

物理教育における基礎・基本について

菅野礼司 大阪狭山市西山台1丁目24-5

科学教育、特に物理教育における基礎・基本とは何かを考察する。それに基づいて、基礎・基本について新指導要領の問題点を指摘する。物事の基礎・基本は、その目的に依存する。科学（物理）教育の目的には3つあり、自然の仕組みに関する知識の習得を通して、科学的な論理と合理的判断力を育成する、科学的自然観や世界観を育て、バランスある人格形成のための教養を身につける、そして、科学・技術の社会的役割を理解し、科学・技術が適切に機能するための基礎的視点を養うことである。これらの目的にかなった基礎・基本とは何かを一般的に論ずる。

I. はじめに

科学教育に限らず、一般に教育には基礎と基本がある。わが国では江戸時代から、学習の基礎は「読み・書き・算盤」といわれてきた。最近では、これをリテラシーといって、一般市民の教育的素養として最低限必要なものとみなされている。

1980年頃から、わが国の理科教育に対する要請の一つとして「教育内容の精選と基礎・基本の徹底」が盛られるようになった。その後、多様化の時代を迎えて、個性を重視した理科教育を目指し、多様性・柔軟性と思考力、創造力、表現力などの養成が唱えられた。しかし、いつもそれなりに立派な目標を掲げるが、掛け声に終って現場では一向に実現しないまま、次の目標が提示されてきたといっても過言ではないだろう。今度の新カリキュラムの発足にあたり、文部科学省は改めてまた「基礎・基本」を重視するようである。ところが、「基礎・基本とは何か」ということについて、文部科学省はあまり明確な概念を示していないらしい。強いて言えば、新指導要領がミニマム・エッセンシャルとして、基礎・基本ということになるらしい。しかし、それを巡る解釈にも疑問や混乱があるように思える。文部科学省では基礎と基本について特別に区別をしないで、「基礎・基本」という熟語のように使っているそうである。この事実や、これまでの文部省のやり方から判断して、どうもしっかりした方針をもって教育方針が提示されているとは思えない。今度の新カリキュラムに対しても、多方面から強い批判がなされ、その実施を取り止めるべきだとの意見までだされている。理科教育の基礎・基本の重視がいわれてからすでに久しいにもかかわらず、教育の土台である基礎・基本とは何か明確でないということは、その上に立つ教育方針が、その期間しっかりしていなかったことを意味する。理科離れの現象を嘆くならば、理科教育の方針とそれにマッチした内容を作るべきである。

わが国の教育内容を名実共に充実させるために、「基礎・基本とは何か」についても、文部科学省にのみ任せる

のでなく皆で考え、その内容についてきちんと意思統一することが必要であろう。そこで、本稿では、理科教育、とくに物理教育における基礎・基本とは何か、そしてその内容について考察することにする。

物理教育に限らず、すべてのものの「基礎・基本」は、その目的に応じて決まるものであるから、まず理科教育、や物理教育の目的は何かを明確にしておく必要がある。その上に、理科教育、あるいは物理教育の基礎・基本とは何かに考察を進めることにする。

II. 科学教育、物理教育の目的

自然科学は自然についての謎解きである。すなわち、それは自然の構造とその仕組みを解明し、それによって築かれた理論を用いて自然現象を説明することを目指す、さらに、その理論により未知のものを予言・予測することで新たな道を切り拓いていくことである。しかし、自然科学の分野はそれだけで閉じているのではなく、人類社会の営みの一環であり、人文・社会学、芸術、宗教など他の分野と相互に関連し合って発展してきた。そして、自然科学は技術への応用によって物質文明に大きく寄与したばかりでなく、自然観や世界観などの思想形成にも不可欠な要素として精神文明にも寄与してきた⁽¹⁾。このことは自然科学は社会に対して強い影響力を持つことを意味する。特に、現代社会においては、科学・技術は人間生活の隅々まで浸透し、生活習慣ばかりでなくものの見方や考え方（価値観）まで変え、さらに政治・経済を動かす力まで持つようになった。それゆえ、科学教育の目的は自然科学の有するこの社会的機能を認識した上でなされなければならない。昔の科学教育の目的は、自然の構造とその仕組みについての知識を教え、それを通して科学的論理と思考法を身につけるだけでよかった。しかし、現在ではそれだけでは済まない。そこで、科学教育の主たる目的を次の3点に措くべきだと思う。

(1) 自然の仕組みに関する知識の習得を通して、科学的な論理と合理的判断力を育成する。

(2) 科学的自然観や世界観を育て、バランスある人格形成のための教養を身につける、

(3) 科学・技術の社会的役割を理解し、科学・技術が適切に機能するための基礎的視点を養う⁽²⁾。

これらの目的について補足しておきたい。(1)の科学的論理と合理的判断力を養うことは、昔から唱えられ、不満足ながらもその目的は一応達成されたといえる。ところが、最近では、多くの個別知識や法則とその公式を覚えて問題に当てはめることが、理科学習の大勢になってしまった。その結果、自然と親しみ自然の仕組みについての謎を理解するよりも、与えられた人工的問題を解くことに勢力を注いでいる。その結果、「なぜ」という疑問を抱き、基礎概念や基本法則を基に論理的にその原因を追究する謎解きの面白さを失ってしまった。嘆かわしいことに、今や物理は暗記科目になってしまった。これが理科離れ、理科嫌いの主要な原因であろう。

(2)の自然観を通して、世界観や人生観などの思想形成に自然科学が不可欠な要素であったことは昔から洋の東西を問わずいえることである。自然界の中で人類の占める地位を理解するのに、昔の宗教的自然観に代わり、現代では科学的自然観が取って替わった。その結果、人間の価値観や生き方も変わった。それゆえ、バランスのとれた人格形成のためにも科学教育は軽視できない。科学教育の目的として、科学的自然観を育てることは指導要領にも常に唱われてきたが、無視されてきた。

幕末・明治以来、西洋近代科学を受け入れる過程で、科学を「役に立つ知識」として、すなわち技術との関連でのみ摂取し、自然科学の基礎にある思想や自然観を無視してきた。この科学観が、政府の富国強兵策と日本人の実利的なものの考え方と結びついて科学教育の方針となった。戦後には、それが「技術立国」あるいは「科学技術立国」に変わったが、基本的には前と同じ科学観が引き継がれている。戦後の日本には教育方針としての基本理念を決める哲学がないので、とくに理科教育の方針と目標は技術革新の時流に流されて一貫性がない。カリキュラムの変遷にもその無定見ぶりが現れている⁽³⁾。

(3)現代社会では、科学・技術の社会的役割が絶大であるので、科学・技術のあり方、その活用法、そして研究開発の方向などを一部の専門家に任せておくには余りにも大きな存在となり、広く全市民の問題としてわれわれの前にある。今や科学技術は、個人生活を全面的に左右しているばかりでなく、国家・社会を動かす力を持っている。人類は古代から、科学・技術の力により自然の脅威から身を守るばかりでなく、自然に働きかけ改造することで活動範囲を広げ、それによって生活を豊かにしてきた。しかし他

方では、大量殺戮兵器の開発競争、行き過ぎた自然支配による環境破壊など、人類生存の危機を招くまでに至った。また、日常生活では環境、食品、薬品や医療による公害から身を守るために用心をしなければならないことが多い。このように、あらゆる面で科学・技術を監視すべき状況の中に生活しているのであるから、一般市民といえども科学・技術に関心を持ち、科学の基礎知識を身に付けねばならない。

上記の3つの目的のうちで、科学・技術的知識以外のことは、学校を出てから何の役に立つのか大多数の人には必ずしも明らかでないものだろう。しかし、人間は即物的に直ぐ役立つもののみを求めたのではゆとりがなく、じきに行き詰まってしまう。「無用の用」の大切さをもっと認識すべきである。

それは個人や社会についてばかりでなく、自然界に広く見られる傾向である。たとえば、生物の遺伝や個体発生の機構にも無駄と思われる余裕がある。実際に、遺伝子DNAには一見無駄に見える余分な部分(まだその役割りが分かっていないものも含めて)がある。また固体発生の場合も、卵細胞には余剰な細胞質が多く含まれていて、その一部(ヒトでは8割以上)を取り除いても個体は発生しうる(ただし、発生にはより長い時間がかかる)。この事実は、卵細胞は悪条件を克服できるように、かなり余剰エネルギー(ゆとり)をもっているということである。生物集団の環境適応についていえば、生物が環境に対する適応が完璧になるということは、無駄のない最高の効率で生きていることになるが、そのような完璧なシステムはわずかな変化にも影響をこうむるという弱点を持っている。行き過ぎた適応(特殊化)は、むしろ滅亡の内因なのである⁽⁴⁾。人間の社会においても、能率主義のみでゆとりがなければ無味乾燥な生活になる。物と心にゆとりのある地域と時代に、素晴らしい多様な文化が生まれそして栄えてきた。

人間の思考力や判断力は総合的に養われるものである。それゆえ、一見、何の役に立つのかと思われるような、上記の「理科教育の目的」に述べたことを目指すなかで、他教科と合わせて知らず知らずのうちに思考・判断能力や人格が形成されるのである。直接すぐに役に立つか否かといった目先のことで物事を判断すべきではない。理数科以外にも、将来社会に出てから何の役に立つのかと思われる教科目は他にもあるが、それはバランスのとれた人格形成に必要なからである。ただし言うまでもなく、このように「無用の用」を強調するからといって、実用に役立つ知識の意義を軽視しているわけではない。「必要は発明の母」であるように、直ぐ役に立つことが分かる物事には関心と興味を持つからである。

Ⅲ．科学教育、物理教育の基礎・基本

前節で述べた科学教育の目的を達成するために、「何を改めて言うほどのことはないかも知れないが、「基礎と基本とは何か」をこの場ではっきりさせておく方がよいであろう。なにごとに一つの体系をなしている物事には、その仕組みの土台となるものがあり、その上に当の全体系が築かれている。その土台となるものが基礎であり、全体を下から上に貫く柱、つまり全体の骨格（主要な枠組み）をなすものが基本である。それゆえ、基礎と基本はその体系の基本的性格を規定するものである。これら基礎・基本の周りに付随的な要素が着いて全体系ができあがる。ただし、基礎と基本は互いに独立ではなく、相互に関連しあっている。

たとえば、ニュートン力学は、基礎概念と基本法則とが中心となって構成されていて、それを基に力学現象をすべて説明し、また新たなものを予言できる一つの理論体系である。その基礎概念というのは、時間・空間とはなにか、また慣性系とはなにか、そして速度、加速度の定義、および質点、質量、力に関する定義である。それに対して基本法則は、慣性法則、運動法則、および作用・反作用の法則である。これら基礎概念と3つの基本法則から、力学上の重要な概念や法則が導かれる。力学的エネルギーや運動量の概念とその保存則は、その最も重要なものである。それ以外にも多くの概念や法則が導かれることは改めて言うまでもない。これから明らかなように、基礎概念は力学現象を記述し、分類するために不可欠なもので、力学の礎石である。そして、基本法則はこれら基礎概念を組み合わせでできてきた命題である。上記3つの基本法則は一体となってニュートン力学の根幹をなし、その理論体系全体を貫いて働いている。ニュートン力学はこの3基本法則だけで、その基本として十分であるが、エネルギーや運動量を基礎概念に、またエネルギーと運動量保存則のように重要なものは基本のなかに含ませてもよいだろう。いずれにせよ、これらの基礎概念と基本法則を中心に、力学理論は一つの体系にまとまっていること、さらにそれによって全力学現象を原理的にせよ説明できることを認識させるべきである。

また、この例では、基礎は基礎概念のみであったが、概念だけでなく原理・法則で基礎に入るものもあるだろう。

「基礎」は概して静的、平面的であるのに対して、「基本」は立体的な性格を有するといえるだろう。

ここでもう一度強調したいことは、基礎・基本は個々のばらばらな概念や法則の寄せ集めではなく、互いに有機的に関連していて系統立ったものだということである。

(i) 物理教育の目的(1)の基礎・基本

いかに、どれだけ」学ぶかが次の問題であり、それによって科学教育、物理教育の基礎・基本が決まる。

まず、(1)自然の仕組みに関する知識の習得を通して、科学的論理を身につけ合理的判断力を養うための基礎・基本から始めよう。

自然の仕組みを理解し、それに関する知識を得るには、まず、自然に触れてそこにある現象を知らねばならない。

「何が、いかに在るか」という現象的な事実知識を集め、そこから規則性を見出す、次にそれらを抽象化・普遍化した(基本)法則へと導く。その過程では、推論によって副次的な要素を取り除くことにより、現象の裏に隠れていた本質に気づくようになる。さらに、その法則から、いろいろな現象を統一的に理解したり説明できること、また、新しい事を予測できることを教えることで、科学的な論理や合理的判断力が養われる。

それゆえ、基礎・基本には、基本的法則の理解に達するまでの方法、およびその法則の意味や科学の論理を理解することの二つがある。前者の「理解に達するまでの方法」の基礎・基本としては、まずなにが基本法則かを見定めねばならない。そして次に、一つの基本法則に達するまでに、最低どれだけの事実や現象の知識(基礎)が必要かを組立てねばならない。その際注意すべき事として、知識詰め込みの押しつけ教育の弊害であろうと思われるが、実際の経験や観察・実験抜き知識、つまり教えられたものを鵜呑みにした「学校知」が非常に多いことである。たとえば、太陽中心の地動説と地球の自転・公転は誰でも知っており、それを信じている。だが、本当に地球が動いていることはどうして分かるか、その物理学的証拠を示せという、ほとんど答えられないという⁽⁵⁾。理系の大学生(教養課程)でも驚くほどできないそうである。あるいはまた、原子に関する教科書知識やジャーナリスティックな情報は山ほど持っているが、原子というものを実感としてイメージできないのである。これに類することはいくらかもある。これらの知識は自然科学的知識ではなく、「無自然の知」、「不自然の知」である。したがって、「理解に達するまでの方法」の基礎・基本として、観察・実験を重視し、それを通して自然を理解することが大切である。

物事には覚え込まねばならない最低の基礎知識というものもあるが、理科の場合は、それらをどれだけどう教えるべきか、そして、それを教える目的と方法を、上記の科学教育の目的に従って決めねばならない。

次に、「科学の論理の理解」についての基礎・基本に移る。自然の仕組みを理解する科学的知識というものは、個々の知識、つまり概念や法則を単に寄せ集めたものではなく、

それらを有機的に関連づけて築かれた一つの理論的体系である、ということをもまず確認しておかねばならない。さらに、理科の科目、物化生地はそれぞれ一つの理論的体系をなしているが、それらはまた全体で自然科学という一つの体系をつくっている。だが、それらは平面的に並存しているのでなく、物理がそれらの基礎になっている、すなわち、物理学は理科の中で、扇の要の位置にあるということである。ただし、このことは他分野のものはすべて物理学に還元されるという「物理帝国主義」を意味するものではない。物理的現象が基礎になっているものでも、物理学によってストレートに説明できない現象はいくらでも存在する。実際に、自然の階層構造において、下の階層の構成要素にはない質が上の階層には生まれ、それぞれの階層には独自性がある。このように、全体は部分の単純和以上のものを有する。

自然科学の体系は物理学を基礎にその上に組み立てられた一つの殿堂であることは、理科教育の基礎は何かを考える上で軽視してはならない。いまの科目選択制では、物理や化学を履修せずに、生物や地学のみですむから満足な理科教育ができるはずがない。物理・化学を知らずに生物で分子生物学を教え、DNAの塩基配列を天下り的に覚えさせているのは不自然である。物理・化学を知らなければ遺伝コードを理解できないとはいわないが、物理・化学の基本的な理論とももの見方を知った上でそれを学ぶのでは理解の仕方が質的に違う。それは、熱学やエネルギー保存則を知らずに、化学反応を正しく理解できないのと同じである。

物理学に限定しても、基礎的分野とその上に築かれる分野とがあり、そこには系統性がある。物理学は力学、電磁気、波動、光学、熱(力)学、統計力学、量子力学などを包含する一つの体系であるが、力学がそれらの基礎になっていて、すべてが互いに関連している。しかし、物理学の各分野の論理的性格は同じでなく、2つの流れに区分できる。一つは力学や電磁気学のように、粒子(質点)や場の空間的変化を時間的に追跡する理論であり、それゆえ「時空記述」の方法と呼ぶことができる。もう一つは、熱学、熱力学とそれを分子的に基礎づける分子統計力学は、むしろ時間・空間を捨象して、多粒子系の状態の性質とその状態変化の関係を記述するのが本質であるから、それを「状態記述」の方法と呼ぼう。波動論や量子論は両者を統一した論理と記述形式である。

それらを模式的に並べると次のようになる：

時空記述：力学—電磁気学—相対性理論

統一記述：波動論—量子論———宇宙論

状態記述：熱学—熱力学—分子統計力学———物性論

これら物理分野のすべてを、初等・中等教育で教える訳ではないが、相対性理論や量子論を除いても、この物理学の流れと各分野の相互関係を踏まえた上で、基礎・基本となるものを精選しなければならない。理数科は他の教科よりも、基礎・基本を下から積み上げていかなければ理解できない仕組みになっている。物理学は特にその傾向が強いので、そのことを考慮すべきである。

学校ですべてのものを教えることはできないから、興味を持ち、自ら学び考えるための最低限の知識を基礎・基本とすべきである。ところが、新カリキュラムでは、そのような理念も方針もなく、教育量を無理矢理に3割削減したために、基礎・基本として必要な事項が消えてなくなっている。その結果、基礎・基本の選択に統一性を欠きいろいろなところに矛盾がでている⁽⁶⁾。

では、これまでに論じた観点からいって、物理教育の基礎・基本とはなにかが問題である。それらをすべてここに具体的に示す余裕もないし力もないので、その方針ともなるものを、力学と電磁気の関係为例に挙げておく。

まず、電磁気現象の分析と電磁気学の法則の発見にいたるまで、観察・実験が繰り返されてきたが、それを行うには力学が不可欠であったということである。電気力や磁気力の強さ測定するにも、すべて力学がその基礎にある。力の定義や運動量・エネルギー保存則なしには実験の解析はできない。次に、電磁気学の体系はマクスウエルの4つの基礎方程式が基本法則であるということである。そこに盛られている4つの法則は、静電気力に関するクーロンの法則、電流の磁気作用を表すアンペールの法則(本質的には定常電流の効果)、ファラデーの電磁誘導の法則(電流変化の効果)、および磁力線(磁束密度)は切れて消滅しない(磁気単極子は存在しない)という法則である。これらの基本法則から、静電気や電流に関する重要な法則と、電気回路に関する基本法則は導かれるので、すべての電磁気現象はそれから説明される。このような電磁気学の構造と論理を、そのまま教えるのは大学のレベルであるが、高校までの基礎・基本はこのことを念頭に置いて組み立てるべきであろう。電気や電流の担い手は電子であること、電磁気力の伝達は電場・磁場であること(近接作用)、そして4つの基本法則に達するまでの過程と方法によって基礎的現象や基礎概念の選択が決まると思う。それらの中味を一つ一つ具体的に精選して示すには、経験と見識のある人々の協力と十分な検討の時間が必要であるから、今後みんなの研究課

題としてここに提起したい。

(ii) 理科教育の目的 (2), (3) の基礎・基本

科学的自然観の育成は学習指導要領に常に唱われてきたが、全く実らずにきた。その理由は、日本人の科学に対する実利主義的理解ばかりでなく、現実問題として、受験勉強のために、多くの知識を詰め込み問題を解く技術を練ることに追われて、自然観など顧みる余裕がないことであろう。だが、もう一つ重要な原因は、教師自身がそのような教育を受けてきたので、自然観教育の意義を喪失した現行理科教育の欠陥を自覚せず、同じ教育法をまた繰り返しているからである。文部省（現在の文部科学省）はカリキュラムと指導要領を変えて天下りの下ろすだけで、教員の意識改革の研修や現場における教材設備など、それに対する裏打ちをせずに教育現場に任せてきた。これまでの詰め込み的な「知識偏重」の歪みを是正しようとして、「総合理科」、「理科 I」そして「理科総合 A, B」などを次々に打ち出したが、現場の大部分の教師は当惑するばかりであった。今度の「理科総合 A, B」も基礎的知識や基本的原理・法則を基に各分野の現象や事物の仕組みを関連づけて論理的に理解させるのではなく、各分野を寄せ集めて現象的な上滑りの知識をなぞることになりそうである。せめて「理科基礎」で理科の基礎・基本をしっかりと学び、その上に「理科総合」をやるならば救いはあるのだが、そうはなっていない。

科学的自然観を育成するには、物化生地の 4 教科を統合したものが最も望ましい。また、科学・技術の社会的機能を理解させるにも、4 教科を総合した知識がいる。それゆえ、「理科総合」において各教科目を関連づけ、自然に対する総合的見方や考え方を養うと同時に、科学的自然観を育成し、科学の役割を認識させるならば理想的である。そのために、科学史を採り入れ、また環境問題を取り上げることも必要であるが、各教科の基礎知識なしには、本当の理解にはならないであろう。しかし、現行の科目選択制のもとでは、すべての理科の科目を履修しないのでそれは無理である。

それでも、それぞれの教科目のなかでも、不十分ながら自然観を養うことはできる。物理の場合、物理的自然観として、まず原子論的自然観と力学的自然観を基礎にして、その次に階層的自然観と進化的自然観を示すことである⁽⁷⁾。原子論的、力学的自然観は機械論的自然観とともに近代科学の中心的自然観であったが、20 世紀の現代科学は自然の構造をさらに深く、上は宇宙から下は原子・素粒子・クォークというように階層構造として捉えた。また他方では、宇宙進化の中に物質進化、生命の発生を含めて、全てのものは発展・進化するという進化的自然観に達した。これは

近代科学形成の基礎にあった機械論的自然観に替わるものである。その自然観を理念として物理の内容を組み立てることが望まれる。科学・技術の社会的機能については、科学史としてばかりでなく、世界史や社会科でも取り上げるべきである。有史以来、自然認識としての古典科学（自然哲学）は人類の文化として重要な位置を占めてきた。特に、17 世紀に近代科学が成立し、そして産業革命以後は、科学・技術の果たしてきた役割を無視しては、まともな人類史は語れないはずである。ニュートン力学の成立は、その後の科学・技術、思想、宗教、社会制度に大きな影響を与え、永年の間に歴史を大きく変えてきたことを強調したい。科学教育の目的 (2) および (3) の基礎・基本はここにあると思う。それゆえ、STS（科学・技術・社会）的教育の観点からも、科学の社会的機能は「総合学習」のよいテーマとなりうるだろう。

本稿は、一般的抽象的な記述に終わったが、この線に沿って、今後具体的に詰めていきたい。

参考文献

- (1) 拙著『東の科学・西の科学』序章、東方出版（1988）。『科学は「自然」をどう語ってきたか』ミネルヴァ書房（1999）。（これは『物理教育』に連載した「自然観」に加筆して纏めたものである）。
- (2) 物理教育学会近畿支部刊行『よみがえれ理科教』第 1 章、東京書籍（1999）。
- (3) 岡本正志「理科教育のパラダイムシフト」、中山 茂他責任編集『通史日本の科学技術』学陽書房（1999）。
- (4) 白井浩子「生物の可能性をみる」『大学活用法』（岩波書店編集部編）所収。
- (5) 岡本正志「科学史的認識を利用した教養物理の試み」日本科学教育学会・研究会研究報告（1989）。
- (6) 『物理教育』第 48 巻、第 6 号「第 17 回物理教育研究大会シンポジウム報告」。
- (7) 詳しく説明する紙数がないので、次のものを参照されたい。拙論「科学教育における概念形成から統合化まで」『物理教育』第 48 巻、第 2 号「近畿支部特集」（2000）、および文献 (1) の 2 番目。