

大学入試問題の実験装置化 Part 2

株式会社島津理化 松本 崇

1. はじめに

近年の大学入試物理においては、出題傾向が大きく変容しつつある。従来の入試では、公式の適用や計算処理の正確さが主たる評価対象であったが、より多面的な能力を測定する方向へとシフトしている。特に、物理現象を理解するための確固たる基礎学力を前提としつつ、未知の状況に対して柔軟に思考を展開する創造力、さらに自ら問いを立てて検証へと向かう探求心が、これまで以上に重視されるようになってきている。この傾向は、単に入試問題の形式が変化したというだけでなく、物理教育そのものが「知識の再生産」から「現象理解を通じた思考の深化」へと価値基準を移しつつあることを示している。

この変化の背景には、AI技術の急速な発展がある。高度な計算処理や数式操作は、AIが人間を大きく上回る速度と正確性で実行できるようになった。これにより、従来の「計算力中心」の学習観は再考を迫られている。AIが容易に代替できる技能をいくら習得しても、学習者がAI時代を主体的に生き抜く力を十分に育むことは難しい。むしろ、これからの科学教育において求められるのは、物理現象を観察し、その背後に潜む法則性を読み解くために、学習者自身が現象を自らの手と目で問い質す姿勢である。現象に向き合い、そこから意味を読み取り、仮説を構築し、検証へと向かう一連の思考過程は、AIが代替しにくい人間固有の営みである。

AIの発展は、科学教育における「人間の役割」を改めて問い直す契機となっている。AIは膨大なデータを高速に処理し、複雑な計算を瞬時に実行できるが、現象の意味を身体感覚を通して理解したり、観察の中から新たな問いを生み出したりする能力は持たない。たとえば、物体が落下する様子を見たときに「なぜ速くなるのか」「どの要因が支配的なのか」と直感的に疑問を抱くのは、人間の身体性と感性に基づく営みである。こうした問いの生成は、科学的思考の出発点であり、AIが提供する情報処理能力とは質的に異なる価値を持つ。

このような観点から、AIと共存する未来の科学

教育では、人間に固有の認知的・身体的経験を重視した学びが再評価されつつある。物理現象は、数式やグラフとして抽象化される以前に、まず感覚的な経験として立ち現れる。たとえば、振り子の周期が変化する様子を目で追い、糸の長さや振幅を手で調整しながら観察することで、学習者は現象の背後にある規則性を自らの身体感覚と結びつけて理解することができる。こうした身体性を伴う学習は、概念形成や問題解決の方略に深く関わり、AIが提供する情報処理能力では代替しがたい価値を持つ。

この文脈で重要性を増しているのが、体験的な科学学習としての「触れる科学」である。「触れる科学」とは、単に実験器具を操作することにとどまらず、学習者が現象と対話し、そこから新たな問いを生み出す学習過程そのものを指す。たとえば、単純な電磁誘導の実験であっても、コイルを動かす速度や磁石の向きを変えることで電流の大きさがどのように変化するかを自ら確かめる過程は、現象の意味を深く理解する契機となる。こうした体験は、教科書の図や公式だけでは得られない「現象との対話」を可能にし、学習者の探究的な姿勢を育む。

さらに、「触れる科学」は、主体性を引き出す点でも重要である。AIが計算や情報検索を担う時代において、人間が果たすべき役割は、現象の意味を読み取り、仮説を構築し、検証へと向かう創造的な営みである。「触れる科学」は、このような人間的な科学活動を支える基盤として、今後ますます重要性を帯びると考えられる。学習者が自ら問いを立て、その問いに基づいて実験条件を設定し、結果を解釈するプロセスは、AIが代替しにくい高度な思考活動である。

大学入試物理の出題傾向は、こうした教育観の変化を反映している。問題文の設定を読み解き、与えられた情報を整理し、未知の状況に対して論理的にアプローチする力が問われる問題が増加している。これは、単なる計算技能ではなく、現象を理解し、そこから新たな問いを立てる能力を評価する方向へとシフトしていることを示している。たとえば、複

数の物理法則が同時に関わる現象を扱う問題や、実験データを読み取りながら仮説を検証する形式の問題は、学習者の創造力と探求心を測定する意図が明確である。

以上のように、大学入試物理の傾向は、AI時代の科学教育の方向性と密接に関連している。基礎学力を土台としつつ、創造力と探求心を育む教育が求められており、その中心には、現象を自らの手と目で問い質す姿勢を育てる「触れる科学」の実践が位置づけられる。

2. 物理入試問題を実験装置化する際の課題

本研究では、平成30年度東京大学前期試験 理科(物理)第1問に示される仮想的な実験設定を、実際に再現可能な物理実験装置として構築することを目的とした。問題文では、質量 M の台が「摩擦の無い床」の上に置かれ、その台の中央に立つ柱の先端に長さ L の糸で質量 m の小球がつり下げられている。(図1)

この条件のもと、台車を静止させた状態で振り子を鉛直面内に振り上げて放すと、台車と小球は水平方向に逆向きの運動をおこない、互いに連動した振動を示すことを前提とした問題である。この問題を実験装置化するにあたっての課題は、「摩擦のない床」をどこまで再現できるかである。小球は鉛直面内で振動し、台は摩擦のない床を水平方向に自由に動く。このような理想化された環境のもとで、台と振り子が連動して運動する状況が解析される。しかし、現実の実験環境において「摩擦が完全にゼロである床」を実現することは不可能であり、あきらかな課題として、摩擦を限りなく小さく抑え、理論モデルに近い運動を実現することであった。今回の問題設定では、台の上部に柱を立て、その先端に振り子を取り付ける必要があり、学校現場での扱いやすさを考慮すると、より柔軟で堅牢な代替手段が必要であった。特に、振り子の取り付け位置が台の中央に固定されているという問題特有の構造を再現するためには、台そのものに十分な強度と安定性が求められる。そこで着目したのが、当社(島津理化)が提供するスマートカートとガイドトラックである。スマートカートは車輪の回転摩擦が極めて小さく、加速度センサーや速度センサーを内蔵しているため

運動の計測精度が高い。また、ガイドトラックは表面の平滑性が高く、カートとの接触摩擦を最小限に抑えるよう設計している。これらの特徴は、入試問題で想定される「摩擦の無い床」を現実的な範囲で再現するための有力な選択肢となった。

次に、「小球と台車の質量比」である。この実験では、台車と小球は相対的に単振動するが、系全体では水平方向の外力がはたらかないため運動量が保存される。静止した状態から振り子運動が開始されるため、重心は静止したままである。重心の位置は小球と台車の質量比で決まる。したがって、台車に対して振り子の質量が大きくないと実験の再現が難しくなる。そのため、小球はある程度の質量が必要であり、台車はそれを支える必要がある。スマートカートは台として十分な強度を持ち、上部に柱を固定することも容易であり、さらにカートの質量が適度に大きいので、振り子の運動による反力がカート全体の運動に自然に反映され、問題文で想定される単振動の再現に適しており、床摩擦の軽減と小球の質量を支える安定した台の課題をクリアできた。

これらの利点から、スマートカートとガイドトラックを組み合わせた装置構成が最適であると判断した。しかし、スマートカートとガイドトラックを採用したからといって、理想的な環境が自動的に得られるわけではない。実際に装置を構築する過程では、細かな調整が必要であった。まず、ガイドトラックの水平調整が重要である。わずかな傾きでもカートは重力成分によって加速してしまうため、水準器を用いてミリ単位の調整を繰り返し、トラック全体が完全に水平となるよう設置する必要がある。

これはガイドトラック用のレベル調整ネジが解決した。次に、カートの車輪の状態確認を行った。車輪の軸受けにゴミや汚れがあると回転摩擦が増加し、理想的な運動が得られないため、車輪を清潔に保つ必要がある。また、台の上に柱を立て振り子を取り付けると装置全体の重心が変化する。重心が偏ると車輪にかかる荷重が不均一となり摩擦が増加するため、柱の位置を調整し、重心が中央に位置するよう工夫した。

これらの調整を経て、スマートカートとガイドトラックを用いた装置は、入試問題で想定される条件に極めて近い環境を実現することができた。

この環境下で入試問題に登場する運動の再現実験

を行ったところ、理論値と実測値の差異は非常に小さく、仮想実験の現実化が十分に可能であることが示された。さらに、この装置は教育的にも大きな意義を持つ。入試問題で理想化された設定を実際の物理現象として体験できることは、学習者にとって大きな価値がある。特に、台と振り子が互いに影響を及ぼし合う運動は、図や式だけでは理解しにくい、実際に観察することでその本質が直感的に捉えられる。学習者が現象を「自らの手と目で問い質す姿勢」を育むうえでも、この装置は有効な教材となり得る。

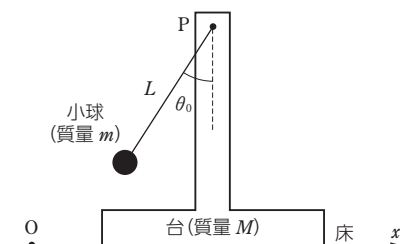


図1 平成30年度 東京大学 前期試験 理科(物理) 第1問

3. 物理入試問題をテーマにした 実験装置 完成形

本研究で最終的に完成した装置は、当社(島津理化)が提供するスマートカートに搭載可能なアクリル製の箱を基盤とし、その側面を大きく開放した構造を特徴とする。上部にはV字型に糸を張るための支持部を設け、金属球の振り子が鉛直面上を自由に運動できるよう設計した。この構造により、振り子の振動と台車(スマートカート)の水平運動が互いに影響し合い、その他の物理的な干渉を受けることなく滑らかに実現できる点が、本装置の最大の特徴である。

アクリル素材は軽量で透明性が高く、内部の運動を多方向から観察できるため、教育現場における視覚的理解を大きく促進する。

本装置の有用性は、平成30年度東京大学前期試験 理科(物理)第1問のⅠに示される理想化された実験設定を、現実の物理環境で高い精度で再現できる点にある。同問題では、摩擦の無い床上で台と振り子が連成して運動する状況が前提とされているが、スマートカートとガイドトラックの組み合わせは極めて低摩擦で滑走し、理論的に想定される「摩擦なし」に近い条件を実現する。これにより、台の運動と振り子の運動が互いに影響し合う様子を、理論式とはほぼ一致する形で観察することが可能となった。

(図6)

また、スマートカートに内蔵された加速度・速度センサーを活用することで、台の運動データをリアルタイムで取得できる点も本装置の大きな利点である。これにより、単なる観察にとどまらず、理論値と実測値の比較、データ解析、誤差要因の検討など、探究的な学習活動へと発展させることができる。振り子の運動についても、動画解析やセンサーとの併用により、角度変化や周期の詳細な測定が可能であり、振り子および台車の運動の理解をより深めるための多角的なアプローチが可能となる。

さらに、本装置は応用実験に対して高い拡張性を持つ。振り子の長さを変化させることで、運動の周期変化の違いを比較する実験が容易に行える。

また、本装置で実験が可能な範囲は本入試問題の第1問のⅠまでであり、第1問のⅡは対応できないことも興味深い。第1問のⅡは台が等加速度運動をするという条件だが、実際に行ってみると、振り子の動きにより理想的な等加速度運動にはならない。このように、問題として想像できても実際には再現が困難な実験もある。AIは試験問題として容易に答えを導けるだろうが、その点に気づくことはないだろう。

教育的観点では、本装置は「触れる科学」を体現する教材として極めて優れている。学習者は、台と振り子が互いに影響し合う複雑な運動を、自らの目で観察し、手を動かして条件を変えながら理解を深めることができる。これは、AI時代において重要性が増している「現象を自らの手と目で問い質す」姿勢を育むうえで大きな価値を持つ。理論式だけでは捉えにくい物理現象の本質を、実際の運動として体験できることは、学習者の科学的思考力を高めるうえで不可欠である。



図2 スマートカートと台車上の振り子実験器



図3 側面開口部



図4 振り子糸の調整部



図5 角度目盛

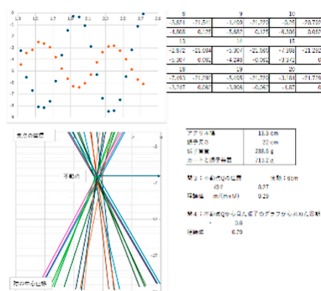


図6 実験結果とストロボ画像

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

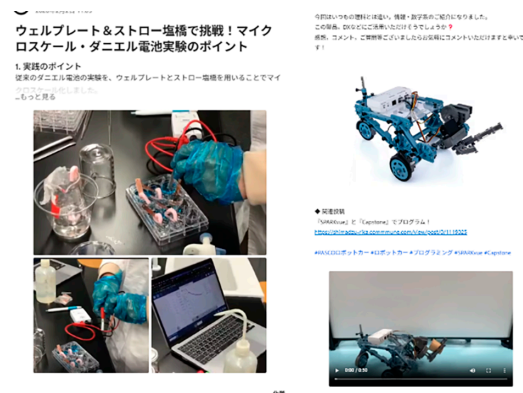
「Physics Exam Lab 物理入試ラボシリーズ[®]」²⁾とし、先生と生徒がともに「確かめる物理」を体験できる場をつくることを目的としている。

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はなく、「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7 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) 平成 30 年度 東京大学 前期試験 理科(物理) 第 1 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

