

比較法による物理学教育

浦 上 澤 之

岡山理科大学教養部

(1992年9月30日 受理)

全体と部分，ルネサンス以後とルネサンス以前，自然そのものとモデル，可逆と不可逆などを力学と電磁気学で比較し，日本における物理学教育の試みを述べる。

1. 序 論

心理学で使われるローシャッハ・テストで、物理学を学ぶ被験者は曖昧な絵を示されると絵の全体を見，部分を見，また全体を見とすることを繰り返しながら部分と全体の解釈を展開していく。

科学の教育方法のひとつに、人の知的構成過程を重視するものがある¹⁻²⁾。この方法では、学習者が科学的概念を形成する過程に注目し、この立場からカリキュラムを作成する。学習者はすでにもっている知識あるいは科学的概念を学習の過程の中で取捨選択したり、修正しながら、事象の意味を構成することによって理解を達成する。即ち、幾つかの個別事項からもう一つの事項を理解する。科学の学習においてもこの過程を部分と全体について何度も経ながら内容の理解を成し遂げる。この過程は学習者による能動的な学習過程であるとされる。したがって、学習者が容易にこの過程へ導かれ、通過できるように運ばなければならない。

この知的構成過程を助けるものに、注目している事象に関連する概念、類似する概念、あるいは対比する概念などがある。事象に直接関連するものを引き合いにだすことは当然であろうが、視野を広げ、方面を変えて、科学全般や哲学・道徳の分野からも物の捕らえ方、精神的なより所として参考にするものが挙げられれば、それらは事象を多角的に捕えるため、また自然界を統一的に把握するために有益である。

例えば、ギリシャ神話において神の火を人間に与えるプロメテウスの行為に対しては、旧約聖書の中の禁じられた知恵の木の実を口にするアダムとイヴの話が挙げられる。楽園に住まう男女に額に汗する労働と出産の苦しみが運命づけられたように、ゼウスの火は人類に種々の技術をもたらすが、人々の生活は幸福なものから辛苦なものへ転倒したとされる。

2. 日本における科学技術

プロメテウスの場合と同様のことはデカルトにおいても指摘される。「我れ思う」ことよって神からの独立を宣言し、我れを回復した人間はデカルトの方法よって自然科学を発達させた³⁾。全体を部分に分けることよって解析、解釈、改造を可能にし、結果として部分における合理性を追求し、能率を貴ぶ物質文明の社会を作り出した。今までの科学は物事の全体性や宇宙の全体性を捕らえる観点を蚊帳の外におく。研究においては、我れと対象、我れと神があり、神の摂理を知らんがために挑戦する。自然科学は、古来日本における自然との折り合いや調和を追求する精神とは正反対に、自然を探求し、理解し、学ぶこと、そして物質は究極的には何からできているか、物質は何故あるのかを問うものであった。

この西洋における自然に対する態度と日本における態度の差から、ルネサンスを経験しない日本で自然科学を学習したり、研究するときの目に見えないハードルの存在が明らかになる。和音に神の声を聞くのと松に吟風を聞くという生活態度の相違や学習習慣の表面的な相違ではなく、実存の本質を求める追求態度、思考・思想の透徹さの違いである。西洋から指摘される日本の自然科学への貢献の貧弱さと世界に冠たる技術・生産面の成功の差は、自然との共存を基本とする日本人の特色に根差すものと見ることができる。新物質の開発についても、これは偶然に出くわすことよってなされることが多く、論理的に攻ればよいと言ったものではないと言っていることであるが、これまでの実績をたどって見ると日本人に向いていると言われている。自然に挑戦することを得意とする欧米人より、人間と自然との調和あるいは自然との折り合いに敏感な日本人に向けた作業ということである。

上述のような見地から日本における科学の教育ではどのような比較を準備すべきか、学習者が示す関心の行方に十分な注意を払わねばならない。上記プロメテウスの話などは、いずれも科学の世界からは程遠い神々の世界の例である。しかし、不確定性原理よって人間が予見できない領域が存在することの不思議さないし意味を考えると、神々の話は人類の現在いる位置や科学が発展する筋道について一つの示唆を与える。このような話には、自然と技術の関係や自然と人間とのかかわりを考える基があると同時に、物理学の基礎に学生が疑問を呈するとき物理学の在り方を示すポイントが含まれているように思われる。理学部の学生に対して運動の方程式や万有引力の法則をブラックボックスとして呈示すること、また工学部で固体のバンド理論をブラックボックスとして出発するようなどきのことである。

3. 力 学

現在においても力が全く働かない状態での物体の運動を見ることはできないが、ニュートンはこのような場合を想定することよって運動の法則の確立へ向かって第一歩を踏み出した。即ち、単純化したモデルを出発点においたのである。一般に、学生が自然そのも

のとモデルの関係を認識することが自然の捕らえ方、物理学における現象の表し方を知るうえで大切である。物理的世界を初めて量として把握したのはガリレオ・ガリレイである。そして、現象がどこまでも数学的に表現されることを自ら体験し、宇宙を機械として把握したのはデカルトである。その後、ニュートンによって機械が動く法則が発見されることになるのであるが、それより半世紀前のイタリアにおいてガリレイが天文学に関連して宗教裁判にかけられていることを知ったデカルトは、フランス国内においてデカルト自身がそれまで経験してきた反響をも考慮して、宇宙論から方法論へ力点を移動する。

デカルトの方法論によると、事物は本質的に分離したバラバラのものであるから、バラバラの部分が存在し、その部分が作用し合う。事物をこのように捕らえるとき、自然は分断されるが、それまで定性的な把握しかなされなかった状態から定量的に把握できるものとなった。そしてまた、数式によって表現することができる形にモデル化された。この方法は、それまでの哲学的な方法や神の支配から人類が独立することを助けるものとなった。現在の自然科学はまさにこの流れの中にあり、現在の我々の世界観もこの流れの中で形成されて来た。この世界は、量子力学が示すところの観測するものと、観測されるものとが互いに影響しあう関係にある世界とは別の世界である。

このような世界像では力の中にある1個の物体あるいは2個の物体の運動が考察の対象となる。ニュートンは天空を横切る月の運動に地上で落下するリンゴの運動と共通する原理が作用することに思いあたった⁴⁾。即ち、力が働いていないとき、物体は一定の速度で進むという慣性の法則である。物体の運動には等速度運動と加速度運動があるが、これは等速度運動に関する法則である。そして、この法則からのずれを説明するために加速度を力の大きさに関係付けることになった。従って、等速度運動と加速度運動は対比されるものではなく、同一の原理によって説明できるものとなった。このようにして基本方程式はできたが、空間内における地球と月の運動からはじめて、太陽の周りの地球と月の運動、そしてさらに惑星を一つまた一つと追加するときの運動については、一体あるいは二体問題のモデルを出発点としてどのような摂動論が可能かを探ることになる。多くの学生が陥る疑問に、どういう状況を考えようとしているのかというと、何故そのようなことを考えるのかというのがある。慣性の法則が発見された状況の中には、自然現象の捕らえ方と物理学が発展する様子を示すものである。

熱力学においては準静的過程が大切なモデルである。これを取り上げるとき、それが必要なことを示さなければならない。熱平衡状態と非熱平衡状態それぞれにおいて過程を逆行させて元の状態を再現させようとする考察は、熱力学におけるモデルの成り立ちを把握するのに役立つ⁵⁾。両状態における系内での熱の移動、等温変化のように系と外部が熱平衡にあるときの熱の移動、そして断熱変化に相当する系と外部が非熱平衡にあるときの熱の移動を考える。これは同時に熱力学のためのモデルに必要な条件を考えさせると共に系と外部の役割を比較し、また等温変化と断熱変化における状態を比較することにもなる。こ

の作業によって生まれるのが、可逆過程と不可逆過程の概念である。この理解には系と外部のイメージがしっかりしていることが大切であり、ここを疎かにすると熱力学は単に現象を記述する個別事項の羅列になる。デカルトの世界像で部分は別個に存在するが、個別にある現象を第一原理によって統一して解説するのが物理学であり、熱力学である。

4. 電磁気学

幼いときから日常的に自分の体で感じて来た物体や力の働きと違って、電磁気学においては電荷や電場という語に実感をもてない学生が多い。これは電気の性質に由来することであるが、言葉を問題にするより、静電気の範囲では粒子に働く力に注目し、電気を力学に還元して解説する方法がある。止まっている物体によって生ずる重力場と静電場、動いている物体によって生ずる重力波と磁場といった対応にも言及する。

そしてできるだけ身近な力学的モデルを使う。地球表面における重力だけを経験していた時代から、宇宙空間における重力場を体験できるようになり、負の点電荷による電場と電位は地球から打ち上げられるロケットの話に帰すことができる。固体表面に分布する電荷による電場と電位についても事態をイメージしやすくなった。

ファラデーは初期の電磁気学の発展に大きく貢献した。ニュートンは一点に集中し瞑想にふける人であったが、ファラデーは実用面の開発に重点をおくアイディアマンである。従って、電磁気はファラデーのようにとらえれば、胸踊り夢ふくらむ分野となるはずである。ましてや、数学を使わないファラデーの方法は、微分積分を編み出したニュートンの手法とは異なり、直感的で、絵を描くように分かり易いものである。そして、図の描き方に僅かな工夫をすることによって、回りくどい説明が一変することに気付くはずである。回路図について言えば、電磁誘導、自己誘導、相互誘導などでは回路図に電圧、電流の基準の向きを書き入れるだけですっきりするといったことがある⁹⁾。これは力学で座標軸の向きによって力などの正負を決定させる方法が有効なことは座標軸を描かない場合と比較すれば明白なことであるが、熱力学、電磁気学についても図に基準の向きがあることが晴れ晴れとした理解につながるということに対応する。

5. ディスカッション

前節の宇宙の話に関連して粒子と反粒子がある。粒子と反粒子とでは電荷の符号が逆になっている。質量やスピンなどは同じである。粒子と反粒子の対生成や消滅では粒子2個分の質量に相当するエネルギーが伴う。この過程はいずれも不連続な過程であり、ニュートン力学では扱うことができないが、同時にエネルギー保存則も成立しないことがある。生成粒子の寿命が短かく、エネルギーを確定できないことがあるからである。この場合、この過程を規定するエネルギー保存則といったような一般法則はなく、注目すべき事柄は粒子と反粒子が存在し、出会うことがあるということになる。

華嚴経や空における全体のかかわりの中で動めいている物同士は、偶発的のように見える出会いを繰り返すと言う。これは前述の粒子と反粒子の挙動とそっくりである。そこにも出来事を決める格別な法則はなく全体とのかかわりがあるだけであると言う。これは物理学より10世紀も古い物質に関する思想である。

男性が真善美を外に求め、女性がそれを内に求めると言われながらその逆の事もあるごとく、類似性の中に対比するものがあり、対比するものの中には類似性が指摘される⁶⁾。見方、立場、解釈を変えることによって白黒が逆転することは常のことであり、東洋の思想ないし精神の中に物理学の思想との一致が指摘されたのもそれほど最近のことではない⁷⁻⁹⁾。デカルトが出現しない東洋では、外の世界のことより内の世界のことがよく発達し、一盤の中にも全宇宙からの圧力を見だし、バラバラの世界より全体の一体性に重きをおく。分析より調和、部分より全体であり、博学より絶学、峻別より包摂、分別より無分別である。しかし、西洋流の分析法においても、理解や発見が達成されるときには思考に飛躍がある。即ち、ひらめく、あるいは、さとりといった過程が存在するので、分別と無分別に類することは東洋においても西洋においてもあるように思われる。

日本は東洋の風土の中にあるが、日本人が自然を理解することは上述のごとく可能である。しかし、これを容易にするもう一つのヒントがローシャッハ・テストの中に見受けられるように思われる。即ち、ローシャッハ・テストの中に自分自身をも組込むフレームの考案である。対象を比較の中で受け止めることに加え、それを見る自分の受け止め方をも比較できる位置におくことである。これによってすがすがしい心を保ちながら思索に没頭できることは、個人主義を旨としない日本人一般に大切なことであるように思われる。

参考文献

- 1) 福島 肇：物理教育 36, 418 (1988).
- 2) 富沢千代子：物理教育通信 51, 4 (1988).
- 3) 田中仁彦：「デカルトの旅/デカルトの夢」岩波書店 (1989).
- 4) C. F. ヴィイツゼガー：「自然の統一」法政大学出版局 (1979).
- 5) 浦上澤之他：「理工基礎物理学」裳華房 (1990).
- 6) ゲーリー・ズーフ：「踊る物理学者たち」青土社 (1985).
- 7) 長谷川晃：「老子と現代物理学の対話」PHP (1988).
- 8) D. Bohm：Quantum Theory and Beyond, Cambridge University Press (1971).
- 9) J. S. Bell：Physics 1, 195 (1964).

Comparative Methods of Education on Physics

Takuyuki S. URAGAMI

Department of Natural Sciences,

Faculty of General Education,

Okayama University of Science

1-1 Ridai-cho, Okayama 700, Japan

(Received September 30, 1992)

Lecturings on university physics in Japan are mentioned comparing the whole and parts, before and after Renaissance, reversible and irreversible processes, and so on in the fields of mechanics and electromagnetism.