

惑星地球科学 I (第7回目)

堆積作用と堆積岩

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

化学沈殿岩

縞状鉄鉱層、縞状Mn層、リン酸塩岩など
縞状鉄鉱層

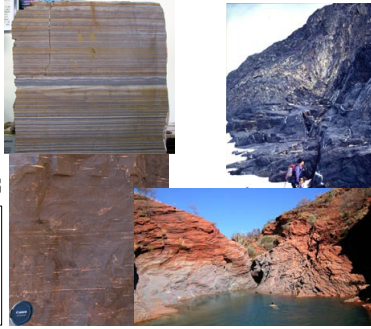
- ①アルゴマタイプ
- ②スペリオールタイプ

縞状鉄鉱層

18億年前以前
海水中に Fe^{2+} が溶存、その一部が酸化され、 Fe^{3+} になり、**沈殿(FeO(OH))**

縞状マンガ層

23億年前
海水中に Mn^{2+} が溶存、その一部が酸化されて、 Mn^{3+} または Mn^{4+} になり、**沈殿**



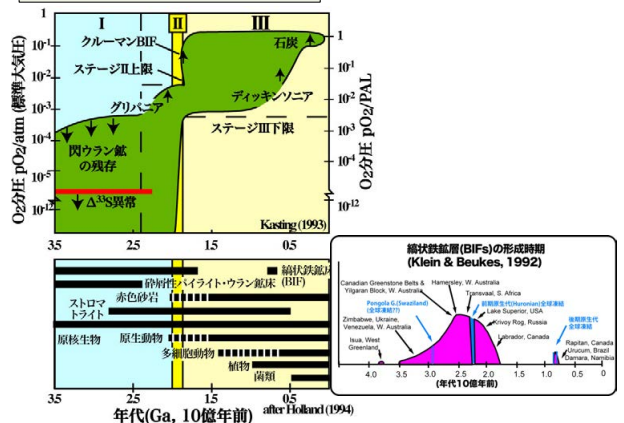
(1) 堆積岩の種類

- (1) **砕屑岩**～火成岩、変成岩、堆積岩などの既存の岩石の風化作用で形成された粘土鉱物や砂、岩片などが、水、氷、風などにより水中または陸上に堆積して形成された岩石。
- (2) **化学沈殿岩**～縞状鉄鉱層など。海水などから無機的に鉱物が晶出沈殿したもの。
- (3) **生物岩**～チャートや石灰岩など。生物の化石がたまつたもの。

(2) 続成作用

- (1) 堆積岩は堆積物が続成作用を受けて、固くなり形成される。
- (2) 続成作用。
圧密作用～堆積物が積もることで、圧迫され粒間の水が抜けて固くなる。
セメント化作用～ある程度、埋没した岩石は粒間の水から、無機的に方解石、ドロマイト、石英、カルセドニー、粘土鉱物などが沈殿してセメントする。
再結晶化作用～ある程度高温(100～150℃)になると、その温度圧力条件に適した鉱物が新たに晶出する。

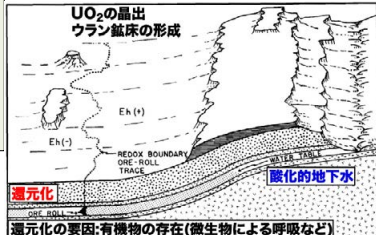
大気・海洋の酸素濃度の上昇



化学沈殿岩：ウラニナイト

UO₂の黒色の鉱物

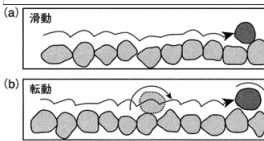
- Uについて
+3, +4, +5, +6が存在
①酸化的～少し酸化した状態
UO₂²⁺やU⁴⁺が最も安定
- ②還元的な状態
UO₂(uraninite)
- ③他の価数は不安定
3価はすぐに4価になってしまう。
5価はUO₂⁺をつくり、結局6価や4価になってしまう。



砕屑性堆積岩

(a) 浸食・風化

- ①侵食(erosion):
- 水流や風による直接の侵食
- 主に未固結堆積物
- ②摩耗食(Abrasion):
- 水流や風や水に運ばれる粒子との衝突・摩擦による侵食(基盤岩の機械的剥ぎ取り)
- 主に固結した岩石
- ③溶食(Corrosion):
- 化学的溶解による侵食
- 主に石灰岩



(b) 運搬1

- ①運搬(Sediment transport):
- 水流、風や水による移動
- 重力による移動
- ②浮遊(懸濁)物質(Suspended load):
- 水や大気中で浮遊した物質
- ③沈降(falling):
- ④掃流物質(Bedload):
- 底層で、転がったり、滑ったり、ジャンプしながら移動する物質

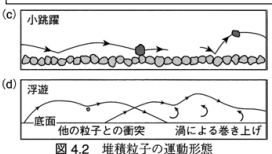
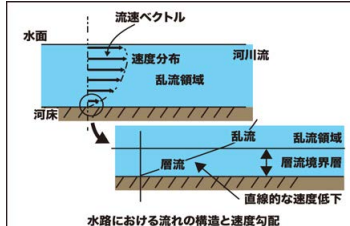


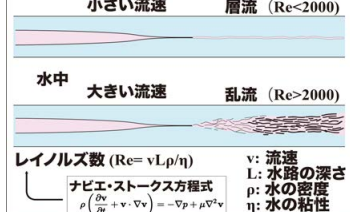
図4.2 堆積粒子の運動形態

水流の性質

水は粘性(viscosity: η)を持つ境界では、流速は0
境界付近では、速度勾配が出来る(境界層)



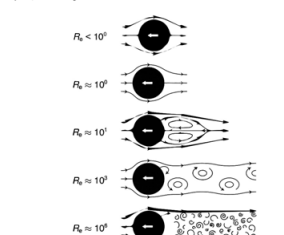
層流と乱流 レイノルズ数



運搬と沈降：水中での粒子の挙動

①水に粒子を落とすと、徐々に加速するが、ある時間が経つと、一定の速度に落ち着く。終端(沈降)速度(terminal velocity)

水(流体)と粒子の間に働く摩擦力(粘性に起因する抵抗力)が重力とバランスするから。



粒子: d
浮力: $\frac{\pi}{6} d^3 \rho_s g$
抵抗力: $C_D \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 \rho_f \frac{v^2}{2}$
重力: mg
 $\frac{\pi}{6} d^3 \rho_s g$

粒子の運動方程式
 $m \frac{dv}{dt} = mg - (f + b)$

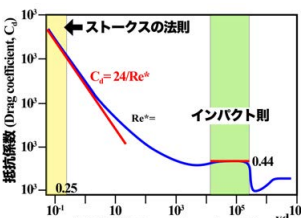
終端速度では
 $\frac{dv}{dt} = 0 = mg - (f + b)$
 $0 = \frac{\pi}{6} d^3 \rho_s g - \left(\frac{\pi}{6} d^3 \rho_s g + C_D \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 \rho_f \frac{v^2}{2} \right)$
 $0 = -\frac{\pi}{6} d^3 (\rho_s - \rho_f) g - C_D \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 \rho_f \frac{v^2}{2}$
 $v = \sqrt{\frac{4(\rho_s - \rho_f)gd}{3C_D \rho_f}}$

ニュートンの抵抗係数:
一定速度で流体中を運動する物体の受ける力は、その速度の二乗に比例する。

図4.9 粒子レイノルズ数(Re)と流体のまわりの流れ
粒子後における流れの状態はAllen(1985)を参考に表現。

運搬と沈降：水中での粒子の挙動

- ① 粒子が沈降によって乱れるとき：慣性の影響→レイノルズ数が大きいとき
- ② 粒子が水流を乱さずに静かに沈降するとき：粘性が支配→レイノルズ数が小さいとき



(1) 粒子が分數顆を乱さずに静かに沈降するとき
→粘性に対して慣性が非常に小さいとき

$$C_d = \frac{24}{Re} \quad \text{粒子レイノルズ数: } Re = \frac{vd}{\nu}$$

$$v = \frac{4(\rho_p - \rho_f)gd^2}{3\mu C_d}$$

$$= \frac{(\rho_p - \rho_f)gd^2}{18\eta}$$

$$r = C_d \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 \rho_p \frac{v^2}{2}$$

$$= \frac{24\pi}{d\nu} m \left(\frac{d^2}{2}\right) \rho_p \frac{v^2}{2}$$

$$= 3\pi\eta d v$$

ストークスの法則

→粘性に対して慣性が非常に小さいときの条件

- ① ゆっくり沈降
 - ② 粒子が小さい
 - ③ 粒子の後ろの部分がかき乱れる
 - ④ 粒子レイノルズ数が小さすぎる
 - ⑤ ゆっくり過ぎ
 - ⑥ 粒子が小さすぎ
- ブラウン運動が効いてくる

(2) 慣性の影響が顕在化

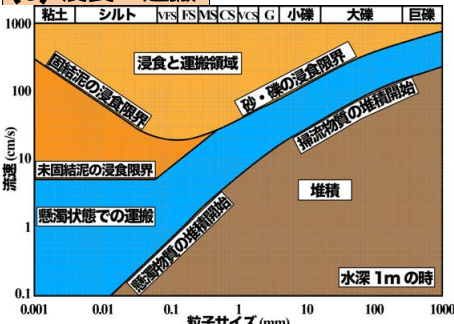
$$C_d = 0.44 \quad \text{粒子レイノルズ数: } Re = 10^3 \sim 3 \times 10^4$$

$$v = \frac{4(\rho_p - \rho_f)gd^2}{3\mu C_d}$$

$$= \frac{3(\rho_p - \rho_f)gd^2}{\mu}$$

インパクト則

(c) 浸食・運搬

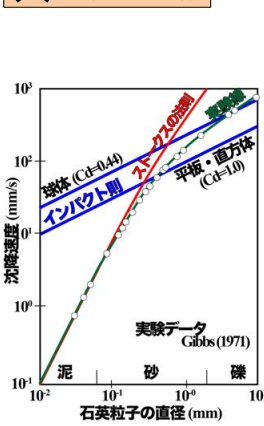


VFS: 極細砂
FS: 細砂
MS: 中砂
VCS: 極粗砂
CS: 粗砂
G: 粗礫

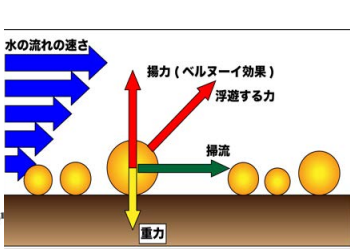
掃流物質: 底面上を移動する物質
懸濁物質: 浮遊して移動する物質

Hjulström-Sundborg (ユルストローム・スレドボリ) Diagram

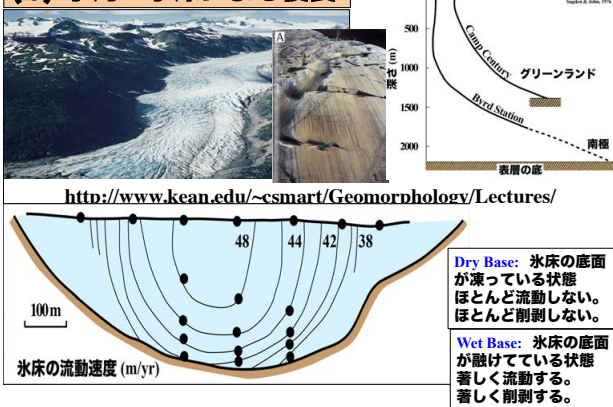
(b) 浸食・運搬



- ② 浮遊 (懸濁) 物質 (Suspended load):
- 水や大気中で浮遊した物質
- ④ 掃流物質 (Bedload):
- 底層で、転がったり、滑ったり、ジャンプしながら移動する物質
→ 物質が浮くためには



(b) 氷河・氷床による侵食

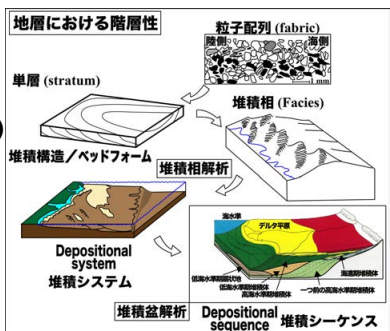


Dry Base: 氷床の底面が凍っている状態。ほとんど流動しない。ほとんど削剥しない。

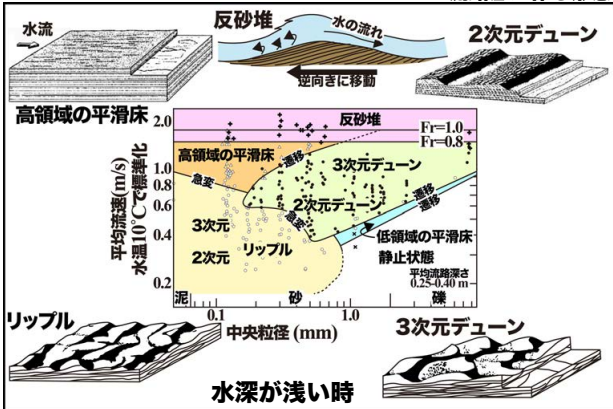
Wet Base: 氷床の底面が融けている状態。著しく流動する。著しく削剥する。

(c) 堆積：堆積構造と堆積相

- ① 地層の階層性
- ② 粒子の種類
- ③ 堆積構造と層理
- ④ 堆積構造
- ⑤ 堆積相
- ⑥ 堆積システム
- ⑦ 堆積シーケンス



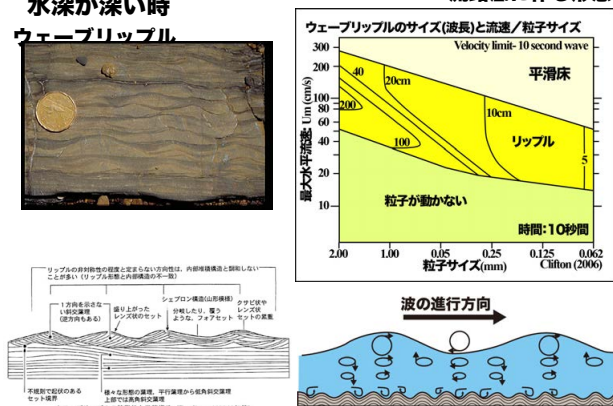
● ベッドフォーム: 移動する碎屑性粒子が河床や海底面などの流路底に作る形態



● ベッドフォーム: 移動する碎屑性粒子が河床や海底面などの流路底に作る形態



● ベッドフォーム: 移動する碎屑性粒子が河床や海底面などの流路底に作る形態



ハンモック状斜交層理

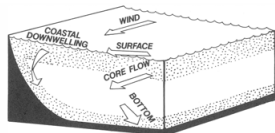
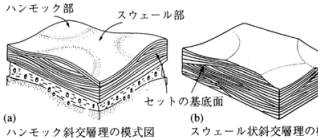
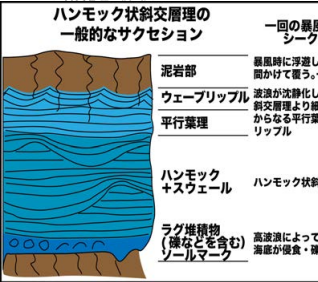


Fig. 4-8 複合流 (combined flow) のよくなる長距離流が発生する状況を示したモデル (Smith et al., 1983)
底層流より上層流を受け地層流 (geostrophic flow) となる場合があり、また海表面の波浪により長距離流となって沖へ向かう。



一回の暴風で生じる
シーグエンス

泥岩部 暴風時に浮遊していた泥が長時間かけて置く。+生物擾乱構造

ウェーブリップル 波浪が沈静化し、ハンモック状斜交層理より粗かな砂やシルトからなる平行葉理+ウェーブリップル

ハンモック+スウェール ハンモック状斜交層理が形成

ラグ堆積物 (礫などを含む) ソールマーク 高波浪によって顆粒流が生じ、海底が侵食・礫が堆積

ソールマーク(底痕)



水の流れ

河川系の種 ← 扇状地や海底扇状地の種

河川系種のファブリック fluvial fabric

再堆積物のファブリック reworked conglomerate fabric

扇状地や海底扇状地の種

インプリケーション

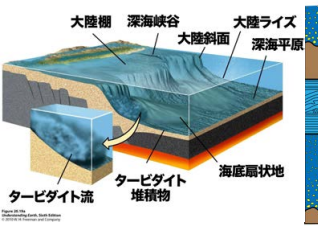
初生の堆積相を壊す構造

コンポリュート葉理・スランプ構造・火焔状構造

生痕

水の流れ

タービダイト



e: 頁岩

d: (低傾域) 平行葉理

c: ripples やコンポリュート葉理

b: (高傾域) 平行葉理

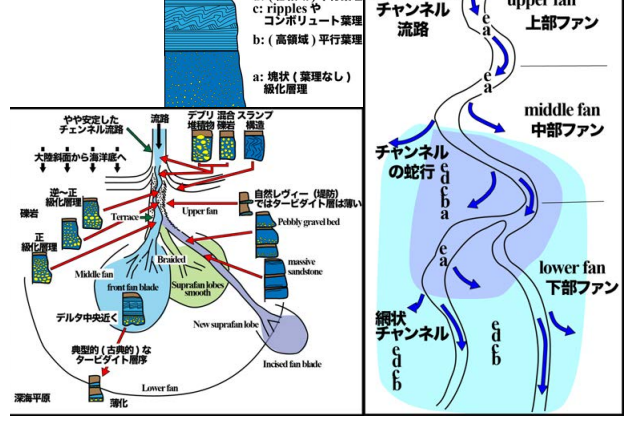
a: 焼状 (葉理なし) 燻化層理

懸濁流の終末期に海中に浮遊していた泥物質が長い時間をかけて沈積するが礫を含む。平行葉理が生じる

懸濁流速速度: 22-93km/h (600-2600cm/s)



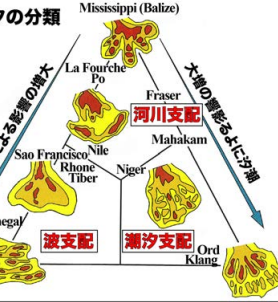
タービダイト



デルタ

堆積を制御する主要因が何かによる分類

- (1) Fluvial(River)-dominated e.g. Mississippi Delta
- (2) Wave-dominated e.g. Nile Delta
- (3) Tide-dominated e.g. Ganges-Brahmaputra



River-dominated Delta

- ①Microritidal (潮汐<2m)
- ②Gently sloping shelf (波のエネルギーが散逸)
- ③豊富な懸濁粒子の供給
- ④周囲に水に浸かった状態で良く発達した自然堤防 (levees)
- ⑤鳥の足状の形態
- ⑥頻繁な河道の移動
- ⑦堆積記録: チャンネル構造が良く発達。砂浜堆積物に乏しい。淘汰が良くない。

Nile River Delta

メキシコ湾

1. Sals-Cyprienot (4600年) 4. St. Bernard (2800-1000年) 7. Balize (550年) 10. 11. 12. 13. 14. 15. 16. 17. 18. 19. 20. 21. 22. 23. 24. 25. 26. 27. 28. 29. 30. 31. 32. 33. 34. 35. 36. 37. 38. 39. 40. 41. 42. 43. 44. 45. 46. 47. 48. 49. 50. 51. 52. 53. 54. 55. 56. 57. 58. 59. 60. 61. 62. 63. 64. 65. 66. 67. 68. 69. 70. 71. 72. 73. 74. 75. 76. 77. 78. 79. 80. 81. 82. 83. 84. 85. 86. 87. 88. 89. 90. 91. 92. 93. 94. 95. 96. 97. 98. 99. 100.

Wave-dominated Delta

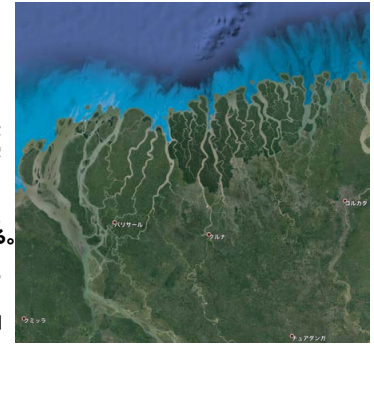
- ①Microritidal (潮汐<2m)
- ②自然堤防は発達しない。
- 波の影響が少なくとも水深数mまで及ぶ(河川が供給した堆積物は波により運搬)
- ③砂嘴(さし: spit)、砂洲 (sand bar)の形成
- 特に波が斜めに当たる場合、海岸線に沿った堆積物の側方輸送が起こる。
- ④河口近くに海岸線に沿った砂洲(mouth bar)の形成次第に砂浜へ変わる。
- ⑤堆積記録: 砂浜堆積物の発達。淘汰が良い。デルタ・フロント堆積物の斜交層理は海岸に沿った流れの方向が卓越。



Senegal Del

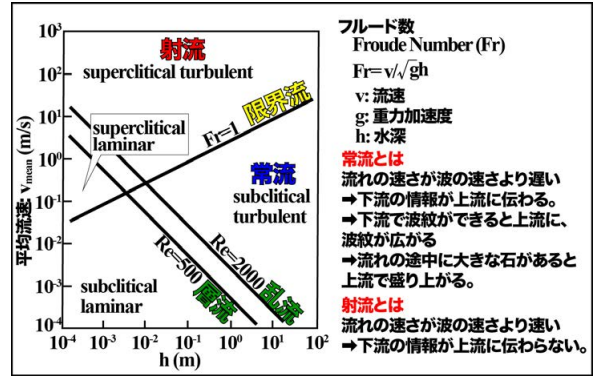
Tide-dominated Delta

- ①Macroritidal (潮汐>2m)
- ②デルタ上のチャンネルの奥まで潮汐の影響を受ける。
- 具体的には、逆転する潮流流、満潮時の流れの停滞など
- ③オーバーバンク部分は、少なくとも部分的に潮汐の影響を受け、泥質な低地となる。
- ④河口付近では、潮流流による侵食再堆積が起こり、海岸線に垂直な方向に砂洲が形成される。
- ⑤チャンネル内や砂洲に堆積した砂質堆積物の斜交層理が示す流れの方向が逆転が繰り返す、その間に泥質堆積物薄層 (mud drape) が挟まれる
- ⑥デルタが前進し、堆積物は、大局的には上方粗粒化を示す。



Ganges-Brahmaputra

フルード数



⑧ 堆積構造と層理

● 堆積構造の形成のタイミング

同生構造 (syngenetic):

初生構造 (primary), 準堆積時 (penecontemporaneous)

堆積後の構造

後生堆積構造 (epigenetic) or 二次的堆積構造 (secondary)

● ベッドフォーム: 移動する碎屑性粒子が河床や海底面などの
流路底に作る形態

例: リップル (ripples), デューン (dunes, 波長 > 60cm),

平滑床 (plane beds), 反砂堆 (はんざすい: antidunes)



(クライミング) リップル

デューン