

日本の理数科教育をサポートする

Rimse

Research Institute for Mathematics and Science Education

No.1

SEPTEMBER
2012

特集

(財)理数教育研究所
設立記念講演 in 東京

創刊号



(財) 理数教育研究所
代表理事 / 理事長



独立行政法人 科学技術振興機構
研究開発戦略センター長

吉川 弘之 / よしかわ ひろゆき

石油資源をはじめ金属鉱物資源に乏しい我が国が第二次世界大戦の後に奇跡的な復興を成し遂げ、GDPで世界第三位の経済大国にまで至った要因として国民教育の水準の高さや勤勉で誠実な国民性があげられます。

その背景として、近代文明への扉を開いた明治維新よりこの方、「ものづくり」の基盤となる理数科教育の果たした役割は計り知れないものがあります。

我が国は「科学創造立国日本」を標榜し、その矜持を持って久しく世界に喧伝してきました。しかし、近年は中国・韓国をはじめとするアジア諸国の猛追を受け、科学技術の面においてかつての栄光

CONTENTS

一般財団法人 理数教育研究所 設立にあたって	表紙裏
事業内容の紹介	1
理事からのメッセージ	2
特集 設立記念講演 in 東京	6
記念講演 科学的知識の創出と使用	7
独立行政法人 科学技術振興機構 研究開発戦略センター長 吉川 弘之	
講演 新学習指導要領と「学力」の課題	20
公益財団法人 教科書研究センター 副理事長 御手洗 康	
科学史の散歩道	裏表紙
大阪教育大学名誉教授 鈴木 善次	

が消え去るのではないかと危惧されています。学校教育においても、児童・生徒・学生たちの学力低下とともに「理数離れ」が指摘されてからいたずらに時が過ぎ、いまだに解決の糸口が見えません。

当財団では将来に向けて数理的知性の資質を持つ人材育成の支援事業や社会貢献事業に取り組み、「ものづくり」文化の再生や「情報科社会」の構築に必須の科学技術の進展そしてその礎となる「理数科教育」振興に寄与していきたいと考えています。

2011年3月11日に発生した東日本大震災と原発事故を機に、現代の科学技術文明への検証や見直しが要請されています。当財団では科学技術が持続可能な開発の実現に寄与していることを実証するための調査・研究やそれに関わるさまざまな情報を発信していきます。また、理数科教育の振興と活性化に向けて、小さいながらも一歩を踏み出し、将来への希望の種を撒き、科学と文明の向上、我が国の発展に寄与・貢献していきたいと願っています。

● 事業内容の紹介

(財)理数教育研究所では、「科学技術創造立国」の礎となるべく学校教育・家庭教育において、数理的知性の涵養を目的として、理数科教育に関する調査・研究と提言・情報の発信を行い、理数科教育のさらなる振興に向けて支援し、社会に貢献します。



● 理事からのメッセージ

常務理事



窪田 博明 / くぼた ひろあき

持続的な成長と社会の発展を担う 科学技術に寄与する

日本は、江戸・明治の頃より外国からの科学的知識やその技術を社会に採り入れ、「ものづくり」の基盤となる文化を醸成してきました。それが可能であったのは、世界でもまれな識字率の高さに代表される教育の充実と、緻密で器用で真面目で旺盛な探究心を兼ね備えた日本人の国民性があったからです。しかし、「理数離れ」が社会問題化して久しく、解決の糸口はいまだに見いだされていません。主たる教材の編集出版に関わってきたものとして、反省するところ大なるものがあります。

このたびの財団設立を発意した目的は、理数科におけるさらなる改善提言のための研究、講演会・イベント開催や広報誌の発行による新鮮な情報発信、先進的な研究への支援や数理的な研究作品への表彰等の助成を通して、将来我が国を担う世代が科学する心を持ち続け、数理的知性を開発できるようにすることです。児童・生徒の心に「知的冒険心」が限りなく広く育つことを願っております。今後とも、末永く厳しいご指導・ご鞭撻をお願い申し上げます。

理事



公益財団法人 教科書研究センター
副理事長

御手洗 康 / みたらい やすし

「なぜ？」と問い続ける子供を育てるために

私たちは持続可能な社会の確立に向けてこれまでの生産や生活の仕方を大きく転換していかなければなりません。東日本大震災や福島原子力発電所の事故からも、改めて科学的な知識とそれに基づく論理的な思考力、適切な判断力を身につけ、一人ひとりが責任を持って行動していくことの必要性を強く学びました。

子供たちの理数離れや「学力低下」の根底には与えられた問題に取り組むことはできても、自ら問題意識を持って主体的に学ぶ姿勢が弱くなっていることに原因があります。子供たちが自然や社会の出来事に「なぜ？」という疑問を見だし、自ら問題を解決していく力を身につけていくことが大切です。教師はそのための学びの環境を周到に準備し、自らの指導力を高めていかなければなりません。

現在、帝京大学教職大学院で現職教員や教職を目指す学生に教育政策と教育行政について教えていますが、院生たちは授業の実践力を高めようとして真剣に勉強しています。理数教育研究所の活動を通して、教員の皆さんの実践力を高めるための支援をお手伝いしていきたいと思っています。

理事



独立行政法人 大学評価・学位授与機構
理事

岡本 和夫 / おかもと かずお

中学校、高等学校の教育数学

大学で教える数学の内容はいかにあるべきか、ずっと考えてきました。既存の数学を加工して教育の場に持ち込むのではなく、教えるべき数学の教育の体系を創ったらどうだろう、と行き着いたものが教育数学でした。もちろん数学ですから、人により内容が異なる心配もないし、実は無理して細かいシラバスを決めなくても、大筋の了解さえあれば、到達度は同じはずです。最近では自発的な学びが重視されますが、学びの数学は個人が設計すればいいので、それでも結果は同じであるところが、数学の良いところでは。

大学初年次教育の数学は大学ごと、専門ごとに多様で、上手なコンセプトが得られず議論を重ねているところでは。それに対して中等教育の数学は何とかなりそうです。それは長い年月にわたって学習指導要領の根幹は揺るいでいない事実があるからです。抜本の見直しも可能ですが、ともかくもモデルが一つあることは重要です。注意すべきことは、中等教育の数学は学習指導要領の変更によって極めて不安定な振舞いをすることです。良かれと思って少し変更してもたいへんな影響を与える。これが今よく話題に上る、学力低下問題です。子供たちには何の責任もないのですが！

理事



公益財団法人 文字・活字文化推進機構
理事長

肥田 美代子 / ひだ みよこ

読解力と言語力の向上を目指して

理数はロマンに満ちたものなのに、私は苦手であった。それなのに薬科大学に進んだのは、「亀の甲」に多少の興味があったからだ。

今、私の仕事は、「子どもの読書活動推進法」と「文字・活字文化振興法」を具現することである。「亀の甲」とは離れているように見えるけれど、離れようがない。思えば教科書たちは自らの役割と同時に、小説や他の本とつながる役割を果たしてくれた。それは今一段と大切になっている。

新学習指導要領の「言語活動」の充実は、国語だけの課題ではなく、理数などの教科をも貫く教育指針である。そして、この課題への挑戦は、学校図書館の活用とか読書指導とかが欠かせない。理数の授業を通じて、子供たちに物理学者や数学者の随筆や小説を紹介する。それも言語活動の一つだと思う。言語活動をあれこれ創意工夫し、汗水流す教師たちを大局的な観点から支援する理数教育研究所にしていきたいと思う。

● 理事からのメッセージ

理事



丸善書店株式会社 代表取締役社長
株式会社ジュンク堂書店 代表取締役社長
工藤 恭孝 / くどう やすたか

教育と読書

私は書店の経営に関わって40年になります。

日本の教育に書店の果たした役割が決して小さなものではなかったと考えております。

とりわけ1952年のサンフランシスコ講和条約の発効後はGHQの指導により中学校の国語の言語科目が廃止されてしまいました。その戦後の教育を補ってきたのが「読書」ではなかったでしょうか。「読書」が「文章を読み解く力」や「思考力」「論証能力」また「発想力」を育ててくれたのです。

微力ながら書店も活字推進・振興を通して日本の教育振興の一端を担ってきたと自負しております。しかしながら「学力低下」「理数離れ」が叫ばれて以降の読書量の減少は「書店離れ」も加速しているのが現実で、将来の担い手教育が急務と考えております。

我が国の再生につながる技術立国日本には「理数科教育」の振興こそが不可欠であることは論を待たないことであり、同時にそれが読書振興にもつながる最良の活動であると確信しております。

理事



帝京大学教育学部教授・初等教育学科長
清水 静海 / しみず しづみ

豊かな知性を育む

—算数・数学を味方につけて—

現在は、小学校教諭を目指す学生の指導に当たっています。これまで、30数年、教員養成、文部行政、研究者養成などで算数・数学およびその教育に関わってきました。算数・数学は我々を楽しませ、知性を豊かに育ててくれます。しかし、諸外国に比べて、また他教科と比べて、算数・数学の勉強を好きとする児童・生徒の割合が小さくなっています。こうした状況もあり、平成元年の学習指導要領改訂では算数・数学科の教科目標に「よさ」を位置づけ、なぜ学ぶのかを問いつつ算数・数学を味方につけてほしいとの願いを込めました。最近の全国調査では、算数・数学の勉強を好きとしたり、算数・数学ができるようになりたいと思ったりしている児童・生徒の割合も大きくなってきています。彼らの期待に応え、また、広く生涯学習社会を視野に入れた諸事業を展開し、理数教育を通して豊かな知性を育むことに貢献できる研究所を目指してまいります。

理事



東京大学 大学院総合文化研究科
生命環境科学系 教授

石浦 章一 / いしうら しょういち

理科教育に関わる重み

東京大学では、2006年から、21世紀に生きていくための必須の知識となる生命科学を理系学生全員に必修にすると同時に、文系の学生にも広く生命科学を教えています。私たちの体、まわりの生物の営み、そして環境を加えた広い意味での生命科学の重要性を、大学生の皆さんに知ってもらうことこそ大学生の教養教育であると考え、私たち教員有志が理工系進学学生、生物志向の理系学生、そして文系の学生に向けた3種類の教科書を作りました。今の大学生は、理系でも高校で物理・化学しか学んでこない学生が多く、加えて中学校でも生物学の話をほとんど聞いてこないのです。事実上、大学で初めて生命科学に接する人が多く、そのためにも、生命科学の基本は何かという点を強く意識して、教科書を作っています。これとともに私は、小学校理科や高校生物の教科書編集にも携わっていますが、疑似科学まがいの食品の宣伝、ダイエット法の流行などを見るにつけ、一貫した我が国の理科教育の必要性を最も強く感じています。理数教育研究所の一員として理科教育の発展に関わることの責任の重さを実感している毎日です。

理事



東京大学 大学院新領域創成科学研究科
教授

大矢 禎一 / おおや よしかず

理科のススメ

私は子供の頃から理科が好きだったので、なぜ理科を勉強するのかという疑問を持たずに生命科学の研究者になってしまいました。今振り返って考えてみると、理科を勉強する理由は大きく分けて2つあると思います。1つ目は自然に対する造詣を深めるためです。自然に対する興味を持ち続け、自然を慈しむ心を持って充実した人生を歩んでいくことはすばらしいことです。2つ目は科学的な思考力を磨くためです。我々科学者にとって科学的な方法は必須ですが、一般の生活や仕事を進める中でも問題の解決のためには科学的なものの考え方は重要です。ゆっくりでも構わないので論理的に、科学的に物事を考えるトレーニングを小さいときから行ってほしいと思います。残念なことに、本当の面白さや楽しさがわかる前に理科への興味を失ってしまう子供たちがいます。これから育つ若い世代の人は試験の点数を取ることではない、理科や数学の真の実力を身につけてほしいと思います。

設立記念講演 in 東京



一般財団法人理数教育研究所は、年4回、広報誌『Rimse』を発行し、日本の理科教育の充実とさらなる活性化に向けて、さまざまな情報を発信していきたいと考えています。

創刊号では、(財)理数教育研究所の設立を記念して、去る7月26日に東京にて開催しました設立記念講演の報告をさせていただきます。

昨年発生した東日本大震災ならびに福島第一原子力発電所事故を受けて、今、日本の科学や科学技術が問い直されています。また、教育界では、新学習指導要領の実施に伴い、言語活動の充実など、新しい学力観に基づく学習指導が始まっています。

記念講演「科学的知識の創出と使用」では、科学的知識と人間の行動について貴重なご提言をいただきました。また、講演「新学習指導要領と「学力」の課題」では、学習意欲を高め、学習環境を確立させることの重要性をお話していただきました（これらの講演内容をp.7から収録）。トークセッションでは、算数・数学や理科において言語活動はどうあるべきかなどを、具体例も交えて話し合っていました。

設立記念講演には、東京近隣から142名の参加をいただきました。感謝申し上げます。(事務局)

(財)理数教育研究所 設立記念講演 in 東京
21世紀の「知の世界」を切り拓く
これからの理数科教育

- 2012年7月26日 14:00～17:30
- 東京駅八重洲カンファレンスセンター
- 講演内容

記念講演

科学的知識の創出と使用

独立行政法人 科学技術振興機構
研究開発戦略センター長 吉川 弘之

講演

新学習指導要領と「学力」の課題

公益財団法人 教科書研究センター
副理事長 御手洗 康

トークセッション

「言語活動と理数科教育」について

公益財団法人 文字・活字文化推進機構
理事長 肥田 美代子

東京学芸大学大学院連合学校教育学研究所
教授 鎌田 正裕

文教大学教育学部
准教授 永田 潤一郎

設立記念講演 in 東京

記念講演

科学的知識の創出と使用



独立行政法人 科学技術振興機構

研究開発戦略センター長

吉川 弘之 / よしかわ ひろゆき

1933年東京都に生まれる。1956年東京大学工学部卒業。精密工学専攻。三菱造船、理化学研究所を経て、1978年に東京大学工学部教授に就任。1993年東京大学総長。1997年日本学術会議会長、1998年放送大学学長、1999年自然科学における国際的な最高機関「国際科学会議 (ICSU)」の会長に日本人として初めて就任。その間、設計研究を開拓して一般設計学を確立。大規模な国際合同研究計画「知的生産システムプログラム」を実施し、多大の成果を挙げてきた。2001年独立行政法人産業技術総合研究所理事長に就任。著書は『岩波講座 現代工学の基礎』『科学者の新しい役割』『テクノロジーと教育のゆくえ』(いずれも岩波書店)『本格研究』(東大出版会)など多数。

私は工学、エンジニアリングの分野にいます。工学はたいへん多くの学科に分かれていて、それぞれの学科は固有の教育課程を設置して、独立に教育しているのが一般であり、学科相互の関連はなく、全体としての工学教育が何なのかわからなくなっています。その中で私は、工学に共通している課題は物をつくることであり、その中で最も重要なのは設計であろうと考え、少なくとも設計に関しては共通の教育ができるはずだと考えました。若い頃のたいへん無謀な考えです。設計には建築設計、機械設計など図面で表現するもの、あるいはソフトウェアの設計のように一種の文書で表現するものなどさまざまなものがありますが、それらは設計という本質は同じで、この本質を教えようという計画です。これもまた無謀な考え方ですが、工学の分野に共通な一般的な設計学をつくればどの学科の学生にも教えられるのではないかと考えたのです。これに一般設計学という名前をつけ、それを一つの学問分野にすることを何十年も前に思い立ち、今もってまだ苦心してやっているのです。一般設計学という名前は今では世界的にも広まり、それなりに認知されていますが、今振り返ってみて、この課題はとても大きなもので、それに対して私の努力は小さなものにすぎなかったというを感じています。

人類がこの地球上で発展してきているのは、ある世代が次の世代にきちんとした知識を継承できていることが基本的な根拠です。その継承は教育によっている。そして知識と言っても非

常に幅広い、数学のように論理的なものだけでなく、情緒や文化を含めた広くまた膨大なものです。そういったものをどうやって継承していくか、その方法が簡単なものであるはずはない。したがって、教育の方法とは固定的なものではなく、進化していくものだろうと思います。そういう意味で、「教育とはこのようなものである」というような形で説明することはとても私にはできません。そこで今日は、私自身の経験と、科学について長い間考えてきたさまざまなことをもとに、人間がつくり出す科学という知識がどのようにしてつくり出されたのか、そしてこのつくり出された知識をどういうふうに使ってきたのか、この二つの面から考えることを通じて、教育のあるべき姿を考えてみます。おそらくこれは皆様の問題意識と共通なのではないか、今日御出席の皆様は教育の定義を一言で言える方はおられないと思うのですが、そういう非常に難しい問題に私なりに取りかかってみようということでもあります。

■ 科学とは何か

科学とは何か。これはまた難しい課題です。しかし、ここで私はこれを非常に簡単に、簡単というか基本的に、科学は自然界の多様な現象の背後にある普遍的な法則を求めようとするものであると考えます。これだけは確かなことだと考えているのです。

知識には、個別の知識があります。ある地域には地域固有の知識があり、別の地域では別の知識がある。例えばどういう作物をつくることができるのかは地域固有です。そのうえ観察される現象も地域によって異なるものがあり、その結果生まれる知識は多様になります。しかし科学はそれらのさまざまな知識ごとにつくられたのではなかった。場所によって違う、国によって違う、場合によって違う、そういう違いを超えた普遍的な法則というものがあるはずだという大きな仮定から科学は出発します。それは多様な現象の背後にあるのです。したがってちょっと見ただけでは見えないものです。例えば古代においては、「夜空に輝いている星とは何だろうか」という時代があった。これは天に何か飾りがついた穴があいているのではないかとこのころから始まって、それが実は運動する天体なのだということがわかるまでには非常に長時間かかる。さまざまな議論がされつつその結論に到達するのですが、出発点においては科学者も一般の人も、同じような好奇心、関心を持ってははずです。現在私たちが科学的な知識と呼んでいるものは基本的に一般の人々を含めた「あれはいったい何だろう」という好奇心とか、「不思議だな」と思う心とか、「あれが落ちてくるのではないか」という恐怖とか、そういった非常に情緒を含めた直感的な感覚、そういうところに根ざしているのです。ですから、複雑で難しく、その分野の科学者だけがつくっているように見える現代の科学も、決して科学者の独占物ではないのです。

サー・アイザック・ニュートンが、自然現象の普遍的な法則を発見することを中心的に考えてそれを形式化した最初の人だったと思います。ニュートンが科学の父だといわれるのは、ニュートン力学という立派な科学をつくったからでもあります。それよりもさまざまな現象、多様な現象、もう同じものは一つとしてないような世界に、実は全体を支配している一つの法則があるのではないかと考え、それを実際に示したからです。さっき申し上げた、背後にある共通の普遍的な法則があるのではないかと考え、それを探し出すという行為が画期的であったのです。当時は十七世紀ですから神学が中心の時代で、神という世界を支配しているものが存在するとすれば、それを証明するのは大きな問題です。いろんな宗派があって神の定義に関する概念的な議論がある中で、ニュートンは野心的にそういう議論を終息させようとしたのだともいわれています。理論的に証明して「これこそ神だ」ということを証明しようとした。彼は

全体を支配する巨大な何者かを知ろうとしました。このことは私たちにとって非常に飛躍的に思えますが、彼は力学に到達します。その頃既に星は空を回っている天体だということは知られていたわけですが、天空の星の運動と地上にあるリンゴが落ちるといふ運動が、実は同じ法則で支配されていると考える。これは当時の状況では誠に暴論というか、昔の神学の時代でそれぞれの存在に固有の尊厳が与えられていたときに、それらは同じなのだと言い切ってしまった。しかも天空という手の届かないところと非常に身近にあるリンゴが同じだと考えた。要するに宇宙と地球は同じ原理で支配されているということです。今になってみればこれは当たり前です。しかしその当時そういうことを言うのはたいへん勇気が必要だったと思われる。そういった意味で、彼はなかなか自分のアイデアを発表しなかったのです。晩年になってようやく本を書きました。それくらい勇気が必要で、発表したときにはさまざまな反論も出てくるのです。いずれにしてもこの考え方というのが、最初に申し上げたように、非常に基本的だったのです。しかも、いろいろと想像をたくましくして何か法則があるのだろうと想像した古代とは違って、ニュートンはそれを証明してしまうのです。望遠鏡を使って天体の運動を定量的に求め、それと地上の物体の落下とを定量的に比較することによって証明しようとしたのです。このことがニュートンが偉大な科学者だという理由です。

ニュートンの法則というのはどこでも通用します。リンゴが落ちて、ニュートンが万有引力の法則を含む力学をつくり出したのだとすれば、リンゴのない国はどうしたらいいのだという疑問があります。しかしそれはバナナでもよかったのです。南の国はバナナしかなくてリンゴはありませんが、そこでもニュートン力学をつくり出す可能性はあったのだといえる。これが普遍的ということ。別の言い方をすれば、リンゴにしか適用できないのではなくてバナナにもこれが適用できるということ、これが法則の普遍性なのです。科学とはそういうものであるわけです。そして、ニュートンはこれも彼の偉大な点ですが、すべての力学現象はたった3つの基本的な法則によって説明できることを示します。

皆さんよくご存じのニュートンの3法則と呼ばれるもので、最初は力を加えなければ同じ運動を続ける、力を加えれば加速度が生じる、それから作用・反作用の法則。そういう3つの原理だけでリンゴも天体も説明できると言ったのです。もちろん

そこには万有引力という力—これはニュートンの法則とは違うのですが—が存在して、それで宇宙が調和的にいろいろな運動をしているのだということを全部説明し尽くしてしまう。これは確かに当時からすれば神の論理です。宇宙の状況をたった3つのルールで説明してしまう。しかしそれが神であるかどうかは別として、現在我々はこれを基本的な法則として理解しているわけです。よく言うように、ニュートン力学というのはアインシュタインの相対性理論によって、その一部に包含されてしまったのであり、アインシュタインのほうが立派なのだと言われたりしますが、私はそうは思わないのです。確かにアインシュタインの相対性理論で光速部分を除いて近似すればニュートン力学になってしまうという意味では、ニュートン力学は現代の力学の近似にすぎないのですが、しかし、そもそもこういう法則が存在するのだという一つの仮説を置いて、宇宙も地球も同じだと言いだしたことの偉大さは決して消えません。そのことはもちろん相対性理論でもまねしているわけです。ですからニュートン以後の科学というのはみんなそういうことをまねしているわけですから、相対性理論ができたからニュートン力学は駄目なのだという人がいるとすれば、それはとんでもないことで、ニュートンの偉大さはますます偉大になってくるのです。このような、基本的な知識の構造、あるいは科学の構造というものを、ニュートンは発見あるいは発明したということであり

ます。次に「はやぶさ」の話をして、知識を獲得すると、それで行動ができるということを「はやぶさ」を例にして考えます。ニュートンは言わなかったのですが、そのことはニュートン力学の裏に存在していて、例えば何メートル先に物を投げ落としたいと思えば、どういう速度と角度の関係で投げればいいのかということを計算することができるようになった。力学は天体とリングの運動を説明するものですが、同時に人間の行動をつくり出す能力を持っているのです。目的に合った行動をどうやってつくるかという知識でもあるのです。「はやぶさ」が小惑星から土を持って帰ったのも、相対性理論が必要であるにせよ、基本的にはニュートン力学のこの側面の現実化です。これは実際に4年間で帰ってくるはずが7年もかかって帰ってくるという不思議なことをやったものですから、すばらしいとみんなの話題になったのです。あれがうまくいってしまったら、あまり話題にならなかったかもしれません。失敗してなくなったと思

たのが見つかったということで大騒ぎになったわけです。

確かに現実の行動はニュートン力学だけではできないわけで、そこにはさまざまな新しい技術と、さらにこの極めて困難な計画を立て、「はやぶさ」を実行し、技術の限界を超えて成功した人たちの情熱が必要不可欠であったわけですから、ニュートンがいたから行動できたというのは語弊があります。ただし、行動をするための基本としてニュートン力学を使ったということをおぼえてはならないということをここで申し上げておきたいのです。現実にはオーストラリアに落ちて、回収して、土がどういうふうになっているのかと、まだ検査しています。これは非常に楽しみで、宇宙の発生の秘密の一部分がわかるのではないかとされています。

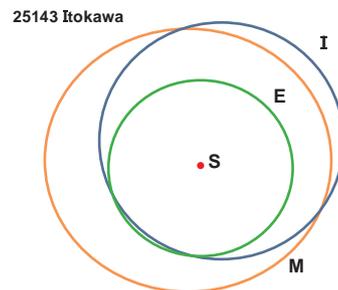


図1 太陽Sのまわりを回る地球E、火星M、小惑星イトカワI

図1にありますように、太陽Sのまわりを地球Eと火星Mが回っています。それにちょっとひずんだ形でイトカワIという小さな惑星、これは1キロメートルぐらいしかないのですが、そういうものが飛んでいるわけです。こういう小惑星というのは実際にたくさん飛んでいるのです。この小惑星をつかまえてみようと思ったのですが、これはある意味ではたいへん難しいのです。例えば火星探査は何回もやっていますが、火星の場合には近くまで持って行って、火星の引力圏内に入れば、後は自由落下していくわけです。ところがイトカワというのは非常に小さいですから、引力がもうほとんどないわけです。ですから、そばへ行って落とすわけにいかないのです。本当に「はやぶさ」は小さな星に向かって高い精度で到着しなければいけないのです。そういった意味では、これはたいへんチャレンジングで難しいと言われていたのです。その点が「すばらしい」のです。エンジンを必死に操縦したことへの「すばらしい」という賞賛は、この難しいプロジェクトを実現するために避けることのできなかった困難を、人々の情熱と力量で乗り越えたことへの賞

記念講演 科学的知識の創出と使用

賛であり、この計画自身がたいへん難しい計画であったことの上に立っているのだと考えるべきでしょう。これは月へ飛ばすとか火星へ飛ばすとは全く異質の、宇宙の一点に向けて飛ばすという難しい仕事であり、それに成功したのです。地球の上から、イトカワがある位置にあるときにそれに向かって打ち出すのですが、相手もずっと回っていってしまうわけですから、一緒に回るのです。実は、2周したときにちょうどイトカワにぶつかって、イトカワに降りて、土を取って、自分で噴射して、また2周して帰ってくる。2周して帰ると速度の差でうまくちょうど合って、地球に着陸する。4年で帰ってくる計画だったはずなのですが途中で行方不明になってしまっ、どこへ行ったかわからなくなってしまう。そういうことでもうあきらめようとするのですけれども、しかしこれは天体のいいところで、どこか遠くへ行ってしまうことはないの、ぐるぐる回っていることは間違いない。ただ、それが帰還できるだけのエネルギーを持っているのかどうかとか、そういうことがわからなくなるわけです。しかし幸いなことに、残っていたエンジンを作動して、さっき申し上げたように、見事にオーストラリアに着地することができたということです。これはたいへん劇的なことだったのですが、基本はニュートン力学だということを今日は言いたいわけです。

私たちは科学というものを知っていたために、このように新しい行動、イトカワという非常に難しい、そういう小さな惑星の土を持って帰るといようなこともできるようになった。科学というのはすばらしい。これはニュートン力学だけではできないので、燃焼の力学をきちんと把握するとか、どういうエンジンを使うとか、方向を制御するためにどうすればいいかというように緻密なこともあって、さらに軌道修正のためには相対性理論まで使って厳密なことをやらなければいけない。たいへんな計算もするわけです。しかしながらこれは、基本はニュートン力学を使ったわけです。物を投げると万有引力の中でどういうふうに運動するのかというのが一番基本だったということです。

■ ニュートン以後の科学の発展

さて、このようにしてニュートン力学のすばらしさがあり、それによって科学の形が決まり、それが現代に至るまでにさま

ざまな知識を生み出し、劇的な「はやぶさ」を飛ばすことにまでに使われるという状況に至ったことを見てきました。ここでもう少し詳しくニュートン以後の科学がどのように発展してきたのかというのを見てみましょう。

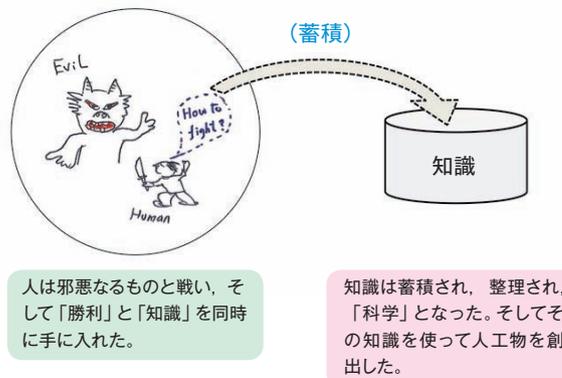


図2 科学的知識創出の動機

図2は変な漫画なのですが、現在の科学と呼ばれる多様な知識がどういうふうにして出てきたのかを示しています。科学にはいろいろな分野があります。大きく分ければ生物学とか物理学があって、それから細かく分ければ、生物学には動物学と植物学があり、さらに微生物学がある。多くの学問分野があります。「これを全部言ってください」といって言える人は今いないぐらいたくさんあるのです。しかも新しい学問が生まれ続けていて細分化が進んでいます。これを分科、要するに科に分かれているということで、科学というのです。分科した学問。科というのは科学の科です。

ここで知識が生まれてくる「もと」とはいったい何かと考えることは、非常に大事なことに思います。ここでは一つの仮説ですが、図2の左に書いてありますように、人は邪悪なるものと戦い、そして勝利した。しかし勝利するだけではなくて、その戦いを通じて知識を手に入れたということを考えます。人類は猛獣のようなつめもきばも持っていませんし、力でいえば、もちろん人間より力が強いものはいっぱいいたわけで、弱い存在でした。しかし、なぜ生物史の中で人間がこのように栄えてしまったのか。今はさまざまな問題を抱えてはいますが、少なくとも人類は地球上で一つの征服者として君臨しているわけです。その君臨に実は問題があるわけなのですが、しかしいざれにしても君臨していることは間違いないでしょう。それはなぜだったのか。これもまた当たり前のことで、それは知恵を持って、知識を持って、いろんな戦いに勝利した。人類

というのはさまざまな外敵から攻撃を受けながら、常にそれに抵抗し生き延びてきたのです。もちろん負けた場合もあったのですが、基本的には勝利を獲得して、しかも勝利だけでなく知識も獲得した。そこで重要なことは、その知識を次の世代に継承することができたということです。ただ勝ったというだけでは、次の世代は負けてしまうかもしれない。しかしその勝ったということで、なぜ勝ったのかを知り、勝つためには何をすればいいかという方法を生み出し、それを知識として次世代に伝えたからこそ、次はもはや外敵は外敵でないぐらい上手に制御できてしまったのです。このように、知識は人類が生存するために極めて重要だったということを忘れてはならない。そのことを少し振り返ってみます。

図2に書いてあるように、人類に襲いかかった Evil— 邪悪なるものと戦う。そこでどういふ邪悪なるものがあつたのだろうかを考える。邪悪なるものに勝つたびに知識を生み出したのだとすれば、勝利を数えていくと知識の数がわかるかもしれない。過去における邪悪なるもの、これは人類の歴史を考えれば、嵐があつたり、干ばつがあつたり、洪水があつたり、地震があつたりさまざまなものがあつたことがわかります。現在でも地震や津波というのはまだ大きな、邪悪なるものというか、人類を襲って滅ぼそうとする、非常に恐ろしいものです。そういった自然現象のうちには、生き物としては病原菌があり、害虫がいたり、あるいは猛獣がいた。ある時期においては猛獣と人類は戦い続けてきたのです。さらにこれは外敵といえるかどうかわかりませんが、人間の中にも悪いものが出て、海賊、盗賊、暴君、邪心、さらには貧困というのは少し違いますけれども、これも人類にとっては非常に大きな敵です。これは現代でも大きな敵であります。最後に、「未知なるもの」があります。これはやや生活そのものとは言えないのですが、人間は考える存在ですから、わからないものがあるということは実は恐怖なのです。これは人間の本能的なものであり、我々自身が持っていることを実感できます。例えば暗闇はなんとなく恐いが、それはそこに何かがあるかわからないからです。わからないと何か怖くなる。これは、基本的にわからないことに対する恐怖です。そういったものがあつて、これを恐怖とか好奇心と呼んでおきます。これらの外敵と戦って、勝利し、勝利を通じて獲得した知識を整理すると、それは一つの知識の体系を生むこととなります(図3)。



100を超す学問分野が作り出され、今なお増加中である。

図3 科学的知識の創出

例えば邪悪なる欲望というのがあつて、ある邪悪なる人が善良な人から財産を奪おうとする。そういうようなことは邪悪なる欲望です。例えば独裁的な支配者あるいは暴君は邪悪なる人で、彼らの邪悪なる欲望をどうやって排除するかという問題があつた。それは論理的な主張あるいは倫理的な説得によつていた。例えば暴君に対しては、言葉の正しさに頼つて対抗する。ギリシャの時代に「あなたの言っていることは論理的に間違っている」ことを証明することによつて、暴君を倒そうとした。暴君は暴君ですからなかなかそれでは倒れなくて、結果的にギリシャの哲学者が殺されてしまうのですが、しかしそうやって必死に議論し、相手の言論の中に誤りを見つけようとして、自分たちの正しいことを主張しようと努力する戦いを通じて、実は論理学という体系的な知識、学問が生まれてきたのです。現代において、論理に反する主張は誰も認めないという社会的なルールができて混乱を減らすことができたのは、論理学という科学があるからです。

わかりやすいのは伝染病であつて、例えばペストというのは人類を何回も襲つて、何万人という多くの人を殺してしまつた。これは本当に言葉どおりの外敵であつたと思うのですが、初めは原因がわからないわけですから、とにかく患者を隔離したり、祈祷したり、いろいろなことをやるのだけれども、伝染を抑えることはできなかった。しかしあるとき、伝染病というのは実は微生物によつて感染してくるのだということがわかる。そうすると、微生物をどうやって排除するのかという問題になる。あるいは微生物をどうやって隔離するのか。缶詰というような発明が出てきます。物が腐らないように缶詰にしておけば、何年たつて食べてもお腹を壊さない、伝染病がうつってこないというようなことがわ

かってくる。そうやって、先ほど申し上げたように、伝染病というものの現象と戦うことを通じて伝染病の実態を理解すると、今度は缶詰をつくるという、非常に現実的な、伝染病にかからない具体的な行動をつくり出すことができる。このようにして、戦いを通じて生んだ知識が生まれ、その知識がそのまま人間の行動範囲を広げていくということになるのです。

嵐の予測をしようとすれば気象学が必要ということになりますし、地震も同じで地震学がある。そして多くの物理学といわれる、あるいは最近の基礎科学といわれるものは、未知なるものに対する恐怖というものがもとになって、その未知なるものを解明しようとする結果生まれたものです。そのことはおそらく上の問題に包含されるのでしょう。大きな意味での未知なるものという意味で言えば、伝染病も未知なるものであったわけですから、それは実害を与えた未知なるものです。ただ暗闇は実害を与えませんけれども、そういうものに対してもどんどん人間は知識を増やしている。このようにして、現在 100 を超す学問分野が作り出され、これはあるドイツ人が表をつくったことがあるのですけれども、今なお増加中であるということで、先ほど申し上げたように、学問というのはいつも増えているのです。

■ 科学と技術

さてそこで、技術ということを私は何気なく今話している、科学があれば行動ができると申し上げたのですが、この技術というのはいったい何なのだろうかということも改めて考えないといけないことになります。先ほど申し上げたように、私たち人類が科学という方法によって知識を獲得し蓄積し、その知識によって行動が広がっていくという、その後半の話です。行動が広がるというのは技術ですから、技術とは何かを考えることになります。

そこで、技術は科学とどういう関係があるのかをまず考えます。これは、よく言われますけれども、技術は科学によって生まれたものではないのです。近代、ニュートン以後科学が生まれてくる前から、技術は存在していたわけです。例えば畑を耕すためにすきを使うのは、ニュートン力学より前にあったわけですから、そういう技術は存在していたのです。しかし 18 世紀の産業革命の頃から、技術は科学に依拠することがパターン

形式になってきて、現在の技術はすべて科学的にきちんと基礎づけられている。そういう意味で、現在の技術は科学技術と呼ばれるように、技術と科学は切り離せないということになったのですが、本来は科学と技術は別物です。

これはごく簡単に言うと、例えばニュートンは木の枝からリンゴがパッと落ちてくるのを見て、「あ、万有引力が存在している」と気がつく。これは科学です。ところが下にかごを置いて、パッとそれを受け取って、それを家に持って帰って食べれば、これは技術なのです。要するに食べるのを目的に重力を使ったということです。もちろんこの農家は重力を勉強して箱を持っていったわけではないのです。それは落っこちるから箱を持っていったわけであって、決して重力のニュートン力学を勉強して、「力学を使えばこのような方法で収穫できる」という話ではまだないので、別々なのです。しかし同じ現象を、背後にある普遍的な法則を見つけようとして科学のほうに行くか、同じ現象を人間に役立たせるために使うというのは全く違う方向で、これが実は科学と技術の違いになっているのです。ですから、場合によっては同じ現象を使っているということ。これが、先ほど言ったように、科学技術というのが重なっているように見える理由ですが、全く方向は違います。片一方は知る、片一方は使うということです。

このように考えてみると、技術の歴史は確かにニュートンよりはるかに古くて、例えばエジプトのピラミッドを考えてみれば、これは何千年前ですね。そのころの技術が今は推測されていて、石を遠くから運んできて、それを成形し、それを積み重ねていく。その頃は科学がなかった。しかし全体がある方位を向いているというようなこととか、どういうふうに、あるいはどういう角度で積み上げれば安定かとか、そういったかなり科学に近い知識がこのピラミッドには埋め込まれていると考えられています。このピラミッドは非常に高い四角錐です。スカイツリーみたいな形だったら、石を積み上げてみてもすぐ壊れてしまいます。しかし現実には何千年も安定している。あまりつぶれた四角錐でも駄目で、適当な傾斜角度というのがある。これは現在でいえば安息角で、材質の特性から安定な角度というのが計算すればすぐ出てくるのですけれども、それに近いような角度を持っているといわれます。例えば砂を盛り上げて崩れない角度がある。砂でもピラミッドの形にすれば壊れない。ある一定の角度でつくったものは形が安定に保たれるという知識が

あったように思われる。ピラミッドは岩石ですからそう簡単には崩れないけれども、そういう安定な形の知識を持っていた可能性がある。ということは、同じ石でつくったものでも非常に長い寿命を持つ。ピラミッドとは永遠性ということを目的に、王の命は永遠だということを表現するための墓ですから、いかにして壊れないものをつくるかという知識がここにはいっぱい込められているのです。どういう石を使うのか、どういうような形で石を積み上げるのか、石の間にどういうことを相互作用すれば壊れないかといったような知識がいっぱい詰め込まれていて、そして永遠性を実現した。当時は建設機械があるわけではなく、非常に幼稚な技術しかありませんから、運ぶのも人、積み上げるのも人です。支配民族が奴隷たちを使ってつくらせたのかもしれませんが、いずれにしても考えて設計した人が確かにいたはずで、そういうことで、科学と技術の原型のようなものがここにあったということが言えますが、先ほど来申し上げているように、科学というものが自立して存在していない時代ですから、技術が先行していたということができます。

中世、これは産業革命以前で、ニュートン以前のことで、いろいろなことが起きてきます。これを私は中世における発明の第二のパラダイムと言っているのですが、それは人間の活動能力を拡大するという技術あるいはまだ形をとっていない科学です。誰が考えても人間の労働というのは効率が悪くありませんから、何とかしてそれを強化できないかと考えることになります。古代においては他民族を征服して、それを動員してやることができましたが、中世に入るとそれは難しくなる。人間が足りなくなれば何とか別の方法で拡大したい。そういう基本的な欲求が人間の力の強化という方向を向き、人間の機能を分割したうえで強化するという発想が出てきます。人間というのは何でもできますが、特定の作業の段階ではある一つのことしかしていない。石を運ぶ人は石しか運んでいない。石を運んでいる人はその間同時に石を削ることはしない。とすれば、運ぶことだけ拡大すればよいということになります。その結果、運搬機械であるとか、機織り機械とか収穫機とか旋盤とか、人間だったら手でみんな一人の人間がやるのですが、こういう分業した形がそのまま専用機械になる。中世にあらゆる地域で同じような非常に初歩的な技術、プリミティブな技術が急速に生まれだす時期があるのです。人類はある時期に集中的にこのようなことをやり、現在の技術の卵とでも呼べるものをたくさん

つくり出します。

例えば機織り機械というものがあります。これは今でも使っていますが、昔からこういう機械があつて、人間が木でつくった機織り機械と一体になって布を織っていくものです。この場合、木でつくったこのような機械は構造的にしっかりしていませんから、真っ平らな布をつくることは簡単ではない。それを実現するのは、座って機織りをしている人が体を動かしながら糸のテンションを決めていったのです。ですから、この場合には機械と人間が一体化してその高度な機能を実現していくといえる。こういうのを柔構造機械と言いますが、そういったような構造が昔の機械だったのです。それはもともと人間が機械なしで手織りしていたのが、だんだん一部が機械化していくという道をたどりながら、しかし手織りと同じように機械全体を人間がコントロールしているのです。

ところがいつたんこういうものができると、やがて人間は新しい欲が出て、「これは効率が悪い。何とかしてもっと速くしたい」と考える。速くするためには構造の部分の運動の速さを上げなければなりません。ところが速くすると、柔構造では大きくなった動的な力で振動が起こってしまつて駄目なのです。したがって構造の剛性を上げる。剛構造が理想になってきます。このようにして、剛体信仰という妙な信仰が産業革命に向かって起こってきます。機械は剛体がいいのだということになる。昔はそうではなかったのです。人間と一体でやるためには剛体では困るわけで、柔体のほうがよかったです。しかし産業革命に向かって起こったこのような効率化によって、一体だった人間と機械は分離され、機械は人間から遠く離れていきました。私は実感として、現在の機械というのは人間から遠くへ行ってしまつたような気がします。目の前にいたら怖くて近寄れないというような感じですが。自動車の場合はそれをどうやって人間と一体化するかということで苦労しているのであって、人間工学を含めていろいろな知識を使って昔の人間と機械の関係へと戻しているわけですが、機械そのものは産業革命で人間から離れてしまったことが否定できません。離れていく、すなわち機械と人間の一体性を犠牲にして効率を非常によくするというのです。そして同じようにのこぎりが旋盤になると、旋盤は人なしで動きますが1種類の仕事しかできない。それに対してのこぎりは何でもできるということであり、ここでは器用さを犠牲にして効率を上げています。

記念講演 科学的知識の創出と使用

そしてジェームズ・ワットは1784年に蒸気機関をつくります。このときはもはやニュートン力学の時代に入ってきているわけですからあらゆる学問、例えば熱力学とか材料力学とかさまざまな工学的な学問の芽と呼べるものがいっぱい出てきた時代です。そういうものをどんどん使いながら、蒸気機関をつくりました。このようにして、ある意味ではジェームズ・ワットは科学と技術というものを重ねることに成功した。科学が誕生して、それが昔からあった技術と合体したのです。ジェームズ・ワットの蒸気機関は科学に裏づけされた技術の典型的な例です。ジェームズ・ワットがいたスコットランドのグラスゴー大学にジョゼフ・ブラックという熱学の教授がいて、二人がお互いに交流しながらブラックが熱学、熱力学を体系化する一方でワットは蒸気機関をつくっていったのです。ワットは大学教授ではなくて技術員のような人で、ブラックは教授だったのですが、そういう人たちが一致協力しながらこのような歴史的発明を成し遂げたということが言えます。

現代では情報技術も出てきて、これは先ほどお話しした手作業の自動化に対して頭脳作業の自動化を実現します。頭脳労働も自動化されて、高速、正確で強力であり、現在はスーパーコンピュータというような非常に高速な、人間の計算力に比べて何倍かわからない、すばらしいものもできつつあるという時代です。

■ 産業革命後の人工物の急速な発展

さて、産業革命後、人工物が急速に発展してきます。その発展の仕方の特徴づけるものがあります。それは科学研究が職業化したという点です。昔、ニュートン以前と言ってもよいでしょうが、その頃は科学者というものは自立した職業ではなかったのです。教会の牧師が教会の仕事の傍ら科学研究をするというような具合です。ところが専門的な科学者が出てきて大学に職を得るようになると、大学の中で研究に没頭することになる。その形は現代にも引き継がれ、大学人は自分の研究室にこもって、世の中とは隔絶されて好奇心に基づいて研究する。実際はそういう人ばかりではなく例外もありますが、主流の研究者は自分の分野で好奇心に導かれて研究し、論文を書かないと出世できませんから、必死に論文を書いて世の中に発表していく。現在の科学者は論文競争というのをやっているのです。この論

文競争は、実は自分の研究がいったい世の中でどういうふうに使われるかに関心を持たずに論文を書くという状態をつくる。これはやや極論で言っているのですが、そうではない科学者もたくさんいますが、しかしこのような人でも一つ一つの論文そのものが何に使われるのかということを知る手がかりがないままに書かれ、そして世の中にほうり出されていく。そこにはそれを待っている一群の人がいて、それを使って新しい技術をつくっていく。こういう構造になった。これは現在の特徴的な科学と技術の社会的な関係です。科学者は知識を生み出し、産業、企業はその知識を使って新しい技術をつくっていく。これが経済的に豊かさを増し、あるいは環境を安全なものにしていく。人間にとっての利益を生んでいく。科学的知識の使用は、壁の外にいる人たちに委ねられる。いわば、知識生産者と知識使用者というものが分離してしまうという構造があり、知識をつくり出す研究者と知識使用者とが分離して、矛盾なく調和的に共存している。

その結果、何が起こるかということを考えなければなりません。科学的知識は研究者の競争を通じてどんどん出てきますから、企業がつくるもの—これを私は人工物と呼びますが—人工物がどんどん増えてきます。人工物が増えるというのは、一つはその種類が増えるのですが、一方で人工物が複雑化することも意味します(表1)。この複雑化というのは当たり前のように見えますけれども、非常に深刻な内容を持っています。例えば、

表1 複雑性を増していく人工物 多くの種類の人工物が生み出されると同時に、それぞれは急速に複雑になっていき、人間の統御能力を超えていく。

人工物	構成部品数
原子力発電所	10,000,000
飛行機	5,000,000
スーパーコンピュータ(京)	1,000,000
宇宙ステーション	250,000
パーソナルコンピュータ	200,000
ガソリンエンジン自動車	30,000
液晶テレビ	10,000
電気自動車	10,000
テレビ	3,000
工作機械	3,000
スマートフォン	1,000
携帯電話	300
文鎮	1

文鎮というのは人工物ですが、部品が1個しかない、一番単純な人工物です。そして、人工物は無数にありますから全部を数えるわけにはいきませんが、現在我々の手近にあるところを見ると、部品が少ないものでは、携帯電話というのは単純なものは300個ぐらいの部品から成り立っています。スマートフォンが1000個。それから工作機械です。先ほどの旋盤が部品は3000個。テレビも3000個ぐらい。それが電気自動車になると1万個。液晶テレビも普通のテレビよりも複雑で1万個。それからガソリンエンジンを持っている自動車は3万個ぐらいです。パソコンが20万個。それから非常に飛躍しますけれども、宇宙ステーションが25万個。スーパーコンピュータといわれている日本の京(けい)が100万個。飛行機が500万個。そして今問題になっている原子力発電所は、約1000万個の部品を持っています。このようにして、科学的知識が増えれば増えるほど、さまざまな材料を使い、さまざまな種類の部品を使います。簡単に言えば、昔は機械と電気は別々のものだったのです。しかしそれを合体すれば自動機械ができるというように、そうやっていろんな知識を組み合わせることによって、どんどん複雑なものをつくり続ける知識を人類は獲得した。その結果、いろんなものができるようになったのです。知識の獲得というのは、このように複雑さの増大ということにも対応しているというわけです。

もう一つの特徴は、これは全然違う話なのですが、人工物の寿命は驚くべき速さで減少していくという事実です。これはあまり言われたことはないのですが、よく考えてみれば当たり前で、皆さんも実感していることでしょう。ピラミッドの寿命は、先ほど申し上げたように数千年です。もともとこれはいかにして寿命を長くつくるかということですから、これは大成功しているのです。現代の人工物で数千年もつなんでいるものはありません。数千年の寿命をもつ人工物である商品をつくる企業があったら、少しくついたらもう永久に新しいものをつくる必要がなくなりますから企業として存続できません。それは困るのです。いずれにしても現代の人工物は全部有限の寿命を持っていて、しかもだんだん短くなっているのです。教会建築は数百年もっている。しかし千年はもたないでしょう。崩れてしまいます。それから蒸気機関車は50年寿命があるといわれます。あるいは部品を取り替え続ければ100年近く使える。それに比べて現在の自動車は数年しかもたないということになっていま

す。しかも2年たつとセールスマンが来て「こんなの古いから替えなさい」というので、事実上はもっと短いのですが、使えば数年から10年ぐらいいまでもつということです。ご存じのように、電子関係の機器の寿命は非常に短くて、ついには年ではかれない。半年ごとにモデルチェンジが起こるなどということすら起こってしまった。すなわち人工物の進歩というのは、寿命を短くすることである。これはやや皮肉な言い方ですが、それは2つの意味があつて、1つは確かに、寿命を短くしたから進歩が速くなったのです。あるいは進歩が速くなったから寿命が要らなくなったのか、どっちが先かわかりません。でもいずれにしても相互関係があつて、こういう形が現実であることは間違いのないのです。

これらの特徴に加えてもう一つ、これはちょっと妙な話ですが、我々の知識が偏っているという話をします。これは科学に対する反省とも言えます。ご存じのようにギリシャ時代の哲学者、例えばデモクリトスは、すべての存在は粒子からできているのだと考えました。これは現在の原子です。または素粒子でしょうか。そういった小さな要素に分解できない最低の要素というものがあつて、それが組み合わさっていろいろな形をつくっているのだと主張しました。このような単純な仮説としての原子論がギリシャ時代に提案されていました。それが長い研究を経て現在に至り、ついに素粒子を出発点とする精緻な粒子の構成で世界を説明することができるようになったのです。物質の存在はどういう要素から成り立っているのか、どういった要素間の関係でいろんなものが生じるのかということがわかったわけです。ところが同時に、同じギリシャ時代にヘラクレイトスという人がいて、有名なパンタレイ(ギリシャ語で「万物は流転する」)を主張しました。要するにすべてのものは変化しているのだという主張です。あの山はそのままの形で永久に存在し続けるものではないと予言したわけです。これは何万年前には違った形をしていたであろうし、遠い将来には変わってしまうだろう。そして現在私の鼻にあるこの1つの原子は、数千年前に恐竜のしっぽの中にあつたのだ、と言った。本当に言ったかどうかは別として、とてもわかりやすい、いい主張です。これはだれも証明できないし、反論もできないわけですが、しかしそれは一般的な真理を語っている。もちろん原子が崩壊で壊れるということも後々わかってきますけれども、しかしほとんどの原子は崩壊しないわけですから、私の体の中のこの原子はどこに

あったのかなと思うのはたいへん楽しいことでもあります。

ところがその後の科学は、デモクリトスのアトムという概念については極めて精緻な議論を展開しました。素粒子に関してはついにヒッグス粒子が見つかるというようなことで、宇宙の基本的構造と成り立ちがわかるころまで来ています。しかし一方で、地球上で原子が入れ替わり立ち替わりして多様な生物が生まれたり、それが死亡して石になったりする、そういう変化というものについての知識を我々がどこまで持っているかという、残念ながら誠に不十分です。

● 科学者が存在物の不変性に興味を持ったとき (デモクリトス:アトム)

彼らは物質の局所的性質を調べ、不変性を理解するのに有効な学問領域を創出した:

- (1) 存在についての法則に基づく理論として
物性論, 素粒子物理学, 分子生物学等
- (2) 微視的変化の法則の理論として
拡散理論, 化学反応論, 発生学等

これらの学問はそれぞれ自立した領域をつくり、各学問領域の完成度は高い。

● 科学者が存在物の変化に興味を持ったとき (ヘラクレイトス:パンタレイ)

彼らは物質の全体を対象として変化を調べ、変化を理解するのに有効な学問領域を創出した:

- (1) 巨視的変化についての法則に基づく理論として
地質学, 考古学, 古生物学等
- (2) 変化原因の法則の理論として
進化論, 地層生成論, 気候変動論

これらの学問は、自立した領域をつくることができず、領域としての完成度は低い。

図4 ギリシャ時代の哲学者の自然観と科学

図4にありますように、変化を対象にする研究分野や理論がもちろんあったのですが、この下のほうの(1)巨視的変化の法則に書いてありますように、地質学とか考古学とか古生物学というようなものが、このヘラクレイトス、パンタレイのことを研究しているのです。上のほうの(1)存在の法則のほうにいきますと、物性論、素粒子物理学、分子生物学などがあり、こちらのほうがはるかに完成度が高くまた派手で、大学でいえば10対1ぐらいの割合で存在法則のほうが優勢なのです。現代科学は、存在物、その身近で最大のものは地球ですが、その変化については非常に冷たかった。私はこれを人間の科学的知識の偏向、偏りと呼んでいるわけで、それが理由で長期的な変化というものについての知識を人類が持つことに失敗し、その結果地球環境の劣化を招いてしまったのだと考えているのです。ですから、地球環境の劣化というのは企業が悪いとか何とか言いますが、それは事実だとしても、そういうことの以前に人類が持っている知識そのものがそういった地球のゆっくりした変化というものに対して関心を持たなかったことの結果が現代

なのだと思えることが最も大切なことだと思っています。そして現在、その偏向に科学者の一部が気づき始め、この図の下側にあるパンタレイのほうの科学を盛んにするべきであるという考えのもとにいろいろなところで研究が始められているのです。これはまだマイノリティーなので研究費は少ないのですが、そういう研究がどんどんされなければいけないと思っています。例えば窒素原子が地球上でどういうふうに戻っているのかという問題があります。その回り方が変わると、おそらく地球の生物を駄目にしてしまう。これは空気中の二酸化炭素によって地球の温暖化が起こると同じように、窒素の量が増えてくることによって地球の生態系が壊れてしまうというようなことがわかってきたのです。

このようにして循環ということを忘れ、パンタレイを忘れて、物質の構造の知識さえあれば何でもできるということで無限につくれると思っていたのだが、結果としてはどんどん人工物が充満してきて、ついには残念ながらつくれないものがあつたことに気づく。それは空間の大きさであつたわけで、ここで無限性仮説というものには終わる。

1945年に、戦争が終わった年ですが、そのときアメリカで問題提起があつた。戦争のためにいろんな科学が進歩した。しかし戦争がなくなったので、今後は人々のためにそれを役立たせようということで、ヴァネヴァー・ブッシュという人が『Science, the Endless Frontier』(科学、終わらなきフロンティア)という本を書くのです。人間はこれから何でもできる、すばらしい力を獲得したのだからそれを使おう。しかし、1972年に『Limits to the Growth』(成長の限界)という、これもまた有名なローマクラブの委嘱を受けてメドウズたちが書いた本が出て、人間の活動というのはさまざまな限界の壁で取り囲まれていて、何でも勝手にできることはないということをシミュレーションで示す。この2つの問題を我々は事実として認識しなければならないのです。何でもできる、しかし限界があるということです。

■ 現代の邪悪なるもの

現代の邪悪なるものについて話をします。実はもう既に今までお話ししたことですが、人口が爆発する、貧富の差が出てくる、巨大都市ができるが貧困が生じる、地球環境が悪化する、こういったさまざまな新しい難問が出てきています。ところがこれ

層防護といわれるように、まず事故を起こさないための条件の可能な限りの充足、次に起こってしまったときの災害の抑え込み、さらにそれでもできずに災害が大規模化したときには避難というような順序立てた計画を持って、どんな状況になっても人への影響は回避するというのがすべての人工物に課せられた安全確保の基本です。福島の場合そのような発想がなく、事故は絶対に抑え込めるという仮説に立った安全を取ったのは、科学的に明らかな間違いです。問題は、深層防護の考えは人工物の常識であったのに、それが原子力に適用されていなかったことであり、知識を持っているものが管理構造に入るといって、図6に示したような仕組みになっていなかったという本質的な失敗があったと言わざるを得ません。知識を安全の専門家たちが持っていたのに、他の分野の専門家、あるいは行政者、政府に対してコミュニケーションができないことが原因となって、日本に蓄えられていたたくさんの知識が十分に使えないどころか、全く使えなかったという非常に残念な状況になっていた。私も科学者の一人ですが、私のところにも安全がどのように計画されているか、そして事故が起こってから何が起こっているかという情報は一切入ってこなかったのです。日本学術会議で事故の状況についての情報を我々に持つてくるための努力をしたのですが、いったいどこに行けば知識があるのかすらわからない。そもそも原子力発電所のメンテナンスがどこで行われているのかわからなかった。私たちはこの経験から学び取り、原子力発電システムそのものだけでなく、社会的な仕組みにも変化を起こさなければならないと思っています。このようなことは、原子力発電にとどまらず、今回の津波からの復興についても考えなければならないことであります。

■ 科学を教育する

最後に、それでは今までに述べたようにいろいろな問題を持っている科学を、今度は教育者としての我々がどういうふうに教育するのかという問題について考えます。しかしこれは最初に述べたように一筋縄ではいかないのです。多分、既存の体系化された科目を丁寧に、上手に教えていけばいいという話ではない。ここでいくつかの問題を提起してみます。理数科教育の中で学習者が考えること、学ぶ者が何を考えなければいけないか、それは現代の問題に関連して、いくつもの問題があるだろうと

思います。それらが教科の中に埋め込まれているかを考えることとなります。

一番目は、知識獲得とは知識を深めるだけでなく行動力の拡大を伴うことが学ぶものに認識されているかということです。子供たちの学習動機は一般に行動のためではない。しかし知識を得れば行動ができるという重い事実を結果として実感していることが大切です。教科ごとの教育は世代間の知識の継承ですが、それは機械的な継承ではなく、行動の可能性を通じて社会との関連が深まるわけで、そのことが学習の一つの意味です。

それから二番目は、知識を身につけることで行動力が大きくなることの認識を通じて、学習とは社会に対する責任が大きくなることを知ること、すなわち知識の倫理性です。

三番目は職業です。社会は専門家で支えられているので、自分が知識を得て職業に就くことで社会の中で役割を持つことの実感です。

四番目は、現代の豊かさが知識を使って築き上げられたことへの理解、すなわち知識の社会的な効用です。

それから、五番目は実は重要で、善意の行動の累積が地球環境劣化を招いたという事実です。これは現代の非常に大きな問題なのですが、知識というのは実は不完全なのだということを知ることです。

六番目は、知識はいいかげんにつくってはいけないということです。つくった知識はいずれ人類共通の財産になるのであって、厳密に正しさが求められている。

それから七番目は、現代の知識は領域化していますが、その領域の数がどんどん増えているという現実があるが、このことは現代の科学の問題である。

実は先生から生徒が知識を受けるといふ行為の中には、こういった現代の知識が持つさまざまな問題が含まれています。例えば植物学と動物学というのは、植物を学んでいるときは、虫が来て葉っぱを食べるといけないから排除しましょうという。その結果植物はきれいに育ちます。虫は害虫である。今度は動物を教えるときには、虫は草を食べるから草を切ってきてえさとして与えましょうという。しかし自然における事実はそうではなくて、植物と動物は一つのものなのです。両者がなければ片方だけでは存在し得ない。学問が現実の存在を分断しているのではないか。自然を科学として学習するために、植物と動物を分けて学ぶことは必要なことですが、自然は分かれていない

という事実を、学習を通じて子供たちが理解することが必要です。そのためにはどのような教育のカリキュラムを組めばいいかという本質的で困難な問題が根底にはあることを忘れてはならない。

科学の基本的な視点で言えば、異なる領域知識を束ねる科学が必要なのだということになります。例えば植物学と動物学とを束ねないと、今我々人類にとって大問題の生物多様性を解くことはできない。しかしこの束ねる科学は存在していないだけでなく、考えている研究者はほとんどいません。しかし、現実には知識を束ねる例はあります。それは工学技術の世界で、例えば内燃機関をつくる時にはさまざまな工学分野の人が協力します。それは材料学、流体力学、熱力学など、多くの分野です。ところでこの内燃機関は、これらの領域をすべてマスターした人がつくるのではないのです。それができる人はいません。企業では、異なる分野の専門家が集まる設計部を設置し、そこで専門家が協力して初めて内燃機関が生み出されます。しかし学問のほうは協力がありません。ある大学では植物学科の人と動物学科の人は非常に仲が悪くて、一緒に酒も飲まないというような時代もありました。今はそんなことはなくなりましたが、だいたいのにおいて学科間の交流は盛んではありません。

■ 求められるフォーラム

企業の設計部のような協力が、教育の世界でも必要であるという考えで、最後のお話をします。科学を一体化して領域を忘れようとか、あるいは社会に対する科学と技術の行動を全面的に理解しようとか、そんなことは一人の人間にはできないというのが、多分、現在の膨大な科学的知識を持ってしまった人類の現実の姿であろうと思います。したがって異なる専門分野の人間でコミュニケーションのできるフォーラムをつくるのが、唯一の可能な道であろうと思われまます。

先ほど申し上げたように、そういう実例はあるわけで、自動車をつくる場所では見事に協力しています。そのようなことが教育という分野でなぜ起きないのだろうか。ごく簡単に言えば、図7のようなフォーラムをつくるべきだと思います。教育学者とそれぞれの専門を持つ教育者、先端を研究している自然科学の研究者あるいは社会科学の研究者、さらに教育に関して政策立案している、例えば文部科学省の専門家が、自由にコミュ



異なる知識の間の対話

(専門家たちによる**集合的知性** Collective Intelligence)

図7 求められるフォーラム

ニケーションできるフォーラムをつくる。誰が誰に教えるというようなことではなく、イコールな立場でお互いに交流する。このような場をつくるのがかなり緊急の課題であろうと私は考えています。私も実際に努力したことがあって、物理の先生と物理学科の教授たちと一緒にしてやろうとしたことがあったのですが、どうもうまくいかなかったのです。しかし一つの経験があります。これはイクス(ICSU)と呼ばれる国際科学会議で、私は会長だったのですが、リオデジャネイロで総会が開かれたときのことで、そのときに、総会は先端的な科学を議論する科学者の会議だったのですが、その開催につなげて物理教育というコンファレンスを開催したのです。するとそこには高校の先生がいっぱい集まってきていて、こちらの会議に出ている先端的な物理学者と一緒に議論するという場ができていた。このように、物理学の研究集会に、物理学の教師の研究集会が対等の立場で開かれることは可能です。できないのではなく、これはやればできると思います。ですから、実現を阻害しているものがあるとすれば、それを排除しながら、こういうコミュニケーションを進めるフォーラムをぜひつくりたいと思います。これはもう私というより皆様のお仕事なのかなと思いますので、むしろ皆様をお願いして話を終えます。❖

講演 新学習指導要領と「学力」の課題



公益財団法人 教科書研究センター

副理事長

御手洗 康 / みたらい やすし

1946年大分県に生まれる。1969年東京大学法学部卒業。同年文部省入省。1986年初等中等教育局教科書検定課長、1999年初等中等教育局長、2001年文部科学審議官、2003年文部科学事務次官。福岡県の教育長も歴任した。2005年に文部科学省を退職し、放送大学学園理事長に就任。現在、帝京大学教職大学院客員教授、公益財団法人ソニー教育財団理事。

新しい学習指導要領と「学力」の課題ということで、お話しさせていただきます。私は現在、文部科学省とは全く関係ありませんし、今回の学習指導要領もいっさいタッチしておりません。そういった意味では、新しい学習指導要領の考え方を皆さん方に直接お伝えすることはできないわけですが、10年ほど前、平成10年版の学習指導要領が平成14年から実施されたときの文部科学省側の責任者の立場にありましたので、この間10年間の経緯と教訓を踏まえて、私なりに今回の新しい学習指導要領をどうとらえていくかということをお話しして、これからの理数教育研究所の活動に少しでもお役に立てればという思いでお話をさせていただきたいと思います。

■ 平成10年版学習指導要領のねらいは何だったか

平成10年の学習指導要領は、学校週5日制の完全実施、それから教科の指導内容の削減と授業時間数の削減、このことがセットになっていたわけです。併せて「総合的な学習の時間」が週3時間あるいは2時間と、一度に飛び込んできましたので、理科、数学をはじめとして各教科の時間数が一気に減らされました。これが「ゆとり教育」批判の根本だろうと思います。今回は、それに対して、小学校の総時間数が5367時間から5645時間、中学校は2940時間から3045時間と、それぞれ5%と3.5%増えました。算数・数学、理科につきましては、算数が

142時間、16%増え、数学は70時間、22%増えました。これではほぼ平成元年版、したがって昭和52年版と同じ時間数に実は戻ったわけです。小学校理科も同じように16%増え、中学校理科では33%増えましたから、小・中合わせますと平成元年版以上になりました。生活科を加えますと、実質的にはこれも昭和52年版、53年版と同じ水準まで戻ったと思っています。時間数が減らされますと、皆さんたいへんな騒ぎになります。今回それが増えましたので、あまり問題は起きていません。しかし教科書も厚くなりましたし、指導内容も増えましたから、これから現場ではこれをどう子供たちに伝えていくかということ、まさにたいへんな責任を負うことになると思います。

ところでこの平成10年版の学習指導要領の基本的な理念ですが、知識を教え込む教育から子供たちが自ら学び、自ら考える教育へと、そういう転換を目指したわけです。これによって学習意欲の低下を何とか克服し、基礎的・基本的な事項の習得と併せて知的探究心あるいは知的好奇心を育てる。このことによって、自ら考え判断し、そして主体的に行動することができる力をつけさせたい。こういう理念であったわけです。これによって知識の教え込みから脱却して、世界に通用する教育を実現したい。これがねらいでありました。そのために、先ほど申しましたように、「総合的な学習の時間」を導入し、そして中学校では選択教科の拡大を図りました。これは学校現場にカリキュラム編成の裁量と自由度を大幅に与えたということなのです。

併せてこのとき、国を挙げて規制緩和、あるいは地方分権の推進という政策が進められておりました。教育行政でも地方分権推進一括法への対応をしながら、学校の自主性・自立性の確立、こういう方向で学校運営へにおける校長の裁量の拡大、そしてリーダーシップの確立、学校運営への住民参加、こういうものをカリキュラムの自由度を与えるということと併せて実は推進していったわけです。

その結果、現場に裁量あるいは自由度を与えますと、これをどう評価していくかということが大きな課題になります。行政や政府の分野でもいろいろなところでアカウンタビリティということが言われますけれども、これをどう実行するかということで、当時の教育課程審議会の最終の答申に基づいて、相対評価から絶対評価への転換、到達度評価の導入、そして指導と評価の一体化、さらには教育課程実施状況調査の継続的な実施、これがやがて全国学力調査へつながっていきます。そしてこれらの施策を実施するための国立教育政策研究所の新たな設置、これは旧国研を転換するということが、文部省の中に実は持ってきたわけです。こういった手当てをしながら、学校の評価と評価結果の公表、そして情報公開というのもこれからずっと進んできます。要するに学校の教育を社会がどう評価していくか、学校の中だけで満足するのではなくて、その成果を地域や保護者や社会全体にしっかりと「よくやってるな」という形で評価してもらい、そして学校と保護者、地域、社会との信頼関係をつくり上げていかなければならない。こういう政策が一体として進んだわけです。

■ PISA 調査をどうとらえるか

2000年のPISA調査が、読解力テストが8位ということで、学力低下の一つのきっかけになってきました。その後、2003年の調査では、読解力テストは14位まで下がりました。さらに2006年調査では、数学的リテラシーや科学的リテラシーの成績も下がってきました。このとき、ドイツやイギリスなどのヨーロッパの国々でも、いわゆるPISAショックが同じように走っていったわけです。このときフィンランドがトップであるということで、日本でもフィンランド詣でというような現象が起きってきます。2009年の調査ではやや盛り返しました。

しかし全国学力調査の結果などを見ても、知識を問う問題は

それほど昔と変わっていない。相変わらず国際的にはトップクラスです。これは2007年のTIMSSのほうの結果を見ても明らかですが、全国学力調査や読解力テストの結果を見ると、知識を活用する問題、あるいは記述式の問題、こういったものには依然として課題があります。さらにさまざまな要因があると思いますが、よく理解できる子とできない子の学力の二極分化ということもこの間指摘されるようになってきました。国際的なテストや学力調査の結果としての点数や順位というのは一応の目安になります。全体の傾向はどうなっているか、あるいは相対的な位置を確かめていくということでは紛れもない客観的な指標となりますが、いかにPISAのテストや学力調査のB問題を工夫しても、ペーパーテストで測れる学力には限界があるわけです。そういった意味で、今後の学力調査をどう広げ、あるいは継続的にどう持っていくかということは非常に大きな課題であろうと思います。

また、こういう全体の状況や傾向をつかむことは、クラスや学校全体の指導計画、あるいは指導方法を改善していくためには有効ですが、こういった学力調査的な手法だけで学力向上を目指すという風潮が強まってくると、これまた知識の詰め込み、あるいは偏差値の重視というところに回帰してしまう危険性もあります。例えばアメリカを見てみますと、こういったPISAやTIMSSの調査結果は必ずしもよくありません。しかし何とんでも大学の教育、あるいは研究面で、世界でトップであるということは紛れもない事実です。小・中学校の成績がいい国と大学の教育がいい国、どちらがいいか、それぞれ一長一短ではありますが、要は部分部分で見るのではなく、国の教育の在り方、あるいは教育政策、こういったものはトータルシステムとして考えていかなければならないということだと思います。国際的な調査を通して、それぞれの国から学ぶべきことはたくさんあります。しかしフィンランドの指導方法や教育のシステム、そういったものを日本の国に持ってくることはとてもできるわけではありませんし、そもそもフィンランドやシンガポール、あるいは香港、上海といった人口の小さな国や都市と、1億、2億という人口を抱え、そこに多様な民族や文化を抱えている国の教育自体を学力テストというような一つの指標だけでその成否を測っていくことは土台無理な話だろうと思います。

したがって、国際的な調査や、あるいは全国学力調査の点数や順番というものにあまり大きな意味を持たせていくというこ

とになりますと、それぞれの国の教育の有り様、本質を見ていくということを見誤ってしまうおそれがあると思います。そういった意味では、^{しっかい}悉皆の全国学力調査も3年続けて一度お休みになりましたが、これは過去の昭和30年代から40年代初めで続けられた学力調査の教訓からしても、個人としてはたいへんよかったことだと思っています。これからは政治的な思惑に振り回されることなく、長期的な視点から学力調査の枠組み、そして具体的な実施計画を教育的な観点からしっかりと中教審などで議論して示していくということが必要だろうと思っています。

■ 新学習指導要領にも継承された「生きる力」

平成18年に改正されました教育基本法では、引き続き教育の目的として人格の完成、そして国家社会の形成者として必要な心身ともに健康な国民の育成ということが掲げられています。これはある意味で普遍的な教育の目的であろうと思います。教育基本法第2条ではこの目的を達成するための教育の目標の最初の項目として、知識と教養、真理を求める態度、そして豊かな情操と道徳心、さらに健やかな身体を養うということが掲げられています。学習指導要領でも、教育課程編成の一般方針として、これはずっと前々からありますが、知・徳・体のバランスのとれた教育を行うことが求められています。基礎的・基本的な知識・技能をしっかりと身につけるとともに、自ら考え判断し、問題を解決する力、いわゆる確かな学力と豊かな心、健康な体を育てる、このような「生きる力」の平成10年版の学習指導要領の理念は、教育基本法の人格の完成とつながっています。また、もっと言えば、「知・徳・体」一体という日本の学校教育の方針は、我が国の文化、あるいは教育的な伝統に基づいているということも言えるわけです。

新しい学習指導要領では、このように改正された新しい教育基本法と学校教育法のもとで、平成10年版の学習指導要領の実施の経緯、そして子供たちの学力の現状を踏まえて、引き続き「生きる力」の理念を継承しました。そして今回、特に「理数教育の充実」と「言語活動の充実」を改訂の2本の大きな柱としているわけです。今までよりも授業時数が増え、そして教科書も厚くなっています。これでゆとりがなくなったということでは、実は困るわけです。「ゆとり」という言葉自体、厳密な

ものでありませんし、一つのキャッチフレーズとして使われ、それがまた批判の対象にもなったわけですが、授業時数が増えて、ゆとりを持って教えることができるようになったと、こういう形になってもらわないと困ります。

しかし、これは非常に難しいことです。時間数が増えたといっても、教えることも確かに増えていきますし、子供たちにしっかりと理解と定着を図り、そしてまた活用する力もつけていこうということであれば、時間はいくらあっても足りません。国語も社会も算数も理科も体育もと、こうなれば子供たちがパンクしてしまうわけです。そういった意味では、学校は時間も有限ですし、一人ひとりの子供にとっても1日の時間は限られていますので、これをどう克服していくのか。これは教師の指導力、とりわけ授業の実践力ということが非常に大きく問われてくることになってくると思います。

■ 今問われている「学力」の課題は何か

次に、それではこういった学習指導要領を前提に、子供たちの学力の課題というものはどこにあるかということをもう少し見てみたいと思います。

今年3月、中教審の大学部会から、『予測困難な時代において生涯学び続け、主体的に考える力を育成する大学へ』というまとめが出されました。ここでは「主体的な学び」ということがキーワードになっています。そして学士課程教育の質的転換、充実とともに、高等学校以下の教育との円滑な接続の問題を課題にしています。平成17年の中教審の大学の機能分化を提言した『将来像答申』、あるいは平成20年の入学者選抜の方針、カリキュラム編成の方針、学位授与の方針を明確化せよといった『学士課程答申』でも、大学教育の質の充実ということは大きな課題となっておりましたが、教育の中身にまで触れることはなかったわけです。しかし大学進学率が50%を超え、大学がユニバーサル段階に突入したという状況になって、学生の学力の課題に正面から向き合わなければならなくなっているということが実態だろうと思います。これはかつて高等学校が進学率の上昇に伴って全員が入学してきたときと実は同じことなのです。高等学校教育はそのときたいへん苦勞して、しかしながら全員を受け入れながら、どう教育していくかということをも今まで模索してきました。必ずしも十分それが成功しているかどうかわか

りませんが、これからは大学も実はそういう状況ですので、大学の学問分野、あるいは研究分野からの知見もいただきながら、こういった課題に答えていくことができるのではないかと。こういう期待が実は少し持てるわけです。

学生の主体的な学習の確立、そして学習時間の確保が大事だというこの大学部会の提言は、実は小・中学校でも全く同じことだということはおわかりだと思います。学力に影響を与える要素は、ざっくり言いますと4つあると思います(図1)。

学力に影響を与える要素

1. 学習内容 (学習指導要領, 教科書)
2. 指導方法 (教師の指導力, 教材・教具)
3. 学習意欲 (学習態度, 学習習慣)
4. 学習時間

図1 学力に影響を与える要素

1番目は学習の内容です。これは学習指導要領の内容と考えていただいてもいいし、教科書の内容と考えていただいてもいいと思います。2番目は指導方法です。もちろんこれには教師の指導力、あるいは教科書内容や教材・教具、こういったことも含まれるわけです。3番目は学習者の意欲です。学習態度、学習の習慣あるいは努力、こういった要素です。そして最後は学習時間ということだと思います。学校の中だけを考えれば、一応この4つが非常に大きな要因になると思います。これはもちろん相互に関連していますから、どれか一つ変わればそれだけで学力が上がったり下がったりするという単純なものではありません。

これをTIMSSやPISAの調査を例に少し考えてみますと、こういった国際的調査が行われるというのは、実は算数・数学や理科のカリキュラム、教える内容がほぼ国際的に統一されているから、国際比較ができるということです。国語、社会ではなかなかそうはいきません。したがって、学習指導要領の内容が国際的なレベルよりも低いから日本のPISAの成績が下がったと、そう単純に言える問題ではないと私は思っています。

それから授業時間についても国によって非常に幅があります。2008年の数字(文科省が整理したOECDの調査)をざっと見てきたのですけれども、フィンランドや韓国は今までの日本よ

りも総時間数は少ないくらいです。もちろん調査というのは必ずしも全貌をつかめませんが、とにかく一つの方法で調査したということですから、それを見ていきたいと思います。フィンランドや韓国は、算数、理科の時間を比べても決して多いとは言えません。これに対してイギリスやフランスは、総時間数はかなり多くなっています。イギリスは算数、理科の時間とも、日本や韓国、フィンランドよりかなり多くなっています。日本の改訂後と比べても2割程度、2008年時点で多いわけです。しかしPISAの成績が高いという結果にはなっておりません。フランスやドイツなどはもっと少なく、フランスの理科の時間、あるいはドイツの算数・数学、理科の時間は日本よりも少ないという状況もあります。こういったことを見てみますと、国際的調査の結果と授業時間数がどういう関係にあるかということ実は見えてこないのです。国際比較という点では見えてきません。OECDもざっと見る限りは、どうも授業時間数やカリキュラムの内容のことについては多く触れておりません。

また、教師の指導力が教育の成果を左右するというのも言うまでもないことです。日本の教師の教材研究や授業研究については、国際的にも高く評価されています。PISAの調査でもそれぞれの国内で生徒の学力と教師の影響が非常に大きく関係しているということは分析していますが、そういう影響の内容や程度がこの学力到達度といえますか、PISAの調査結果とどう結びついているかという国際的な比較はどうもしていません。また、フィンランドやオランダ、こういったヨーロッパやアメリカと韓国や日本の指導方法は異なっています。これは現地に行って教室の風景を見てみれば一目瞭然です。例えばフィンランドでは教室ごとに先生が時間割をつくっています。フランスは、今は知りませんが、かつてはどこの学校に行っても同じ時間に同じことをやっていると言われていましたから、ヨーロッパでも随分違うと思います。オランダでは子供はその日の学習計画を立てて、それを教師が必要に応じて、あるいは求めに応じて指導していきます。こういう教室風景が一般的です。したがって、表面的な指導方法の違いからそれが学力にどう影響するかということも、国際的に比較すると非常に難しいのです。国内であればある程度文化的な統一性もありますから、文化的・社会的・経済的要素を厳密に見ていけばかなりうまく比較できると思いますし、PISAでもそれぞれの国内では事実、教師の影響について評価しているわけです。

最後に、問題は「勉強が好きだ」、あるいは「理科や算数の勉強が将来社会で役に立つ」と考えている子供たちが他の国と比べて少ないことです。理科や算数・数学に対する学習態度といますか、興味・関心といますか、こういった子供の意欲、あるいは期待というものが国際的に見て極めて低い水準、ほぼ最下位に近い、あるいは家庭での学習時間も同じように最下位であるということが指摘されておりました。しかし、これはこの間の学力向上の取り組みでかなり改善されてきているという学力調査の結果も出ています。今回、大学生の学習時間がヨーロッパに比べて半分程度だと中教審で報告されたことも同じことに起因していると思います。

しかし、厄介なのは、国際的に見ますと、だからといって必ずしも成績は悪いほうではないということなのです。教師の影響力と同じように、国内だけで見ていきますと、明らかに成績との相関関係ははっきりしています。調査するまでもないことです。また、こういった調査で学習意欲が高い、あるいは勉強に対する期待が強い、勉強時間も多いという国でも、国際的には必ずしもそれが成績に結びついていません。

したがって、国際比較調査というものをどういうぐあいに受けとめるのか、その意義と限界というものはしっかりと見きわめながら受けとめていくという態度が必要ではないかと思っています。オリンピックのように順位や得点を比較するというところに意味があるのではなくて、調査の結果を、分析を通してそれぞれの国の教育システムや指導の在り方を比較する、それによってよりよい政策や指導方法を展開して、そういった意味のデータを国際的に集めて、それぞれ利用していくということに意味があると思います。

■ 学習意欲、学習習慣をどのようにして高めていくか

学習意欲、学習習慣は学力の基盤である、これは間違いないわけです。国際比較調査がどうあろうとこれは間違いない。私どもが子供を育て、あるいは学校で教育していく、その上での確信でもあるし、また事実でもあります。

これをどのように高めていくかということが子供たちの学力を高めるための大きな課題ですが、教育基本法では第6条に、「教育を受ける者が自ら進んで学習に取り組む意欲を高めることを重視する」という規定が実は置かれたわけです。これは学力低

下論争がもたらした、子供の学力、あるいは勉強に対する態度というものに対する国民的な関心が引き金になったものでしょう。そういった意味では、学力低下論争の一つの成果であったと私は思います。学校教育法でも第30条第2項で、この教育基本法の改正を受けて、「主体的に学習に取り組む態度を養うということに特に意を用いる」という規定が置かれています。先ほどの大学部会の報告も、実はこの規定を受けているということが言えると思います。学力をどう定義するかは難しい問題ですし、またその中でも何を重視するかということについてもいろんな考え方があると思いますが、最も狭い意味での学力、いわゆる知識、測れる学力にしても、実は知育だけで育つわけではないわけです。学習意欲や学習の習慣、努力、これは教科の指導の中だけで養われるというものではありません。「継続は力なり」という言葉がありますが、意欲や努力は心の働きですし、それを持続していくことは健康や体力とも極めて大きな関わりがあります。また、生活習慣が確立して、自然体験や生活体験が豊かであればあるほど、道徳性や学力の達成度が高いということも経験的にも知られています。

したがって、学力を高めるためには、教科の指導の中でも観察・実験、あるいは体験的な活動や自然との触れ合い、グループ学習などの学び合い、話し合い、教え合いと、こういった学習が極めて重要になります。先ほどの吉川先生のお話でも、知識が行動の源になるということでありましたし、知識と行動は一体であるというお話がありましたけれども、まさに教育現場、授業の場でもそれは事実だろうと私は思っています。そういった教え方をどう磨いていくかということが求められます。

■ 授業改善の新たな視点 - 「言語活動の充実」

最後に、「言語活動の充実」ということに触れておきたいと思っています。近年、「人間力」、あるいは「社会人基礎力」、あるいは中教審では「学士力」という言葉が使われています。これらに共通しているのはいずれも主体的に問題を解決する力、あるいはコミュニケーション能力や人間関係をつくり上げる力ですし、グローバル人材の育成という観点からも、単なる外国語能力だけでなく、交渉力や説得力といった幅広いコミュニケーション能力が求められてきます。

今回、学習指導要領では「言語活動の充実」が実は総則に規



定されたわけです。言語はすべての学習の基礎になりますし、言語能力は国語の授業の中だけで身につけるものではない。このことは自明のことですが、今回、学習指導要領にそのことが改めて規定されたということは、大きな意味を持っていると思います。国語だけでなく、各教科でもそれぞれの特性に応じて言語活動に関する記述が増えました。とりわけ算数・数学では、「考え、表現する能力を育てる」ということで、表現する能力ということが教科の目標につけ加えられました。そして、「算数(数学)的活動」が今までの指導計画の作成の配慮事項から内容の中に位置づけられて、それぞれの分野の指導事項をこういった活動を通じて指導するのだということが具体的に各学年別に例示されています。社会科でも同じように、これは中学校では既にあったわけですが、小学校の目標の中に、「調べたことや考えたことを表現する力」ということが加えられました。さらに論述や意見交換、説明、議論、こういった学習活動を充実させるということが加えられています。数学でも、指導計画の作成の配慮事項の中で、「言葉、数、式、図、グラフなどを用いて考え、説明する活動」、あるいは「数学的な表現を用いて、根拠を明らかにして、筋道を立てて説明し合う活動」など表現活動を充実するための具体的な活動が示されています。理科はこれまでも算数・数学や社会科で今回規定されたのと同じように、「観

察・実験の結果を分析し解釈し表現する能力を育てる」ということが入っていましたし、実際の小・中学校の授業を見ましても、観察・実験ということをもとにして発表、話し合い、こういった活動が活発に行われています。しかし算数や数学では今回このように目標達成のための重要な活動として言語活動が位置づけられましたし、他の教科でも同じように言語活動の重視に関する規定が、いずれも教科の特性に応じて入っています。

このことはあまり形式的になりすぎますと、今度は教科の内容の指導が疎かになるということにもなりかねません。それぞれの教科の特質に応じて、内容を指導するために意図的、計画的に言語活動を指導計画の中にしっかりと位置づけていくということが大事です。そういった意味では、「言語活動の充実」という新たな視点から授業改善をしていくことが求められていると受けとめるべきであろうと思ってます。

実は今回、「総合的な学習の時間」は減ったわけです。ゆとり教育からの転換という表現をする人もいます。しかし「総合的な学習の時間」が目指した問題解決的な学習、あるいは主体的、探究的な学習、これは「言語活動の充実」によって理科以外の教科でもこれまで以上に活発になってくるだろうということを私は期待しています。これによって、知識を活用して思考力、表現力、判断力、こういった力を高めて、自ら考え判断し、問題を解決する能力、吉川先生の言葉で申し上げれば、「行動する力」を身につけていくことを期待したいと思います。❖

..... 編集後記

(財)理数教育研究所の広報誌『Rimse』創刊号をお届けします。『Rimse』は、今後、年4回の予定で発行してまいります。特集で教育現場における課題を解説し、また、次号からスタートする連載コーナーで、算数・数学教育や理科教育の参考となるものを取りあげる予定です。どうぞご期待ください。

弊財団の評議員として財団設立に深い情熱を傾けてご指導いただきました山極隆先生が5月23日、ご逝去されました。生前の山極先生のご指導に感謝申し上げますとともに、謹んでご冥福をお祈りいたします。

(財)理数教育研究所 事務局

ガリレオ・ガリレイの望遠鏡

(イタリアのフィレンツェにあるガリレオ博物館に
所蔵されている)

今年5月21日、世界中が金環日食ショーで湧きたちました。多くの人が「黒い眼鏡」を通して楽しまれたようです。中には望遠鏡で観測された人も。実はその望遠鏡という道具を自作し、初めて天体を眺めたのはガリレオ・ガリレイです(1609年末頃)。最初は3倍程度のものでしたが、レンズを改良して20倍まで性能を高め、月の表面が凸凹の山であること、木星の周辺に見える小さな4つの星は木星の衛星であることなどを確認し、月を境に天上界と地上界に区別したこれまでの地球中心の宇宙観からコペルニクスの主張する太陽中心の宇宙観への転換をもたらすうえで大きく貢献しました。大切なことは事実を確認することです。

大阪教育大学名誉教授 鈴木 善次



© Gianni Tortoli/Science Source/amanaimages

Rimse (リムス)

No.1

編集・発行 (財)理数教育研究所

大阪オフィス

〒543-0052 大阪市天王寺区大道4-3-23
TEL.06-6775-6538 / FAX.06-6775-6515

東京オフィス

〒113-0023 東京都文京区向丘2-3-10
TEL.03-3814-5204 / FAX.03-3814-2156

E-mail : info@rimse.or.jp

http : //www.rimse.or.jp

※本冊子は、上記ホームページでもご覧いただけます。

印刷所：岩岡印刷株式会社

デザイン：株式会社 アートグローブ

本文イラスト：株式会社 アートグローブ