

表1. マニュアルによる実験の理解度

	理解できた	理解できない
2組	24(77.4%)	7(22.6%)
4組	27(73.0%)	10(27.0%)
6組	13(39.4%)	20(60.6%)

表2. コンピュータによる実験の理解度

	理解できた	理解できない
1組	23(100%)	0(0.0%)
2組	32(97.0%)	1(3.0%)
3組	20(95.2%)	1(4.8%)
4組	29(100%)	0(0.0%)
5組	23(92.0%)	2(8.0%)
6組	26(81.3%)	6(18.7%)

表1, 表2から明らかなように、コンピュータによる実験の方がマニュアルによる実験よりも理解度が高い。コンピュータによる実験において、6組は理解度が低いように見受けられるが、マニュアルによる実験において、理解できたという生徒は39.4%であるということ考慮に入れると、コンピュータを使用したことによる学習効果はマニュアルによる実験の理解度が低かったクラスがいちばん効果的であったともいえる。さらに、コンピュータによる実験とマニュアルによる実験を比較するために、表1と表2をまとめ直したものを表3に示す。

サンプル数が少ない(未記入, 未提出もある)ので、断言することはできないが、表3を参考にする限り、コンピュータによる実験の方が、前述したように理解

表3. コンピュータによる実験と
マニュアルによる実験の比較

	理解できた	理解できない
マニュアル (偶数クラス)	64(63.4%)	37(36.6%)
コンピュータ (奇数クラス)	66(95.7%)	3(4.3%)
コンピュータ (偶数クラス)	87(92.6%)	7(7.4%)
コンピュータ (全体)	153(93.9%)	10(6.1%)

度が非常に高い。反対に、マニュアルによる実験において、音速は約160メートルと出たにも関わらず、理解できたと答えた生徒が半分以上いたというのも興味深い結果である。これは、今回の実験に限ったことではなく、わかったかどうか尋ねた時に、「だいたいわかった」と答えるのと同じ現象であるように思われる。おそらく、音は1秒間に数百メートル進むということがわかったということであろう。また、人間の行うことには誤差があると割り切っているため、160メートルであろうと340メートルであろうと、細かいことは度外視しているのかもしれない。

次に、音の性質の授業を通して、音について理解できたかということであるが、結果を表4に示す。

表4. 音についての理解度

	理解できた	理解できない
1組	27(96.4%)	1(3.6%)
2組	32(88.9%)	4(11.1%)
3組	26(89.7%)	3(10.3%)
4組	30(85.7%)	5(14.3%)
5組	23(79.3%)	6(20.7%)
6組	12(37.5%)	20(62.5%)

この調査は、2、4、6組については、マニュアルによる実験の後に行った（つまり、コンピュータによる実験を行う前に行ったものである）。表4から、6組を除く5クラスは、ほぼ音の性質を理解できたようである。6組については、表2にもあるように、マニュアルによる実験の音速の理解度が、理解できたという生徒が39.4%と他のクラスに比べると極端に低くなっている。そして音の性質についての理解度と、音速についての理解度がほぼ同じであるということを考えあわせると、6組の生徒は、音の性質の中の、音速が340メートルであるということを中心しているということがわかる。一方、マニュアル実験も行った、2、4組については、音速の理解度よりも音の性質の理解度の方が高くなっている。これらのクラスについては、6組とは反対に、音速は340メートルという性質をあまり重視していないということが分かる。

最後に、コンピュータで音の速さを調べる実験をしてどのように感じたかという調査結果を示す。

2、4、6組については、ほとんどの生徒が、マニュアルによる実験よりもコンピュータによる実験の方が、正確で、かつ、早くできるということを強調していた。

1、3、5組については、人間では聞き取れないようなわずかな差でもコンピュータではそれができるとい、コンピュータの「すごさ」に驚いたという生徒が大半を占めていた。

マニュアルによる実験とコンピュータによる実験の両方を経験した、2、4、6組の生徒は、人とコンピュータとの正確性の違いを実際に感じる事ができたということがこの調査結果からわかる。

次に中間テストの結果との整合性について述べる。理科のテストは、大きく分けて3つの分野、植物の世界、光の性質、音の性質について出題された。それぞれ27、22、25題ずつである。結果は、植物の世界の正答率が63.6%、光の性質の正答率が64.9%、音の性質の正答率が78.3%となっており、音の性質の正答率が3つの分野の中で、一番高かった。しかし、音の性質の中の音速の分野は、25題中2題であるので、必ずしもパソコンによる実験が音の分野の正答率向上に役立ったかどうかは定かではない。

これらのアンケート調査の結果を見ると、コンピュータを利用した方が正確に音速の測定が行えたため、教科書通りの結果が自分自身で行った実験により得られたことで、予想通り理解度が高い結果が得られた。このことから、今回のようにコンピュータを利用し生徒自らが実験を行うことで、単に知識を詰め込むのではなく、体験として音速というものを捉えることができ、それによって生徒が音の性質について関心を持った結果、理解度の向上が見られた。学生の「科学離れ」が叫ばれてる中で、コンピュータを用いることで、生徒の興味を引き立てることができた。今後、同様の有意義な教材が開発され、さらにそれが今後の発展につながることを期待したい。

ただ残念なことに、コンピュータ教育が普及したとはいっても、その割には実際の授業ではあまり利用されていないというのが現状がある。コンピュータを利用するのが当たり前というようになるには、教員への指導も必要であるが、やはり簡単に操作でき、手軽にできるソフトが必要である。

6. ま と め

平成5年に教科書が改訂され、中学1年の理科の分野に新たに「音の性質」が加わった。この「音の性質」の中に「音の伝わる速さ」として、音速を測る実験方法が記載されている。本研究では、この実験が校庭などの広い場所を必要としていることなど、実験に場所

と時間を必要とし、不安定なものになるであろうということに着目し、本システムの開発を行った。

実際に校庭での実験を見学したのが、その実験結果は、音速約160メートルという予想を上回るほどの誤差であった。この原因としては、前述のとおり、風に音が流されたとか、旗の係が音を聞いた後で旗を上げているためといったものが考えられた。多くの生徒がこの原因についてはわかっているようであった。中には、旗の係の人が、音を聞いてではなく、前の人が旗を上げたのを見てから上げているからというように、よく観察している生徒もいた。

多くの生徒がこの原因について分かっているとはいうものの、中には全く分かっていないという生徒もいる。原因が分かっている者にとっては、人間が行うことの不正確さについて実際に感じとることができたということだけでもプラスになるかもしれない。しかし、そうでない者にとっては、結局、何もわからないまま終わってしまうことであろう。そういったことを避けるためにも、もっと正確に行える実験が必要となってくる。

この実験と平行するようにして、本システムによる実験も行ったが、結果は、前述のとおり、ほぼ340メートルで落ちついた。本システムで実験を行えば、教室内でできるので、風の影響を受けることもなく、また、広い場所も必要としない。このようにコンピュータを使用することによって、正確な実験を行うことができるので、生徒にとっても、また、先生にとっても、納得のいく授業ができるであろう。

7. 今後の課題

今回、パソコンを使用して音速を測定するシステムを開発し、実際に中学校の理科の授業の中で実験を行い、一定の成果を上げることができたと思われるが、このシステムにはまだ不完全な点も残っている。

例えば、前述のように距離が7メートルを超えると

雑音を拾ってしまい、うまく検出できない場合もある。この場合、教室内の実験なので、10メートルくらいまでは正確性を保ちたい。また、徐々に音のもので、例えば、人間の声なども、うまく検出ができない。

このような点を改善することにより、今回実験に失敗したケースの多くも正しく実験を行うことができ、それによって音の性質に関する興味が増すことであろう。

また、今回パソコンの拡張スロットに1枚のボードを挿入して実験を行ったが、この Sound Master 自身、製品としては以前から市販されており、最新のパソコン用の音源ボードと比べると価格面で不利である。このため、今後は最近多くのパソコンで採用されている Sound Blaster 等の音源ボードを使用したシステムに変更していくことが考えられる。

さらに、今回使用したサウンドマスターのボードや多くの音源ボードのA/D変換器を使用することで、様々な音の特徴を波形として視覚的に確認したり、音を重ね合わせたりすることで、音の持つ様々な性質を身近な体験を通して修得することが可能となる。

今回、音速を測定するシステムのソフトウェアを作成したが、人間が実験を行うことが困難か、もしくは正確性に欠ける実験を、コンピュータで行うことにより、コンピュータの素晴らしさを認識し、今後、他の分野においてもコンピュータが利用されることを期待したい。

◇ 参 考 文 献 ◇

- (1) 「中学校 理科1分野上」 大日本図書
- (2) 「教師用指導書 中学校 理科1分野上」 大日本図書
- (3) 「Sound Master ハードウェアマニュアル」 カノーブス電子
- (4) 中西宏文「パーソナルコンピュータを用いた音声信号分析装置について」愛知教育大学研究報告, 40(自然科学), 1991
(平成7年9月11日受理)