

大学入試問題の実験装置化

株式会社島津理化 松本 崇

1. はじめに

日本の大学入試における理科の出題傾向は、この十数年で大きく変化してきた。かつては、教科書に記載された知識を正確に記憶し、それを適切に適用できるかどうかが問われる問題が中心であった。しかし現在では、単なる知識の再生では対応できない、より高度な思考力や理解力を必要とする問題が増加している。特に顕著なのが、実験に関する問題の扱われ方である。大学入試の理科では、実験の目的や手順、データの読み取り、条件の変化による結果の予測など、実験観察を通して培われる力を前提とした問題が多く出題されるようになってきている。

ところが、高校現場では、こうした入試の要求に十分に因應されるだけの実験経験が、生徒に提供されていない場合が少なくない。高校の理科教育は本来、観察や実験を通して自然現象を理解し、科学的なものの見方や考え方を身につけることを重視している。しかし、実際の授業では、大学受験を意識した授業進度の確保を優先せざるを得ない状況があり、後回しにされることがある。また、設備や安全管理の問題、教員の負担などの理由から、実験が簡略化されたり、場合によっては省略されたりすることもある。その結果、一部の高校生は、教科書に載っている実験を「見たことはあるが、自分で行ったことはない」という状態のまま受験期を迎えている。

しかし、例えば、化学の滴定実験に関する問題では、指示薬の色の変化がどのようなタイミングで起こるのかを実際に見た経験があるかどうかで、問題文の理解のしやすさが大きく変わる。物理の電気回路の問題でも、実際に回路を組んだ経験がなければ、電流の流れ方や電圧の分布を直感的に捉えることが難しく、公式の暗記に頼りすぎて誤った判断をしてしまう可能性が高まる。生物の観察実験に関する問題でも、手順を実際に追った経験がなければ、条件の違いによる結果の変化を見落としやすい。

こうした背景を踏まえると、大学入試の理科における実験問題のトレンドを理解することは、高校生にとって極めて重要である。近年の入試問題を概観

すると、実験問題にはいくつかの明確な傾向が見られる。

第1に、「データ解析型問題の増加」が挙げられる。実験結果として提示される表やグラフを読み取り、そこから規則性を見いだしたり、条件の違いによる変化を説明したりする形式がある。化学では反応速度や溶解度の変化、生物では光合成や酵素反応のデータ、物理では運動や電気回路の測定値などが典型的である。これらの問題は、単に公式を覚えているだけでは対応できず、データを「現象として理解する力」が求められる。実験経験が乏しい場合、数値の変化を直感的に捉えられず、表面的な計算に頼って誤答する危険が高まる。

第2に、「条件変更への対応力を問う問題」が増加している。大学入試では、実験条件を変えた場合に結果がどのように変化するかを予測させる問題がある。温度を変えたときの反応速度の変化、光の強さを変えたときの光合成速度の変化、抵抗値を変えたときの電流の変化などが典型例である。これらの問題は、現象を理解していなければ対応できず、単なる知識の暗記では太刀打ちできない。実験経験があれば、条件の変化がどのような影響を及ぼすかを自然に想像できるため、理解が深まりやすい。

第3に、「文章量の増加と読解力の要求」が挙げられる。大学入試の実験問題では、背景説明や手順が長文で提示されることが多く、受験生には文章を正確に読み取り、必要な情報を抽出する力が求められる。これは、理科の知識だけでなく、国語的な読解力も必要とするため、実験経験が乏しい生徒にとっては二重の負担となる。実験を実際に行った経験があれば、文章中の操作や現象を具体的にイメージできるため、読解の負担が軽減される。

以上のように、大学入試の理科における実験問題は、単なる知識の確認ではなく、実験を通して培われる思考力や理解力を重視する方向へと進んでいる。しかし、高校現場では実験の時間が十分に確保できないこともあり、受験生がこうした問題に対応する

ための基盤が十分に育っていない可能性がある。したがって、高校理科教育においては、実験観察の機会を確保し、体験を通して科学的思考を育むことが、大学入試への対応という観点からもますます重要になる。

2. 物理入試問題を実験する際の課題

大学入試の物理では、「一様な磁場」「無限に長い直線電流」「摩擦のない床」など、現実には存在しない理想化された条件が頻繁に登場する。これらは自然界の複雑な要素を排除し、物理法則の本質を抽出するための思考実験として有効である。しかし、かつては「理想条件はあくまで頭の中で扱うもの」であり、実験によって確かめることはほぼ不可能だった。ところが近年、センサー技術や材料工学、制御技術の発展によって、これらの理想条件に「驚くほど近い」環境を実際に構築できるようになってきた。この変化は、物理教育のあり方にも大きな影響を与えている。

まず「一様な磁場」について考えると、単純に磁石を均一に並べたり、シート磁石を使用したりしても、一様な磁場を条件に行う実験を実験室レベルで実現することはほぼ不可能である。しかし現在では、ヘルムホルツコイルの研究が進み、その精度が向上し、コイル間距離や巻き数をミリ単位で制御することで、中心領域に非常に均一な磁場を生成することができるようになった。また、これが均一かどうかを確かめる方法として、近年では磁場センサーの高感度化により、磁場のわずかなムラをリアルタイムで検出し、電流制御によって補正する技術も一般化している。これにより、大学入試で扱われる「一様な磁場に置かれた荷電粒子の運動」を、実験的にかなり忠実に再現できるようになった。

「無限に長い直線電流」の理想化についても、技術の進歩が大きく寄与している。物理的に無限長の導線を用意することは不可能だが、導線を十分に長くし、端の影響が中心部に及ばないように設計することで、理論式に近い磁場分布を得ることができる。どのくらいの長さがあれば理想状態とみなせるかを判断するのに、微小な変動を測定できる高精度センサーの普及が役立っている。これにより、かつては「理論上の話」として扱われていたアンペールの法則やビオ・サバールの法則が、実験的にも実感を伴っ

て理解できるようになっている。

「摩擦のない床」についても、技術革新が理想条件の再現に大きく貢献している。完全に摩擦ゼロの面は現実には存在しないが、近年の教育用実験機器は、摩擦を極限まで小さくした運動環境を実現できるようになっている。その代表例に当社が提供するスマートカート(Smart Cart)とガイドトラックがある。スマートカートは車輪の精密加工と軸受けの高性能化によって、転がり摩擦を極めて小さく抑えており、わずかな力でも滑らかに加速・減速する。また、ガイドトラックとの組み合わせにより、横方向のブレを抑えつつ、直線運動をほぼ理想的な形で再現できる。これにより、理化学実験として理想的な低摩擦環境を、よりコンパクトかつ扱いやすい形で実現している点が教育現場で高く評価されている。

このような装置を用いることで、運動量保存則や等加速度運動の実験を、理論式に極めて近い形で観察できる。例えば、衝突実験では、カート同士の速度変化を高精度センサーで記録し、理論値との誤差を詳細に分析することが可能だ。摩擦の影響が小さいため、誤差の主因が測定精度や初期条件に起因することが明確になり、生徒は「理想化されたモデル」と「現実の実験」の関係をより深く理解できる。さらに、スマートカートには加速度センサーや位置センサーを内蔵しており、外部機器を用いずに運動データをリアルタイムで取得できる点も、理想条件の再現を後押ししている。

センサー技術の発展は、理想条件の再現を強力に後押ししている。加速度センサー、ジャイロセンサー、磁気センサー、モーションセンサーなどが小型化・高精度化し、スマートフォンや教育用デバイスにも搭載されるようになったことで、従来は測定が困難だった微小な変化を簡単に記録できるようになった。例えば、物体の運動を高速度カメラや光学センサーで追跡することで、理論式との誤差を詳細に分析し、理想条件にどれほど近づいているかを定量的に評価できる。これにより、単なる「理想化されたモデル」だったものが、実験的にも裏付けられた現象として理解されるようになっていく。

このような技術の進歩は、物理教育に新たな価値をもたらしている。理想化された条件を実際に体験できることで、生徒は抽象的な数式の背後にある物理現象を直感的に理解しやすくなる。また、理想と

現実の差を測定し、その原因を考察することで、物理学の本質である「モデル化」の重要性を学ぶこともできる。理想条件と現実の実験環境が徐々に接近している現状は、科学技術の発展が教育にもたらす恩恵の象徴と言えるだろう。

3. 物理入試問題をテーマにした実験装置の開発

図1、図2は2022年に出題された共通テストの物理の問題のイラストである。この問題では、台車は平面上を滑らかに直進し、二つのコイルを通過する。

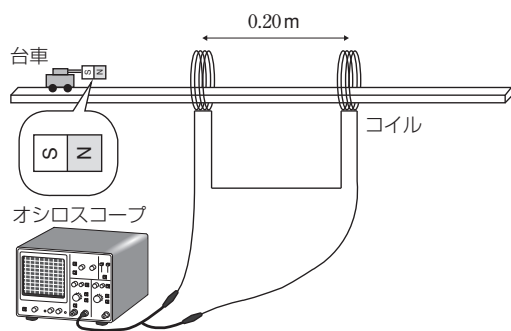


図1 令和4年度大学入学共通テスト
[物理]本試験 第3問 図1



図2 令和4年度大学入学共通テスト
[物理]本試験 第3問 図2

台車には磁石が搭載されており、磁石がコイル内を通過する際に誘導起電力が発生する。この時の発生する電圧をグラフ化することで等速運動する台車の速度を求め、また、台車の運動条件を変えた場合の電圧のグラフから、何の条件をどう変更したのかを求める問題である。

この問題を実験装置として製作する場合、クリアすべき課題は、まず大前提として試験問題とほとんど同じ形にするためにも次のようなものがある。

課題

- 1)滑らかに直進する台車
コイルを通過させるために小型のものが良い。
- 2)台車に搭載する磁石
問題内には、磁石を縦に2連結させたり、並列に2個貼り合わせたり、2個の磁石のS極N極を揃えたり、逆位置に貼り合わせたりする発展的な課題もある。
- 3)形状が安定したコイル
形が崩れることがない円状に巻いたコイル。
- 4)誘導起電力の観察波形
オシロスコープではなく手軽な測定器と波形の表示ができるデバイス。

これらは次のように解決した。

- 1)平面上を滑らかに直進するために、アルミレールを製作し、レールには台車になる鉄道模型(Nゲージ)の低摩擦な車輪びつりの溝を設け、脱輪することなく直進させる構造とした。(図3)
- 2)台車には、小さな角形の棒磁石を動かさないように固定することが可能な樹脂の枠を搭載した。(図4)
- 3)形が保たれて繰り返し使用できるコイルは、当社が販売する簡易コイルを使用し、コイルの位置を固定するための治具を製作した。(図5)
- 4)手軽に計測することができるワイヤレス電圧センサを使用し、PCやタブレット、スマートフォンに時間-電圧のグラフを表示可能な無料アプリ「SPARKvue」を利用することとした。(図7)

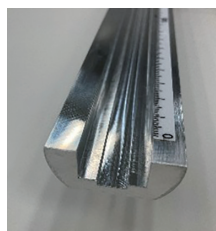


図3 レール

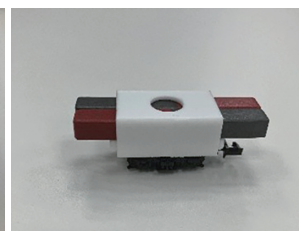


図4 台車と磁石

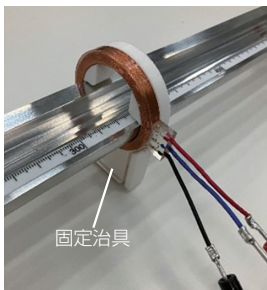


図5 コイルと固定治具

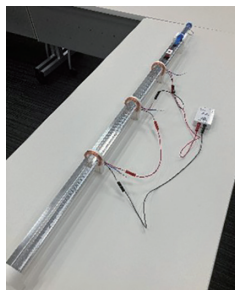


図6 装置全体

これにより全体では図6のように実際の入試問題を実験として解くことができる装置を実現し、販売を開始した。



図7 無料アプリ「SPARKvue」画面

4. まとめ

今回紹介した入試問題を実験装置化する取り組みは、企画・開発を一般社団法人国際物理オリンピック 2023 記念協会、設計製造・販売を島津理化が担うプロジェクトである。この取り組みは「Physics Exam Lab 物理入試ラボシリーズ™」²⁾とし、先生と生徒がともに“確かめる物理”を体験できる場をつくることを目的としている。

物理という学問は、自然界の仕組みを理解するために、まず身のまわりの現象を注意深く観察し、そこから疑問や課題を見いだすことから始まり、次に、その疑問を説明するための理論やモデルを構築し、最後に実験によってその考えが妥当かどうかを確かめるという循環的な営みを続けてきた。この「観察—思考—検証」という流れを何度も往復することで、世界を支える基本的な法則を少しずつ明らかにしてきたものである。

高校理科の授業においても、実際に手を動かし、目の前で起こる変化に驚き、失敗や成功を体験することには、代えがたい価値がある。自分の体験を通

して得た感覚や気づきは、単なる情報としての知識とは異なり、深い理解や探究心を育てる土台となる。

今後さらに、与えられたデータを処理するだけでなく、「何を調べるべきか」「どこに疑問を持つべきか」といった問いを自ら立てる力がますます重要になる。実験を通して得られる直感的な理解や、現象に対する素朴な驚きは、まさにその問いを生み出す源泉であり、AI がどれほど進歩しても、現実の世界に触れ、そこから学び取る経験は人間にしかできない。実験を通じて得られる感動や発見は、生徒たちが主体的に学び続ける力を育み、AI 時代に求められる創造性や問題発見能力を支える大切な基盤となるはずである。

図8 理科教員のための実験共創コミュニティ “しまづりか実験広場”稼働中³⁾

引用元

- 1) 令和4年度大学入学共通テスト「物理」第3問
- 2) 一般社団法人国際物理オリンピック 2023 記念協会

Physics Exam Lab
物理入試ラボシリーズ™



- 3) しまづりか実験広場

