

実践的なはたらく力の見つけ方

～接垂力という考え方で見つけそこないを減らす～

松野聖史

愛知県立瀬戸窯業高等学校

【要約】

来たる新課程で、物理基礎を現在より多くの生徒（おそらく従来物理に触れなかったかもしれない生徒たちも）が学ぶことになると考えられるが、力学では物体にはたらく力が見つけられないことには次のステップへ進めない。そこで、より効果的だろうと思う実践的なはたらく力の見つけ方をどう生徒に理解させるのかの方法として、事例を用いた自分のつたない教授法（←名づけて“聖史式実践的なはたらく力の見つけ方”）を報告したい。

【キーワード】

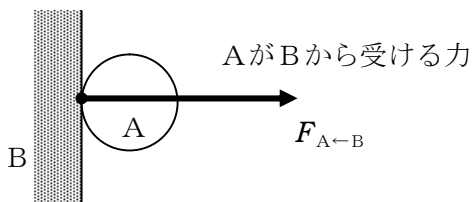
力 力の矢印 接垂力 聖史式 はたらく力の見つけ方 実践的 力学 物理 物理基礎 新課程

1. はじめに

全国理科教育大会の研究発表の多くは、生徒とこんな研究をしたとか、こんな教材を開発したとか、こんな映像を作成したとか、こんな実験方法はいかがかというような報告が多いと感じていた。個人的には、そういう研究発表はもちろん楽しく拝聴させていただき、大いに参考になった経験もあるのだが、もっと、日常の授業方法や分野ごとの教授方法の紹介があってもいいのではと感じていた。そこで、今回、来たる新課程で、物理基礎を多くの生徒が学ぶことになるだろうというということを受け、力学における物体にはたらく力を見つける方法の教授法（というほどたいそうなものではないかもしれないが…）を研究発表してみようと思い立ち、自分のつたない教授法である“聖史式実践的なはたらく力の見つけ方”を報告する。

2. 力の導入

力を自分の授業で扱うときに強調していることは、力を考えねばならないときには必ず相手が要するということである。そして「たのしくわかる物理100時間」等によって推奨されている力のかき方を導入している。例えば、着目物体をAとして、相手をBとすると、すべての力を“AがBから受ける力”と

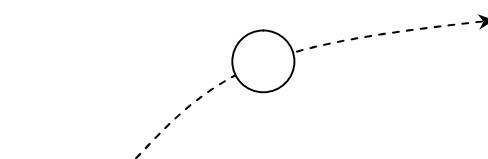


いう表現で統一し、“ $F_{A←B}$ ”とかくように指導する。左下の図のようであれば、Aはボールで、Bは壁なので、“ボールが壁から受ける力”を“ $F_{\text{ボール←壁}}$ ”とするというのだ。このように、何が着目物体なのかをわかって理解させることで、力の作用点が着目物体内に必ずあることに気づかせるのが狙いである。

3. よく挙げられる誤答

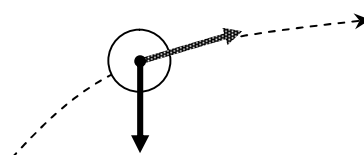
高校3年生の理系の物理選択の生徒でさえもよく間違ってくれるという有名な問題。

問題 図のように飛んでいるボールにはたらく力を力の矢印でかきこみなさい。ただし、空気抵抗はないものとせよ。



よくある誤答例は、

誤答例



上図のように、ボールの飛んでいく方向に力がはたらいっていると考えてかいてしまうものだ（図では薄い矢印）。自分の経験から錯覚してしまって間違った力をかいてしまう、もしくは足りないままだと、そのあとの運動の理解の妨げにもなってしまう。

そこで、力学を学ぶ上でなによりもまず大事であ

るのが、正しく物体にはたらく力を見つけ出すことであると考え、いかにしてはたらく力の見つけそこないをなくすかという観点から、多くの諸先輩たちの話や文献等を参考にまとめたのが、次に紹介する“聖史式実戦的なはたらく力の見つけ方”である。

4. 聖史式実戦的なはたらく力の見つけ方

この方法で、おそらく多くの生徒たちが、着目物体にはたらく力をもれなく見つけ出せるのではないかと、勝手に自負しているの、自分の名前までつけてしまった。手順は次のようだ。

聖史式実戦的なはたらく力の見つけ方

0. 着目物体を決める

1. 重力（電気力，磁気力）

遠隔力を先にかくことにする

2. 接垂力（せつすいりょく←造語）

接触している面から垂直方向に力を受ける

3. 動いている物体に乗ったときのみ慣性力

加速する向きと逆向きに ma の力

実戦的と名づけただけあって、実際にいろいろな現象に立ち向かって戦えるのに十分だと思いがいかなさうか。とくに、工夫したのは“2. 接垂力”である。よく見かける生徒の持っている参考書の多くは“接触力”（←たぶんこれも造語だろう）とあり、説明は、“接触していると物体は力を受ける”とあるのだが、僕はさらに一歩進めて（？）みた。

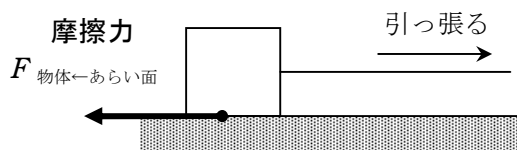
接垂力とは、“接触している面から垂直方向に受ける力”の略として命名したので、読んで字のごとくなので生徒には理解しやすいらしい。また、ポイントとして、単に接触していると力を受けるだけでなく、実戦的にするために、“接触している面から力を受ける”と、“面から”ということ強調しておくようにする。こうすることで、接触している部分について、生徒は必ず接触面を考えるようになり、その面から力の矢印を垂直方向にかくことができるようになるからだ。

この“聖史式実戦的なはたらく力の見つけ方”の順に力を考えていけば、先の飛んでいるボールにはたらく力で挙げた誤答など、ありえるはずもない。

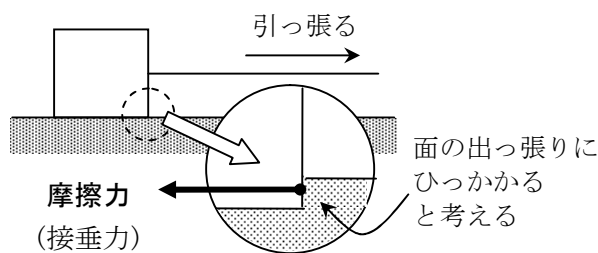
5. 摩擦力とその向きの考え方

授業で“聖史式実戦的なはたらく力の見つけ方”を紹介すると、必ずといっていいほど質問されるのが、摩擦力についてである。

摩擦力は、接触している面に垂直にはたらいっていないように見えるからだ。



初めて指摘されたとき、僕は苦肉の策（笑）で、次のような説明をした。摩擦は面がデコボコしているから生じる、言い換えれば“物体が面の出っ張りにひっかかっている”わけだから、

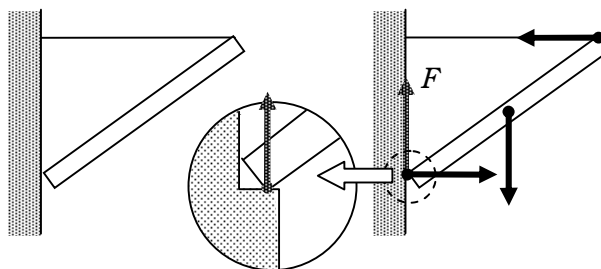


という拡大図のように、物体の右下部分が、面の出っ張りにひっかかり、その出っ張りの部分のわずかな面から垂直方向に受ける力が、接垂力として扱えることが可能となった摩擦力なのだと。

このように、なかば無理矢理（？）摩擦力を接垂力にして理解しようとしたのだが、その他のいろいろな現象や問題におけるはたらく力を考える上で、摩擦力を考えなくてはいけない場合に力を発揮し、生徒たちには、好評となった。具体的には、多くの物体を積み重ねた状態のまま一番下だけを引っ張った場合とか、斜面における摩擦力の向きとかの場合で、活躍したとのことである。次から、具体例をいくつか紹介する。

6. 力のモーメントの分野の例

摩擦のある壁に図のように棒をひもで固定するという、よくある練習問題。

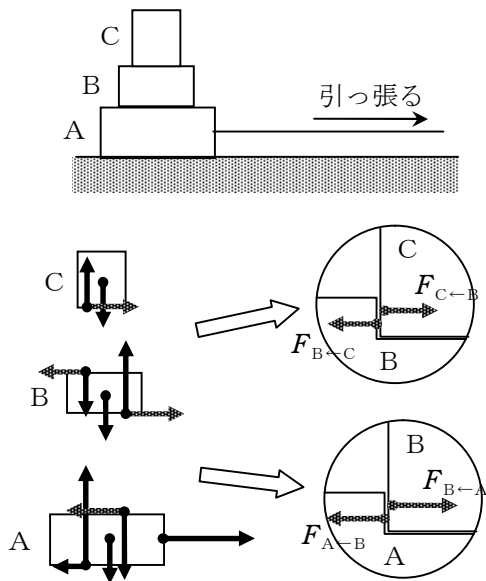


生徒が忘れがちな、棒が摩擦のある壁から受ける摩擦力（図では薄い矢印 F ）を、拡大図のように向きも間違わずに見つけられる。また、壁から受

ける垂直方向も、接垂力という見つけ方に従えば、きちんと、壁に垂直にはたらくという解答に正しくたどりつけるだろう。

7. 積み重なった物体を引っ張る場合の例

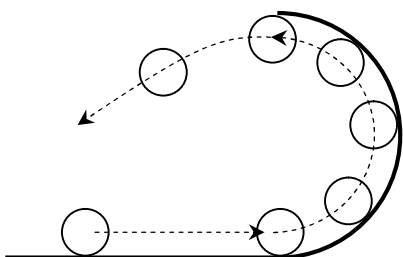
生徒は、積み重なった物体を引っ張るときに、より上に乗っている物体にはたらく力を正しく見つけることができないことが多い。しかし、“聖史式実戦的なはたらく力の見つけ方” および、出っ張りにひっかかるという摩擦力の考え方で、間違うことなくはたらく力を見つけれられるだろう。下の図では、床と物体Aの間と、各物体A, B, Cの間にはいずれも摩擦があるものとしてはたらく力をすべてかいた。



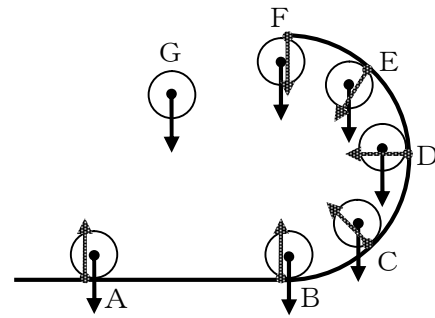
特に、図中に薄い矢印で示した物体間ではたらく摩擦力 (F_{A-B} , F_{B-A} , F_{B-C} , F_{C-B}) の向きを見つけた際に、出っ張りにひっかかるという考え方が、正解へと導いてくれるはずだ。また、“ F_{A-B} ” とかくことで、着目物体も明確になるため、着目物体ごとにはたらく力を見つかる場合の間違いも避けられよう。

8. 垂直方向の円運動の例

さまざまな運動において、“聖史式実戦的なはたらく力の見つけ方” で、はたらく力を正しく見つけることができる例を挙げていく。



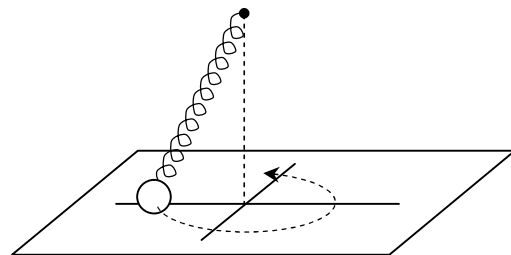
左下の図は、よくある垂直方向の円運動の場合だ。摩擦はないとする。それぞれの位置での物体にはたらく力をかいたものが下図のようだ。



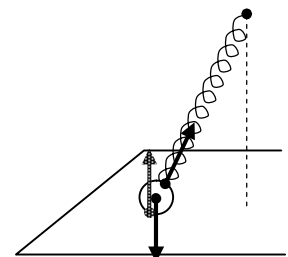
Aから順に垂直方向の向きがB, C, D, E, Fと面によって変化しているのだが、これらの向きは、接垂力という見つけ方で間違えずに見つかる。特に、最頂点Fで円運動をし続けるという条件を求める問題がよく出るが、はたらく力は重力と重力方向の垂直抗力だけであるにもかかわらず、別の力を勝手にかき足したりして、答えを導けない生徒が減った。さらに、その後に物体が落下する場合 (G) は、Fから物体は水平投射運動をしており、はたらく力は重力のみになることも、図をかき、はたらく力を間違えずに見つけれられることでおのずと気がつくのである。

9. 水平方向の円運動の例

次は、筑波大学で以前出題された問題を使って、水平方向の円運動の場合の例としたい。



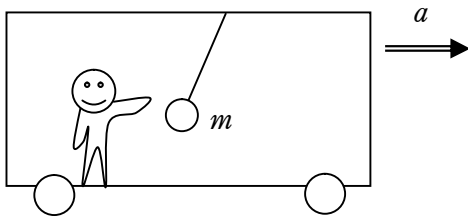
この問題、物体が摩擦のない面上を水平方向に円運動しているのだが、面から受ける接垂力である垂直抗力を見落としがちだ。しかし、“聖史式実戦的なはたらく力の見つけ方” の順番に、物体にはたらく力を見つけていけば、下の面から受ける垂直方向(右図の薄い矢印)も漏れることなく見つけることができるはずである。



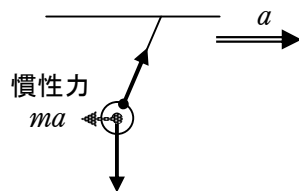
10. 慣性力を考える問題の例

慣性力は、“聖史式実戦的なはたらく力の見つけ方”では、“動いている物体に乗ったときのみ慣性力がはたらき”、“乗っている物体が加速する向きと逆向きに大きさ ma の矢印を機械的にかくように”と強調する。慣性力はみかけの力であり、実際にはたらく力ではないので、考えはじめると向きがわからなくなってしまう生徒も多かったからだ。

一般的な例は、次のような電車の中の単振り子の例だろう。

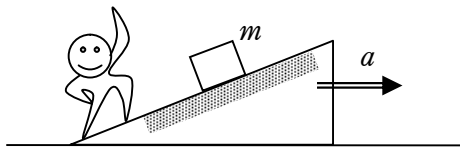


加速度 a で動いている電車内の人から見た質量 m の単振り子にはたらく力は、右図のようになる。慣性力は、一番最後に、図中の薄い矢印のように、“乗っている物体が加速する向きと逆向きに大きさ ma の矢印を機械的にかく”。

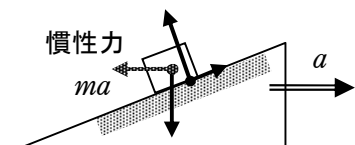


11. 摩擦のある動く台に乗った物体の例

入試問題でよく見かけるのが、摩擦なし（もしくはあり）の三角の台の上に物体が乗っており、その物体が滑り降りると、台も動き出すというような問題だ。ここでは、摩擦ありの斜面で、滑り降りる物体の質量が m 、三角台と床との間の摩擦はなく、物体が滑り降りはじめたら、台は加速度 a で動き出したという場合を例にして、台に乗った人から見た物体にはたらく力を見つかることにする。



やはり、慣性力は、一番最後に、下図中の薄い矢印のように、“乗っている物体が加速する向きと逆向きに大きさ ma の矢印を機械的にかく”ことで、向きに悩むことなく見つけられる。



12. おわりに

“聖史式実戦的なはたらく力の見つけ方”の実例として、いくつかの分野で思いつくものを挙げたが、いずれの場合でも、生徒がよく見つけそこなったり、向きを間違ったり、向きを悩んだりする力を、正しく見つけられるような手助けになっていると自負しているので今回発表したのだが、いかがなものか。多くの物理に携わる先生方が頭を悩ます、着目物体にはたらく力の見つけ方を、この“聖史式実戦的なはたらく力の見つけ方”を参考に解決していただけることを願ってやまない。また、僕の教授法もまだまだ発展途上であるから、多くの意見をいただければ幸いである。連絡先：seiji.sann@gmail.com

13. 物理学の歌「はたらく力の見つけ方」

僕は趣味で（下手の横好き？）作詞作曲をしたりする。実戦的なはたらく力の見つけ方も歌にしたので紹介しよう。

はたらく力の見つけ方

松野聖史

モノにはたらく 力の見つけ方
力は何が何からはたらいているかがミソ

まず考えるモノをきめる
きめたモノに はたらく力は

1番 重力 遠隔力のこと
2番 接垂力 垂直方向に
動いているものに乗ったときのみ
3番 慣性力も忘れないようにね・・・

そのモノが静止もしくは
同じ速さで動いているとき

力はつりあっている または合力がゼロ
力がつりあわないとき それは加速度運動だ

<http://f52.aaa.livedoor.jp/~matsuno/butsuma.html>

14. 先行自著文献の紹介

松野聖史著 他にも歌あります→
「聖史式積み重ね型物理学入門
～力学編～」海鳴社
ISBN978-4-87525-233-7 C7042

