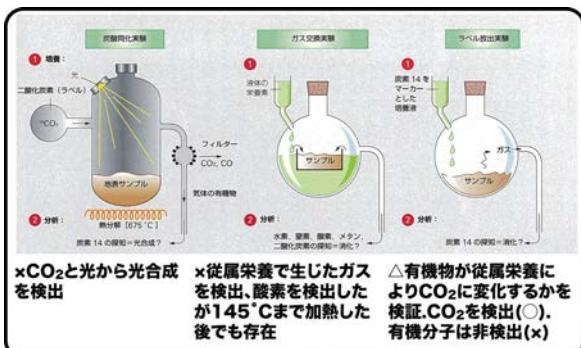


# 生物多様性学II ～生命・地球環境進化～ (第三回目)

-生命組成と生命の誕生-

東京大学総合文化研究科：  
小宮 剛 准教授  
2016/10/19

## 火星の生命

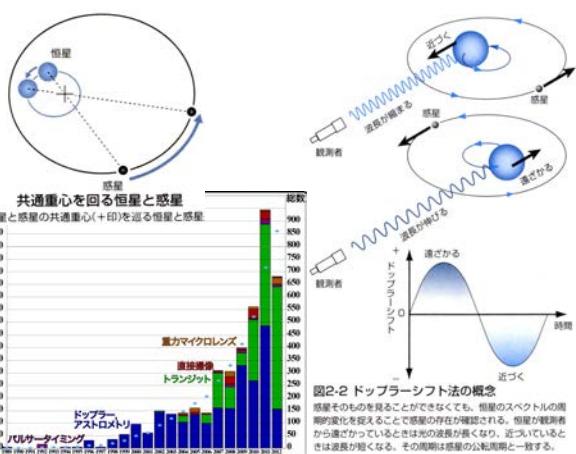


## 生命とは

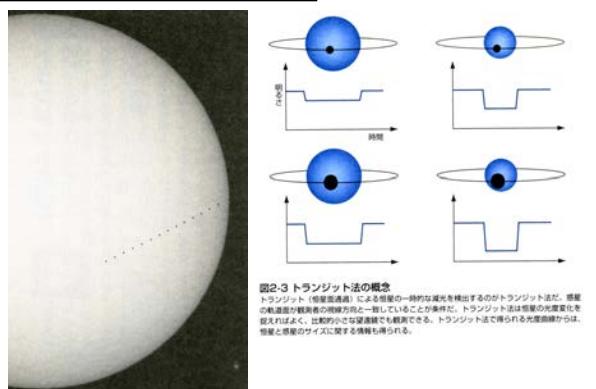
- (1) 細胞膜の存在  
→半開放的な境界膜に包まれている
- (2) 自己複製／自己増殖
- (3) 自己維持機能をもつ(代謝をする)
- (4) 進化をする

NASA「ダーウィン進化を受けることが可能な自律自己保存的な化学システム」

## (1) 火星の生命探査

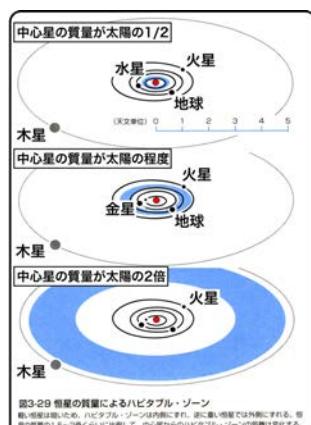


## 系外惑星探査手法2



## 系外惑星と 生命探査

ハビタブルゾーン  
～液体の水が  
存在する領域～



## 系外惑星、ハビタブルプラネットとスーパー・アース



## 生命が生まれる為の三つの条件

- (1) 表面温度が適当であること  
c.f. 金星: 470°C, 火星(現在): 最低温度 -139°C
- (2) 液体の水が存在すること
- (3) 利用できるエネルギー源があること

## なぜ水

### ①水分子の構造

→極端な電荷の偏り → 水素結合、結合水

### ②結合水の形成

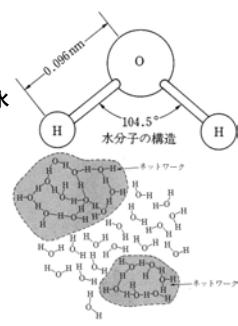
→水分子は帯電しているので、溶質と静電気的に結合し易い  
→融点が高い

(2)いろいろなものを溶かす → 物質を拡散で移動させる媒体に。

(3)粘性があまり高くない: ものを運ぶのに好都合

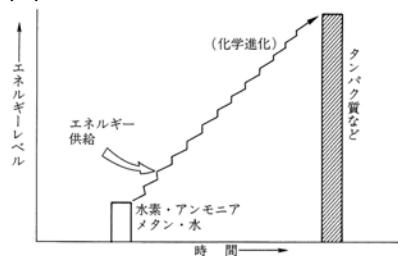
(4)生命の高温限界: 約120°C (疏水性相互作用がなくなる)

(5)解離し、水素イオンを生成: pHの変化と膜内外で電位を生



## 生命が生まれる為の三つの条件

- (3) 利用できるエネルギー源があること

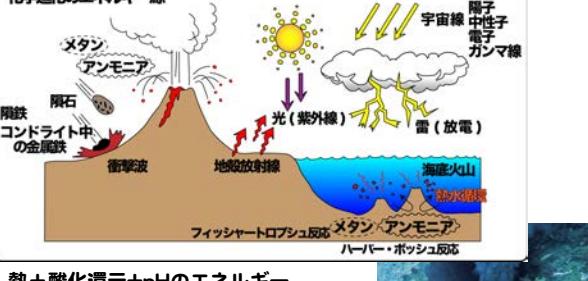


化学進化: 生命出現以前に、生命に必須な生体分子(タンパク質、核酸等)を無機的に合成(prebiotic synthesis, chemical evolution)

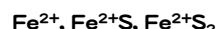
紫外線、火山熱、稲妻などの空中放電、放射線、宇宙線

## エネルギー源

### 化学進化のエネルギー源

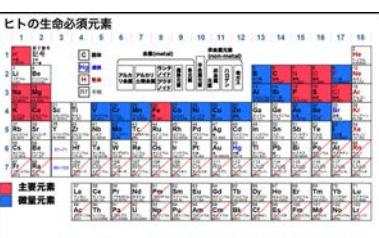


### 熱+酸化還元+pHのエネルギー



## 生命的の組成

ヒトの乾燥重量あたりの元素組成 <sup>a</sup>		ヒト、海水、地殻、空(無機化物) <sup>b</sup>	
元素	乾燥重量(%)	元素	乾燥重量(%)
C	61.7	F	0.02
He	23.68	Na	0.13
C	0.394	V	0.02
N	0.094	Cr	0.02
O	0.873	Mn	0.02
Ne	29.53	P	0.02
Ne	0.206	As	0.02
(Na)	0.004	Br	0.02
Mg	0.07	Ca	0.45
Mg	12.70	Si	0.27
(Al)	0.006	Al	0.13
Si	0.007	Fe	0.02
(P)	0.001	Na	0.02
S	0.045	Ca	0.02
Ar	0.011	Cl	0.02
(K)	<0.001	Br	0.02
Ca	0.007	Zn	0.02
Ti	<0.001	Se	0.02
Cr	0.002	Sn	0.02
(Mn)	0.001	Te	0.02
Fe	0.136	Fe	0.02
Ni	0.008	Co	0.02



## 生物の組成を作る組成

### ①水

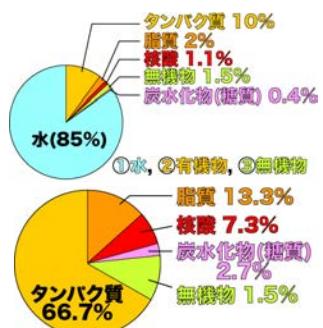
### ②タンパク質(アミノ酸)

### ③脂質(細胞膜)

### ④核酸(DNA, RNA)

### ⑤炭水化物(糖質, DNA, RNA, エネルギー)

### ⑥無機物



### ②タンパク質(←アミノ酸)

- ①生体の乾燥重量の6~7割
- ②生体を構成する材料
- ③多機能性(多様な立体構造+アミノ酸配列の組み合わせが無限)

●酵素(生体内で起こる化学反応の触媒)

●伝達物質、受容体(細胞同士が情報交換する

際)としても重要な機能を担う

複合タンパク質: アミノ酸以外のものも構成しているタンパク質  
単純タンパク質: アミノ酸のみで構成されたタンパク質  
糖タンパク質: 糖を結合したタンパク質  
リボソームタンパク質: 蛋白質を結合したタンパク質

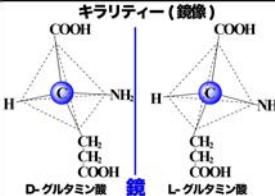
アミノ酸の機能による分類

分類	主な機能	例
構造タンパク質	からだの構造を支える	コラーゲン, $\alpha$ -ケラチン エラスチン
酵素	化学反応の触媒	種々の酵素タンパク質
調整タンパク質	細胞増殖、分化、恒常性維持など	成長因子、ホルモンなど
吸着タンパク質	筋肉の収縮	アクチン、ミオシンなど
輸送タンパク質	物質の輸送	トランスポーター、 $\text{Na}^+/\text{K}^+$ ポンプなど
防御タンパク質	外界因子から生体の防御	免疫グロブリン、補体成分など
栄養タンパク質	生体の栄養分	カゼインなど

### ②タンパク質アミノ酸

### (20種しかない) + L型

### +全て $\alpha$ アミノ酸



### タンパク質を構成するアミノ酸

CH <sub>3</sub> NH-CH <sub>2</sub> COOH アラニン(Ala)	CH <sub>3</sub> NH-CH <sub>2</sub> COOH バリン(Val)	CH <sub>3</sub> NH-CH <sub>2</sub> COOH ロイシン(Ileu)
CH <sub>3</sub> NH-CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> COOH イソロイシン(Ile)	CH <sub>3</sub> NH-CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> COOH プロリン(Phe)	CH <sub>3</sub> NH-CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> COOH メチオニン(Met)
CH <sub>3</sub> NH-CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> COOH フェニルアラニン(Phe)	HC <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> COOH トリプトファン(Trp)	HC <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> COOH メチオニン(Met)
CH <sub>3</sub> NH-CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> COOH アスパラギン(Asp)	CH <sub>3</sub> NH-CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> COOH アスパラギン(Asp)	CH <sub>3</sub> NH-CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> COOH グリタミン(Gln)
CH <sub>3</sub> NH-CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> COOH アスパラギン酸(Asp)	CH <sub>3</sub> NH-CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> COOH セリシン(Ser)	CH <sub>3</sub> NH-CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> COOH トレオニン(Thr)
CH <sub>3</sub> NH-CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> COOH グリタミン酸(Gln)	SH CH <sub>3</sub> NH-CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> COOH システィン(Cys)	CH <sub>3</sub> NH-CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> COOH ビスチジン(Bis)
CH <sub>3</sub> NH-CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> COOH リジン(Lys)	CH <sub>3</sub> NH-CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> COOH アルギニン(Arg)	CH <sub>3</sub> NH-CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> COOH チロシン(Tyr)

## ②タンパク質アミノ酸(20種しかない)

側鎖の炭素数	脂肪族炭化水素を側鎖とするアミノ酸		アミノ酸アミノ酸の種類	タンパク質アミノ酸の種類	
	0 NH-CH <sub>2</sub> -COOH グリシン	1 NH-CH <sub>2</sub> -COOH アラニン			
2	CH <sub>3</sub> NH-CH <sub>2</sub> -CH <sub>2</sub> -COOH α-アミノ酪酸	NH-CH <sub>2</sub> -CH <sub>2</sub> -COOH β-アラニン	全2種類 全5種類	1種類 0種類	
	CH <sub>3</sub> NH-CH <sub>2</sub> -CH <sub>2</sub> -COOH α-アミノ酪酸	NH-CH <sub>2</sub> -CH <sub>2</sub> -COOH β-アミノ酪酸			
3	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> -CH <sub>2</sub> -NH-CH <sub>2</sub> -COOH ノルバラン	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> -CH <sub>2</sub> -NH-CH <sub>2</sub> -COOH バラン	他9種類 全12種類	1種類	
	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> -CH <sub>2</sub> -NH-CH <sub>2</sub> -COOH ノルバラン	NH-CH <sub>2</sub> -CH <sub>2</sub> -NH-CH <sub>2</sub> -COOH バラン			
4	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> -CH <sub>2</sub> -NH-CH <sub>2</sub> -COOH ノルロイシン	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> -CH <sub>2</sub> -NH-CH <sub>2</sub> -COOH イソロイシン	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> -CH <sub>2</sub> -NH-CH <sub>2</sub> -COOH イソバラン	他2種類 全31種類	2種類

■タンパク質アミノ酸

## ②タンパク質の構造(アミノ酸の結合)

ペプチド結合による

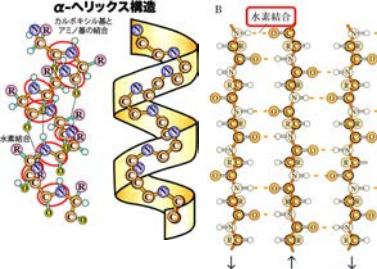
①一次構造：直鎖状のアミノ酸残基

②二次構造： $\alpha$ -ヘリックス構造,  $\beta$ -シート

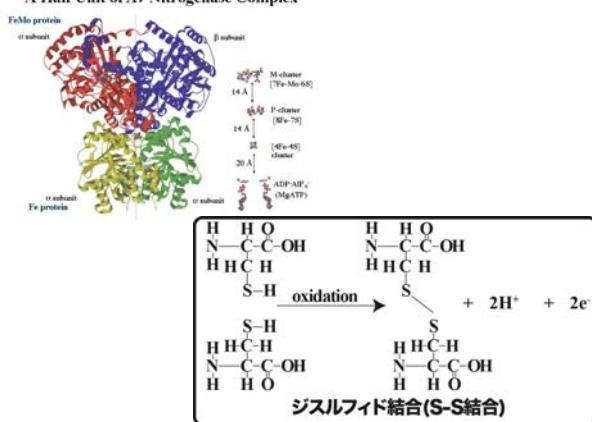
③三次構造：ジスルフィド構造(S-S結合), 疎水性相互作用

イオン結合

④四次構造：複数のタンパク質サブユニットの集合



A Half Unit of Av Nitrogenase Complex



## ②糖質

＜糖質とは＞

①C<sub>n</sub>(H<sub>2</sub>O)<sub>n</sub>であらわされる構造を持つ化合物

②単糖：五炭糖(ペントース)

→リボース, デオキシリボース

六炭糖(ヘキソース)

→グルコース, フルクトース, ガラクトース

五炭糖(ペントース)

アルデヒド基(-CHO)

→アルドース

アルドース

ケトン基(-CO)

→ケトース

ケトース

グルコース

→アルドヘキソース

リボース

デオキシリボース

六炭糖(ヘキソース)

アルデヒド基(-CHO)

アルドース

ケトース

フルクトース

(果糖)

## ②糖質

直鎖状のグルコース

二糖糖

グリコシド結合：单糖が脱水縮合反応により2つ結合



環状のグルコース

オルタナ

オルタナ結合：单糖が脱水縮合反応により2つ結合



直鎖状構造と環状構造 (マルトース)

オルタナ

オルタナ結合：单糖が脱水縮合反応により2つ結合



直鎖状構造と環状構造 (マルトース)

オルタナ

オルタナ結合：单糖が脱水縮合反応により2つ結合



直鎖状構造と環状構造 (マルトース)

オルタナ

オルタナ結合：单糖が脱水縮合反応により2つ結合



## オリゴ糖・多糖類

単糖が10個以上結合した物(デンプン, グリコーゲン, セルロース)

アミロース

アミロベクチン

グリコーゲン

セルロース

デンプン

- ・植物における貯蔵型多糖
- ・アミロース+アミロベクチン(1:3~4)
- ・もち米はアミロベクチンのみから構成

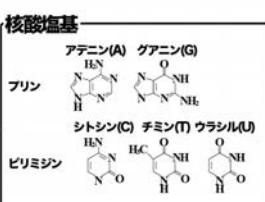
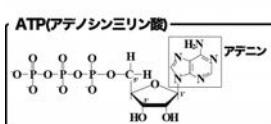
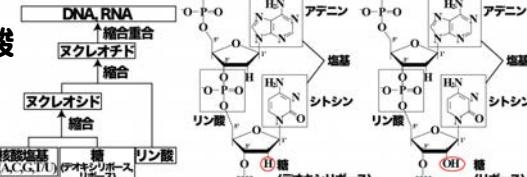
グリコーゲン

- ・動物における貯蔵型多糖
- ・アミロベクチンより枝分かれが多い

セルロース

- ・植物の壁細胞主成分
- ・グルコースの結合は $\beta$ -1, 4結合
- ・非水溶性
- ・繊維を形成一縦やパリフの主成分

## ③核酸



## ④脂質

脂質

＜脂質と脂肪酸＞

脂質：加水分解により脂肪酸を遊離する物質  
脂肪酸：アルキル基とカルボキシル基の両方をもつ化合物

カルボキシル基

アルキル基

ステアリン酸

(飽和脂肪酸)

オレイン酸

(不飽和脂肪酸)

集合体の安定性

安定

不安定 (固体から液体への融点低)

## ④脂質

### 脂質の分類

中性脂肪(トリアシルグリセロール)→食餌として摂取される脂質  
リン脂質(グリセロリン脂質、スフィンゴリン脂質)→脂質二重膜を構成  
糖脂質(グリセロ糖脂質、スフィンゴ糖脂質)  
コレステロール



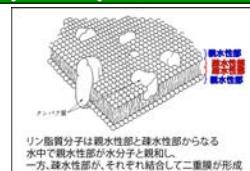
## 疏水性(疎水性)相互作用とは何か

- 非極性分子は水に溶けない、その為非極性分子は水と分離し、凝集する性質がある。これを疏水効果と言う。
- 疏水効果によって、非極性分子間に働く引力的な相互作用を疎水性相互作用と言う。
- 疏水効果によって、タンパク質のフォールディング(タンパク質が立体構造に折り畳まれる現象、e.g.DNAのらせん構造)、タンパク質間相互作用、脂質二重膜の形成などの駆動力となる。

## 脂質二重膜の形成と疏水性(疎水性)相互作用

リン脂質分子は親水性部と疎水性部からなる。

水中で親水性部が水分子と親和し、一方、疎水性部がそれぞれ結合して二重膜が形成。そこに、種々のタンパク質が存在し、物質のやりとりを行なう。



## 細胞膜内外での電位差の生成 とATP生成のエネルギー源や活動電位

- 細胞内では代謝によって、水素イオンが生じるため弱酸性になる。
- リン脂質膜は水素イオンを通さないので、膜の内外で水素イオン濃度に差が生じる。
- 電位(膜電位)が生じる。
- その電位がATP生成のエネルギー源などになる。

## 生物と海:生物が海を必要とする理由

- 水と二酸化炭素から有機物の合成。
- 水中で脱水・加水反応
- 栄養素や酸素は水に溶けた状態で取り入れ、代謝老廃物や二酸化炭素は水に溶けた状態で排出
- 紫外線の影響
- 植物が先行

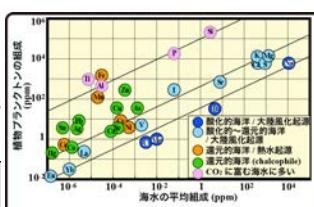
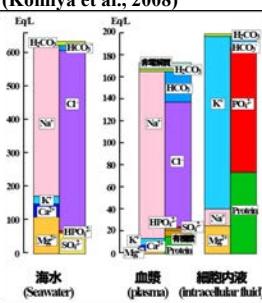
## 生物と海水組成の比較

①生物組成と海水組成には相関が見られる。

②P, Si, Fe, Mn, Znなどが多い。

③KがNaに比べて多い。

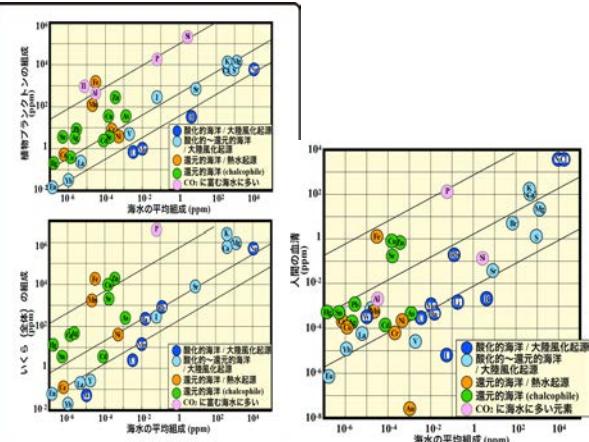
(Komiyama et al., 2008)



①植物プランクトンなど生物の組成は、還元的な海洋やCO<sub>2</sub>に富む海水に多い元素に富む。

→植物の組成は過去の海水の特徴を残す？？

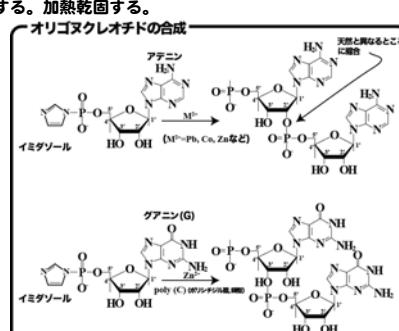
+海水組成の変化には生物鉱化作用など元素を取り込むメカニズムの改良で対応？



## 脱水縮合反応を促進させる

- 「活性化アミノ酸」や「活性化ヌクレオチド」にする。
- 反応を触媒する金属元素(Mg, Zn, Pb, Co, B)を加える。
- 粘土鉱物や有機物の錫型を加える。

(4) 高温にする。加熱乾燥する。



## 脱水縮合反応を促進させる

元素番号	微量元素	含有金属性	含有化合物
5	23 バジウム(V)	ニトログリーゼ、プロモベルオキシダーゼ	ヘモバジン
6	24 クロム(Cr)		耐糖因子
		ビルビン酸カルボキシラーゼ、アルギナーゼ	
		グリコシルトランスフェラーゼ	
7	25 マンガン(Mn)	スパーーキングリジムターゼなど	
		カラーゼ、アルコールデヒドゲナーゼ	ヘモグロビン-ミオグロビン
8	26 鉄(Fe)	スパーーキングリジムターゼ	シトログリム
		ヒドロゲナーゼ	トランスフェリン
9	27 コバルト(Co)		シアノバクテリビタミンB <sub>12</sub>
10	28 ニッケル(Ni)	ウレアーゼ、ヒドロゲナーゼ	
		セルロラブリシン-モノミオノキシダーゼ	
		ジクロムオクシダーゼ	
11	29 銅(Cu)	アスコルビン酸オキシダーゼ	ヘモシアン
		抗酸化酵素、ペルオキシダーゼ	
		アルカリオフスターゼ	
12	30 锌(Zn)	DNAリメラーゼ、RNAリメラーゼ	アルセノベタイン
15	33 酸(As)		メチルアルソン酸
16	34 セレン(Se)	グルタチオンペルオキシダーゼ	セレンヌクチン
		アルヒドオキシダーゼ	
		キサンチンオキシダーゼ	
6	42 モリブデン(Mo)	ニクロゲナーゼなど	
6	74 タングステン(W)	ホルムートデヒドロゲナーゼ(好熱性古菌)	

## 生命出現の場所

- 深海・熱水環境
- 海底の粘土層
- 干潟→prebiotic molecule の形成(粘土鉱物、脱水縮合)
- 陸上の熱水環境(Yellowstone)
- 陸上の熱水環境 + 気液分離 & 気相濃集泥沼
- 初期大陸(斜長岩+KREEP)

