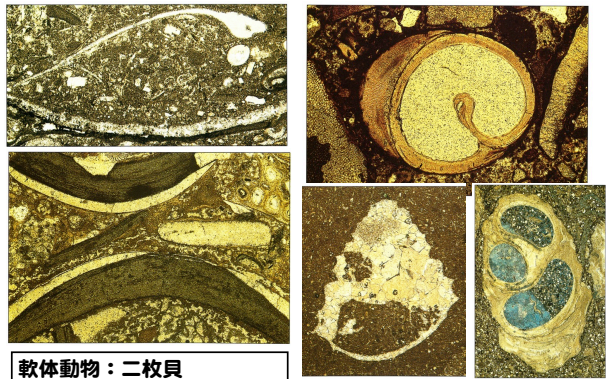


炭酸塩堆積物・炭酸塩岩

表 3.2 代表的分類群における硬組織の Ca, Mg, Sr 含有量の例 (Milliman, 1974*による)

分類群	鉱物	含有量(%)		
		Ca	Mg	Sr
紅藻類				
<i>Jania</i> (Corallinales 科)	高 Mg 方解石	32.3	3.26~4.38	0.12~0.27
<i>Lithothamnium</i> (*)	*	32.1	1.74~5.00	0.11~0.32
緑藻類				
<i>Halimeda</i> (Codiaceae 科)	アラゴナイト	34.7~35.6	0.04~0.27	0.77~0.97
<i>Cymatium</i> (Dasycladaceae 科)	*	39.0	0.32~0.37	0.89~0.91
有孔虫類				
<i>Archaias</i> (底生)	高 Mg 方解石	33.3	1.28~1.42	0.15~0.18
<i>Orbitolites</i> (底生)	*	34.6~36.0	2.57~3.63	0.12~0.14
<i>Globigerinoides</i> (浮遊性)	方解石	*	0.12~0.20	0.10~0.11
八放サンゴ類				
<i>Helipora</i>	アラゴナイト	39.6	0.26	0.69
<i>Tubipora</i>	高 Mg 方解石	33.8	3.5~5.0	0.22~0.35
六放サンゴ類				
<i>Acropora</i>	アラゴナイト	38.8	0.11~0.13	0.74~0.87
<i>Porites</i>	*	39.4	0.09~0.18	0.71~0.87
コケ虫類				
<i>Tubulipora</i>	高 Mg 方解石	37.6~38.6	1.12~1.28	0.30
<i>Parasmittina</i>	アラゴナイト	38.9~39.4	0.09~0.20	0.83~0.88
二枚貝類				
<i>Cardium</i>	アラゴナイト	36.0	0.046	0.13
<i>Pecten</i>	大部分方解石	38.7~39.6	0.04~0.60	0.07~0.22
<i>Crasostrea</i>	*	39.0	0.11~0.27	0.07~0.16
腹足類				
<i>Strombus</i>	アラゴナイト	39.7~39.9	0.05~0.06	0.12~0.21
<i>Patella</i>	アラゴナイト	38.0	0.35	0.057
	方解石花冠			

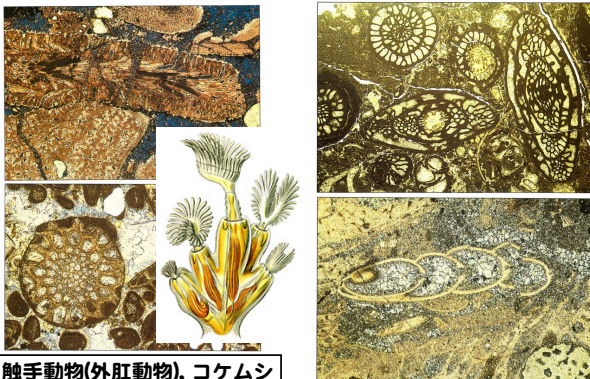
炭酸塩堆積物中の生物化石



軟体動物：二枚貝
アラレ石(内側), 方解石(外側)

軟体動物：腹足綱

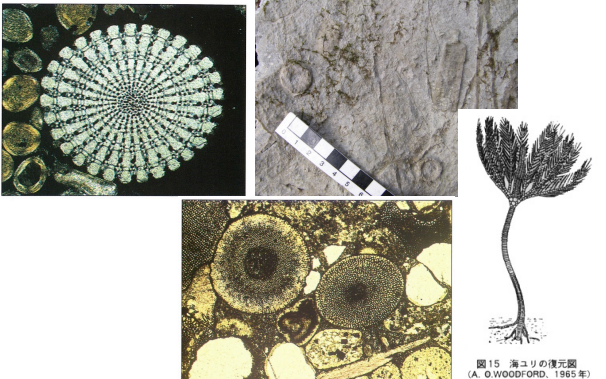
炭酸塩堆積物中の生物化石



触手動物(外肛動物), コケムシ
縦断面, 横断面

原生動物：フズリナと有孔虫

炭酸塩堆積物中の生物化石

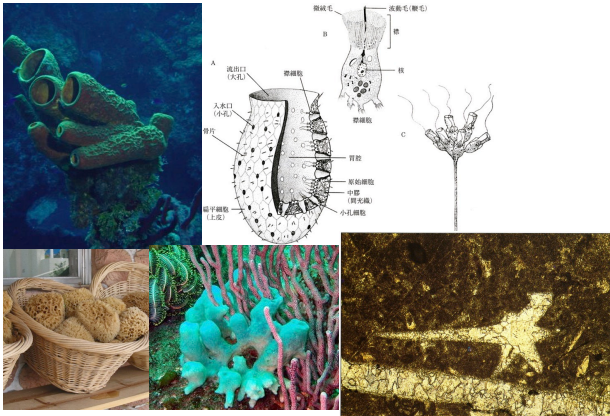


棘皮動物(ウニ)

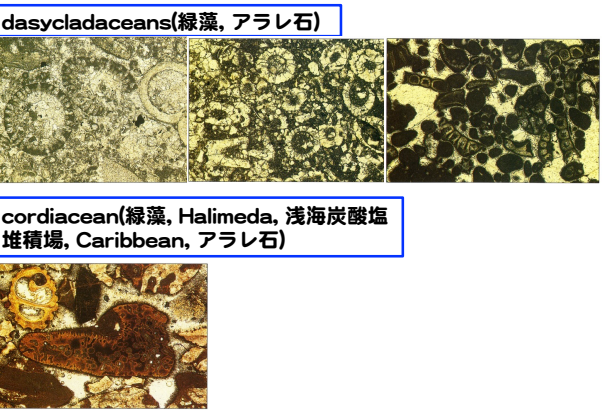
棘皮動物：ウミユリ

図 15 海ユリの復元図 (A. O. WOODFORD, 1965 年)

炭酸塩堆積物中の生物化石(海綿動物)



炭酸塩堆積物中の生物化石(石灰藻)

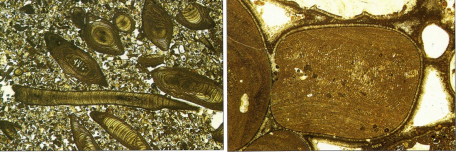


dasycladaceans(緑藻, アラレ石)

cordiacean(緑藻, Halimeda, 浅海炭酸塩堆積場, Caribbean, アラレ石)

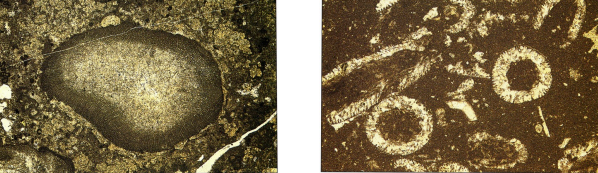
炭酸塩堆積物中の生物化石(石灰藻, 紅藻)

Corallinaceae (Coralline algae) サンゴモ, 高Mg方解石)



Solenporoid (高Mg方解石)

Gymnocodiaceans (アラレ石)

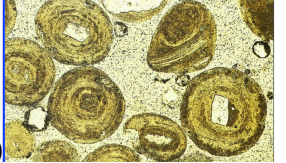


炭酸塩堆積物・炭酸塩岩

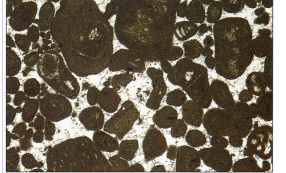
(3) 炭酸塩堆積物・炭酸塩岩の構成要素

① 粒子：生物骨格粒子と非生物骨格粒子

(i) 非生物骨格粒子
① **ウーイド(魚卵石)**
核とそれを取り囲む被殻(<2mm 径。>2mmは**ピソイド**)。海水よりも高塩分のごく浅海域で、波浪などによる回転により形成
ウーライト(ウーイドからなる岩石)



② **ペロイド**
石灰泥からなる内部構造を持たない楕円形ないし不定形粒子。①腕足類や節足動物などの糞が固結したペレット②穿孔性微生物によるミクライト化作用③ミクライト質のイントラクラスト(礫、波浪や穿孔などで生じる)



炭酸塩堆積物・炭酸塩岩

(i) 非生物骨格粒子

③ **イントラクラスト**

同一堆積盆または同一水域内で形成された炭酸塩堆積物が準同時的に浸食され堆積したもの。

→砂〜小礫サイズ、やや円磨。

→潮上帯(supratidal)〜潮間帯(intertidal)の炭酸塩岩に多い
→波浪や潮流による半固結底質の削剥、生物浸食、初期締成による堆積物の体積変化、潮上帯での乾裂などによる

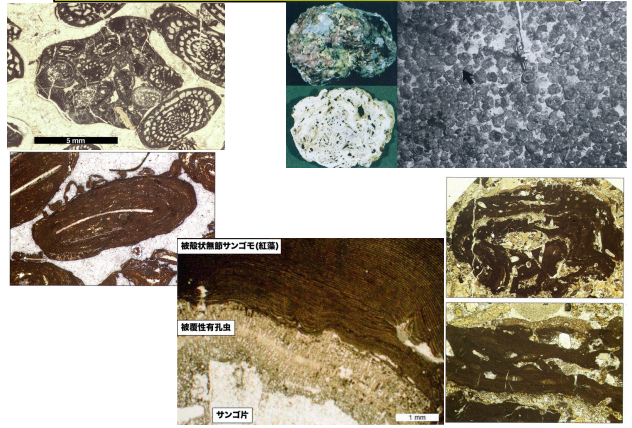
④ **その他の同心円状構造**

① **オンコイド**：シアノバクテリアによる被覆: ooidのように完全に球形でなく、また被覆も明瞭でない。

② **石灰藻球(rhodolith)**：無節サンゴモ

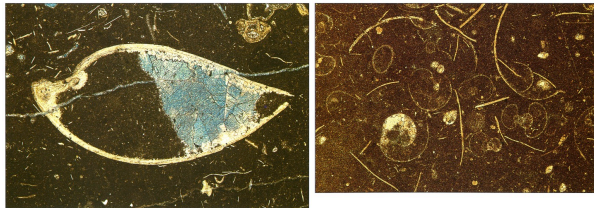
③ **有孔虫球(macroid)**

炭酸塩堆積物・炭酸塩岩



炭酸塩堆積物・炭酸塩岩

② **基質**：シルトサイズ(62μm)以下の石灰泥から構成



⇒ 4μm以下の微粒炭酸塩鉱物またはその岩石をミクライトと呼ばれる。

- ① 海水から無機・生物活動に誘引されて沈殿
- ② 生物骨格が細粒化
- ③ 細粒なセメントや土壌生成物

炭酸塩堆積物・炭酸塩岩

③ **セメント**：炭酸塩鉱物の溶解沈殿による。

⇒ **鉱物組成**：低Mg方解石, 高Mg方解石, アラレ石, ドロマイト, シセライト等。石こう (gypsum), 無水石こう (anhydrite), 石英

⇒ **結晶サイズ**：
● **マイクロスポー**, 4~10μM,
● **スポー**, >10μM

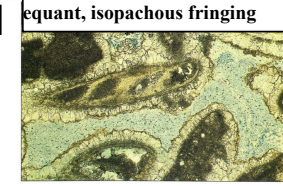
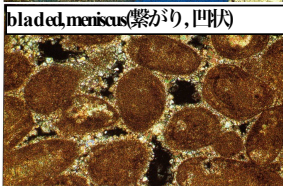
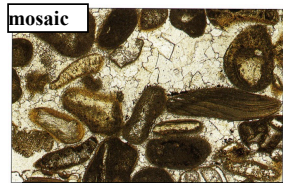
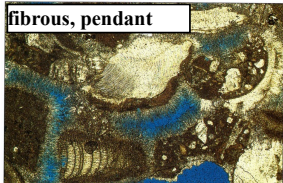
⇒ **産状**

⇒ **孔隙**：
締成過程で溶解作用により孔隙が形成されたり、セメントによって充填されたりする。

結晶形態	産状	成因(孔隙における間隙水の状態と締成段階)
equant (等粒状) (d<math> < 1.5 </math>)	等粒状 (等粒状)	孔隙中に空気が共存
bladed (片状) (1.5<math> < d </math>)	片状 (片状)	
fibrous (繊維状) (d<math> < 1 </math>)	繊維状 (繊維状)	孔隙中に水が満たす
euohedral (自形)	自形 (自形)	
subohedral (半自形)	半自形 (半自形)	地下深部に埋没
anhedral (他形)	他形 (他形)	
mosaic (モザイク組織)	モザイク組織 (モザイク組織)	
hypidiolitic	hypidiolitic (hypidiolitic)	
idiolitic	idiolitic (idiolitic)	
poikilolitic	poikilolitic (poikilolitic)	

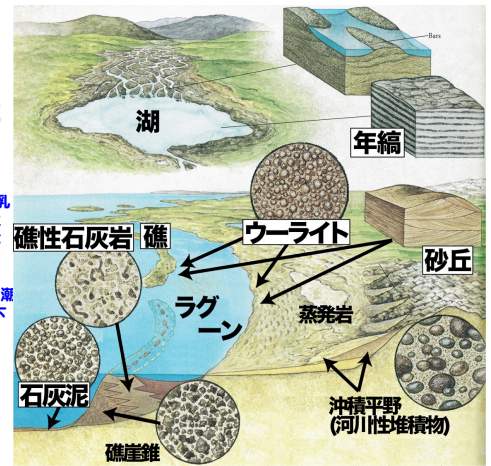
炭酸塩堆積物・炭酸塩岩

③ **セメント**：炭酸塩鉱物の溶解沈殿による。

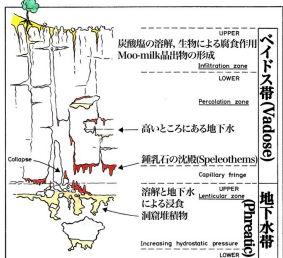
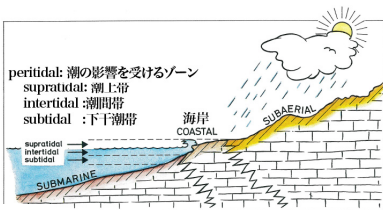


(1) **炭酸塩の堆積環境**

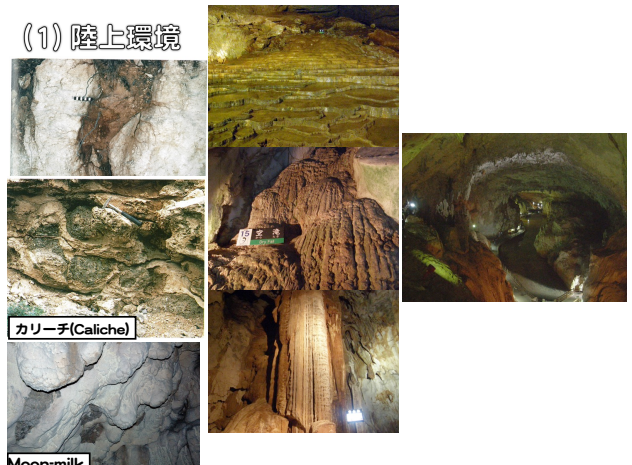
- (1) 陸上 (subaerial): 鍾乳洞、海岸の完全に波の影響を受けない所
- (2) 風成環境
- (3) Tidal zone: 潮上帯〜潮間帯〜下潮帯
- (4) 海洋
- (5) 陸棚(ラグーンなど)
- (6) リーフ(礁)
- (7) 大陸斜面
- (8) 海洋底



(1) **陸上環境**



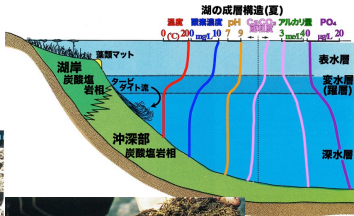
(1) **陸上環境**



(2) 湖沼環境

①湖岸炭酸塩岩相

淡水棲貝類や藻類



Charrophyte (Chara sp.) 乾燥質量で約50%のCaCO₃を含む

(2) 湖沼環境

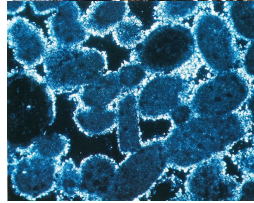
①湖岸炭酸塩岩相



Pisolite(>2mm) 藻類の殻の周りに発達したオンコイド



湖の組成により、ソーダ湖(Naに富み、アルカリ性)ではNaHCO₃やNa₂CO₃・2H₂Oが生じる



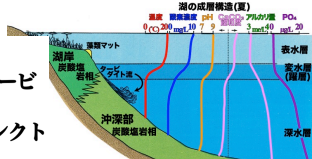
①湖岸炭酸塩岩相

アラレ石ミクライトを覆うアラレ石セメント

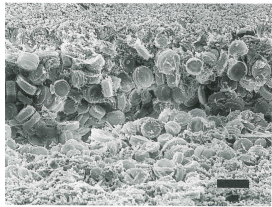
(2) 湖沼環境

②沖の深層炭酸塩岩相

- 多くは湖岸で生じた炭酸塩がタービダイト流として流入。
- ココリス, 緑藻など淡水性プランクトン(量的には少ない)



年縞 夏: 白層: 炭酸塩+珪藻 冬: 黒層: 有機物, clay



(4) peritidal(潮の影響のある所)環境

①supratidal (潮上帯)zone



①mudcrack & algae

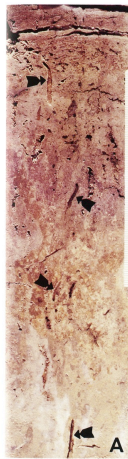
(4) peritidal(潮の影響のある所)環境

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

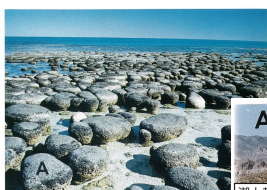
①supratidal (潮上帯)zone



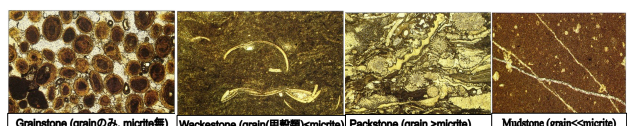
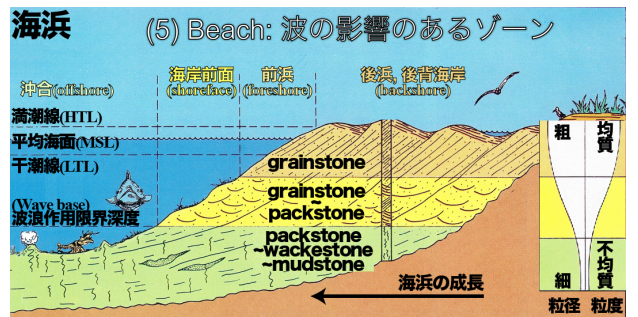
③極度の乾燥に伴いanhydrite(無水石膏, CaSO₄, 白)と石英+ドロマイト(CaMg(CO₃)₂)が生じる

(4) peritidal(潮の影響のある所)環境

①subtidal zone (下干潮帯)



潮上帯 下干潮帯 潮上帯



Grainstone (grainのみ, micrite無) Wackestone (grain(中程度)<micrite) Packstone (grain >micrite) Mudstone (grain<<micrite)

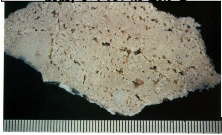
(5) Beach: 波の影響のあるゾーン



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

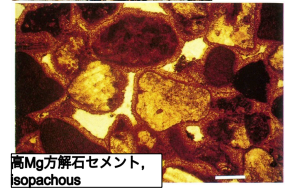
生痕化石, burrowing, 炭酸塩

(5) Beachの特徴

- ①堆積と同時に続成と浸食が起こる
- ②続成に關与する水溶液は海水

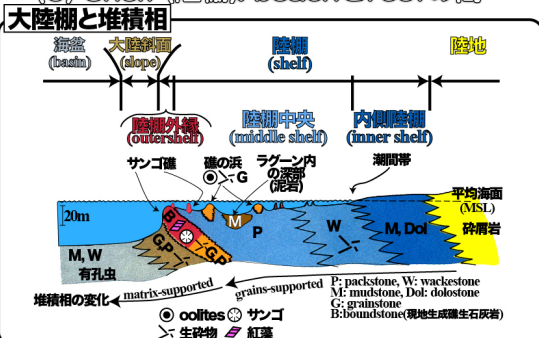


アラレ石のセメント, isopachous



高Mg方解石セメント, isopachous

(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



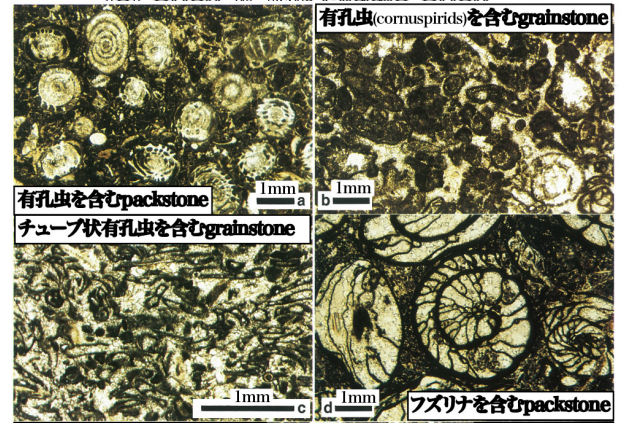
- Shelfの特徴**
- ①海進/海退の変化に敏感
→上方浅化
→モザイク状の堆積変化
 - ②burrowingが多く、貧酸素環境では葉理が保存

(6) Shelf (陸棚): Middle Shelf



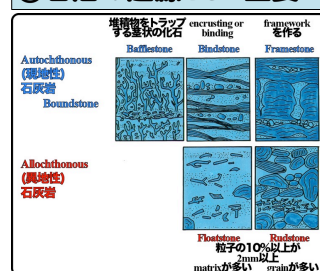
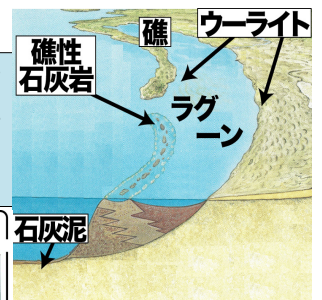
- Middle Shelfの特徴**
- ①10~100m深
 - ②塩濃度は海水的
 - ③酸素は多い
 - ④温度10~30℃
 - ①通常の海洋で生息する生物相(腕足, 二枚貝, 節足)
 - ②泥質炭酸塩が卓越
 - ③層の厚さの大きな変化
 - ④生物擾乱, burrowing

(6) Shelf (陸棚): Middle Shelf

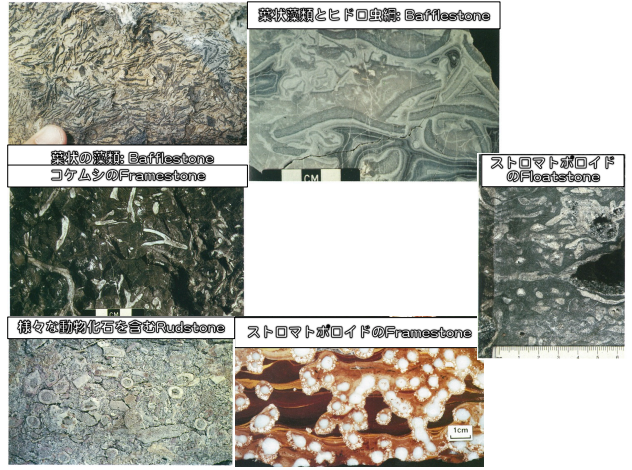
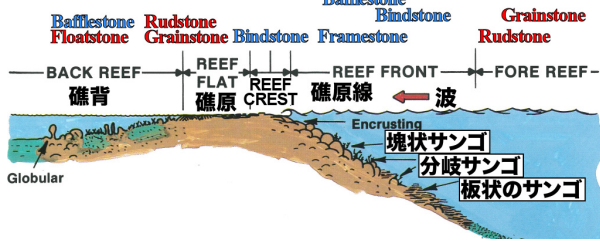


(7) Reef (礁)

- 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)



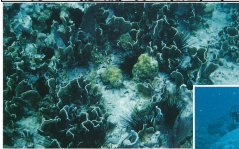
Acropora palmata (REEF CREST)



ハマサンゴ属(黄色, 白色部は死んだサンゴで石灰質に硬まっている(2m))



ハマサンゴ属(黄色)とヒドロ虫類(サンゴ群)が互レベル(深達約7m)

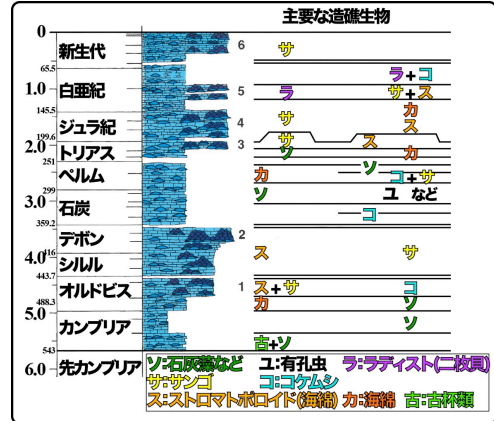


巨大サンゴ群

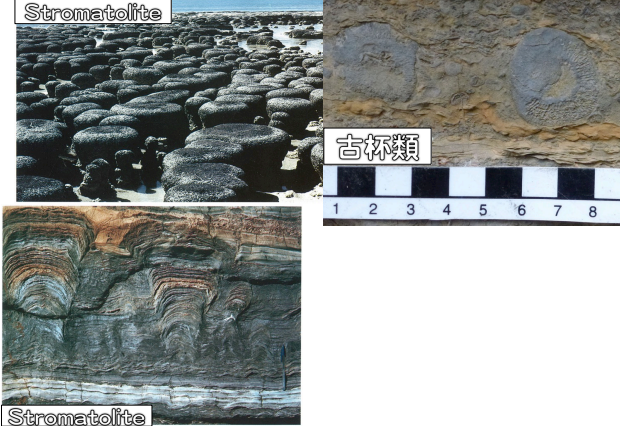


巨大単軸サンゴ群 (Montastraea cavernosa) (20m)

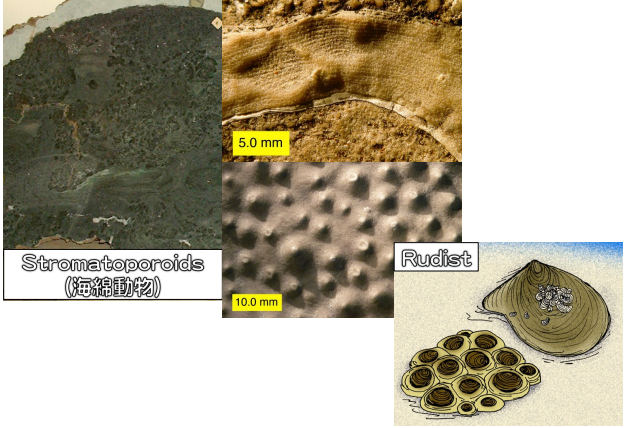
(7) 造礁動物の経年変化



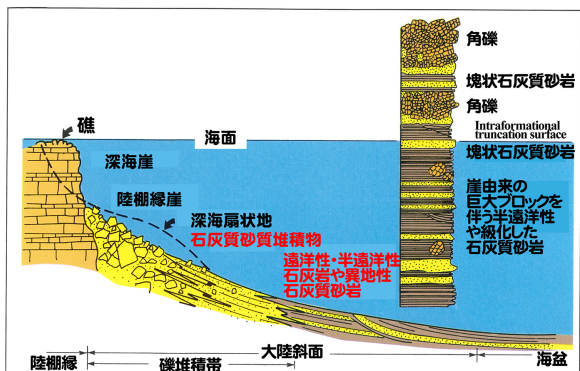
(7) 造礁動物の経年変化



(7) 造礁動物の経年変化



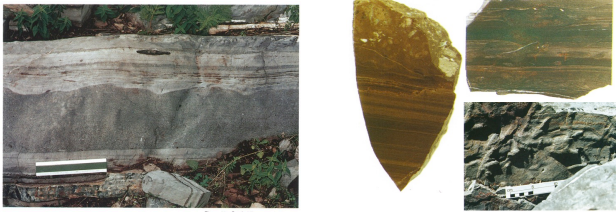
(9) Fore-reef slope



(9) Fore-reef slope

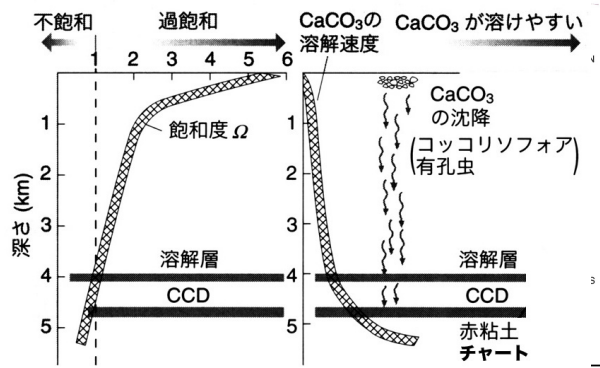


(9) Fore-reef slope



(11) Pelagic (遠洋性)

石灰石 CaCO₃ の飽和度 Ω



(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, CO₂, 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：

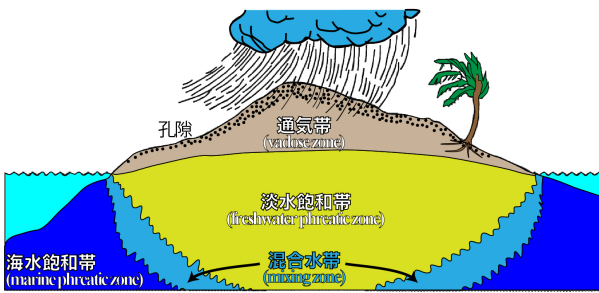
通気帯, 淡水飽和帯, 海水飽和帯

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。

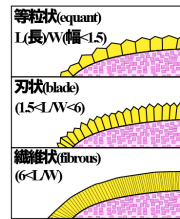
続成作用(近地表)



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

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

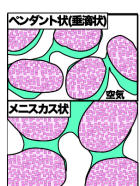
不等粒状モザイク組織

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

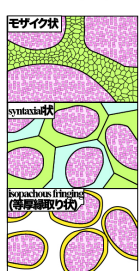
炭酸塩岩の組織

成因(空隙における間隙水の状態と続成段階)

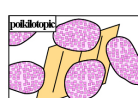
空隙中に空気と水が共存



空隙中に水が満たす

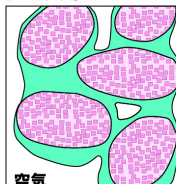


地下深部に埋没



続成作用(近地表)

淡水通気帯



溶解

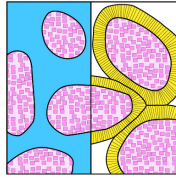
淡水(+土壤CO₂)による広範な溶解
アラシ石が選択的
空隙の形成

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

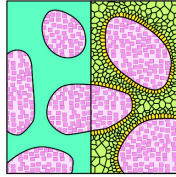
空気
メニスカス状に間隙水が存在

海水飽和帯



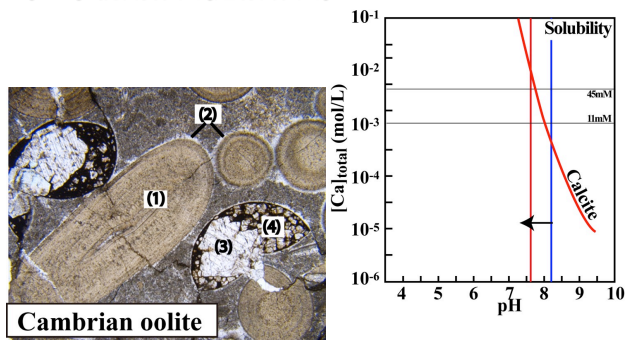
沈殿 (海水循環の良いところ)
 針状アラレ石セメント
 高Mg方解石
 孔隙が少ない
沈殿 (海水循環の悪いところ)
 バクテリアにコントロールされた膠結作用
 溶脱や粒子変質は欠如
 ミクライト化

淡水飽和帯

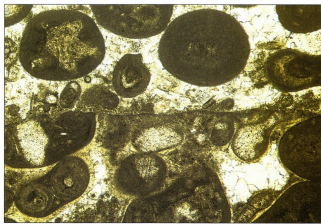


溶解
 淡水(+土壌CO₂)による広範な溶解
 アラレ石の溶解と低Mg方解石の晶出
 孔隙の形成
沈殿
 低Mg方解石セメント
 孔隙が少ない
 特に、間隙水循環が良い所では効果的。
 ⇨アラレ石が残存、孔隙の存在

(12) 続成作用(溶解作用)

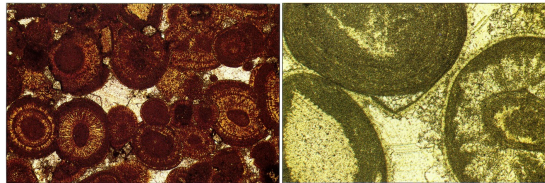


(12) 続成作用(セメント化作用)



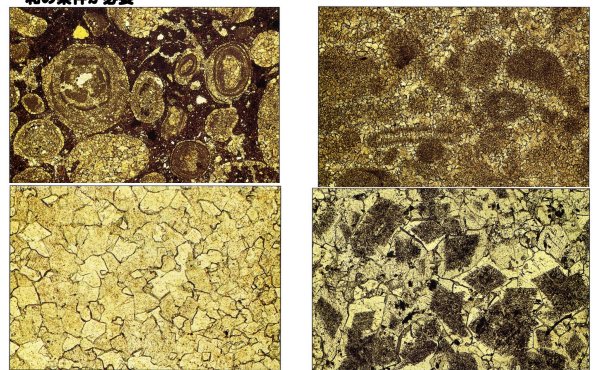
二段階セメント、中央の剖断面に注目
 ①下部は黄色のisopachousと粒間のsparが存在。前者は海洋で、後者は陸上で。
 ②上部は後者のみ→海洋で堆積、セメント1、露出・浸食、陸上(海浜?)で堆積、セメント2

(12) 続成作用(膠結作用)



(12) 続成作用(ドロマイト化作用)

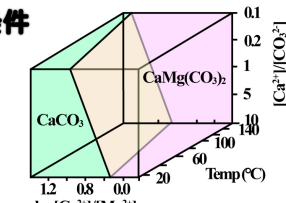
①炭酸塩晶出の原則: 飽和していても、晶出しやすい炭酸塩には順序がある
 方解石>アラゴナイト>ドロマイト
 →ドロマイトが晶出するには、ドロマイトに飽和、方解石・アラゴナイトに不飽和の条件が必要



(12) 続成作用(ドロマイト化作用)

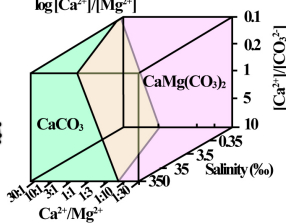
ドロマイト形成の一般的条件

- 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⁻)

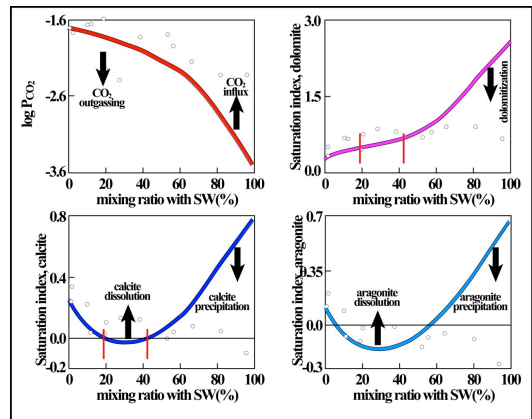


現在のドロストーン

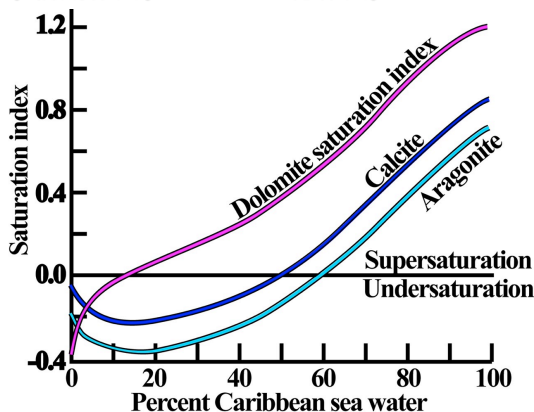
- ①高塩分濃度湖や乾燥帯 (Sabhka)
- ②非常に有機物に富む深海堆積物
- ③沖縄などのラグーン



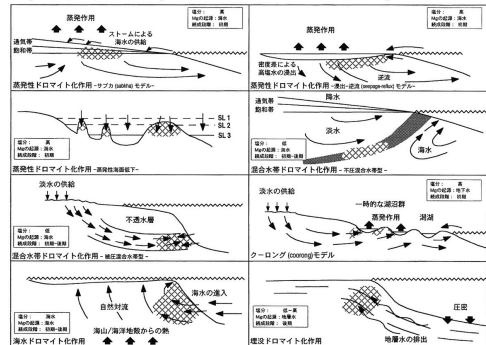
(12) 続成作用(ドロマイト化作用)



(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)



硫酸還元菌:
 $(CH_2O)_{100}(NH_3)_{16}H_3PO_4 + 53SO_4^{2-} \rightarrow 39CO_2 + 67HCO_3^- + 16NH_4^+ + HPO_4^{2-} + 53HS^- + 39H_2O$