

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

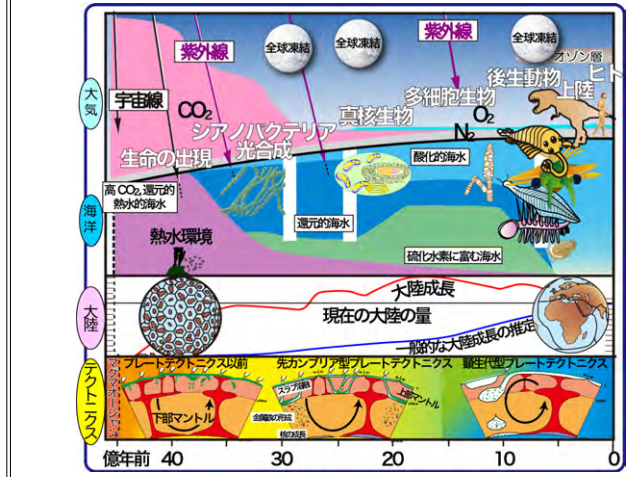
東京大学総合文化研究科：

小宮 剛 准教授

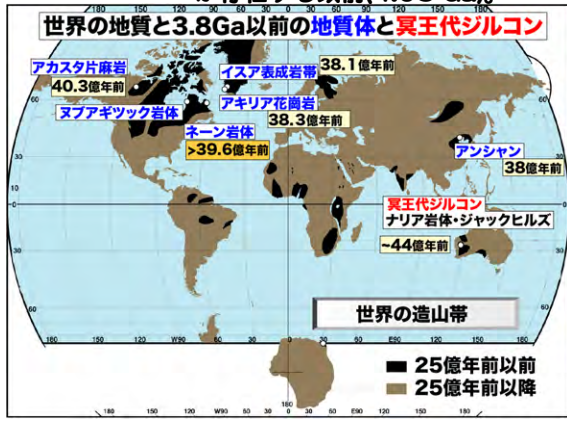
2018/11/9

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)



地質年代区分

時代	期	階	年代 (Ma)
冥王代 (Hadaean)	冥王代	冥王代	4560-4000
		冥王代	4000-3800
		冥王代	3800-3500
		冥王代	3500-3200
		冥王代	3200-2900
		冥王代	2900-2600
		冥王代	2600-2300
		冥王代	2300-2000
		冥王代	2000-1700
		冥王代	1700-1400
先カンブリア時代 (Precambrian)	先カンブリア時代	先カンブリア時代	1400-400
		先カンブリア時代	400-300
		先カンブリア時代	300-250
		先カンブリア時代	250-200
		先カンブリア時代	200-150
		先カンブリア時代	150-100
		先カンブリア時代	100-50
		先カンブリア時代	50-0
		先カンブリア時代	0-0
		先カンブリア時代	0-0
古生代 (Paleozoic)	古生代	古生代	400-250
		古生代	250-200
		古生代	200-150
		古生代	150-100
		古生代	100-50
		古生代	50-0
		古生代	0-0
		古生代	0-0
		古生代	0-0
		古生代	0-0
中生代 (Mesozoic)	中生代	中生代	250-66
		中生代	66-66
		中生代	66-66
		中生代	66-66
		中生代	66-66
		中生代	66-66
		中生代	66-66
		中生代	66-66
		中生代	66-66
		中生代	66-66
新生代 (Cenozoic)	新生代	新生代	66-0
		新生代	66-0
		新生代	66-0
		新生代	66-0
		新生代	66-0
		新生代	66-0
		新生代	66-0
		新生代	66-0
		新生代	66-0
		新生代	66-0

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

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

$$P = P_0 \exp(-\lambda t) \quad \text{増加分} \quad P_0 = P \exp(\lambda t)$$

$$D = D_0 + (P_0 - P) \lambda \quad \text{増加分}$$

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

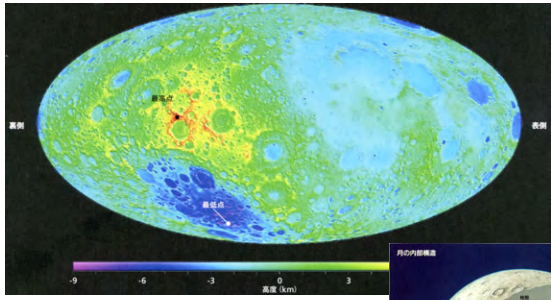
安定同位体 Ds で割る (比の方が精度良く分析できるので)。

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

切片: $\left(\frac{D}{D_0}\right)_0$
傾き: $\exp(\lambda t) - 1$

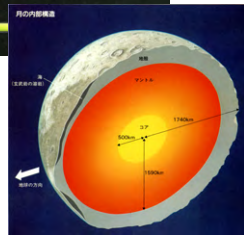
表2: 放射性核種の親核種と娘核種の比を用いる年代測定

年代	P/D ₀	D/D ₀	半減期 (Ma)
4.56	0.0000	0.0000	4.56
4.55	0.0000	0.0000	4.55
4.54	0.0000	0.0000	4.54
4.53	0.0000	0.0000	4.53
4.52	0.0000	0.0000	4.52
4.51	0.0000	0.0000	4.51
4.50	0.0000	0.0000	4.50
4.49	0.0000	0.0000	4.49
4.48	0.0000	0.0000	4.48
4.47	0.0000	0.0000	4.47
4.46	0.0000	0.0000	4.46
4.45	0.0000	0.0000	4.45
4.44	0.0000	0.0000	4.44
4.43	0.0000	0.0000	4.43
4.42	0.0000	0.0000	4.42
4.41	0.0000	0.0000	4.41
4.40	0.0000	0.0000	4.40
4.39	0.0000	0.0000	4.39
4.38	0.0000	0.0000	4.38
4.37	0.0000	0.0000	4.37
4.36	0.0000	0.0000	4.36
4.35	0.0000	0.0000	4.35
4.34	0.0000	0.0000	4.34
4.33	0.0000	0.0000	4.33
4.32	0.0000	0.0000	4.32
4.31	0.0000	0.0000	4.31
4.30	0.0000	0.0000	4.30
4.29	0.0000	0.0000	4.29
4.28	0.0000	0.0000	4.28
4.27	0.0000	0.0000	4.27
4.26	0.0000	0.0000	4.26
4.25	0.0000	0.0000	4.25
4.24	0.0000	0.0000	4.24
4.23	0.0000	0.0000	4.23
4.22	0.0000	0.0000	4.22
4.21	0.0000	0.0000	4.21
4.20	0.0000	0.0000	4.20
4.19	0.0000	0.0000	4.19
4.18	0.0000	0.0000	4.18
4.17	0.0000	0.0000	4.17
4.16	0.0000	0.0000	4.16
4.15	0.0000	0.0000	4.15
4.14	0.0000	0.0000	4.14
4.13	0.0000	0.0000	4.13
4.12	0.0000	0.0000	4.12
4.11	0.0000	0.0000	4.11
4.10	0.0000	0.0000	4.10
4.09	0.0000	0.0000	4.09
4.08	0.0000	0.0000	4.08
4.07	0.0000	0.0000	4.07
4.06	0.0000	0.0000	4.06
4.05	0.0000	0.0000	4.05
4.04	0.0000	0.0000	4.04
4.03	0.0000	0.0000	4.03
4.02	0.0000	0.0000	4.02
4.01	0.0000	0.0000	4.01
4.00	0.0000	0.0000	4.00
3.99	0.0000	0.0000	3.99
3.98	0.0000	0.0000	3.98
3.97	0.0000	0.0000	3.97
3.96	0.0000	0.0000	3.96
3.95	0.0000	0.0000	3.95
3.94	0.0000	0.0000	3.94
3.93	0.0000	0.0000	3.93
3.92	0.0000	0.0000	3.92
3.91	0.0000	0.0000	3.91
3.90	0.0000	0.0000	3.90
3.89	0.0000	0.0000	3.89
3.88	0.0000	0.0000	3.88
3.87	0.0000	0.0000	3.87
3.86	0.0000	0.0000	3.86
3.85	0.0000	0.0000	3.85
3.84	0.0000	0.0000	3.84
3.83	0.0000	0.0000	3.83
3.82	0.0000	0.0000	3.82
3.81	0.0000	0.0000	3.81
3.80	0.0000	0.0000	3.80
3.79	0.0000	0.0000	3.79
3.78	0.0000	0.0000	3.78
3.77	0.0000	0.0000	3.77
3.76	0.0000	0.0000	3.76
3.75	0.0000	0.0000	3.75
3.74	0.0000	0.0000	3.74
3.73	0.0000	0.0000	3.73
3.72	0.0000	0.0000	3.72
3.71	0.0000	0.0000	3.71
3.70	0.0000	0.0000	3.70
3.69	0.0000	0.0000	3.69
3.68	0.0000	0.0000	3.68
3.67	0.0000	0.0000	3.67
3.66	0.0000	0.0000	3.66
3.65	0.0000	0.0000	3.65
3.64	0.0000	0.0000	3.64
3.63	0.0000	0.0000	3.63
3.62	0.0000	0.0000	3.62
3.61	0.0000	0.0000	3.61
3.60	0.0000	0.0000	3.60
3.59	0.0000	0.0000	3.59
3.58	0.0000	0.0000	3.58
3.57	0.0000	0.0000	3.57
3.56	0.0000	0.0000	3.56
3.55	0.0000	0.0000	3.55
3.54	0.0000	0.0000	3.54
3.53	0.0000	0.0000	3.53
3.52	0.0000	0.0000	3.52
3.51	0.0000	0.0000	3.51
3.50	0.0000	0.0000	3.50
3.49	0.0000	0.0000	3.49
3.48	0.0000	0.0000	3.48
3.47	0.0000	0.0000	3.47
3.46	0.0000	0.0000	3.46
3.45	0.0000	0.0000	3.45
3.44	0.0000	0.0000	3.44
3.43	0.0000	0.0000	3.43
3.42	0.0000	0.0000	3.42
3.41	0.0000	0.0000	3.41
3.40	0.0000	0.0000	3.40
3.39	0.0000	0.0000	3.39
3.38	0.0000	0.0000	3.38
3.37	0.0000	0.0000	3.37
3.36	0.0000	0.0000	3.36
3.35	0.0000	0.0000	3.35
3.34	0.0000	0.0000	3.34
3.33	0.0000	0.0000	3.33
3.32	0.0000	0.0000	3.32
3.31	0.0000	0.0000	3.31
3.30	0.0000	0.0000	3.30
3.29	0.0000	0.0000	3.29
3.28	0.0000	0.0000	3.28
3.27	0.0000	0.0000	3.27
3.26	0.0000	0.0000	3.26
3.25	0.0000	0.0000	3.25
3.24	0.0000	0.0000	3.24
3.23	0.0000	0.0000	3.23
3.22	0.0000	0.0000	3.22
3.21	0.0000	0.0000	3.21
3.20	0.0000	0.0000	3.20
3.19	0.0000	0.0000	3.19
3.18	0.0000	0.0000	3.18
3.17	0.0000	0.0000	3.17
3.16	0.0000	0.0000	3.16
3.15	0.0000	0.0000	3.15
3.14	0.0000	0.0000	3.14
3.13	0.0000	0.0000	3.13
3.12	0.0000	0.0000	3.12
3.11	0.0000	0.0000	3.11
3.10	0.0000	0.0000	3.10
3.09	0.0000	0.0000	3.09
3.08	0.0000	0.0000	3.08
3.07	0.0000	0.0000	3.07
3.06	0.0000	0.0000	3.06
3.05	0.0000	0.0000	3.05
3.04	0.0000	0.0000	3.04
3.03	0.0000	0.0000	3.03
3.02	0.0000	0.0000	3.02
3.01	0.0000	0.0000	3.01
3.00	0.0000	0.0000	3.00
2.99	0.0000	0.0000	2.99
2.98	0.0000	0.0000	2.98
2.97	0.0000	0.0000	2.97
2.96	0.0000	0.0000	2.96
2.95	0.0000	0.0000	2.95
2.94	0.0000	0.0000	2.94
2.93	0.0000	0.0000	2.93
2.92	0.0000	0.0000	2.92
2.91	0.0000	0.0000	2.91
2.90	0.0000	0.0000	2.90
2.89	0.0000	0.0000	2.89
2.88	0.0000	0.0000	2.88
2.87	0.0000	0.0000	2.87
2.86	0.0000	0.0000	2.86
2.85	0.0000	0.0000	2.85
2.84	0.0000	0.0000	2.84
2.83	0.0000	0.0000	2.83
2.82	0.0000	0.0000	2.82
2.81	0.0000	0.0000	2.81
2.80	0.0000	0.0000	2.80
2.79	0.0000	0.0000	2.79
2.78	0.0000	0.0000	2.78
2.77	0.0000	0.0000	2.77
2.76	0.0000	0.0000	2.76
2.75	0.0000	0.0000	2.75
2.74	0.0000	0.0000	2.74
2.73	0.0000	0.0000	2.73
2.72	0.0000	0.0000	2.72
2.71	0.0000	0.0000	2.71
2.70	0.0000	0.0000	2.70
2.69	0.0000	0.0000	2.

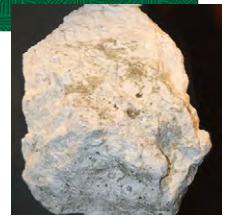
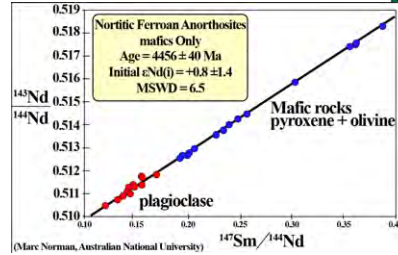
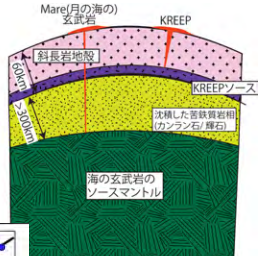


③地球と月の表層と内部構造の違い

- 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.

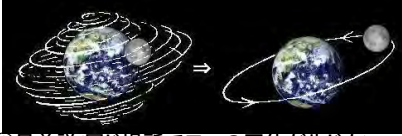


(1)月には斜長岩地殻が存在
→マグマオーシャンの時に低密度の為、浮遊。
(2)KREEPと呼ばれる。液相濃集元素(マグマに濃集する元素)にむ特殊な玄武岩が存在する。
→マグマオーシャンの時の上(斜長岩)と下(鉄に富むカンラン岩)から固化し、最後に残された液に富む中間層起源

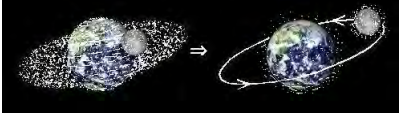


月の起源

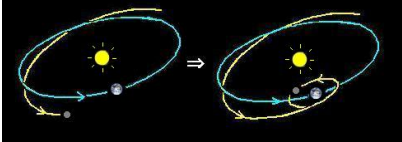
①親子説(分離)



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)



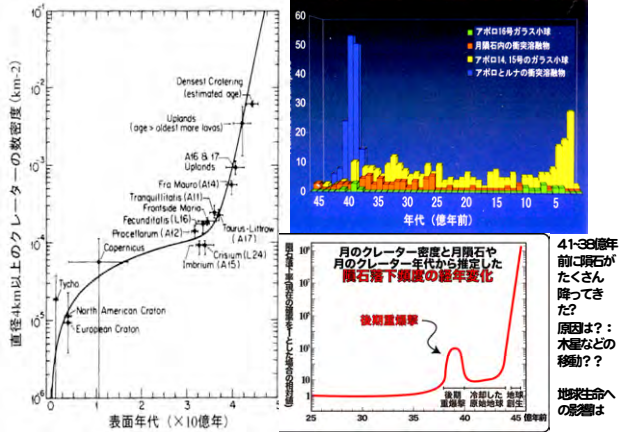
ジャイアントインパクトと月の形成



月の特徴

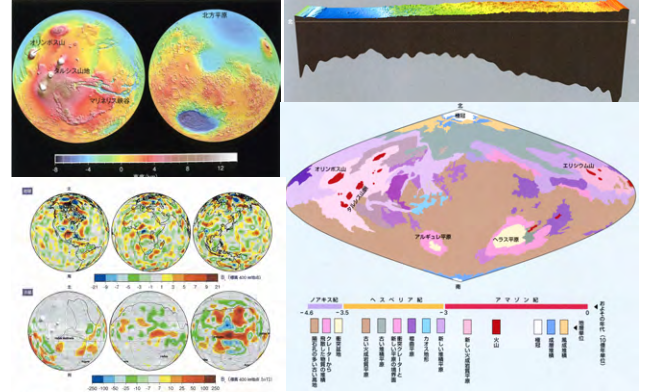
- (1)化学組成:揮発性ガスが極端に少ない.
- (2)全月組成はFeに乏しい,地球のマントルの組成に似ている.
- (3)異常に大きな衛星
- (4)全角運動量がとても大きい.

月のクレーターとクレーター年代学と後期重撃イベント

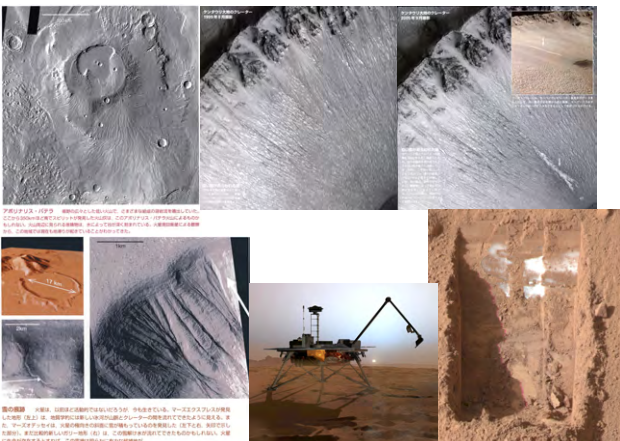


41-38億年前に隕石が大量に降りてきた? 原因は? : 木星などの移動?? 地球生命への影響は?

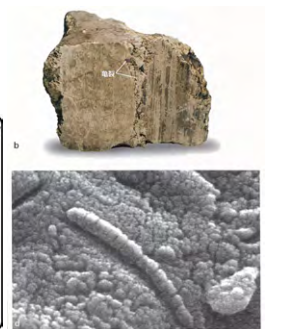
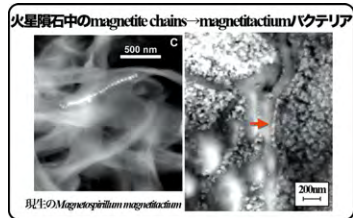
火星の表面構造の違い
火星の地殻の年代(大陸は35億年前以前)
①高地(大陸)が非常に多い, ②高地は地殻が厚い,
③高地と低地の双峰分布.



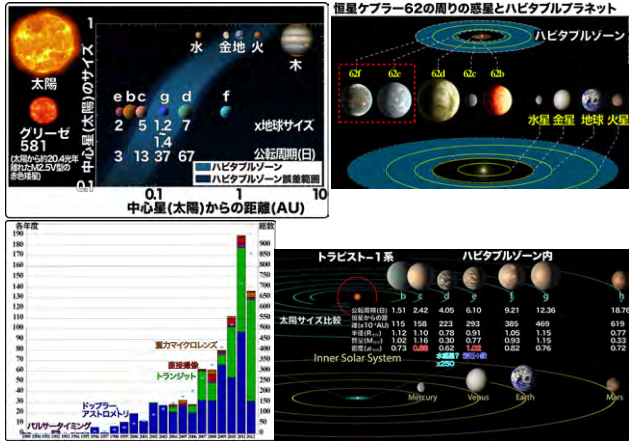
(1)火星にはかつて水があった(現在もある)証拠が多数



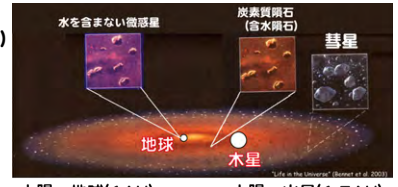
火星隕石中の微化石?



系外惑星ハビタブルプラネットとスーパー・アース



水 (海) の起源 二次大気モデル(衝突脱ガス)

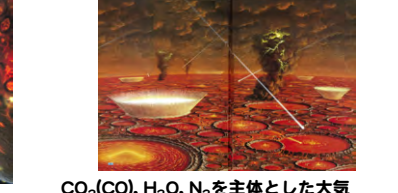


太陽-地球(1AU) 太陽-火星(1.5AU)
太陽-含水隕石(>2AU) 太陽-木星(5AU)

微惑星の衝突による成長 (0.4地球半径で大気の形成)

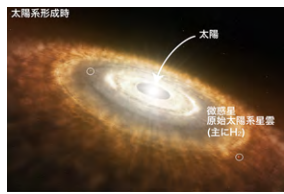


衝突した微惑星から大気成分が揮発性物質 (大気成分)が放出され、大気・海洋が形成



CO₂(CO), H₂O, N₂を主体とした大気

地球型惑星大気の形成過程 一次大気モデル

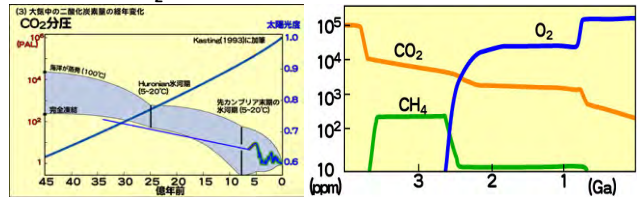


CH₄, H₂, NH₃を主体とした大気(ガス惑星)

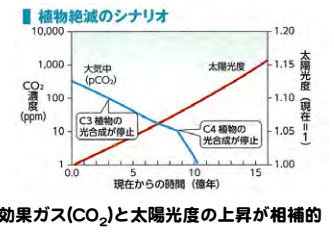


太陽系星雲ガス(H₂)とマグマオーシャン(O)が反応してH₂Oを生じる。
H₂+O_(rock)=H₂O

惑星の大気—CO₂の減少と気温—



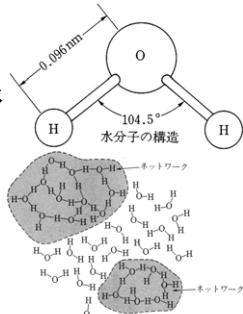
成分	濃度 (bars)	存在比 (%)
金星 (Venus)	CO ₂ 86.4	96
	N ₂ 3.2	3.5
	H ₂ O 0.009	1×10 ⁻²
	Ar 0.0063	7×10 ⁻³
地球 (Earth)	N ₂ 78	77
	O ₂ 21	21
	H ₂ O 0.01	1
	Ar 0.0094	0.93
	CO ₂ 3.55×10 ⁻⁴	3.5×10 ⁻⁴
火星 (Mars)	CO ₂ 0.0062	95
	N ₂ 0.00018	2.7
	Ar 0.00010	1.6
	H ₂ O 3.9×10 ⁻⁷	6×10 ⁻³
	CO, O ₂ , CH ₄	<1



なぜ水

(1)水分子の構造

→極端な電荷の偏り→水素結合, 結合水



①水素結合

→軽分子なのに常温で液体で存在: 著しく高い沸点(c.f.H₂S: -60.7°C)
→比熱が大きく、大きな潜熱
外界の温度が変わっても細胞内は急激に変化しない

②結合水の形成

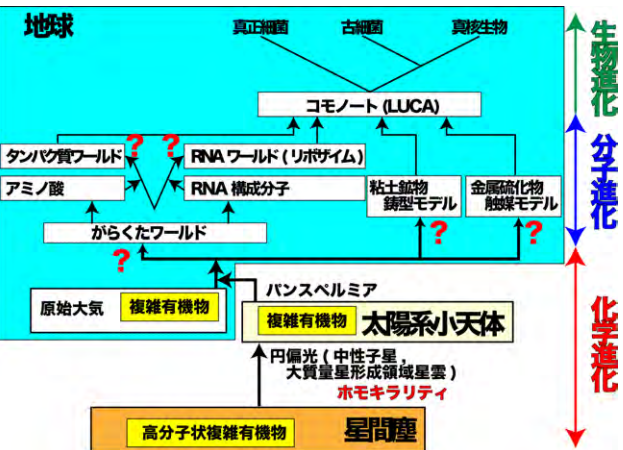
→水分子は帯電しているの、溶質と静電的に結合し易い
→融点が高い

(2)いろいろなものを溶かす→物質を拡散で移動させる媒体に。

(3)粘性があまり高くない: ものを運ぶのに好都合

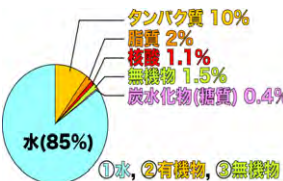
(4)生命の高温限界: 約120°C(疎水性相互作用がなくなる)

(5)解離し、水素イオンを生成: pHの変化と膜内外で電位を生む

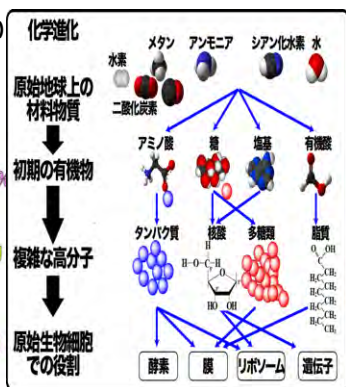


生物の組成を作る組成

- ①水 ②タンパク質(アミノ酸)
- ③脂質(細胞膜) ④核酸(DNA, RNA)
- ⑤炭水化物(糖質, DNA, RNA, エネルギー) ⑥無機物

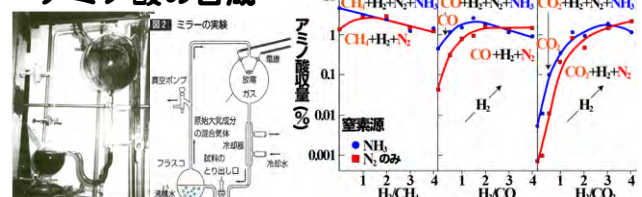


生命の起源—化学進化—

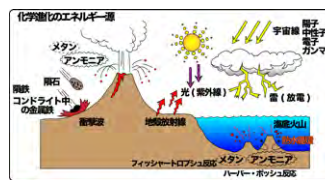


無機物質→生命へ

アミノ酸の合成



- ①水素を含む様な還元的な条件下でアミノ酸が形成される
- ②生成物を系から除く機構→非平衡(平衡だと逆反応)



生命の起源物質の合成は可能？問題点は

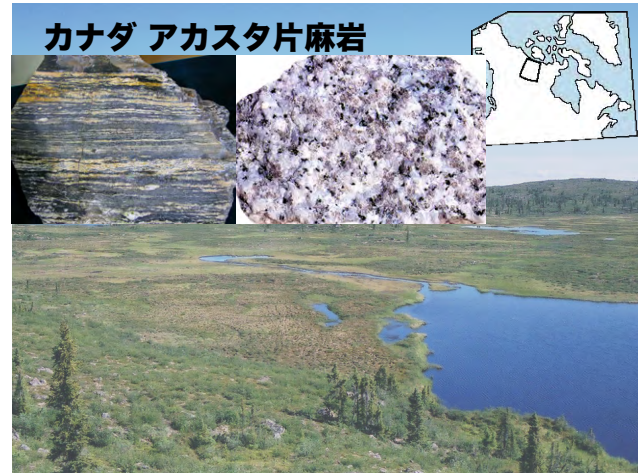
- ①初期大気の問題
- ②加水分解の問題
- ③高度の実験
- ④最適なpHなどの条件
- ⑤阻害分子の除去
- ⑥ワンポット合成とステップワイズ合成
- ⑦正しい結合を必要とする。異性体が多く生じる。
- ⑧光学異性体

生命原材料物質は宇宙起源？ーパンスペルミアー

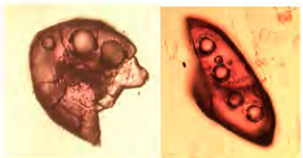
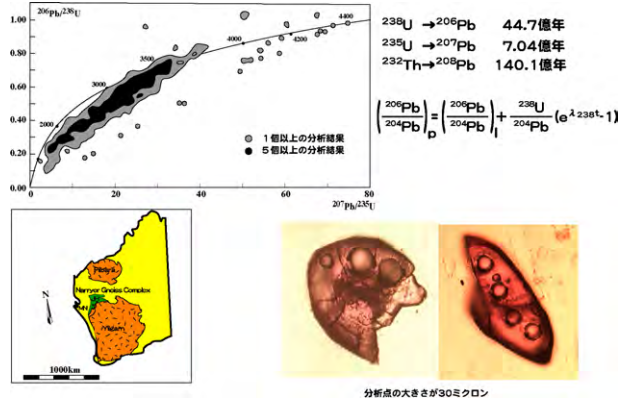


マーチソン隕石

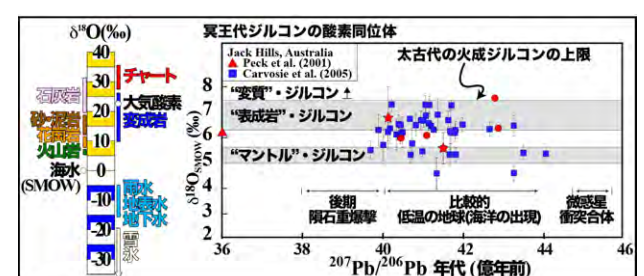
アミノ酸	マーチソン隕石	放電
グリシン	○	○
アラニン	○	○
α-アミノ-n-酪氨酸	○	○
α-アミノ酪氨酸	○	○
バリン	○	○
フルバリン	○	○
イソバリン	○	○
プロリン	○	○
ピペコリン酸	○	×
アスパラギン酸	○	○
グルタミン酸	○	○
β-アラニン	○	○
β-アミノ-n-酪氨酸	○	○
β-アミノ酪氨酸	○	○
γ-アミノ酪氨酸	○	○
サルコシン	○	○
N-エチルグリシン	○	○
N-メチルアラニン	○	○



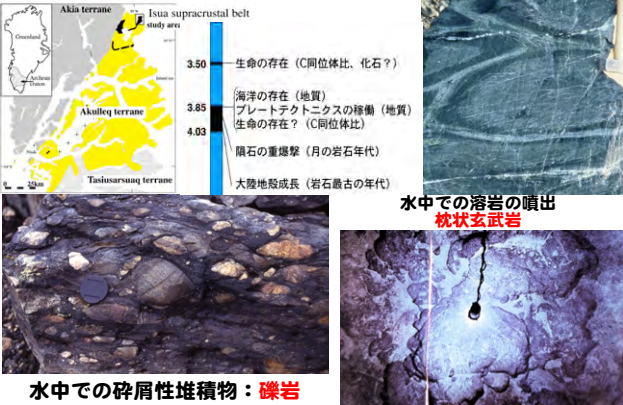
最古の鉱物



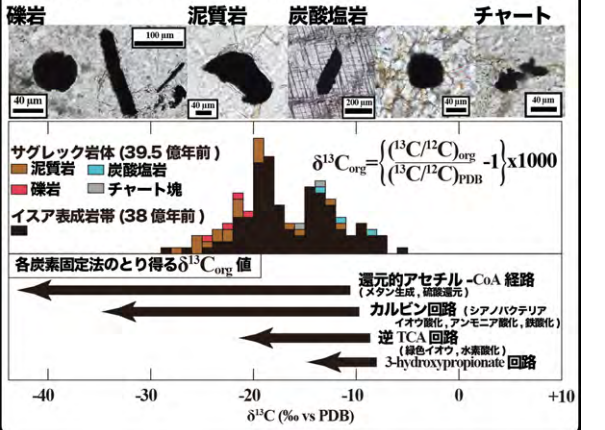
分析点の大きさが30ミクロン



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



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)

