

SSHの紹介と物理分野での実践例

県立新潟南高等学校 笹川 民雄

新潟南高等学校におけるSSHの概要を紹介し、この3カ年で実施してきた物理分野での具体的な取り組みの中で、「既存の実験の充実」と「課題研究」について報告する。

1. 本校SSHの概要

本校は平成15年度にSSH(スーパーサイエンスハイスクール)の指定を受け、今年度で3年目となる。SSHの目的は「科学・技術の発展を担う創造性豊かな人材の育成」であり、本校では以下の研究開発課題を重点的に取り組んでいる。

- ・ 理数に重点を置いた教育課程の開発による理系教育の充実
- ・ 大学・研究機関との連携による先進的・継続的理数教育の推進
- ・ 観察・実験を通じた課題研究の推進
- ・ 思考力や創造性を高めるための教材開発、指導・評価方法の研究

これらの課題を研究するために、次のような7つの事業を柱としてSSHを展開している。

- 学校設定科目「SS」
- 学校設定科目「SS」
- 既存の実験の充実
- 部活動の活性化
- 全校講演会
- 生徒交流会
- 先進校視察

ここで、と は理数に重点を置いたカリキュラム開発に関係したものである。

「SS」とは1年次の「情報C」を変更したもので、内容は物・化・生・地のエネルギーに関する実験・レポート作成(基礎講座)とその内容を深めるための大学の先生方による講義(アドバンス講座)が中心である(図1)。また、研究機関と連携して「臨地研修」を実施している(図2)。

「SS」とは2年次の「家庭基礎」を変更し

「SS」基礎・アドバンス講座(H17年度)

基礎講座	アドバンス講座
□ 物理 電磁誘導と発電 「電磁誘導の実験」	「発電の物理」 (新大工学部 菅原晃先生)
□ 化学 化学エネルギーから電気を 「燃料電池の製作」	「次世代電池の話」 (新大工学部 佐藤峰夫先生)
□ 生物 生物とエネルギー 「ATPと筋収縮の実験」	「生物とATPについて」 (新大農学部 大山卓爾先生)
□ 地学 太陽とエネルギー 「太陽プロミネンスの観測など」	「宇宙の天体とその観測」 (新大理学部 西亮一先生)
□ 数学 数学の基礎	「数と図形の不思議な旅」 (新大理学部 吉原久夫先生)

図1 「SS」の講座内容

「SS」臨地研修(研究機関との連携)

- 平成15年度 筑波研修 1学年全員 1泊2日
筑波研究学園都市の18研究機関
- 平成16年度 東京研修 40名 1泊2日
日本未来館, 国立科学博物館
- 平成17年度 種子島・屋久島研修
24名 4泊5日
種子島宇宙センター
屋久島環境文化研修センター
ヤクスギランド

図2 「SS」臨地研修

た2単位科目で、「課題研究」と大学・研究機関で実験・実習を行う「臨地研修」からなり、特に「課題研究」は本校SSHの中核をなすものである。平成17年度の課題研究のテーマは図3のとおりである。昨年度は大学での実験・実習が中心であったが、今年度は校内での実施グループを増やし、

「SS」課題研究(H17年度)

- 「いろいろな積分」
- 「ペットボトルロケットの運動解析」
- 「スターリングエンジンの効率と軸出力の測定」
- 「太陽エネルギーによる発電力の測定と熱利用」
- 「アセチルサリチル酸の合成と薬理作用」
- 「偏光板PVAフィルムにおけるホウ酸のはたらき」
- 「ギ酸エステルの性質について」
- 「ヒラタケのかさの形成について」
- 「生ゴミ堆肥化における微生物の動態」
- 「花の秘密を探る」
- 「太陽の自転周期は緯度によって異なるか」

図3 「SS」課題研究のテーマ

生徒の創意工夫の見られる課題研究をめざした。また、「臨地研修」の内容については図4のとおりである。

本稿では、これらの事業の中で直接関わった「既存の実験の充実」と「SS」課題研究での実践について紹介したい。

2. 「既存の実験の充実」での実践

平成15年度を中心にノートパソコン11台、中村理科の「イーゼセンス」各種センサ(電圧、電流、温度、超音波、光、力、圧力)11台、および、デジタルカメラ20台を購入しパソコン計測による生徒実験を新しく開発した(図5)。

(1) デジタルカメラ映像による運動の解析

物理の運動の分野での実践として、定滑車を糸をかけ、その両端に質量の異なるおもりを吊し

既存の実験の充実

- 平成15年度 理科総合A, 物理 B
 - 「デジタルカメラ映像による投げ上げの解析」
 - 「音の分析と合成」
- 平成16年度 物理
 - 「超音波センサによる運動の法則の検証」
 - 「デジタルカメラ映像によるアトウッドの実験」
- 平成17年度 物理
 - 「超音波センサによるばね振り子、単振り子の運動解析と周期の測定」

図5 パソコン計測による生徒実験

「SS」臨地研修(研究機関との連携)

- 平成16年度 希望者18名 泊4日
 - 東北大学金属材料研究所 「高温超伝導バルクおよび薄膜作製と評価」
 - 東北大学電気通信研究所 「ナノヘテロ半導体の創生」
 - 東京理科大学薬学部 「医薬品の相互作用」
 - 東京理科大学基礎工学部 「ダイオキシン生成と制御」
 - 東京理科大学基礎工学部 「遺伝子の発現解析実験」
 - 「アポトーシスによる細胞死誘導の解析」
- 平成17年度 希望者9名 泊4日
 - 京都大学付属山天文台 「太陽の自転速度の測定」
 - 東京理科大学理学部 「微分・積分について」

図4 「SS」臨地研修

て運動させる、いわゆる「アトウッドの実験」を行った。運動をデジタルカメラでビデオ映像に撮り、それを運動解析ソフト「運動くん」¹⁾で解析し、おもりの位置のデータを記録し、 $v-t$ グラフの傾きから加速度を求め、運動方程式から得られる理論値と比較する実験である(図6, 図7)。理論値と実験値を比較することにより運動方程式の応用の定着と検証をねらった。

実験結果の一例を以下の表に示す。相対誤差はおおむね10%以下であった。おもりを運動させるときに、水平方向の初速度を与えてしまうと誤差が大きくなりやすい。

2つのおもりの質量	加速度(測定値)	加速度(理論値)	相対誤差
49.2g, 54.2g	0.43 m/s ²	0.47 m/s ²	8.5%
24.9g, 29.9g	0.85 m/s ²	0.89 m/s ²	4.5%



図6 「運動くん」での解析

生徒による評価は以下のとおりである。

- ・ 運動を視覚的にわかりやすく見ることができ理解しやすかった。
- ・ 中学校でも「運動くん」で実験をやったことがあるが、運動の法則を知ってやるのと知らないでやるのでは全然違うと思った。
- ・ デジタルカメラの映像をパソコンに取り込み、簡単にデータ処理することができたので、すごいと思った。
- ・ ビデオに撮るのが大変だったが実験は新鮮で楽しかった。
- ・ 実験の時間が足りなかった。前の時間に実験のやり方を説明するなどして実験時間を確保してもらいたい。
- ・ パソコンの操作が一部の人にしかできないので改善してもらいたい。
- ・ デジタルカメラの操作が難しかった。

生徒の評価やアンケート結果を踏まえ、この実験の評価および改善点は以下のようにまとめることができる。

- ・ デジタルカメラの映像をパソコンでコマ送りして運動を視覚的に調べることができるので理解しやすく、多くの生徒は興味・関心を持って取り組んでいた。
- ・ デジタルカメラの撮影時における操作やソフトの使い方の説明に時間がかかり、実験時間が短くなりやすいので、事前に説明するなり、操作のプリントを用意するなりして実験時間を確保する必要がある。

(2) 音の分析と合成

物理の音の分野でパソコンによる生徒実験を行った。2年生理系クラスに対し、3～4人の班で1台のノートパソコンを使用し、2時間連続(55分×2コマ)で実験を実施した。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。実験内容は以下のようなものである。

実験1 音の3要素の観察

楽音(リコーダー)、または人の声「ア」を発生させ、波形を記録し音の強さや高さを変える波形がどう変わるかを調べる。(図8)

「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。

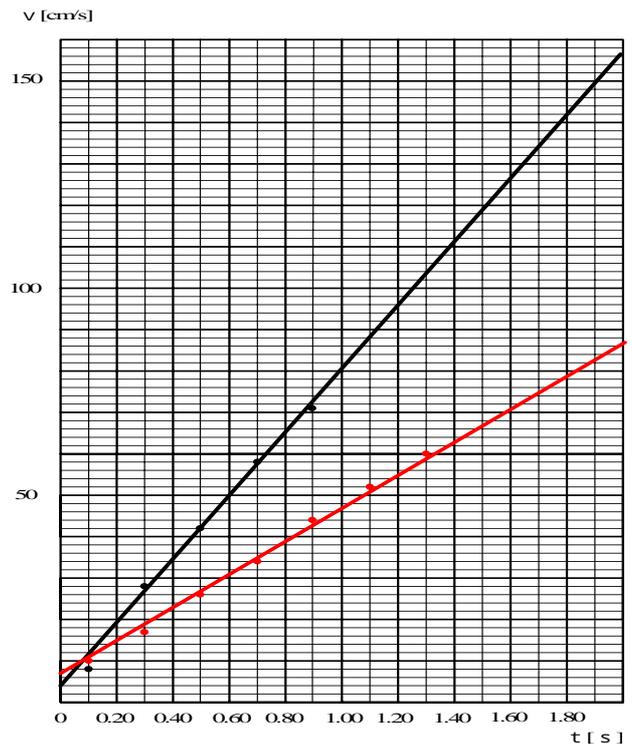


図7 アトウッドの実験のv - tグラフ

実験2 音の分解と合成

開管楽器(リコーダー)や閉管楽器(試験管)の楽音を倍音に分解し、含まれる倍音とその振幅を記録し、その特徴を調べる。また、分解した振幅と位相で倍音を重ね合わせることにより、もとの波形と音が復元できることを確かめる。(図9)

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の概略を記録し、その特徴を比較する。また、分解した振幅と位相で倍音を重ね合わせることにより、もと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 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て波形をつくり、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。

実験4 声紋による音の分析

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。

人の声の「アイウエオ」の声紋を記録し、母音

ごとの特徴を比較する。

バイオリンなどの楽曲の声紋を記録し、その特徴を調べる。

実験を実施した結果、生徒のアンケートなどから以下のことがわかった。

- ・ 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、マイクとコンピュータを用い、波形や倍音の含まれ方を調べたり、いろいろな波形を合成して音階や音楽を作ったりして、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驚きを示した。
- ・ 教科書で開管や閉管について、それぞれ整数倍音、奇数倍音が含まれることを学習しているが、実際コンピュータで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。
- ・ 今回は2時間連続の実験で余裕を持たせたが、それでも実験内容が多く、時間が足りなかったと感想を漏らす生徒が見られた。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法の説明に時間がとられるので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。

3. 「SS」課題研究での実践

平成17年度の課題研究では「ペットボトルロケットの運動解析」グループの2名を指導した。

「SS」は2単位科目であり、本校は55分授業を行っており、前期は2週で3時間、後期は2週で4時間の時間配当がある。4月にオリエンテーションを実施し、5月～6月上旬まで超音波センサーで運動の第2法則を検証する実験とデジタルカメラのビデオ映像を用いた動摩擦力を受けた木片の運動を分析する実験を実施した。ビデオ映像を用いた実験では運動解析ソフト「運動くん」を使



図8 リコーダーの音の分析

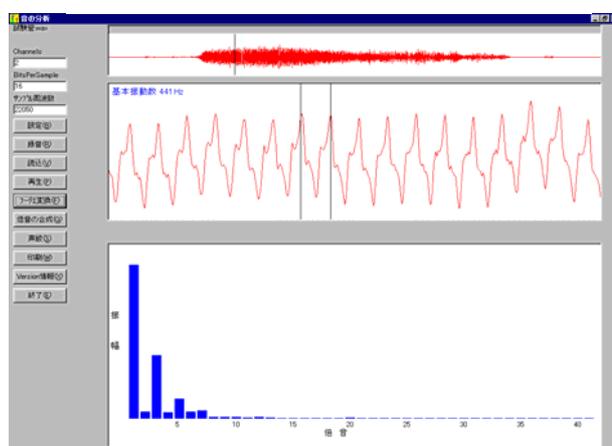


図9 試験管（閉管）の音の波形と倍音構造



図10 ペットボトルロケットの発射実験

い分析を行った。位置と時間の関係のデータだけをこのソフトで求め、このデータをCSVファイルに変換し、表計算ソフト「エクセル」で読み込み、 $v-t$ グラフを作成した。また、線形近似を行い、グラフの傾きから加速度を求めさせた。これらの一連の作業でロケットの運動解析における基本的



図 11 「MOA - 2 D」での解析



図 12 水の噴射映像(初期圧 2.0atm ,600ml)

スキルが習得されるようにした。

6月中旬に2時間かけてペットボトルロケットを製作し、その後7月下旬にかけて学校のテニスコートで打ち上げ実験を行い、運動解析ソフト「MOA - 2 D」²⁾で解析した(図 11)。噴射口からの空気漏れや水の逆流による空気入れの圧力計の故障などが起こり、実験は必ずしも順調にはいかなかった。また、風によりロケットが流されるなどして気象条件に左右され、あらためて屋外での実験の難しさを知った。

ロケットを鉛直に打ち上げ、次の5点を調べた。

初期圧力・初期水量と最高点の高さの関係

ロケットの速度および高さの時間的変化

高速度カメラによるロケットの水噴射中の詳細な運動

高速度ビデオ撮影による固定したロケットの噴射時の水量変化

ロケットの運動のシミュレーション

質量保存により、 から水の噴射速度 u が求ま

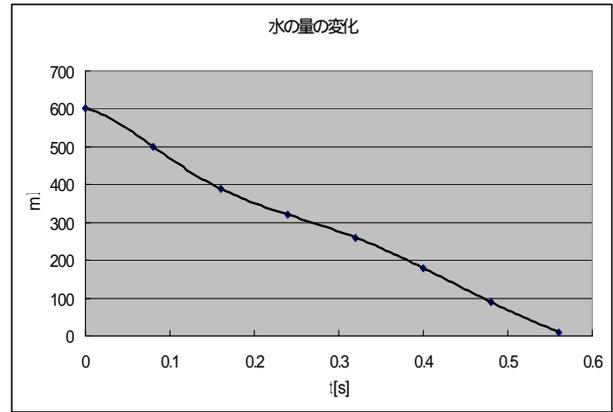


図 13 水量の時間的変化

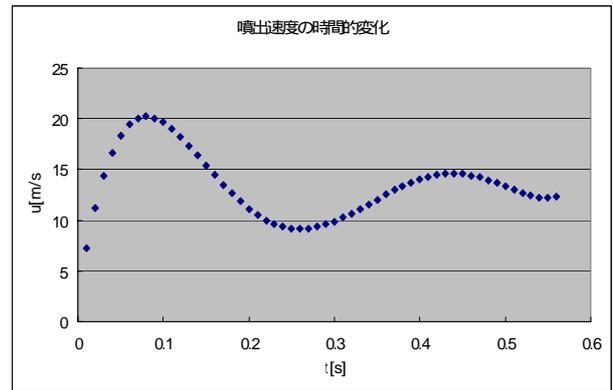


図 14 噴出速度の時間的変化

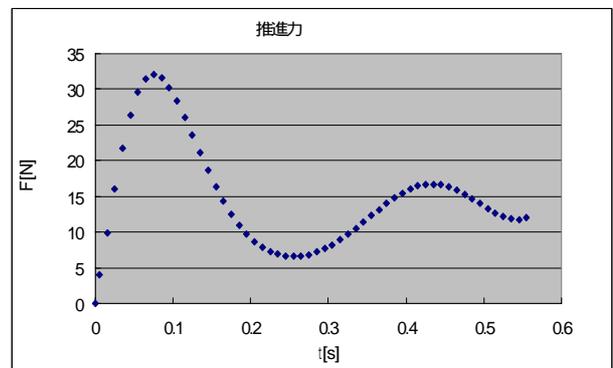


図 15 推進力の時間的変化

り、それを利用してロケットの推進力 $S u^2$ を求めることができる。ここで、 ρ は水の密度、 S は噴射口の面積である。 m をロケットの全質量として運動方程式 $m a = S u^2 - m g$ を表計算ソフト「エクセル」で数値計算してグラフ化した。このあたり内容は高校生にはやや高度なことであるが、1秒間噴出する水についての運動方程式を立て、短い時間では加速度、速度はほぼ一定と見なせるということで数値計算の方法(オイラー法)を理解させた。初期圧力 2.0atm、初期水

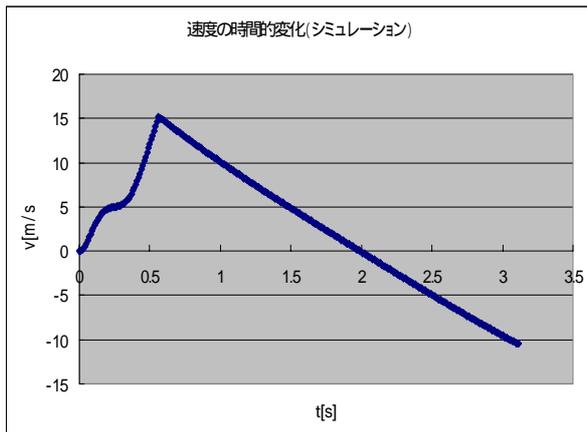


図 16 速度の時間的变化
(シミュレーション)

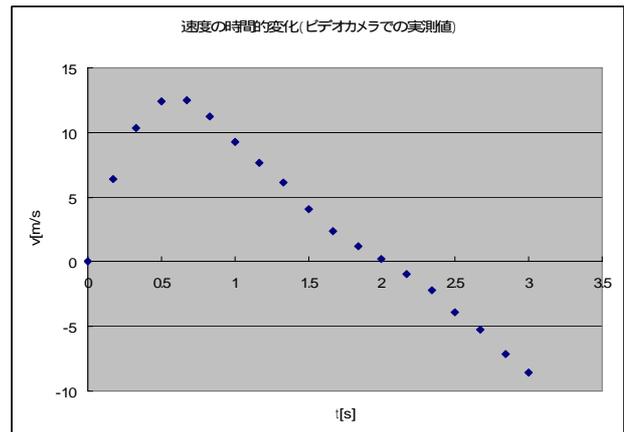


図 17 速度の時間的变化
(ビデオカメラでの実測値)

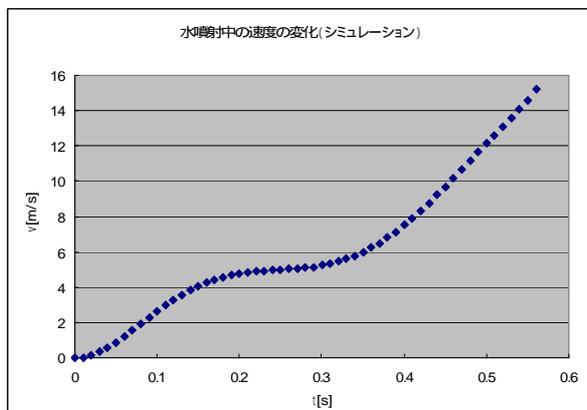


図 18 水噴射中の速度の時間的变化
(シミュレーション)

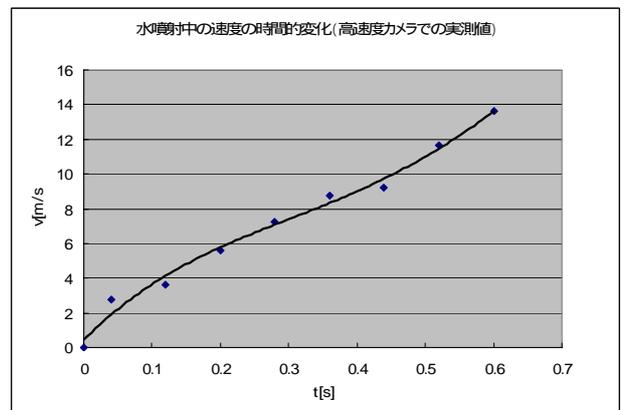


図 19 水噴射中の速度の時間的变化
(高速度カメラでの実測値)

量 600ml の場合の水量，噴出速度，および推進力の変化が図 13～図 15 である。シミュレーションの結果(図 16, 図 18)は，ビデオ映像や高速度カメラ映像から求めた実測値(図 17, 図 19)をほぼ再現していることがわかる。

この実験において2つの「発見」があった。まず 図 14 から水の噴出速度 u は 20m/s で最大になりそれから減少し，再び増加するという事実である。これは噴射速度が大きくなると噴射口(一種の管)を流れる水のレイノルズ数が大きくなり，流れが層流から乱流に遷移し，水が管から受ける抵抗力が増大するためであると考えられる³⁾。もう一つは，噴射速度 u は圧力が最も大きい最初に最大になると予想していたが，予想に反して0であることである。これは，発射時にペットボトルは結合器に固定されており，発射時に結合器から徐々に時間をかけて離れていくからであると考えられる。

4. おわりに

S S H指定の3カ年間に購入した備品等により生徒実験の幅が広がり，また，通年での課題研究の実施や高大連携など新しい理科教育の試みが行われ，理科教育の活性化が図られたといえる。しかし，課題も残されている。例えば，課題研究において，生徒が十分時間をかけて考えをめぐらせ生徒自身が発見するという，「科学する心」の育成が課題研究の目的であるが，それを実現する効果的・組織的な指導法の確立などである。

参考文献

- 1) <http://rika.ed.niigata-u.ac.jp/~factory/>
- 2) <http://rika.ed.niigata-u.ac.jp/~moa-2d/>
- 3) 神部勉，P.G.ドレイジン，流体力学 安定性と乱流，東京大学出版会，p.8，1998