

気候変動の要因：炭素（二酸化炭素）の循環

地球の気候システム

決定要因：

1. 地球軌道上での太陽放射量（年間日射量）
2. 地球の反射率（惑星アルベド）
3. 大気の温室効果（温室効果ガスの量：CO₂ 量）

[現在]

1. 太陽放射量：1370 W/m²
2. 惑星アルベド：0.3

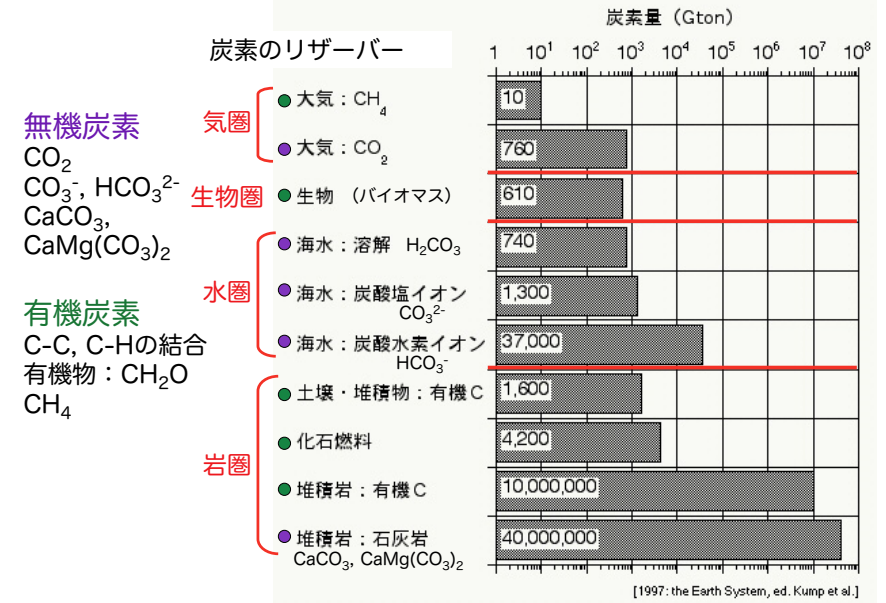
地球の吸収するエネルギー（太陽放射の70%）と
地球の放射するエネルギー（地球放射）の均衡

・・・有効放射温度（Te）= -18℃

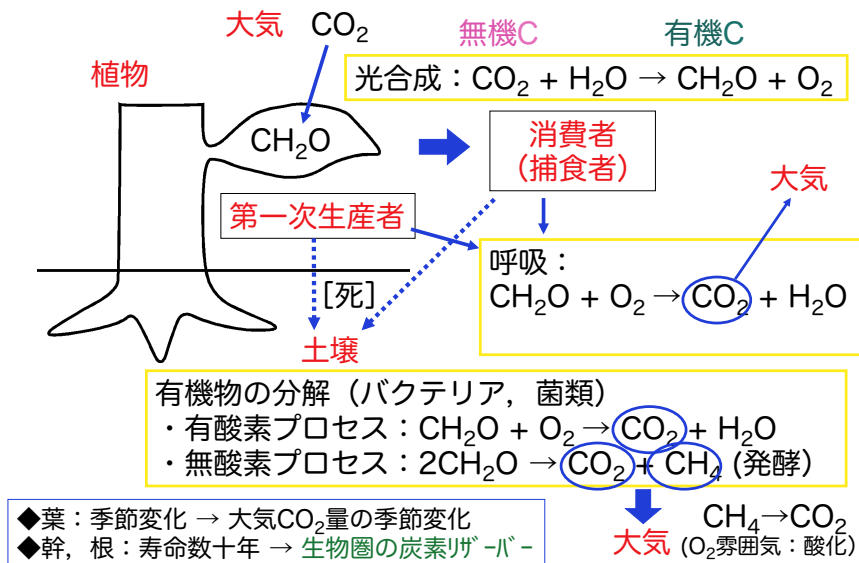
3. 温室効果：CO₂ ・・・0.03%（温室効果 = +33℃）

→ 平均地表気温 15℃、水が液体として存在

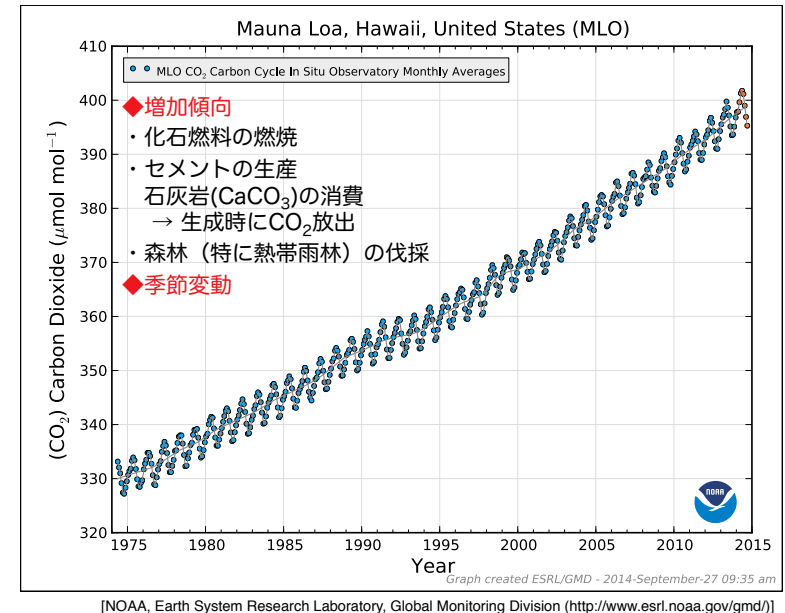
気候変動の要因：炭素（二酸化炭素）の循環



有機炭素の循環：陸上



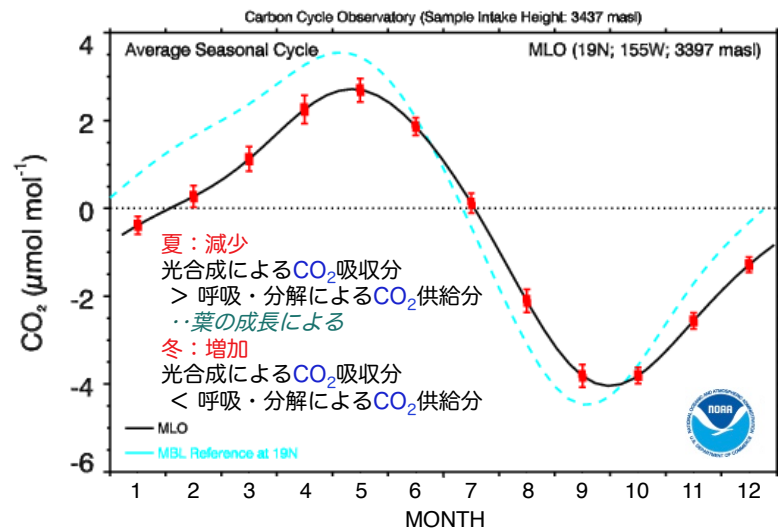
大気中のCO₂量の変化：ハワイ，マウナロア山



大気中のCO₂量の季節変動 [全体の傾向を差し引き、月毎に平均]

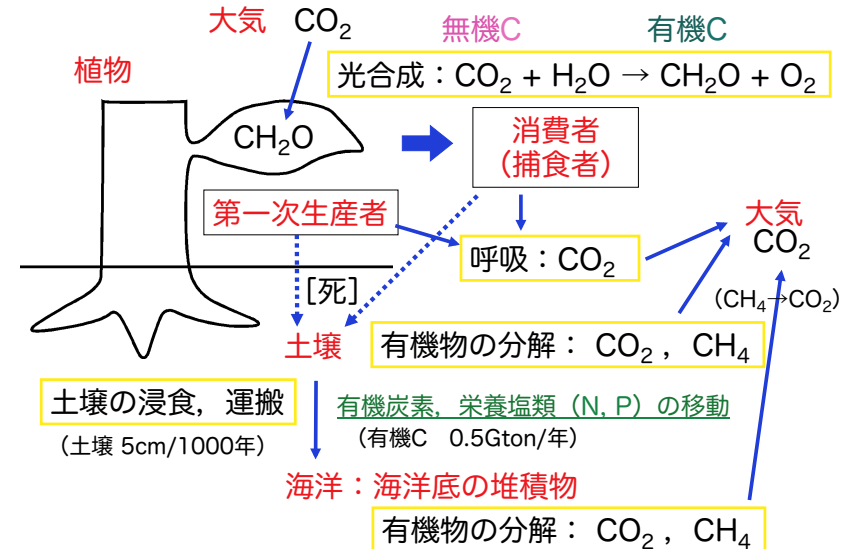
ハワイ、マウナロア山

Mauna Loa, Hawaii, United States

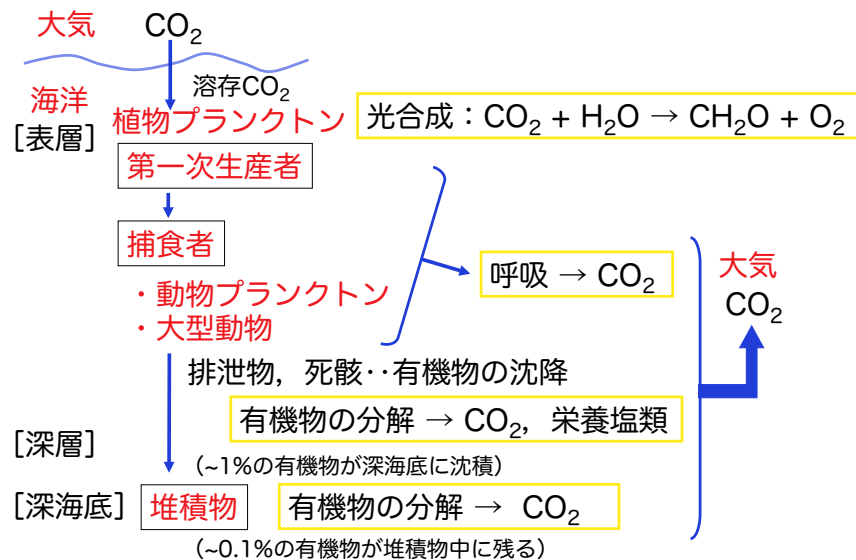


[NOAA, Earth System Research Laboratory, Global Monitoring Division (<http://www.esrl.noaa.gov/gmd/>)]

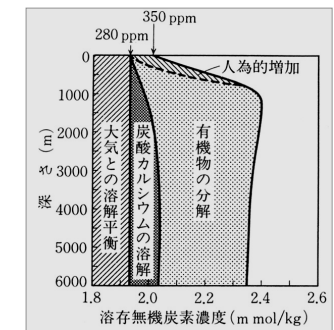
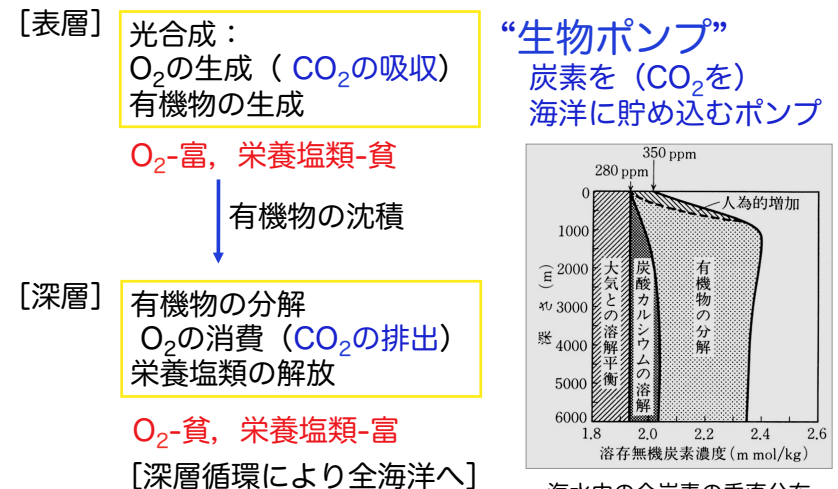
有機炭素の循環：陸上



有機炭素の循環：海洋



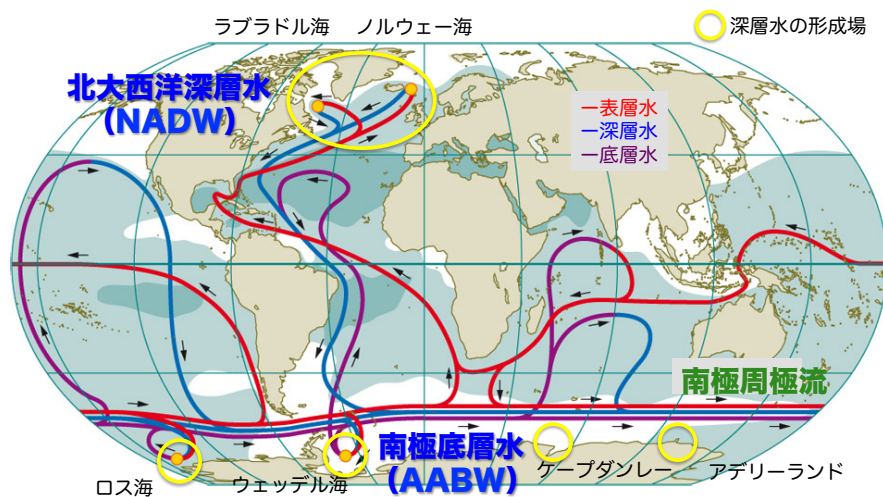
海洋での有機炭素の循環における生物作用



海水中的全炭素の垂直分布
(野崎, 1994; 岩波講座地球惑星科学3, 1996)

海洋深層循環 (熱塩循環)

表層水：冷却と海氷形成（塩分濃度増）により高密度化
→ 沈降して、深層水となり全海洋に。約2000年の循環

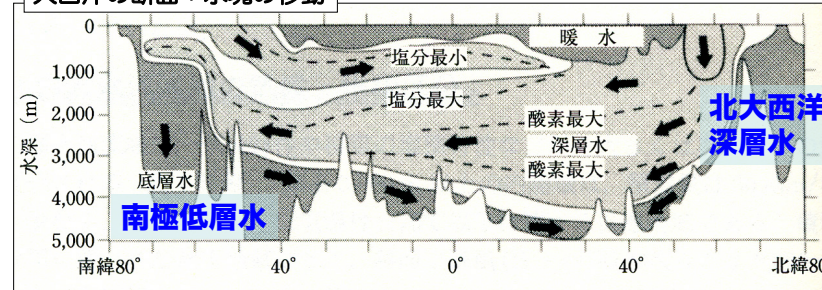


[<http://worldoceanreview.com/en/wor-1/climate-system/great-ocean-currents/>]

表層水：冷却，海氷の形成により高密度化 → 沈降・深層水

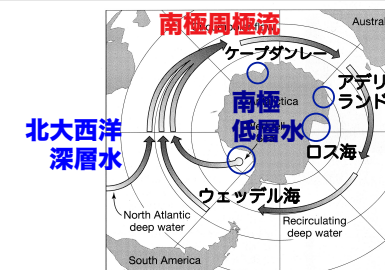
大西洋の断面：水塊の移動

(国立極地研究所「南極・北極の百科事典」, 2004)



南極底層水・北大西洋深層水

「冷たく、重い水塊」
南極周極流から、
インド洋、太平洋に流れ込む
→ 全海洋を巡る循環
「冷たさを輸送」

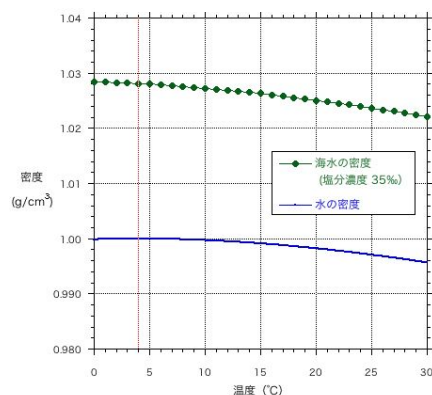


(Kump et al, the Earth System, 2000)

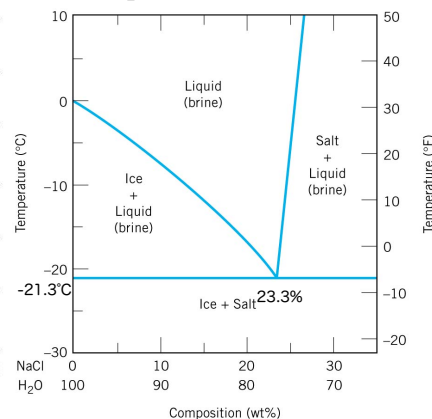
海洋の表層水の冷却 ⇒ 表層水の高密度化 ⇒ 深層水

- ・冷却による高密度化
- ・海水の形成による塩分濃度の上昇

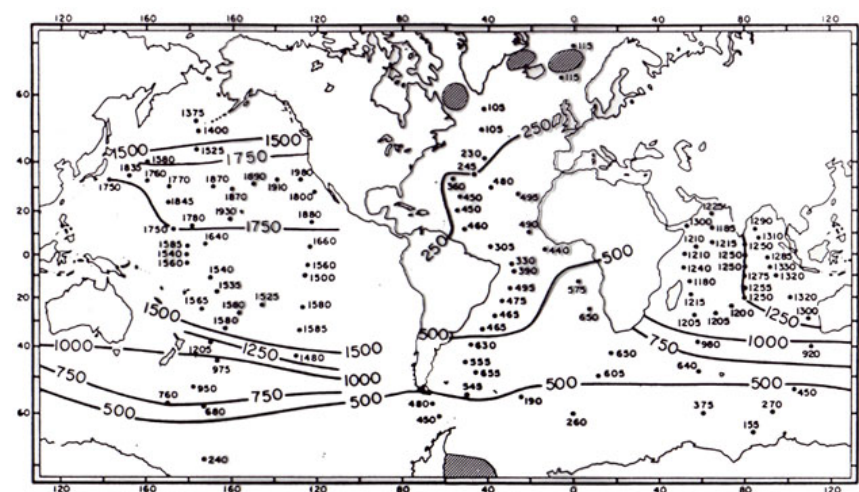
水-塩水の温度による密度変化



H₂O-NaCl系の相平衡図



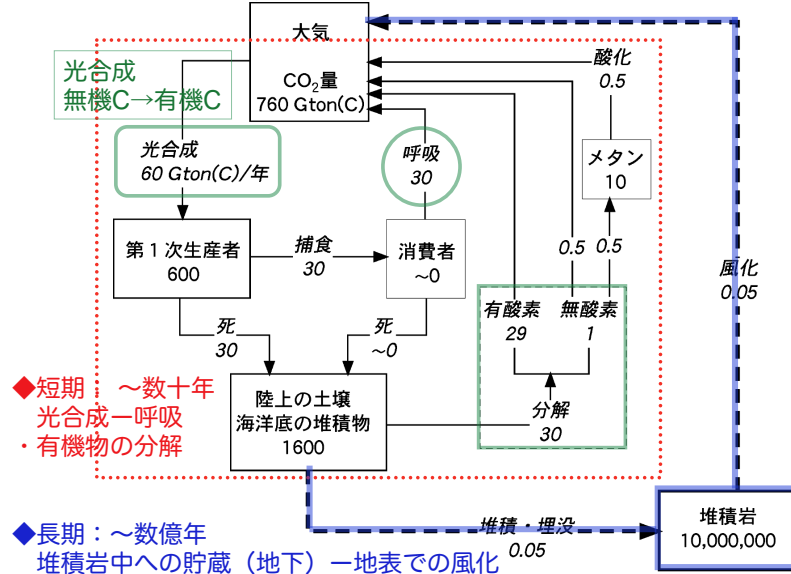
水深3000mでの海水の年代 (¹⁴C)



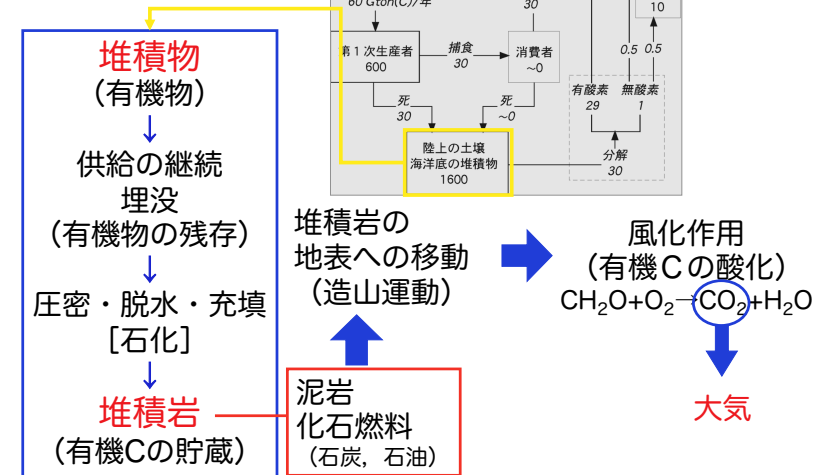
Radiocarbon ages for deep-sea water. Dots indicate station locations and ages of water taken from 3 kilometers depth. Shaded areas indicate sites of deep water formation. (Broecker, 1985)
[http://www.atmos.washington.edu/2002Q4/211/notes_thermohaline.html]

有機炭素の循環

(Kump et. al., The Earth System, 1999)

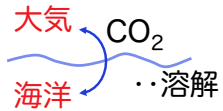


有機炭素の循環 長期的な循環

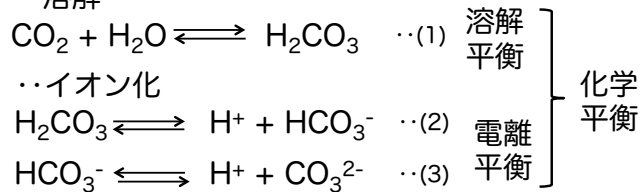
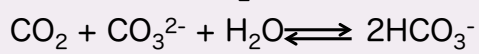


無機炭素の循環：大気 CO₂ → 水への溶解：海洋，雨水

[大気-海洋]



大気-海洋のCO₂の交換



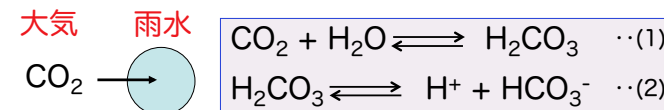
どの方向に進むか (平衡状態) は...

- ・大気中CO₂濃度
- ・海水中H₂CO₃濃度 (溶存CO₂濃度)
- ・温度
- ・pH (H⁺濃度: $\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$)

CO₂の水への溶解度

- ・温度依存性
- 0°C 1.71 cm³
- 20°C 0.88 cm³
- 40°C 0.53 cm³
- 60°C 0.36 cm³
- 1気圧の気体が水 1 cm³ に融解する容積 (0°C, 1気圧換算)

無機炭素の循環：大気 CO₂ → 水への溶解：海洋，雨水

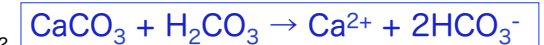


酸性雨 (pH = 5-6)

地表 (地殻) ... 化学的風化

◆炭酸塩鉱物 (CO₃²⁻)

カルサイト CaCO₃
ドロマイト CaMg(CO₃)₂
[岩石-石灰岩]



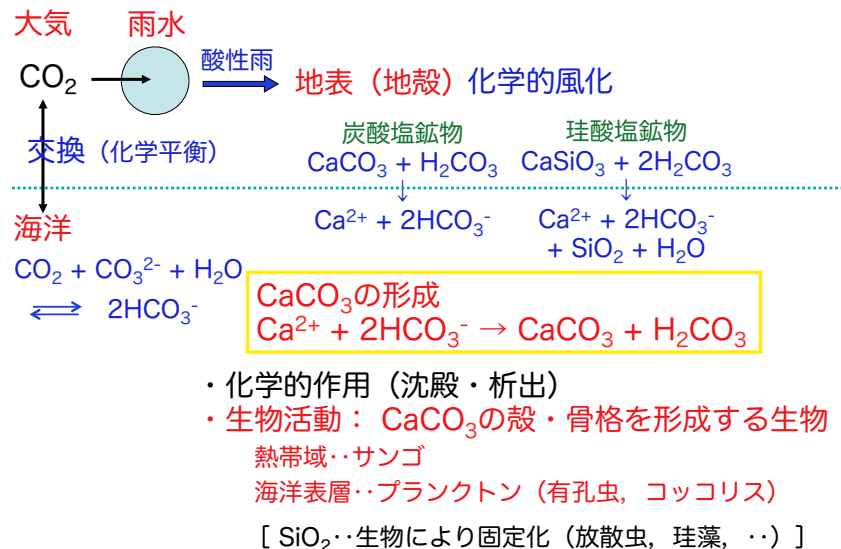
◆珪酸塩鉱物 (Si-O)

CaSiO₃ ウォラストナイト

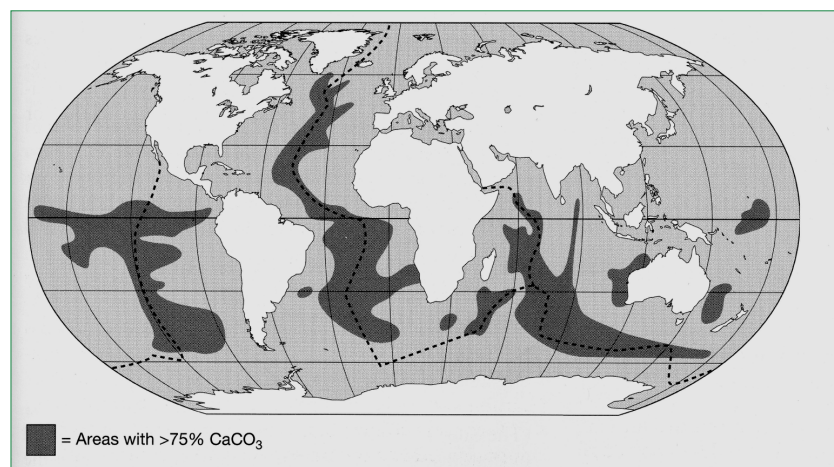


*珪酸塩鉱物の風化は，炭酸塩鉱物の風化の2倍のCO₂を消費

無機炭素の循環

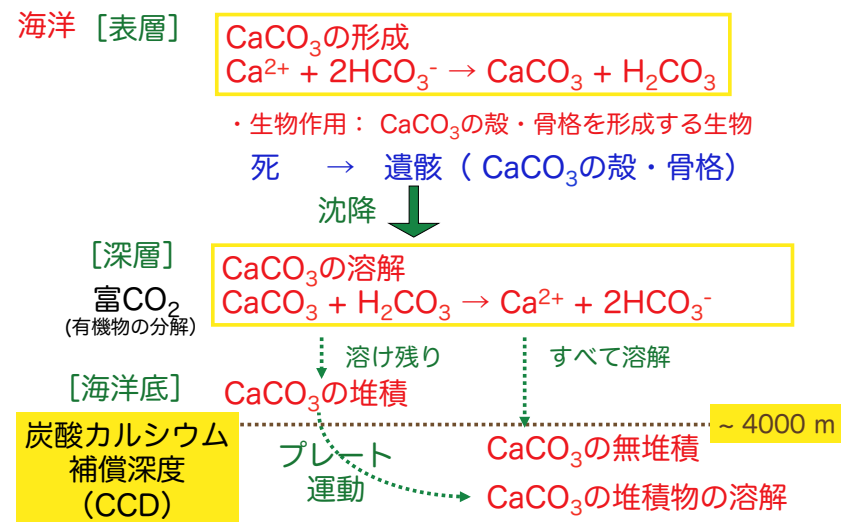


海洋底のCaCO₃に富む堆積物の分布

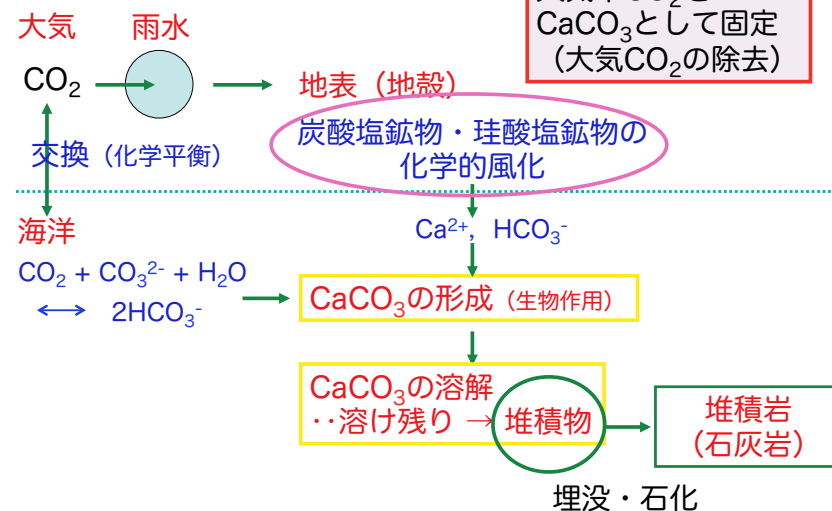


(Kump et. al., The Earth System, 1999)

無機炭素の循環



無機炭素の循環



炭酸塩鉱物・珪酸塩鉱物の風化と大気CO₂の固定

◆大気—海洋・雨水： $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{CO}_3$

◆炭酸塩鉱物

風化： $\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{Ca}^{2+} + 2\text{HCO}_3^-$

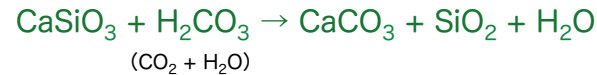
海洋： $\text{Ca}^{2+} + 2\text{HCO}_3^- \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{CO}_3$ (炭酸塩鉱物の形成)

大気・海洋中CO₂量に影響なし

◆珪酸塩鉱物

風化： $\text{CaSiO}_3 + 2\text{H}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{Ca}^{2+} + 2\text{HCO}_3^- + \text{SiO}_2 + \text{H}_2\text{O}$

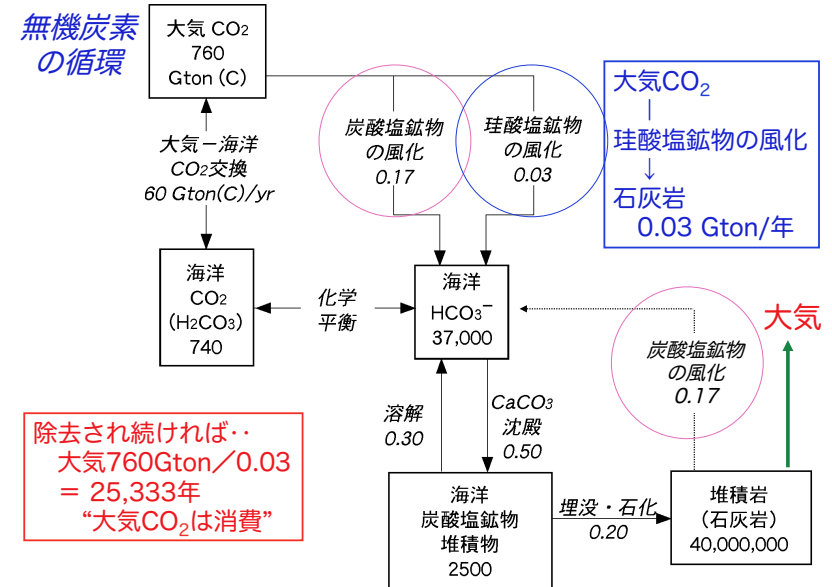
海洋： $\text{Ca}^{2+} + 2\text{HCO}_3^- \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{CO}_3$ (炭酸塩鉱物の形成)



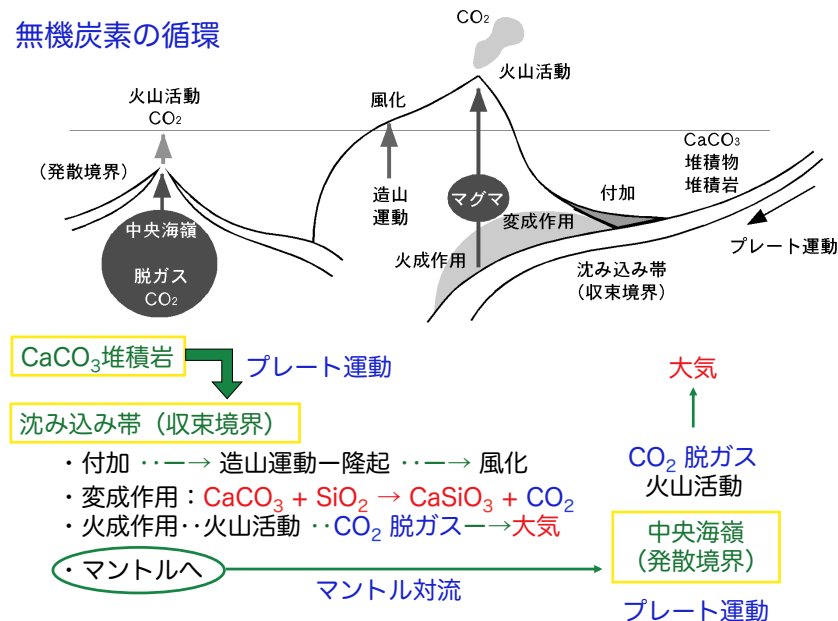
★ $\text{CaSiO}_3 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{SiO}_2$

珪酸塩鉱物の風化 → 大気CO₂の固定 (大気からの除去)
0.03 Gton/年

無機炭素の循環



無機炭素の循環



無機炭素の循環

