

主 題 研 究

小・中・高等学校理科におけるコンピュータ を活用した教材の開発に関する研究（第1報）

科学産業教育室 神 部 謙 二
稲 森 藤 夫
金 子 康 宣
加 藤 直 樹

研究協力校

石鳥谷町立新堀小学校
大迫町立大迫中学校
岩手県立不来方高等学校

研究協力員

岩手県立盛岡第三高等学校 城 守 寛
岩手県立不来方高等学校 三 浦 秀 明
岩手県立高田高等学校 山 平 清 人

研究の概要

この研究は、小学校・中学校・高等学校理科において、問題解決能力や科学的な自然観を養うことができるように、観察・実験にコンピュータを生かした教材を開発して、理科の学習指導の改善に役立てようとするものである。

2年次研究の1年目である本年度は、コンピュータを活用した教材についての基本的な考え方を明らかにした後、各種センサーや映像を活用して自然現象における物理量を計測する教材、デジタルカメラ撮影画像を活用して生物現象を解析する教材、実験から得られたデータを集計・処理するワークシート教材、天体の動きを分かりやすく映像化した教材、などを開発することができた。

キーワード：理科 物理 化学 生物 天文 教材開発 マルチメディア
コンピュータ インターネット 小学校 中学校 高等学校

はじめに

理科教育について新学習指導要領では、問題解決能力や科学的な自然観を養うことができるように、観察・実験が一層重視され、指導にあたっては、「情報の収集・検索」、「計測・制御」、「結果の集計・処理」において適宜コンピュータや情報通信ネットワークなどを積極的に活用することが求められています。

しかし、現在、多くの学校でコンピュータが配備されているにもかかわらず、コンピュータを活用した授業は、いまだ手探りの状況にあります。その理由としては、教師が求めている学習内容に関連したコンピュータ教材が少なく、またそれを生かした指導例も不足していることにあると思います。

このような状況を改善していくためには、情報を収集・検索できる画像をデータベース化したり、計測・制御する実験装置を開発したり、実験結果を集計・処理できるワークシートなどを教材として開発する必要があると考えます。

そこで、この研究では、小・中・高等学校理科において学習内容に即したコンピュータ教材を開発することによって、理科の学習指導の改善に役立てようとするものです。

コンピュータを活用した教材の開発に関する基本的な考え方

新学習指導要領では、理科の学習指導にあたって、適宜コンピュータや情報通信ネットワークなどの活用を図りながら、体験的な学習や問題解決的な学習の充実が求められています。

一方理科の目標は、観察、実験などの直接経験をとおして、「自然の事物・現象についての理解を深めること」、「探求的な能力や態度を育てること」、「科学的な見方や考え方を育つこと」の3点に集約されます。

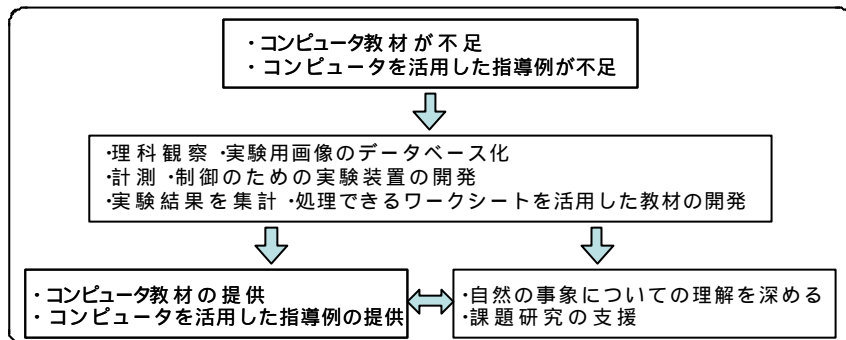
これらの目標を達成するためにコンピュータを理科の授業に導入する場合大切なことは、コンピュータによって大きな成果が期待できる実験に限ってコンピュータを活用することであると考えます。なぜなら、各種電子機器や実験装置とコンピュータを組み合わせ、その特性を生かした活用を行えば、児童生徒はこれまで実感として捉えることが困難とされてきた自然現象を比較的簡単に計測でき、理解することができるようになるからです。コンピュータを理科の目標達成を支援するための学習指導の道具として捉えるとともに、コンピュータ、各種電子機器、実験装置(自作を含む)をハードとし、なにを、どのように、どういう環境のもとで実験するのかをソフトと考えた場合、この両者を組み合わせ教材として提供することが本研究のねらいです。なお、図1に教材開発に関する基本的な考え方を示します。

1 物理領域におけるコンピュータを活用した教材の必要性

小・中・高等学校理科(物理)の学習においては、身の回りに起こっている様々な物理現象について観察や実験をした後に、発達段階に応じた分析や一般化を図ることが重要であり、その活動の中から自然現象を追求しようとする意欲や科学的な考え方が育つと考えます。しかし、物理領域の学習では、取り扱う現象は実に多様であり、直接目に見えない事象や、時間的、空間的に観察や実験が困難な事象も数多く存在します。そこで、コンピュータの優れた特性である、高速性、記憶能力、演算能力、通信能力、画像表示能力などをフルに活用することで、今まで測定しにくかった、あるいは測定できなかった現象を、より正確に、より感覚的にとらえることができる教材の開発が望まれています。すなわち、コンピュータを自然をより深く追求するための道具として捉え、児童生徒の直接体験を深化補充することができる教材を継続的に開発、提供していく必要があると考えます。

2 化学領域におけるコンピュータを活用した教材の必要性

小・中・高等学校理科(化学)の学習においては、身の回りの事物・現象を理解するために、観察や実験が重要であり、その活動をとおして化学的に探究する能力と態度が育つと考えます。しかし、



【図1】教材開発に関する基本的な考え方

化学領域の学習で扱う化学反応には反応時間が速いものや遅いものなど多種多様であり、観察、実験の結果を正確に得難い場合があります。また、実験データを処理する場合でも、その複雑さから適切に処理できない場合があります。しかし、コンピュータを活用することによって、繰り返し実験結果を測定することができ、また短時間で実験データを処理することなどが可能となります。さらに、実験内容の画像や薬品の性質などをデータベース化することによって情報の収集・検索が容易になり、児童生徒の理解を深め、興味、関心を高めることができるようになりますと考えます。

3 生物領域におけるコンピュータを活用した教材の必要性

生物の光学的性質を扱う場合、画像の撮影と処理が重要になります。従来、画像の撮影はフィルム式カメラで、画像の処理は現像の後、煩雑な処理を行っていました。

本研究では、画像の撮影はデジタルカメラで、画像の処理はコンピュータで行いました。デジタルカメラやコンピュータの利点については次のとおりです。

デジタルカメラは、入力される光の強さと出力される信号の強さがリニアな関係にある。

デジタルカメラは、撮影後即時に画像が得られる。

コンピュータを用い、コンポジット処理等によって画像のノイズを低減できる。

コンピュータを用い、加算、減算、合成、グラフ化等によって画像の処理が容易にできる。

以上、生物領域の光学的性質を扱う場合、画像の撮影・処理に、入力装置としてのデジタルカメラ、演算装置としてのコンピュータを活用することで、飛躍的に学習効果を向上させることができます。

4 地学領域（天文）におけるコンピュータを活用した教材の必要性

地学領域（天文）では、学習する対象の時間的、空間的スケールが長大なため、天体の動きの規則性や特徴を実際の観測をもとにしてとらえさせることは難しいという現実があります。天文領域におけるコンピュータを活用した教材として考えられるものには、次のようなものがあります。

天体の動きをシミュレートするソフトウェアを活用した教材

天体の画像や動画のデジタル処理した教材

長期間におよぶ観測記録等のデータ等を視覚的に提示する教材

特に 及び については、実際に児童生徒の観察結果を視覚的に分かりやすく表すことができ、視点を変えた天体の動きの規則性や特徴をとらえるのに有効であると考えられます。

開発教材の概要

ミレニアムプロジェクト『教育の情報化』により、コンピュータの活用が授業を支援することに重点が置かれたことは、これからのコンピュータの使い方の方向性について示唆するところが大きいと思います。学校教育においてコンピュータを活用する基本的な目的は、授業を児童生徒にとって、よりわかりやすくすることです。理科の学習においても、コンピュータを活用することで「わかる授業」を効率的に実現できる使い方が大切です。

本研究でもこれらの点に留意しながら、物理、化学、生物、地学（天文）領域で数多くの教材を開発しました。図2は、研究で使用した機器並びにコンピュータを活用した開発教材の概要を図に表したものです。



【図2】研究で使用した機器と開発教材の概要

物理領域における開発教材

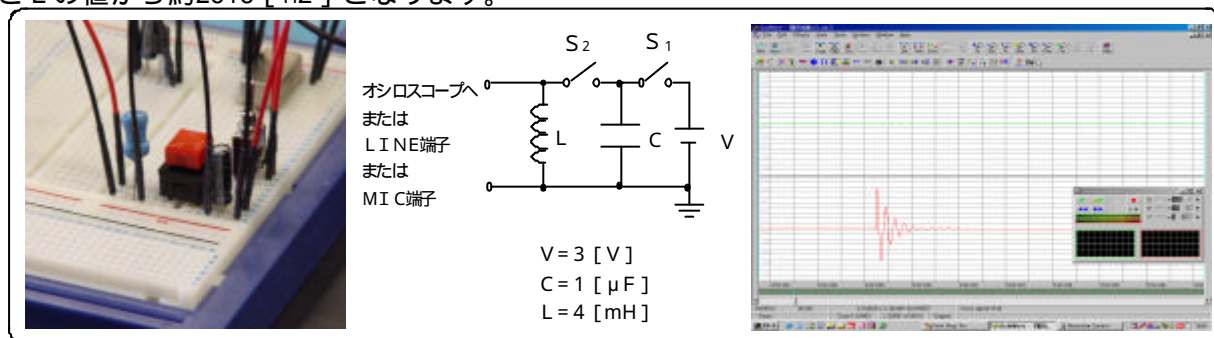
1 開発教材一覧

物理領域で開発した教材は次の通りです。

センサーの出力をデジタルマルチメータを経由してコンピュータに取り込む測定装置
 ADコンバータ (MAX186, MAX187, ADC0834, 4052BP等を使用) の製作
 ワンチップマイコン(PIC16F84)とコンピュータを使用した音と光に対する反応時間計測装置
 ワンチップマイコン(PIC16F84)とコンピュータを使用した速度計測装置
 コンデンサマイクとコンピュータを使用した音速測定装置
 酸素センサを使用したヒトの呼吸による酸素消費量測定装置 (ExcelのVBAで作成)
 酸素センサを使用したブナの光合成による酸素発生量測定装置 (ExcelのVBAで作成)
 スキヤ、デジタルカメラのデータを使用した面積測定 (葉、建物、人体、アマガドの数などへの応用)
 ネットワークを使用した計測装置の改良
 ネットワークを使用した情報共有ソフト (平成12年度岩手県教育研究発表会で紹介)
 ネットワークを使用した模型自動車の制御
 コンピュータを使用した電気振動計測装置 (コンデンサとコイルを使用)
 コンピュータを使用した「うなり」、「ドップラー効果」測定装置
 電子天秤を使用した電磁力測定装置 (Windows版モル天秤の開発) 等

2 電気振動

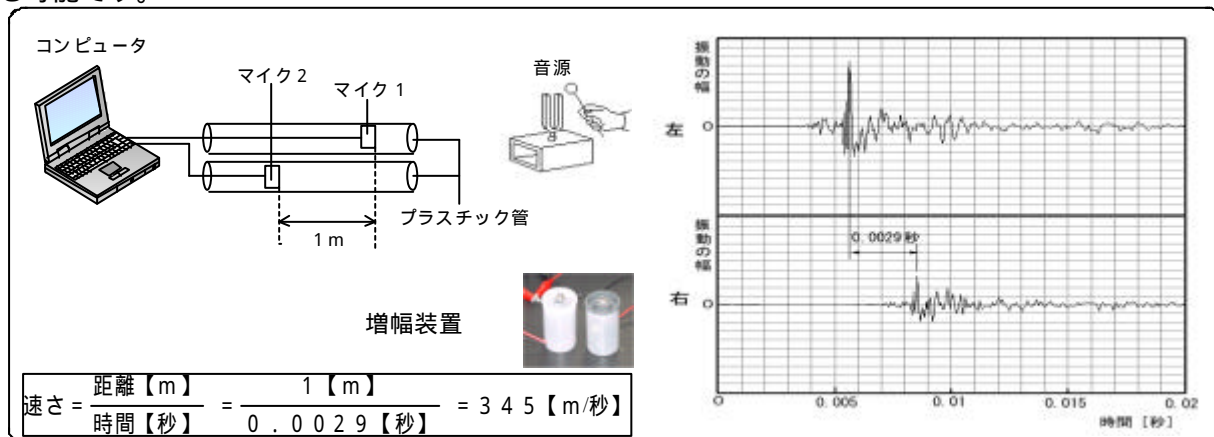
電気分野の現象は直接目で見ることはできません。またコイルやコンデンサなどを自由に差し替えながら短時間で実験することもなかなか困難です。そこで回路をブレッドボード上に組み、コンピュータのサウンドボードを利用することで、生徒が主体的に計測することができるようにしました。図3左上がブレッドボード上の各部品、中央が回路図、右が電気振動の波形です。なお固有周波数はCとLの値から約2518 [Hz]となります。



【図3】電気振動

3 音速の測定

実験台上で音が伝わる距離の違いによる到達時間差を可視化することを目的に開発しました。図4は、音速測定装置 (左上) と作成したソフトを使用してコンデンサマイクに届く音波の時間差を計測したものです。生徒は、マイク1とマイク2の距離を変えながら、その都度時間をコンピュータで計測し音速を計算します。温度を変えたり、プラスチック管の中に色々な気体を入れて音速を求めることも可能です。



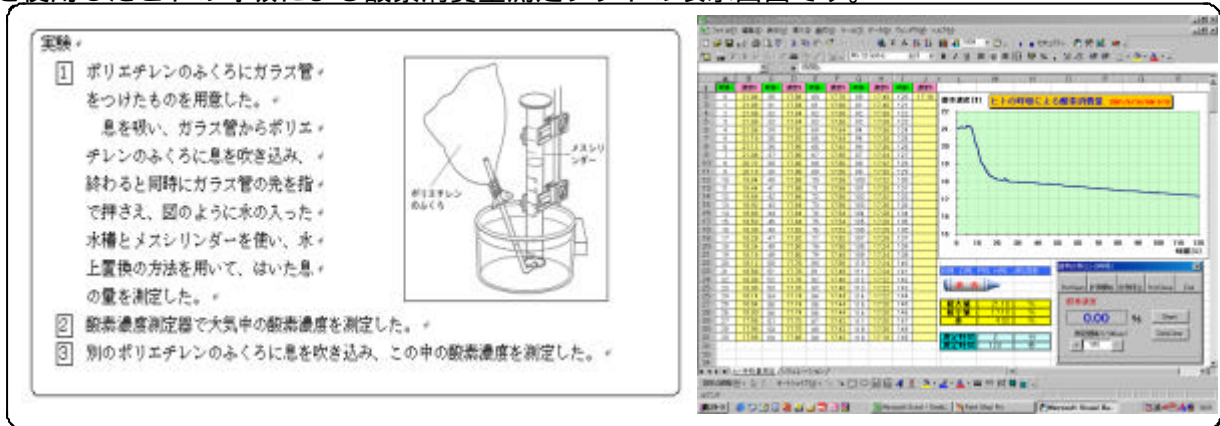
【図4】音速測定

4 酸素センサを利用した計測

従来、光合成や呼吸量の測定には、プロダクトメーターなどの検容計が利用されてきました。この装置は、高度な実験技術を要さず、精度も高いのですが、測定に時間がかかり、授業で活用するには難点がありました。一方、新潟と岩手の教育センターには、ADコンバータとMS-DOSのコンピュータを活用した実践例があります。しかし、現在はWindowsが主流であり、先生方からは、「ADコンバータを製作する技術も時間もない」という声や、「何とか光合成や呼吸量をコンピュータで手軽にリアルタイムに測定したい」という要望がセンターに寄せられていました。そこで、センサからの電圧データをデジタルマルチメーター(DMM)を介し、コンピュータのシリアルポート(RS232C)から読み込み、表計算ソフトのExcel2000で処理することになりました。デジタルマルチメーターを使うことでADコンバータを製作する必要がなくなります。なお、デジタルマルチメーターは、電圧以外に、電流、抵抗、周波数、温度等を測定できますので、各種センサを接続しゆっくりと変化する自然事象を計測することが可能になります。さらに、コンピュータのシリアルポートと電子天秤などの装置を接続(モル天秤のWindows版)することで、計測データをコンピュータに取り込むことができ、化学や物理分野の計測に応用することもできます。さらに、表計算ソフトを用いることで、容易にデータ処理やグラフ化が実現でき、液晶プロジェクターと併用すれば、よりダイナミックにプレゼンテーションを行うこともできます。酸素センサは、日本電池製(KE-25)を使用しました。このセンサの出力は、酸素0%で0mV、酸素100%で約50mVの出力があり、出力電圧(mV)は、酸素濃度(%)にほぼ正比例します。この程度の出力では、ADコンバータを作動させることはできないので、オペアンプ付きADコンバータを使用しますが、DMMではその必要はありません。

(1) ヒトの呼吸による酸素消費量測定

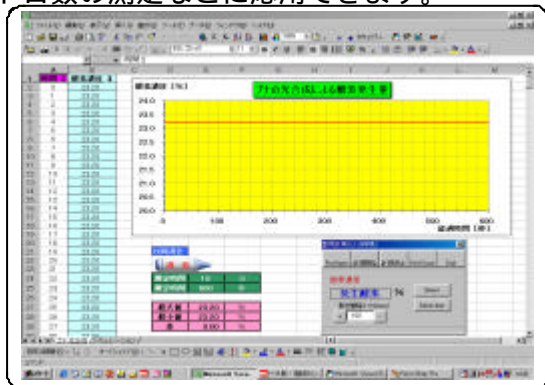
図5左は、水上置換の方法を用いて、はいた息の量を測定する実験です。また同図右は、酸素センサを使用したヒトの呼吸による酸素消費量測定ソフトの表示画面です。



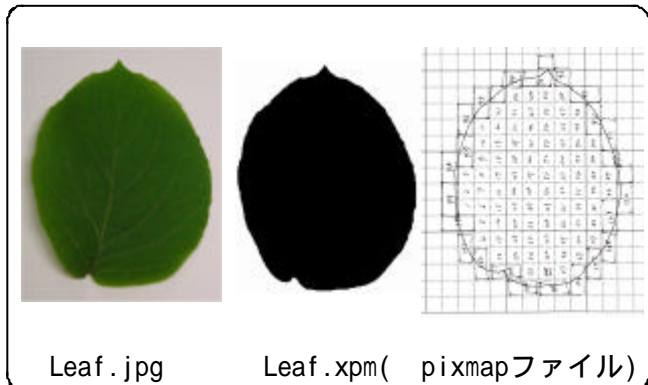
【図5】ヒトの呼吸による酸素消費量測定実験

(2) ブナの光合成による酸素発生量測定

大気中の二酸化炭素濃度は約0.03%なので、炭酸緩衝液No10(0.1M K_2CO_3 、0.9M $KHCO_3$)を濾紙に含ませることで二酸化炭素の補給をします。光合成容器はポリエチレン製シャーレを利用し、直接葉と触れることはないように中蓋をつけます。図6は、酸素センサを使用したブナの葉の光合成による酸素発生量測定ソフトの表示画面です。また、ブナ林から発生する酸素量を推定する際、葉の面積を測定する必要があります。図7右は、方眼紙を用いた簡易面積測定法ですが、スキャナとコンピュータを利用し、取り込んだ画像ファイルを図7左のファイル形式から同図中央のファイル形式へ変換することで、容易に面積測定が可能になります。人体や物体が風や流水から受ける力の測定や、アボガド口数の測定などに応用できます。



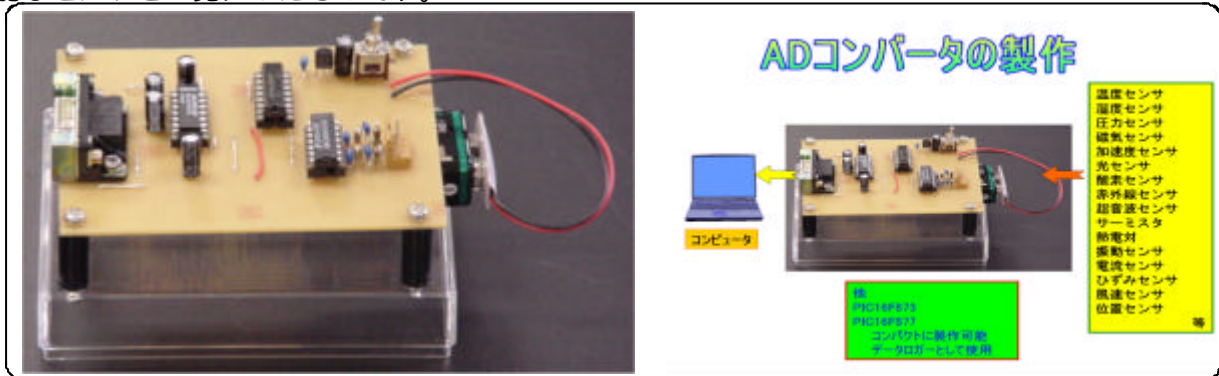
【図6】ブナの光合成量の測定画面



【図7】面積測定

5 ADコンバータの製作

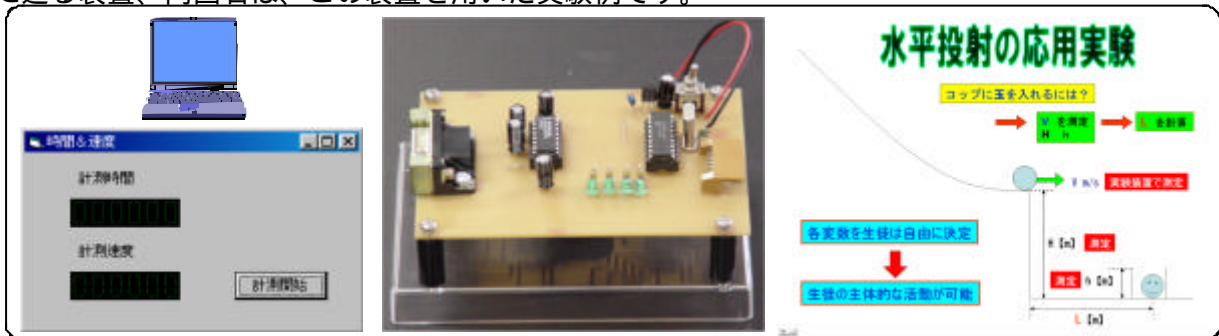
コンピュータを利用した計測は単に自動化ということではなく、これまで不可能であった計測、または全く新しい分野の計測をも可能にします。センサを変更するだけで1台のコンピュータが万能の計測器になります。前述したDMM では測定ができない瞬間的な物理量の測定には、ADコンバータが必要になります。このADコンバータの機能をもつICは各種存在し、例えばMAX186, MAX187, ADC0834, 4052 BPなどを挙げることができます。また、PIC16F873、PIC16F877などのワンチップマイコン、H8/3664Fなどのフラッシュマイコン等枚挙に暇がありません。図8左は製作したADコンバータ、同図右は接続可能なセンサを一覧にしたものです。



【図8】ADコンバータと各種センサ

6 ワンチップマイコン(PIC16F84)とコンピュータを使用した速度計測装置

発光部のLED と受光部のフォトトランジスタを組み合わせたものを2セット用意し、ある距離隔てて設置します。この間を物体が通過する時間を計測し速度を求める装置です。データベースやネットワークと併用できるように、データをコンピュータに取り込み表示できるようにしました。図9左は、コンピュータ画面上での速度表示、同図中央は、センサからのデータを計算しその結果をコンピュータに送る装置、同図右は、この装置を用いた実験例です。



【図9】ワンチップマイコンとコンピュータを使用した速度計測装置

7 ワンチップマイコン(PIC16F84)とコンピュータを使用した音に対する反応時間計測装置

耳から入った信号は、かたつむり管で神経細胞の電気パルスに変換され、いくつかの神経節に到達します。これらの神経節で、音の立体感、方向、周波数などが検出されます。これらの神経節には目からの神経、顔面神経、運動に関わる神経も入り込んでお互いに連携しており、音の来た方向に顔を向けたり、ピストルの音でスタートを切ったりすることが訓練によって瞬時にできるようになっています。訓練で形成された音の情報処理は、0.1~0.2秒程度でできるといわれています。図10に計測装置と実験の様子を示します。

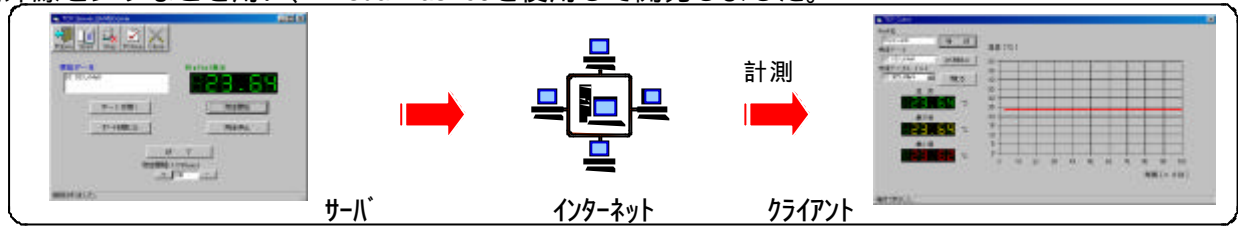


【図10】音に対する反応時間の計測

音が聞こえたら、図10左の右側のスイッチを押します。すると、音が聞こえてからスイッチが押されるまでの時間が、図10右のように表示されます。

8 ネットワークを使用した計測

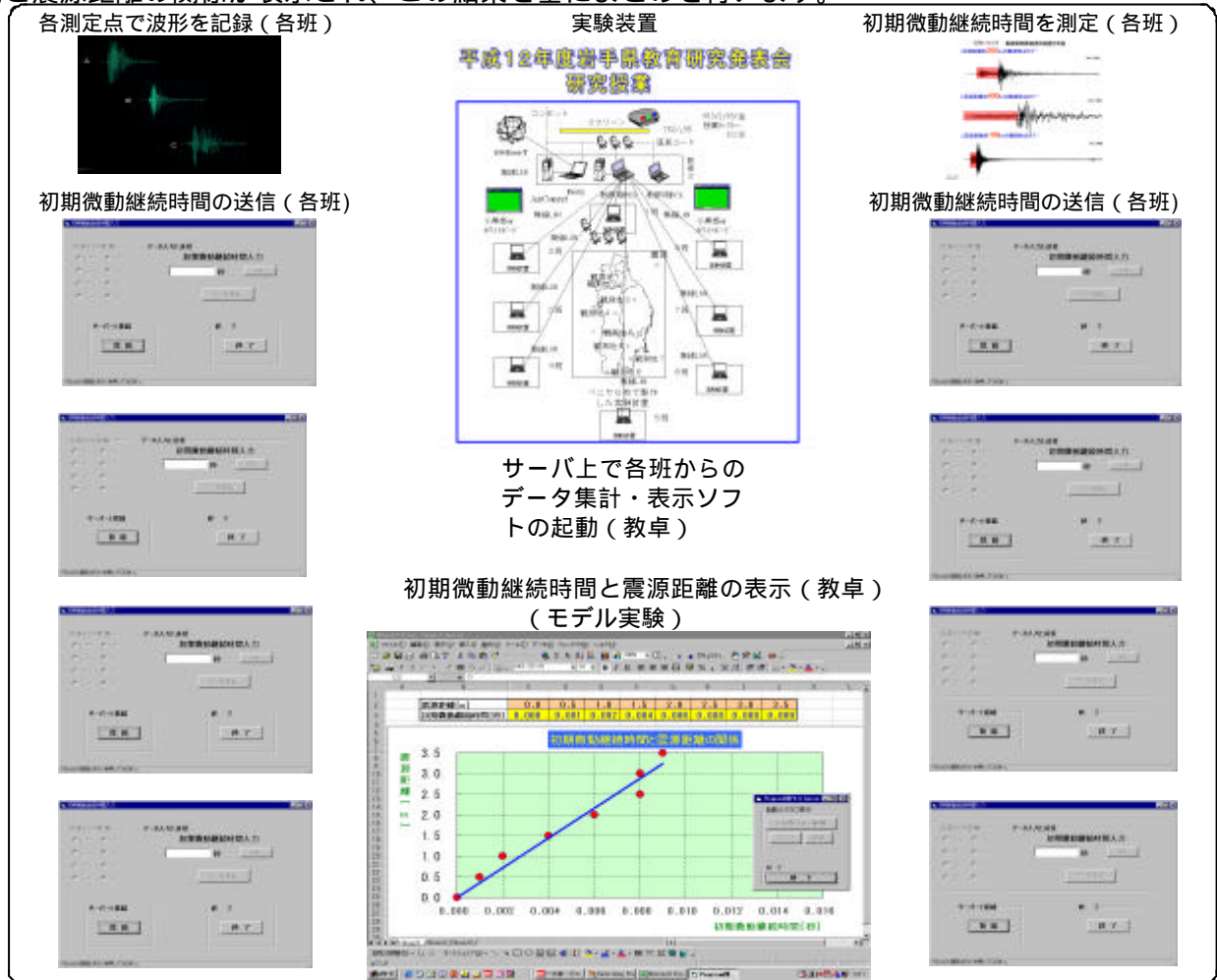
図11は、温度センサを使い、ネットワーク経由で温度を測定している図です。温度、湿度、圧力、紫外線センサなどを用い、VisualBasic6を使用して開発しました。



【図11】ネットワークを使用した制御

9 ネットワークを使用した情報共有

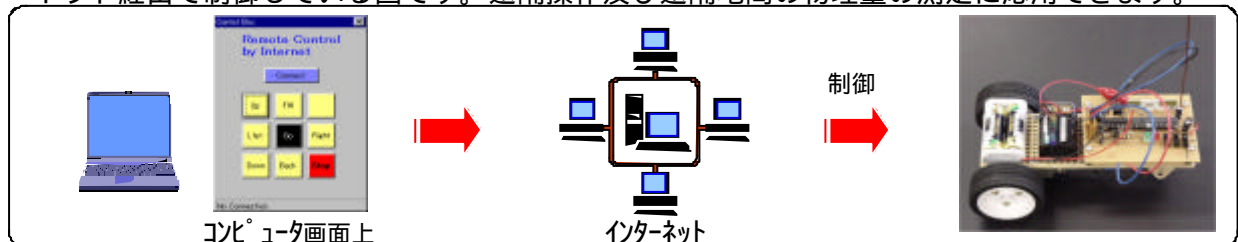
各班で震源からの波形を記録し初期微動継続時間を測定します。その後教卓上で起動しているデータ集計・表示ソフトにそのデータを無線LAN を経由して送信します。図12 のように初期微動継続時間と震源距離の関係が表示され、この結果を基にまとめを行います。



【図12】ネットワークを使用した情報共有

10 ネットワークを使用した制御

図13は、受信モジュール「AM-HRR3-315」とワンチップマイコンなどを搭載した模型自動車をインターネット経由で制御している図です。遠隔操作及び遠隔地間の物理量の測定に応用できます。



【図13】ネットワークを使用した制御

化学領域における開発教材

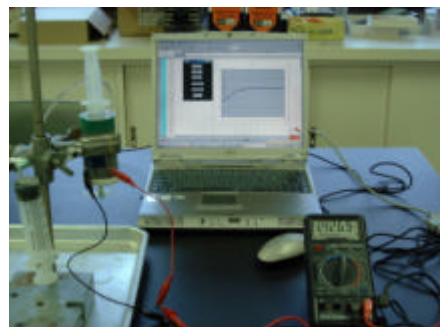
1 二酸化窒素の平衡移動の計測にコンピュータを活用する例

(1) はじめに

二酸化窒素は、圧力・温度の各条件において次のような化学平衡が成り立っています。



ルシャトリエの原理から二酸化窒素に圧力や温度の変化を与えれば平衡が移動することによって気体の色が変化します。その色の变化を光センサーの電気抵抗値の変化で確認することにしました。抵抗値の測定にはデジタルマルチメータ(METEX製M4650CR)を使用し、RS232Cを介してコンピュータとつなぎました(プログラムはVisualBasic6.0を使用)。(図14)

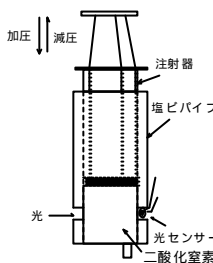


【図14】コンピュータとDMMをつないだ様子

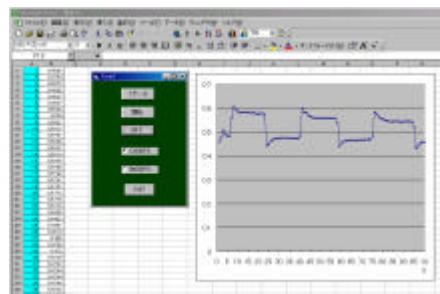
【図14】コンピュータとDMMをつないだ様子

(2) 圧力変化に伴う平衡移動

図15のような装置を作り、注射器のピストンを上下させることによってNO₂に圧力の変化を与えることにしました。図16のグラフから、加圧すればNO₂は圧縮されるためNO₂の色が一瞬濃くなり抵抗値が高くなりますが、徐々に低くなって一定の値を示していることから、平衡移動によってNO₂の色が少しずつ薄くなり新しい平衡状態に達したことが確認できます。また、減圧すればNO₂は膨張するためNO₂の色が一瞬薄くなり抵抗値が低くなりますが、徐々に高くなって一定の値を示していることから、平衡移動によってNO₂の色が少しずつ濃くなり新しい平衡状態に達したことが確認できます。



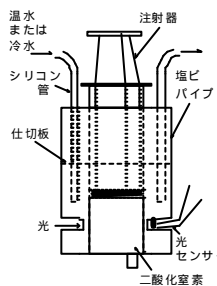
【図15】圧力実験装置



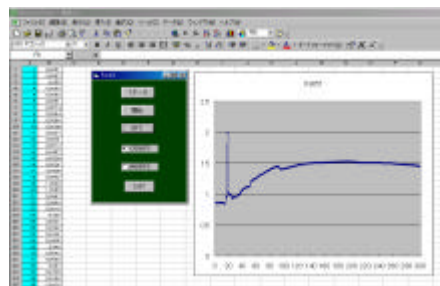
【図16】圧力変化による抵抗値の変化

(3) 温度変化に伴う平衡移動

次に図17のような装置を作り、注射器の周りに温水や冷水を注入することによってNO₂に温度の変化を与えることにしました。図18のグラフから、温水を注入してNO₂を温めれば、抵抗値が徐々に高くなって一定の値を示していることから、平衡移動によってNO₂の色が濃くなり新しい平衡状態に達したことが確認できます。また、冷水を注入してNO₂を冷やせば、抵抗値も徐々に低くなって一定の値を示していることから、平衡移動によってNO₂の色が濃くなり新しい平衡状態に達したことが確認できます。



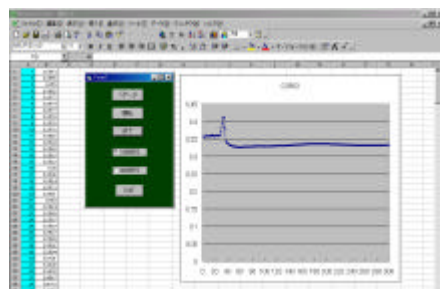
【図17】温度実験装置



【図18】温水注入による抵抗値の変化

図18・図19で、それぞれ温水や冷水を注入した直後に大きなピークが見られますが、これは装置内の水面が光センサーの前を通り過ぎる時に瞬間的に暗くなるためではないかと考えられます。

図18・図19で、それぞれ温水や冷水を注入した直後に大きなピークが見られますが、これは装置内の水面が光センサーの前を通り過ぎる時に瞬間的に暗くなるためではないかと考えられます。



【図19】冷水注入による抵抗値の変化

2 シャルルの法則検証実験のデータ処理にコンピュータを活用する例

(1) はじめに

シャルルの法則を検証する実験を行い、得られたデータをもとにして最小自乗法による回帰直線から絶対零度を求めるためにコンピュータを活用することにしました。実験に使用する教材として図20の装置を開発しました。

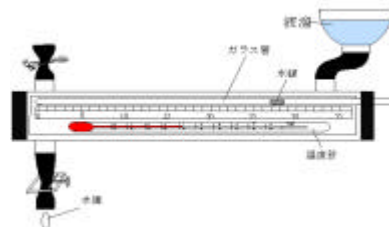
(2) 実験装置の製作

本体となる外径35mmのアクリル管を40cmの長さに切り、水を流す穴と空気の逃げ道となる穴を3カ所に開ける。

アクリル板を2cm×35cmの長さに切る。

のアクリル板に、温度計と、ものさしの目盛りをコピーしたOHPシート、さらに外径4mmのガラス管をそれぞれホットボンドガンで接着する。

本体のアクリル管の一方にゴム栓をつけて、もう一方は4mmのガラス管を通したゴム栓をつける。



【図20】実験装置の全体

(3) 実験方法

細長いピペットで水銀をガラス管に注入する。

下方のピンチコックを閉じ、上方のピンチコックを開けた状態で液溜に熱水を注ぐ。

装置本体の中が熱水で満たされた後、上方のピンチコックを閉じる。

液溜には氷水を追加補充しながら下方のピンチコックを少し開け、装置本体の中の水が少しずつ滴下するようにする。

10 刻み (60, 50, 40, 30, 20, 10) に水銀の位置が示す4mmガラス管内の気柱の長さのデータを取る。

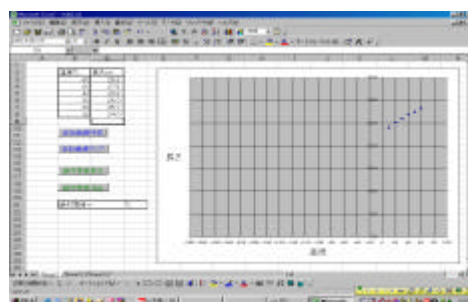
(4) 実験結果の集計・処理

得られた実験データは表計算ソフト Excelを用いて処理することにしました。ワークシートSheet1上にデータ入力のための表をあらかじめ用意しておきます。表中にデータを入力すると同じSheet1上にあるグラフにデータをプロットできるようにマクロを組んでおきます(図21)。

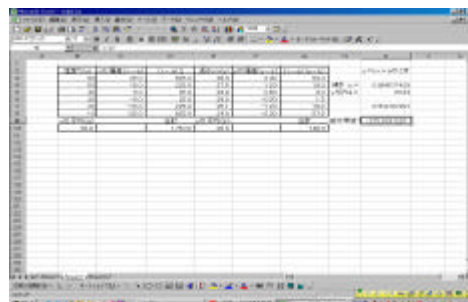
次に、実験データから最小自乗法によって回帰直線を算出して絶対零度の値を求めます。その計算をExcelで行わせるようにワークシートSheet2にマクロを組みます(図22)。

Sheet1で表に入力したデータは自動的にSheet2へも入力されるようにします。回帰直線のグラフを描くプログラムは、すでにExcelに存在するので、それを活用することにして、Sheet1上にはグラフ作成と消去のボタンを貼り付けておきます。

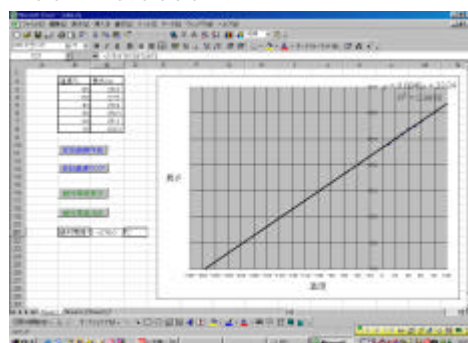
また、Sheet2で求めた絶対零度の値も表示できるようにSheet1上にボタンを貼り付けておきます。回帰直線のグラフと絶対零度の値を示した画面は、図23のとおりとなります。今回作製した実験装置から求めた絶対零度の値は、-276 となり、理論値である -273 に近い値が得られました。



【図21】実験データをグラフにプロット



【図22】最小自乗法でデータを処理



【図23】回帰直線から絶対零度を求める

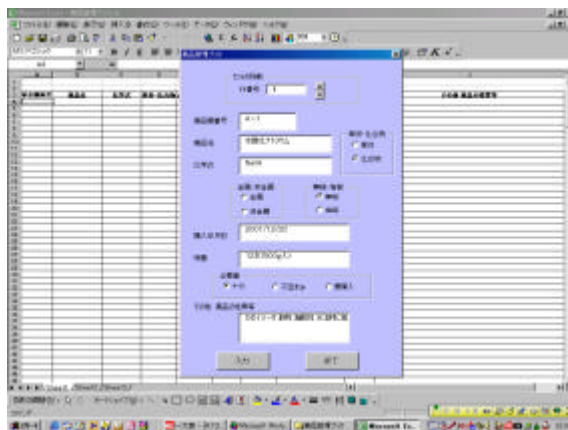
3 薬品管理にコンピュータを活用する例

(1) はじめに

理科の実験には薬品が不可欠であり、どこの学校でも少なからず薬品が常備されていることと思います。しかし、その薬品類の在庫量や使用量を日々適切に管理することは困難です。また、最近の化学薬品を用いた事件や事故の多さや多様性を考えた場合、我々理科担当教員が薬品に対して基礎的な知識を持ち、適切に管理することがいかに重要であるかがわかります。そこで、化学薬品の在庫量と使用量をコンピュータで一括管理できるソフトを表計算ソフトExcelを用いて開発しました。また管理上の安全面を考慮して、「消防法」や「毒物及び劇物取締法」で定められている薬品については、特にその危険な性質を明記するように心がけました。

(2) 薬品全体の在庫量を管理するソフトの開発

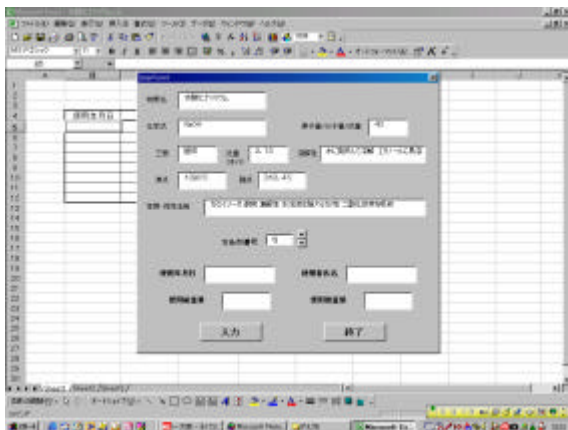
図24は、薬品全体の在庫量を管理するソフトの入力画面です。入力事項はExcelのSheet1に順次入力されていきます。入力項目は、薬品棚番号・薬品名・化学式・単体or化合物・金属or非金属・無機or有機・購入年月日・残量・必要量・薬品の性質となります。特に、薬品名を入力すると自動的に化学式と主な性質が自動的に表示されるように約350種類の薬品をSheet2にデータベース化しました。



薬品庫にある全薬品を入力しておけば、表計算ソフトの特徴を生かして該当する薬品を瞬時に検索すること【図24】薬品在庫管理ソフトの入力画面ができますし、薬品庫内の配置換えをしたときでもそれに合わせて入力済みのデータをSheet内で簡単に並べ替えることができます。

(3) 各薬品の使用量を管理するソフトの開発

図25は、各薬品の使用量を個別に管理するソフトの入力画面です。入力フォームを開くと同時に、その薬品の物質名・化学式・式量・三態・比重・溶解性・沸点・融点・薬品の性質が自動的に表示されるようにしました。また、薬品の入った瓶の使用前の重量と使用後の重量を入力することで使用量が自動的に計算・記録されるようにしてあります。



このソフトに収められた各薬品は、単体であれば金属か非金属か、化合物であれば有機か無機かで分類してあります。さらに、有機化合物であれば主に官能基ごとに、無機化合物であれば元素ごとに分類することで該当薬品を検索しやすくしてあります。主に学校現場でよく使用される薬品約220種類を収録しました。

(4) 情報の収集・検索としてのソフトの充実

今回開発した薬品管理ソフトは理科担当教員を対象として作製したのですが、今後は各薬品の画像や主な実験動画をこのソフトに盛り込み、視覚的效果を取り入れて総合的に化学薬品の理解が図られる児童・生徒向けのソフトにバージョンアップしていきたいと考えています。

生物領域における開発教材

1 光合成色素の光学的性質における一連の開発教材

高等学校生物 Bの「代謝」では、光合成色素の光学的性質を理解させることが求められています。光合成色素の光学的性質は、高等学校生物 Bの生物の集団での海草の光適応、高等学校生物 の植物の陸上への進化にも密接な関係があります。光合成色素の光学的性質を理解させるためには、光合成色素の吸収スペクトルを観察する必要があり、また、吸収スペクトルのグラフ化による光合成色素の吸収曲線の理解も定量的な側面として重要です。

さて、実際に吸収スペクトルを観察するには、これまではプリズムや直視分光器などが用いられてきましたが、高価で演示実験に止まらざるを得なかったり、専用の機器ではないため固定が不十分だったりさまざまな問題がありました。その後、レプリカグレーティングシート（回折格子）を用いた簡易分光器も開発されましたが、多くのものは設計に理論性が乏しく、試行錯誤によって作成されたものでした。そのことによって、観察は吸収スペクトルの視覚的なものに止まり、吸収曲線のグラフ化までにはいたっていませんでした。

そこで、本研究では光合成色素の光学的性質における一連の教材を次の4点に留意して開発しました。

(1) 光合成色素の抽出

粉末シリカゲルとともに葉をすりつぶすことによって、葉を微細にすりつぶすことが可能です。さらに、葉の水分をシリカゲルによって吸収できるため、平易で確実な色素の抽出が可能になりました。

(図26～図30)

留意点

- (ア) シリカゲル5gに対して材料(チンゲンサイ)2gの割合
- (イ) シリカゲルは材料を入れる前にあらかじめ乳鉢・乳棒でパウダー状になるまですりつぶしておく(図26)
- (ウ) 材料はハサミで細かく切って入れ(図27)、シリカゲルとともに形が無くなるまですりつぶす(図28)
- (エ) スクリュー瓶に上記試料全量を入れ、エチルエーテル30ml加え密栓の後よく攪拌する
- (オ) 数分待ち、上澄みを得、抽出液とし(図29)展開用にそのまま用いる
- (カ) 分光用には、(オ)で得られた抽出液をエチルエーテルで7倍に薄めて(1mlの抽出液に対して6mlのエチルエーテルを加える)用いる(図30)



【図26】粉末シリカゲル



【図27】葉を入れる



【図28】すりつぶしたもの



【図29】抽出液



【図30】抽出液を7倍にうすめたもの

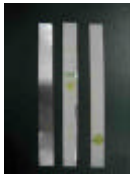
(2) 光合成色素の展開・分離

LC (Thin Layer Chromatography アルミシートにシリカゲルを塗布したもの)を用いることによって、これまでの、ペーパークロマトグラフィーの欠点であった「時間がかかる」、「色素スポットが不明瞭である」点が解決できます。また、分離後必要とする色素スポットを削り取り、抽出液を加えることによって、光合成色素ごとの抽出液を作ることが可能になりました。(図31～図37)

留意点

～色素の展開・分離に関して～

- (ア) TLCシートは10mm×100mmの短冊状にし下から20mmの所に鉛筆で横線を引く(図31)
 - (イ) 抽出液をガラス細管にとり、1スポットにつき3回点を付ける(図31)
 - (ウ) 展開液は石油エーテル7体積に対してアセトン3体積の混合液を用い、展開槽は植物培養試験管(250mm×120mm)、ゴム栓に切り込みを入れてTLCシートを挟む(図32)
 - (エ) 展開時間は、温度等によって異なるが約10分間要す
- ～クロロフィルa、クロロフィルbの展開・分離・削り取り・抽出～
- (オ) 1mlの抽出液全量を展開するには1スポットに3回点を付けるとして、40スポット(120点)要する
 - (カ) TLCシート(50mm×100mm)を5枚用意
 - (キ) 展開には標本瓶を工夫して使用(シートをクリップで挟み、糸でつるす)(図33・34)
 - (ク) 展開後、クロロフィルa・bを別々にアルミシートに塗布されているシリカゲルとともに削り取る(図35・36)
 - (ケ) 削り取ったクロロフィルa・bを別々のスクリー瓶に入れ、それぞれ2mlのエチルエーテルを加え、よく攪拌した後、上澄みをクロロフィルa・bの抽出液とする(図37)



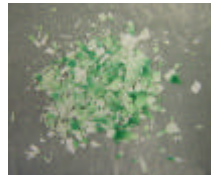
【図31】TLC
左からアルミシート(裏)
展開後、展開前



【図32】



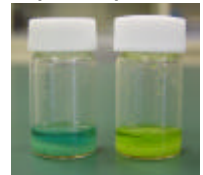
【図33】



【図34】



【図35】削り取った色素
クロロフィルa



【図36】削り取った色素
クロロフィルb

【図37】抽出液
クロロフィルa(左)
クロロフィルb(右)

(3) 光合成色素の吸収スペクトルの観察

これまで、レプリカグレーティングシートを用いた簡易分光器の製作例がありますが、デジタルカメラでの撮影を念頭に、グレーティングシートの光学的特性を計算した上で、製作が容易なボール紙を材料に専用の簡易分光器を設計・製作しました。(図38～図41)

留意点

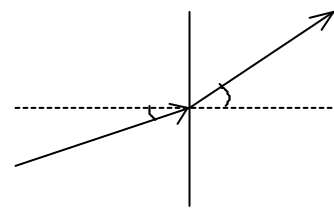
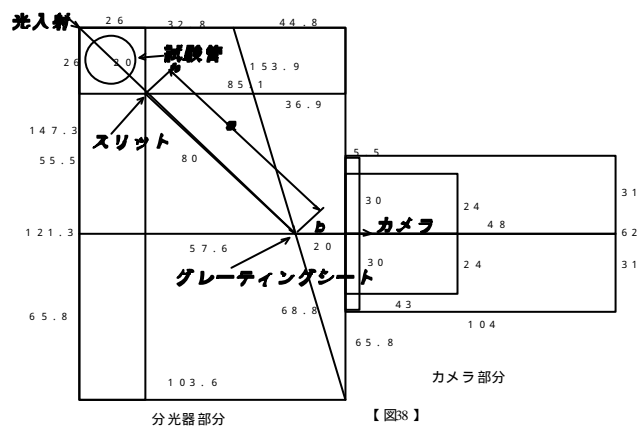
～簡易分光器の設計～

- (ア) コンパクトな設計(図38)
スリットからグレーティングシートまでの距離を80mm(図38)
グレーティングシートからカメラレンズまでの距離を20mm(図38,b)
- (イ) グレーティングシートからカメラレンズまでの距離(焦点距離)を100mm(図38,a+b)

- (ウ) グレーティングシートの溝数は1000本/1mmのものを使用

- (エ) 分光公式 $d(\sin \theta - \sin \phi) = m \lambda$ からを計算(図39)

- (イ) から $d=1/1000$ 、一次像を撮影することから $m=1$
入射角 $\theta = -60^\circ$ とし、 λ を 380nm(紫色光)から 770nm(赤色光)まで連続的に変化させ、出射角 ϕ と中心線からの距離 y を計算、
主なデータ ; 380nm(紫色光) 575nm(黄色光) 770nm(赤色光)
; ϕ ; -29.1° -16.9° -5.5°
 y ; -11.1mm -6.1mm -1.9mm



【図39】

(I) 設計図 (図40-1~6)

底 (図40-1)

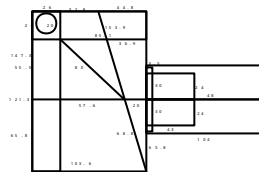
側面 (図40-2)

蓋 (図40-3)

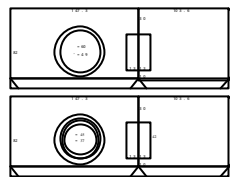
スリット台紙 (図40-4)

グレーティングシート台紙 (図40-5)

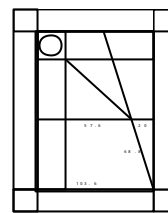
試験管支え (図40-6)



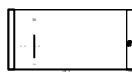
【図40-1】



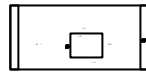
【図40-2】



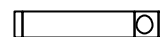
【図40-3】



【図40-4】



【図40-5】



【図40-6】

(II) 完成図 (図41-1~4)

カメラにセット (図41-1)

蓋を開けたところ (図41-2)

撮影中全景 (図41-3)



【図41-1】



【図41-2】



【図41-3】

(4) 光合成色素の吸収曲線 (【図42】~【図44】)

光合成色素の吸収スペクトルは、分光器を用いれば、視覚的にとらえることはできますが、グラフとして作図することは不可能です。そこで、デジタルカメラで撮影した画像を画像処理ソフトを効果的に使用することによって、コンピュータ上で吸収曲線を描くことが可能になりました。

留意点

~ デジタルカメラによる撮影 ~

(ア) 光源は100W白熱灯

(イ) 試料から光源までの距離は250mm

(ウ) F2.0 シャッター速度1/2sec

~ 撮影 (画像処理) 対象 ~

(I) 光合成色素抽出液 (各色素の混合液)

(オ) クロロフィル a 抽出液

(カ) クロロフィル b 抽出液

~ コンピュータによる画像処理 ~

(キ) ソフト ; StellarImage3

(AstroArts, Inc)

(ク) 方法 ;

水を透過した光を分光した画像を基準
(図42-1, 43-1, 44-1)に

抽出液を透過した光を分光した画像 (図42-2, 43-2, 44-2)を

コンポジット処理 (減算) し、

得られた画像 (図42-3, 43-3, 44-3) をグラフ化機能によってグラフ化し、画像として記録した (図42-4, 43-4, 44-4)

(ケ) グラフの横軸の目盛りは分光に関する公式から得られる y の値 ((3)-(ウ)) から付した

【図42-1】



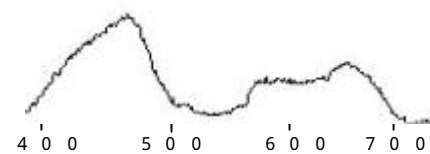
【図42-2】



【図42-3】



【図42-4】



【図43-1】



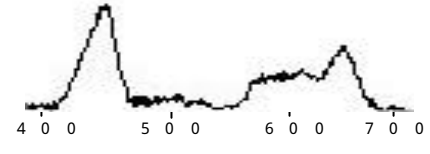
【図43-2】



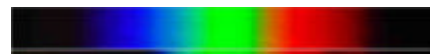
【図43-3】



【図43-4】



【図44-1】



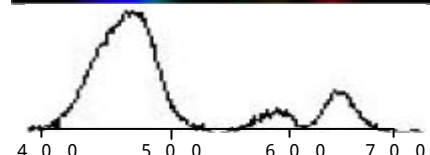
【図44-2】



【図44-3】



【図44-4】



地学領域（天文）における開発教材

1 「月は絶えず動いていること」の小単元における開発教材の基本的な考え方

小単元「月は絶えず動いていること」では、月が太陽や星と同じように時間の経過とともに動き、日周運動を行っていること、また、日によって月の形が変わることなどの特徴について、地上の目標物を目印にした月の動きの観察活動や方位で月の位置を表す活動などをとおして理解させることが求められています。

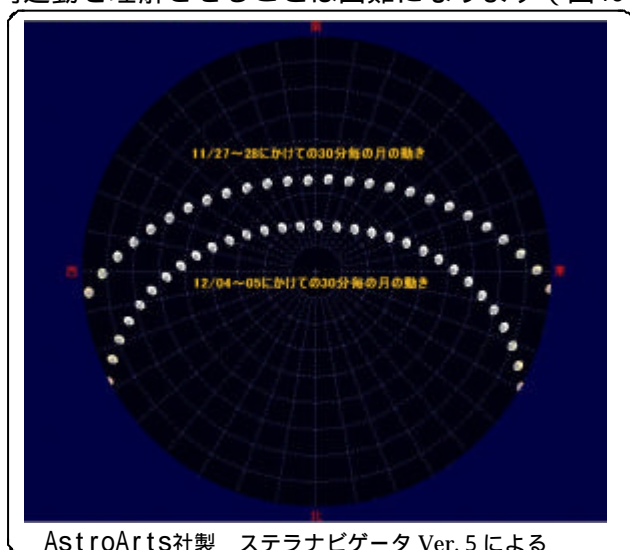
しかし、地上の目標物を目印にして観察した場合、夜間では観察者から地上の目標物までの距離が近くなるため（遠方の目標物は見えにくい）、観察者の僅かな視点の移動が大きなずれとなり、視差（相対的な位置のずれ）が生じ、観察結果に大きな誤差が含まれることとなります。したがってこのような観察結果から月の動きを類推し月の日周運動を理解したり、自分の考えをもたせたりすることは難しいと考えられます。

また、月の日周運動を理解するためには、太陽や星の場合と同様に月が東の方から出る様子、南中する前後の月の動き、西の方へ沈む様子など少なくとも3つの方位での観察が必要になります。この場合、月の日周運動の観察は、太陽や星のそれと同様に行うことができますが、観察する際に次のような点に留意する必要があります。

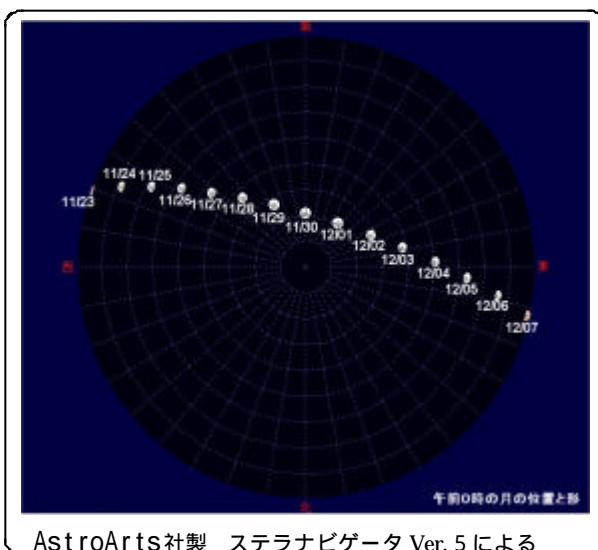
月の出が毎日約1時間ずつ遅くなることより、同じ時刻で観察する場合、見える位置（視位置）が異なる。そのため、同一日での3方位の観察が必要になってきます（図45）。

また、下弦以降の月は、月の出が極端に遅くなるため夜間児童が観測するには必ずしも適切とはいえません。

月の見かけ上の通り道である白道（はくどう）が1周期ごとに異なるため、同じ月齢の月を同じ時刻に観察しても方位や高度が異なってくるので、周期の異なる月の観察記録をあわせて月の日周運動を理解させることは困難になります（図46）。



【図45】11月27～28日及び12月4～5日までの30分ごとの月の動き



【図46】11月23～12月7日までの月の位置と動き

以上の点を考慮して月の日周運動を観察する場合は、同一日に上弦から満月前後までの月の動きを観察させるか、下弦以降の月を対象とし、南中から月没までの経過を日中に観察させることが考えられます。この場合、月の動きの全過程を観察させることは観察時間の関係から難しい状況にあるので、それを補うための映像資料が必要になるとともに、数少ない機会をとらえ、正確な観察をさせるために、視差の少ない観察装置の開発が必要になってきます。

2 月の日周運動を理解させる映像資料教材

月の日周運動を理解させるために、これまでの月の出のときの動きや南中付近の月の動き、月が沈む時の動きをそれぞれ観察した各方位の記録をとり、それらをもとにして月の日周運動を推測さ

せることが、一般的な学習活動となっています。このような学習活動では、観察記録を正確に記録することと日周運動の全過程を同一日で観察することが必要になります。

しかし、月の出から月の入りまでの全過程が、およそ12時間かかること及び毎日の月の出がおよそ1時間ずつ遅くなることから、全過程を同一日で観察することは難しい状況にあります。

したがって実際に観察活動を行う場合は、月の出や月没等の時刻を考慮し、方位などを限定して観察させるとともに、そのほかの方位の月の動きについては映像資料等で補う必要があります。

また、月の出から月の入りまでの一連の月の動きを理解させるために、月の動きを時間を縮めて見ることができる映像資料等も必要となってきます。

このような映像資料は、これまでビデオカメラや写真などから作成していましたが、月の明るさと空の明るさの差から、特殊な撮影装置等を用いないと鮮明にその動きをとらえさせることが難しい状況にありました。



【図47】デジタルカメラによる月の動き（静止画、重ね合わせ）



【図48】デジタルカメラによる月の動き（動画の一部）

時間におよぶ動画でも、より見やすくすることができます（図47～図48）。

3 デジタル画像の処理の実際（デジタルビデオカメラでの動画の処理）

デジタルビデオカメラで撮影した動画は、コンピュータ上に容易に取り込むことができます。

天体を撮影した動画は、そのままでは非常に見づらいために、一度フレーム毎に静止画に変換してから画像処理を施して、再度動画にすることにより、観察対象とする天体が分かりやすい動画を得ることができます（図49）。

デジタルカメラやデジタルビデオカメラは、月や恒星などの天体の動画や静止画を通常のビデオカメラやカメラなどと比較して簡単に、大量に、そして安価に撮影することができます。また撮影した画像について行うことにより、輝度差から分かりづらい画像や長



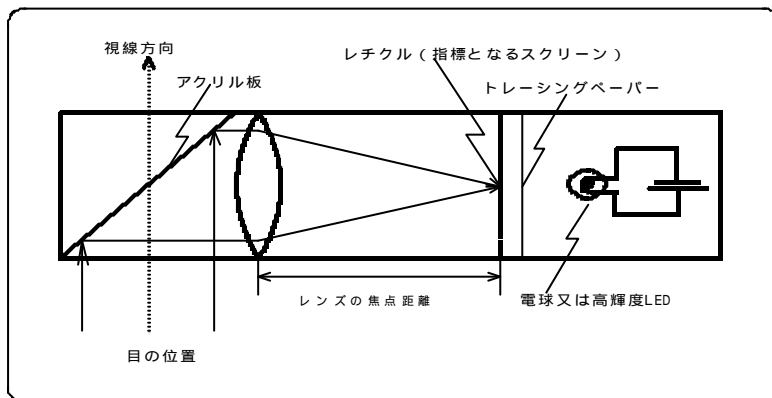
【図49】動画の画像処理の過程

デジタルビデオカメラの動画を天体の動きが分かりやすくするために実際の時間よりも時間を縮めて見る必要があります。デジタルビデオカメラでは1秒間に30フレーム写しますので、仮に30倍に時間を縮めると、1秒間に1コマの画像になります。また、広い視野で撮影した天体の動きは大変緩やかであるため、1秒間の動きは大変少なく、同じ静止画として見ることができます。デジタルビデオカメラによりますが、31万画素のサイズ1/3インチのCCDを用いたものであれば、1画素およそ7 μ mの大きさになります。レンズの焦点距離が5.9mm前後(35mmのフィルム仕様のカメラのレンズに換算するとおよそ42mm)のレンズでは、CCDの1画素のずれに要する時間は約15秒になるので、1秒間に撮影される30コマの静止画像にコンポジット処理をかけて重ね合わせても、画像のずれは認められません。

また、コンポジット処理は、画像のノイズを低減させ、画質を向上させるので、天体をより鮮明に表すことができます。これらの画像を再度、動画に編集することにより、天体の動きを分かりやすくすることができます。さらに、コンピュータによる画像処理では方位や時間など学習に必要な情報を画像の中に挿入できるため、教材としてより効果のあるものを作成することができます。

4 視差の少ない天体観察装置

太陽や月及び星は、地上の目標物から見れば、無限大の距離にある対象です。有限の距離にある対象(地上の目標物)と無限大の距離にある対象を同時に見た場合、見る位置によって視差を生じます。



これまでの観察装置(観察用具)や観察方法では、枠の中の星や月の動きを観察したり、地上の建物などを目標物としてそれらとの相対的な位置関係をスケッチしたりする方法が用いられていましたが、観察する位置(目の位置)が少しずれた場合に地上の目標物と対象とに時間的経過に伴う位置の差以外のずれを生じ、時間経過に伴う

【図50】テルラドタイプの観察装置の構造
天体の移動を正確に記録することが難しくなります。

このような現象をなくすために、目印となる目標物が無限大の距離に見えるような観察用具が必要になります。このような条件を満たすために図50のような形式の観察装置が考えられます。

この観察装置は、アクリル板の表面反射を利用して、観察する天体に位置のめやすとなる指標(目印となる目標物)を重ね合わせて見るものです。レンズがない場合は、指標が手前に見えるようになるため、観察する天体と距離の差と視差を生じますが、図50のようにレンズを入れることにより指標が無限大の距離に位置するように見え、観察対象である天体と指標が張り付いて見えるようになり、視差が解消されます。なお、反射板となるアクリル板は、本来、精密加工したハーフミラーを用いる必要がありますが、高価なため代わりに安価なアクリル板を用いることにしました。

5 コンピュータを活用した小学校理科の学習指導について

小学校理科においては、観察や実験、飼育などの直接的な活動が重視されています。したがって、天体領域の学習では、星空や月の動きを実際に観察させることが重要になるとともに、その動きの規則性や特徴をとらえさせるためのコンピュータの活用が考えられます。

従来であれば、シミュレーションソフトを用いて動きの規則性や特徴をとらえさせていましたが、児童自身が観察や実験で得た結果をコンピュータ上で処理することにより、その動きの規則性や特徴を視覚的にとらえることが容易になります。

研究のまとめと今後の課題

1 研究のまとめ

この研究は、小学校・中学校・高等学校理科において、問題解決能力や科学的な自然観を養うことができるように、観察・実験にコンピュータを生かした教材を開発して、理科の学習指導の改善に役立てようとするものです。

そのために、2年次研究の第1年次として、各種センサーや映像を活用して自然現象における物理量を計測する教材、デジタルカメラ撮影画像を活用して生物現象を解析する教材、実験から得られたデータを集計・処理するワークシート教材、天体の動きを分かりやすく映像化した教材など、それぞれについての検討を行いました。

その結果、理科におけるコンピュータを活用した教材についての基本的な考え方や、授業における導入場面などを明確にすることができ、物理・化学・生物・天文各分野における教材の一部を開発することができました。

2 今後の課題

今後は、本研究で開発した教材に改良を加え、教材としての質及び量をより一層充実させていきたいと考えています。また、小・中・高等学校理科におけるコンピュータを活用した学習指導の進め方や指導の在り方について検討を加えるとともに、開発した教材を用いた授業の基本構想と指導試案を作成し、授業実践によってその有効性について検討を加える予定です。

おわりに

この研究を進めるにあたり、多大なご協力をいただきました研究協力校の校長先生をはじめ諸先生方、並びに研究協力員の先生方に心から厚く御礼申し上げます。

【参考文献】

- 1) 志水英二、「マイコンセンサシステム入門」、海文堂、1986年
- 2) 渡辺嘉二郎・小林弘・小林一行、「パソコンによるセンサ信号処理」、海文堂、1991年
- 3) 畑 正好・稲森藤夫・金子康宣・関向正俊、「平成12年度教育研究」、岩手県立総合教育センター、2001年、p147-162
- 4) 松井邦彦、「センサ活用141 の実践ノウハウ」、CQ出版社、2001年
- 5) 志田正二他、「化学辞典▶普及版◀」、森北出版株式会社、1985年
- 6) 東京消防庁 警防研究会 監修、「第2版危険物データブック」、丸善株式会社、1999年
- 7) 山本 哲、「最新版 危険物取扱者試験受験者のための危険物ハンドブック」、新星出版社、2001年
- 8) 渡辺義一、「学校理科薬品の利用と管理」、黎明書房版、1992年
- 9) 日本化学会編、「中・高校生と教師のための化学実験ガイドブック」、丸善株式会社、1994年
- 10) 金藤仁、「自動計測システムのためのVB6入門」、技術評論社、2000年
- 11) 中島光博・笹栗佳織、「薄層クロマトグラフィーによる光合成色素分離の研究」、日本生物教育会、1998年、p33
- 12) 加賀友子、「シリカゲルを利用した同化色素分離実験のいろいろ」、遺伝別冊10号、1998年、p113-116
- 13) 新訂図解実験観察大事典生物、「薄層クロマトグラフィーによる分離」、東京書籍、1992年、p97
- 14) 高桑純、「TLCを用いた光合成色素の分離」、北海道理科教育センター研究紀要第11号、1999年、p69-73
- 15) 福岡辰彦・竹中功、「回折格子シートを用いたスペクトルの観察法」、日本理化学協会・全国理科教育大会、1995年、p304
- 16) 高桑純、「吸収スペクトル観察のための簡易分光器」、北海道理科教育センター研究紀要第13号、2001年、p42-45