

京都精華大学 2015年前期

# 自然科学論

担当教員：磯部洋明

京都大学大学院総合生存学館・准教授

京都精華大学・非常勤講師

第9回「地球と生命の歴史」

2015年6月23日

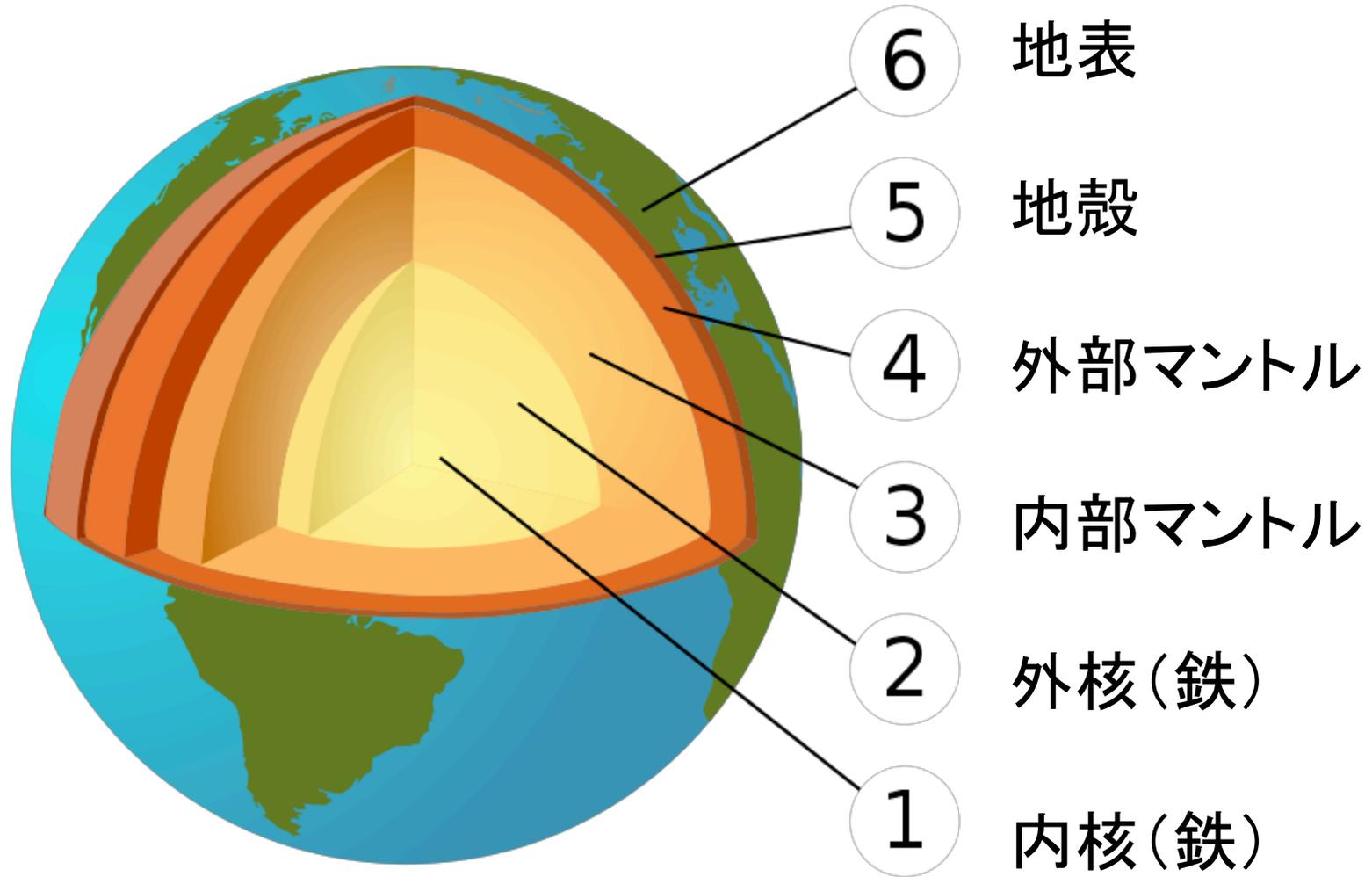
# 地球

太陽系第三惑星  
直径 ~ 13000km  
質量 ~  $6 \times 10^{24}$  kg  
年齢 ~ 45億年



1972年、アポロ17号から撮影

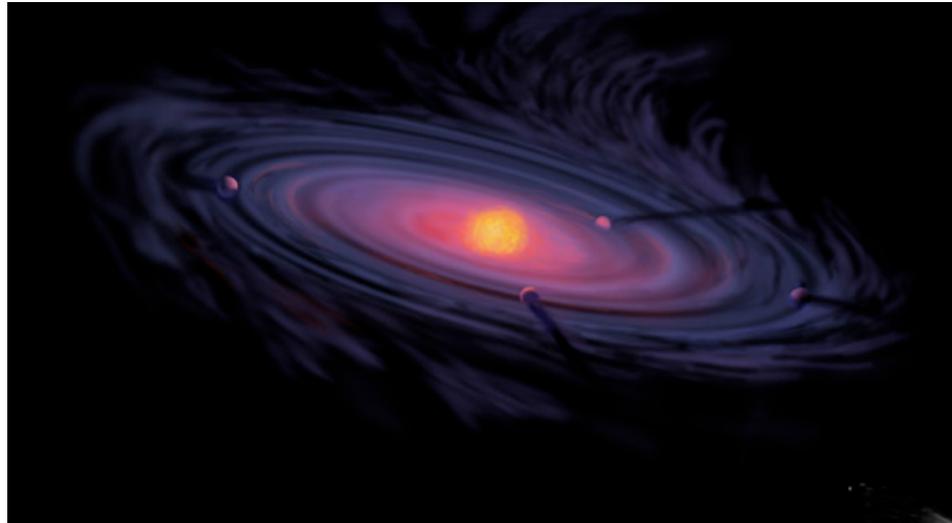
# 中はどうなってる？



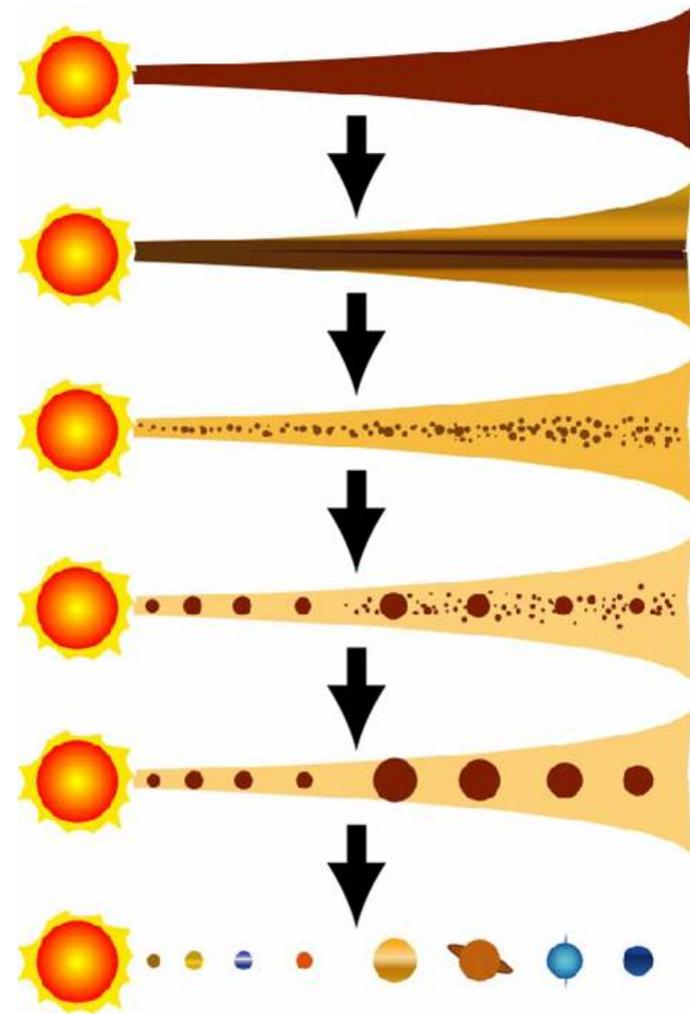
# 太陽系ができるまで

- 137億年前 ... 宇宙の誕生
  - 始めは水素とヘリウムだけの宇宙
- 135億年前 ... 最初の星の誕生
- 星の内部で核融合（炭素、酸素、窒素、鉄...）
- 超新星爆発で宇宙空間に新しい元素をまき散らす
- 繰り返し...宇宙の中に徐々に色々な元素が増える
  
- 地球と生命の材料が整った

# 太陽系と地球の誕生（京都モデル）



1. 原始太陽の周りにガスとチリの円盤ができる
2. チリが集まって塊（微惑星）になる
3. 微惑星が衝突を繰り返して地球サイズに成長

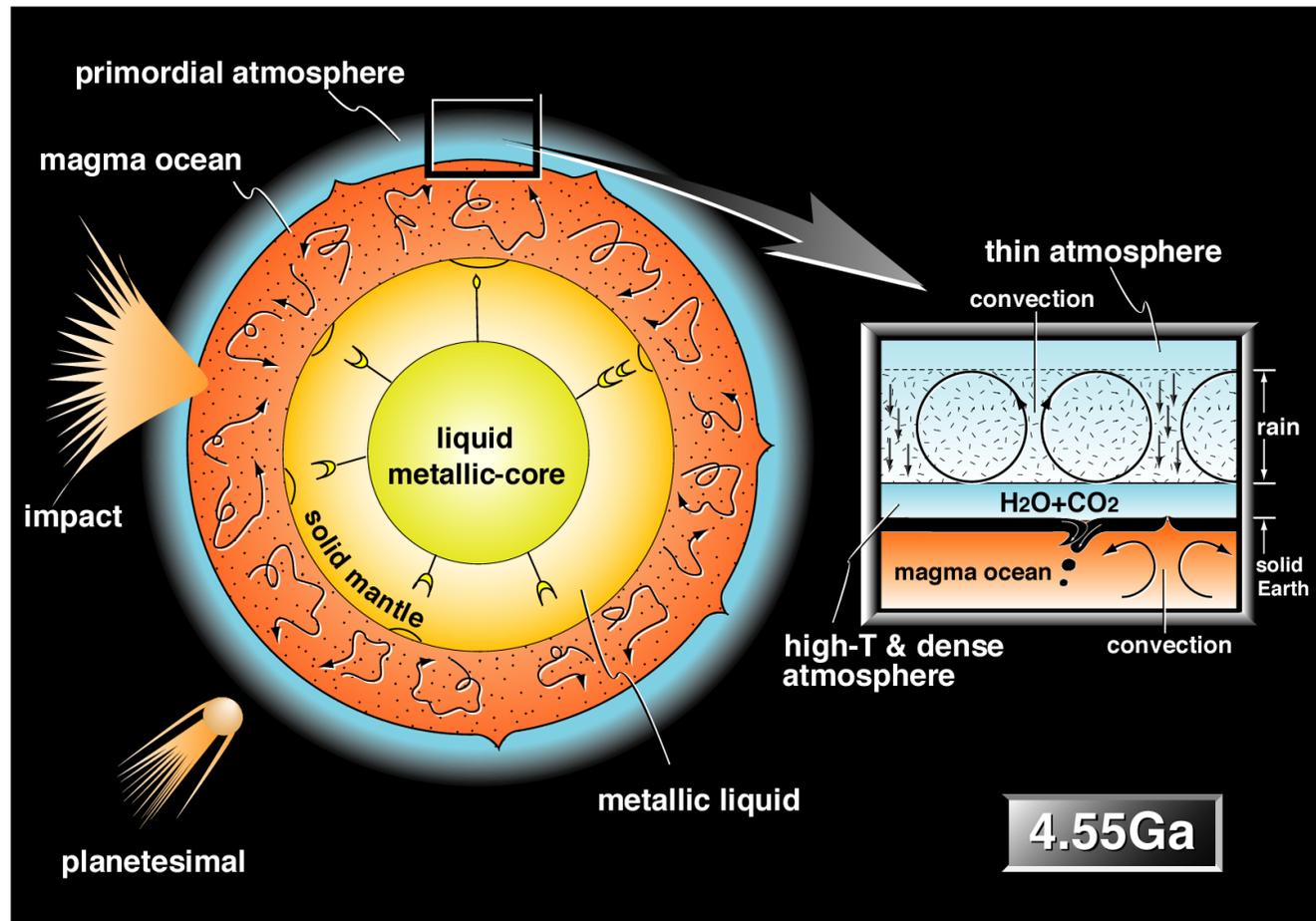


生まれてしばらくの地球はこんな感じ？

David A. Aguilar (CfA)



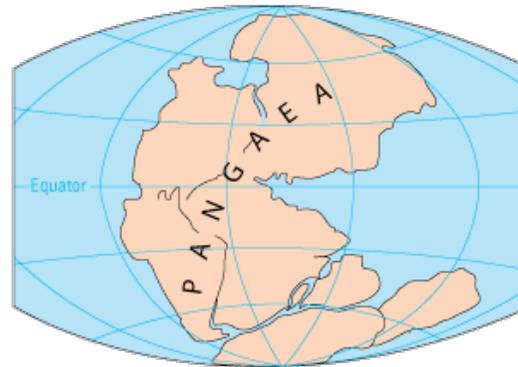
# 生まれたばかりの地球の構造



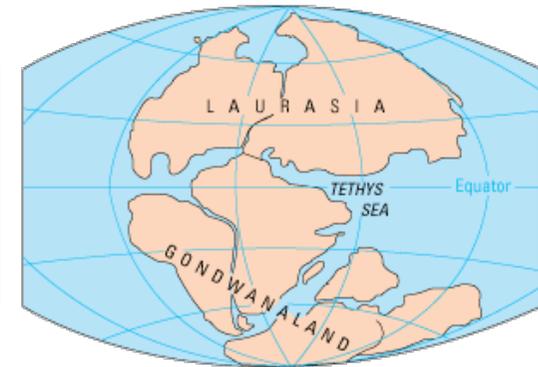
# プレートテクトニクス と大陸移動説

大陸は約2億年ごとに  
くっついたり離れたり  
している。

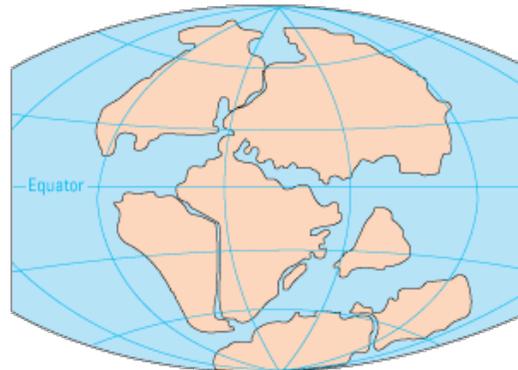
今から2~3億年後には  
再び巨大大陸ができ  
ると考えられる。



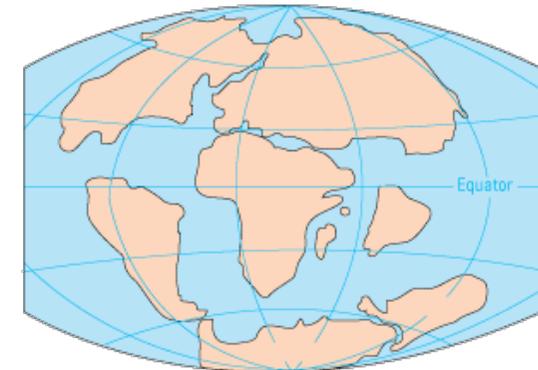
2億2千万前



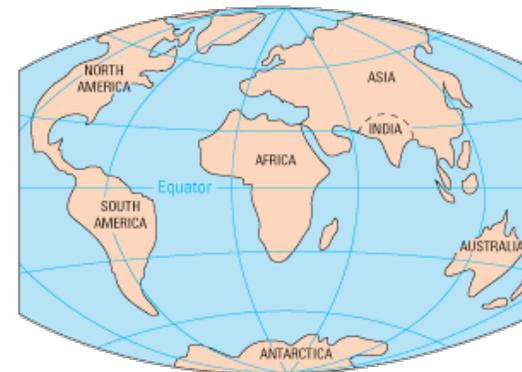
2億前



1.5億前(ジュラ紀)

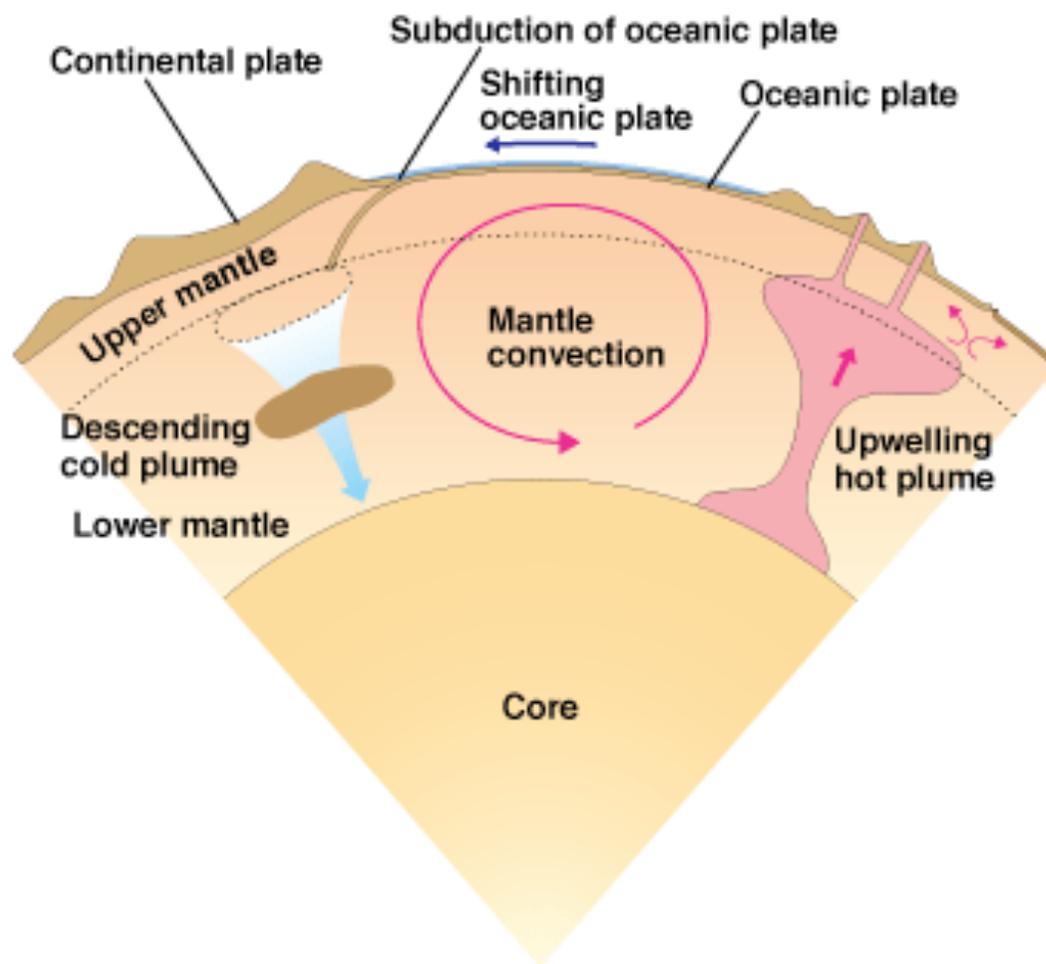


6500万年前(恐竜絶滅の頃)



現在

# プレートテクトニクスとプルームテクトニクス



マントルの大規模な対流(プルーム)がプレートの運動を引き起こしている

# 生命とは？

- 外界と自分を区別する境(細胞膜)を持つ
- 代謝を行う(外界からエネルギーや物質を取り込み、利用して、排出する)
- 自己複製を行う

# 生命じゃないもの



**建物**: 外界と内部を区別するが、代謝もしないし自己複製もしない

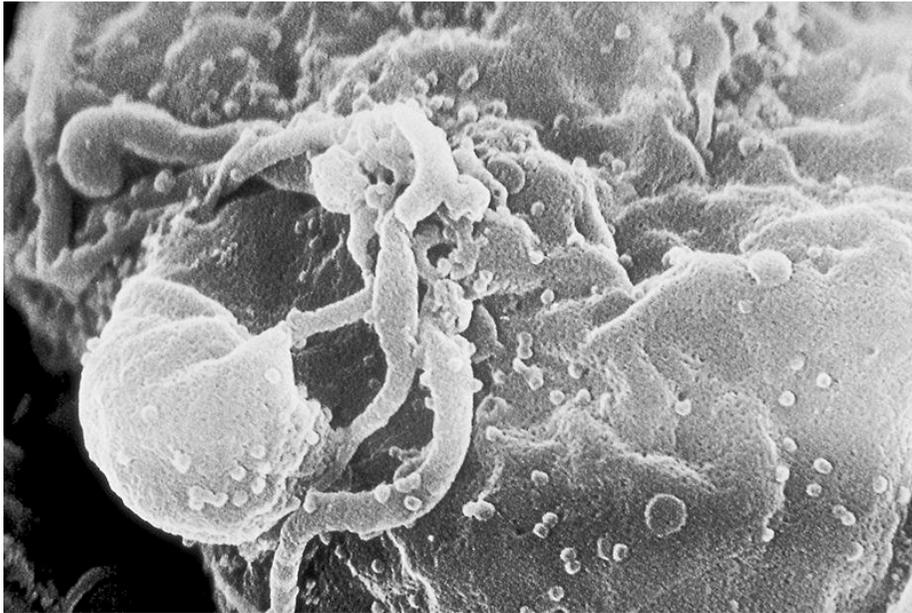
**地球**: 外界と内部を区別はややあいまい。代謝みたいなこと(太陽エネルギーを取り入れて海洋や大気が循環)もするが、自己複製はしない



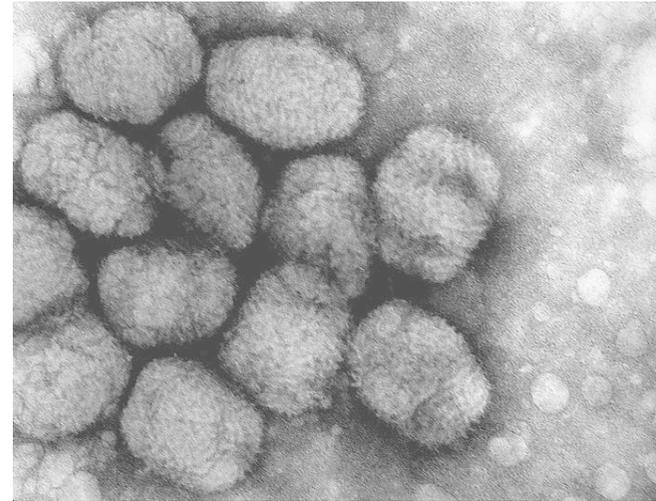
**コンピュータウイルス**: 自己複製はするが、「外界と内部」という概念はない。代謝もしない。

# ウイルス

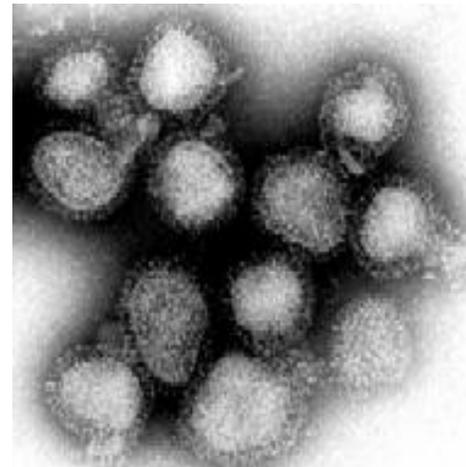
天然痘ウイルス



ヒト免疫不全ウイルス  
Human Immunodeficiency Virus, *HIV*



インフルエンザウイルス



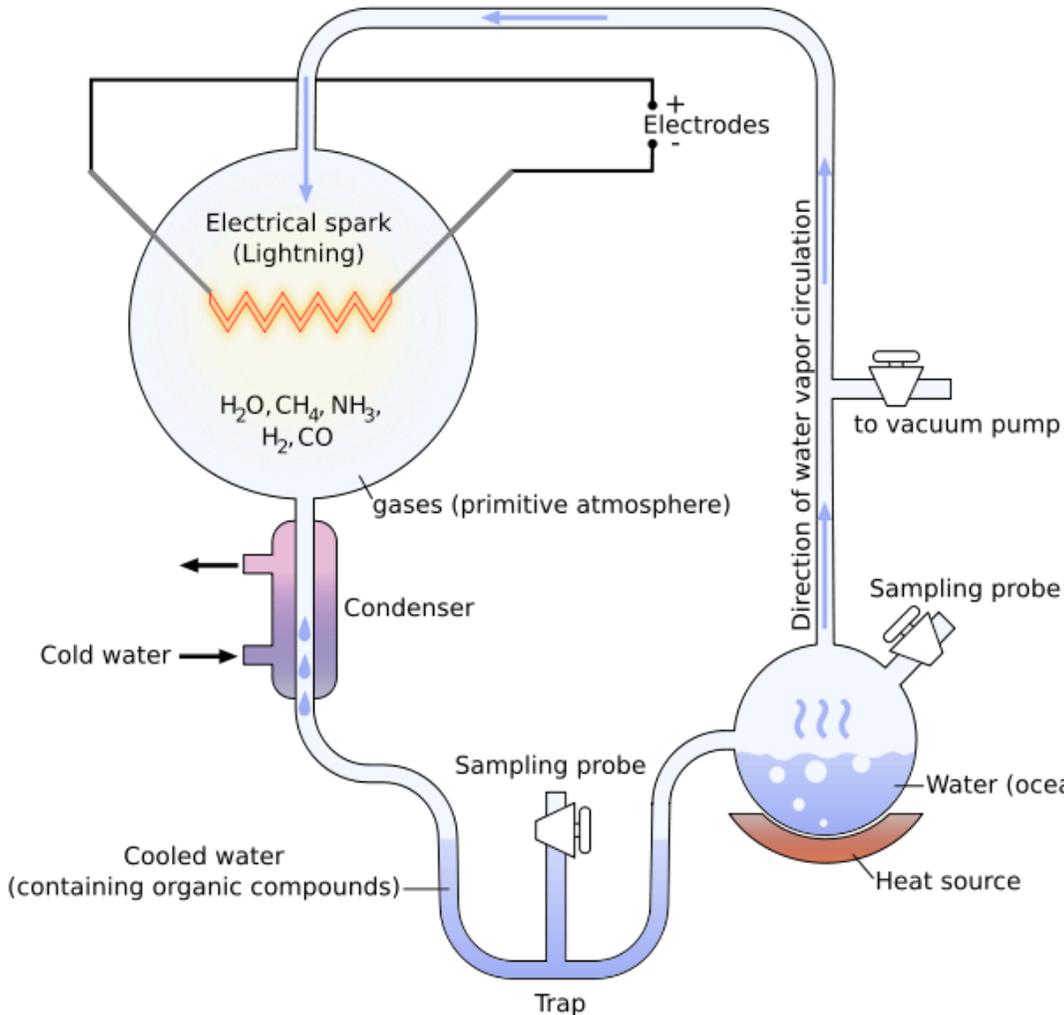
# ウイルスは生物と無生物の間

- ウイルスは遺伝情報(DNA/RNA)を持つ
- 細胞を持たない。自分自身で代謝は行わない。
- 自分だけでは自己複製できない。他の生物の細胞に寄生して増殖する。
- 化学物質のように結晶化して保存できる(Stanley 1935)

# 地球生命史重大事件

- 地球の誕生(約45億年前)
- 原始生命の発生(約40億年前)
- バクテリア(原核細胞)の出現(38-35億年前)
- 光合成の開始(27億年前)
- 真核細胞の出現(21億年前)
- 多細胞生物の出現(10億年前)
- 硬骨格生物の出現(5.5億年前)
- 人間の出現(500万年前)

# ユーリー・ミラーの実験



原始地球の大気に存在していたと考えられる、水、メタン、アンモニア、水素を混ぜて放電すると、生命の材料であるアミノ酸ができた

(生命ができたわけではない。材料になりうる物質の一部ができただけ)

# パンスペルミア説

- 最初の生命(の種)が地球で生まれたのではなく、宇宙からやってきたとする説
- 生命そのものというより、材料となる化学物質(アミノ酸など)が宇宙からやってくる、というのも含む(準パンスペルミア)。宇宙空間では多くの有機物、変わった形の分子が見つかっている。あり得ない話ではない。

多数の星間分子を発見した  
野辺山45m電波望遠鏡



# 一番最初の生命の証拠

- 炭素原子には陽子6つ、中性子6つを持つC12と、陽子6つ、中性子7つを持つC13がある。
- 生命はC12を選択的に取り込む $\Rightarrow$ C13の割合が自然界より少ないと、生命活動の間接的証拠
- グリーンランドの約38億年前の変成岩中で、C13が特異に低い値を持つものが見つかったのが。地球上で最初の生命の証拠。
- 40億年前くらいまで、原始地球は恐らく岩石も溶けた高温のマグマオーシャンのような状態だった。生命は地球が「生命が住めるような環境」になってからすぐに誕生？

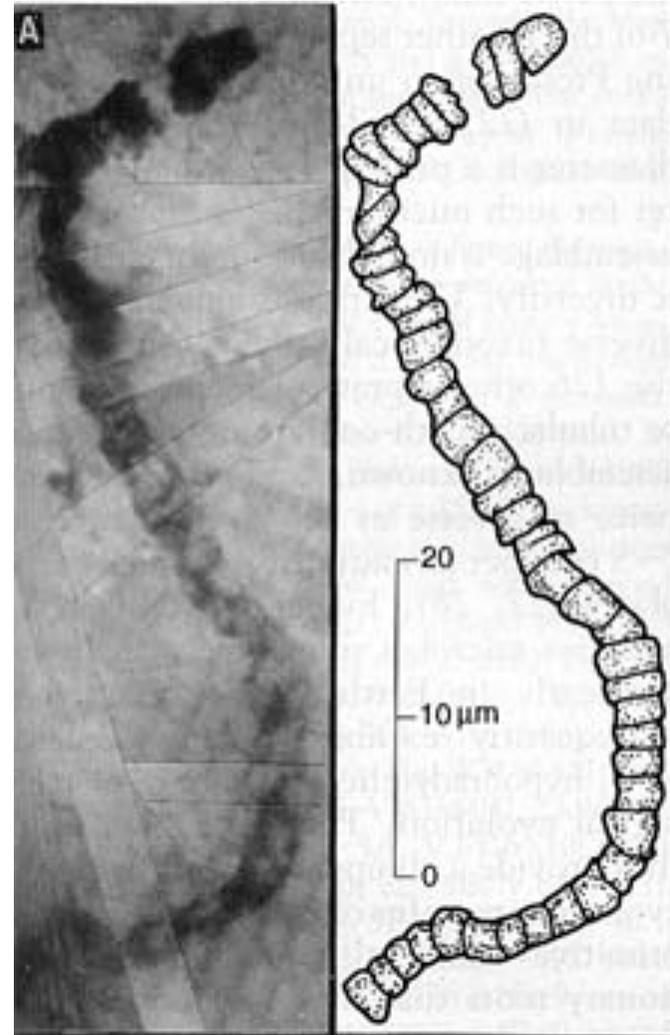
# 地球最古の化石

約35億年前のバクテリア

チャートと呼ばれる、海の底に  
堆積する  
岩石から発見。

最古の生物は海の底？

浅い海で生まれたという説もあるが、  
どうやら最近では深海という説が優力。



Schopf 1993

# 地球生命の系統

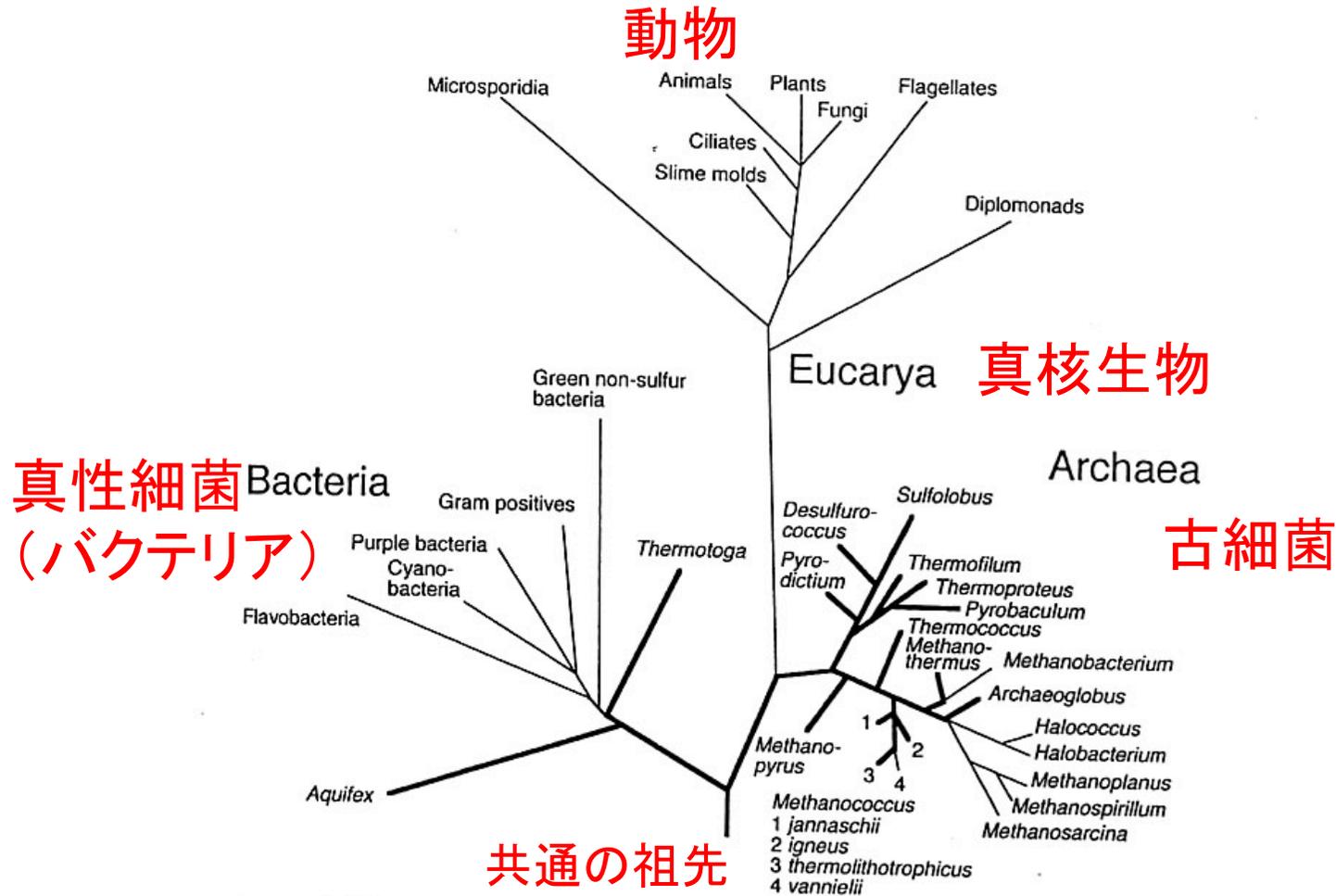


FIGURE 1 Universal phylogenetic tree. Bold lines: Hyperthermophiles. Schematically redrawn and modified from Woese *et al.* 1990; root according to Iwabe *et al.* 1989.

真性細菌と古細菌を合わせて  
原核生物(細胞核を持たない  
生物)という

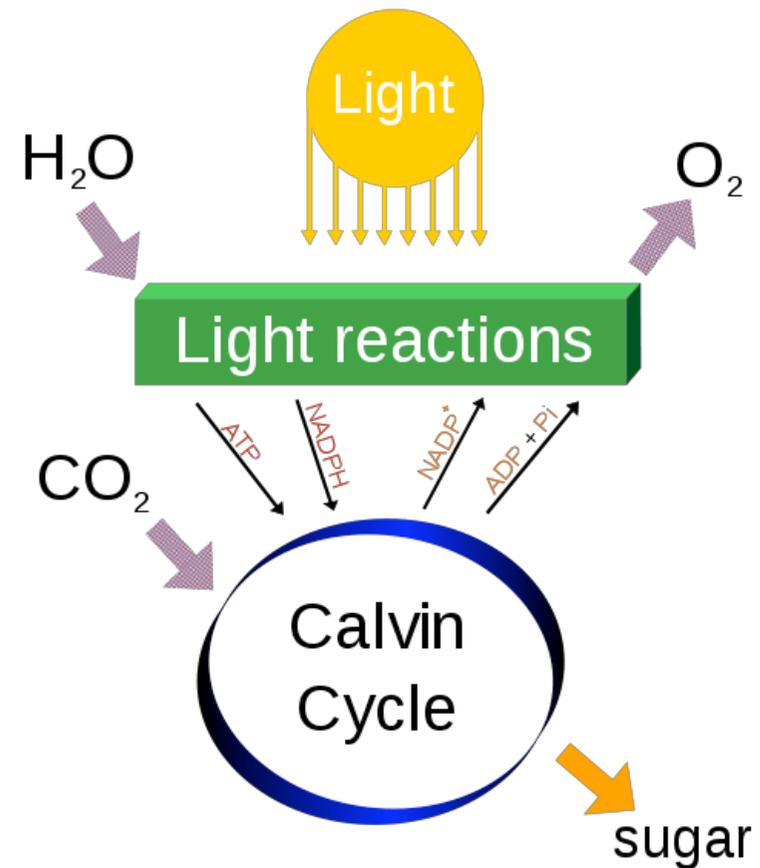
太線部分は~100度の高温の水を好む好熱菌

## 初期の生物の姿

- 深海で生まれたらしい。高温を好む熱水菌の仲間。
- => 恐らく、深海で火山活動がある熱水活動域で、メタン発酵や硫黄酸化をエネルギーにして活動していた。
- この頃地球に酸素はほとんどない。当時の生物は嫌気性、つまり酸素はむしろ猛毒。
- 酸素がない=>オゾン層もない=>大量の紫外線が降り注ぐ=>地上は生命が生まれる環境ではなかった。
- ここまでが、少なくとも35億年前(地球ができて10億年)くらいまでにでき、27億年前まで続いた。

# 27億年前の大事件：光合成の開始

- 光合成とは？
  - 材料(水と二酸化炭素)から**光のエネルギー**を使って、酸素と有機物(糖分)を作ること
- 約27億年前、浅海で酸素発生型光合成を行うシアノバクテリアが出現
- 当時の生物は嫌気性。酸素は迷惑な産業廃棄物。

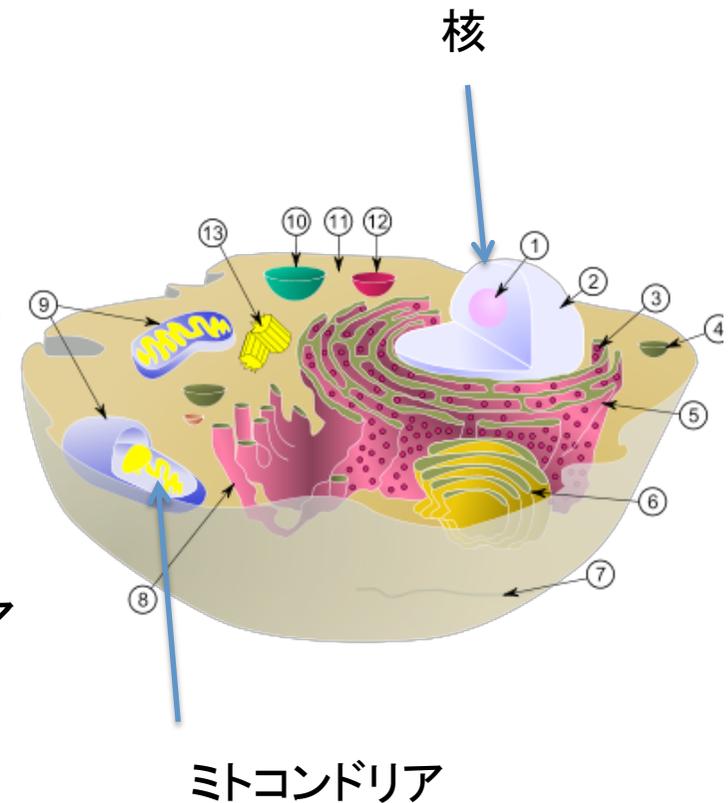


# 酸素は毒？

- 酸素(O<sub>2</sub>)は他の物質と反応しやすい(酸化、燃焼)
- エネルギーを得るのに便利
- 同時に、何でも「錆びさせて(酸化させて)」しまう危険な物質(活性酸素)
  
- 体内に酸化防御装置(酵素)を準備して、地球中にまき散らされた酸素を呼吸する生物が出現(約20億年前)

# 真核生物の出現(21億年前)

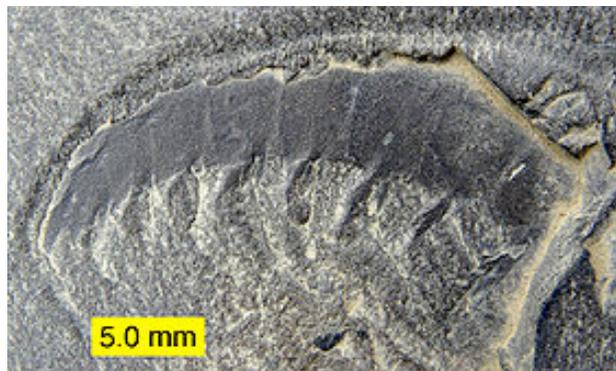
- 真核生物＝DNAが「核」という入れ物に保護され、ミトコンドリア、葉緑体などの細胞内の様々な小器官を持つ生物。  
(人間も真核生物)
- **共生説**：恐らく、真核生物の細胞中小器官は、それぞれ独自の能力を持った別の原核生物だった
  - － 光合成をするシアノバクテリア⇒葉緑体
  - － 呼吸能力を持つ原核生物⇒ミトコンドリア
- 真核生物の登場により、細胞が大型化し、DNAが核という容器に守られ、細胞内の分業が進んだ⇒より複雑な生命への道





# カンブリア紀爆発

カンブリア紀(5.45～5億年前)におきた  
生物の急激な多様化。  
多くはすぐに絶滅した。



# 陸地への進出

- 生物の多様化⇒複雑な生態系、ピラミッド型の食物連鎖
- 住処を探して新しいフロンティア...陸地へ
- ちょうど4～5億年前に太陽からの紫外線をふせぐオゾン(O<sub>3</sub>)層が形成され、生命が陸地に住めるようになった
- 大型化、恐竜の誕生

# 全球凍結 (snow ball earth)

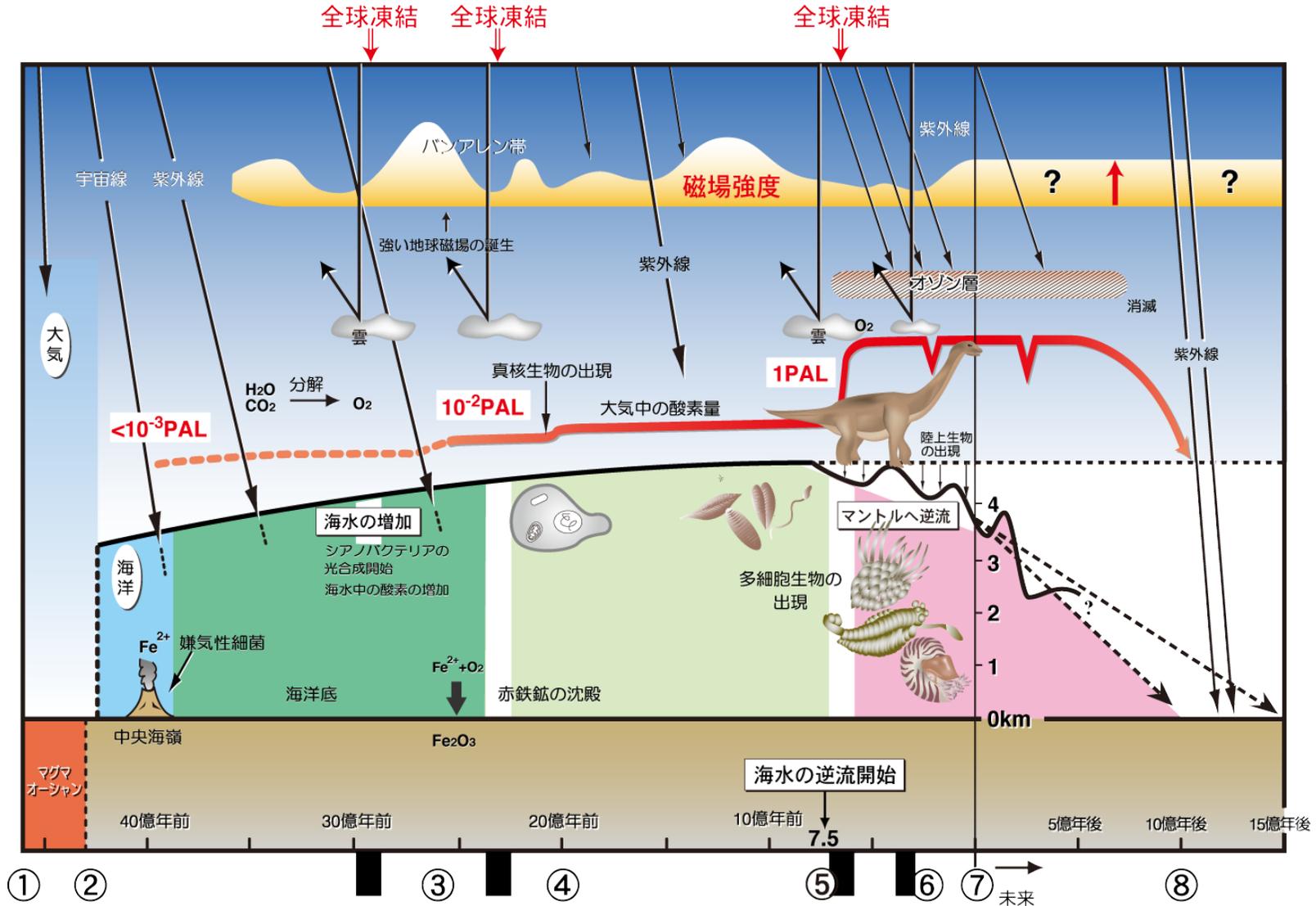


24～22億年前と7～6億年前に、地球のほぼ全体が氷に覆われた時期があったと考えられている。

# 人類(ホモ・サピエンス)の誕生

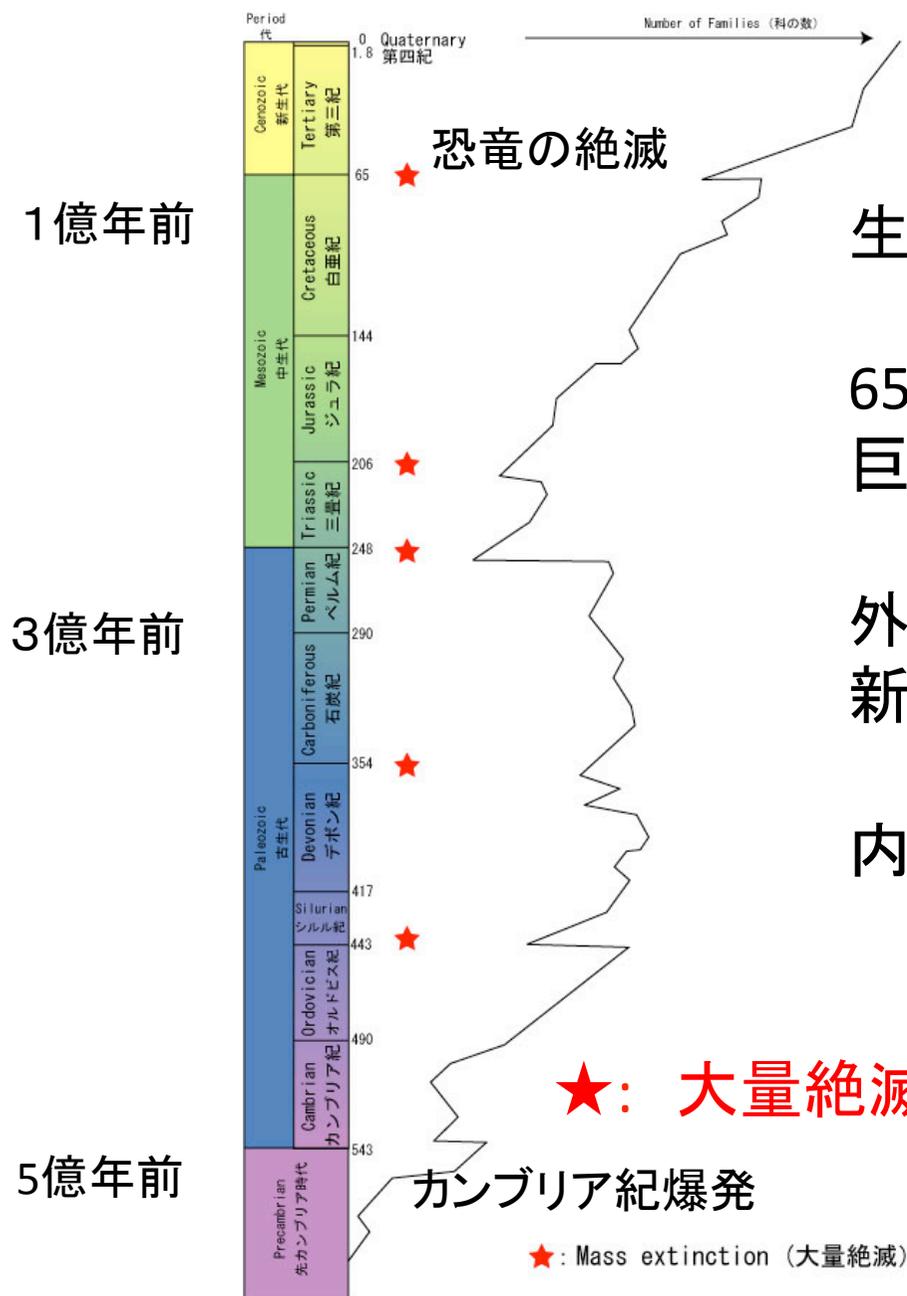
- 約500万年前:サルから分化(猿人)
  - アウストラロピテクスのルーシー(アフリカ)
- 約200万年前:ホモ・ハビリス(最初のヒト属)...石器を使用
- 約180万年前:原人の誕生(北京原人、ジャワ原人)...火を使用
- 約50万年前:旧人:ネアンデルタール人など...脳が大きくなり精神的に進化。ネアンデルタール人の葬式後から花の花粉が見つかっている
- 約20万年前:新人(現生人類)

# 海水の化学組成進化と生命進化



→生物の種類

# 大量絶滅



1億年前

生命の大量絶滅は何度も起きている。

6500万年前の恐竜の絶滅は、恐らく巨大隕石の衝突によるもの。

3億年前

外的要因: 巨大隕石、近傍の星の超新星爆発など

内的要因: 気候変動、火山活動など

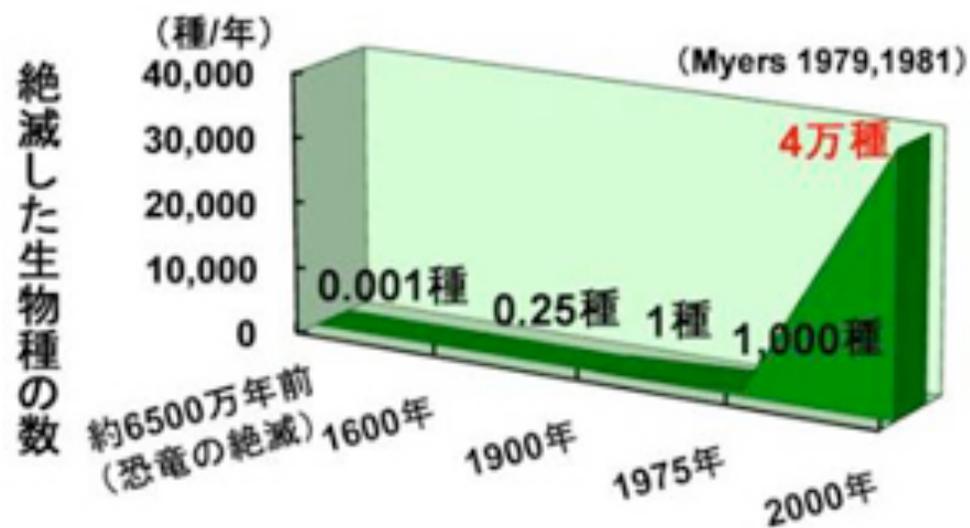
5億年前

カンブリア紀爆発

★: Mass extinction (大量絶滅)

# 現代は6番目の大絶滅時代か

- 年間40000種の絶滅...  
恐竜の絶滅時代より  
速い
- 多くは開発や乱獲、外  
来種の持ち込みなど  
人間の活動に由来す  
ると言われている。



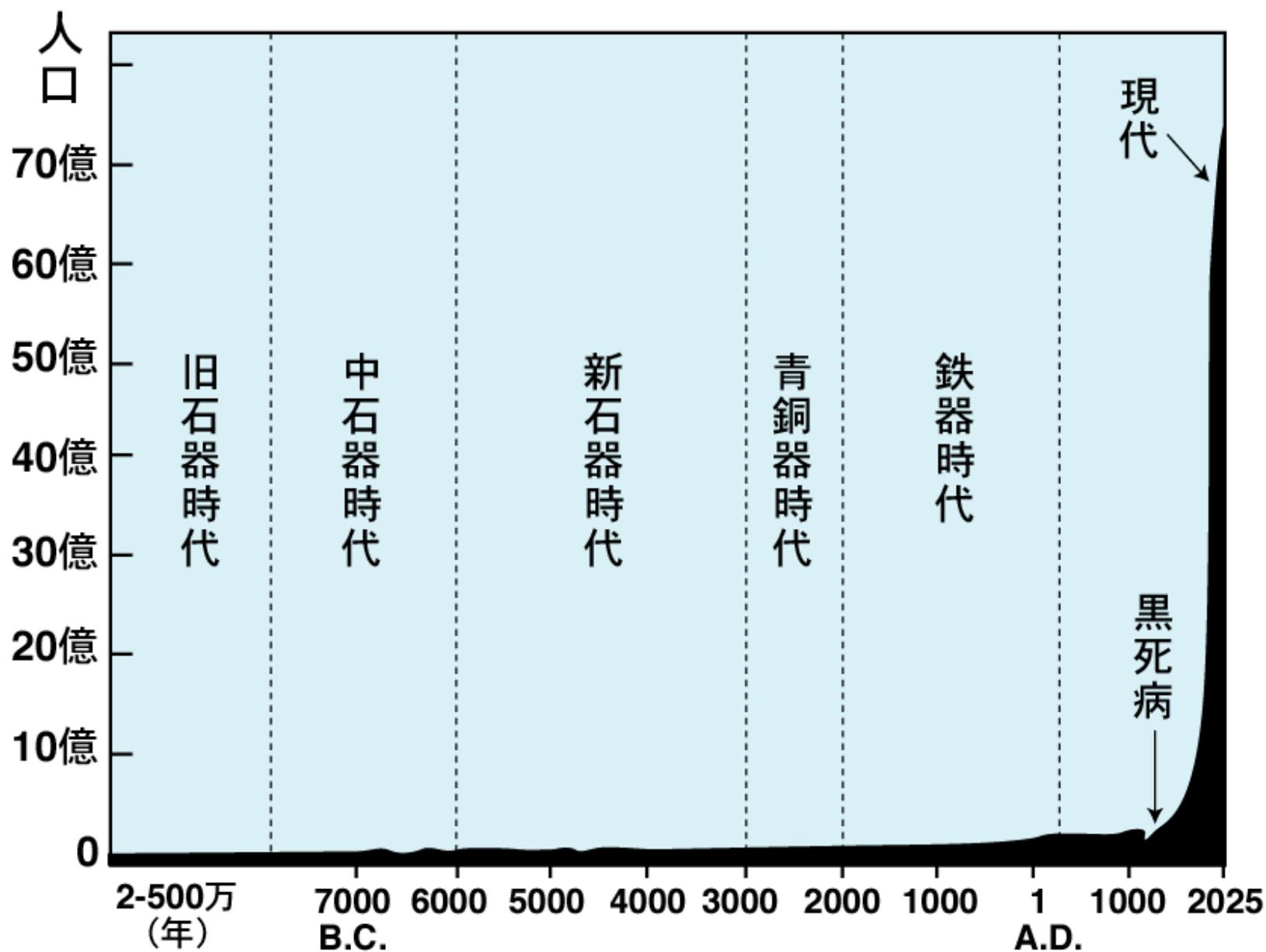
COP10のHPより

# 生物の多様性に関する条約

(生物多様性条約: Convention on Biological Diversity)

- 3つの目的
  - 地球上の多様な生物をその生息環境とともに保全すること
  - 生物資源を持続可能であるように利用すること
  - 遺伝資源の利用から生ずる利益を公正かつ衡平に配分すること
- 生物多様性条約第10回締約国会議(COP10)が2010年10月、愛知で開催

# ◆ 世界人口の歴史的推移



## 環境保護とは何を意味するのか

- 「地球にやさしい」とは誰にやさしいのか
- 地球最初の生物、嫌気性菌にとって酸素は猛毒。緑の森は、嫌気性な生命にとっては風の谷のナウシカの「腐海」
- 何がいい環境かは、その生物により違う。「地球」にとっては（よしんば意志があるとしても）どうでもよいこと
- 地球の環境は変化し続け、生命は深化し続けている。酸素の発生など、地球環境に影響を与えた生物は人間だけではない。人間もまた自然の一部
- COP10のHPより「現在の生物の多様性をそのまま維持していくよりも、競争や共生など生物同士の自然な相互関係により、自由に進化・絶滅していくダイナミズムが確保されてこそ、生物多様性は保持できる」
- 人間の活動が主要な原因である環境の変動や種の絶滅も、一つの自然な進化と見るか？

- 生命の進化は連続的ではない。大絶滅と急激な進化の繰り返し
- 環境保護とは即ち今の人間にとって都合のよい環境を、エゴイスタックに守ることとも言えるだろう
- 人間のエゴは悪い？では人類はいつか絶滅して次の世代の生命、文明にその座をゆずる「べき」なのか？
- 将来、人間が別の生命に進化したり、他の生命が人間と同等以上に知的に進化することを我々は認めるか？
  - 遺伝子操作により人間自身が引き起こす可能性がある