

力のモーメントの「腕の長さ」を理解させる

教具の紹介と実践報告

The Teaching Tool and the Practice to Teach “ Perpendicular Distance ”
of Moment of a Force

筑波大学附属視覚特別支援学校
平野 祐希子

キーワード: 視覚障害 盲学校 モーメント 作用線

1 はじめに —実験器を真似したきっかけと盲学校での困りごと—

(1) きっかけ

筆者は理科教師、特に物理を専門とする教師として、JASEB のように盲学校教員を主な対象とした研究会の他に、一般の中高や大学などで物理を教える教員が多く所属する学会や研究会でも勉強している。そうした学会や研究会の例会などでたくさんの素敵な実践を学ぶと、いつもすぐに真似したい衝動に駆られるのだが、「これは見やすい！！」「この『見える化』はわかりやすい！！」と思っても、「いや、盲学校じゃ見えないし……」と諦めることも多かった。そんな中、物理教育研究会¹で出会った、与野高校の石井さん(2019)¹⁾の「力のモーメント」の実践は、シンプルな手作り実験器を用いているため、見えなくても簡単に生徒ひとりひとりが操作し、結果を確かめることができるものだった。2020 年度のコロナ禍の休校期間中にその教具を真似して作り、2021 年度対面授業にて実践することが出来たので、まずはそちらの研究会で報告した。盲学校の先生方にもぜひ紹介したいと思い、物理教育研究会で報告したもの²⁾に加筆して JASEB の大会でも紹介させていただくことにした。本稿では実験器の製作方法について省略してあるので、そちらについてはぜひ、参考文献 1) の記事を参照されたい。

(2) 「見える化」したって見えない……。

盲学校に赴任する以前は県立の高等学校にいたので、生徒の興味が引けて、かつわかりやすいようにグラフィカルな資料を作成したり、NHK 高校講座や YouTube などの映像を用いたりすることも多かった。本来は見えないはずの力の矢印や粒子の動きなどを模式的に表し、「見える化」するのは理科の教員がどこでも行う努力だと思う。最近ではセンサーを用いて、起きた現象を同時にグラフ化して見せる実践も多い。

しかし、盲学校の生徒たちにとってこれでわかりやすくなるとは限らない。例えば、点字使用の生徒たちは、図解するにも点図を用いることになるが、両手で触れる範囲ずつしか一度に確認できないので、理解に時間がかかる(「パッと見」でわかるようにグラフィカルにしても、意味がない！)。また、文字にアニメーションをつけたり、色を付けたり線を引いたりといった工夫は当然、ほとんど意味がない場合が多い。墨字使用の生徒たちでも、細かい部分は見えない、視野が狭く全体を「パッと見」できない、色覚の問題で色分けされてもわからないなど、一般に行われている工夫が通用しないことが多いのである。特に、実物を触らせることのできない昨年のリモート授業期間は大変苦労した。

¹ 物理教育研究会 <https://apej.org/>

(3) 補助線がとても使いづらい

補助線や引き出し線を用いて図の補足をするとその分、図の中の線の種類・本数が多くなる。点字では、線が多いと実線と点線の区別も難しく、例えば交差している線が分岐しているのか上下に重なっているのかを見分けるなど、私たちが当たり前にしていることでも困難なことが多い。弱視で墨字使用の生徒に対して授業をする上での難しさは(2)に述べた通りである。すると、図を作成するときにはできるだけ補助線の本数を減らしていくことが必要になる。たくさんの図を見ることは時間がかかるので図そのものの数を減らしたい一方、1枚に収めようとする補助線が多くなってしまいうので、結局、必要な部分は文章で補足することが多い。

(4) 力のモーメント「作用線との距離」

授業で一度扱って、生徒の中で実際の装置や現象と図が結びついているものであれば、文での説明と、補助線を省略した図でも十分伝わる。しかし、理解が不十分な状態ではそうはいかない。

力のモーメントを扱う際、2021年度までの本校のカリキュラム(高1で物理基礎2単位、高2と高3で物理を2単位ずつ²⁾)では生徒は数学でベクトルを学習し始めたばかりである。特に点字使用の生徒は作図がほぼ不可能なため、中学理科～物理基礎の段階の力の合成・分解では、通常の高校生のように自由自在にベクトルを平行移動して考える力を身に付けることにはとても時間がかかる。

また、「力×距離」の「距離」がどここの距離なのかは、小学校のてこの学習より「回転軸と作用点」の距離というイメージがあり、これを「回転軸と作用線」と書き換えるのを難しく感じていた。そこで、参考文献1)の実践のように、実験の中で実際に「作用線上で力を移動させる」経験をすれば、視覚障害があっても正しい力のモーメントのイメージを作れるのではないかと考え、真似をしてみることにした。

2 実践報告

(1) 対象生徒

高校2年生の物理選択者2名。うち1名点字使用、1名は墨字使用の生徒である。希望進路は理系4年制大学。今のところ2人とも物理学科に行きたいらしい(ちょっと嬉しい)。

(2) 実験器のアレンジ

参考文献1)の実験器は両手ですぐ全体を把握できる大きさであり、また孔はもちろん触って確認できるので、ほぼそのまま盲学校でも使うことができる。どこの孔に注目しているかは回転軸との位置関係で確認することができるが、円盤が回転したときにどこかわからなくなる可能性があるので、図1のように直径1本に糸で線を引き、触るときのガイドになるようにした(この程度なら全体のバランスにさほど影響はなかった)。また、弱視の生徒が見てわかりやすいように、孔のまわりは黒いマジックで塗って強調した。

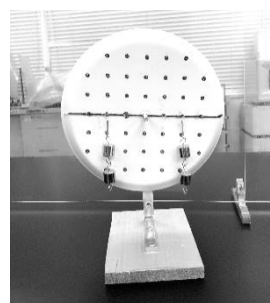


図1 モーメント実験器

²⁾ 本校は2022年度より年次進行で新カリキュラムに移行しているため、高2で物理基礎が地学基礎を選択必修、高3で物理を自由選択という形になった。そのため、新カリキュラム対象の生徒はある程度高校数学を身に付けてから物理を学ぶことになる。

(3) 実践メモ

A 導入 「手がつらい」から「回転に関係する何か」まで

1. 導入として、細長い板の端を持って上におもりをのせ、おもりの位置を手の近くから徐々に遠くしていく実験(図2)(小沢、2015)³⁾を行った。特に点字使用の生徒は、おもりが板のどの位置にあるのかがわかるように、板を持っていない方の手でおもりの位置を確認しながら行う必要がある。今回は細長い板として1 mの定規を用いたので、もう1人の生徒が「今、手から〇cmのところにおもりがある!」と補足してくれた。また、見えない状態で板の水平を保つのは難しいので、おもりが落ちてでも安全のように工夫した方がよい。足の甲に落ちないように板の位置を調整したり、落としても安全な柔らかいおもりを用いたりといったことが考えられる。今回はガムテープをおもりとして用いた。おもりが手から遠くなると、生徒は見事につらそうになり、「おもりの質量が変化しなくても『手のつらさ』=手にかかる力? が変化する」とこの時点では確認できた。しかし、板の端をクリップで台ばかりに固定して、手で持ったときと同じように、台に固定した部分からおもりの位置を遠くしてもはかりの値が変わらないことから、「手にかかる力は変わっていない?!」と2人とも困惑する。



図2 細長い板とおもり

2. 参考文献2)の実践と同じように、2台の台ばかりに1.と同じ細い板を渡し、1.と同じおもりをいろいろな位置に置いて台ばかりの値を確認する(図3)。このとき、2人とも1.の結果より値は変わらないと予想したが、実際にはおもりの位置によって台ばかりの値は変化する。この結果から、生徒は「1.の『手のつらさ』は本当に手にかかる力だったのか」と疑問を持ったので、改めて1.の細い板を手で持つ実験を行った。すると、「板が重くなるといふより、板の上を指で押さえる力が大きくなる気がする」→「板の下を支える指を支点としたシーソーのようないふことを考えると、1.と2.の実験の結果が説明できる『気がする』」ということで2人とも納得した。このようないふには「手のつらさ」に関わる「力」とは別の何かがあるだろう、その「何か」について考えてみよう、といった流れになった。
3. シーソーの話が出てきたので、何とか回転の話に近づけようとして、「シーソーは軸を中心に棒が回転する遊具と言える」「勝ち負けは力だけでも作用点だけでも決まらない」と言ったことを話し、「手のつらさ、シーソーの勝ち負けは『回転させやすさ』と関係しよう」と(無理やり)つなげた。



図3 2台の台ばかり

B 本編 力のモーメントを考える

0. 「回転させやすさ」を考えるために使う道具として、参考文献1)の実験器を生徒に紹介した。盲学校なのでここに時間がかかる。まず円盤の中心に回転軸があり、土台と軸が一体となっていて、円盤が外せることを説明するついでに、回転の向きが時計回りと反時計回りの2方向あることを強調しておいた。また、直径が水平になる状態を「基本ポジション」として、貼ってある糸をx軸、中心(この状態での回転軸)を原点O、Oを通りx軸と垂

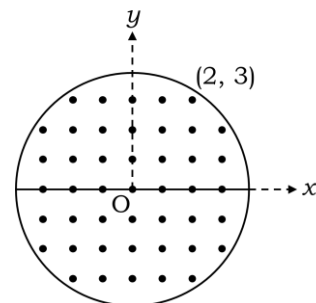


図4 円盤上のイメージ

直に y 軸があると考えた約束をした(図 4)。おもりをつける課題で、場所を探すのに時間がかかるため、(2, 3)のように指示をできるだけ短くすること、 x 軸からたどって探しやすくなることが目的である。実験器の孔に付けるおもりについて、1 個 25 g であり、2 個を孔に引っ掛けることで 0.50 N の大きさの力で円盤を下に引くことも確認した。ここから先は、基本的に参考文献 1)の実践の課題 1~4 を行った。

1.

課題 1 おもり 2 個を(2, 0)の位置に下げたときと、2 個を(-3, 0)の位置に下げたときで、どちらの方が「回転させやすさ(回転させるはたらき)」は大きいのか。また、それはどのようにすれば確かめられるか。

小学校で用いられる天びんの実験などを根拠に、2 人とも「(-3, 0)の位置に下げたとき」と答えた。確かめ方は、2 つの位置におもりを下げて、どちらに回るか確かめる方法しか出なかった。参考文献 1)の実践では、回転する勢いや速さに着目する意見が出たクラスもあったようだが、盲学校では運動の途中の様子を見ることが困難なため、運動の前後の変化から間を予想することが多いことが理由で、このような意見は出なかったのか。または、単に 1 つ目の意見に納得してしまったということなのか。

ここで、「物体を回転させるはたらき」を「モーメント」ということを教え、「モーメントの大きさはどう表すか」を質問した。課題 1 の根拠に小学校で学んだ天びんの考え方が出てきたため、「力 \times 距離」という意見がすぐに出てきた。当然ここでは「距離」が「回転軸と作用線との距離」であることはわからないので、とりあえず、モーメントには右回りと左回りがあり、その大きさを M とおくと $M = FL$ となりそうだと、とした。

2.

課題 2 おもり 2 個を(2, 0)の位置と (-2, -2)の位置に下げると、右回りと左回りのどちらのモーメントが大きいのか。

直前に $M = FL$ ということを確認したので、それを根拠に 2 人は左回りと予想した。確かめの実験(図 5)を行い、回転しなかったことで 2 つのモーメントが等しく、「 $M = FL$ は正しいのか？」という疑問が生まれた。 F と L のどちらかを見直すならば L だろう、おもりを(-2, -2)から(-2, -3)に変えてみたらどうか、という意見が出て、確かめたら当然回転しなかったことから、 L は「 x 方向の距離」なのではないかとなってしまった。惜しい！ と思いつつ、それ以上には議論が進まなそうだったので、ここで「モーメントを求める際の L とは、力の作用線と回転軸との距離である」と教えてしまった。今こうして振り返ると、「なぜ作用点を y 方向に動かしても回転しなかったんだろうね？」などと質問し、「力の方向が下向きだから、左右に動かさない限りモーメントは変わらないはずだ」と生徒から引き出すこともできただろう。反省。

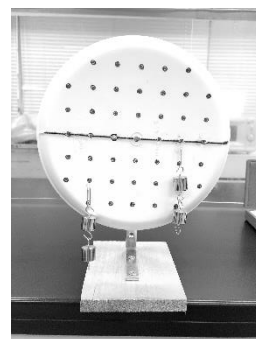


図 5 課題 2

3.

課題 3 おもり 2 個を(2, 0)の位置に下げ、(-2, 0)の位置にばねばかりをかけて下に引っ張ると 0.50 N を指す。ばねばかりを引く向きを斜め左下にすると、ばねばかりの値はどうか。

参考文献 1)の実践ではばねを使って長さの変化を見ていたが、予備実験で目をつぶって試したところ、手の感覚で長さの変化を確認するのは困難だったため、触ってわかる目盛りのシールを貼ったばねばかり(図 6)を用いた。

2 人とも、「値は大きくなる」と正解を予想することはできていたが、力を分解して腕に垂直な成分を考える意見は出なかった。理由の一つは直前に「力の作用線と回転軸との距離」を確認したのが印象に残っていることだろう。さらに、1. (3)で述べたように力の合成・分解、ベクトルの移動にまだ慣れていないことも大きかったのではないか。力の分解による考え方はこちらから紹介してしまったが、生徒から引き出したかった。

確かめの実験の後、ばねばかりを引く方向を定規で延長し(図 7)、作用線と回転軸との距離を確認した。ばねばかりで引く角度を変えていき、作用線が回転軸と近づくにつれてばねが伸びて、力が大きくなり、回転軸と重なるといくら引っ張ってもつり合わないことに生徒が気づいた。「モーメントが 0 だからこの力に回転させるはたらきがない」とも言っていた。今思えば、ここの流れで「力を分解し、腕に垂直な成分と、モーメント 0 で回転に関係ない平行な成分に分ける」というように持ってくればよかったような気もする。また反省。

4.

課題 4 (1, 0)の位置を回転軸にすると、左回りに回転する。円盤は約 160 g である。 $(-3, 0)$ の位置をばねばかりで鉛直に支え、軸の線が水平な状態を保つ。ばねばかりの値は何 N になるか。

ここでは、今までの課題で考慮しなくてよかった重力のモーメントも考える必要がある。重力に着目させるためのヒントのつもりで、円盤をばねばかりにつりさげて重力を量ってみせた。しかし、左回りのモーメントを考える上で、円盤の重力を用いることは 2 人からなかなか出てこなかった。正解は、(0, 0)から鉛直下向きに約 1.6 N の力がはたらいていると考え、(1, 0)からの距離のから計算して約 0.4 N となる。円盤の重力を使うことに気づいた後は、正解を導くことができていた。モーメントに着目するということを強調するあまり、生徒にとっては「円盤に吊るされた何らかの物体から、円盤が受ける力」について考える作業となっており、「円盤にはたらく力」を全て見つけ出すという、物理基礎で身につけているはずの基本が抜け落ちてしまったのかもしれない。右回りと左回りのモーメントの比較という新しい考え方の定着と同時に、今までの学習で身に付いているべき基本についても確認していかなければと思われた。

C 実践を終えて

ここまで、全体で 3 時間かかっている。週に 1 回、2 時間続きの授業なので、1 週目の 2 時間目に導入、2 週目に 2 時間かけて課題 1~4 を行った。2 人しかいないが、実験装置の把握などに時間がかかるため、これだけの時間がかかった。しかし、もう少し生徒の声を待っていればよかった点がいくつか出てきていることを考えると、あと 1 時間くらい計画しておいてもよかったかもしれない。

この後、本校ではまだベクトルの学習をしていないので力の合成についてみっちり 2 時間、重心の学習と演習に 1 時間ずつかけた。2 人とも寄宿舍生活をしており、演習に関しては、



図 6 ばねばかり

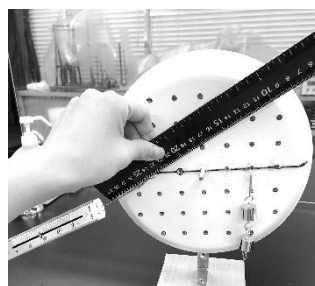


図 7 作用線を確認

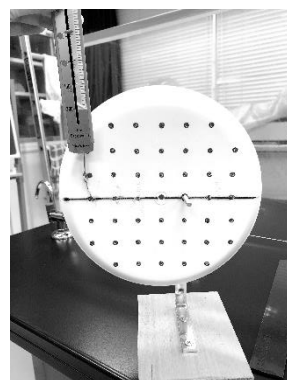


図 8 課題 4

いつも次の授業までに2人で教科書や問題集の問題を解いて教え合い、わからないところをまとめて質問する習慣ができています。盲学校では理系進学希望の仲間が少なく、視覚障害のために予備校などに頼れない部分もあるため、仲が良いことは非常に重要だと思っている。

3 さらに工夫できそうなこと ―他の物理教員からのアドバイスより―

(1) 力の矢印について

生徒にこの課題に取り組ませると、どうしても「おもりが円盤を引く力の大きさ」ではなく「おもりの個数」として意識してしまう。そのために、おもりにかかる重力について言及したり、課題3や4ではばねを用いたりすることで力に意識を向けるようにしている。さらに、力の矢印を書かせる活動などを入れることで、力について強調することができるという提案があった。盲学校では、例えば図9のように型紙などで作った矢印を、円盤に当てて説明させるようなこともできる。

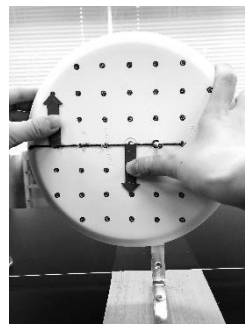


図9 力の矢印

(2) 実験器の材料について

(1)で例に挙げた、「型紙などを用いて矢印を作り、円盤に当てて説明させる」活動を簡単にするため、製作の手間はかかるが、鉄製の板を円形に切ったもので実験器を作成する提案があった。この方法を用いれば、円盤に矢印形に切った磁石を貼ることもできる。すると、手で矢印を押さえる必要もなくなるので、いくつもの矢印を同時に表し、両手を使って全体像を探ることもできる。

4 おわりに

今回は参考文献1)の真似をして、生徒2人にモーメントの考え方の基本を身に付けさせることができた。 $M=FL$ の L が「作用線と回転軸との距離」であることを、盲学校の生徒にとって時間のかかる図解を用いずに、実験で理解できた。盲学校の生徒たちが現象を自分たちの手で理解するためには、シンプルな計画と道具が不可欠であり、その用意が大切なことを改めて感じる。ここまでプランを練り上げてくれた石井さんに感謝を申し上げたい。生徒が手を動かして理解したことに関しては、例えば演習問題で多少複雑な図があっても、自分たちで取り組めるようになっていく。今回、簡単に条件を変えてすぐに結果を確かめられる道具だったため、生徒たちは課題以外にも勝手に色々と考え、試し、話し合う様子が見られた。今回の発表を快諾してくれた2名の生徒にも感謝である。多くの生徒は本校に入学する前、実験を自分で最初から最後まで行う経験をしていない。今回のモーメントの実践のように、生徒自ら手を動かし、深く思考することのできる、シンプルな授業を今後も考えていきたい。

参考文献

- 1) 石井登志夫「物体を回転させるはたらき」『物理教育通信』第177号(2019), 8-14.
- 2) 平野祐希子「盲学校で力のモーメントを教えてみて」『物理教育通信』第185号(2021), 7-14.
- 3) 小沢啓「授業研究: 力のモーメントと重心」(YPC(横浜物理サークル) 例会アルバム 2015年01月例会のページ(2015)より)Retrieved from <http://www2.hamajima.co.jp/~tenjin/ypc/ypc151.htm> (accessed 2021.5.17)