

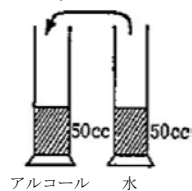
「どんなものでも、2つのものをあわせたものの重さは、もとのものの重さをたしたものになる」。小学校3-4年生ともなれば、ほとんどの子どもが、この言葉に「それもそうだ」とうなづくことでしょう。それなら子どもたちは、文字通りどんな具体的な問題についてでも、この命題をあてはめて考えることができるのでしょうか。実際の授業の場面を見てみましょう。

(以下、仮説実験授業研究会編 授業書《ものとその重さ》に基づき、愛知県の公立小学校4年生で実際に行われた授業の記録(1985.12.5)を用いています)

まず、先生から次のような問題が配られました。

〔問題6〕(2) こんどははじめに、アルコールと水とを  $50\text{ cm}^3$ ずつとって、その重さをはかっておきます。

アルコール—体積 $50\text{ cm}^3$ の重さ	いれものごとで	172	g	
水	—体積 $50\text{ cm}^3$ の重さ	いれものごとで	185	g



このアルコールと水とをまぜあわせたら、その重さはどうなるでしょう。

子どもたちはすでに、重さの加法性について、「ものが液体の上に浮く場合」、「ものが液体中にある場合」、「ものが液体にとけて見えなくなった場合」、「2つのものの間に化学変化がおこった場合」といったいくつかの問題を学習してきました。そして昨日、「〔問題6〕(1) :  $50\text{ cm}^3$ のアルコールと  $50\text{ cm}^3$ の水をまぜたら、体積はどうなるか」に取り組んだところでした。全員が「ちょうど  $100\text{ cm}^3$ ぐらい」と予想をたてたのに、実験結果は「 $96\text{ cm}^3$ 」ということで、子どもたちは大変に驚きました。それをうけて今日は「2つのものを加えて見た目の体積が減った場合に重さはどうなるか」を学習しようというのです。子どもたちの考えは次のようでした。

予想 (話し合い前)	
ア ふたつの重さをたしたものになる (ふたつのいれものごとで $357\text{ g}$ になる)	7人
イ ふたつの重さをたしたものよりへる	21人
ウ ふたつの重さをたしたものよりふえるだろう	2人
エ まったく予想がたたない	5人

予想をたてたあと、考えが話し合われました。

(発言者氏名のあとの( )は、選んだ予想を示します)

ヨリノ(ウ):アルコールと水をまぜるとへんなことばかり起こるでしょ。足したら  $100\text{ cm}^3$ なのに  $96\text{ cm}^3$ になったり。もう不思議だもん。ウにした。

トシヒロ(ア):さっきやったのは量で、今度は重さ。足せば量は減るかもしれんけど 中に入っていたアルコールとかはメスシリンダーから出たりはしないから、重さは変わらないと思う。

ミカ(イ):だけど、かさがあるから重さもあるんだから、かさが減ったらやっぱり重さも減るはず。なんで量が減っても重さが同じになる?

トキコ(エ→イ)：わたし予想変える。ミカちゃんの意見に賛成。

カオル(イ)：まぜた分量はいっしょでも、アルコールと水は少し性質が違うもので、いっしょになっちゃってかさは減るの。

ミエ(イ)：アルコールが水の重さを吸いこんじゃうかもしれんで、イ。

トシヒロ(ア)：そしたらアルコールに水の重さがきてね、重さは足したようになる。

トモカ(イ)：アルコールが水を吸いこんで、水の量が消えちゃうっていうか、なくなっちゃうっていうことでしょうか？

リョウジ(ア)：「水は消える」っていうなら、その消えた水はどこにある？

ミエ(イ)：アルコールの中のどこか！

アツシ(ア)：水もメスシリンダーの中で、そこからはどこにもいかん。だから重さはあるの！

フミエ(ア)：変える。減ったけどね。やっぱり同じ分だけ入れたでしょう。重さは足し算になると思う。

トモカ(イ)：リョウジ君が「水はどこに行くか」ってきいたでしょう。まぜたとき泡がたってたけど、あれが空気の中に混じりこんでどっかへいっちゃうと思う。それがかさが減る原因じゃないかなと思う。

話し合いはまだまだ続きました。子どもたちは、これまで勉強してきた「重さの加法性」と、「かさが減ったら重さも減る」という常識的な感覚との間で葛藤し、様々に考えをめぐらせているようです。話し合いの後、以下のような予想変更がありました。

予想（話し合い後）

ア	ふたつの重さをたしたものになる（357 gになる）	17人
イ	ふたつの重さをたしたものよりへる	16人
ウ	ふたつの重さをたしたものよりふえるだろう	2人
エ	まったく予想がたたない	0人

予想変更のあと、実験が行われました。結果は357gで予想アを支持し、半数の子の予想がはずれてしまいました。「不思議だ！」という子どもたちにこたえ、この結果を説明する「ものの体積と重さ」というお話を読みました。授業後の子どもの感想です。

（記述は原文まま。読みやすさを考慮し、ひらがなを一部漢字にし、句読点を加えました）

今日はなんかはずれた！だけどいいことを覚えた。いつもたした重さになるということだった。でも、いま頭の中に無数にあるのは「？」のしるし。でもお話をくれたから、もうちょっとよく読んで納得を自分でする。（ミカ）

科学の法則というものは、非常に簡潔な文章で書かれているため、一見容易に理解できると思われることもあります。しかし、その簡潔な文章のなかには驚くほど豊富な内容が含まれています。そこで、言葉の上で理解している法則も、必ずしも日常的に経験したり深く考えたりしないような場面にでくわすとよくわからなくなってしまいます。とは言え、問題について考えを出し合って実験することを繰り返すなかで、簡潔な言葉に含まれた広く深い内容を、子どもたちは少しずつ学んでいくのです。

2009.12.26.

氏名 \_\_\_\_\_

「経験的にわかったことだけをもとにしたほうが確かな知識を得られる」という考え方があります。しかし、「1をきいて10を知る」という言葉があるように、ある事実を見聞きしたとき洞察を広げることにもまた人間の重要な能力の1つです。実際の授業の場面を見てみましょう。

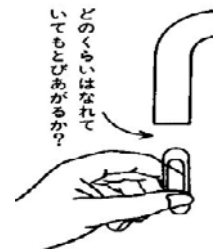
(以下、仮説実験授業研究会編 授業書《ばねと力》に基づき、愛知県の公立小学校6年生で実際に行われた授業の記録(1999.9.14)を用いています)

今日は力についての授業の1時間目。はじめに次の質問が配られました。先生は、手に持ったプラスチックケースを落として見せます。ガチャンと音がしました。

〔質問1〕 手にもった物体を手からはなすと、落ちるのはどういう力のためですか。

科学の授業のときは予習をしておかないことになっています。子どもたちは直観や既知の知識を持ちだして話しあい、それぞれのプリントに考えを記入しました。ほとんどの子が「引力」、「地球の引力」と書いています。ここでは、子どもたちの知識の実態を把握し、引力について興味を呼び起こすことが重要との考えから、先生は「科学者が言うには、引力とは〈地球がものを下にひっぱろうとする力〉なのだそうです」と簡単に確認しました。

そして、「地球の引力を調べるのに、地球を教室にもちこむことはできないので、それと似た性質のある磁石で実験してみましょう」ということで、右図のような実験を見せました。クリップが40 mm離れたところから磁石のほうへとびあがると、子どもたちは〈離れていてもはたらく力〉について興味を深めたようで各自試していました。さらに先生は、次のような問題を配りました。



(選択肢の後の人数は、その予想を選んだ子どもの数、やじるし1本が1人の変更を示します)

〔問題1〕

こんどは、前につかっていたクリップや針に糸をつけます。図のようにしたら、クリップや針をちゅうぶらりんにすることができるでしょうか。

予想

ア. 宙ぶらりんにはできない。	3人	↓	2人
イ. すこしの間だけ宙ぶらりんにできるだろう。	4人	↓	2人
ウ. ずっと宙ぶらりんにできるだろう。	22人	↓	25人



予想を出し合った後、話し合いが行われました。(氏名のあとの( )は、選んだ予想を示します) 多くの子どもたちが「ウ」を予想しましたが、それぞれの言葉で理由を説明しています。

**ケン(ウ):** さっき4 cmでとびあがったから、またそうしてやればクリップは浮くけど、糸があるからくっつかずにそのまま浮いてる。

**ケイジ(ウ):** さっき4 cmのところでもついたから、それくらい磁石の力は強いから引力に負けない。引力が強ければ下に行くんだけど、磁石の引力は負けない。だから、

2009.12.26.

氏名 \_\_\_\_\_

クリップは強そうな磁石のほうに行く。それでちゅうぶらりんになる。

**ヤスキ(ウ)**：地球の引力で一応クリップは下にひっぱられているけど、磁石の方にすごいクリップは近いもんで、磁石の方に引き寄せられる。でも、ひもがあるもんで、その位置で止められる。

**ユウキ(ウ)**：ぼくの思うには、引力で糸のようにひっぱられていると言ったけど、一方は手で持っている糸で、もう一方は磁石による見えない糸だと思うんですよ。引力だって見えない糸になっているんです。でも、手で持っている方はそれで止まるんです。手で持ってなかったら、上にあがるんです。が、磁石の方も見えない糸で釣り上げようとする。でも、手で持っていることによって、磁石の引力に負けない力がある。しかし磁石から出ている見えない糸によってつりあう。

話し合いのあと実験が行われました。子どもたちはシーンとなってクリップの様子を見ていましたが、やがて「1, 2, …」とタイムカウントの声。そして7まで数えたあたりで歓声があがりました。結果は「ずっと宙ぶらりんにできる」です。

**ケイジ**：先生、糸切るとどうなる？

**ショウコ**：磁石がゆれると、クリップもゆれてるよ。

**ユウキ**：家にブレスレットがあって、それ、磁力があって血行促進なんだよ。

**T(教師)**：それも「見えない糸」が出るの？「見えない糸」の夢が広がるね。

子どもたちは、実験結果から新しい課題や日常生活について考えを広げていますが、ここでその日の授業は終了しました。以下、授業後の感想を紹介します。

(記述は原文まま。読みやすさを考慮し、ひらがなを一部漢字にし、句読点を加えました)

今日のばねと力というやつのクリップを宙ぶらりんにしたやつがすごい楽しかったです。ユウキさんが引力の引っばる力を「見えない糸」と表現したのはすごいなあ。

私もこんなふうに言えるようにしたいなあと思いました。(ヒロナ)

今日、ばねと力を習った。引力の勉強をして、磁石を使って引力の検証をした。(ケン)

今日は、引力の実験をした。ぼくの考えている引力とは逆だった。すごくかしこくなった。クリップがういた時は、おどろいた。(リョウスケ)

地球の引力 V.S.磁石の引力って感じですごくおもしろかったです。宙ぶらりんになってクリップがゆらゆらゆれていて、引力の力(磁石の)はすごい。クリップ以上のもの(もっと重いもの)でやってみたらどうなんだろう？(ショウコ)

子どもたちの感想からは、彼らが実験から学びとったことは予想の正否だけではないということがうかがわれます。まだ単元を学び始めたばかりであるにも関わらず、子どもたちは1つの現象を以前の学習や日常の経験と結びつけながら、他の現象にも通用する一般的な〈力〉について洞察を進めています。もしここで「目の前の実験事実だけをもとにして考えるように」とうながすなら、目に見えない「力」というものについて確かな理解を獲得することは難しいでしょう。

人は、日々の経験を通して、様々な「自分なりの理論」を作っています。このような理論は日常の問題解決に有効なこともあります。特に目に見えない事物の仕組みを理解するには、経験から作り上げた「自分なりの理論(素朴概念)」を科学的概念へと変化させる必要があります。しかし、素朴概念は経験のたびに繰り返し強化されるため、変えるのは容易なことではありません。たとえば、「太陽が大地の周りを回っている」というのは一種の素朴概念ですが、これは「太陽が昇っては沈む」という事実を毎日観察していれば、ますます正しいものに思えてきます。学習者がこのような素朴概念を変革し「実は動いているのは地球なのだ」と納得するためには、人の概念変化のプロセスを明らかにし、それに即して学習をデザインする必要があります。

Miyake(2009)は、概念変化を「個々の体験に基づいて経験則を協調的に抽象化するプロセス」ととらえ、以下のようなモデルを提示しました。

	レベル	説明
他人の意見も 統合した理論	4. 形式理論原則	科学的と認められる説明の構築
	3. 説明モデル	他人の意見も納得できるモデルの構築
個人でできる 観察	2. パタンの質的記述	体験の繰り返しによる経験則化
	1. 観察記録	一回性の体験の言語化

このモデルによると、学習は各自の体験を言語化して自分なりの仮説を作るところから始まり(レベル1)、類似した課題や状況をいくつか体験することによって経験則になります(レベル2)。ここで獲得されたものが上で言う「素朴概念」にあたります。素朴概念は自分でもっともだと思ったことの集まりなので、自分で修正するのは困難です。しかし、他の人の考えを持ち寄ってみると、ひとりひとり経験してきたこともそのまとめ方も違っていて、多様な考え方があることがわかってきます。そういう経験則を出し合い、吟味し合ううちに、自分の考えと他人の考えを統合した抽象度の高い説明モデルが形成され(レベル3)、さらに「意図的な教授」に基づいて科学者社会が一般に認める科学的概念の獲得が可能になると考えられます(レベル4)。

学校で学んだことは、実生活に生かされにくい知識だということがしばしば指摘されます。それは、このモデルに基づけば「レベル3の協調的な吟味の機会や時間がないまま形式理論を教えこむことで、個々人の納得を伴う一般化が難しくなっているのだ」と言えるでしょう。言い換えれば、学習者が「学んだ場以外に持ち出せて、必要な時に使え、作り変えつつ維持できる」形で概念を獲得するためには、レベル3の協調的な学習活動を重点的に支援する必要があるということです。

実際にこのような「協調的な学習活動」を重視した実践の1つに、「仮説実験授業」(板倉,1974,2008)という授業理論があります。ここでは「授業書」という独自の教材を用い、主題に関する一連の問題について、「問題の提示→結果の予想→理由発表と議論→予想変更→実験→結果の記述」というプロセスを繰り返すことによって、科学上の基本的な概念を獲得することが目指されています。たとえば、「自然は真空を嫌う」という法則を主題とする授業書《空気と水》の問題の構成は次の通りです。

問題1: 空のコップをさかさまにして水の中に入れると、中に水が入るか

問題2: 前問で、コップの中に紙をつめておくと紙はぬれるか

問題3: 水の入ったコップを水の中で逆さまにして、水面上に持ち上げると、コップの中は?

問題4: 水の上に逆さまに立てたコップの中の空気をストローで吸い出すと、コップの中はどうなるか?

問題5: スポイトを水の中に深く入れるのと、浅く入れるのとでは、どちらがたくさんの水を吸い上げるか

問題6: 1mの管でも水を吸い上げることができるか

問題7: 1つだけ穴をあけた缶を逆さまにすると、ジュースは出てくるか

問題8: 穴を2つにするとジュースは出てくるか

問題9: 空の缶の穴を1つにして水の中に入れると、缶の中に水が入ってくるか

問題10: 前問で、穴を2つにすると

問題11: しょう油さしの穴を1つふさいでも、しょう油は出るか

《空気と水》では、最初に日常経験から考えやすい問題を扱い、子どもたちが各自経験則を作ることを行なうがします(問題1-4)。そして、1人では正しい予想をたてるのが難しいけれども、経験則を持ち寄ることで解決可能な問題を取りあげ(問題5, 6)、さらに持ち寄った経験則を吟味し、修正・変更しなければ解決できない問題(問題7-11)を丁寧に行います。子どもたちは間違いを重ねながら自分たちの力で知識を作り、最終問題ではほぼ全員が議論前から正しい予想を選べるまでになります。また、数週間後のテストでは知識の定着率も高いことが示されています。これは、「協調的な学習」を重視することによって学習がうまく進む例と言ってよいでしょう。

また、重要なことは、一連の学習の最終段階において子どもたちが「みんな同じ1つの答えに到達」するのではなく、「それぞれ自分なりの納得に至る」と目されることです。[問題11]での議論をみてみると、各自が「自然は真空を嫌う」という原理についての理解をそれぞれの言葉で話しあっています。(愛知県の公立小3年生での記録(2002.6))

リョウタ: もう1つの穴は空気を出すためにある穴と思うから、そこをふさいだらしょうゆは出ないと思います。

コウタロウ: リョウタ君は、もう1つの穴が「空気が出る穴」って言ったけど、ぼくはもう一方の穴から空気が入り込んで、空気がいれものにたまっしょうゆを押し出てると思う。だからふさいだらしょうゆは出ない。リョウタ君はどうして空気が出て、もう一方から水が出るんですか?

リョウタ: どこかで空気が出ると、たぶん水が出ると思うからそうしました。

コウタロウ: 空気が出ると空気がなくなるでしょう。だから、からっぽがいやだもんで、水があがってきて出ること?

リョウタ: そうです。

さて、このリョウタ君のわかり方、みなさんにも「わかり」ますでしょうか? 人は多様な人との関わりのなかで、1人ひとり少しずつ違うやり方で賢くなっていきます。「協調的な学習」を支援するということは、教室のなかに複数のわかり方を作ることでもあります。人が人と関わりながら、自分自身の賢さを育て続けて行ける仕組みをつくることだとも言えるでしょう。

東京大学 大学発教育支援コンソーシアム 半日体験ワークショップ 第4回  
協調学習アクションリサーチプロジェクト

2009.12.26. 氏名 \_\_\_\_\_

エキスパート活動時 メモ用紙 担当資料は \_\_\_\_\_

資料の読み取りメモ

説明用メモ