

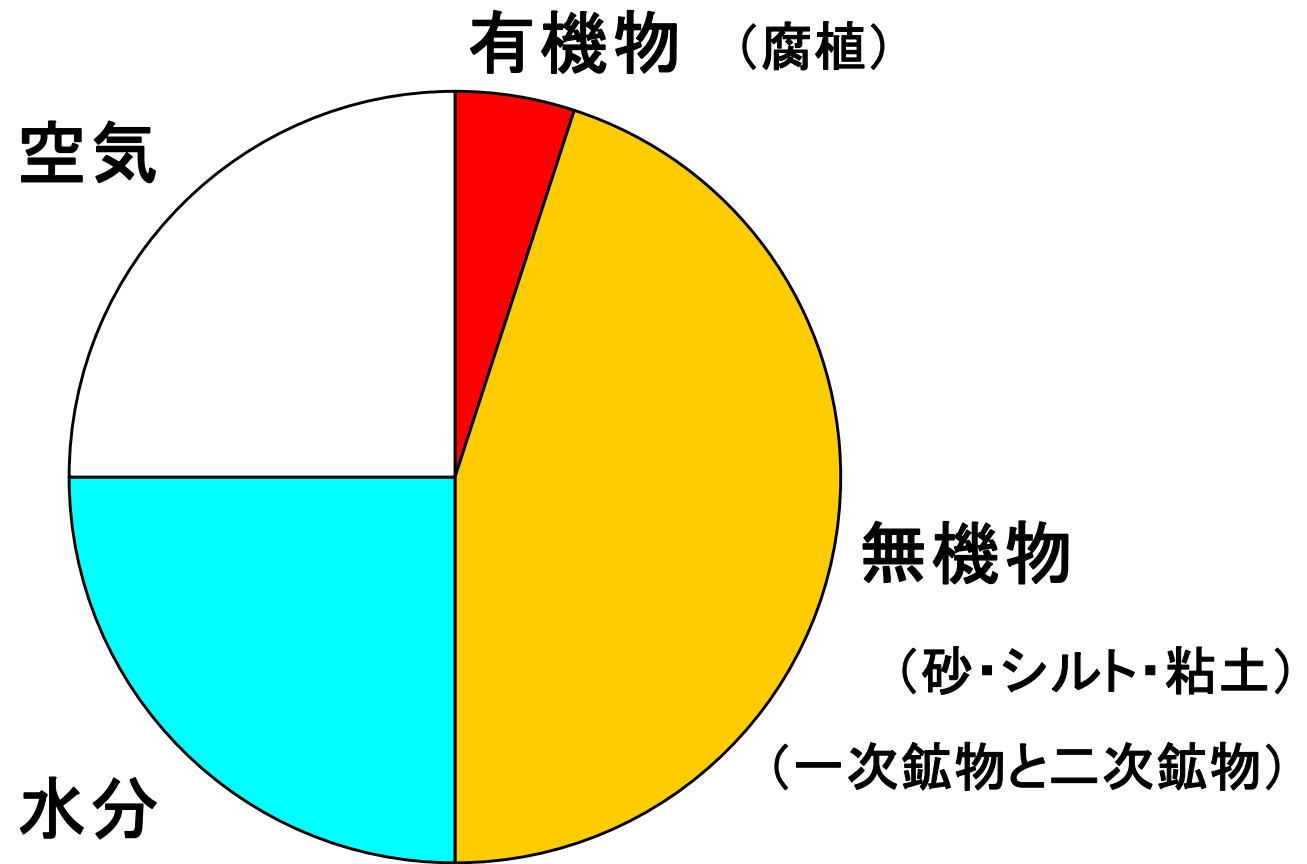
# 植物生産土壌学4

## 土の物理性

筒木 潔 (つつききよし)

<http://timetraveler.html.xdomain.jp>





# 土壌の組成

# 土壌の三相

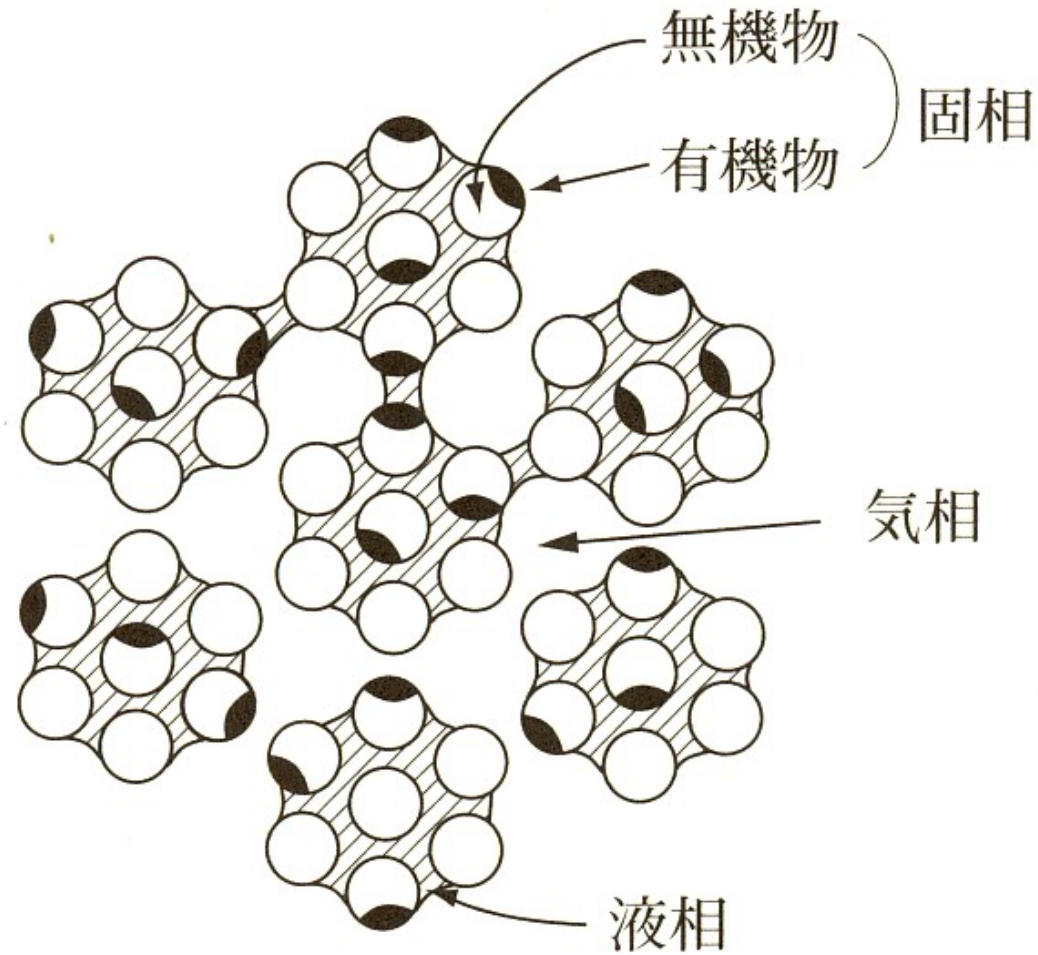


図5-1 土壌の三相の模式図  
(高井・三好, 1977)

# 比重と孔隙

## 真比重

無機質土壌  $2.6 \sim 2.8 \text{ g cm}^{-3}$   
(石英  $2.6 \text{ g cm}^{-3}$ )

有機質土壌では低くなる。

有色鉱物を含む土壌では高くなる  
( $>3.0 \text{ cm}^{-3}$ )

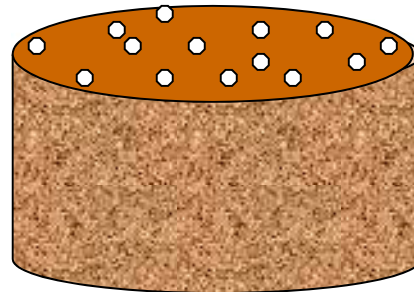
# 仮比重

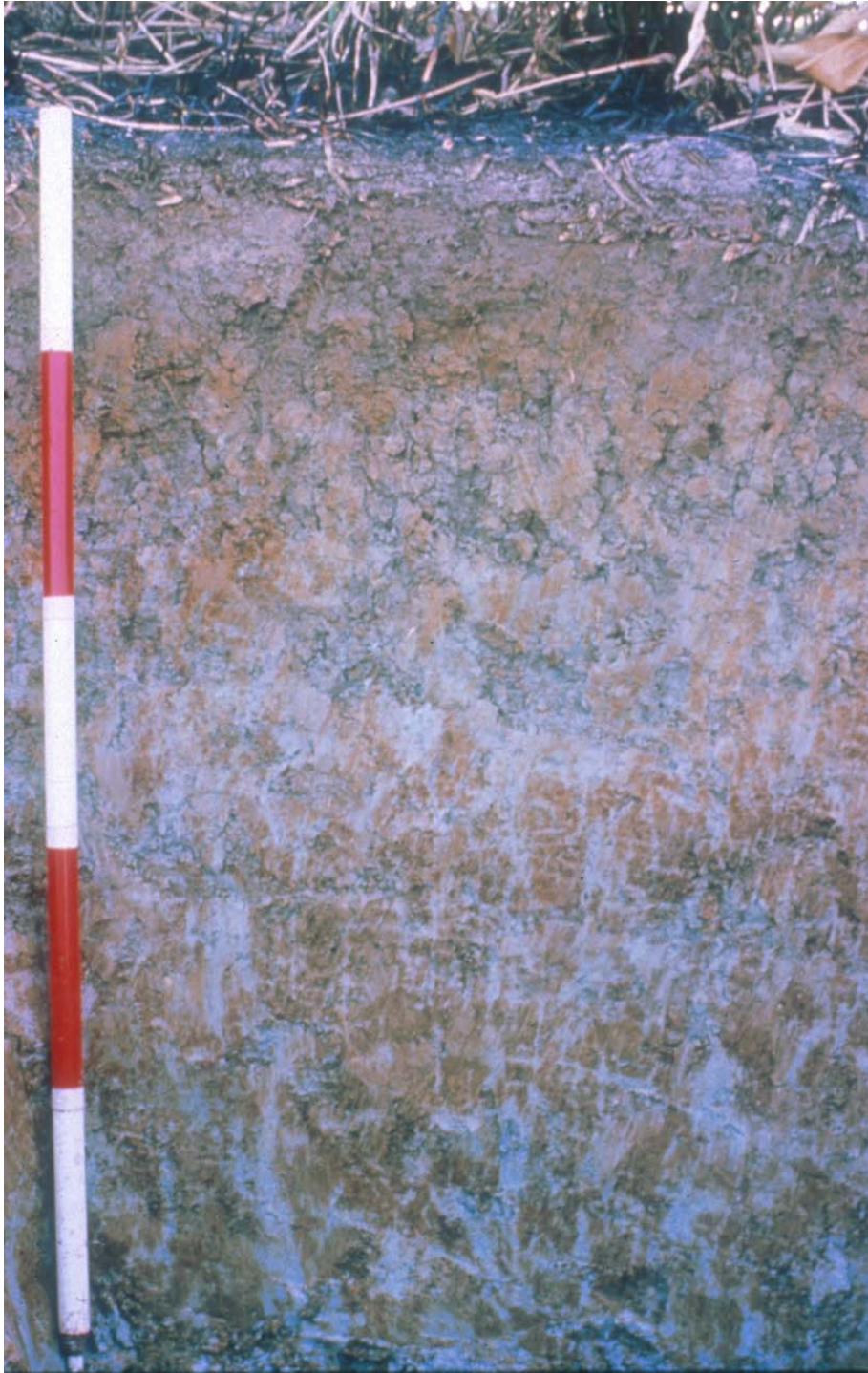
非攪乱土壌の孔隙を含めた密度

砂質土壌                    1.1～1.8

黒ボク土壌                0.5～0.8

泥炭土壌                    0.2～0.6

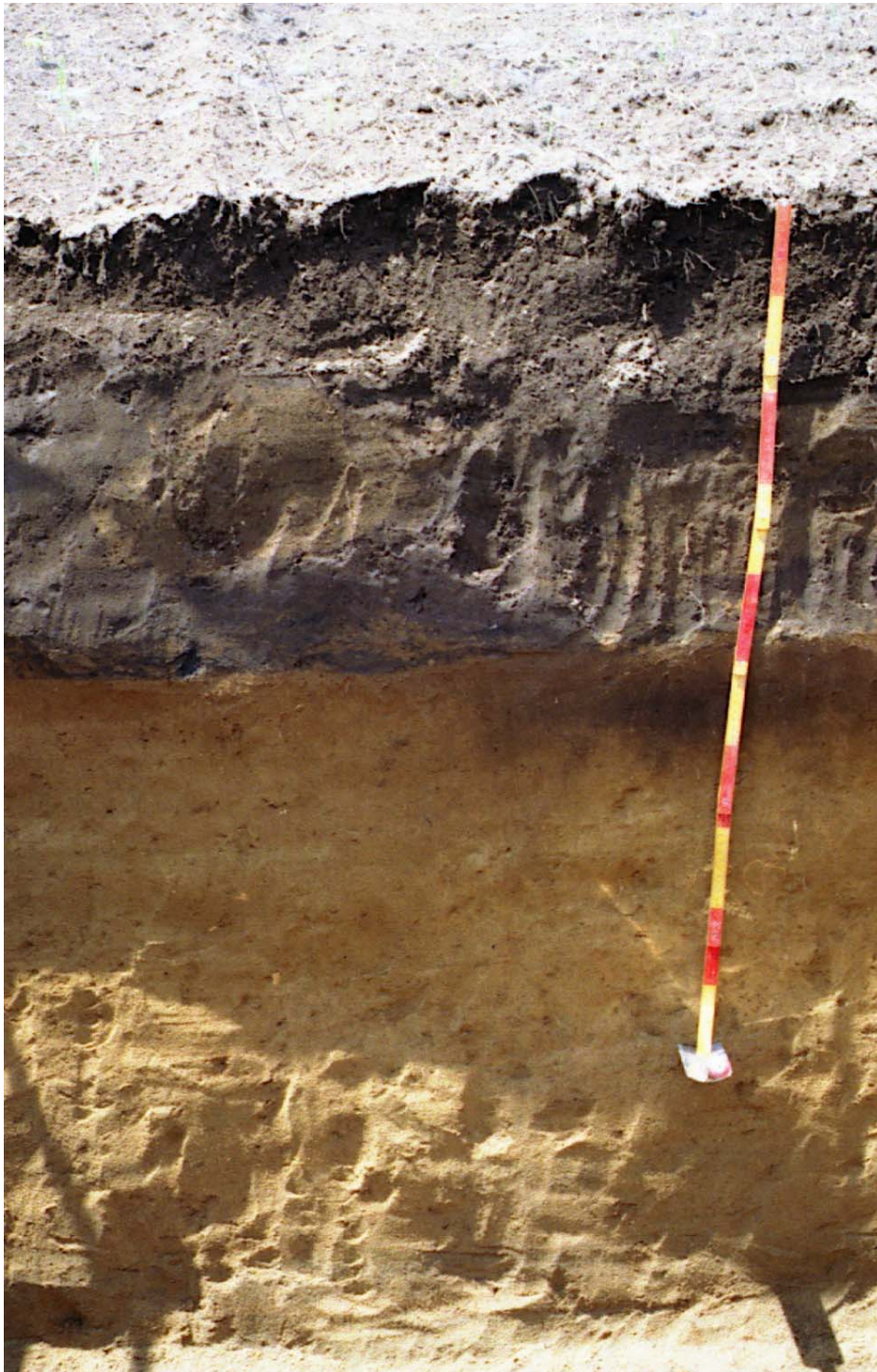




固い土

灰色台地土  
(滝川)





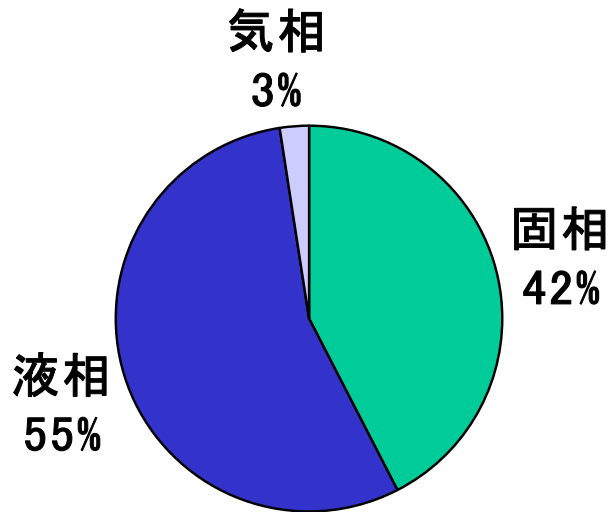
# やわらか い土

恵庭ローム上の黒ボク土  
(畜大農場)

腐植に富むクロボク土の三相分布の特徴を述べなさい。

粘土に富む

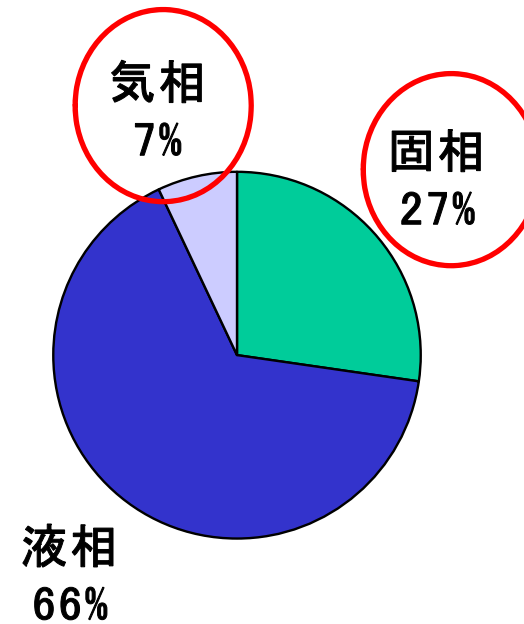
灰色台地土



仮比重 1.10

腐植に富む

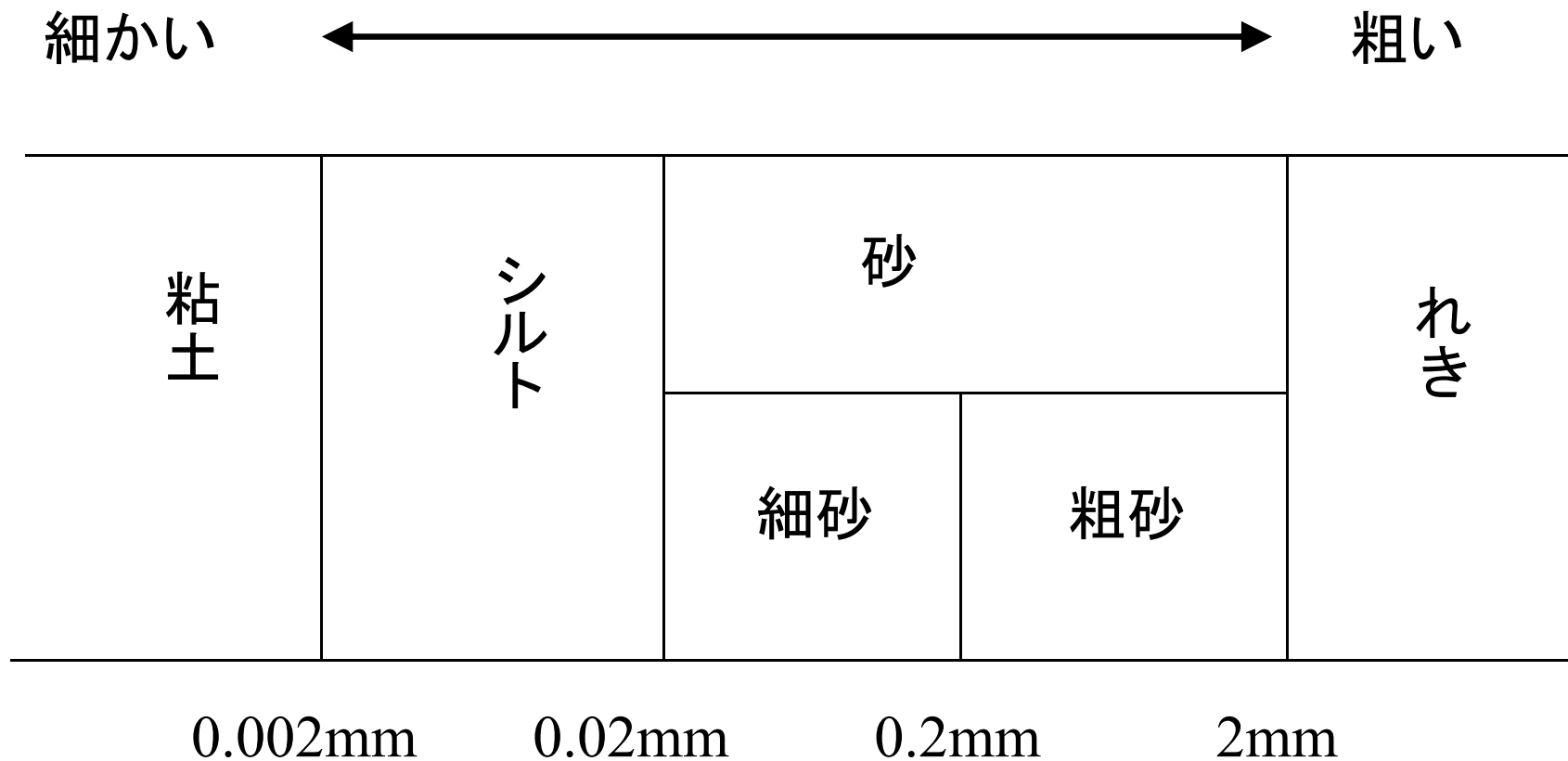
黒ボク土



仮比重 0.67

土壤による三相分布の違い





## 国際法による土壌粒径区分

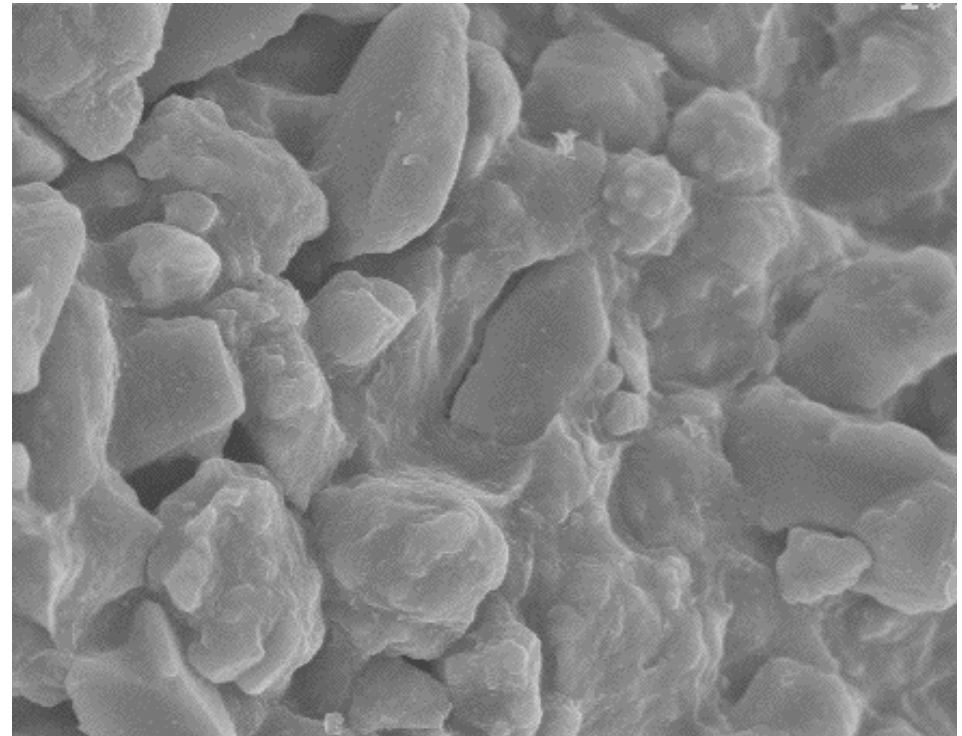
# 岩石の風化によって土の粒子ができる

- 砂の粒子を観察すると、その土がどのような岩石に由来しているのかがわかる。



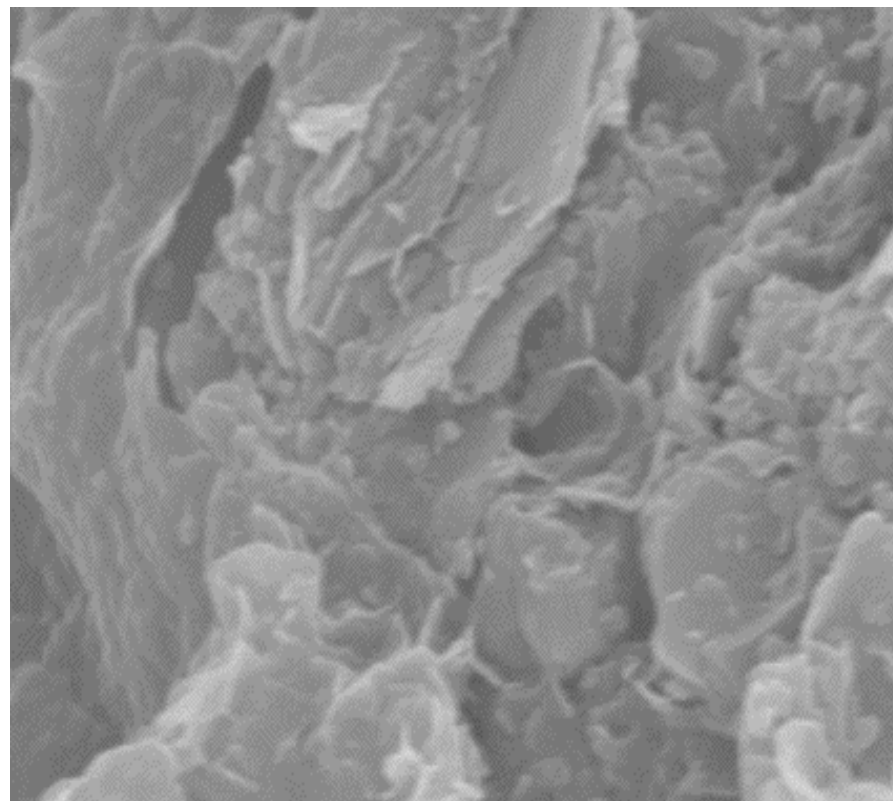
# シルトの粒子

- シルト粒子の大きさは0.002mm-0.020mm
- ほとんどのシルト粒子は石英からなっている。その他の鉱物は風化によって完全に分解されているため。
- シルトは、滑らかな感触がある。



# 粘土 最も小さな土壌粒子

- フレークのような形
- 粘土は土壌中でケイ酸や水酸化アルミニウムが再結合してできる。シルトがさらに細かくなったものではない。
- 粘土粒子の直径は0.002mm以下と定義されている。



# 粘土

- 湿った粘土は粘着性と可塑性が高く、自由に形を整えられる。
- 細長いひも状に伸ばすことができる。
- 種類によって、膨潤したり収縮したりする。



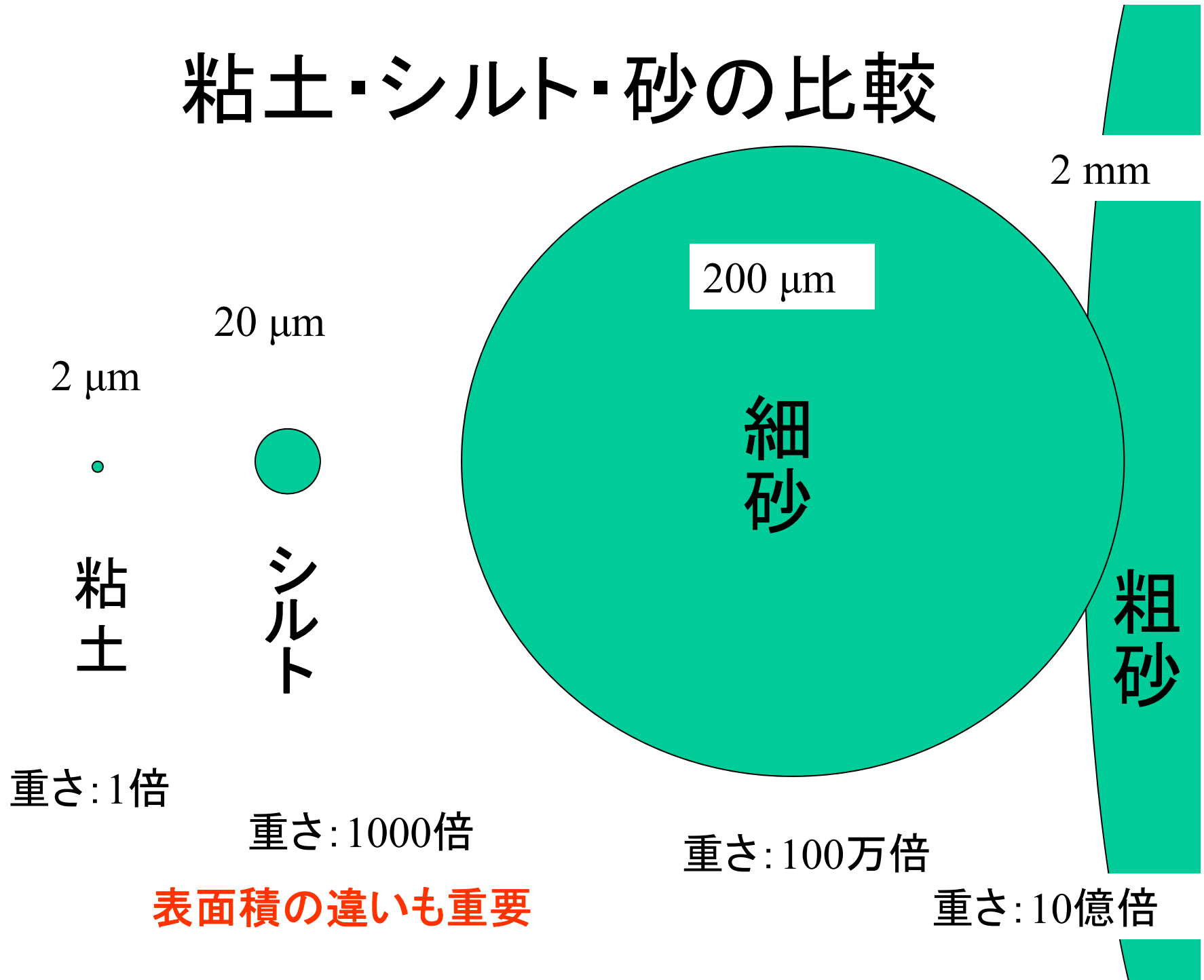


# 粘土質の土壌

- 湿った状態では非常にねばつき、
- 乾くと、かちかちに固まる。



# 粘土・シルト・砂の比較



# 土壌成分の構成と表面積の関係 (計算例)

	直径	重量%	表面積%
砂	100 $\mu\text{m}$	33%	0.1%
シルト	20 $\mu\text{m}$	33%	1%
結晶性 粘土	1 $\mu\text{m}$	32%	14%
アロフェン	0.005 $\mu\text{m}$	1%	85%

# 土性

土性とは、土壌中の砂、シルト、粘土の相対割合で示される特性である。

土性を知るだけで

- 1) 水分の透過性,
  - 2) 水分保持能
  - 3) 土壌肥沃度
  - 4) 都市建造物を支える地耐力
- などに関する情報を得ることができる。



# 土性を示す用語

- 埴土 (Clay) 粘土に富む土
- 壤土 (Loam) 粘土・シルト・砂が適当に混ざった肥沃な土 (ローム)
- 砂土 (Sand) 砂に富む土



# 野外土性と判定法

粘土と砂との割合の感じ方	細土 (φ 2 mm以下) 中の粘土 (%)	記号	区分	親指と人差し指でひも状にのばしてみましよう
ざらざらとほとんど砂だけの感じ	12.5以下	S	砂土	かためることはできない
大部分 (70~80%) 砂の感じでわずかに粘土を感じる	12.5~25.0	SL	砂壤土	かためることはできるが棒にはできない
砂と粘土が半々の感じ	25.0~37.5	L	壤土	鉛筆くらいの太さにできる
大部分粘土で一部 (20~30%) 砂を感じる	37.5~50.0	CL	埴壤土	マッチ棒くらいの太さにできる
ほとんど砂を感じないでぬるぬるした粘土の感じが強い	50以上	C	埴土	こよりのように細長くなる

\*土を少量の水で湿らし、指の感じによって粘土と砂の量を決める

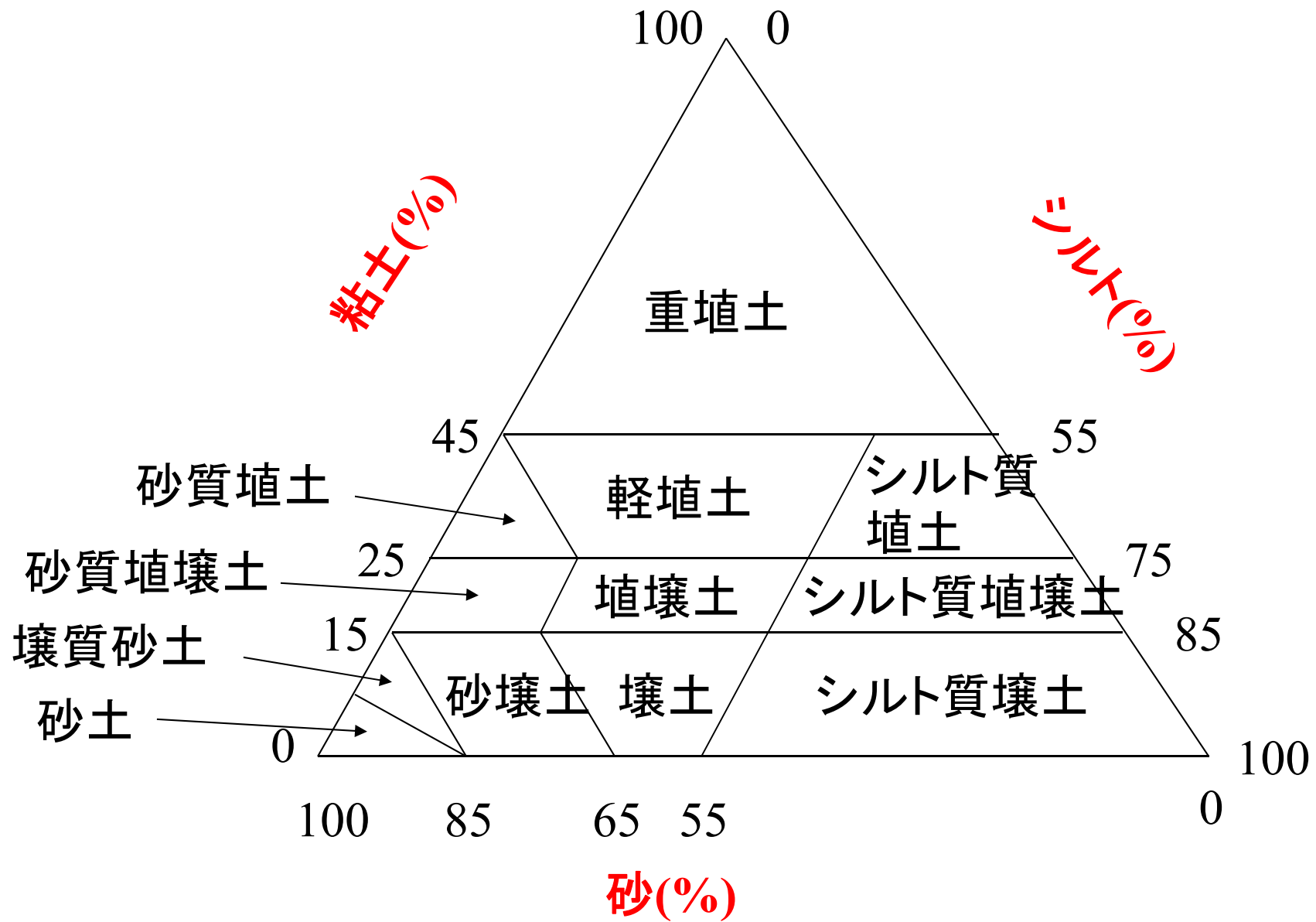
# 野外土性 砂壤土と壤質砂土の違い



砂壤土  
(Sandy loam)



壤質砂土  
(Loamy sand)

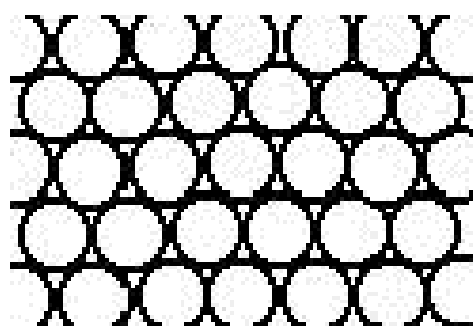


## 三角図法による土性表示

# 土壤団粒

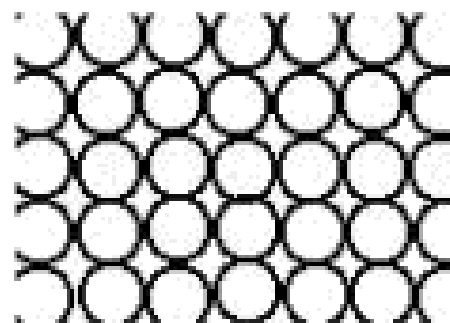
できかたと役割





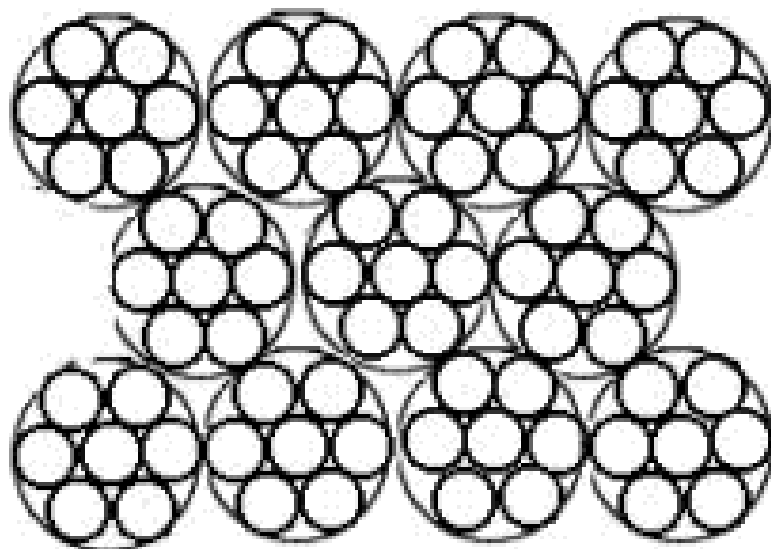
a

孔隙量 26 %



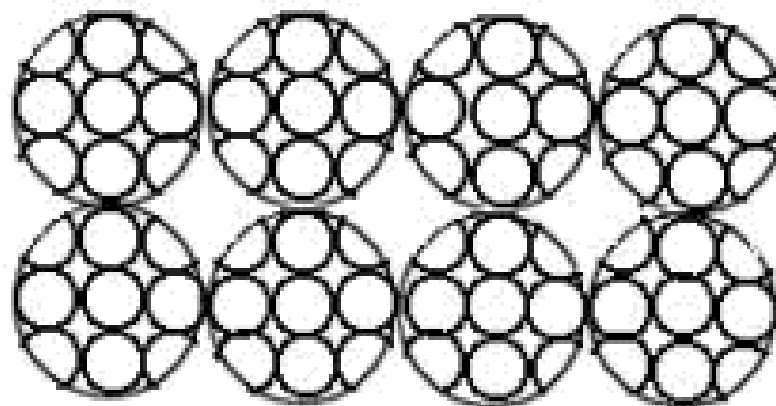
b

孔隙量 47.6 %



c

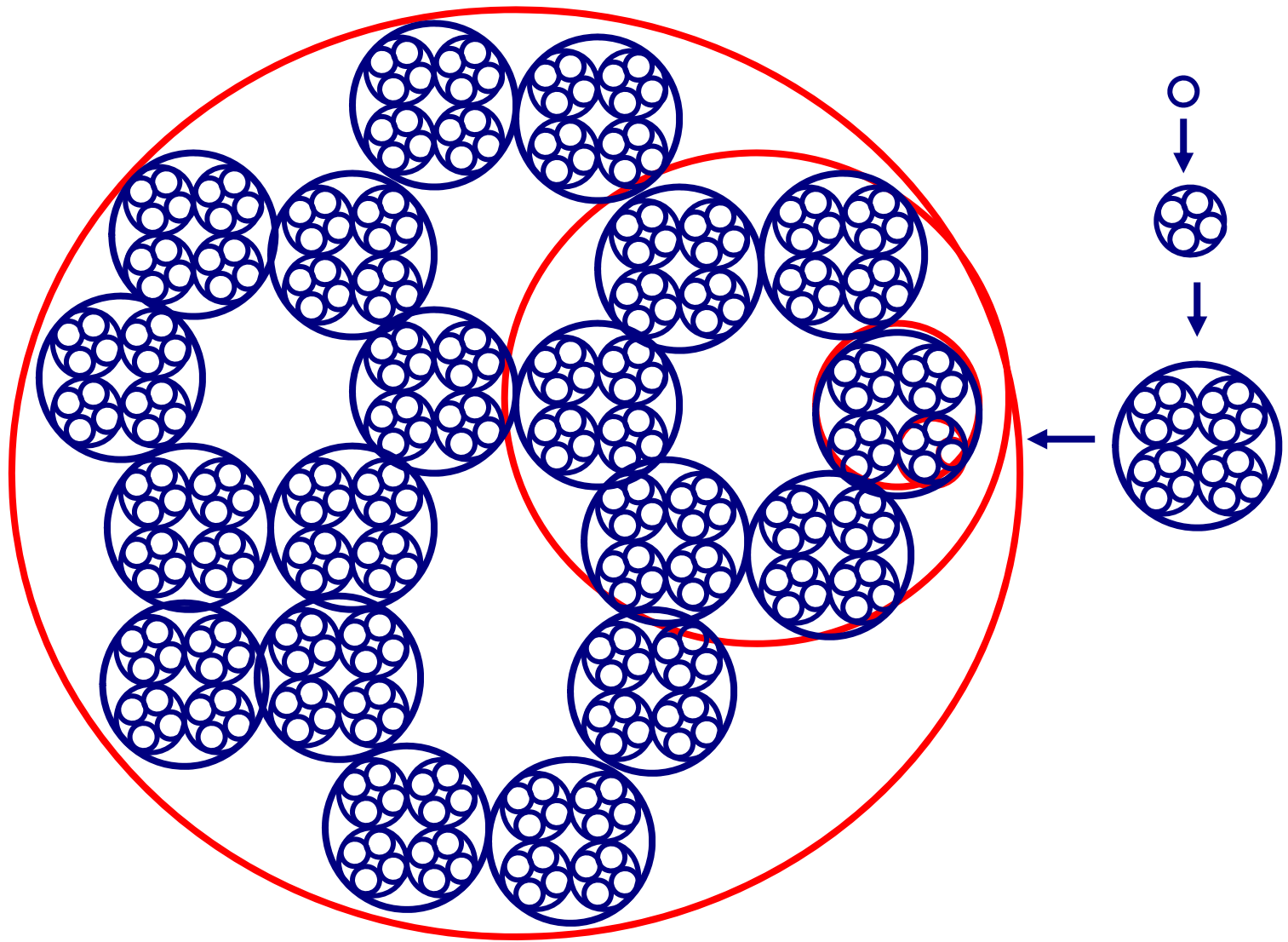
孔隙量 45.2 %



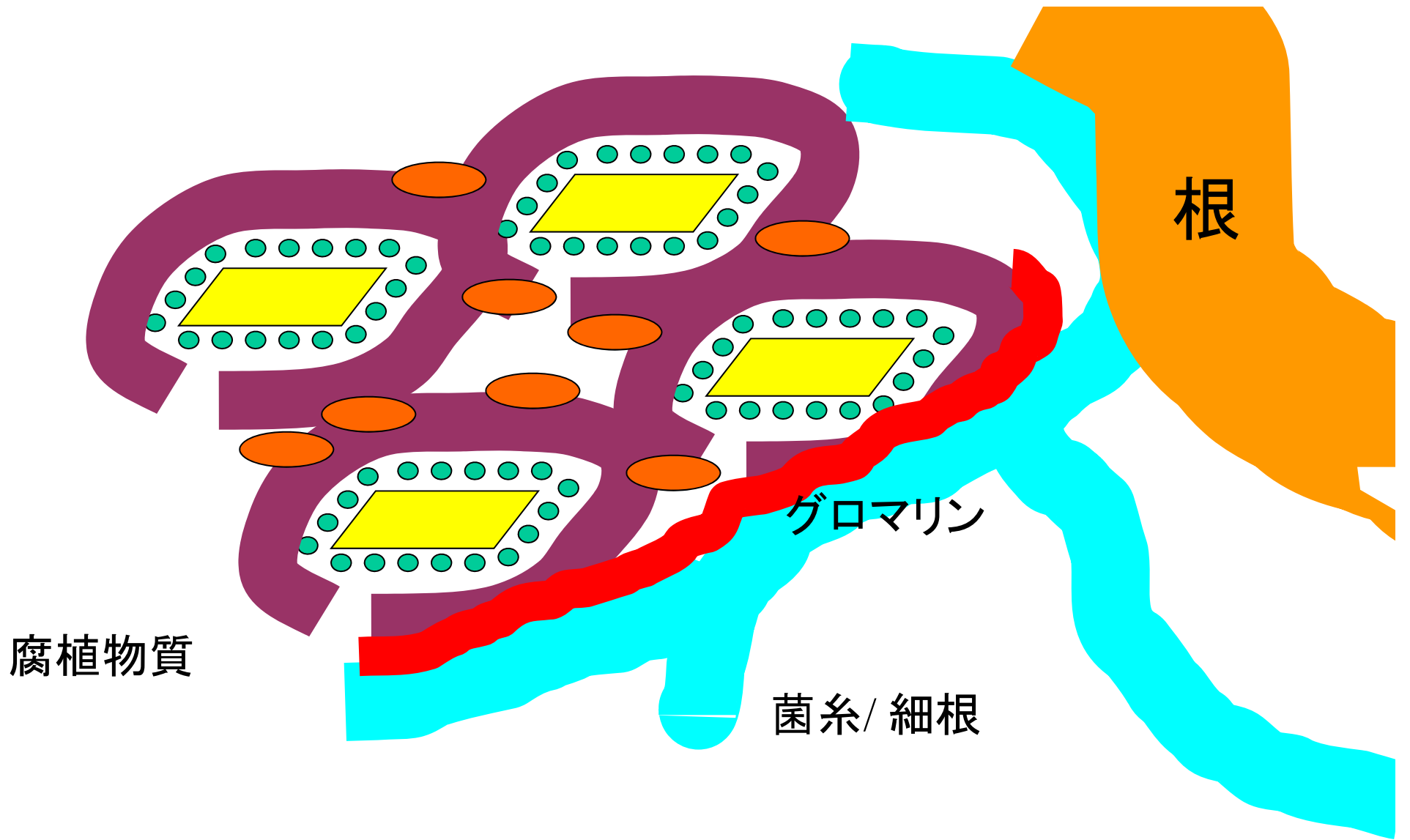
d

孔隙量 72.6 %





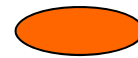
土壤団粒の階級的構造



粘土



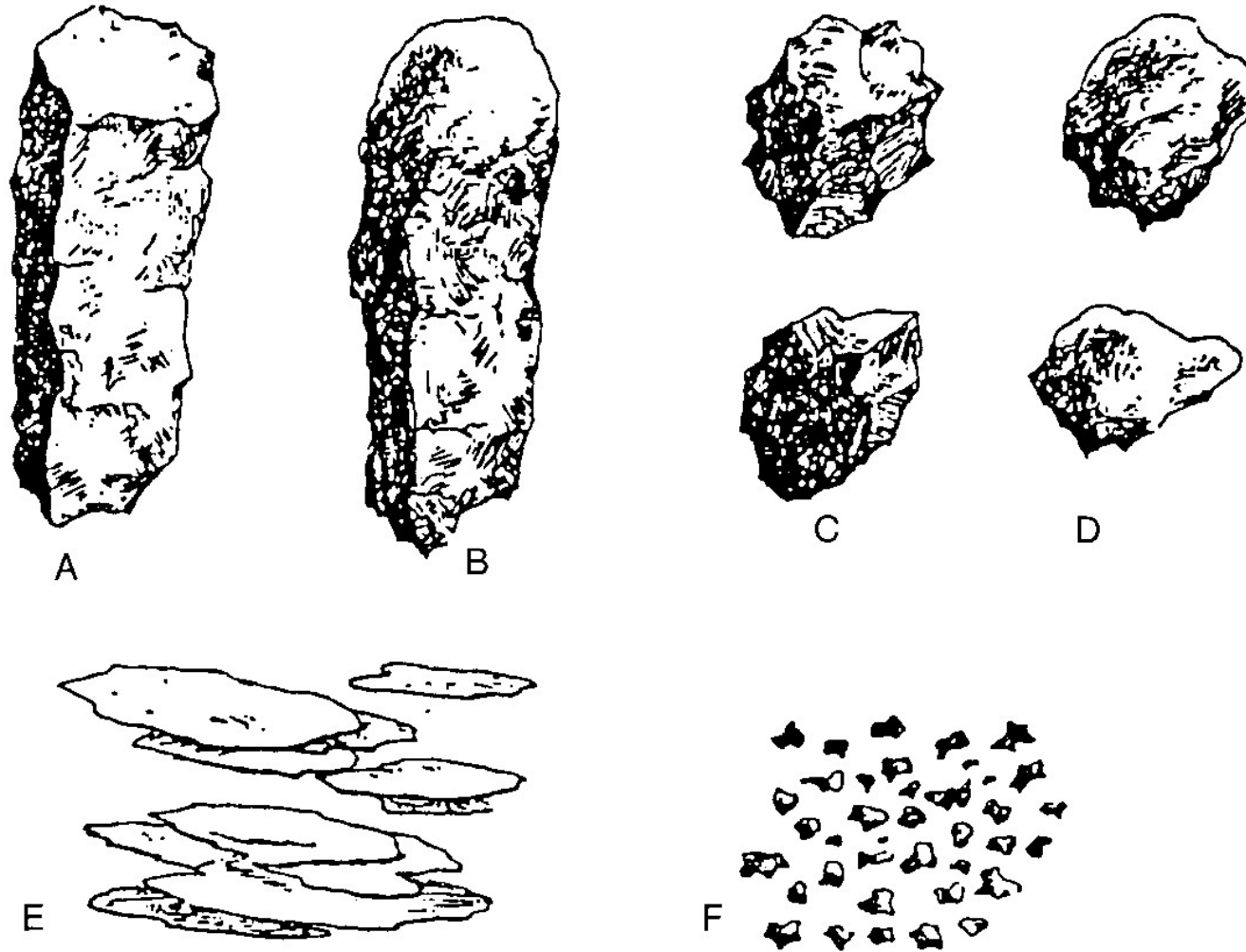
陽イオン



細菌

## 土壌団粒形成のメカニズム

# 土壤構造



A：角柱状 B：円柱状 C：角塊状 D：亜角塊状 E：板状 F：粒状

図6-5 土壤構造の形状 (Soil Survey Staff, 1951)

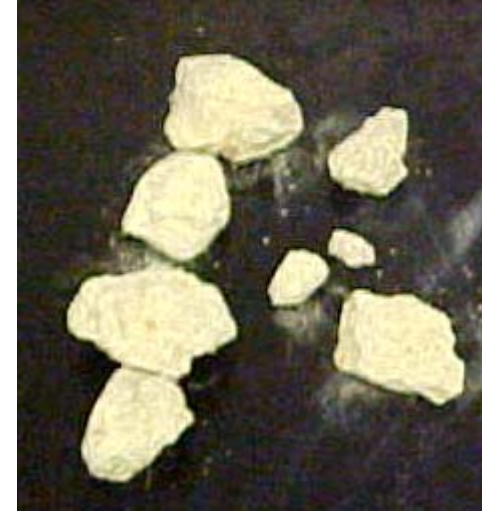
# 土壌構造



粒状構造



板状構造



亜角塊状構造



柱状構造

良い土壌構造を持つ土は健康な土である。

# 土壌構造ができる原因

- 乾燥・湿潤の繰り返し
- 凍結
- 植物の根の働き
- 土壌動物

# 土壌中の水

2回目「植物の生育と根圏」でも話したので、ここでは概要だけにします。

# 水保持ポテンシャル (マトリックポテンシャル)の表し方

圧力の単位 Pa (パスカル) の定義

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2 = 1 \text{ kg m/sec}^2 / \text{m}^2$$

水柱の高さとの換算

高さ1 mの水柱の圧力

$$\begin{aligned} 100 \text{ gw/cm}^2 &= 10^6 \text{ gw/m}^2 = 10^3 \text{ kgw/m}^2 \\ &= 9.8 \times 10^3 \text{ kg m/sec}^2/\text{m}^2 \\ &= 9.8 \text{ kPa} \end{aligned}$$



# 土壌水の種類と マトリックポテンシャルのめやす

	土壌水の種類	マトリックポテンシャル( $\phi$ )	pF
最大容水量	重力水	0 kPa	
圃場容水量	易有効水	- 6 kPa	1.78
生長阻害点	易効性有効水	- 49 ~ - 98 kPa	2.7 - 3.0
初期萎凋点	難有効水	- 600 kPa	3.78
永久萎凋点	非有効水	- 1,500 kPa	4.18
吸湿係数	湿度98%の空気と 平衡	- 2,700 kPa	4.43
絶乾土		- 700,000 kPa	6.85

## 最大容水量（飽和容水量）

- 土壌の全孔隙が水で占められているときの水分量

重力水  $\phi = 0 \text{ kPa}$

pFでは表せない。

( $\log 0$ となるため)

## 圃場容水量

- 多量の降雨もしくははかん水した1~2日後、水の下降速度が非常に小さくなったときの水分量

易有効水  $\varphi = -6 \text{ kPa}$

$pF = 1.78$

(土壌の種類によって多少異なる)

# 生長阻害点

- 作物が健全に生育できる範囲の水分

易効性有効水分  $\phi = -49 \sim -98 \text{ kPa}$   
 $pF = 2.7 \sim 3.0$

水柱の高さにして  $5 \sim 10 \text{ m}$

## 初期萎凋(シオレ)点

- 植物がしおれはじめる時の水分

難有効水  $\varphi = -600 \text{ kPa}$   
 $pF = 3.78$

## 永久萎凋(シオレ)点

- 飽和蒸気圧下で水分を補給しても植物が生き返らない水分点

非有効水  $\varphi = -1,500 \text{ kPa}$

$pF = 4.18$

$1,500 \text{ kPa} = 10.2 \times 1,500 \text{ cm} = 15,300 \text{ cm}$   
 $= 153 \text{ m}$  (水柱153mに相当する張力)

# 有効水とは

(圃場容水量から永久萎凋点まで)

- マトリックポテンシャルが **の水分**  
-6 ~ -1,500 kPa まで
- pF が 1.78 ~ 4.18 まで
- 水柱の高さでとして 60.2 cm から  
15136cm (152 m) まで
- 毛細管の半径として 0.0244 mm (シルト)  
から  $9.67 \times 10^{-5}$  mm (約0.1  $\mu\text{m}$  : 細粘土  
の半径)まで



# 吸湿係数

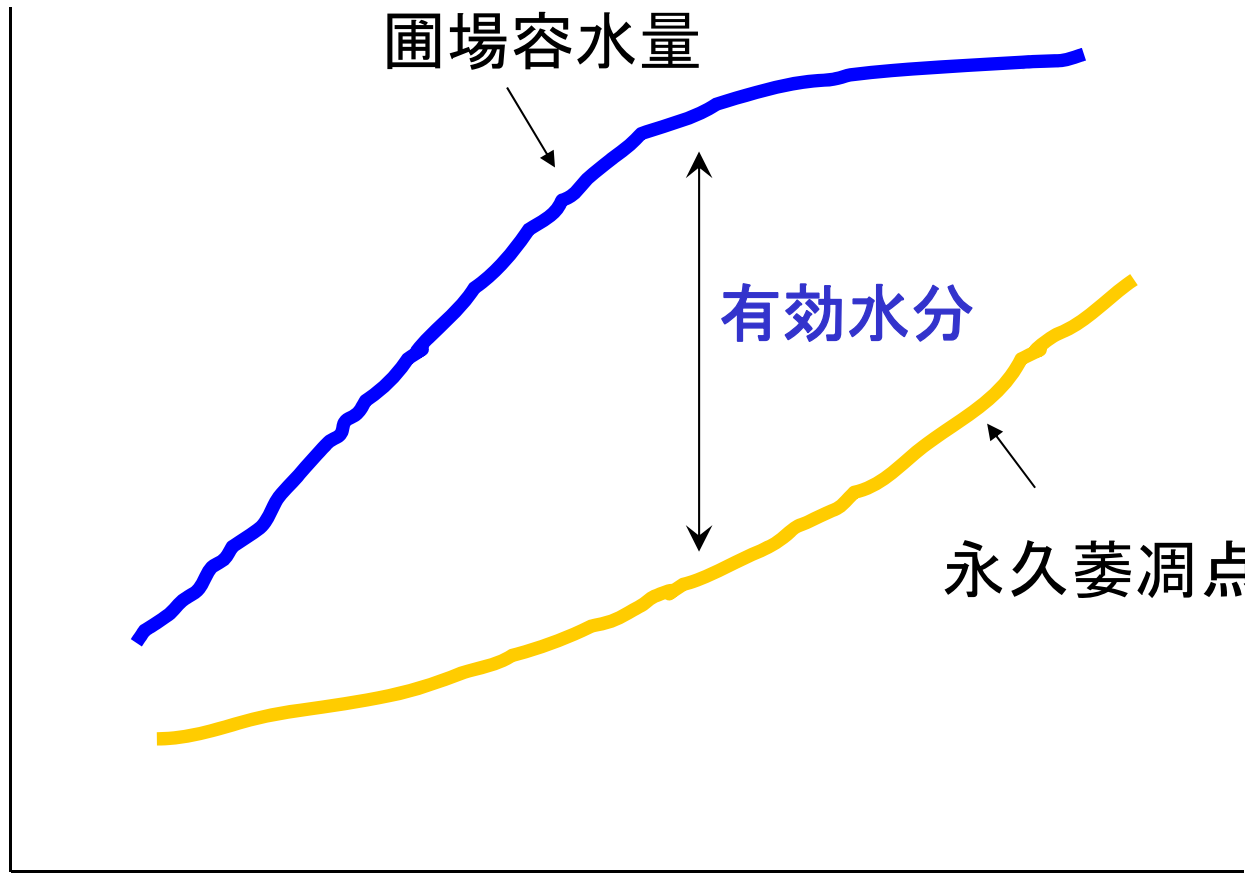
20°Cで相対湿度98%の空気と平衡に達した時の水分

$$\varphi = -2,700 \text{ kPa} = -2.7 \text{ MPa}$$

$$\text{pF} = 4.43$$

この水分では、植物は水を吸うことができない。

# 体積水分率

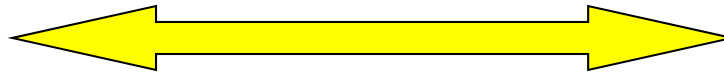


砂

壤土

埴土

砂に富む



粘土に富む

# 有効水分

砂土や重粘土では低く、  
壤土で高い。

土壌有機物や堆肥も有効水分を増や  
すことができる。

# 土壤空氣

# 土壤空気の特徴

成分	大気中の容積%	土壤中(大気中含量 に対する比率)
N <sub>2</sub>	78.1	0.96 – 1.15 倍
O <sub>2</sub>	20.9 >>	0.09 – 1.0 倍
Ar	0.93	1.0 – 1.2 倍
CO <sub>2</sub>	0.0345 <<	3 – 30 倍
CH <sub>4</sub>	0.00017 <<<	~30000 倍
N <sub>2</sub> O	0.00003 <<<	~ 33000 倍
相对湿度	30 – 90 % <	100 %

# 作物の種類と必要空気率

要求程度	必要空気率	作物
最大	> 24 %	キャベツ インゲン
大	> 20 %	カブ キュウリ 小麦 大麦 コモンベッチ
中	> 15 %	エンバク ソルゴー
小	10 %	イタリアンライグラス 稲 タマネギの生育初期

# 適正な土壤空気組成

- 気相率 10 – 15 %
- 酸素 10 % 以上
- CO<sub>2</sub> 8 % 以下



# 土壤空気中の酸素濃度

神奈川県 伊勢原市	火山灰土	愛知県 武豊町	非火山灰 土
深さ	酸素%	深さ	酸素%
20 cm	20.2 – 20.8	0 – 10 cm	19.1 – 20.7
50 cm	20.0 – 20.6	10 – 20 cm	19.4 – 20.8
100 cm	19.5 – 20.0	20 – 30 cm	14.2 – 14.8

# 土壤空気中のCO<sub>2</sub>濃度

神奈川県 伊勢原市	火山灰土	愛知県 武豊町	非火山灰 土
深さ	CO <sub>2</sub> %	深さ	CO <sub>2</sub> %
20 cm	0.14 – 0.25	0 – 10 cm	0.43 – 1.51
50 cm	0.30 – 0.54	10 – 20 cm	0.60 – 1.91
100 cm	0.51 – 0.98	20 – 30 cm	5.89 – 6.20

火山灰土では土壌中の空気が  
動きやすい。  
作物の生育に好ましい。

# 耕耘が農耕地土壌に 及ぼす効果

# 作物生産と土壌物理性 土壌診断基準項目

- 心土の緻密度 16 - 20
- 作土の固相率 25 - 30 (火山灰土)  
40 以下 (低地土・台地土)
- 容積重 70 - 90 (火山灰土)  
90 - 110 (低地土・台地土)
  
- 粗孔隙率 15 - 25
- 易有効水容量 15 - 20
- 碎土率 70 以上

# 作物生産と土壌物理性 土壌診断基準項目(続)

- 作土の深さ                    20 – 30 cm
- 有効土層の深さ            > 50 cm
- 飽和透水係数             $10^{-3} - 10^{-4}$  cm/sec
- 地下水位                    60 cm 以下
- 耕盤層の判定            山中式硬度計で20以上  
貫入式硬度計で1.5MPa以上は耕盤層と  
判定

# 耕うんの効果

- 土壌をやわらかくし、水と空気の保持容量を増やす。
- 雑草や病害虫のサイクルを断つ。
- 作物残渣、堆肥、肥料などを混和する。
- 土壌養分の偏りをなくす。
- 最適な発芽環境や初期生育の確保
- 根域の拡大や土壌微生物活性の促進



# 耕うんのデメリット

- 所要エネルギーが非常に大きい。
- 裸地化により土壌侵食を受けやすい。
- 土壌の地耐力が減少。降雨後の機械作業ができない。
- 強雨によりクラスト(粘土皮膜)ができる。
- 下層土が混入する。
- 重たい機械により耕盤層ができる。
- 土壌有機物の分解を促進する。

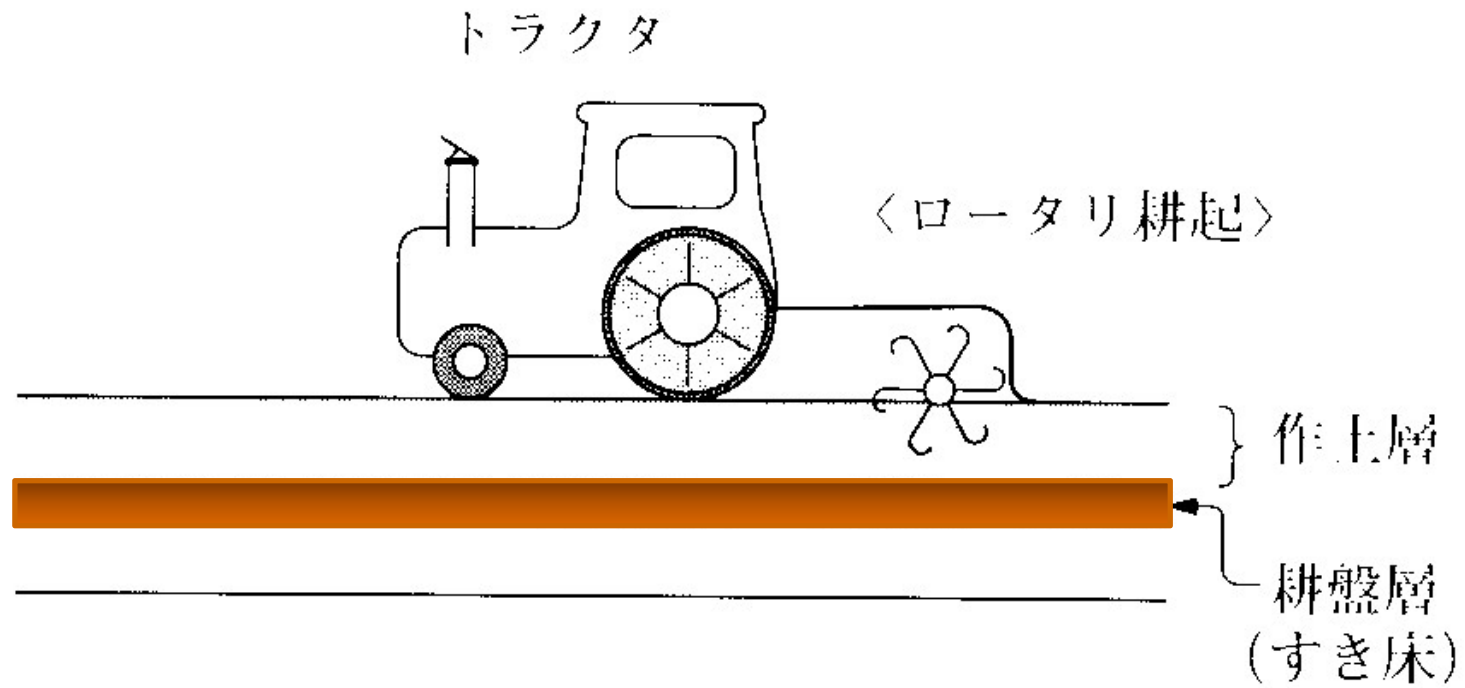


図14-12 露地野菜畑での耕盤層の生成

## 耕盤層

# 作物の生育には下層土も大切

- 畑作物は養分の半分以上を下層土から吸収している。
- 下層土からの水分吸収も重要。
- 耕盤層ができると、下層土に根が伸びなくなる。
- 水はけが悪くなり、作土層での根の生育も阻害される。

不耕起

耕起



# 耕起と不耕起における作業時間の比較

播種方法	作業時間(分/10a)			
	ロータリー耕	播種	除草剤散布	計
耕起法	38	26	11	75
不耕起法	← 15 →			15

# 不耕起栽培の効果

- 風食・水食による土壌損失の軽減。
- 土壌有機物分解の抑制。
- 省力・低コスト化。
- 地耐力が大きく、天候に関わらず適期作業が可能。
- 作物残渣の土壌表面被覆・鳥害の抑制。
- 浸潤性や保水性に優れる。
- 植物残渣の地表面への富化・地力維持

# 不耕起栽培のデメリット

- 土壌硬度の増大 生育不良 湿害
- 肥料の利用効率低下（揮散・脱窒）
- 植物残渣による地温低下 発芽不揃い  
病害虫発生
- 除草剤の使用量増加
- 根菜類の栽培困難

# 土壤物理性悪化の要因と対策

## 自然的要因

- 地形

  - 傾斜の修正・平坦化

  - 排水の改良（暗きよ・明きよ）

- 土壤の種類（重粘土、砂土）

- 対策 各種の土壤改良

  - 客土

  - 有機物施用・緑肥・輪作



# 土壤物理性悪化の要因と対策

## 人為的要因

- 農業機械
  - 機械の改良 農作業工程の見直し
- 有機物・堆肥の不施用
- 土壤有機物の分解・土壤侵食
- 土壤生物の不活性化
  - 堆肥の施用・緑肥の栽培・輪作体系の確立
  - 不耕起栽培

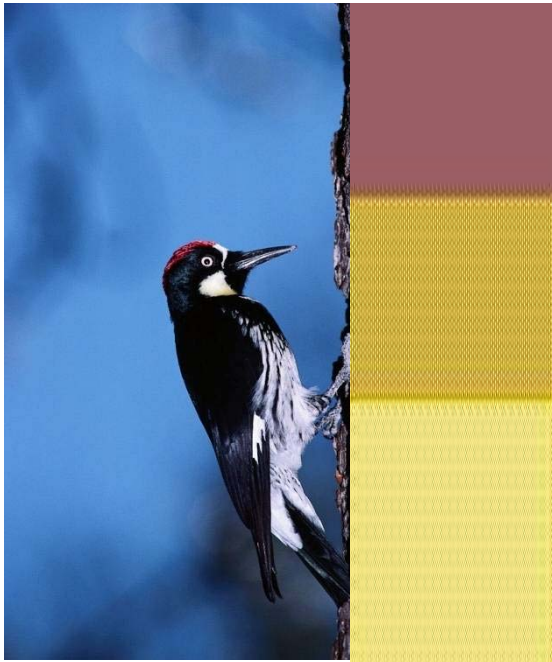
# 土壌物理性の低下と営農問題

- 水田作土層が浅くなっている。
  - 水稲の収量と品質が低下。
- 畑地の作土が硬くなり、排水不良化。
  - 野菜類の収量と品質が低下。
  - 特にキャベツの生育不良
- 畑地で硬盤が形成される。
  - 根菜類(ダイコン・ニンジン等)の収量と品質が低下(くびれ症状)。

# 土壌物理性の低下と土壌病害

- 排水の悪い土壌。
  - ハクサイ・キャベツの根こぶ病
  - ナスの青枯れ病
- 畑地の作土が硬くなっている。
  - タマネギの乾腐病

考えてください

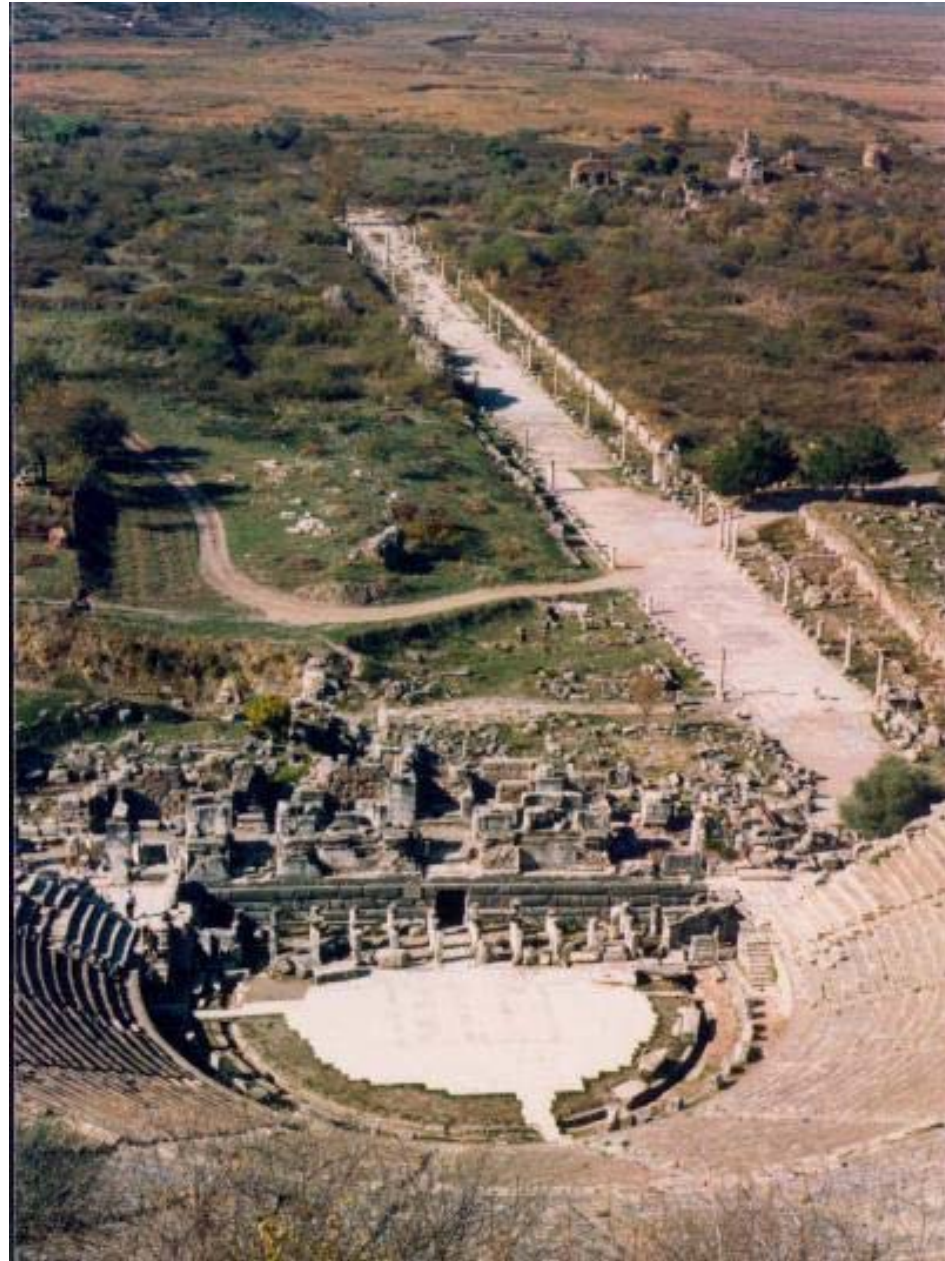


私たちは、どのように  
土と農業を守っていっ  
たらよいのか？

# ギリシャ、 エフェソスの遺跡

“The Nation  
that destroys  
its soil destroys  
itself” --  
Franklin D.  
Roosevelt

土を破壊した国家  
は、国そのものを  
滅ぼしている  
F.D.ルーズベルト





# 古砂丘上の淡色クロボク土(芽室)



# 土への感動

- 命を生み出す力

十勝の長い冬 厳寒の下で土はエネルギーを蓄えてきた。

陸上の全ての命が土から生み出されている。

- 日本一の畑作酪農生産を支えているのは十勝の豊かな土壌である。

# 土への感動

- 環境を守る土  
生物残渣や排泄物の分解、  
大気の組成、水分の保持、  
環境変動に対する緩衝



# 土への感動

- 歴史を刻む土

火山灰の降灰、大洪水、人間の生活の跡など、土は過去の歴史を秘めている。

バベルの塔は本当にあったのだろうか？

私たちは再びバベルの塔を築いてはいないか？



# ホピ族の言い伝え

私たちのこの土地は、**先祖**から受け継いだものではあるけれど、

私たちの**子孫**から借りているものでもある。

だから、そのまま子孫に返すのだ。

