



(4) peritidal(潮の影響のある所)環境

①supratidal (潮上帯)zone



②bird-eye構造

海水が覆ったり、乾燥したりする際に、藻類マット中での膨張、収縮、脱ガスにより生じる



(4) peritidal(潮の影響のある所)環境

①supratidal (潮上帯)zone



③極度の乾燥に伴いanhydrite(無水石膏,  $\text{CaSO}_4$ , 白)と石英+ドロマイト( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ )が生じる

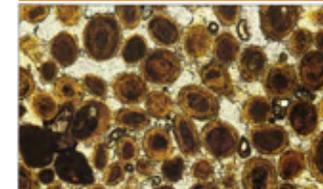
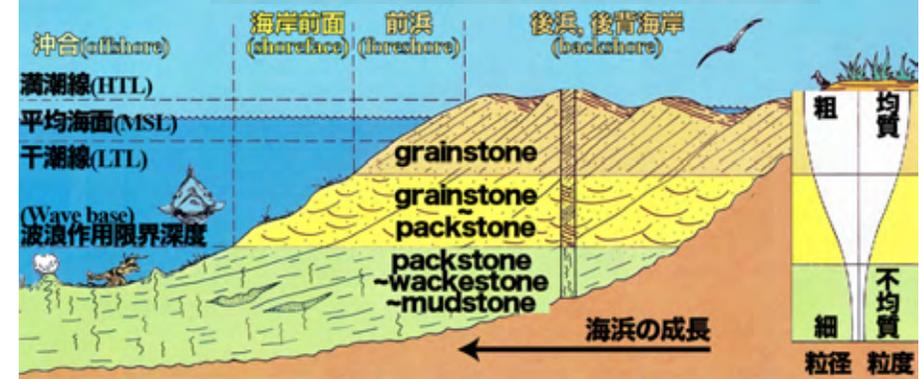
(4) peritidal(潮の影響のある所)環境

①subtidal zone (下干潮帯)

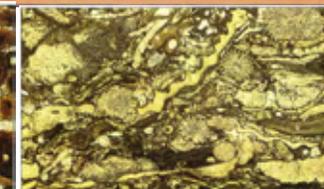


海浜

(5) Beach: 波の影響のあるゾーン

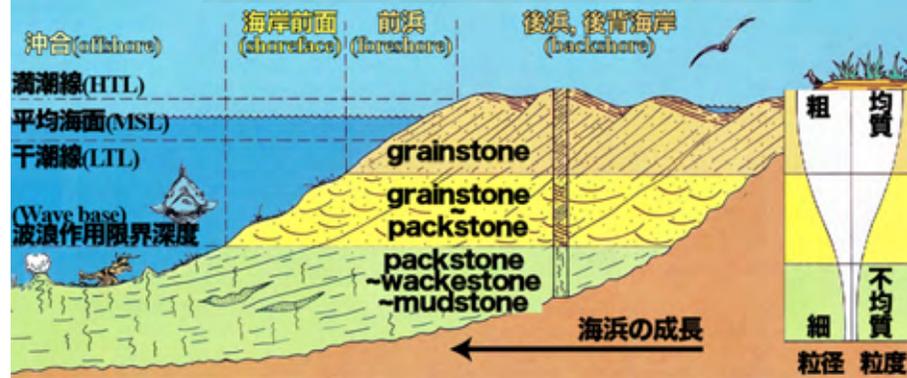


Grainstone (grainのみ, micrite無)



Packstone (grain > micrite)

# 海浜 (5) Beach: 波の影響のあるゾーン



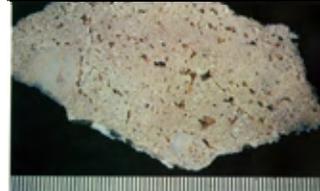
# (5) Beach: 波の影響のあるゾーン



海側に斜交, 平衡葉理

生痕化石, burrowing, 炭酸塩

Keystone: 空隙の多い石: 最上部の堆積物, 水やガスが抜ける



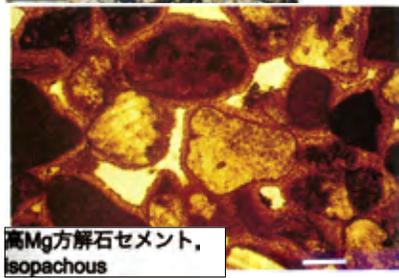
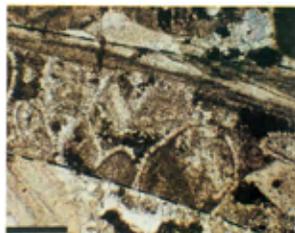
Trough型斜交葉理



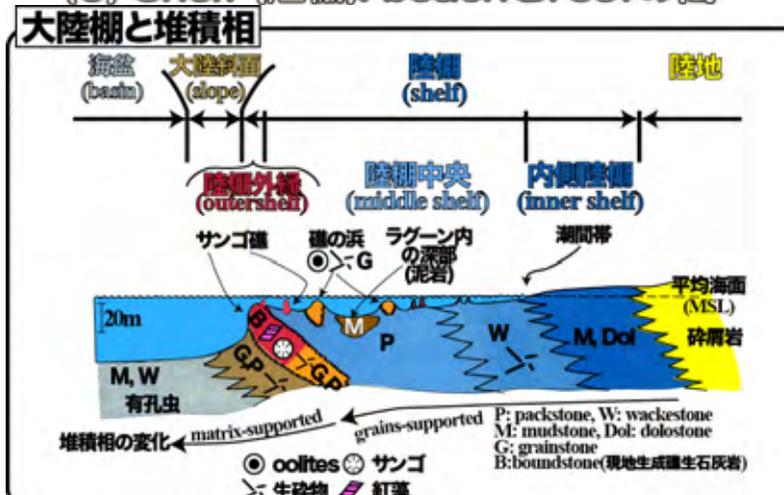
生痕化石, burrowing, 炭酸塩

# (5) Beachの特徴

- ① 堆積と同時に続成と浸食が起こる
- ② 続成に参与する水溶液は海水



# (6) Shelf (陸棚): beachとreefの間



- ### Shelfの特徴
- ① 水循環が遅い
  - ② 塩濃度異常
  - ③ 栄養塩や酸素の枯渇
  - ④ 温度異常

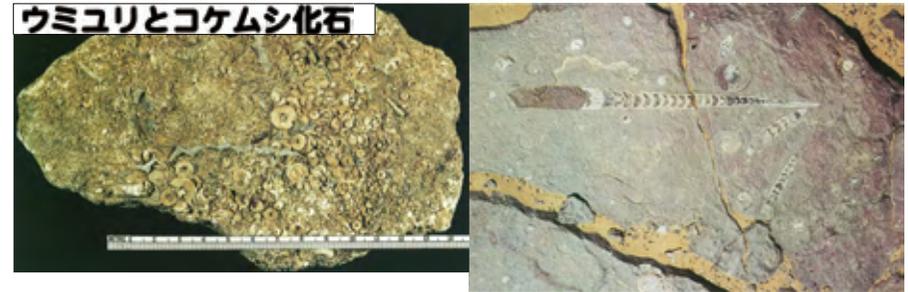
(6) Shelf (陸棚): 特にrestricted



**Shelfの特徴**

- ①海進/海退の変化に敏感  
→上方浅化  
→モザイク状の堆積変化
- ②burrowingが多く、貧酸素環境では葉理が保存

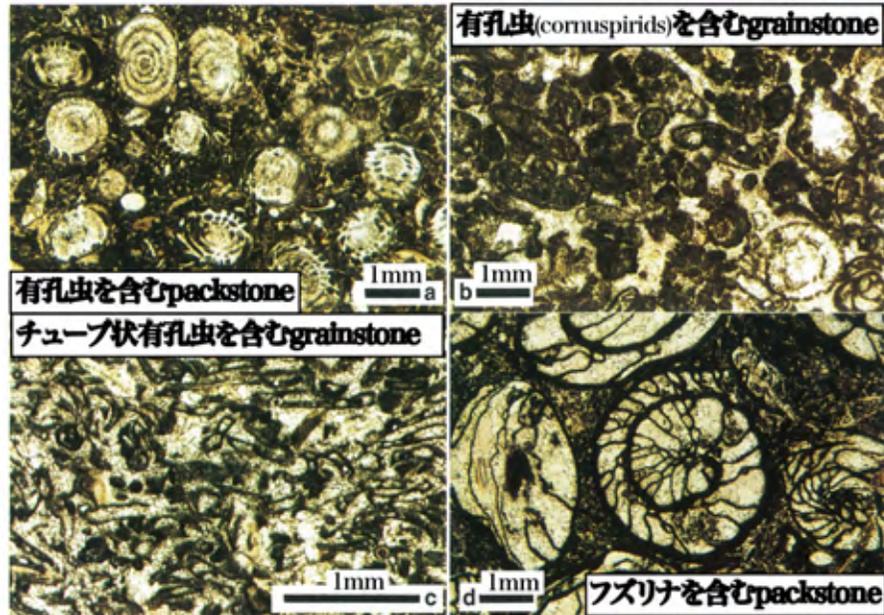
(6) Shelf (陸棚): Middle Shelf



**Middle Shelfの特徴**

- ①10~100m深
  - ②塩濃度は海水的
  - ③酸素は多い
  - ④温度10~30°C
- ①通常の海洋で生息する生物相(腕足,二枚貝,節足)
  - ②泥質炭酸塩が卓越
  - ③層の厚さの大きな変化
  - ④生物擾乱,burrowing

(6) Shelf (陸棚): Middle Shelf



有孔虫(cornuspirids)を含むgrainstone

有孔虫を含むpackstone

チューブ状有孔虫を含むgrainstone

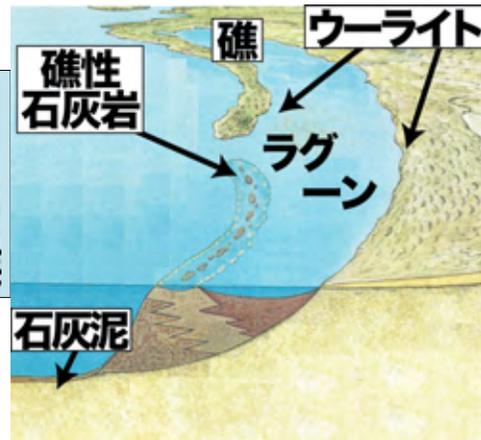
フズリナを含むpackstone

(6) Shelf (陸棚): Middle Shelf



(7) Reef (礁)

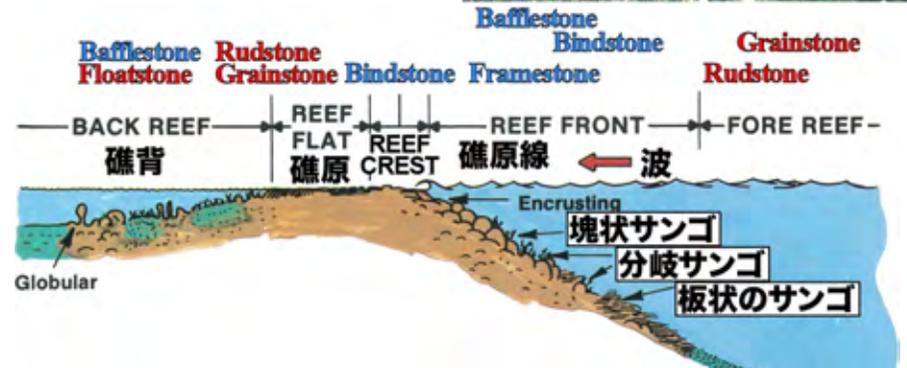
- ①生物によって形成された高まり。
- ②多くの炭酸塩骨格を作る生物が生息
- ③石油の起源として重要



(7) Reef (礁)

	堆積物をトラップする層状の化石	encrusting or binding	frameworkを作る
	Bafflestone	Bindstone	Framestone
<b>Autochthonous (現地性) 石灰岩</b> Boundstone			
<b>Allochthonous (異地性) 石灰岩</b>			
	<b>Floatstone</b>	<b>Rudstone</b>	
	粒子の10%以上が2mm以上 matrixが多い		grainが多い

(7) Reef (礁)



	層状構造とヒドロ虫類: Bafflestone
	柱状の骨格: Framestone コケムシのFramestone
	様々な動物化石を含むRudstone
	ストロマトゴロイドのFramestone
	ストロマトゴロイドのFloatstone

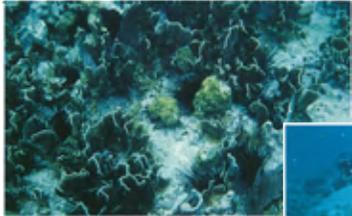
Acropora palmata (REEF CREST)



ハマサンゴ類(黄色). 白色部は死んだサンゴでも風割に壊れている(2m)



ハマサンゴ類(黄色)とヒドロ虫類サンゴ類が富レベル(水深)で異なる(黄色7m)

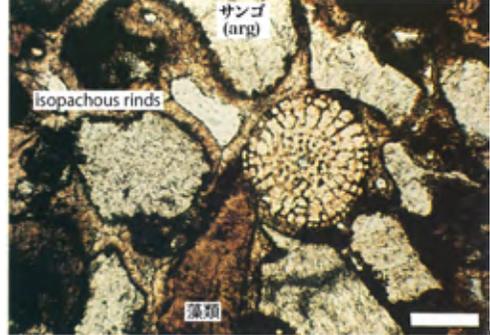


巨大サンゴ類群 Diastrea arvaria (25m)



巨大サンゴ類群 (Diastrea arvaria) (20m)

(7) Reef炭酸塩の結成作用

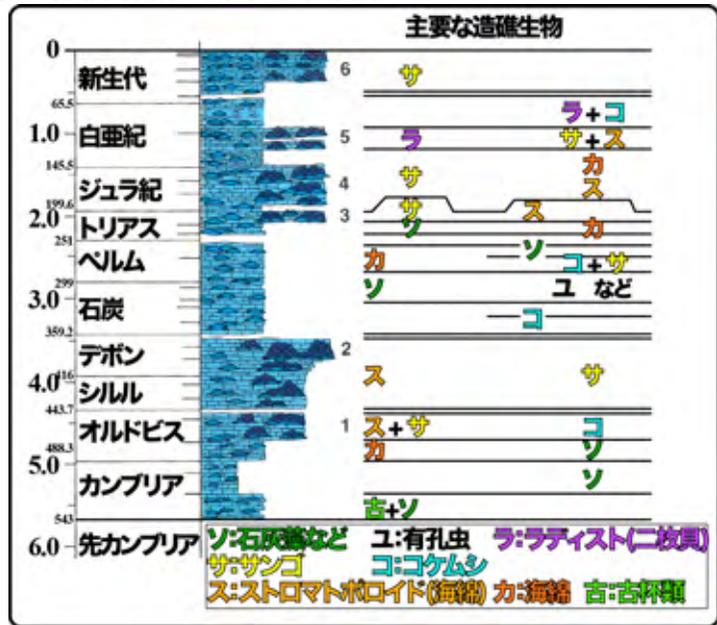


Cementation  
(その場での、海水を介したセメント高Mg塩析出)



Bioerosion  
(生物による浸食)

(7) 造礁動物の終年変化



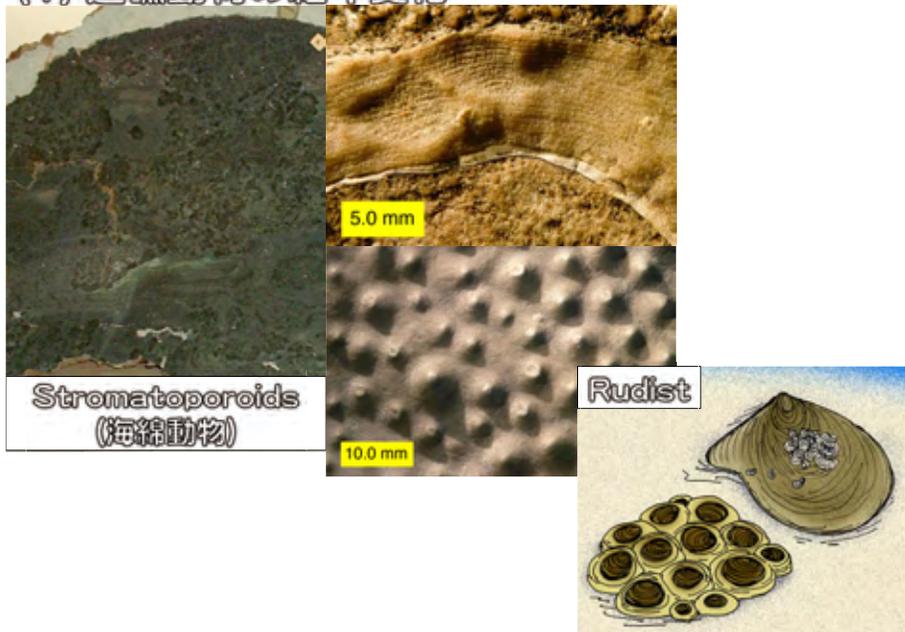
(7) 造礁動物の終年変化



Stromatolite

古杯類

(7) 造礁動物の経年変化



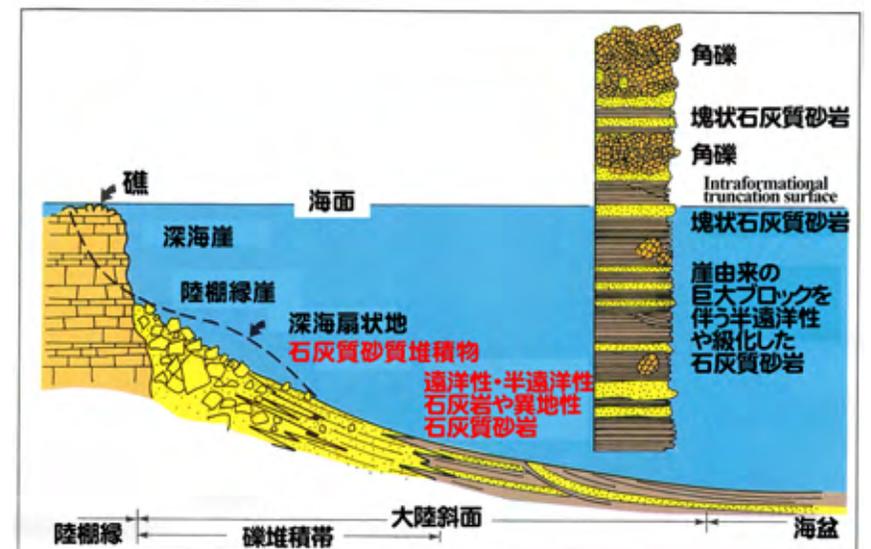
(8) Bank Margin



(8) Bank Margin



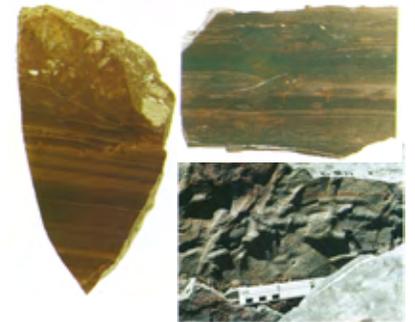
(9) Fore-reef slope



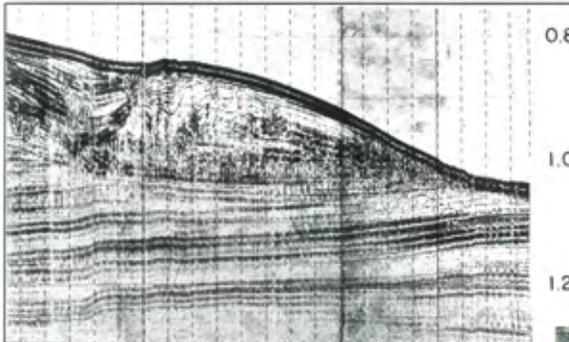
(9) Fore-reef slope



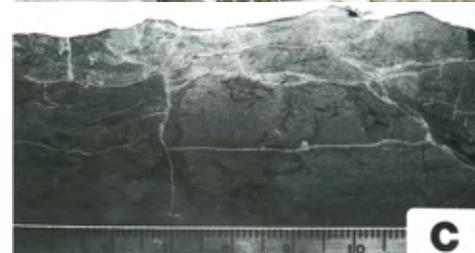
(9) Fore-reef slope



(10) Basin Margin



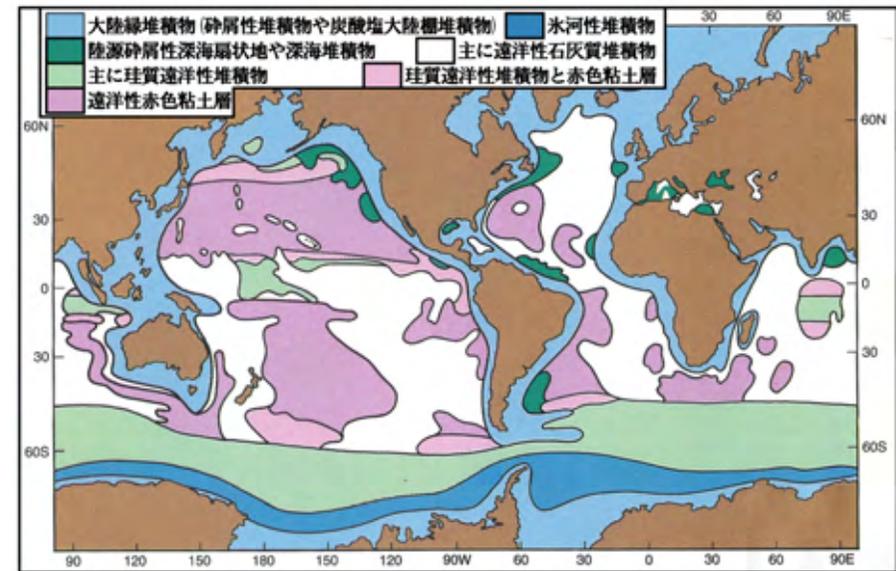
(10) Basin Margin(より外側)



### (10) Basin Margin(より外側)

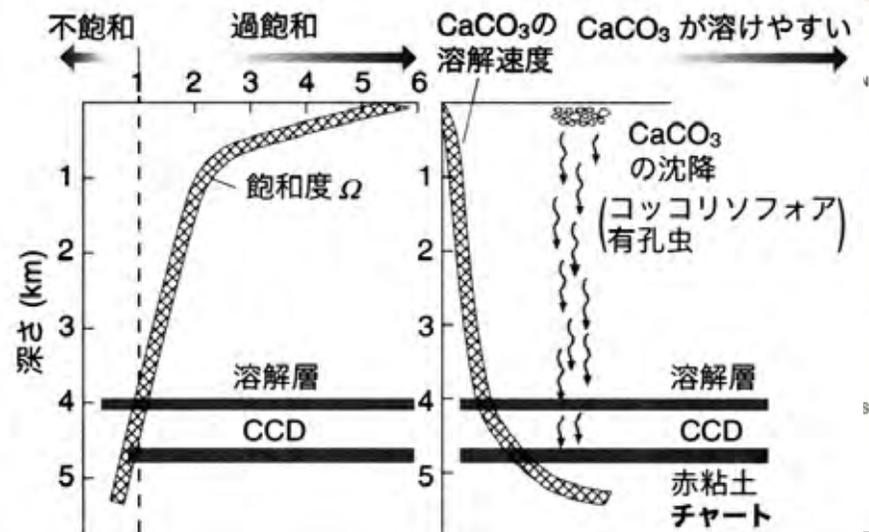


### (11) Pelagic (遠洋性)



### (11) Pelagic (遠洋性)

石灰石  $\text{CaCO}_3$  の飽和度  $\Omega$



### (11) Pelagic (遠洋性)

#### 遠洋性堆積物の定義

- Pelagic clays:  $\text{CaCO}_3 + \text{Silica} < 30\%$
- Slightly calcareous  $\text{CaCO}_3$  を 1~10% 含む
- Calcareous (marly)  $\text{CaCO}_3$  を 10~30% 含む
- Slightly siliceous Silica を 1~10% 含む
- Siliceous Silica を 10~30% 含む
- Pelagic oozes:  $\text{CaCO}_3 + \text{Silica} > 30\%$
- Marl ooze  $\text{CaCO}_3$  や silica を 30~0% 含む
- Chalk ooze  $\text{CaCO}_3$  を 70% 以上含む
- 珪藻 (放射虫) ooze  $\text{CaCO}_3$  が 30% 以下、Silica を 30% 以上含む

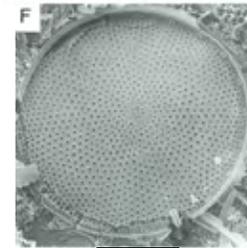
# (11) Pelagic (遠洋性)

## 遠洋性堆積物の構成物

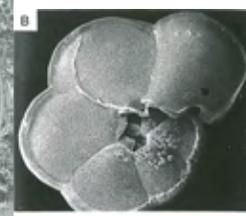
### 浮遊性-遊泳性

浮遊性有孔虫	原生動物	ジュラ紀-現在	低 Mg 方解石
ココリスなど	藻類	ジュラ紀-現在	低 Mg 方解石
Calcispheres	不明	中生代後期	低 Mg 方解石
翼足類	軟体動物 (腹足類)	白亜紀-現在	アラレ石
遠洋性テントキュライト	軟体動物	デボン紀	方解石
遠洋性二枚貝類	軟体動物 (二枚貝綱)	特に中生代に繁栄	方解石
アンモナイト	軟体動物 (頭足綱)	デボン紀-白亜紀	アラレ石、方解石
オウムガイ	軟体動物 (頭足綱)	カンブリア紀-現在	アラレ石、方解石
ベレムナイト	軟体動物 (頭足綱)	石炭紀前期-第三紀	低 Mg 方解石
遠洋性ウミユリ	棘皮動物 (ウミユリ綱)	特にジュラ紀-現在	高 Mg 方解石
コノドント	脊索動物	カンブリア紀-トリアス紀	リン酸塩
脊椎動物の骨格	脊索動物	シルル紀-現在	リン酸塩
コニュリア	刺胞動物	カンブリア紀-トリアス紀	キチン質リン酸塩
放散虫	原生動物	カンブリア紀-現在	オパール質シリカ
海洋性珪藻	藻類	白亜紀-現在	オパール質シリカ
珪質鞭毛虫類	藻類	白亜紀-現在	オパール質シリカ

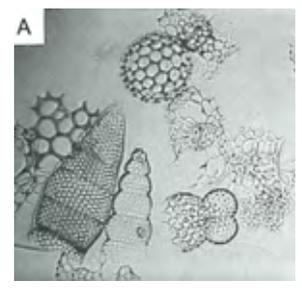
# (11) Pelagic (遠洋性)



珪藻

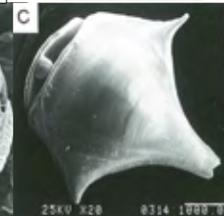


有孔虫



ココリス

翼足類



翼足類



テントキュライト

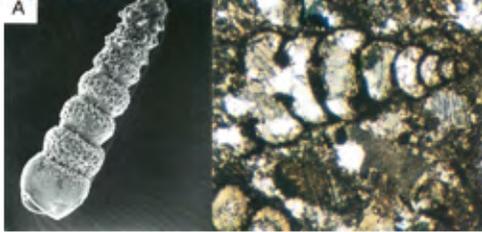
# (11) Pelagic (遠洋性)

## 遠洋性堆積物の構成物

### 底生

膠着質有孔虫	原生動物	カンブリア紀-現在	有機物, 方解石, 石英
底生有孔虫	原生動物	デボン紀-現在	低や高 Mg 方解石
棘皮動物	棘皮動物	カンブリア紀-現在	高 Mg 方解石
節足動物 (貝虫綱)	軟体動物 (腹足類)	カンブリア紀-現在	低や高 Mg 方解石
イノセラミド	軟体動物 (二枚貝綱)	白亜紀	低 Mg 方解石, アラレ石
底生テントキュライト	軟体動物	オルドビス紀-デボン紀	方解石
その他底生動物 (カキ、軟体動物、コケムシ、腕足類、三葉虫、サンゴ等)	軟体動物 (頭足綱)	デボン紀-白亜紀	アラレ石、方解石 アラレ石、方解石
珪質海綿動物	海綿動物	カンブリア紀-現在	オパール質シリカ

底生有孔虫 B



# (11) Pelagic (遠洋性)



## (11) Pelagic (遠洋性)



## (12) 続成作用

### 堆積岩：

流体運動の作用により地表あるいは水底に沈積した固体粒子の集合物を堆積物とし、圧密や膠結(コウケツ)などによる粒子間稠密(チュウミツ)で固結した堆積物

続成作用：直接変成作用などを経なければ、堆積物が堆積岩になるプロセス

### 炭酸塩堆積物の続成作用

溶解作用, 置換・交代作用(ドロマイト化や方解石化), 膠結作用(セメント化), 新生作用, 圧密作用などがあり、一般に碎屑性堆積岩より顕著。間隙水組成(pH, CO<sub>2</sub>, redox)に顕著に影響

## (12) 続成作用

続成作用：埋没の深さ(温度・圧力)と間隙水の量と組成

①近地表:強い間隙水の影響(組成, pH, 酸化還元)+バクテリア活動。

→溶解, 膠結, 安定相への相転移(例えば arg→cal)。

→間隙水の組成(淡水 vs 海水)と量:

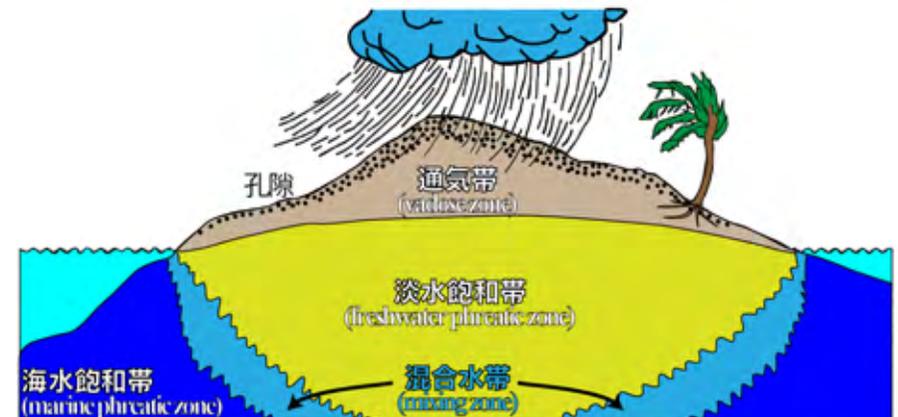
**通気帯, 淡水飽和帯, 海水飽和帯**

②浅い埋没(500m 以浅):圧力溶解はまだ顕著でないが、圧力上昇に加え、間隙水の移動は顕著。

→堆積粒子の再配列、溶解、膠結・交代作用。

③深い埋没(500~5000m):間隙水の移動は顕著でなくなる。高い温度・圧力による圧密、圧力溶解、膠結、再結晶作用や自生鉱物晶出。

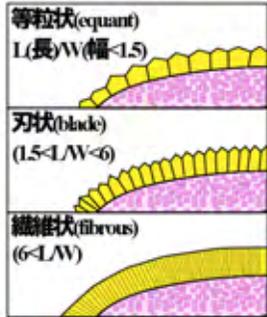
## 続成作用(近地表)



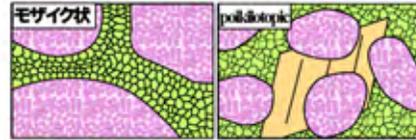
# 炭酸塩岩の組織

## セメントの組織

### ①初期セメントの組織



### ②モザイク内の組織



#### 等粒状モザイク組織

- ① idiotopic 組織 (大多数が自形)
- ② hypidiotopic 組織 (大多数が半自形)
- ③ xenotopic 組織 (大多数が他形)

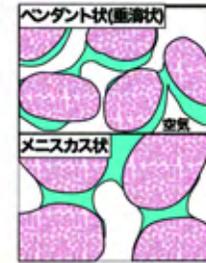
#### 不等粒状モザイク組織

- ① porphyrotopic 組織 (粗粒と細粒の混在)
- ② poikilotopic 組織 (粗粒結晶が細粒結晶を取り込む)

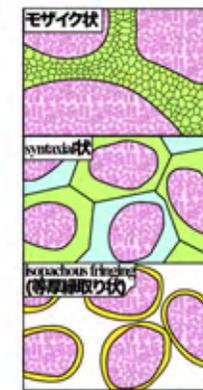
# 炭酸塩岩の組織

## 成因(孔隙における間隙水の状態と続成段階)

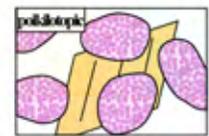
孔隙中に空気と水が共存



孔隙中に水が満たす

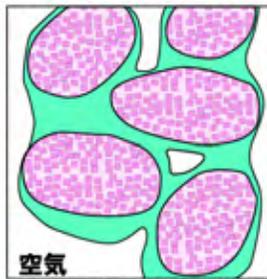


地下深部に埋没



# 続成作用(近地表)

## 淡水通気帯



### 溶解

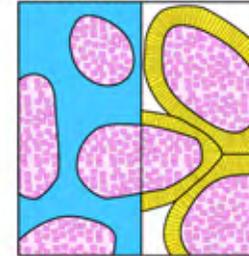
淡水(+土壌CO<sub>2</sub>)による広範な溶解  
アラレ石が選択的  
孔隙の形成

### 沈殿

メニスカス・ペンダント状の間隙水  
→そのようなセメント

メニスカス状に間隙水が存在

## 続海水飽和帯



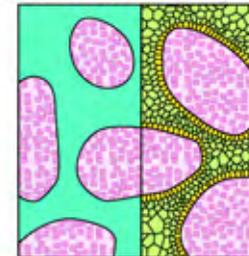
### 沈殿(海水循環の良いところ)

針状アラレ石セメント } 等厚繊維状  
高Mg方解石 } ミクライトセメント  
孔隙が少ない

### 沈殿(海水循環の悪いところ)

細菌にコントロール  
された膠結作用  
溶脱や粒子変質は欠如  
ミクライト化

## 淡水飽和帯



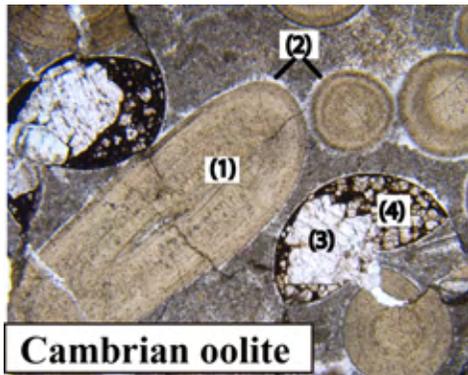
### 溶解

淡水(+土壌CO<sub>2</sub>)による広範な溶解  
アラレ石の溶解と低Mg方解石の晶出  
孔隙の形成

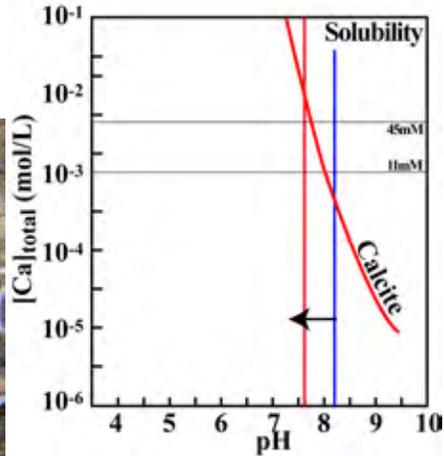
### 沈殿

低Mg方解石セメント } 等粒状  
 } 等厚刃状  
 } モザイク状  
 } 孔隙中心に向けて粗粒化  
孔隙が少ない  
特に、間隙水循環が良い所では効果的。  
⇨アラレ石が残存.孔隙の存在

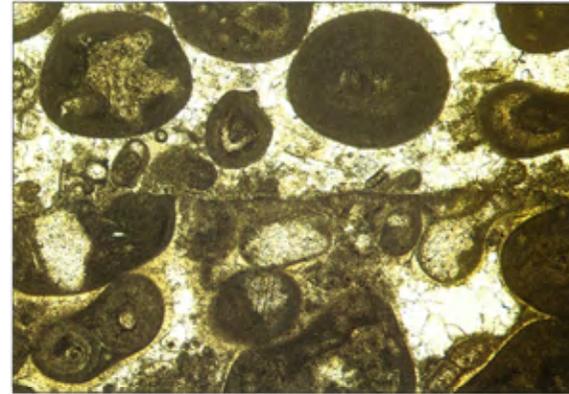
## (12) 続成作用(溶解作用)



Cambrian oolite



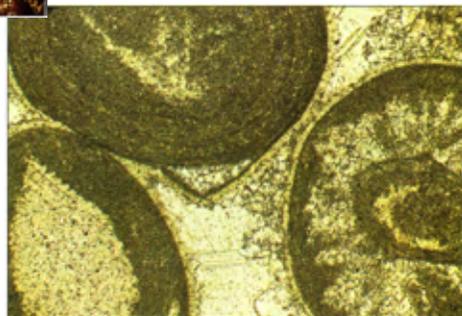
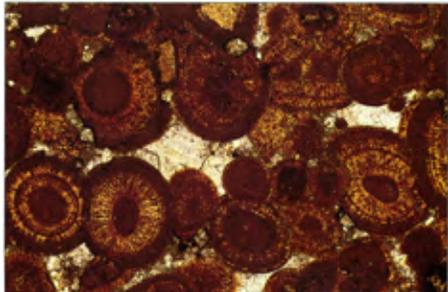
## (12) 続成作用(セメント化作用)



二段階セメント, 中央の剖剥面に注目

- ①下部は黄色のisopachousと粒間のsparが存在  
前者は海洋で、後者は陸上で。
- ②上部は後者のみ→海洋で堆積, セメント1, 露出・浸食, 陸上(海浜?)で堆積, セメント2

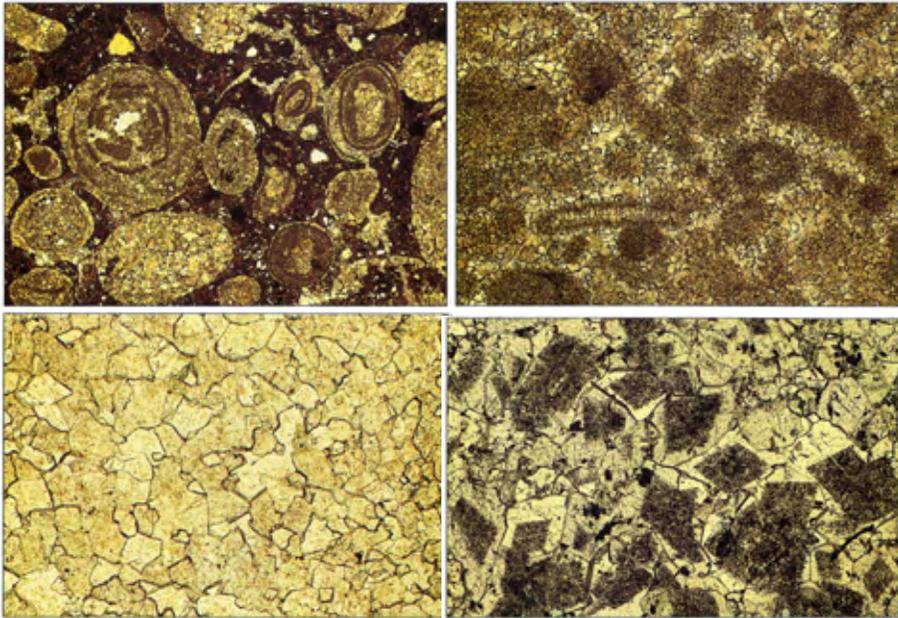
## (12) 続成作用(膠結作用)



## (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

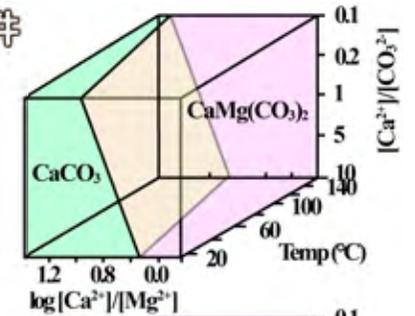
## (12) 続成作用(ドロマイト化作用)



## (12) 続成作用(ドロマイト化作用)

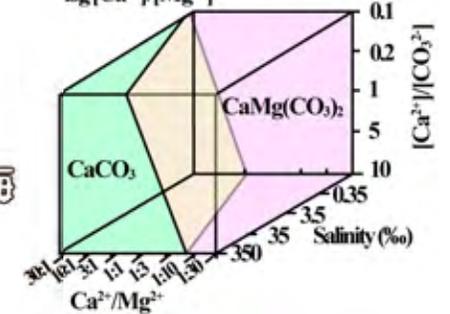
ドロマイト形成の一般的条件

- ① Mgの供給
- ② 高濃度のCO<sub>2</sub>
- ③ 高温水溶液
- ④ 高塩濃度
- ⑤ 低硫酸(SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)

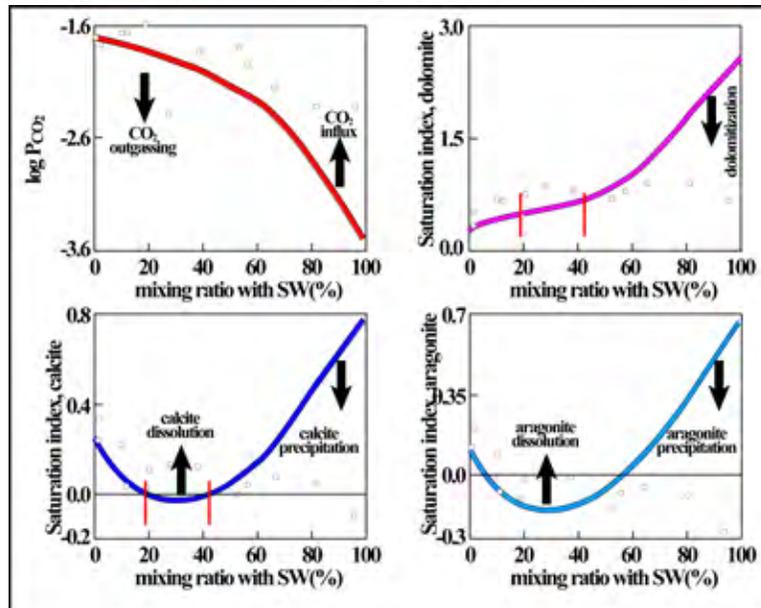


現在のドロストーン

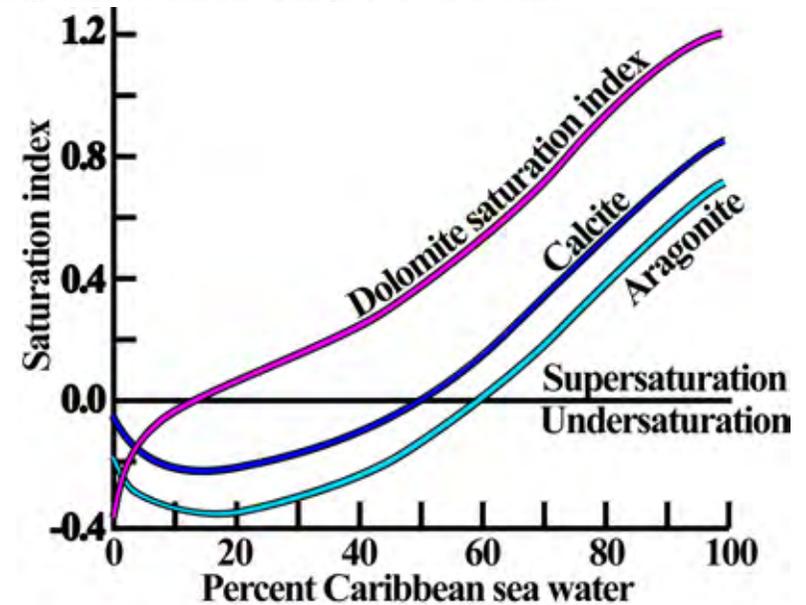
- ① 高塩分濃度湖や乾燥帯 (Sabhka)
- ② 非常に有機物に富む深海堆積物
- ③ 沖縄などのラグーン



## (12) 続成作用(ドロマイト化作用)



## (12) 続成作用(ドロマイト化作用)



## (12) 続成作用(ドロマイト化作用)

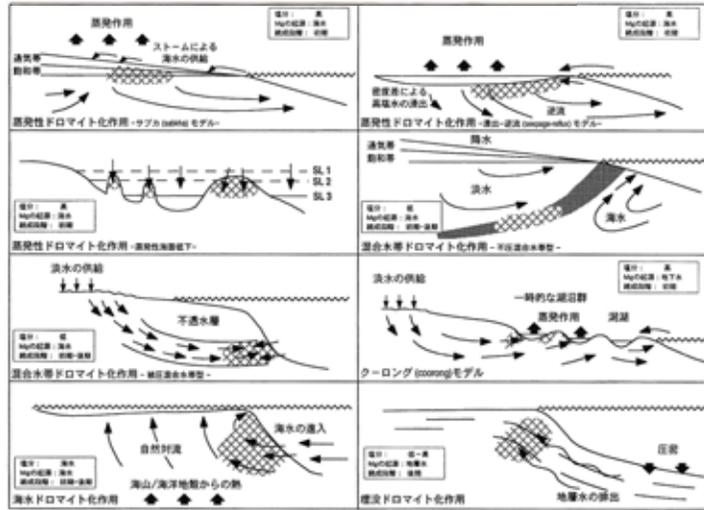
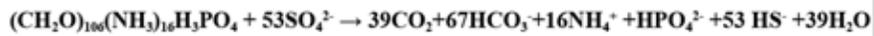
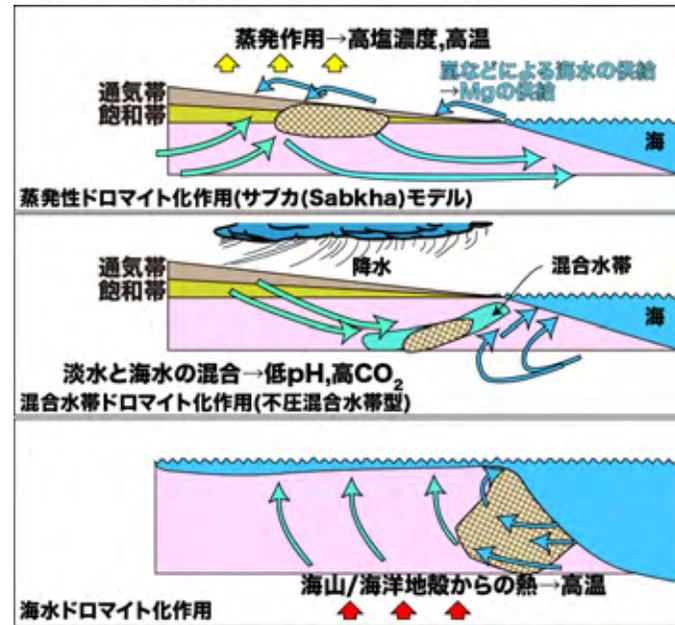


図 A-4-17 ドロマイト化作用のモデル (Tucker and Wright, 1990 一部修正)

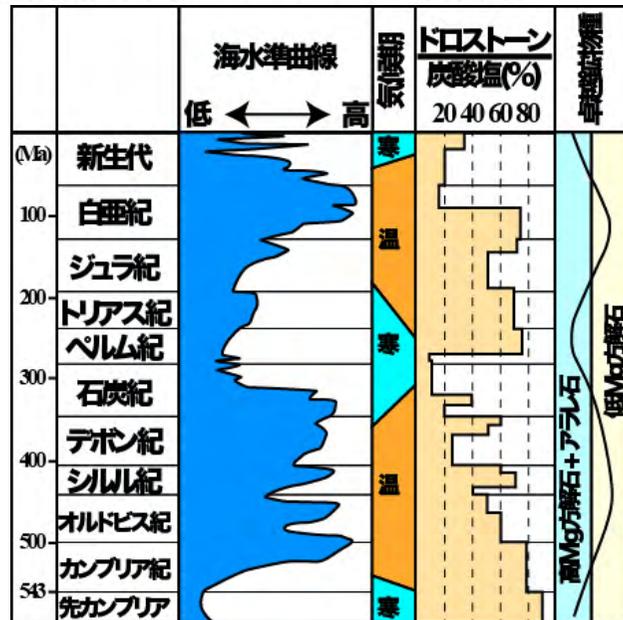
硫酸還元菌:



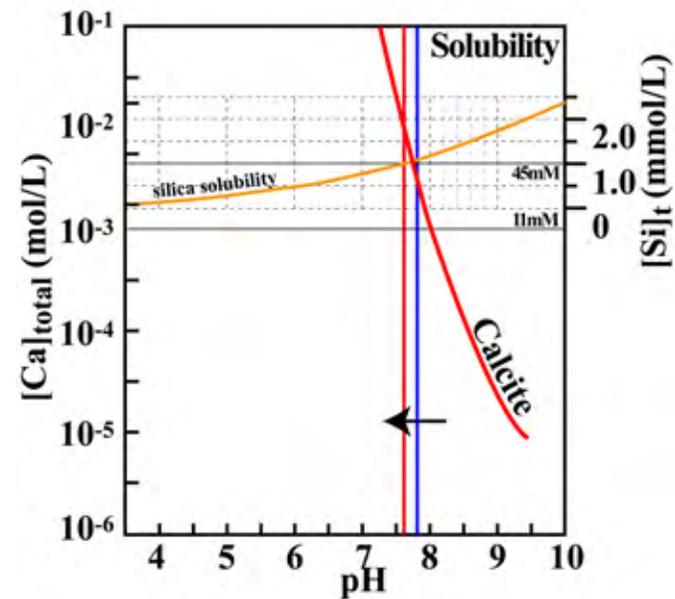
## (12) 続成作用(ドロマイト化作用)



## (12) 続成作用(ドロマイト化作用)

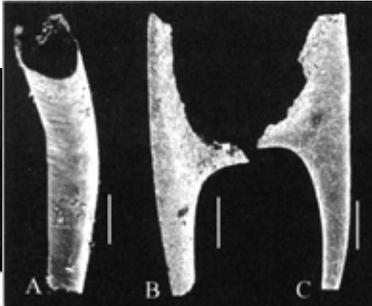
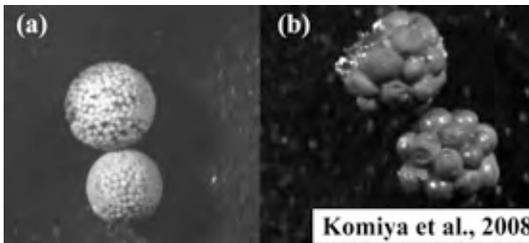
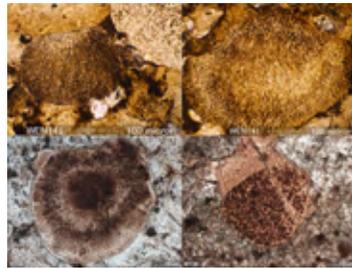


## (12) 続成作用(珪化作用)





リン酸塩岩：リン酸塩化した碎屑粒子や生碎物



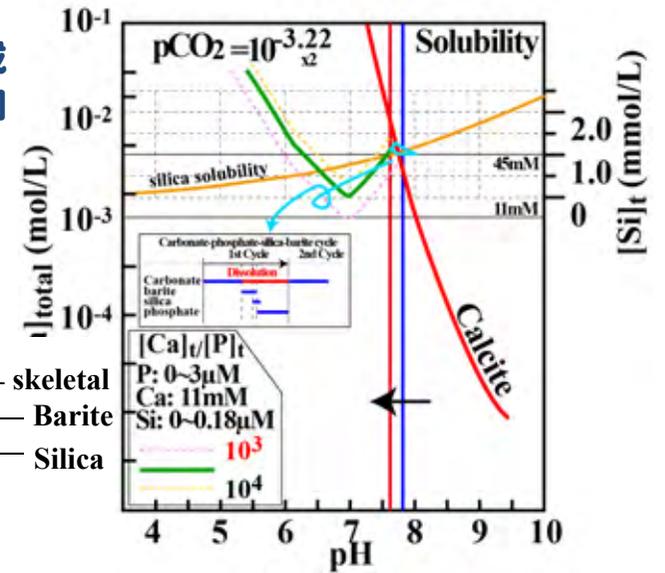
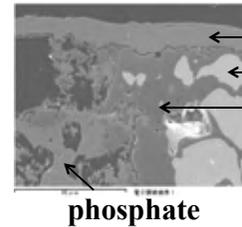
Komiya et al., 2008

①PCC境界のケース

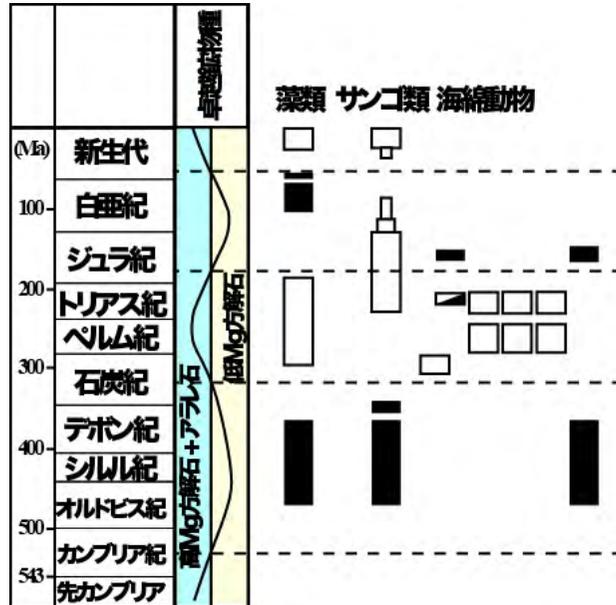
②動物による酸素呼吸, CO<sub>2</sub>の生成

③pHは酸性側へ, silicaの生成

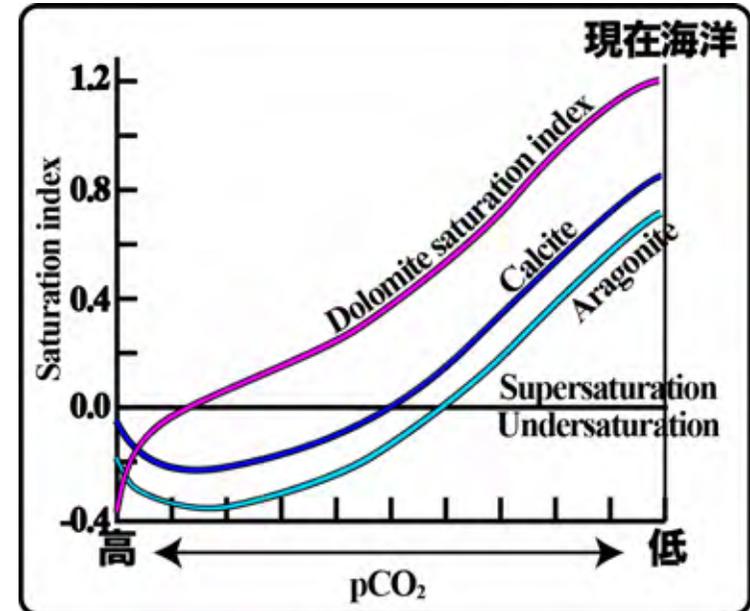
④bariteの成因



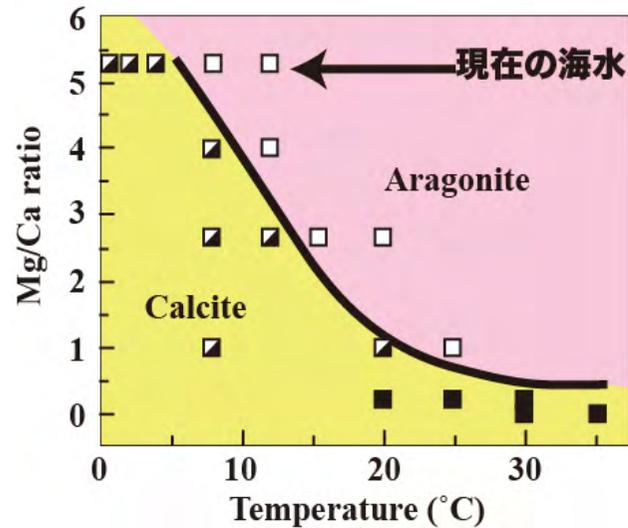
(12) aragonite sea vs calcite sea



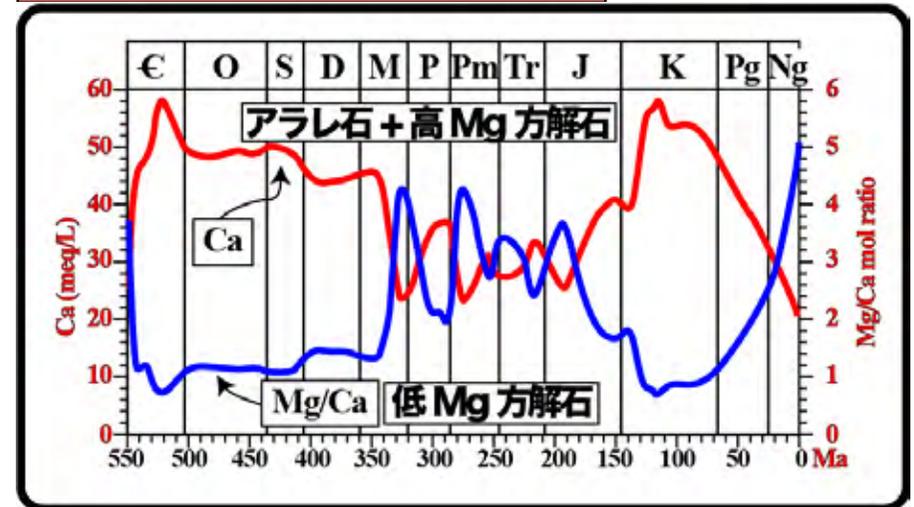
(12) アラゴ石と方解石



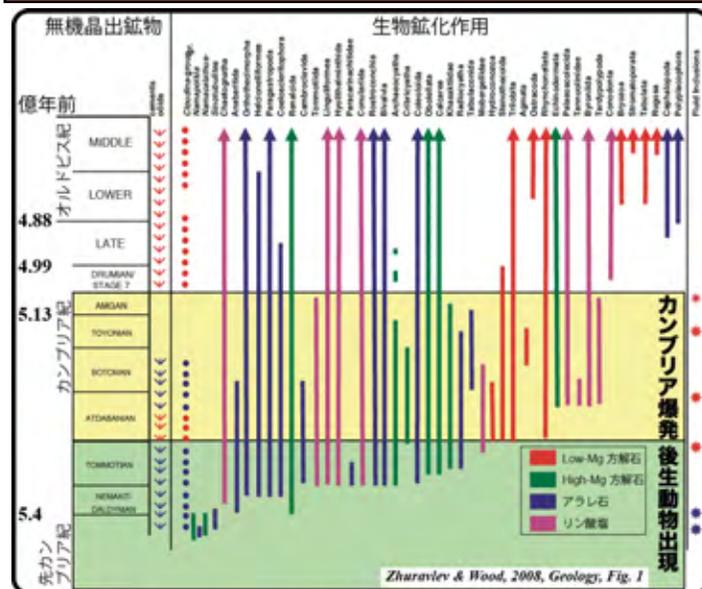
## 生物鉱化作用の進化と海水組成



## Cal/arg seaと海水組成

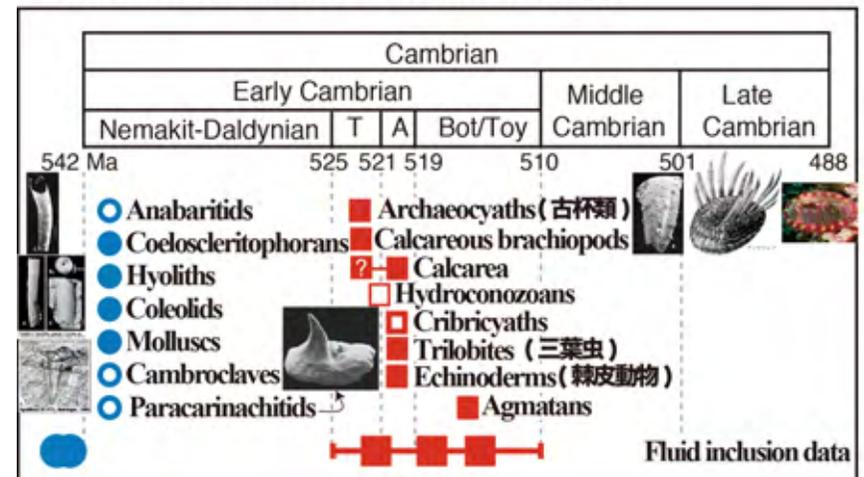


## 生物鉱化作用の進化と海水組成

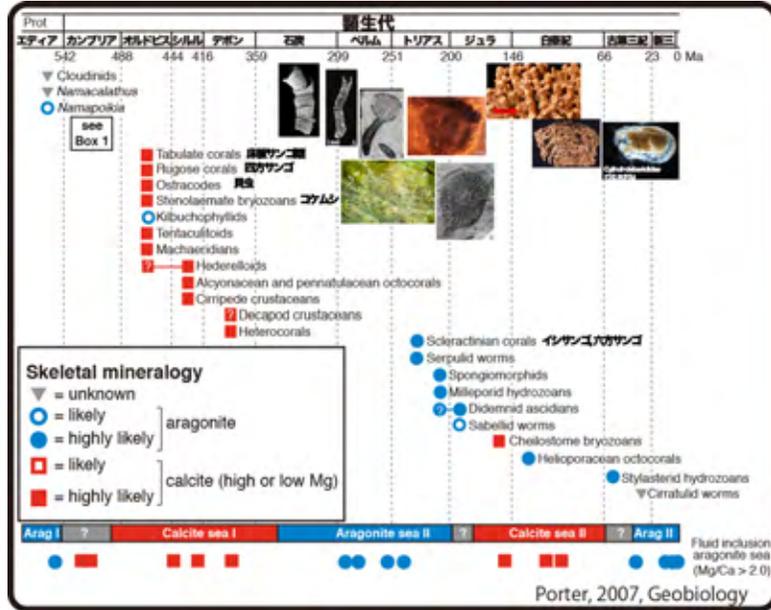


## 生物鉱化作用の進化と海水組成

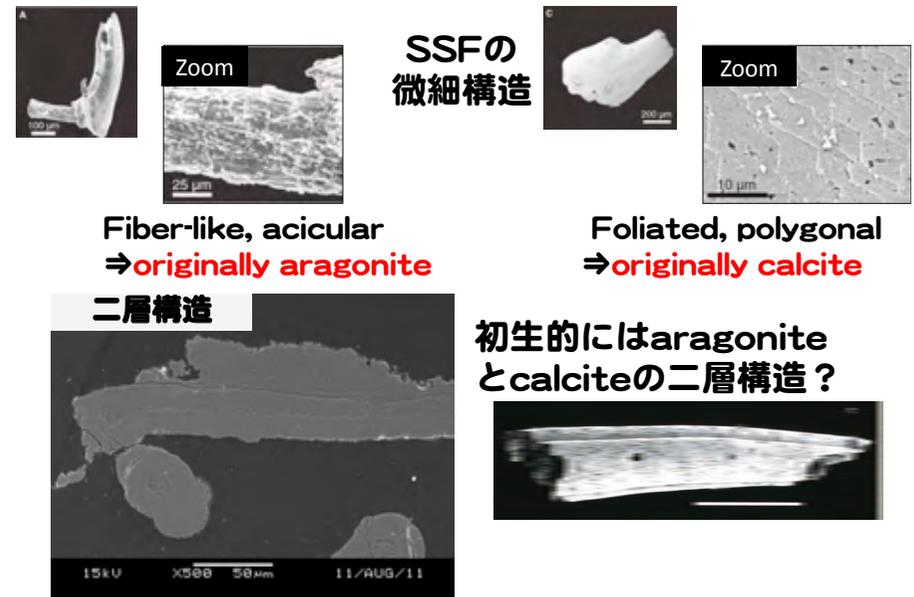
### Cambrian の生物出現と biomineralogy



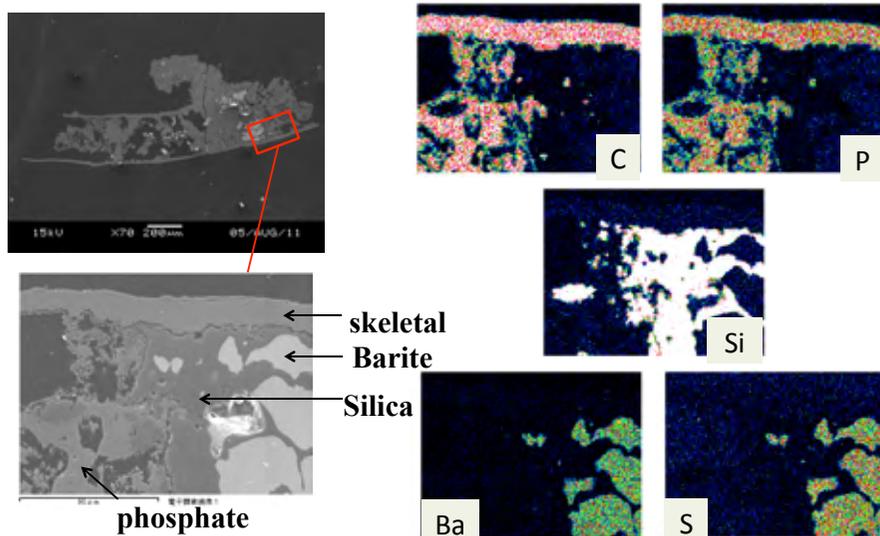
## 生物鉱化作用の進化と海水組成



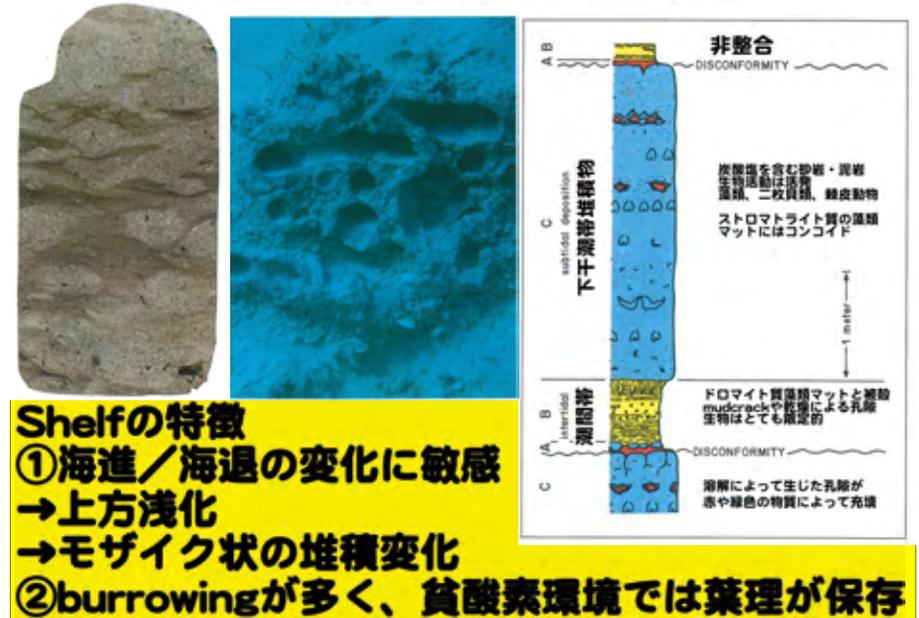
## 初生鉱物(炭酸塩)の溶解とリン酸塩の置換



## 自生鉱物(シリカとバライト)の生成とリン酸塩化



## (6) Shelf (陸棚): 特にrestricted



(11) Pelagic (遠洋性)

