

生物多様性学II ～生命・地球環境進化～ (第三回目)

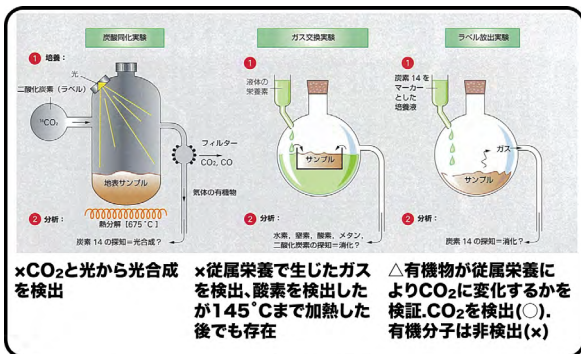
-生命組成と生命の誕生-

東京大学総合文化研究科：

小宮 剛 准教授

2018/10/17

火星の生命



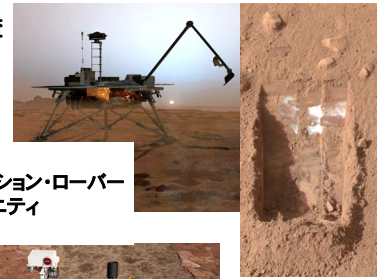
バイキングの実験

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」

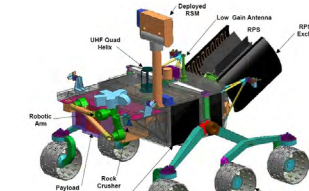
(1) 火星の生命探査



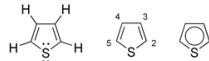
- ①ソジャーナ
- ②マーズ・エクスプロレーション・ローバー
A:スピリット、B:オポチュニティ
- ③キュリオシティ



キュリオシティ(2012~)



火星の生命探査 (2018/6/18)

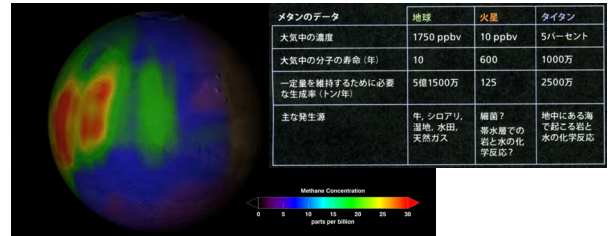


チオフェン

芳香族・脂肪族

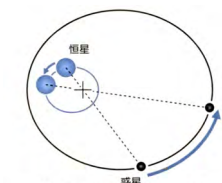
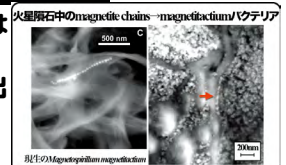


火星生命：現在も存在？



火星は酸化的なのでCH₄は不安定。

- ①メタンが定常的に放出(火山性or生命起源)
- ②季節変動？



恒星と惑星の共通重心(+印)を回る恒星と惑星

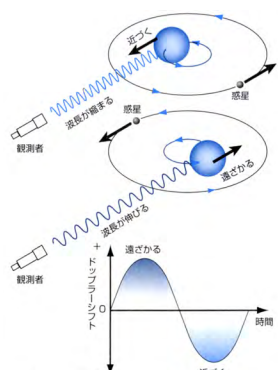
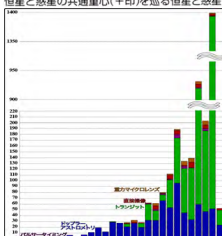


図2-2 ドップラーシフト法の概念
惑星そのものを見ることはできなくても、恒星のスペクトルの周期的変化を捉えることで惑星の存在が確認される。恒星が観測者から遠ざかっているときは光の波長が長くなり、近づいているときは波長が短くなる。その周期は惑星の公転周期と一致する。

系外惑星探査手法2

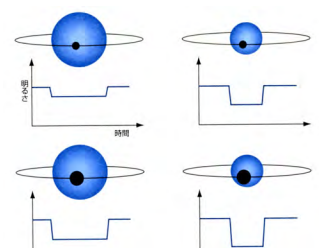
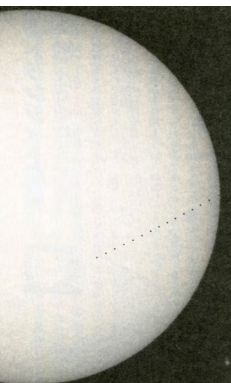


図2-3 トランジット法の概念
トランジット(恒星通過)による恒星の一時的光減光を検出するのがトランジット法だ。惑星の軌道が観測者の視線方向と一致していることが条件だ。トランジット法は恒星の光度変化を探れるように、比較的小な光度変動でも検出できる。トランジット法で得られる光度変動からは、惑星と恒星のサイズに関する情報も得られる。

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～

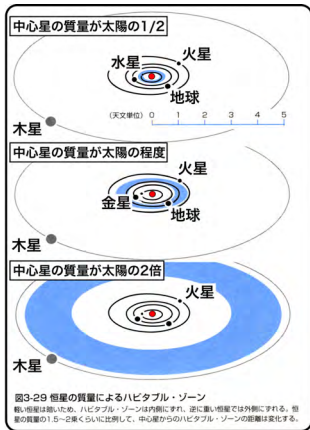
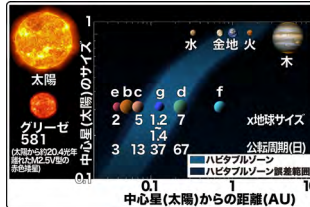


図3-29 恒星の質量によるハビタブル・ゾーン
軌道傾斜は図いた。ハビタブル・ゾーンは内側にすれ、遠く側に傾斜では外側にすれ、恒星の質量の1/2と大きく異なると、中心星からのハビタブル・ゾーンの距離は変化する。

系外惑星、ハビタブルプラネットとスーパー・アース



恒星ケプラー62の周りの惑星とハビタブルプラネット



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

(1) 水分子の構造

→極端な電荷の偏り→水素結合, 結合水

①水素結合

→軽分子なのに常温で液体で存在: 著しく高い沸点 (c.f. H₂S: -60.7°C)

→比熱が大きく、大きな潜熱

外界の温度が変わっても細胞内は急激に変化しない

②結合水の形成

→水分子は帯電しているため、溶質と静電的に結合しやすい

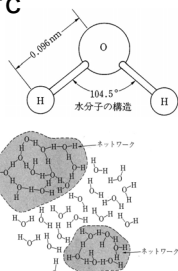
→融点が高い

(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

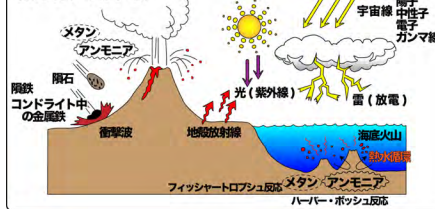
(4) 生命の高温限界: 約120°C (疏水性相互作用がなくなる)

(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む



(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、生命に必要な生体分子(タンパク質、核酸等)を無機的に合成 (prebiotic synthesis, chemical evolution)

化学進化のエネルギー源



熱+酸化還元+ pHのエネルギー



生命の組成

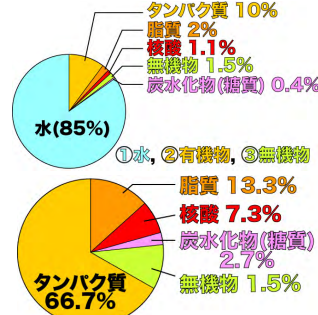
元素	太陽系	地球	地殻	海	大気	生物
(H)	74.39%	...	...	0.14%	...	1.25%
(He)	23.68	...	...	...	...	...
(C)	0.394	...	...	0.02	...	0.07
(N)	0.0094	...	...	...	...	...
(O)	0.873	29.53	46.60	...	...	...
(Ne)	0.206	...	...	...	...	...
(Na)	0.004	0.57	2.83	...	...	3.81
(Mg)	0.071	12.70	2.09	...	...	3.47
(Al)	0.006	1.09	8.13	...	...	15.36
(Si)	0.076	15.20	27.72	...	...	59.30
(P)	0.001	0.10	0.11	...	...	0.24
(S)	0.045	1.93	0.03	...	...	0.03
(Ar)	0.011	...	...	...	...	...
(K)	<0.001	0.07	2.59	...	...	3.12
(Ca)	<0.007	1.13	3.63	...	...	5.08
(Ti)	<0.001	0.05	0.44	...	...	0.73
(Cr)	0.002	0.26	0.01	...	...	0.12
(Mn)	0.001	0.22	0.10	...	...	0.01
(Fe)	0.136	34.63	5.00	...	...	3.73
(Ni)	0.008	2.39	0.01	...	...	0.01

元素	乾燥重量 (%)	元素	乾燥重量 (%)	元素	乾燥重量 (%)
C	61.7	F	0.0001	Cl	0.20
N	11.6	Si	18.5	Na	22.47
O	9.3	V	0.0001	Mg	3.85
H	5.7	Cr	0.0001	Al	6.1
Ca	5.0	Mn	0.0001	Fe	5.0
P	3.3	Fe	0.0001	K	1.20
K	1.3	Co	0.0001	Sr	0.20
S	1.0	Cu	0.0001	Mg	2.1
Cl	0.2	Ga	0.0001	Br	0.4
Na	0.7	Se	0.0001	SP	0.02
Mg	0.5	Sn	0.0001	Mo	0.0001
B	0.0001	Mo	0.0001	...	...

ヒトの生命必須元素	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	H	C	N	O	P	S	K	Ca	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
2	H	C	N	O	P	S	K	Ca	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
3	H	C	N	O	P	S	K	Ca	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
4	H	C	N	O	P	S	K	Ca	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
5	H	C	N	O	P	S	K	Ca	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
6	H	C	N	O	P	S	K	Ca	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
7	H	C	N	O	P	S	K	Ca	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
8	H	C	N	O	P	S	K	Ca	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
9	H	C	N	O	P	S	K	Ca	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
10	H	C	N	O	P	S	K	Ca	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
11	H	C	N	O	P	S	K	Ca	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
12	H	C	N	O	P	S	K	Ca	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
13	H	C	N	O	P	S	K	Ca	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
14	H	C	N	O	P	S	K	Ca	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
15	H	C	N	O	P	S	K	Ca	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
16	H	C	N	O	P	S	K	Ca	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
17	H	C	N	O	P	S	K	Ca	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
18	H	C	N	O	P	S	K	Ca	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

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)

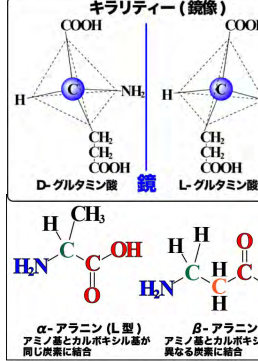
- ①生体の乾燥重量の6~7割
 - ②生体を構成する材料
 - ③多機能性(多様な立体構造+アミノ酸配列の組み合わせが無限)
- 酵素(生体内で起こる化学反応の触媒)
 - 伝達物質, 受容体(細胞同士が情報交換する際)としても重要な機能を担う

複合タンパク質: アミノ酸以外のものが結合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
リポタンパク質: 脂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	骨格の構造を支える	コラーゲン, α-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	
収縮性タンパク質	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	トランスフェリン, Na ⁺ -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	ガゼインなど	

②タンパク質アミノ酸

(20種しかない) + L型
+ 全てαアミノ酸



タンパク質を構成するアミノ酸	構造式	構造式	構造式
グリシン(Gly)	CH ₂ -NH ₂ -COOH	セリン(Ser)	CH ₂ (OH)-CH ₂ -NH ₂ -COOH
アラニン(Ala)	CH ₃ -CH(NH ₂)-COOH	バリン(Val)	CH ₂ (CH ₃)-CH(NH ₂)-COOH
イソロイシン(Ile)	CH ₂ (CH ₃)-CH(CH ₃)-NH ₂ -COOH	プロリン(Pro)	五元環状構造
フェニルアラニン(Phe)	CH ₂ (C ₆ H ₅)-CH(NH ₂)-COOH	トリプトファン(Trp)	複雑な側鎖
グルタミン(Glu)	CH ₂ (CH ₂)-CH(NH ₂)-COOH	トレオニン(Thr)	CH(CH ₃)-CH(OH)-CH ₂ -NH ₂ -COOH
アスパラギン(Asp)	CH ₂ (COOH)-CH(NH ₂)-COOH	アスパラギン(Asn)	CH ₂ (CONH ₂)-CH(NH ₂)-COOH
リジン(Lys)	CH ₂ (CH ₂ CH ₂)-CH(NH ₂)-COOH	ヒスチジン(His)	複雑な側鎖
...

②タンパク質アミノ酸(20種しかない)

側鎖の炭素数	脂肪酸族炭化水素を側鎖とするアミノ酸	アミノ酸の種類	タンパク質アミノ酸の種類
0	$\text{NH}_2\text{-CH}_2\text{-COOH}$ グリシン	全1種類	1種類
1	CH_3 $\text{NH}_2\text{-CH}(\text{CH}_3)\text{-COOH}$ アラニン	全2種類	1種類
2	$\text{CH}_2\text{-CH}_3$ $\text{NH}_2\text{-CH}(\text{CH}_2\text{CH}_3)\text{-COOH}$ α -アミノ酪氨酸	全5種類	0種類
3	$\text{CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_3$ $\text{NH}_2\text{-CH}(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3)\text{-COOH}$ フルバリン	他9種類 全12種類	1種類
4	$\text{CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_3$ $\text{NH}_2\text{-CH}(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3)\text{-COOH}$ ノルロイシン	他29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

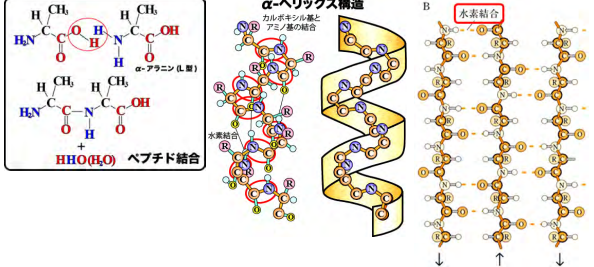
①一次構造：直鎖状のアミノ酸残基

②二次構造： α -ヘリックス構造、 β -シート

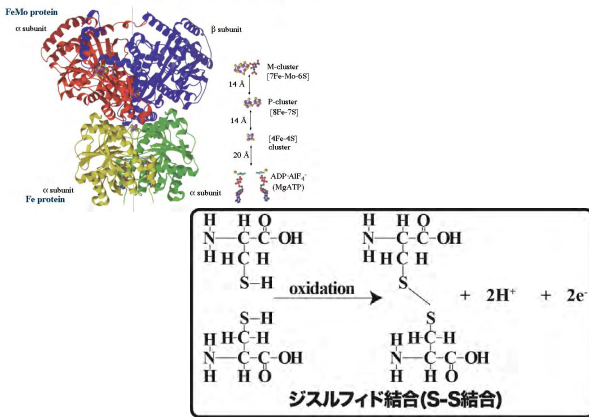
③三次構造：ジスルフィド結合(S-S結合)、疎水性相互作用

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>

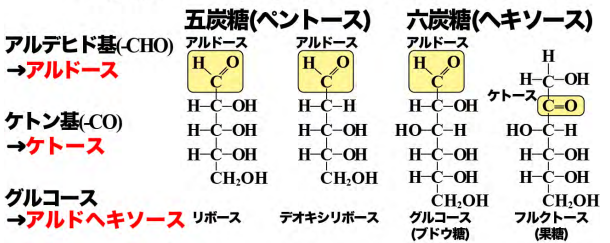
① $\text{C}_n(\text{H}_2\text{O})_n$ であらわされる構造を持つ化合物

②単糖：五炭糖(ペントース)

→リボース, デオキシリボース

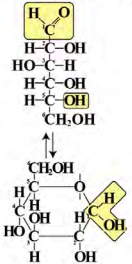
六炭糖(ヘキソース)

→グルコース, フルクトース, ガラクトース



②糖質

直鎖状のグルコース

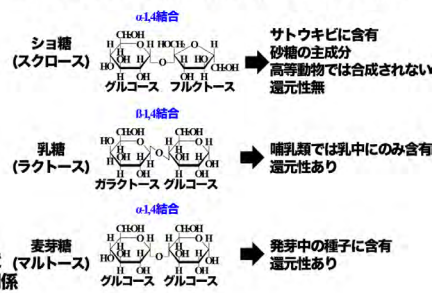


環状のグルコース

直鎖状構造と環状構造は水溶液中では平衡関係

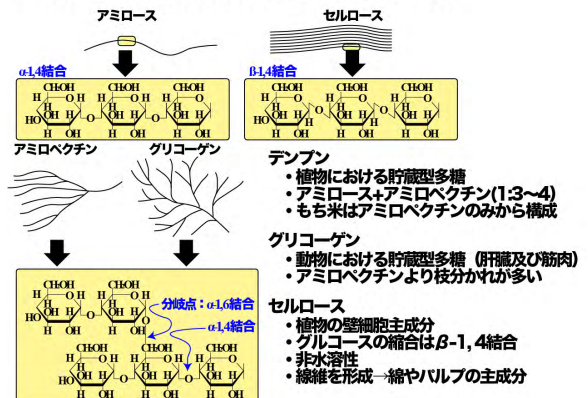
二糖糖

グリコシド結合：単糖が脱水縮合反応により2つ結合

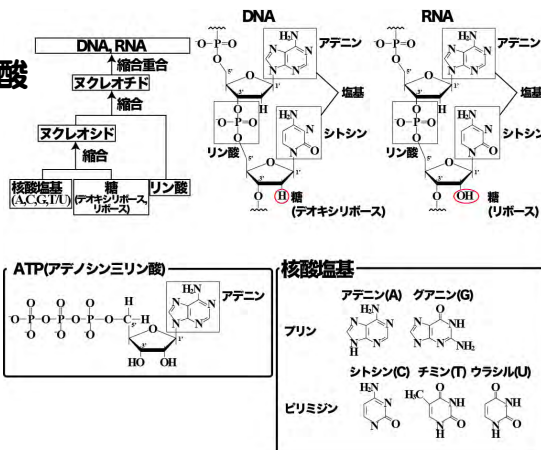


オリゴ糖・多糖類

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)



③核酸

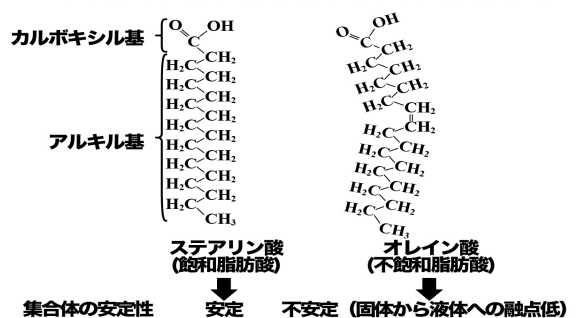


④脂質

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

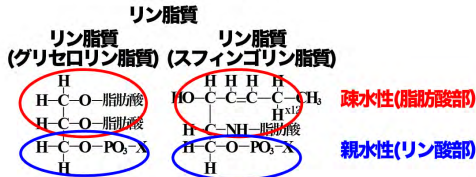
脂肪酸：アルキル基とカルボキシル基の両方をもつ化合物



④脂質

脂質の種類

中性脂肪(トリアシルグリセロール)→飼料として摂取される脂質
 リン脂質(グリセリン脂質, 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

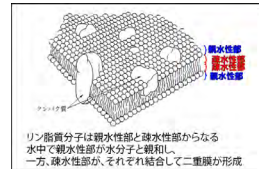


疎水性(疎水性)相互作用とは何か

- (1) 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。これを疎水効果と言う。
- (2) 疎水効果によって、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。
- (3) 疎水効果によって、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疎水性(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、物質のやり取りを行なう。



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

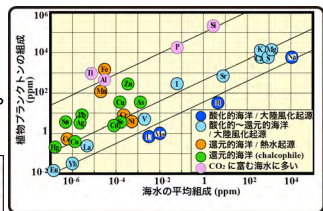
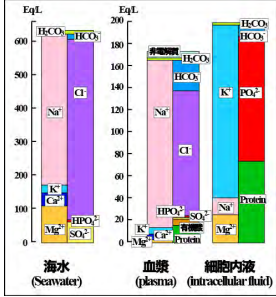
- (1) 細胞内では代謝によって、水素イオンが生じるため弱酸性になる。
- (2) リン脂質膜は水素イオンを通さないで、膜の内外で水素イオン濃度に差が生じる。
- (3) 電位(膜電位)が生じる。
- (4) その電位がATP生成のエネルギー源などになる。

生物と海:生物が海を必要とする理由

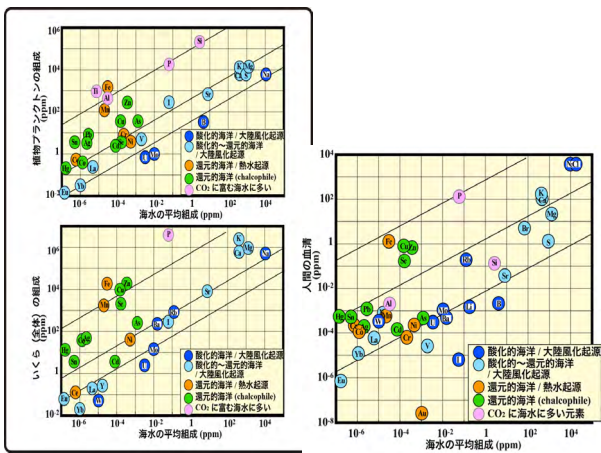
- (1) 水と二酸化炭素から有機物の合成。
- (2) 水中で脱水・加水反応
- (3) 栄養素や酸素は水に溶けた状態で取り入れ、代謝老廃物や二酸化炭素は水に溶けた状態で排出
- (4) 紫外線の影響
- (5) 植物が先行

生物と海水組成の比較

- ① 生物組成と海水組成には関係が見られる。
 - ② P, Si, Fe, Mn, Znなどが多い。
 - ③ KがNaに比べて多い。
- (Komiya et al., 2008)

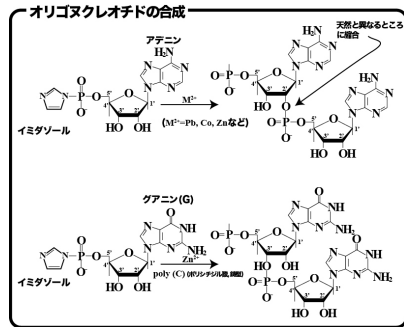


① 植物プランクトンなど生物の組成は、還元的な海洋やCO₂に富む海水に多い元素に富む。
 →植物の組成は過去の海水の特徴を残す??
 +海水組成の変化には生物鉱物作用など元素を取り込むメカニズムの改良で対応?



脱水縮合反応を促進させる

- (1) 「活性化アミノ酸」や「活性化ヌクレオチド」にする。
- (2) 反応を触媒する金属元素(Mg, Zn, Pb, Co, B)を加える。
- (3) 粘土鉱物や有機物の鋳型を加える。
- (4) 高温にする。加熱乾燥する。



脱水縮合反応を促進させる

族	原子番号	微量元素	含有金属酵素	含有化合物
5	23	バナジウム(V)	ニトログナーゼ, プロモベルオキシダーゼ	ヘモバチン
6	24	クロム(Cr)	ピ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	糖鎖因子
7	25	マンガン(Mn)	スーパーオキシドジスムターゼなど	ヘモグロビン, ミオグロビン
8	26	鉄(Fe)	カタラーゼ, アルコールデヒドログナーゼ, スーパーオキシドジスムターゼ, ヒドログナーゼ	シトクロムc, トロポスフィン, シアノコバラミン(ビタミンB ₁₂)
9	27	コバルト(Co)	ウレアゼ, ヒドログナーゼ	
10	28	ニッケル(Ni)	セルロプラズミン, モノアミノオキシダーゼ	
11	29	銅(Cu)	シトクロムオキシダーゼ, アスコルビン酸オキシダーゼ, 炭酸脱水酵素, ペプチダーゼ, アルコールデヒドログナーゼ, アルカリフォスファターゼ	ヘモシアニン
12	30	亜鉛(Zn)	DNAポリメラーゼ, RNAポリメラーゼ	
15	33	ヒ素(As)		アルセバチン
16	34	セレン(Se)	グルタチオンペルオキシダーゼ	メチルアルソニン酸, セレンシステイン
			キニンオキシダーゼ	
			アルデヒドオキシダーゼ	
			キサンチンデヒドログナーゼ	
6	42	モリブデン(Mo)	ニトログナーゼなど	
			ホルメートデヒドログナーゼ(好熱性古細菌)	
6	74	タンゲステン(W)	菌	

生命出現の場所

① 深海・熱水環境 脱水縮合反応

①' 海底の粘土層 紫外線

② 干潟 → prebiotic molecule の形成 (粘土鉱物, 脱水縮合)

③ 陸上の熱水環境 (Yellowstone)

③' 陸上の熱水環境 + 気液分離 & 気相濃集泥湖沼 仮想的環境

④ 初期大陸 (斜長岩 + KREEP)

Maryuma, 2014