

5. 生物を育む海

宇宙生物の生活温度

炭素を中心元素とする物質を有機化合物と呼んでいますが、宇宙生物が有機化合物で構成されていることを前章で考えました。そこで有機化合物の性質を考えてみましょう。大部分の有機化合物は全ての元素が共有結合で結ばれていますが、その共有結合が 200℃ 以上では切断して分解してしまいます。たとえ高い機能を持つ複雑な有機化合物であっても、200℃ 以上の温度では分解、変性してその機能を失ってしまいます。高い機能を完全に維持するためには 150℃ 以下の環境で無ければならないでしょう。他方、通常の有機化合物の反応は -100℃ 以下ではほとんど進行しません。このような低い温度では、たとえ反応が進行しても極めて緩慢なものとなるに違いありません。宇宙生物が誕生し進化する天体は -100℃ 以上の温度にかなりの期間保たれており、150℃ 以上の温度には決して上がらないと思われます。もしその天体が短期的に低温の状態になると、生命活動は凍結されてしまうでしょう。言い換えれば、宇宙生物の生活温度は -100℃ から 150℃ の温度範囲ということになり、生物の棲息できる天体は冷えて固まった天体で極めて温暖な気象条件を持つものに限られます。

出会いの反応と別れの反応

多種多様な化学反応があるにもかかわらず、反応の形態は出会いの反応(2 分子反応)と別れの反応(1 分子反応)の 2 種類しかありません。出会いの反応は 2 種類の分子が衝突し反応するもので、別れの反応はある分子が別の分子に分解あるいは変性してゆくものです。

A 子さんと B 君はそれぞれ広い東京にわびしく住んでいましたが、二人は仕事の都合で毎日同じ電車に乗るようになり、いつの日からか B 君は A 子さんに惹かれるようになりました。B 君の情熱が通じて、ついに二人は幸せな恋人として結ばれることになりました。このハッピーエンドを振り返ってみると、A 子さんも B 君もわびしい生活をしていたためかなり精神的に不安定で恋人の欲しい状態にありました。また、偶然に二人が度々出会う機会に恵まれました。さらに、B 君の情熱的なエネルギーが A 子さんの心を動かし二人とも幸せになったのではないのでしょうか。化学反応における出会いの反応はこの恋愛物語と極めてよく似ています。反応する 2 種類の分子は反応性が高いほど容易に反応が進行しますし、反応の前後で安定性が増加する場合に反応が容易に進行します。さらに、2 種の分子が互いに衝突する機会が多いほど反応は速やかに進行します。

2 種の分子の衝突する機会はそれぞれの分子の数に比例しますし、それぞれ、分子の運動の速度にも比例します。ある器の中の分子数を濃度と呼んでいますが、出会いの反応の速度はそれぞれの分子の濃度の積に比例します。また、溶媒の粘度が大きいほど分子運動が制限されるため反応は遅くなりますが、温度が高くなると溶媒の粘度が小さくなり、分子の運動の速度も速くなりますから、出会いの反応の速度は温度が高くなれば飛躍的に速くなります。

A 子さんと B 君は仲の良い恋人同士でしたが、最近何かと気の合わないことが多くなってきまし

た。A 子さんは洒落たコーヒーパーラーで美味しいケーキを食べることが好きですが、B 君は赤提灯でいっぱい飲むことをこよなく好みます。以前はお互いに無理をしていましたが、だんだんと我慢の限界になって来ました。ある日のデートでこの限界を超してしまい、分かれることになってしまいました。この恋の破局の原因は A 子さんと B 君が互いに引き付けあっていた愛の力が弱まったためであり、外部の人の影響は無いと考えることが出来ます。化学反応における別れの反応もこの A 子さんと B 君の関係に良く似ています。二つの原子を結ぶ結合が不安定であればあるほど、別れの反応は容易に進行して行き、それ以外の物質はこの反応に影響を与えません。表 2 - 2 にまとめた元素の放射壊変は最も典型的な別れの反応であり、外界の影響を全く受けず、陽子と中性子を結び付けている力が相対的に小さいために起こります。

物質は固体、液体、気体の 3 つの状態

多種多様な化学反応があるにもかかわらず、反応の形態は別れの反応と出会いの反応(2 分子反応)の 2 種類しかありません。そのため、いろいろの物質の状態での分子の動きを考えることが、多くの元素の集合してゆく出会いの反応について考えるときには大切なことと思われます。

一般に、分子と分子の間には相互に働く分子間力と呼ばれる弱い引力が働いています。また、物質の中で分子は動き回りますが、そのときの運動エネルギーは低温では小さく温度が高くなるほど大きくなります。物質には固体、液体、気体の 3 態があり、この分子間力と運動エネルギーの大きさの大小により物質の状態は決まってきます。しかも、運動エネルギーは温度により変化しますから、物質の状態も温度により固体から液体へ、さらに液体から気体に変化します。また、分子間力は分子と分子の間の距離に反比例するように変化しますから、圧力が高くなり分子の密度が高くなると、分子の間の距離

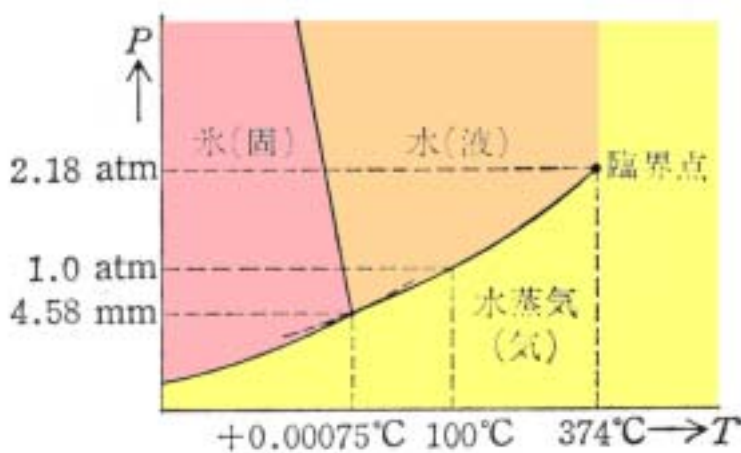


図 5-1 水の状態図

が小さくなるため分子間力が大きくなりますから、物質の 3 態も変化します。いろいろな物質の温度と圧力での状態は、図 5 - 1 に示す水の状態図と同じような関係にあります。

温度が低いために分子の運動エネルギーが分子間力よりはるかに小さいときには、固体の状態になり、分子は整然と規則的に並んでほとんど動くことが出来なくなります。この状態では分子はその配列を崩すほどには動くことが出来ません。温度が少し高くなり分子間力とほとんど同じ程度まで分子の運動エネルギーが大きくなると、分子は整然としたその配列を保つことが出来なくなり、液体となって物質の中を分子は自由に動き回るようになります。さらに温度が高くなり分

子間力よりも分子の運動エネルギーがはるかに大きくなると、分子は物質の中の分子間力のしがらみから開放されて、自由な世界に飛び出してゆきます。この飛び出す現象を気化といい、分子が分子間力の影響を受けずに自由に運動できる状態を気体の状態といいます。

テニスのボールが飛んできて身体にぶつかりと力を受けて痛みを感じます。同じように、質量を持った分子が気体の状態になって自由に動き回り、壁に衝突すると壁は何がしかの力を受けます。これを圧力といいます。地球の大気が地球の表面に衝突するときに生まれる圧力を大気圧といい、海拔 0m では 1cm^2 に約 1kg となります。気体の衝突で受ける力は分子の数が少なければ少なく、分子の数が多ければ受ける力も大きくなります。言い換えれば、圧力は自由に動き回る気体の分子の密度に比例するという事です。密度がある一定の体積中の分子の数を意味していることから、気体の圧力はその体積に反比例し、気体の分子の数に比例します。

また、ゆっくりしたテニスのボールにぶつかってもあまり痛くありませんが、強烈なスマッシュのボールにぶつかりと痣が出来るほど痛いものです。物質の衝突で生まれる力はその物質の速度が速ければ速いほど大きくなります。温度が高くなって分子の運動が激しくなると、壁に衝突する数も増加しますが同時に分子の速度も大きくなります。結果として温度が高くなれば気体の圧力が高くなります。体積 V の器の中に n 個の分子の気体を入れると、温度 T のときの器の中の気体の圧力 p は温度と分子の数に比例し器の体積に反比例します。比例定数を R とすれば式 5 - 1 のような関係式で表すことができ、これを理想気体の状態方程式と呼んでいます。

$$pV = nRT \qquad \text{式 5 - 1}$$

この関係式は理論的には自由に動き回る分子同士の相互作用が全くない理想的な気体に対する関係式ですが、現実存在する気体の関係を比較的良く表していますから、実際の化学の研究に便利に用いられています。この式を用いて計算すると、室温で 1g の水は 100°C まで加熱して完全に気化すると約 1700 倍の体積の水蒸気に膨張します。水を入れた容器を密閉して加熱すると、水が気化して内部の圧力が高くなります。この高い圧力を利用すれば蒸気機関を動かすことも出来ますが、容器の耐圧強度を越すと容器が壊れて爆発をすることもあります。

生物誕生は溶液中で

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。出会いの反応は 2 種類の分子が衝突して進行する反応ですから、分子が互いに自由に動き回るときに 2 種類の分子は衝突することが出来ます。もし、一方の分子が動かない場合には衝突はかなり起こりにくくなります。さらに両者とも動かない場合には衝突は全く起こらないでしょう。固体は分子が整然と並んでいて、互いの分子の間には弱い分子間力が働いて安定化していますから、その配列を崩す程には分子は動きません。液体は自由に動き回れますが、分子同士の分子間力により分子の集合しているところから抜け出すことが出来ません。

そのため 2 種類の固体が在ってもその分子が衝突することはほとんどありません。固体と液体が在るときは固体の表面に液体の近づくことが出来ますが、その分子が衝突することは固体の表面に限られてしまいます。固体と気体が在るときも同様に分子の衝突は限られてしまいます。また液体と気体では、分子はそれぞれの中では自由に動き回ることができますが、それらの分子が液体と気体の境目を通り越すことはかなり難しいと思われます。2 種類の分子が容易に衝突して出会いの反応をすることが出来るのは 2 種類の物質が液体同士あるいは気体同士のときだけに限られます。しかし、宇宙生物の生活温度と考えられる - 100 から 150 の温度で液体や気体の状態であることのできる物質の種類はさほど多くはありません。たとえば、地球上で天然に在る気体は約 10 種類、液体は 30 種類程度と見積もることができます。宇宙では温度と圧力が必ずしも地球の環境に近いものとは思われませんが、物質の種類が飛躍的に増えるとは思われません。また圧力の低い環境では多くの物質が気体になりますが、そのときは気体となった物質は大変希薄で互いに衝突する機会は非常に少ないものと思われれます。このように考えてくると多種多様な物質が単なる液体分子同士あるいは気体分子同士の衝突で形作られてきたとは思われません。

これとは別に、物質が液体に溶け込んだときには、物質の分子はその液体の中を自由に動き回ることが出来ます。そのため液体に溶けた 2 種類の物質の分子は容易に衝突することができ、反応が進行します。このとき物質を溶かす母体となる液体を溶媒、溶けた物質を溶質、物質の溶けた液体を溶液といいます。多種多様な物質が生物の誕生、進化の段階でも寄与すると思われれますが、それらの物質は主に溶液中で分子の衝突による出会いの反応で生じてくると思われれます。

生物が誕生し進化する溶液

生物を構成する物質を作る出会いの反応は宇宙生物の生活温度である - 100 から 150 の温度範囲で多量にある液体の中で起こると思われなければなりません。固体の状態から液体の状態へは凝固点あるいは融点で変化しますが、固体と液体の 2 つの状態の分子間相互作用にはあまり大きな違いがありませんから、体積の変化もあまり大きくありません。そのため、図 5 - 1 でも分かるように、凝固点の値はほとんど圧力に影響されませんから、かなり高い大気圧でも低い大気圧でも地球上の凝固点とほぼ同じ凝固点を示します。このことから単体硫黄、黒鉛、酸化ケイ素、酸化アルミニウムなどの地球上で融点が 100 以上の固体の物質は圧力の異なる他の宇宙でも液体の状態では存在しないことを意味しています。

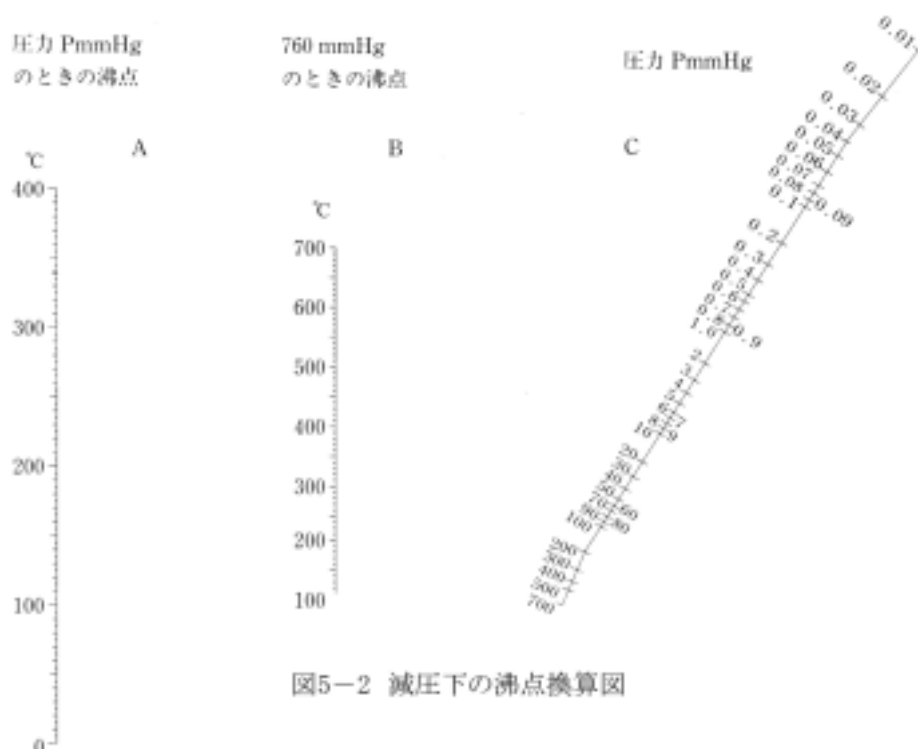


図5-2 減圧下の沸点換算図

さらに圧力が下がりますと、固体と液体と気体の3態が共存できる特殊な条件になります。この条件を3重点といい、この3重点よりも低い圧力の環境では物質が液体になることがありません。図5-1から分かるように水の3重点の圧力は0.006気圧で、ちょうど火星の大気圧と同じくらいです。このことから現在の火星には液体の水は全く存在し得ないのではないかと思います。固体あるいは液体の状態から気体の状態への変化は温度と圧力により大きく変化しますが、1気圧(760mmHg)よりも低い圧力の下で気化する温度は図5-2の換算図によりおよそ近似することが出来ます。この図で地球上における沸点をB尺に取り、宇宙の彼方の天体の大気圧をC尺にとって直線で結ぶときA尺と交わる点の温度から、その天体でどのような物質が液体として存在できるか類推できることになります。この図を用いた沸点の類推には、種々の物質の地球上の沸点が基準になります。水素分子、酸素分子、窒素分子などのように赤外線などの電磁波では観測が困難な星間物質も多くありますが、表5-1には地球上から電磁波で観測できた物質の名前を挙げておきました。ここに挙げてある物質の中には大気圧が高い地球上では極めて不安定で調べることの出来ない物質も含まれていますが、可能な限りここに挙げてある物質の地球上における融点と沸点を併せて挙げておきます。その上、物質固有の臨界温度を超えともはや液体の状態にはなれなくなってしまいます。表5-2には宇宙で多く存在する元素で構成されている融点の低い物質の臨界温度と臨界圧をまとめておきました。水素、ヘリウム、窒素、酸素、一酸化炭素などは生活温度の温度範囲では臨界温度を超えているために、液体の状態で存在できず気体の状態にあります。メタンも少し温度が上がると液体では存在できず、気体になってしまいます。このように考えてくると、炭素を中心の元素とする物質が反応できる温度で液体の状態にあり溶媒になりうる物質は水、アンモニア、二酸化炭素、硫化水素、二酸化硫黄などに限られます。さ

らに、ある天体で生物が誕生し進化してゆくためには、生命活動を維持する反応に適した多量の溶媒がその天体になければなりません。つまり、その天体に生物に適した海がなければならず、生物は海の中に誕生し進化してゆくのでしょう。

表 5 - 1 電磁波で観測された星間物質（その 1）

分子式	物質名	周波数 (GHz)	融点	沸点
CO	一酸化炭素	115.271	-199	-192
NO	一酸化窒素	150.547	-164	-152
CH ₂ CO	ケテン	100.095	-151	-56
OCS	硫化カルボニル	97.301	-138	-50
CH ₃ SH	メチルメルカプタン	101.139	-123	6
CH ₃ CHO	アセトアルデヒド	79.150	-121	21
C ₂ H ₅ OH	エチルアルコール	90.118	-117	79
CH ₃ OCH ₃	ジメチルエーテル	86.224	-116	35
HNCS	チオイソシアン酸	129.013	-110	-90
CH ₃ CCH	メチルアセチレン	102.548	-102	-23
HCOOCH ₃	ギ酸メチル	100.482	-99	32
CH ₃ NH ₂	メチルアミン	73.044	-94	-6
CH ₃ OH	メチルアルコール	36.169	-94	65
C ₂ H ₅ CN	シアン化エチル	105.469	-93	97
H ₂ CO	ホルムアルデヒド	4.830	-92	-21
H ₂ S	硫化水素	168.763	-86	-61
CH ₂ CHCN	シアン化ビニル	1.372	-84	79
NH ₃	アンモニア	23.694	-78	-33
SO ₂	二酸化硫黄	104.029	-73	-10
CH ₃ CN	シアン化メチル	110.381	-46	82
CH ₃ NC	イソシアン化メチル	80.418	-45	60
HCN	シアン化水素	88.632	-14	26
H ₂ O	水	22.235	0	100
NH ₂ CHO	ホルムアミド	1.539	3	
HCOOH	ギ酸	85.927	9	101
NH ₂ CN	シアナミド	80.505	42	
SO	一酸化硫黄	86.094	95	

表 5 - 1 電磁波で観測された星間物質 (その 2)

分子式	物質名	周波数 (GHz)	融点	沸点
NS	硫化窒素	115.572	178	
AlCl ₃	塩化アルミニウム	102.031	190	183
CS	一硫化炭素	48.991	200	
KCl	塩化カリウム	99.930	776	1500
NaCl	塩化ナトリウム	104.190	801	1413
SiS	硫化ケイ素	90.772	940	
SiO	一酸化ケイ素	86.243	1702	1880
CSi	炭化ケイ素	157.494	2700	
CH ₃ C ₄ H	メチルジアセチレン	20.357		56
HCCCHO	プロピナール	37.290		61
AlF ₃	フッ化アルミニウム	98.928		1291
C ₃ H	プロピニルラジカル	32.660		
C ₃ H ₂	シクロプロペニリジン	46.756		
C ₃ N	シアノエチニルラジカル	98.940		
C ₃ O	一酸化三炭素	48.108		
C ₃ S	一硫化三炭素	23.123		
C ₄ H	ブタジニルラジカル	28.532		
C ₄ Si	四炭化ケイ素	42.945		
C ₅ H ₄	1,2-ペンタジエン-4-イン-3-イル-1-イリデンラジカル	45.351		
C ₆ H ₄	3,5-ヘキサジーン-1-エン-2-イル-1-イリデンラジカル	23.565		
c-C ₃ H	シクロプロピニルラジカル	91.494		
CCH	エチニルラジカル	87.317		
CCS	一硫化二炭素	45.379		
CH	メチリジン	3.335		
CH ₂ CN	CH ₂ CN ラジカル	40.240		
CH ₂ NH	メチレンイミン	5.290		
CH ₃ CCCN	メチルシアノアセチレン	20.657		
CN	シアンラジカル	113.491		
CP	炭化リン	238.857		
H ₂ CS	チオホルムアルデヒド	104.617		
HC ₁₁ N	シアノペンタアセチレン	23.698		
HC ₅ N	シアノジアセチレン	23.964		
HC ₇ N	シアノトリアセチレン	24.816		

表 5 - 1 電磁波で観測された星間物質（その 3）

分子式	物質名	周波数 (GHz)	融点	沸点
HC ₉ N	シアノテトラアセチレン	14.526		
HCCCN	シアノアセチレン	81.881		
HCO	ホルミルラジカル	86.671		
HCO ⁺	ホルミルイオン	89.189		
HCS ⁺	チオホルミルイオン	128.021		
HN ₂ ⁺	ジアジニルイオン	93.174		
HNC	イソシアン化水素	90.664		
HNCO	イソシアン酸	87.925		
HNO	ニトロキシル	81.447		
HOC ⁺	イソホルミルイオン	89.487		
HOCO ⁺	HOCO ⁺ イオン	85.531		
OH	ヒドロキシルラジカル	1.667		
PN	窒化リン	93.980		
SiC ₂	シラシクロプロピン	94.245		

表 5 - 2 種々の溶媒の臨界温度()と臨界圧(atm)

物質	臨界温度	臨界圧	物質	臨界温度	臨界圧
水	374.2	218.3	アンモニア	132.3	111.3
酢酸	321.6	57.1	硫化水素	100.4	88.9
ベンゼン	289.0	48.6	塩化水素	51.4	81.5
二硫化炭素	279.0	78.0	二酸化炭素	31.0	72.9
酢酸エチル	250.1	37.8	メタン	-82.1	45.8
メタノール	240.0	78.5	一酸化窒素	-93.0	64.0
シアン化水素	183.5	53.2	酸素	-118.4	50.1
二酸化硫黄	157.5	77.8	一酸化炭素	-140.0	34.5
メチルアミン	156.9	73.6	窒素	-147.0	33.5
ブタン	152.0	37.5	ネオン	-228.7	26.9
塩素	144.0	76.1	水素	-239.9	12.8
塩化メチル	143.1	65.9	ヘリウム	-267.9	2.3

生命が誕生し進化する海

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。温度が高くなると溶液中の溶質の運動が激しくなるため、この出会いの反応は温度が20 高くなれば他のすべての条件がまったく同じでも約 10 倍早く進みます。そのうえ、一般に温度が高くなると物質は溶媒によく溶け濃度が高くなります。出会いの反応は溶質のそれぞれの濃度に比例しますから、生命の誕生、進化は温度の変化に大きく影響されると思われます。低い温度では反応が遅すぎ、高い温度では早すぎることもあるでしょう。また、低い温度で起こる反応と高い温度で起こる反応が異なってしまう、同じ反応でないこともあります。生物が増殖・成長し、高い機能と高い効率を示すためには生物を構成する出会いの反応は高い再現性を持って進行しなければなりませんから、大きな温度の変化や不規則な温度変化があってはなりません。

融解熱に相当するエネルギーが外部から加わるときに、融点にある固体物質は液体の状態に変化してゆき、完全に液体になるまでは温度が変化しません。また、気化熱に相当するエネルギーが外部から加わるときも、液体物質が完全に気体の状態に変化するまでは物質の温度は沸点で一定します。逆に、気体物質は気化熱に相当するエネルギーを放出して液化し、液体が固体に状態の変化をするときには融解熱に相当するエネルギーを放出します。大きな融解熱や気化熱を持つ物質は多少のエネルギーの増減ではその状態の変化は一部分に限られます。そして、液体の状態は沸点を上限に融点を下限に保たれ、容易に気体または固体に完全に変化することがありません。

表 5 - 3 種々の溶媒の融解熱と気化熱(kcal/g)

物質	融解熱	気化熱	物質	融解熱	気化熱
水	0.080	0.540	塩化水素	0.013	0.106
アンモニア	0.079	0.328	酢酸	0.047	0.097
メタノール	0.024	0.263	ベンゼン	0.030	0.097
シアン化水素	0.074	0.223	ブタン	0.019	0.088
メチルアミン	0.047	0.199	塩素	0.022	0.069
二酸化硫黄	0.095	0.156	一酸化炭素	0.007	0.052
二酸化炭素	0.045	0.137	酸素	0.003	0.051
硫化水素	0.017	0.131	窒素	0.006	0.048
メタン	0.014	0.122	硫黄	0.005	0.039
一酸化窒素	0.018	0.110	ネオン	0.004	0.022
水素	0.014	0.109	ヘリウム	0.000	0.005

このため、その天体の海が大きな融解熱や気化熱を持つ物質でできている場合には、その天体の気候を支配し、生物の誕生や進化に適した小さな温度の変化や規則的な温度変化をもたらします。表 5 - 3 には宇宙生物の生活温度である - 100 から 150 の温度範囲で液体と成り易い物質の融解熱と気化熱をまとめました。この表でわかるように、水とアンモニアの海は気候を温暖にするため、生物を育む海に特に適しており、二酸化炭素や二酸化硫黄や硫化水素も生物が誕生や進化するときの海の可能性を持っていることになります。

表 5 - 4 種々の溶媒の比熱

物質	温度	比熱	物質	温度	比熱
水素	-252	2.330	アセトン	20	0.514
アンモニア	40	1.160	窒素	-197	0.475
水	20	0.999	酢酸エチル	20	0.457
メタノール	20	0.601	酸素	-200	0.398
一酸化窒素	-156	0.580	塩化エチル	0	0.367
エタノール	20	0.577	ベンゼン	10	0.340
グリセリン	20	0.576	硫酸	20	0.335
ブタン	0	0.549	二酸化硫黄	20	0.328
二酸化炭素	-10	0.539	二硫化炭素	20	0.290
ヘキサン	20	0.536	塩素	-205	0.229
酢酸	30	0.522	一酸化炭素	-100	0.062

生命活動と温度変化

ある天体で生物が誕生し進化してゆくためには、その天体にどのような海が必要なのか考えて見ましょう。液体の温度は外部からエネルギーが加わることにより上昇し、放出することにより低下します。そのとき比熱の小さな液体では温度が急激に変化します。比熱の大きな液体ではその変化はゆるやかになり、外部から影響するエネルギーが大きくてもその温度の変化は小さくなります。このため、その天体の海が大きな比熱を持つ物質でできている場合には、その天体の気候を支配し、生物の誕生や進化に適した小さな温度の変化や規則的な温度変化をもたらしますから、生命活動を維持する反応は比熱の大きな溶媒の中の方が適していることになります。表 5 - 4 には宇宙生物の生活温度である - 100 から 150 の温度範囲で液体と成り易い物質の比熱をまとめました。この表でも、水とアンモニアが生命活動を維持する反応の溶媒に適していることになります。

生命活動に必要な物質を産み出す海

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反応に関与する溶質のそれぞれの濃度に比例します。そのため、生命の誕生や進化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。

表 5 - 5 種々の溶媒の誘電率

物質	温度	誘電率	物質	温度	誘電率
水	25	78.54	硫黄	118	3.52
メタノール	25	32.60	二硫化炭素	20	2.64
エタノール	25	24.30	ベンゼン	20	2.28
アセトン	25	20.70	塩素	14	1.91
アンモニア	25	16.90	メタン	-173	1.70
二酸化硫黄	20	14.10	プロパン	0	1.61
塩化メチル	-20	12.60	二酸化炭素	0	1.60
メチルアミン	25	9.40	アルゴン	-191	1.53
硫化水素	-79	9.05	酸素	-193	1.51
塩化水素	-15	6.35	窒素	-203	1.45
酢酸	20	6.15	水素	-253	1.23
酢酸エチル	25	6.02	ヘリウム	-269	1.05

一般に共有結合で結びついている物質は類似の性質を持つ溶媒に良く解けます。たとえば、炭素と水素のみで構成される炭化水素は炭化水素を主成分とする石油のような油の性質を持つ溶媒に良く溶けます。また、水酸基を持つアルコール類はエタノールや水のように水酸基を持つ溶媒に良く解けます。他方、元素がイオン結合で結びついている物質は、電氣的に解離した陽イオンと陰イオンに分かれて溶媒に溶けて溶液になります。電荷を持ったイオンの粒子が誘電率の大きな溶媒の中に存在すると、その電荷が粒子の周囲に分散するためイオンは安定化します。そのため、誘電率の小さな溶媒にイオン結合性の物質は溶け難く、誘電率の大きな溶媒にはイオン結合性の物質はよく溶けます。炭素、水素、酸素、窒素等のほかに、各種の金属元素を含むことにより物質の性質に多様性が増します。宇宙生物が化学反応で生命活動を維持するためには多種多様な物質を必要としますから、各種の金属元素を含むイオン結合性物質の溶けやすい溶媒が生物の誕生や進化の反応に適していると思われます。宇宙生物の生活温度である - 100 から 150 の温度範囲で液体と成り易い物質の誘電率を表 5 - 5 に挙げておきます。この表は、水あるいはアンモニアの海の中が生物の誕生、進化に適していることを示唆しています。

海の酸性度

酸性—塩基性の概念は物質の重要な化学的性質の一つで、多くの化学反応を支配する要素です。デンマークの化学者の Brønsted は水素の陽イオンを出す性質を酸性、水素の陽イオンを受け取る性質を塩基性と定義しています。この定義によると酸と塩基の反応は水素陽イオンの遣り取り

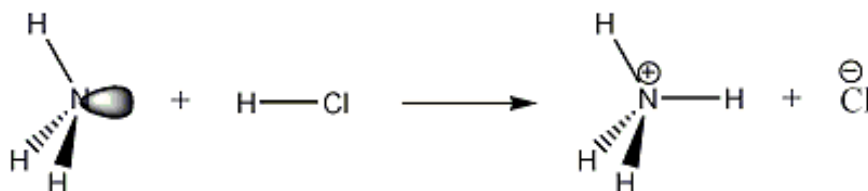
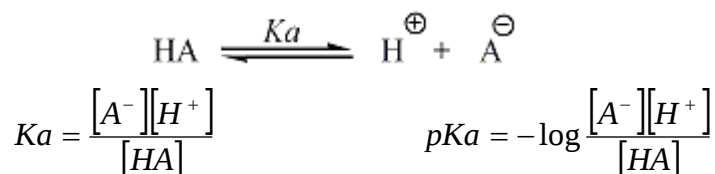


図5-3 アンモニアと塩化水素の酸塩基反応

と考えることが出来ます。例えば図 5 - 3 に示すように、代表的な酸として知られる塩化水素と塩基として知られるアンモニアは速やかに反応します。この時、塩化水素は水素陽イオンと塩素イオンに解離して、水素陽イオンを供給します。同時にアンモニアは水素陽イオンを受け取りアンモニウムイオンとなります。結果として塩化アンモニウムが生成します。ほとんどの酸は多かれ少なかれ水素陽イオンと対応する陰イオンに解離しますから、水素陽イオンはもっとも小さな化学物質としてあらゆる系において安定に存在しています。近くに水素陽イオンを受け取る塩基が存在すれば、水素陽イオンの遣り取りの活性化エネルギーは極めて小さく、速やかに水素陽イオンは移動して酸—塩基の反応が進行します。

さらに、Brønsted の定義によれば、酸と塩基の関係は相対的なものであり、ある物質が 2 種類の溶媒に溶けている場合に、一方の溶媒中では酸性を示し、他方の溶媒中では塩基性を示すこともあり得ることになります。そのため式 5 - 2 に示すように、物質の pK_a (解離定数) が酸性度を示す尺度として用いられています。ある溶媒の pK_a よりも小さな pK_a を持つ物質はその溶媒中で酸性を示し、大きな pK_a をもつ物質は塩基性を示します。生命活動を維持する反応に適した溶媒と考えられる水とアンモニアの pK_a は 15.7 および 33 と測定されています。宇宙の生物を構成すると思われる炭素を中心とする酸性物質の pK_a を表 5 - 6 にまとめました。表 5 - 6 によると水の中でもアンモニアの中でもはカルボン酸類、フェノール類、メルカプタン類等は酸性を示しています。そして、アルコール類は水の中では中性を示しますが、アンモニアの中では酸性を示します。



式 5 - 3 酸塩基平衡と pK_a の定義式

これに対して、水とアンモニアが塩基として働き、水素陽イオンと反応したオキソニウムおよびアンモニウムイオンの pK_a はそれぞれ - 1.7 および 9.25 と測定されています。宇宙の生物を構

表 5 - 6 酸の pKa

物質	酸	共役塩基	pKa
塩酸	HCl	Cl ⁻	-7.00
硫酸	H ₂ SO ₄	HSO ₄ ⁻	-5.20
硝酸	HNO ₃	NO ₃ ⁻	-1.40
硫酸	HSO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻	1.92
りん酸	H ₃ PO ₄	H ₂ PO ₄ ⁻	2.12
蟻酸	HCOOH	HCOO ⁻	3.75
安息香酸	C ₆ H ₅ COOH	C ₆ H ₅ COO ⁻	4.19
酢酸	CH ₃ COOH	CH ₃ COO ⁻	4.75
炭酸	H ₂ CO ₃	HCO ₃ ⁻	6.37
硫化水素	H ₂ S	HS ⁻	7.04
りん酸	H ₂ PO ₄ ⁻	HPO ₄ ²⁻	7.21
シアン化水素	HCN	CN ⁻	9.10
ホウ酸	H ₃ BO ₃	H ₂ BO ₃ ⁻	9.14
フェノール	C ₆ H ₅ OH	C ₆ H ₅ O ⁻	9.89
炭酸	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	10.25
硫化水素	HS ⁻	S ²⁻	11.96
りん酸	HPO ₄ ²⁻	PO ₄ ³⁻	12.67
ホウ酸	H ₂ BO ₃ ⁻	HBO ₃ ²⁻	12.74
ホウ酸	HBO ₃ ²⁻	BO ₃ ³⁻	13.80
メタノール	CH ₃ OH	CH ₃ O ⁻	15.00
水	H ₂ O	OH ⁻	15.70
アセトン	CH ₃ COCH ₃	CH ₃ COCH ₂ ⁻	20.00
アンモニア	NH ₃	NH ₂ ⁻	36.00
ベンゼン	C ₆ H ₆	C ₆ H ₅ ⁻	43.00
メタン	CH ₄	CH ₃ ⁻	49.00

成すると思われる炭素を中心とする塩基性物質の共役酸の pKa を表 5 - 7 にまとめました。表 5 - 7 によるとアンモニア中では、限られたアミン類を除きほとんどの物質の共役酸がアンモニウムイオンの pKa 9.25 よりも小さな pKa を示すため塩基性を示しませんが、オキソニウムイオンの pKa が - 1.7 であるため水の中ではアミン類、アニリン類等は塩基性を示します。また、ベンゼンや石油のような炭化水素は水にもアンモニアにもあまり溶けないので、ほとんど酸性も塩基

性も示しません。

温度、圧力、濃度等のいろいろな要素が反応に影響を与えますが、酸性—塩基性も反応に大きく影響を与えます。アンモニア中ではほとんどの物質が酸性を示すことから、限られた種類の反応のみが進行するものと思われます。これに対して、水の中では酸性の反応も塩基性の反応も進行することから、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ます。このように考えてくると、地球のように水でできた海が生命活動を維持する反応に最も適していることになります。

表 5 - 7 塩基の共役酸の pKa

物質	共役酸	塩基	pKa
ピロール	$C_4H_6N^+$	C_4H_5N	-2.9
水	H_3O^+	H_2O	-1.7
尿素	$H_2NCONH_3^+$	H_2NCONH_2	0.1
アセトアミド	$CH_3CONH_3^+$	CH_3CONH_2	0.63
グルタミン酸	$HOOC(CH_2)_2CH(COOH)NH_3^+$	$HOOC(CH_2)_2CH(COO^-)NH_3^+$	2.13
プリン	$C_5H_6N_4^{2+}$	$C_5H_5N_4^+$	2.3
アラニン	$CH_3CH(COOH)NH_3^+$	$CH_3CH(COO^-)NH_3^+$	2.35
アデニン	$C_5H_4N_4NH_3^{2+}$	$C_5H_3N_4NH_3^+$	4.12
グルタミン酸	$HOOC(CH_2)_2CH(COO^-)NH_3^+$	$^-OOC(CH_2)_2CH(COO^-)NH_3^+$	4.31
アニリン	$C_6H_5NH_3^+$	$C_6H_5NH_2$	4.63
リジン	$H_3N^+(CH_2)_4CH(COOH)NH_3^+$	$H_2N(CH_2)_4CH(COO^-)NH_3^+$	5.05
ピリジン	$C_5H_6N^+$	C_5H_5N	5.25
イミダゾール	$C_3H_5N_2^+$	$C_3H_4N_2$	6.95
プリン	$C_5H_5N_4^+$	$C_5H_4N_4$	8.96
アンモニア	NH_4^+	NH_3	9.25
トリメチルアミン	$(CH_3)_3NH^+$	$(CH_3)_3N$	9.81
アデニン	$C_5H_3N_4NH_3^+$	$C_5H_3N_4NH_2$	9.83
リジン	$H_2N(CH_2)_4CH(COO^-)NH_3^+$	$H_2N(CH_2)_4CH(COO^-)NH_2$	10.53
メチルアミン	$CH_3NH_3^+$	CH_3NH_2	10.66
ジメチルアミン	$(CH_3)_2NH_2^+$	$(CH_3)_2NH$	10.73
イミダゾール	$C_3H_4N_2$	$C_3H_4N_2^-$	14.3