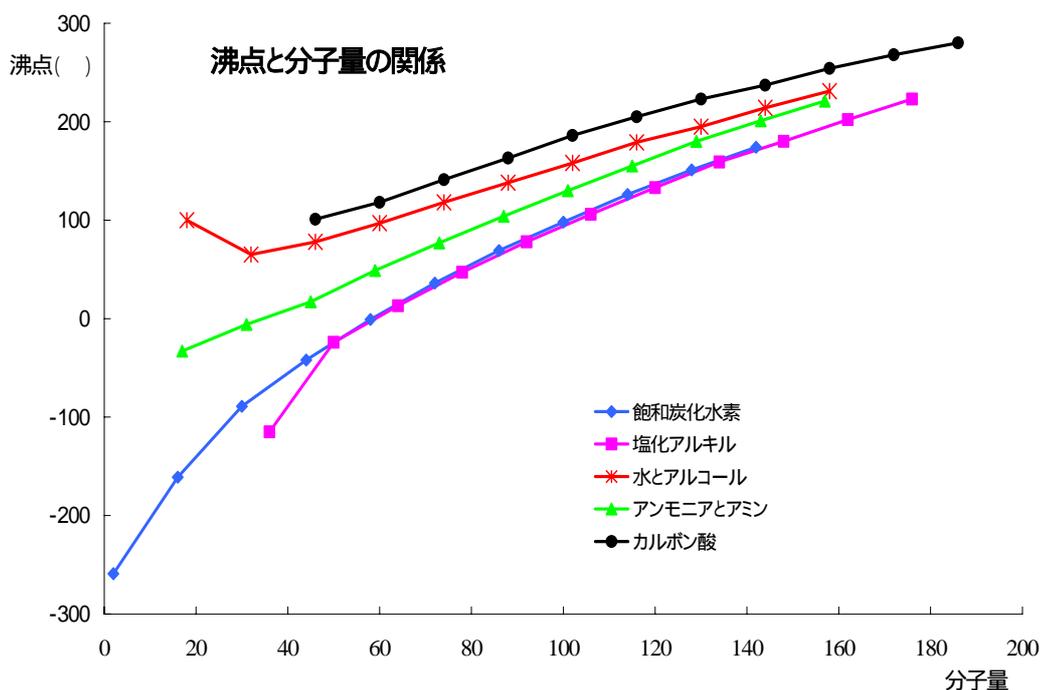


## 6. 宇宙生物を構成する素材は水溶性

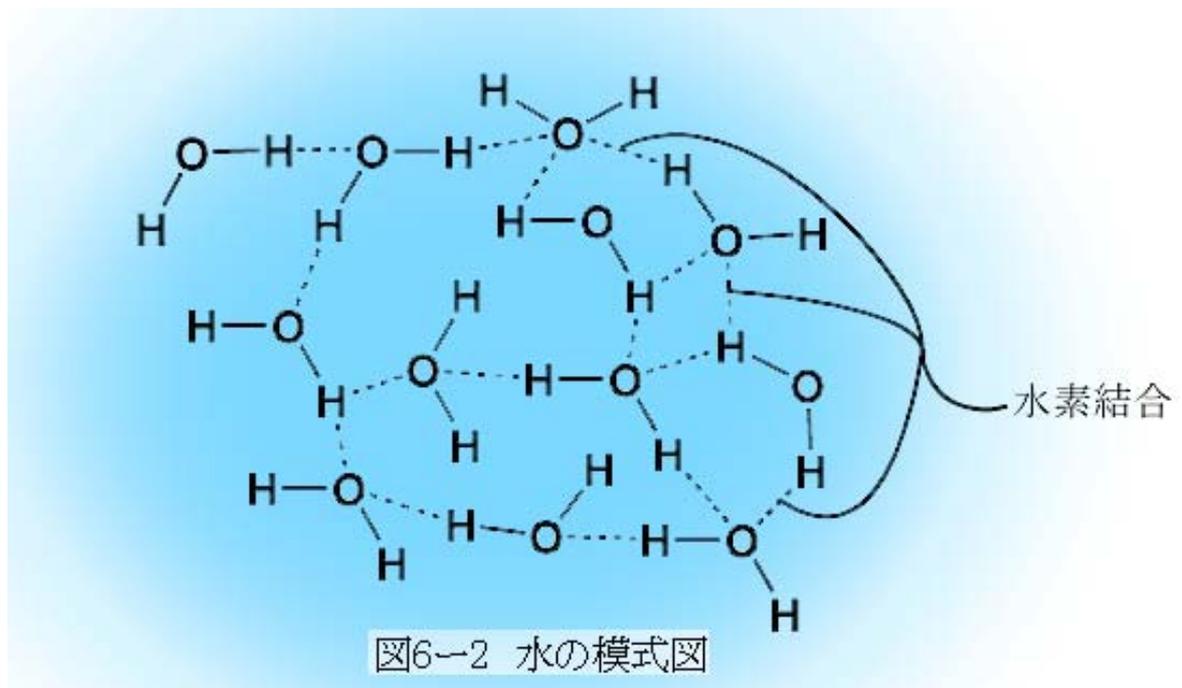
### 液状の水の構造

前の章で考えたように、宇宙生物を育む海はアンモニアや二酸化炭素や二酸化硫黄や硫化水素の海ではなく、地球上と同じように水の海が最も適していると思われました。簡単な物質から生命活動の維持に必要な複雑な物質へ進化してゆくときには、多くの元素の集合してゆく出会いの反応が主体となりますが、この出会いの反応は海に溶けている種々の物質の濃度に大きく影響されると考えられます。そこで、いろいろな物質がどのように水に溶けてゆくか知ることは、宇宙生物を構成する素材を考える上で極めて大切なことと思われ、液状の水の構造から水の性質を調べることにしました。

水の分子は水素 2 原子が酸素 1 原子と結合して出来ている非常に簡単な構造を持っています。有機化合物のいくつかの同族系列の沸点と分子量の関係を図 6 - 1 のグラフに示しますが、一般に地球上では、分子量 100 程度の有機化合物は約 100 で沸騰します。しかし、同じように簡単な分子の構造をもつメタンやアンモニアと比較すると、分子の質量や高高さの違いがほとんど無いにもかかわらず、水の融点は 0、沸点は地球上で約 100 と高温です。このような水の特異な性質は水の分子が単独の挙動を取らず、たくさんの水分子が絡み合って一塊としての挙動をとるためと考えられます。pka 15.7 の水は弱いながらも酸性を示す物質であり、常に水素陽イオンと水酸イオンに若干解離しています。また、水の酸素は結合していない電子対を持っていますから水素陽イオンを受け取る塩基の性質を兼ね備えています。そのため、水から解離した水素陽イオンが隣の水分子と酸塩基反応をして水分子上の水素の交換が起こります。このような水分子の水素原子が隣の水分子に結合を変更してゆく交換が瞬時に起こるため、水素原子は原子価が 1



でありながら、あたかも水素原子が2つの酸素原子に結合しているような性質を示します。このような結合を水素結合といい、水素原子の上に多少正電荷を帯びた状態となっており、水の場合にはこの水素結合の強さは約6kcal/molと見積もられています。模式的に考えれば、液状の水は図6-2に示すように、水の分子が水素結合により3次元の網目状に絡まった構造をとっていると思われます。液状の物質から気体分子として飛び出す状態を沸騰といいます。水の場合には水素結合で絡み合っているために飛び出し難くなってしまい、結果的に沸騰し難くなって高い沸点を示すこととなります。また、液状の分子が整列して分子運動が止まることを凝固といいます。液状の水は分子が絡まっているために整列し難くなり高い凝固点を示す現象が現れます。しかも、この水素結合が固体から液体、液体から気体への状態の変化において、大きな融解熱および気化熱を必要とする原因にもなっています。



#### 宇宙生物の生活環境は - 10 以上

生物が増殖・成長のために高い再現性と発展性を持ち、高い機能と高い効率を示すための多種多様な反応が水の中では可能であろうと思われ、地球のように水でできた海が生命活動を維持する反応の場として最も適していることとなります。水は大きな融解熱、気化熱、比熱を持つ液体ですから、外からエネルギーが入るときもエネルギーが逃げるときもその温度変化は小さく、多種多様で繊細な反応をする条件が容易に整います。図5-1の水の状態図からも分かるように、水の凝固点は如何なる圧力においてもほとんど変化せず、約0℃以下では氷になってしまいます。一般的に物質が溶けて溶液になると、溶質が溶媒中に拡散してエントロピー的に安定化します。このような溶液から溶媒が固化するときには溶媒は整然と配列し、溶質を分離しなければなりません。このとき溶質の拡散によるエントロピー的な安定を犠牲にしますから、その溶質の濃度に

応じて溶媒の固化する温度は下がります。この現象を凝固点降下と呼んでおり、一定の濃度の溶質が溶けたときの溶液における、いろいろの溶媒の凝固点降下の値を表 6 - 1 にまとめておきます。この現象を利用して、溶液の凝固点の降下の大きさからその溶液に溶けている溶質のモル数を計算することが出来ます。もし、その溶液に溶けている溶質の質量を知ることが出来れば、溶質の分子量が求まります。

地球の海のように食塩などいろいろな物質が溶け込んでいると、海の水の凝固点は降下すると思われませんが、表 6 - 1 の値から考えてその降下の値は僅かなものと考えてよく、-10 以下では氷になりますから生物をはぐくむ溶媒の役目を果たすことが出来なくなります。言い換えれば、宇宙生物が誕生し、進化する生活温度は海の凍結温度と有機化合物の分解温度をもとに -10 から 150 の間に限られてしまうと考えるとよいでしょう。

表 6 - 1 凝固点降下 ( / (mol/1000g))

溶媒名			溶媒名		
水	H <sub>2</sub> O	1.86	酢酸	CH <sub>3</sub> -CO <sub>2</sub> H	3.90
硫酸	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	6.81	ステアリン酸	C <sub>17</sub> H <sub>35</sub> -CO <sub>2</sub> H	4.50
臭化アルミニウム	AlBr <sub>3</sub>	26.80	ベンゼン	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	5.12
プロモホルム	CHBr <sub>3</sub>	14.40	ナフタレン	C <sub>10</sub> H <sub>8</sub>	6.90
臭化エチレン	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> Br <sub>2</sub>	13.50	アントラセン	C <sub>14</sub> H <sub>10</sub>	11.60
シクロヘキサン	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>	20.00	キシレン	C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> -(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	4.30
t-ブタノール	C <sub>4</sub> H <sub>9</sub> -OH	0.38	フェノール	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> -OH	7.27
ショウノウ	C <sub>10</sub> H <sub>17</sub> -OH	40.00	安息香酸	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> -CO <sub>2</sub> H	7.85
ジオキサン	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub>	4.95	アニリン	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> -NH <sub>2</sub>	5.87
蟻酸	H-CO <sub>2</sub> H	2.77	ニトロベンゼン	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> -NO <sub>2</sub>	6.90

### 液状の水の中での物質の挙動

簡単な物質から生命活動の維持に必要な複雑な物質へ進化してゆくときには、多くの元素の集合してゆく出会いの反応が主体となりますが、この出会いの反応は海に溶けている種々の物質の濃度に大きく影響されると思われます。宇宙生物を育む海は地球上と同じように水の海が最も適していると思われましたので、生物の素材となる物質が水の中でどのような挙動を取るか重要な問題と思われます。

一般に、物質が溶媒に溶ける現象は溶質の溶ける前後における平衡の変化ですから、式 4 - 2 の K の値が物質の溶け易さを意味します。物質が溶媒の液体の中に入り込んで拡散するときには、物質のエントロピー変化 (  $\Delta S$  ) が増大して安定化するため物質は溶媒に溶けてゆきます。アイスコーヒーに砂糖を溶かすことが難しいために、しばしば液状のシロップを用意しますが、温度

表 6 - 2 水に対する溶解度

	0	20	40	60	80	100
NaCl	35.7	36.0	36.6	37.3	38.4	39.8
NaHCO <sub>3</sub>	6.9	9.6	12.7	16.4		
カリ明礬	3.0	6.0	13.6	35.3		154.0
グリシン	141.8	225.2	331.6	452.6		671.7
コハク酸	2.8	6.9	16.2	35.8	70.8	120.9
ブドウ糖	9.2	20.6	43.3	78.3	125.0	185.0
尿素	40.0	51.9	62.3	71.8		88.0

( T ) が高くなれば、安定化が大きくなりますから溶解度は大きくなります。当然、ホットコーヒーには砂糖を入れても簡単に溶けてくれます。表 6 - 2 には代表的ないくつかの物質の水に対する溶解度の温度変化を纏めておきます。

表 6 - 3 水に対する気体の溶解度 ( mg/L, 20 )

気体		1 気圧	2 気圧	5 気圧	10 気圧
水素	H <sub>2</sub>	0.17	0.35	0.88	1.76
ヘリウム	He	0.15	0.31	0.77	1.55
アンモニア	NH <sub>3</sub>	526000.00			
ネオン	Ne	0.98	1.98	4.99	10.01
アセチレン	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	119.31	241.45	607.87	1218.58
窒素	N <sub>2</sub>	2.37	4.80	12.09	24.23
エチレン	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	15.36	31.09	78.27	156.91
酸素	O <sub>2</sub>	4.47	9.05	22.79	45.69
硫化水素	H <sub>2</sub> S	3846.00			
アルゴン	Ar	6.39	12.92	32.54	65.22
二酸化炭素	CO <sub>2</sub>	168.06	340.12	856.28	1716.56
酸化窒素	NO <sub>2</sub>	117.11	237.00	596.68	1196.13
二酸化硫黄	SO <sub>2</sub>	112800.00			
クリプトン	Kr	28.80	58.29	146.74	294.17
キセノン	Xe	72.97	147.68	371.81	745.35

しかし、液状の水では水素結合により、水分子が絡み合っ一塊としての挙動をとると考えられますので、その3次元的な網目の中にほかの物質が入り込むためには、網目の隙間を見つけて入り込むか水素結合を切って入り込まなくてはなりません。3次元的な水素結合の網目を切れば、安定化を犠牲にしなければなりませんから、エンタルピー変化 ( $\Delta H$ ) が増大してしまいます。当然、エントロピーの増大による安定化はあるものの、 $K$ の値は小さくなり物質が溶けにくくなります。

物質が非常に小さな分子で出来ている場合には、その分子は網目の隙間に入り込める可能性があると考えられます。そのような場合には、水素結合によるエネルギーの安定化を犠牲にすることなく、エントロピーの増大による安定化があるものと思われまから水に溶け込んでゆくと思われまから。一般に原子の数が少なく分子量の小さな分子は図 6-1 で示すように気体で存在することが多いため、はじめに水に対する気体の溶解度を調べてみましょう。気体は圧力が高くなるほど液体に対して多く溶け込んでいきますから、表 6-3 にはいろいろな圧力における気体の溶解度をまとめておきました。小さな元素の水素やヘリウムで出来た水素やヘリウムの分子は宇宙の中で最も小さな分子と考えられますが、そのような小さな分子でもこの表から分かるように水に対してほとんど溶けませんから、如何なる分子を取り込むためにも水の水素結合の隙間は十分な大きさを持っていないことになり、水素結合の網目を切ることなく物質が水の中に入り込むことは出来ないこととなります。

水素結合が本質的に酸からの解離による水素陽イオンの供給と受け取る塩基との間の水素陽イオンの遣り取りにより、酸の水素原子が塩基分子に結合を瞬時にしてゆく交換反応であるため、塩基として働くことの出来る1対の電子を持つ分子は水と水素結合をすることが出来ます。特に、酸素原子は塩基として有効に働き、水と水素結合をし易いため、窒素分子と比較して酸素分子が高い水溶性を示しています。後の章で説明しますが、この比較的高い酸素分子の水溶性が、水の中に誕生し進化してゆく生物の活力を生み出す酸化反応において有効な酸化剤となるものと思われまから。

液状の水では水素結合により、水分子が絡み合っ一塊としての挙動をとると考えられますので、その3次元的な網目の中にほかの物質が入り込むためには、水素結合を切らねばなりません。当然、エントロピーの増大による安定化はあるものの、水素結合によるエネルギーの安定化を犠牲にしなければなりません。

水と水素結合を作らない物質は水の水素結合の網目の中に入り込んで、その水素結合を切ってしまうだけで不安定になってしまいます。このような物質は水の中に入れても、馴染むことが出来ず溶けることが出来まから。水の網目状の水素結合の切断が最小になるように水から遊離して、仕方なく最も表面積の小さな球状の油滴となります。炭素と水素からなる炭化水素は地球上にも石炭や石油として多量に存在しており、宇宙にはかなり存在することが考えられます。しかし、水素結合が本質的に水素陽イオンの酸からの解離による供給と受け取る塩基との間の水素陽イオンの遣り取りにより、酸の水素原子が塩基分子に結合を瞬時に変更してゆく交換反応であるため、酸性も塩基性もほとんど示さない炭化水素は水と水素結合をほとんどすることが出来まから。

表 6-1 に挙げた気体のアセチレンやエチレンのほかにも、液体の状態のベンゼンやその部分構造を持つものも、炭素 炭素 2 重結合、炭素 炭素 3 重結合を持つ多くの液体の化合物も、多重結合を持たないパラフィン類も全く水素結合をすることが出来ません。また、イオンに解離することも極めて困難ですから、水にはほとんど溶けず油滴となるかあるいは 2 相に分離してしまいます。

液状の水は水素結合をしているために、水を構成している水素原子は若干ながら正電荷を帯び、酸素原子は同じく僅かに負電荷を帯びています。一方、イオン結合性の物質は水の中で陽イオンと陰イオンに解離し、両イオンはそれぞれ電荷を帯びます。この電荷を帯びたイオンが正負に若干電荷を帯びた網目の中に入り込んでも、そのイオンの電荷が適当に分散できるために安定化し、水素結合を切ることによるエネルギーの損失を打ち消します。このため、水酸化ナトリウム、塩化水素、硫酸、食塩、塩化マグネシウムなどのイオン結合性の物質は水によく溶けます。さらに、鉄やコバルトなどの金属のイオンも水に溶けます。また表 6-1 に挙げた、二酸化炭素、酸化窒素、アンモニア、二酸化硫黄は水と反応して炭酸、硝酸、水酸化アンモニウム、亜硫酸などの酸や塩基に変化するため、水の中でイオン化して非常に高い水溶性を示します。

#### 炭素 - 酸素結合を持つ物質の水溶性

小さなエネルギーの損失で水の水素結合の網目の中に入り込める物質は、水素結合をすることの出来る物質とイオン結合性の物質に限られます。炭素原子を中心に共有結合で結ばれた物質が宇宙生物を構成すると思われませんが、炭素原子は種々の元素と共有結合できますから、その組み合わせにより多種類の物質が安定に存在すると考えられます。そこで、考えられる代表的な有機化合物の水に対する溶解度を明らかにすべきであろうと思われま

す。水素結合が本来的に酸と塩基間の水素陽イオンの遣り取りに由来するものであり、あたかも水素原子が酸と塩基の両者に結合し

ているような性質を示すもので、酸素と水素の結合を持つ物質は弱いながらも酸性を示すため水と同じように水素結合をすることができます。このような物質が水の水素結合の網目の中に入り込んでも水と水素結合を作るため、水の水素結合の切断によるエネルギーの損失を埋め合わせます。そのため、このような水素結合をすることの出来る物質は水に非常によく溶けます。表 6 - 4 には炭素、窒素、酸素、フッ素間の水素結合エネルギーの大きさを挙げました。

表 6 - 5 に示すように炭素 - 酸素結合を持つ化合物のうち、アルコール類は分子の中に酸素 - 水

表 6 - 4 水素結合エネルギーの大きさ  
(kcal/mol)

水素結合の種類	結合エネルギー
O-H...N	7
O-H...O	6
C-H...O	2.6
N-H...O	2.3
N-H...N	4
N-H...F	5
F-H...F	7

素結合（水酸基といいます）を持っているために、水と水素結合をすることが出来ますから、多くのアルコール類は水に溶けます。特に、分子の中に水酸基の占める割合の大きなメタノール、エタノール、エチレングリコール、グリセリンなどの物質のほか、ブドウ糖、ショ糖をはじめとする種々の糖類は水に非常によく溶けます。さらに、ホルムアルデヒドなどのある種のアルデヒド類では、容易に水が付加して同じ炭素に2つの水酸基を持つジオール体となり、水によく溶けるようになります。また、ベンゼンの環上に水酸基を持つフェノール類やカルボン酸類は水の中では酸性を示すため、塩基性の水の中ではイオンに解離します。そのため水に溶けるようになります。特に分子量の小さな蟻酸、シュウ酸、酢酸などは非常によく水に溶けます。酸素に2つの炭素が結合したエーテル類は分子の中に水酸基を持たないため、ほとんど水素結合することが出来ず、水にはあまり溶けません。2種のアルコールのそれぞれの水酸基から水の取

表 6 - 5 炭素 - 酸素結合を持つ物質の水に対する溶解度(g/100g)

物質	溶解度	物質	溶解度
メタノール		蟻酸	14.4
エタノール		酢酸	71
ブタノール	9.1	安息香酸	0.29
ヘプタノール	0.1	シュウ酸	8.69
グリセリン		コハク酸	6.9
ブドウ糖	20.6	乳酸	16
ショ糖	87.5	酢酸エチル	2.26
フェノール	8.5	アセトン	
ホルムアルデヒド		3-ペンタノン	4.6
アセトアルデヒド			

れる反応が進めばエーテルが生成します。このことから、水に溶けるアルコールは水に溶け難いエーテルに変化することがわかります。また、カルボン酸類とアルコール類が反応して容易に生成する酢酸エチルなどのエステル類は水素結合することも、イオンに解離することも簡単には出来ませんから、水にあまり溶けません。このエステルの生成反応においても、水によく溶ける材料から水に溶け難い物質に変化することがわかります。

#### 炭素 - 窒素結合を持つ物質の水溶性

水素結合は結合に関与していない電子対を持つ酸素のような2つの原子が水素原子を中心にあたたかも結合しているような性質を示すもので、水素 酸素結合を持つ物質と同じように、水素 窒素結合を持つ物質も水と水素結合をすることができます。アンモニアと類似の構造を持つアミン類は水素 窒素結合を持つ物質で、容易に水と水素結合をすることが出来るため表 6 - 6 に示

すように水に溶ける性質を示します。

また、アンモニウムと同じようにアミン類は水中では塩基性を示すため、酸性条件ではイオンとなってアンモニウム塩を作ります。そのため、アミン類は極めてよく酸性の水に溶けます。一つの分子の中にアミンの部分とカルボン酸の部分を持つアミノ酸では、水素結合によるアミンの水溶性のほかに、カルボン酸の酸性によりアミンの部分はアンモニウムイオンに、アミンの塩基性によりカルボン酸の部分はカルボキシルイオンになるため、さらに水に溶け易くなります。一つの分子の中にアミン部分とスルホン酸部分、あるいはアミン部分とリン酸部分を持つ物質も同じように極めて水に溶け易い物質と思われます。この他に、中心となる炭素に2つの窒素が結合した尿素やグアニジンやイミダゾールも水によく溶けます。

表 6 - 6 炭素 - 窒素結合を持つ物質など代表的な物質の水に対する溶解度(g/100g)

物質	溶解度	物質	溶解度
アラニン	157.8	アニリン	5
グルタミン酸	7.17	アセトアミド	250.9
ベンゼンスルホン酸ナトリウム	49.4	ウレタン	153.3
メチルアミン	40	ベンゼン	0.05
		二硫化炭素	0.01

他方、アミン類とカルボン酸類が反応して生成するアミド類は水素 窒素結合を持つ物質にもかかわらず窒素の水素結合がかなり弱いため、蟻酸アミドや酢酸アミドのように分子量の小さなアミド類のみ水に可溶です。大きな分子量を持つアミド類は十分な水素結合が出来ず、しかもアミド類の窒素は塩基性をほとんど示さないためにイオンになることも出来ません。そのため、あまり水に溶けません。このアミド類を生成する反応においては、水によく溶けるアミン類とカルボン酸類から水に溶け難い物質に変化することがわかります。

#### 炭素 - 酸素、炭素 - 窒素以外の結合を持つ物質の水溶性

塩素、臭素、よう素などのハロゲン原子を含む炭素化合物はハロゲン原子が結合しない電子対を持っているにもかかわらず、ほとんど水と水素結合をすることが出来ません。そのため、炭化水素と同じようにほとんど水に溶けません。

硫黄は酸素と同じ族の元素ですが、水素結合の強さは酸素のものに比べてかなり弱くなります。そのため、水素 硫黄 炭素結合を持つメルカプタン類は同族のアルコール類よりはかなり水に溶け難くなっています。水素 リン 炭素結合を持つ化合物は比較的に不安定で、容易に変化してしまいます。そのほかの炭素 リン結合を持つ物質は水素結合をすることがほとんど出来ず、

水にはほとんど溶けません。

硫黄原子が酸化されたスルホン酸類とりん原子が酸化されたりん酸類は酸性が強くイオンとなり水に溶けます。その上、これらの酸類はアルコール類と反応してスルホン酸エステル、りん酸エステルをそれぞれ生成しますが、これらのエステル類も水によく溶けます。炭素 けい素結合を持つ物質は全く水素結合をすることが出来ず、水には全く溶けません。その上、けい素の化合物は水とかなり反応しやすく、けい素 酸素結合を作って変化してゆきます。

### 水に溶ける部分と溶けない部分を持つ物質の挙動

多くの炭素を中心とする物質の中で、アルコール類、アミン類、若干のメルカプタン類は水と水素結合の出来る物質であり、水によく溶けると考えられました。また、イオン性の物質として、多くの金属イオン、食塩などの塩類、カルボン酸、スルホン酸、りん酸などの酸類、アミンなどの塩基のほかにアミノ酸などの酸と塩基を同一分子の中に持つものは水によく溶けることがわかってきました。これとは反対に、炭素と水素だけで構成されている炭化水素やけい素化合物はまったく水に溶けず、石油などの油によく溶けることがわかってきました。

ここで、アルコールやカルボン酸のように水によく溶ける部分構造と炭化水素のような水に溶け難い部分構造を同一の分子の中に持つ物質は水に対して如何なる挙動をとるか興味が生まれてきます。

水に溶け難い部分は水の水素結合の網目に入り込むことが出来ず、水から分離しようとし、これに対し水によく溶ける部分は水の網目の中に入り込もうとします。結果として水の塊の端で、水に溶ける部分が水の方へ向くようにし、水に溶け難い部分が外側に向くように並び、膜を作ります。もし、水と油が2層に分離しているときは、この層の境目に膜となって並び安定な状態になります。また、大きな水の中では、水によく溶ける部分を外側に膜を作り、内側は油に馴染み深い球形の世界の油滴となります。このとき、水の網目の中に入り込むことの出来ない物質は、この油滴の中に逃げ込んで安定な状態になります。このように水に溶け易い部分と溶けにくい部分の両方を分子の中に持つ物質を界面活性剤と呼んでいます。余談になりますが、長い炭化水素鎖の端にカルボン酸の結合した石鹸の油滴は、水に入り込めずに周囲に浮遊している油分の汚れを取り込みます。結果として汚れを取り去るため、洗濯に利用されることとなります。さらに、水に溶け難い部分が背中合わせに並んで2重膜が作られると、両面とも水と馴染み深い膜となります。このような背中合わせの膜の風船が大きな水の中に出ると、あたかも小さな水の別世界が生まれることとなります。地球上の生物は長い炭化水素鎖を持つりん酸エステルで出来た膜を細胞膜としたフラスコを作り、その中で生命活動を維持する化学反応を行っています。宇宙生物はりん酸エステルのほかに、スルホン酸、アルコールなどを水によく溶ける部分として持つ物質の膜が生命活動を維持する化学反応のフラスコを作っているかもしれません。

### 長い分子の構造を持つ物質の挙動

短い系はほとんど絡まることはありませんが、長い系は絡まり易くすぐにこんがらかります。分

分子量 200 程度の短い分子の構造の物質ではほとんど固体結晶の状態で存在しますが、長い分子の構造を持つ物質では短い分子の構造の物質には見られない特有の性質が糸のこんがらかるような現象として観測されています。特に、分子量 5000 以上の鎖状の構造を持つ物質にこの特有の性質が見られます。

短い構造を持つ分子では簡単に整列するために結晶化します。これに対し、長い構造を持つ分子は長い糸と同じように絡まりこんがらかり易いために、整列することが困難で簡単には結晶化しません。このような物質は高い温度では軟化し、低い温度ではガラス状に固化しますが、明確な融点も沸点も示しません。このような物質に外から力を加えると、分子が壊れることは無く、こんがらかった分子同士が解けるために容易に変形します。そのため、プラスチックあるいは高分子物質と呼ばれています。この高分子物質が水の水素結合の網目の中に入り込むと、たとえ部分的に水と水素結合をすることが出来ても、多くの水の網目を切ってしまうために水には溶け難くなってしまいます。

### イオン性の物質の水溶性

先に述べたように電荷を帯びたイオンは水の中でその電荷を分散することが出来るために、安定化し水に溶けます。多くの金属元素を含む物質がイオンとして水に溶けます。しかし、金属イオンとその相手となる陰イオンの性質により、表 6 - 7 に示すように水に対する溶け易さは異なります。一般に、金属イオンと硝酸あるいは塩酸で生成する硝酸塩や塩酸塩は非常によく水に溶け

表 6 - 7 イオン性の物質の水に対する溶解度(g/100g)

	Cl <sup>-</sup>	Br <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	OH <sup>-</sup>	CN <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	S <sup>2-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
Na <sup>+</sup>	36	47.5	88	63.5	37	21.5	9.6	7.7	15.8	19.8
K <sup>+</sup>	34	65.2	31.6	112	71.5	52.5	24.9	159		107
Mg <sup>2+</sup>	54.5	96.5	42.1							26.2
Ca <sup>2+</sup>	74.5	143	56.39	0.17		3.5x10 <sup>-3</sup>	0.17	2.0x10 <sup>-2</sup>		0.208
Ba <sup>2+</sup>	35.7	104	9.2	3.89		2.2x10 <sup>-3</sup>				2.0x10 <sup>-2</sup>
Al <sup>3+</sup>	47.3		73	9x10 <sup>-4</sup>						26.7
Fe <sup>2+</sup>	37.6	53.5	45.6	7x10 <sup>-6</sup>					7.0x10 <sup>-5</sup>	26.5
Fe <sup>3+</sup>	91.9		46.6							
Co <sup>2+</sup>	34.6		50	3.2x10 <sup>-4</sup>	4.2x10 <sup>-3</sup>				3.8x10 <sup>-4</sup>	26.5
Ni <sup>2+</sup>	39.6	56.7	48.5	1.3x10 <sup>-3</sup>		9.3x10 <sup>-3</sup>				37.8
Cu <sup>2+</sup>	41.5	55.9	55.58	3.0x10 <sup>-5</sup>					3.3x10 <sup>-5</sup>	20.7
Zn <sup>2+</sup>	367	81.7	117.5	4.2x10 <sup>-4</sup>	4.9x10 <sup>-5</sup>					53.8

ますが、硫酸やりん酸や炭酸の塩類はあまり溶けません。また、ほとんどのカリウム (K)、ナトリウム (Na) などのアルカリ金属の塩類はよく水に溶けますが、マグネシウム (Mg) やカルシウム (Ca) やバリウム (Ba) などのアルカリ土類金属の塩は若干溶解性が悪くなります。さらに、鉄 (Fe) やアルミニウム (Al) の塩類はかなり溶け難くなります。これらの各種の金属の塩類は石油などの油にはほとんど溶けませんから、金属のイオンの相手となる陰イオンの組み合わせが替わることにより、金属の塩類が水溶液から結晶として沈殿してきます。

例えば、塩化カルシウムの水溶液に硫酸あるいはりん酸が加わると白色の沈殿が起こります。生じた沈殿は時として石のように固い物質に成長してゆきます。

生物は高い再現性と発展性を持ち、極めて複雑で、繊細で、効率の良い組織を作り上げるためには、高い機能を持つ多くの構成要素を必要とします。重力に逆らって生物の身体を維持したり、外界の影響から身体を守るためには、石のように固い物質も当然必要になってきます。宇宙における存在量が多く、相手となる陰イオンの組み合わせが替わることにより、水溶液から容易に結晶として沈殿してくる性質から、マグネシウムとカルシウムがこのような役目を担う金属元素として最も適していると思われま

#### 宇宙生物の素材となる物質の種類

宇宙生物を育む海は地球上と同じように水の海が最も適していると思われましたので、宇宙生物を構成する素材は液状の水に溶けるものでなくてはならないこととなります。しかし、宇宙生物が海の水に溶けてしまえば、形も組織もが無くなってしまうため不適当と考えられます。つまり、容易に進行する化学反応により宇宙生物は海に溶けている材料から、水に溶けない形のあるものに組織化し進化してゆかねばなりません。これまでいろいろの物質の水溶性の違いを考えてきましたが、その結果、宇宙生物本体を形作る物質の素材は水に対する溶解度の高いアルコール類、アミン類、カルボン酸やりん酸やスルホン酸などの酸類の何れかであろうと考えられます。また、宇宙生物はりん酸エステルほかに、スルホン酸、アルコールなどを水によく溶ける部分構造とし、炭化水素のような水に溶け難い部分構造として持つ物質の膜が生命活動を維持する化学反応のフラスコを作っているに違いないと考えられます。さらに、宇宙における存在量が多く、相手となる陰イオンの組み合わせが替わることにより、水溶液から容易に結晶として沈殿してくる性質を持つマグネシウムとカルシウムが石のように固い物質の役目を担う金属元素として考えられます。