

堆積学(夏学期, 水曜2限(10:25~12:10))

碎屑物の風化・浸食・運搬過程

堆積物と堆積岩

(1) 堆積物の形成

① 碎屑性堆積物

→(a) 風化・浸食

→(b) 運搬

→(c) 堆積

② 生物岩・化学沈殿岩

(2) 堆積岩の形成

→ 続成作用：堆積物を堆積岩へ。

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

(a) 風化・浸食

① 物理的風化(Physical weathering)過程  
破碎されて細粒な碎屑粒子に変化する  
→ 砕かれても、元の岩石と同じ物質・組成

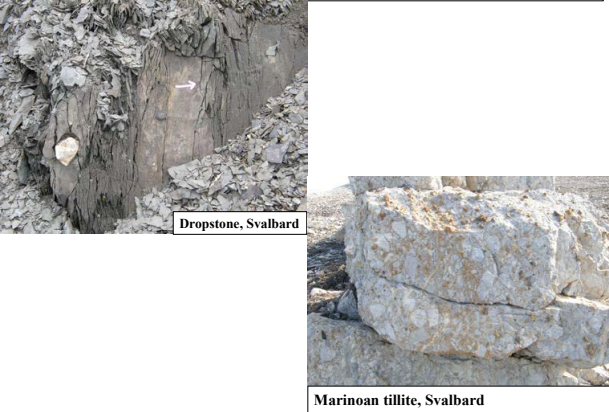
② 化学的風化(Chemical weathering)過程  
地表環境下で水と反応し安定な物質に変化する  
→ 水に溶解しやすい元素は失う  
→ Mg, Ca減少・Al, Kに富む粘土鉱物へ

① 岩石の物理風化

- ① 日射の変化による岩石の加熱—冷却に伴う構成鉱物の体積変化による割れ目の形成 (破碎)
- ② 岩石中に浸透した水の凍結—解凍の繰り返し(frost action)による割れ目の形成 (破碎)
- ③ 岩石中への塩水の浸透、乾燥による塩の析出の繰り返しによる割れ目の形成
- ④ 風や水流に運ばれた粒子との衝突による破碎、岩石を構成する鉱物粒子の剥離 (侵食)
- ⑤ 氷床底や断面面でのせん断応力による割れ目の形成 (破碎)、岩石を構成する鉱物粒子の剥離 (侵食)



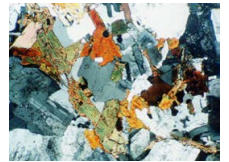
Svalbardと全球凍結堆積物



② 岩石の化学風化

(1) 化学風化のプロセス (反応式)

- ① 鉱物の酸化分解 (大気中に酸素があるため)
  - $2FeS_2 + 4H_2O + 7.5O_2 \rightarrow Fe_2O_3 + 4SO_4^{2-} + 8H^+$
  - $2Fe_3O_4 + 0.5O_2 \rightarrow 3Fe_2O_3$
  - $CH_2O + O_2 \rightarrow HCO_3^- + H^+$



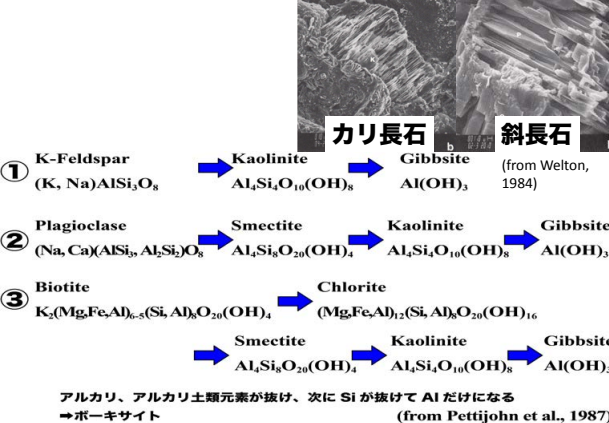
- ② 鉱物やガラスの溶解 (大気中にCO<sub>2</sub>があるため)
  - $CaCO_3 + H_2O + CO_2 \rightarrow Ca^{2+} + HCO_3^-$
  - $(Mg, Ca)SiO_3 + H_2O + 2H^+ \rightarrow (Mg, Ca)^{2+} + Si(OH)_4$

- ③ 鉱物やガラスの水和、加水分解
  - $2KAlSi_3O_8 + 2H^+ \rightarrow Al_2Si_2O_5(OH)_4 + 4SiO_2 + 2K^+$

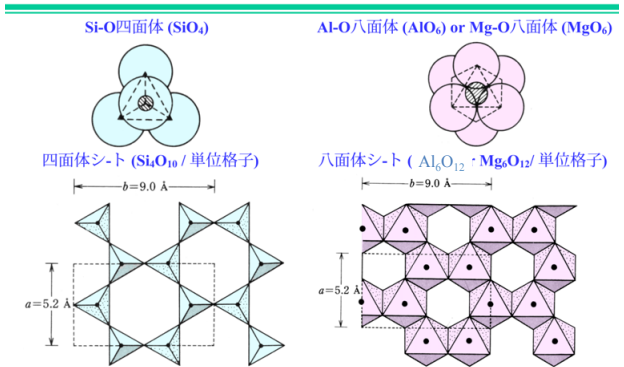
(2) 化学風化のプロセス (ミクロ)

- 裂隙に沿って、天水が浸透
- 天水は、酸素を溶かし込んでおり、高いEh環境でPyriteや有機物が酸化。それによりpHが下がり、風化が促進
- 天水は二酸化炭素も溶かしてあり、長石、雲母、角閃石などが酸により風化、変質して、粘土鉱物を形成 (例)
  - $2KAlSi_3O_8 + 2H^+ \rightarrow Al_2Si_2O_5(OH)_4 + 4SiO_2 + 2K^+$   
カリ長石                      カオリナイト
- 石英や比較的風化に強いCa長石が残る、残りは粘土化するの、浸食されやすくなる

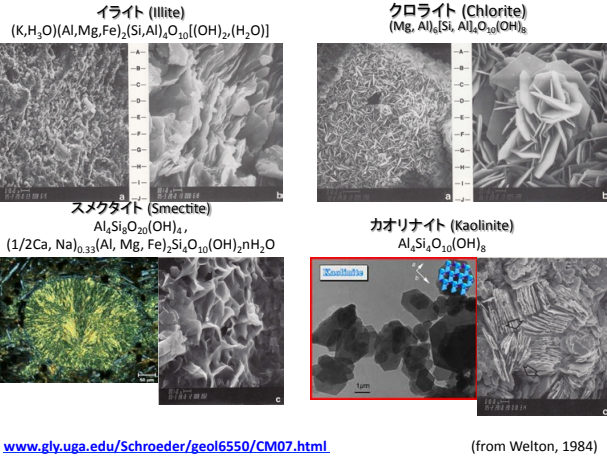
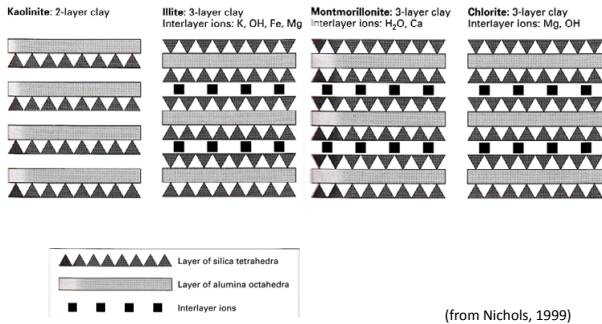
化学風化による長石の溶解



粘土鉱物の構造単位

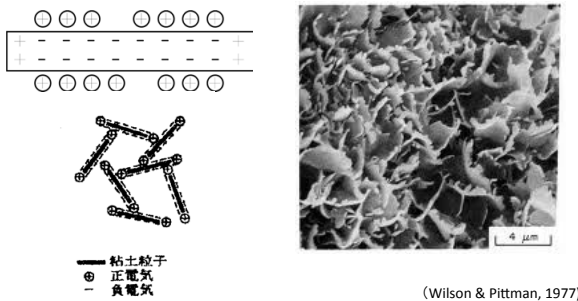


## 風化で生じる粘土鉱物

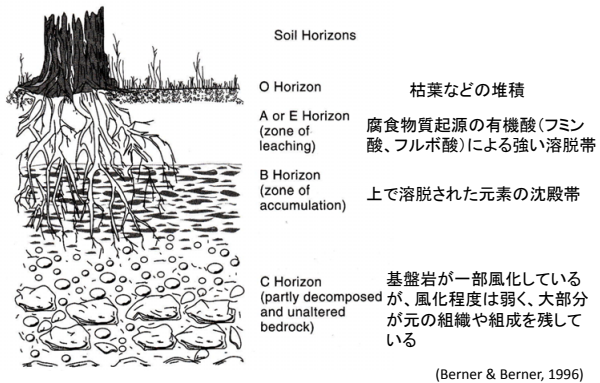


## 粘土鉱物粒子の特徴

- 大きさが数ミクロン以下と小さい。
- 薄い層状、板状の形態をしている。
- 表面が負に帯電することが多い。
- 比表面積が大きく、イオン吸着能力が高い

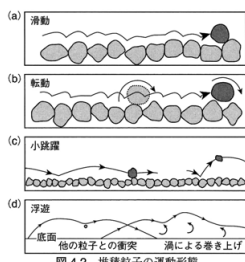


## 風化による土壌の形成



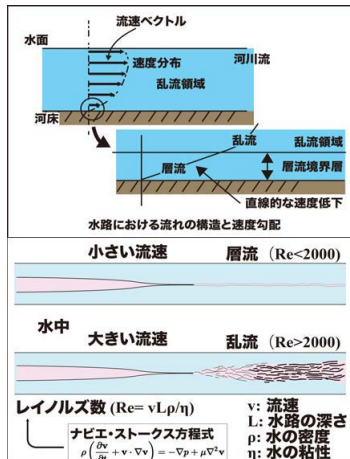
## (b) 浸食・運搬

- 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(基盤岩の機械的剥き取り)
  - 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
- 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):
- 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

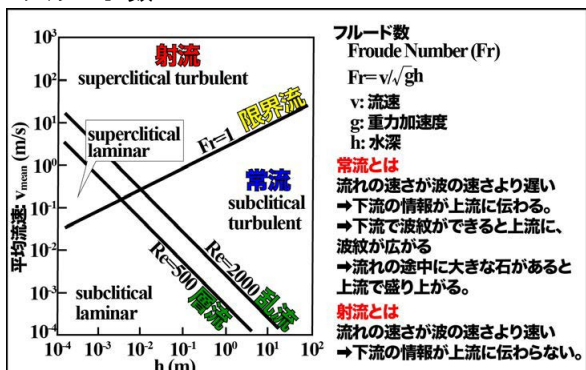


## 水流の性質

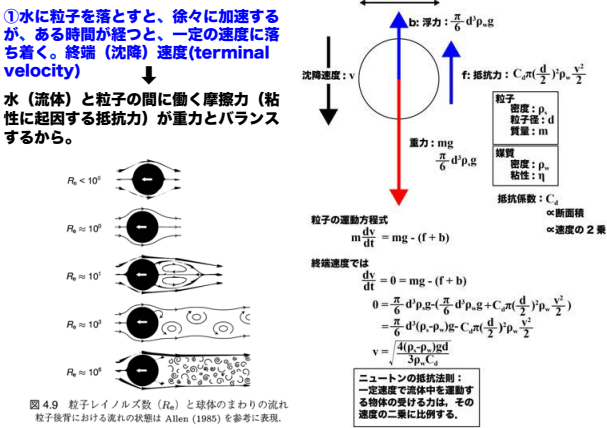
水は粘性(viscosity:  $\eta$ )を持つ境界では、流速は0  
 境界付近では、速度勾配が出来る  
 (境界層)



## フルード数



## 運搬と沈降：水中での粒子の挙動



**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

$$C_d = \frac{24}{Re^*} \quad \text{粒子レイノルズ数: } Re^* = \frac{vd}{\eta/\rho_w}$$

$$v = \sqrt{\frac{4(\rho_s - \rho_w)gd}{3\rho_w C_d}}$$

$$= \frac{(\rho_s - \rho_w)gd^2}{18\eta}$$

**ストークスの法則**

$$r = C_d m \left(\frac{v}{2}\right)^2 \rho_w \frac{v^2}{2}$$

$$= \frac{24\pi}{d^3} m \left(\frac{v}{2}\right)^2 \rho_w \frac{v^2}{2}$$

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

→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 粒子が小さい → 粒子の後ろの部分が乱れる
- ④ 粒子の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

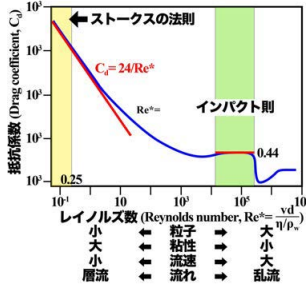
(2) 慣性の影響が顕在化

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

$$v = \sqrt{\frac{4(\rho_s - \rho_w)gd}{3\rho_w C_d}}$$

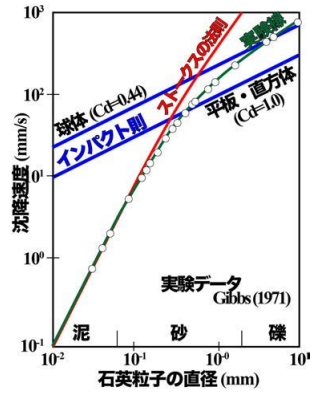
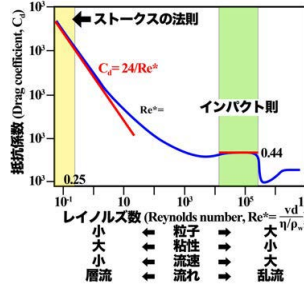
$$= \frac{\sqrt{3(\rho_s - \rho_w)gd}}{\rho_w}$$

**インバクト則**



**運搬と沈降：水中での粒子の挙動**

**乱流になると沈降しにくくなる**



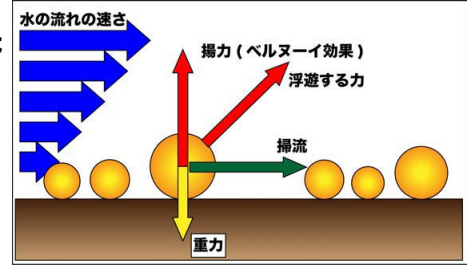
**少しまとめ**

- ① 水は粘性を持つため、境界付近 (<1mm) では速度勾配が出来、境界層が形成される。
- ② 流速がある閾値を超えると、乱流が形成される。
- ③ その閾値は、粘性、流速、溶液密度、水路の幅や深さ (あるいは粒径)、などによる。

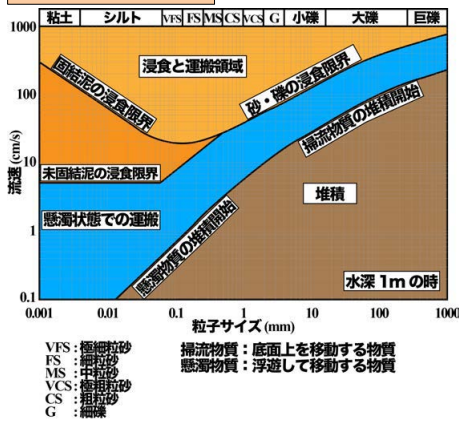
**(b) 浸食・運搬**

- 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

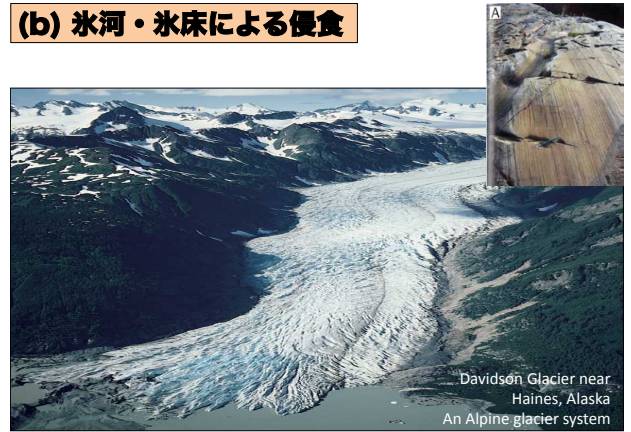
→物質が浮くためには



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

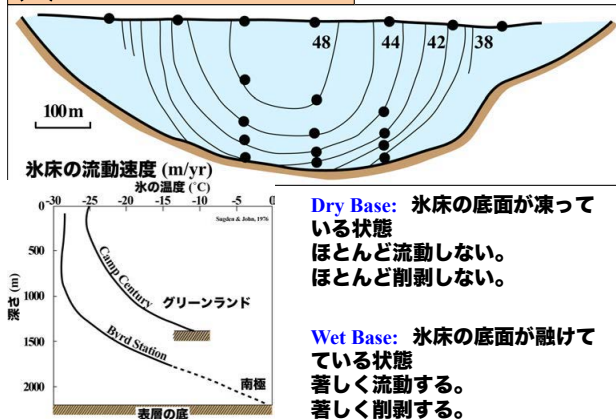


**(b) 氷河・氷床による侵食**



Davidson Glacier near Haines, Alaska An Alpine glacier system  
<http://www.kean.edu/~csmart/Geomorphology/Lectures/>

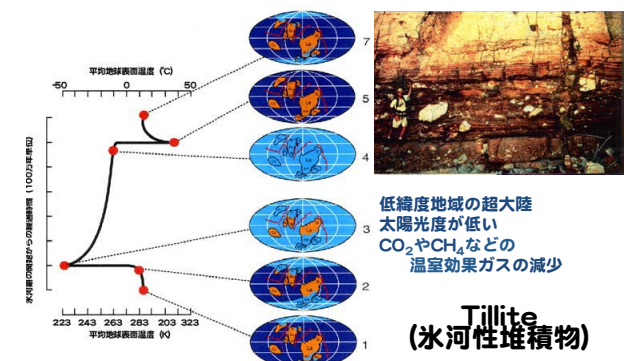
**(b) 氷河・氷床の流動**



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

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

**全地球凍結(7.5と6.3, (5.8)億年前)**



低緯度地域の超大陸  
太陽光度が低い  
CO<sub>2</sub>やCH<sub>4</sub>などの温室効果ガスの減少

Tillite (氷河性堆積物)

### 水河性堆積物(南中国・Marinoan全球凍結)



### 水河性堆積物: dropstone (ナミビア, 全球凍結)



### 最終氷期の氷床分布 (北半球)



図2 最終氷期最盛期の頃の北半球に存在した巨大な氷床。アメリカ大陸や北欧は、厚さが2 km以上あるような氷床に覆われていた。(Denton and Hughes, 1981 改変)。



### 粘土鉱物の種類と気候

Biotite $K_2(Mg,Fe,Al)_3(Si,Al)_3O_{10}(OH)_2$	高温	Vermiculite
	乾燥	Smectite
	熱帯湿潤	Kaolinite
	熱帯半湿潤	Kaolinite
Plagioclase $(Na, Ca)(AlSi_3, Al_2Si_2)O_8$	高温	Smectite
	乾燥	Kaolinite
	熱帯湿潤	Kaolinite
	熱帯半湿潤	Gibbsite
	熱帯半湿潤	Al(OH) <sub>3</sub>
K-Feldspar $(K, Na)AlSi_3O_8$	高温	Kaolinite
	熱帯湿潤	Kaolinite
	熱帯半湿潤	Kaolinite or Gibbsite
	熱帯半湿潤	Al(OH) <sub>3</sub>