

物理基礎における 1次元の運動から2次元の運動への発展 ～現象の解析に必要なデータは何か～

1.概要

高校物理における運動の学習は、1次元の直線運動から始まり、2次元の放物運動へと発展する。しかし、多くの生徒にとって、運動が2次元に広がることで理解が難しくなることが指摘されている。特に、鉛直方向と水平方向の運動が独立に進行するという概念は、直感に反するため誤解を生じやすい。本研究では、放物運動に関する探究的な授業を設計し、水平投射の実験・データ解析・考察を組み合わせた学習法の効果を検証した。具体的には、ICTツールを活用して運動データを可視化し、生徒が主体的に放物運動の法則を導き出す授業を実施した。本発表では、授業デザイン、実験手法、学習成果、および教育的示唆について報告する。

2.実践方法

2.1 実験の概要

本研究では、水平投射の運動を扱い、その運動の特徴を分析した。具体的には以下の実験を行った。

水平投射の実験

- 台の先端から小球を放出し、初速度と落下時間、水平到達距離を測定
- 水平方向の運動と鉛直方向の運動を独立に分析

2.2 授業方法

物理基礎では、運動と力分野のはじめの方に「力の合成・分解」の項があり、この項では直線上だけでなく、平面上での力の合成についても取り扱う。同様に、運動の例として1次元だけではないものも多く取り扱うことになる。単元の流れを1次元から2次元に発展できるように再構成し、これまで、演示実験を通じてその運動の特徴に気づかせるという手法で定性的に扱っていた放物運動について、「1次元の運動での学びを踏まえて「2次元の運動の解析」」をテーマに実験を計画・実行させる教材として扱えるように設定した。

まず、図1「考えてみよう」という2つの問い合わせから予想し（話し合いもする）、実験（図2）を行い、その後、解析という流れだった。

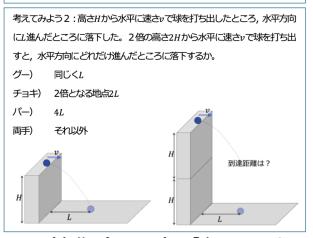
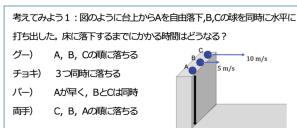


図1 (自作プリント) 「考えてみよう」

本実験はレポートを最後に課した。
その評価項目として用いたのが、以下の表である。



図2 実験の様子とその結果のグラフ

I	【実験について】
	①自身が直感的に感じたこと、実験結果の差異が記述できる（自分の学びが何か明確にわかる） →仮説、結果
	②課題をクリアできる適切な実験ができる（実験結果やグラフの記述がある）→方法、結果
	③実験結果やグラフから適切な読み取りができる→結果
	【解析について】
	①自由落下運動や等速直線運動と関係付けながら、水平投射運動について、その力と運動の関係について理解し、位置、速度、加速度など説明できる→考察
	②事前課題「考えてみよう1・2」について、今回の考察より自分の考えを再度まとめる→考察2
	③班の測定データの平均値と、①の落下時間の理論値と比較し、[平均値-理論値]/[%]を求める。→考察
	【実験について】
	①実験方法について再現性の高いものが記述できる→方法
	②予備実験のデータについて適切な読み取りができる→結果、課題
	【解析について】
	①水平方向と鉛直方向について運動について、速度や加速度など（必要なものがあればその値）を用いて文章でそれぞれ記述できる→考察
II	【実験について】
	①実験方法を考える過程に関してまとめる、または、実際に実験は行えていないものでもその方法を記述できる→方法
	【解析について】
	①今回の解析をもとに運動を任意の方向に分解し、文章または式等でその運動がまとめられる →課題について、動画の解析結果のグラフをもとに運動について文章または式でまとめられている。 →課題
III	【実験について】
	①実験方法を考える過程に関してまとめる、または、実際に実験は行えていないものでもその方法を記述できる→方法
	【解析について】
	①今回の解析をもとに運動を任意の方向に分解し、文章または式等でその運動がまとめられる →課題について、動画の解析結果のグラフをもとに運動について文章または式でまとめられている。 →課題

3.解析の方法

生徒には授業前と授業後に全30問の物理基礎標準調査を実施している¹⁾。78名を対象に、調査を行なった。1998年Hakeらにより提案された手法を用いてその評価をすると、規格化ゲインgよりその効果の有無について検証できる²⁾。

例えば、伝統的な講義では $g = 0.23 \pm 0.04$ とされている。授業前の正答率を S_{pre} と授業後の正答率を S_{post} とすると、規格化ゲインgは以下で表される。

$$g = \frac{S_{post} - S_{pre}}{1 - S_{pre}}$$

4.結果

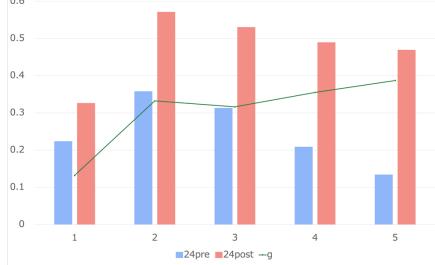


図3 授業前後の結果の比較

図3は授業前後の結果の比較である。横軸の数字は標準調査の問の番号であり、1～5としているのはこの5問が平面内の運動に関する問になっているためである。

- 前後の調査結果の比較結果から、放物運動の基本概念（運動の独立性、軌道の理解、速度と加速度の関係）に対する理解度が向上したことが確認された。また、規格化ゲイン(normalized gain)が0.25以上となり、従来の講義型授業と比較して高い学習効果が示された。
- 実験後のレポート分析では、多くの生徒が「運動が水平方向と鉛直方向に分かれていることを実感できた」と記述しており、学習者自身が直感的な理解を得たことが分かった。

5.考察

本研究の結果から、探究的学習を取り入れた授業が、物理概念の深い理解に有効であることが示唆された。特に、以下の3点が重要であると考えられる。

①実験を通じた直感的理理解の向上

実際のデータを用いた解析を行うことで、公式の暗記ではなく、概念的な理解が促進された。

②ICTを活用した学習の有効性

物理法則を具体的なデータとして可視化し、抽象的な概念をより明確に理解できるようになった。

③生徒の主体性の向上

実験やグループワークを通じて、生徒自らが考え、仮説を検証するプロセスを経験できた。これにより、能動的な学習姿勢が促された。

6.結論

本研究では、放物運動の学習において、実験とICTを活用したデータ解析を組み合わせた授業デザインを提案し、その学習効果を評価した。

結果として、運動の独立性や速度・加速度の関係を直感的に理解することが可能となり、従来の講義型授業と比較して、より深い概念理解が得られることが示された。今後は、他の力学的概念にも本手法を応用し、より効果的な物理教育の実践に繋げていきたい。

参考文献

- 新田英雄, “日本型物理概念調査問題の開発,” 第38会物理教育研究大会予稿集, 2022.
- R.Hake : Am.J.Phys. 66-1 (1998) 64-74.