

「自然を正しく理解する –やってみても分からない–」

東北大学未来科学技術共同研究センター・教授

Department of Nanotechnology and Physics, SRM University · A. P. J. Abdul Kalam

Distinguished Professor

NPO 科学協力学際センター・代表理事

川添 良幸

0. 常識は正しいか？

小学校の理科で「やってみること」の重要性を教えられました。しかし、やってみただから「分かる」という訳にはいきません。目で見ていることと脳で「理解している」ことには大きな違いがあります。観測には常に精度の限界があります。また、刷り込みがあって、例えば連続無限色の虹を7色の帯に分類して認識してしまいます。6色と教えている国では6色に識別するようになります。インド人が99×99の値まで覚えているのも同様で、我々は単に九九の表以上は計算機でやるものと思い込んでいるに過ぎません。1ダース単位を扱う場合、12x12までの表なら直ぐに暗記出来ますし、覚えておくと便利です。

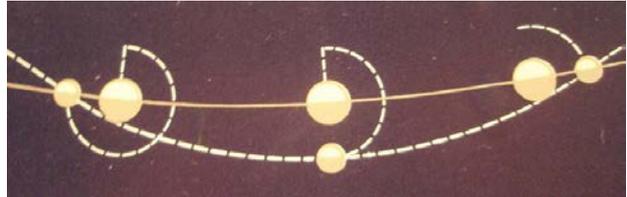
1. 月は地球の衛星ではない (小学校から教わって来た間違い)

我々は、子供の時から、地球は太陽の周りを回る惑星で、月は地球の周りを回る衛星と教わり、この分類学に何ら疑問をいなく、さらに日食や月食、月の満ち欠けの学習までしてきました。面白いことに、ガリレオ・ガリレイの著書「天文対話」の中の地動説が宗教裁判の対象となり、終身刑を言い渡された時、「それでも地球は動く」と言ったことを地動説の根拠として天動説は間違っていると教科書に書いてあります。これが何故、面白いのかと言うと、まず、地動説（太陽中心説）は、16世紀初頭には既に、コペルニクスが外惑星（火星、木星、土星、天王星、海王星）の逆行運動（恒星に対して東に移動するのが順行運動で、時々、西に移動するときがあります。それで惑星＝軌道が惑う星と呼ばれました。）の説明を地球が一年に一回太陽の周りを回り、外惑星はそれより遅く回るためであると明快に説明しています。コペルニクスは司祭でも医者でもありました。ただ、彼の時代には、複雑な周転円を使う方が計算精度が上がり、地動説の説明はそれに勝てなかっただけというのが実態だったのです。

地球に一番近い星である月は地球の衛星であると教科書で習い、ほとんどの人はそう信じ込んでいます。これはちょうど16世紀初頭と同じで、ほとんど「そう見えるから、そうに違いない」という感覚なのです。衛星は、「ある惑星との重力が太陽との重力より十分に大きいため、その惑星の周りを回っている星」と定義されています。つまり、太陽と惑星の間の重力はとても強く、それに比べれば弱い惑星と衛星の間の重力がその次で、太陽と衛星の重力は大変（摂動で表せる程）弱い、と言う関係にあるはずなのです。これが惑星が太陽の周りを回り、衛星が惑星の周りを回る条件になります。ところが、太陽、地球、月の3つの間の重力を計算すると、一番強いのはもちろん太陽と地球の間の重力ですが、二番目は太陽と月で、地球と月はその半分程度に過ぎません。これではとても衛星とは呼べません。すなわち、連星と言うべき関係にあります。地球と月は兄弟星で、互いに側に居ながら太陽の周りを一緒に回ってい

ます。太陽の周りの地球と月の軌道はほぼ同一（半径＝天文単位～1億5千万km）で、月はほんの少し（～1/400～38万km）だけ地球の軌道の中に来たり、外に行ったりしています。

右の図は、月と地球の間の距離を誇張して表現しているが（大きさも）、概念的には太陽の周りの月の軌道を表しています。定量的に正しい図を描くと、太陽の周りの地球と月の軌道はこの図の中の線の太さの中に入ってしまう。つまり、この図の精度では、太陽の周りの月の軌道は、太陽の周りの地球の軌道とほとんど同じになります。（地球と月の全体の重心は地球の表面内にあり、それが太陽の周りを回ると考えるのが分かり易い。天文台等にある模型も月を地球と無理に分けるために本質の方を歪めてしまっています。）



もう一つ重要なことは、この図の中の地球（～月）の太陽の周りの移動速度が時速約10万kmと超高速なことです。この移動速度を我々は慣性の法則のために感じません。これが全ての誤解の根源です。

2. 分類として燃えるゴミも燃えないゴミもない（小学校→中学校）

東京から仙台に転勤になった友人に小学生の娘さんがいます。彼女はちょうど「燃えるゴミと燃えないゴミ」という課題の勉強をしていたところでした。東京では区ごとに違う基準があり、彼女は目黒区だったので、そこの基準を勉強していたこととなります。転校した仙台の学校ではその分類が全く違うのは何故か？というのが彼女の抱いた疑問でした。例えば、目黒区では植木鉢に対して、「陶磁器類は不燃ゴミ、プラスチック類は可燃ゴミ」と分類しています。一方、仙台の植木鉢に関する分類は、どちらも「家庭ゴミ」となっています。「家庭ゴミの出し方」では、「燃やせるゴミ、燃やせないゴミの区別はありません」となっています。所変われば品変わる、とは良く言ったものです。

そもそも、物の分類上、燃えるか燃えないか？というのは何を意味しているのでしょうか？燃える（燃焼）というのは酸化反応のことで、通常、発熱・発光を伴います。化学反応だから、条件によっては燃えたり、燃えなかったりします。もちろん、古来、可燃物という分類は存在し、通常、環境で着火した場合に継続的に燃焼（酸化）し続けるものを意味します。つまり、「物」には本来的に燃えるとか燃えないとか言う「性質」がある訳ではなく、燃やし方次第なのです。ダイオキシン問題が発生したため、焼却炉を高温（800度C以上）で連続運転する技術が開発され、現在はこの問題は解消されました。さらに、高温で燃焼させるため、従来の燃える、燃えないという分類が大幅に変更になりました。このため、ワケル君が牽引する仙台市のごみ分類も家庭ゴミ一本になりました。燃焼温度を一定に保つため、生ゴミは水分を切って出すことが要求されています。ごみは基本的に自分で燃えるのですが、燃料が必要な状況になると、別に収集しているプラごみを燃料として投入します。これは、燃焼エネルギーの高いプラごみを燃やすと焼却炉にダメージを与えるというので一昔前まではやらないことでしたが、新型の高温燃焼炉では問題ないため日本中で一般化しています。せっかく分けたのに一緒に燃やしている！と怒らないで下さい。ちゃんと焼却炉を制御し、燃料に他の石油製品の使わず、プラごみのリユース（再利用）をしているからです。

「缶・びん・ペットボトル・廃乾電池類」の日もあります。右図の様に分類して出している人が多いのが現状です。しかし、仙台市のホームページを見ると、注意点として、「効率よく一度になるべくたくさんの資源物を運ぶために、すべてまとめて回収容器に入れていただいています。資源化センターに運ばれたあと、機械と手作業で分別します。」と書いてあります。右図の様な昔からの住民による分類はしないで欲しい、というのです。



過剰包装を止めるというのがエコロジーの代名詞になることもあります。レジ袋は有料な店と無料の店があります。もちろん有料の店に買い物に行くときはほとんどの人が買い物袋を持参するので、新たな家庭ごみ候補のレジ袋が増えることはありません。（その代わりに有料で自治体指定ごみ袋を購入しているので、環境負荷の实质は変わりません。自治体の税金収入が増えただけです。）レジ袋はポリエチレンで作られています。その元はナフサ＝粗製ガソリンを使うので、レジ袋は石油の活用です。原油の精製過程は極めて複雑で、しかも他の工業に依存しています。40年程前までは、ガソリン等を抽出した「残り」の重油は火力発電所で大量に燃やされていました。しかし、原油が高騰し、火力発電所が天然ガスや石炭を多用するようになってからは、重油をさらに精製（白油化）してナフサを取り出し、最後はアスファルトだけが残るようになりました。（それも道路の舗装で活用されています！）「要」、「不要」という概念さえ短期間で変わります。ただ、レジ袋問題が、店の環境配慮なのか経費削減なのかは、簡単に白黒を付けられない問題であることだけは確かです。世の中、マルバツで成績が決まるほど単純ではありません。

3. 三角タイヤでも自動車は滑らかに走る（小学校→高校）

自動車のタイヤは丸いと決まっています。重い石を運ぶときに使うコロに丸太は使えるが角材は使えないと習いました。教科書には、てこの原理とかコロの原理と書いてあり、その通りに“原理”として覚えました。さて、丸太以外にはコロに使える材木はないのか？そんなことはありません。回しても、地面から重い石までの距離が常に一定であれば良いのです。この様な図形を「等幅図形」と呼びます。有名な例がルーローの三角形(Reuleaux's triangle)です。3次元では球体以外にも転がしても地面から頂点までが常に同じ高さの物体があります。複数個を地面にばらまいて上に板を載せれば、どの方向にも平らなままで移動させられます。

等幅図形は、昔から幾何学で知られていましたが、実用性はないと思われていました。最近、我々は右図の様な模型の自動車を作りました。もちろん、乗り心地とかには問題はありますが、別のメリットもあります。キャタピラーの代わりに悪路を走行したり、丸いタイヤとは違って雪の坂道をスリップせずに上ったり出来ます。ルーローの三

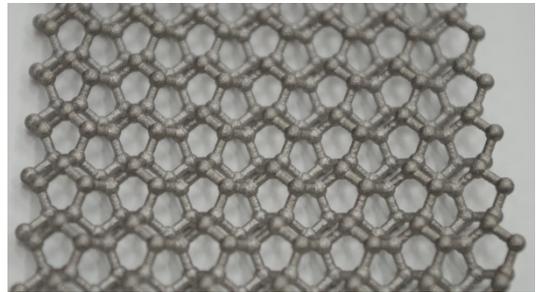


角形が自動掃除機で商品化されているのを知っている人もいると思います。丸い形の他社製品に比べて部屋の隅々まできれいに掃除できるというのがうたい文句です。同じ原理の四角い穴を開けるドリルは実用されています（三角の穴を開けるドリルは東

北大学オリジナルです)。

4. 五角形タイルでも敷き詰められる (高校→大学)

幾何学の教科書には、平面に敷き詰める (タイリングする) ことが可能なタイルの形状は三角形、四角形、六角形の3種類と書いてあります。“正”多角形の条件を外せば、五角形も可能であり、エジプトの首都カイロのタイル舗装で使われていることからカイロタイリングと呼ばれています (理由: 六角形は2、3、4個の五角形に分割することが出来るためです)。ほぼ正五角形のみによるタイリング可能性を考えて見ましょう。この問題は、実は材料研究から発生しました。炭素の作る最近話題の2次元物質 (2D materials)、すなわちグラフェンやフラーレン、ナノチューブ等は基本的に全て6員環 (炭素が六角形に結合した形) から構成されており、5員環 (五角形) は隣り合わないという規則 (Isolated Pentagon Rule、IPR) までの教科書に書いてあります。本当でしょうか? 我々は、“完全”2次元という幾何学条件を緩和し、「厚み」を認めた上で可能な形状を探索し、全てほぼ正五角形からなる新型の炭素構造体を発見しました。ペンタグラフェンと呼ばれています。この新物質は負のポアソン比 (引っ張るとその直角方向も伸びる) を有する稀有なケースであることが判明し、大変興味を持たれています。右図にペンタグラフェンの模型を示します。



ルールとか原理、法則、定理をたくさん習って来ましたが、人間が作ったものに完璧を期待することは難しく、常にその先を見る必要があります。他人の作ったルールの中で仕事 (研究) をしていたのでは、お釈迦様の掌の中で飛び回っただけの孫悟空と変わりません。

5. 鉄はさびない、磁石の誤解 (小学校→大学)

小学校で、砂場に磁石を持って行って砂鉄を集めたことがあると思います。磁力線が見える! その不思議さに興味を持った人は多いと思いますが、何故そうなるのか? これは難しい問題でした。中学校になるとフレミングの法則を習います。右手とか左手とか覚えますが、「電流と磁場と力との関係」がそうなっている、ということしか習いません。何故? と聞いても「法則だから」という回答。理科は記憶科目か? となって、そのために嫌いになる生徒も多いのです (理科離れの一つの原因)。(それに比べ、国語は「意味を考えろ」というのが基本です。数学や理科はその上に構成されています。数学でまだ微分を習わないのに、物理で速度や加速度を習うと言う逆転現象のため、落下距離の $\frac{1}{2}gt^2$ の $\frac{1}{2}$ が何故出て来るのか分からない、というのも同じです。)

高校レベルになると、元素の周期律表を習います。そこでは、百種類もの元素名が登場し、金属とか半導体とかバルクの物性も記載されています。しかし、純粋な「鉄」は存在しません。最近の高純度鉄が 99.9999% を達成しました。それでも、1 モル 10^{24} 個の中 10^{18} 個は不純物です。この高純度鉄は錆びません。「鉄」と言われた「何物か」は酸化されやすいのでクロム合金にして錆びなくしたステンレス鋼が多用されています。「何物か」は「鉄」の製造過程で混入する炭素の入った炭素鋼なのです。

さらに、原子・分子の世界に登場する量子力学が我々の日常性とは全くかけ離れて

いるため、それを正しく理解することはより困難です。原子や分子の系は原子核と電子がクーロン力で相互作用する多体系です。量子力学の初期には、多体問題を解くための数値計算は全く不可能であり、(摂動論を使った)多くのモデルが構築されました。それらは「標準理論」として今でも教科書に書いてあります。実験を説明する方策はいくつも作れますが、正しいとは限りません(周転円の模型がその例)。量子力学の初期になされた重大な誤解が今でも尾を引いて、さらなる誤解を生んでいます。例えば、電子と原子核の作る多体系である物質の持つ磁性の根源は電子の交換・相関相互作用ではなく、電子と原子核の引力相互作用の違いの方に大きく依存しています。3次元空間の性質に従ってビリアル定理(平衡状態では $2T+V=0$)が成立します。このビリアル定理は物性理論や分子理論の「必要条件」であり、それが成り立たない理論(例えばハバード模型)は何らかの問題を含んだ間違った理論ということになります。この事実は最近、我々が理論的に証明したことであり、現在の大学レベルの標準的教科書は全て書き直す必要があります。実は、この新しい理論によって、小学校から訳が分からないまま教わって来た磁石の本質が定量的に理解出来ることになったのです。

6. まとめ：原子炉問題は国内問題ではない等、科学者の考えておくべきこと

6年半前の東日本大震災の津波による東京電力福島第一原子力発電所の事故以来、原子炉の危険性が再認識されています。その停止や再開の議論がなされていますが、隣国の韓国や中国では百基以上もの操業・建設されています(日本企業が相当寄与しています)のにほとんど問題視されていません。チェルノブイリの被害を思い出せば明白な様に、一旦これらが事故を起こせば日本国内にも甚大な被害を及ぼします。福島事故では放出された放射能は偏西風に流されて基本的に太平洋に吸収され、諸外国に迷惑をかけることはありませんでした。この様な問題に対しては常に国際問題としての認識を持たなければなりません。

子供の頃から見ているメルカトル図法の世界地図は温帯以北に都合の良い様に描かれています。当時、世界を支配していたヨーロッパを中心とした場合に見やすい(彼らの地図は経度がほぼ180度違い、日本が一番東に位置してfar eastと呼ばれる)。オーストラリアでは良く南北が逆転した地図を売っています。イギリス人にdown underと呼ばれたのに対抗し、自国をOn topに描いているのです。グリニッジが経度の基準(正確にはグリニッジは経度絶対ゼロの102.478m西にある)なのは良く知られていますが、他にも、未だに切手に国名が書いてないのはイギリスだけ等、未だに大英帝国の名残は一杯あります。国際電話の1番はアメリカですし、インターネットのドメインで国名のないのはアメリカだけです。全てその時代に世界で一番強い国が自分に都合の良い様に物事を決めるからこうなります。日本は第二次世界大戦前には、頭にJの着く全てのコールサインを使いましたが、敗戦後はJA-JSに限定され、自由度が大幅に減りました。科学者は、単に対象が面白いということで研究をスタートしますが、自分の研究領域が何故発生したのか、何故特定領域のみが優遇されるのか、社会に「役に立つ」とはどういうことなのか、世界の中での自分の立ち位置はどうなっているのかを熟知し、責任を持って活動を継続しなければなりません。そのためには、こういう世界的力のバランスも十分に理解しなければならないのです。