



人は元素記号で書かれている

桜井 弘

私たちが住む地球では、現在118種類の化学元素が発見されています。このうち自然界に存在する元素は89種類で、残りの29種類は人工的に合成された元素です(図1)。私たちの体もたくさんの元素でできています。人の体をバラバラにして元素にまで分解することはできませんが、いろいろなデータを参考にしますと50種類くらいが見つかると思われます。人工元素でできた人が出現するかもしれませんが、SFの世界のことでしょう。ちなみに、サケの卵(イクラ)の細胞1個には73種類の元素と量が測定されています。

21世紀に入る前後から宇宙研究が驚くほど進み、宇宙はどんどん膨張し続けていることがわ

かりました。今の宇宙は約23%の暗黒物質(ダークマター)と約4%の“実在の物質”からできていると言われています。残りの73%はまだよくわかっていない暗黒エネルギー(ダークエネルギー)などです(図2)。宇宙はビッグバンから始まりました。このビッグバンがなければ、原子を構成している素粒子も、原子も、分子も、人も、地球も、つまり“実在の物質”はなかったと考えられています。人は137億年前に起きたビッグバンと宇宙とにつながっているのです

これらのことを確認した上で、人と元素との関係についての話を進めましょう。



図1 周期表

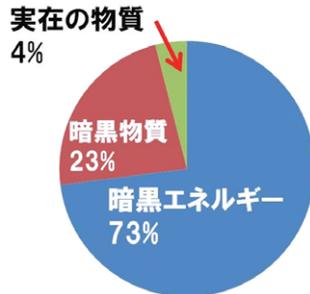


図2 宇宙を作るエネルギー

1. 生命元素を見つけた人々

元素は人類の歴史が始まって以来、発見され利用されてきました。金、銀、銅、炭素、水銀、鉛、硫黄、スズ、亜鉛、アンチモンです。誰が見つけたかの記録は残っていません。記録が残っている最初に発見された元素はリンです。1665年にドイツのプラント(1630-1692)が人の尿を集めて濃縮してリンを発見しました。彼は歴史に名を残すただ一人の錬金術師であり、実験によって人体の成分から元素を発見した最初の人でした。画家ライトが、リンの発見を静かに喜ぶプラントの姿を見事に描いています(図3)。次に古い記録が残っているのは、人の血液から鉄を見つけたイタリアのメンギーニ(1705-1759)です。1746年、彼は血液を燃やした微粒子中に磁石に引き付けられる成分として鉄を見つけ、それが赤血球の赤色の素になっていると書きま

した。赤血球はすでにオランダ・デルフトの画家フェルメールの友人であったレーヴェンフックにより1674年に見つけられていました。続いて、牛の骨や人の血液からマンガン(1808、1830年)が、胆汁から硫黄(1813年)が、血液から銅(1929年)が見つけれられました。新しい例も紹介しましょう。アメリカのバリ(1919-2010)は、20世紀の中ころ、亜鉛を含む酵素やタンパク質が見つけれられていましたので、周期表(図1)の亜鉛の真下にあるカドミウムを含むタンパク質もあるにちがいないと考えました。いろいろと探した末に、ロシアの学者が馬の腎臓にカドミウムがあると報告をしていたこと知り、それを頼りに研究を進め、ついにそのタンパク質を分離し、1960年にメタロチオネインと名づけました。いろいろ調べたところ、人の腎臓、肝臓や脳などにも存在し、またカドミウム以外にも水銀、亜鉛、銅なども含む金属タンパク質であることが分かりました。毒性元素を含むタンパク質が見つけれられた初めての例となりました。

生命元素は体や体の成分から分離されて証明されてきましたが、今では、ある元素が欠乏して人や動物が病気になったり死んだりしたとき、その元素を与えることによって病気や死から免れ、健康を回復させる元素を生命元素(必須元素)とするようになりました。

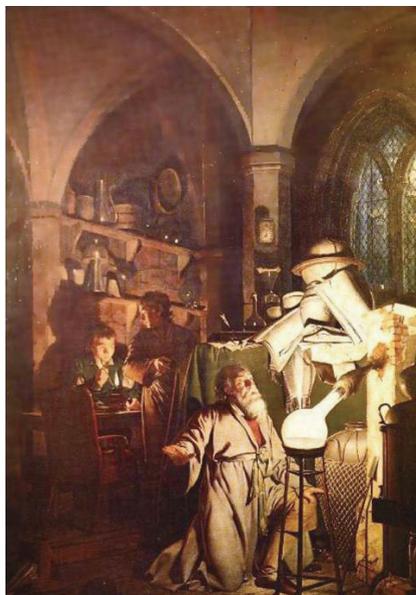


図3 ジョセフ・ライトによる「賢者の石を探す錬金術師」

でしょうか?例をあげてみましょう。

赤血球中には活性酸素の一つであるスーパーオキシドアニオン(O_2^-)を酸素と過酸化水素に分解する銅と亜鉛を含むスーパーオキシドジスムターゼ(SOD)と名付けられた酵素があり、その活性中心では銅が働いています。銅イオンのみによるこの反応の強さを1としますと、SODでは約2000倍に高くなります。同じ赤血球に存在するカタラーゼと名付けられている鉄酵素は、過酸化水素(H_2O_2)を酸素と水に分解する機能をもっています。やはり鉄イオンのみの反応の強さを1としますと、カタラーゼではなんと10億倍にも作用が強くなります(図5)。SODやカタラーゼ1分子で

金属元素のそれぞれ2000倍あるいは10億倍の働きをしているのです。ある元素の一つの生理作用を高めるには、それらが単独で作用するよりもタンパク質と結合して、きち

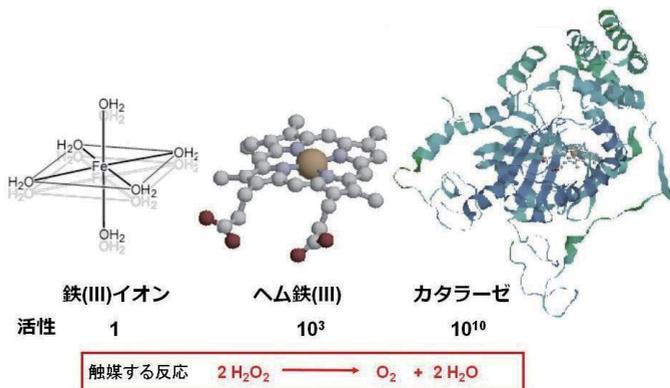


図5 カタラーゼの活性比較

んとした構造をとることが極めて重要であることを示しています。さらに、元素や金属元素は単独で存在しますと、いろいろなタンパク質や遺伝子などと結合して、思わぬ毒性をあらわすこともあります。体の中では金属元素の量は多すぎても少なすぎてもいけないのです。金属元素の機能を最大限に高めているのは、金属元素とタンパク質との複合体です。たとえば、亜鉛タンパク質や亜鉛酵素はすでに約300種類以上の構造が明らかにされています。人の体には、このようなタンパク質・酵素が無数に作られて、無限ともいえる高い機能を発揮しているのです。生物中の元素や金属を含むタンパク質や酵素を化学的に研究する領域を「生物無機化学」と呼んでいます。

3. 生命元素の数はいくつあるでしょう?

ここで面白い例を紹介しましょう。フランスのルネ・カントン(1866-1925)は1897年に1匹の犬から血液の一部(体重の約1/20)を抜きとり、代わりに等張(血液と同じ浸透圧をもつこと)にした海水を血液に加えて観察しました。犬は5年以上も生きました。さらに、人や犬の白血球を海水につけても分解されないことを証明しました。当時誰も試みたことのない海水の元素組成や濃度を測定しま



した。この一連の研究から、1904年に「有機体の環境としての海水」という書籍をあらわしています。この研究は、血液と海水は動物の体で同じ役割をしていることを示しています。これは、先ほど述べた通りです。このような勇敢な実験も含めて、生物と元素との関係について長い間地道な研究が積み重ねられて、人や動物が健康に生きていくにはどれくらいの種類の、そしてどれくらいの量の元素が必要か？がしだいに明らかになりました。表1をご覧ください。人には、多量必要な6元素、少量必要な5元素、そして微量・超微量必要な12元素が必須であると考えられています。研究者によっては、これら以外にルビジウム、ヒ素、バナジウムなども必須であると考えています。

分類	元素名	必須性 動物 人	体内存在量 (%)	体重70kgの 人の体内存在量	体重1kgあたりの 体内濃度	
多量元素	酸素	○	65.0	45.50 kg	650 g/kg 体重	
	炭素	○	18.0	12.60	180	
	水素	○	10.0	7.00	100	
	窒素	○	3.0	2.10	30	
	カルシウム	○	1.5	1.05	15	
	リン	○	1.0 (98.5%)	0.70	10	
少量元素	イオウ	○	0.25	175 g	2.5 g/kg 体重	
	カリウム	○	0.20	140	2.0	
	ナトリウム	○	0.15	105	1.5	
	塩素	○	0.15	105	1.5	
	マグネシウム	○	0.05 (99.3%)	35	0.5	
	鉄	○		6 g	85.70 mg/kg 体重	
微量元素	フッ素	○		3	42.80	
	ケイ素	○		2	28.50	
	亜鉛	○		2	28.50	
	ストロンチウム	○		320 mg	4.57	
	ルビジウム	○		320	4.57	
	臭素	○		200	2.86	
	鉛	○		120	1.71	
	マンガン	○	○	100	1.43	
	銅	○	○	80	1.14	
	超微量元素	アルミニウム	○		60	857.0μg/kg 体重
		カドミウム	○		50	714.0
		スズ	○		20	286.0
バリウム		○		17	243.0	
水銀		○		13	186.0	
セレン		○	○	12	171.0	
ヨウ素		○	○	11	157.0	
モリブデン		○	○	10	143.0	
ニッケル		○	○	10	143.0	
ホウ素		○	○	10	143.0	
クロム		○	○	2	28.5	
ヒ素		○	○	2	28.5	
コバルト		○	○	1.5	21.4	
バナジウム		○	○	0.2	2.9	

表1 人体中の元素濃度と必須元素

重要なことは、表に挙

げた数値は人や動物が活着している中での一瞬を切り取ったもの、つまり動的な生命活動の中の値と考えておく必要があります。これらの元素はすべて、他の生物やそれらが生産した食べ物から摂られることも認識しておくことが大切です。人が健康に生きていくために必要な元素量や食品量が決められていますので、それらも参考となるでしょう。

4. 元素の未知の能力を引き出す—金属を含む医薬品

元素やそのイオンは様々な性質や能力を持っていますが、それらは原子の原子核を取り巻く電子の数と状態によって決まっています。また先に述べたように、タンパク質やその他の分子と結合すれば、その能力は飛躍的に大きくなります。

元素やイオンが生物に対してどのような能力を示すかを理論的に予測することは難しいことですが、ある種の元素は健康の維持や病気の治療に役立つことが、古代から分かっていました。どんどんと研究が進み、一部は医薬品として利用されています。たとえば、白金を含む抗がん剤のシスプラチン、金を含む抗リウマチ剤のオーラノフィン、亜鉛やアルミニウムを含む抗胃かいよう剤のポラプレジンクやスクラルファート、コバルトを含む抗貧血剤のシアノコバラミンなど多くが知られています。このような元素の未知の能力を引き出す研究をする領域を「生命錯体化学」あるいは「メタロミクス」と呼んでいます。

以上、生物と元素との基本的な関係を紹介しました。私たちはすべて元素から成り、元素記号で書かれた存在です。そして私たちの身の周りの物質もすべて元素記号で書かれています。現在118種類の元素が、元素周期表にきちんと整理されています。しかし元素の謎はまだいっぱいあります。周期表の下の方に書かれている希土類元素(レアアース)の性質が様々な電子機器に使われるようになったのは、ごく最近のことです。元素を用いて再生エネルギーの研究に役立てようともされています。体の中での元素の動きや新しい金属タンパク質の発見の研究は日々進んでいますし、金属を含む医薬品の開発研究も世界中で試みられています。さらに、これから新しい元素はどれくらい作られていくでしょう？元素周期表をご覧くださいながら、宇宙、地球そして私たち自身について思いを馳せることはとても楽しいことと思います。

参考

1)「ビジュアル周期表」大阪市立科学館、2)「一家に1枚周期表第7版」文部科学省(2013)、3)小野昌弘著「元素がわかる」技術評論社(2008)、4)桜井弘編「元素111の新知識 第2版増補版」講談社(2013)、5)桜井弘編「生命元素事典」オーム社(2006)、6)桜井弘「金属なしでは生きられない」岩波書店(2006)、7)桜井弘編著「元素検定」化学同人(2011)、8)「すぐわかる！ビジュアル化学」Newton別冊 改訂新版(2013)、9)厚生労働省「日本人の食事摂取基準2010年度版」



著者紹介：桜井 弘(さくらいひろむ)

(京都薬科大学名誉教授 元素周期表同好会)

京都大学大学院薬学研究科博士課程修了。専門は代謝分析学・生命錯体化学。ベストセラー本「元素111の新知識第2版増補版」等の編者。現在周期表や元素の普及を図る元素周期表同好会の主要メンバーとして活躍中。