Techno Salon

物質の協同現象

レーザー発振など起こす

物質の状態は2つの量、エネルギーとエントロピーで決まる。エントロピーはランダムさを表す物理量だ。ある温度のマクロ系つまり多数の原子や分子を要素とする気体、液体、固体では、エネルギーをなるべく低くしようとする一方、エントロピーの大きなランダム構造になろうとし、その間で釣り合うことになる。

具体的には、エネルギーを下げるために原子・分子間の引力相互作用で固まろうとする一方で、エントロピーを大きくしようとして回転の自由度を持つ液体、さらには並進運動の自由度の大きな気体へと、ランダムになりたがる。

温度が高い間は、原子・分子は引力を振り切って飛び回るが、温度が下がるにつれて乱れが小さくなり、引力相互作用が求める秩序ができてくる。エネルギーを下げるためには整然とした秩序が望まれる一方で、エントロピーを大きくするには乱雑になるのがよい。

温度を下げるにつれ、乱れが小さくなり、秩序が支配するようになるが、多くの場合、ある温度を境にして、低温側に急に秩序状態が成長し始めたり、高温側に急に無秩序状態が成長し始めたりする。例えば液体が冷えて固体になるとき、原子・分子が局所的に結晶の秩序構造を作り始めると、バラバラになっていた周りの原子・分子も集まって結晶が成長する。

強磁性体は、高温では電子のスピンの向きは不ぞろいだが、温度を下げていくとキュリー温度を境に、スピンたちは周囲のスピンを見られたとき、それが原子自分の向きにそろえようと、あるいは自分の向きを周囲にそろえようとし始める。これを協同現象という。

協同現象は環境パラメーターを変えていくと、ある値を境にして出現する。パラメーターは温度に限らず磁場や圧力、pH（水素イオン濃度）などだ。協同現象は平衡状態に限らず開放系、つまり原子・分子集団に外部からエネルギーや物質の流れがある場合でも起こる。レーザーやメーザーの発振も協同現象だ。

この場合、各原子・分子が放出する紫外線、可視光、赤外線、マイクロ波の位相が共振器内の波の位相にそろって、協同現象として特定の位相が選び出される。なお協同現象は本質的に統計力学的現象なので、電気回路の発振などは含まれない。原子・分子集団のマクロ系に何か際だった現象が見られたとき、それが原子・分子個々のメカニズムだけで理解できるか、協同現象であるかには議論の余地がある。

（東京大学名誉教授　和田昭允）

日経産業新聞
平成30年
5月29日

Techno Salon

生物物理学会、発足から60年

科学2大分野、統合的発展

日本生物物理学会の発足から今年で約60年。「新しい学問を作る」と夜を徹し議論した当時が懐かしい。DNA二重らせん構造の発表が1953年だから、まさにそれまで分かれていた2大分野「物理科学」「生命科学」の統合の曙光（しょこう）が射し、サイエンスの大統一が始まった時代だ。

まさしく旧制高校時代に知り議論したヘーゲルのアウフヘーベンだった。矛盾する課題の統合的発展を示す概念の言葉で、その最高の対象と思えて興奮した。

この学問領域の創設への議論の過程で、その名前を「物理生物学」あるいは「生物物理学」のどちらにするかという議論が起きた。前者を主張する人は生物学者に多く「対象が生物なのだからあくまでも生物学だ」と主張する。

私を含む後者は物理学・化学や工学出身が多い。「概念的に分かれていた物質と生命をアウフヘーベンして研究する学問を作る。サイエンスを統合する」「物質を支配する法則を解明する物理学の一分野として生命を研究する」と説き「生物物理学」に落ち着いた。

とはいえ、生命は無生物と全く違う。私は以下のように解釈する。生命は40億年昔の地球上に発生し、自分と同じものを作り増やす「増殖」と、少し違うものができる「変異」の2つのメカニズムで、無限とも思える多様な種を発展展開し、単純な物質とは全く違う世界を創った。

これが生物が物質と全く違って見える原因であり、物質であることに変わりはないのだ。言い換えれば、生物とは40億年の歴史が営々として作った「物質の特別な状態」なのである。

（東京大学名誉教授　和田昭允）

日経産業新聞
平成30年
6月5日