

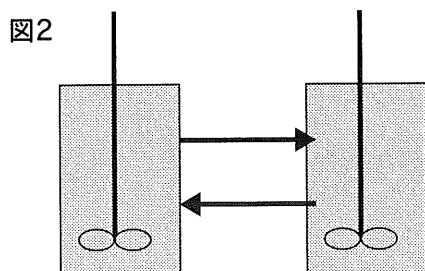
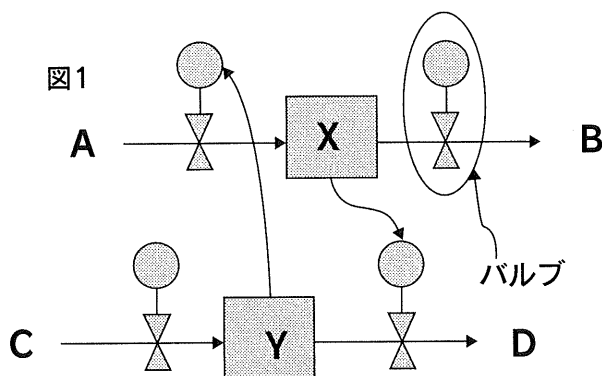
化学振動反応における引き込み同調

森 義仁

1 リズム反応 ～化学振動反応～

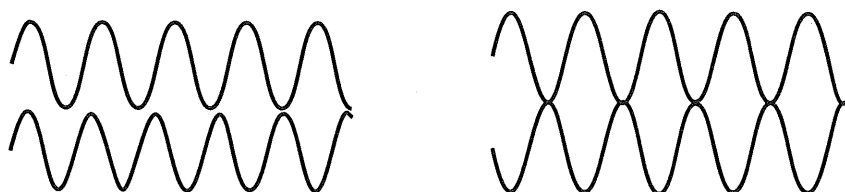
身の回りにはたくさんリズム現象を見つけることができます^{(1),(2)}。たとえば胸に手を当ててみると、そこには心臓の拍動を感じることができ、コーヒーを楽しもうとやかんでお湯を沸かそうとし、しばらくすると水が沸騰してきてやかんのふたがパコパコと上下運動を繰り返します。このようなリズム現象というものは非常に理解しやすいものであります。

ではここで化学反応におけるリズムについて簡単に説明したいと思います。化学反応は、ある物質Aが別の物質Xとなる変化で、 $A \rightarrow X$ という記号で表現することができます。そこで $A \rightarrow X \rightarrow B$ と $C \rightarrow Y \rightarrow D$ なる反応を考えます。XはAから生成され、消費されてBとなるわけです。Yも同様です。このような時、XやYは中間体と呼ばれます。ここでリズムを考えるときに中間体が2種類あることが大切です。それを図1に表しました。矢印の中間位置にバルブがあり、矢印が「流れ」であるとする、「バルブ」を開くと流れが速くなる、つまり反応速度が速くなるということです。Xを囲った四角形はXの量を表します。Xの量からバルブに向かっている矢印は、Xの量が高くなるとYの消費のバルブを開くようになります。つまりXの量が高いとYの消費速度が速くなるわけです。同様にYの量が高くなるとXの生成速度が速くなるということを表しています。このような関係構造を持つ化学反応系は、その中間体XやYの量が時間的振動することがあるのです。これが化学反応におけるリズムであり、化学振動反応とかリズム反応と呼ばれます。この関係は、「食う者と食われる者」の関係とも呼ばれ、たとえば「キツネとウサギ」の関係を例にあげることができます。Xがキツネで、Yがウサギというわけです。



2 2つのリズム反応の相互作用と引き込み同調

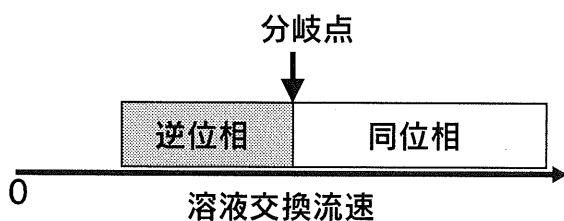
2つのリズム間で相互作用を化学反応で行おうとすると図2のような操作をすることが相当します。図2には2つの反応槽があります。それぞれの反応槽の中では図1に示した関係をもつ化学反応が進行しているわけです。反応槽間を結ぶ2つの矢印はそれぞれ溶液を交換していることを表します。この溶液交換が相互作用となるわけです。2つの反応槽の溶液を全く同じように調製しても、溶液交換を始める前のそれぞれのリズムは下図左のように、振幅や周期や位相がどうしても多少はずれてしまいます。位相はピークの現れるタイミングと考えればよいわけです。ところが溶液交換を開始すると、下図右のように周期がぴったりと同じになり、ただし位相がちょうど反転するようなタイミングになる逆位相モードとなることがあるわけです。また位相がまったく重なり合う同位相モードなるものの現れることが知られています。このような現象はリズムの引き込み同調と呼ばれています⁽³⁾。



リズムの引き込み同調は古くから生物界では知られており、蛍の同時点滅の現象は有名な例となっています。非生物界では一枚の板に掛けた振り子時計の振り子の揺れのタイミングがぴったりとあったこと発見したことから始まると言われています。

3 量的変化から質的变化へ

化学反応系におけるリズムの引き込み同調は先の例のような逆位相モードもあれば、位相がぴったりと同じになる同位相モードもあります。そのような異なるモードは反応溶液の交換流速で制御できると知られています。

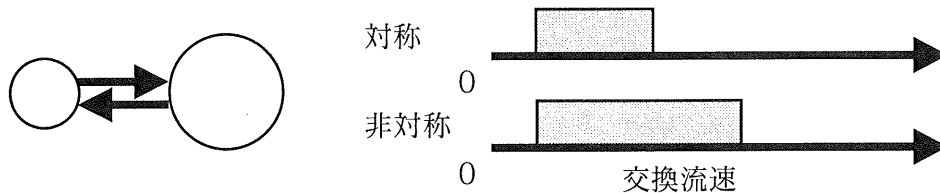


溶液の交換流速が比較的低いときには逆位相モードが出現し、高いときには同位相モードが出現するわけです。交換流速が高いときに同位相モードが出現するのは、よく考えてみますと、2つの反応槽の溶液が激しく速く交換するわけですから、あたかも一つの反応槽になるので、同位相モードになるわけです。注目すべき点は、溶液交換流速を変化させていった時に、流速のある値を境に現在のモードが消えて、別の新しいモードが出現するところで、これは分岐現象と呼ばれているものです。これは相互作用である交換流速の量の連続的に変化に対応して、ある点を境に別のモードが突如出現するという質的な変化が誘導されたこととなります。

4 非対称相互作用

ここでは、相互作用が非対称な状況を考えたいと思います。下図には反応槽が2つあり、左側の反応槽の体積が右側より大きいことを示しています。化学反応を考えるときには、その反応槽内の物質質量ではなく、その濃度、つま

り物質量を体積で割った量（濃度）が関係してきます。濃度が高ければ高いほど反応速度が速くなるというわけです。下図の2つの反応槽内に物質が同じ量だけ含まれていても、反応槽の体積が小さいほうがより濃度が高くなるわけです。これらの2つの反応槽間の矢印は溶液が交換されることを示しています。矢印は方向が異なるだけで大きさが等しいのはそれぞれの流速が同じことを意味しています。ところが双方向それぞれの流速が等しくとも、反応槽の体積が異なると、化学反応にたいする溶液交換による作用の大きさは異なることとなります。これにより相互作用が非対称となるわけです。



このような非対称相互作用の場合には、逆位相が発現する流速範囲が広がることが分かっています。相互作用を非対称にすると逆位相モードが安定化すると言い換えることもできます。反応槽の体積が異なることが原因となる非対称相互作用は、生命体の構成単位である細胞において、一般にその大きさにバラツキがあることを連想させます。それにより特定の引き込みモードが安定になっているのかもしれませんが。

文献

- (1) 柳沢桂子, いのちとリズム, 中央公論新社, 1994.
- (2) レンベール&ガーター, 生命のリズム, 白水社, 1960.
- (3) 清水 博, 生命を捉えなおす[増補版], 中央公論新社, 1990.