

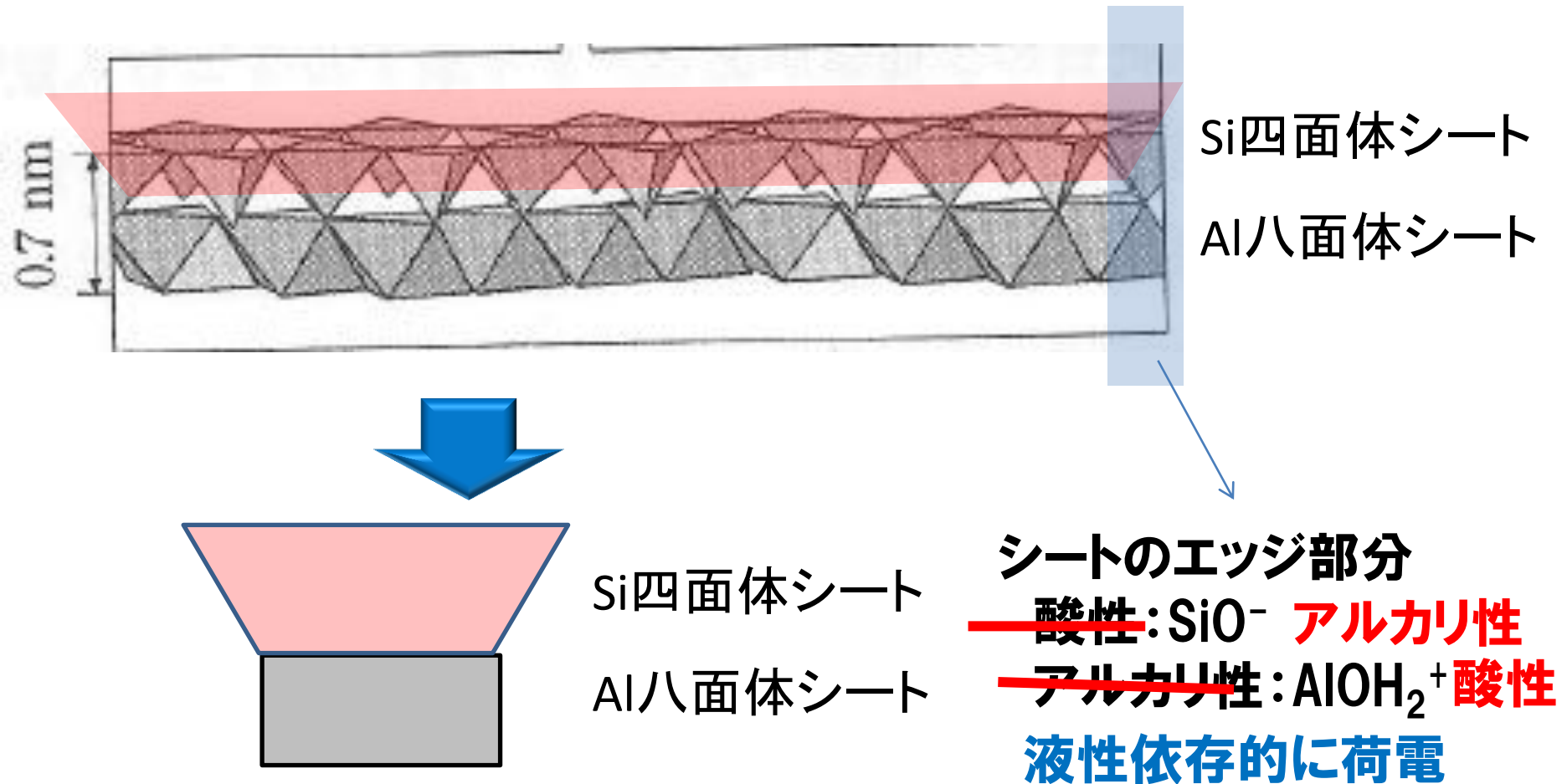
土壌学 第3回

土壌の水と空気 I 水について

参考資料

土のコロイド現象—土・水環境の物理化学と工学的基礎 足立 泰久、岩田 進午 学会
出版センター (2003/03)

訂正

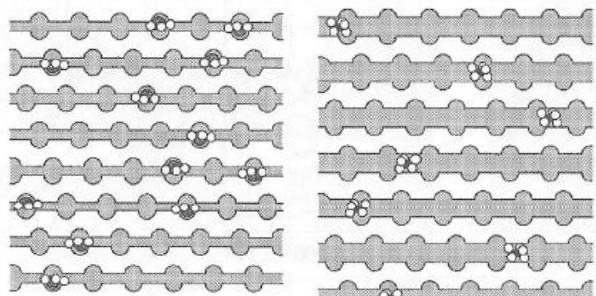


2:1型粘土鉱物の種類(3)

- Si四面体シートでSiの15~6%がAlに置換。かつ層間にはK⁺の他にもCa²⁺やNa⁺が侵入
→スメクタイト

バイデライト

K⁺ Ca²⁺ Na⁺

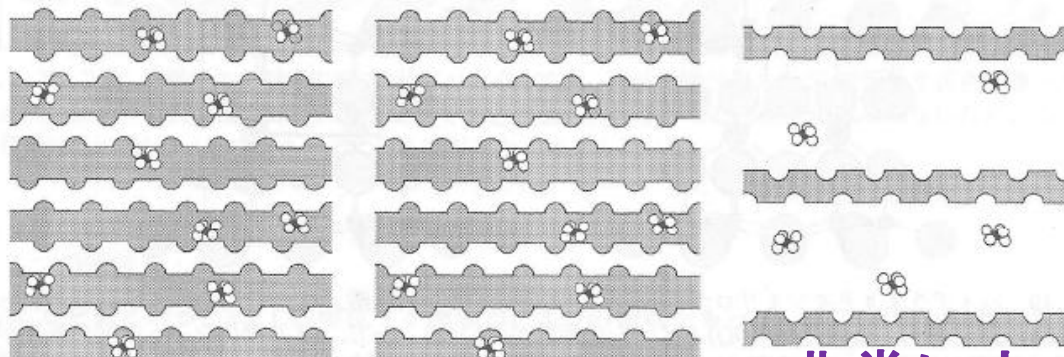


水一分子 0.2 nm 水二分子 0.4 nm

K⁺飽和状態でも層間距離が0にならない。

Al八面体シートでAlがMgに置換。 →モンモリロナイト

Ca²⁺ K⁺ Na⁺ K⁺ Na⁺



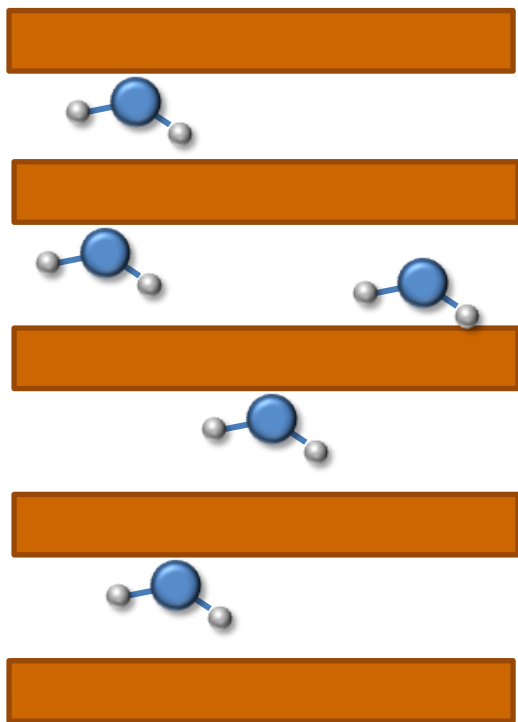
水三分子 0.5 nm 水三分子 0.5 nm

非常に大

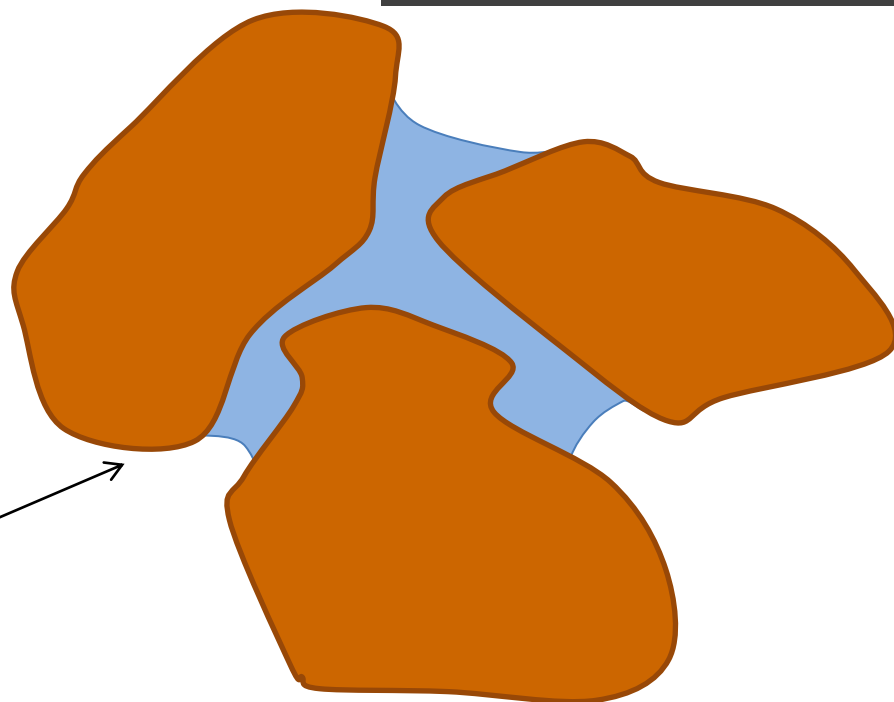
膨潤する性質を持つ。

土はどうやって保水するか？

①土の粒子の表面と相互作用している。



②土の粒子間の隙間に表面張力で保持されている。



教科書の82ページ

2) 表面張力と毛細管現象

表面張力は、液体がその表面積を縮小しようとする力である。外からの力がかからないとき、液体には表面張力が働くため、液体は表面積の最も少ない球形になろうとする。シャボン玉がその良い例である。この力は、液体と液体、液体と固体、あるいは液体と気体といったものの境界面上にも発生する。これを特に界面張力という。

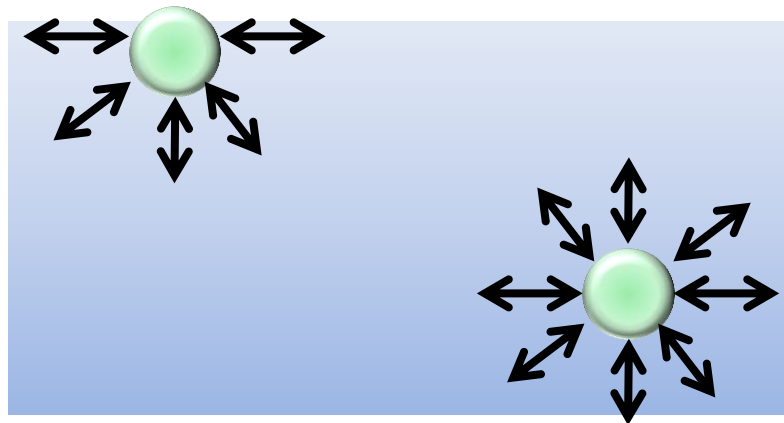
土壌中の細かな孔隙では、土壌粒子（固相）の周りに存在する水分（液相）と空気（気相）の境界面に発生する界面張力によって水が保持されている（図6-1）。孔隙が水を保持する力の強さは、その孔隙の大きさに依存している。

そのことを水を入れた容器に立てた細い管（毛細管）から考えてみよう。容器に毛細管を立てると、毛細管の中の水面は、容器の水面より高くなる（図6-2）。これは、毛細管の水に表面張力が働くため、管内の圧力が外の圧力より低くなり、その圧力差に見合うだけ水が引き上げられるために生じる。この現象が毛細管現象（毛管現象ともいう）である。このときの毛細管の水面高

表面張力

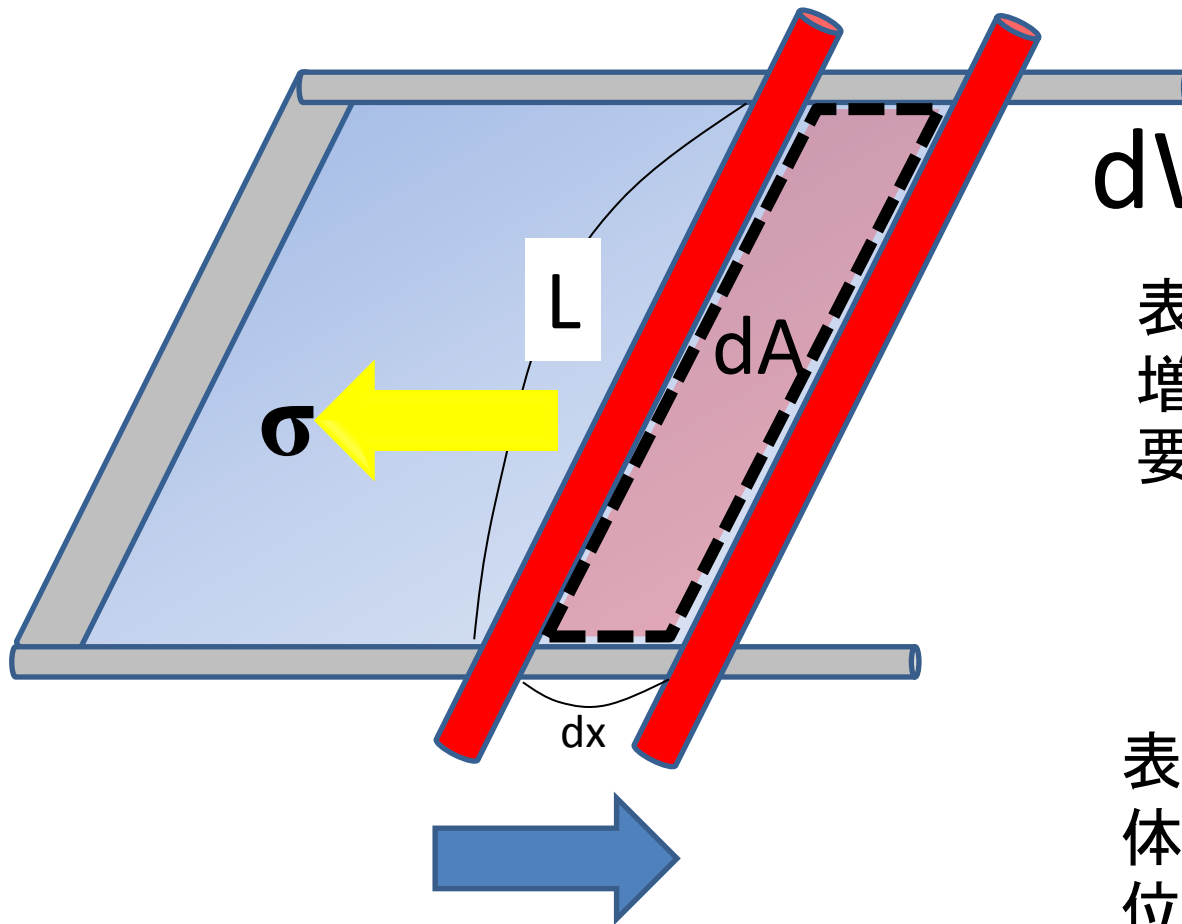
液体は、なるべく露出している表面を小さくしようとする。

表面の分子は表面方向に他の分子がおらず相互作用がない。



水中の分子は全方向に相互作用がありより安定させられている。

表面を作るのに必要な仕事



$$dW = \sigma dA$$

表面を単位体積分
増加させるために
要るエネルギー

$$= \sigma 2Ldx$$

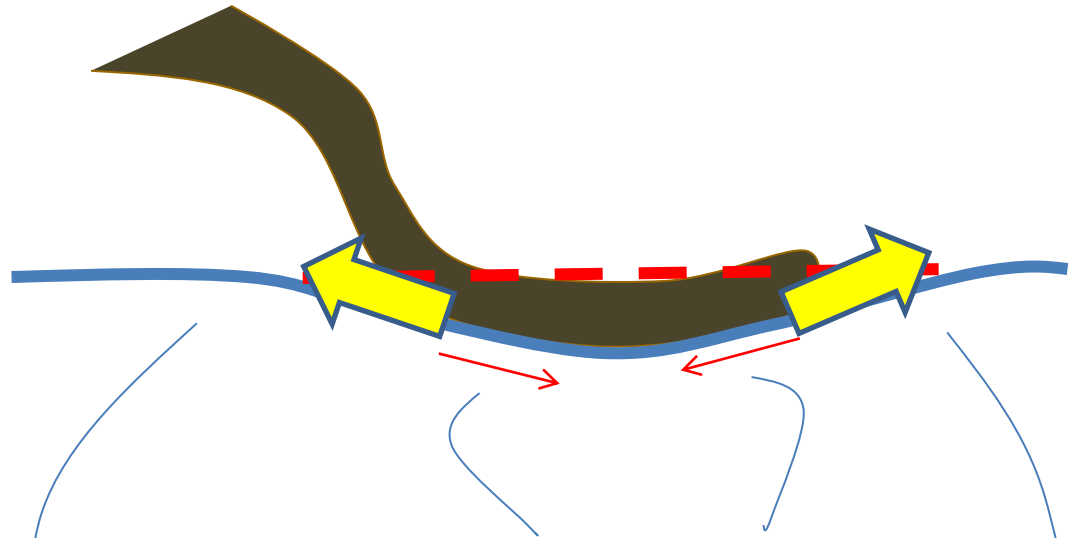
表面の面内で、液
体の方に向けた単
位長さあたりの力

例えば表面張力とは

例えばアメンボ



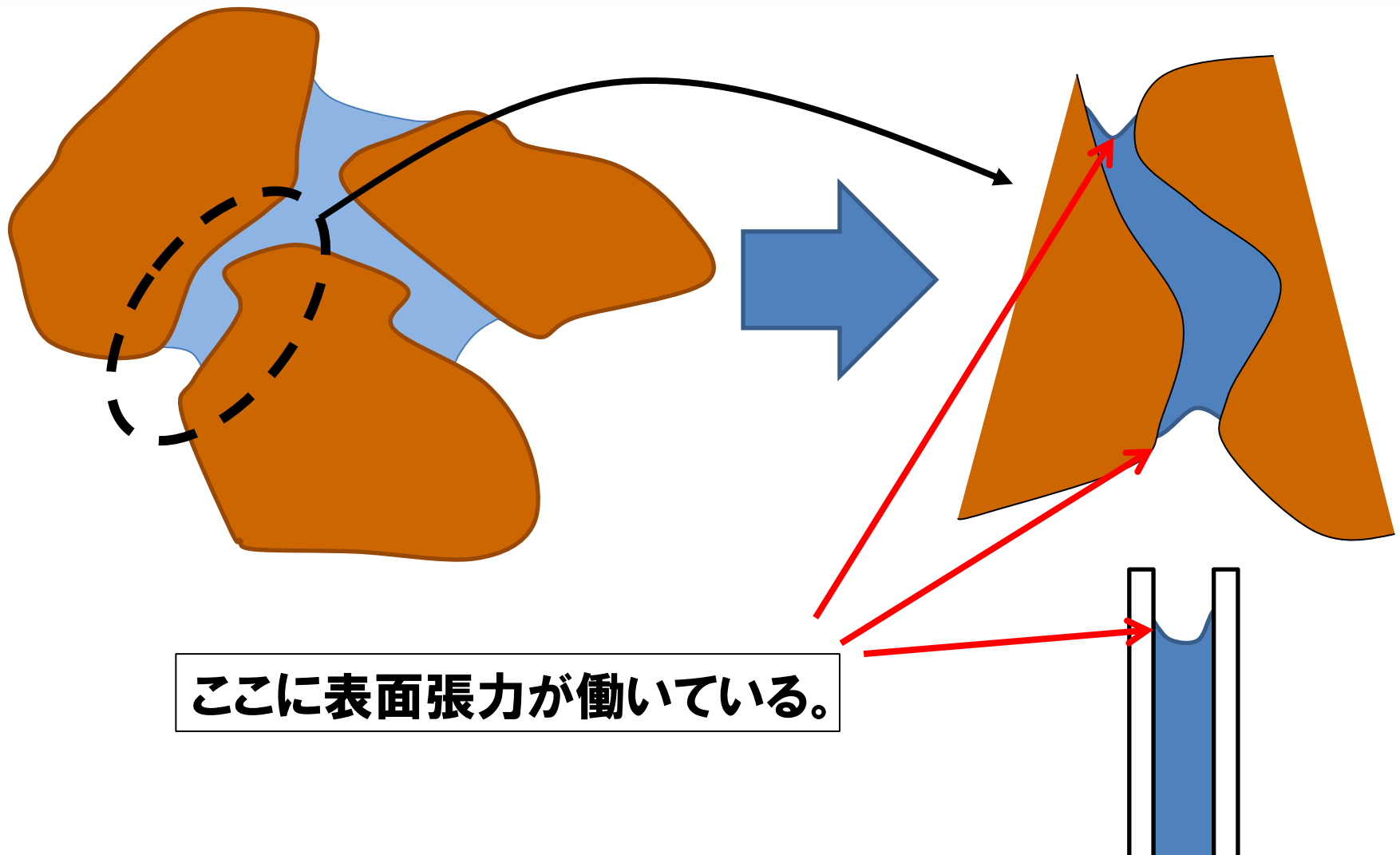
<http://ja.wikipedia.org/wiki/>



①この分だけ水表面の面積が大きくなっている。

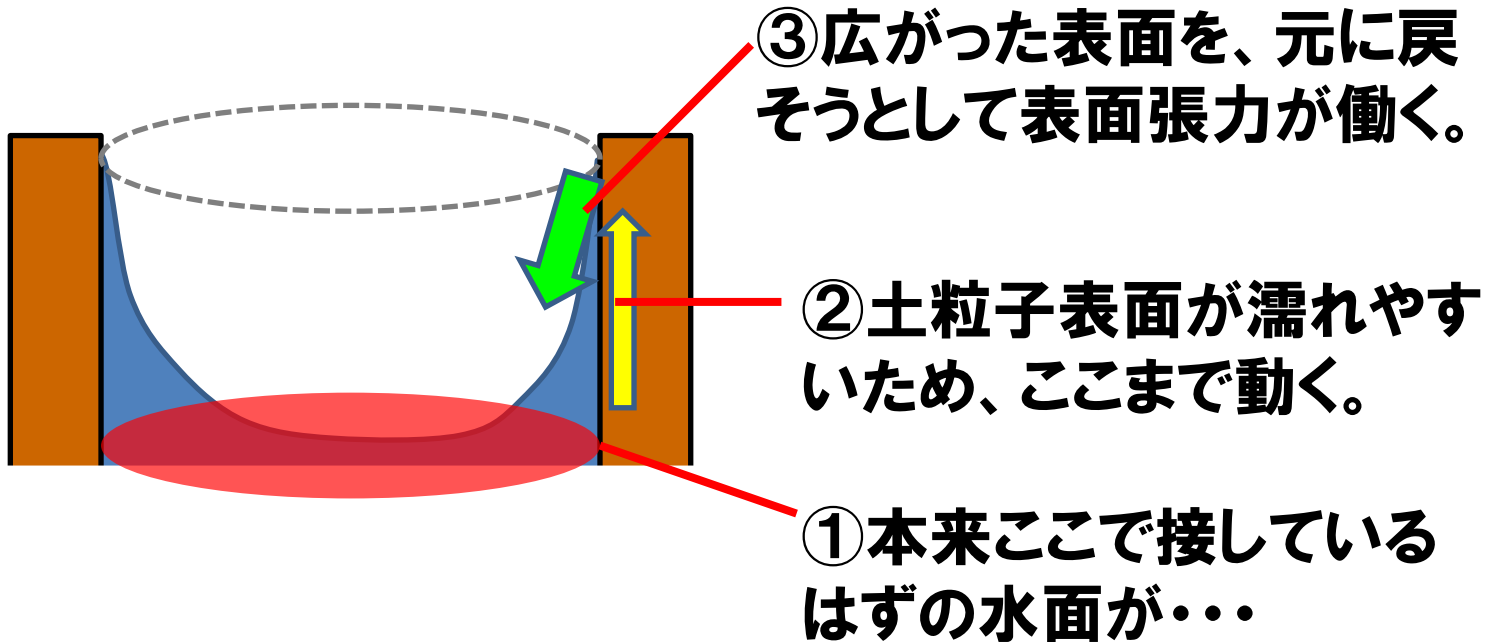
②表面方向に表面積を縮めようとする表面張力が働く。上向きの成分が浮かせる

細孔の中の水

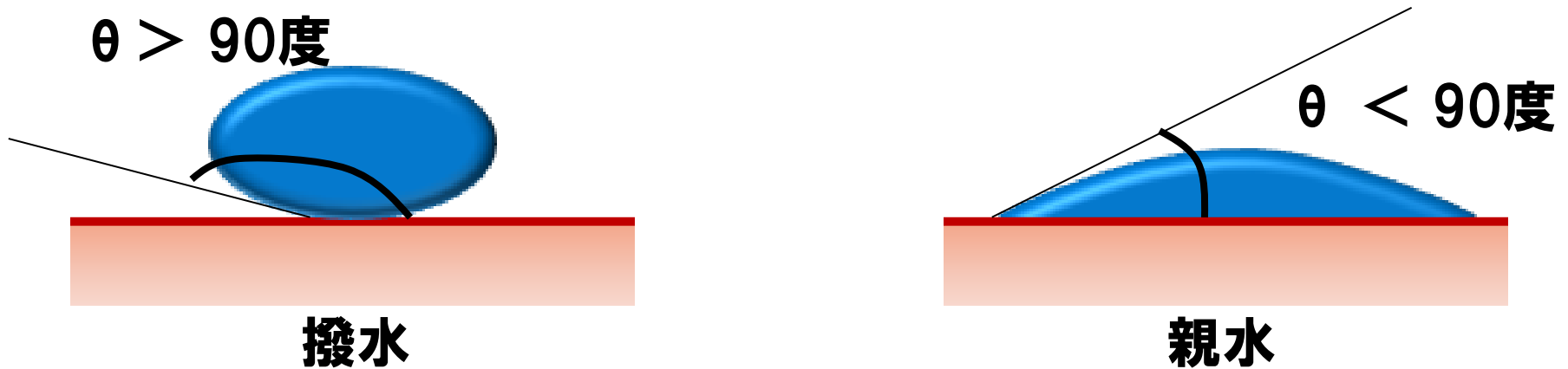
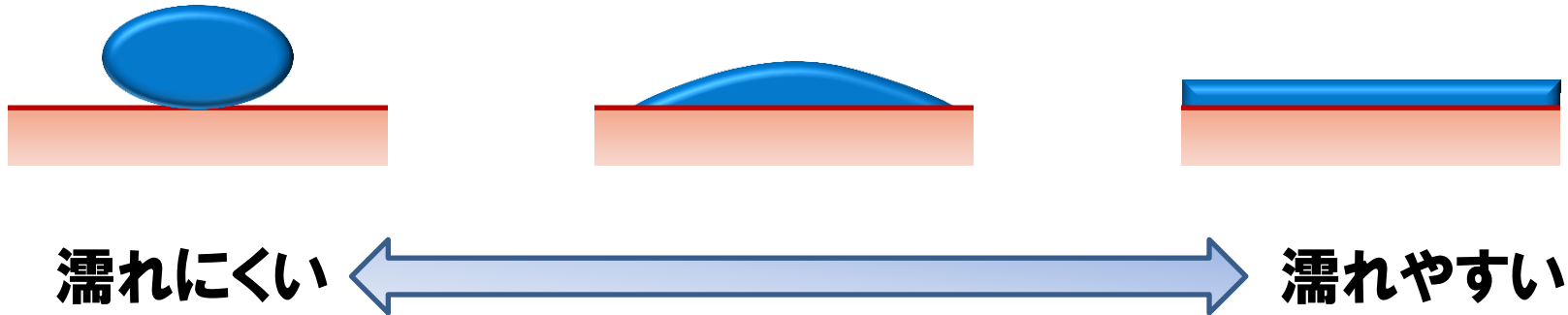


毛管現象

ここを拡大して見てみる。

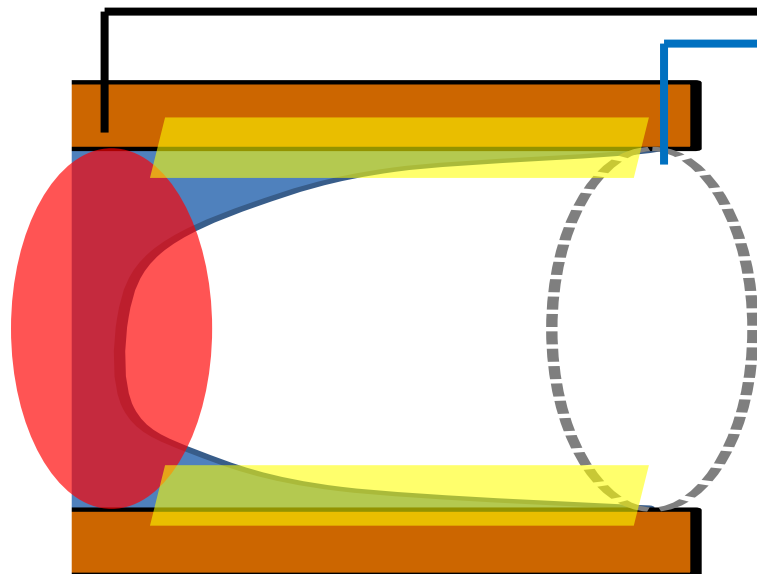
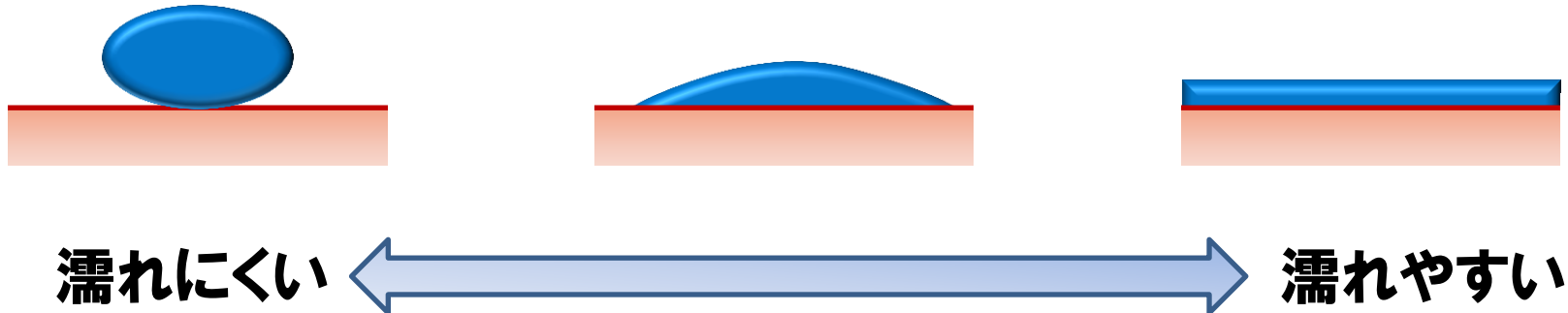


表面が濡れるということ1



濡れやすさは接触角で定量化することができる。

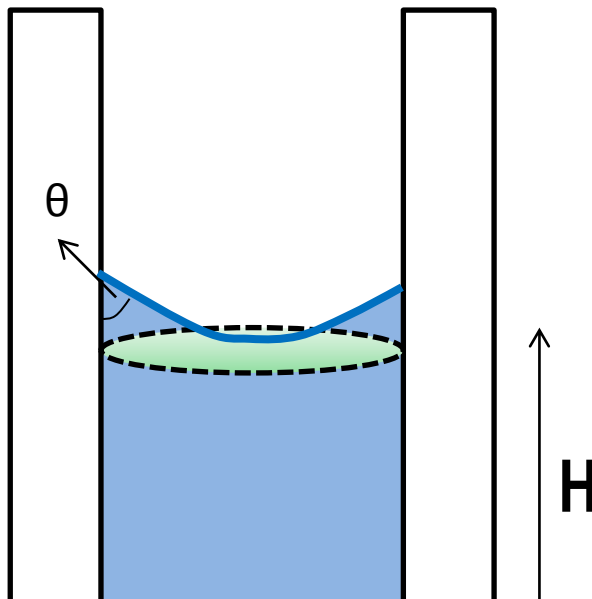
表面が濡れるということ2



①この位置に水面があるよりも...

②この位置に水面が来て土粒子表面が濡れていた方が**安定**。
だから濡れが進行する。

表面が濡れるということ3



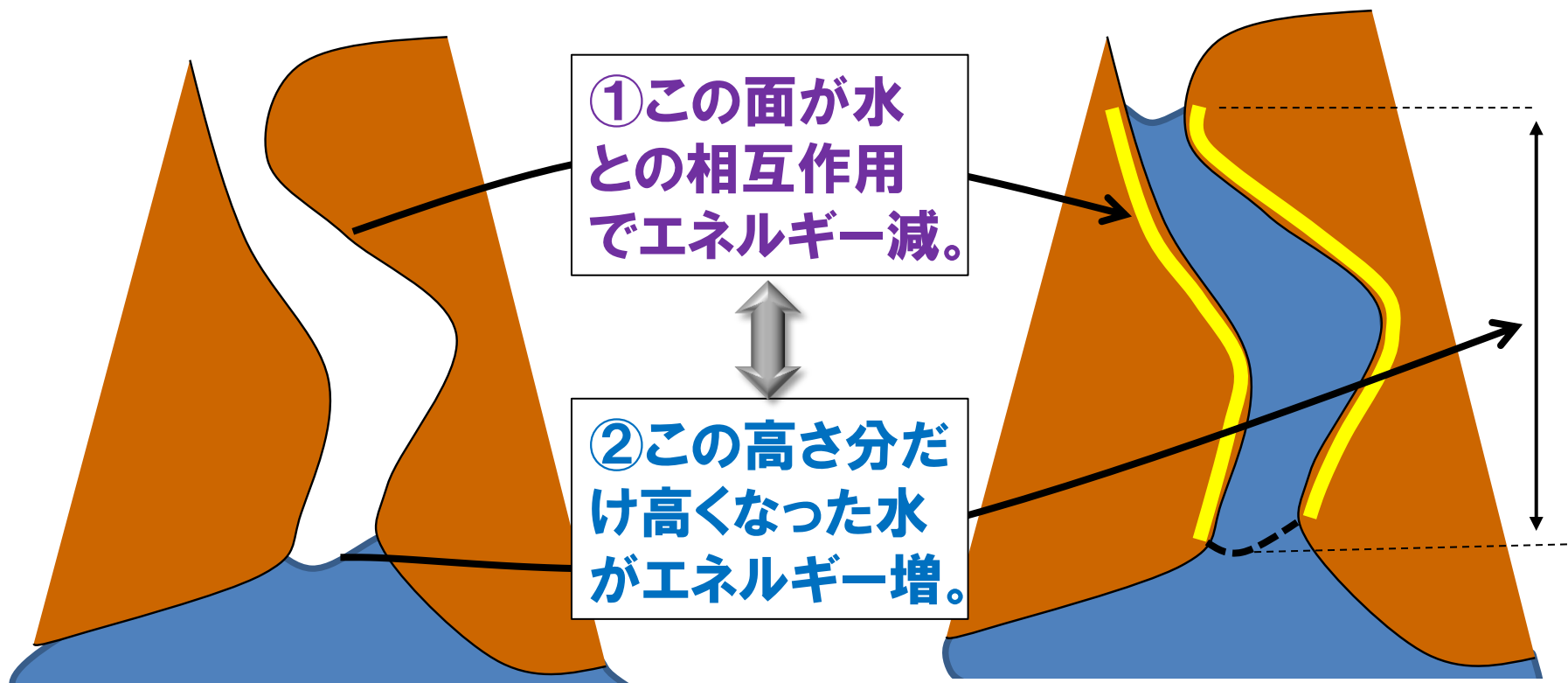
液体は乾いた表面のエネルギーが、濡れている表面のエネルギーよりも大きい時に上昇する。

濡れと毛管中への浸透

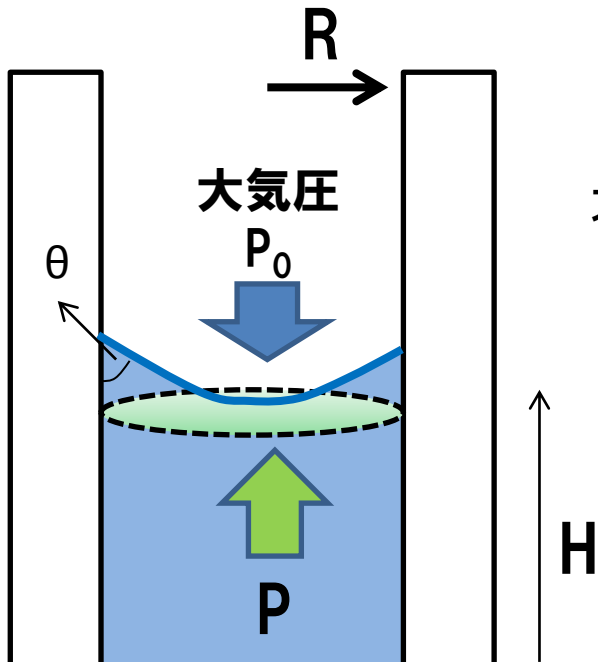
毛細管現象

表面張力により、水が細管内に引き上げられる現象。

右と左の状態のエネルギー的な違いはどこ？



圧力と表面張力の釣り合い



$$\pi R^2 P_0 = \pi R^2 P + 2 \pi R \sigma \cos \theta$$

大気圧が押す力 水が押す力 水の接触する円周上にかかる力

$$P_0 - P = 2 \sigma \cos \theta / R$$

$$P_0 - P = \rho g H \text{ でもあるので}$$

$$\rho g H = 2 \sigma \cos \theta / R$$

ジュレン Julin の式
p82

$$H = \frac{2 \sigma \cos \theta}{\rho g R}$$

ジュレンの式の数値的感覚

$$H = \frac{2 l}{\rho g R} = \frac{2 \sigma \cos \theta}{\rho g R}$$

重力加速度
 $g = 9.8 \text{ m s}^{-2}$

水の密度
 $\rho = 1.0 \text{ Mg m}^{-3}$

水の表面張力
 $\sigma = 0.0725 \text{ N m}^{-1}$

$\theta = 0$ として

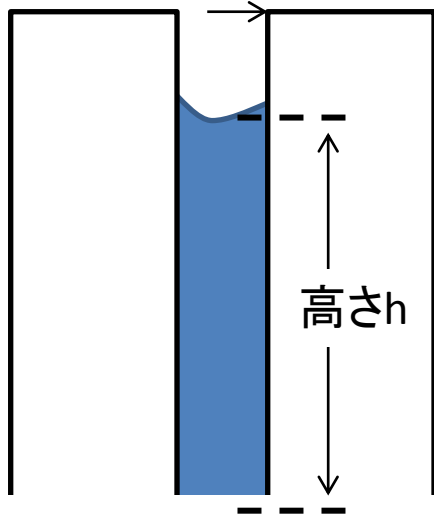
$$H = \frac{2 \times 0.0725 \text{ N m}^{-1}}{1.0 \text{ Mg m}^{-3} \times 9.8 \text{ m s}^{-2} R (10^{-2} \text{ m})}$$

$$H = \frac{0.15}{R} \text{ (cm)}$$

Rが0.1 cm=1 mmの管だと 1.5 cm、 Rが0.0001cm=1ミクロンだと1500cm=15m 水が上昇することになる。

濡れと毛管中への浸透

管の半径R



①毛管内表面の濡れによるエネルギーの減少分

$$2 \pi R \cdot h \cdot l$$

水が接している管内の表面積

浸透係数、表面張力の面に平行な成分

②水の上昇によるエネルギーの増加分

水が高さhだけ上昇した時、エネルギーの増分は

$$\pi R^2 \cdot h \cdot \rho \cdot g$$

底面積

高さ

密度

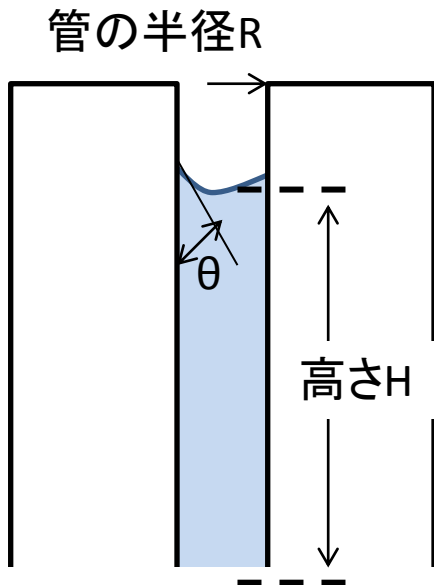


微小円柱の水の重さにかかっている重力

hを0からHまで積分して

$$(1/2) \pi R^2 \cdot H^2 \cdot \rho \cdot g$$

濡れと毛管中への浸透



③「濡れによるエネルギーの減少分」と「水の上昇によるエネルギーの増加分」を考慮した、管と水を合わせたエネルギー増減。

$$E = -2 \pi R h l + (1/2) \pi R^2 h^2 \rho g$$

④Eをhに関して微分し、微分が0になるhを求めると

$$\begin{aligned} \delta E / \delta h &= -2 \pi R l + (1/2) \cdot 2 \cdot \pi R^2 h \rho g \\ &= -2 \pi R l + \pi R^2 h \rho g \end{aligned}$$

$$0 = -2 \pi R l + \pi R^2 h \rho g \text{ の時}$$

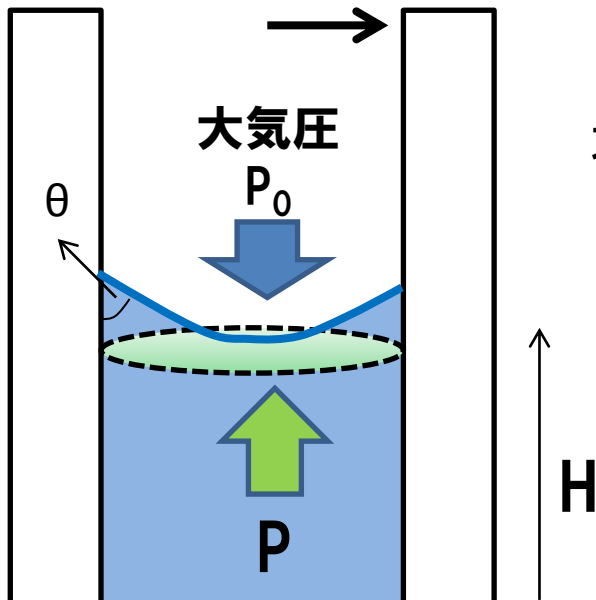
$$H = \frac{2 l}{\rho g R} = \frac{2 \sigma \cos \theta}{\rho g R}$$

(ただし θ は、水が管内壁に接する角度、接触角)

(ただし σ は、水面に沿っての表面張力)

ジュレン Julin の式
p82

表面張力の働く面を横切る圧力



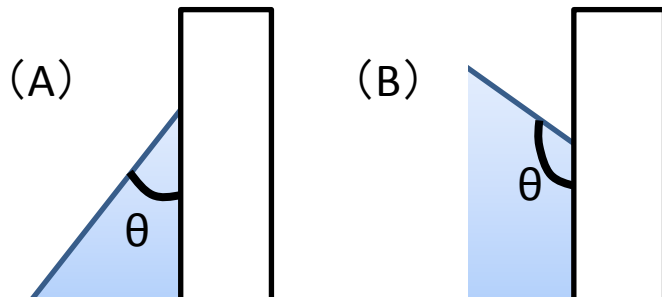
$$\pi R^2 P_0 = \pi R^2 P + 2 \pi R \sigma \cos \theta$$

大気圧が押す力 水が押す力 水の接触する円周上にかかる力

$$P_0 - P = 2 \sigma \cos \theta / R$$

(A) 管を濡らしやすい液体の場合: $\cos \theta > 0$

よって管内は大気圧よりも低圧

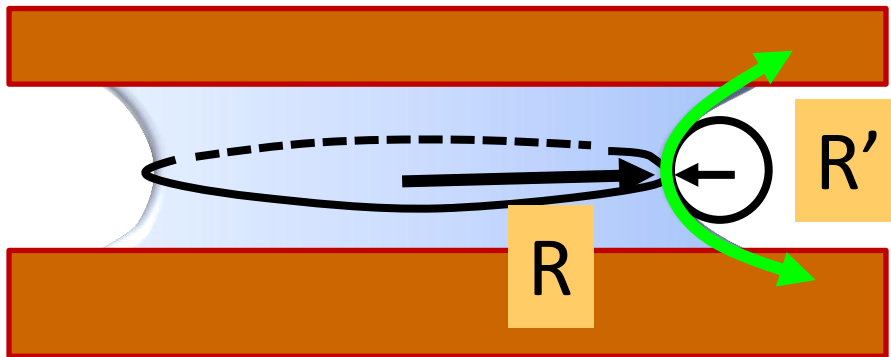


(B) 管を濡らしにくい液体の場合: $\cos \theta < 0$

よって管内は大気圧よりも高圧

表面張力の働く面を横切る圧力

2つの流体の境界面には、
表面張力と面曲率の積に等しい圧力差が生じる。
(ラプラスの定理)



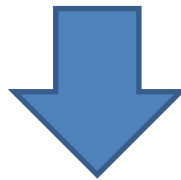
$$\text{面曲率} = \frac{1}{R} + \frac{1}{R'}$$
$$\Delta p = \sigma \left[\frac{1}{R} + \frac{1}{R'} \right]$$

上の図のように周囲が凹んだ水滴の内部は圧が低い。
上下の面を接着させる原動力となる。

水分保持と土壌の粒径

$$H = \frac{2 \sigma \cos \theta}{\rho g R}$$

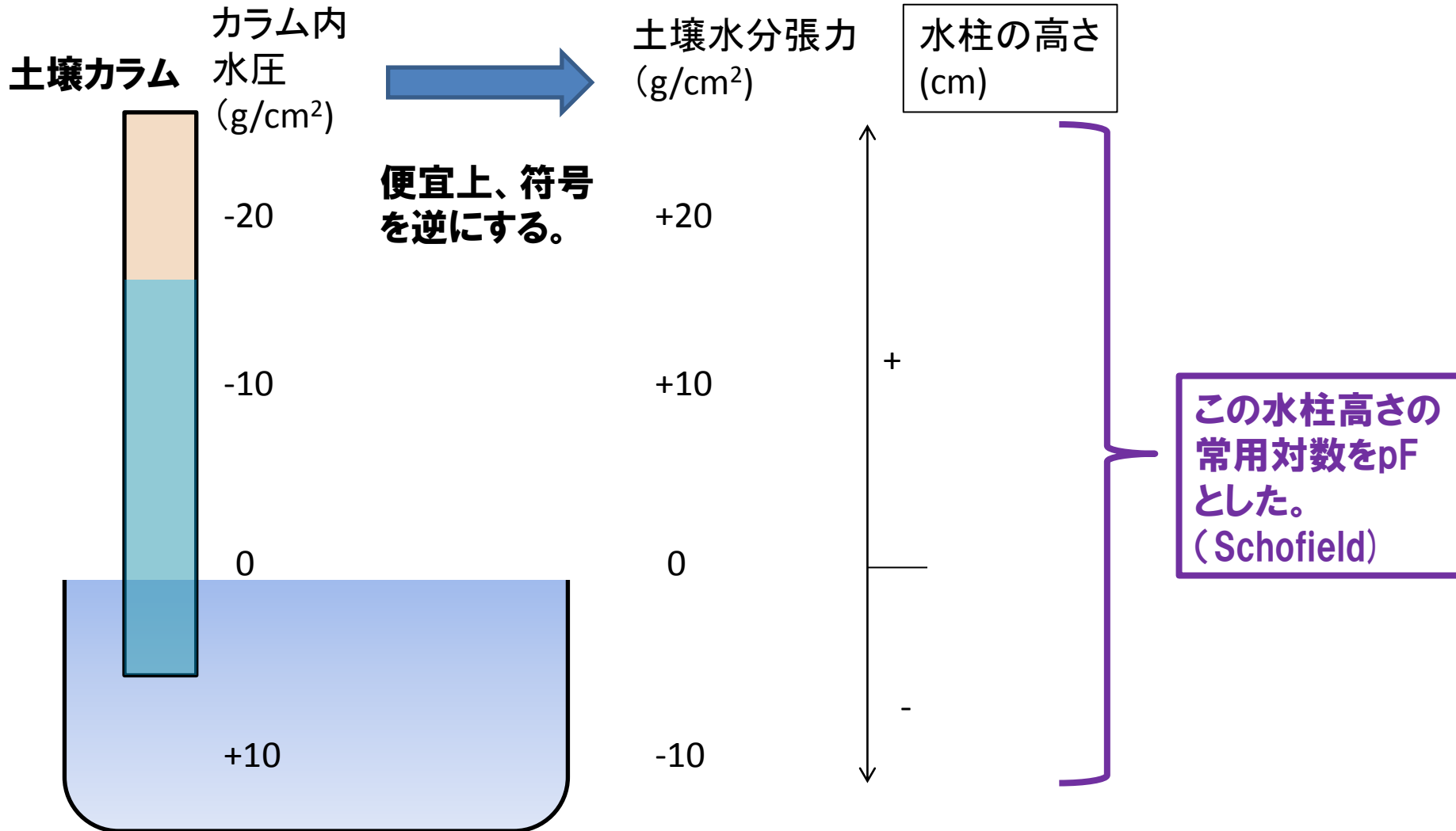
細孔の太さRが大きいほど、重力に逆らって水を引き上げる高さHは小さくなる。



実際の土に置き換えて言うと、

- 粒径の大きい土壌は、水を保持する力が弱い。
→排水良好、水はけが良い。
- 粒径の小さい土壌は、水を保持する力が強い。
- 水の保持力と、水はけの良さは、粒径分布にある程度依存する。

土壌水分張力



土壤水分張力

pFは世界的に使用されないこととなり、代わりに土壤水分張力の単位として圧力の単位Paが使われるようになった。

負の圧力を ϕ kPaとした場合、

変換式は

$$pF = \log_{10} (-10.2 \phi)$$

$$\phi = 10^{pF} / (-10.2)$$