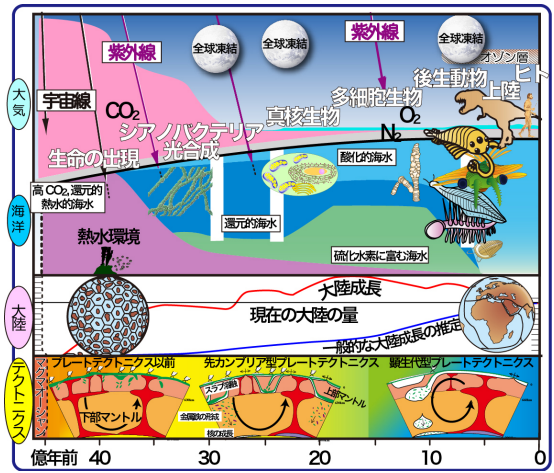


地球環境科学概論

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
2015/10/13

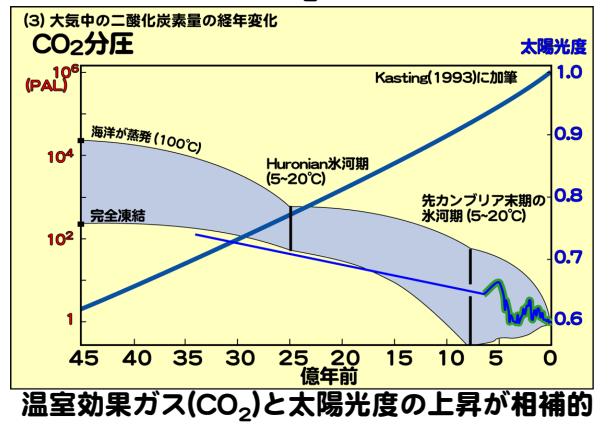


②他の地球型惑星の大気の組成

| | 成分 | 濃度 (bars) | 存在比 (%) |
|---------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| 金星 (Venus) 90 bar | CO ₂ | 86.4 | 96 |
| | N ₂ | 3.2 | 3.5 |
| | H ₂ O | 0.009 | 1×10 ⁻² |
| | Ar | 0.0063 | 7×10 ⁻³ |
| 地球 (Earth) 1 bar | N ₂ | 78 | 77 |
| | O ₂ | 21 | 21 |
| | H ₂ O | 0.01 | 1 |
| | Ar | 0.0094 | 0.93 |
| | CO ₂ | 3.55×10 ⁻⁴ | 3.5×10 ⁻⁴ |
| 火星 (Mars) 6-8×10 ⁻³ bar | 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 |
| | CO, O ₂ , CH ₄ | | <1 |
| 水星 (Mercury) 10 ⁻⁵ bar | 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 |
| | He | | 5.9 (太陽風, solar wind) |
| | O ₂ | | 5.6 (太陽風 + 岩石反応) |

他の惑星はCO₂が多い。地球大気はO₂が特徴的

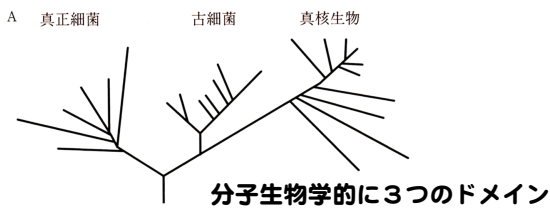
惑星の大気—CO₂の減少と気温—



温室効果ガス(CO₂)と太陽光度の上昇が相補的

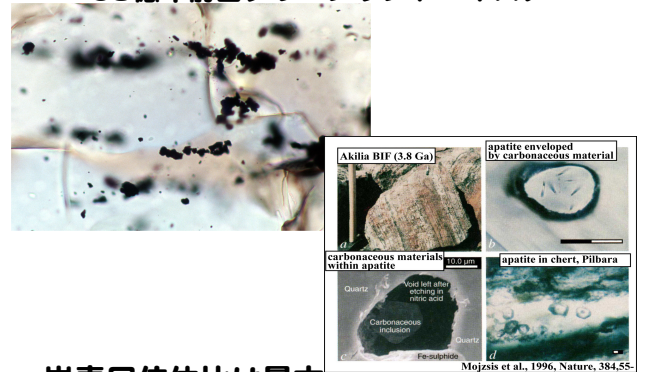
生命とは

- (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



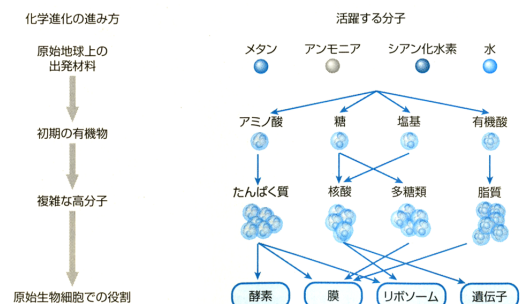
最古生命の痕跡

—38億年前西グリーンランド・イスアー



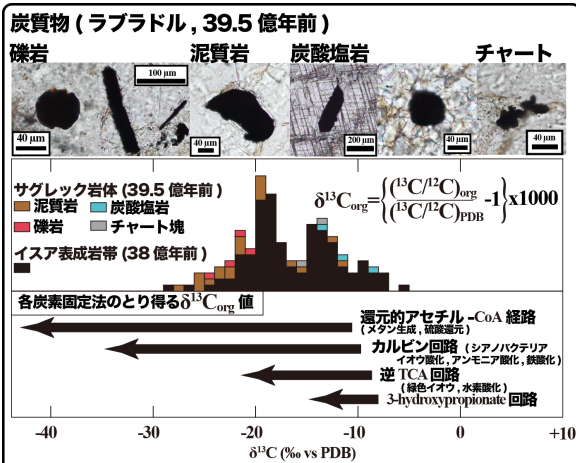
炭素同位体比は最古生命起源を示す

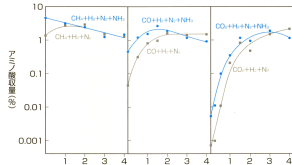
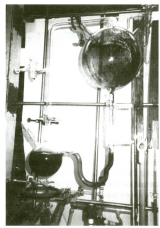
生命の起源—化学進化—



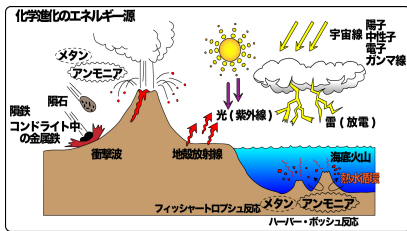
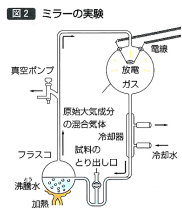
メタン、アンモニア、シアン化水素、水から、アミノ酸、糖、塩基、有機酸が合成される。これらからたんぱく質、核酸、多糖類、脂質がつくられ、酵素、膜、リボソーム、遺伝子といった生命体をつくる物質になる。

無機物質→生命へ

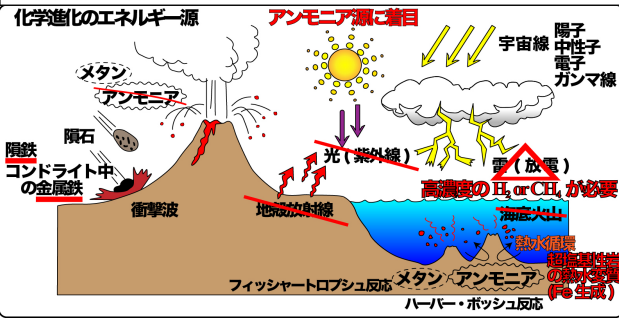
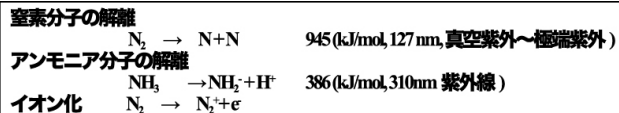




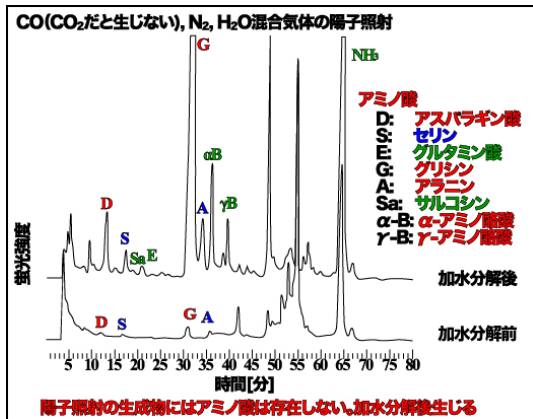
- ①水素を含む還元的な条件でアミノ酸が形成
- ②生成物を系から除く機構
→非平衡(平衡だと逆反応)



①宇宙線照射によるアンモニアと有機化合物合成



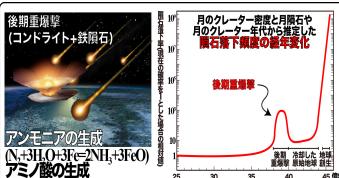
①宇宙線照射によるアンモニアと有機化合物合成



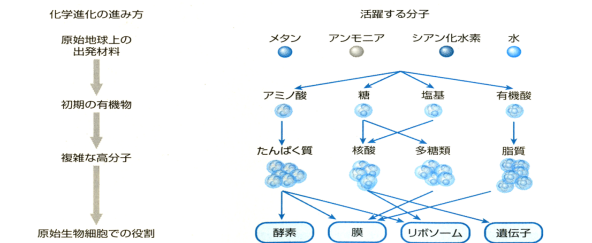
②隕石衝突モデル

- 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) | 実験試料 (NH) |
|----------------------------|----------|-----------|
| Fe (mg) | 200 | 200 |
| Ni (mg) | 20 | 20 |
| ¹³ C (mg) | 30 | 30 |
| H ₂ O (mg) | 130 | 130 |
| NH ₃ aq (mmol) | 0 | 1.95 |
| N ₂ (μmol) | 15 | 15 |
| 衝突速度 (km/s) | 0.9 | 0.9 |
| ¹³ C-エタン酸 | 1360 | 2200 |
| ¹³ C-プロパン酸 | 440 | 1020 |
| カルボン酸 | | |
| ¹³ C-ブタン酸 | 88 | 136 |
| ¹³ C-ペンタン酸 | 24 | 22 |
| ¹³ C-ヘキサン酸 | ND | tr. |
| 生成物 (pmol) | | |
| ¹³ C-2-メチルプロパン酸 | 検出 | 検出 |
| ¹³ C-メチルアミン | 7430 | 16700 |
| ¹³ C-エチルアミン | 280 | 945 |
| アミン | | |
| ¹³ C-プロピルアミン | 12 | 89 |
| ¹³ C-ブチルアミン | 未検出 | 微量検出 |
| アミノ酸 | | |
| ¹³ 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



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、脂質がつけられ、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。

- 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？ ーパンスペルミアー



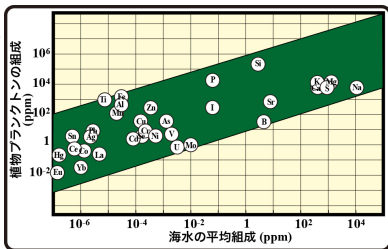
マーチソン隕石

| 隕石の有機物と放電実験比較 | 放電 |
|---------------|---------|
| アミノ酸 | マーチソン隕石 |
| グリシン | 〇〇〇〇 |
| アラニン | 〇〇〇〇 |
| α-アミノ-n-酪酸 | 〇〇〇〇 |
| α-アミノ酪酸 | 〇〇〇〇 |
| バリン | 〇〇〇〇 |
| β-アミノ-n-酪酸 | 〇〇〇〇 |
| β-アミノ酪酸 | 〇〇〇〇 |
| γ-アミノ酪酸 | 〇〇〇〇 |
| サルコシン | 〇〇〇〇 |
| N-エチルグリシン | 〇〇〇〇 |
| N-メチルアラニン | 〇〇〇〇 |

生物と海水組成の比較

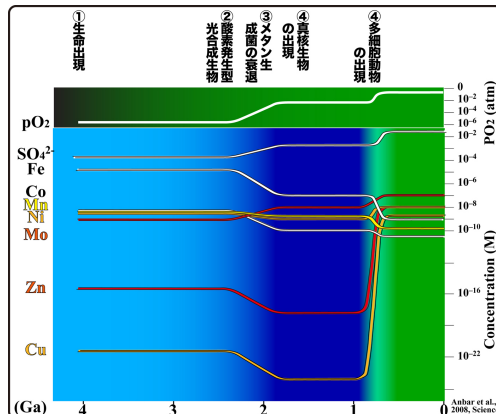
- ①生物組成と海水組成には相関が見られる。
- ②P, Si, Fe, Mn, Znなどが多い。
- ③KがNaに比べて多い。

(Komiya et al., 2008)



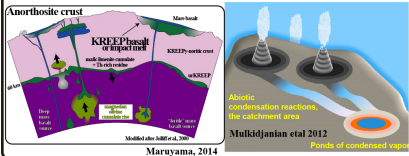
- ①なぜ、生命は海水に少ないPを核酸など重要な部分に使ったのか？
- ②なぜ、生命のK/Naは低いのか？ (cf. ナトリウムポンプ)

海水の組成と生命進化(生命進化と海洋組成変化の関連)



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

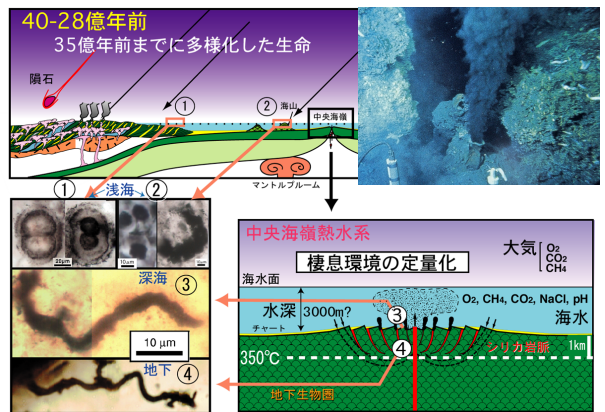
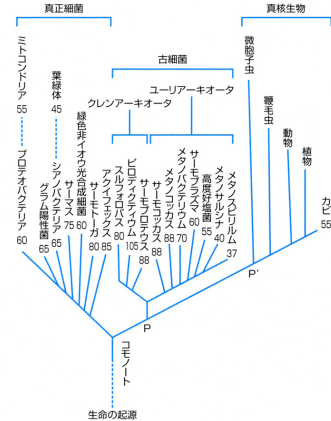
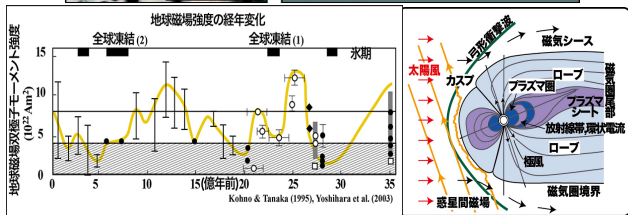
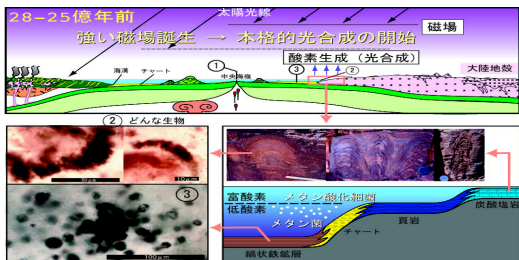
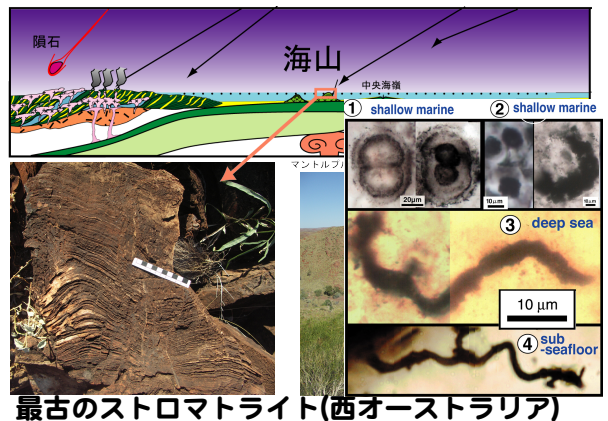


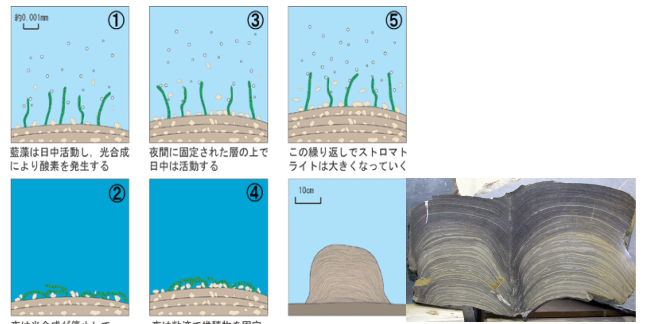
図3-17 原核生物の系統樹と生息温度



35億年前ー生命の多様化, 光合成の開始ー



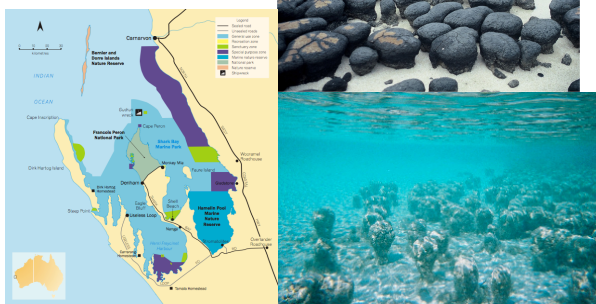
ストロマトライトの成長



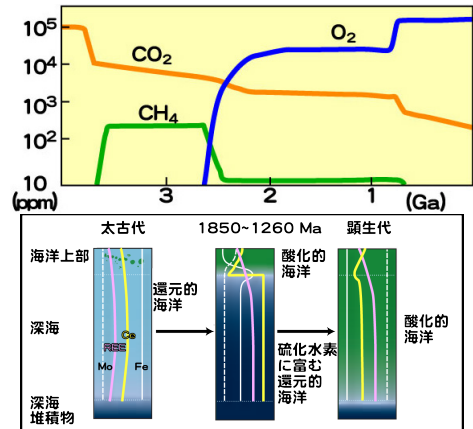
酸素発生型光合成の開始と大気酸素の増加

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 Fe^{2+} が酸化されて、 Fe^{3+} になり、沈殿($FeO(OH)$)

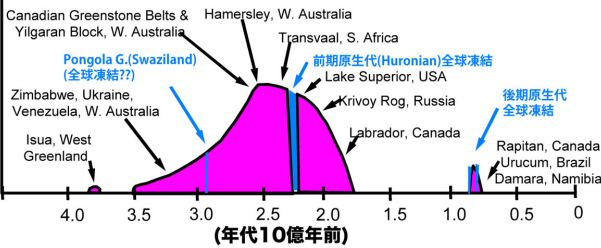
縞状マンガン層

23億年前

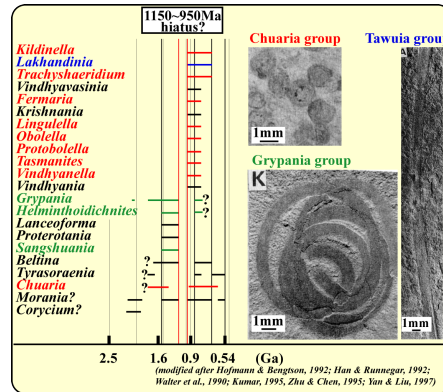
海水中の Mn^{2+} が酸化されて、 Mn^{3+} または Mn^{4+} になり、沈殿



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

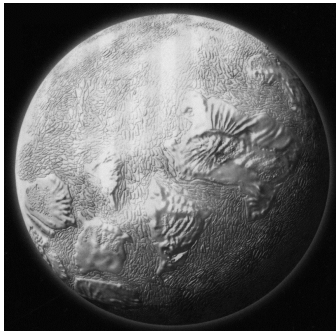


19億年前、macrofossilsの出現。



大きき的にも真核生物

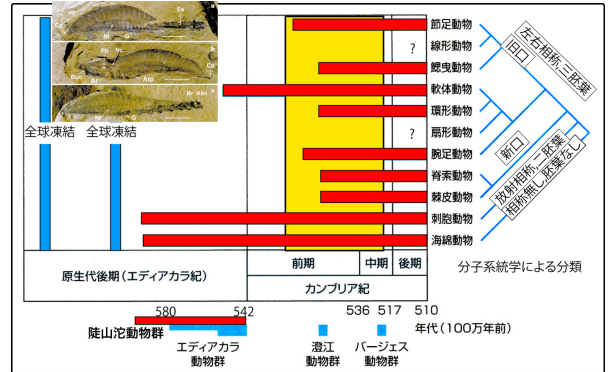
全球凍結 (6.4億年前)



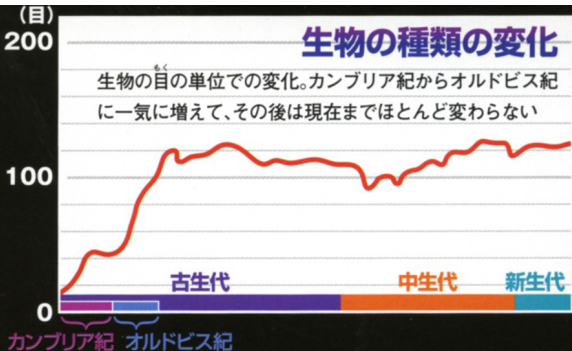
(1)地球表面での生命活動の停止
→(酸素発生型)光合成の停止

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ーカンブリア大爆発, Cambrian explosionー



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