

## 原子とそのまわり

品川 睦 明\*

## まとめり

物のまとめりについて考えてみたい。今日の知識で原子ほどよくまとまっているものはないだろう。それだから、物を分けていった結局は原子 (a-tom 分けることのできないもの) だと、かって考えられたのも無理はない。

一方、まとまっているということは、複数の要素が行儀よく集っているという意味がある。それならその要素自身を取りあげてみると、もしその要素をつくっている要素がないなら、その方がさらによくまとまっていることになる。それはもう、まとまるというより、純粋といった方がよからう。

私たちは、まとまったものには名前をつける。また名があるからには、それらしくなければ名にそむくと考える。そうなると、名前がほんとうか、物がほんとうかわからなくなる。實際上、物には名前にふさわしくない場合が多い。

つまり、物の方から言えば、人は勝手に名をつけるくせがある。だから、この人と物との「いさかい」は、日常のことであって、名前に誤差はつきものというわけとなる。数量のような定量的なものに誤差はあっても、名前といった定性的な代表物に誤差があるというのは、とんでもない思い違いかも知れない。しかし実は、それがあるのであるから仕方がない。

そういうことでは、自然科学は成り立たないではないかという人があるにちがいない。それから自然科学を成り立たせるために、名前の範疇をしっかりとさせて、物に密着した呼び名にせよと聞き直るかも知れない。それで、そういくものならよいが、物の方でそうならないければどうにもならない。だから、物に添って名前

をつけておいて、自然科学の素材とするわけだ。丁度それは、物に添って測定するのでなければ、ただの物差しだけではだめであるのとよく似ている。云い直すと、名前や測定値は、相手の物に対応していなければ、自然科学ではないといってもよからう。そこで少々、誤差が出るのは、止むを得ぬことである。ただし、どうでもよいというのではなくて、名前や測定値などから作り上げられる関係性が、物の態をあらわすに十分な精密性は追求する必要がある。

## 系とは

上では、あれこれ云ったが、自然科学的なものの考え方では、考えの対象を系と見なすのがいつものやり方であるということ、私は云いたかったのである。それは、頭の経済であり、解析的であり、集中的であり、丸で錐のように特定の点に深く入っていくにはよいが、平面を捉えそこなう恐れがある。系には、必ずそのまわりがある。ところが自然科学的思考は、時として、系に忠実であっても、系外には無関心のことが多い。例えば、頭を毒蛇に咬まれたので、毒のまわらないよう早速首を絞めた。おかげで毒死はまぬかれたが、縊死はまぬかれなかったという方式に属するやり方である。

だから自然科学を応用科学とする場合には、上のような問題点のほか、平面を忘れないようにする必要がある。よく西洋医薬は、特効性はあっても、副作用を忘れ勝ちなのと話は似ている。社会問題の考え方でも、科学的なあまり人間を忘れることがあるのも然りと云えよう。

応用のみならず、自然科学の内容も、振り返り、振り返りしないと誤ちがあるのに気付かないことがあるのかも知れない。対象を系 (システム) と見做して、それについて考えるのは、自然科学が成功してきたゆえんかも知れないが、そのかげに、見落してきたものもありはし

\*品川睦明 (Mutsuaki SHINAGAWA), 阪大工学部原子力工学, 教授, 理学博士, 原子核化学

ないだろうか。

### 系とそのまわり

原子ほどよくまとまったものはないと前にも云った。中央に原子核があって、まわりに電子雲がある。他のものが衝突しても容易にその中には入れない一つの王国のようなものを形づくっているからである。そして同じ種の原子が、アボガドロ数ほど多く集っていても、なかなか一つ一つの原子の個性はわからない。だから各個の原子に名前をつける必要もなく、どれもこれも一括して、水素なら水素と名を付けてもよい。そこでは、1個ずつを水素と呼んだのやら、アボガドロ集団を水素と呼んだのやらわからないのみか、そんなことはどうでもよく、英国のものも、日本のものも、はたまた月の上でも水素は水素である。

もっと立入って、酸素と化合していても、塩素と化合してしようと、固体であろうと、液体であろうと、さらにプラズマの中であろうと、水素は水素である。

そういった点では、分子は原子に較べてまとまりがよくない。特定の名にそむかない分子の存在は、原子の場合よりも制限が多い。

このような離合集散の程度に係わりがないほど、まとまりがよいということにして考えることにすれば、原子や分子だけでなく、まとまりの程度で物質を分類できそうである。

そのような考えを進めて、原子核のまとまりや、分子以上のまとまりなどについて吟味してみたい。そしてそのような、まとまりを認めたならば、影の形に添うように「まとまり」には「まわり」があることを考ねばならない。つまり、まわりを込めての系を考えの相手になることをしてみたい。

系を考えれば、話は中へ中へと進んで、素粒子まで行きつくのに反し、まわりを考えれば、宇宙まで拡がるだろう。系には、このように3次元的な拡がりがある。

一方、まとまりが系であるとすれば、系の離合集散は、系の寿命にかかわる。つまり、系の安定性、あるいは不安定性というのも同じことの裏表であるが、変転無常である限り、特定の状態は、時間軸上の1点に過ぎない。ここに系

は、時間的に経過するものであると受けとれる。

### 主体と環境

いま原子が典型的なまとまりであるとして、そのまわりを考えてみよう。原子が属する化学形が環境であることはすぐに気がつく。化学形というのは、イオン、ラジカル、分子などいろいろあるが、その原子の核外電子のうち外側の方の状態がその原子単独で中性の場合よりも違っている。それに反し化学形が違ってても、一定しているのは、その原子の原子核である。だから原子に名前が付けられていれば、原子核に付けられているものであると考えてもよいであろう。事実、核内の陽子数が原子番号すなわち、元素名と対応している。すると核外電子は、原子の名前と一応関係なく変化できるわけになる。

こう考えると、原子のうちでも原子核は本体で、核外電子は化学形によって、過不足を来したり、エネルギー状態が異常になったりして、一定しないから、原子としてのまとまりも変動していると考えざるを得ない。つまり、原子のようにまとまりのよいものでも、環境と接するところでは、環境に順応して臨機応変しているわけである。環境、すなわちまわり、云いかえると本体を収める容れ物、容器あるいは背景、こういったものの中で、本体が存在するのであり、そういった環境条件に護られて、まとまりが存続するものなのである。

このようなわけで、簡単にいうと、分子は原子の容器であり、電子雲は電子核の容器である。電子雲の電子は、量子力学的エネルギーレベルに容れられていると見てよからう。エネルギーレベルは、容器としては一寸抽象的に過ぎるかも知れないが、環境を形づくるものは、環境条件を宿すことのできるものであって、実は主体の存在には、その条件が必要なのであり、構造材自体の特種性は二次的な意味であるに過ぎない。つまり、同じか、または近い条件を宿すものならば、構造材は代用品でもよいことを思えば、その間の事情は明白である。だから環境条件は、その下に存在する主体には飲かせない条件であり、存在を支えている根底である。

まとまりというのも、このような環境条件に支えられてまとまっているのであるから、まとまりだけを考える系として、その条件の方を見逃さないようにしなければならない。

**環境と寿命**

上で云ったように、主体の存在は環境あつてのことである。してみれば、環境の変化では、存在できないこともある。生かすも殺すも環境次第ということになる。それもそうであるが、一方寿命というのは、一般にその主体の特性でもあり、運命的に担っているという反面もある。これらの両面を尊重して考えると、主体と環境との相互作用が寿命になって、現われると云えば話は落ちつく。

このような次第であるとするれば、寿命を長くしたり、短かくしたりするのは、思うようにいかないにしても、環境を左右することによって、ある程度の目的を達することができるはずである。それは、技術によって、意志的にできる範囲と、与えられた限界とのバランスということになる。

ある程度の安定性をもっているものが、まとまりであり、その生滅を企てるのは技術であり、技術が取り組むものは環境であるといえよう。作る、分けとる、直す、処理する、仕末するなどといった技術は、みなこのような技術に沿っている。

いま、あるまとまりの安定性  $N$  が  $x$  という環境条件でスキャンされる場合、連続的に不安定になりながら、変化するとすれば、そのまとまりの変化は、

$$-\frac{dN}{dx} \dots\dots\dots (1)$$

で表現できる。これは、現在値  $N$  に依存して直線的な変化傾向を示すものであれば、一般に一次反応であつて、自発的な変化と見てよく、

$$-\frac{dN}{dx} = \lambda N \dots\dots\dots (2)$$

といった変化定数  $\lambda$  が個性的に定まる。この微分方程式を解けば、明かに、

$$N = N_0 e^{-\lambda x} \dots\dots\dots (3)$$

が得られる。このように初期値  $N_0$  と現在値  $N$  との間に簡単な対数関係があることがわかる。

いま現在値が初期値の半分となったときを考えると、式(3)から、

$$\ln 2 = \lambda x \dots\dots\dots (4)$$

となり、個性  $\lambda$  と環境条件  $x$  とは相補的であり、互いに逆数の関係にあることがわかる。

この一般論は、いろいろに受け止められるが、 $x$  を時間と考れば、式(4)で得られる時間は、

$$x = \ln 2 / \lambda = 0.693 / \lambda \dots\dots (5)$$

であつて、安定度  $N_0$  の半分になるまでの時間が、個性  $\lambda$  の逆数の0.693倍であることを示す。つまり半減期は、比例定数の逆数によって表現できることになる。半減期は、寿命の物差しであるから、寿命は変化定数  $\lambda$  の逆数の0.693倍であることになる。

上の式述は、実は、放射性同位元素の崩壊過程にならつて述べたものであるが、 $x$  を時間にとらないで、空間軸  $\partial x, \partial y, \partial z$  の1軸または、それ以上の軸についての変数にとれば、物質が個性に応じて空間に並ぶから、クロマトグラムができ上る。

また  $x$  を、エネルギーと取つて  $dE$  ないしポテンシャル変化とみれば、エネルギー軸上に個性の強度が分布され、スペクトログラム(スペクトル)ができ上る。

これらを又、元にもどして考えれば、寿命は時間に関するスペクトルであり、一般に大胆な云い方をすると、環境条件でスキャンすれば、存在が(まとまりが)スペクトル化される。

また、まとまり自体の変化を技術的に行うことのできる範囲も、同様の考察から見当づけることもできる。そこまで、考えを発展させるのも、あまり難しくないことであると思う。

**まとまりの種類**

物質のまとまりの典型は、原子といつてきたが、原子核は、さらによくまとまっている。原子核には、質量に931MeVを乗じただけのエネルギーが籠っている。これが、半径  $2 \times 10^{-13}$  cmの球の体積の程度の空間に閉じ込められているのであるから、非常によくまとまっているというしかない。さらに原子核のほか、この程度の高エネルギーをまとめて宿すことのできる物質は見当らない。逆に云うと、この程度の高エ

エネルギーは、原子核の中にしかあり得ない。どうも高エネルギーのまとまる空間は、低エネルギーの空間よりも容積が小さいものらしい。その証拠に、原子核の外まわりで、原子の皮とでもいうところまでの半径は、 $10^{-8}$ cm程度であって、原子容は核容にくらべて非常に大きい。すなわちざっと  $10^{-8 \times 3 + 13 \times 3} = 10^{15}$  倍ぐらだから、原子が甲子園球場なら、核は梅干ぐらいだろうか。核と核外電子は、大きさは同ぐらいであるというから、甲子園球場の容積から核や電子の容積を差し引いても、引かなくても、原子容には関係ないわけである。核外電子の軌道エネルギーは KeV の何十倍の程度で、電子の質量をエネルギーに見積っても何百倍の程度であって、核外で原子内にあるエネルギーは、せいぜい 50MeV までであろう。これくらいエネルギーが、原子のうちの核ともつかず、電子ともつかないところに宿されている。電子は原子核と同じく電子質量をエネルギーで見積ると 0.51MeV ほどであるから、原子核のような高エネルギーを宿していないので、ここでは一寸エネルギーレベルと、大きさとの関係は一律には云えないが、電子の位置の不確定性との係り合いを考えれば、前述のように、宿されるエネルギーレベルの高いほどより小さな空間に宿されるなどという通則に当てはまるかも知れない。

そこで、今度は、原子以上の大きさのところを考えてみることにする。電子雲ないし電子軌道のエネルギーレベルが KeV の程度である話はしたが、化学結合のエネルギーは、ただの eV の程度である。だから分子の成り立つエネルギーは eV の程度と云えよう。化学種の励起状態は 10~20eV 程度であり、ホットアトムは 40eV 前後である。分子の振動、回転などのエネルギーは、eV 以下その  $\frac{1}{1000}$  程度にまで及ぶであろう。

上の話をまとめて、大まかな分類をすると、原子核は GeV、原子核からとび出す放射線は MeV、核外電子は KeV、化学結合は eV、分子の運動エネルギーは  $\frac{eV}{1000}$  の程度であると割り

切れば、物質の「まとまり」がエネルギーレベルの電子ボルト単位 (eV) で 3 桁づつの段階をなしている。これは全く何かを示唆しているように思える。

さらに加えておきたいのは、分子運動であるが、それは気体運動論が教えるように熱領域であるから、典型的には 0.025eV 程度であろうが、熱の領域も広いので eV と  $\frac{eV}{1000}$  の間であれば、先づは上記 3 桁法則を支持する線の上に乗るであろう。これらのことは、さらに、エネルギーをボルツマン定数で割って温度に直して見れば味合いが深い。すなわち eV は 11000°K くらいであるから、3 桁落せば 11°K ほどである。そして 0.025eV は約 0°C のあたりである。私たちの生活エネルギーをそのあたりと見れば、化学結合はよい熱源であり、X線やγ線は強過ぎることがよくわかる。そのため化学エネルギーは、生活エネルギーに供するものとして、好適であって、生体の中でも化学変化が生命の営みを助けている。つまりそれは分子レベルのエネルギーであるといってもよからう。

ここで、生体エネルギーの分子レベルについて云及したし、気体運動論までも持ち出したからもう 1 個 1 個の分子でなくて、分子の集合の話にまで拡がっていることに気がつく。気体運動論では同じ種の分子が連結することなく、衝突を繰り返す縁で集っている。その集りはやはり「まとまり」ではないか。分子と云えば、原子の外延としてのまとまりであったが、この理解はやさしい。しかし蚊の群のような分子の群が果して物質学的に「まとまり」としての単位的段階分類のうちに入れられるであろうか。これはたしかに疑問である。何故かなれば分子が群をなすといっても、その群が統一的、有機的でなく群の限界は不定であるからである。しかし、その群は、物理量の測定を許し、他の存在と区別できる量をもっていれば、それで立派にまとまりではないだろうか。分子の集合が結晶を形づくることを思えば、あるいはそれが、原子の集合であっても同じことであるが、全く個性的な集合体をなして、まとまりと云わざるを得なくなるだろう。

さきに問題にした生物に至っては、異種の分子の集合であるけれども、同化作用、生殖、遺伝など全く独特の現象を示すことによって「まとまり」ということを高度に主張し、ただの物質現象を超える世界の基盤をもなしている。この「まとまり」においては、とくによく環境と寿命の問題を的確に概念づけることができる。このことと、生物が熱領域のエネルギーレベルの存在であること以外の生物的問題は、極めて微妙複雑であるので、この辺で一旦話を打切っておくことにしよう。しかし、生物の個体が集合して社会をつくる時、また次のまとまりがおきる。それは、存在としてのエネルギー特性は、熱領域より低いはずである。10<sup>-3</sup>eV から10<sup>-6</sup>eV と移るところにあるだろう。すなわち電波にすれば cm 波から m 波のものであり、さらに10<sup>-9</sup>eV となれば km 波に相当する。そうならば、これは通信のエネルギーレベルであって、社会形成のコミュニケーションエネルギーレベルであると考えれば、3 桁法則に適合しないでもない。

さて、生き物は別として、結晶以上のまとまりを求めると、土地であり海であるかも知れない。こうなると何がまとまりであるのか一寸直観しにくい。しかし土地、海、空気など明かに違おうとすれば、まとまりの分類段階と見てよからう。しかし、一寸心細い。だが、もう一つ広げて地球、月などと天体のレベルに話を広げる

と、またまとまりとして歴然としてくる。すると、ここでは3桁法則から考えてどうなるのであろうか。通信のエネルギーレベルなどと、こじつけが利かないではないか。それより、天体間のエネルギー伝達の密度をレベルにとつては、どうだろうか。つまり、エネルギー伝達が難しいほど遠く離れているとするのである。逆に云えばそのようにエネルギー交流が少いから集まらなくてはならないようになって集ったものが天体、たとえば地球であるとするのである。そのようなエネルギー交流の少い場、すなわち宇宙空間の中で原子が出来、天体になるまでのエネルギー計算が、上の3桁法則を中心に行けるにちがいない。

#### 放射能を消す

天体の生因の計算も面白いが、ほかに上の趣旨から出てくることとして、環境問題がある。この問題の本質は、考える系のもつエネルギーレベルよりも、低いまわりのエネルギーレベルを意志的に左右することによって、考える系の安定性をコントロールできるという論が成り立つことである。今日の社会問題としての環境問題も同様に扱えるが、そのうちの放射能問題は核特性に係わることであり、手がつけられないかの憾がある。しかし核の容器、すなわち環境が、核外の電子雲であってみれば、電子技術で放射性物質の半減期が、左右される日が来ないと誰が云えよう。