

# 特集

## 科学史を天文教育に生かす

「授業の中の科学史」 横尾武夫（大阪教育大学）

### 1. 天文学と天文学史

天文学は最も古い科学であり、いつの時代にも、常に最も新しい学問であり続けてきました。人類の科学の誕生と発展においては、常に天文学が先行し、そしてそれをリードしてきたことは、ニュートン力学や相対性理論、原子核物理等、基礎科学の中に例を挙げることにはいとまがありません。したがって、現代天文学という学問体系の中で、天文学の歴史そのものが大きな位置を占めていることは、必然だともいえます。

卑近な例では、星の明るさを等級というスケールで表しますが（現在では煩わしい思いをすることがあります）、これは古代ギリシャ天文学の伝統を今に引き継いでいるのです。また天体の座標の赤経を時分秒、赤緯を度分秒の単位で表しますが、これは赤経は時計で、赤緯は分度器で測る大航海時代の伝統でしょう。また、天文学における常数の測定には永い時間にわたる継続的な観測を必要とするものが多く、太陽や月の運動理論には、過去の日食や月食の記録が重要役割を果たしているし、太陽活動周期なども同様です。超新星という概念の成立も歴史記録が発端でした。

現代の私達が天文学を初歩から学習しようするとき、標準的な教程があるとすれば、地球から初めて太陽系、恒星世界、さらに銀河系、大宇宙へと宇宙の階層構造の下位から上位へと、順を追って学習を進めることになるでしょう。この順序は、人類が古代から現在までに獲得してきた宇宙観の発展をそのまま踏襲しています。このように考えると、天文学の歴史を学習することと、現代天文学の大系を学習することは、全く等価であるといっても過言ではありません。

### 2. 理科の学習における科学史

学校で習う物理学や化学の場合はどうでしょうか？これらでは、学習内容がそれ自身の科学史に深く関わることなく、その体系の学習を進めることが可能であるように思われます。特に、学校教育の数学の授業で数学史の話聞いたという記憶は、私にはありません。とはいうものの、ある分野の学問を始めて学習しようとするとき、その学問の歴史を学習することが、その学習に非常に役立つことがあることは確かです。

私事になりますが、私は大学3年で始めて量子力学という学問に出会いました。量子力学は、当時はまだ新しい学問だったのですが、その世界ではすでに常識となっていたようで、大学の講義は「波動関数とは・・・」「シュレディンガー方程式は・・・」という内容で始まりました。はなから、私は荒海（数式の）に投げ込まれた金槌のようなもので、溺死寸前とはなってしまったものです。そんな時に、朝永振一郎著の量子力学の教科書を入手した時に、私は（藁かも知れないが）何かの手がかりを掴んだような思いになりました。その本を読んで、私は先ず、自分が量子力学という学問が何のためにあるのか、ということすら全く解っていない、ことが解りました。その書では、最初の部分にかなりの分量で、黒体放射とか光電効果とかの実験や理論から説き起こし、量子力学が生れた時代状況における必然性を含め、近代物理学の発展の歴史が説かれていました。もっとも、この書の本論はハイゼンベルグの行列力学なのですが、私はそちらの方を完全に習得するには到りませんでした。しかし、大学の講義とは違って、量子力学の海の浜辺で散歩するという、ある種のびやかな気分ひたることは

できたわけです。

このような経験から、自分にとって初めての事柄を学習しようとするとき、その対象となる事象についての、先人の苦闘を含む、学問の発展の歴史を学ぶことは大変役に立つと考えるようになりました。大学での私の講義にも、出来るだけ科学史の内容を含めるように心がけています。大学に限らず、学校においても自然科学の授業に、科学史の内容を含めた授業展開をすると、生徒に授業の主題に興味と親しみを持たせることができ、先人科学者のエピソードを含めるなど、授業の内容が豊かになるのではないのでしょうか。

私は、理科の授業に科学史の内容を取り入れることに、次のような意義があると考えています。

(1) 授業を始めるとき最初に、生徒に対して、その主題への動機付けをする必要があります。多くの場合は、日常経験の中にある事物や現象を取り上げて、それに気づかせるとともに、各自の経験について考えさせることが出発点となります。しかし上級になって、分子や原子といったミクロの世界や、天文学のようなマクロの世界でのテーマが入ってくると、日常では経験できない事象を扱うことになり、その動機付けは違った方法が必要になります。その時には、人間が、何時、何故、どのようにしてその現象に気づき、研究を始めたのかという、科学史の内容から説き始めることが多く行われます。

勿論、動機付けだけでなく、先人の努力の結晶である、発見や発明に至る過程を知ることが、生徒がその原理を理解する上で、大きな役割をすることも確かです。

(2) 生物学に「固体発生は系統進化をくりかえす」という有名な仮説があります。ヘッケルの法則というのだそうですが、人がまだ胎内にある時、魚のように鰓呼吸をしている段階があるなど、人の生物学的発生にも当てはまる法則です。それと共に、人間の認識の

成長過程にも、このヘッケルの法則が当てはまると考えられています。すなわち、子供から大人への認識の成長は、人類の歴史における認識の発展を相似的に追従しているというものです。先に述べた天文学の教程を人類の宇宙観の発展に従って組むことは、この事に対応しているわけです。現在の我が国の学校教育の指導要領にも、この考え方が組み込まれているのが見て取れます。大局的な立場で教育内容の構成を考えると、科学史からの考察が重要となるわけです。

(3) なぜ人間は科学を発展させてきたのか、また発達させようとしているのかという、科学というものをもっと相対化して考えるという立場があります。確かに、科学は何時も人間に幸福をもたらしてきたわけではありません。現代でも、環境破壊や資源枯渇、軍事競争、国際格差の問題など、科学の負の面が表面化し、人類の生存の問題として、その行き過ぎに対する声が上がっています。したがって、学校教育における科学技術の教育を従来のように発展充実の立場で押し進めるのではなく、科学技術そのものの社会的な役割を再検討し、将来に向かって適正な方向に向かわせよう、という考え方を教育の中に含めるべきだという主張があります。STS教育という運動はこの代表的な例でしょう。科学教育の中に科学史の内容を取り入れることは、理解を深めるという目的の外に、このような考え方の必要性を、自然な形で、私たちが取り込むこととなります。

### 3. チコ・ケプラー・ニュートン

現代科学の歴史では、ニュートンの万有引力の発見は将にハイライトといえるでしょう。科学史の教科書でも、それについての記述に最も多くをさき、最も重要な位置を占めています。1938年に、原子物理学者・武谷三男は「ニュートン力学の形成について」という有名な科学論の論文を発表しました。それ

は「武谷の三段論」という呼び名で、現在も読み次がれています。その内容を要約すると、科学思想の確立は、万有引力の法則の成立を例にとって、次ぎのような三つの段階を経る、という理論です。

- 1) 現象論段階（チコ・ブラーへの段階）  
観測や実験によってデータを蓄積する段階をいう。16世紀、チコ・ブラーへは天体の位置を継続的に観測し、惑星の見かけの運動の高精度で膨大なデータを蓄積した。
- 2) 実体論的段階（ケプラーの段階）  
観測（実験）データにもとずき対象の構造や関係、運動の実体を明らかにする段階をいう。ケプラーは師であるチコの観測データを用いて、コペルニクスの太陽中心説にもとづき、惑星の見かけの運動を空間運動に変換し、惑星運動に関する「ケプラーの三法則」を導いた。
- 3) 本質論的段階（ニュートンの段階）  
ある事象について、2)の段階で明らかになった構造や運動の実体は、より普遍的な原理にもとづくとして、それを基本法則として確立する段階。ニュートンは、ケプラーの法則にもとづいて惑星に働く力の性質を導いた。さらにその力は、太陽と惑星の間にのみではなく、宇宙にある全ての物体の間に働く力へと普遍し、万有引力の法則を導いた。

この論文が書かれた時期は、素粒子物理学の黎明期にあたり、我が国では、湯川秀樹や朝永振一郎を始めとした錚々たる人々が気を吐いていました。この武谷論文は、新しい理論物理学研究への方法論を確立しようとする意図で書かれたもので、いわば進軍ラッパのようなものであったそうです。

私は、この「武谷の三段階論」は、学校の授業計画を作成する時の基本原理にもなると

考えています。すなわち、授業の展開を、①実験または観察、②モデルの構築と検証、③原理もしくは因果律の認識、の三つの段階で構成するというものです。この考え方は、現代の理科教育の基本的な考え方で、小・中学校の理科の教科書を見ると、各単元がこの考え方で構成されていることが見てとれます。

しかし、この考え方を形式的に踏襲しただけでは、意味がありません。ここで述べられている三つの段階は、連続的なものではなく、次の段階への飛躍は、事象への視座が弁証法的に止揚されていることに注意しなければなりません。それぞれ段階が、その時代の傑出した天才達によって築き上げられるものなのです。だから、もし、この考え方を基本とした理想的な授業があるとすれば、授業が進む中で、次の段階へ踏み出すとき、生徒は、今までの固定観念を打ち破るような、大きな飛躍を経験することになるのです。

#### 4. 帰納法と演繹法

私は今、「地学教育論」という大学院生を対象とする授業を担当しているのですが、その授業では、後半の部分で、学生に任意のテーマを選ばせ、それに関する実際の指導案を作り上げ、模擬授業をする、という課題を提出します。その時、授業の構成を、先に述べた「三段階論」を下敷きにすることを約束とします。

専門分野が多様な学生が受講していますから、テーマは年によって、「プレートテクトニクス」とか、「風と気圧」とか、さまざまな物が出てきます。ところが、学生諸君が最初に作る指導案を見ると、約束の「三段階論」を踏まえた教案になっていないことが、ほとんど例外なく起こります。私の趣旨がなかなか学生諸君に伝わらないことにもどかしい思いをするのですが、何回も書き直しを命じて、やっと目的の姿に成るとというのが現状です。

「三段階論」というのは、事象の観察から原

理へ近づきという「帰納法」を述べています。それに対して、何かの原理を出発点として事象を説明するのが「演繹法」です。学生が最初にかき、私が書き直しを命じる指導案の多くは、授業の成り立ちを後者の演繹法に基づいて作ろうとしたものなのです。例えば、風と気圧のテーマを選んだ学生は、最初に気圧傾度力とコリオリ力があり、その結果として地衡風が吹く、という風に話を進める教案を書くのです。私が求めているのは、風がどのように吹いているかのデータを集め、それから地衡風という実体をつかみ、さらに気象力学の概念に到達する、という筋道なのです。現在の学生諸君の頭は演繹法で凝り固まっているのではないかな、などと思ったりするのですが、この傾向は、私の授業だけでなく、教育実習や現役の教師による研究授業を参観する時にも、しばしば経験することです。

小・中学校では、いわば帰納法に基づいた授業が行われているのに、大学生で、どうして、そのようなことが起こるのか、と考えさせられます。きっと学生は、高校と大学での教育の段階で、すっかり演繹法に洗脳されてしまうのでしょう。先に量子力学に関する私の経験で、朝永の教科書の話を書きましたが、これは帰納法によったものです。私の受けた大学の講義は、明らかに演繹法にもとづいたものでした。確かに、学習者が実際に量子力学を使いこなすに到るには、帰納法による学習の道筋はあまりにも遠回りといわざるをえません。高等教育での学習は、何らかの目的をもっているし、内容が高度で分量が多いわけで、指導法は演繹法にしたがわざるをえない事情があるのでしょうか。

演繹法にもとづく指導法は、多くの知識を、短時間で効率良く獲得させることができます。しかし、学習の動機づけが、生徒の自発性にもとづいたものではありません。また、問題に対する解答を得る能力はつきますが、問題を発見する力や喜びを与えることは

できません。少し皮肉な見方かもしれませんが、私は、学生諸君が演繹法に洗脳されたのは、受験勉強の時期ではないかと、考えることがあります。確かに受験勉強は目的がはっきりしており、内容が高度で豊富ではあるのです。

私達は、帰納法にもとづく授業法というものを、もう一度良く評価し直す必要があるのではないのでしょうか？ 確かな知識体系を構築するためには、回り道をも厭わない、いわゆる「ゆとり」のある授業展開が必要です。そのような観点から、これからの理科教育の中で、科学史の役割と重要性が再認識されるのではないかと思います。

2002年から、我が国の教育課程が新しくなることになりましたが、その中で、高等学校の理科に科学史という科目が新設されることになりました。選択科目として位置づけられていますが、指導者の養成、教科の内容や、生徒がどのように対応するかなど、多くの問題があるようです。

私は、高等学校で理科という教科の中に科学史を科目として立てることには疑問を持っています。高校生段階で、科学史を学ぼうとする動機が自発的に生まれる例は非常に少ないのではないのでしょうか。それに科学史は、科学の内容そのものの理解が伴わないと、その学習の意義がないものです。さらに、理科嫌いの延長線上でそれを選択する生徒が多くなると、授業の意義がなくなってしまうことにもなりかねません。

このような問題は、実際にその授業が始まってから、永い時間をかけて、担当者の努力で改善されていくのでしょうか。しかし現段階で、私は、理科の担当者が科学史の教養を十分に積んで、それを理科の授業の中で生かしていくことの方が重要であると考えています。