

炭素と同位体について

同位体：¹²C(98.89%), ¹³C(1.11%), (¹⁴C放射性同位体)

$$\delta^{13}C = \left\{ \frac{\left(\frac{^{13}C}{^{12}C} \right)_{\text{sample}}}{\left(\frac{^{13}C}{^{12}C} \right)_{\text{PDB}}} - 1 \right\} \times 1000 (\text{‰})$$

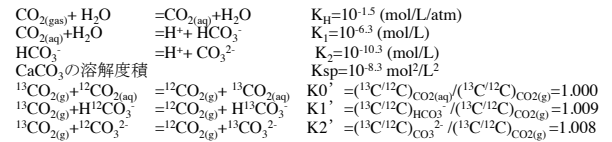
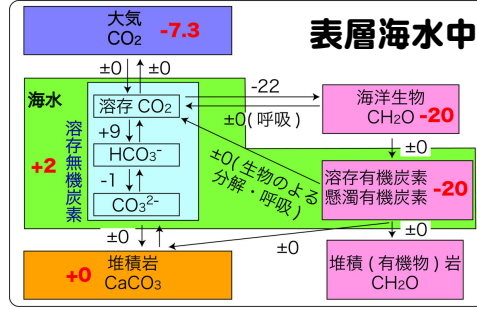
PDBとは

Pee Dee Belemnite

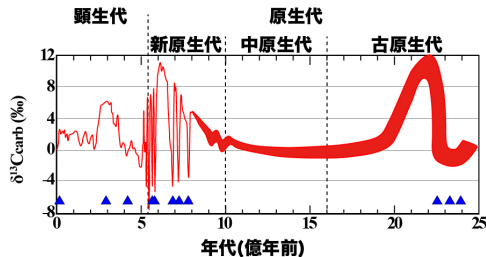
米国、サウスカロライナ州の白亜紀のPee Dee層に存在するBelemnite方解石CaCO₃からなる。



表層海水中の炭素



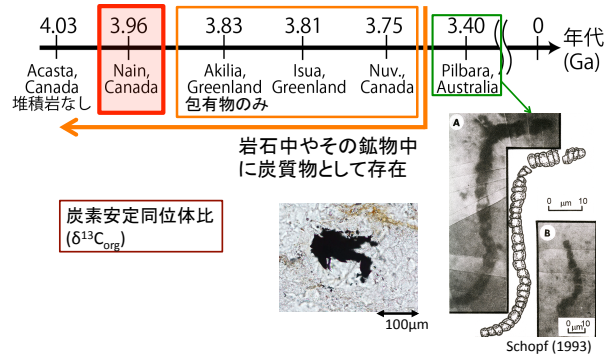
海水(炭酸塩)の炭素同位体比の歴史



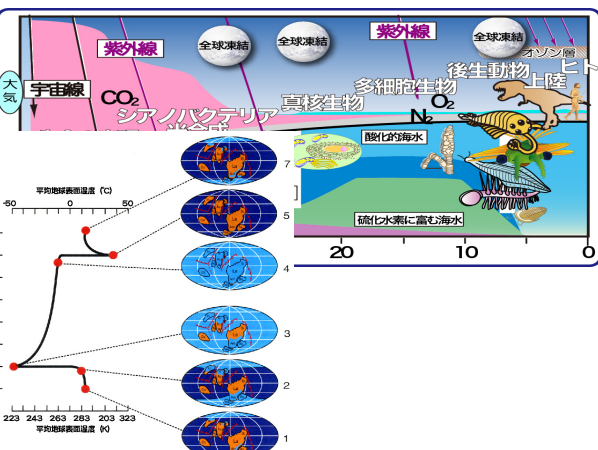
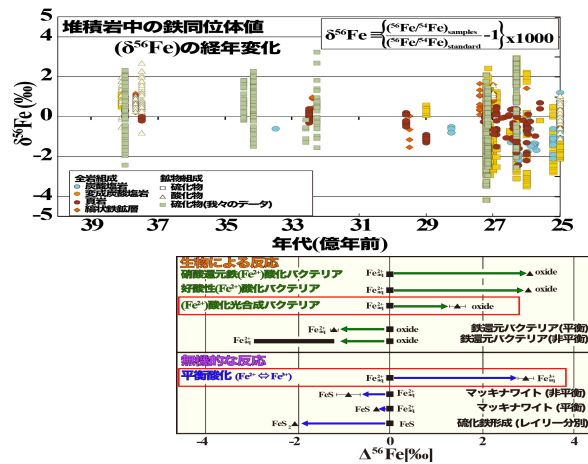
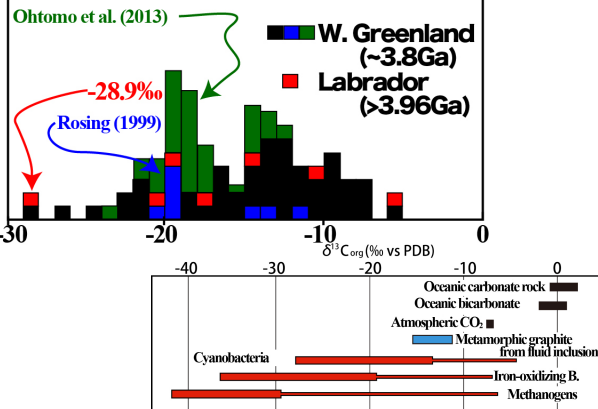
氷河期または全球凍結

- ①2500Maの正変動: 負の同位体比をもった生命起源の炭質物が埋没された。
→O₂と反応せずに埋没することになるので、大気中のO₂の増加を引き起こす。
- ②原生代末の炭素同位体に負異常。
→全球凍結の直後: メタンハイドレートの分解や火山ガスの蓄積による。
- ③原生代頃の炭素同位体の正への変動→生命活動による???
- ③原生代-顕生代境界(540Ma)の負異常: 生命の絶滅による?

初期生命体の痕跡



The oldest evidence for life



氷河性堆積物(寒冷)と炭酸塩岩(温暖)が伴う

スノーボールアース (Snowball Earth、全球凍結、全地球凍結) とは、地球全体が赤道付近も含め完全に氷床に覆われた状態をいう。

氷河期: 地球の気候が長期に渡って寒冷化する期間で、極地の氷床や山地の氷河群が拡大する時代である。

- (1) 南半球と北半球に氷床がある時期。現在も氷河期。
- (2) 氷河期の中の寒い時期を氷期、暖かい時期に間氷期という。最後の氷期は1万年前に終了した。

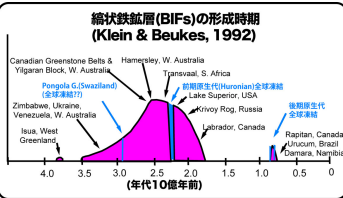
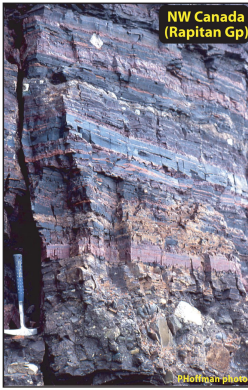
氷河性堆積物



Cap carbonate

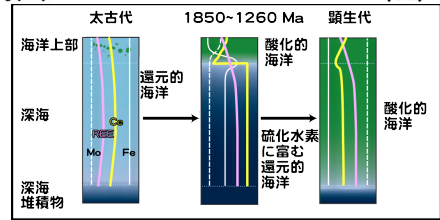
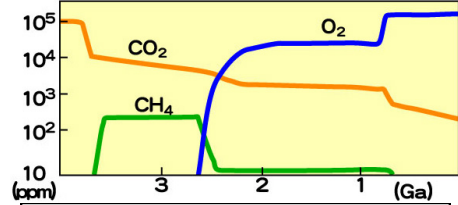


全球凍結により海洋循環が停止:縞状鉄鉱層の堆積



還元な(Fe²⁺に富む)海水が間欠的に表層近くの酸化的な水と反応するとFe³⁺になり、**Fe(OH)₃やFeO(OH)で沈殿**

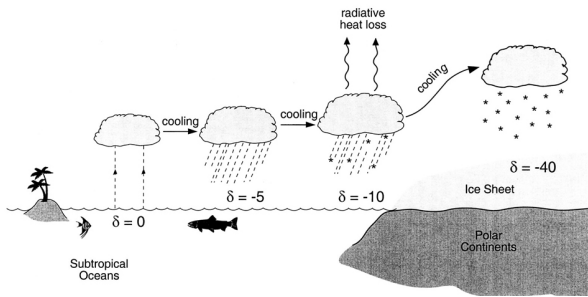
大気・海洋の酸素濃度の上昇



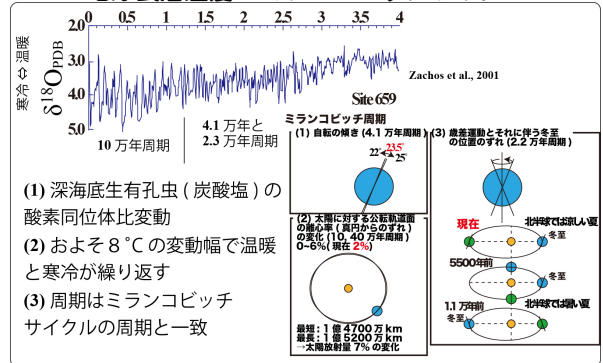
酸素同位体

(1) 軽い同位体ほど蒸発などのときに、気体に濃集する。

$$\delta^{18}\text{O} = \left\{ \frac{\left(\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}} \right)_{\text{sample}}}{\left(\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}} \right)_{\text{SMOW or PDB}}} - 1 \right\} \times 1000 (\text{‰})$$

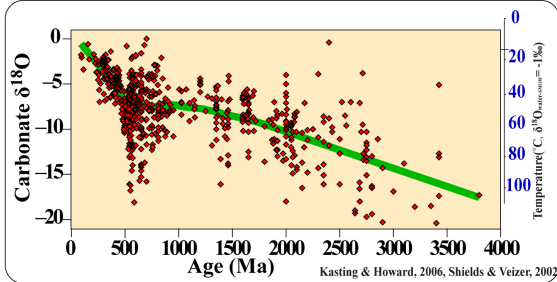


地球表層温度とミランコビッチサイクル



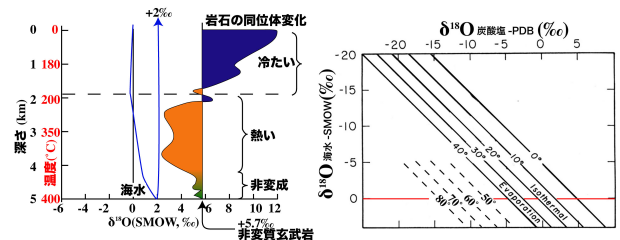
地球全体の太陽定数は変化しないので、なぜ北半球の寒冷時が地球全体の寒冷期になるのかは不明

Carbonateの酸素同位体と温度



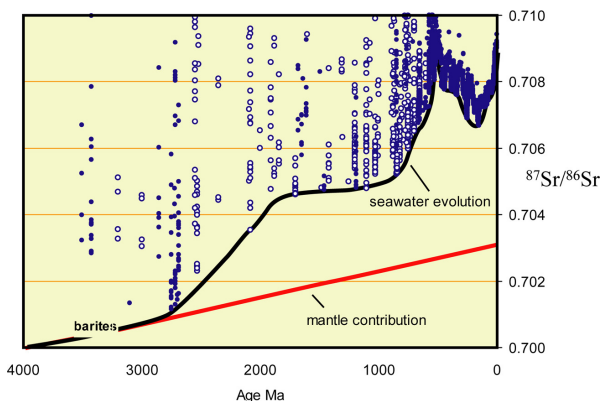
- (0) 昔は海水温が高かった?
- (1) 海水の酸素同位体の経年変化? (Veizer et al., 1999; Wallmann, 2001) → 海洋地殻の酸素同位体 (Muehlenbachs 1998 など)
- (2) 炭酸塩の二次的な酸素同位体移動

海水の酸素同位体比の経年変化?

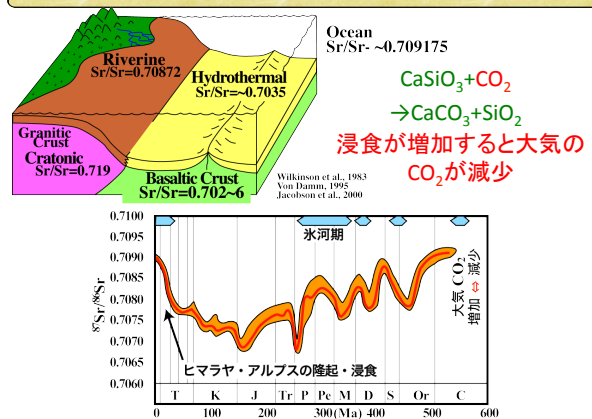


熱水場から現在よりも低い同位体比を持つ大量の熱水が噴出、海水の同位体比をより低く。
 ← マントルの温度が高いため、熱い玄武岩地殻が中央海嶺で形成されたから

海水のSr同位体進化



海水のSr同位体進化



Sr同位体進化

表 5.1 Sr-Nd 同位体進化のモデル計算

	Rb	Sr	Sm	Nd
始期的マントル (ppm)	0.635	21.1	0.44	1.4
同位体初生比	0.68989	0.70626	0.50660	
地殻系列同位体の存在度 (%)	27.835	9.86	15.0	23.8
増大定数 (y ⁻¹)	1.42 × 10 ⁻¹⁰		6.54 × 10 ⁻¹¹	
全岩分取係数	0.009	0.033	0.02	0.014
同位体比 (始期的マントル)	0.70473	0.71023	0.51361	
同位体比 (現在マントル)	0.70384	0.70626	0.51323	
同位体比 (地殻)	0.70607	0.71023	0.51137	

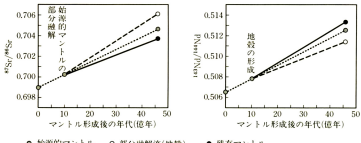
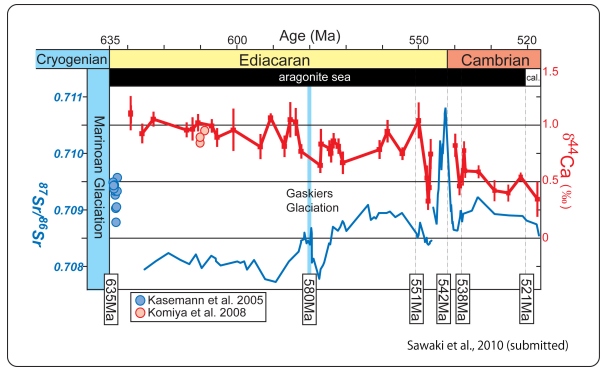
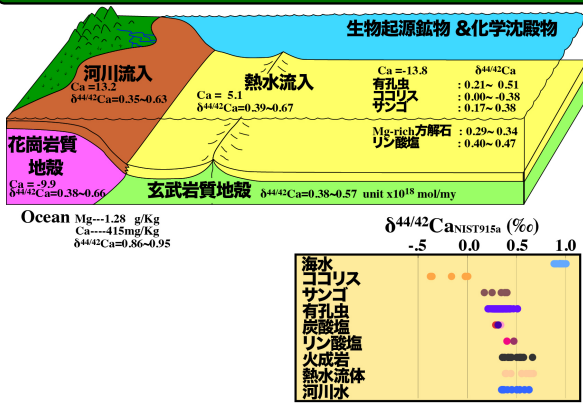


図 5.2 分別集合融解過程で分化が進行したときの Sr および Nd 同位体比の変化

CaとSr同位体の経年変化

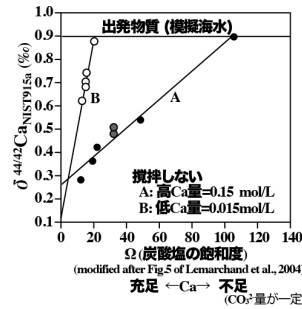


Ca同位体と分別プロセス



Ca同位体と分別プロセス

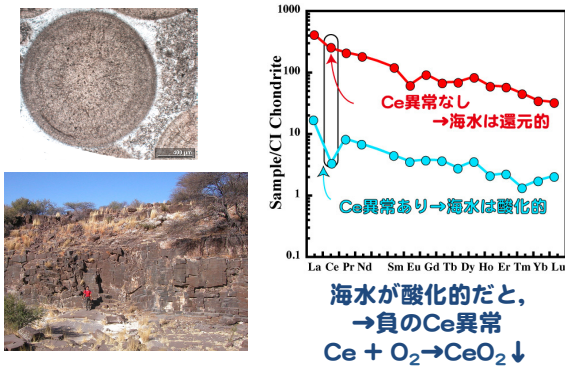
(3) 平衡分別 + CO₃²⁻ or (Ca²⁺) の拡散 (Lemarchand et al., 2004)



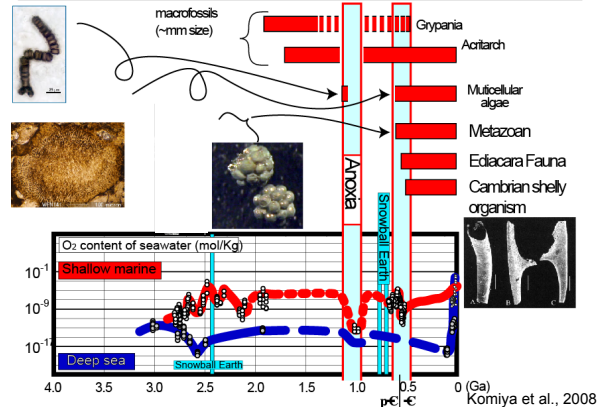
- (1) 高Ca量 (low [Ca]/[CO₃²⁻]) → 大きな分別
- (2) 高飽和度 or 低Ca量 (low [Ca]/[CO₃²⁻]) → 小さな分別

- 海水酸素濃度の経年変化 -

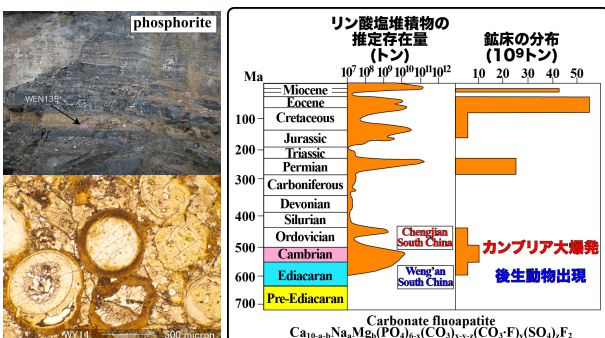
炭酸塩の組成に基づく古海水組成の復元



Redox condition of seawater through time and Emergence of multicellular and large organisms

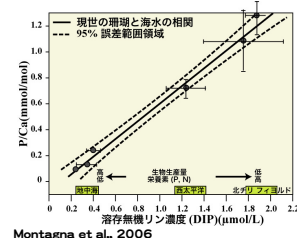


エディアカラ紀の動物進化と海水リン濃度の関連



炭酸塩岩中へのリンの存在形態

- リン酸塩鉱物 (アパタイト)
- Fe, Mn 酸化物の沈殿、炭酸塩の沈殿の際の吸着
- 炭酸塩鉱物中に固溶 (CO₃²⁻ = HPO₄²⁻)



海水中のリンとの相関関係
↓
炭酸塩-海水間でリンの分配が成り立っている

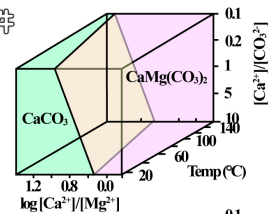
(12) 続成作用(ドロマイト化作用)

- ①炭酸塩晶出の原則: 飽和していても、晶出しやすい炭酸塩には順序がある
方解石>アラゴナイト>ドロマイト
→ドロマイトが晶出するには、ドロマイトに飽和、方解石・アラゴナイトに不飽和の条件が必要

(12) 続成作用(ドロマイト化作用)

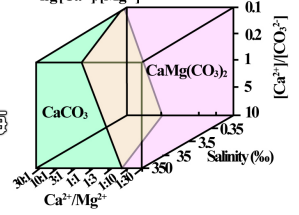
ドロマイト形成の一般的条件

- ①Mgの供給
- ②高濃度のCO₂
- ③高温水溶液
- ④高塩濃度
- ⑤低硫酸(SO₄²⁻)

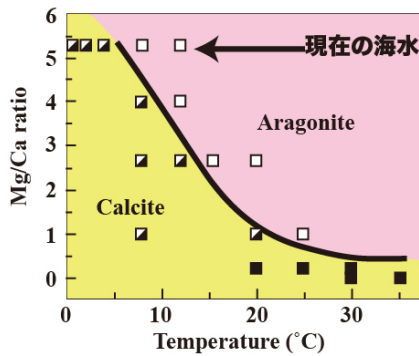


現在のドロストーン

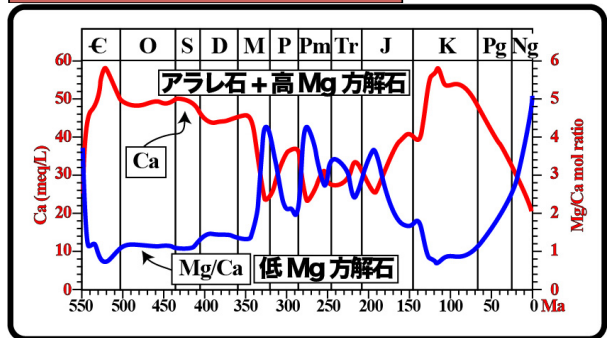
- ①高塩分濃度湖や乾燥帯 (Sabhka)
- ②非常に有機物に富む深海堆積物
- ③沖縄などのラグーン



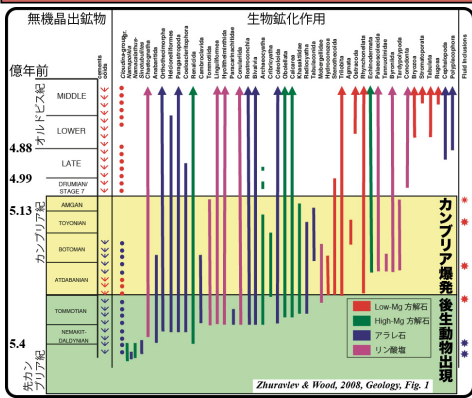
生物鉱化作用の進化と海水組成



Cal/arg seaと海水組成

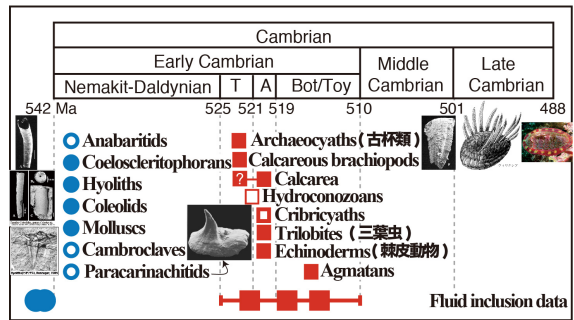


生物鉱化作用の進化と海水組成



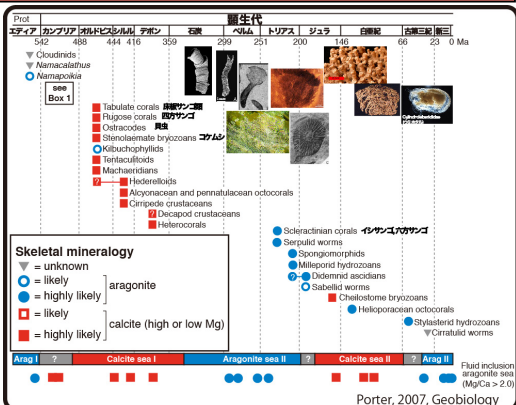
生物鉱化作用の進化と海水組成

Cambrianの生物出現と biomineralogy



Porter, 2007, Geobiology

生物鉱化作用の進化と海水組成



Porter, 2007, Geobiology

