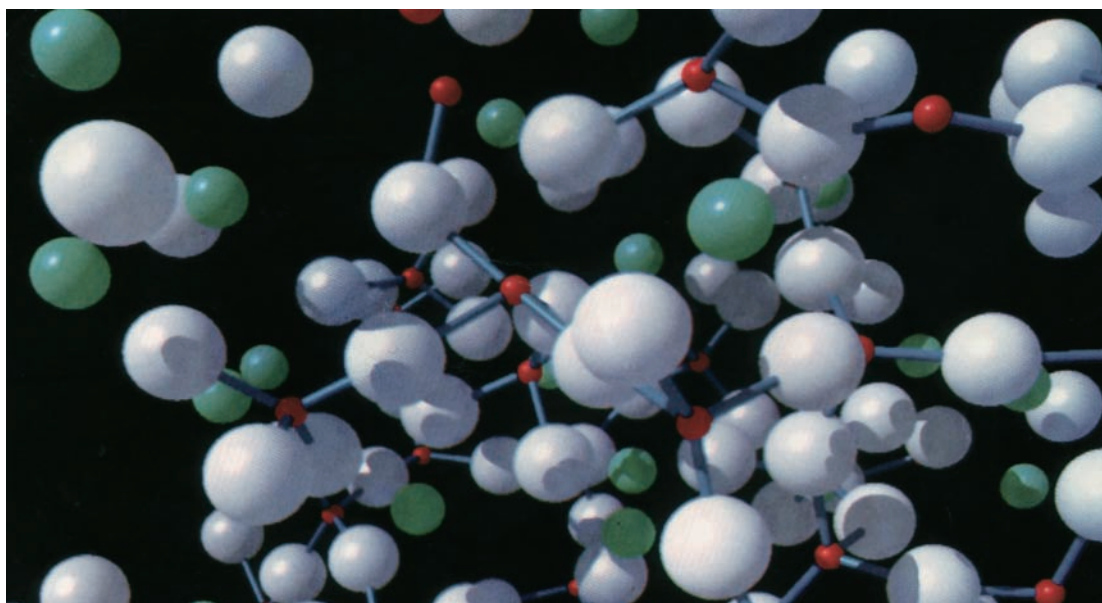


電子のはなし

丸 子 榮 次

VOL.3



水と空気と大地の
丸子電子株式会社
MDA特性総合研究所



宇宙のはじまり電子と物質と生命

さて物質生命の誕生は宇宙の誕生灼熱のビッグバンに始まり、まず物質と反物質が生成したが、間もなく反物質が淘汰され消滅して素粒子のクォークと電子が誕生し、10～5秒後に素粒子のクォークが集まって陽子と中性子が誕生、0.01～300秒後に陽子と中性子が集まってヘリウムや水素の原子核が生まれ、38万年後原子核に電子が補足され水素、ヘリウムなどの原子が誕生してこれに端を発し、星の生成そして超新星の爆発などによる重元素の生成、それらが繰り返されて137億年後の今、現在の物質が存在します。

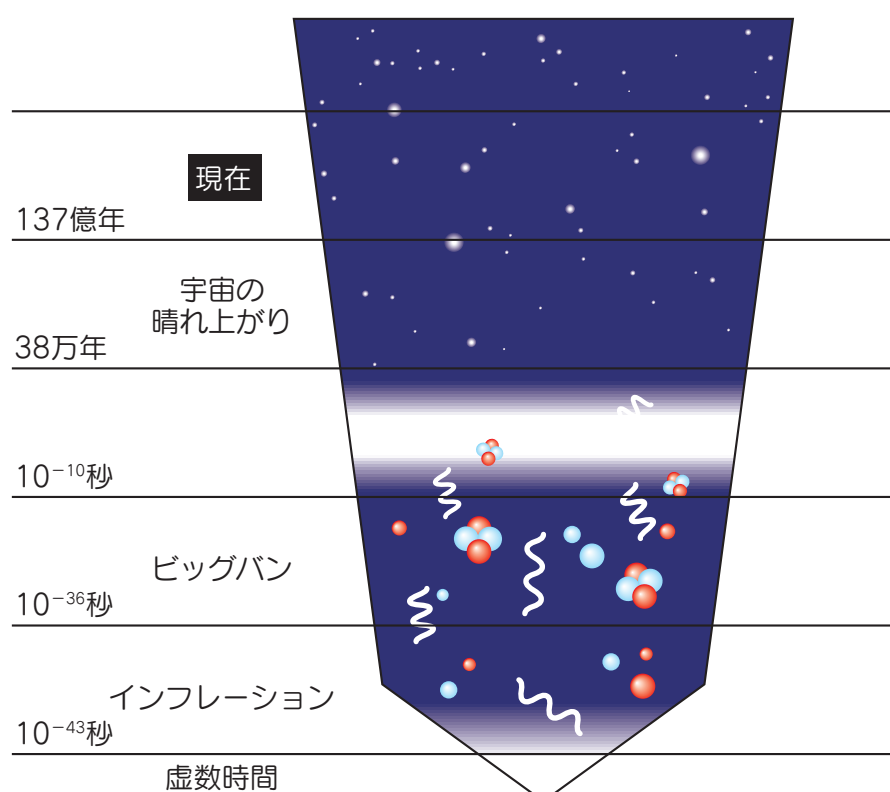
これは元素の周期表（4ページ図表.1 参照）に記載された元素から成る物質であります。現在の宇宙は膨張しておりこの膨張が永遠に続くのか、それとも一転して収縮に転じてしまうのか未来の宇宙はようになるかはだれにもわからないのが現状であります。太陽系はあと50億年後には爆発して燃え尽きる運命にあるとされています。

そして生命の誕生は微生物の化石の発見によって今から37億年前とされており、以来進化をかさねて今日、必要なエネルギーを効果よく獲得する手段を持った生物につくりあげてきました。太陽光のエネルギーを利用して光合成産物である植物や藻類が合成され、その植物や藻類を餌とする生物、その生物を食べる動物、その動物を食べる人間と、食物連鎖によって繋がった無駄のない物質の循環と、高効率のエネルギー系を持った生態系をつくりあげてきました。

現在の宇宙にある物質の全てが消滅しビッグバンの始まる起源の元の真空状態に戻り、その真空状態から再びビッグバンが始まる、その繰り返しのサイクルに載せられる運命にあるのかもしれませんが。そう考えると現在の我々は最もよき時代に生きていると考えざるを得ません。

とはいいながら、現在の暮らしがどうなっても良いということにはなりません。我々を支える生活衣食住環境と生活は、よき方向に整備して健康で楽しい人生を全うしたいのが誰しも望むところでありましょう。

図. 1 宇宙の始まりビッグバンから現在まで



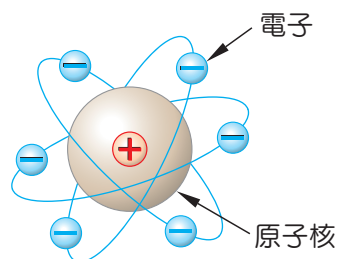
ビッグバン (BigBang) とはビッグバン理論、つまり「この宇宙に始まりがあって、爆発によって膨張して現在ようになった。」とする説。宇宙は最初期の超高温、超高密度の状態生まれ、その後に空間自体が時間の経過とともに膨張し、銀河はそれに乗って互いに離れていったとしている。

電子とは

電子には大きな2つの特徴があります。1つは電気の素量であり、物質の素粒子レプトンであること。2つ目はスピンをしていることです。電子自信回転していますので磁気をもっていることです。

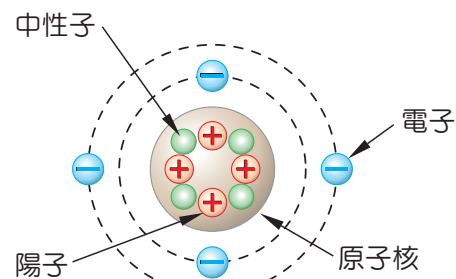
図.2

電子のイメージ図



(a)

原子の構造



(b)

さて物質を構成する分子の最小単位は原子であり、(a) 原子の最小単位は+の電荷を持つ原子核とその周りをとびまわる-の電荷を持つ電子からなっています。(b) 原子核は陽子と電氣的に中性の中性子と π 中間子とからなっています。電子の-電荷と陽子の+電荷は等量の電荷を持ち、電子は自転しながらスピンをしており原子核に束縛されたまわりの軌道を回っていますが、あるときは、原子の最外郭の電子は原子核の束縛から飛び出して自由電子になったり、或いは他の原子に付加して負イオンになったりします。

電子を失った原子は陽イオンになり、同じようにマクロな粒子や物体が荷電された場合は荷電粒子や帯電体になります。古典的に原子核のまわりを回る負の-の電荷を持つ電子はやがて陽の+の電荷を持つ原子核に捕まり中和してしまうことになると考えられますが、実際にはそうにはならず、量子論的に最少エネルギーが保持された状態で、電子は原子核の周りを永久に回りつづけており中和することはないのです。

これは量子論的に考えることで現状の原子構造が矛盾なく説明されています。元素の周期律表(4ページ参照)にはその原子が持つ電子の数や軌道数が示されています。量子論的に電子は捕まえどころなく電子雲の状態で存在していて不確定の位置に存在することになっています。

電子の電荷は $4.8026 \pm 0.02\% \times 10^{-18} \text{esu}$ 、 $1.602 \times 10^{-19} \text{クーロン}$ 有し、電子が自転しているスピンの量子数は $1/2$ であります。電子の質量は $9.1093 \times 10^{-31} \text{kg}$ で一滴の水と電子の大きさを比較すると丁度地球と海岸の砂の一粒にたとえられるほど小さく、陽子は $1.6726 \times 10^{-27} \text{kg}$ で電子の約1840倍に相当する質量を有しています。電子の半径は球状で

電荷は一様に分布しているとして $2.81 \times 10^{-13}\text{cm}$ であります。

電子は粒子でもあり波動でもある2面性をもっています。従って屈折もするし回折もします。
例えば電子顕微鏡に应用されています。

図表. 1 元素の周期表

	1A	2A	3A	4A	5A	6A	7A	8	8	8	1B	2B	3B	4B	5B	6B	7B	0	
1	¹ H 1.0 水素																	² He 4.0 ヘリウム	
2	³ Li 6.9 リチウム	⁴ Be 9.0 ベリリウム	金属元素 金属元素と非金属元素の境界にある元素は、両方の性質をあわせもっている。 非金属元素										⁵ B 10.8 ホウ素	⁶ C 12.0 炭素	⁷ N 14.0 窒素	⁸ O 16.0 酸素	⁹ F 19.0 フッ素	¹⁰ Ne 20.2 ネオン	
3	¹¹ Na 23.0 ナトリウム	¹² Mg 24.3 マグネシウム											¹³ Al 27.0 アルミニウム	¹⁴ Si 28.1 ケイ素	¹⁵ P 31.0 リン	¹⁶ S 32.1 硫黄	¹⁷ Cl 35.5 塩素	¹⁸ Ar 39.9 アルゴン	
4	¹⁹ K 39.1 カリウム	²⁰ Ca 40.1 カルシウム	²¹ Sc 45.0 スカンジウム	²² Ti 47.9 チタン	²³ V 50.9 バナジウム	²⁴ Cr 52.0 クロム	²⁵ Mn 54.9 マンガン	²⁶ Fe 55.8 鉄	²⁷ Co 58.9 コバルト	²⁸ Ni 58.7 ニッケル	²⁹ Cu 63.5 銅	³⁰ Zn 65.4 亜鉛	³¹ Ga 69.7 ガリウム	³² Ge 72.6 ゲルマニウム	³³ As 74.9 ヒ素	³⁴ Se 79.0 セレン	³⁵ Br 79.9 臭素	³⁶ Kr 83.8 クリプトン	
5	³⁷ Rb 85.5 ルビジウム	³⁸ Sr 87.6 ストロンチウム	³⁹ Y 88.9 イットリウム	⁴⁰ Zr 91.2 ジルコニウム	⁴¹ Nb 92.9 ニオブ	⁴² Mo 95.9 モリブデン	⁴³ Tc (98) テクネチウム	⁴⁴ Ru 101.1 ルテニウム	⁴⁵ Rh 102.9 ロジウム	⁴⁶ Pd 106.4 パラジウム	⁴⁷ Ag 107.9 銀	⁴⁸ Cd 112.4 カドミウム	⁴⁹ In 114.8 インジウム	⁵⁰ Sn 118.7 スズ	⁵¹ Sb 121.8 アンチモン	⁵² Te 127.6 テルル	⁵³ I 126.9 ヨウ素	⁵⁴ Xe 131.3 キセノン	
6	⁵⁵ Cs 132.9 セシウム	⁵⁶ Ba 137.3 バリウム	57-71 ランタノイド		⁷² Hf 178.5 ハフニウム	⁷³ Ta 180.9 タンタル	⁷⁴ W 183.9 タングステン	⁷⁵ Re 186.2 レニウム	⁷⁶ Os 190.2 オスミウム	⁷⁷ Ir 192.2 イリジウム	⁷⁸ Pt 195.1 白金	⁷⁹ Au 197.0 金	⁸⁰ Hg 200.6 水銀	⁸¹ Tl 204.4 タリウム	⁸² Pb 207.2 鉛	⁸³ Bi 209.0 ビスマス	⁸⁴ Po (209) ポロニウム	⁸⁵ At (210) アスタチン	⁸⁶ Rn (222) ラドン
7	⁸⁷ Fr 223 フランシウム	⁸⁸ Ra 226 ラジウム	89-103 アクチノイド																

118元素のすべて

- (1) 水素

(2) ヘリウム

(3) リチウム

(4) ベリリウム

(5) ホウ素

(6) 炭素

(7) 窒素

(8) 酸素

(9) フッ素

(10) ネオン

(11) ナトリウム

(12) マグネシウム

(13) アルミニウム

(14) ケイ素

(15) リン

(16) 硫黄

(17) 塩素

(18) アルゴン

(19) カリウム

(20) カルシウム
- (21) スカンジウム

(22) チタン

(23) バナジウム

(24) クロム

(25) マンガン

(26) 鉄

(27) コバルト

(28) ニッケル

(29) 銅

(30) 亜鉛

(31) ガリウム

(32) ゲルマニウム

(33) ヒ素

(34) セレン

(35) 臭素

(36) クリプトン

(37) ルビジウム

(38) ストロンチウム

(39) イットリウム

(40) ジルコニウム
- (41) ニオブ

(42) モリブデン

(43) テクネチウム

(44) ルテチウム

(45) ロジウム

(46) パラジウム

(47) 銀

(48) カドミウム

(49) インジウム

(50) スズ

(51) アンチモン

(52) テルル

(53) ヨウ素

(54) キセノン

(55) セシウム

(56) バリウム

(57) ランタン

(58) セリウム

(59) プラセオジム

(60) ネオジム
- (61) プロメチウム

(62) サマリウム

(63) ユロピウム

(64) ガドリニウム

(65) テルビウム

(66) ジスプロシウム

(67) ホルミウム

(68) エルビウム

(69) ツリウム

(70) イッテルビウム

(71) ルテチウム

(72) ハフニウム

(73) タンタル

(74) タングステン

(75) レニウム

(76) オスミウム

(77) イリジウム

(78) 白金

(79) 金

(80) 水銀
- (81) タリウム

(82) 鉛

(83) ビスマス

(84) ポロニウム

(85) アスタチン

(86) ラドン

(87) フランシウム

(88) ラジウム

(89) アクチニウム

(90) トリウム

(91) プロトアクチニウム

(92) ウラン

(93) ネプツニウム

(94) プルトニウム

(95) アメリシウム

(96) キュリウム

(97) バークリウム

(98) カリホルニウム

(99) アインスタイニウム

(100) フェルニウム
- (101) メンデレビウム

(102) ノーベリウム

(103) ローレンシウム

(104) ラザホージウム

(105) ドブニウム

(106) シーボーギウム

(107) ボーリウム

(108) ハッシウム

(109) マイトネリウム

(110) ダームスタチウム

(111) レントゲニウム

(112) コペルニシウム

(113) ウンウントリウム

(114) ウンウンクアジウム

(115) ウンウンペンチウム

(116) ウンウンヘキシウム

(117) ウンウンセプチウム

(118) ウンウンオクチウム

現在確認されている元素は人工的に合成したものを含めると118種類で、この中の90種類は自然に存在する元素です。

物質と電子

物質の最小単位は分子であり、分子は原子からなり、原子は原子核と電子からなり、原子核は陽子と中性子と電子からなっています。究極的には素粒子であるクォークとレプトンからなっています。表.1 参照。物質の性質は原子核よりも身軽な電子の挙動によって表れるといっても過言ではありません。原子核はあくまで身軽な電子が演ずる舞台を提供していると考えられます。これは物質の性質を理解する上での的を得ていると思われます。そう考えると物質は生命体をも含めて電子回路のネットワークといっても過言ではないでしょう。

物をつくる上でなくてはならない電気も電子の流れによって左右されることは御承知の通りですが、このように世界は電子の流れによって支えられています。

人間が生物の日々の活動をコントロールするために神経システムを通して、脳の指令発信の情報を的確に伝達するのも、活動電位（インパルス）つまり究極的に電子の流れのなせる業であります。人体そのものが電子回路のネットワークシステムになっています。

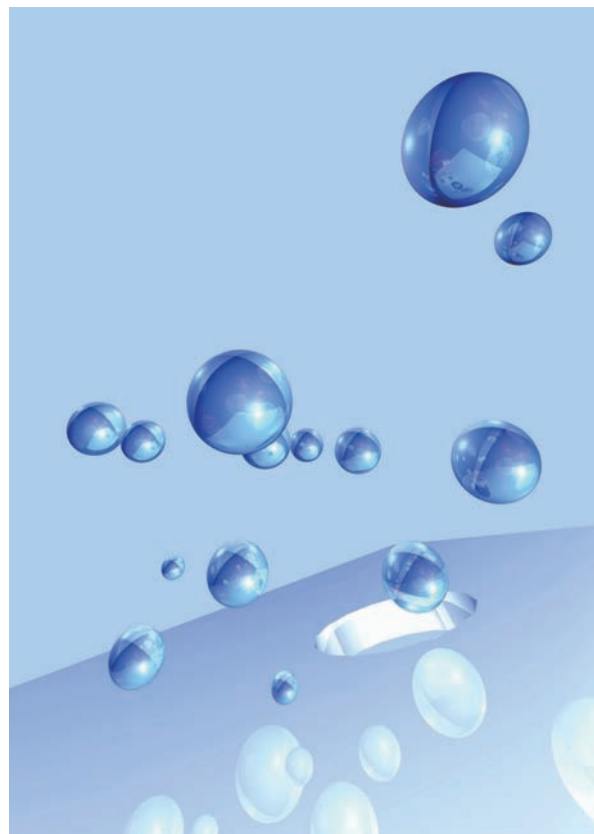
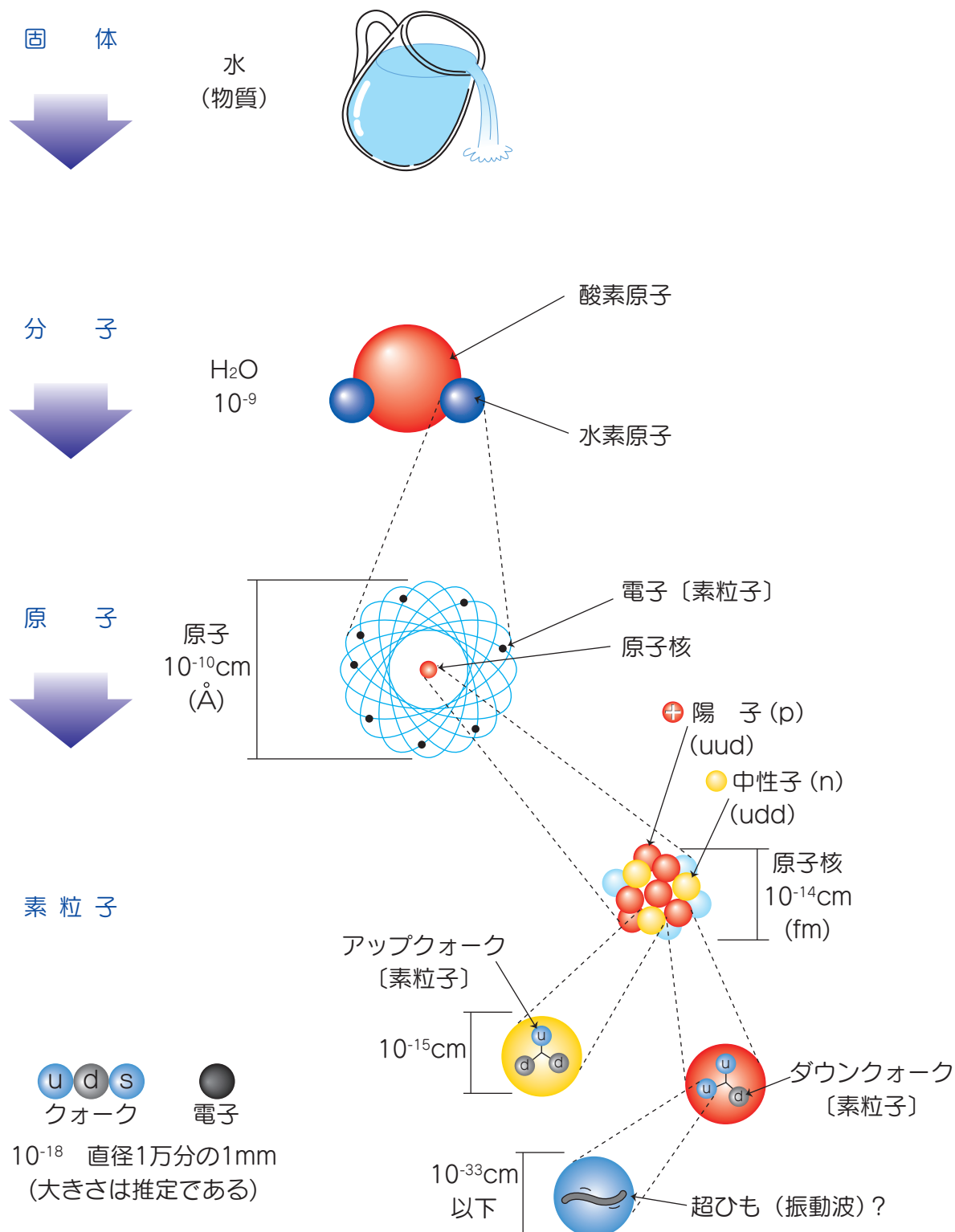


表.1 クォークとレプトン

	第1世代	第2世代	第3世代	電 荷
クォーク	u (アップ) 2~8MeV	C (チャーム) 1.3~1.7GeV	t (トップ) ~174GeV	+2/3
	d (ダウン) 5~15MeV	S (ストレンジ) 0.1~0.3GeV	b (ボトム) 4.7~5.3GeV	- 1/3
レプトン	ν_e (電子ニュートリノ) <7.2eV	ν_μ (ミューニュートリノ) <270KeV	ν_τ (タウニュートリノ) <31MeV	0
	e (電子) 0.51MeV	μ (ミュー) 105.66MeV	τ (タウ) 1784.1MeV	-1

図.3

分子・原子・原子核・クォークの大きさ

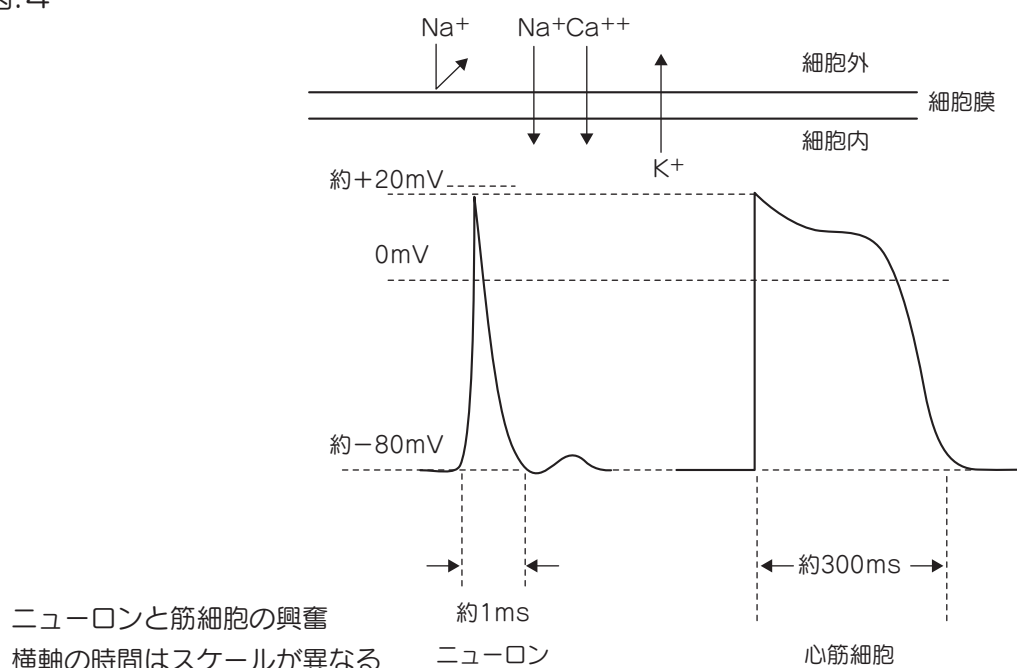


心臓のポンプ作用の収縮弛緩の繰り返しの心拍周波震動は、洞結節の発信機がリズムを作り作動することでおこなわれています。洞結節の発信機は電子とプロトンの共役反応によってリズム（電気信号）がつくられ、そのリズムが心臓に伝達されて心臓の鼓動が進行するのです。真っ先に洞結節が細胞内外に Ca^{++} イオンの濃度勾配（細胞外で高濃度）を作り、電位差（80mV）を生じせしめ細胞外の Ca^{++} イオンが周期的（1Hz）に細胞内に流入することで、細胞内の負電位が陽電位になる毎に活動電位が周期的に生じ、電気的な信号が自発的に発生するのです。細胞内に流入した余剰の Ca^{++} イオンは能動輸送ポンプ（ポンプの駆動エネルギーは、ATPとプロトン H^+ のエネルギー使用）により細胞外に戻され元の状態に維持されてこれが繰り返されるのです。図.5参照。

洞結節は自然に発生した生体発電機なのです。図.4参照。自然界のすばらしさに驚くばかりです。神ならではのなせる技であります。活動電位発生の基本は電子の流れによって生じているのです。

物質は図表.1の元素の周期表に見られるように特有の電子の構成からなってます。このような異なる元素から成る物質が、合成反応をおこしてできた新物質の性質は夫々が出し合った電子の電子軌道とその結合状態によって決まってきます。

図.4

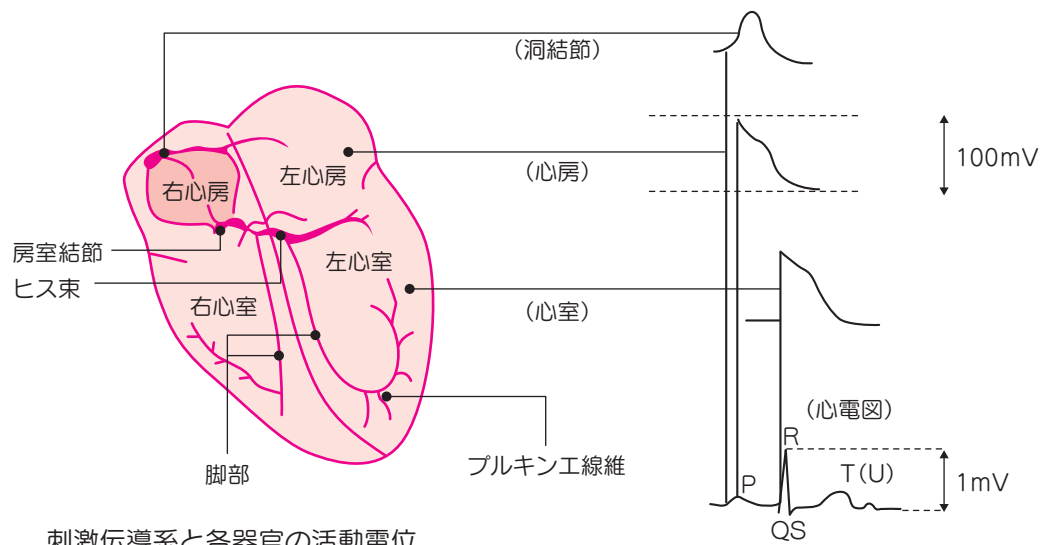


化学反応は反応物質の電子のやり取りによって決まってきます。その性質は電子の流れ、偏り、原子格子における電子密度によって決まってきます。また電子は自転しておりスピンを持っていますので、スピンの向きが相殺する場合は磁性は発生しませんが、そうでない場合は磁性が発生します。磁性の基本原理になります。

以上のように全て千羅万障が電子によって支配され演じられていることがわかります。

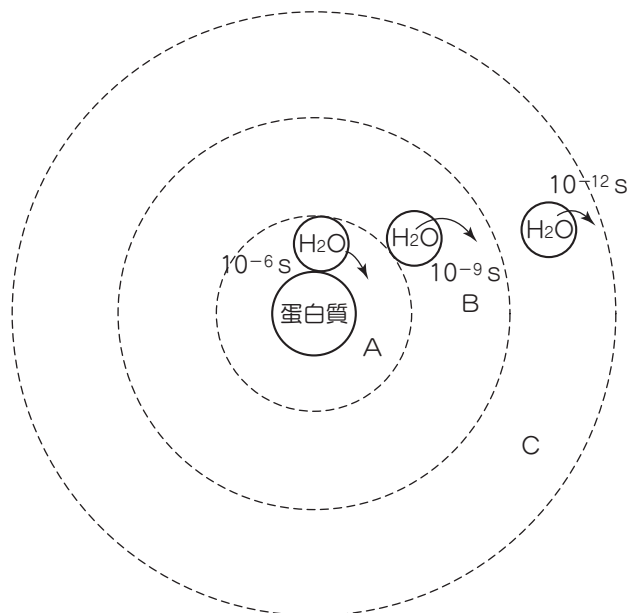
図.5

洞結節は発電機、その電気的リズムが心臓を動かす



刺激伝導系と各器官の活動電位
心電図との時間関係も示してある

図.6



蛋白質のまわりの水の状態

蛋白質の水和構造

蛋白質はその周りからの外乱、例えば蛋白質同士の反応や酸素など酸化反応など反応をおこしやすい種の直接攻撃から守るために水和構造を形成していると考えられます。蛋白質の水和構造は3層構造からなっているとされており、蛋白質に最も近い第1層（A層）に結合している結合水は 10^{-6} 秒の速さで回転振動運動をしており、その外側の第2層（B層）に結合している結合水は 10^{-9} 秒の速さで回転振動運動をしており、第3層（C層）に結合している結合水は 10^{-12} 秒の速さで回転振動運動をしており何れも純水中の水分子の熱運動に比べれば第1層で 10^{-6} 倍、第2層で 10^{-3} 倍もその運動が遅くなっています。第3層では結合水と束縛されない自由水の水分子とが容易に交換できるくらいの速さで遅くなっていると考えられています。

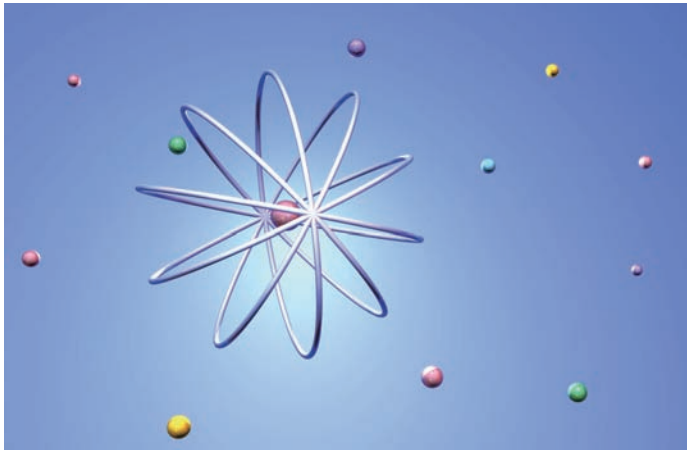
第1層の結合水はほぼ1コの水分子層からなり第2層の結合水は2～3コの水分子層からなっており第3層の結合水はその境界がはっきりしないくらいの厚さで推移していると思われます。そのイメージ図を図.6に示しました。低温下では第1層の結合水は約 -80°C で第2層の結合水は約 -10°C で凍るとされており、低温で凍りにくい状態を形成しており、このように熱温度変化に対し安定な状態を保持するのは水和構造のたまものであると考えます。

このように蛋白質以外の生体高分子、例えば核酸や多糖類においても同じような水和構造をとるので生体内で安定な状態で存在することができると考えられています。

但し、このような水和構造の保護作用は水分子の熱運動に関係しており、水分子の熱運動に直接関係のない外界からの外乱の作用に対して例えば光や放射能、反応性の強い物質にはその保護作用は殆ど有効ではないと考えられます。



生命体と電子



約45億年前に誕生した地球の生命の起源は、化石の探査から微生物が発見されたことから約37億年前であろうとされています。そして現在に至るまで進化が繰り返し起こり今日の人間や他の生物があります。このように考えるとき生命とは「何か」ということです。生命とは次の3つの条件にあてはまるものをさすといつて間違いはないでしょう。

- 1) 細胞のようにある仕切り細胞膜や細胞壁をもって、外世界と独立した内空間細胞組織をもっていること。
- 2) 外界から細胞内に物質やエネルギーを取り込んだり、放出したりする代謝反応を営んでいること。
- 3) 非平衡状態ながらも動的平衡を保持しつつ、自己複製（遺伝子を持ち増殖機能）をもっていること。

私たち人間を含めて生物が身体を維持し、その体を動かし、子孫を残して生きてゆくにはエネルギーが必要です。一時たりともエネルギーの供給を欠かすことができません。

生命体の必要なエネルギーを定常的に獲得する手段として、食物連鎖によって効率的なエネルギーの流れを作ってきました。エネルギーの源泉は太陽光エネルギーによる光合成産物にあります。光エネルギー→光合成→食物連鎖によってできた食物を食べることで生きるためのエネルギーを得ているのです。

生体が細胞膜や細胞壁で閉じられた袋状の細胞で、生体エネルギー交換が行われます。つまり生物が食物によって取り入れたエネルギーは最終的にこの細胞の内外にプロトンの濃度差をつくり、浸透圧（化学ポテンシャル）と電位差（電気ポテンシャル）の状態で交換し蓄えられます。このエネルギーはATP酵素ATPアーゼー触媒の存在下ATP合成に使われます。全ての生物はこのATPエネルギーを用いて物質の合成、分解、運動などに使われています。

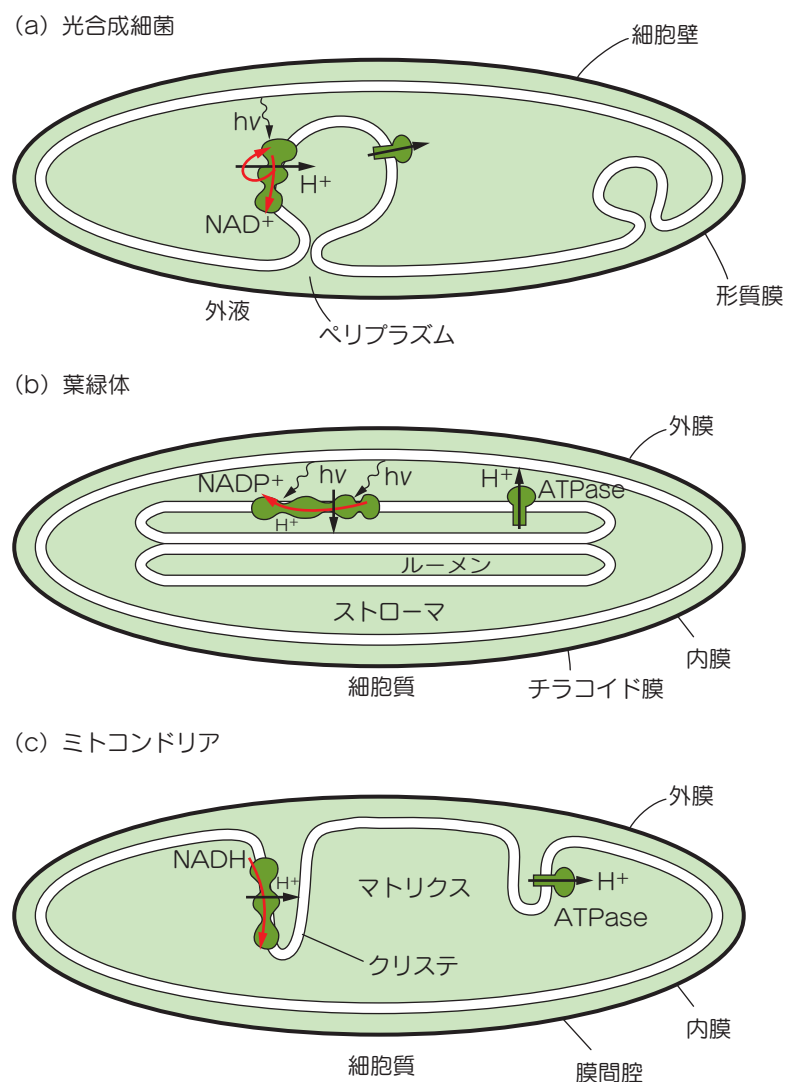
ATP合成など生物の中で生じるエネルギー、つまり生体エネルギーを支えているのが電子の流れでありそのエネルギーであるといえます。電子と共役して働くプロトンの能動輸送のエネルギーを供給するのも電子の役割であります。即ち生体は電子回路のネットワークで構成されています。

同様なことが植物の葉緑体の光合成システムや、人間や生物が生きてゆくために、食することでエネルギーを獲得し、そのエネルギーを生体エネルギーに交換（グルコースの解糖システムから、トリカルボンサンサイクル（TCA）→ATP合成システムなど）の過程にも見られます。図.10参照（TCAサイクル）。

このように生命体の情報伝達はイオンチャンネルを通じて細胞内へのイオンの流入や、細胞外へのイオンの排出に必要な能動輸送によって生じる活動電位インパルスの伝達に支えられています。このエネルギーは電子の流れとプロトンの流れが共役して働いているのです。究極的には電子の流れによって支配されているのです。図.7参照。

図.7

生体エネルギー変換の「場」



生体エネルギー変換で重要なオルガネラの構造と働きの模型図

電子の流れは黒い矢印、プロトンの流れは赤い矢印で示される。光の吸収は波線の矢印で示される。

はじめに生体エネルギー変換を行う場について説明しよう。先に述べた葉緑体やミトコンドリアは生体エネルギー変換のもっとも中心的な働きをするオルガネラである。高等植物では、葉緑体で光エネルギーを電気化学ポテンシャルに変え、さらに高いエネルギーを持った分子（ATPとNADPH）を作る。NADPHはカルビンサイクルで糖を作るのに使われ、その後NADHが作られる。

ミトコンドリアで、NADHの高い電子エネルギーを用いて大部分のATPが作られる。動物では、他の生物を食し、NADHを作り、それを用いて、ミトコンドリアでATPを作る。ミトコンドリアは多細胞生物のすべての細胞に存在する。

もっと下等な紅色光合成細菌では光合成器官のみを持ち、そこで大量のATPとNADHを作る。

光合成細菌（*Rhodobacter sphaeroides*）の反応の場は細胞膜とつらなった球状の膜中にある。実際の球状の膜はもっと小さく、もっと数が多いが、簡単化・誇張して描かれている。葉緑体の反応の場はチラコイドと呼ばれる積み重ねた円盤膜中にある。これも円盤の数を省略し、誇張して描かれている。ミトコンドリアの反応の場は入り組んだ内膜中にある。クリステと呼ばれる入り組んだ膜は単純化して描かれている。

これら3つのオルガネラはいずれも $1\mu\sim$ 数 μm の大きさである。それはこれらのオルガネラが、いずれも昔は自活した細菌であったことによる。葉緑体では2つの光化学系（PS IとPS II）が見られる。

これは、かつて自活していた2種類の細菌の光合成単位が1種類の光合成細菌に取り込まれ（藍色細菌）、それが真核生物の共生によって取り込まれたことによる。

3つのオルガネラで共通して見られる次のことは重要である。生体膜に挟まれた膜タンパク質中を電子が流れ、それとカップルしてプロトンの能動運送が誘起される。このような普遍性・統一性のある電子とプロトンの物理的運動が生命力の主役となって働いているのは驚くべきことである。

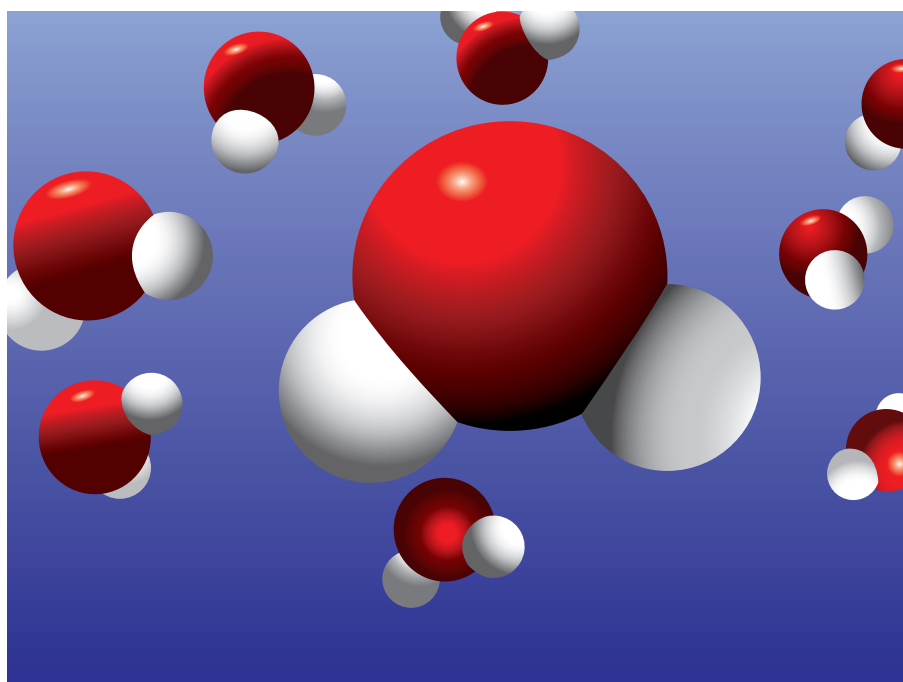
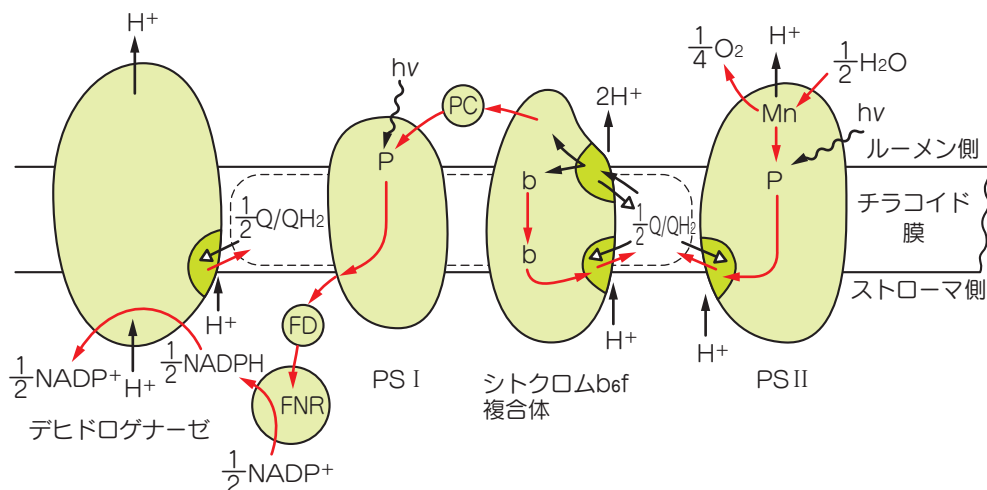


図.8

電子とプロトンのカップルした運動—葉緑体の場合



葉緑体中チラコイド膜を介した電子とプロトンのカップルした運動の模型図

矢印の意味は図.7と同じである。光はPS IとPS IIで吸収される。光のエネルギーを借りて、水から電子を送り込む。PCはプラストシアニン、FDはフェレドキシン、FNRはフェレドキシン-NADPレダクターゼである。

太い黒線は電子の流れ 赤線はプロトンの流れ 黒の細線点線で囲った部分はキノンプール

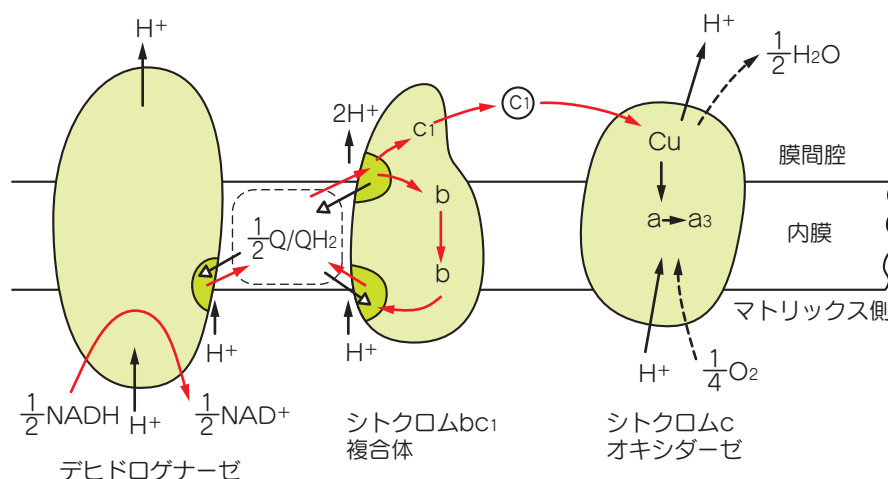
葉緑体の反応の場は、図.8に示すように、チラコイド膜を介して、主として2つの反応中心（PS IとPS II）とシトクロムb₆f複合体とデヒドロゲナーゼの4種類からなる。PS IIからb₆f複合体までの電子とプロトンの流れは、上で述べた光合成細菌の場合と極めて似ている。1電子がベクトル的に流れるごとに2つのプロトンがルーメン側に運ばれる。すなわち、Qサイクルが存在する。唯一の違いはb₆f複合体で受け取った電子をPS IIのスペシャルペアに戻さないで、PS Iの反応中心に渡すことである。PS Iでも光を吸収してスペシャルペアが電子励起され、電子をベクトル的にストローマの方向に流している。そうしてできたスペシャルペアのカチオンを中性化する目的で、b₆f複合体からPS Iに電子が送られるのである。PS Iのストローマ側から電子が取り出され、フェレドキシン（FD）を経て、フェレドキシンNADP⁺レダクターゼ（FNR）でNADP⁺を還元して、NADPHを作るのに使われる。PS IIに残されたスペシャルペアカチオンは、水から電子を引き抜き（酸化して）酸素分子を作る過程で中性化される。

この葉緑体における電子の流れは、光合成細菌におけるものと異なり、非循環型である。しかしながら、図.8左端に示したように1部循環型の経路が存在する。葉緑体全体としてATPが不足するので、作られたNADPHの一部はデヒドロゲナーゼによって、NADP⁺に酸化されるとともに、キノンを還元してハイドロキノンとしてキノンプールに戻る。このようにデヒドロゲナーゼを介した循環回路が一部存在するが、基本的には全過程は非循環型である。それは次の理由による。葉緑体の究極の電子源是水である。しかしながら、水分子中の電子は安定に存在しており、水分子から電子を引き抜くのは容易ではない。光合成細菌

はそれができないので、水よりもいくらかエネルギーの高い基質AH₂から電子を引き抜く方法を探っている。葉緑体では、P S IとP S IIで2度光エネルギーを取り込み、協力して動くことによって、安定な水分子から電子を引き抜くことが可能となったのである。水を基質とすることによって、その生活圏が莫大な広がりを持つようになったことは言うまでもない。この光合成による全体の物質の変化は次のようになる。



図.9 電子とプロトンのカップルした運動ーミトコンドリアの場合



ミトコンドリア内膜を介した電子とプロトンの運動の模式図

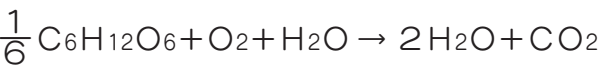
矢印の意味は図.8と同じである。高エネルギー分子のNADH電子を送り込む。

ミトコンドリアでは糖を分解して最終的に大量のATPが作られる。糖は最初、細胞質中の解糖系とマトリクス中のクエン酸回路によってNADHに変えられる。その後のミトコンドリア内膜を介した反応の場は、図.9に示されるように、主としてシトクロムCオキシダーゼ（以下、オキシダーゼと略す）とbc1複合体とデヒドロゲナーゼからなる。

これを図.8の光合成細菌の場合と比較すると、反応中心とオキシダーゼが異なるものの、システムとしてよく似ている。それにもかかわらず起る反応は全く逆である。デヒドロゲナーゼでNADHから電子を引き抜き、キノンを還元するのに使い、還元されたハイドロキノンは拡散によってbc1複合体に近づき、シトクロムC1に電子を渡す経路と、bc1複合体縦断してマトリクス側に電子を運ぶ経路に別れる。後者はマトリクス側で結合しているキノンを還元して、プロトンを取り込む。その後ハイドロキノンはキノンプールに戻る。以上はQサイクルである。前者はシトクロムcを運搬役にして、オキシダーゼに電子を渡す。

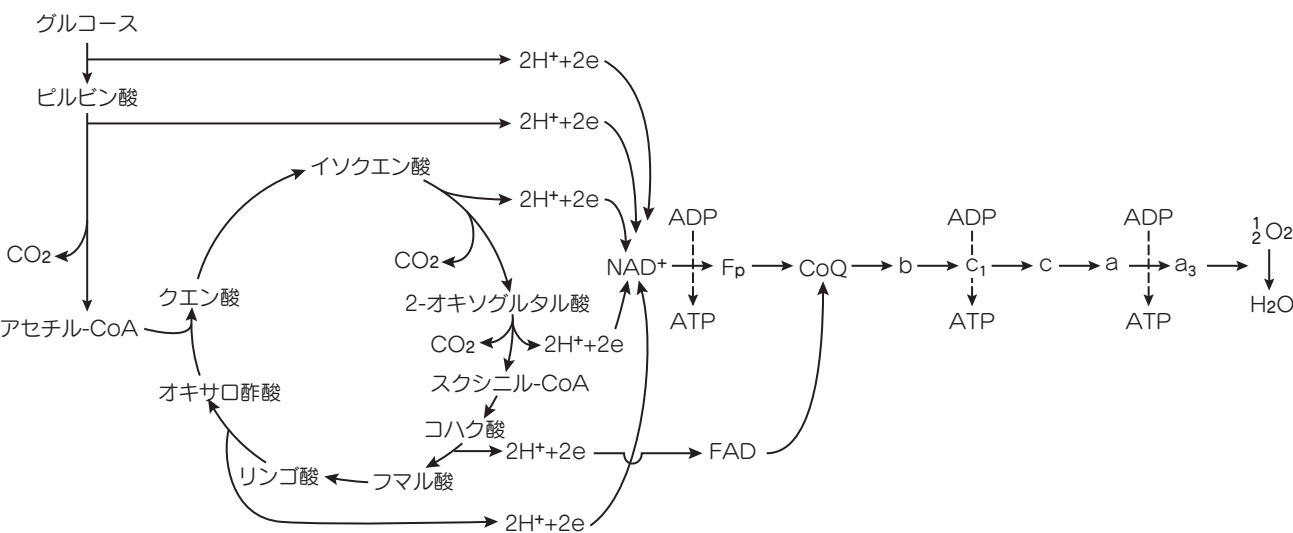
電子がオキシダーゼを縦断する間に、マトリクス側からプロトンと酸素が取り込まれ、膜間腔にプロトンと水分子が放出される。その結果、NADHの電子が酸素分子に与えられることになる。図では、単純化して1電子が移動する間に3個のプロトンがマトリクス側から膜間腔に運ばれるように描いているが、これはまだ実験的に確定していない。

こうして作られたプロトンの濃度勾配による電気化学ポテンシャルは同じ生体膜中に多数存在するATP合成酵素によってATPを大量に合成するのに使われる。解糖系とクエン酸回路を含めたミトコンドリアでの全体の物質の変化は次のようになる。



すなわち、糖が燃焼して水と炭酸ガスになる。これが呼吸と呼ばれる所以である。

図.10 グルコースの解糖反応経路
 TCAサイクル（クエン酸サイクル）
 電子伝達と酸化的リン酸化



解糖系	4×基質レベルのリン酸化-2 ATP = 2 ATP
2ピルビン酸 → 2アセチル-CoA	2×NADHの酸化的リン酸化 = 6 ATP
TCAサイクル（2回）	$\left\{ \begin{array}{l} 6 \times \text{NADHの酸化的リン酸化} = 18 \text{ ATP} \\ 2 \times \text{FADH}_2\text{の酸化的リン酸化} = 4 \text{ ATP} \\ 2 \times \text{基質レベルのリン酸化} = 2 \text{ ATP} \end{array} \right.$
解糖系からの2NADH	4-6 ATP
合 計	36-38 ATP

生体と水の性質

生体の60%~80%は水分子（ H_2O ）で占められており生体が生命を維持する上でなくてはならない物質であります。また、水分子の構造と基本的特性は特異的であります。水はグラム分子量18gと小さな分子ながら熱容量が大きく $\sim 0^\circ\text{C}$ から 100°C ~の狭い温度帯を挟んで氷（固体）、水（液体）、蒸気（気体）の3態の相変化をもたらし、それら相変化時には夫々大きな潜熱を持っています。 0°C で液体の水が凍って氷になるときは 80cal/g の潜熱を放出し、その氷が解けるとときには 80cal/g の潜熱を吸収します。誰しもが雪が降るときは暖かく雪が解ける時は冷えると感じるのはこの潜熱の放出と吸出が行なわれるためです。 100°C で水が沸騰し蒸気になるときは 540cal/g の潜熱吸収し、逆に蒸気が冷えて水になるときは 540cal/g の潜熱を放出します。

このように相変化時に大きな潜熱を伴うのは水分子同士が水素結合を持って集団を作っているからです。一般にその集団をクラスターという場合があります。その水素結合は物質を構成する化学結合に較べれば小さいものの、水分子間の水素結合は 5Kcal/gmol と比較的に大きく、水分子が集団ともなればその総水素結合力は大きなものになります。

この水素結合は水分子が電気分極を起こし、酸素原子が隣の水素原子から電子を引っ張ってマイナス（-）に荷電し、一方の水素原子は電子を取られてプラス（+）に荷電するため水分子が分子内で-と+に電気分極を起こすために、隣同士の電気分極した水分子が電氣的に結合することによって生じるのです。この水素結合は電気分極をおこす分子との間でも結ばれます。例えばDNAの2本鎖構造は水素結合によるものであり、蛋白質の水和構造も水素結合によってもたらされるのです。蛋白質の水和構造の概念図を図.6に示す。

生体中の水は結合水と自由水に大別されており、結合水は蛋白質などの基質に結合した水分子であり、その基質分子を構成する分子の一員となっており単独の水分子の性質は封印されているのです。自由水は水分子として自由に動ける水分子であります。冷凍して出来る氷結晶は自由水が凍結したものであり、結合水は氷結晶にはなりません。このような水和構造は生体においてはなくてはならない必然の構造であり、酵素の反応にも大きく関わっています。この水和構造には完全な無欠陥の構造にはならないで、水分子が水和してしかるべきところ（サイト）が空になって欠陥を有している場合が多いと考えられます。このような場合の修復にはMDAシステムの作用機能が有効になると考えられます。外部からのMDA誘電機能を作用させることでその空のサイトに水分子を誘導させ水和構造を完結させることが出来ると考えられます。水和構造が完結されることによって酵素の触媒反応もスムーズに進行させることが出来るし、かつ水和層によって外からの酵素の直接攻撃による酸化反応も防止することが出来るなどが考えられます。

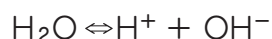
このような場合の修復にはMDAシステムの作用機能が有効になると考えられる。外部からのMDA電子の誘電機能を作用させることで、その空のサイトに水分子を誘導させ水和構造を完結させることが出来ると考えられる。水和構造が完結されることによって酵素の触媒反応もスムーズ進行させることが出来るし、かつ水和層によって外からの酸素の直接攻撃に

よる酸化反応も防止することが出来るなどが考えられる。

水分子はわずかに一部プロトン H^+ と OH^- イオンに解離している。

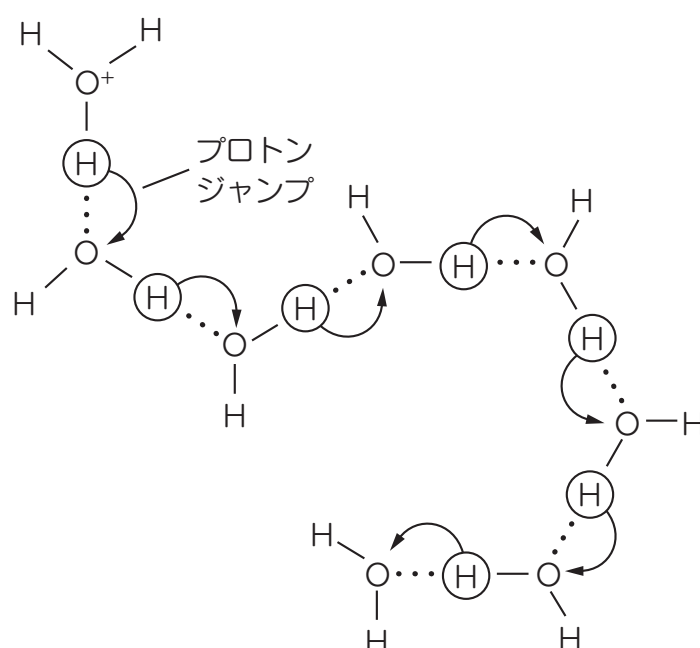
H^+ は水和したヒドロキソニウムイオン H_3O^+ とこれに水分子が水和したイオン構造になっている。 OH^- イオンも同様にヒドロキシイオンとさらに水和した構造になっている。

水の解離を普通一般に簡便のため次式で表す。



H^+ イオンや OH^- イオンは実際存在しない。ヒドロキソニウムイオン H_3O^+ や O_2H_3^- イオンになっており、更に水分子が付加しているような状態になっている。このような H^+ イオンや OH^- イオンは水の中でふつうのイオンよりずっと早く動き、 H^+ と OH^- の酸塩基の反応速度が水溶液中で速いのは図.11に示すように、プロトンが水分子から水分子へと速やかにジャンプすることによるものとされている。

図.11



プロトンジャンプ ヒドロキソニウムイオン（およびヒドロキシイオンも）
の動きがふつうのイオンの動きよりずっと速いのはプロトンジャンプのため。

水の解離はもとの分子の濃度を分母に、生じるイオン濃度の積を分子にして次式で表す。

$$K = \frac{[H^+][OH^-]}{[H_2O]} \quad (2.1)$$

Kは解離定数([]は物質のモル濃度を示す)である。解離していないH₂Oの濃度([H₂O])は解離したイオンの濃度よりはるかに大きいので一定と考えKの中に入れると、

$$KW = [H^+][OH^-] \quad (2.2)$$

このkwの値は25℃で10⁻¹⁴M²である。

純水ではH⁺とOH⁻は等モル生じるので[H⁺]=[OH⁻]=(KW)^{1/2}=10⁻⁷M。[H⁺]と[OH⁻]は(2.2)式により逆比例の関係にあるので[H⁺]が10⁻⁷Mより大きければ[OH⁻]は相当するだけ小さくなる。

[H⁺]が10⁻⁷Mの溶液は中性、10⁻⁷Mより大きければ酸性、小さければ塩基性であるという。生理的条件の溶体はふつう中性に近い。たとえばヒトの血液はわずかに塩基性で[H⁺]=4.0×10⁻⁸Mである。

表.2 身のまわりの溶液のpH

溶 液	pH
1MNaOH	14
家庭用アンモニア水	12
海 水	8
血 液	7.4
牛 乳	7
唾 液	6.6
トマトジュース	4.4
酢	3
胃 液	1.5
1MHCl	0

[H⁺]の値は非常に小さくて不便なので、ふつう1909年 Soren Sorensen が提案した方法、pHで表す。

$$pH = -\log [H^+]$$

pHが高いのは[H⁺]が小さいこと、pHが低いのは[H⁺]が大きいことである。純水のpHは7.0、酸性溶液ならpH<7.0、塩基性ならpH>7.0、pHが1下がると[H⁺]は10倍になる日常接する溶液のpHを表.2に示す。

表.3

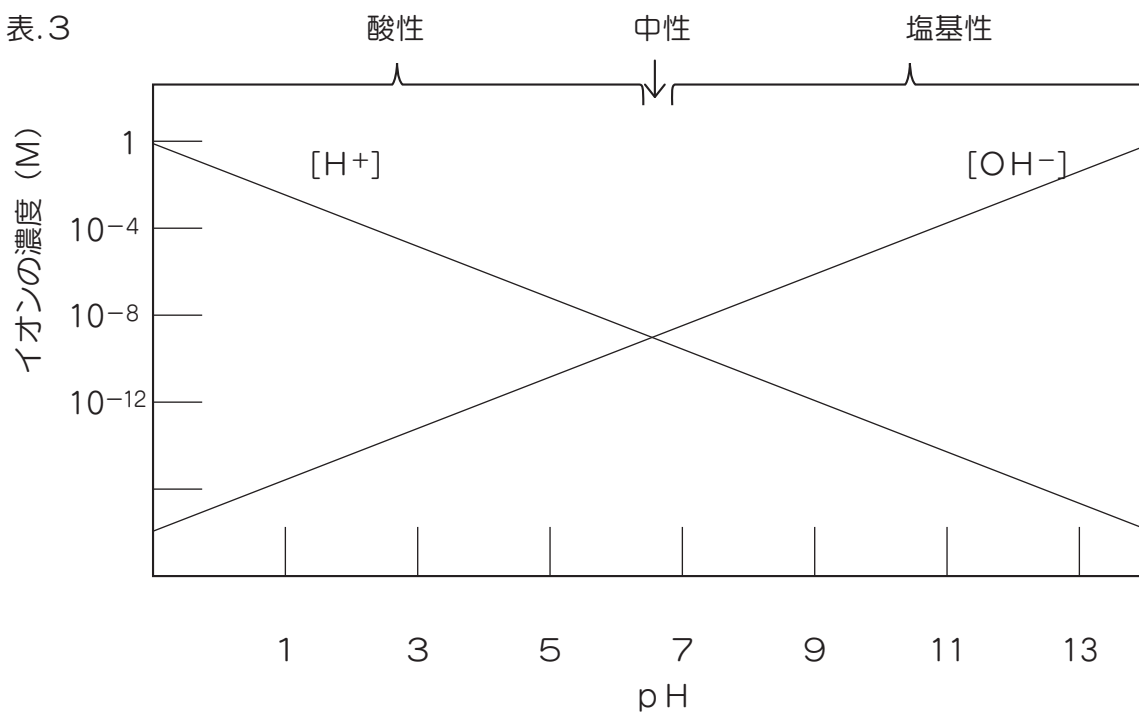


表.3 H⁺、OH⁻の濃度とpHの関係 [H⁺] と [OH⁻] の積は一定 (10⁻¹⁴M²) なので [H⁺] と [OH⁻] は逆比例する。 [H⁺] の濃度が大きいとき (pH<7) は酸性、小さいとき (pH>7) は塩基性、 [H⁺] = [OH⁻] =10⁻⁷M (pH=7) のときは中性、イオン濃度は対数スケール。

表.3にはpH値とH⁺イオン濃度の関係はわかり難いので換算表を示す。

H⁺濃度 ← → pH値換算表

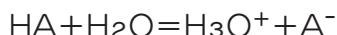
pH	H ⁺	pH	H ⁺
7.0	1.00×10 ⁻⁷	7.1	0.79×10 ⁻⁷
7.4	0.40×10 ⁻⁷	7.8	0.16×10 ⁻⁷

酸-塩基の化学

水から生じる H^+ ・ OH^- イオンは生化学反応で重要であります。タンパク質や核酸など生体物質には、酸性、塩基性を示す多くの官能基、たとえばカルボキシ基やアミノ基があります。これらの分子は周りの水のpHに影響し、また廻りのpHによって構造、反応性が変わりますので、酸-塩基の問題は多くの分子の働きを理解する上で重要であります。

酸はプロトンを与える

1880年代S. Arrheniusの定義によれば酸とはプロトンを与える物質、塩基とはヒドロキシイオンを与える物質をいう。この定義は当てはまらない場合もある。たとえば NH_3 はOH基をもたないが塩基としての性質をもつ、1923年J. BronstedとT. Lowryの定義はもっと一般的で、酸とはプロトンを与える物質（アレニウスの定義と同じ）、塩基とはプロトンを受け取る物質であります。ブレンステッド・ローリーの定義によれば、酸HA



は塩基 H_2O と反応して酸の共役塩基（ A^- ）と塩基の共役酸（ H_3O^+ ）を与える。すなわち酢酸（ CH_3COOH ）の共役塩基は酢酸イオン（ CH_3COO^- ）である。アンモニウムイオン（ NH_4^+ ）はアンモニア（ NH_3 ）の共役酸であります。

酸-塩基の反応は H_2O を省略して $\text{HA} = \text{H}^+ + \text{A}^-$ と書くことが多い。

酸の強さを表す解離定数

酸-塩基の反応平衡は反応物の濃度を分母、生成物の濃度を分子におく解離定数で表す。

$$K = [\text{H}_3\text{O}^+][\text{A}^-] / [\text{HA}][\text{H}_2\text{O}]$$

希薄溶液では水の濃度 55.5M （ $1000\text{g} \cdot \text{L}^{-1} / 18.015\text{g} \cdot \text{mol}^{-1} = 55.5\text{M}$ ）で事実上一定なのでこれをKと一緒にして、

$$K_a = [\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{H}^+][\text{A}^-] / [\text{HA}]$$

解離定数も $[\text{H}^+]$ のときと同じようにpK値で表すことが多い。

$$\text{pK} = -\log K$$

酸はプロトンを水に与える強さで分類する。表3に示す酸を弱酸といい水の中で一部しかイオン化しない（ $K < 1$ ）。いわゆる鉱酸、 HClO_4 、 HNO_3 、 HCl などは強酸である（ $K > 1$ ）、強酸はそのプロトンを全部すぐ H_2O に与えるので、水溶液中で安定に存在すると最強の酸は H_3O^+ ということになる。同様に水溶液中の最強の塩基は OH^- である。生化学系で起こる酸-塩基反応には H_3O^+ （と OH^- ）と弱酸（その共役塩基）が関与する。溶液のpHは酸と塩基の濃度で表されます。

$$\text{pH} = \text{pK} + \log [\text{A}^-] / [\text{HA}]$$

水は物をよく溶かすよき溶媒である。特にイオンや極性分子や親水性物質はよく水に溶ける。酸性やアルカリ性になると中性では溶けなかったものがよく溶けるようになる。

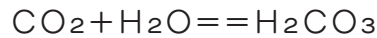
生体にとってこのような水溶液のpHを一定に保つような緩衝作用はきわめて重要である。

純水の水1Lに塩酸1M HClを0.01ml加えるだけで H^+ 濃度が100倍になるわけだが、生態系がこのように変わると生きてゆけない。pHのわずかな変化で生体分子の構造も機能も大きく変わるからである。緩衝作用には弱酸の存在が重要になる。ヒト血液の緩衝作用の主役は炭酸水素塩である。

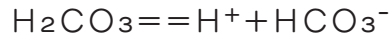
血液の緩衝作用

ヒト血液の緩衝作用の主役は炭酸水素塩である。緩衝作用をもつ他の物質、タンパク質や有機酸ははるかに低濃度しか存在しない。血液の緩衝作用の基本は次の二つの平衡である。

(1) 血液に溶けている気体のCO₂と水との平衡、



(2) 炭酸と炭酸水素イオンの平衡



この二つの反応全体としてのpkは6.35(炭酸の第二解離、 $\text{HCO}_3^- \rightleftharpoons \text{CO}_3^{2-}$ はpK10.33なので生理条件では起こらない)。

代謝反応でH⁺ができ血液のpHが下がると(2)の反応が左にずれ、(1)の反応も左にずれる。生じるCO₂は肺から気体で排泄される。反応に血液のpHが上がると(2)の反応が右にずれ、呼吸が調整されてCO₂を逃がさなくなりH₂CO₃が増す。こうして血液の水素イオンはほぼ一定に保たれる。

血液の緩衝作用に異常が起こりアシドーシスとなるとpHが7.1に、アルカローシスとなればpHは7.6にまで上がる(正常値pH7.4から前後0.05pH単位程度は異常とは考えない)。たとえば肺の障害でCO₂を吸気に十分出せなくなると呼吸性アシドーシスとなり、呼吸亢進でCO₂が過度に失われると呼吸性アルカローシスになる。食事由来の前駆体から有機酸ができすぎたり、運動で突然酸レベルが上がったりすると代謝性アシドーシスになる。

酸-塩基のバランスの崩れを防ぐにはそのもとである生理的な問題を解決しなければならない。対症療法としてはアシドーシスにはNaHCO₃を静脈注射する。アルカローシスの処置はより難しい。代謝性アルカローシスにKClまたはNaClが効くことがある。(Cl⁻が増えると腎臓からH⁺の排泄が小さくなる。)呼吸性アルカローシスはCO₂を加えた空気を呼吸することでよくなる。

このように人の血液はpH7.4±0.05に保持されています。この血液が酸性に傾くとアルカリ側に戻して中和し、アルカリ性に傾くと酸性側に戻して中和し常にpH7.4になるよう調節されています。これは恒常性(ホメオスタシス)という機能が働くからです。MDAシステムはこの恒常性の機能を強力にサポートします。

それはMDAシステムの電子シャワー装置から放射される電子はマイナスイオンとなってこの恒常性を強化すべく後押しをするからです。MDAマイナスイオン帯電水はわずかにアルカリ側にpH値をシフトさせ還元性を付与させます。常にプロトンを中和するように働き、例えば細胞内外のイオンなどの物質移動を司る細胞膜のリン脂質などの過酸化脂質やラジカル種の不対電子に自らの電子を与えて酸化活性を失活させ細胞膜を保護するよう働くからと考えられます。

水は電子を取り込み水和電子水をつくります。これは電子を運ぶキャリアーとして機能すれば還元性を付与する電子供与体になりますし、スーパーオキシドアニオンO₂⁻イオンなど活性酸素種をも作ります。が還元剤としての機能性を強調するよう調節することで酸化活性を失活させ還元性の機能を付与させることが出来ます。MDAシステムは還元性を付与する電子供与体として機能するよう調節されています。

水の基本的性質

水の特異的な特徴のある性質のうち主なものは

- 1) 凝集エネルギー密度が大きい
- 2) 誘電率が大きい
- 3) 分子の大きさの割には沸点、融点とも高い
- 4) 熱容量が大きい
- 5) 固体（氷）より液体（水）のほうが密度が大きい、特に4℃で密度が最大で4℃を境に温度の上昇と共に、又は温度の低下と共に密度は小さくなる
- 6) 水分子は電気分極した双極子であり水素結合で水分子集団を作りやすい。かつ他の物質と水和構造を作りやすい

表.4

酸の解離定数とPK値（25℃）

酸	K	pK
シュウ酸	5.37×10^{-2}	1.27 (PK ₁)
リン酸 (H ₃ PO ₄)	7.08×10^{-3}	2.15 (PK ₁)
ギ酸	1.78×10^{-4}	3.75
コハク酸	6.17×10^{-5}	4.21 (PK ₁)
シュウ酸水素イオン	5.37×10^{-5}	4.27 (PK ₂)
酢酸	1.74×10^{-5}	4.76
コハク酸水素イオン	2.29×10^{-6}	5.64 (PK ₂)
MES*	8.13×10^{-7}	6.09
炭酸 (H ₂ CO ₃)	4.47×10^{-7}	6.35 (PK ₁) ^t
PIPES*	1.74×10^{-7}	6.76
リン酸二水素イオン (H ₂ PO ₄ ⁻)	1.51×10^{-7}	6.82 (PK ₂)
MOPS*	7.08×10^{-8}	7.15
HEPES*	3.39×10^{-8}	7.47
トリス*	8.32×10^{-9}	8.08
NH ₄ ⁺	5.62×10^{-10}	9.25
グリシン	1.66×10^{-10}	9.78
炭酸水素イオン (HCO ₃ ⁻)	4.68×10^{-11}	10.33 (PK ₂)
ピペリジン	7.58×10^{-12}	11.12
リン酸水素イオン (HPO ₄ ²⁻)	4.17×10^{-13}	12.38 (PK ₃)

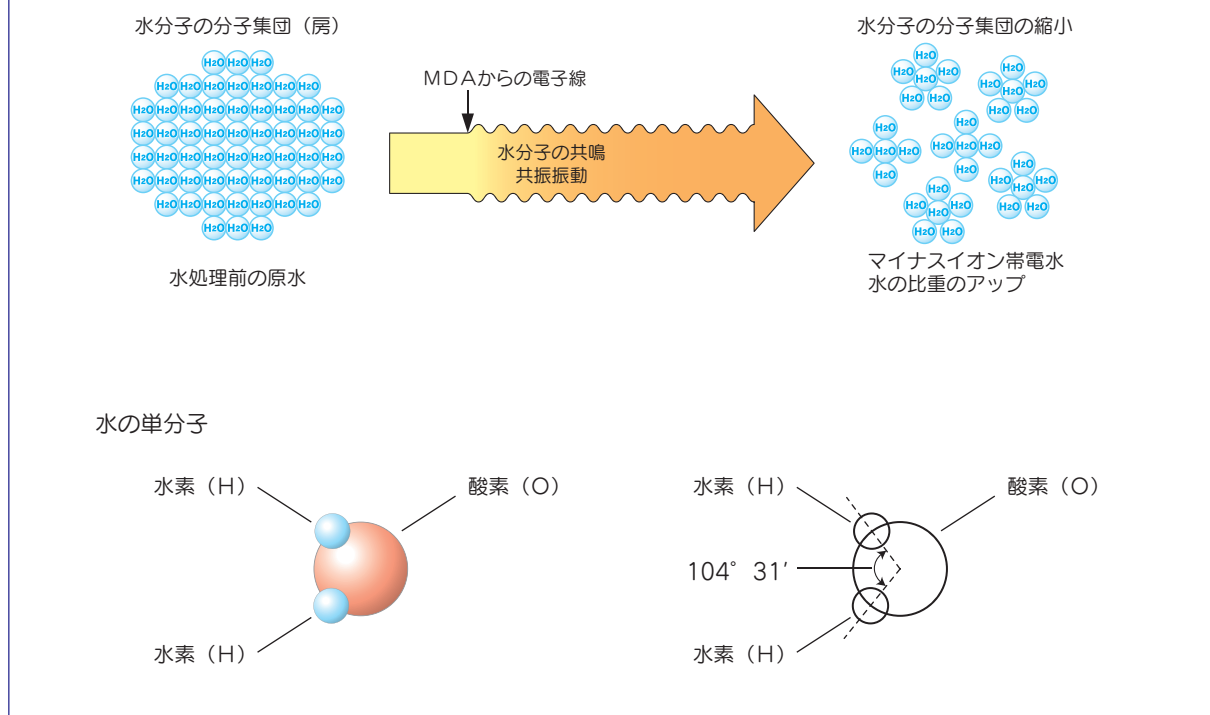
※ MES：2-（N-モルホリノ）エタンスルホン酸、PIPES：ピペラジーン-N'、N'-ビス（2-エタンスルホン酸）、MOPS：3-（N-モルホリノ）プロパンスルホン酸、HEPES：N-2-ヒドロキシエチルピペラジーン-N-2-エタンスルホン酸、トリス：2-アミノ-2-ヒドロキシメチル-1,3-プロパンジオール。

出典：R.M.C.Dawsom,D.C.Elliott,W.H.Elliott,K.M.Jones, "Data for Biochemical Research(3rd Ed.)",P.424~425, Oxford Sciencepublications(1986)および N.E.Good,G.D. Winget,W. Winter, T. N. Connolly, S.Izawa,R.M.M. Singh, Bioc hemistry5,467 (1966). $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3 \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$

水の構造とMDA

図.12

イメージ図



通常の常温常圧における液体の水は水分子の集合体で存在しており、水分子同士が水素結合（結合力は真っ直ぐで5kcal、結合角度が曲がると5kcal以下の低い値）で結合したり離れたりして激しく振動しており、その結合の生成消滅を繰り返している。その平均寿命は 10^{-12} 秒の短時間程度でダイナミックな3次的につながつたクラスター構造を形成しているとされている。（クラスターとは弱い結合で生成消滅を繰り返して形成されている状態をいう。）これまでの研究において液体の水は水素結合によって構成されるクラスターと自由な単分子状態の水分子との混合状態と考えられてきた。一見まとまりが無いように見える水分子の動きにも水素結合で繋がっていると思われる集団としての動きが現れ、この集団が10ヶから50ヶの水分子からなりそのサイズも広い分布を持ったるクラスター状態で動いていることが報告されている。

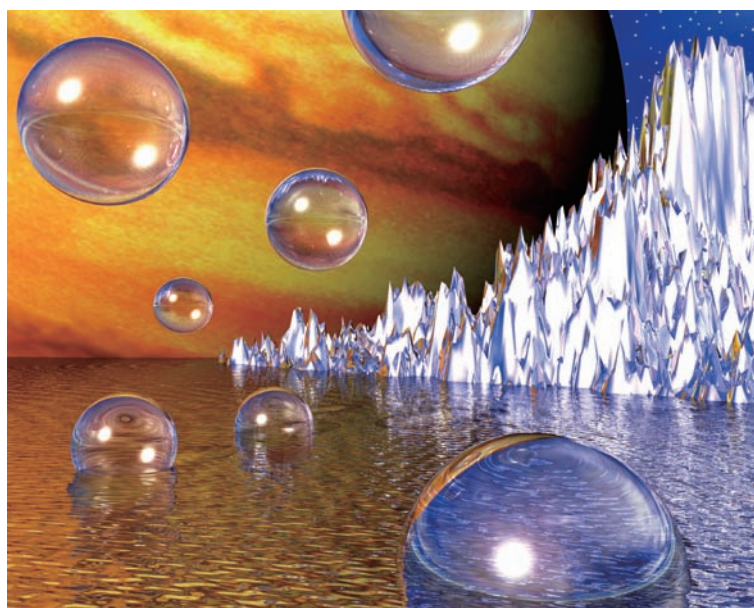
その中で、自由な水分子も化学平衡的に存在しており激しく運動していることが予測される。化学結合的に見ると通常1ヶの水分子には2ヶの水素原子があるから少なくとも2ヶの水素結合が、そしてさらに1ヶの酸素原子があるから少なくとも2ヶの水素結合が、合計4ヶの水素結合を採る事が出来ると考えられる。従って水は5ヶの水分子からなるクラスター集合体の可能性があることになる。実際には自由な束縛のない水分子と熱平衡状態にあると考えられることから集合体は水分子2ヶか3ヶか4ヶからなる集合体の可能性が考えられる。このようなクラスター集合体はさらに大きなクラスターを作ることが考えられるが、5分子で形成される水素結合よりも弱い水素結合でしかクラスター構造を作ることが出来な

いと思われるので常温常圧の条件においては無限により大きなクラスター構造体になりうることは考えられない。つまり熱分子運動エネルギーによって弱いクラスター結合が消滅してしまうから必然的に大きくならないだろうと考えられるからである。25℃では水分子が平均4.4ヶが集まりクラスター構造体を形成しているとされている事が（X線解析から）観測されている。（1ヶの水分子の配位数は4であるので上記のように4.4ヶの集まりであることは多分に配位数4がとりうる4面体構造の隙間に水分子が入り込んでいるためと思われる）常温の状態より低温状態になるにつれてそのクラスター構造は大きくなる方向に推移するが、水の密度は4℃で最大の1.0g/mlになる。これは水分子集合体の構造が4面体構造に近づき、その隙間に自由な水分子が入り込むためではないかと考えられる。4℃を頂点として高温や低温になるほど密度は小さくなり0℃では相転移により水は氷結晶となり体積膨張により密度は0.88～0.925g/mlになる。

計算化学のシミュレーションにおける液体の水の解析では環状のクラスター構造もとりうるとされている。例えば5～8量体、フラレン型の28量体や、正20面体280量体などが示されている。実際の実験では8量体のクラスターが優位に存在しそれに5量体、6量体が続くとされている。赤外分光と質量分析計を直結させた装置では8量体から10量体までの立法型のクラスターが観測されている。

水分子の間には双極子の力や分子間力ファンデアワールズの力も働くので合わせて考慮しておく必要がある。

MDAの水に対する作用は水分子に電子が付加した水和電子の生成や水分子の水素結合の開裂等に作用し、後者ではより小さなクラスター構造に転化することで水の浸透性を向上させ物質への吸水性の向上化、物質の抽出や溶解性の向上化に寄与することが考えられる。一方前者の効果としては活性酸素群の生成により、有害な菌の抑制、殺菌など衛生的な水環境の整備に大きな役割を果たすことが考えられる。



酸化還元反応

酸化とは外郭電子が引き抜かれてプラス電荷 $+$ が増す結果もたらされる反応であり、還元とは電子を与えることによって $-$ の負荷電が増す結果もたらされる反応であります。

酸化還元反応を反応形式から分類すると大きく分けて下記の二つに分類されます。

- 1、電子移動反応 上記したように電子の移動を伴う反応や電池反応や電極反応などに見られる酸化還元反応
- 2、原子付加反応 陽性原子 H （水素原子）の付加反応は還元反応でその脱離は酸化反応である酸化還元反応

酸化還元反応における還元力や酸化力の強さの度合いを示す尺度として酸化還元電位があります。酸化還元電位 $+0.8V$ の電位は水分子から酸素 O_2 を放出するほど強い酸化力をもつポテンシャルであり、酸化還元電位 $-0.42V$ は水分子から水素 H_2 を放出するほど強い還元力を持つポテンシャルであります。

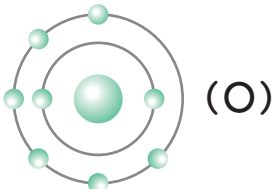
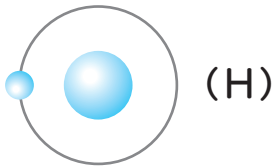
例えば植物の光合成では可視光下、葉緑素の活性中心サイトで H_2O を酸素 O_2 や水素イオン H^+ と電子 e に電荷分離されます。この電子 e は可視光のエネルギーで $-$ 、 $0.42V$ の強い還元力を持った電位にまで持ち上げられます。この強い還元力を持った電子 e は炭酸ガス CO_2 、水 H_2O と反応を起こして炭水化物グルコースの合成に重要な役割を果たします。この光合成システムは一連の酸化還元反応からなっているのです。

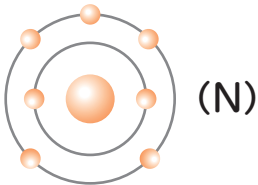
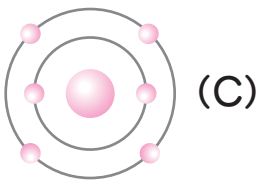
同じことがグルコースの代謝反応にも見られます。人が生きるために、ご飯(グルコース)を食して水と炭酸ガスに完全燃焼させて生じるエネルギー相当分を電子 e とプロトン(H^+)を使って生体エネルギーATPに変換しこのATPエネルギーを使い、日々の活動を支える一連のエネルギーシステムは酸化還元反応をとまっています。

このように電子 e は酸化還元反応の基本的粒子であり、プロトン(H^+)及び水素原子(H)と共役して反応に大きく貢献しています。

電子は反応の基本粒子であり、プロトンは酸-塩基反応の基本になる、プロトンは酸化還元反応において $H \rightleftharpoons H^+ + e^-$ のように電子と1対となって協奏的な状態で反応に関与します。

電子を水に放射すると、電子は水と反応し水和電子を形成する。溶液は青色を呈する。これは水和電子による吸収帯で、吸収波長は 720nm で寿命は短い。水素イオンや水分子との反応が速やかに進行するためである水和電子は反応して活性酸素群の生成につながって行く。一方で、液体アンモニアやホスホリックトリアミドにアルカリ金を溶解させると溶媒和電子が生じ同じく水和電子のように青色を呈する。寿命は長い強力な還元作用を示す。また金属イオンがシクロヘキシル-18クラウン-6にとじこめられるとテトラヒドロフラン溶媒中での溶媒和電子は長時間安定で、いろいろな還元反応に利用することが出来ます。

元素名	性 質
酸素 Oxygen 電子構造 [He]2s²2p⁴  融点・沸点 …… -218.4℃～-182.96℃ 密度・硬度 …… 1.429kg/m³- 酸化数 …… -2、-1、+1、+2 色・形状 …… 無色・気体 存在場所 …… 空気約21%を占める。 水にも含まれる。	空気中の酸素O₂の原子は相手から電子を2個ずつ奪って相手を酸化させる働きをもっています。 酸素（O）の原子は原子核（+）が8個、電子（-）が8個でバランスをとっていますが、酸素（O）原子のクーロン力は電子が10個になろうとする性質があり、そのクーロン力は電子を相手から2個奪って、自分の電子軌道に寄せようとしませんが、酸素の原子は8：8でバランスをとっていますので、これを分子の空間に放出します。放出された電子はどの原子にも所属しないで分子間を浮遊します。これを自由電子とよびます。 通常は食品など、空気に触れると水分が離脱したり劣化する原因は主に空気中の酸素O₂が原因で起こります。これを防ぐために通常はビニールで包装したり容器に入れて空気中の酸素を遮断したり、または、脱酸素剤や真空パックにしたりしてこれを防いでいます。
水素 Hydrogen 電子構造 1s¹  融点・沸点 …… -259.14℃～-252.87℃ 密度・硬度 …… 0.0899kg/m³- 酸化数 …… -1、+1 色・形状 …… 無色・気体 存在場所 …… 宇宙に広く存在。工業的には石油や鉄と水蒸気の反応により製造される。	水素（H）の原子は原子核が1個と電子が1個で構成されていますが水素（H）の電子は逃げやすく、紫外線その他の影響を受けて自ら電子がとび出して不足ぎみになります。 通常は空気中の酸素（O）によって電子が奪われます。酸素（O）は水素の電子を2個ずつ奪いますので、水分構成がどんどん減って来ます。通常野菜、果物や食品の水分の減少は空気中の酸素（O）によって、水素（H）の電子が奪われて起るものと考えられます。

元素名	性 質
窒素 Nitrogen 電子構造 [He]2s²2p³  融点・沸点 …… -209.86℃・-195.8℃ 密度・硬度 …… 1.2506kg/m³- 酸化数 …… -3、+1、+2、+3、+4、+5 色・形状 …… 無色・気体 存在場所 …… 地球の大気の約78%を占める。硝酸塩として硝石にも含まれる。アミノ酸やタンパク質、DNAなどにも含有。	空気中の酸素O₂原子は高分子を構成している物質の水素の電子を2個ずつ奪って、水素の電子を不足させます。 酸素O₂の原子は水素（H）の電子を奪いづらくなりますと次に、窒素（N）電子軌道の第一ポテンシャルエネルギーが弱まり、窒素（N）の電子が酸素（O）の原子によって電子が奪われます。窒素（N）は原子核（+）が7個電子（-）が7個で構成されていますが、7個ある電子のうち1個奪って6個にしたり、2個とって5個にしたりします。これが窒素が酸化した状態で窒素酸化物というわけです。そうすると酸化に見合った菌が発生してカビが生えたり、劣化したり、腐敗などが生じます。
炭素 Carbon 電子構造 [He]2s²2p²  融点・沸点 …… 3550℃・4800℃(ダイヤモンド) 密度・硬度 …… 3513kg/m³-(ダイヤモンド) 酸化数 …… -4、-3、-2、-1、0、+1、+2、+3、+4 色・形状 …… 黒色（黒鉛）・無色（ダイヤモンド）・個体 存在場所 …… 黒鉛は中国、ダイヤモンドはコンゴなどが産出地。石油や石炭などの化石燃料にも含まれる。	炭素（C）の原子は、原子核が6個と電子が6個で構成されていますが、炭素の原子は自ら酸化せず、相手を酸化させないはたらきがあります。炭素の原子と電子は永久に6：6です。また、相手に電子を補給するはたらきをもっていますので、相手に電子を与えて、食品の味などをおいしくしたり、鮮度を保つはたらきがあります。

イオン 荷電粒子 帯電体

イオンとは

イオンは原子、分子が電子を授受することによって電荷を持った原子、分子を言います。電子を放出して正の電荷を帯びた原子又は原子団を陽イオン又はカチオンという。逆に電子をもらい負の電荷を帯びた原子又は原子団を陰イオン又はアニオンという。大気電気学では気相大気イオンという。(空気中の陰イオンをマイナスイオンとして使われているケースがある。)

イオンの構成による種類には単原子イオン(例 水素イオン)、多原子イオン(例 硫酸イオン)、錯イオン、クラスターイオンという呼び方がある。

荷電粒子とは電荷を持った粒子をいう。電子にも使うケースが見られる。帯電体電荷を持った物体をいう。などいろいろの呼び方がある。

大気イオンにはその大きさ大中小で区別する呼び方もある。小イオン(半径 $r < 6 \times 10^{-4} \mu\text{m}$)、中イオン($1 \times 10^{-3} < r < 2.5 \times 10^{-2} \mu\text{m}$)、大イオン(2.5×10^{-2} に分類されるケースがある。小イオンは移動度が大きく他の分子に付着しクラスターイオンや小イオンが大気中のエアロゾルに付着した場合大イオンとなる。

大気イオンは大気中の電離作用(雷、宇宙線、 γ 線、ラドン系核種からの α 線、などの放射線や、紫外線、地下断層のズレ圧電気)、水滴の開裂や氷晶の析出時電荷分離作用、レナード効果)などによるイオン化作用によって生じる。

大気に出来るマイナスイオンは O_2^- イオン(スーパーオキシドアニオン)や、大気中の水分と結合して $\text{O}_2^-(\text{H}_2\text{O})_n$ の水和マイナスイオンや大気中に存在している各種の気体との水和イオン $\text{CO}_3^-(\text{H}_2\text{O})_n$, $\text{NO}_2^-(\text{H}_2\text{O})_n$, $\text{HSO}_4^-(\text{H}_2\text{SO}_4)_m(\text{H}_2\text{O})_n$, $\text{NO}_3^-(\text{HNO}_3)_m(\text{H}_2\text{O})_n$ などが検出されている。

一方陽イオンは N_2^+ 、 O_2^+ や水和した陽イオン $\text{H}_3\text{O}^+(\text{H}_2\text{O})_n$, $\text{NH}_4^+(\text{H}_2\text{O})_n$ などが検出されている。

コロナ放電によって生じるマイナスイオンには O_2^- イオンや水和した $\text{O}_2^-(\text{H}_2\text{O})_n$, $\text{CO}_3^-(\text{H}_2\text{O})_n$, $\text{NO}_2^-(\text{H}_2\text{O})_n$ などが検出されている。が環境の大気組成や汚染の状況によってまた放電発生器によってそのイオン種は異なってくる。



イオンの効果

マイナスイオンは相手に電子を与える電子供与体としての機能を持っていますので酸化を防止するよう働きますが、プラスイオンは相手から電子を奪い取る電子受容体としての機能を持っていますので、酸化を助長し進行させるよう働きます。マイナスイオンは生体の細胞組織に酸化によるダメージを与える要因を抑制して恒常性機能を保持するよう働きます。

大気中には同数のマイナスイオンとプラスイオンが存在して全体として電氣的に中和していますが、川、滝、森林地帯ではマイナスイオンが多く約3000に対してプラスイオンが17と少ないが、車の多い道路ではマイナスイオン約1800に対してプラスイオンが2700と多くなっています。特に呼吸器系の疾患気管支炎や肺気腫や肺ガンなどに悩まれる人が多くなっています。

木造や土壁のハウスではマイナスイオンが多くプラスイオンは少ないのに対して、コンクリートづくりの部屋ではプラスイオンが多くマイナスイオンが少なくなっています。また気象によってもマイナスイオンとプラスイオンの濃度比率は大きく違ってきます。低気圧や雨の降る日はマイナスイオンが少なくプラスイオンが多くなっていますが、晴れの日にはマイナスイオンが多く見られます。低気圧で天候が悪くなってくると筋肉痛、神経痛、頭痛、腰痛、肩こり、花粉症、不眠症などの症状が表れて悩む人が多く見られます。

また、大気イオンは大気の汚染の度合いに大きく影響されます。大気汚染度が大きくなるとプラスイオンが増大し上述したように健康状態を悪くなる方に誘導されます。

イオンの効果の大まかな傾向については定性的にわかりやすく表した図表.1（電子のはなしVOL.1）を参照ください。詳細は条件によって異なってくる場合があります。

かかる状況を克服すべく電子によるマイナスイオンが多く放出されるイオン発生装置MDA電子応用システム装置を開発してきました。

MDA弊社の電子応用製品装置の電極から放出される電子や電子が付加されたマイナスイオンは、大気を通して肺や皮膚を通して体内に吸収されて体液性、細胞性、神経性に全身的な好影響を与え、これによって諸種の病気を治療し健康を増進させる画期的な療法であり、次のような効果があります。

- 1) 水溶液、体液、血液などをアルカリ性側にシフトさせ恒常性を保持するよう働きます。
- 2) 微小な濃度範囲で電子や O_2^- イオンを活性することで細菌や有機物系汚染物質の酸化分解を促進させて浄化機能効果がたかまります。
- 3) 活性酸素でもある O_2^- の活性を不活性化するスーパーオキシドジスムターゼ酵素(SOD)産生を促進する。他活性酸素スカベンジャーのビタミンE、Cを強化します。
- 4) 生体細胞組織の酸化を抑制します。
酸化の連鎖反応を起こす不対電子を持つラジカル種である過酸化脂質などを中和し失活させ細胞膜リン脂質や蛋白質の酸化を防止します。
活性酸素種、(一重項酸素、スーパーオキシドアニオン O_2^- 、過酸化水素 H_2O_2 、ラジカル・OH)による細胞膜や遺伝子のDNAなどの酸化を防止します。
- 5) 生体細胞組織の新陳代謝の活力を増大促進します。

- 6) 抗炎症作用、風邪などの病気をかかりづらくします。
- 7) 免疫力を強化し、インフルエンザから健康を守ります。
- 8) 血液やリンパ液の循環を促進します。
- 9) 交感神経や副交感神経の調節をして、神経系の機能を強化します。
- 10) 自然治癒が増すほか、次の様な症状に顕著な効果があります。

例えば疲労回復と安眠、便通の調整、消炎作用、創傷及び潰瘍の修復作用・肉芽形成の促進、末梢欠陥拡張作用、造血作用、鎮静作用、腰痛、頭痛、肩こり、神経痛、五十肩、月経痛、胃腸に対する作用、美容効果（肌の艶と血色）、強壮作用

これらのMDAから放射された電子やマイナスイオンは標的分子への電子付加還元作用によってこのような機能効果が発現していると考えられます。

面白いことにイオンが地震の予知に、つまり大気中のイオンの濃度を測定して予知しようという試みが各地で行なわれている。地震の起こる前兆としてマイナスイオン濃度が非常に高まる現象が見られていることからです。ことの始まりは以前に起こった淡路阪神大震災時にイオン濃度が桁違いにたかまり発生したことがあったことがわかったからです。

各地で起こる地震にはその前兆としてイオン濃度が異常に高まることがわかってきています。その理由は良くわかっていません。それが多分に地下の地盤が摩擦しながら動くことで地盤に微細な亀裂が生じそこからラドンが放出されます。放出されたラドンは放射壊変し ^{210}Pb +イオンに変化し、これらラドンやイオンにチリやエアロゾルが付着して大きく成長し大きくなったイオンは重くなり地表に落ちてくるのでイオン数が多く感出されるという仮説が立てられています。または、地盤の移動でその応力でピエゾ起電力を生じ強力な電界が生じて大気中に高濃度のイオンが発生したものと思われます。

電子のはなしVOL.4へつづく