

高大接続を意識して新設教科「理数科」の在り方を考える —大学付属校の物理を例に—

伊藤 慧

satoshi@meiji.ac.jp

明治大学付属明治高等学校・明治中学校

Key Words : 理数科, 物理, ICT, スマートフォン, ハイスピードカメラ

1. 緒言

PISA2015 および TIMSS2015 の国際調査により、我が国の生徒における科学的リテラシーは上位グループに属しているものの、諸外国と比較して理数系科目の学習に対する興味・関心・意欲についての課題が浮き彫りとなった^{1) 2)}。

一方、国が指定しているスーパーサイエンスハイスクール (SSH) では、生徒各自が興味や関心に基づいて課題を設定して課題研究を行い、成果を上げていることもあり、その教育的な有効性について広く認知されている³⁾。

平成 28 年 12 月の中央教育審議会答申において指摘されたように、現在、我が国の抱える様々な問題を解決するような知の創出をもたらす人材の育成を目指すには、生徒にそのための基礎的な資質・能力だけでなく、数学や理科に関する横断的なテーマに徹底的に向き合って考え抜く力を身に付けさせる必要がある。

これらを踏まえ、文部科学省は平成 30 年 3 月 30 日に高等学校学習指導要領の改訂を行い、各学科に共通する教科「理数」(以下、「理数科」という)を新設するに至った。「大学入学共通テスト」に向けた動きも踏まえつつ、「理数科」の授業担当者には、数学と理科の知識・技能を総合的に活用した主体的な探究活動を導入することが期待されている⁴⁾。

2. 理数科

2-1 理数科の目標

生徒は「理数科」を通し、様々な事象に関わり、数学的な見方・考え方や理科の見方・考え方を組み合わせるなどして働かせ、探究の過程を通して、課題を解決するために必要な資質・能力を育成することを目指すとされている。

また、この教科の特性は、現在アメリカなどで推進されている STEAM (Science, Technology, Engineering, Art, Mathematics) 教育の理念と重なる部分が大いと考えられる。

2-2 理数科の科目編成

理数科において新設する科目は「理数探究基礎」及び「理数探究」の 2 科目で編成され、それぞれ選択履修となる。標準単位数は、「理数探究基礎」1 単位、「理数探究」2～5 単位である。また、理数科の「理数探究基礎」もしくは「理数探究」の履修を以って総合的な探究の時間の履修の一部または全部に替えることができる。

2-3 各科目の性格

「理数探究基礎」では、探究の過程全体を自ら遂行するための進め方等に関する基本的な知識および技能を習得する。

「理数探究」では、「理数探究基礎」などで身に付けた資質・能力を活用して、自ら設定した課題について主体的に探究することを通じて、これらの資質・能力をより高めていくものとされている。特に「理数探究」においては、生徒の知的好奇心や興味・関心を重んじ、主体的な課題設定や課題解決における独自性・挑戦性をより重視することを理想としている。また、STEAM 教育との親和性を意識し、自然科学だけでなく、社会科学や人文科学、芸術やスポーツ、生活に関する事象なども対象とされる。

実施にあたっては大学や研究機関、博物館などと積極的に連携・協力し、探求した結果や成果などを発表する機会の設定もしくは報告書を作成することが望ましいとされている。

3. 本校の概要

3-1 本校の文理選択

筆者は現在の勤務校に昨年度より着任した。本校は中高一貫の私立共学校である。大学の直系付属校であり、例年 80%以上の者が系列大学へ内部進学する。中学入試を経ておよそ 160 名の生徒が入学し、高校入試でさらに 100 名ほど入学する。高校からの入学者を別クラスにすることなく高 1 から同クラス編成となる。

多くの大学付属校と同様に、文理分けは高 2 までせず、分け隔てなく多くの教科を履修する方式を採用している。高 3 では希望進路に応じて理系・文系を選択し、HR も別となる。2019 年度における高 3 の理系選択者はおよそ 22%であり、高 3 での上位科目「物理」の選択履修者は学年全体のおよそ 16%という現状である。系列大学の理系学部の新設により、近年これらの割合は上昇傾向にある。

3-2 本校の教育課程

中学では各学年で理科を 4 単位 (物化生地で各 1 単位に相当)、高 2 で「物理基礎」を 2 単位、高 3 で「物理」を 4 単位履修する。

かつて、高校生に対して卒業研究を課していたそうだが、現在は生徒が主体的に計画・実験・考察・発表するような科目は設置されていない。仮に、「理数科」として「物理探究 (仮称)」を設置すれば、卒業研究の復活に近い側面がある。

3-3 生徒の実態

筆者は2019年度、授業担当した高3の「物理」選択履修者42名にアンケート調査を実施した(有効回答数25名。新型コロナウイルスの流行による登校日制限のため、回収数が少なくなってしまった)。「物理探究」の計画立案の目的だけではなく、昨年度から指導している本校生徒の実態把握を試み、今後の授業改善に反映させる狙いがある。ここでは「物理探究」に関する回答項目を幾つか抜粋する。

高3で「物理」を選択履修したことにより、物理に対する考え方や印象が変化したかを自由記述式で問うた。例えば、以下のような回答があった(原文ママ)。

- ・微積によって力の情報から速度や加速度を求められるなど。数学の物理的応用。
- ・微積の使い道がある。
- ・今まで何となく感覚として分かっていたものが、しっかりと計算で解明できることに感動した。

こちらが意識して授業した効果もあると思われるが、生徒たちは必修科目である「物理基礎」以上に「物理」の履修によって、物理学と数学の密接な繋がりを認識し始めたようである。

物理の得意な分野と苦手な分野をそれぞれ一つ選択させた結果はTable 1, Table 2のようになった。それらから、生徒の得意・不得意分野に多少の偏りは見て取れるが、それには授業回数の多寡が影響しているものと予想される。特定の分野に偏重することなく、満遍なく様々な分野で実験をさせたい。

また、実験をメインとして、生徒が主体的に体験・考察しながら学ぶ一方で、座学による講義説明が少ない授業についてどう考えるか、最も良いと思うバランスを選択させた結果の回答分布はTable 3のようになった。生徒はある程度の実験を望みつつも、講義による理論的部分の説明も欲していると分かる。

関連して、生徒実験を行う時間確保のために講義時間を短縮する目的でスライドや動画、アニメーションを用いることについてどう考えるかを自由記述式で回答してもらった。以下はその一部である(原文ママ)。

- ・現象がイメージしやすくなるので良いと思う。
- ・スライドや動画の方が板書より多くの情報を得られると思うのでとても良いと思う。
- ・言葉や板書の図より、映像や分かりやすい3Dモデルの方が理解しやすいくいいと思う。

スマホをはじめとするICT機器に馴染み深い世代のためか、肯定的回答が92%を占めた。

今年度は実施できなかった生徒実験のうち、どのようなものを経験してみたかったかを複数の選択肢から問うた。「PCやセンサーを用いてデータ解析やシミュレーションをやりたかった」や「2コマ連続で難しい実験をやりたかった」を回答している生徒がそれぞれ56%, 44%いた事実からも、「物理探究」は一定の需要に応えるであろう。他の質問項目からも、Bluetoothセンサーを用いる実験に興味を示す生徒が大勢いることが明らかになった。

アンケート結果の詳細については、発表時に触れる。

Table 1 生徒の得意とする分野

分野	割合 (%)
力学	32.0
熱力学	8.0
波動	36.0
電磁気学	24.0
原子	0

Table 2 生徒の苦手とする分野

分野	割合 (%)
力学	32.0
熱力学	8.0
波動	12.0
電磁気学	40.0
原子	8.0

Table 3 生徒の希望する授業のバランス

授業内容のバランス	割合 (%)
① 実験多め・講義少なめ・問題演習ほとんどなし	36.0
② 実験そこそこ・講義そこそこ・問題演習少なめ	40.0
③ 実験そこそこ・講義少なめ・問題演習そこそこ	20.0
④ 実験少なめ・講義そこそこ・問題演習そこそこ	4.0

4. 「物理探究(仮称)」の実践案

4-1 実践計画の背景

本来であれば、生徒が興味関心を持った内容について、じっくりと下調べをさせ、研究計画を練らせる。その上で、試行錯誤を繰り返しながらデータを収集、そして考察した結果をまとめて、テーマごとに発表の機会を設けることが望ましい。しかしながら、本校における生徒の物理実験の経験および実験道具の不足、平常授業における生徒実験の十分な時間を確保することの困難が存在する。そこで、生徒の創意工夫の余地を残した自由度との兼ね合いを考慮しつつ、教員側がある程度想定したルールの上を生徒に歩かせざるを得ないと考えた。

そこで、例えば、比較的安価な道具で実践可能である以下のような授業展開を計画している。

4-2 実践案①

電気容量3.3 F、耐電圧2.7 Vの電気二重層コンデンサ(Figure 1)に、電源電圧1.0 Vと30Ωの抵抗器を並列接続し、充電する(Figure 2)。十分に充電がなされた頃合いを見計らって放電し、10秒ごとにコンデンサにかかる電圧の大きさを測定する。3~4名でグループ実験を行うとすれば、ストップウォッチで経過時間を測る係、電圧計を読みとる係、データを記録する係に分担すれば良い。

得られた結果から電流の値を求め、 $I-t$ グラフを描く。指数関数でfittingし、手計算で積分することで充電していた電気量およびコンデンサの電気容量

の測定値を得る。

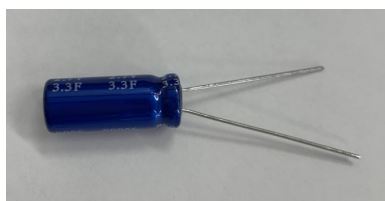


Figure 1 電気二重層コンデンサ

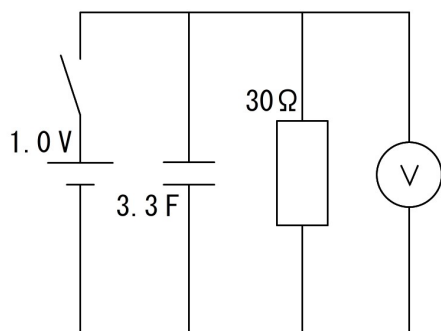


Figure 2 測定に用いた回路

4-3 実践案②

水平な台の端から卓球のピンポン球など数種類の異なる材質のボールを水平投射する (Figure 3)。床に連続的に衝突する様子をスマホのハイスピードカメラ機能 (iPhone X ならば 240 fps) で撮影する。そのスローモーション映像や衝突音からストップウォッチを利用して、ボールが床に衝突した各時刻を求める。初等力学および数学の無限等比級数の知識により、発射台の高さを測れば床とボールとの反発係数 e の値を求めることができる。

さらにビースピなどの簡易速度測定器を利用することで、発射した水平初速度を測定し、実験的に求めた e から、ボールが殆ど跳ねなくなるまでの「水平到達距離」を求めることができる。最後に、メジャーで測定した実際の「水平到達距離」との比較を行う。卓球以外のボールについても実験し、比較する。

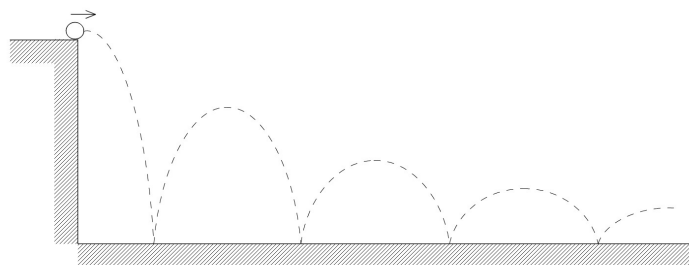


Figure 3 水平投射

4-4 ICT の活用

例えば、実践案①であれば、Excel へ得られた電圧の値を入力し、電流の値を簡単に算出できる。そ

こから $I-t$ グラフを描き、近似曲線およびその関数を容易に得られる。グラフから電流の値が最初のうち急激に減少し、やがて 0 に収束していく様子も見てとれる。Figure 4 は筆者が予備実験をした結果をグラフ化したものである。

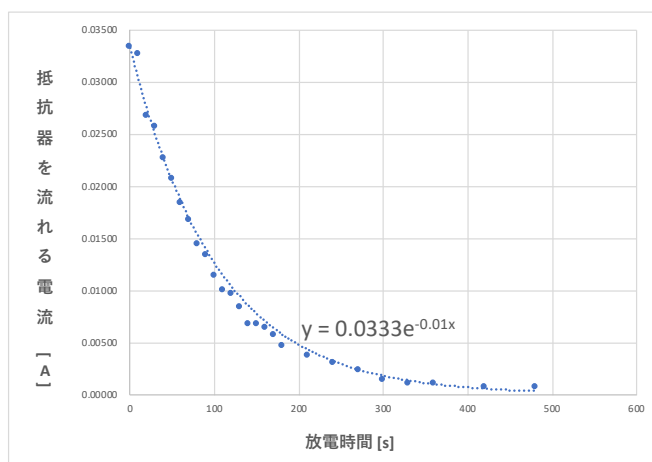


Figure 4 コンデンサの放電における $I-t$ グラフ

実践案②については、こちらも床との衝突時刻から逐一 e を電卓計算させずに Excel を活用させたい。実験自体は極めて単純なため、実際の授業では同じ実験を繰り返し、それらの平均値をグループごとに求めることになるだろう。

4-5 数学分野との関連

実践案①について、Excel で得られた近似曲線である指数関数を手計算で積分させたい。

瞬間電流の定義式

$$I = dQ/dt \quad (1)$$

より、

$$Q = \int_0^{+\infty} I dt \quad (2)$$

なので、筆者の予備実験で得られた関数

$$I = 0.0333e^{-0.01t} \quad (3)$$

を区間 $0 \sim +\infty$ で積分すると、電気量 $Q = 3.33 \text{ C}$ と求まる。さらに、静電容量の定義式

$$Q = CV \quad (4)$$

より、静電容量 $C = 3.3 \text{ F}$ と求まり、カタログの値と一致する結果を得ることができる。

指数関数の極限を用いた積分は、数Ⅲで扱っており、高3の実施時期にもよるが生徒は十分理解できるレベルと思われる。仮に、未学習であったとしても、丁寧な説明を心掛ければ数学分野との横断的学習に寄与する授業展開は可能である。

実践案②については、無限等比級数との関連付けを行いたい。ボールと床の間の反発係数を e 、発射台の床からの高さを h_0 、重力加速度を g とすると、初等力学の知識により、ボールを発射してから n 回目に床に着くまでの時間 t_n は、

$$t_n = (1 + 2e + 2e^2 + \dots + 2e^{n-1}) \sqrt{\frac{2h_0}{g}} \quad (5)$$

と等比級数の形で記述できる。 $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ であり、 h_0 は容易に測定可能な量である。 t_1, t_2, t_3, \dots を測定し、それぞれについて式(5)から e を計算する。それらの平均を取ることで e を実験的に求めることができる。

さらに、ボールが床から跳ねなくなるまでの時間 t は、無限等比級数

$$\begin{aligned} t &= \lim_{n \rightarrow +\infty} t_n \\ &= \lim_{n \rightarrow +\infty} (1 + 2e + 2e^2 + \dots + 2e^{n-1}) \sqrt{\frac{2h_0}{g}} \\ &= \frac{1+e}{1-e} \sqrt{\frac{2h_0}{g}} \end{aligned} \quad (6)$$

と表現できる。実際にストップウォッチで t を測定し、式(6)から求めた t との比較を行える。若しくは、 t を測定し、式(6)より e を計算し、先に式(5)から求めた e の平均値との比較を行う。

また、ボールが跳ねなくなるまでに到達した発射位置からの水平距離 L は、ボールが水平方向へ等速度運動をすることから、初速度を v_0 とすると、

$$\begin{aligned} L &= v_0 t \\ &= \frac{1+e}{1-e} v_0 \sqrt{\frac{2h_0}{g}} \end{aligned} \quad (7)$$

と記述できる。こちらも同様に、実際に測定した L と式(7)から求めた L との比較を行える。若しくは、 L を測定し、式(7)より e を計算し、先に式(5)から求めた e の平均値との比較を行う。

因みに、筆者の予備実験では式(5)より、反発係数 $e = 0.85$ という結果が得られた。ボールを異なる高さや初速度で発射しても、おおよそ同じ値であった。

5. 「理数科」において留意すべき点

5-1 「物理」における生徒実験との差別化

「物理探究」では授業設計の段階で、従来の「物理」の授業時間内に行う生徒実験との差別化を意識すべきである。生徒自らが不思議に感じ、調べてみたいと思った研究テーマについて数コマかけて実験を行い、独自性のある事柄に取り組みせなくてはならない。教員が実験するテーマを示し、生徒にその通り行わせることは双方にとって時間的効率は高いが、一方で自由度は低く、「現在、国が抱える様々な問題を解決するような知の創出をもたらす人材の育成」には繋がりにくい。

その点、本稿で紹介した実践案は、生徒の主体的学習を促進でき、数学の授業で学んだ内容との横断を生徒自身が実感できる。手間はかかるが、容易には正解に辿り着けない、或いは教員自身すらも明確な結論を知らない現象について探究させるべきである。それは教員の研鑽にも寄与する。

5-2 経済的・時間的・人的な障壁

本稿で紹介した電気二重層コンデンサは1個あたり500円弱であり、ハイスピードカメラはデフォル

トのアプリである。一般的には、物理の実験道具は高価なものも多く、グループ実験用に個数を揃える際には予算の壁が立ち塞がる。理振の活用を計画的に進めるのは勿論のこと、できる限り安価な道具で実験できるように教員には工夫が求められる。グループごとに異なる研究テーマを掲げ、それら生徒の希望する研究を行うのであれば多種多様な道具を買い揃えておく、若しくは後から買い足せるよう予算に余裕をもたせておく必要がある。

また、一つ一つのテーマに教員側が応えて支援する教科ぐるみの体制づくりが求められるだろう。発表の準備や報告書の作成まで含めると尚更、様々な年間の見通しを立てておく必要がある。

5-3 高大接続の意識

本校は直系の大学付属校であるため、殊更、高大接続を強く意識しなくてはならない。付属校への進学を希望した生徒・保護者へのニーズに応え、大学受験に替わる学力保証を実現できてこそ付属校教育の真価を示せるはずだ。

一般的な受験校では困難な実験を、時間的・精神的・設備的な優位性を活かして実施し、じっくりと解析や考察まで行わせる。その過程で、生徒は物理の理論と実際の物理現象を照らし合わせ、講義で学んだことが机上の空論ではないと実感する。

「理数科」の設置を端緒として、大学入学後も主体的かつ意欲的に学修に向かえる人物を育成したい。

6. 結語

平常授業では難しかった大掛かりな実験や生徒の主体的な探究活動を実施する点に「理数科」の設置意義はある。授業アンケートから、センサー機器やアニメーション教材に対する肯定的な考えが明らかになった。現代における生徒の実態や特性を鑑みつつ、理想的な「理数科」の実施を目指したい。

引用文献

- 1) 国立教育政策研究所：OECD 生徒の学習到達度調査～2015年調査国際結果の要約～, pp.8-14, 2016.
[https://www.nier.go.jp/kokusai/pisa/pdf/2015/03_result.pdf]
- 2) 文部科学省：国際数学・理科教育動向調査(TIMSS2015)のポイント, pp.5, 2016.
[https://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/micro_detail/_icsFiles/afieldfile/2016/12/27/1379931_1_1.pdf]
- 3) 例えば、文部科学省：理数探究の充実とSTEAM教育について, pp.3-21, 2019.
[https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyoyo3/004/siryoy/_icsFiles/afieldfile/2019/09/11/1420968_8.pdf#search=%27%20文部科学省+理数科+SSH%27]
- 4) 文部科学省：理数編 高等学校学習指導要領(平成30年告示)解説, pp.10-38, 2018.
[https://www.mext.go.jp/content/1407073_12_1_1_2.pdf]

謝辞

本研究の一部は、一般財団法人日本私学教育研究所の2020年度委託研究費の助成により実施された。