

堆積学(夏学期, 水曜 2限(10:25~12:10))

蒸発岩と炭酸塩岩

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

堆積粒子: 堆積物や堆積岩を構成する粒子。
岩石片や鉱物、火山噴出物、生物の遺骸、流体の蒸発及び化学反応で晶出した粒子

堆積盆地(sedimentary basin):
堆積物がたままって存在する場所(特に盆地状構造でなくてもOK)

安定陸棚: 橋状地の周縁部で先カンブリア紀の基盤岩を不整合に覆う広大な浅海堆積物。
海進期→化石に富む浅海成の石灰岩や頁岩
海退期→石英質砂岩、蒸発岩、石灰層等
基盤が安定しているため、変形をあまり受けず、海水準変動に伴う平行不整合が形成され易い。

内陸盆地: 大陸地殻内に広域に生じる盆地状構造。その堆積物は一般には薄く(1500m以下、cf karoo盆地は約8000m)、風成、湖成、河川堆積物、石灰層、蒸発岩

蒸発岩: 蒸発作用によって生じる堆積岩

海水が蒸発すると:
アラレ石(CaCO₃)→石膏(CaSO₄・2H₂O)
→岩塩(NaCl)→硫酸マグネシウム(MgSO₄)

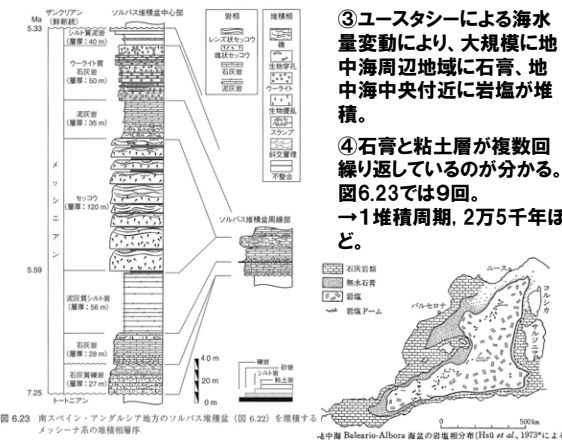
岩塩は透水性0・岩塩ドーム(低密度2.16)
→石油・天然ガスの集積
→地層処分や液体燃料の一次貯留

メッシンアン塩分危機:
①メッシンナ期(7.246±5-5.332±5Ma)、5.96Maに地中海が干上がったイベント
②地中海周辺国でみられる蒸発岩が形成



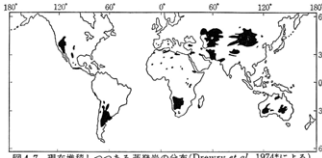
①アフリカプレートの北進とイベリア半島の東進に伴いジブラルタル弧が隆起
②また、①の運動に伴い、横ずれのベディック構造帯とリフ構造帯が形成。堆積盆が多く作られるとともに、ここから海水が流入。

図6.22 南地中海におけるメッシンナ期の古塩湖底(メッシンナ期)の位置。メッシンナ期に地中海が干上がった。メッシンナ期に地中海が干上がった。メッシンナ期に地中海が干上がった。メッシンナ期に地中海が干上がった。



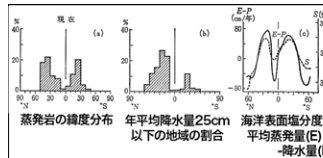
③ユースターシーによる海水量変動により、大規模に地中海周辺地域に石膏、地中海中央付近に岩塩が堆積。
④石膏と粘土層が複数回繰り返しているのが分かる。図6.23では9回。
→1堆積周期、2万5千年ほど。

蒸発岩の形成場



①安定大陸の中・低緯度地帯。赤道直下の10°以内を除く、南北50°内。年間降水量25cm以下
②降水量が極端に小さく、河川水の流入も少なく、蒸発量が降水量や流入量を上回る。

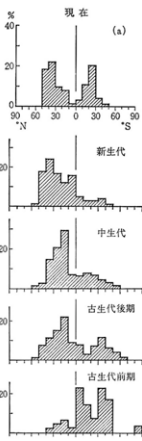
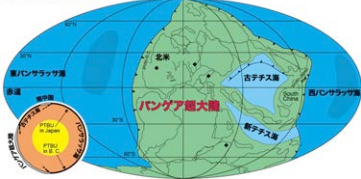
図4.7 現在堆積しつつある蒸発岩の分布(Drewry et al., 1994*)による



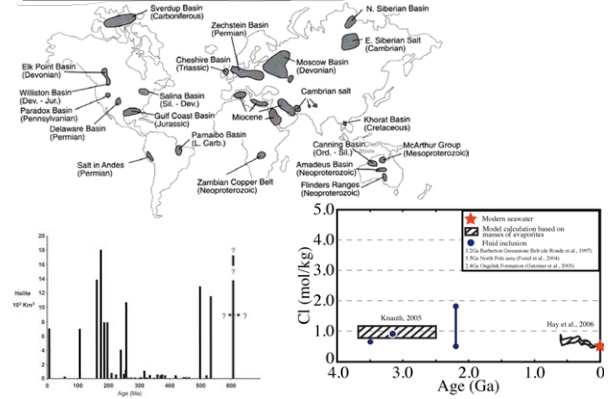
①安定大陸の中・低緯度地帯。赤道直下の10°以内を除く、南北50°内。年間降水量25cm以下
②降水量が極端に小さく、河川水の流入も少なく、蒸発量が降水量や流入量を上回る。
③海洋域では、海洋表面塩濃度の高い所に相当。

蒸発岩の形成場

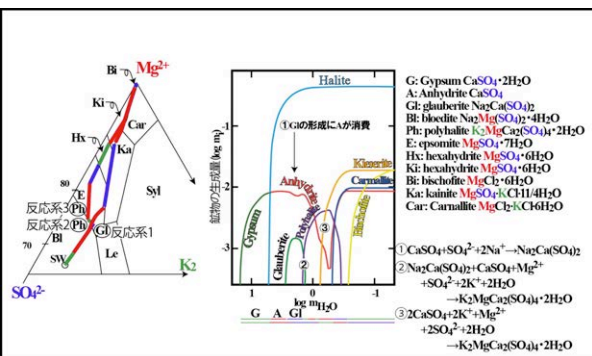
- ①古生代前期(カンブリア紀-石炭紀): 蒸発岩の発達が少ない時。南に偏っているが、大陸分布による。
- ②古生代後期~中生代中期(ペルム紀~ジュラ紀)
≡超大陸パンゲア(ローレンシア+ゴンドワナ大陸)
≡ペルム紀に、ローレンシア大陸中央部にNew Red Sandstone (UK)と呼ばれる砂漠堆積物が広がるとその東側には北と東から湾入したZechstein sea(浅海, ドイツ)
- ≡三疊紀中期~後期: 南~東から湾入した浅海域
- ③中生代後期~新生代(白亜紀~新生代)
南大西洋沿岸(白亜紀初頭のAptian)と地中海域(メッシンアン) 255 Ma, 後期ペルム紀



地球史とevaporite



地球史と蒸発岩



炭酸塩堆積物・炭酸塩岩

- (1) 炭酸塩堆積物・炭酸塩岩とは
≡構成鉱物の50%以上が炭酸塩鉱物からなる堆積物または堆積岩
≡多くの場合化石の集積体で、底生生物遺骸からなる原地性~準原地性のもが多い。異地性のもでも運搬距離は短く、パンクや海山状の石灰質堆積物が重力流として深海に流れ込んだ程度(石灰質タービダイト)
- (2) 炭酸塩岩の構成鉱物
- ①方解石(calcite, CaCO₃), アラレ石(aragonite, CaCO₃), ドロマイト(dolomite, CaMg(CO₃)₂)
 - ②シデライト(siderite, FeCO₃)
菱マンガン鉱(rhodochrosite, MnCO₃)
マグネサイト(magnesite, MgCO₃)
 - ③低Mg方解石(<4mol%MgCO₃)
高Mg方解石(>4mol%MgCO₃)

炭酸塩堆積物中の生物化石(石灰藻)

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, 紅藻)

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

Dasycladaceans (緑藻, アラレ石)

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

Solenoproid (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

(f) 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、波浪などによる転動により形成

ウーライト(ウーイドからなる岩石)

② ベロイド

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真が固結したベレット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)

(f) 非生物骨格粒子

③ イントラクラスト

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

→ 砂〜小礫サイズ、やや円底。

→ 潮上帯(supra tidal)〜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剝離、生物浸食、初期結成による堆積物の体積変化、潮上帯での乾裂などによる

炭酸塩堆積物・炭酸塩岩

④ その他の同心円状構造

① オンコイド: シアロ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)

② 基質: シルトサイズ(62 μm)以下の石灰泥から構成

⇒ 4 μm以下の微結炭酸塩鉱物またはその岩石をミクライトと呼ばれる。

① 海水から無機的・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, シデライト等。石こう(gypsum), 無水石膏(anhydrite), 石英

⇒ 結晶サイズ:

- マイクロスパー, 4~10 μm,
- スパー, >10 μm

⇒ 産状

⇒ 孔隙:

結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。

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。

fibrous, pendant

mosaic

bladed, meniscus(繋がり, 凹状)

equant, isopachous fringing

(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〜下干潮帯

(4) 海岸

(5) 陸棚(ラグーンなど)

(6) リーフ(礁)

(7) 大陸斜面

(8) 海洋底

湖

年縞

ウーライト

砂丘

蒸発岩

沖積平野(河川性堆積物)

礁

礁性石灰岩

礁

石灰泥

礁崖錐

(1) 陸上環境

peritidal: 潮の影響を受けるゾーン

supratidal: 潮上帯

intertidal: 潮間帯

subtidal: 下干潮帯

COASTAL

SEA MARSH

炭酸塩の溶解、生物による餌食作用

Moo-milk品出物の形成

Decalcification zone

高いところにある地下水

鍾乳石の沈殿(Speleothems)

溶解と地下水による浸食

鍾乳洞堆積物

Increasing hydrostatic pressure

シムズ(Shims)

ヴァドゼ(Vadose)

帯水層

Moonmilk

カリーチ(Caliche)

(2) 湖沼環境

① 湖岸炭酸塩岩相

淡水棲貝類や藻類

湖の成層構造(真)

0.00 200 mg/L 10 7 9 2 mg/L 40 mg/L 20

CO₂ PO₄

湖岸炭酸塩岩相

沖深部炭酸塩岩相

表水層

表水層(濁層)

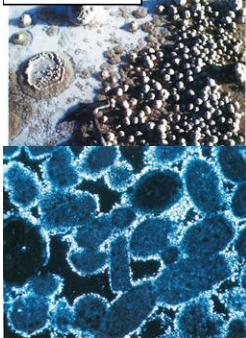
淡水層

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

1 CM

(2) 湖沼環境

Pisolite(>2mm)



藍足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



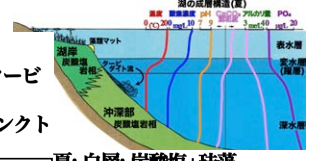
①湖岸炭酸塩岩相

アラレ石ミクライトを覆うアラレ石セメント

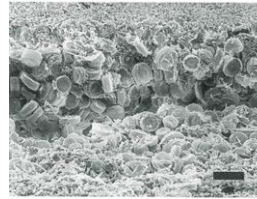
(2) 湖沼環境

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

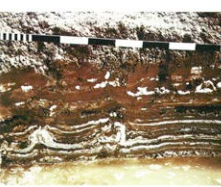


(4) peritidal(潮の影響のある所)環境

①supratidal (潮上帯) zone



①mudcrack & algae



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

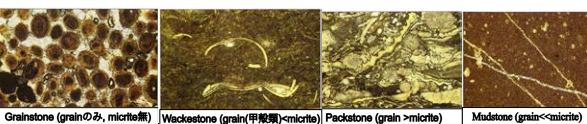
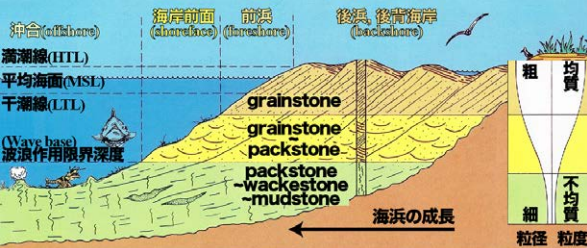
③極度の乾燥に伴いanhydrite(無水石膏, CaSO₄, 白)と石英+ドロマイト(CaMg(CO₃)₂)が生じる

(4) peritidal(潮の影響のある所)環境

①subtidal zone (下干潮帯)



海浜 (5) Beach: 波の影響のあるゾーン



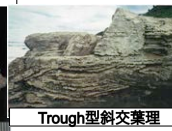
(5) Beach: 波の影響のあるゾーン



海側に斜交, 平衡葉理
Keystone: 空隙の多い石: 最上部の堆積物, 水やガスが抜ける



生痕化石, burrowing, 炭酸塩



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

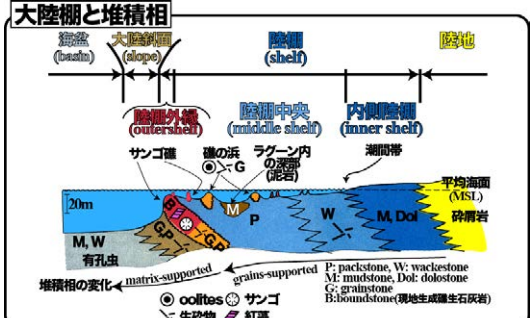


アラレ石のセメント, isopachous



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

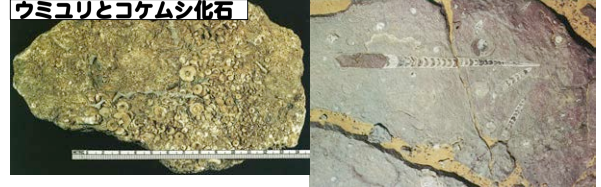
(6) Shelf (陸棚): 特にrestricted



Shelfの特徴

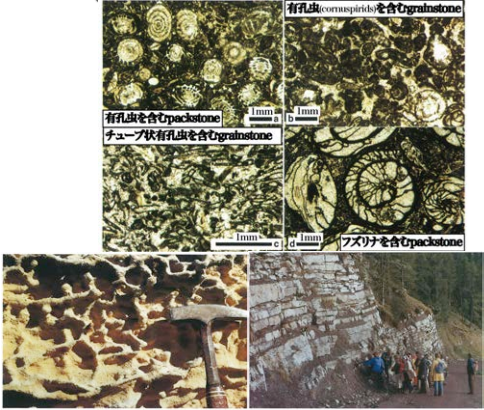
- ①海進/海退の変化に敏感
- 上方浅化
- モザイク状の堆積変化
- ②burrowingが多く、貧酸素環境では葉理が保存

(6) Shelf (陸棚): Middle Shelf



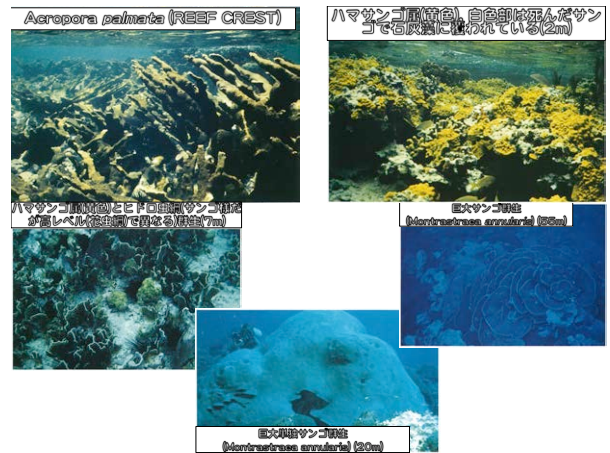
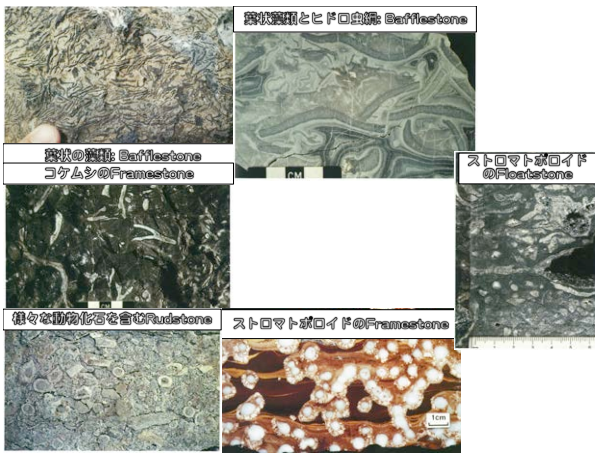
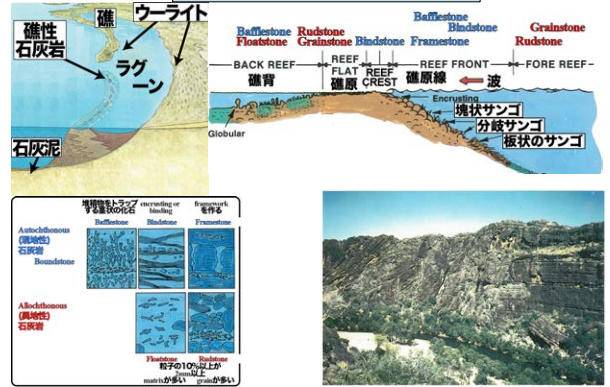
- Middle Shelfの特徴**
- ①10~100m深
 - ②塩濃度は海水的
 - ③酸素は多い
 - ④温度10~30°C
 - ①通常の海洋で生息する生物相(腕足, 二枚貝, 節足)
 - ②泥質炭酸塩が卓越
 - ③層の厚さの大きな変化
 - ④生物擾乱, burrowing

(6) Shelf (陸棚): Middle Shelf

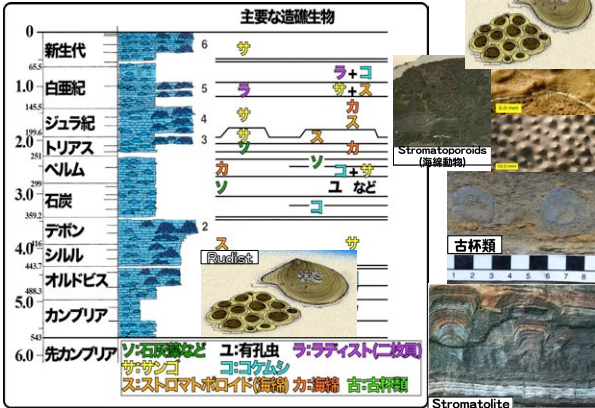


(7) Reef (礁)

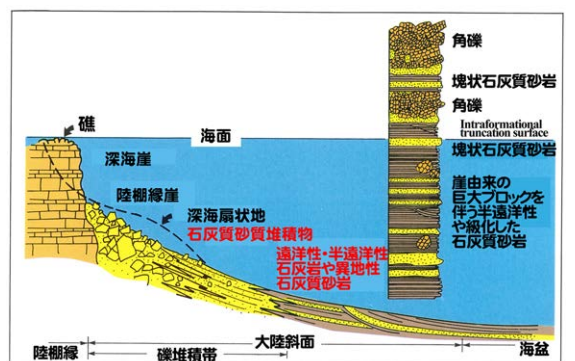
- ①生物によって形成された高まり。
- ②多くの炭酸塩骨格を作る生物が生息
- ③石油の起源として重要



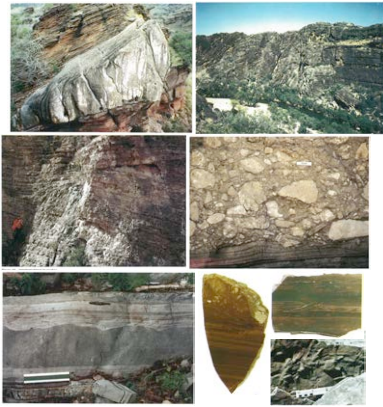
(7) 造礁動物の終年変化



(9) Fore-reef slope

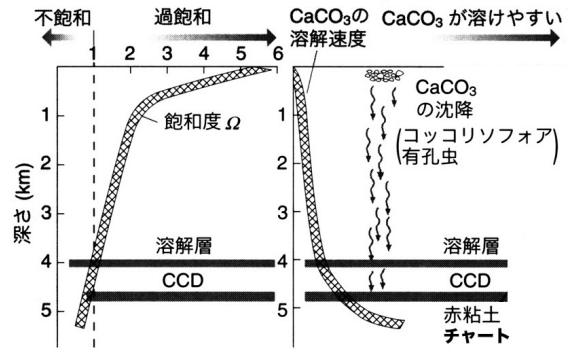


(9) Fore-reef slope



(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)などにより粒子間稠密(デュウミツ)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

続成作用: 埋没の深さ(温度・圧力)と間隙水の量と組成

- 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**
- 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。
- 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。

淡水通気帯

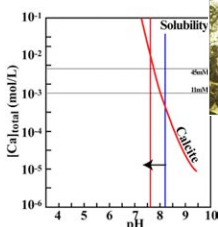
溶解
淡水(+土壌CO₂)による広範な溶解
アラレ石が選択的
孔縁の形成

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

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
孔縁が少ない
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
溶解や粒子変質は欠如
ミクライト化

海水飽和帯
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
孔縁の形成
沈殿
低Mg方解石セメント
孔縁が少ない
特に、間隙水循環が良い所では効果的。
→アラレ石が残存・孔縁の存在

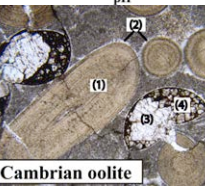
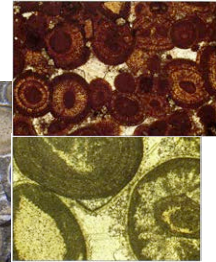
(12) 続成作用(溶解作用)



(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

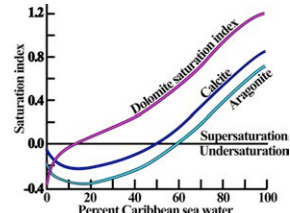
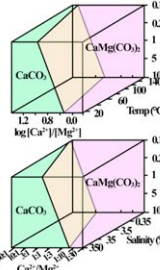
(12) 続成作用(膠結作用)



(12) 続成作用(ドロマイト化作用)

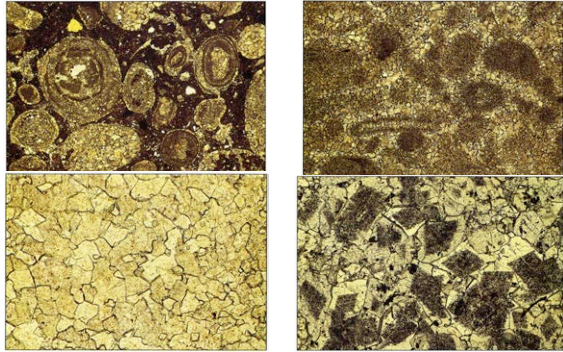
ドロマイト形成の一般的条件
①Mgの供給
②高温のCO₂
③高温水溶液
④高塩濃度
⑤硫酸根(SO₄²⁻)

現在のドロストーン
①高温分選度帯や乾燥帯(Sabha)
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)

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)

