

一步一步のつまずきを拾う ～「質問書方式」の質問から～

はじめに

3 年前に定年退職し、定年前とは違う学校で授業をするだけの非常勤となった。定年の数年前から毎回の授業で「振り返りカード」で毎時間の反省や質問を書かせる方式をとっているが、今の勤務校ではそこでの質問を毎回半数以上の生徒が書くようになり、「質問書方式」に近い形式になって数年が経っている。その概略は、昨年の全国大会で報告し、さらに『理科教室』（2026 年 3 月号）の記事として掲載した。ここでは概略を報告しただけだったが、その質問を分析すると、生徒たちのつまずきのパターンや傾向が見えてくる。今回はそれを分類・分析することで、生徒がどのようなところでつまずき、学習のハードルになっていくのかを明らかにしていきたい。

つまずきからくる質問を整理する

授業では、質問の書かれたカードにはすべて赤字で回答もしくはコメントを書き入れて本人に返却している。さらに、興味深い質問や私の説明不足の場合の質問を、パワーポイントを用いて回答・コメントも含めて全体に紹介している。

2.5 年間今の学校でこの実践を続けていて、多くの質問が集まっている。その中で、生徒がつまずいてしまっている、と思われるものや、ここからつまずきが始まるという質問を、分野ごとに整理する。その後ろに書くコメントは、このレポート上の分析のコメントであり、生徒に答えたコメントではない。

動力学分野で定義に関わるもの

1. $|\vec{v}_A|$ を v_A と書くことにする というところで、どこから絶対値の記号が来たのかわからないです。
2. 重力加速度の記号 g を g (払い線が伸びている) と書くのはダメなのですか。
3. $(v_0)_x$ というのは、 $(v_0) \times x$ という意味ではなく、 x 方向の (v_0) という意味なんですか。
4. ベクトルの表し方は、マイナスのとき (反対を向いているとき) は $\vec{a}$ ではダメなのですか。

これらはすべて初出の説明の時に補足しておけば済むものばかりである。しかし、こういう疑問を最初に持った生徒は、ずっと解決しないままよくわからずにそのまま学習を続けている可能性がある。新しい物理量や記号は、こういう誤解を生むかも、という意識を持って、丁寧にしておく必要がある。

動力学分野での質問

5. 0秒地点で5 m/sの速度があるのがよくわからなかった。／なぜ時刻0秒のときに速度が5 m/s出てるんですか。
6. x - t グラフと v - t グラフは、縦軸と横軸を入れ替えることはダメなのですか。／どうして x - t グラフ、 v - t グラフどちらも横軸が時間なのですか。
7. 瞬間の速度は（時間間隔は）0だと思うのですが、なぜ速度が出るのですか。
8. 地球上では空気抵抗があるはずなのに、なぜ物理学者は約 9.8 m/s^2 と言えたのだろうか。／地球には空気抵抗があるのに物理ではなぜ空気がない真空を前提とすることが多いのか気になった。

5. 「初速度」というものを理解していない。こういう基本的な物理概念を理解できない生徒がいる、ということ意識する必要がある。
6. グラフの横軸の意味をグラフで物理量の関係性を扱う時に明確にすべき。横軸は変化する量で、その応答が縦軸にプロットされる、というグラフの基本を最初に説明すべきである。
7. これはまさに微分という数学的操作の本質。グラフでの接線として説明しているが、なかなかハードルは高い。授業後のこういう質問に丁寧に対応したい。
8. 初学者は、こういう疑問を持つということを認識すべき。「空気抵抗を無視して落体の法則を発見した、ということ自体がガリレオの驚くべき業績である」と授業で伝えているつもりだが、このような質問が出る。初学者の視点を再認識させられる。

摩擦力に関する質問

9. 摩擦の法則はなぜ成り立つのですか？
10. $\mu > \mu'$ で μ/μ' の値は一律の数字になるのだろうか
11. 練習問題で、上向きに少し引いたら、静止摩擦係数 μ は変わらないのですか？

9. このような「そもそも」の疑問を持つ生徒がいる。「なぜ」に答えることは難しいが、こういう疑問は大切にすべき。
10. 11. 静止摩擦係数や動摩擦係数がどのような定数なのかという疑問。特に11はこういう場合も一定である、ということを生徒は認識していない。強調が必要。

力についての質問

12. 地球と本の関係について、地球が本から受ける力というのは、本が引力を持っているという風に考えるのでしょうか。
13. BがAから受ける力を反作用とすると、Aの材質によって反作用の大きさは変わりますか。

12. 力の学習の最初に、力の作図をさせるが、その中で本にはたらく重力とその反作用を描く問題についての質問。生徒が「物体そのものが引力を持つ」という概念を抱いていることがうかがえる。

13. 作用反作用について、授業で徹底的に概念を教えているつもりだが、このような質問が出てくる。これは、繰り返し教えることで徹底するしかない。

慣性の法則についての質問

14. (終端速度の話のとき) 抵抗力と重力がつりあうと、落下する物体は静止するのではないかと思ってしまう。どう考えればいい？

14. 運動の法則の学習後でも慣性の法則を本質的に理解していないことが露呈してしまう。こういう誤概念は根強い、ということを常に意識しておかないといけない。

運動の法則についての質問

15. 重さが重い方が台車を引っ張る力は大きくなるのですか？

16. 重力(重さ)は運動方程式の計算に使わないということですか。

17. 重力と質量が関係ないものなら、質量の正体は何ですか？

18. 地球上では、すべての運動に対して運動の法則が成立する、という認識で合っていますか？

15. 1台の台車と2台重ねの台車を同じ力で引いた時にどちらが早いのかという運動の法則の確認実験(議論する課題)で、2台重ねの方が引く力が強くなる、という意見が授業内の討論時に出たが、その後の質問でもまだこの意見を書いてくる。演示実験でも決着がついているのだが、どうすれば納得してもらえるのか難しい。

16. $F=ma$ の m に mg を代入するという間違いをしてしまう生徒が必ずいる。

17. 慣性質量と重力質量の違いという概念まで話さないといけないのかもしれないが、私は「動きにくさ」が質量で、重力とは違うものだ、という話にとどめている。

18. 運動の法則に限らないが、さまざまな法則がどこまで成り立つのか、ということを生徒は漠然と疑問に思ったまま学習している。この生徒は「地球上」と言っているので、これを書いている時点では宇宙では別、と思っているのかもしれない。物理法則は普遍的な法則だ、ということ色々な場面で強調する必要があると思う。

仕事・エネルギーについての質問

19. 振りが張力がはたらいしていないのは、なぜですか？

20. 左向きに引っ張ったのに右側に物体が移動する仕組みがわからない。

21. 真上に上げる力が mg ならばつりあっているのに静止になるのではないのですか。なぜ持ち上がるのですか。

22. 位置エネルギーとは、高い位置にあればあるほど落とした時に最後の速度が速くなってより大きい仕事ができるということだと思うが、それはあくまで落とした

時に仕事をする能力を得る (=エネルギーを得る) のであって、高い位置にあるだけでエネルギーと呼ぶことができるのはなぜですか？

23. エネルギーは本当にすべて J (ジュール) で表されるのか。

24. エネルギーと仕事の違いがよく分からなかった。

19. 授業で話していることを誤解して受け止めている例。振り子のおもりが受ける張力 (おもりが振り子から受ける力) は「仕事をしていない」と言っているはずが、それを「働いていない」と思ってしまうている。念押しの強調をするしかない。

20. 負の仕事の説明。力の反対向きに動いている、ということが現象として理解できない。具体例を出して色々説明しているが、学習上のハードルは意外に高い。

21. 物を持ち上げる仕事で、持ち上げるための力は重さと同じくらいあつていけば良い、という説明に対する質問。実演もしているが。慣性の法則の無理解 (14. と同様) も絡む。これもなかなか理解されないことである。

22. 位置エネルギーは、仕事をする前に運動エネルギーに変わるではないか、という指摘。別のエネルギーになった後に仕事をするのもエネルギーの定義の範囲内であるということをおぼろげにさせるのは難しい。

23. 24. エネルギーの本質をつく質問。結局さまざまな形態のエネルギーが、すべて同じ単位を尺度に共通に扱える、ということがエネルギーの定義と言っても良い。そして、エネルギーは持つもので、仕事はエネルギーの受け渡しの過程である、と説明している。この 23. 24. を理解するのがこの分野の目標であるとも言える。

熱力学分野での質問

25. 熱平衡状態になるには、高温のものが低温のものを温めて温度が低くなるのか、低温のものが高温のものを冷まして温度が高くなるのか？

26. 我々が「熱い」と感じるのは、粒子がぶつかった感覚なのだろうか。逆に「冷たい」と感じるのはなぜか。／冷たさを感じる原因は何ですか。

27. 内部エネルギーと力学的エネルギーとどう違うのか。／内部エネルギーの定義のうちの「分子・原子の運動エネルギー」は物体の運動エネルギーとどう異なる？

25. 熱をもらおうと温度が上昇し、熱を失うと温度が下がるということの本質が、通り一遍の説明では理解できない。こういう疑問をどう解決するかは難しいが、こう思っている生徒がいることを配慮すべき。

26. 「冷たい」と感じるのは熱を奪われるからだが「熱い」との対比で理解が難しい。

27. 内部エネルギーとは何か、という本質を問う質問。系の捉え方、マクロとミクロの視点など、総合的な理解ができないと難しい。

波動・音・光についての質問

28. 「あ」という音と「い」という音を同時に言うと、「あ」と「い」の波が合わさって別の形の波になるにも関わらず、「あ」と「い」と言ったとわかるのはなぜですか？

29. 赤と紫は波長が全然違うのにも関わらず、赤紫という色があるのが不思議に思えた。／色の表の中に、ピンクや白・黒・グレーなどがなかったがどのようになっているのですか。

28. 鼓膜の振動は合成波の振動をとらえ、それを脳に情報として送られるはずだが、その合成波を元の波に分解できる、というのはある意味でフーリエ解析のような機能を脳がしていると言える。こういう疑問を持つことが大事だし、それが自然界の素晴らしさだ、と話している。

29. 分光スペクトル以外の色にも波長が対応している、と生徒は考えている。その説明は、物理基礎などでは扱っていないが、光の三原色などを体系的に教えていないことが一つの原因。

静電気に関する質問

30. クーロンの法則で片方の電荷が $q = 0$ だったら $F = 0$ になるのに引きつけられるのはなぜ。

30. 静電誘導を理解できていないから出てくる質問。しかし静電誘導を学習しても、こういう疑問は生徒に残る。それを踏まえて丁寧に説明するしかない。実験で体験させながら。

有効数字に関する質問

31. 有効数字を使ってしまうと現実には生じる事象と誤差が生まれるはずなのに、なぜ使うのですか。

32. 有効数字の「信頼できる」というのは、人の中のある程度の感覚的なものですか？人によって意味のある信頼できる数字の考え方の違いが起きることはありませんか？

31. 有効数字や誤差の意味を理解していない。有効数字を考慮すると端数を捨てるので不正確になる、と考えている。そう考える生徒もいる、ということを認識すべきだ。

32. 教科書上の文言や有効数字の定義で使われる言葉のおかしなところを指摘している。言われるまで意識したことはなかった。「誤差の含まれない確実な数字」など、より客観的な表現を使う必要性を実感させられる。

全体に関しての質問

33. 中世の時代に物理は数式化されたのだが、コンピューターのないその時代に動き方を数式化することにどのような意義があったのだろうか。

33. 「数式化」とはコンピュータで扱うことを意味すると思っているのだろう。

まとめと課題

今回の報告では、2.5年間の「質問書方式」の実践を通じて集まった数多くの問いの中から、代表的なつまずきや本質的な疑問を分野ごとに整理・分析した。

一見すると多種多様な33の質問であるが、これらを一貫する本質はひとつである。それは、生徒たちは決して「白紙」の状態で授業を受けているのではなく、日常感覚に基づいた独自の直感や素朴概念（誤概念）を強固に持って物理に向き合っているということだ。

「初速度」「慣性」「作用反作用」「エネルギー」といった物理の基本概念に触れたとき、彼らの中で日常感覚と物理法則との食い違いが起きる。その迷いが「振り回りカード」という窓口を通して、具体的な質問となって現れている。こうした疑問を置き去りにしたまま計算テクニックや知識の丸暗記へ進んでしまえば、それはやがて「物理は分からない」という不信感や挫折感へと変わってしまうだろう。

生徒がつまずきを乗り越え、本質的な理解に至るためには、教員側に以下の2つの視点が不可欠であると考ええる。

①「素朴概念の強固さ」をあらかじめ想定した事前の予防策

記号の意味やグラフの軸の取り方、物理量の定義など、初学者が陥りやすい誤解については、教員側があらかじめ「ここで必ずつまずく」という意識を持ち、先回りして丁寧な概念形成を図る授業を組むこと。

②固定概念をひっくり返す授業

どれほど工夫しても、生徒の固定概念を物理概念へ転換する過程では必ずつまずきが生じる。そこで「なぜそう考えるのか」を理解し、生徒の素朴な疑問によりそって、討論や実験により概念をひっくり返していく授業の構成を常に意識する。それこそが、科教協でさまざまな実践されてきた学習課題であり授業方式である。その位置付けを再確認することが重要である。

それらの課題一つ一つを検討するのは、このレポートの守備範囲ではないが、以下の質問は、この②に関わるものだと考える。

12. 13. 14. 22. 24. 25. 27.

「誤解や疑問が一切出ない授業」を目指すことは本末転倒である。予期せぬ素朴な問いや鋭い指摘に出会えることこそが授業の醍醐味であり、そうした生徒の発想から私たち自身も多くの気づきを得るからである。大切なのは、明らかになつまずきは事前に予防しつつ、生じた疑問を切り捨てずに本質的な学びへと高めていく授業構造をつくることである。

一人ひとりの「一步一步のつまずき」を拾い上げ、それを授業改善や教材研究へと還流させていく実践の積み重ねこそが、科学教育研究の原点である。このレポートで浮き彫りになった課題を手がかりに、生徒が納得して理解し、物理の面白さに迫れる授業づくりを、今後の探究課題としていきたい。