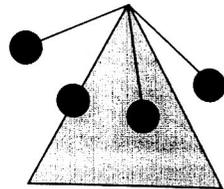


物理教育[力学]の視点と実践

学ぶ側から見た 力学の再構成

●川勝博・三井伸雄・飯田洋治=共著



新生出版

Ⅲ部 力学の見方考え方

飯田 洋治

1章 力学教育の基本的問題

1. 常識的自然観と科学の論理のすばらしさ

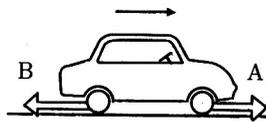
(1) 根強いアリストテレス的自然観

次の7つの問は高校生と大学生に、運動している物体と力との関係を調査したものである*。

問1

自動車が等速でまっすぐ走っている時、次の力は、どちらが大きいか。

- A 車の前向きにかかる力
 B 車の後向きにかかる力
 (空気抵抗やまさつ力など)



- (ア) $A < B$ (イ) $A = B$ (ウ) $A > B$

〔問1〕は、自動車が等速度運動をしているとき、前向きと後向きとではどちらの力が大きいかという問である。

高校生の大多数は、「つりあっていたら動けない」、「動いている以上前向

* この調査は、力学を習っていない工業高校2年171名(1983.4調査)と、国立大学理科系学部1年114名(1983.6調査)、国立工業大学1年106名(1983.7調査)を対象として行ったものである。2つの大学の間には結果に大きな差はなかった。

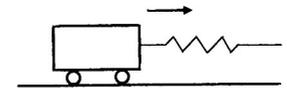
以下、本文中には、いくつかの調査結果が出てくるがすべてこの調査結果である。

きの力の方が大きいはずだ」と主張する。日常経験によれば、自転車をこぐことをやめればすぐ止まってしまうし、一定の速さで走ろうとすればたえず力を加え続けなければならない。だから、どうしても進行方向の力が大きいと思ってしまう。調査結果によると、「前向きの力の方が大きい」と答えた高校生は実に7割をこえる。

正解は $A = B$ である。「つりあっておれば、等速直線運動をする」というのが慣性の法則である。見方を変えれば「等速度と静止は力学的に全く同等だ」(ガリレオの相対性原理)ということもできる。この原理は私たちの日常経験をみごとに裏切る。だから力がつりあっているといわれても、なかなかそうは思えないし、力学を習ったことがなければ間違えるのが当たり前なのである。それでは、すでに高校で力学を習ったはずの大学生はどうであろうか。かなり優秀だといわれる国立大学理科系学部、国立工業大学の学生の正当率は7割弱だった。

問2

まさつが大変小さい台車を、同じ大きさの力でひき続けたら、その間、車は



- (ア) ずっと一定の速さで動く。
 (イ) はじめのうち速くなり、すぐ一定の速さになる。
 (ウ) どんどん速くなる。

〔問2〕のように、一定の力で台車をひっぱる場合はどうであろうか。

「はじめのうち速くなり、すぐ一定の速さになる」と答えた高校生は半数、「どんどん速くなる」と答えた高校生は、25%にすぎなかった(大学生は約6割)。ここでも、科学の論理は高校生の経験と常識をみごとに裏切る。やはり、いくらペダルを踏んでも、すぐ一定の速さになってしまうという経験をもとにすれば、一定の力には一定の速度が対応する ($F \propto v$) のであって、一定の力には速度の変化が対応する ($F \propto a$) というのは全く非常識な考えに思えて

しまうのである。

問3

水平な氷の上をすべっている円板がある。円板に働いている力に○印，働いていない力に×印をつけよ。



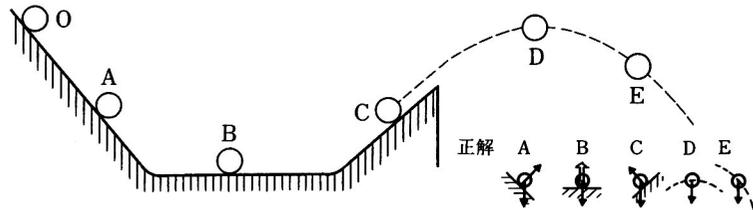
- (1) 円板に働く重力
- (2) 氷の面や空気が円板の運動を妨げるまさつ力・抵抗力
- (3) 円板の運動を続けさせる動力
- (4) 円板の慣性のために生ずる慣性力
- (5) 氷が円板をささえる抗力

〔問3〕は、水平な氷の上をすべる円板に働く力を聞いたものである。正解は(3)、(4)が×であとは○である¹⁾。大学生の正解は約半数、高校生の場合は1/4程度にすぎなかった。

ここで注目したいことは、「円板の運動を続けさせる動力」とか「円板の慣性のために生ずる慣性力」があると答えた高校生が半数以上もいることである。大学生でも「慣性力」があると答えた者は3割をこえる。これは、運動=力という考えがいかに根深いものであるかを示す好例である。

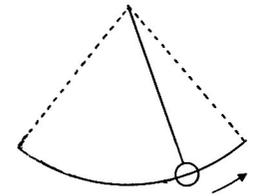
問4

空気抵抗やまさつは無視できるとして、O点から落した球が、A~Eにおいて、うけている力をすべて矢印で書きこめ。



問5

矢印の方向へふれているふりがうけている力をすべて書け。(空気抵抗は無視)



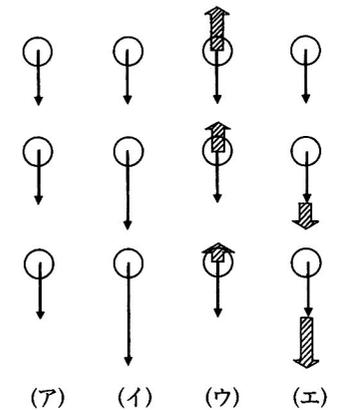
〔問4〕、〔問5〕は、私の力学の授業がある程度すんだところで、力学の理解度をチェックするためにいつも出している問題である。

調査によると、力学を習っていない高校生の全問正解者は171名中1名もいなかった。習ったことがなければ出来なくても当然といえるだろう。しかし大学生ですら〔問4〕の正解は4割に満たなかった。実は高校生の圧倒的多数は、進行方向への力を書いてしまい、そのために間違えてしまったのである。大学生でも2割近くの者が進行方向への力を書いているし、A、B、Cそれぞれの正解は約半数でしかない。

問6

ビー玉を数mの高さから落したら、ビー玉に働く力はどうなるか。

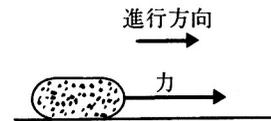
- (ア) 一定の大きさの引力だけが働いている。
- (イ) 引力だけが働き、それが落下とともにしだいに大きくなる。
- (ウ) 引力はずっと一定の大きさだが、最初ビー玉を支えていた上向きの力がしだいに小さくなる。
- (エ) 引力はずっと一定の大きさだが、「落下する力」とでもいう力が働き、それがしだいに大きくなる。



問7

次の文が正しければ○印、誤っておれば×印をつけよ。

「水平な氷の面の上をすべっていく石には、進行方向へたえず力が働いている」



〔問6〕は、ものが落ちる時の力について聞いた問題である。

高校生の場合、重力一定という答えはほとんど出てこない。「重力+落下力」と答えた者が半数以上にものぼり、重力一定と答えた高校生はわずか5%にすぎなかった。大学生でも3割以上が間違えている。ここにも、速度が大きくなるのは力が大きくなる ($F \propto v$) からだというアリストテレス的自然観が根強く反映しているのである。さらに〔問7〕で、進行方向に力が働いているかどうかを聞いたが、力が働いていると答えた高校生は7割、大学生は2割もいた。

以上の7つの問をみると、力学を習っていない高校生はほぼ完全に、「動=力あり、静止=力なし」というアリストテレス的常識的考えに陥っている。大学生はどうか。各問の出来具合は高校生に比べてそれほど悪くはないが、7問とも全部正解であった大学生は国立大学理科学部、国立工業大学の学生ともに1割程度にすぎなかった。このことは、力学をしっかり理解して大学へ行った者はきわめて少ないと見るべきであろう。この調査結果は、よほど意識してこの経験的自然観を打ち破っておかないと力学が本当にわかってこないという典型を示しているように思われる、大学生のこれらの回答は最も優秀だといわれる高校生たちになされた高校教育の成果だともいえるのである。

(2) 科学の論理のすばらしさ

なにも、アリストテレスを学んだわけでもないのに、生徒は、動くのにはどうしても力が必要と考えてしまう。よほど意識して科学の見方を身につけない限り、いやおうなく経験的・常識的自然観に落ち込んでしまう。経験的自然観

はそれほど根強いものなのである。私の力学の授業がすんだ後 ('83. 12), 生徒たちが「どうしてアリストテレス的自然観に陥ってしまうのか」を自己分析したものがあつた。それによると、~~は~~わりこれには経験という根拠がちゃんとあつることがわかる。

- 地上から見ると、星や月や太陽は動いているように見えるし、自分が動いているとは全く感じない。だから今、我々がアリストテレスのような考えを持って少しもおかしくないのではないか。実際自分の感覚をもとにすると、地球が回っているなんてことは決して思いあたらないだろう。理性と感覚は異なる。地球が回っているということは理性によってはじめて思いあたることではないか。
- 静止は全く動かないことだし、等速度は動いていることなんだし、静止していることと、動いていることの間には大きな違いがある。にもかかわらず、力の矢印が同じになるなんて、ほんとに不思議で面白い。
- アリストテレス的になってしまうことについては、人間が自分中心に考えてしまうからではないかと思う。人間が歩くにしろ走るにしろ運動するということは、“さあ動くんだ”という意志のもとに足なり手なり動かすわけだから、等速度と静止が同じだとかいわれても、自分が動く場合のことを考えると信じられないのだと思う。
- 私も、はじめいくらガリレオの説をいわれても、そうなんだとは思っても、感覚のずっと奥では信じられなかった。だからいろいろな問題をやってもすぐまちがえたし、実験で実際確かめてもなにか不安で変な気分がした。だけど台車をひっぱる実験で同じ力を加えつづけると加速するっていうのをやった時、自分でも腹の底からわかったような感じで、『等速度と静止とが同じ』というのは自分で理解できたように感じた。そう感じた時、“ああ、きっとガリレオも発見したとき、こんな気持ちだったのかなあ”と思った。でも、あのわかった時の気持は、すごくよかったし、『真理をつかんだ』という気持がした。物理の面白いところは、このように自分でわかって発見できるような気持ちになれることだと思う。うーん、でもあの

気持は忘れられない。やみつきになりそうだな。

生徒たちのいうとおり、近代科学—力学—は感覚と経験を積み重ねるだけでは決してつくられないものである。そして、自分の中にある根強い経験的自然観が自分で打ち破れるようになったとき、まさに真理をつかんだという深い感動を呼び起こすのだと思う。アリストテレス的になってしまう現象として大部分の生徒は次のような例をあげている。

- 地球が動いているとは決して感じない。動いてみえるのは太陽や月や星である。
- 動いていることと、静止していることは、見ただけで違う。
- 物が動くのに、力を加えなければ動かないので、はじめから動いていることがあるとは思えない。特に人間が動くには意志が必要である。
- 力を加えると動くが、力を取り去れば止まる。これが我々が日常経験する世界だ。
- 車の定速運転のときも、ガソリンを使う。アクセルを踏むのをやめればすぐ止まる。
- 星は星、地球は地球で、星と地球が同じものとは思えない。

生徒のあげるこれら事例は、我々が通常感じ経験することには少しも矛盾をしない。だから、感覚と経験をたよりにすれば、アリストテレス的になって当たり前、むしろそうならないほうがおかしいわけである。そこで感覚と経験に矛盾する問題に出会うと、彼らの感覚が許さない。たとえ理屈では認めても不思議で仕方がない。自分の感覚と経験を敢えて否定して、理性の方を取らなければならぬ羽目に陥るから“不思議”という声になる。

- 私自身どうしてアリストテレス的になってしまうのか、感覚が許さないということもある。物の本性は運動にある。そのとおり、地球も動いている。なのに私たちはそれを感じとれない。でも、静止も等速度に含まれるのだから不思議。
- 自分は動いていると感じない。なのに動いているとしたら、不思議なのも当たり前。

- どうしても、今までの常識を捨て去ることができない。実にもっともらしいそう思い込ませる考えがつかまとう。ガリレイを学んだ今でも、授業を離れるとふとアリストテレス的の考えにもどっている。それほど常識は強く頭の中に残っている。今だから理解できても、アリストテレスやガリレイの時代だったら絶対理解できなかったと思う。
- 常識に染められて十数年、これほどまでに根づいている体験のアリストテレスを捨てるにはかなりの努力がいる。今までの考えを捨てないかぎり『理性のガリレイ』は心から納得できないであろう。

私は生徒たちのこの“感覚が許さない”という気持、“不思議でしかたがない”という気持を大切にしたい。なぜなら自分の持つ経験的自然観がいかに根深く克服しがたいものかを自分でしっかり認識すること、これはとりもなおさず、理性的に考えることがいかにすばらしいことであり、価値あることであるかを認識できる絶好の機会でもあるからである。静止と等速度の力学的同等性—相対性原理—の承認、これは、感覚と経験だけにたよれないということを示す、まさにその典型である。相対性原理は動いていると感じないから不思議だともとれるが、もっと積極的に動いていると感じたらおかしい、感じないという法則なんだという認識にまで高める必要がある。まさに感覚とか経験だけでは得られないところのもの、これこそが近代科学—力学—形成の出発点であり、人間理性は信頼しうるに値するという理性に対する信頼感の確立—科学の論理に対する信頼感の確立—これこそ私の力説したいことなのである。

2. 面白くない・わからない・くだらない この現実はどう答えるのか

現在、物理は「面白くない」「わからない」「くだらない」とほとんどの高校生が思っている。これはなにも今に始まった現象、物理だけに限られた現象ではないが、最近では、授業がまともに成立しないとか、大学入試に縛られるなど、より深刻な状況が広がっている。私たちは、こういう生徒の声の中に現在の教育の矛盾が集中的に反映しているとみてきた。そして、少なくとも、こ

の大量の生徒の実態を無視し、避けて通るかぎり、根本的に科学教育を立てなおすことは不可能だろうと主張してきた²⁾。

生徒が本当に「面白い」「わかる」「学ぶに値する」という時はどういう時か、そういう内容とはどんな内容なのか、それはどうしたら創り出せるのか。このことが、二十数年来、私たちの一貫した実践的課題であった。運動論から見ると、この課題実現のための第一歩は「投げ込み教材のどん欲な開発と蓄積」であった。生徒の興味と関心、学ぶ意欲は、投げ込み教材の内容に直結している。生徒の知的好奇心を呼び覚ますものなら何でもよい、どこからでも、誰からでもちょっとした創意工夫を寄せ集め、開発し、蓄積しよう。そしてその中から、その教材が、「科学の基本法則にせまるものか」、「科学の個別法則にせまるものか」、「科学の社会的機能にせまるものか」、さらにそれらが全体として、「真の人間性の回復につながるものか」どうかの検討を加えることにより、「本当に教えるに値し、学ぶに値する教材」を創り出し、蓄積していこう。こう、私たちは主張してきた³⁾。

これに対して、「面白ければそれでいいのか」「科学の系統性はいらぬのか」という反論も生じた。私たちは、科学的認識の発展の論理と共に、自然の構造と法則性、科学の論理のすばらしさを大切にす。それを大切にするが故に、一つ一つの投げ込み教材に対する位置づけや視点を問い直すのである。

(1) 面白いということ

「面白い」といっても、生徒は決して滑稽さを求めているのではない。面白いとか、楽しいとかいう言葉は『古語拾遺』の中の“天の岩戸”の物語にどうもその源があるらしい。

この時に当りて、上天初めて晴れて、衆^{あま}俱^{もろ}に相見るに面^{おもて}皆明らかに白し、手を伸べて、歌ひ舞ひて相与^{とも}に称^{いひ}ていわく、

あはれ あなおもしろ あな たのし あな さやけ をな
と書いてあるという⁴⁾。そして「あわれ」には「天晴也」、「おもしろ」は、「衆の面の明らかに白き也」、「たのし」は、「手を伸べて舞ふ、今樂事を指

してこれをタノシといふ、この意也」と注釈を加えているという。丸尾寿郎氏はこのことを次のようにのべている。

「太陽神が岩戸に隠れたために、全世界が真っ暗闇になった。一切のものの形が見定められない闇です。こういう状態は実に恐ろしいし不安です。ところが、そこへ一条の光が射し込んでくると、もののかたちがほんのりと見えてくる。他人の顔も見えてくる。しだいに輪郭がはっきりし、目鼻立ちの特徴なども見定めがつくようになります。笑っているか、怒っているかもわかる。こうなると何も見えない状態での恐怖感や不安感はいだいに消えて、対象がはっきり認識できます。ああ、あそこにあの人がいる。おやこんなところに、この人が……と大勢の人びとが見え、人と人との関係が見え、まず、ああよかったという安心感やよろこびの気持が生じてきます。

他人の顔がはっきりと見えるということは、単に容貌を外形的に認識するだけではありません。その表情からその人の気分や感情まで、時には目つきや顔色などから何を考えているかまで洞察することができます。そしてそれは同時に自分自身を知ることでもあります。このように外形だけでなく、その内面までも、そして、人と人との関係、「もの」と「もの」との関係、あるいは「人」と「もの」との関係まで見えてきて、「自分」とのかかわりもわかる。このように、いっさいひっくるめて総体として認識できる状態を「おもしろし」と言っているのです。

英語でも、数学でも、自然科学でもその学問の本質というものが、勉強という努力の結果、見えてくると、なぜそれを学ぶのかの意義がはっきりしてきます。……学問のおもしろさが自得できるのです。……「おもしろい」という語は、いわば真理にふれる喜びともいえます⁴⁾。」

私たちは、科学教育の中で「見えないものを見抜く力」の大切さを痛感している。物理法則や概念は直接目に見ることができない。力にしろ質量にしろそうである。地球が動いていると感じなくても、動いているといえるのはどうしてなのか。直接見えなくても、感じなくても見抜ける、それこそ科学の論理のすばらしさではないだろうか。この意味からもの丸尾氏の文には全く同感であ

る。

まさに、「面白い」という言葉は、真理に触れる喜びの表明であり、人間本来の姿を取り戻す時に発する言葉ではなからうか。面白さの追及^究——これは知的的好奇心といってもよい——は人間が根源的にもつものなのである。

(2) わかるということ

今まで何も見えなかった「こと」や「もの」が次々と見えてくる。そして、「こと」や「もの」や「人」との関係まで見えてきて、そこに「自分」を位置づけることができるとするなら、これほど「面白い」ことはないであろう。実は、こうした過程が「わかる」ということなのだと思う。

ところが、これまで物理の中でも力学はわかりにくくつまらないものの代表とされてきた。その最大の原因は、生徒の持つ経験的自然観におかまいなく、正しい結論を無理やり押しつけ暗記させてきたことにあるのではないか。大学入試や単位認定の威しがこのことに拍車をかける。これでは“面白い！”と感動しようにも感動する場所がないのである。正しさのみが押しつけられると何も言えなくなる。だから覚えるしかない。覚えないと入試に落ちる。落第が待っている。こうして生徒も教師も金縛りになり、窒息寸前となっている。

しかし、一見興味を失い、学ぶ意欲を失ったように見える生徒でも、本当は成長したがっている。自分が変わるきっかけを求めている。一つのことを学ぶにも表面的・断片的事実だけでなく、一つ一つの概念の相互連関とその深い思想的位置づけまで求めている。そして深く感動できることを求めているのである。これこそ青年期の特徴といってもよい。しかし、大部分の高校生たちの期待はことごとく裏切られ、押しつぶされてしまっているというのが、今の教育の現状ではなからうか。それが「面白くない」「わからない」「くだらない」という声になっているのだと思う。

確かに「わかる」にはさまざまなわかり方の段階がある。しかし、すくなくとも生徒は自分とのかかわりがわかる段階まではわかりたいのである。力学を学ぶということが自己の変革・成長につながる——このことができるためには、

思い切って正面から生徒の持つ経験的自然観に挑戦し、新しい科学の世界の広がりや深まりの中へ自己変革を促すことこそ必要ではないか。このようにして初めて力学は、表面的理解ではなく、腹のそこから「ナルホド」と納得できる状態になるのだと思う。

わかるということがどんなにすばらしく、面白いことか、この感動は、人間の内面（人間性に迫る）にくい込めばくい込むほど深くなるものである。

(3) おしつけがもたらすもの

経験的自然観を放置したまま、無理やりわからせようとする教育は重大な弊害をもたらしている。自然観が変わり、科学の世界の獲得を通して、自分が変わり豊かに成長すること、自分の思想、人生観の形成、知り学ぶ喜びと無関係であればあるほど

- ①「学ぶということは苦痛である」ということを学ぶ
- ②「学ぶということは打算の道具」
- ③「学ぶということは必要悪」
- ④「学ぶということは暗記すること」

など、入試のためとか、良い成績をとるために学ぶのであって、それらがなくなれば、学ぶことは何もないと思ひこんでしまう。「学ぶということ」をこのようなものに思わせてしまうほど悲しいことはない。

自分の頭を使って筋道を立てて考えるということより、暗記しておいた方がよほど得策に見える。そして、科学の論理にたいする信頼感が失われ、生徒の持つ学問観は大きく歪められてしまう。入試や良い成績などどうでもよいというのではない。入試や良い成績が自己目的になってしまうことこそ問題なのである。

(4) 科学的認識の成立と学ぶに値することを求めて

経験的自然観は根強い。それだけに自然観は口でいうほど簡単には変わらない。私達がこの壁につきあっている時、幸いにも仮説実験授業に出会うこと

ができた(1966)。小・中学校において、子どもたちが驚くべき喜びをもってこの授業を歓迎するという現実の重みは、高校において、「面白くない」「わからない」「くだらない」という生徒に直面すればするほど私たちがひきつけずにはおこななかった。私たちは、これを単にまねるだけでなく、実際生徒が大歓迎しているという現実から出発し、歓迎される以上そこには何らかの法則があるに違いない、その中で私たちのものにできることは何であるか、を検討してきた。

科学的認識が成立するためには、少なくとも次のような過程が必要である。

争点の明確な問題提起と討論 常識をとるのか、科学の論理をとるのか、争点の明確な問題提起が必要である。生徒一人一人に「自分はどちらをとるのか」その判断をせまるのである。仮説実験授業では、ふつう、問題—予想—討論という形をとるが、要は争点が明確であり生徒の考えの中に『矛盾』をひきおこすことができるかどうかである。教師の役割は、生徒の『主体性』をひき出し、『学びあい』を組織する『仕掛人』に徹することである。

実験 真理か否かの判断は実験によって決まる。自分の立てた予想がっているかどうかは、教師の権威によってではなく、実際の自然に問い直すことによって検証するのである。ガリレオにはじまる近代科学の実験の特徴は、立てた仮説が本当に正しいかどうかを問い直すものであった。望遠鏡による天体の諸発見も地動説が正しいか否かに答えるものであったし、落下法則の検証にしても、彼の仮説がyesかnoかを問い直すものであった。このような白黒判定のつく検証実験によってこそ、経験的自然観を打ち破ることができる。科学的認識の成立条件を与える実験とはこのような実験のことである。

生徒に限らず誰でも、自分の立てた予想や仮説が本当にあっているかどうか、この実験で判定がつくとしたら、かたずをのんで実験の推移を見守る。予想に主体性が入れば入るほど、つまり自分の思いが強いほど、ドキドキする気持は強くなる。こういう状態で実験をすると、予想があってもいなくても、まずまちがいがなく歓声上がる。「楽しい」とか「面白い」という声が出てくる秘密はここにあるのだと思う。

積み重ね 科学の基本的概念というものは、ちょっと習っただけではなかなかわかってこない。生徒の持つ経験的自然観はこういう問題と実験を何度も積み重ねることによって打ち破ることができる。そして常識による判断よりも、科学の論理にもとづく判断の方がはるかに有効であることを一步一步確実に体験していくのである。つまり、こういう科学的認識の発展過程をへて“見えないものが見えてくる”。“わかりはじめる”のである。

科学の論理に対する信頼感の確立 以上の過程を通して、生徒の中に何が形成されればよいのか。それは何をにおいてもまず、科学の論理に対する信頼感の確立といえる。これこそ力学において最も典型的に示すことができる。ところが、「論理」というと、大変嫌がる生徒も多い。その理由を聞いてみると「自分の感覚や経験を無視して無理やり呑み込まされるもの」とか「へ理屈」「ごまかしの理屈」「現実離れした空理空論」というとらえ方が返ってくる。現在の教育は、論理というものを、こんなものと思わせてしまっているのではないか。「論理」と称して、無理やり押しつけられごまかされたという経験しか持たないものが、そういう「論理」を拒否するのは当然である。科学の論理とは、人を押しえつけ無理やり呑み込ませるための道具ではない。感覚や経験を無視した「論理」はどこかにごまかしがある。にもかかわらず、感覚や経験を積み重ねるだけでは決して得られないものが科学の論理である。感覚と経験に縛られた自分の狭い殻を打ち破るような、そういう筋道、それが科学の論理である。ごまかしやデマを見破るスジなりミチなりというものが科学の論理である。法則なり原理にもとづいて考えていくと、今までわからなかったこと、知らなかったことが予見できるようになる。見えないものが見えるようになる、ウソか本当か見破ることができるようになる、そういう筋道、それが科学の論理である。

論理的思考力は、自然科学だけにとどまらず、もっと広い意味でどうしても培っておきたい力である。自らの豊かな成長、生きる力にストレートに結びつく、いわば人間性を回復するためにはどうしても必要な力である。消費文化の餌食になり、自分自身を見失いかねない状況が蔓延する中でこそ、必要とされ

るものである。

科学の論理のすばらしさに気づき、まがりなりにもそれが使えるようになることは、同時に自分の持っていた常識的自然観が崩壊していくことを意味する。つまり科学の論理に対する信頼感と常識的自然観の崩壊とは表裏一体の関係にある。このことは、科学を築いた人間のすばらしさとともに、変革している自分のすばらしさに気づくことである。「まちがえることが恥でない、まちがえながらも自分が変わっていき、真理を見つけ出す」そういう人間の認識能力のすばらしさに気づいていく過程でもある。これは、いわば科学観・自然観・人間観の変革の過程ともいえる。「学ぶに値する」ことは、こうした過程の中から明らかになってくるのである。

原子論的自然観 原子論的自然観は、物に対して直感的で鮮明なイメージが描け、科学の論理を立てるのに有効な手がかりとなる自然観である。科学の論理を見つけ、これが使えるようになるためには、原子論的自然観を常識的自然観と対比しつつ、早くから導入しておきたい。原子論的自然観は、近代科学—力学—との関連が深く、これについては節を新たに論じる。

3. 原子論的自然観と力学

「力学と原子論とは一体どういうつながりがあるのか?」「原子論的自然観は力学教育にとってそんなに大切なものか?」などという質問をよく耳にする。ここでは少々堅苦しくなるが原子論と力学との深いかかわりを明らかにしたい。なぜなら、近代科学の立場から原子論的自然観の持つ意味を明らかにすることは力学教育に重要な意味をもつと思うからである。

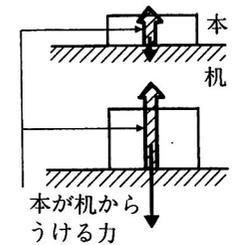
(1) 大学生の方が出来の悪い問題

これは「本が机からうける抗力」の実在性を聞いた問題である。調査によれば、驚くなかれ「机からうける力が本当に大きくなったり小さくなったりする」と答えた大学生は3割しかいなかった。しかも、高校生(5割)よりも出来が悪いのである。学んだことによって出来が悪くなるというのは、一体どこ

問 8

机の上に本をおくと、力のつりあいによれば、同じ机の上でも、軽い本と重い本とで「本が机からうける力」はちがうはず。本当にそういう力はあるとってよいだろうか。「本が机からうける力」というのは

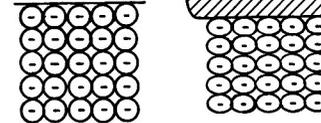
- (ア) つりあいを説明するための手段としての力である。
(イ) 本当に大きくなったり小さくなったりする力である。



に問題があるのだろうか。

「机のように一見なんの変化もおきていないように見えるものでも、その分子や原子の目に見えないつくりを頭のなかに思い起して、それが一種のバネとして働いている」こと、つまり「下の」のようなイメージが描けるようだったら、この問題ははずいぶんやさしい問題であっただろう。ところが、これまでの力学教育では、そのほとんどが次のような「はず論」だけですまされてきた。

固体の原子・分子のバネ



「重力が2倍となれば、その時、本が机から受ける力(抗力)も2倍になるはずである。そうでないと、本は動きだすことになって、力の原理に反する」

目に見えないほど、ほんの少しちぢむ。この「はず論」をいくら強調しても、ちぢみ方は物体の重さにはほぼ比例する。「確かに理屈ではそうだ。ところが、重力とつりあうために、抗力の大きさが本当に自由自在に変わるなんて、信じられない」と生徒はいうだろう。「こうなるはず」ということと、「本当にそうなっている」ということの間には格段の飛躍がある。現在の力学教育のほとんどは「こうなるはず」を「こうである」にすりかえ、強引に覚え込ませているのではないか。このすりかえにうまく対応し、なんとか練習問題が解けるように

なるのは優等生である。しかし彼らは抗力の実在性を信用できない。だから、つじつま合わせの力学になっても仕方がない。ところが、こういう飛躍した論理についていけない大部分の生徒たちはそのはず論を信用できないばかりか、論理そのものをへ理屈として拒否するようになる。例えば「本が机の上の上^上にのっているだけで、何も理屈なんていらんではないか」と。

確かに力学では、論理を単純・厳密にするために、「質点」や「剛体」の力学に限定することが多い。しかし、質量だけあって大きさのない質点や、力によって内部変形をしない剛体などというものは実際どこにも存在していない。これらの概念は物体の回転や内部変形が理論の対象になるとき、それでもこれら^らを無視したいとき、初めて必要となる概念である。

初歩の段階に、やたら質点や剛体を強調しすぎて、かえって豊かな物のイメージをこわしてしまうようなことをしてはいないだろうか。論理の厳密さを強調するあまり、論理不信に陥れるのではなく、論理的思考に対して信頼感を回復することこそ、必要ではないか。そのためには、ものに対する鮮明なイメージが描けることが大切である。原子論的イメージは、直感的であっても、これをたよりにかえって科学の論理を大変組み立てやすくする。

(2) 古代ギリシャの原子論

原子論というと、ドルトン以後の原子論とか、ボルツマン、ペランにいたる原子論のことだと思われるかもしれない。しかしここで言おうとするのは力学が生まれるずっと以前のレウキッポス、デモクリトスにはじまる古代ギリシャの素朴な原子論、それをバックにもって力学を考えていこうというのである。古代原子論者たちの自然観^{※)}は、現代の自然観にきわめて近い、実にすばらしいものをもっている。エピクロス、ルクレチウスの本をよんでみると、2千年以上も前によくこんなことがいえたものだと感心する。ところがこれまで、これが物理教育の中に明確に位置づけられることはほとんどなかった。おそらく「これは哲学・思想であって、科学ではない」として葬り去られてきたためであろう。しかし、彼らの主張を見直すと、そこには素朴ではあるが、彼らなり

の経験事実に基づいた実に合理的な哲学・思想があることに気づく。

古代原子論的自然観はこれなしには力学が生まれなかったといえるほど、近代科学—力学—の形成に必要な不可欠なものであった。古代原子論の中には近代科学の“原型”となるものがすでにそなわっていたのである。

変化するものの中の不変性の追求 どうして彼らは目に見えない原子などというものの存在を考えたのだろうか。それは「人間は人間から生まれるのであって、決して木や石から生まれない」というあたり前の経験事実を承認すること、そこに原子論が生まれる秘密があった。人間からいつも人間が生まれるのは、人間の「もと」があるからだ、もしこの不変で目に見えない「もと」がなければ、何からでもどこからでも、自由自在に人間が生まれることになってしまう（今日でいう遺伝のこと）、それに見えなくなったからといって消滅してしまうものなら、とくにすべての物はなくなっているはずである。こう彼らは主張する。つまり、たとえ物が見えなくなっても、もうこれ以上こわれないという最小で不変・不滅な「物のもと」がなければならない。これが“原子”だということである。彼らにとっては、何も今日でいう原子でなくてもよかった。遺伝子も原子であった。目に見えず、物の構成要素で、不変性と不滅性になうものであれば何でもよかったといえる。

変化する現象の中の不変性に注目したこと、そのために彼らは不変・不滅の原子を考えざるをえなかった。そして、この原子をもとにして、「無から何も生まれぬ」「物は無にかえらぬ」という物質不滅の思想を生み出した。物の不変性に注目したことが原子論を生み、原子論をもとにして考えると、物質の不滅性はあたり前のこととして理解されるようになった。このように、原子論は、その誕生と共に、物質不滅の思想と切っても切れない深い関係を持っていたのである。

空虚がないと、原子の運動・変化はおこらない 次に、原子でこの世界が構成されているとすると、不変・不滅な原子だけでは世界のあらゆる運動や変化、ものの多様性が説明できない。そこで、原子の運動を保証^証する空虚（空間）の存在がどうしても必要である。そこで彼らはこういう。すべてのものは、運動

を妨げる原子と、運動を全く妨げない空虚からなると。

空虚の存在と運動の不滅性の思想は、原子論のもう1つの主要な柱であった。空虚というものは、運動を全く妨げない。運動にたいして完全無抵抗である。だから運動が減じる理由がない。したがって空虚のなかでは原子の重さによって運動に違いが生じることはありえなかった。すべての原子が等しい速さでまっすぐ動くのである。運動の不滅性と共に、その不滅性を保証する空虚は無限に広がっていた。(無限宇宙の考え)

原子の組み合わせと運動だけで、多様に変化する自然が説明できる 原子と原子の運動できる空虚があれば、世界のありとあらゆる運動や変化に富んだ多様な現象は、すべて、原子の組み合わせとその変化によって説明できることになる。これはあたかもアルファベットによって、文章ができていくのと同じようなことだというわけである。

物の色やにおいなど、変化する性質はすべて原子の性質からはぎ取られ(第2次性質)、ひとり原子のみが不変な性質(第1次性質)をになう。したがって原子には“重さ”や“大きさ”などの不変な性質のみが与えられ、可変な性質、物の多様性はすべて原子の組み合わせとその変化の結果に帰せられてしまう。つまり多様に変化する現象形態は“みかけ”のもの“相対的”なものであり、すべてが現象の背後にある不変な実体“原子”のなせるわざというものであった。このような原子を導入すること自体が、われわれの直接的感覚や経験をのりこえたものによって現象を説明できるという宣言にほかならなかった。感覚や経験にたよるだけでは絶対原子論は生まれなかっただろう。

(3) 近代科学にとって原子論的自然観の何が有効であったか

たったこれだけの原子論者たちの主張が、近代科学の形成過程において、いかに有効な自然観であったか、そのかかわりを検討しておくことはきわめて価値あることと思う。実際、コペルニクス、ブルーノ、ガリレオ、ガッサンディ、フック、ニュートン、ボイルなど多くの近代科学の形成者たちが原子論的自然観とは何らかの形で深いかかわりをもっていた。

一体、原子論的自然観の何が、物理法則の発見に有効であったのか。

(A) 不変性の追求と保存法則、不変法則

古代原子論者は経験事実を決して無視したのではなかった。それどころか、日常不断に経験する事実の中の不変な現象に注目したこと、そして変化する現象をそのまま法則とするのではなく、その現象の背後にある原因を合理的に理解しようとしたところに原子論の特徴があった。原子論をもとにした物質不滅の思想、運動不滅の思想こそが、経験に縛りつけられた考えを打ち破る重要な指導原理であった。

質量保存の法則は原子論での物質の不滅性に対応し、慣性の法則、運動量保存の法則などは運動の不滅性に対応する。さらに「無から有は生じない」という考えはエネルギー保存の法則の発見に道を開いた。このように物理の根本原理は保存量とその根底を貫いている。慣性の法則は視点を変えると、ガリレイ変換における力学法則不変(ガリレオの相対性原理)とあらわすことができる。つまり、物理法則は保存量ばかりか、不変な法則がその根底を貫いているともいえる。このような不変性追求の論理は、原子論のそれと全く同じものなのである。

物質の不滅性—質量保存の法則 「炎は上昇し、石ころは下へ落ちる」。この事実は誰が見ても疑いようがない。『軽さ』があるというアリストテレスの考えは、こうした事実をもとにしているだけに信用しやすい。今でも「水素をつめると軽くなる」とか「空気は暖められると軽くなる」と気軽にいうし、それが正しいと思ってしまう。ところがいくら事実が正しくても、その解釈が正しいとは限らない。軽さのために上昇するのであれば、それ以上の説明は全くいらない。木が水に浮くのも、「木は水に浮く性質がある」とすればそれのこと足りる。「本が落ちないのは机の上にあるからだ」、こう解釈すれば力学などという面倒なものは全く不必要である。ところが、「すべてのものに重さがある、いくら姿・形が変わっても、ものの重さは変わらない」と考えた人びとは、落ちるはずのものが落ちなかったり、上昇したりする現象に出くわすたびに、その理由を明らかにする必要にせまられた。ルクレチウスは、丸太が水に

浮いたり炎が上昇したりするのは水や空気の原子がそれらを上につきあげているからだ、とはっきりいつている。

このように軽さの考えを否定してすべてのものに重さがあり、その重さは変わらないとすると、どうしても浮力とか抗力などという力の概念を導入せざるをえないのである。物質不滅の思想にもとづく原子論を指導原理とする限り、力学的見方は避けられない。

質量保存の法則は、ラボアジェによって最終的に確立された(1772)。しかし、質量概念はラボアジェより以前にその不変性を前提として力学において形成されていたことに注目したい。この概念は力学の論理を構築する上でどうしても必要なものだった。高度に抽象的な質量概念などというものは単なる実験だけではなく、物質の不滅性に対する深い信頼感がなかったら決して生まれなかったであろう。

運動の不滅性—慣性の法則、運動量保存の法則 『静止がものの本性だ』というアリストテレス的自然観は、何を手がかりとして打ち破られたのだろうか。「何もない空虚の中では、運動を妨げるものはなにもない。だから運動は不変である」。このように空虚の中での運動の不変性に注目した人びとは、実際の運動がすぐ止まってしまう現実を見て、「それはものに止まる性質があるからではなく、妨げるものがあるから止まるのだ(原子の衝突)」と説明する。原子論での運動の不滅性を前提とする限り、運動変化の原因を原子の衝突という力に求めざるをえないのである。こう考えると原子論的自然観は、すでにその内に、ガリレオの慣性の法則やニュートンの運動法則の“原型”となるものを含んでいることがわかる。原子論的イメージを手がかりにすると、直感的ではあるが、力学が実にわかりやすくなるというのは、このようなためなのである。運動量保存の法則は物体がいかなる衝突をくりかえしても、全体の運動量は一定に保たれる(全体の系が力を受けない時)というものである。全体の系は、慣性の法則そのものである。つまり、これらの法則は運動の不滅性を述べた法則なのである。

無から有は生まれない—永久機関は不可能 物質や運動が不滅であるよう

に、何ごとにも「無から何かを生み出すことは不可能である」。こう主張するのが原子論である。どんなにすばらしい道具や機械でも、何もせずに無限の仕事を取り出すことは不可能である。このことにいちやく気づいた人はレオナルド・ダ・ビンチだといわれる。永久機関が不可能なこと、これはガリレオの全研究の中で徹底して貫かれた指導原理だった。ガリレオは、機械や道具に、与えられた以上の仕事を決してさせることができない、機械や道具で自然をごまかせるなどというのは大間違いだというのである。これは「仕事の原理」として定式化された。ガリレオが終始一貫して貫き通したこの原理はエネルギー保存の考えであった。

保存法則 以上、ここにあげた保存法則は、実験でえられたものというより、はじめは哲学的要請によって生まれた思想という側面が強く⁹⁾、これをいかに実証性をもたせるかで科学になった法則といえる。

古代原子論者のいう保存は、大局的なもので、途中はともかく全体としてその量が一定であるという、一つの思想としての保存であった。これは実証できない。これに対して、近代科学における保存則はすべて局所的保存則となっている。ある閉じた系を考え、この系にある量が入った分だけ系内では増えるという形の保存則である。ラボアジェの質量保存にしろ、マイヤーのエネルギー保存にしろすべてそうである。こういう形で保存則が把握されるようになってはじめて実証可能となった。そこが、古代の考えと違うところである。しかし、たとえ局所的に実証可能となっても、局所と局所の間、まったく未知の領域において保存則が成立するという保証はまったくない。このような場合、保存の思想を未知の領域研究の指導原理にせざるをえないのである。このように、保存の思想は近代に限らず現代においても一貫して貫かれているものである。

(B) ものの同質性の^な追求から普遍法則へ

「物理法則の最大の特徴はその普遍性にある」⁹⁾とファインマンがいうように、物理法則は基本的であればあるほど、森羅万象を通して普遍的に成立する法則が問題になる。近代科学はまさに異質に見えるものの中に普遍法則が成立

ずるといふ、その法則の発見によって成立したといふ切ってもよいであろう。ところが、この法則が成立するためには、異質なもののなかに同質性を発見したからそれが可能となったともいえる。例えば、質量の概念をとってみよう。「鉄1kgと綿1kgとではどちらが重いか」という問題があるが、鉄と綿というまったく性質の異なるものがどうして比較できるのか。個々の性質は異なっても、鉄や綿などすべてのものに共通する同質の何かがあるという前提に立たないかぎり両者は比較できない。共に1kgだから質量が等しいといえればそれでよいかもしれない。ところが、その質量とは何なのかと問われると困ってしまう。質量とは物質が「どれくらいあるか」を示す「物質の量」のことだ、といわれても何を指して「物質の量」というのか、今一つピンとこない。こういう疑問に対して原子論者の答は明解である。「物質の量は、重さをもった原子数によってわかる」と。つまり、原子を前提として「重さ」はすべてのものに固有な普遍的性質であった。だから、原子の数を数えれば「物質の量」がわかるというのである⁷⁾。これは質量概念のはじまりとみることができる。

後に、質量概念は法則にもとづいて把握されなおすことになった。ニュートンの運動法則にもとづいて慣性質量の概念が形成された。さらに、万有引力の法則の発見によって、重力質量の概念が形成されたのである。

ガリレオの相対性原理、ニュートンの万有引力の法則の発見をとってみても、天地の同質性の認識がなかったら不可能だった発見と見てよい。天体の慣性運動をまったく異質に見える地上にも認めるとか、リングと月の運動がまったく同じ法則に支配されているのではないかという着想は、単なる思いつきで生まれるものでは決してない。この着想には天も地もあらゆるものが同質の原子でできているという原子論的自然観が有効に作用したものである。天と地を峻別するアリストテレス自然観はそれなりの合理性をもっていた。重いものの落ち場所が大地であり、重い地球は動かない。それに対して、軽いもの行き着く場所が天であり、重さのない天が動くには力は不要であった。天が地上に落ちてこないのも重さがないからであった。だから、この一見もっともらしく解釈された自然観を打ち破ることは単なる思いつきではできなかった。天

と地の同質性を主張する原子論をとる限り、いくら重い地球でも、それが動いて当たり前という理由がなければならないし、重さをもつ月が石ころのようにどうして地上に落ちてこないかが、力学的に説明されねばならなかった。まさに天地の同質性の認識が力学的解決を否応なく要求する結果となった。ガリレオの相対性原理、ニュートンの万有引力の法則の発見はその典型である。いいかえれば、原子論による同質性の追求は力学を生みださずにはおれなかったといえる。

原子論的自然観にもとづく自然における同質性の認識、これは社会においては民主主義の思想と軌を一にする。王様だからといって、奴隷と同様、死を免れることはできない。つまりどんな立場にいる人間でも、人間としてまったく同質である。原子論をとることはいやおうなく神や階級秩序を否定することにつながる。これに対して、「ものはもともと本来の居場所があって、そこへ向けて運動する」というアリストテレスの自然観は社会においては神や王や奴隷の存在を「もともとこうなのだ」と肯定する役割を果たした。時の権力者たちがどうしてアリストテレスの自然観をうけ入れ、原子論的自然観を徹底的に目のかたきにしたのかは、このような理由があったからだと思われる。

物の構成要素として原子という実体を導入すること、これは、

- (1) 変化する現象のなかに不変性を追求することであったし
- (2) 多様で異質なもののなかに同質性を発見することでもあった。
- (3) 同時に、異質なものを質的にのみとらえるだけでなく、量的にとらえることを可能とするものであった。

そして、現象のなかの不変で、同質、量的にとらえられる三つの側面に着目し、あらゆるものに共通の普遍性を見つけ出そうとしたこと、これが近代科学の重要な特徴の一つであった。近代科学は物の普遍性を見つけ出すことにとどまらなかった。原子というものを導入しておきながら、原子という実体をのりこえたところに成立する普遍法則の存在を明るみに出した。物にもとづいて普遍法則を明らかにしながら、一方では、この法則にもとづいて物を説明するようになったのである。質量概念の形成の歴史はこのことを如実に物語ってい

る。このようにものの同質性の発見は、あれこれの特定のものから切り離された普遍法則を抽象し、この法則にもとづいてあれこれの特定のものを説明できるようにになったのである。

(C) 質から量へ

アリストテレスは、天と地の違い、重さ・軽さなど、質的違いによって自然の多様性を説明しようとしたので量的把握は困難であった。これにたいしてガリレオは古代原子論の伝統をうけつぎ異質なものの背後にある量を重視した。この際、質の違いを量的違いによって説明できるものとできないものにかけて考えた。“重さ”とか“大きさ”など原子自身の性質に由来して〈はかる〉ことができる性質—第1次的性質—を重視し、“熱”とか“味”“におい”“色”といった人間の感じ方の違いがきいてくる性質—第2次性質—を除外し、客観的に〈はかれる〉ものだけで理論をつくらうとした⁹⁾。このガリレオの考えは実証可能な理論への道を開いた。

ガリレオ以前から、温—寒、明—暗、動—静、のような質の対比から次第にその強さの相違が問題になって、その強さの違いにたいして数値があてはめられるようになり、度としての速度から量としての速度への把握がすでに可能となっていた⁹⁾。ガリレオの理論はこれらをうまく取り入れた。客観的に〈はかれる〉理論に数学は必要不可欠であった。そして実際、落下法則や放物運動のように、きわめて単純な数量的関係を発見したのである。

ガリレオ以後の近代科学の歴史は、ガリレオやデカルトが〈はかれない〉第2次性質として除外したものを次々と取り上げ、これをはかりうるものにしていく過程であった。音とか、熱とか、色など⁹⁾。このように近代科学は、自然のさまざまな質的違いを量的に把握することを可能にしてきた。この時、質的に異なる現象をみかけのものとし、より本質的なもので現象を説明する原子論的自然観はきわめて重要な自然観であった。

(D) 相対性

近代科学における相対性の発見は自然観・世界観に深い影響を及ぼした。アリストテレスの自然観は、人間の生活の場—大地—を中心にして、感じ経験する

現象をそのまま法則とする、いわば自己中心的自然観であった。これに対してコペルニクスは特別な地位にあった地球を他の惑星と同格のものとし、太陽系の中に相対化した。その後ガリレオは相対性原理を発見する。これは同質なものでないしは不変法則の存在を前提にして成し遂げられた相対化であった。

地球の相対化は、人間のよって立つ自己中心的足場を取り去るものであり、常識的世界、自己中心的世界に浸っている人びとから猛烈な抵抗があったのは当然である。近代科学は人間の立つ足場を宇宙空間のなかに放り出したかわりに、人間理性の絶対性を確認した¹⁰⁾。相対性原理の発見は、自らのよって立つ位置がどちらかのものにあるのではなく、不変な法則にあることの発見であった。つまり感覚と経験だけではたよれない、理性的認識、法則的認識こそが信頼するに値するということの発見であった。

このような相対化は、天と地の同質性の認識—天体構造に対する実体的認識—がなかったら不可能なことであったに違いない。原子論は、あらゆるものを原子の組み合わせとその運動に還元し、すべての現象をみかけのものの相対的なものとする点で、その内に一種のものの相対化の考えを含んでいた。この意味では原子論的自然観は、まさに相対性を発見する過程において有効な導きの糸となる自然観であった。その後の物理学の発展は、アインシュタインの相対性理論、現代物理における対称性の理論にみられるように、不変法則を追求する一方で、個々の概念及び法則の相対化—物理法則の対称性—を追求する過程そのものである。

(E) 科学の方法としての実体論

物の構成要素と構造から、多様な現象形態を統一的に説明しようとする思考方法は、特に未知の法則発見の重要な手がかりを与える。つまり、現象と本質を橋渡しする役割をになう。

物理教育においても、対象とするものがどんなものから構成されており、どんなしくみになっているかについて、直感的でいいから、豊富なイメージがわくように生徒がなっておれば、本質的法則の把握はぜひ分容易なものとなる。さらに、本質的法則を学んでから再びその法則に基づいて、より正確なものの

しくみについてのイメージ化ができる。物理教育に実体論的基礎をすえよう。これが私の大きなねらいなのである。

原子論的自然観を背景にもつということ、これは自然科学が「物に即して物を説明する」ものであることの宣言にほかならない。こういう態度を貫けば原子論者のいうとおり神は不要である。神といえども原子をつくることはできないし、原子をこわすことができないのである。

今日、超能力さわぎで世相が大きく揺れたり、いかがわしい宗教が蔓延する土壌のなかでは、物に即して物を考え、さまざまな現象の原因を物（客観的世界）に求めるといふ精神をしっかりと培っておきたい。

4. 近代科学と現代の自然観

近代科学はニュートン力学の誕生以来急速に専門分化し、それを生みだすもとなった哲学、思想、自然観とも切り離されるようになった。この傾向は現代に至ってもほとんど変わっていない。これは、専門の知識を取り入れやすくなった半面、その学問や諸概念の成り立ちと意味を大変とらえにくいものとしていられる。日本において西欧の近代科学を受け入れ始めたとき、当時の科学はすでに、その成果だけ取り入れることが可能なほど専門分化していた。

「日本に伝播可能であった西欧の科学・技術とは、要するに日本人の思考方法でも理解しうるところにまで、歴史的変貌を遂げた後での科学・技術にほかならなかった。……日本が受容しえた科学・技術は、それを発生させた文化基盤の異質性にはかかわりなく、実際に運用していけばしだいに習熟しうるような知識や方法にまで、すでに整備されていたのである。」¹¹⁾と辻哲夫がいうとおりである。

黒船到来のショックにはじまり、明治の富国強兵、殖産興業という旗印は、まさに近代科学のもたらす実利実益をしゃにむに追求することにほかならなかった。たとえ、促成栽培であっても、科学の成果の運用にある程度習熟すればかなりの実益を生みだすことができる。近代科学を生みだした哲学や思想、自然観とは関係なしにである。このため、科学にたいして

「とくに日本では、その実用的成果を驚異の目で眺めながら、そうした成果を上げるための妙法としてうけとる、きわめてせまく限定した見方が優先しやすい。」¹¹⁾

のである。当然、教育はこの線に沿って行われてきた。実利をもたらず科学の成果の注入という教育の基本的姿勢は、明治以来現在に至るまであまり変わっていない。その上、現在は入学試験合格という実利実益にすりかわってしまった感すらある。

一方、入試を取り去ったら学ぶことの意味はどこにあるのだろうか。今や注入と暗記だけではどうにもならない状況があちこちに露呈している。面白くない、わからない、くだらない、という生徒の声は、まさにこの矛盾をついた言葉なのである。今まで近代科学を教えてきたから、このように生徒がいうのではない。むしろその逆である。今だかつて近代科学が科学として本格的に教えられるということがきわめて少なかったことにこそ問題があるように思えてならない。このように見えてくると、私たちは近代科学のとらえ方を改めなければならない。これまでのような近代科学のとらえかたではだめなのである。近代科学を生みだすもとなったところの、その根本からとらえなおさなければならない。当時は科学も非科学も哲学・思想・自然観も一体のものとなっていた。そこまでさかのぼって近代科学をとらえなおさないことには学ぶことの意味はどうしても明らかになってこないのである。今科学教育に必要なのは科学の論理のすばらしさとともに、近代科学を生みだすもとなったところの哲学・思想・自然観なのである。

20世紀に入ると、原子物理の発展を軸として、自然の階層性、歴史性が明らかにされ、現代の統一的自然観を獲得するまでになった。ここにいたって、原子論的自然観は大きな変貌を遂げた。また、科学の成果は原爆、環境破壊等としても現われ、科学の社会的機能など、科学のあり方が真剣に問いなおされるようになってきた。原子論的自然観は現代科学が到達したこのような統一的自然観の一翼をになう自然観として位置づけることができる。

私はこれまで物理の授業の導入として（現在は「理科 I」として）かなりの時間

を使って「自然の階層性と歴史性」の話をしてきた¹²⁾。

力学的自然観と他の自然観の比較

- 自然の長い歴史にくらべると人間の生命はすごく短いと思う。この広い宇宙の地球の中に住んで偉そうにしている私たちは、外から見ると点にもならないほど小さな存在なんだと思った。でも、こんな小さな人間がいろいろなことを解き明かすのだから、人間の認識能力のすばらしさに感心してしまう。
- ……こうして宇宙のことから順に学んでみると人間なんてほんの一かけら、人間の一生なんてほんのわずかでしかないということをひしひしと感じました。そして自然と生命の偉大さが感じられ、私も私なりに生きているうちに何でも体験し、一生懸命やらなくてはと、生命力をかきたてられました。
- ……私たち人間があれだけ長い歴史の結晶だなんてすばらしい。自分の中に海が、地球そのものの歴史が入っていると思うとワクワクします。
- ……ほんとに気の遠くなるような時代をへて、今現在私たちがここにいるのだと考えると生命というものは本当に尊いものだと思います。今の世の中、殺人とか、赤ん坊を平気で殺すとか、戦争が今起こっていますし、核を作ったり、いろいろですけれど、今こうして私たちの生命を造りあげるのにどれだけかかったか、こうまで人類が進歩するのにどれだけかかったかよく考えるべきだと思います。

このような生徒の感想を読むにつけ、階層的・歴史的な自然観は、現代の人間の生き方までを問い直しているように思えてならない。

自然の階層性の発見は、近代科学が絶対的なものではなく、法則に適用限界があることを示すものであった。これは、とりもなおさずそれぞれの階層に固有の法則があり、その法則のかけ^けえのなさを全体の中に位置づけることを可能とするものであった。だからといって、階層的な自然観は普遍法則^あ追求という近代科学が獲得した価値を少しも低めない。むしろこの自然観は量と質と統一して把握する必要性を示すとともに、無条件に法則を絶対化できない、つまり自然を弁証法的に統一してとらえることの大切さを教えたといえる。

アリストテレス的自然観	古代原子論的自然観の比較	近代科学——力学
感じ経験する現象をそのまま法則化した解釈した体系	不変不滅な原子（見えない）と自由に動ける空虚をもとに、多様に変化する現象（見える）を合理的に説明	物の構造と普遍法則の発見 普遍法則によって物を説明
<炎は上昇し重いものほど速く落ちる> 軽さがある	《物質不滅の思想》 「姿・形が変わってもものの重さは変わらない」 「すべてのものに重さがあり下へ落ちる」 「上昇したり落ちなかったりするものは上へ押し上げる力があるからだ」	《質量保存の法則》 不変・不滅な原子の存在 重力質量の概念 力の概念（浮力、抗力）
<動いているものはすぐ止まる> 静止が本性 <無は存在しない> 空虚の否定 <運動一何物かによって動かされる> $F \propto v$	《運動不滅の思想》 「妨げるものがなければ止まらない」 —運動が本性 「運動にたいして完全に無抵抗」 —空虚の存在 「現実の運動が止まるのは妨げるものがあるからだ」 (抵抗、原子の衝突)	《慣性の法則》 真空の存在 力の概念（運動変化の原因） $(F=ma)$
<太陽・星が動き大地が動くと感じない> 天動説 自己中心的世界観 絶対化 <静止と運動は異なる>	《感覚・経験を超えた存在》 《現象の相対性》 「不変不滅なものは見えない感じない原子」 「多様に変化する現象は“みかけ”“相対的”で原子の組み合わせで説明される」 一次性質（量）、二次性質（質）	《相対性原理》 法則の不変性と運動の相対性 《地動説》
<天と地の峻別> 天・地の異質性 天—完全、不変・不滅、円運動、自然運動 軽さを持ったものの行き着く場所 動くのに力はいらない 地—不完全、変化・生成消滅、強制運動 重さを持ったものの行き着く場所 重い地球は動かない	《天と地の同質性》 天も地も同じ原子でできている	《天地の同質性の証拠》 《相対性原理》 「重い地球でも動いて当たり前」 「重さを持つ月がどうして地球に落ちないか、力学的説明が必要」 《直線慣性と向きを変える力》 《万有引力の法則》
	(1) 変化する現象のなかの不変性の追求 (2) 多様で異質なもののなかに同質性の発見 (3) 異質なものの質だけでなく量的に把握	↓ すべてのものに共通の不変性を見つけた原子をのりこえた所に成り立つ普遍法則の発見、普遍法則にもとづく物の説明 《科学の方法の確立》 《理性的・法則的認識》

物質はさまざまな階層、レベルから相互に関連づけてとらえることができる。一つのコップを例にとってみよう。これを材料のレベルで見ることができ、化学物質のレベルでみることもできる。分子とその運動のレベルからみれば熱現象を扱うことになるし、コップの色や光を問題にすれば、これは原子の内部の電子の運動—電磁気・原子物理—を扱うことになる。しかし、力学においてはさまざまな質の違いをいっさい切り捨てて質量だけで物質を表わす。だから、一般的に物質観の形成というときの物質は、さまざまな階層・レベルからとらえたものの総体としての物質のことをいうのである。

歴史的な自然観は「自然とそのしくみの一つ一つが、驚くほど長い自然の歴史の産物であり、すべてのものに起原があり、歴史・発展がある」という自然観である。自然の階層性が空間的なものだとすれば、歴史性は時間的に「もの」や「こと」の価値と位置づけを明らかにする。これは自然の中の人間の価値と位置づけまでを明らかにすることにほかならない。

原子論的・力学的な自然観はこうした現代の統一的な自然観の一翼をになう自然観であるということを肝に銘じておきたい。

註

- (1) 板倉聖宣・江沢洋『物理学入門』国土社
- (2) 飯田洋治「生徒の認識を変えない教育は教育の名に値しない」日教組第17次・日高第14次教育研究全国集会レポート1968. 1.
飯田洋治「多様化にどう対処するのか—仮説実験授業に学ぶこと—」『理科教室』新生出版 1968. 11月号
- (3) 林熙崇・三井伸雄・飯田洋治「面白くない・わからない・くだらない、この現実はどう答えるか—1—」『理科教室』新生出版 1974. 8月号
飯田洋治・川勝博・三井伸雄「投げ込み教材を武器に自主編成運動を！投げ込み教材を生かそう」『理科教室』新生出版 1976. 8月号
- (4) 丸尾寿郎他『高校生の基礎学習』新日本出版 1977 P3~7
- (5) 保存の考えは、哲学的要請だけでなく、経験的、技術的側面からの要請もあったことを見落とせない。古くは物々交換の時代からの経験で得た物質の保存など、この例にあたる。
- (6) ファインマン『物理法則はいかに発見されたか』ダイヤモンド社
- (7) 現代の考えによれば、原子核を構成する核子（陽子と中性子をあわせたもの）の数というべきもの。たとえば、水素と酸素を同じ質量もつてくると、原子の数は水素の方が酸素の16倍あるが、核子の数は共に等しい。
- (8) 青木靖三『ガリレオ』平凡社

- (9) F. フント『思想としての物理学の歩み』（上）吉岡書店
- (10) 佐藤文隆『ビックパンの発見』NHK ブックス
- (11) 辻哲夫『日本の科学思想』中公新書
- (12) 飯田洋治「投げ込み教材でつづる自然の階層性と歴史性」『理科ノート』No.8. 1977. 理科教育研究会（愛知）
「階層的・歴史的な自然観の形成」『愛知の理科教育』No. 2 1982. 科教協愛知支部
※古代原子論に関するものとして、
『エビクロス』岩波文庫
ルクレチウス『物の本質について』岩波文庫
『宇宙をつくるものアトム』国土社 少年少女科学名著全集 4
『事物の本質について—宇宙論』筑摩書房 世界古典文学全集21
『世界哲学史1』ソビエト科学アカデミー版 商工出版
伊東俊太郎「古代・中世の自然観」『自然の哲学』岩波講座哲学6 など