

惑星地球科学2 (第6回目)

地球史1：初期地球・冥王代と固体地球進化

東京大学総合文化研究科：

小宮 剛 准教授

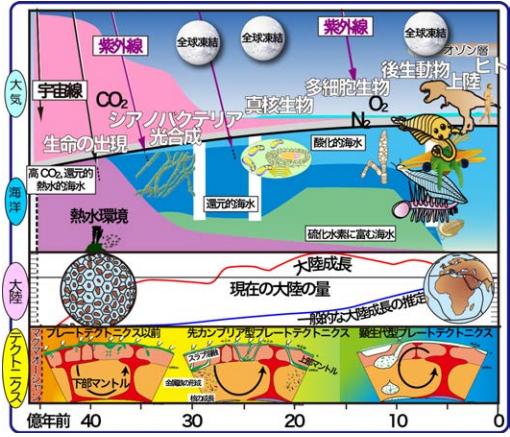
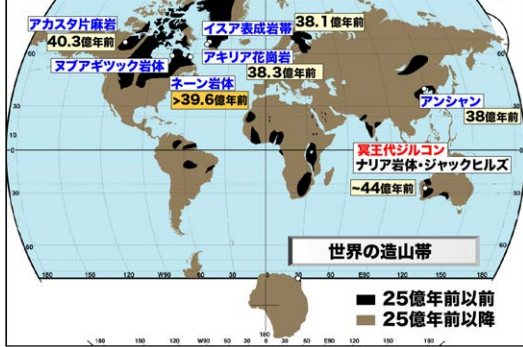
2017/11/8

komiya@ea.c.u-tokyo.ac.jp

http://www43.tok2.com/home/isua/

冥王代とは：地球上で最古の地質体(岩石)が存在する以前(4.03 Ga)。

世界の地質と3.8Ga以前の地質体と冥王代ジルコン



地質年代区分

地質年代	地質年代	地質年代	地質年代
冥王代	太古代	先カンブリア代	中生代
冥王代	冥王代	冥王代	冥王代
冥王代	冥王代	冥王代	冥王代

(1) 地質年代区分と年代層序区分
 (2) 地質年代区分の境界: 人為的なもの(生物種の変化)
 (3) 地質年代区分と年代層序区分の境界: 人為的なもの(生物種の変化)

①アイソクロン年代

親核種 P → 娘核種 D 壊変定数 λ (半減期 $t = \frac{\ln 2}{\lambda}$)

$$\frac{dP}{dt} = -\lambda P$$

$$P = P_0 \exp(-\lambda t)$$

$$D = D_0 + (P_0 - P) = D_0 + P_0(1 - \exp(-\lambda t))$$

安定同位体 D₀ で割る (比の方が精度よく分析できるので)。

$$\left(\frac{D}{D_0}\right) = \left(\frac{D}{D_0}\right)_0 + \left(\frac{P}{D_0}\right) (1 - \exp(-\lambda t)) \rightarrow y = a + bx$$

傾き: $\exp(-\lambda t) - 1$

放射線核種の親核種と娘核種の比を用いる年代測定

鉛同位体

$$^{238}\text{U} \rightarrow ^{206}\text{Pb} + 8\alpha + 6\beta, \lambda_{238} = 0.155125 \times 10^{-9} \text{ yr}^{-1} \text{ (3.21)}$$

$$^{235}\text{U} \rightarrow ^{207}\text{Pb} + 7\alpha + 4\beta, \lambda_{235} = 0.98485 \times 10^{-9} \text{ yr}^{-1} \text{ (3.22)}$$

$$^{232}\text{Th} \rightarrow ^{208}\text{Pb} + 6\alpha + 4\beta, \lambda_{232} = 0.049475 \times 10^{-9} \text{ yr}^{-1} \text{ (3.23)}$$

最近の U/Pb 比の変動によって影響される

$$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}} = \frac{^{238}\text{U}}{^{204}\text{Pb}} (1 - \exp(-\lambda_{238}t)) + \left(\frac{^{206}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}\right)_0$$

$$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}} = \frac{^{235}\text{U}}{^{204}\text{Pb}} (1 - \exp(-\lambda_{235}t)) + \left(\frac{^{207}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}\right)_0$$

$$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{207}\text{Pb}} = \frac{^{238}\text{U}}{^{235}\text{U}} \frac{(1 - \exp(-\lambda_{238}t))}{(1 - \exp(-\lambda_{235}t))} + \frac{\left(\frac{^{206}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}\right)_0}{\left(\frac{^{207}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}\right)_0}$$

$$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{207}\text{Pb}} = (137.88) \frac{^{238}\text{U}}{^{235}\text{U}} + 137.88$$

一致年代、不一致年代

一致年代 (concordant age) と不一致年代 (discordant age) の説明。

(a) U-Pb 年代

$$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}} = \frac{^{238}\text{U}}{^{204}\text{Pb}} (1 - \exp(-\lambda_{238}t)) + \left(\frac{^{206}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}\right)_0$$

$$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}} = \frac{^{235}\text{U}}{^{204}\text{Pb}} (1 - \exp(-\lambda_{235}t)) + \left(\frac{^{207}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}\right)_0$$

25 Ga 以降の地球史

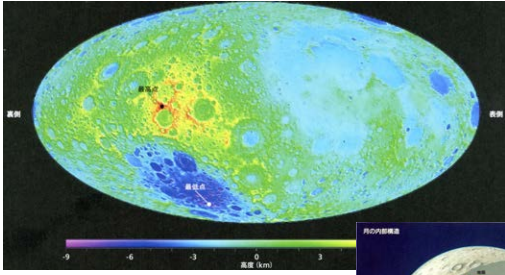
地球史のタイムライン (45.4 Ga から 5.4 Ga)。

冥王代 (45.4 - 40.3 Ga): 地球の誕生, 地球の冷却, シルコン (ジルコン) の形成。

太古代 (40.3 - 25 Ga): 大陸の成長, アカスタ片麻岩 (40.3 Ga), アンシャン (38 Ga) の形成。

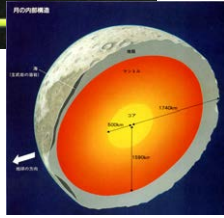
先カンブリア代 (25 - 5.4 Ga): 生命の出現, マグマオーシャン, 海の誕生, 核形成, 後生動物上陸, 生命の進化。

中生代 (5.4 Ga から現在): 生命の進化, 後生動物上陸。

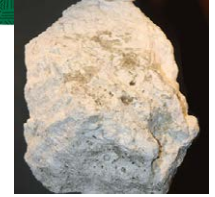
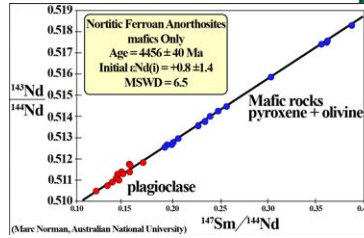
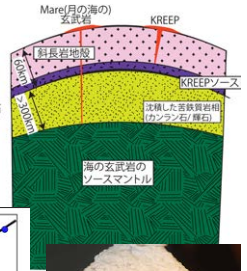


③地球と月の表層と内部構造の違い

- ①裏側に高地、表側に低地が卓越。
- ②高地は斜長岩、低地は玄武岩。隕石孔の底にも斜長岩。

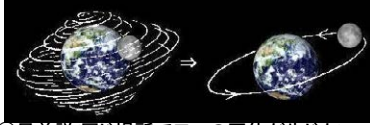


(1)月には斜長岩地殻が存在
→マグマオーシャンの時に低密度の為、浮遊。
(2)KREEPと呼ばれる。液相濃集元素(マグマに濃集する元素)にとむ特殊な玄武岩が存在する。
→マグマオーシャンの時の上(斜長岩)と下(鉄に富むカンラン岩)から固化し、最後に残された液に富む中間層起源

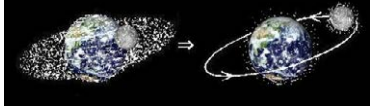


月の起源

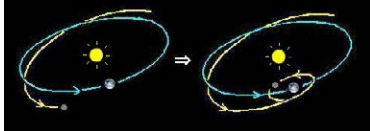
①親子説(分離)



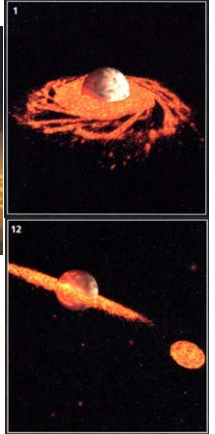
②兄弟説(同じ場所で二つの天体が生じた)



③捕獲説(地球が捕獲天体を捕獲)



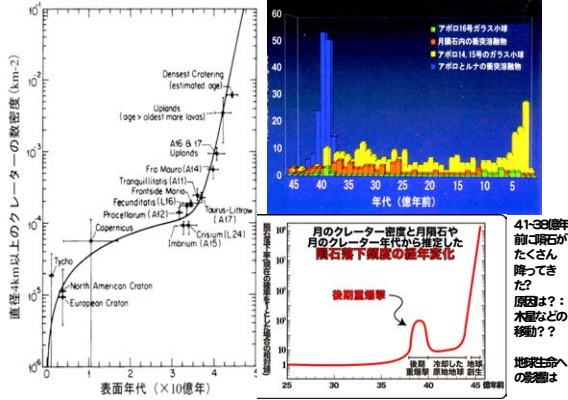
ジャイアントインパクトと月の形成



月の特徴

- (1)化学組成:揮発性ガスが極端に少ない。
- (2)全月組成はFeに乏しい。地球のマントルの組成に似ている。
- (3)異常に大きな衛星
- (4)全角運動量がとても大きい。

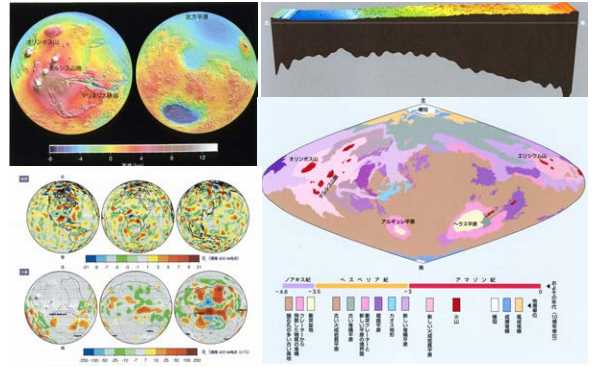
月のクレーターとクレーター年代学と後期重爆撃イベント



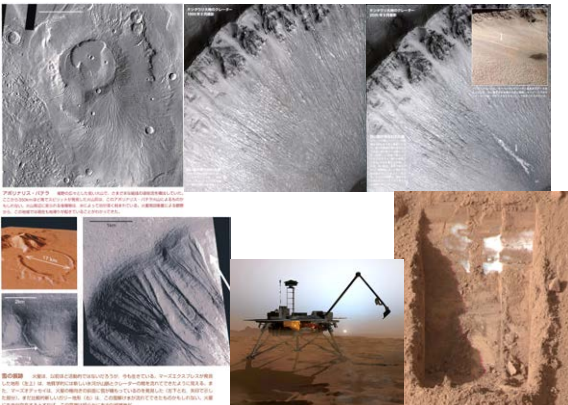
火星の表面構造の違い

火星の地殻の年代(大陸は35億年前以前)

- ①高地(大陸)が非常に多い。②高地は地殻が厚い。
- ③高地と低地の双峰分布。

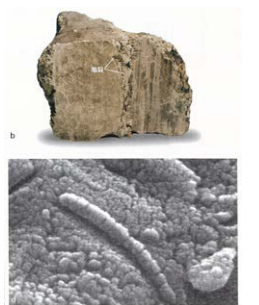
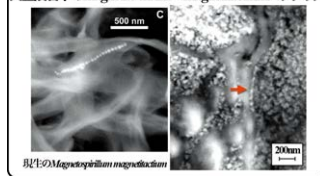


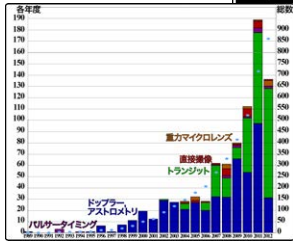
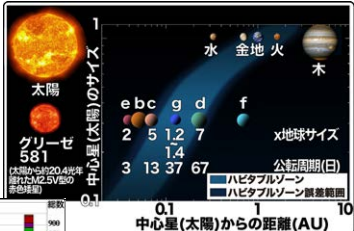
(1)火星にはかつて水があった(現在もある)証拠が多数



火星隕石中の微化石?

火星隕石中のmagnetic chains - magnetitactium/バクテリア



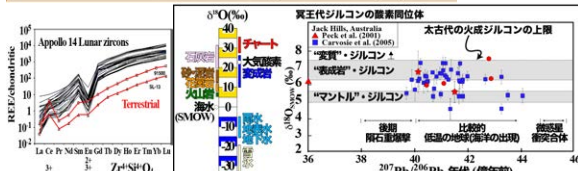
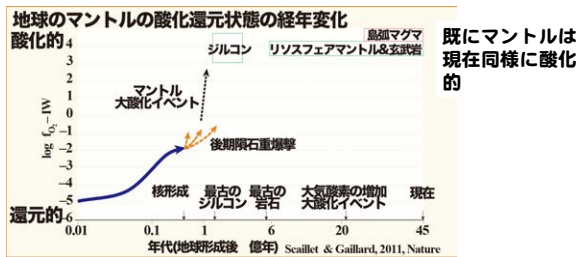
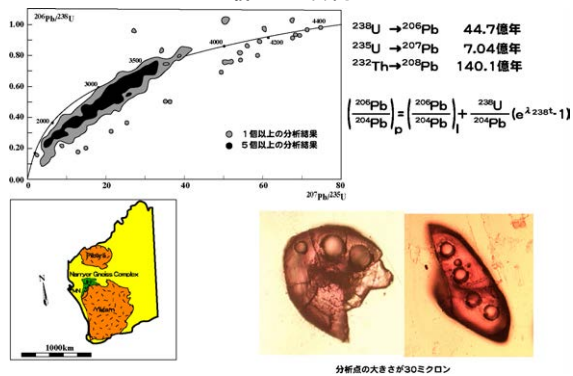


系外惑星
ハビタブルプラネット
とスーパー・アース

カナダ アカスタ片麻岩

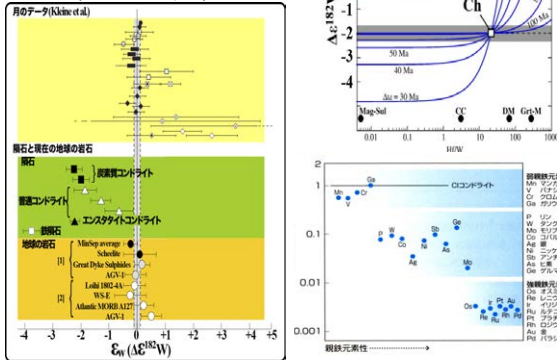


最古の鉱物

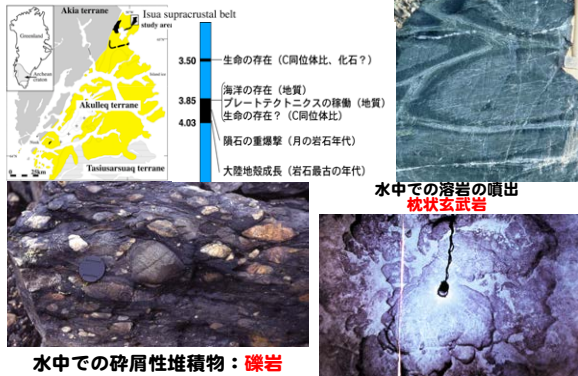


W同位体と核形成

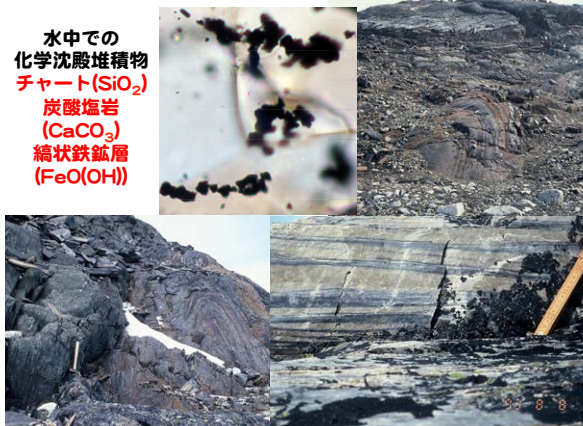
$^{182}\text{Hf} \rightarrow ^{182}\text{W}$, $T_{1/2}$ 8.9 Ma
(Vockenhuber et al., 2004)



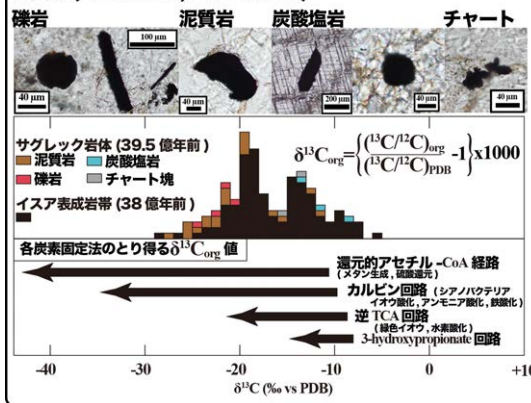
イスア地質(グリーンランド, 38億年前) -プレートテクトニクスの開始、海洋の存在と生命の痕跡-



水中での
化学沈殿堆積物
チャート(SiO₂)
炭酸塩岩
(CaCO₃)
綿状鉄鉱層
(Fe(OH))

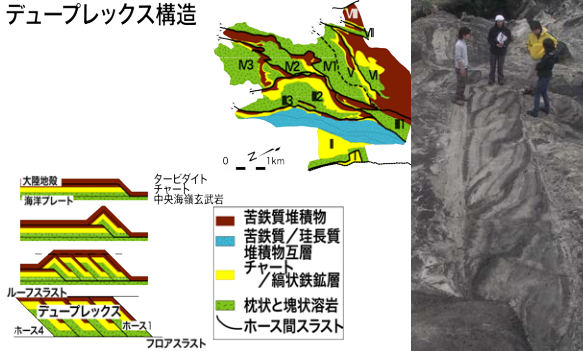


炭質物 (ラブラドル, 39.5 億年前)



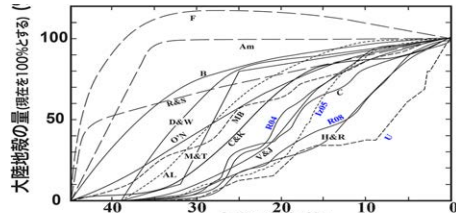
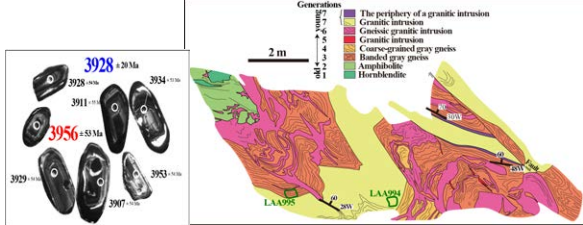
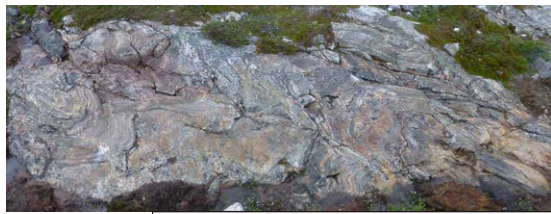
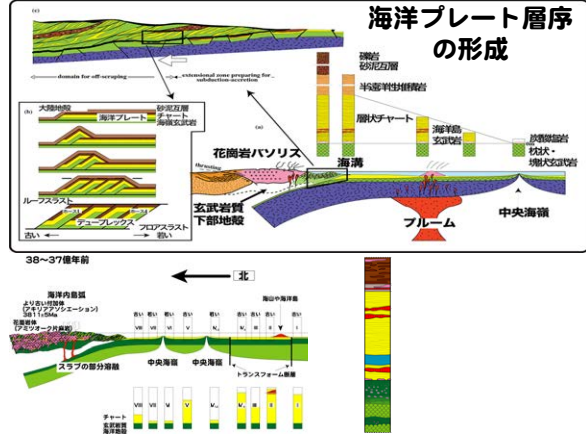
世界最古の付加体 (38億年前)

デュープレックス構造

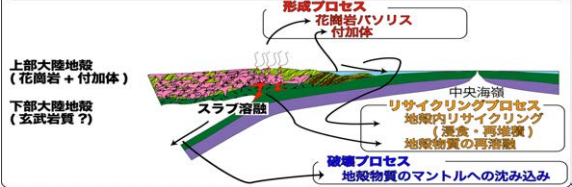


デュープレックス構造→水平方向の短縮変形による

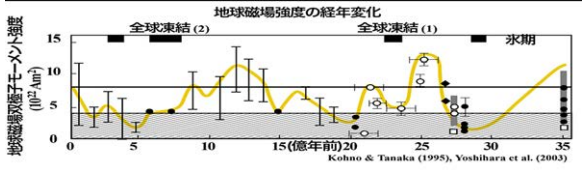
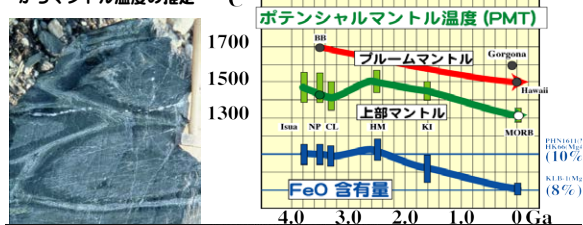
海洋プレート層序の形成



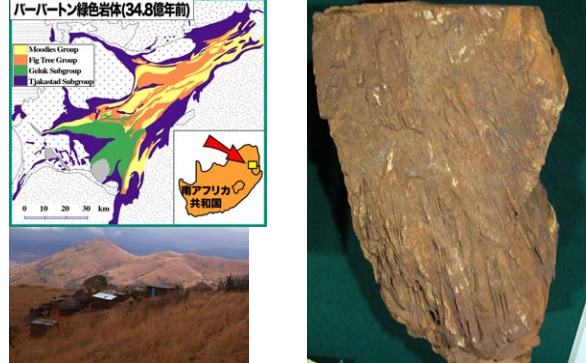
大陸地殻成長：大陸地殻の形成、破壊とリサイクリング



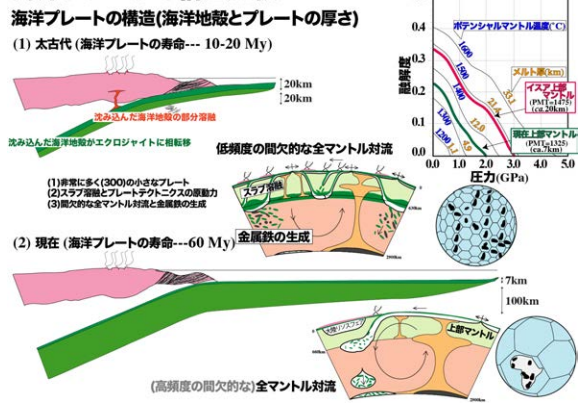
各時代の海嶺玄武岩組成からマントル温度の推定



24億年前以前は1900°C以上の高温のブルームが上昇



海洋プレートの構造比較



超大陸(Columbia)の形成 (19億年前)

