

自然科学の理解を目指す人達へ (2008. 8. 14)

大阪大学名誉教授 畑田耕一

1. 科学・技術とそのスパイラル・プロGRESS 自然科学とは身のまわりに起こるいろいろな自然現象を正確に観測し、その現象が起こる仕組みを考え、その背景にある根本的法則性すなわち原理を明らかにする学問分野です。いくつもの見かけ上異なる現象の背景にある法則性を統一的に解釈できる考え方、判断の仕方が理論ということになります。科学の原理や理論を巧みに応用して、人間の生活を豊かで幸せなものにする物や機械やシステム・環境などを作り出す工夫や技が技術です。この技術が作り出した新しい物や機械や環境が人間生活とかかわり、様々な現象を引き起こします。その現象を詳しく見つけることにより、新しい原理、新しい科学が生み出されます。この新しい科学は、また、新しい技術を生み出すことができます。このようにして、科学と技術は互いに関連し合いながら、長い時間をかけてらせん階段を上るようにして、発展、深化します。

たとえば、レンズ玉、あるいは、その何枚かの組み合わせを通して物を見た場合に起こる現象——遠くのものが見えたり、小さなものが大きく見えたりする現象——から幾何光学という科学が生まれました。この科学から生まれた精密光学機器を作る技術は、望遠鏡を作り出し、天文学という新しい科学の世界を誕生させ、天文学が他の科学や技術も取込みながら宇宙工学という技術を作り上げ、宇宙工学によって開かれた新しい環境が、無重力の科学を生んだのです。精密光学機器の技術が生み出した顕微鏡が、医学をはじめとするミクロの世界の科学と技術の発展にどのように繋がったかは、いまさら述べるまでも無いでしょう。

2. 五感と測定 皆さんが科学者になりたいと思ったとき、やるべきことの第一歩は、まわりをよく見ることです。そして、自分のまわりを注意深く観察した結果を正確に記録することです。その際に大事なことは五感です。風呂のフタを開けただけで、あるいはその湯の中に手を入れてだけで湯の温度の見当がつく程度に五感をとぎすまして下さい。川の水の流れる音からも水温の推量は可能でしょう。しかし、五感で推測した値を観察記録として実験ノートに書くようでは科学者にはなれません。

二番目に大事なことは、器具を使って正確で精度の高い測定をすることです。五感は往々にして人をごまかすことがあるからです。風呂の湯の温度は温度計を使えば正確に測定することが出来ます。ただ、温度計にごまかされることもあります。温度計が間違っていることがあるのです。これをどうやって見抜くかです。手を入れて 43℃位と判断した湯の温度が温度計で 58℃と出たときは誰でも温度計がおかしいと思うでしょう。大事なことは、本当は 43.5 度の湯の温度が、狂った温度計を使ったために 43.7℃と観測されたような誤りをどうして見分けるかです。ここでは鍛えられたセンスをいかした工夫が求められます。簡単な方法の一つは、いろいろな温度計を別に 5 本程度用意して測定することです。これら 5 本の温度計がすべて 43.5℃を示せば、この測定値は正確であるということになります。5 本の温度計がすべて同じように狂っている確率は限りなく 0 に近いと考えて差しつかえないからです。

3. 測定の単位 正確な測定を行うためには、その測定量の基準が定められていることが必要です。日本で使われている温度の単位は摂氏 (°C) です。この温度の基準は水の融点を 0°C とし、沸点を 100°C とし、その間を 100 等分したものです。アメリカなどで日常生活に使われている華氏温度 (°F) は、人間が何とか生活できる気温の下限を 0°F、上限を 100°F としたものとされています。長さの単位には、

古くはその国の王様の腕の長さを基準とするキュービットや、脚の長さを基準にするフィートが使われていましたが、このような単位は、国際的な交流が行われるようになると、いろいろな面で支障が出てきました。そこで、世界共通の「メートル」という単位が定められ、その長さの基準となるメートル原器がパリに保管されることになりました。

1メートルの長さは、1960年までは赤道に直交し北極と南極を通る線、つまり子午線の4000万分の1と定められていました。1960年から1983年までは、クリプトン86のスペクトル線が基準とされ、1983年以降は、光が299,792,458分の1秒に進む距離と定められています。また、時間の単位の秒は、現在はセシウム133原子のいくつかの固有振動数のうち、9,192,631,770Hzの振動数を基準として定められています。現在は、世界のあちこちで原子の特定の固有振動数を発振器に利用する原子時計が20,000年に1秒しか狂わないという驚くほど正確な時を刻んでいます。

4. 観察・記録・考察・実験的証明 さて、こうやって自分の身のまわりの現象を丁寧に観察し、正確に記録したあと、次にしなければならないことは、その記録をもとに、その現象は何故起こったのか、どのような仕組みで起こっているのかを考えることです。風呂の水温が何故43.5℃になったのかということなら理由は考えるまでもありませんが、すべてはこんなに簡単ではありません。一例をあげましょう。1791年イタリア人のガルバーニが、死んだ蛙の足を銅のフックでぶら下げ、鉄のメスで切ったところ、死んでいる蛙の脚がピクリと動いたのです。この現象を、ガルバーニは、銅のフックと鉄のメスということも含めて正確に記録していました。ガルバーニの友人ボルタはこれを読み、異なる2種の金属が水の中で互いに接触せずに共存すると両金属間に電圧が発生するのではないかと思いつきました。そして、1800年に亜鉛と銅の金属板の間に食塩水を含ませた布を挟んだボルタ電池を作り出したのです。この蛙の解剖実験からボルタ電池の発明に至る過程には、現象の観察とその記録、それについての考察とその実験的証明という、科学の世界で仕事をするうえでの、重要なプロセスが含まれています。

最初の抗生物質ペニシリンは、細菌の培養皿に不注意でアオカビが生えたときに、その周囲の細菌が死滅していたというスコットランド人アレキサンダー・フレミングの観察記録（1928年）がもとになって発見され、1943年人工的に合成されるようになりました。これも現象の詳細な観察と記録、ならびに、その内容についての深い考察が、科学の発展にとっていかに大切かを物語っています。

同様な例は、放射性同位元素の発見と放射能という概念の確立にも見られます。1896年フランス人アンリ・ベクレルは、たまたまウラニウム鉱石を写真のフィルムの入った引き出しに入れました。後に、この写真のフィルムを現像したところ、ウラニウム鉱石の形が写っていたのです。この現象についての考察がウラン鉱石の放射能の発見、さらには、キューリー夫妻のラジウムの研究につながり、1903年3人でノーベル賞を受けることになりました。

5. 違いを見つけよう ここで自然現象の観察と記録ということについてももう少し詳しく考えて見ましょう。観察の際に一つの物や現象だけを見ずに、他と比べて違いを見つけるというのが、観察の腕を磨く第一歩です。自分の周りにいる多くの人たちが、身長、体重、胸囲、靴の大きさ、髪の色、目の色、右利きか左利きか、などいろいろな点で違っているのは、その気になればすぐ分かります。ここで大事なことは、その気になればということです。「見る」ということと、「見えている」ということは違うのです。観察のために必要なのは、強い意思と集中力を持って「見る」ということです。「聞こえる」のではなくて「聞く」ということです。これが、人間が「考える」ことの第一歩なのです。

6. 同じところを見つける (データの分類) 観察の対象や観察の記録が非常に沢山ある場合には、これらを共通の性質を持ついくつかの集団に分けて、観察や考察をするのが便利です。これを分類といいます。たとえば、我々は地球上の生物を、外界からの刺激に反応する機能すなわち感覚（冒頭に述べた五感がこれに当たります）と自己の意思で自由に動き回れる機能すなわち運動の機能をあわせ持つ「動物」と、草や木のように、根が生えていて一箇所に固定した生活をしている「植物」とに分けて考えています。動物の中をよく見ると、背骨を中心に体を支えている脊椎動物と、背骨の無い無脊椎動物とに分けることができます。脊椎動物はさらにわれわれ人間のような哺乳類をはじめ魚類、鳥類、両生類、爬虫類、などに分けられます。哺乳類は、皆さんよくご存知の通り、体温が一定で、肺で呼吸し、卵ではなく子供を生むことで繁殖し、子供は母親のお乳を飲んで大きくなります。このことを知っておれば、海豚（イルカ）や蝙蝠（コウモリ）はそれぞれ魚や鳥ではなく、われわれ人間と同じ哺乳類であることが容易に判断できます。ついであるが、海豚が哺乳類で肺呼吸をしているのに、人間よりもずっと長く水中にもぐっていられるのは、もぐる直前にストレスホルモンを出して水中での酸素消費量を抑える機構を備えているのと、水中での運動に必要な筋肉そのものに酸素貯蔵の機能を持っているからなのです。まさに自然の妙といえます。

ただ、分類の仕方は必ずしも一つではありません。動物を、自分の力で空を飛べるものと飛べないものに分けると、人間と蝙蝠とは別の種類と言うことになります。少し違う見方で物事を考えるというのも、科学の世界では大変重要なことです。

7. よく見てよく考えよう 異なる集団のあいだにも、よく見ると共通の特徴が見つけれられることがあります。動物は動くが植物は動かないといっても、食虫植物やひまわりは、機械的あるいは光の刺激に反応して、それぞれ葉や花を動かします。朝になると花が開くというのも、光の刺激に応答する運動です。刺激に対する植物の応答速度は、動物のそれに比べてかなり遅いというだけです。動物は食事をしますが、植物が根や葉から水分、二酸化炭素をはじめとていろいろな化学物質を吸収するのも食事といえるでしょう。動物も植物も、お互いに方法は違いますが、成長し子孫を残します。このように自分の周りをよく見て、よく考えることで、面白いことがいろいろと分かってきます。これが科学の世界で仕事をするための第一歩、科学する心の始まりといえます。

8. データの表現法と情報交換 数多くのデータを理解しその意義を見出すのに、データ整理のためのいろいろな工夫が要ります。数値データは、最初は表の形で記録することが多いのですが、その表を見ているだけでは、データの意味を完全に読み取ることは難しく、図形やグラフを使うか、ある種の統計的整理が必要になってきます。観察記録からなるデータをいかに見やすい形で表示するかという技術は、自分がデータについて考えるときにも、また、他人にデータを公表するときにも大変大事なことです。たとえば、表1はゴムの張力を、温度を変えて測定した結果ですが、この表を見ているだけでは、張力は温度とともに増加するという程度のことしか分かりません。ところが、このデータを、X軸を温度、Y軸を張力としてグラフに表すと、図1のようになります。

温度 (°C)	5.5	17	28	37	48	55	65	76	79
ゴムの張力 (ニュートン)	1.45	1.50	1.55	1.59	1.64	1.69	1.74	1.80	1.82

これを眺めてみると、ゴムの張力はその温度とともに直線的に増加し、この直線を外挿する（横軸と交わるところまで直線を延長する）ことにより、張力0の点の温度はマイナス 277℃であることが分かります。これは、分子運動の停止する絶対零度（約-273.15℃）に極めて近い値であり、ゴムの張力が、気体の圧力と同様に、その分子の熱運動によっていることが推察できます。

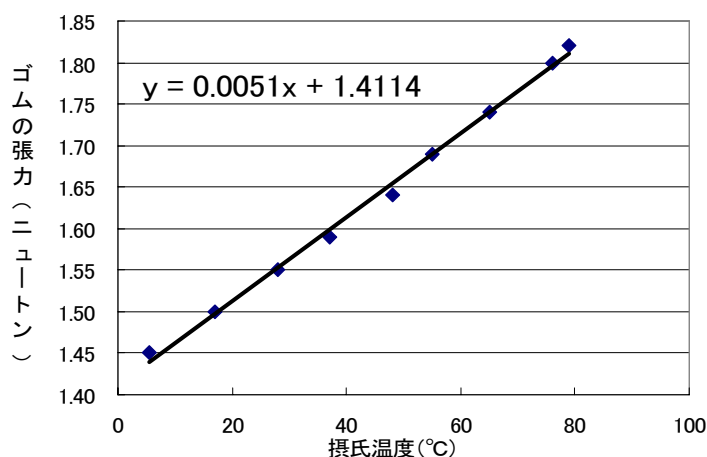


図1 ゴムの張力と温度の関係

さらに、自己の観察の記録とそれについての考察の結果を公表して、他の人々

と互いに話し合い議論することで、観察の記録は一層有効に利用され、考えも深まっていきます。科学者・技術者同士の情報交換・コミュニケーションが、科学・技術の発展・深化にとって大変重要なのです。このような科学者の活動が、やがては人間とそれを取り巻く地球の環境を幸せにする大きな発見や発明、あるいは、新しい概念やものの考え方を生み出すのです。そんなに簡単な仕事ではありませんが、途中の努力・苦しみが大きければ大きいほど、成功の喜び・感激もまたひとしおであるといえます。研究途上で小さな発見をはじめとするいろいろな出来事に一喜一憂する心、研究の成果をある種の感激を持って受け入れられる心、これが科学・技術を推し進める原動力の一つでもあるのです。

9. 分子という概念の誕生と確立 ここで、科学の世界で非常に重要な概念の一つである「分子」のお話をするので、科学の分野での考え方、仕事の仕方を見ていただきたいと思います。われわれの身近に起こる現象には、「物質はすべて分子という小さな粒子からできている」という概念を用いると、うまく説明あるいは理解できるものが沢山あります。部屋の片隅で誰かがおならをした時には、そのおいは時間とともに部屋全体に広がっていきます。これは、臭気分子が熱運動で部屋の空気の中を拡散していったためであると考えると説明できます。コップに入れた水の中に角砂糖を一つ沈めておくと、一日も経たないうちにコップの中の水全体が均一な甘さの砂糖水になることも、同じように、砂糖の分子がコップの水の中を拡散していったためだと考えると説明できます。

ヘリウムを入れた風船が、時間が経つとペシャンコになるのは、風船の膜にはヘリウム分子はやっと通れるが、空気中の酸素や窒素のようにヘリウムより大きな分子は通れないような小さな穴が開いて、ヘリウムが外に出て風船が空になっても外から酸素や窒素が入ってこないためと考えられると理解できます。この風船のガス漏れ現象は、分子はその種類によって大きさが異なることを示しています。水 50ml ずつを混ぜると 100ml になります。これはアルコールを 50ml ずつを混ぜても同じことです。ところが、アルコール 50ml と水 50ml とを混ぜると 100ml にはならず、約 95ml になります。この混合による体積の減少は、米粒 50ml と大豆 50ml を混ぜると、100ml よりはかなり少なくなることから類推すると、アルコールと水の分子とでは、かなり大きさが異なるために、アルコール分子とアルコール分子の間にできた隙間にそれよりも小さな水の分子が入り込むことによって起こると考えて納得することが出来ます。

水が温度によって氷、水、水蒸気と状態を変えるのも、水分子の凝集状態の温度による変化として説

明できます。氷の中では分子は規則正しい配列をとって、その重心の位置はほとんど動きません。前後左右に振動しているだけです。融けて液体の水になると、一定容積内の分子の数は氷とそんなに変わらないのですが、分子の動きは活発になって、かなりの距離を移動できるようになります。沸騰して水蒸気になると、その体積は一気に大きくなり、水の分子はお互いに衝突を繰り返しながら、すごい速さで飛び回るようになります。その速さは新幹線の色をはるかに越えています。

紀元前 400 年以上も前から、ギリシャの哲学者たちは、物質は原子と呼ばれる非常に小さい粒子から出来ていて、物質が違えば原子も違うと考えていました。彼らは、鉄の原子は固くて互いに強い絆で結ばれており、水の原子は互いにあまり強くは結ばれておらず、空気の原子は激しく動き回っていると考えていたということです。この考えは、現在の分子の概念にかなり似か寄っていたのですが、その後浮上した「すべての物質は土、空気、火、水の四つの元素から作られている」という考えにかき消されてしまいます。ただ、現在では荒唐無稽としか言いようの無い「すべての物質は四つの元素から出来ている」という考え方は、卑金属を金に変えようとする錬金術や万病に効く薬「賢者の石」を作り出そうとする努力を引き出し、その目的は達成されなかったものの、現在用いられている色々な化学物質を作り出し、合成化学の技術の基礎を築いたと言えなくもありません。1650 年ごろになって原子・分子の考え方が再浮上し、1803 年のドルトンの原子説の発表を契機として、1800 年代に現在の原子・分子の概念が確立しました。

この間、1827 年ロバート・ブラウンが水に浮いている花粉が不規則に動いていることを発見します。ブラウン運動と名付けられたこの現象は、後にアインシュタインによって詳しく解析され、水の分子がいろいろな方向から無秩序に花粉に衝突することによって起こることが明らかにされ、分子運動論から分子の大きさの計算にまで発展しました。ブラウンの顕微鏡下での花粉の運動の観察が、分子が実在することの決定的証拠を引き出すこととなったのです。いろいろな現象の観察記録についての考察からそのメカニズムを推論し、それを実証するための実験を行い、その結果から最初の推論を修正し、さらに実験と考察を重ねて最終結論に至るといふ、科学の世界での根本原理、理論の確立の過程を読み取っていただけたと思います。

10. 科学・技術と人間のかかわり 次に、科学・技術と人間のかかわりについて少し考えてみたいと思います。先に述べたラジウムの発見でノーベル賞を受けたキュリー夫人は、その受賞講演（1903 年）の中で「科学・技術の進歩の速度は年々早くなっているが、人間の倫理観がこれについていけるのだろうか？」という意味の問いかけをしたということですが、現実には、原子力発電所が稼働する 1956 年の 11 年も前、1945 年に広島・長崎に原子爆弾が炸裂しました。これは科学と人間のかかわりを考える上で大変重要な事実です。科学・技術は、本来人間あるいは地球上の全てを幸せで豊かにするために生み出されたものですが、大きなマイナス面を持っていることがあります。もっと正確に言えば、すべての科学・技術は、人間や地球の幸せに対してプラスとマイナスの両面を持っています。たとえば、放射線の科学と技術は、原子力発電をはじめとして医学の診断や治療の面で大いに役立っていますが、ちょっと気を許すと医者・医療技術者や患者が放射線障害を受ける羽目となります。また、先にも述べた原子爆弾のように、はじめからマイナス面だけを期待して作られたとしか考えようの無いものもあります。

サリドマイド事件で知られるサリドマイドは、催眠剤として合成されたものですが、これを妊娠の初期（受胎 21~36 日）に服用すると、胎児にかなりの確率で奇形が発生することが分かりました。人

工的に合成されたサリドマイドには、立体構造が右手型のものと左手型のものがあって、右手型は催眠性を持っているのですが、左手型が催奇性を持っていたのです。この不幸な出来事以来、右手型と左手型に分けることのできる合成薬品は、必ず両者を別々に分割した上で、毒性試験を行うことが法制化されました。科学・技術はそのマイナス面が人間や地球に及ぼす影響を取り除く、あるいは、軽減する力も持ち合わせているのです。

10. 科学者・技術者と市民との情報交換と生涯学習 科学者や技術者は、往々にして科学・技術のプラス面のみを見て、マイナス面に目を向けることを忘れるという過ちを犯します。これを防ぎ、科学・技術が人類や地球上のあらゆる生物や物、環境に悪い影響を及ぼすことの無いよう、常に科学・技術の内容とその人間社会・地球環境への影響を認識・把握し、科学・技術の真つ当な発展のために努力を払うのは、単に科学・技術の専門家だけではなく、その分野の専門家で無い一般の人々も含めた全人類の責務といえます。ただ、このようなシステムがうまく機能するためには、科学・技術の内容が、一般の人々にも良くわかる形で公開されていることが必要ですし、一般の人たちも、公開された科学・技術の内容・意義をよく吟味し、理解して、専門家に対しても意見を言えるだけの努力を払う必要があります。全ての市民の間での、科学・技術についての情報交換、コミュニケーションが必要なのです。専門家であるかないかは別として、理科好きの人が一杯いて、科学・技術の成果がごく自然に茶の間の話題になるような社会でないと、科学・技術の真つ当な形での発展は望めません。科学・技術は、これまで人間とどのようにかかわってきたのか、現在はどうか、将来はどうあるべきか、ということをも人間の倫理観、職業観の問題も含めて全市民がそれぞれの立場で考える必要があります。生涯学習の必要性が叫ばれるひとつの重要な理由なのです。

11. 将来の道を選ぶ 最後に、皆さんが科学者あるいは技術者になろうと心に決めたときに大事なこと、というよりは自分の将来の専門を決めるときに大事なことについて少し触れておきます。まず、自分が興味を持てる分野を選んでください。試験の点がよいか悪いかというような判断ではなくて、好きか嫌いかという判断です。次に考えるべきことは、自分にその分野で仕事をする能力があるかどうかということです。これは自分だけで結論を出すのが大変難しいことで、この時には試験の点も参考になりますし、先生、両親や保護者、先輩、友人などの意見を聞いてみるのも大事なことです。どうしても判断のできないときは、しばらくその分野に進むつもりで勉強してみるという方法もあります。三番目、実はこれが一番大事なことなのですが、好きか嫌いか、あるいは、適性があるかどうかは、自分が一番よく知っていると思うのは危険だということです。好きか嫌いかの判断をする前に、その判断をするのに十分な広い勉強をしていたかどうかということです。とはいっても、世の中のあらゆることを勉強してから好きか嫌いかの判断をするというのは、現実には不可能です。自分を少し広い立場から見つめてくれている先生や保護者の方が皆さんの社会における適性を見抜いているということもあります。ここでも他の人の意見を聞いてみるのが大事なことです。最後の判断は自分の責任でやることですが、自分が本当は一番興味を持てるかもしれない、そして自分は今それを知らないことが、世の中にはあるのだということを、そしてまた、それをあなたが尋ねれば教えてくれる人が世の中にはいるのだということは覚えておいてほしいと思います。

12. 全ての大人は、はじめは子供だった 赤ん坊が立つことを覚え、歩き出し、言葉を理解し、喋り

だすさまを見ていると、彼らが自分の周囲の現象を強い関心と興味を持って如何に注意深く観察し、それを取り入れ、その学習効果を外部に発信して学習内容を確認、成長していくかが良く分かります。少し大きくなると「何故？」を連発して、時には親を困らせます。でも、この子供の「何故？」を満たすための手助けをするのが、先生や保護者の大事な務めなのです。知らなかったことを知ろうとする心、身の回りに起こるいろいろな現象について「何故？」と考える心、五感をフルに働かせて全身で生きる子供の心は、そのまま科学者の心と生き方に通じるものです。子供の心を生涯忘れることなく、学び続けることが、科学者のみならず、すべての市民の務めといえます。

本稿を草するに当たり、種々ご意見・ご助言を頂いた兵庫県立豊岡高等学校澁谷亘教諭に厚く御礼を申し上げます。

参考文献

- (1) Alan Fraser and Ian Gilchrist, “Starting Science Book One” Oxford University Press, (2000)
- (2) 畑田耕一、ゴムの面白さ—絶対零度の値を求めよう (2007. 10. 27 公開)
<http://culture-h.jp/hatadake-katsuyo/fun%20of%20rubber.pdf>
- (3) 畑田耕一、物はすべて分子という小さな粒子から出来ている (2007. 9. 27 公開)
<http://culture-h.jp/hatadake-katsuyo/bunshi.pdf>