

2 節 理科 既存の実験充実

. 物理分野 コンピュータによる計測の導入

1 . 事業の目的

教育現場において急速に IT 環境が整備されてきているが、理科の生徒実験での利用となるといまだに困難な状況がある。その最大の原因は、ほとんどの学校で理科室に生徒実験用の機動性の良いノートパソコンや物理計測装置が備わっていないということである。また、コンピュータによる実験を従来の実験と比較したときのその優位性を引き出すソフトが不足していることもその原因の一つであると考えられる。このような状況の中、今年度の SSH 事業でノートパソコンと中村理科の計測装置「イーゲーセンス」を生徒実験用にそれぞれ 10 台購入した。これらを利用してコンピュータを利用した生徒実験を行った。

2 . 事業の意図

既存の実験をコンピュータ計測に置き換えるだけの生徒実験では、高額なコンピュータや計測機器を導入する意味が薄れるので、コンピュータ計測を導入することでいままでになかった内容が含まれる実験を行いたいと考えた。また、課題研究など少人数の実験ではなく、一般的な生徒実験でのコンピュータ計測の効果的な使用法を確立することを目的とした。その結果、今年度は 2 年生の物理 B の波動分野で「コンピュータを利用した音の分析と合成」、1 年生の理科総合 A で「デジタルカメラ映像による落下運動の分析」の 2 つの生徒実験を行った。ここでは前者について報告する。

3 . 事業の概要と結果

(1) 実験テーマ 「コンピュータを利用した音の分析と合成（音の不思議を探る）」

(2) 単元名
音と発音体

(3) 目的

コンピュータにマイクロフォンをつなぎ、様々な音源から音を取り込み、音の 3 要素（振幅、振動数、波形）について調べる。また、コンピュータソフトの機能を用い、音を倍音に分解し、含まれる倍音の特徴を見るとともに、倍音を再び合成して元の波形と音が復元できることを確かめる。さらに、音の合成ソフトでシンセサイザーの原理を確かめ、声紋ソフトで各種楽器の音階や人の声の特徴を調べる。



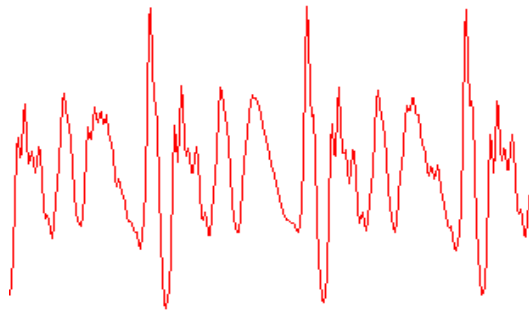
(4)対象生徒・授業の形態・使用ソフト

対象生徒は 2 年生生理系クラス 3 クラスで、3 ~ 4 人の班で 1 台のコンピュータ使用し、2 時間（55 分 × 2）連続で実施した。実験に使用したソフトは自作ソフトの「音の分析」と「音の合成」である。

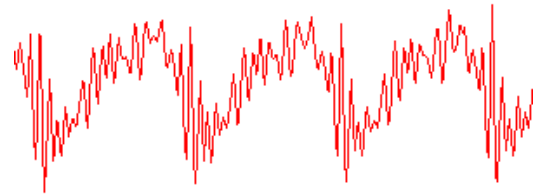
(5) 実験内容

実験 1 音の 3 要素の観察

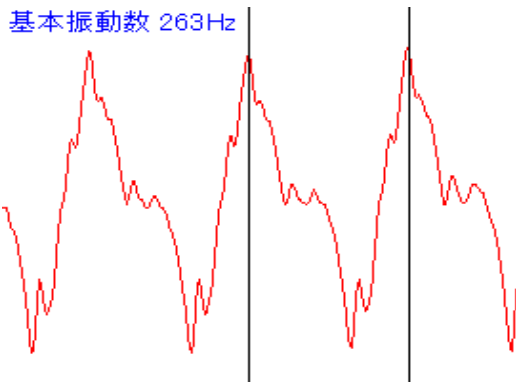
楽器（リコーダー、メロディオンなど）、または人の声「ア」を発生させ、波形を記録し、音の強さを変えると振幅がどう変わるかを調べる。



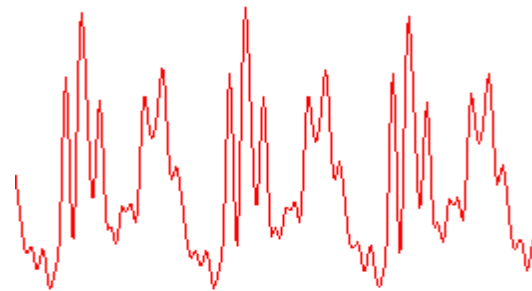
「ア」の波形



「イ」の波形



「ウ」の波形と振動数



「エ」の波形

楽器（リコーダー、メロディオンなど）、または人の声「ア」を音の高さを変えて発生させ、波形を記録し、低い音と高い音でどのような違いがあるかを調べる。また、パソコン画面上で1周期分の波形を指定し、音の振動数を測定する。

「ア」の波形を記録し、男子と女子での振動数の違いを調べる。

「アイウエオ」を取り込み、「ア」「イ」「ウ」「エ」「オ」の波形をそれぞれ記録し、比較する。

実験2 音の分解と合成

すべての波形（音）は基本振動数の整数倍の振動数をもつ正弦波（倍音）を適当な振幅と位相で重ね合わせることによって表される（フーリエの定理）。パソコンの計算機能を用い、音を倍音に分解（フーリエ分解）することができる。また、逆に分解した倍音を求めた振幅と位相で重ね合わせるにより、元の波形と音が復元できる。

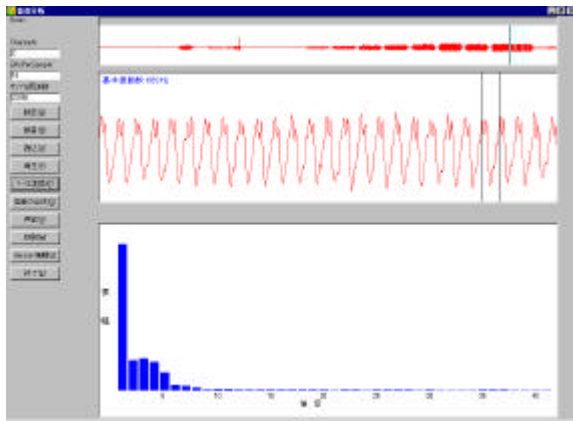
開管楽器（リコーダー）の音を、倍音に分解し（フーリエ分解し）、含まれる倍音とその振幅（棒グラフ）を記録し、その特徴を調べる。また、分解した倍音を求めた振幅と位相で重ね合わせるにより、元の波形と音が復元できることを確かめる。

閉管楽器の音（試験管を吹いたときの音）を、倍音に分解し（フーリエ分解し）、含まれる倍音とその振幅（棒グラフ）を記録し、その特徴を調べる。また、分解した倍音を求めた振幅と位相で重ね合わせるにより、元の波形と音が復元できることを確かめる。

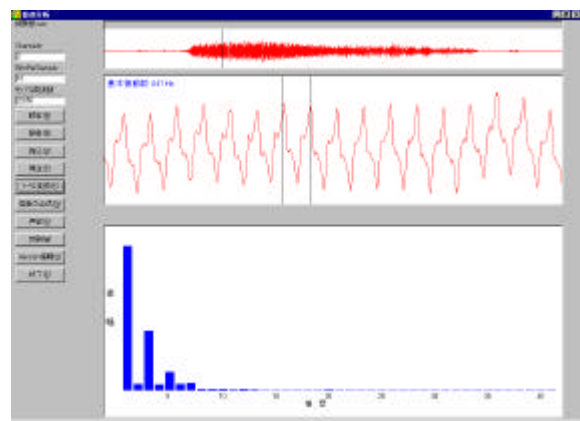
人の声「ア」と「イ」の音を、倍音に分解し、含まれる倍音とその振幅（棒グラフ）の概略を記録し、その特徴を比較する。また、分解した倍音を求めた振幅と位相で重ね合わせるにより、元の波形と音が復元できることを確かめる。さらに、何倍音まで重ね合わせたとき、「ア」と「イ」の音として聞き取れるかを調べる。

実験3 音の合成（簡易シンセサイザーでの演奏）

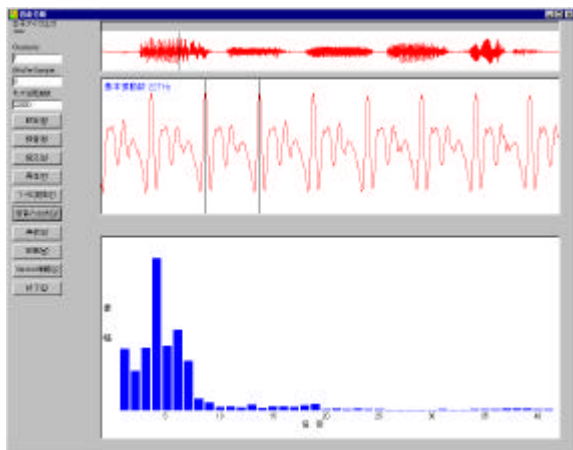
基本音、倍音を適当な振幅で重ね合わせ、いろいろな波形をつくり、音にして聞いてみる。また、その波形で音階をつくり、簡単な曲を演奏する。



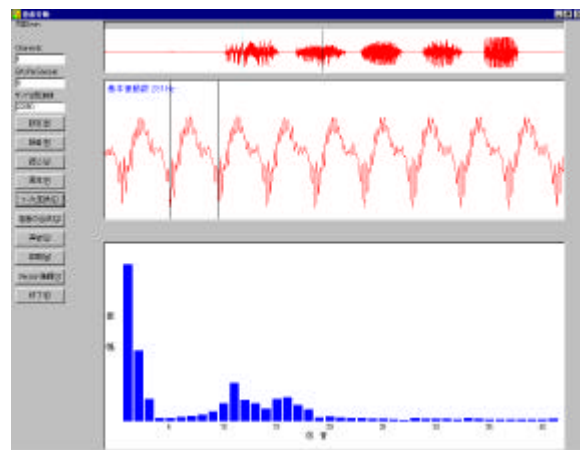
リコーダー（開管楽器）の倍音構造



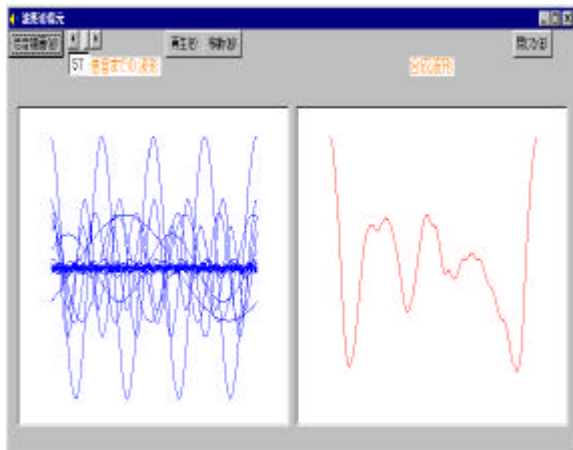
試験管（閉管楽器）の倍音構造



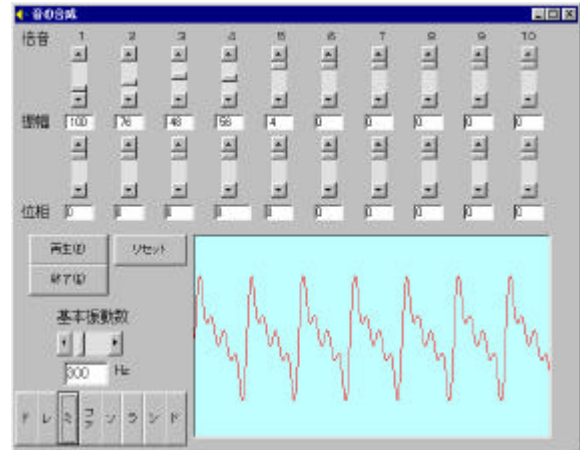
「ア」の倍音構造



「イ」の倍音構造



「ア」の倍音への分解と波形復元



簡易シンセサイザー

実験4 声紋による音の分析

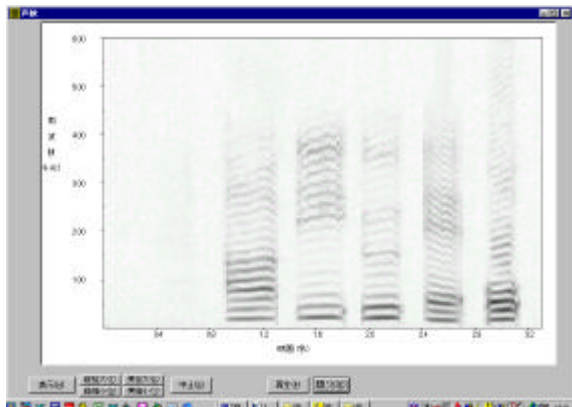
横軸に時間，縦軸に含まれる振動数を表したグラフを声紋という。濃く表された振動数の音が強く含まれている（振幅が大きい）ことを示す。ヒトの声紋は一人一人異なり，個人の特定に使われることもある。

音叉で音を発生させ，それをコンピュータに取り込み，その声紋を記録し，特徴を調べる。

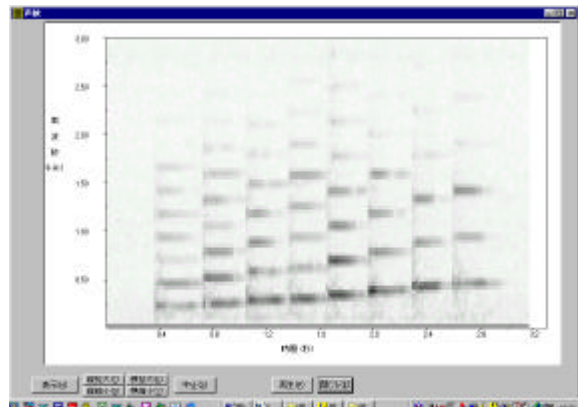
楽器（リコーダーなど）で音階「ドレミファソラシド」発生させ，それをコンピュータに取り込み，その声紋を記録し，特徴を調べる。

「アイウエオ」の声紋を記録し，母音ごとの特徴を比較する。

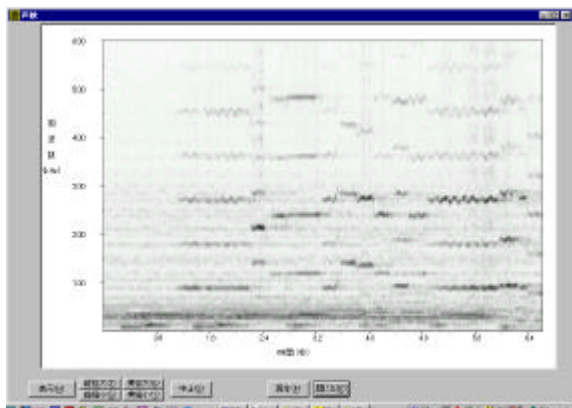
男子と女子の「アイウエオ」の声紋を記録し，その特徴を比較し違いと共通点を調べる。



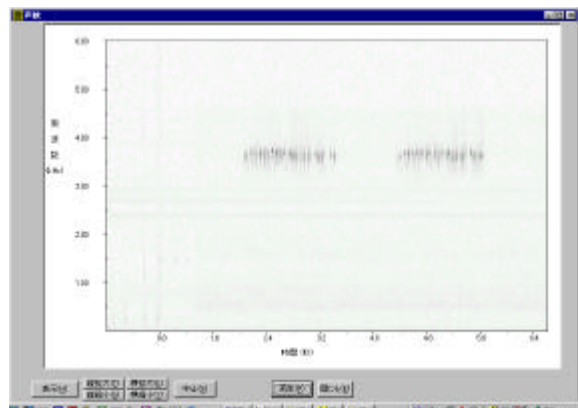
「アイウエオ」の声紋



音階「ドレミファソラシド」の声紋



ヴァイオリンの楽曲の声紋



コオロギの鳴き声の声紋

ヴァイオリンなどの楽曲の声紋を記録し、その特徴を調べる。

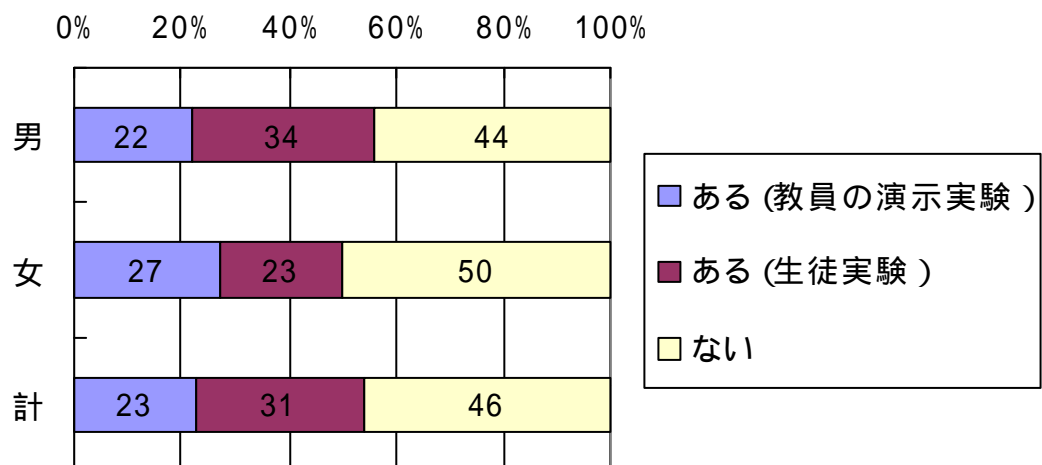
虫の鳴き声（コオロギなど）の声紋を記録し、その特徴を調べる。

4. 事業の評価

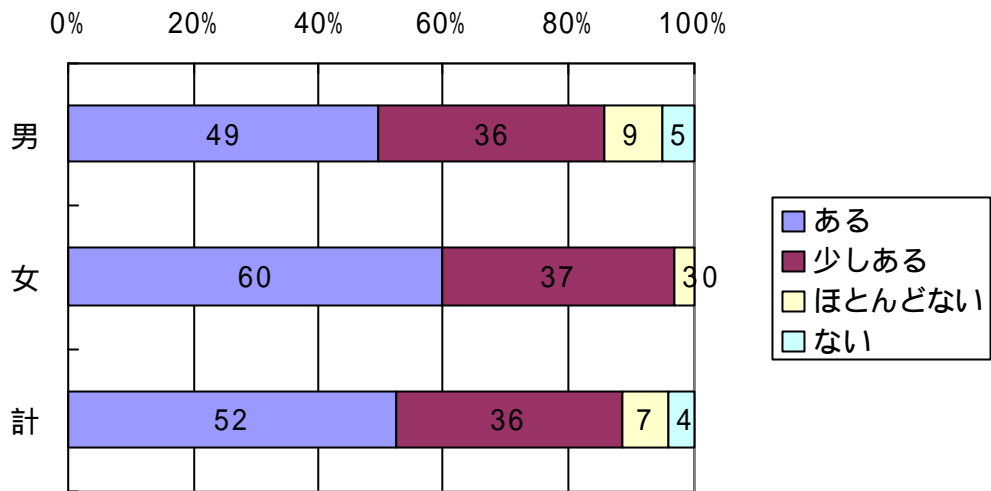
(1) 生徒による評価

以下に実験後に行った2年生理系3クラス107名（男子77名，女子30名）のアンケート結果を示す。

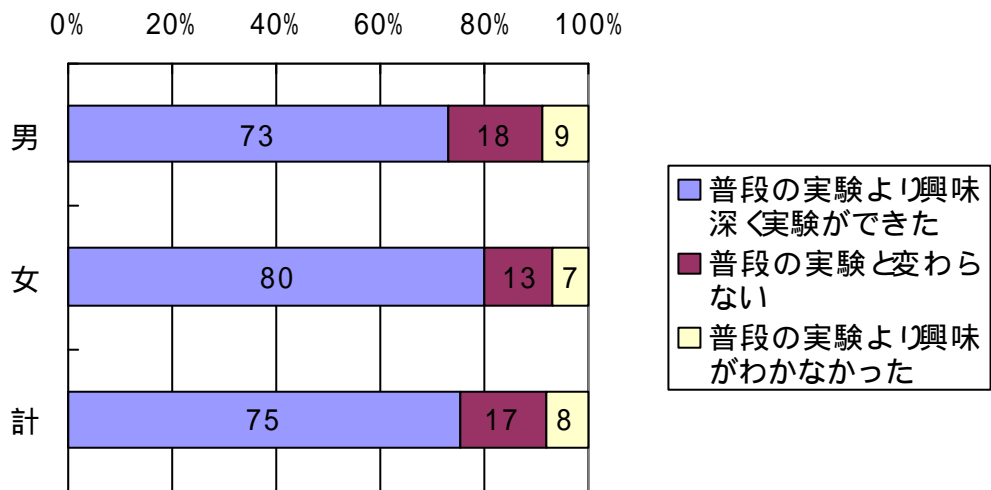
【1】 今までの中学・高校の理科の実験でパソコンを使ったことがありましたか。



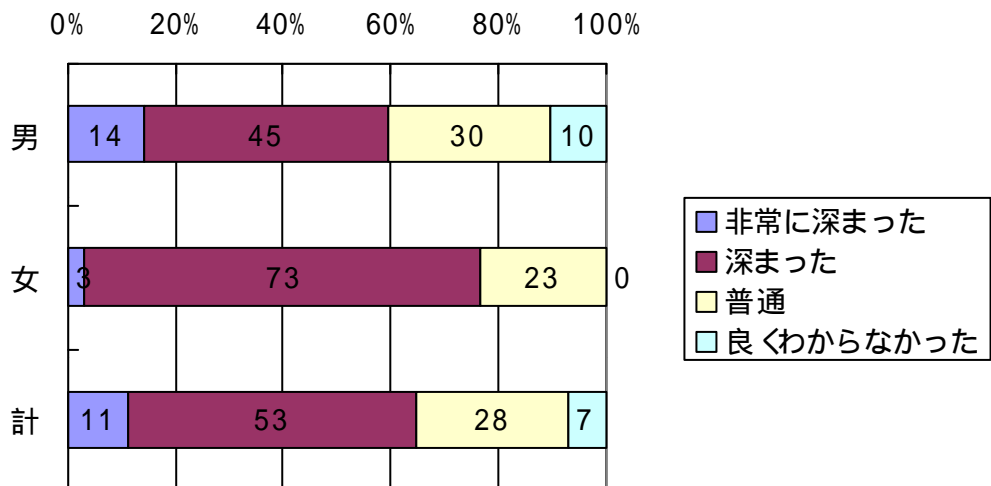
【2】 パソコンを利用した実験や授業に興味関心がありますか。



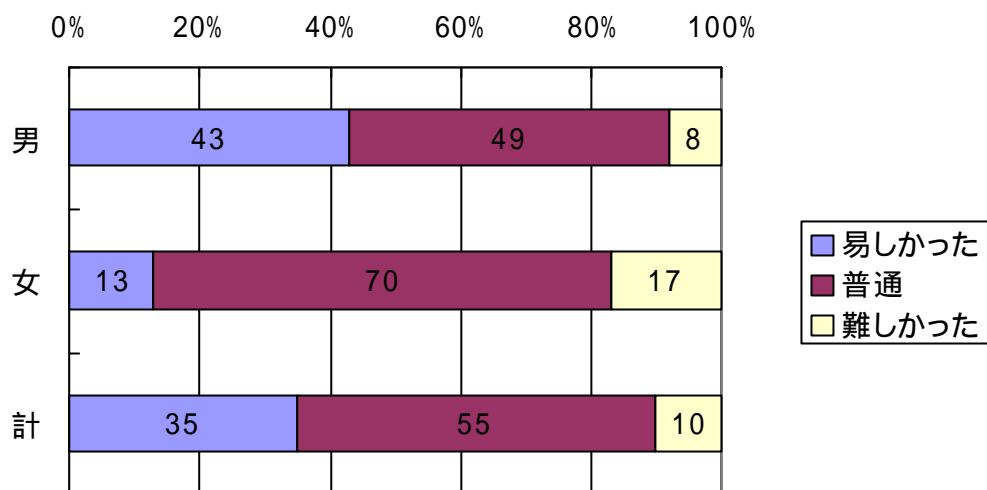
【3】 今回のパソコンを使った音の実験について教えてください。



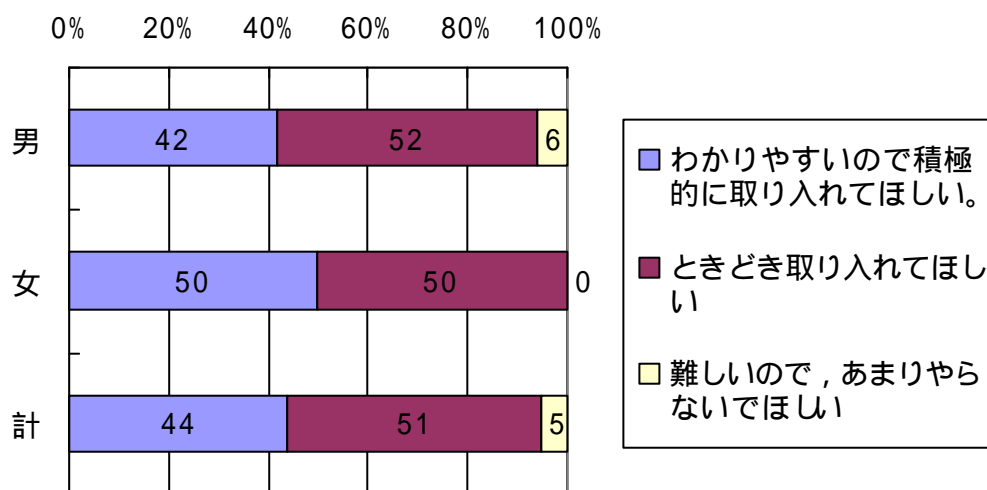
【4】 パソコンを使って音の実験をして、音についての理解度はどうなりましたか。



【5】 今回のパソコンを使った音の実験のパソコン操作について教えてください。



【6】 パソコンを利用した実験について教えてください。



【7】 パソコンを利用した音の実験についての感想を書いてください。

- ・一つ一つの音を調べて行くにつれて、音について興味がわいてきた。また、このような機会があれば、いろいろな音を調べてみたい。
- ・波形を自分の目で見ることによって、音についてより深く理解することができた。
- ・教科書で学んだだけではわからなかったことがパソコンを使って実験を行うことによって理解を深めることができてよかった。
- ・実際自分たちでやってみて音についての興味が高まった。今までの授業でやってきたことがより一層理解できた。
- ・普段の授業より、自分で取り組んでいる感じがして理解しやすかった。
- ・音の波形のグラフが見やすくわかりやすかった。また、簡単に音の分析ができてよかった。
- ・自分の声が波形や声紋などによって見ることができ、楽しかった。
- ・この波形の音が、なぜこのような音に聞こえるのか不思議だった。
- ・様々な音をパソコンで簡単に作ることができ、おもしろいと思った。
- ・マイクで自分の音を取り込むことは初めてだったので、ドキドキした。
- ・とても興味のある、おもしろい実験だったので意欲的に取り組めたし、音についての理解度も深まった。
- ・普段の授業より考える時間が多く、実験してやったほうがわかりやすくてよかった。
- ・教科書では、抽象的すぎてわかりにくかったが、いろいろな音を調べることによって倍音について具体的

に理解が深まった。

- ・実際に目と耳で音を確認できるのでわかりやすかった。いつもの実験より楽しかった。
- ・パソコンを自分達で使って授業をしたのは初めてだったが、ちゃんと操作できた。わかりやすくて、いつもより意欲的に楽しく取り組めた。
- ・声紋はテレビでたまに見るけれど、授業でこんなに簡単に見ることができるとは思わなかった。人の声みんな違う理由がわかったような気がした。
- ・パソコンで音を合成したが、本物とそっくりで驚いた。
- ・新鮮な気分で取り組めた。人の声も楽器の音と同じように、倍音がいくつも重なり合っているのをはっきり見られてわかりやすかった。
- ・音がいろいろな成分から成り立っていることがパソコンを使うことによって実感できた。
- ・楽器や虫の鳴き声の声紋が見られてよかった。
- ・女子同士でも波形が全然違ったりして、おもしろかった。
- ・パソコンを利用することで、正確なデータがでてくるため少しの変化でもきちんと波形に表れる。すごく細かい所まで音の波形を見ることができて、とてもおもしろかった。操作も簡単だったし、これからもパソコンを使った実験をやりたい。
- ・倍音の重ね合わせで元の音に近づけていくなどはパソコンを使わないとできないのでわかりやすかった。
- ・班独自の音がすぐに読み込めたりしてとても効率的でよかった。ちょっと難しかったが楽しかった。

【8】パソコンを利用した音の実験について疑問点・改善点などを書いてください。

- ・他にもいろんな音のデータをとって調べてみたかった。
- ・開管楽器のリコーダーが強く吹くと奇数倍振動が強くなり、閉管楽器のようになったのはなぜか。
- ・実験時間が少し足りなかった。また、レポートを宿題にせず、記録や考察する時間をとってもらいたい。
- ・メロディオンやリコーダーを家から持ってくるのは大変だった。
- ・忙しい実験だったので、考える時間やゆとりがもう少しほしかった。
- ・たくさんの波形を重ね合わせることで音色が変わることはわかりましたが、どんなに重ね合わせてもピアノなどの音と聞いた印象が異なって聞こえることが疑問です。
- ・一つ一つのところで、もう少し詳しい説明が聞きたかった。
- ・動物のなき声の波形がわかれば、動物と会話できるのではないかと思った。
- ・パソコンのソフトは、もう少し操作しやすくてもよかったかなと思った。例えば、いちいち保存しなくてもデータが使えるようにするとか。
- ・おもしろかったけれど、パソコンの操作が少し難しかった。データファイルへのショートカットを作れば実験がスムーズに進められると思う。
- ・マイクから少し離れて音のデータをとると、音が小さくなり少しやりづらかった。
- ・音がなかなかとれなくて大変だった。マイクでもっと簡単に音を拾えるようにしてほしい。
- ・4人で一台のノートパソコンでは画面が遠くて見づらかった。
- ・二人でノートパソコン一台くらいがベストであると思った。
- ・他の人がやってくれたので、余り実験した感じはしなかった。また、2時間続きの実験はきつい。
- ・まわりの音がうるさくて、自分達の音が少し聞きづらかった。
- ・声紋の意味がよくわからなかった。
- ・説明が速く、もう少しゆっくりやってほしかった。でも音の実験は楽しかった。
- ・ぜひ一人一台のパソコンがほしい。

(2) 教員による評価

- ・普段何気なく話したり、聞いたりしている身近な音について、マイクロフォンとコンピュータを用い、波形や倍音の含まれ方、そしていろいろな波形を合成して音階や音楽を作り、非常に興味深く実験に取り組んだ生徒が多かった。また、音の持つ不思議さに多くの生徒が興味を持って実験していた。さらに、音についての理解度も深まったと答えた生徒が多かったので、今回の実験は非常に効果があったといえる。
- ・教員がデータを与えるより、生徒自身が声や楽器の音のサンプルをマイクロフォンでデータを収集することで、より探求心が高まるようである。
- ・実験で調べる音については指定したが、生徒が自由にいろいろな音を調べられる自由実験的要素も取り入れた方がよかった。
- ・教科書で開管や閉管については、いろいろな倍音が発生することを学習しているが、実際コンピュータで音を分解してそのことがはっきりと確認され、教科書の内容が身近に感じられた生徒が多かった。
- ・クラスによっては4人で1台のコンピュータを使って実験し、結果を記録させたが、コンピュータの台数をできるだけ増やして、2～3人ほどの少人数で実験できれば、より効果を上げることができる。

- ・倍音への分解（フーリエ分解）や声紋など高校生にとって発展的内容も扱ったが、これらについては音叉の音やリコーダーの音階などの簡単でわかりやすい例をあげて事前に十分理解させ実験に臨ませることが必要である。
- ・波形や倍音構造など実験レポートにフリーハンドで記録させ、考察させる方法をとったが、もっと適切な方法がないかどうか検討する必要がある。
- ・今回は2時間連続の実験で時間的ゆとりを持たせたが、それでも実験内容が多く時間的に余裕がなかったと感想を漏らす生徒も見られた。コンピュータを使用する実験では、どうしてもソフトの使用方の説明にも時間がとられるので、この実験に限らず1時間（55分）の実験では時間的にかなり厳しいようだ。十分に時間的余裕をもたせて、実験計画を立てる必要がある。
- ・生徒が考える時間を確保すること、生徒の自主性を実験に取り入れることが、生徒の実験に対する満足度を高める大きな要因になることがわかった。
- ・いつもの法則検証的な画一的な実験とは異なる、探究的な実験に生徒は引き込まれたようだ。理科好きな生徒を育てるためには、このような探究的、課題研究的な実験を取り入れる必要があると感じられた。
- ・コンピュータを利用した実験では、コンピュータ操作やソフトのキー操作に気が取られ、実験の本質を見失いがちになる場合が多いが、今回はそのような状況に陥る生徒はほとんど見られなかった。

5. 課題

今年度のSSH事業で生徒用コンピュータ10台を購入し、実験室でのIT環境の充実を図ったが、生徒のアンケート結果によれば、明らかにコンピュータの台数がまだ不足しているといえる。予算的な面で困難さはあるが二人で一台くらいのよりパーソナルな環境が理想であるといえる。また、クラス人数も30名くらいのほうが指導しやすく、生徒が落ち着いて実験でき、教育効果をさらに上げることができると思われる。そういう意味で教育環境の一層の充実が早期に望まれる。

また、今回の生徒のアンケートによればソフトの操作性がコンピュータに慣れていない生徒にとって評価の重要な因子になることがわかった。実際使用してみると市販の高価なソフトが必ずしも教育現場で使いやすいとは限らない。現在でも教育関係者が個人的に開発したフリーソフトに頼らなければならないことも多い。現場で使用できる汎用的な教育ソフトの早急な充実が不可欠である。例えば、イギリスのアドバンスンク物理のように、国家的なプロジェクトを立ち上げ、教育関係者が直接ソフト開発に参加し、全国の学校現場で活用し、それをまたフィードバックし、ソフトの改良に反映させるシステムを構築する必要があると思われる。

コンピュータ計測は従来の実験では計測できないものが扱えるという点で、生徒実験に質的に新しいものを生み出す可能性を秘めている。また、結果を視覚的にわかりやすく表示したり、動画を利用したりして従来の実験より理解しやすい状況を作り出すことができる。しかし、同時に、実験の原理や計算がブラックボックス化される危険性も常にはらんでいる。コンピュータ計測は従来の全ての実験に置き換わるものではなく、従来の実験を補間するようなものであるべきだと考える。このようなことに十分注意を払いながら、次年度に向け生徒実験での効果的な使用方法と使用場面をさらに研究していきたい。