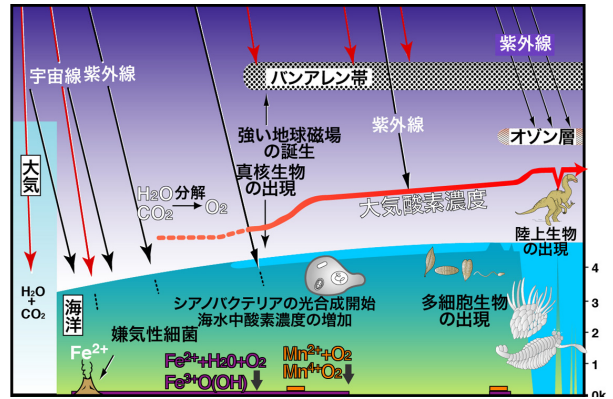


地球環境科学概論

生命地球史： 生命出現からカンブリア爆発まで

東京大学総合文化研究科：
小宮 剛 准教授
2014/11/28

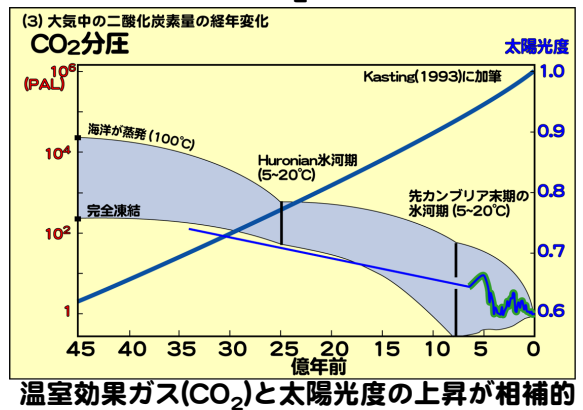


②他の地球型惑星の大気の組成

惑星	成分	濃度 (bars)	存在比 (%)
金星 (Venus)	CO ₂	86.4	96
	N ₂	3.2	3.5
	H ₂ O	0.009	1×10 ⁻²
地球 (Earth)	N ₂	78	77
	O ₂	21	21
	H ₂ O	0.01	1
	Ar	0.0094	0.93
火星 (Mars)	CO ₂	0.0062	95
	N ₂	0.00018	2.7
	Ar	0.00010	1.6
	H ₂ O	3.9×10 ⁻⁷	6×10 ⁻³
水星 (Mercury)	K	31.7	(太陽風 + 隕石衝突)
	Na	24.9	(太陽風 + 隕石衝突)
	O	9.5	(太陽風 + 岩石反応)
	Ar	7	

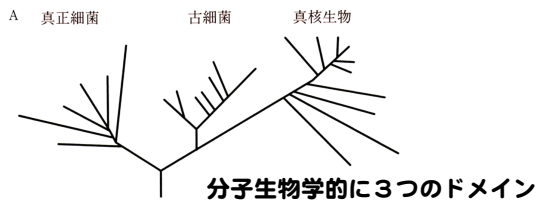
他の惑星はCO₂が多い。地球大気はO₂が特徴的

惑星の大気—CO₂の減少と気温—



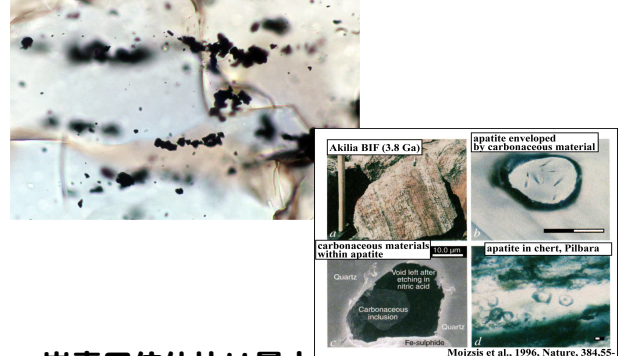
生命とは

- (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



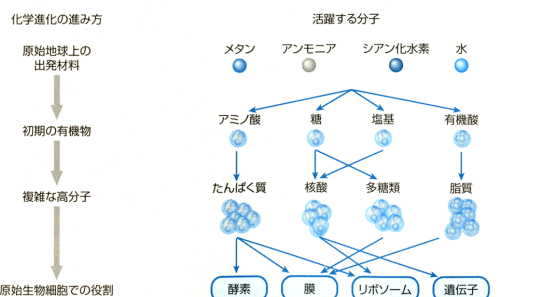
最古生命の痕跡

—38億年前西グリーンランド・イスアー



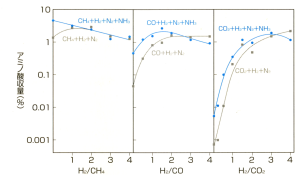
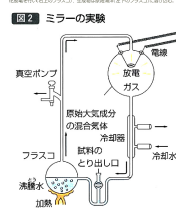
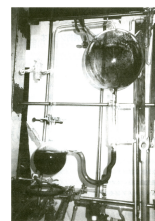
炭素同位体比は最古生命起源を示す

生命の起源—化学進化—

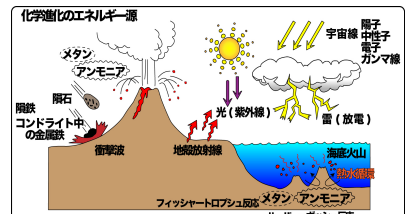


メタン、アンモニア、シアン化水素、水から、アミノ酸、糖、塩基、有機酸が合成される。これらからたんぱく質、核酸、多糖類、脂質がつくれ、酵素、膜、リボソーム、遺伝子といった生命体をつくる物質になる。

無機物質→生命へ



- ①水素を含む還元条件でアミノ酸が形成
- ②生成物を系から除く機構
→非平衡(平衡だと逆反応)



①宇宙線照射によるアンモニアと有機化合物合成

窒素分子の解離
 $N_2 \rightarrow N+N$ 945 (kJ/mol, 127 nm, 真空紫外~極端紫外)

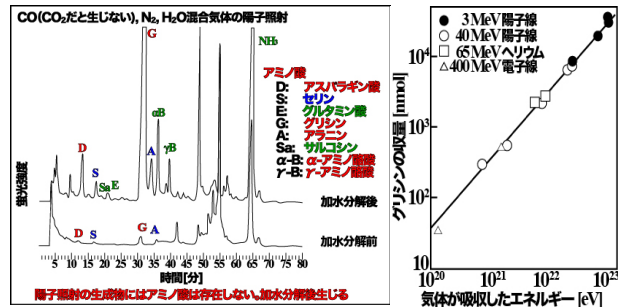
アンモニア分子の解離
 $NH_3 \rightarrow NH_2+H^+$ 386 (kJ/mol, 310nm 紫外線)

イオン化
 $N_2 \rightarrow N_2^++e^-$

化学進化のエネルギー源

アンモニア源に着目
 宇宙線 陽子 中性子 電子 ガンマ線
 光(紫外線) 雷(放電)
 高濃度の H_2 or CH_4 が必要
 熱水噴出物の熱水(Fe生成)
 フィッシャー・トロプシュ反応 メタン(アンモニア) ハーバー・ボッシュ反応

①宇宙線照射によるアンモニアと有機化合物合成



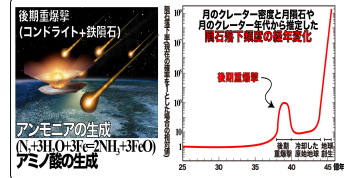
①宇宙線照射によるアンモニアと有機化合物合成

種々のエネルギーによる弱還元型原始大気(CO, N₂, H₂O大気)からのアミノ酸生成率

エネルギー源	エネルギー推定値 [eV/m ² /yr]	グリシンのエネルギー収率 [分子/eV]	グリシンの生成率 [分子/m ² /yr]
太陽からの輻射全体	6.8x10 ²⁸	0	0
λ<200nm(真空紫外線)	2.2x10 ²⁵	0	0
λ<150nm(真空紫外線)	9.1x10 ²³	0	0
λ<110nm(真空紫外線)	4.2x10 ²²	0	0
λ<10nm(X線)	4.2x10 ²²	8x10 ⁻⁵	3x10 ¹⁷
雷	1.8x10 ²² ~1.0x10 ²⁴	7x10 ⁻⁹	1x10 ¹³ ~7x10 ¹⁵
火山熱	3.4x10 ²²	0	0
宇宙線	2.9x10 ²¹	2x10 ⁻⁴	6x10 ¹⁷
隕石衝突	1.0x10 ²²	2x10 ⁻⁷	2x10 ¹⁵

②隕石衝突モデル

- ①衝撃波によるアミノ酸合成
- ②還元物質(Fe)の供給によるアンモニア合成



試料名	実験試料(N ₂)	実験試料(NH ₃)	
	Fe (mg)	200	200
	Ni (mg)	20	20
	¹⁴ C (mg)	30	30
出発試料	H ₂ O (mg)	130	130
	NH ₄ q (mmol)	0	1.95
	N ₂ (μmol)	15	15
衝突速度 (km/s)		0.9	0.9
	¹⁴ C-エタン酸	1360	2200
	¹⁴ C-プロパン酸	440	1020
	¹⁴ C-ブタン酸	88	136
カルボン酸	¹⁴ C-ペンタン酸	24	22
	¹⁴ C-ヘキサン酸	ND	tr.
生体物 (μmol)	¹⁴ C-2-メチルプロパン酸	検出	検出
	¹⁴ C-メチルアミン	7430	16700
	¹⁴ C-エチルアミン	280	945
アミン	¹⁴ C-プロピルアミン	12	89
	¹⁴ C-ブチルアミン	未検出	微量検出
アミノ酸	¹⁴ C-グリシン	未検出	24

生命の起源物質の合成は可能？問題点は

化学進化の進み方

原始地球上の出発材料
 初期の有機物
 複雑な高分子
 原始生物細胞での役割

①初期大気の問題
 ②加水分解の問題
 ③高度の実験
 ④最適なpHなどの条件
 ⑤阻害分子の除去

⑥ワンポット合成とステップワイズ合成
 ⑦正しい結合を必要とする。異性体が多く生じる。
 ⑧光学異性体

生命原材料物質は宇宙起源？ —パンスペルミア—



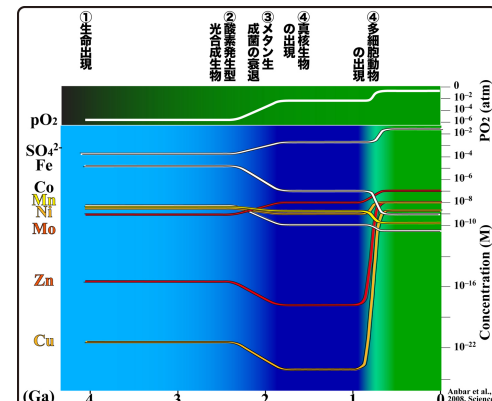
隕石の有機物と放電実験比較		
アミノ酸	マーチソン隕石	放電
グリシン	○○○○	○○○○
アラニン	○○○○	○○○○
α-アミノ-n-酪酸	○○○	○○○○
α-アミノ酪酸	○○○○	○○
バリン	○○○	○○
メチルメチオニン	○○○	○○○
インペリン	○○	○○
プロリン	○○○	○
ピペコリン酸	○	x
アスパラギン酸	○○○	○○○○
グルタミン酸	○○○	○○○
β-アラニン	○○○	○○
β-アミノ-n-酪酸	○	○
β-アミノイノリン酸	○	○
γ-アミノ酪酸	○	○○
サルコシン	○○	○○○
N-エチルグリシン	○○	○○○
N-メチルアラニン	○○	○○

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。
 (Komiya et al., 2008)

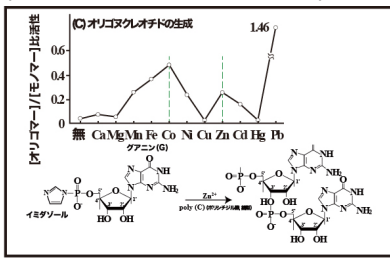
①なぜ、生命は海水に少ないPを核酸など重要な部分に使ったのか？
 ②なぜ、生命のK/Naは低いのか？ (cf. ナトリウムポンプ)

海水の組成と生命進化(生命進化と海洋組成変化の関連)



②高分子化(多くは脱水縮合反応)

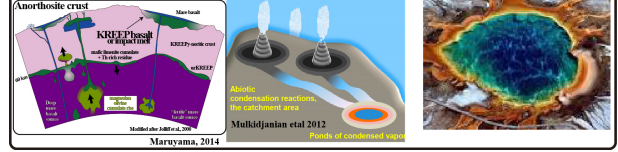
①金属イオンの効果



種類	イオン	濃度[M]
陰イオン	$\text{HPO}_4^{2-}, \text{SO}_4^{2-}$	0.01
	Cl	0.07
	NO_3^-	0.005
主要成分	Na ⁺	0.015
	金属イオン K ⁺	0.05
微量金属イオン	Zn ²⁺ , MoO ₄ ²⁻ , Fe ²⁺ , Cu ²⁺ , Co ²⁺ , Mn ²⁺	0.0001

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)



40~35億年前ー深海からー

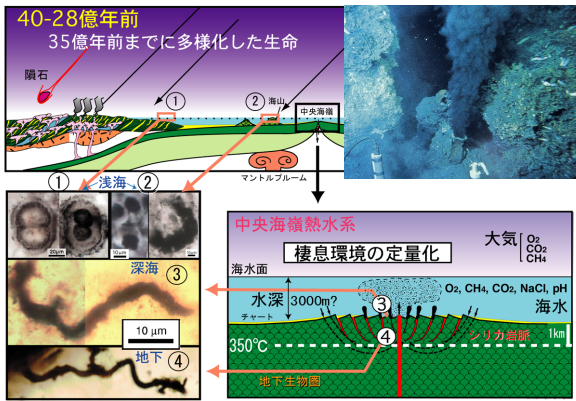
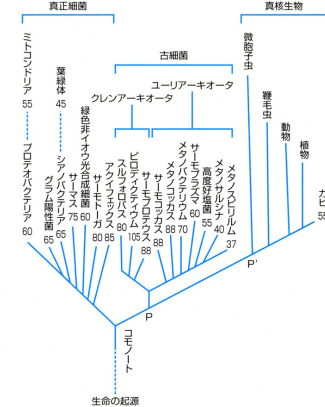
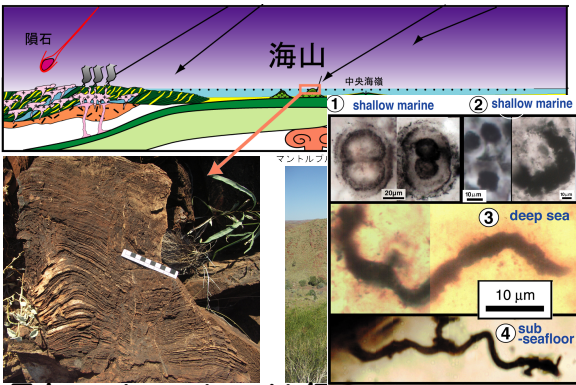


図3-17 原核生物の系統樹と生息温度



35億年前ー生命の多様化, 光合成の開始ー



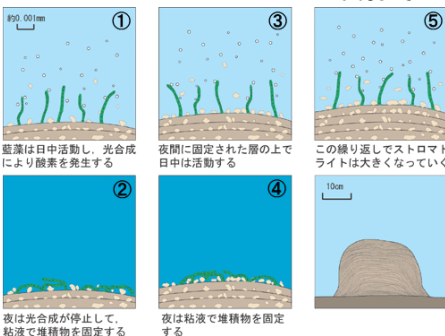
最古のストロマトライト(西オーストラリア)

ストロマトライト

ー酸素発生型光合成細菌: シアノバクテリアー



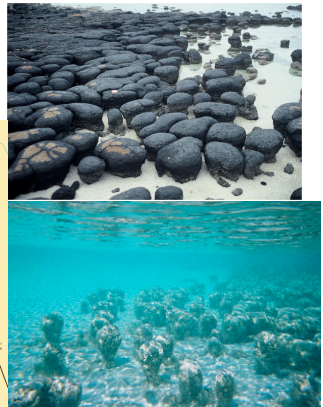
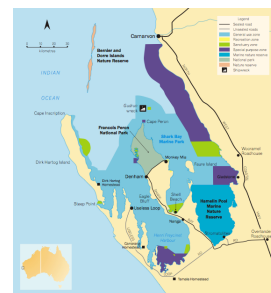
ストロマトライトの成長



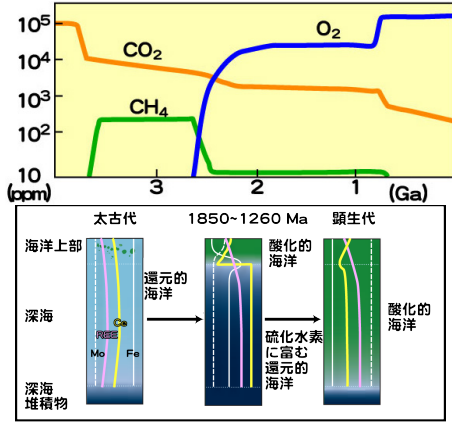
酸素発生型光合成の開始と大気酸素の増加

現在の地球にある“太古”の海

- (1) 高塩分濃度
ーシアノバクテリア
ストロマトライトー



大気・海洋の酸素濃度の上昇



(3) 縞状鉄鉱層型

(1) 鉄



縞状鉄鉱層

18億年前以前

海水中のFe²⁺が酸化されて、Fe³⁺になり、沈殿(FeO(OH))

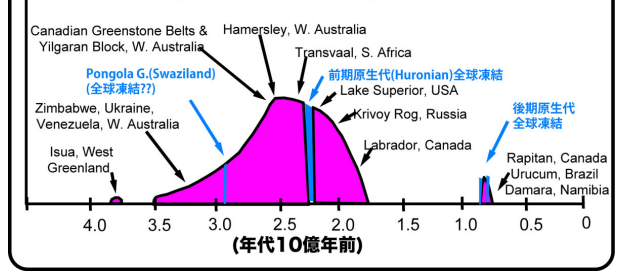
縞状マンガン層

23億年前

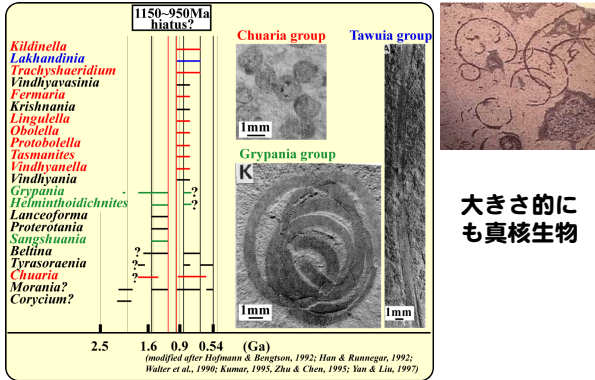
海水中のMn²⁺が酸化されて、Mn³⁺またはMn⁴⁺になり、沈殿



縞状鉄鉱層(BIFs)の形成時期 (Klein & Beukes, 1992)

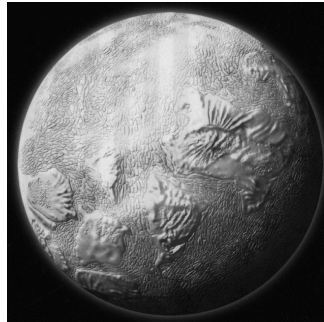


19億年前、macrofossilsの出現。



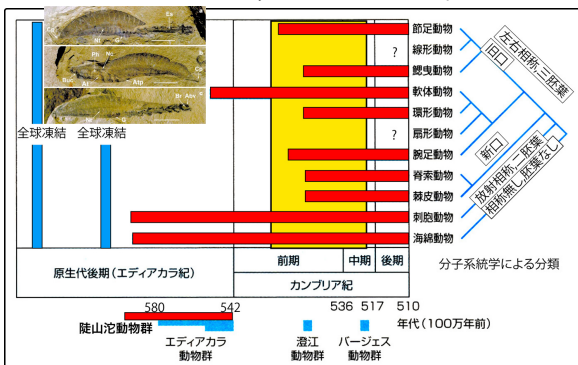
大きさ的にも真核生物

全球凍結 (6.4億年前)

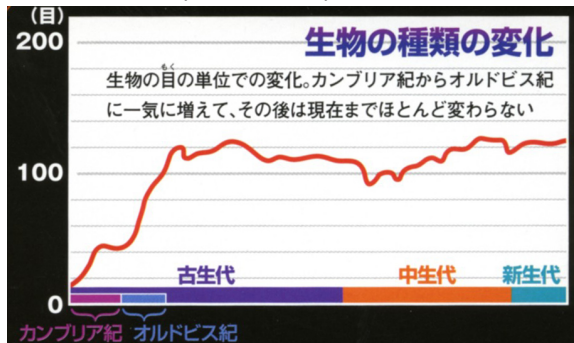


(1)地球表面での生命活動の停止
→(酸素発生型)光合成の停止
海洋循環の停止
→海洋の成層化
→還元的深層水

カンブリア紀に現世の生物の祖先がほぼ出揃う—カンブリア大爆発, Cambrian explosion—



動物門の出現(動物の体制)の出現は一度だけ



●動物門の出現(動物の体制)の出現は一度だけ
●目レベルの増加もカンブリア~オルドビス紀