

バランス感覚は、様々な局面において人間に必要とされる（といわれている）感覚です。たとえば、争いごとになりそうなときは、将来の関係を考えると行き過ぎはよくないとか、美しいスライドを作成するには紙面全体のバランスを考えなくてはならないとか、大局的なところから身近なところまで、さまざまな面において必要とされる感覚ではないでしょうか。しかし、こと自然科学において、バランスはどれほど重要な役割を担っているのでしょうか。バランスは、言い方を変えると対称性ともいえます。そして、逆の意味の非対称性（もしくは、対称性の破れ）が垣間見えてくることがあるのではないのでしょうか。ここでは、力学的な観点と光学的な観点から、バランスについて振り返ってみたいと思います。

1. 力学における非対称性

筆者は機械工学科に所属しているので、物体を動かすことについて考えることもしばしばあります。光学においても光放射圧で物体を動かすことがありますから、ここでは力学的な側面での、物体の動きに関して考えてみたいと思います。

図1に、ある物体が仕事をするときの概念を、対称性に着目して示します。物体が外部に仕事をするためには、外部からエネルギーを与えられる必要があります。このとき、図1(a)に示すように、物体が幾何学的に対称であれば、エネルギーが他の方向に散逸するため、効率よく仕事をする事ができません。しかし、図1(b)に示すように、非対称な状

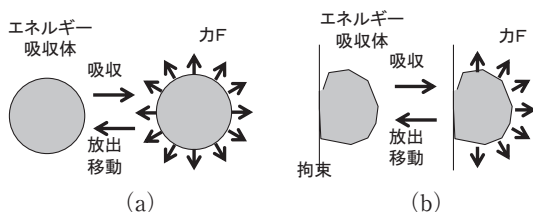


図1 物体に効率よく仕事をさせるときの概念。(a) 対照性物体が外部に作用する概念図、(b) 非対称性物体が外部に作用する概念図。

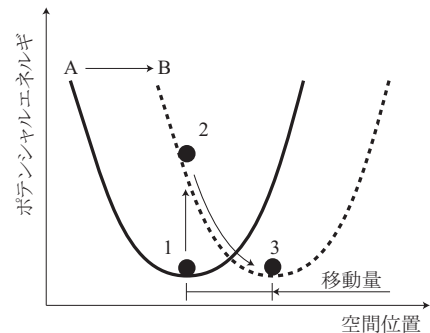


図2 物体を非接触で駆動するときのポテンシャルエネルギーの変化と移動量の関係。

態を作り出せば、与えられたエネルギーを集中的に取り出すことができるため、効率的に仕事を伝達することができます。

また、電場や磁場などを用いて、非接触で物体を駆動するということがあります。このときは、ポテンシャルエネルギーに着目すると、説明が容易になります。図2に、物体が駆動されるときポテンシャルエネルギーを示します。物体が安定な状態にあるというのは、Aのような、下に凸のポテンシャルエネルギーの一番低い位置に物体が存在している状態です。つまり、対称な状態に置かれているのです。このままでは物体は動きませんから、外部から電場や磁場、ときには電磁波を作用させて、物体のポテンシャルエネルギーをBのように変化させます。そうすると物体は、2のような非対称な状態となり、エネルギーの低い3の位置に移動して安定位置をとろうとします。

以上は、力学的な側面からみた非対称性で、物体に仕事をさせたり、動かそうとしたるときは、非対称性が重要な意味をもつことがわかります。

2. 光学における非対称性

光学におけるバランスで、最も身近であり重要なものは、マクスウェルの方程式ではないでしょうか。マクスウェルの方程式のうち、

$$\text{rot}E = -\frac{\partial B}{\partial t}$$

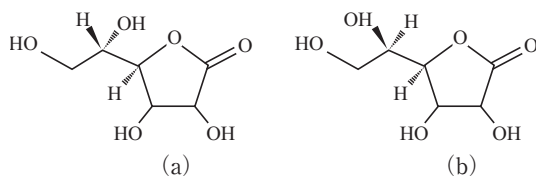


図3 アスコルビン酸の構造式。(a) L-アスコルビン酸、(b) D-アスコルビン酸。

$$\text{rot}H = j + \frac{\partial D}{\partial t}$$

の2つの方程式だけを比較してもわかるように、非対称な方程式となっています。もちろん、マクロな光の振る舞いを考える場合は、等方性媒質を仮定すると、完全対称な波動方程式が導出されます。しかし、空間に境界が存在すると非対称なふるまいをするようになり、特に微細な空間に誘電率や透磁率の分布や電流が存在すると、大きな非対称性を生みます。さらに、単電荷は存在しますが、単磁荷の存在は確認されていません。こういった非対称性がナノフォトニクス関連研究の興味深い現象の中核をなすことは、皆様もご存知のことと思います。

キラリティーも光学分野では非対称性に関わる重要な事象ではないでしょうか。理化学辞典によると、キラリティーとは「ある図形または点の集合が、その鏡像と重ね合わせることができない、すなわち対掌体をもちうるという性質」と定義されています。この「ある図形または点」という部分を「分子または原子」と読み替えると、自然界に存在する物質に適用することができます。このキラリティーをもつ物質に円偏光を作用させると、作用後に左右円偏光に位相差が生じます。代表的なキラリティー物質のひとつに、図3に示すアスコルビン酸があります。アスコルビン酸は幾何学的に非対称ですが、自然界に存在する数に着目してもL体(ビタミンC)がD体に対して優位です。すなわち、自然界において存在確率が非対称であり、非対称性が生命の営みに重要な働きをしているとも考えられます。

また、キラリティーをもつ物質が光と相互作用したときの現象にも関連しますが、偏光に着目しても

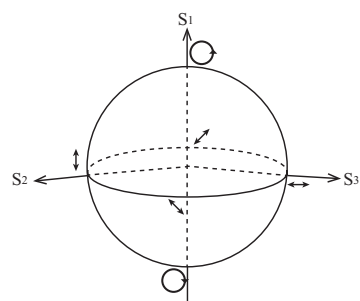


図4 ポアンカレ球と偏光表示。

面白いと思います。偏光を記述する手法のひとつに、図4に示すようなポアンカレ球があります。ここでは、南極と北極に右回りおよび左回り円偏光を記述し、赤道に直線偏光を記述します。南北の極に位置する左右円偏光は対称な状態で、偏光状態をスピンとしてとらえるとアップもしくはダウンスピンに対応します。一方、直線偏光は、光学専門のわれわれからすると理想的な光の状態と感じますが、赤道に位置しており、アップからダウンスピンに至る途中の非対称で特殊な状態のひとつともいえます。こういった特殊な状態を作り出し、ほぼ意のままに操ることができるわれわれは、自然界からするととても特殊な技能の持ち主なのかもしれません。

雑感的に非対称性(対称性の破れ)についてご紹介しました。非対称性は力学的な面だけにとどまらず、光学的な面においても重要な役割を担っています。また、対称性という観点から研究を見直すと、新たな発見があるのではないかと思います。対称性に関する議論は、1977、2001および2008年のノーベル賞で注目されました。そのうち2件は日本人が受賞していることもあり、とても身近に感じます。本年は日本中が山中先生の医学・生理学賞の受賞に湧いていることで、改めて考えてみました。

(徳島大学 水谷康弘)