

物理実験による実力テスト —科学的思考力の評価に向けて—

山下 雅文・小茂田 聖士

高等学校1年生（選択者）を対象にした、ふりこを題材にした物理実験を行う実力テストを行った。単振動などの本題材に関する内容はまだ未習であるが、ふりこにかかわるガリレオの話を取り入れることで、生徒の興味・関心を高めるとともに実験のテーマを発見させることができた。しかし、周期 T とふりこの長さ l の関係では、得られたグラフより両者が比例すると結論づける生徒が多く、 T^2 が l に比例するという正しい結論に到達した生徒は全体の24%であった。このテストにより、実験結果をもとにどのように整理し考察するかという科学的考察力に課題があることが明らかになった。実施後の生徒アンケート調査から、この題材およびレポート作成が時間的な制限もあり難しいものと感じたが、今回の実力テストを受けることでさらに科学に対する興味・関心が高まったことが分かった。

1. はじめに

当校で11月に実施される高校1年生対象の「校内実力テスト」では、ペーパーテストに加えて、各自の興味・関心に沿った分野の実技試験を実施してきた。¹⁾ 毎年、理科では実験を行い、生徒の態度、実験技能、レポートをもとに評価をしている。過去3年間に実施されたテーマを表1に示す。

表1 実験を取り入れた実力テスト

2003年度	【化学分野】4種類（希硫酸、塩化バリウム、硝酸銀、炭酸ナトリウム）の無色の水溶液の性質を調べ、同定
2004年度	【生物分野】タマネギの鱗片葉の細胞を観察し、細胞の大きさと核の大きさが成長によりどのように変化するかを考察
2005年度	【生物分野】アラカシの枝についている葉すべてを集め、葉身の長さ、葉身の幅、葉柄の長さを測定し度数分布をとり、環境変異を考察

このように実験を通して、生徒の実験技能・表現および科学的思考力について評価を行い、日々の授業実践へフィードバックを行っている。

当校は平成15年～17年度の3年間「中学校・高等学校を通して科学的思考力の育成を図る教育課程の研究開発」を研究開発課題とする文部科学省研究開発学校の指定を受けて研究開発を行ってきた。また、3年間の研究延長が認められ平成18年度～20年度は「中等教育における科学を支える「リテラシー」の育成を核とする教育課程の開発」を研究開発課題として科学教育プログラムの研究開発を行っており、この中で高等学校1年生では全員が履修する必修教科として「サイエンスIB」を新

設し、基礎となる科学的概念や考え方、および科学的方法を学ぶ新教科の実践を行っている。

2. 今年度のねらいと題材設定

今年度は、身近な物理現象を題材に、生徒の科学的思考力のうち特に、実験計画、実験結果の処理、考察力を評価することをねらいとした。具体的には、実験計画では①物理量の適切な選択、②条件制御、③誤差をなくす工夫、結果の処理では①適切なグラフでの表現、②仮説を検証するための処理、考察では得られた結果から関係を推定し、それを検証する力をはかれる題材を検討した。

高等学校1年のサイエンスIBでは、この段階までに物体の運動の表し方と運動の法則を学んでおり、実験における条件制御については $ma = F$ の運動の法則を調べる実験で扱っている。また、実験誤差や有効数字についても授業の中で扱っている。

これらのねらいを評価するための題材としては、測定結果から簡単に法則にたどりつくものではなく、考察段階でこれまでの学習成果を発揮できるものが必要である。つまり生徒にとって現象は既知だがその法則については未習であるものが望ましい。また、一人ずつの実験にするため、人為的誤差が少ない測定がよい。時間も80分と限られており、その時間内に実験と考察、レポート作成を行うという制限もある。これらのことを考慮して、おもりを糸でぶら下げた単ふりこの実験を題材として選択した。ふりこ運動は、小学校理科でも扱う現象で、等時性などなじみのある現象である。また、簡単な装置で実験可能であり、周期の測定には誤差が少ないという利点がある。また、周期 T とふりこの長さ l の関係は次の通りであり、 T^2 と l が比例している。

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} \quad (\text{ただし } g \text{ は重力加速度})$$

ふりこの実験では、測定する物理量として「ふりこの長さ」, 「振幅」, 「周期」, 「おもりの質量」が考えられる。しかし、時間内に実験を行って結果をまとめるには、これらすべての関係を扱うことはできない。そこで、ふりこに関するある生徒（以下、マサ君）の研究の一部を提示する形で、実験の目的や測定する物理量および仮説をそれぞれ読み取り判断して、スムーズな実験計画ができるように工夫した。

資料1の配付資料中で、以下の設問をもうけて、これに沿ったレポートを作成させた。

- I 実験計画（条件制御）
- II 実験結果の整理
- III 結果の考察（ T と l の関係は）
- IV 誤差を小さくする工夫

またこの資料中に、ガリレオのふりこに関する話を紹介することで、題材についての興味・関心を高めることも期待した。特に、実験方法の注意点として以下の3点を、マサ君のレポートに取り入れることで、実験方法・注意点をまとめさせる必要がなくなり、目的を持った実験と時間の短縮につなげることができた。

表 実験上の注意

- ・糸の長さとふりこの長さの違い
- ・周期は10往復の時間を測定し、10で割って求める。
- ・時間測定の基準は最下点

3. 実施状況

実施状況は以下の通りである。

日時 11月14日 11:00~12:20 (80分)

選択者 33名 (男子29名, 女子4名)

実施方法

- ・11時に物理教室集合
- ・本時の課題とレポート作成上の注意説明
- ・くじにより机（座席）を指定
物理教室と中学理科教室へ
それぞれ分かれる。
- ・一人ずつ実験開始
- ・12:20 レポート提出
- ・その後、アンケート

共通の準備物

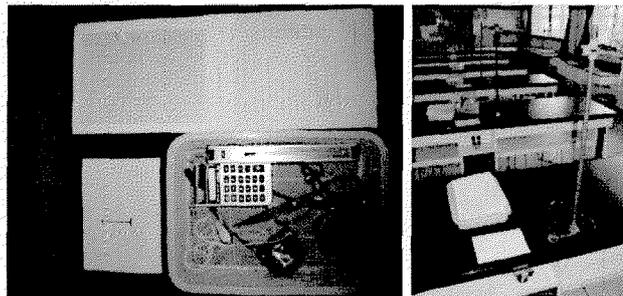
各机の上に準備

糸（2m程度）、おもり（釣り用おもり15号）
電卓、はさみ、ストップウォッチ、ばねはかり
メジャー、力学スタンド、グラフ用紙
アンケート用紙

教卓に準備

糸、おもり（10号、20号、30号）、セロテープ、
1mものさし、30cmものさし

生徒の要望で準備 分度器



a 机上の準備物

b 教室の準備風景

図1 実験準備の様子

実施中には、各教室2名ずつの教員がつき、それぞれの生徒の行動観察により資料2の評価を行った。また、生徒が作成したレポートは、以下の5点の観点に基づき、それぞれ5段階評価した。

表 レポートの評価観点

- ア 実験計画が適切か（主に設問I）
- イ レポートは読みやすいか（全般）
- ウ 実験結果を表やグラフで適切に示しているか
（主に設問II）
- エ 結果の考察は適切か（主に設問III）
- オ 誤差を少なくする配慮ができたか（主に設問IV）

4. 実施結果

生徒のレポートをもとに、評価観点のア、ウ、エ、オに関して、それぞれの評定尺度で集計した結果を示す。

ア 実験計画（条件制御）

- 5 実験1に加えて2つの計画が、例を参考に記入できている。(19人)
- 4 5に準じるが、質量を重さと表現(4人)
- 3 1つのみの計画(4人)
- 2 実験でのパラメーターが3つある(5人)
- 1 理解できていない(1人)

このように、70%の生徒が正確に条件制御ができています。ここで2に分類された生徒の解答は「ふりこの長さは一定にして質量を変え、振幅と周期の関係を調べる」など3つの量を変化させて関係を調べようとしており、実際に以下のような多くの種類の実験を行っていた。

- ふりこの長さ30cm
 → おもり10号振れ幅10, 20, 30cm
 おもり25号振れ幅10, 20, 30cm
 おもり30号振れ幅10, 20, 30cm
- ふりこの長さ35cm
 → 同様な実験
 ※分析は、これらの実験結果から抽出して正しく考察

ウ 実験結果を表やグラフで適切に示しているか

- 5 T^2 と l のグラフを描いている (5名)
- 4 表とグラフでまとめている (17名)
- 3 表にはまとめられている (8名)
- 2 結果を表にもしていない。グラフがあるが縦軸・横軸表示が不適切 (3名)
- 1 計画した実験の結果がかかれていない (0名)

測定結果を67%の生徒がグラフで示しており、軸どりも正しく行うことができています。

エ 結果の考察は適切か

- 5 T^2 と l のグラフを描き、適切に考察 (5名)
- 4 T^2 と l が比例すると結論 (3名)
- 3 グラフから分かる定性的特徴を文章で表現 (6名)
- 2 T と l のグラフに直線を引き、比例と判断 (18名)
- 1 記入なし (1名)

設問Ⅲの選択肢からは以下の結論となっていた。

- ① T と l が比例 (18名) ② T と l が反比例 (0名)
 ③ T^2 と l が比例 (8名) ④ T と l^2 が比例 (1名)
 その他 (6名) 文章表現
 ・周期の増加量が、長さの増加量に比例
 ・ふりこの長さが長くなるにつれ、周期も長くなる

国立教育政策研究所が実施した中学校教育課程実施状況調査では、実験技能として結果のグラフ化が課題となっており、過去同一問題での低下傾向が見られる。具体的には「マス目だけがあるグラフ用紙に測定結果をもとにグラフを作成する場面で軸どりがきちんとできない」というものである。^{2) 3)} 当校の物理分野の授業では、普段からマス目だけのグラフ用紙を利用して実験結果をグラフ化させているので、その点のグラフ作成技能の習得はできている。しかし、「グラフ＝直線で結ぶ」という習慣がある模様で、今回55%の生徒が比例関係と結論づけた。

オ 誤差を少なくする配慮ができたか

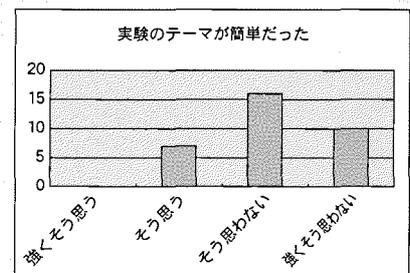
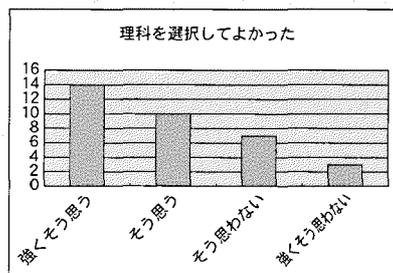
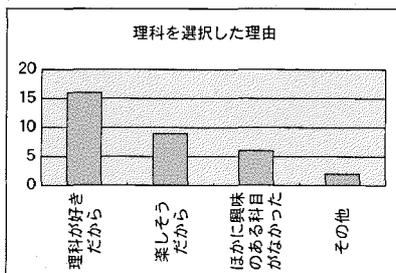
- 5 ふりこが長いと、測定時間が長くなり誤差が小さくなる (7名)
- 4 「長い方がよい」と答え、上記以外の何らかの理由を書く (2名)
- 3 「長い方がよい」と答えるが理由がない (3名)
- 2 何らかの記入あり (9名)
- 1 記入できていない (12名)

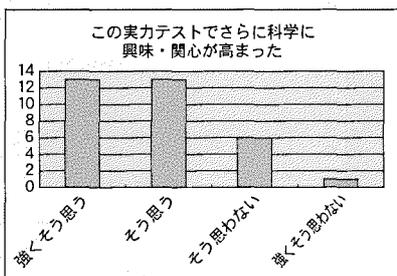
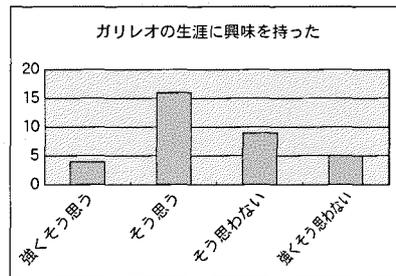
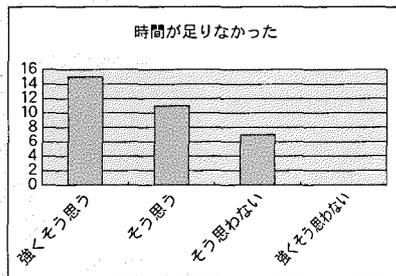
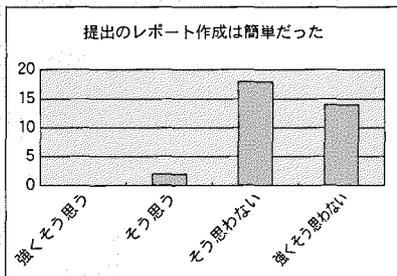
後の生徒の感想でも分かるが、今回のテストでは内容に対して時間が短く、ここまで到達できていない生徒も多い。しかし、課題を持って測定することで、21%の生徒は、誤差を少なくする工夫について体験を通して理解している。

5. 生徒の感想

実施後のアンケート(資料)の集計結果のグラフと、設問Ⅰ-8とⅡのクロス集計表を以下に示す。

アンケート集計結果





科学に対する興味関心が高まった

	強く思う	そう思う	そう思わない	強く思わない
理科が好きだから	7	8	1	0
楽しそうだから	5	3	1	0
ほかに興味のある科目がなかった	1	2	3	0
その他	0	0	1	1

このアンケート結果より、今回の題材は、「テーマが簡単ではなく」「レポート作成は簡単ではなく」「時間が足りない」状況であったことがわかる。しかし、実施後も73%の生徒は理科を選択してよかったと思っており、78%の生徒はこの実力テストでさらに科学への興味・関心が高まったと感じている。特に設問Ⅰ-8とⅡのクロス集計表から、興味を持って受験した生徒たちにとっては興味・関心の高まりが顕著に伺える。

試行錯誤をしながらの実験で、時間的な課題が残ったが、配布プリントの工夫などで目的をはっきりとさせることができ、実験に集中して達成感のもてるものになったと考える。

6. まとめ

ふりこを題材に各自で条件を制御して実験計画を立て、実施してまとめるテストを行った。条件制御については、配付資料を工夫することで多くの生徒が目的を明確にして適切に条件制御を判断することができた。しかし、実際の実験では、どのくらいの長さで行えばよいかかわらず、試行錯誤を繰り返しながらなかなか実験が進まない生徒もいた。また、糸が短く極端に短い周期になったり、振れ角が大きくなったものもいた。しかし、実験結果としては、それぞれ考察に値するものを得ることができていた。

題材の設定に当たっては、理論から法則を導き、結果の予測をした上での検証実験も可能であるが、実力テストという性格から、なるべくクックブック式にならないようにして、生徒が試行錯誤をする中で自ら発見ができるように考えた。しかし、実験の注意事項や時間内に

終了させるための配慮は必要で、その点は配布資料に、「ある生徒の研究の一部を紹介する」という設定で提示した。また、その研究の動機付けとして、ガリレオの生涯とふりこに関するエピソードを紹介することで、生徒の興味・関心が高まった。

このような探究活動を通じて、自然現象に興味関心を持ち、その中から疑問を持ち、現象の把握(物理量の抽出)→仮説→実験計画(条件統制)→実験→結果の整理→考察→結論と実験を中心に実証的、論理的に考察する科学的思考について生徒が考え、習得していくことをめざした。

グラフ作成などの実験技能については、基本的な技能の習得は見られるが、「誤差をいかに少なくするか」や、「結果をいかに分析していくか」などの点で課題が見えてきた。これらの結果を今後の「サイエンスIB」のカリキュラム開発や、理科授業に活かしていきたい。

参考文献

- 過去の報告としては
丸本浩, 「化学分野における実験による実力テストの試み(Ⅰ)」, 広島大学附属福山中・高等学校中等教育研究紀要, 第38巻pp149-153, 1998
- 平成15年度小・中学校教育課程実施状況調査 教科別分析と改善点,
http://www.nier.go.jp/kaihatsu/katei_h15/H15/03001040030007004.pdf
- 清原洋一, 「中教審「審議経過報告」にみる中学校理科第1分野の方向性」, 理科の教育, 7月号pp38-39, 2006, 東洋館出版社

2006.11.14
2006.11.14
2006年度4年理科実力テスト

高校1年生のマサクくんは、「科学の父」と呼ばれ「地動説」で有名なガリレオ・ガ
リレイについて調べました。

マサ君のレポートより (一部抜粋)

ガリレオは1564年ピサで生まれた。幼いときより教育熱心な父親より音楽や数学を
学び、力をつけていった。10才の時フイレンツェへ移ったが、父親のすすめもあり医
学を志す。ピサ大学の医学部に進学したが、当時の大学に失望したガリレオは、1582
年ごろからトスカナ宮廷付きの数学者オステイリオ・リッチから、ユークリッドやアル
キメデスについて学ぶようになった。結局、家庭の争喧も重なり医学の道を捨て、1585
年に大学を退学し、数学、物理学、哲学の研究者としての道を歩むようになる。ガリ
レオは、現象を実験で確認し、その結果を数学的に分析するといふ画期的手法を導入
したことで高く評価されている。そんな彼の学生時代のエピソードとしてふりこの等
時性の発見がある。

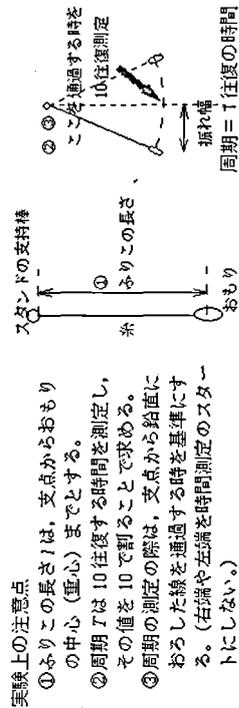
ふりこの等時性の発見

通説によると1583年のある日、ピサの料簡で有名な美しい建物の隣にある壮麗な寺
院に魅かっている大きな青銅のランブが振れるのをじっと見ていて、往復する時間(周
期)が振れ幅によらないことに気づいた。このとき、自分の肺拍を数えることによっ
て、周期の一定性を確認したといわれている。音楽的才能にも恵まれた彼にとどまっ
ず、正しいランブで周期を測定することは可能であったらう。その後家に帰って同じ長
さ、同じおもりをつけた2つのふりこを準備し、振れ幅を変えて振らせ周期が同じと
なることを実験で確認したという。

また、周期とふりこの長さとの関係式も近似的ではあるにせよ、理論的に導き、ふ
りこの周期 T は、ふりこの長さ l だけにより決まり、おもりの質量 m や、振れ幅には
よらないことを求めていた。【以下略】

(参考文献：世界の名著28 ガリレオ 中公パックス など)

このようにガリレオを調べる中で、マサくんはこのエピソードに興味を持ち、ガリ
レオが理論的に導いたといわれるふりこの性質を確認する実験を行いました。実験に
際して、マサくんは以下の点を実験上の注意点として挙げていました。



設問 各自で実験を行い、次のI~IVがわかるように、提出用紙に【実験計画】【実験結果】【考察】を記入しなさい。(提出用紙には【実験計画】【実験結果】だけが記入ポートを完成させなさい。)

なお、実験器具は各机上にあるスタンドとストップウォッチ、メジャー、おもり、糸のほか必要があれば、教卓上の器具を利用しなさい。

I このテストでは下線で示したふりこの性質について各自で実験を行い、その結果と考察をまとめてもらいます。

実験1 (ふりこの等時性を確認する実験) の書き方にならって、下線の関係を考察するために必要な実験(実験1以外のもの)を、実験2以降として提出用紙の【実験計画】に、記入しなさい。

実験1 ふりこの長さとおもりの質量を一定にした状態で、振れ幅と周期の関係を調べ

る。
II Iで列挙した実験のうち、実験2以降(実験1以外の実験)を、マサくんの実験上の注意点をふまえて、各自で実験し、結果を提出用紙の【実験結果】にまとめなさい。その際、必要があれば表やグラフを描き、その性質がよくわかるように工夫しなさい。

III ふりこの周期 T とふりこの長さ l の間には次のどの関係があると考えられるか。実験結果から判断できるものを選び、提出用紙の【考察】として明記しなさい。また、その際、その関係がわかるグラフを工夫して描きなさい。

- ① ふりこの周期 T とふりこの長さ l が比例
- ② ふりこの周期 T とふりこの長さ l が反比例
- ③ (ふりこの周期 T)² と (ふりこの長さ l) が比例
- ④ (ふりこの周期 T) と (ふりこの長さ l)² が比例

IV 周期の測定誤差をなるべくなくすためには、ふりこの長さはどのようにするのがよいと考えられますか。【考察】の項目に、記入しなさい。

【資料2】実験中の評価用紙

番号		実験中の評価							
	5	4	3	2	1				
	特に優れている・優れている・よい・少し努力を要する・努力を要する								
	ア. 積極的に取り組んでいるか ・興味を持って実験しているか。 ・課題を探究しようとしているか。(試行錯誤があってもよい)								
	イ. 正しい実験操作を行っているか ・最下点通過を時間の基準にして10周期(それ以上でもよい)を測定し分析しているか。ふりこの長さや振幅が適切か。 ・実験結果をグラフで表そうとしているか。(グラフを同時に描いているか。)								
	ウ. 注意深く行っているか ・平面内の振動になっっているか。 ・有効数字に気をつかっているか。								
	エ. 安全上の配慮がなされているか ・近隣の実験に迷惑をかけず、騒然と実験を行っているか。 ・机上を整理し、器具を適切に使用しているか。								
	オ. 計画的に実験を行っているか ・計画を立て、結果をメモしながら行っているか。 ・80分という時間を考慮して実験をしているか。								

【資料3】実験後の生徒アンケート用紙

2006.11.14

2006年度4年理科実力テストアンケート

4年()組()番 名前()

今回の実力テストを受けた皆さんの感想を調べて今後の実施方法の改良に役立てたいと思いますのでアンケートのご協力をお願いします。

I. 次の質問に1～4の尺度で当てはまる数字を答えてください。

1. 次の質問に1～4の尺度で当てはまる数字を答えてください。	1	2	3	4
強く思う	強く思う	そう思う	そう思わない	強く思わない

1. 理科を選択したことについてよかったと思う。
2. カリレオの生涯(科学者の人生)に興味を持った。
3. 実験テーマが簡単だった。
4. 提出のレポート作成は簡単だった。
5. グラフの作成が難しかった。
6. 時間が足りなかった。
7. 時間が余った。
8. この実力テストでさらに科学に興味・関心が高まった。

II. 今回理科を選択した理由は次のどれですか。

- ① 理科が好きだから
- ② 楽しそうだから
- ③ ほかに興味のある科目がなかったから
- ④ その他 ()

III. その他、感想などありましたら記入してください。

ありがとうございました。(本日中に物理準備へ提出)