

6. SS 物理

(1) 『スローモーションを利用した単振り子による重力加速度の測定』

ア. 仮説

有効数字4桁で重力加速度を測定し、前橋市の重力加速度 $g = 9.798[m/s^2]$ に近い値を目指す。そのために、測定したい物理量を求める実験の方法を生徒自身でデザインすることで、イノベータに必要な資質・能力である「実験力」を培うことができる。

イ. 対象生徒

2 学年 SS 物理選択者(5 クラス、193 名)

ウ. 内容

- ①導入：地上における重力 $mg[N]$ とは「地球から受ける万有引力」と「地球の自転による遠心力」の合力であり、重力加速度の大きさ $g[m/s^2]$ は、厳密には日本国内でも異なり、[図2]のようになることを確認した。
- ②本時の評価基準、及び規準の提示：本時の実験力に係る ICE ルーブリックを提示し、評価の具体について把握させた。提示したものは以下の通り。本時の活動の最後にはプリントに記載されている ICE ルーブリックを基に自己評価を行うことも伝えた。

	I フェーズ	C フェーズ	E フェーズ
実験力	○実験を行い、結果から重力加速度を求めることができた。	○誤差が小さくなるように実験方法を考案し、精度高く重力加速度を求めることができた。	○誤差が小さくなるように実験方法を考案し、精度高く重力加速度を求めることができた。さらに、今回の実験では制御不可能な誤差について考察することができた。

- ③個人及びグループでの予想：単振り子の周期の公式 $T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}[s]$ から重力加速度を算出する式 $g = \frac{4\pi^2L}{T^2}[m/s^2]$ を確認した。(つまり、単振り子の長さ $L[m]$ と周期 $T[s]$ を測定すれば良い) その後、誤差を小さくするための実験方法を個人で予想した後に、班で考えをまとめ、実験方法を考案した。なお、金属球の半径($r = 1.27cm$)は事前に提示した。
- ④実験：各班毎に考案した実験方法で実験を行った。その際に、各自のスマートフォンで単振り子とストップウォッチをスローモーション撮影(240fps)を利用して、有効数字4桁で周期を測定した。条件を変えながら、目標となる重力加速度に近い値となるように工夫を重ねた。
- ⑤実験結果の共有分析・考察：各班の Chromebook を利用して事前に共有したスプレッドシートへ「最も誤差が“小さい結果”、“大きい結果”」を入力した。他の班の実験結果も参考にしつつ、「[1]今回の実験で誤差を小さくするために工夫した点や改善すべき点を説明せよ。」という問いに対しては、(単振り子の周期は、おもりが直線上で往復運動していると見せるような、微小な振れ角 $\theta[rad]$ において、近似式 $(\sin\theta \approx \theta)$ を利用し導出した結果であるため、微小な振れ角にするために)「糸の長さを長く取った」「振幅を小さくした」という記述が約8割あった。周期 $T[s]$ の測定に関しては「往復回数を複数回取って周期を算出した」とい記述が約6割見られた。一方で、測定開始位置に関しては、金属球が静止する「最高点」とした班が48班中45班であり、金属球が最速となる「最下点」とした班は3班に留まった。ここは最も勘違いが起こる点であるため、「単振動の変位 $x = A\sin\theta = A\sin\omega t[m]$ の $v-t$ グラフより最高点では金属球が静止し、滞在時間が長くなり、誤差が大きくなる。最下点では最速であるため滞在時間が少なく、誤差が小さくなる」ことを確認した。また、「[2]今回の実験では制御不可能な誤差として何が考えられるか？(影響が小さなものでもよい)」の問いについては、空気抵抗、糸の支点での摩擦、糸のねじれや伸び、楕円運動となってしまったこと、などが回答に上がった。極少数の生徒の回答として、金属球の熱膨張、(糸にも質量があるため)単振り子の重心を金属球の中心として良いのか、という回答もあった。
- ⑥本時の活動の自己評価：本時の活動を振り返り、プリントに「実験力」が ICE ルーブリックのどのフェーズにあるか自己評価をさせ、プリントを回収した(回収後、授業担当教諭による他者評価を実施)。

エ. 成果と課題

「実験力」に係わる ICE ルーブリックの自己評価と他者評価のクロス集計結果は右の表の通りである。それを元に各評価の一致率も示した。

また、生徒アンケートで、イノベータに必要な「実験力」を培えたかどうかを調査した結果、④十分に培うことができた(38.0%)、③ある程度培うことができた

(53.6%)、②あまり培えなかった(7.3%)、①全く培えなかった(1.1%)と、91.6%の生徒がポジティブな応答を示し、昨年度実施した「気柱共鳴の実験(応用)(93.1%)」や「浮力の反作用を活用した実験力の育成(91.5%)」と同様に、生徒達の多くは本時の授業内容が、イノベータに必要な「実験力」を培う上で効果的であると認識していることが分かった。

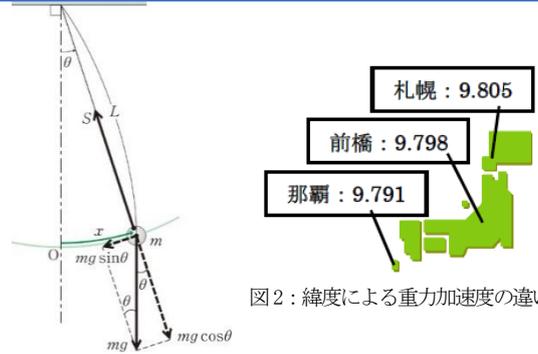


図1: 単振り子(啓林館「物理 改訂版」より)

図2: 緯度による重力加速度の違い

		他者評価			評価	件数	割合
		I	C	E			
自己評価	I	46	25	0	自己=他者	124	66.3%
	C	22	67	13	自己<他者	38	20.3%
	E	0	3	11	自己>他者	25	13.4%
		計				187	100%

表: クロス集計結果

表: 評価の一致率

学習指導案 (3年目研修示範授業, 授業改善事業, カリキュラム研究開発)

教科名	理科	科目名	SS物理	指導者名	教諭 小林研人
期日	2021/6/25(金)	指導クラス名	2年3組 (40名中の物理選択者30名)		
	第2校時	場 所	地学実験室 (管理棟3F中央)		

本時の教材観

指導内容 SS物理 実験「スローモーションを利用した単振り子による重力加速度の測定」

教材 物理 改訂版 (啓林館)

単元 第1部 様々な運動

第4章 円運動と単振動

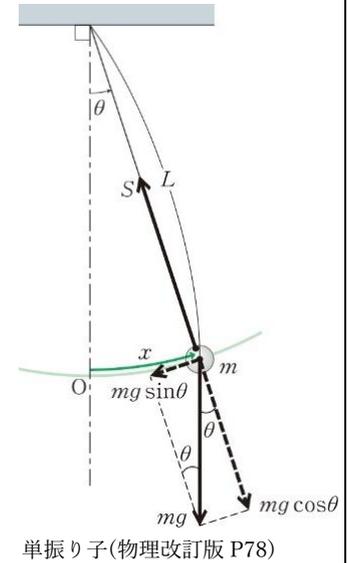
第3節 単振動 (単振り子 P77)

本時のねらい 「重力加速度を高精度で測定するために

生徒自身が実験の方法を考え、工夫する」

※右図のような「単振り子」の周期 $T[s]$ は糸の長さ $L[m]$ と重力加速度 $g[m/s^2]$ を用いて、 $T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$ [s]と表すことができる。よって糸の長さ $L[m]$ と周期 $T[s]$ を測定すれば重力加速度 $g[m/s^2]$ を算出できる。

しかし、 $T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$ [s]は、**おもりが直線上で往復運動している**と見なせるような、**微小な振れ角 $\theta[rad]$ において、近似式 $(\sin\theta \cong \theta)$ を利用し導出した結果**である。この導



出方法は既習であるが、実際には導出結果 (公式) の暗記に留まる生徒が多い。そこで、 $T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$ [s]の公式から、高精度で重力加速度 $g[m/s^2]$ を算出するための実験方法 **(糸を長く、振幅を小さくなど)**を生徒自身が考え、工夫することで、学習内容を“知っている”から“活用できる”へ変移させる「探究的な学び」を促す。

授業展開

[導入(5分)] “前橋市の重力加速度”を示すことで実験内容を身近に感じさせる。実験目標の確認。

[展開(35分)] ①本時のICEルーブリックを確認する。

②個人で誤差を小さくするための実験方法の予想を立てた後に、班で共有する。

③実験を行い、実験結果をスプレッドシートで他の班と共有する。

[まとめ(15分)] 他の班のデータも参考にして、誤差を小さくするために、工夫した点や改善点をまとめ、考察を行い、本時の活動の自己評価を行う。

指導のポイント

- 教科書P77に「本実験の説明」、P78に「近似を使った周期の導出方法」があるが、それを“活用できるか?”を問うため教科書の使用は禁止しない。
- 最初にICEルーブリックを生徒達に提示し、本時の教育活動を通してどのような力を身につけるべきか認識させる。
- 生徒所有のスマホも“スローモーションカメラ”として活用することで、日常生活と結びつける。
- 実験方法を個人で予想し、他者に説明することで「主体的・対話的で深い学び」を促す。
- 結果をまとめる表にあえて余白を作り、生徒自身に活用方法を考えさせる。
- Chromebookを活用し、実験結果をスプレッドシートで共有することで、自分の班の実験精度を他の班と比較し、高精度の実験方法を考察する。また、重力加速度を算出する際の計算ミスも確認する。

生徒の実態と指導方針

2年3組は理系クラスの中で最も選択教科の多様性に富んだクラスである。「物理・生物」選択者と「日本史・地理」選択者の混合に加えて、学年で20名のみの「科学探究(増単7限で課題研究を行う)」選択者がいるクラスであり、探究心が旺盛である。学力面では他のクラスと差はないが、好奇心を持ち、協調・協力して物事に取り組むことができる。

本時の目標

- ・周期の公式の導出過程を踏まえて、生徒自身が実験の方法を考え、工夫することで重力加速度を高精度で測定することができる。

本時の評価規準

【思考・判断・表現】

- ・公式の導出過程を踏まえた実験方法を考案して、班員に自分の意見を伝え、情報共有をすることができる。

【技能】

- ・班で考案した実験方法を基に、実験器具を活用し、重力加速度の導出に必要な値を測定することができる。

※上記2点に加え、授業プリントに記載のICEルーブリックを基に、イノベータに必要な「実験力」を段階的に評価する。

授業展開（詳細）

	学習内容	学習活動	指導上の留意点	具体的評価規準と評価方法等
導入 5分	<ul style="list-style-type: none"> 重力加速度の復習 (3分) 実験目標の確認 (2分) 	<ul style="list-style-type: none"> 重力加速度が場所によって異なることを復習する。 スマホ2台のスローモーションカメラとしての活用法を動画で確認する。 	<ul style="list-style-type: none"> “前橋市の重力加速度”を示すことで実験内容を身近に感じさせる。 有効数字4桁を意識させる。 	
展開 35分	①ICE ループリックの確認 (3分)	「実験力」の評価方法を確認する。	実験方法を自ら工夫する必要があることを強調する。	
	②実験方法の考案、共有 (8分)	<ul style="list-style-type: none"> 重力加速度の算出方法を確認し、全体で共有する。(2分) 誤差を小さくするための実験方法の個人予想 (3分) と班でのまとめ (3分) を行う。 	誤差を小さくするための実験方法は班での共有に留める。	<ul style="list-style-type: none"> 実験方法を考案し、班員と情報共有をすることができるか。 【思考・判断・表現】
	③実験と結果の共有 (24分)	<ul style="list-style-type: none"> 班毎に工夫して実験を行う。(15分) 得られたデータを整理する。(5分) 実験結果をスプレッドシートで他の班と共有し、自分の班の実験精度を他の班と比較する。(4分) 	<ul style="list-style-type: none"> 実験方法は極力誘導しない。 重力加速度を算出する際の計算ミスは自動計算にて確認する。 	<ul style="list-style-type: none"> 班で考案した実験方法を基に、実験器具を活用し、重力加速度の導出に必要な値を測定することができるか。 【技能】
まとめ 15分	<ul style="list-style-type: none"> 考察 (7分) まとめ (5分) 自己評価 (3分) 	<ul style="list-style-type: none"> 他の班のデータも参考にし、誤差を小さくするために、工夫した点や改善すべき点をまとめる。 実験で考慮すべき点をまとめる。 ICE ループリックの自己評価を行う。 	<ul style="list-style-type: none"> シンプルな実験でも考慮すべきことは多いと認識させる。 	

SS 物理実験：スマートフォンを利用した単振り子による重力加速度の測定

～はじめに～

重力加速度の大きさ $g[m/s^2]$ は、厳密には日本国内でも異なり、右図のようになる。なぜなら、地上における重力 mg とは「地球から受ける万有引力」と「地球の自転による (1) 」との合力だからである。(1) の大きさ F は質量 m と地軸までの距離 r と角速度 ω を用いて表すと $F = (2)$) となる。よって、赤道に近い (r が (3)) ほど、重力 mg が小さくなるため、 g の値が小さくなるのが分かる。



1. 実験目標：有効数字 4 桁で重力加速度を測定し、 $g = 9.798$ (@前橋) に近い値を目指す。

実験道具：スタンド、糸、金属球 (半径 $r = 1.27$ cm)、メジャー、電卓

スマホ 2 台 (ストップウォッチ・スマートフォンカメラ用)、【結果入力用：Chromebook 1 台 + 予備 1 台】

↳ ストップウォッチの画面 (1 台目) をいれてスマホ機能で撮影を行う。

2. 本時の ICE ルーブリック (実験力)

I フェーズ	C フェーズ	E フェーズ
○実験を行い、結果から重力加速度を求めることができた。	○誤差が小さくなるように実験方法を考案し、精度高く重力加速度を求めることができた。	○誤差が小さくなるように実験方法を考案し、精度高く重力加速度を求めることができた。さらに、今回の実験では制御不可能な誤差について考察することができた。

3. 重力加速度の算出方法

4. 誤差を小さくするための実験方法

【個人の予想】

【班での予想まとめ】

5. 実験：実験道具を駆使して重力加速度を求めよ。以下の表を必要に応じて活用してよい。

測定	測定開始位置に○	(a)糸の長さ l [m]	(b)振幅 (約)[cm]	(c) 往復回数	(d) 周期 T [s]	(e) 重力加速度 g [m/s ²]	(d)	(e)
1	最高点 ・最下点							
2	最高点 ・最下点							
3	最高点 ・最下点							
4	最高点 ・最下点							
5	最高点 ・最下点							
6	最高点 ・最下点							

6. 入力・共有 最も誤差が ①小さい結果、②大きい結果 を「SS 物理」の Classroom から入力する。

7. 考察

(1) 今回の実験で誤差を小さくするために、工夫した点や改善すべき点を説明せよ。

(2) 今回の実験では制御不可能な誤差として何が考えられるか? (影響が小さなものでもよい)

8. 本時の感想・この実験自体の改善案など

9. 本時の活動に対する自己評価

自己評価	自己評価の理由	教員評価
フェーズ		フェーズ

10. 本授業の「実験力」の育成に対する効果について

- ①全く培えなかった ②あまり培えなかった
③ある程度培うことができた ④十分に培うことができた

回答欄

2年 組 番 氏名

