

# 実験を通して探究する力を育む授業の実践

岐山高等学校

## 1 研究のねらい

本校理数科では、平成30年告示の高等学校学習指導要領に基づき、令和4年度より年次進行に合わせて、共通教科「理数」の科目である「理数探究基礎」（1年）及び「理数探究」（2・3年）を各1単位で新設した。これらの科目は、理数分野における探究的な学びを通じて、生徒の課題発見力・論理的思考力・表現力の育成を目指すものである。

高等学校学習指導要領解説[理数編]によれば、特に「理数探究」においては、生徒が自ら課題を設定し、主体的に探究活動を進めることが求められる。そのためには、身の回りにある自然事象や社会的事象に関心をもたせ、「なぜそうなっているのか」「どうすれば解決できるのか」といった疑問や問題意識を育む働きかけが重要である。理科の授業で生じた素朴な疑問を出発点として課題を設定させることも有効であり、探究の入り口として機能する。

また、生徒の疑問や問題意識が具体性に欠ける場合には、関連分野の書籍を紹介したり、問いの意味を言語化させて対話的に深めたりするなど、課題の具体化を支援する工夫が求められる。

本研究では、こうした課題設定支援の実践を通じて、生徒の探究活動の質を高める授業設計と指導方法について検討する。特に、「理数物理」と「理数探究」の授業を横断的に連携させることで、科目の枠を越えた学びの深化と、探究活動の実効性を高める授業づくりを目指す。

## 2 実践した内容

### (1) 教科・科目での学びと探究活動の往還による相互補完的な学びの実践について

教科・科目での学びである「理数物理」と、探究活動を中心に行う科目である「理数探究基礎」「理数探究」は、互いに補完し合いながら、生徒の探究力、論理的思考力、実験的技能を育む重要な役割を担っている。

まず、「理数物理」では、力学分野において運動方程式や力学的エネルギー保存則など、力学の基本法則を数学的に理解することを通して、物理現象の本質に迫る知識を身に着ける。一方、「理数探究基礎」では、その知識をもとに、実験計画の方法や測定技術を習得することで、実践的な探究活動の基盤を築くことを目標としている。

例えば、1年次に行う「理数探究基礎」の中では、“実験観察基礎”と題し、斜面を下る台車の加速度と走行距離を理論的に導出し、それを実験によって検証することで、誤差の要因を分析しながら、理論と実験の関係性を考察する力の育成を目指した。この取り組みは、生徒が物理現象を数式だけでなく実体験として捉え、理論と現実のズレに着目することで、科学的な探究の第一歩を踏み出す契機となる重要な学習活動として位置付けている。

さらに、「理数探究基礎」では“科学トレーニング”と題し、これまで「理数物理」で扱った内容を総合的に活用できるテーマ（例：重力加速度の測定、輪ゴムの性質）を生徒に提示し、簡易な実験を通して研究の一連の流れを体験させる活動を行った。これにより生徒は理論の応用、実験の設計・実施、結果の分析・考察までを自らの手で行い、科学的探究のプロセスを実感することができた。“科学トレーニング”を出発点として、2年次には「理数探究」において、より高度なテーマ（例：回転エネルギーの寄与）へと発展させ、3年次に“課題研究”に取り組む。生徒は自ら課題を設定し、理論と実験を往復しながら探究を深めることで、主体的かつ創造的な学びを実現する。

加えて、「理数物理」で培った数式処理力を、「理数探究」における論文やポスターの作成に活用することで、論理的な説明力や表現力を高めることができる。これにより、生徒は科学的な思考を言語化し、他者に伝える力を身につけた。

このように3科目の連携は、特に力学分野においての学びを知識の習得から、課題設定・探究・発表へと深化させ、生徒の探究的姿勢と科学的リテラシーの育成を促したと考える。【表1】

### (2) 「理数探究」「課題研究」の研究テーマの設定について

「理数探究」における集大成となる活動は課題研究である。課題研究は、1班あたり4名程度で編成し、約半年間にわたり実施される。研究テーマは2年次後期に設定されるが、調べたい物理現象をどのような視点から研究すべきかを決定することは容易ではない。多くの生徒は課題設定に苦慮し、闇雲に試行錯誤を繰り返す傾向がある。しかし、まずは自身が関心を持つ分野に関

する情報を収集し、知識を蓄積することが重要である。そのためには、先行研究の論文を精読することが不可欠であるが、論文を読む経験がない生徒も多く、内容理解に困難を伴う場合が少なくない。

これらの課題を解決するため、「理数物理」で学んだ力と運動の単元を探究活動に結び付ける実践を行った。本校では毎年作成している課題研究論文集を教材として活用し、論文の読解方法を学ぶとともに、次の研究課題を見出すための取り組みを実施した。

具体的には、論文を基にしたワークシートを作成し、掲載されたデータを参照しながら、生徒がグラフを描き、規則性を発見する練習を行った。今回題材として取り上げたテーマは「転がる物体の力学的エネルギー保存」である。理数物理では、振り子運動や摩擦のない斜面上での運動において、位置エネルギーと運動エネルギーの和である力学的エネルギーが保存することを学習する。では、転がる物体の場合、力学的エネルギーはどのように変化するかを考察する。

回転運動を含む力学的エネルギーの研究は、高校生の課題研究テーマとして一般的によく用いられる題材であり、本校でも過去に複数回取り組んできた。前年度の研究成果を次につなげることは、研究の深みを増す上で有効である。ワークシートに取り組むことで、生徒は先輩の研究内容を自分事として捉えることができ、授業終了時には、転がる球の力学的エネルギーに及ぼす影響を調べるための実験について、多くのアイディアが挙げられた。

【表1：力学分野の実験における「理数物理」「理数探究基礎」「理数探究」の連携】

学年	単元	理数物理（実験のみ抜粋）	理数探究基礎・理数探究
1	運動とエネルギー	運動の表し方	実験観察基礎 ・ $v-t$ グラフを用いて、台車の走行距離を推定する
		落体の運動	
		運動の法則	
		力学的エネルギーの保存	科学トレーニング ・ 重力加速度の測定 ・ 輪ゴムの性質
2	力と運動	落体の運動	ブックトーク
		運動量保存則	科学論文講座
		単振動	課題研究発表聴講
		力と運動の発展・拡充	課題研究テーマ設定・予備実験
3			課題研究



【図1：力と運動の発展・拡充の授業風景】

### 3 実践中および実践後の生徒の変容

実践内容（２）において、「転がる球の力学的エネルギーに及ぼす影響を調べるためにはどのような実験を行えばよいか」という問いに対し、授業後の生徒の考えは次のようである。

- ・内部構造の違うもので実験する。（球殻、中に何か入っているもので）
- ・重心を変えて実験を行い、重心と力学的エネルギーの関係を考える。
- ・表面の摩擦係数が異なる球を転がす。
- ・球の密度を変化させる。
- ・空洞の円柱の中に、小さな球を入れて、その数と力学的エネルギーの関係性を調べる。
- ・斜面の傾きを変化させる。 ・斜面の素材を変える。
- ・球の半径を大きくする。
- ・球の質量ではなく、密度が関係しているかもしれないため、密度が同じ物体で球の体積（質量を変化させる）。
- ・球の密度の分布を変える。 ・球内部の半分を空洞にする。
- ・球が回転しながら転がる場合と、無回転で斜面を下る場合を比較する。
- ・床と球の接する面積を変化させる。（そのために、球の直径を大きくする。）

以上は、生徒の考えの一例である。多様な視点からの実験方法が挙げられた。

授業を受講した43名のうち4名（1班）は、これらの考えを発展させ、2年次後期からの課題研究のテーマとして「回転運動する物体の回転エネルギーと運動エネルギーの比」を設定した。このグループでは、回転運動する物体の運動エネルギーと回転エネルギーの比率には一定の関係があり、物体の質量と半径に依存するのではないかと仮説を立てた。そこで、中空円筒物体を斜面上から転がし、ある位置における速度と角速度を測定して並進運動エネルギーと回転運動エネルギーを算出し、円筒の外径と質量の積を指標として、回転運動における力学的エネルギーの比率を考察した。その結果、質量と半径の積が大きいくほど、運動エネルギーに対する回転エネルギーの割合が小さくなる傾向を見いだした。一般的には、中身が詰まっている球や円柱の場合この比率は一定であることが知られているが、中空円筒のように内部構造を持つ物体では、外径と内径の比率に応じて慣性モーメントが変化し、エネルギー比も変動する。今回の研究では、外径と質量の積を用いた整理により、構造の違いがエネルギー分配に影響を及ぼす可能性を示すことができた。

研究の過程では、3Dプリンタを用いて条件に適した回転物体を自作したり、角速度の測定方法を工夫したりするなど、班員同士で活発に議論を重ねながら主体的に研究に取り組む姿が見られた。

### 4 研究のまとめ

「理数探究」における課題研究は、生徒が自ら研究テーマを設定し、半年間にわたり探究活動を行う集大成の学習である。しかし、研究テーマの設定は容易ではなく、多くの生徒が課題設定に苦慮する傾向がある。そこで、理数物理で学んだ「力と運動」の単元を探究活動に結び付け、先行研究の論文を教材として活用する実践を行った。論文を基にしたワークシートを用いてデータを分析し、規則性を発見する練習を通して、生徒は研究課題を自分事として捉えることができた。

今回題材として取り上げた「転がる物体の力学的エネルギー」に関する学習を通して、生徒は転がる球の力学的エネルギーに影響を与える要因について多様な実験方法を考え出した。内部構造や重心・密度の違い、斜面の素材や傾きの違い、さらには球の半径や接触面積の違いなど、幅広い視点からのアイデアが挙げられたことは、生徒の探究的な姿勢の表れである。

また、これらのアイデアを発展させた課題研究では、研究過程において、試料を自作し、角速度の測定方法を工夫するなど、試行錯誤や議論を重ねながら主体的に取り組む姿や活動内容を調整する姿が見られた。また、理論と実験結果の差異を議論することで、物理現象を多面的に捉える力が育まれていた。

これらの活動を通して、生徒は先行研究を手掛かりに新たな研究課題を見出す力を養い、理論と実験を結び付けて考察する姿勢を身につけた。課題研究のテーマ設定において、単なる試行錯誤にとどまらず、既存の知識を活用しながら自らの関心を深めていく姿が確認できたことは、本実践の大きな成果である。

## 5 実践した授業の単元計画と学習指導案

教科	理数	科目	理数物理	指導者	
指導クラス					
クラス観					
実践日時	7月10日		使用教室		
教科書	物理（数研出版）		使用教材	授業プリント 理数探究基礎（啓林館）	
単元名	力と運動の発展・拡充				
単元の目標	<p>(1) 対象とする事象について探究するために必要な知識及び技能を身に付けるようにすること。</p> <p>(2) 多角的，複合的に事象を捉え，数学や理科などに関する課題を設定して探究し，課題を解決する力を養うとともに創造的な力を高めること。</p> <p>(3) 様々な事象や課題に主体的に向き合い，粘り強く考え行動し，課題の解決や新たな価値の創造に向けて積極的に挑戦しようとする態度，探究の過程を振り返って評価・改善しようとする態度及び倫理的な態度を養うこと。</p>				
単元の評価規準	知識・技能		思考・判断・表現		主体的に学習に取り組む態度
	対象とする事象について探究するために必要な知識及び技能を身に付けるようにしている。		多角的，複合的に事象を捉え，数学や理科などに関する課題を設定して探究し，課題を解決する力を養うとともに創造的な力を高めている。		様々な事象や課題に主体的に向き合い，粘り強く考え行動し，課題の解決や新たな価値の創造に向けて積極的に挑戦しようとする態度，探究の過程を振り返って評価・改善しようとする態度及び倫理的な態度を養っている。
単元の指導と評価の計画	時	ねらい・生徒の学習活動	重点	記録	評価規準・評価方法
	1	力と運動の発展・拡充	思	○	先行研究を手掛かりに新たな研究課題を見出している。〔記述分析〕
	2	<理数探究で実施> 課題研究テーマ設定	態	○	研究テーマを設定し，研究の見通しを立てている。実験計画書を作成している。〔記述分析〕
	3	<理数探究で実施>	知		研究テーマの焦点化や検証可能性について考え、仮説を設定している。
	4	課題研究 仮説の設定			
	5	<理数探究で実施>	思	○	予備実験の成果をレポートにまとめ，実施内容を他者へ説明している。〔記述分析〕
6	<理数探究で実施>				
7	課題研究 予備実験				
8					

本時の主題	転がる球の力学的エネルギーに及ぼす影響を調べるためにはどのような実験を行えばよいか考える。	本時の位置	1 / 8
本時の目標	先行研究を手掛かりに新たな研究課題を見出すこと。		
評価の観点	先行研究を手掛かりに新たな研究課題を見出している。		
本時の展開			
学習場面	生徒の学習活動	学習活動における具体の評価規準	評価方法
授業前	課題研究論文集を読む。		
導入	本時の目標を確認する。		
	<p>課題 転がる球の力学的エネルギーに及ぼす影響を調べるためにはどのような実験を行えばよいか。先行研究を手掛かりに新たな研究課題を見つけよう。</p>		
展開①	実験の目的と方法を確認する。 実験結果のデータを元に、2つのグラフを作成する。 グラフから分かることを箇条書きで示す。 レポートのまとめを記入する。	データを元に、グラフの軸を適切に設定し、グラフを描くことができる。 作成したグラフを元に、分かったことを文章で表現することができる。	
展開②	物理エンジンを使用して作成された動画「できるだけ速く転がるには、どのようにすればよいか」を視聴する。 転がる球の力学的エネルギーに及ぼす影響を調べるためにはどのような実験を行えばよいか実験方法を考える。	実験方法を、できるだけ具体的に複数記入することができる。	
まとめ	同じ机の4名で、考えを交流する。	自分の考えを他者へ伝えることができる。 他者の考えを聞いて、自分の考えを見直すことができる。	評価は提出された授業プリントで行う。

【（評価の観点を記載する）】

なお、以下の判断基準表を基にして評価する。

評価A	展開①のグラフを適切に作成し関係性を見出すことができ、分かったことを文章で表現することができる。 展開②で、先行研究を手掛かりに新たな研究課題を複数考えることができる。
評価B	展開①のグラフを適切に作成し関係性を見出すことができ、分かったことを文章で表現することができる。
評価C	展開①のグラフを作成することができる。

2 年 ( ) 組 ( ) 番 氏名 \_\_\_\_\_

テーマ : 転がる物体の力学的エネルギーの保存

目的 : 振り子運動や摩擦のない斜面上での運動では、位置エネルギーと運動エネルギーを足した力学的エネルギーが保存される(一定値をとる)。

ビースピ(スピードセンサー)を利用して、転がる物体の運動の力学的エネルギーを調べる。

使用器具: 質量の違う同じ大きさの球4つ(鉄、ガラス、プラスチック、木)  
ビースピ、レール、ストップウォッチ



【図1】左から、鉄、ガラス、プラスチック、木の球

方法 : 球を転がす前後で力学的エネルギーを測定する。

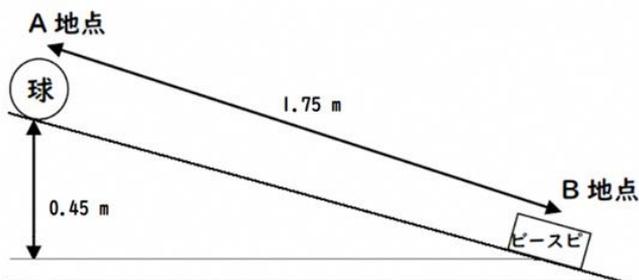
1. 傾き角 15.0 度の斜面にレールを敷き、高さ 0.45m の位置(A 地点)から球を静かに転がす。
2. 斜面に沿って 1.75m 転がった位置(B 地点)で球の速度をビースピで測定する。



【図2】球を転がす様子



【図3】実験装置の全体像



【図4】実験装置の模式図

結果：

【表1】球の質量とB地点での速さの関係

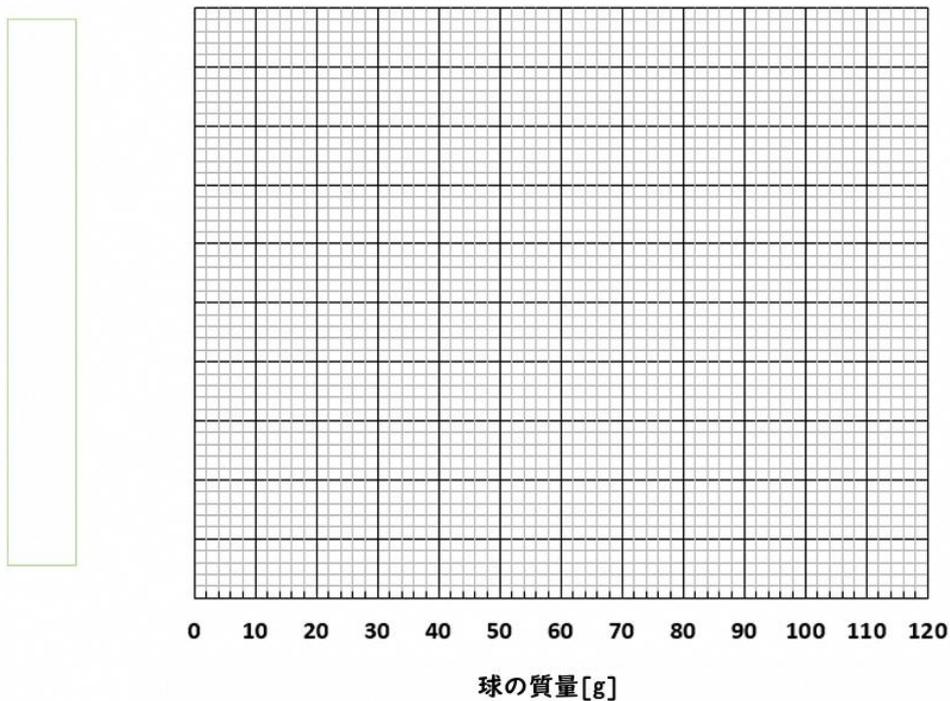
球の種類	球の質量 [g]	B地点での速さ(※1) [m/s]
鉄	111.9	2.49
ガラス	33.4	2.48
プラスチック	19.0	2.44
木	9.6	2.41

(※1) B点での速さは、10回測定した平均値を示している。

【表2】球の質量とA地点・B地点での位置エネルギー+運動エネルギーの関係

球の質量 [g]	A地点での 位置エネルギー+運動エネルギー $E_A$ [J] (※2)	B地点での 位置エネルギー+運動エネルギー $E_B$ [J] (※2)
111.9		
33.4		
19.0		
9.6		

(※2) 位置エネルギーの基準をB地点の高さとし、重力加速度の大きさを  $9.8\text{m/s}^2$  として計算する。



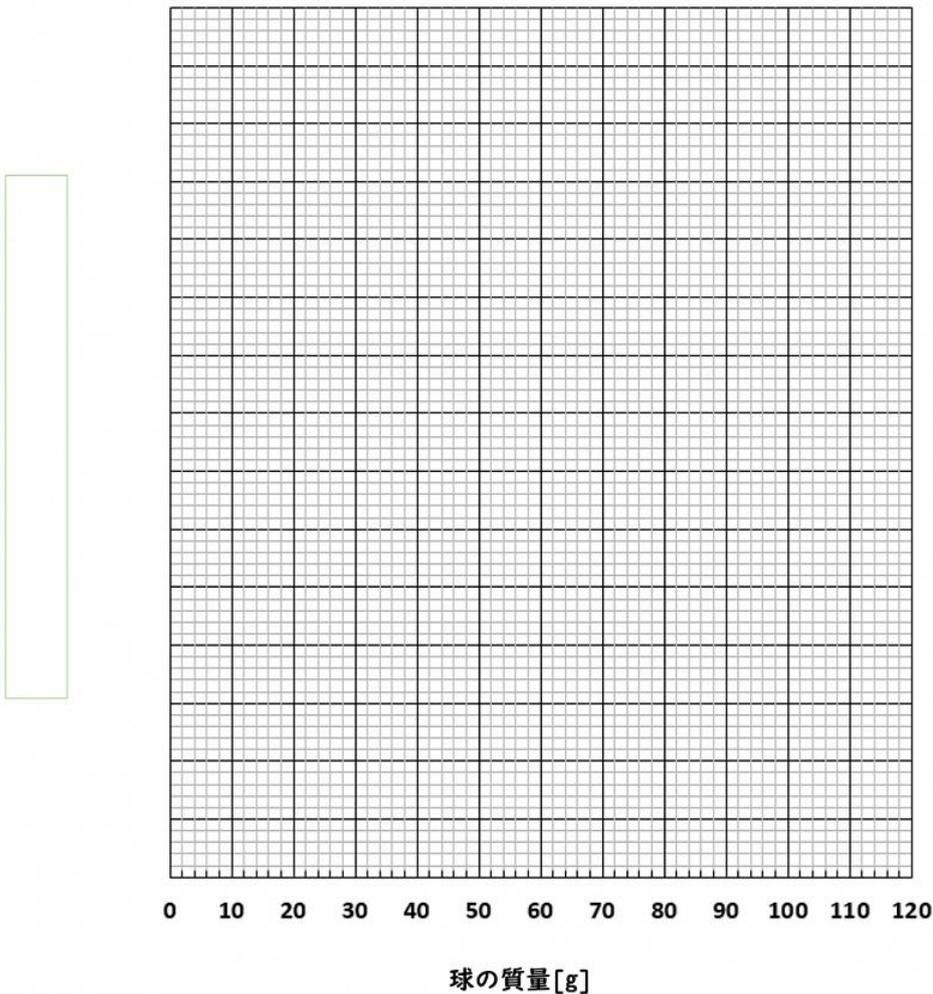
【図5】球の質量と、 $E_A$  および  $E_B$  の関係

演習1：結果の表2の空欄に数値を入れる。

演習2：図5のグラフの縦軸のラベルと目盛の数値を記入し、グラフをつくる。

【表 3】 球の質量と地点間のエネルギーの差の関係

球の質量 [g]	$E_A - E_B$ [J]
111.9	
33.4	
19.0	
9.6	



【図 6】 球の質量と、地点間のエネルギーの差の関係

演習 3 : 結果の表 3 の空欄に数値を入れる。

演習 4 : 図 6 のグラフの縦軸のラベルと目盛の数値を記入し、グラフをつくる。

考 察：※実際の考察は箇条書きではなく、まとまった文章にする。

演習5：結果からわかることを箇条書きにする。

【図5】からわかること

【図6】からわかること

演習6：まとめの文を作る。

以上のことから

転がる球の力学的エネルギー（位置エネルギー+運動エネルギー）は、

演習7：「【物理エンジン】できるだけ速く転がるには、どうすればいいか」を参考に、  
演習6で分かったこと以外に、転がる球の力学的エネルギーに及ぼす影響を調べるためには、どのような実験を行えばよいか、実験方法を考える。