

序章

バイオ研究と 化学溶液論

生命は化学反応の連続です。化学反応のないところに生命は存続しません。化学反応はいろいろな状態で起こります。気体でも固体でも起こります。しかし、化学反応が最も効率よく進行するのは溶液中であり、生命の化学反応もほとんどすべては溶液中で起こります。そのため、バイオの関係する化学反応はもっぱら溶液系の化学反応ということになります。

化学溶液論とは溶液の性質、およびそこで起こる各種化学反応の解析を目的とする研究です。一般に溶液とは2種類以上の物質が均一に混じった液体をいいます。しかし、バイオで扱う溶液は多くがコロイド溶液であり、コロイド溶液は普通の溶液とは性質が少し異なっています。

生体系では、このようなコロイド溶液中で酸・塩基、酸化・還元、あるいは電気化学的な反応が進行し、生命を維持しているのです。その意味で、溶液論はバイオ化学の基礎を支えるものです。

本章は、読者の皆さんがこのようなバイオのための溶液論に入ってゆくための導入の章です。本書がこれから取り扱う主な項目と、そのための簡単な予備知識をまとめてあります。軽い気持ちで読み進んでください。きっと、次章からの各論に入ってゆくのを楽しみになるでしょうし、足がかりもできることでしょう。



1. 水と水分子の性質は同じとは限らない

生体の多くの部分は水が占めています。これからわかるように、生体は化学的にいえば複雑な組成の水溶液なのです。ほとんどすべての生体反応はこの水溶液中で起こります。そのため、バイオ関係の化学反応を理解するためには溶液の構造や性質を理解することが基礎となります。

溶液とは複数種類の成分でできた液体のことです。では液体とは何でしょう？

1 物質の状態

物質は分子からできています。しかし、分子の性質をすべて明らかにしたからといって、物質の性質をすべて明らかにできるわけではありません。

水分子の構造を調べれば、結合角度も結合距離も、電子状態も光学的な性質も、要するに水の多くの性質がわかります。しかし、“水分子”と“水”は異なります。“1個の水分子”を“水”とはいいません。水というのは膨大な個数の水分子の集合体というのです。私たちが水の性質というときには、この膨大な分子集団の性質をいうのです（[図 0-1](#)）。

水は0℃以下では結晶の水となり、100℃以上では気体の水蒸気になります。このような性質は集団だから出てくる性質なのです。分子1個では結晶になりようありません。

固体、液体、気体を物質の状態と呼び、特にこの3つを物質の三態と呼びます。しかし、物質の状態はこれだけではありません。生体の重要な構成物質である細胞膜は、分子膜という特殊な状態になります。液晶も1つの状態とみることができますし、ガラスも固体の特殊な状態とみることができます。

2 状態を左右する条件

物質がどのような状態にいるかは、圧力と温度など、外部条件によって変わってきます。日常生活では水は100℃で沸騰するものと思っていますが、高山では100℃以下で沸騰し、それ以上温度が上がりにくいです。そのため、米は十分に煮えず、生煮えになって美味しく炊くことができません。これは高山では気圧が低くなるからです。

反対に圧力鍋で煮ると、魚の骨まで柔らかくなって食べることができるようになります。これは圧力鍋の中が高圧になっているからです。このように、水の沸点は圧力によって変化します。

物質の状態と温度、圧力などの関係を表した図を状態図といいます。[図 0-2](#)は水の状態図です。詳しくは1章2節で述べますが、縦軸は気圧、横軸は温度を表します。

そして圧力と温度の組み合わせが液相（水）の領域（例えば点A）にあるときは、その条件の水は液体であることを表します。

また、組み合わせが曲線上にあるとき（例えば点B）には、水は曲線を挟む両方の状態を同時にとることになります。液体と気体が同時に存在する状態は沸騰ですから、曲線abは沸騰を表すことになります。

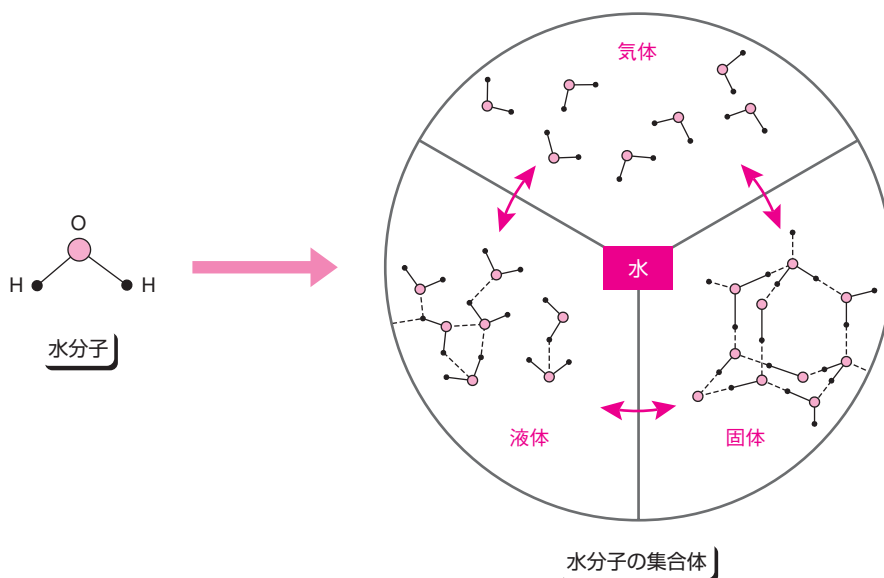


図0-1 “水分子” と “水”

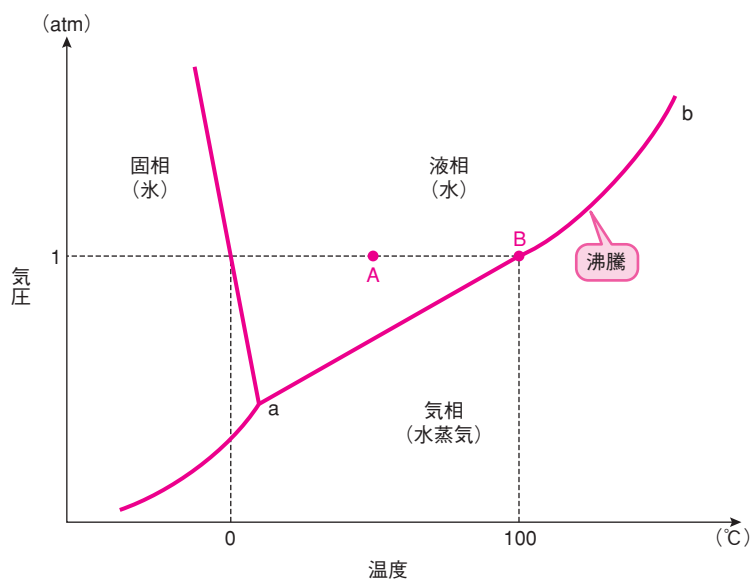


図0-2 水の状態図

3 混じると溶けるの違い

溶液は、液体のうちの特殊な状態と考えることができます。すなわち、水、アルコール、ベンゼンのような単一成分の液体は溶液とはいいません。複数成分からできた液体のことを溶液というのです。溶液では成分を溶質、溶媒という言葉で区別します。溶かすものが溶媒であり、溶かされるものが溶質です。砂糖水なら砂糖が溶質であり、水が溶媒ということになります。

溶液を構成する成分は何でもかまいません。成分同士が均一に溶け合って液体状態になっていればよいのであって、各成分は単一状態で液体であろうと気体であろうと固体であろうと、少しもかまいません。

それでは溶け合うというのはどういう状態でしょうか？ 砂を水に混ぜて激しく攪拌すれば、砂は水に混じって均一になったように見えますが、攪拌を止めれば沈殿します。このような状態は溶けているとはいいません。混じっているだけです。溶けている状態とは、溶質が分子1個ずつに分解してバラバラになった状態であり、溶媒分子に取り囲まれている状態をいうのです。このような状態を溶媒和といいます(図0-3)。

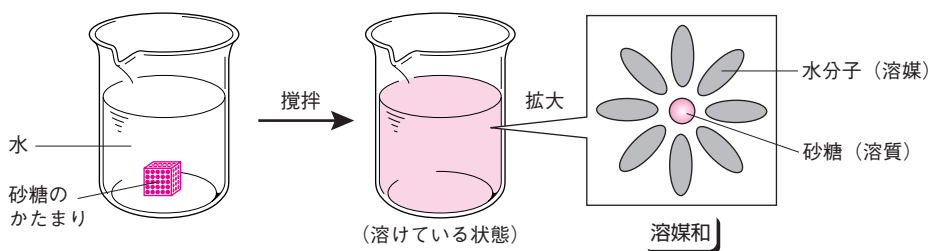


図0-3 溶媒和

4 溶解とエネルギー

溶質が溶けるときにはエネルギーの変化が起こります。結晶がバラバラに散らばるのにはエネルギーが必要であり、分子が他の分子と引力で引き合うときにはエネルギーを放出するのです。このようなエネルギー変化が溶解熱となって現れ、例えば瞬間冷却パックとして夏の便利品になるのです。

凝固、融解、蒸発、溶解という現象は、単純そうにみえますが、なかなか奥の深い現象なのです。これらは2章でより詳しく取り上げます。



2. 細胞内はコロイド溶液

溶液のうち、溶質が大きな粒子となっているものを特にコロイドといいます。生体を構成する溶液にはタンパク質や糖や脂質の大きな粒子が溶けていますので、典型的なコロイド溶液ということになります。コロイド溶液の抱える本質的な問題は不安定だということです。コロイドは常に溶媒と沈殿に分離しようとしているのです。

1 コロイドの構造

コロイド系はコロイド粒子といわれる溶質粒子と分散媒と呼ばれる溶媒からできています。コロイド粒子はタンパク質のような1個の巨大分子の場合もありますし、ミセルのような多くの小分子が作った超分子の場合もあります。

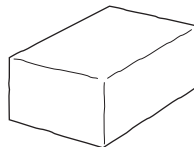
コロイドは身の回りのあらゆるところにあります (図0-4)。牛乳は典型的なコロイドです。タンパク質や脂肪の微粒子がコロイド粒子となっています。マヨネーズや豆腐もコロイドですし、女性の化粧品のほとんどすべてはコロイドとみてよいでしょう。ですから、化粧品屋さんはコロイド化学の専門家ということになります。

コロイドは液体や乳液ばかりではありません。気体のコロイドもたくさんあります。大気がすでにコロイドの一種です。霧や雲は水の集合体がコロイド粒子になったコロイドです。煙では炭素粉がコロイド粒子です。

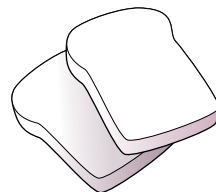
固体のコロイドがあると思ったら驚くでしょうか？ パンは気体がコロイド粒子になったコロイドですし、軽石も同様です。色ガラスはガラスに金属のコロイド粒子が分散した固体コロイドです。赤いガラスのあるものには金や銅がコロイド粒子になっています。



牛乳



豆腐



パン

図0-4 身近にあるコロイドの例

2 コロイドの性質

コロイドは身の回りにあふれていますから、私たちはコロイドの性質にも慣れっこになっています。気づかないだけです。

空が青いのも、雲が白いのも、夕焼けが赤いのもコロイドの性質によるものです (図0-5)。私たちはコロイドの中で生命活動を行っているのです。大気中のコロイド粒子の大きなものが沈殿したのが人間かな?などと馬鹿なことを考えてしまいそうです。

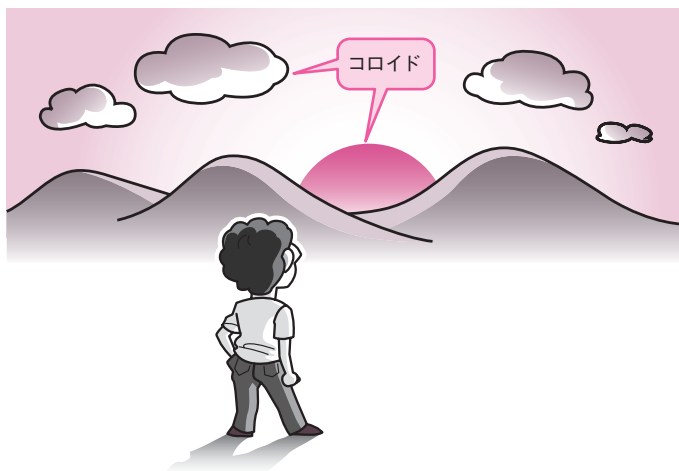


図0-5 大気もコロイド

コロイド粒子のよく知られた性質にブラウン運動があります。ブラウン運動は水に浮かべた花粉の動く現象ではありません。花粉が破れて中から出てきたきわめて小さなコロイド粒子の運動です。水分子が衝突することによってコロイド粒子が動くので、正体は水分子の熱運動です (図0-6)。以前は生命現象の一種とみられ、生命の不思議を立証する現象の1つと考えられたそうですが、科学現象に思い入れを込めすぎると、間違いに行きつくこともあるという1つの例でしょう。

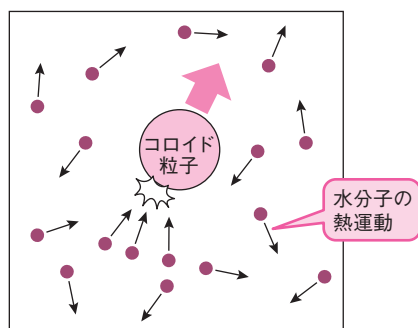


図0-6 ブラウン運動の正体

3 コロイドの安定性

コロイド溶液は基本的に安定な溶液ではありません。大きな溶質粒子は分子間力によって集合し、重力によって沈降して沈殿になろうとしています。コロイド溶液がコロイド溶液の状態を保つためには、このようなコロイド状態を破壊しようとする力に常に打ち勝っていなければなりません。

コロイド粒子の集合を妨げているのは、コロイド粒子の表面にある電荷のせいです。この電荷の間の静電反発によってコロイド粒子は互いに退け合い、反発し合って、その結果分散媒中に漂っているのです。

したがって、コロイド系を破壊してコロイド粒子を沈殿させるためには、コロイド粒子表面の電荷を消してやればよいことになります。これが凝析、あるいは塩析という操作になるのです(図0-7)。これもまたお豆腐作りなどで、お馴染みの行為です。バイオ研究者にとってはエタノール沈殿のほうが馴染み深いでしょうか。コロイド化学は私たちの身近な化学なのです。

コロイドについては、3章でより詳しくお話したいと思います。

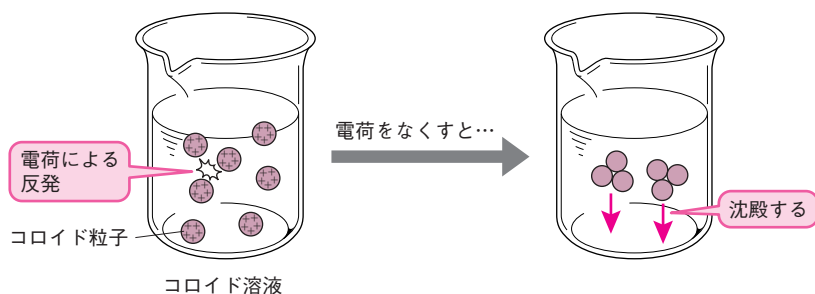


図0-7 コロイド粒子の沈殿



3. 酸・塩基は H^+ の放出と受容

溶液の大切な性質に酸性・塩基性があります。生体には酸も塩基も含まれていますが、その性質はほぼ中性に保たれています。そのためには酸と塩基の密接な連携プレーが働いているのです。

酸・塩基、酸性・塩基性とはどのようなことなのでしょう？

1 酸・塩基

酸・塩基は化学で最も重要な概念の1つですが、実はその定義は一様ではありません。化学者は3種の定義を使い分けています。これは、酸・塩基という概念がそれだけ重要だということの現れです。すなわち、化学のいろいろな研究分野で、その分野で使いやすいように定義を変形させているのです。

中学、高校で習った定義はアレニウスの定義であり、酸、塩基を水素イオン H^+ と水酸化物イオン OH^- を使って定義するものでした。しかし、現在有機化学やバイオの分野で使っている定義は多くの場合、ブレンシュテッド・ローリーの定義です。これは酸も塩基も H^+ だけを使って定義するのです。

酸とは H^+ を出すものであり、塩基とは H^+ を受け取るものである。これがブレンシュテッド・ローリーの定義です (図 0-8)。しかし、酸のなかには H^+ を出しやすいものと出しにくいものがあります。このようにして強い酸、弱い酸という概念が誕生します。バイオではもっぱら弱い酸、弱い塩基が活躍しています。

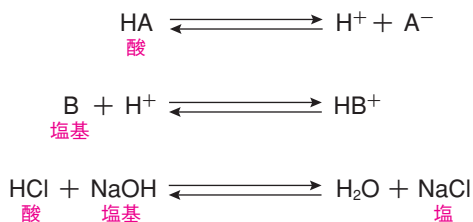


図 0-8 H^+ による酸・塩基の定義

2 酸性・塩基性

酸・塩基は物質の種類ですが、酸性、塩基性は溶液の性質です。酸性とは酸の多い状態ですし、塩基性とは塩基の多い状態です。それでは酸が多いと具体的にどのような状態になるのでしょうか？ 簡単です。 H^+ が多くなるのです。それでは塩基が多くなったらどうなるのでしょうか？ 塩基は H^+ と結合しますから、溶液中の H^+ は少なくなります。

すなわち、酸性とは H^+ の多い状態であり、塩基性とは H^+ の少ない状態なのです。それでは多い、少ない、の基準はどこにあるのでしょうか？ それは純水の水の状態で

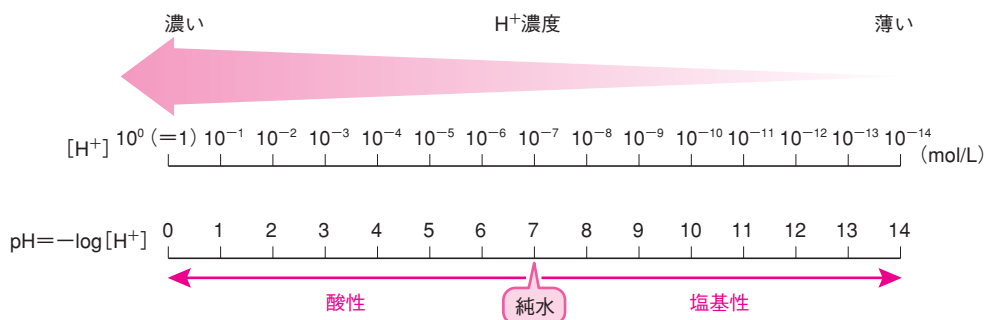


図 0-9 H⁺濃度によって酸性・塩基性が決まる

す。純水の水は H⁺ と OH⁻ が同じ数解離しており、その際の H⁺ の濃度は 10⁻⁷ mol/L となっています。したがって H⁺ の濃度が 10⁻⁷ mol/L より多ければ酸性であり、少なければ塩基性ということになります。H⁺ の濃度は pH を使って表すのが標準であり、それによれば中性は pH = 7 であり、数値がそれより小さければ酸性であり、大きければ塩基性ということになります (図 0-9)。

3 中和と塩

酸と塩基の間で起こる反応を中和 (反応) といいます。中和によって生じる生成物のうち、水以外のものを塩^{えん}とといいます (図 0-8 参照)。食塩 (塩化ナトリウム NaCl) は典型的な塩です。生体の中には多くの塩が存在しており、生体の溶液は塩の溶液といってもよいような状態になっています。

塩が溶けている溶液は緩衝性をもつ緩衝液 (バッファー) になることがあります。緩衝液とは弱酸とその塩が大量に溶けている溶液のことをいいます。このような溶液は、少々の酸を加えても酸性にならず、少々の塩基を加えても塩基性になりません。常にはほぼ一定の pH を保つのです。

生体を構成する溶液は緩衝液となっています。ですから、生物はさまざまな外的条件の変化に耐えて生存し続けることができるのです。バイオの実験でも、反応溶液は生体の性質を再現するために緩衝液とすることが多くあります。医療に用いる点滴液も緩衝液となっています。

酸・塩基については 4 章で、中和と塩については 5 章で詳しく取り上げます。



4. 酸化・還元は電子の移動

酸化・還元は化学反応のなかで最も基本的なものであり、かつ、最も重要なものの1つです。生体の中でも酸化・還元反応が進行しています。生体のエネルギー授受に関する反応の多くは酸化・還元反応が関係しています。

酸化・還元反応は重要な側面をもっており、それは電気化学反応です。電気化学反応は電子の移動を伴う反応であり、電子の移動はまさしく酸化・還元の本質なのです。すなわち、電池をはじめとした電気化学は酸化・還元反応の一部なのです。

1 酸化・還元

酸化・還元反応の基本は酸素のやりとりです。酸素を受け取れば酸化されたのであり、酸素を与えれば相手を酸化し、自分は還元されたこととなります。

しかし、酸化・還元反応は酸素のやりとりだけではありません。水素をやりとりしても酸化・還元反応になります。酸化・還元反応を広く理解するためには電子のやりとりで理解する必要があります。電子を失ったら酸化されたのであり、電子を受け入れたら還元されたことになるのです (図 0-10)。

このような関係を最もわかりやすい形で表すのが酸化数です。酸化数はイオンの価数のようなものですが、ちょっと違います。とにかく、酸化数が増えたら酸化されたのであり、酸化数が減ったら還元されたことになるのです。この考えを理解すると酸化・還元が易しく楽しくなります (詳しくは 6 章参照)。

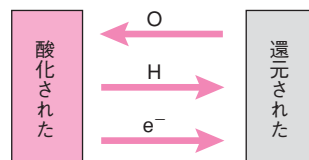


図 0-10 酸化と還元の関係

2 電池

電池は電極の間を電子が移動するように設計された化学装置です。典型的な電池では酸の水溶液に 2 種類の金属を電極として挿入し、両者を導線でつなぎます。すると片方の電極では、金属が電子を放出して陽イオンとなり、溶液中に溶け出します。このとき、余分になった電子を金属部分に置いていきます。

この電子は導線を通して反対側の金属電極に流れます。この電子は溶液中にある陽イオンに渡され、陽イオンが中性原子、あるいは分子として発生します。このように、電子が片方の金属電極からもう片方の金属電極に移動します。これが電池の基本原理なのです (図 0-11)。

つまり、陽イオンになった金属は電子を失ったので酸化されたのであり、溶液中で

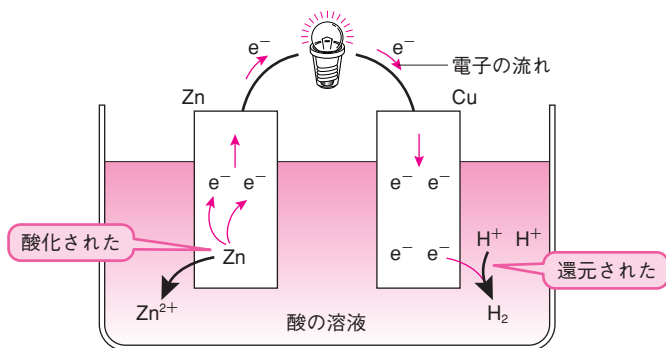


図 0-11 電池の原理

電子をもらった陽イオンは還元されたのです。このように、電池では酸化反応と還元反応が同時に起こっているのです。電池は酸化・還元反応に伴う化学エネルギーを電気エネルギーに変化させる装置なのです。

3 電気化学と生体

電気化学は生体でも重要な役割を演じています。典型的な例は神経細胞における情報伝達でしょう。ここでは情報の伝達は、神経細胞の細胞膜を通したナトリウムイオン Na^+ とカリウムイオン K^+ の出入りで表現されます。その結果、細胞膜を介した膜電位が変化し、それが情報の伝達として次々に伝播されてゆくのです (図 0-12)。

電気化学の出番はそれだけではありません。動物の体にはいろいろなセンサーがセットしてあります。そのうちのいくつかは情報を電気化学的な変化としてキャッチしているようです。味覚はこのようなものの1つであることが明らかになっています。

7章では、こうした味覚センサーや光合成における電子伝達系などを取り上げます。

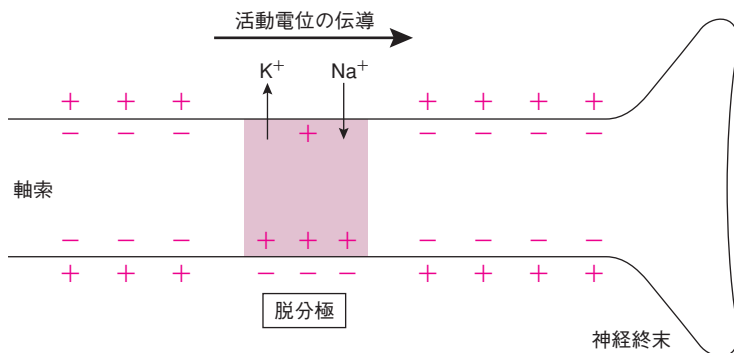


図 0-12 神経細胞における刺激の伝導



5. 生命活動の鍵を握る錯体

バイオに関係した化合物は有機化合物が多いです。タンパク質、糖類、脂質、あるいはDNAもすべては炭素化合物であり、典型的な有機化合物です。それでは無機化合物は、生体では骨などの丈夫で頑丈な骨組みだけを作っている、“大して重要でない”化合物なのではないでしょうか？

とんでもありません。無機化合物、あるいは各種金属は、量は少ないですが生体の中で決定的に重要な役割を演じています。例えばヘモグロビンが酸素運搬をするのは鉄のおかげです。各種酵素が働くのも金属に助けられていることが多いのです。このような金属元素を含む化合物を錯体といいます。

錯体はいまや、生命無機化学という分野を開拓し、その花形分子になっています。今後のバイオ研究は錯体の理解なくしてはやっていけないのではないのでしょうか？

1 錯体の構造

錯体は複数の分子が組み合わさってできた複合分子、超分子の一種とみることができます。中心には金属もしくはそのイオンがあり、その周りを配位子と呼ばれる何個かの分子が取り囲んでいます。

配位子は水やアンモニアのような簡単な無機化合物のこともありますが、多くは有機化合物です。特に生体中に存在する錯体はほとんどの場合、有機物の配位子をもちます。典型的なのはヘムやクロロフィルにおけるポルフィリンです（図0-13）。ポルフィリンは錯体の観点からみると配位子になるのです。

錯体は多くの場合、幾何学的な対称性をもった、大変に美しい構造です。典型的な構造は正方形、正四面体、正八面体などです（図0-14）。

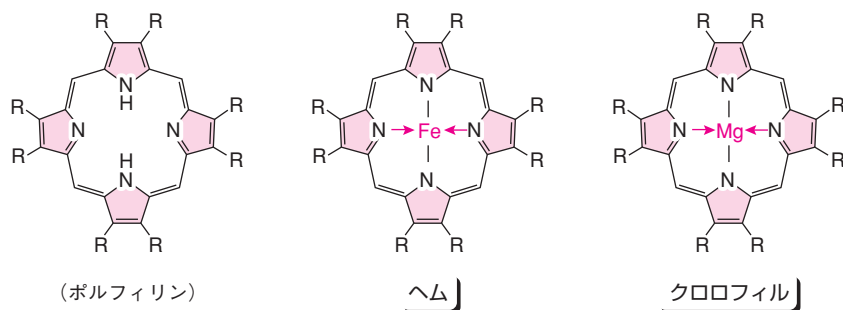


図0-13 錯体の例

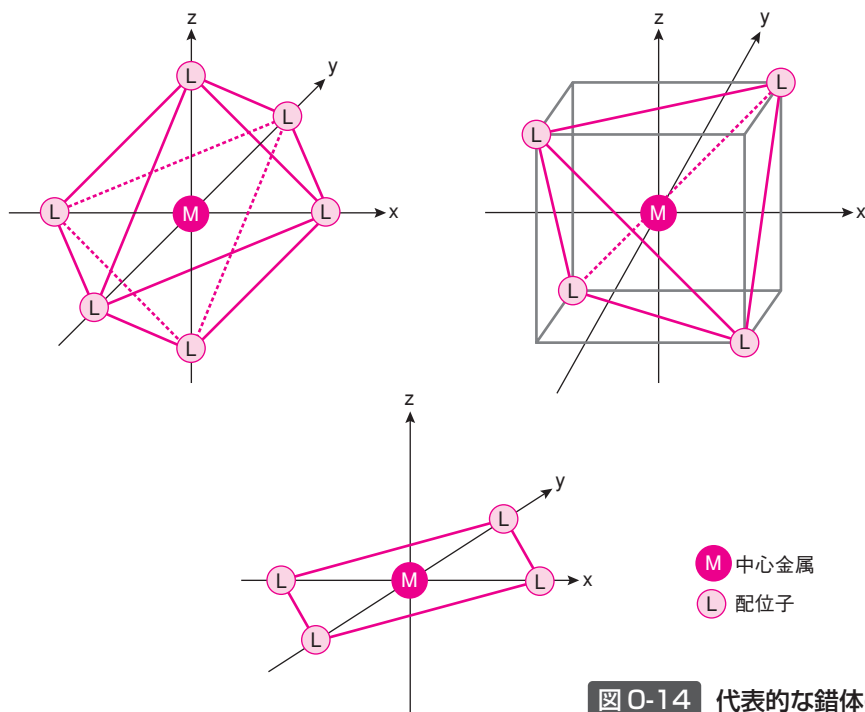


図 0-14 代表的な錯体の構造

2 錯体の性質

錯体は特有な性質をもっています。血液が赤いのはヘムの色であり、植物が緑なのはクロロフィルの色です。このように錯体には色彩をもっているものが多くあります。また、錯体の特徴に磁性があります。錯体の多くは磁性をもち、磁石に吸いつく性質をもっています。

錯体のこのような特有の性質は、錯体の電子的な特徴の反映になっています。錯体を構成する中心金属は d 電子をもっています。d 軌道は全部で 5 個あり、通常の状態ではすべてが同じエネルギーをもっています。しかし、錯体になると、これらの軌道がエネルギー分裂して別々のエネルギーをもつようになります(図 0-15)。この結果、d 電子が、エネルギーの低い軌道から高い軌道に移動する可能性ができ、その過程で光エネルギーを吸収するのです。これが錯体の色彩の原因です。磁性の現れる原因は…。ここで手短かに説明するより、8 章でユックリ説明することにしましょう。

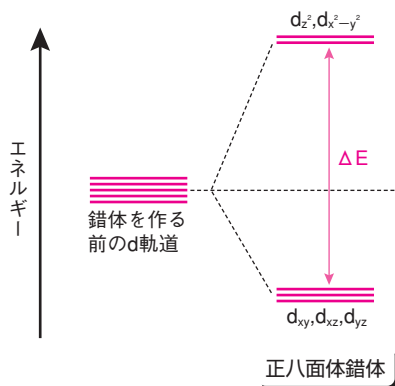


図 0-15 錯体の d 軌道

なお錯体については、シリーズ第1巻『バイオ研究者がもっと知っておきたい化学①』でも詳しく紹介しています。

3 錯体と生命現象

錯体は生命現象の重要なポイントに顔を出します。ヘムという錯体が存在しなかったら少なくとも哺乳類は存在できないでしょう。クロロフィルが存在しなかったら植物は光合成できず、その結果、ほとんどすべての生物は太陽エネルギーを利用できなくなり、存続が危うくなるでしょう。

私たちの体には微量元素が存在し、それは微量であるにもかかわらず、ないと生命活動を維持できません。このような微量元素の多くが金属元素であり、それらは生体内においてほとんどの場合、錯体として存在しているのです（9章参照）。バイオ化学の今後は錯体の働きの解明に中心が移ってゆくのではないのでしょうか？

バイオと化学溶液論の関係を簡単にみてきました。いかがでしょうか？面白いと思っただけなのではないのでしょうか？今後のバイオの研究に役立つ、と思っただけなのではないのでしょうか？

次章からは、これらの話題をもう少し掘り下げてみてゆくことにしましょう。