

堆積学(夏学期, 水曜2限(10:30~12:00))

炭酸塩堆積物 1

4月11日	堆積学史、堆積粒子の起源
4月18日	風化・浸食・運搬過程
4月25日	碎屑性堆積物 (浅海成相)
5月 2日	碎屑性堆積物 (深海成相)
5月 9日	蒸発岩・化学沈殿岩
5月16日	堆積成鉱床
5月23日	河川成相
5月30日	風成相・氷河成相
6月 6日	炭酸塩堆積物 1 (基礎的なこと)
6月13日	炭酸塩堆積物 2 (堆積場と炭酸塩岩と続成作用)
6月20日	炭酸塩岩から過去を解読 (Proxyの話)
6月27日	碎屑岩の続成作用
7月 4日	予備日 (試験)

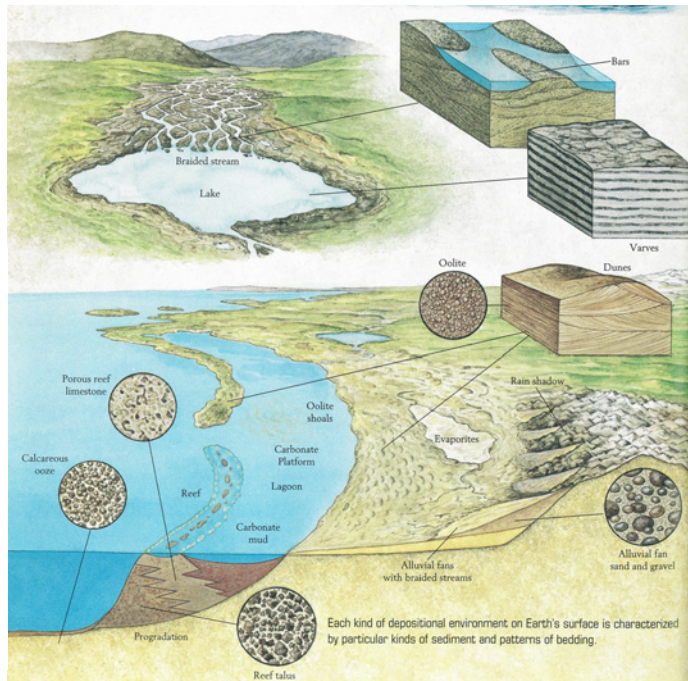
炭酸塩堆積物・炭酸塩岩

(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～準原地性のものが多い。異地性のものでも運搬距離は短く、バ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)

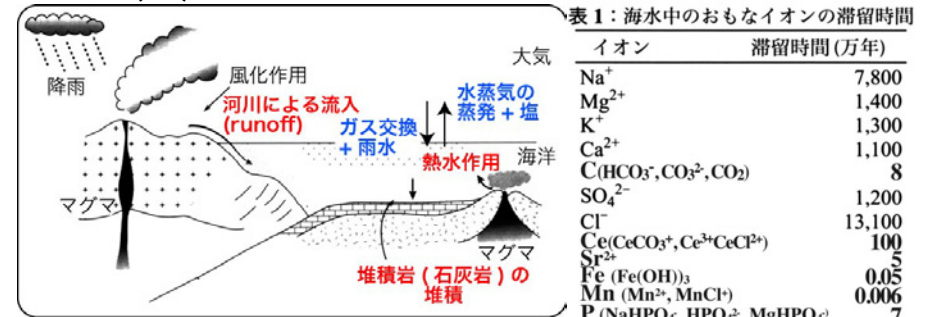
(2) 炭酸塩岩の構成鉱物

- ① 方解石(calcite, CaCO_3), アラレ石(aragonite, CaCO_3), ドロマイト(dolomite, $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$)
- ② シデライト(siderite, FeCO_3)
菱マンガン鉱(rhodochrosite, MnCO_3)
マグネサイト(magnesite, MgCO_3)
- ③ 低Mg方解石(<4mol%MgCO₃)
高Mg方解石(>4mol%MgCO₃)

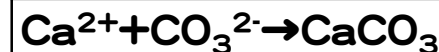


- (1) 陸上 (subaerial): 鍾乳洞、海岸の完全に波の影響を受けない所
- (2) 風成環境
- (3) Tidal zone: 潮上帯～潮間帯～下干潮帯
- (4) 海岸
- (5) 陸棚(ラグーンなど)
- (6) リーフ(礁)
- (7) 大陸斜面
- (8) 海洋底

(1) 海洋: 海洋への物質の流入・流出



- (1) 大陸地殻(河川による)の流入(浸食・風化・運搬) (river-in runoff)
- (2) 中央海嶺における熱水変質作用(hydrothermal alteration)
- (3) 堆積物(石灰岩・泥岩・チャート・Mnのジュール)の堆積
- (4) 大気とのガス交換や雨水による流入。蒸発



⑥ 生物ポンプと無機 (物理, アルカリ) ポンプまとめ

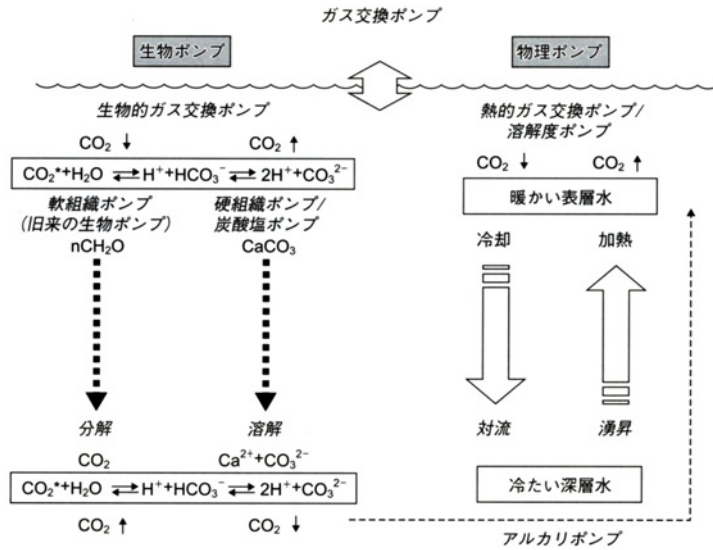
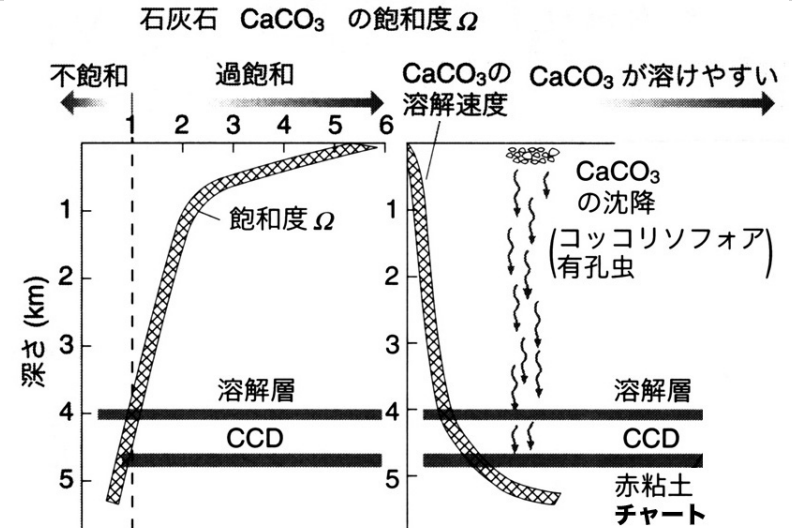
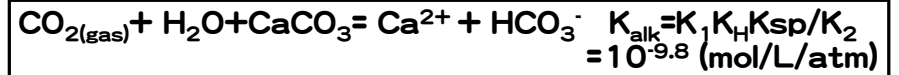


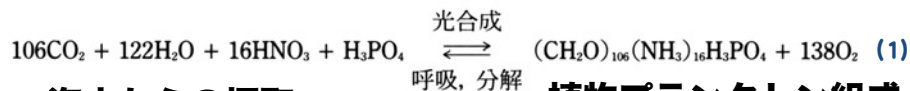
図 1.3.9 生物ポンプと物理ポンプのまとめ。

⑤ CaCO₃の溶解と水深



①-1 生物の化学組成と栄養塩濃度

(1) 植物プランクトンの元素組成比
C:N:P=106:16:1 (Redfield比)

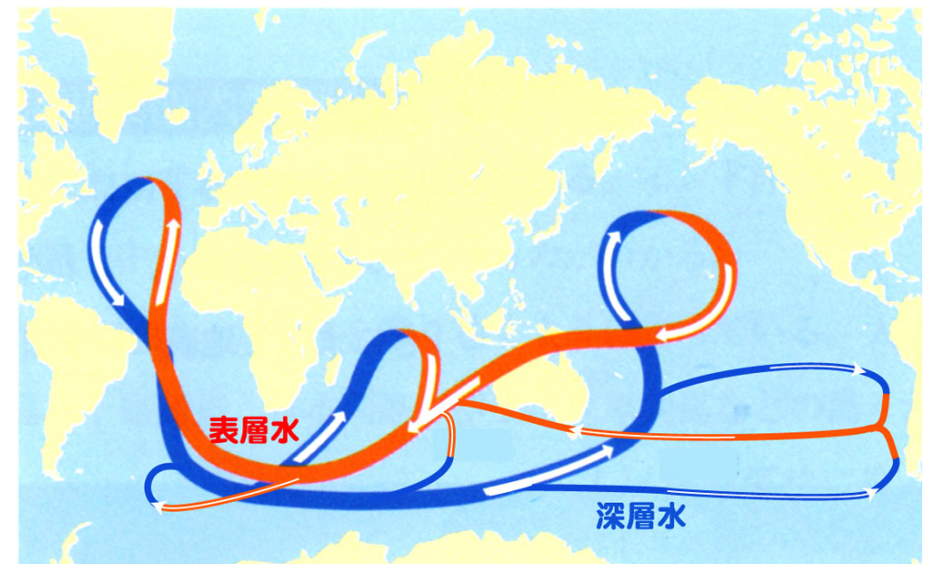


海水からの摂取

植物プランクトン組成

植物プランクトンの遺骸が沈降して、
分解され、深海にC, N, Pが運ばれる
→生物ポンプ1

②-2 海洋大循環(熱塩循環、Broeckerのベルトコンベアーモデル)

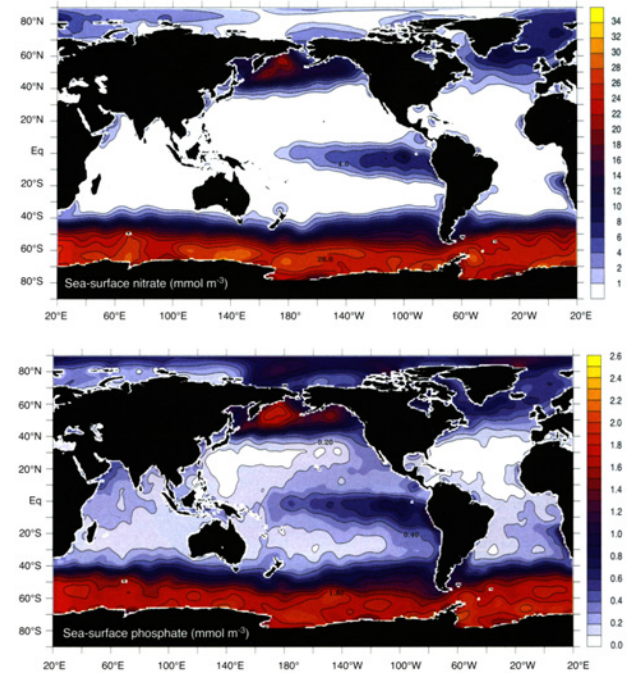


③-1 湧昇域

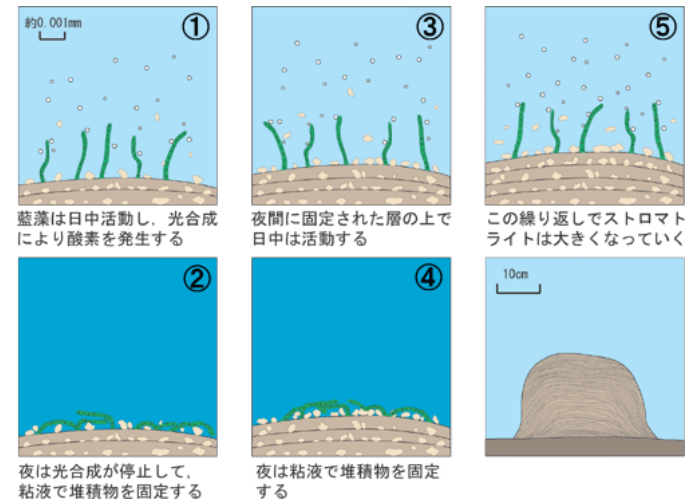


図 3.10 世界の海洋における湧昇域とサンゴ礁の分布

④ 海洋表層の 栄養塩の濃度 分布 2大重要栄養 塩(NO_3^- , P)



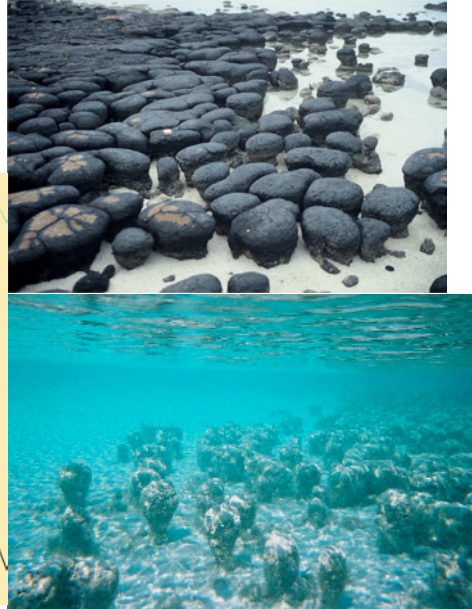
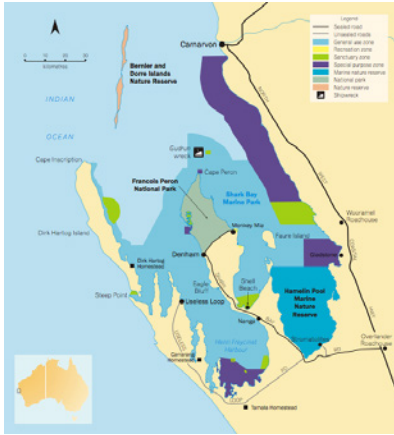
ストロマトライトの成長



酸素発生型光合成の開始と大気酸素の増加

現在の地球にある“太古”の海

(1) 高塩分濃度
—シアノバクテリア
ストロマトライト—



炭酸塩堆積物

(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) 生物骨格粒子・生碎物

(skeletal grain, bioclast)

→石灰藻類、造礁サンゴ、有孔虫、腕足動物、軟体動物、コケムシ等

→各生物のサイズ

→一般に炭酸塩堆積物は原地性～準原地性が多い(円磨度が低い、生物固有のサイズ、淘汰が悪い)

表 A-4-1 現世石灰質生物骨格の炭酸塩鉱物 (Flügel, 1982)

	AR	LMC	HMC	LMC + HMC	AR + LMC
シアノバクテリア	—	+	+	+	—
シアノバクテリア	—	+	+	+	—
ハプト藻	—	(+)	—	—	—
紅藻	—	—	—	—	(+)
サンゴモ	—	—	—	(+)	—
緑藻	—	+	—	—	—
ハリメダ	—	+	—	—	—
カサノリ	—	+	—	—	—
車輪藻	—	—	+	—	—
渦鞭毛藻	—	—	+	—	—
石灰渦鞭毛藻	—	+	+	+	+
有孔虫	+	—	—	—	—
海綿動物	—	+	+	+	—
石灰海綿類	—	+	+	+	—
硬骨海綿類	—	+	+	+	—
腔腸動物	—	+	+	+	—
ヒドロ虫類	—	+	+	+	—
八放サンゴ類	—	+	+	+	—
イシサンゴ類	—	+	+	+	—
コケムシ動物	—	—	+	—	+
腕足動物	—	—	+	—	—
軟体動物	—	—	+	—	—
多板類	—	+	—	—	—
掘足類	—	+	—	—	—
腹足類	—	—	+	—	(+)
前腕類	—	+	—	—	—
翼足類	—	+	—	—	—
斧足類	—	+	—	—	+
頭足類	—	+	—	(+)	—
環形動物	—	+	—	—	—
多毛類	—	+	—	—	—
節足動物	—	+	—	—	—
要脚類	—	+	—	—	—
十脚類	—	+	—	—	(+)
貝形類	—	+	—	(+)	(+)
棘皮動物	—	—	—	+	—
原索動物	—	—	—	—	—
被囊類	—	+	—	—	—
脊椎動物	—	—	—	—	—
魚類耳石	—	+	—	—	—

AR：あられ石 LMC：低 Mg 方解石 HMC：高 Mg 方解石

炭酸塩堆積物・炭酸塩岩

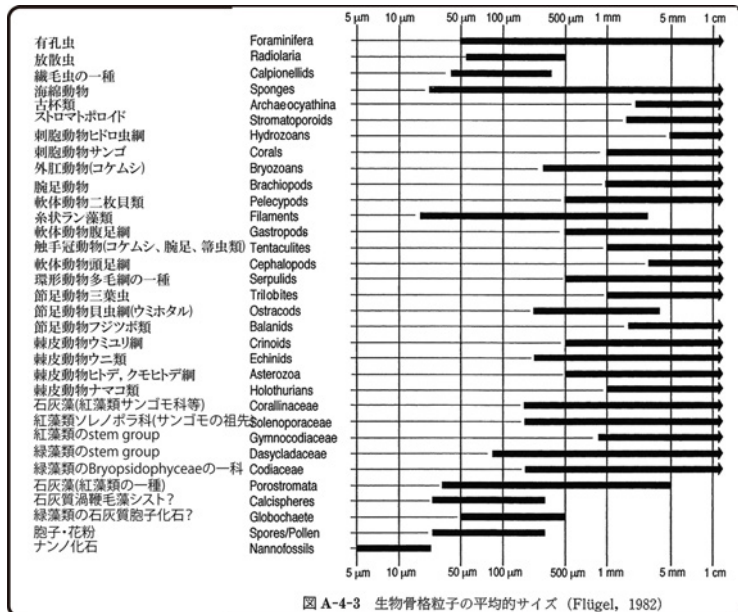


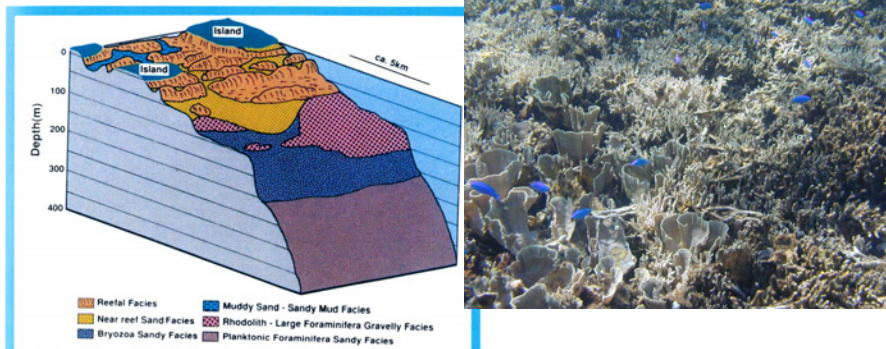
図 A-4-3 生物骨格粒子の平均的サイズ (Flügel, 1982)

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> (Corallinaceae 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>Cymposia</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	35.3	1.28~1.42	0.15~0.18
<i>Orbitolites</i> (底生)	*	34.6~36.0	2.57~3.63	0.89~0.91
<i>Globigerinoides</i> (浮遊性)	方解石		0.12~0.20	0.10~0.11
八放サンゴ類				
<i>Heliopora</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>Tubilipora</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>Crassostrea</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 方解石混在	38.0	0.35	0.057

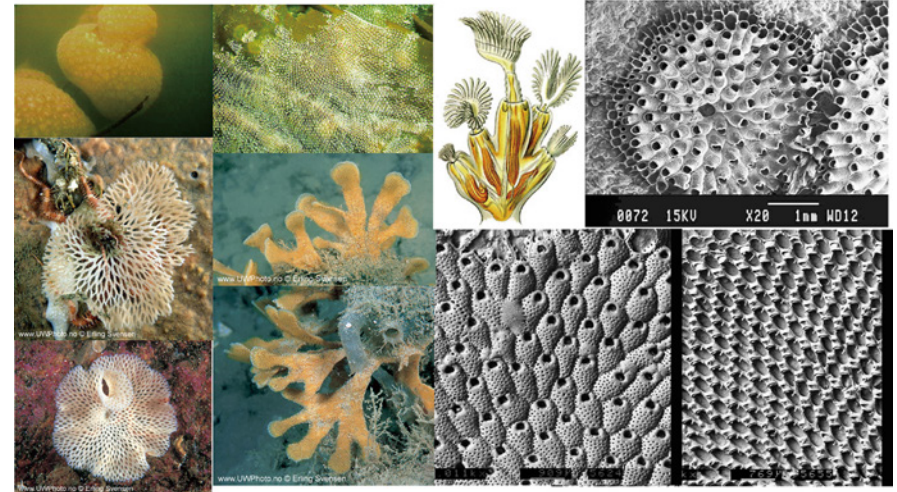
現世炭酸塩堆積物堆積相



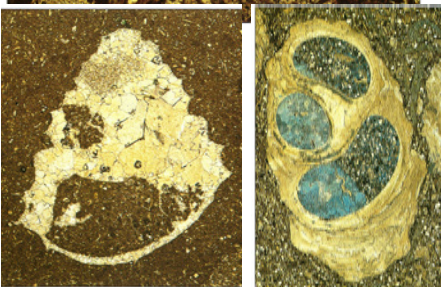
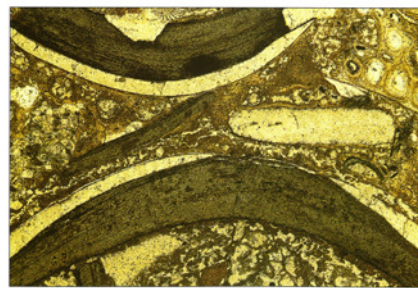
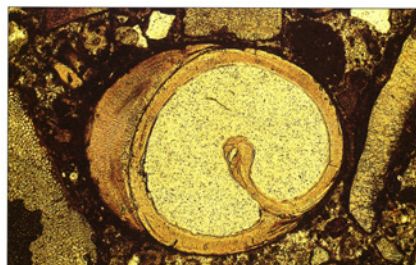
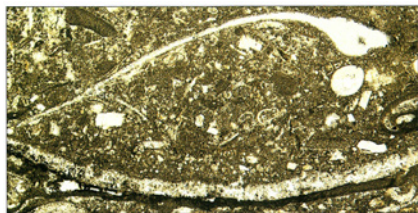
現世炭酸塩堆積モデル：琉球列島域の陸棚から陸棚斜面の大部分は炭酸塩堆積物に覆われる。特徴的構成生物骨格粒子とそれらの産状に基づく堆積相区分が行われ、サンゴ礁堆積相 (reef facies)、浅海性生物骨格砂堆積相 (near reef facies)、泥質砂堆積相 (sandy mud-muddy sand facies)、石灰藻球-大型有孔虫堆積相 (rhodolith-large foraminifera facies)、コケムシ質砂堆積相 (bryozoan sand facies)、浮遊性有孔虫堆積相 (planktonic foraminiferal sand facies) といった堆積相が識別されている。同海域では、潮汐流が琉球弧を乗り越えることに伴い、比較的大きな水深 (800m以上) まで高エネルギーの環境が存在し、特に外洋に面した水深150mまでの陸棚上では堆積物が礫質で且つ含泥率が低いことが明らかにされている。

現世炭酸塩堆積物堆積相

コケムシ (外肛動物, Bryozoa, CaCO_3 の外骨格を形成)



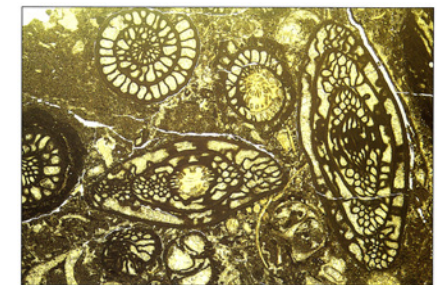
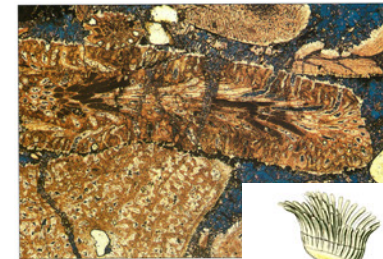
炭酸塩堆積物中の生物化石



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

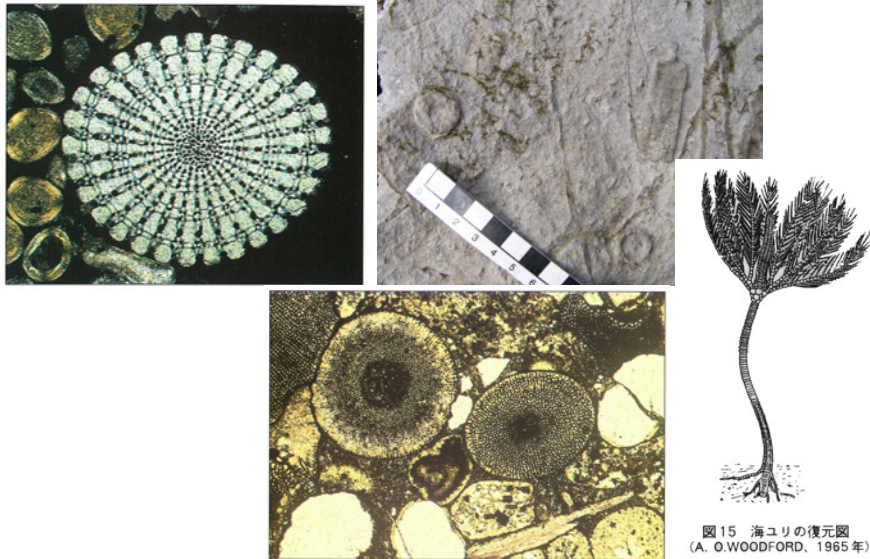
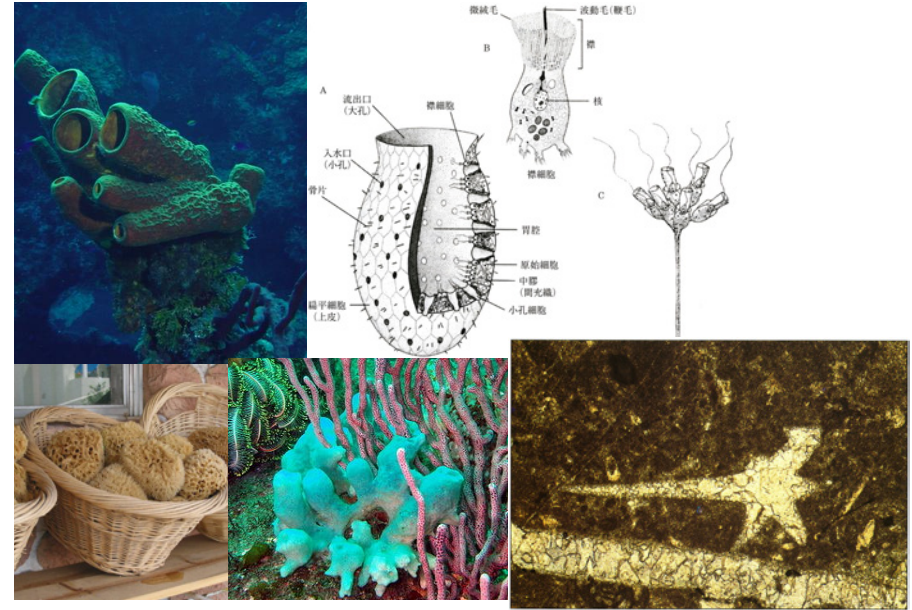


図15 海ユリの復元図
(A. O. WOODFORD, 1965年)

棘皮動物(ウニ)

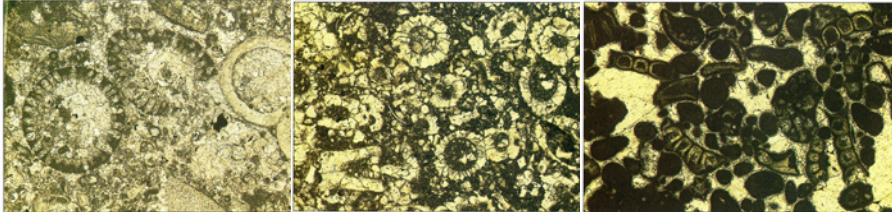
棘皮動物: ウミユリ

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)

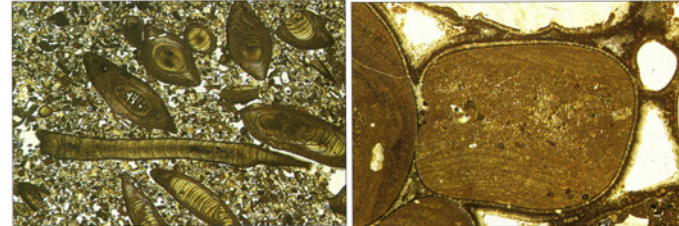


cordiacean(緑藻, Halimeda, 浅海炭酸塩堆積場, Caribbean, アラレ石)

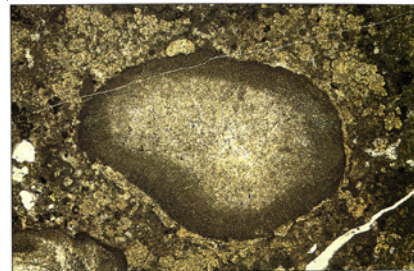


炭酸塩堆積物中の生物化石(石灰藻, 紅藻)

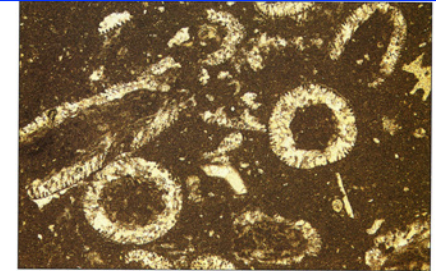
Corallinaceae (Coralline algae サングモ, 高Mg方解石)



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

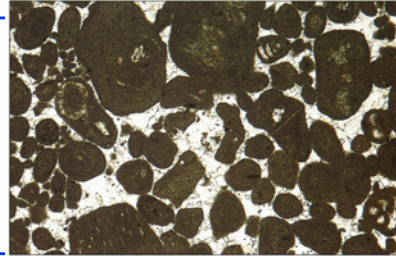
①ウーイド(魚卵石)

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、波浪などによる転動により形成
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



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、初期続成による堆積物の体積変化、潮上帯での乾裂などによる

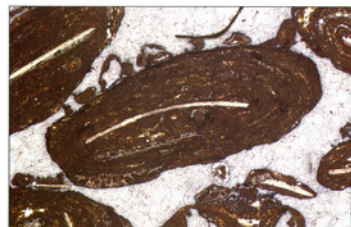
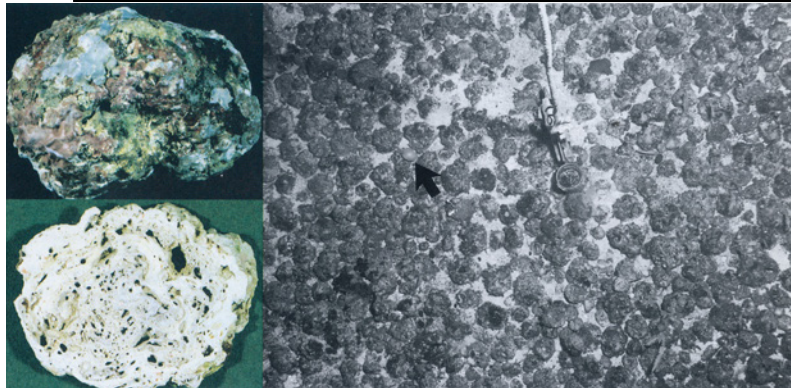
④その他の同心円状構造

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

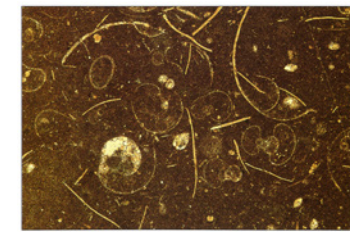
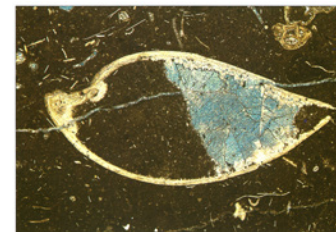
③有孔虫マクロイド(macroid)

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(62 μm)以下の石灰泥から構成



⇒4 μm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。

表 A-4-2 石灰泥の成因(沖村ほか, 1995 を一部修正)

海水からの沈殿 (automicrite)	1) 無機沈殿 2) 生物活動に誘導された沈殿
生物骨格起源 (allomicrite)	3) 微生物活動 4) 浮遊性生物の微小な石灰質殻 5) 骨格/硬組織の機械的細粒化 6) 骨格/硬組織の離解
二次生成物 (pseudomicrite)	7) 骨格/硬組織の生化学的細粒化 8) 隠微晶質膠結作用 9) 土壌生成物

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**：

●マイクロスパー,
4~10 μ M, ●スパー,
>10 μ M

⇒**産状**

⇒**孔隙**：
続成過程で溶解作用
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
equant (等粒状) ($LW < 1.5$)	pendant (垂鐘状)
bladed (刃状) ($1.5 < LW < 6$)	
fibrous (繊維状) ($6 < LW$)	meniscus (メニスカス状)
結晶形	
euohedral (自形) 鉱物固有の結晶面をもつ	mosaic (モザイク状)
subhedral (半自形) 鉱物固有の結晶面を一部もつ	
anhedral (他形) 鉱物固有の結晶面をもたない	syntaxial rim
モザイク組織	
等粒状モザイク組織 idiotopic 大多數の結晶が自形を示す	
hypidiotopic 大多數の結晶が半自形を示す	isochorous texture (等厚縁取り状)
xenotopic 大多數の結晶が他形を示す	
不連続状モザイク組織 porphyrotopic より粗粒の結晶が細粒モ ザイク組織中に存在する	poikilopic
poikilotopic 粗粒結晶がより細粒な結 晶を取り込んでいる	

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