

高等学校物理の課外活動としての探究活動実践例 ～生徒による市販DVカメラを用いた重力加速度測定の試み～

呉屋博 山下雅文

本報告は、理科の課外活動としての生徒の探究活動実践例の報告である。この取り組みは、高等学校1年生の希望者を対象に授業外の理科の自由研究として2001年度に実施したものである。指導に際して、生徒たちの自由な発想を育み、可能な限りの実験のための支援を行い、生徒たちの科学的興味関心を啓発することを目指して取り組んだ。参加生徒は、放課後を主な活動時間とし、都合のつくときに必要と思うだけの時間をかけ、工夫をして、探究活動を行った。生徒たちの取り組みの成果は、2001年11月3日に、広島大学理学部・大学院理学研究科公開「高校生科学シンポジウム」において、生徒たち自ら研究発表を行い、報告したものである。本報告は、この取り組みが教科教育活動の多角的な取り組みを考えるための一助となることを期待して、実践例として提示するものである。

1. 取り組みの目的と概要

(1) 目的

生徒の学習意欲を高めたり学習能力を育てる教科教育の活動は、基本的には授業において実現されるべきであり、当校の理科における生徒の興味関心を高めるための取り組みの報告も行ってきた¹⁾。しかしながら、実際には、授業時間内の取り組みだけでは不十分な面も多く、多面的な取り組みを通して、生徒の学習活動を支援する必要がある。

この取り組みは、授業が抱える諸々の制約になるべくとらわれない自由研究の場を、希望する生徒に提供することにより、参加生徒の自然科学に対する興味関心を高め、科学的探究能力を育てることを当初の目的とし、ひいては自由研究に取り組んだ生徒がきっかけとなり、参加生徒の属するクラスや学年集団の科学的興味関心を高めることにつながることを期待して実施した。

(2) 取り組みの概要

この取り組みは、あくまでも授業を核とした自由研究の取り組みであり、取り組みにあたってはにあたって、総合理科の授業を通して希望者を募り、テーマの調査を行った。その結果、授業で行った重力加速度の測定を掘り下げて実験したいとの申し出を受け、本報告例の自由研究に取り組むことになった。したがって、この取り組みに参加した生徒も総合理科の授業をふまえたテーマ設定を自然に行ったようである。

①総合理科の授業における単元構成と本報告の取り組み

(a) 総合理科の単元構成

当校における総合理科の取り組みについては、すでに報告済みであるが²⁾、この報告に関わる生徒の理解の一助として総合理科の単元構成を示す。この取り組みに参加した生徒は、総合理科Bの中の第1章運動とエネルギー

ー：運動の表し方、力と運動をちょうど履修している途中の段階であった。

第1編 科学の成り立ち

第2編 科学の方法と理論の実際

<A> 物質変化と生命活動

第1章 物質の成り立ち

：物質のすがた、物質をつくるもの、物質の重さと個数

第2章 化学反応とエネルギー

：化学反応式、化学反応とエネルギー

第3章 生命活動とエネルギー

：生物体内の化学反応と酵素、呼吸における代謝とエネルギー代謝、同化における代謝とエネルギー代謝

 運動とエネルギー

第1章 運動とエネルギー

：運動の表し方、力と運動、力学的エネルギー保存の法則、エネルギーの利用

第2章 地球とエネルギー

：地震とその災害、天文学の起こり、大気圏の科学

第3編 人間と科学—科学の再考—

第1章 科学の本性

第2章 科学、技術、社会

(b) 本報告の取り組みのきっかけ

本報告の取り組みのきっかけは 運動とエネルギー 第1章運動とエネルギー：運動の表し方 (15時間)、力と運動 (12時間) における重力加速度の測定であった。実施時数としては「運動の表し方」と「力と運動」合わせて約25時間程度の中で、重力加速度の測定と考察に費やした授業時数は3時間程度である。それ以上の時間を費やすことは難しく、従って、授業の実験としては、机の高さ程度の落差で2～3個の質量の異なるおもりを落下させるときに記録タイマーを利用して、落下するおも

りに取り付けた紙テープ上の打点から重力加速度の大きさを求める実験をおこなうのが精一杯である。装置と紙テープの摩擦などの原因により、得られる重力加速度の値は9[m/s²]台であればよい方で、授業のまとめとしては、摩擦などの影響を極力なくすと9.8[m/s²]に限りなく近づくことを説明するのがやっとという状態である。このような授業の取り組みに不満を感じる生徒が例年耐えないことが一方では有り難く思うと同時に、他方ではこれらの生徒に何とか応えられないものかとの懸案が今

回の取り組みにつながった。

生徒の主体的な学習意欲を大切に、科学的興味関心を高め、生徒の自由な発想を育み、探究心を触発することを中心に、可能な限り生徒の探究活動の支援を行った。
(3) 生徒の自由研究における探究活動の成果

ここでは、今回の課外活動としての自由研究の中から、広島大学理学部・大学院理学研究科高校生科学シンポジウム研究発表において、生徒たちが発表したものを例として示す。

2. 探究活動の例（高校1年生2名による自由研究）

I. 研究題目「重力加速度の測定方法について」

今回、このような発表の機会を提供して下さった広島大学理学部や関係される先生方に感謝いたします。

では、私たちのパネル発表の内容を簡単に案内させていただきます。

地球の重力加速度について、理科の授業で習ったばかりですが、緯度や高度によって異なることに興味を覚えました。重力加速度を決める要素は何か、またその値をどのようにして測定できるのか、調べてみたいと考えました。授業では落下する物体に記録タイマーの紙テープを付けて、記録タイマーの打点間隔の時間的変化から重力加速度の値を求めるというものでしたが、紙テープと記録タイマーの間の摩擦などの影響が大きく、理科年表に示されている広島の値から大きくずれた結果でした。この研究では重力加速度を決めている要素を調べることとともに、精度良く測定する方法も調べてみたいと考えました。

II. 生徒による実験・結果・考察

【1】記録タイマーを使った重力加速度測定

(1) 実験方法

- ①落下物体に記録タイマーの紙テープを付けて落下させ、記録タイマーの打点から重力加速度を読みとる。
- ②落下物体の質量を変えて、①の操作を繰り返す。

③ ①～②の結果をグラフに表す。

(2) 記録タイマーによる重力加速度測定の考察

①質量(重さ)が重いとき、加速度は9.8[m/s²]に近い値を出す。

②質量が小さいほど加速度は、小さくなる。
このことから記録タイマーと、記録テープとの間に起こる摩擦は、質量が小さいほど強くなる事がわかる。

③おもりが床に近づくほど（速度が速くなるほど）加速度は小さくなる。

こうなった原因として3つ考えられる。

(i)落下距離が長いほど空気抵抗が強くなり、そのために加速度が小さくなる場合

(ii)速度が上がれば上がるほど記録タイマーとテープの間の摩擦力が強くなる場合

(iii)落下距離が短く、床につく前後も測定データに含まれて結果が変わった場合

しかし、3の場合は気をつけて実験を行ったと思うので原因からは除外する。

(i)、(ii)の問題点についてはこの実験だけでは判断できないので、次の実験で検討を重ねることとする。

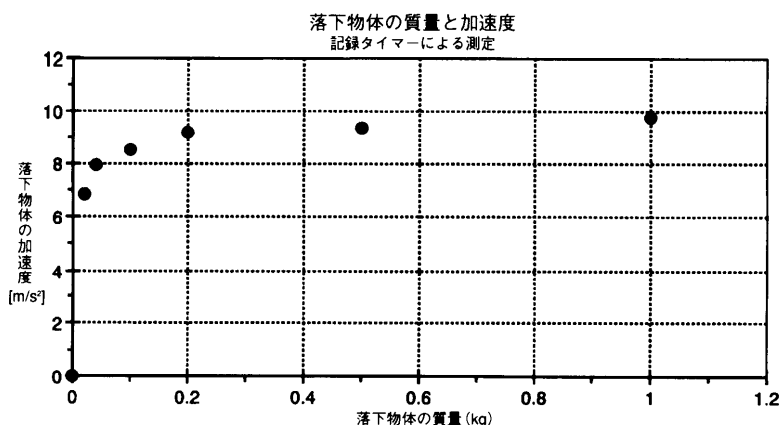
④20gを除く他の実験結果は、加速度の値がさほど変わらないので今回の実験で出た各おもりの加速度の平均は、か



実験のようす



実験装置



なり信用できると思われる。

- ⑤質量が大きいときの方が、加速度は求めているものに近い値が出る傾向は明らかであるが、500gの加速度の平均と200gの加速度の平均とを比べた場合0.02[m/s²]の増加であり、質量をいくらにすると有効数字何桁の精度で9.8[m/s²]という重力加速度の値に明らかに近づくかということは一概には言えない。

またこれ以上おもりの重さを上げると記録テープがもたなくことや、床につくのが早くて記録がとれないなどの問題がでてくるおそれがある。

(3) 記録タイマーによる実験の課題

上の考察などから記録タイマーは、テープの摩擦や、落とす距離が短いなどの短所がある。この短所をふまえてDVを使った実験を行うことにした。

(4) 感想

思っていたよりも9.8[m/s²]に近い値が出たので驚いている。

しかし、実験の結果は明らかに記録タイマー本体と紙テープの摩擦が原因と考えられる問題点を抱えていることを示している。

この機械的な接触がない方法として、落下物体をDVカメラ映像で捉える方法を試みることにした。テープの摩擦をなくすために行う野外での落下実験での風の影響がとても心配である。

【2】落下物体をDVカメラ映像で捉える方法による重力加速度の測定

(1) 実験方法

- ①長さ8 mの物差しを作り、物差しに沿って10種類の物体を3階から落下させる。
- ②その様子をDVカメラで撮影し、静止画のキャプチャにより、10分の1秒、5分の1秒ごとにコマ送りで落下距離を読みとる。
- ③それぞれの物体について加速度を計算し、時間と加速度のグラフを作る。

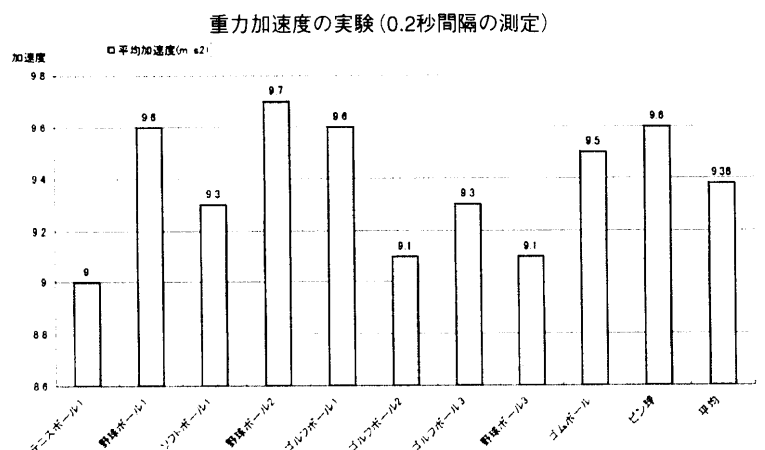
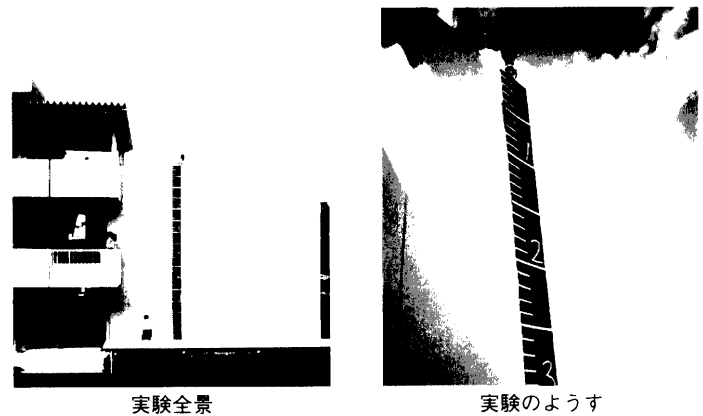
横軸：落下時間 縦軸：加速度

※この実験で期待していることは、落下物体と測定装置の間に機械的な接点がないため、記録タイマーによる測定のとときのような機械的なまさつが取り除けることである。

※この実験の問題点は、空気中での落下であるための空気による抵抗である。

(2) DVカメラによる重力加速度の測定実験についての考察

- ①各ボールの密度がソフトボールでは1.71[g/cm³]、野球ボールでは2.0[g/cm³]、ゴルフボールでは2.5[g/cm³]、ゴムボールでは2.4[g/cm³]となり、この値が大きいほうが重力加速度に近い加速度になることが分かった。このことからゴルフボールなど小さくて密度の大きいもの落下させた方が空気抵抗や風の影響を受けにくいことが分かった。
- ②テニスボールは毛におおわれているので空気抵抗を受けやすく、ゴルフボールなどの遠くにとばすことを目的としたものは空気抵抗を受けにくいことが分かった。
- ③ ①、②のことから簡単に手に入る物の中で最も重力加速度を測定するのに適した物は鉛などの金属球であると考えられる。
- ④今回測定対象とした10種類の物体のうち、7種類は落下とともに加速度が下がる傾向を示したことから、空気抵抗が物体の加速度に影響していると考えられる。DVカメラを利用した測定の結果は、落下し始めでの加速度ほど



空気抵抗の影響が少ないものであることを示している。

- ⑤測定に用いた8 mものさしの最小目盛りが10cmので、cmの単位については目測で測ることのなり、誤差が生じたが、平均をとることでこの誤差は解消されるのでこの方法がある程度有効であることが分かった。
- ⑥今回の実験の考察として最も重要な示唆は、物体の落下し始めの加速度を測定することが望ましいということである。これは空気抵抗が速さとともに大きくなるということも一因であるが、静止画による位置の読みとり精度を高めるということも大きな要素である。
- (3) DVカメラによる重力加速度の測定実験についての課題

自作の黒いものさしで落下距離を測ったのだが、ものさしの材料とした画用紙が自重で伸びた可能性があり、この確認や補正をしていなかったことが後で分かった。もし伸びていたとしたら、測定結果を小さくした可能性がある。そもそも運動する物体を1秒間に30コマで撮影しているため、ボールの静止画が不鮮明であることが、読みとり精度を上げられない原因であり、工夫の余地がある。

Ⅲ. まとめ

紙テープの実験、DVによる実験のいずれでも重力加速度 $9.8[m/s^2]$ を求める事はできなかった。摩擦や空気抵抗の影響を減らす工夫が不可欠である。測定精度は、実験データの処理方法と合わせて実験を行うことが重要であることが分かった。工夫しだいで身の回りのものを用いてある程度精度の高い重力加速度測定ができるかもしれない。今後さらに工夫してみたい。

3. 取り組みの成果

(1) 生徒の自由研究の評価

授業では得られない生徒の気づきや感想として次のようなものがあげられる。

- ①記録タイマーの実験では、落下物体の質量が大きくなるにつれて、 $9.8[m/s^2]$ に次第に近づく。この方法では、質量を十分に大きくすると、重力加速度の値が漸近線として得られるかもしれない。
- ②記録タイマーの打点を打つ部分と紙テープとの間での摩擦は、物体の質量を大きくするほど、物体に働く重力に対して比率が小さくなり、物体の加速度が重力加速度に近づくが、重力加速度の測定方法としては、摩擦の影響が大きいようである。
- ③以上のことから、生徒実験用の記録タイマーを用いた方法では、記録タイマーの読みとり精度を高めても、有効数字2桁目の精度の限界がある。
- ④DVカメラを用いた実験では、空気抵抗以外の力学的接点はないので、接触による摩擦の影響はないが、落下距離が長くなると、落下物体の速さが大きくなり空気抵抗の影響がでてくる。
- ⑤測定精度を高めて実験結果を得るには、実際には様々な要素に配慮しなければならないことがわかった。

- ⑥各実験方法による結果を比較をして、私たちが身の回りのものを利用してできる重力加速度の測定方法等について考察したい。

生徒のこれらの反応は、基本事項を最小限の時間で実践しなければならない授業の中では得難いものである。いろいろな試みをする中で、学習意欲をさらにみずからかき立てていくようになれば、この取り組みは大きな成果があったと言える。

今回の取り組みに参加した生徒は、実験条件をさらに変えて、より高い精度で測定する工夫を試みていることはおおいに評価したい。

4. まとめ

このような取り組みが、生徒たちの科学的興味関心を啓発し、ひいては、教科教育活動の多角的な取り組みを考えるための一助となることを期待して始めた実践であるが、期待以上の成果が得られたと思われる。

生徒と教師の都合のつく時間に、気ままに行い、可能な限りの探究活動を行うことが、全ての生徒に対して行えればなおよいのであろうが、少なくとも、意欲的な生徒が核となって生徒どうしが啓発し合うことになれば、この課外の取り組みは極めて有意義なものとなる。

- 参考文献 ① 武村重和他：「生徒の知的好奇心や探究心を高める総合理科の実践」～総合理科の課題研究における自己評価と相互評価の試み～」p.61-70、1998、広島大学附属福山中・高等学校中等教育研究紀要第38巻
- ② 長澤武他：「本校における新教育課程「総合理科」の構想」、p.53-60、1994、広島大学附属福山中・高等学校中等教育研究紀要第34巻