

# 自立を育む理科の学習

—第5学年 振り子の学習の構成主義的展開—

山中俊道

## 1 はじめに

わが国で、子ども達の「理科離れ」が問題になるようになって、対策がさまざまな方面から提案されてきている。また、多くの教師達もそれぞれに工夫を試みてきており、実践も数多く報告されている。その対策のなかに『実験教育』とよばれているものがある。主として中学校や高等学校の熱心な理科の先生を中心として行われているものである。平成10年1月5日付けの中國新聞には「『理科離れ』ぶっとばせ」という見出しで、特集としてこの取り組みが紙面の半分にわたって掲載され、そのなかで次のように記されている。「『理科離れ』がどこの国の話かと思うほど、各地で開かれる科学イベントは盛況だ。地球温暖化や資源・エネルギーの枯渇など、二十一世紀にはさまざまな課題が横たわる。『子供たちに科学的な思考法を』。実験教育ブームが静かに広がりつつある。」というのである。続いて、数年前から各地の科学関係の社会教育施設で『青少年のための科学の祭典』が催されているが、そこでの盛況ぶりが報告されている。さらに、「『科学の祭典』から発展して、実験教育の“プロ”を「サイエンスレンジャー」として登録し、自治体や学校の要請などに応じて派遣する「出前実験」が98年度から始まる。」というのである。小学校の先生のなかでも同じような考えで取り組んでいる人も少なくないが、この記事のように、これからますます学校教育にも実験教育が広がっていくだろうか。

はたして実験教育は、理科離れをぶっとばすことができるのだろうか。ブルーナーが、「興味の短期間の喚起は広義の興味の長期の確立と同じものではない。」<sup>1)</sup>と指摘しているように、実験の面白さだけでは理科離れがなくなるとは考えられない。逆に、実験教育は子ども達に受け身の学習態度を植えつけてしまう危険性をはらんでいる。子ども達に興味をもたせようとして次から次へとおもしろい実験を試みせることは、見せるほうの意図に反して子ども達を受け身の学習態度にしてしまうことになりはしないだろうか。同じく、ブルーナーは「長い目でみると、それらは幕があがって自分を覚醒してくれるのをまっている受身の人間をつくるかもしれない。」<sup>2)</sup>と指摘している。理科の学習で子ども達に知ってほしいことは、実験そのものの楽しさよりも実験を通して「知ること」の楽しさなのである。このような試みは決して無駄とはいえないけれども、これだけで理科離れがなくなるとはどうも考えられないのである。「学習、すなわち新しい知識を獲得する過程は、能動的であり、かつ複雑なものである。この過程は、知覚、イメージ、体制化、精緻化といった主要な認知過程の能動的な相互作用の帰結である。」<sup>3)</sup>教師がいつもお膳立てをした授業をしていたのでは、子ども達は本当の意味で知識を獲得することはできない。子ども達は、教師や教科書から自立して学習に取り組まなくてはならないのである。

## 2 自立を育む理科の授業

21世紀を生きていく子どもたちは、科学の内容を単に機械的に記憶するのではなく、科学の内容を追求していくための方法を知っていなければならない。科学の内容を単に機械的に記憶していたのでは応用力に欠け、知識の耐用年数がますます短くなってきた高度科学技術社会では通用しなくなってしまうからである。それに対し、科学の内容を追求していくための方法を知っていれば、次々に新しい知識を獲得していくことができ、変化に対応していくことができるからである。子ども達が単に内容について理解するだけでなく、方法についても理解していくためには、課題を自分の力

で解決していく学習が不可欠である。いつも指示されたように行動していたのでは、決して方法について理解することはできないであろう。自ら自然事象から課題を見つけ出し、課題解決に向かって努力する姿こそ本校の理科の学習で、育てていかなければならない子ども像ではないかと考える。教科書に示されている実験や観察の方法は、教科書の著者によって考えだされているものであり、子ども達個々の思考とは直接関係のないものである。また実験教育で行われている実験や観察の方法は、教師によって考えだされたものであり、これも子ども達個々の思考とは直接関係のないものである。子ども達が科学概念を獲得する方法を身につけるためには、教科書や教師から自立し、自分の思考を基に学習を進めていかなければならないのである。

子ども達に求められているのは、学習の量ではなく学習の質である。科学の内容を機械的に記憶するのではなく、概念的に理解することが求められている。知識はそれぞれが独立したものではなく、ネットワーク化されていなければならないのである。子ども達が科学概念を獲得していくためには、子ども達自身が主体的に学習に取り組む姿勢が必要である。「子ども達は理科の授業にのぞむ前に、彼らは事物がどのように、またなぜそのように振る舞うのかについての考え方をすでに発展させてきているのである。」<sup>4)</sup>子ども達がどのように考えながらその自然事象を見つめているのか、そして、どう解きあかそうとしているのかに重点をおきながら学習を進めてきた。理科の授業に臨む前から持っていた「子ども達の考え」を子ども達自身が評価し、強化したり、おかしいと感じて再構成したりしなければ、本当の意味で科学概念を獲得することはできない。そこで、ここでは構成主義の考え方に基づいて学習を実践した。

### 3 振り子が振れる時間は支点から錘までの長さであることをとらえる実践

#### (1) 単元について

日常生活のなかで、かつては振り子時計やメトロノームなどをはじめとして振り子の等時性を利用したものが数多く見ることができた。しかし現在では、それに代わるものとして電子機器が増えてきており、おもりの働きを利用したものは、乳幼児を対象とした簡単なおもちゃ程度にしか使われなくなってきた。しかし、ここで振り子の原理について学習することは、これから古典力学の基礎となる慣性の法則などを学習していくうえでも重要なことであると考えられる。

子ども達は、乳幼児向けの単純なおもちゃなどで振り子の働きについて見たり、触れたりしている。振り子の動き方についてはある程度理解してきている。また一方では、日常的に見ることが少なくなってきたために、振り子は見たことがあっても「振り子」という言葉自体を知らない者もいる。5年生は、正解することに執着心をもっている子どもは少なく、自分の考えが科学概念と一致するかどうかということにこだわらずに、自分の考えを発表したり、実験を計画したりして学習を進めることができるようになってきている。

これまでに、自分達の考えを出し合って理論作りをし、その理論が合理的であるということを証明するために実験を計画したり、他の理論が合理的でないということを証明するために実験を計画したりして学習してきている。この単元でもこれまでの学習と同様に、自分たちの考えを出し合って理論作りをしたうえで実験を計画していく。ここでは、これらの実験計画に基づいて実験を行い、それぞれの結果を出し合って、どの理論で振り子の現象を説明するのが一番合理的かを議論できるようにすすめていきたい。

#### (2) 指導目標

- ① 振り子の仕組みについて意欲的に調べようとする態度を育てる。
- ② 振り子のおもりの重さ、糸の長さ、振れ幅、振れる時間を関連付けてとらえられるようにする。
- ③ 振り子の運動の規則性がとらえられるような実験を計画することができる。

- ④ 振り子を運動させて、他の物に衝突させ、物が動く距離や変形する程度の違いについてとらえられるようにする。

### (3) 実践の経過

- ① 振り子を利用した動くおもちゃの提示する。

導入では、教師が意図した課題がもてるような実験を演示してみせ、そのメカニズムについて予想させるようにしている。予想は、ひとり1枚ずつワークシート『ぼくのお考え・わたしの考え』に言葉と図によって書き表す。はじめに自分の考えをはっきりさせておくことで、後のグループ分けのとき、他の子どもの意見に左右されて考えがぐらつかないようにした。課題はいつも教師側から提示しているが、課題をもたせる段階から「子ども達自身の力で」考えさせるといった意見もある。しかし、教えずにはならないことがある以上、課題を教師が指定するのはやむを得ないことではないかと考えている。子ども達自身が考えた課題を解決する場面は、本校では別に行われている総合的な学習で進めていくようにしている。

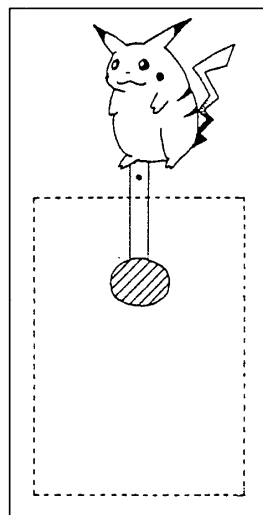


図1

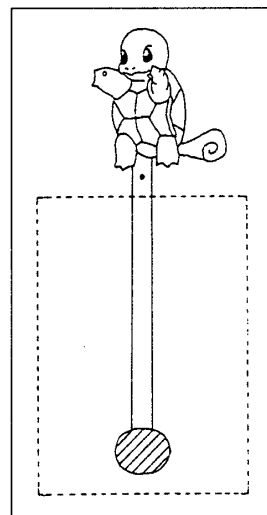


図2

支点から錘までを短くして、速く動く振り子を利用したおもちゃ(図1)と、支点から錘までを長くして、遅く動く振り子を利用したおもちゃ(図2)の、振り子の部分をブラックボックスとして隠して提示する。ブラックボックスのなかには振り子であることを説明し、二つの振り子の仕組みの違いについて予想させる。

- ② 予想をもとに自分達なりの理論を作り、理論ごとに実験班を作る。

自分の考えを自分なりにひとつの理論としてつくりあげる。それを学級全体に発表し、それぞれ自分の考えた理論と同じ理論の者同士が集まってひとつのグループを作る。考え方だした理論が全く同じとはいかないまでも、ほぼ同じ理論の者が集まってグループを作るので、たくさん集まることもあるが、ひとりかふたりということも起こりうる。理論ごとにできたグループはさらに実験を進めるための少人数の班に編成しなおしていく。理論ごとにできたグループの人数が多い場合は、いくつかの班に別れて学習を進めることになるが、最大6人までの実験班を作る。理論ごとにできたグループの人数が、ひとりしかいない場合は、以後はひとりで学習を進めていくことになる。これまで、実験班の人数がひとりになったからといって無理に他の考えの班に入るようなことはおこっていない。

今回の場合は、学級全体に提案された理論は次の6つで、

- ア 支点から錘までが短い方が速く動く。
- イ 錘の重さが重いほうが速く動く。
- ウ 振れ幅が小さいほうが速く動く。
- エ 錘が軽いと振れ幅が小さくなり、速く動く。
- オ 支点から錘までが短く、しかも錘が重いほうが速く動く。
- カ 支点から錘までが短く、しかも錘が軽いほうが速く動く。

多いところは5～6人、少ないところは1人で実験班を編成することになった。

- ③ 振り子の性質を調べるための実験計画を立案する。

グループごとに自分たちの理論が合理的であることを証明する実験方法を考え実験計画を立案する。実験は、自分自身の理論が合理的かどうかを確認したり、他の理論の人に自分の理論が合理的

であることを証明して見せたりするために行うものを「表実験」とよび、他の理論が合理的でないことを証明してみせようとするものを「裏実験」とよんでいる。こうすることによって実験後の討論が活発になると考えたからである。実験は表実験を基本として計画し、裏実験は、同じ理論の実験班がいくつもできていたり、合理的でない理論であることが実験によって立証しやすいという見通しが持てたときなどに計画され、いつでもどの理論でも計画されているとは限らない。はじめに述べたように、ここでは課題解決の仕方を学習することもひとつの目的であるから、教科書に書いてある実験をそのまましたり、教師が企画した実験をしたりしたのでは、科学の方法について理解することはできないので、いずれも子ども自身が計画を立てることを原則としている。したがって、この学習をしているときは教科書は使わないようにしている。また、条件の整備ができていなくて自分たちの理論がうまく証明できない実験を計画したとしても、その実験ではうまく証明できないことをただちに指摘するのではなく、その実験の結果から何がわかるかを問いなおしていくことで条件の不備なところに気づくよう支援してきた。

この単元の実験は、ブラックボックスとして隠されている部分が振り子であり、この部分がどうなっているかを調べるといことがわかっていたので、錘の部分に粘土や水の入ったフィルムケースを使ったり、錘を紐や糸でつるすなどの違いはあったけれども、多くの班がそれぞれ振り子を作りその周期を調べるという実験であった。そのなかで、振り子が振れた時間を調べるとき、振れる時間を1回ずつ調べるのではなく、10回振れた時間を調べて10で割ったほうが誤差が少ないことに気づいた班や、5回測定して平均を出したほうが間違いが少なくなると気づいた班があったので、これらは全員に知らせて自分達の実験に取り入れるようにした。また、オの理論の実験班は、はじめ支点から錘までが短くて錘の重さが重い振り子と支点から錘までが長くて錘の重さが軽い振り子を比べて自分達の理論を証明するように計画していた。この班の計画のように条件の整備がうまくできていない班には、この実験で証明したらアの理論の人がやっぱり自分達の理論でよかったというかもしれないとか、イの理論の人もやっぱり自分達の理論でよかったというかもしれないとか主張しても、反論できないことになると指摘して実験方法を考え直すように支援していった。その結果、この班は錘の重さが違うだけの実験と、糸の長さが違うだけの実験の2段階の実験で証明することになった。カの理論については、実験方法を考えているうちにどうもこの理論は合理的ではなさそうだということになって、支持する者が一人もいなくなったので自然に消滅するかたちになった。この他には、日常の経験からメトロノームを思いつき、メトロノームを使って調べる班や、振り子の運動を錘の働きとしてとらえ、錘を斜面で転がして調べる計画を立てた班もあった。錘を斜面で転がして調べる班の実験については、振り子の周期について直接証明できないが、他の班から証明にならないことを指摘されるほうが学習になるだろうと考え、条件の整備ができていないわけではなかったのでそのまま実験させることにした。

#### ④ 各班ごとに振り子の実験をし、結果を報告する。

班ごとに実験を進めていくが、実験の結果は前向きにとらえるように指導している。たとえ自分たちの予想と違う実験結果が出たとしても、それは自分たちの理論では合理的に説明できないということが実験によって証明されたのであって、実験に失敗したわけではないのである。自分達の理論では合理的に説明できないことがわかったということは、実験前よりも1歩前進したことになるので、実験は成功したととらえるようにしている。またそれ以上に、ひとつのことが実験によってわかったということは大きな前進であるととらえるように指導している。そして、実験の失敗とは何も証明することができなかったことをいうことにしている。このように考えることができるのも実験を自分たちが計画したからであり、教科書や教師が企画した通りに実験をしていたのではこのように考えることはできない。

自分達が計画していた実験が早く終わったとしても、他の実験を試してみるというのではなく、実

験計画書に書いてある実験だけを進めるようにしている。あれがだめならこれというふうには実験を進めていたのでは、立案の段階から真剣に吟味しながら実験に取り組むようにならないし、その方が、実験の条件の整備の仕方や方法について十分に理解できようになると考えたからである。実験計画さえしっかりしていれば、実験そのものはそれほど難しいものではない。実験の段階よりも、立案の段階のほうに重点を置いて学習を進めるようにしている。以前は、実験に取りかかる前に、各班がどのような実験をするか発表会をしていたが、実験結果を発表するときに実験方法についても発表したほうがいいのではないかと考え、実験方法についての発表は行っていない。また、実験の技術が未熟なために実験がうまくいかなかったり、議論が白熱し、お互いに自分の考えを押し通そうとした場合は、教師が演示実験をして結論が出せるようにしている。

実験は、班ごとに実験計画にそって進められた。結果を発表するとき、錘の重さに着目していたグループのうちのある班が、すぐに「実験の結果から、私たちの理論は違っているようだった。」と発言したりしたが、どうしても自説を譲らない班もあって、一度の授業では結論付けられなかった。それは、いくつかの班が自分たちの理論にこだわるあまり、期待される結果が出るまで何度も実験を繰り返したり、一部のデータを無視したりして結果を発表したためである。次の時間に各班の実験データ



活動の様子

について、錘の重さを変えたときの振れる時間の違いと糸の長さを変えたときの振れる時間の違いを比べて、糸の長さを変えたときは錘の重さを変えたときに比べると、はるかに大きいことを比較しなおしたり、導入のときに見せたおもちゃの隠れている部分を見せ、支点から錘までの長さによって振れる時間が違うことに結論付けた。

#### 4 成果と課題

理科の学習では、教科書を中心に科学の内容をとらえる学習をするのではなく、自然事象に対する自分の考えが合理的かどうかを実験や観察によって確かめるという活動を通して、科学概念がとらえられるように学習を進めている。このように、科学の内容のみを追究していくのではなく自分の考えを確かめるということに重点を置いて学習を進めているため、自分が考えた理論を堂々とみんなの前で発表し、その理論を支持する者が自分ひとりしかいなくても比較的平気で学習が進められるようになってきている。また、普段から自分たちで実験計画を立てて学習を進めるようにしているため、子ども達はある程度見通しを持って意欲的かつ主体的に学習に取り組めるようになってきている。たとえば、実験の授業の前のうちからフィルムケースを使った錘を自作してきたり、糸や紐を準備してきたりする子ども達もおり、意欲的に見通しを持って授業に取り組むことができた様子がうかがえる。実験の準備をするように指示される前からこのような行動を取ることができるといえることは、ある面において教師から自立し、主体的に活動することができたといえるのではないかと考えられる。実験学習を教室に持ち込み、いつも子ども達に面白実験をしてみせたり、させていたりしていたのでは、次は何か、次は何かと期待しながら授業を待つことはあっても、主体的に学習に取り組む姿勢が身につかないのではないだろうか。

実験計画を一班ずつ指導している関係上早くから実験計画が立てられたグループは、準備に取り組むことができたが、実験計画の立案に手間取ったグループは、すぐに実験に取りかからなくてはいけない状況にあった。今後は、実験準備の足並みがそろわないために、早くから準備ができていたところが待たされて間延びしないように、また、遅い班があわてて実験に取りかからなくてもいいように、そろって実験に取り組めるようにしていきたい。

自分達が立てた理論が合理的でないことに気づき、「自分達の理論は違っており、『支点から錘までが短いほうが早く動く』という理論のほうが正しいのではないか。」と発言する班があった。実験後、他の班が出した結果にただ感心するだけだったり、他の班に指摘されたりする前に「自分達の考えが違う。」というところまで言及できる子ども達がいたということは、自分たちで実験を計画し、自分たちで確かめたからこそできる発言であったのではないだろうか。また逆に、自分達の理論にこだわって自説に有利なデータしか持ち出さないグループもあったため混乱も起きた。子ども達に限らず、一般に実験をすると自分たちに都合のいいデータだけを集める傾向がある。今回このように混乱が起きたのは、実験のときに認知の不協和が十分におこらず、葛藤がないままに結論を出すための話し合いに入った子ども達もいたことがうかがえる。実験計画を立てる段階から、このような結果が出れば自分達の理論は合理的であったと証明され、このような結果が出なければ自分達の理論では合理的に説明できないというところまで突き詰めて考えている班と、そうでない班とあった。自分達の理論は合理的であるならばこういう結果が出るはずだということをはっきりさせてから実験に臨むように改善しなくてはならないと感じた。

また、実験において十分に認知の不協和と葛藤が起きていなかった子ども達も多かったようであった。認知の不協和と葛藤がおこりやすい子どもとそうでない子どもといるのではないかと考えられる。今後も、グループ別の授業を進めていきたいと考えているが、どのような授業構成をすれば認知の不協和や葛藤が起こりやすいのか探していきたい。

実験計画の発表会を行わないぶん実験終了後に、単に実験結果を報告しあうだけでなく、実験結果についての考察や実験方法が適切であったかどうかという話も含めた討論ができればよいと考えていたが、話し合いが十分深まったと言える状況ではなかった。今後は、討論の仕方について研究を進めていくべきなのか、このようなレベルの討論を子ども達に期待することが無理な活動なのかは探っていかなければならないと感じている。

## 引用・参考文献

- 1) J. S. ブルーナー、『教育の過程』、岩波書店、1995、p. 93
- 2) 同上書、p. 93
- 3) ショーン、M. グリン他(稲垣成哲訳)、「理科学習における構成主義的見解」、『理科学習の心理学』(武村重和監訳) 東洋館出版社、1993、p. 16
- 4) R. オズボーン、「子ども達の直感的な考え方の構築」、R. オズボーン、P. フライバーグ編『子ども達はいかに科学理論を構成するか』、東洋館出版社、1988、p. 64