

# 15 生物無機化学

生体内における無機物質

$\text{CaCO}_3$  貝殻や卵の殻  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$  哺乳類の骨  $\text{SiO}_2$  珪藻、貝類、植物

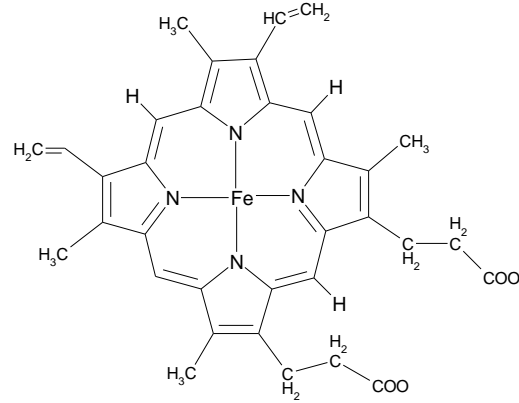
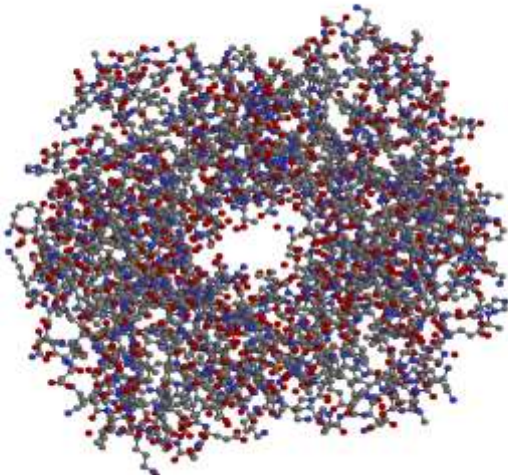
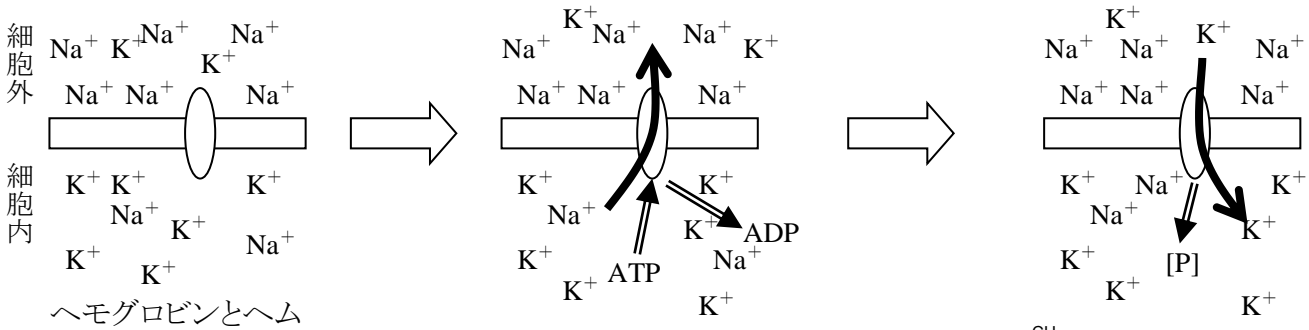
哺乳類の血漿中の金属イオンの濃度(mg/L)<sup>1</sup>

金属イオン	Na+	K+	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Zn <sup>2+</sup>	Fe <sup>2+</sup>	Cu <sup>2+</sup>	Mn <sup>2+</sup>
濃度	3280	170	99	22	1.6	1.1	1.1	0.003

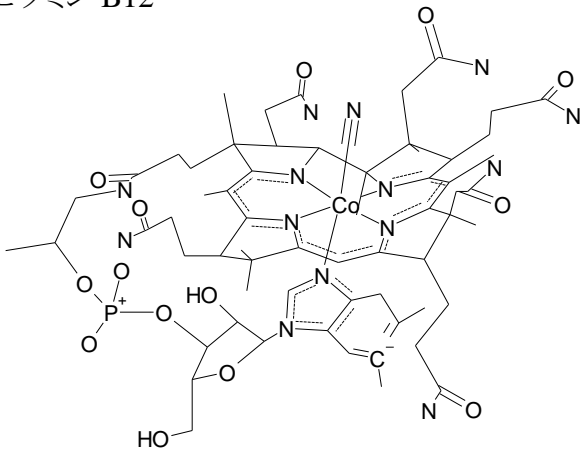
細胞内外の金属イオン濃度(ヒト赤血球) mmol/L

	Na+	K+	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>
細胞内	15	152	<10 <sup>-3</sup>	2.5
細胞外	143	5	3	1.0

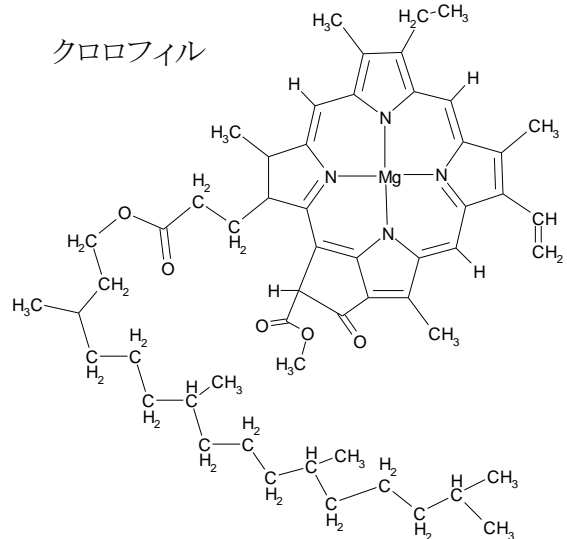
Na+とK+イオンポンプ



ビタミン B12



クロロフィル



<sup>1</sup> 中原昭次、山内修、入門生物無機化学、化学同人 1979。

## 補足説明

生体は主に有機物からできているので、C,H,N,Oなどの元素が多いが、第1回目の講義の資料にも載せたように、量は少ないが他の元素も重要な働きをしている。生物に関わる無機物といえば、骨や貝殻などに含まれるカルシウムがまず思い浮かぶであろう。珪藻などの植物はケイ素化合物( $\text{SiO}_2$  など)も含んでいる。このような固い物質だけでなく、体液中でも多くの金属イオンが働いている。ここでは典型元素のイオンを中心に金属イオンの量と役割を見ていこう。

## 体の中の金属イオン

血漿中の金属イオンの量は表に示したとおりであり、ナトリウムとカリウム、カルシウムあたりが多い。これは海水中の元素存在量の順序と似ており、よって生物が海から生まれたことを示唆していると言っている人もいる。興味深いのは亜鉛、鉄、銅といった毒性のありそうな重金属類のイオンが(ppm レベルのわずかな量ではあるが)存在することである。実はこれらの重金属イオンは体の中で重要な働きをしており、その一端を今回の講義でお話する。

## ナトリウムイオンポンプ

細胞内外でナトリウムとカリウムイオンの量は全く異なっており、かつ逆転している。イオンが自由に通り抜けられる膜があるとすると、普通はその膜の向こう側とこちら側のイオンの濃度はいずれ同じになるはずである。2つの池の間にトンネルがあれば2つの池の水位は同じになるのと同様に考えればよい。両者の水位を違った状態にするには、ポンプで組み上げるなどする必要がある。ナトリウムとカリウムのイオンが細胞内外で全く異なっているということは、誰かが意図的にエネルギーを使ってそうしていることになる。この仕組みはかなりよく調べられており、ATPのエネルギーを利用した特別なポンプのような仕組みがあることが分かっている。(高校の生物でも習ったかもしれない)神経を信号が伝達していくのはこのイオンの濃度比に基づく膜電位の変化を利用している。

[http://www.brookscole.com/chemistry\\_d/templates/student\\_resources/shared\\_resources/animations/ion\\_pump/ionpump.html](http://www.brookscole.com/chemistry_d/templates/student_resources/shared_resources/animations/ion_pump/ionpump.html) (ATPのエネルギーが利用されていることがわかるし、音がついてて面白い)

## リチウムは体に必要か?

ナトリウムとカリウムが必須金属なら同族のリチウムはどうだろうか。かつて米国では活力がでるなどとして、日本でもよく知られている清涼飲料水に1920年代から50年までLithiumイオンが添加されていた。しかし、体が震える(振戦)、甲状腺機能低下などの副作用が知られるようになり添加は中止された。現在では躁鬱病など神経疾患の治療にリチウム塩が用いられているが、体に必須の元素ではないと考えられている。



## カルシウムの役割

カルシウムや骨や貝殻の成分としても重要であることはご存じの通りだが、酵素などのタンパク質の構造を保つためにも重要であることが認識されている。タンパク質はアミノ酸がつながったひも状の分子であるが、これが特定の三次元構造に折り畳まれてはじめてさまざまな機能(酵素が触媒として働くなど)を発揮する。三次元構造はアミノ酸の間の水素結合などによっても安定化が図られているが、カルシウムや亜鉛などの金属イオンを介してアミノ酸(特にアスパラギン酸やグルタミン酸)が結合し、特定の構造を形成するようになることも多い。

## 植物の三大栄養素

「窒素、リン酸、カリ」が植物の三大栄養素であるなどよく言われる。窒素はタンパク質や核酸の構成元素として、また、リン酸も核酸やリン脂質などの構成成分として重要である。カリウムイオンは細胞内浸透圧の維持、(上でも述べたが)膜電位の調整などに必要とされる。

## ヘモグロビンとヘム

ヘモグロビンは分子量64000の巨大なタンパク質分子であり、酸素を血液中で体の隅々まで運搬する働きがある。ヘモグロビン1分子にはヘムという鉄錯体が4つ含まれる。ヘムは環状の有機物の中に鉄が入った錯体であり、この中心の鉄に酸素分子が結合し、このまま血液中被運ばれる。よって鉄が不足すると酸素が運搬されなくなり、貧血となる。ヘモグロビンは非常に巧妙な仕組みによって効率よく酸素を運ぶことができるようになっている。

## ビタミンB12とクロロフィル

ビタミンB12は図に示すようにコバルトの錯体、クロロフィルはマグネシウムの錯体である。前者は不足すると悪性貧血となり、CNの代わりに別の物質が結合したのも捕酵素としての働きがある。これらは多くの酸化還元反応を

司る酵素(例えばジオールデヒドラーゼやリボヌクレオチドリダクターゼ)の働きを助ける役割を担っている。人の体の中に数 mg あるとされる。クロロフィルは光合成の中心をなす分子の1つである。クロロフィルには何種類かあるが、ここにはその1つを示した。クロロフィルと B12 いずれもなぜか不思議なことにヘムと似た構造になっている。これらは金属の助けを得て必要とする機能を達成しているのである。

#### 食品添加物としての無機化合物

下記に例を挙げる。様々な種類の物質が食品業界で使われている。これらの中には製造過程で使われ製品には残留していないようなものも含まれる。

亜鉛塩類(グルコン酸亜鉛など) 亜鉛不足解消のために乳児用ミルクに添加されるほか、サプリメントとしても 2004 年に認可。

亜硝酸ナトリウム ソーセージなど肉類加工食品の発色剤として用いられる(12 回目講義の資料の注釈参照)。

亜酸化窒素 発泡剤用ガスとして 2005 年に認可される。

亜塩素酸塩 野菜、一部の果物の殺菌

ピロリン酸鉄 (二リン酸鉄(III)) 鉄補給剤

硫酸アルミニウムカリウム(ミョウバン) ナスなどの色落ち防止、魚介類の型崩れ防止など

ヘキサシアニド鉄(II) 酸カリウム 食塩の固化防止(2002 年に指定)

二酸化硫黄 ワイン、ドライフルーツ等の漂白剤

ドロマイト ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ 、「食品添加物」ではない) カルシウム、マグネシウム補給のためサプリ、菓子等で用いられる。

無機物は本来有機でない(つまり生物と関係ない)ものだったはずなのに、最近では生体中での金属の働きについて詳しく研究されるようになり、実は多くの金属が重要であることがわかってきました。また、金属を含む化合物を医薬品に使おうという研究も進んできています。このような研究は「生物無機化学」という学問分野を形成しており、この分野は最近大変な勢いで研究が進んでいる状況となっています。この内容については無機化学 II でまた詳しくお話しします。お楽しみに。

以上

#### 講義の終わりに

みなさん無機化学はいかがでしたでしょうか。

自然は入手しやすい金属元素を巧みに利用することで人間が真似できないような(光合成など)のすばらしい機能を実現させて来ました。しかし人間はもっとたくさんの元素を使うことができます。元素は 100 種類以上ありますが、化合物の性質や、化合物の合成方法がかなりよく分かっているものは多くはありません。何せ元素の種類は近年でも増え続けているのです。数年前には鈴木、根岸、Heck 先生のノーベル賞ではパラジウムという貴金属を触媒として使う方法が注目を浴びましたが、その他にも金属を触媒として用いる研究は非常な勢いで研究されています。様々な元素が入った化合物自身を触媒だけでなくいろいろなものに応用するための研究も広く行われています。[周期表中のたくさんの元素を自在につなげて求める機能をはたす物質を作る] これが多い化学者の夢なのです。