

「てこのはたらき」の指導法について

—科学の認識を深められるような理科の授業をめざして—

細谷 弘和¹

小学校高学年で、数量的なきまりが詳しく扱われる「てこ」を研究教材として取りあげた。予想を立て討論しそれを検証するために実験する、という授業を展開し、その過程で子どもたちがどのように「科学の認識」を深めていくのか考察した。また、「つり合いのきまり」を応用した問題作りや、道具製作の導入を試み、それらの実践と分析を通して、指導法についての研究を進めた。

はじめに

本研究では、まず理科教材史に「てこ」の足跡を追って、取り扱われた背景やねらいを探ることから始めた。これは、科学の古典を検討し、教材の構造を調べることが、授業過程を検討するのに役立つと考えたからである。

また、子どもたちが、「科学の認識を深める」ということについては、「今まで知らなかった自然界のしくみをはじめ知ったり、これまで日常的な感覚でしかとらえられなかったことを筋道立てて考えられるようになったりする」ことととらえた。

このような観点から、授業実践では「科学的認識の基礎が仮説と実験にある」という理論に基づいて提唱された「仮説実験授業」の導入を図った。実際の授業を通じ、子どもたちがどのような思考過程をたどるのか分析し、科学的な認識にかなう指導法を模索した。そして、子どもたちが興味・関心を持って、基礎的な力学の概念を体得していけるかどうかを検討した。

研究内容

1 理科教材史の変遷からみた「てこ」

教育課程と教材変遷にさかのぼると、日本で初めて本格的な教育制度が導入された明治時代から、現在に至るまで「てこ」は継続して取り上げられてき

たことがわかる。小学校に「理科」と称する教科がはじめて置かれたのは、1886（明治19）年である。このとき「小学校ノ学科及其程度」では、新設された理科の「程度」が45項目記されており、その中に「滑車・天秤」などととともに、既に槓杆（てこ^{こうかん}）が取り上げられていた。

また、この教材は理科から除かれ、算数・数学の領域で取り扱われていた時代があった。たとえば、1935（昭和10）年に使用が開始された『尋常小学算術』と、その後使用された『初等科算数』『中等数学』に力学教材が多く見られ、「輪軸・滑車」といっしょに「てこ」も取り上げられた。（永田 1994）

一方、現行の小学校理科の教科書では、「てこの実験器」を用いて横棒が水平につり合うための条件として「おもりの数と支点からの距離の積が等しい」というきまりを数量的に求める内容がある。

2 指導法の検討

前節までの経緯から「てこ」の数量的な視点を考慮して、指導法について考察を進めることにした。

(1) 仮説実験授業とその認識論

本研究で取り上げた「仮説実験授業」は「科学上の最も基本的な概念や原理・原則を教えるということを目指した授業」として、昭和38年に板倉聖宣により提唱された科学教育の理論ならびに方法である。（日本科学史学会 1966）この方法を実践授業に取り入れた理由は、実験というものが科学認識においてどのような役割を果たしているのか明確に示されている点に注目したからである。すなわち、「実験の本質とは、対象に対して目的意識的に問いかける

1 平成10年度 長期研修員（初等理科）
開成町立開成小学校

ことにある」ということと、「目的意識的な考え(予想)を確認しようとする活動によってはじめて単なる感覚をこえた認識が成立する」(板倉 1969)としている点である。

(2) 授業書について

仮説実験授業は、研究会で作成された「授業書」というものを中心に授業が展開される。「授業書」にはいくつかの「問題」が設定されており、それらの「問題」について一人ひとりが予想を立て、理由を発表・討論し、実験して結果を確かめる。そして、一連の「問題」を繰り返す中で一般的にはこうではないかという仮説が立ち、目標とする概念・法則が認識できる、とされている。

(3) 授業書の構成

次に授業書で取り扱われる内容を現行の教科書と比較し、指導法を検討した結果、実践授業では授業書『トルクと重心』(仮説実験授業研究会 1988)の中から「てことトルク」「天びんとさおばかり」を、そのまま適用することにした。

ア トルクという言葉の導入

授業書では「支点からの距離×力の大きさ」を「ものを回すはたらき」としてとらえ「トルク」という言葉で表している。(トルクはもともと工業系の分野でモーターなどの回転のはたらきを示す言葉である)そして、いつも「どちら回りのトルクが大きいか」(どちらに回転するか)ということを考えていく。教科書では、てこの「ぼうをかたむけるはたらき」という言葉で表されている。

イ トルクの加法性

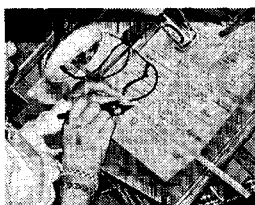
授業書では腕の複数の場所に力を加える場合についても取り上げている。それぞれのトルクを加算することで、つり合いや回転方向を考えていく。

ウ 長さ、力、トルクの単位について

「てこの実験器」で実験するとき、長さをコマ数、力をおもりの個数で表すと便利なことから、授業書ではトルクをコマ・個力という単位で表し、これを実践授業で使った。教科書では「ぼうをかたむけるはたらき」の単位は扱われていない。

エ つり合いのきまりを利用した道具作り

学習の最後に全員がさおばかりを自作した。目盛りを一つ一つのおもりとつり合わせてつけていく方法もあるが、既知の重さのもの一つを使っ



て等間隔につけていく授業書のやり方で製作した。

(4) 実際の授業について

ア 展開の工夫

(ア) 数量に着目しやすいように

いつも「てこの実験器」の図に「支点の印」「支点からの距離」「力の矢印」「トルクの矢印」を順に色分けしながら書き込んでいくように指示した。矢印を記入することで、目に見えない「力」と「トルク」をイメージし、「力」と「ものを回すはたらき=トルク」を区別しやすくすることをねらった。

(イ) 問題作りについて

授業書では、それまで学習した内容をもとにして子どもたち自身が「問題」を作り、それを解いていく内容がある。今回は、できるだけ多くの問題を班の中で出題し合い、解いていく展開にした。

イ 授業計画

平成10年10月、足柄上郡開成町立開成小学校5年3組39人の児童を対象に授業を実施した。

第1時	<ul style="list-style-type: none"> ・「てこの実験器」の支点、右・左回りを確認する ・支点からの距離、力の矢印の書き方を確認する ・【問題1】①～③ (1, 2, 3) コマ×1個力と1コマ×2個力ではどちらに回るか?
第2時	<ul style="list-style-type: none"> ・【問題2】4コマ×1個力とxコマ×2個力をつり合わせるにはおもり2個をどこにつるせばよいか? ・【研究問題1】どういとき水平につり合うか、班ごとに実験して、そのきまりをみつける
第3時	<ul style="list-style-type: none"> ・【新しい科学の言葉】自分たちと科学者たちが見つけたきまりを比べ、ものを回すはたらきをトルクと呼ぶことを知らせる ・【練習問題1】①② トルクの計算練習をする ・【トルクの単位】長さ、力、トルクの単位を確認する ・支点からの距離、力の矢印、トルクの矢印の書き方を確認する ・【問題3】6コマ×3個力と5コマ×4個力ではどちらに回るか?
第4,5時	<ul style="list-style-type: none"> ・【練習問題2】5コマ×2個力と3コマ×3個力ではどちらに回るか? ・【問題4】【練習問題2】の右側に1コマ×1個力を加えるとどちらに回るか? ・【問題5】5コマ×2個力と4コマ×3個力がつり合うにはおもり1個をどこにつるせばよいか? ・【問題6】① 3コマ×3個力+2コマ×1個力と1コマ×2個力+4コマ×2個力ではどちらに回るか? ・【問題6】② 【問題6】①をつり合わせるには?
第6時	<ul style="list-style-type: none"> ・【研究問題2】自分で問題を作る ・【研究問題3】作った問題を班で出し合う
第7,8時	<ul style="list-style-type: none"> ・さおばかりを作り、いろいろなものの重さをはかる
第9時	<ul style="list-style-type: none"> ・テスト問題を解き、授業を受けての感想を書く

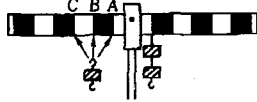
3 結果と考察

(1) 子どもたちの思考過程

授業で取り上げる数量的なきまりは「支点からの

距離×力の大きさ＝トルク」と「おもりが複数の位置につり下げられる場合のトルクの加法性」である。その形成過程を授業記録と一人ひとりが記述した理由から追い、各問題における子どもの予想人数（討論の前後）及び、正答率（%）を記した。

【問題1】①おもりの数に着目（Aにおもり1個つけるとどうなるか？）



「Aにつけると2個の方が1個より重いから右に回る」38人→39人（100%）

【問題1】②支点からの距離も問題に→遠くなると重くなる（Bにおもり1個つけるとどうなるか？）

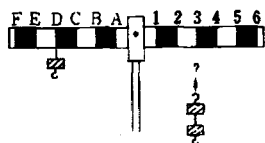
「たんじゅんにおもりの重い右に回ると思うから」4人
「Bだと支点から離れて重そうだから左回り」10人→8人
「おもりが右や左にいくと重くなっていくから、おもりの数と2個でもつり合う」25人→27人（69%）

【問題1】③コマ数+おもりの数 という子どもの仮説が出る（Cにおもり1個つけるとどうなるか？）

「おもりが右や左にいくと重くなるし、Cだと3コマはなれているから左に回る」「おもりの数とコマをたして、①は右が3で左が2で右に回って、②は両方とも3でつり合って、③は左の4の方が多から左に回る」36人（92%）

【問題1】①では、おもりの数に着目して、数の多い方に回るとい理由を発表していた。②では、おもりの重さだけでなく、支点からの距離にも着目し、シーソー遊びの経験から端へいくほど重くなると指摘した子どももいた。そして、③で、つり合うか考えるときは「コマ数+おもりの数」を計算すればよいという意見が発表された。なお、多くの子どもが理由にあげた「支点から遠くなるとおもりが重くなる」という誤った表現は、第3時トルクの計算の学習後は、ほとんど見られなくなった。

【問題2】子どもの仮説が実験により否定（下図で、つり合う位置は？）



「1コマ=おもりの1個分、だから3番でつり合う」
「4コマ+1個=5、3コマ+2個=5になり、3番でつり合う」36人→39人

【研究問題1】新しい仮説（班でつり合いのきまり調べ）

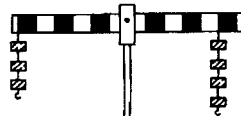
右のつり合いの表を完成させて、気がついたきまりを出し合う

「数字が逆になっている」
「かけ算（コマ数×おもりの個数）の答えが同じになるとつり合う」→科学者のみつけたきまりと比べる

左側のおもり	右側のおもり
2番めに3個	1番めに6個
〃	2番めに3個
〃	3番めに2個
〃	6番めに1個
4番めに2個	1番めに8個
〃	2番めに4個
〃	4番めに2個

【問題3】仮説が正しいことを確認（トルクを使って）

「右回りのトルクが5コマ×4個力=20コマ・個力で、左が6コマ×3個力=18コマ・個力だから右に回る」35人（90%）

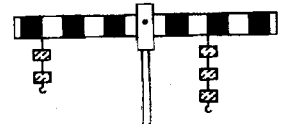


【問題2】では、かなり自信を持って実験結果を予想し、「おもりの個数+コマ数から考える」という理由をあげていた。なんとなく他の予想をしていた子どももこの説明を聞いて予想変更し、全員が「3番でつり合う」と予想した。しかし、実験では子どもたちの予想とはちがう結果が出たため、大きな驚きの声があがった。次の【研究問題1】では、新しいきまりを見つけるための実験を8つの班に分かれて行った。いろいろ試してつりあう位置を見つけたとき、歓声をあげ喜ぶ班もあった。そして、気がついたきまりを発表してもらい、トルクについて確認した。



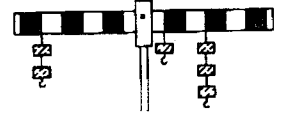
【練習問題2】トルクの考えを適用して計算できる（下図で、棒はどうなるか？）

「左は5コマ×2個力=10コマ・個力、右は3コマ×3個力=9コマ・個力で、左回り」39人（100%）



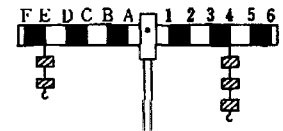
【問題4】2か所につりあう場合が検討される（下図で、棒はどうなるか？）

「今度は右回りのトルクをもう1コマ・個力たしたからつり合う」35人（90%）



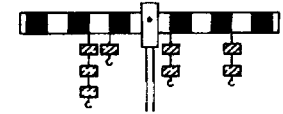
【問題5】トルクの加算がつり合わせることから検討される（あと1個のおもりをどこにつるせばつり合うか？）

「右回りのトルクは12になって、左は10で、そのまま右回りになる。Bにつるすと左回りのトルクは全部で10+2=12になるからつり合う」35人（90%）



【問題6】①両方の腕2か所につりあう場合が、検討される（下図で棒はどうなるか？）

「3×3+2×1=11で、左回りのトルクの方が多いから左に回る」32人（82%）



【問題6】②つり合わせることでトルクの加算が確認される（①で、あと1個のおもりをどこにつるせばつり合うか？）

「右1コマ目にもう1個つけると、右回りのトルクが1×3+4×2=11にふえるから、つり合う」21人（54%）

おもりを2か所につるすとき、各々のトルクをたせばよいということに、すぐ気づき発表していた。

【研究問題2、3】で、子どもたちが作った問題を分類すると以下ようになった。

- ・おもりを左右1か所ずつ下げ、棒はどうなるかを問う問題…15題
- ・おもりを左右1か所ずつ下げ、つり合わせる問題…21題
- ・トルクの加法性を利用し、棒はどうなるかを問う問題…8題
- ・トルクの加法性を利用し、つり合わせる問題…12題
- ・その他…2題（おもりを減らしてつり合わせる、おもりを1つはずして右まわりにする）

自分で理解できていることを出題できるうれしさからか、班で問題を出し合う授業が一番楽しかったという感想もあった。

(2) 授業に対する感想と事後評価から

今回の授業に対する内面的な気持ちや、内容の理解について、感想やテストから分析してみた。

●数量的な観点、トルクやその加法性について

- ・算数と理科ががったいたみたいだったから、けっこうおもしろかった。理科でもかけ算をするんだなと思いました。
- ・やっとトルクの計算が出てきた。計算でどっちが何まわりとか、つり合うとかわかって、すごいなと思いました。たし算じゃなくて、かけ算で考えるんだなあ。
- ・2か所や3か所につける場合は、かけてからたすことがわかってよかった。おもりをふやしたから楽しかった。

●予想、討論、実験について

- ・予想を立てなければ、実験して結果を求めるだけだけど、立てれば、実験してあたっていたらうれしいから、立てた方がいい。あと、自分の考えをもった方がいいから。
- ・自分でわからないことがあっても、人の意見を聞くとわかるようになる。他の人の発言を聞いてなっとくするのはいいことだと思う。
- ・「水平につりあえ！」って思ったこともあったけど、やっぱりきんちょうしたな。ぼくの予想がはずれていないか心配だった。

●問題作り・さおばかり作りについて

- ・グループで問題を出し合ったりするのが、とってもおもしろかった。さおばかりを作ってから家でいろいろなものはかったりして、作ってよかったなあと思いました。
- ・またやりたい。今度はむずかしくして友だちに問題を出したいなあ。

●関心・意欲について

- ・とてもたのしかった…32人
- ・たのしかった …7人
- ・どちらともいえない…0人
- ・つまらなかつた …0人
- ・もうやめてほしい …0人

●内容の理解について

- ・とてもよくわかった …26人
- ・わかった …12人
- ・どちらともいえない …1人
- ・わからなかつた …0人
- ・全然わからなかつた …0人

●テストについて () 内は正答率

- ①トルクの考え方を使って解く問題 (87% 92% 100%)
- ②トルクの加法性を使って解く問題 (82% 85% 85% 87% 90%)
- ③トルクという言葉そのものを問う問題 (87%) 平均89.6点

授業後、多くの子どもたちが「理科の授業でも算数の計算が使われるんだなあ」という驚きを示したことは、かつて「てこ」が算数・数学の領域で取り扱われていたという教材史の流れと合致して興味深い。また、最初にみつけたつり合いのきまりが実験によってはっきりと否定されたことから、かえって計算することが印象に残ったようである。

一方、子どもたちの感想文を見ると、予想、討論、実験のそれぞれの過程に対して、実に多様な見方や考え方をしていることがわかる。

たとえば、「予想して自分の考えを立ててから実験した方がいい」という主体的に考える姿勢を確立していること。また、「討論は予想を変えたり、内容がよくわかったりするので大切なことだ」と、自分の考えを友だちと比べたり、他の意見を取り入れ

る点から討論のよさを認めていること。さらに、「あまりにもきんちょうした実験だった」「おもりをつるすとき、どうなるのかわからないから、どきどきした」という実験への高い関心のあらわれなど、子どもたちなりの受けとめ方をしている。

そして、授業のはじめのころ「支点から遠くなると、おもりが重くなる」という表現をしていたものが、筋道を立て数量的に考えられるようになった点から、「科学の認識を深められるような理科の授業」にわずかでも迫れたのではないかと結論づけた。

おわりに

初等理科教育においては、子どもたちにできるだけ多くの感激、驚き、不思議だなあという感銘を実験によって味わってもらいたいと考える。このことが、科学に対する認識を深めることにつながると思うからである。

今回、仮説実験授業を取り入れた「てこ」の指導法を研究して、「科学の認識を深める」ために、さまざまな予想や仮説を順序立てて投げかけていく実験を、授業の中に組み込むことが大切であるとわかった。そして、このような過程を積み重ねるなかで、子どもたちは「確実に正しい予想を立てられるようになる満足感」から「筋道を立てて考えることのよさ」に気づき、それが実践授業のとき、喜びやたのしさとしてあらわれたのではないかと考えた。

また、理科教材の指導法を考察する際に、教材史にも目を向けることが有効であると実感できたので、今後他の教材を検討するときにも活かしていきたい。

引用文献

- 1) 板倉聖宣『科学と方法』季節社1969
- 2) 授業書『トルクと重心』仮説実験授業研究会より「てことトルク(トルクの原理)」「天びんとさおばかり(さおばかりつくり)」1988
- 3) 永田英治『日本理科教材史』東京法令出版1994
- 4) 日本科学史学会『日本科学技術史大系教育3』第一法規出版1966

参考文献

- 1) 板倉聖宣『授業書研究双書 てこ・滑車・仕事量』国土社1988
- 2) 竹田美紀子『トルクと重心』ガリ本図書館1995