

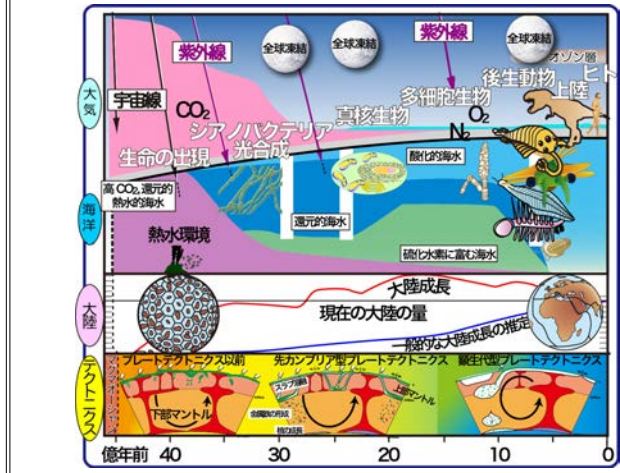
惑星地球科学2 (第五回目)

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：

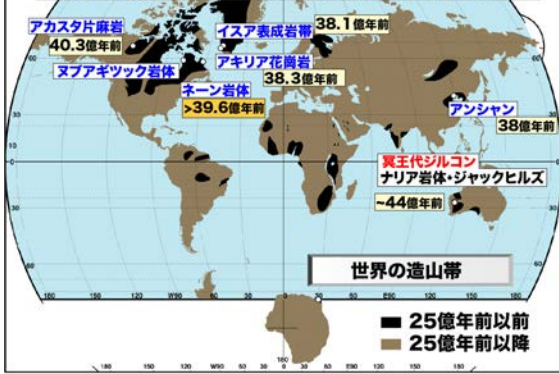
小宮 剛 准教授

2016/11/2



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シリコン



地質年代区分

時代	期	階	年代 (Ma)	特徴
冥王代 (Eoarchean)	冥王代	Upper	4000-3800	アカスタ片麻岩
		Middle	3800-3500	イシア表成岩
		Lower	3500-3000	アキリア花崗岩
太古代 (Archaean)	太古代	Upper	3000-2500	ネオン岩体
		Middle	2500-2000	アンシヤン
		Lower	2000-1800	冥王代シリコン
先カンブリア時代 (Proterozoic)	先カンブリア時代	Upper	1800-1000	ナリア岩体・ジャックヒルズ
		Middle	1000-541	大氧化作用
		Lower	541-0	カンブリア爆発
中生代 (Mesozoic)	中生代	Upper	252-66	三畳紀
		Middle	66-252	白垩紀
		Lower	252-66	ジュラ紀
新生代 (Cenozoic)	新生代	Upper	0-2.6	第四紀
		Middle	2.6-66	第三紀
		Lower	66-252	白垩紀

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 $t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$)

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

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

$$D = D_0 + (P_0 - P) \Delta$$

$$= D_0 + P_0 [\exp(\lambda t) - 1]$$

安定同位体 D_s で割る (比の方が精度良く分析できるので)。

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

切片: $\left(\frac{D}{D_s}\right) / \left(\frac{P}{D_s}\right)$
傾き: $[\exp(\lambda t) - 1]$

表1: 放射性核種の親核種と娘核種の比を用いる年代測定法

年代	P	D	(D/P) ₀	測定式	半減期 (年)
U-Pb	²³⁸ U	²⁰⁶ Pb	0	$\frac{D}{P} = \frac{D_0}{P_0} + \frac{P_0}{P_0} [\exp(\lambda t) - 1]$	4.468 × 10 ⁹
Rb-Sr	⁸⁷ Rb	⁸⁷ Sr	0	$\frac{D}{P} = \frac{D_0}{P_0} + \frac{P_0}{P_0} [\exp(\lambda t) - 1]$	4.88 × 10 ¹⁰
U-Th	²³⁵ U	²⁰⁷ Pb	0	$\frac{D}{P} = \frac{D_0}{P_0} + \frac{P_0}{P_0} [\exp(\lambda t) - 1]$	7.04 × 10 ⁸
Sm-Nd	¹⁴⁷ Sm	¹⁴³ Nd	0	$\frac{D}{P} = \frac{D_0}{P_0} + \frac{P_0}{P_0} [\exp(\lambda t) - 1]$	1.06 × 10 ¹¹
Lu-Hf	¹⁷⁶ Lu	¹⁷⁶ Hf	0	$\frac{D}{P} = \frac{D_0}{P_0} + \frac{P_0}{P_0} [\exp(\lambda t) - 1]$	3.57 × 10 ¹⁰
La-Ce	¹³⁸ La	¹³⁸ Ce	0	$\frac{D}{P} = \frac{D_0}{P_0} + \frac{P_0}{P_0} [\exp(\lambda t) - 1]$	9.87 × 10 ¹⁰
Th-Pb	²³² Th	²⁰⁸ Pb	0	$\frac{D}{P} = \frac{D_0}{P_0} + \frac{P_0}{P_0} [\exp(\lambda t) - 1]$	1.405 × 10 ¹⁰
Re-Os	¹⁸⁷ Re	¹⁸⁷ Os	0	$\frac{D}{P} = \frac{D_0}{P_0} + \frac{P_0}{P_0} [\exp(\lambda t) - 1]$	4.32 × 10 ¹⁰

放射性核種の親核種と娘核種の比を用いる年代測定

鉛同位体

表2: 鉛同位体の親核種と娘核種の比を用いる年代測定法

年代	P	D	(D/P) ₀	測定式	半減期 (年)
U-Pb	²³⁸ U	²⁰⁶ Pb	0	$\frac{D}{P} = \frac{D_0}{P_0} + \frac{P_0}{P_0} [\exp(\lambda t) - 1]$	4.468 × 10 ⁹
U-Pb	²³⁵ U	²⁰⁷ Pb	0	$\frac{D}{P} = \frac{D_0}{P_0} + \frac{P_0}{P_0} [\exp(\lambda t) - 1]$	7.04 × 10 ⁸
Th-Pb	²³² Th	²⁰⁸ Pb	0	$\frac{D}{P} = \frac{D_0}{P_0} + \frac{P_0}{P_0} [\exp(\lambda t) - 1]$	1.405 × 10 ¹⁰

最近の U/Pb 比の変動によって影響される

最近の U/Pb 比の変動によって影響されない 天然 Pb/Pb 比はほぼ一定

$$\frac{207\text{Pb}}{206\text{Pb}} = \frac{1}{137.88} \left[\frac{238\text{U}}{235\text{U}} \right] = 137.88$$

一致年代、不一致年代

²³⁸U-²⁰⁶Pb 法, ²³⁵U-²⁰⁷Pb 法, ²⁰⁷Pb-²⁰⁶Pb 法, (²³²Th-²⁰⁸Pb 法) から得られた年代が一致することを一致年代 (concordant age) とする。一方、一致しない場合を不一致年代 (discordant age) とする。

(a) U-Pb 年代

$$\frac{206\text{Pb}}{204\text{Pb}} = \frac{206\text{Pb}}{204\text{Pb}} + \frac{238\text{U}}{204\text{Pb}} [\exp(\lambda_{238} t) - 1]$$

$$\frac{207\text{Pb}}{204\text{Pb}} = \frac{207\text{Pb}}{204\text{Pb}} + \frac{235\text{U}}{204\text{Pb}} [\exp(\lambda_{235} t) - 1]$$

元々 Pb (娘核種) が含まれない時

$$t = \frac{1}{\lambda_{238}} \ln \left[1 + \frac{206\text{Pb}}{238\text{U}} \right]$$

$$t = \frac{1}{\lambda_{235}} \ln \left[1 + \frac{207\text{Pb}}{235\text{U}} \right]$$

30 Ga

25 Ga

20 Ga

15 Ga

10 Ga

5 Ga

0 Ga

30 Ga

25 Ga

20 Ga

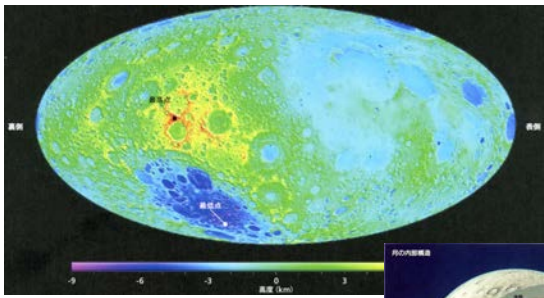
15 Ga

10 Ga

5 Ga

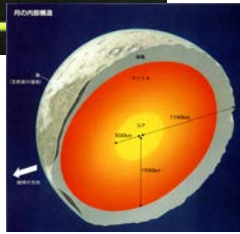
0 Ga

Timeline of Earth's history (億年前): 45.4, 40.3, 25, 5.4, 0. Key events include: 冥王代 (Eoarchean), 太古代 (Archaean), 先カンブリア時代 (Proterozoic), 中生代 (Mesozoic), 新生代 (Cenozoic). Key locations include: シアノバクテリア (Cyanobacteria), 地球の形成 (Formation of Earth), シリコン (Silicon), アカスタ片麻岩 (Acasta gneiss), テラトニクス (Terra Novus), 生命の出現 (Origin of life), マグマオーシャン (Magma ocean), 海の誕生 (Birth of the sea), 核形成 (Nucleation), 生命の最古の記録 (38 Ga) (Earliest record of life (38 Ga)), 最古のプレートテクトニクスと海洋の形成 (38 Ga) (Earliest plate tectonics and ocean formation (38 Ga)).

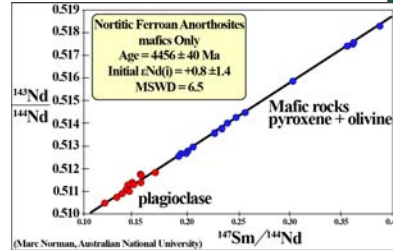
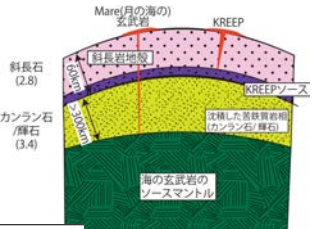


③地球と月の表層と内部構造の違い

- 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。

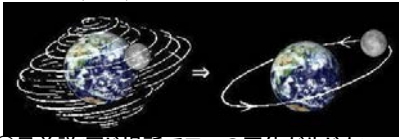


- (1)月には斜長岩地殻が存在 → マグマオーシャンの時に低密度の為、浮遊。
- (2)KREEPと呼ばれる。液相濃集元素(マグマに濃集する元素)にとむ特殊な玄武岩が存在する。
- マグマオーシャンの時の上(斜長岩)と下(鉄に富むカンラン岩)から固化し、最後に残された液に富む中間層起源

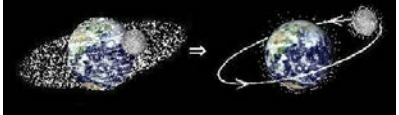


月の起源

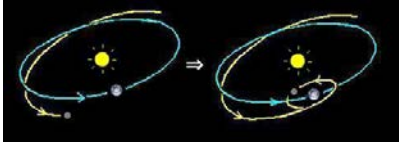
①親子説(分離)



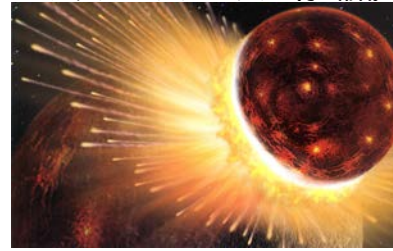
②兄弟説(同じ場所で二つの天体が生じた)



③捕獲説(地球が捕獲天体を捕獲)



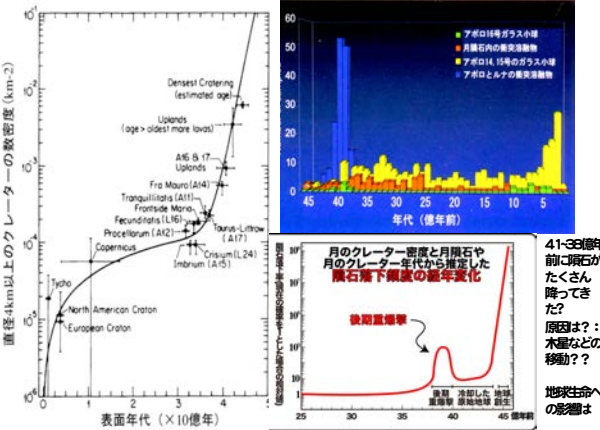
ジャイアントインパクトと月の形成



月の特徴

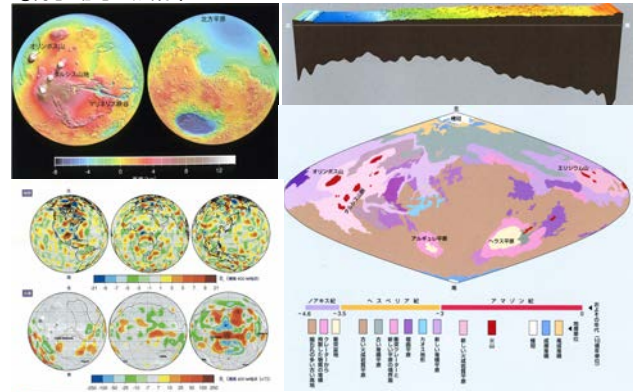
- (1)化学組成:揮発性ガスが極端に少ない。
- (2)全月組成はFeに乏しい。地球のマントルの組成に似ている。
- (3)異常に大きな衛星
- (4)全角運動量がとても大きい。

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



41-38億年前に隕石がたくさん降りてきた? 原因?: 木星などの移動? 地球生命への影響は

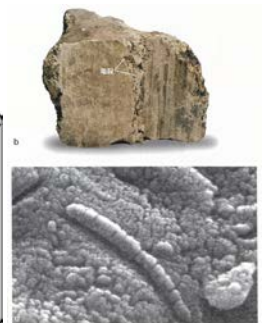
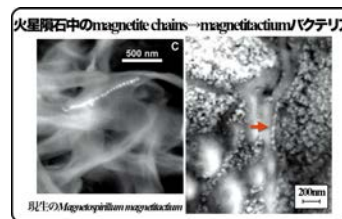
- 火星の表面構造の違い
- 火星の地殻の年代(大陸は35億年前以前)
- ①高地(大陸)が非常に多い。②高地は地殻が厚い。
- ③高地と低地の双峰分布。

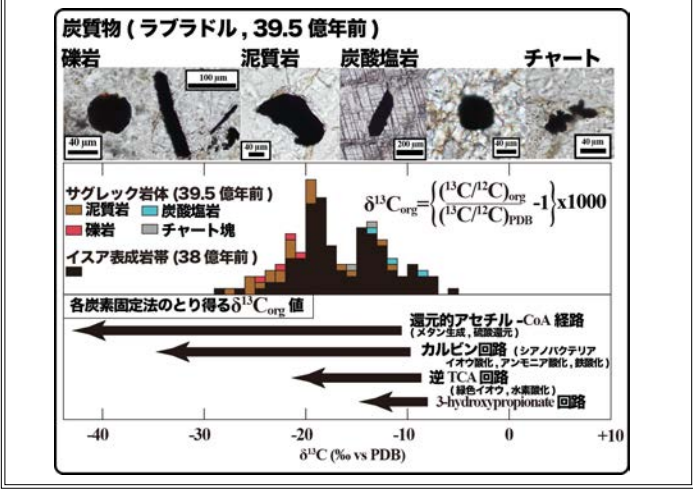
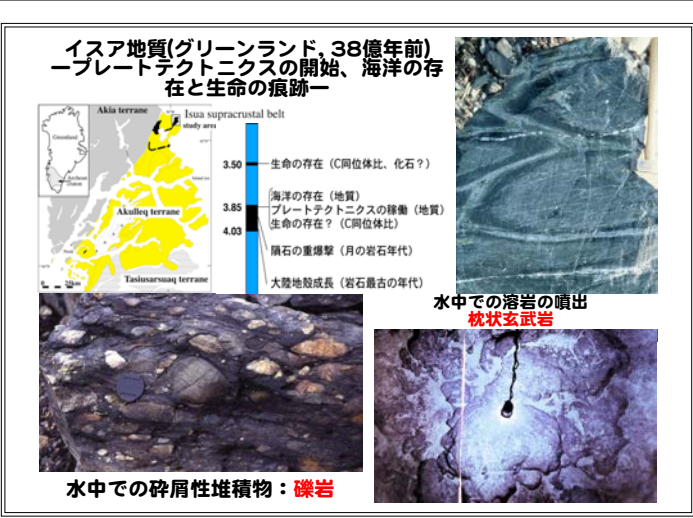
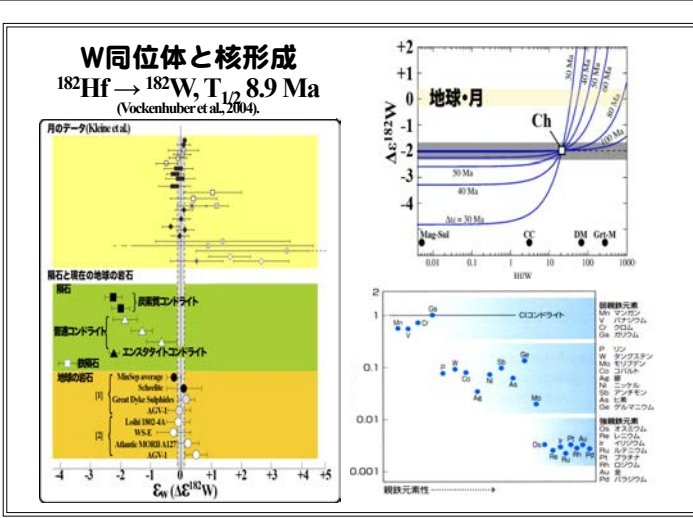
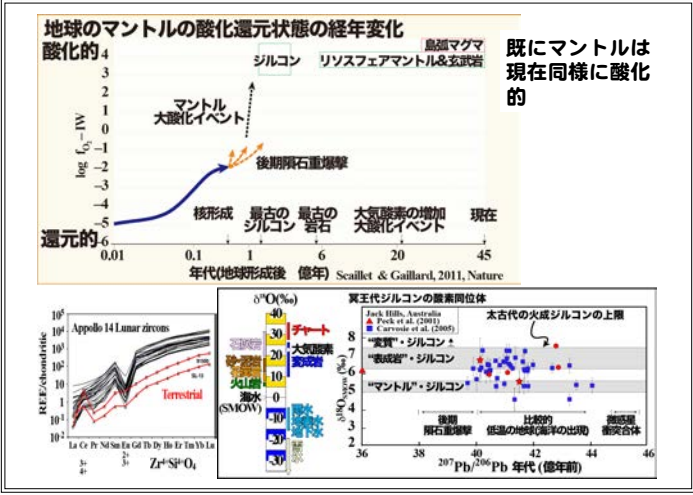
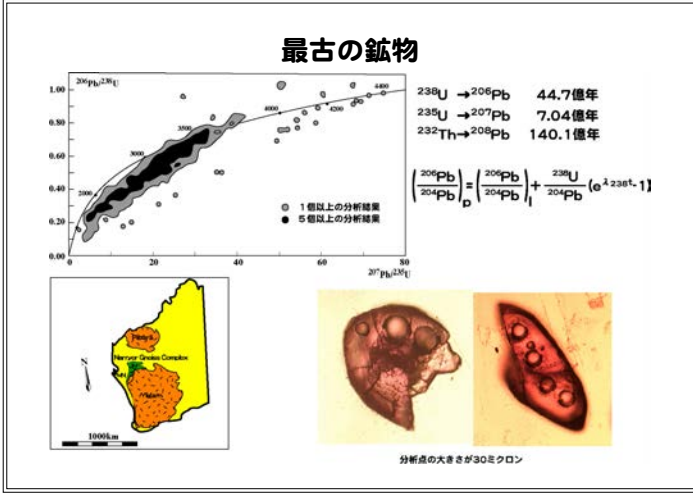
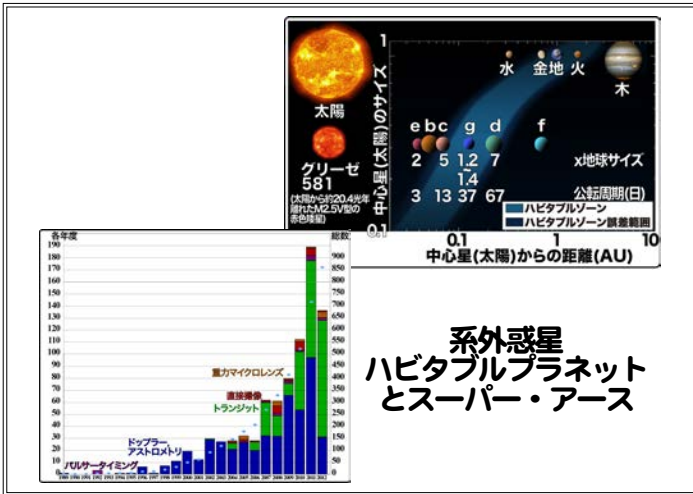


(1)火星にはかつて水があった(現在もある)証拠が多数



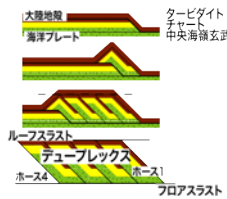
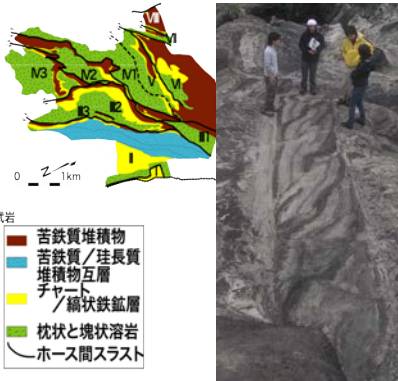
火星隕石中の微化石?





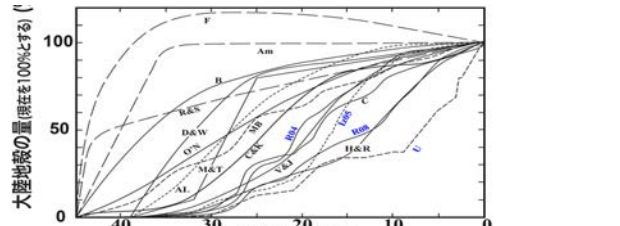
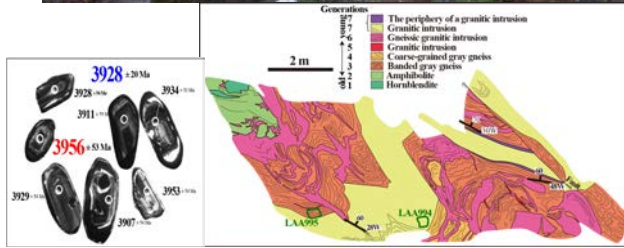
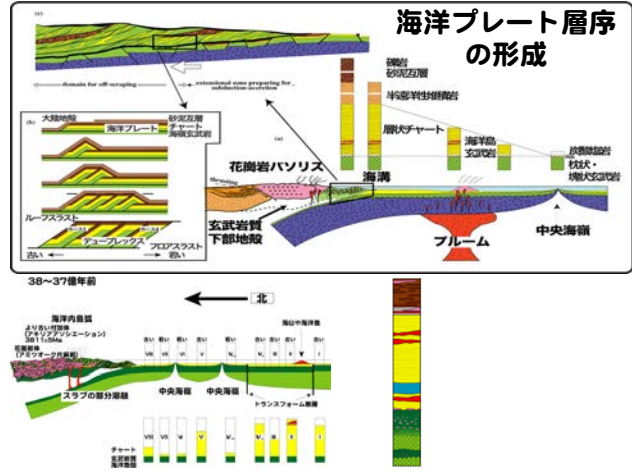
世界最古の付加体 (38億年前)

デュープレックス構造

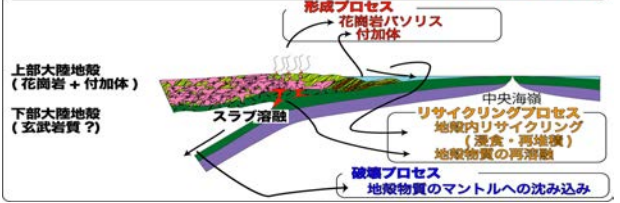


デュープレックス構造→水平方向の短縮変形による

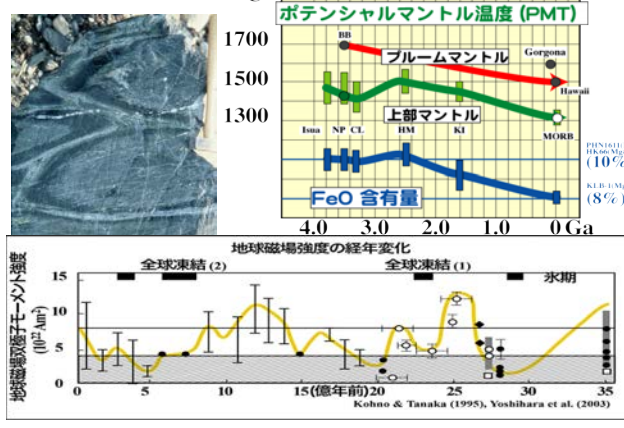
海洋プレート層序の形成



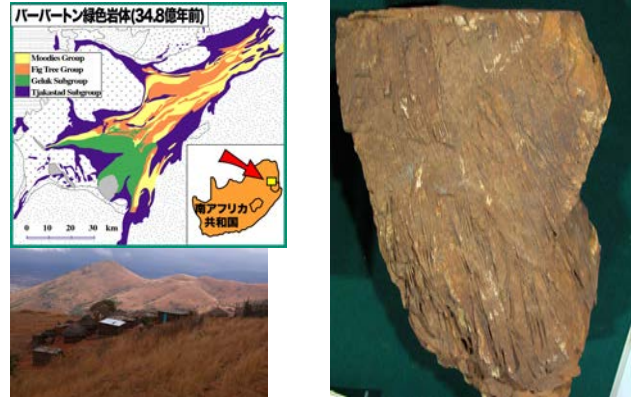
大陸地殻成長：大陸地殻の形成、破壊とリサイクリング



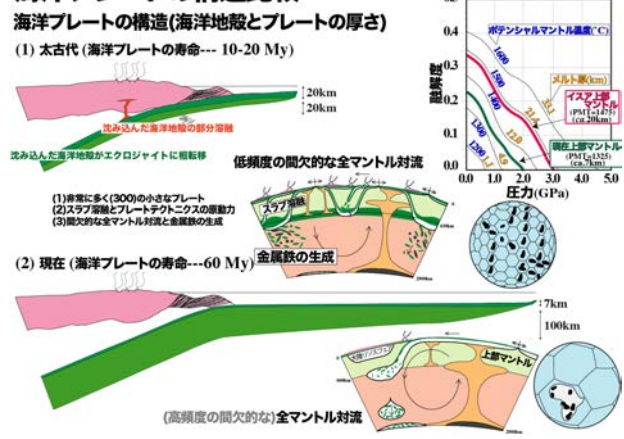
各時代の海嶺玄武岩組成からマンテル温度の推定



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)

