

光散乱という学問分野がある。難しそうな名前だが、われわれの身近な現象にさまざまにみられる。青空や白い雲、朝焼け・夕焼けが赤いことなどは自然の演出ともいえるが、実は光散乱によって説明できる。

光散乱とは光が波長と同じ程度の大きさの粒子に当たり、その進行方向を変え、弾性散乱と、変化を伴う非弾性散乱に分けられる。

空の青さに関係するのが、弾性散乱の中で光の波長より小さい粒子によって起こる「レイリー散乱」だ。光が球状の誘電体微粒子あるいは屈折率が不均一な微小局所に当たると、入射光の影響で電磁波が四方に放射される。散乱の強度は光の波長が短いほど著しく、波長の逆数の4乗に比例する。

これら空の青さを、太陽からの光がちりや空気によって散乱される時、波長が短い青色の光は赤色の光よりもよく散乱されると説明できる。よく空気の酸素や窒素の分子による散乱といわれるが、均

光散乱 青空や白い雲も説明可能

一体では散乱は起こらない。大気中の光散乱は個々の分子ではなく、空気の密度の揺らぎが起す屈折率の不均一によって発生する。

また、朝夕の太陽光が大気層に沿って入射するとき、厚い空気層で紫や青の光は大部分が散乱されて、赤い色を多く含んだ光が目に入る。このため朝焼けや夕焼けは赤いのだ。

弾性散乱のうち光の波長程度以上の大きさの粒子による光の散乱は「ミー散乱」と呼ばれる。雲が白く見えるのは、雲粒の半径が数ミクロン(約100万分の1)以上の大きさで、太陽光の可視光線の波長に対してミー散乱の領域となり、太陽光がどの波長域でもほぼ同程度に散乱されるためだ。

一方、非弾性散乱には「ブリュアン散乱」と「ラマン散乱」がある。前者は物質中の超音波すなわちフォノンによって散乱され、後者は物質中で振動する原子やイオンによって散乱される。

(東京大学名誉教授 和田昭允)

平成 29 年 4 月 14 日

秩序とは一体何だろうか。われわれにとってどんな意味があるのか。物事は規制するものがないとでたらめ状態、つまり無秩序に向けて暴走する。その例はわれわれの周りにもたくさんあって、無法社会、信号機のない道路、先生がいない教室など、いくらでも数え上げられる。

以前、本欄で「情報・状態の曖昧さ」の尺度に情報エントロピーがあると説明したが、曖昧さの少ない低エントロピー状態の即物的表現が秩序だ。左右同じという規制から出る秩序構造は対称性と呼ばれる。人間は物事がきれいになりやすくなるから、本能的に秩序や対称性を好む。

物事が乱雑に向かう傾向は人間社会だけではなく、森羅万象の本来の性質で、エントロピー増大の原理と呼ばれる。もともと物事は、規制がなければあらゆる状態を取ろうとする。無秩序になればなるほど状態が多い。放っておけば、状態がいろいろな構造を取ろうと広がっていくのは理の当然だ。

一方、何らかの規制を加えれば、状態の可能性が大幅に制限され、取ることで状態が少なくなる。これが規則正しい秩序につながる。理の当然に反してできる

物事の秩序 規制がないと暴走しがち

秩序には必ず、それをもたらす理由がある。以下、構造秩序をその特徴が直感できる対称性で述べたい。

対称性は、ある変換に関して不変である性質だ。並進対称性は空間的に一方向にすすみ並進操作によって変わらない。線路の枕木や結晶中の原子の周期的配列に由来する結晶格子構造がその例だ。枕木は列車の安全運行のため、格子構造は構成する原子・分子が同等の相互作用を持って均一に固まる平衡状態として出ている。

ある図形がある回転角で回したときに、もとの図形に重なる場合、その図形は回転対称性を持っている。花は回転対称の典型で、花びらの角度だけ回すと同じ形になるが、理由はいまひとつよく分らない。また鏡に移ったものも、鏡像が元の図形と一致するならば、その図形は鏡像対称であるという。

対称性がなくても機械は高度の秩序構造を持っている。その目的は秩序ある機能、つまり機械が期待されている明確な目的を達成するための。そして究極とも思える秩序構造・機能は生命に見ることが

(東京大学名誉教授 和田昭允)

平成 29 年 4 月 21 日

物事の意味を自ら理解し、それを他人に説明できることは非常に重要だ。たとえば、水はなぜセ氏100度で沸騰するのかと聞かれ、「沸点が100度だから」というのでは言い換えにすぎず、説明にはなっていない。しかし、世の中にはそんな答えにならない答えが結構多いようだ。

質問者が満足できる解答は質問にある用語(ここでは水、温度100度、沸騰の物理学的な意味を相手と共有してはじめて可能になる。そのうえで、それらの因果関係を基盤となる原理・法則にのっとって納得させる。そこでは相手が知っている用語を使う必要がある)で、結構難しい。

まずは高い視点と広い視野に立つことだ。右の例では、物質には固相・液相・気相の3つがあるという一般論から入るとよい。成分分子の性質と外部条件の兼ね合いで、これら三相のいずれかに落ち着くと説明する。

最初のポイントは、分子の性質には相反する2つがあることだ。分子間引力は分子同士を固める方向に働く一方、温度に比例する熱エネルギーは運動エネルギーと同義語で分子を気化する方向に働く。

納得させるコツ 相手が知る用語を使う

次のポイントは、分子間引力は温度によって変化しないが、運動エネルギーは温度に比例して増加することだ。低温では分子の運動エネルギーは小さく、分子間引力でがんじがらめにされて動けない、つまり固相だ。

温度が上がって運動エネルギーがある点を越えようと、分子間の接触を保ちながら、互いに動き回れる液相になる。さらに高温で運動がより激しくなると分子間引力が負け、分子は空中を飛び交うようになる、つまり沸騰する。100度と数値が与えられているのはこの温度だ。

ここで、沸騰という特別な現象について最後の解説に入る。液体から気体への相転移つまり蒸発現象は、液面ではもっと低い温度でも起きていく。じか火に当たっている鍋底の温度が沸点を超えると、鍋底で気化が起り、水蒸気の泡を吹き出す沸騰という現象になる。

100度という沸点の定量的な説明にはさらに水の構造から入る必要があるが、その説明には紙幅が足りないようだ。

(東京大学名誉教授 和田昭允)

平成 29 年 4 月 28 日