

# 物理の『よくある間違い』の傾向と対策

琉球大学理学部物質地球科学科 前野昌弘

# ここで話したいこと

- 物理を学ぶ学生・生徒たちはどんなところを間違っているのか？
- その間違いが起こる原因は何だろうか？
- 間違いを防ぐ方法はあるのか？

で、最後に結論として、

物理を教えるのって、とっても難しい。  
でもだからこそ  
やりがいのある仕事なんだよねっ。

と、まとめたいのであります。

# 困った間違いの例1: 作用・反作用の法則

琉大理学部物理系に入学したばかりの学生にこんな問題を出してみました。

人間が壁を殴る(これを作用とする)。  
すると壁は目に見えないほど小さくではあるがいったんへこみ、  
弾力で元に戻る。戻ってくる時に人間のこぶしにあたる。  
この時働く力が反作用である。

○か×か??

大学生の約半数が○、約半数が×と答えます。 **答はもちろん、×です。**

前に教員志望の子に「作用・反作用の法則を高校生にわかるように説明してごらん」という課題を与えたところ、

人を殴ると、相手には殴り返される  
ということです。

と説明されました。。

じゃあ、  
よけるのがうまい人には  
反作用はないのかい!

# この誤解の原因は何か？

## 「作用・反作用」という言葉が悪い

この言葉は、「作用が先(主)で、反作用が後(従)」というイメージを与える。

これに関連して、「床の上に物体が乗っている」という状況で「重力の反作用は垂直抗力」という間違いも非常に多いし、「作用(主)の方が反作用(従)より大きい」と思いこんでいる例もある

## たとえ話が悪い

「因果応報」とか「目には目を、歯に歯を(ハムラビ法典)」などのたとえ話で説明しようとする本などがあるが、これも作用反作用に主従関係を連想させてしまう。

今更、世界中の教科書書き換える  
わけにもいかないのに、...

作用・反作用は  
どっちがえらい  
ということのない、  
平等なもの。

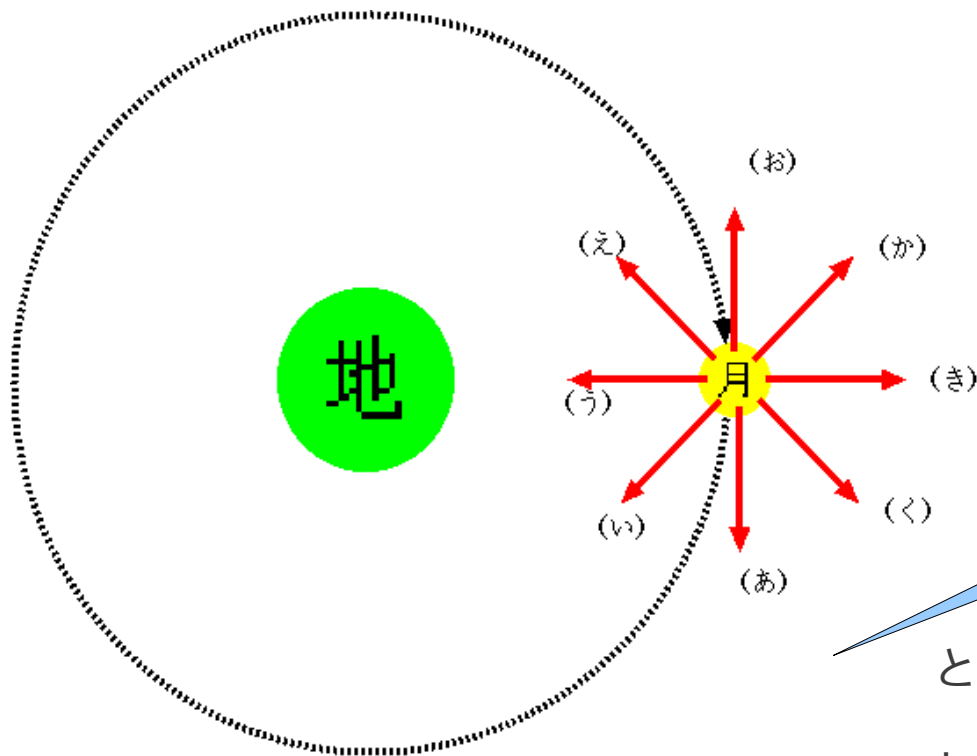
作用・反作用は  
時間差攻撃をしない。

力は、作用・反作用で  
ワンセットである

特にここが  
わかりにくい

という教え方をしないと。

# 困った間違いの例2: アリストテレスから脱し切れない



定番の問題の筈なのですが、  
左の図を見せて「月に働く力は  
どっち向き?」と聞くと、

(う).. と

と?

(あ)、ですか?

とか 答えるのがいます。  
さすがに「(あ)」のみは少ない。  
しかしこれは物理の学生に聞いて  
いるからで、一般に聞けば(あ)も  
だいぶ出てきちゃうはず。

先の作用・反作用と含めると、「運動の3法則」を全く理解しないままに大学生になっちゃっている例が(残念ながら)多くあるということになります。

# この誤解の原因は何か？

アリストテレス的な **素朴な感覚** というのは、**強力** なのです!!

ガリレオやニュートンら物理の先人たちは、綿密な実験と論理を持ってこの素朴な感覚を排除して、本当の物理法則を見つけることができました。

アリストテレスは紀元前384年～紀元前322年、ガリレオは1546年～1642年に生きてます。

人類が1800年以上かかった概念の獲得を、我々は(下手すると)45分の授業で成し遂げなくてははいけません!!

ある意味、誤解が出るのは当たり前かも。

# それほど困らないけど「あれ」と 思ってしまう間違いの例： 慣性力は何にかかると？

加速するバスの中にいる観測者は、慣性力を感じる。  
さて、この慣性力は何に働くか???

- (A) 観測者のみ
- (B) バスの中の物体全て
- (C) 宇宙の中の物体全て

この答が(C)だと言うと、びっくりする学生が半数以上はいます。

慣性力が「見かけの力」であることを考えると、驚くほどのことではないと思うのですが、、、

これもなんとなく、「加速してたら慣性力を式にいれておけばいいらしい」という程度の理解しかしてない学生が(残念ながら)多い様子。

# 脱力する間違いの例： 光は蛇行する？

ある日のこと、、、一人の学生に

光は秒速30万キロでは  
進めませんか？

と、聞かれました。

うん、真空中じゃないと  
遅くなるよ。

と答えると。

真空中じゃなくても、  
蛇行しているから遅くなるでしょ。

と問い返されました。

蛇行？ 光は普通直進するけど。

彼が言うには、、、、

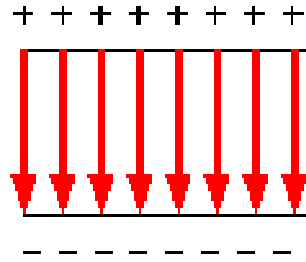
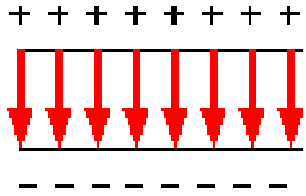
だって、



こんな図を書くじゃないですか。



# 誤答が多すぎてがっくりくる例： コンデンサの極板間を広げたら？



1. 電場の強さは変わらない。
2. 電場の強さは半分になる。
3. 電場の強さは4分の1になる。

困ったことに、学生さんの答えは

3 >> 2 >> 1

の順になります。

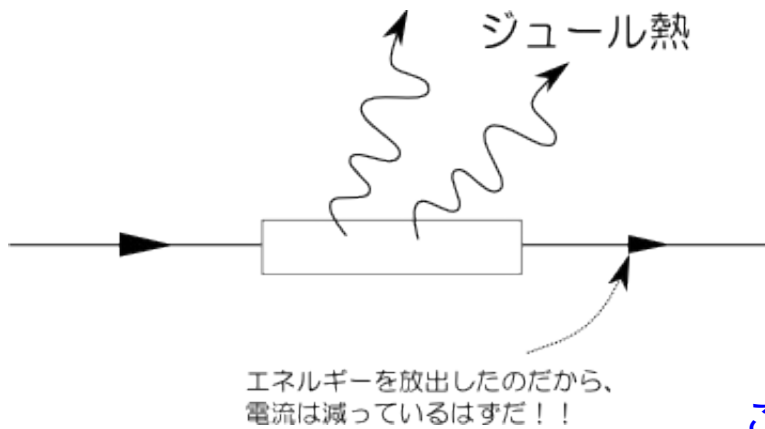
だって、「距離の自乗に反比例」  
じゃないですか!!!

法則の字面だけを覚えるようになります。  
「電気力線の密度が電場!」という覚え方  
をしていればこうはならないんですが。

正解は1です(念のため)

(もっとも、周辺の効果を考えて、  
少しだけ弱まります)

# できる子でも悩んでしまう例： 抵抗を通り過ぎると電流はへたる



「先生、電流って、抵抗でジュール熱というエネルギーを消費しますよね。それなのに、抵抗を通り過ぎた後で、電流が減らないのはなぜですか？」

これは多分、電流を水流で、電池をポンプで説明する、あの例えが悪いのでしょう。

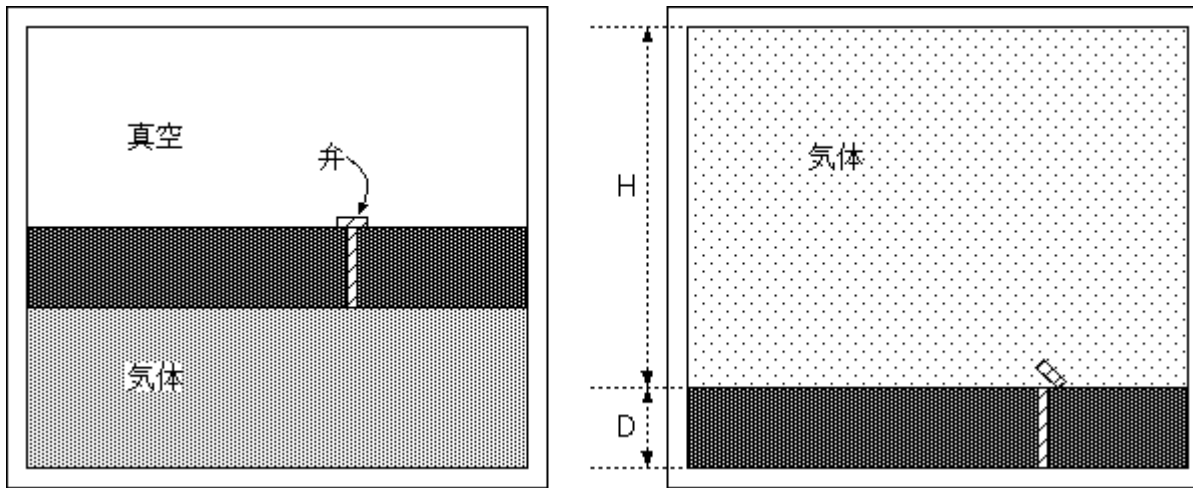
「電子の運動エネルギーは変化しない」ということがわかった学生でも、

「でも、どうしてそんなにうまく等速運動になるんですか??？」

という疑問を抱く場合がある。こういう質問が出るということは、生徒が「エネルギー保存則」をちゃんと理解できているということだから、ある意味喜ぶべき。

そういえば「どうして回路の問題では、電子の運動エネルギーを計算しないんですか?!」  
というのも時々ある質問です。

# できる子でも間違える例： 真空への断熱膨張・・・



断熱材でできたシリンダーに入れられたピストンの弁を引っこ抜くと、ピストンが下に落ちて右の状態になった。  
この時の温度変化を正しく表しているのは、以下のうちどれか？

- (A) 気体が膨張したので温度が下がる。
- (B) 真空への断熱膨張なので、温度は変化しない。
- (C) ピストンが落ちた位置エネルギーの分、温度が上がる

よく勉強して、参考書にマーカーで

**自由膨張は温度が変化しない。**

なんて線を引いている子がかえって間違える。

# 誤解の分類

☆素朴な考え方から抜け出せてない  
力学はアリストテレスの素朴な考えからガリレイ、ニュートンによる慣性の法則や運動の法則の樹立によってできあがったわけですが、不幸なことに素朴なアリストテレスの感覚から抜け出せないままの学生がたくさんいます(大学物理では、さらに量子力学という大きな壁があったりする)。

☆物理特有の言葉づかいができてない  
「作用・反作用」や「仕事」を日常用語の文脈で理解してしまう場合などです。

☆物理現象が現実のものとしてイメージできていない。  
極端な例が「光は蛇行」ですが、他にも原子半径を計算させると $10^3\text{m}$ とか、とんでもない答を出して平気な学生がいたりします。

☆〇〇の法則を一つ教わると、それが絶対だと思ってしまう。  
「断熱自由膨脹は温度が下がらない」と教わるといつでもそうだと思ってしまう。しかし、仕事をするなら温度は下がる。

# 誤解を放置しておくこと怖いこと

教科書には建前が書いてある。  
本当のことは別にあるが、  
そういうふうにしなさいと  
文部科学省だかどっかの  
えらい人が決めたんだらう。  
しょうがないそういうことに  
しておこう

「教科書にはこう書いてあるけど、  
あれは建前みたいなもんで、  
現実にはそうじゃないですよ」  
という気持ちで授業を受けてしまう。

意外なほど多くの生徒・学生が「学校で勉強する物理」を

教科書に書いてある  
ことだけじゃわからない〜♪  
とBEGINは歌っているが、

「今我々が住んでいるこの宇宙の法則を記述したもの」

であるとは感じてくれいていません。

教科書に書いてあること  
だけでわかることも一杯  
あるのだ!

# とても哀しい会話

〇〇の法則使えば  
わかるじゃん

え、だって〇〇の法則って  
力学の法則でしょ。  
電磁気で使っているんですか？

いいに決まっている。  
物理は  
一つだっ！

えっ、  
そんなこと起こるんですか？

教科書に書いて  
あるじゃん

へー、いやあ、書いては  
あるけど本当に起こるとは  
思いませんでした

残念ながら「教科書に書いてある物理法則」は、彼らにとっては  
「フィクションであり現実の宇宙とは何の関係もありません」  
ということのようです。。。。。。

でも、私たちはそんなものを教えたいのではないはず！！

# 誤解してないか、チェックするには？

## (1) 間違いをやらかしそうな問題を試験に出す。

一見有効そうだし、実際有効な面も多いのですが、学生は「ひっかけ問題だ」とか「先生、ずるい」とか反応してしまうことも多くあります。また、試験の受験者は「かまえている」状況なので、素直な感覚が出てきません。「私はこう思うけど、教科書に書いてあった書き方をしないと点がもらえないだろう」と考えて答えたりします。そうすると、間違いをかかえたまま次へ進むことになります。それでは、教育の効果が上がっているとはいえないわけです。

## (2) 授業中の発問

例にあげたような問題で手を挙げさせたり、聞いてみたりしてリサーチする。できると思っていた（自分でもそう思っている）生徒が意外に弱点を見せたりする。

## (3) 授業の感想を書かせる。

2, 3行でもいいから今日の感想書いて、と渡してます。「私も光は蛇行していると思ってました」なんて感想が出てきて、がっかりきたりもしますが、それも一つの大事な情報です。

## (4) 質問できる環境を作る

「こんな質問したら笑われる」という意識を持っているうちは、学生は“愚問”を発してくれません。多少無茶苦茶な質問でも拾って答える。いい質問なら「それはいい質問だ!」とほめる、など質問がでやすくなるように雰囲気を作ることも必要です。

波の授業で「かめはめ波って波ですか?」と聞かれても、ちゃんと“物理的に”答えましょう。

# 誤解を少しでも少なくするために

本質を理解させてあげること!

- ・素朴な直観では理解できない概念を、ちゃんと理解させる。
- ・曖昧な理解では落とし穴に落ちる。
- ・特に、学生・生徒が自分で納得しながら物理を学習できることが大事。  
(とても難しいが!)

学生・生徒が間違いを持ったまま学習していないかのチェック

- ・テストでは調べにくい
- ・気楽に感想を書かせるのもよい
- ・「素朴な質問」を受け入れる  
授業の雰囲気作りも大事

物理現象を実感できない学生・生徒のために、「実感」できるための教材作りをする。例えば実験、あるいはコンピュータシミュレーション

誤解が起きそうな「穴」の部分を先回りして塞ぐようにする。  
「作用・反作用は常に同時!」  
「電場は電気力線で考えよ」

etc



# 数々の誤解に出会って思うこと

我々の教えていることは  
簡単なことではない。

「物理がわかるようになる」ということは  
実は「世界を見る目が変わる」というぐらい、  
学生・生徒にとって大きな経験になる  
(ならねばならない!)

作用・反作用の法則の本当の意味を知ること。  
アリストテレス的素朴な感覚から脱却すること。  
電流がへたらないことを知ること。

こういうことは実は生徒にとっては「あっと驚く体験」になりえるかもしれないのです。

もしかしたら、

光が蛇行してないことを知ること

ですら、「あっと驚く体験」なのかもしれません。

**「世界を見る目が変わる」というほどの体験が、  
簡単にできるはずがない。だからこそ誤解も生じてしまう。**

# だから物理は楽しい。

物理は難しい。教えても教えても誤解されるかもしれない。しかし、

**うおおー、そうだったのか。  
知らなかった！！**

という感動を与えることができるのは、物理だからこそ。

**物理を教えるのって、とっても難しい。  
でもだからこそ  
やりがいのある仕事なんだよねっ。**