

# 海は生命の故郷—原始海水と生物体液の化学組成

椋山女学園大学学長 名古屋大学名誉教授  
北 野 康

## はじめに

銀河系だけでも星の数は1,000億を超える。宇宙に存在する数え切れない星の中で、私どもの住む地球という惑星だけに満々たる海水がある。その海水こそは地球生物の故郷であると私どもは考えているのだが、その背景について語ってみたい。さて、この課題には、今私どもの持っている地球や海の形成論を知っておいて頂くのがよい。そこで、まずはそんなことから説き起こさせて頂くことにした。

## 1 固体地球と海の誕生

今から46億年前、太陽系では星間雲が収縮を始めた。その質量のほとんどは太陽を形成し、残ったほんのわずかな物質は太陽のまわりに円板状の原始太陽系星雲を作り、それは熱を宇宙空間に発散させて冷えてきた。冷えるにつれて鉱物が凝縮析出し、次第に原始太陽系星雲の中心面上に沈殿する。沈殿した微粒子の付着、衝突などの過程を通して、太陽のまわりをまわる地球を初めとする9つの惑星、その惑星のまわりをミニ惑星のようにめぐる衛星群、そして無数の隕石や宇宙塵ができた。その凝縮過程のタイムスケールは1万年ほどで、粒子は $10^{-10}$ m(オングストローム)から $10^{-6}$ m(ミクロン)に増加する。また沈殿過程のタイムスケールは数千年で、粒子は互いに付着し合い、メートルサイズになり、あとは一気に10kmほどまでになる。この10kmほどの小天体は微惑星と呼ばれ、この微惑星の衝突を通して地球などは形成された。この衝突過程で温度があがり、地球表面は溶けたマグマの海(magma ocean)となる。

地球ができてしまうと、あとは温度はあがらず冷えてきて、地球表面では水蒸気が液体の水、す

なわち海水となった。

さて、太陽系の材料物質は地球の材料物質だと私どもは考えている。46億年前の太陽系の材料物質は元素の宇宙存在度と呼ばれ、地球化学者は次の2つの測定値からそれを推定し、元素組成の表を持っている。その1つは太陽の元素組成であり、もう1つは46億歳の年齢をもち、私どもが入手している、最も始源的な隕石であるC・1コンドライト(炭素質コンドライト type 1)の元素組成である。希ガスのような気体を別にすると、両者の元素組成は驚くほど同一である。

私どもは地球の材料を知ることができたので、それから地球を思想的に作ることができよう。地球上に存在する物質を2つの群にわけて取扱うと大変都合であることを私どもは知った。1つは熱を加えると気体になり易い揮発性物質、他の1つは気体になりにくい非揮発性物質である。前者は空、海水を含む天然水、そして生体の材料物質であり、後者は固体地球の材料物質と考えられる。

太陽の化学組成からは思想的に、そしてC・1コンドライト隕石からは実験的に固体地球を作ることができる。固体地球の質量も元素組成もここでは説明はしないが私どもは知ることができているからである。こうして非揮発性の固体地球を太陽系の材料物質から作ると、それに応じた揮発性物質の量とその元素組成が出てくる。熱い原始地球ではこれらは気体として存在したと考え、これが原始大気ということになり、これを一次原始大気と呼ぶ。それはさておいて、現地球上に分布している物質で熱を加えると気体になり易い物質などを拾いあげて、地球の実際上の原始大気の量と化学像を具体的に推定することは可能である。この事実上の原始大気を二次原始大気と呼ぶ。さて一次原始大気と二次原始大気の量と質を比較す

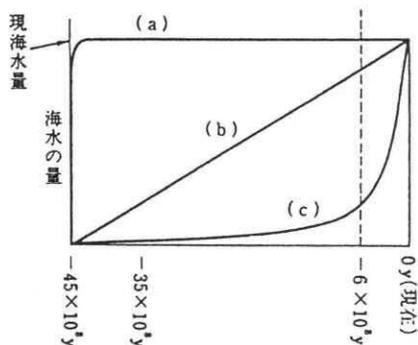


図1 海水の量の時間的変遷 (北野 康, 1980)

ると、実は全く違っていることが分った。一次原始大気量は二次原始大気の1,600倍にもなり、質も全く違うのである。そこで宇宙物理学者の力を借りて次のようなシナリオを地球化学者は書いた。46億年前に微惑星の衝突で地球ができたときには当然固体地球は大変濃い一次原始大気に包まれていたが、地球形成の初期に太陽からの強烈な風(タウリ段階と呼ばれる)が地球に吹きつけ、その濃い一次原始大気は惑星空間に完全に逃失してしまい、言ってみれば地球は真空状態のようなことになった。そのあと微惑星の衝突で地球表面は溶けていたのでその溶けた岩石から揮発性物質が二次的に大気に放出して二次原始大気となった。これが実際上の地球の原始大気である。そのとき多量にあった  $H_2$  や  $He$  は軽いので地球の重力圏内に地球の引力はそれらを保持できず、地球の重力圏外に逃失させてしまったが、分子量18の水蒸気は地球の重力圏内に保持され、決して逃失することなく、これらが実際上の地球の原始大気となったのである。地球形成時に地球の表層は溶けてマグマの海の像をしている。従って海水の源である水蒸気などの揮発性物質は、地球形成の初期に大気に放出し切ってしまったと考えざるをえない。そこで海水の形成速度は図1の(a)となるのである。ここでは述べないが、これを支持する科学的知見はいくつかある。

## 2 海は地球生物の故郷

海は固体地球と同じく、今から45億年前に形成

された。その海水中で38億年前に生命が誕生し、それからの34億年もの間、生物は海水中で進化の歴史を送り、やっと今から4億2千万年前に海から陸にあがってきた。海こそは地球生物の故郷である。

### (2-1) 生物が海から陸にあがったこと

原始大気には酸素ガス ( $O_2$ ) は無かった。その頃の岩石を採集してその中に含まれる、例えばウラン (U) の存在状態を調べればそのことは分かる。Uのような元素は大気中の  $O_2$  の分圧の違いによって岩石中の存在状態が微妙に変わるからである。30億年ほど前の岩石中のUの存在状態から、生物が生れた頃の大気には  $O_2$  は無かったことが分かった。 $O_2$  が無いとオゾン ( $O_3$ ) は存在しない。なぜならば  $O_3$  は  $O_2$  に紫外線があたって生成するものだからである。さて現在、私どもが生存できるのは、太陽からやってくる紫外線が高度20~45km辺りに存在するオゾンに能率よく吸収され、弱められて地球にやってくるからである。太陽からの紫外線がまともにそのままやってくると、生物のDNAは破壊され、生物の生存はありえない。生物が誕生した頃大気中には  $O_3$  は無かったので、地球にやってくる紫外線は強く生物の誕生も生存もありうるはずはない。それなのに生物が生まれたという地史的な事実は、紫外線は強かったが、どこか紫外線が弱まった所で生物は誕生し、進化の歴史を送ったと考えざるをえない。

そこを見つけるのは困難ではない。水深50mから100mの海水中ならばよい。さて、生物は海の中で誕生し、進化した。やがて、緑色植物が海水中に出現し、太陽からの放射エネルギーのもとで  $CO_2$  と  $H_2O$  から有機物を作り、 $O_2$  を放出する光合成反応がおこる。こうして地球には海で初めて  $O_2$  が登場した。やがてこの  $O_2$  は大気に出てくる。現地球大気は21%の  $O_2$  を含んでいるが、その1/10の2%ほどを大気含むと、それに応じて  $O_3$  が大気中ででき、それなりに太陽からの紫外線は弱まり、原始的な植物は陸でも生存でき、生物は海から陸にあがることができることになった。それが今から4億2千万年前のことであったというのである。

ここで  $O_2$  の登場について一言付け加えさせて頂

表1 地殻, 大気, 天然水, 人体, 人間の体液における10主要化学元素

元素数の多い順序	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
地 殻	O	Si	Al	Ca	Na	Fe	Mg	K	Ti	P
土 壤	O	Si	Al	C	Fe	K	Ca	Na	Mg	Ti
元素の宇宙存在度	H	He	O	C	Ne	N	Mg	Si	Fe	S
二次原始大気	H	O	C	Cl	N	S	(Ca, Mg, Na, K)			
現 大 気	N	O	Ar	C	H	He	Ne	Kr	Xe	S
原 始 海 水	H	O	Cl	S	(Ca, Mg, Fe, Na, K)					
(現)海 水	H	O	Cl	Na	Mg	S	N	Ca	K	C
現 河 川 水	H	O	C	Ca	Na	Si	Cl	Mg	S	K
現 雨 水	H	O	Na	S	Cl	Ca	Mg	K		
amniotic fluid	H	O	Na	Cl	C	K				
人 体	H	O	C	N	Na	Ca	P	S	K	Cl(Mg)

く。原始海水は HCl の酸性で、Fe<sup>2+</sup>が岩石から溶かし出されていた。海水中で緑色植物が作った O<sub>2</sub> でこの Fe<sup>2+</sup>は酸化され、酸化鉄として堆積した。今から20~30億年前のことである。現代は鉄文明の時代である。この鉄文明を支える鉄材は、20~30億年前に以上のようにして作られた酸化鉄である。

人間に必要な21%の O<sub>2</sub>を作り、また鉄文明の素材を作ってくれたのは、緑色植物であることを認識して欲しいものである。

(2-2) 生体の化学組成は海水のそれに近い

生物は環境に多量含まれる元素をより多く身体にとり入れる。生物の生存環境としては、大気、水圏および地殻である。地球上における生物生存に関係しそうな場の化学組成の正しいデータが入手できるようになった。私はそれらの場に含まれる元素の数の多い順に10ヶほどの元素を並べ、表1を作った。取りあげた場は、地殻、土壌、太陽と C・I コンドライトから求めた太陽系の材料物質、地球上に分布する揮発性物質から堆定した事実上の地球の二次原始大気、現大気、原始海水、

(現)海水、河川水、雨水、そして生体としては人間、猿、馬、牛、羊、山羊、豚、兎、犬、ねずみ、鶏などの blood, plasma, serum, cell, amniotic fluid (人間), maternal serum (人間), 生体 (人間) などであった。表1には生物としては人間の値だけをあげたが、他の生物の値もこれに近く、これらの順序をみると、生物の身体と体液の化学

組成は現海水のそれに最も近いことがわかる。

生物の誕生場が海水であったことを支持する事実の一つとして、このことは使われる。

(2-3) 生体必須元素—微量重金属元素

ここで述べる論旨は、著明な生物化学者であった故江上不二夫教授の発想であった。名古屋大学に私が赴任したときの理学部長であり、そのご東京大学に移られ、停年後は三菱生命科学研究所長になられた。江上教授と私は名古屋大学でも話し合う機会も多かったが、同教授が三菱生命科学研究所に移られた時点から随分近い接触があった。

私は水の起源と進化をテーマの1つにしていたが、江上教授は若い頃から生命の起源の研究にいつかは打込みたいと念じ続け、三菱生命科学研究所で積極的にその研究を出発させた。生命の起源を論ずるにはその頃の大気や海水など生物の生存場の性質を知る必要があり、私と私の親友の故松尾禎士博士との3人で議論を重ねたことであった。ただ、その頃の特に海水中の微量元素濃度は不正確であり、今ではいいデータが入手できるので、今回私は改めて整理しなおした。

まず、江上教授の発想について述べることにする。生物が生存していくのに必須なものの一つは酵素である。酵素が酵素としての働きを果たすには、その活性中心に微量の或る種の重金属元素を必要とする。その元素を私どもは生体必須元素と呼ぶ。それは或る限られた重金属元素であり、化

表2 クロム(Cr)とその周辺の周期表(―は生体元素)

族 (周期)	5	6	7	8	
原子番号	23	24	25	26	27
(3)	<u>V</u>	Cr	<u>Mn</u>	<u>Fe</u>	<u>Co</u>
原子番号	41	42	43	44	45
(4)	Nb	<u>Mo</u>	Tc	Ru	Rh

(江上不二夫, 1974)

学者ならば酵素の活性中心に入りこめる化学的性質, つまり原子核をとりまく適当な数の電子をもつ元素が生体必須元素で, 入りこめない元素は生体無縁元素であろうと考えたくなる。そうだとすると, 元素の化学的性質が整理されているのは元素の周期律表であるので, 必須元素は周期律表のどこかに集まるはずである。さて, 表2を見て頂きたい。その当時, Cr(クロム)の周辺の重金属元素は生体元素であるのに Cr だけがそうではないと言われていたことに江上は注目した。そうだとすると, 必須元素であるかどうかは元素の化学的性質に依るものではなく, それを規定する因子は何か他にあるのであろうと江上は考え, 彼の直観的ひらめきだと想像するのだが, それは海水中の重金属元素濃度に規定されていたとした。海水中の濃度が極端に小さい元素は酵素の活性中心に入りようもなく, 必須元素とはなりえない。このような重金属元素が人間活動などで海水中の濃度が大きくなると, 必須元素とはならず, 一挙に有害元素になるのだと江上は言うのである。このような考えのもとに海水中の元素濃度の大きさを分類すると, 表2になると言う。江上のこの考えが提出された頃, 実は Cr は既に必須元素とされていたが, 問題点もありすんなりとしていたわけではない事情にあったことを私は後に確認した。またその後の海洋化学者の研究で海水中の Cr 濃度もその頃と違ってそんなに小さくはないことも分ってきた。表3の値は, 信頼できるデータを用いて私が整理したものである。

江上は表3に示すように元素を4群にわけ, (c)群の元素が酵素の活性中心に入る生体必須元素で, (e)群の元素は有害元素だとした。この考えは, 魅

表3 海水中の溶存元素量による元素の分類

- (a) 濃度領域1 (一般多量元素領域)  $>10^3\text{mM}$   
H, O  $\gg$  Cl, Na  $>$  Mg  $>$  S  $>$  N, Ca  $>$  K  $>$  C  
全ての生物に主要元素として入っている。
- (b) 濃度領域2 (特異生物元素領域)  $10^3\text{mM} \sim 0.1\text{mM}$   
Br  $>$  B  $>$  Si  $>$  Sr  $>$  F  $>$  Li  $\gg$  P  $>$  Rb  $>$  I, Ba  
Pだけは全生物に入る。
- (c) 濃度領域3 (微量触媒元素領域)  $0.1\text{mM} \sim 0.0005\text{mM}$   
Mo  $>$  Zn, Al  $>$  V  $>$  Fe  $>$  Ni  $>$  Ti  $>$  U  $>$  Cr  $>$  Mn  $>$  Cs  $>$  Se  $>$  Sb  $>$  Co  $>$  Cu, W
- (d) 濃度領域4 (生物学的臨界濃度領域)
- (e) 濃度領域5 (生物無縁領域)  $0.00005\text{mM} >$   
Pb, Hg, Cd, Au, Ag, ランタノイド, アクチノイド類

力的で興味をひく。私は次のような感概をもつ。江上が Cr も生体必須元素であり, その濃度も極端に小さいものではないことをその頃知っていたら, 江上はどのような考えを示したであろうかと, スリリングな思いがするのである。江上の主張に対しては次の2つの問題があると私は考える。その1つは, 前項(2-2)でもそうだが, 江上用いた海水中の元素濃度は現海水のそれである。生物が生まれ, 進化してきた38億年とか20~30億年前の海洋水の主要および微量元素濃度が果たして現在のそれらの値に近かったのかどうかという大問題がある。私は近かったと思っているのだが, その背景を次章で紹介し, この小論を閉じさせて頂こう。さて, その2つ目は, 生物の環境への適応性に関する問題である。生物は確かに長い間海水中で過した。海水により多く含まれる元素をより多く身体にとりこんだでしょう。この長い生物の歴史を通してその頃の事情が今もなお陸にすむ私ども生物の身体に残こっていると考えるとよいのかという問題がある。これはこれで論ずべき課題である。

### 3 古代海水の化学組成

地球表面の2/3は海, 海水の平均深度は3,800mで, 地球は正に水の惑星と呼ばれるにふさわしい。その満々たる全海洋水も蒸発することだけを考えると, 太陽からの現放射エネルギーで蒸発し切って干あがるには, たった4,000年で充分である。45

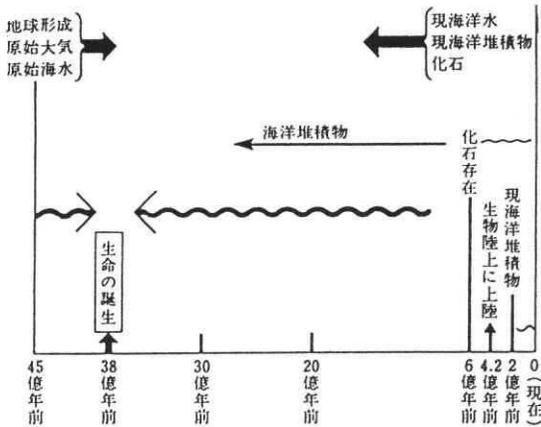


図2 海水の歴史の描き方

億年このかた全海洋水量がほとんど不変であるのは、海から蒸発した水蒸気は地球の重力圏内に保持されて惑星空間に決して逃失することなく、水蒸気は上空で冷やされて降水となり、結局は蒸発した水はそのまま海に戻っているからである。海洋水が1回置きかわる時間、すなわち海洋水の平均滞留時間はたったの4,000年である。その激しい水の循環のために古い海水は存在しえないので、古い海水の入手はできない。古い時代の海水の化学組成を推定するには、海水の化学組成を何らかの形で刻みこんでいる古い色々の時代の海洋堆積物に頼ることになる。だが、海の歴史は45億年もあるのに、海洋底のプレートの動きのために現海底には1億5千万年より古い堆積物は存在しない。しかし陸上に隆起した海洋底堆積物は二次的変化が起こってはいるがともかく30億年前くらいまでの試料が入手できる。新しい時代ほど証拠物件は豊富であり、現海洋水と現海底堆積物が最も確かな物件である。海水の化学組成へのアプローチは図2に示す概念図を見て頂きたい。現代から古い時代に向けて攻めるアプローチでは30億年前ほどまでが精一杯である。そこで一転して原始時代から出発して新しい時代に向かって攻め方をする。すなわち二次原始大気からの原始海水の形成を想定し、それがその頃分布していた玄武岩状の岩石と接して反応し、海水の質が変わってくる経過を追うのである。こうして現代からと原始時

代からの攻めで得られる結果を、生命の誕生した頃で矛盾しないように結びつけて一貫した海水の質の歴史を描くことにするのである。

(3-1) 現代から古い時代へと攻めたときの成果

この6億年間は貝の化石が入手できる。貝殻の主成分は  $\text{CaCO}_3$  であり、その結晶形があられ石形であるときには Sr が固溶体として  $\text{CaCO}_3$  中に入りこむ。その Sr の入りこむ量すなわち貝殻中の Sr 含有量は、その貝が生育した海水中の  $\text{Sr}^{2+}$  濃度に正比例することがわかっている。さて、この6億年間の色々の時代に生じた或る種の貝の化石中の Sr 含有量を私の友人の H. T. Odum と H. A. Lowenstam は全く独立に分析した。その結果、この6億年間の貝殻化石中の Sr 含有量は一定値を示し、その値が現海水中で育ったその貝の殻の Sr 含有量に等しいことが明らかにされた。この結果から彼らはそれぞれ独立にだがこの6億年間は海水中の  $\text{Sr}^{2+}$  濃度は不変であり、更に海水の各主要成分濃度は不変であったと結論づけた。ただ、私がおの結果を物理化学的に解析すると、この6億年間の海水中の  $[\text{Sr}^{2+}]/[\text{Ca}^{2+}]$ 、すなわち  $\text{Ca}^{2+}$  と  $\text{Sr}^{2+}$  の濃度比が一定であったとはいえる。海水中の溶存成分量は1ℓに約35gであるのに、 $\text{Ca}^{2+}$  と  $\text{Sr}^{2+}$  の濃度はそれぞれ0.4g/ℓと0.008g/ℓという少量である。このように少量の溶存物質の濃度比が一定だからと言って35gも含まれる各主要成分濃度が一定であった、つまり少なくとも6億年前の海水の化学組成が現在のそれになっていたと言うのは飛躍がありすぎるのではないかという疑問が生じよう。しかし、2人の上記の主張は妥当であろうと私は考え、そのことを論説に書いた。

その背景については次項で述べよう。

(3-2) 現海水の主要成分濃度が決まるからくり

—J. R. Kramer の成果

私は学生時代の Kramer とも交際があり、その後来日してもらって彼に講演をしてもらったこともある。

海洋は閉じた系ではない。海水は蒸発し、降水もあり、河川などを通して岩石から溶け出る大量の元素が海に運ばれてもいる。しかし海に入ってくる水を初め種々の元素は、そのまま海水から蒸発

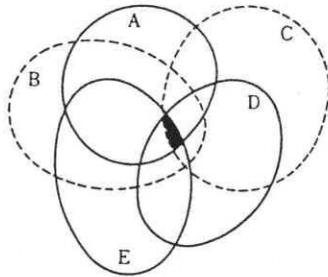


図3 堆積物中の鉱物の存在と海水の化学組成

や沈殿して除かれていて、海洋水は水量も化学組成も不変で、一見閉じた系のように見える。このような状態は定常状態 (steady state) と呼ばれ、この系には閉じた系で使える熱力学的手法を取り入れて検討、議論をする。まず、海底に分布している堆積物と海水とが十分に長い間接触して安定な化学平衡状態にあると考えることにする。

海底堆積物は鉱物などからできている。地球上のどこの海底でも A, B, C, D, E……という鉱物が発見される。A という鉱物が生成し、堆積し、存在している条件として広い範囲ではあるが海水の主要化学組成を想定することができる。図3に示すように B という鉱物に対しても、C, D, E に対してもそれぞれ独立に海水の主要化学成分組成の範囲を想定することができる。A~E という鉱物が共存するためには、それぞれが想定した範囲の共通した部分である必要があり、海水の各主要成分濃度はグリーンと狭い範囲に規定され、それが現海水の化学組成になってしまうのだという筋である。このことを Kramer は熱力学的手法で定量的に取扱った。それを説明するには紙面に余裕がないので私の著書にゆずることにする。この熱力学の取扱でえられた結果を受け入れると、海水中の  $[Sr^{2+}] / [Ca^{2+}]$  の濃度比が一定ならば主要化学組成は一つに決ってしまうことになり、Odum と Lowenstam の主張を私が支持する背景である。

現海底堆積物と現海水とが化学平衡にあるならば、海洋水の主要化学組成は現在のそれになってしまう。全海洋水が混ざり合わなくても、その場所で海水と堆積物とが化学平衡にあるならば、全海洋水の化学組成は1つのものになってしまうこ

とになる。

こうなると、そこで取りあげた現海洋底堆積物中に存在する A, B, ~E, ……という鉱物が今から何年ほど前までの古い海洋底堆積物中に存在していたかが問題となる。陸上に存在する今から20億年前、一寸無理すると30億年前までの海洋底堆積物中には Kramer が取りあげた鉱物を見つけ出すことができる。

そうだとすると、20~30億年前の海水の主要化学組成は既に現在のそれに近かったと堆論できることになる。微量元素については全くふれなかったが、主要化学成分と同様に人間活動のなかった海洋水中の微量元素濃度も、現外洋海水のそれとそう大きく違っているとは思えないと、私は考えていることだけをここに書かせて頂く。生物の体液や生体の化学組成が現海水のそれに似ているという表現は、生物の故郷である大変古い時代の海水のそれに近いということができることになる。

私は次のように考えている。地球上で元素は水の動きとともに最も激しく動き、その終局点は海水である。最終点の海水の組成に生物のそれが似ているということである。

### (3-3) 原始大気・原始海水からみる海水の化学組成の変遷

二次原始大気と化学組成は、先述したように地球上に分布している水や二酸化炭素を初めとする揮発性物質をひろいあげ、それに原始大気には存在していたが軽すぎて間もなく惑星空間に逃失してしまった  $H_2$  の量を或る合理的なやり方で推定し、その化学組成を決めると、表4に示すようになる。水蒸気量は海洋水を初め陸水からの総量から求め、二酸化炭素については表5に示すように地球上で炭素は石灰岩や有機物として存在するが、これは原始大気では二酸化炭素として存在していたものと推論できるので、炭素の分布量から求めた。

そうすると、原始大気では液体の水となる水蒸気を別にすると、30気圧下、97%を  $CO_2$  が占めることになる。原始大気中に  $CaCl_2$ ,  $MgCl_2$ ,  $NaCl$ ,  $KCl$  などを入れたが、原始地球の表面がマグマの海の状態下では、塩素は本来は  $HCl$  として存在し

表4 (二次) 原始地球大気化学像 (単位 $10^{20}$  g)

水蒸気	(H <sub>2</sub> O)	16,300
二酸化炭素	(CO <sub>2</sub> )	2,000
塩素	(HCl, CaCl <sub>2</sub> , MgCl <sub>2</sub> , NaCl, KCl, FeCl <sub>2</sub> …として)	330
二酸化硫黄	(SO <sub>2</sub> )	50
窒素	(N <sub>2</sub> )	45
水素	(H <sub>2</sub> )	40
酸素	(O <sub>2</sub> )	0

(北野 康, 1990)

表5 大気, 水圏, 生物圏, 堆積岩における炭素の分布 (単位は CO<sub>2</sub>として $10^{20}$  g)

大気	0.026
海洋水と陸水	1.30
生物とその遺骸	0.145
石灰岩 (CaCO <sub>3</sub> )	1,800
堆積岩中の有機物	250
石油・石炭など	0.2

(北野 康, 1980)

ていたと考えられるが、これが溶けた岩石と接触して、高温下では気体になるこれらの塩化物が生成したであろうと考えたからである。

さて、地球の温度がさがり、水蒸気は液体の水、原始海水となるのだが、それは HCl 酸性であったであろう。その原始海水はその頃存在していたであろう玄武岩状の岩石と接触すると、実験室内の簡単な溶出実験からもわかるが、岩石から Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>が多量、Na<sup>+</sup>も K<sup>+</sup>も Fe<sup>2+</sup>も Al<sup>3+</sup>も溶出する。その時点では陽イオンでは Ca<sup>2+</sup>の濃度が最も高く、陰イオンは Cl<sup>-</sup>であったと思われる。海水が酸性の間は CO<sub>2</sub>は海水や陸水に溶けこむことはできず、大量の CO<sub>2</sub>が大気の主成分となり、30気圧下97%を CO<sub>2</sub>が占めていたのであろう。酸性の海水を初めとする天然水が岩石から Ca<sup>2+</sup>などを溶かし出すと、海水は中性になる。すると Al<sup>3+</sup>は Al(OH)<sub>3</sub>として海水中から除かれる。中性となった海水には大気中の CO<sub>2</sub>は溶けこむことができる。既に海水中には Ca<sup>2+</sup>が岩石から初期には主として HCl, そのごは H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>によって溶かし出されて溶存しており、この Ca<sup>2+</sup>は溶けこんだ炭酸物質と反応し、溶けにくい CaCO<sub>3</sub>を無機化学的に堆積する。このとき Mg<sup>2+</sup>も炭酸塩中に入りこむであろう。一方、岩石から元素が溶け出ると、岩石自体は粘土に変容する。充分な量の粘土の存在下では海水の pH は微アルカリ性を保つので、能率よく大気中の大量の CO<sub>2</sub>は海水中に溶け、結局は CaCO<sub>3</sub>として大気から除かれことになる。水中の Na<sup>+</sup>も K<sup>+</sup>も粘土にとりこまれて海水中から除かれるが、K<sup>+</sup>の方がより多量粘土には取りこまれる。こうなる

と、海水中の陽イオン濃度は、Na<sup>+</sup>>Mg<sup>2+</sup>>Ca<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, そして陰イオンは Cl<sup>-</sup>>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>>HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>のような現海水の組成に近づいてきたものと思われる。初期の海水は高温でもあったであろうし、以上述べたような無機化学反応は能率よく進んだものと思われる。

生物生存のためには、大気中の CO<sub>2</sub>の分圧が1気圧かそれ以下であることが必要だと生物学者で言う人がいる。30気圧97% CO<sub>2</sub>の原始大気が無機化学的な CaCO<sub>3</sub>生成を通して CO<sub>2</sub>1気圧となることは、そうむづかしいことではないと思われる。さて、生命が誕生した38億年より前に無機化学的に大量の CaCO<sub>3</sub>が堆積した証拠、つまり陸上に隆起した古い時代の海洋堆積間中にその事実は見当たらない。

しかし、これは古い時代に CaCO<sub>3</sub>が無機化学的に生成されなかったことを指示するものではない。CaCO<sub>3</sub>は陸水などに大変溶け易く、その溶けた Ca<sup>2+</sup>と CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>は生命が誕生してからは海水中で生物が炭酸殻を作ることに使われ、無機化学的な CaCO<sub>3</sub>は地球表面から消滅し、生物性の CaCO<sub>3</sub>に完全に変容してしまったと考えられるからである。生命が誕生した頃の海水の化学組成は現海水のそれとかなり近かったと言うことに大きな間違いはないと私は思っている。それからは、陸上で岩石から溶け出た元素は河川水などを通して海に運ばれ、海で沈殿物生成などを通して海水から除かれる。海水の化学組成はいくらどんな量の溶存元素が海洋水に運びこまれようと、その全てが海水から除かれる定常状態を保ち、変わりはないのである。流入と除去を通して激しく置きかわってはいるが、

海水中の各溶存元素量に変わりはない。それにしても創成紀に大きな事件は起きてしまっただけに創成紀の物の動きの激しかったことが、想像される。

最後に生物の体液などのデータをまとめて送って下さった川崎医科大学高折益彦教授および名古屋大学医学部水谷榮彦助教授に深甚なる感謝を申しあげる。

### 文 献

文献としては私の著書をあげさせて頂く。文献は○印の本に詳述されており、最も読みやすいものには◎印を符しておく。

1) 北野 康：水の科学 (NHKブックス), 日本放送

出版協会, (1960), 205 pp.

2) 北野 康・松野武雄編著：地球と環境の化学, 岩波書店, (1980), 261 pp.

3) 北野 康：水と地球の歴史 (NHKブックス), 日本放送出版協会, (1980), 222 pp.

4) 北野 康：地球環境の化学, 裳華房, (1984), 247 pp.

5) ○北野 康：炭酸塩堆積物の地球化学—生物の生存環境の形成と発展, 東海大学出版会, (1990), 391 pp.

6) 北野 康・田中正之編著：地球温暖化がわかる本, マクミランリサーチ研究所, (1990), 328 pp.

7) ◎北野 康：化学の目でみる地球の環境—空・水・土, 裳華房, (1992), 152 pp.