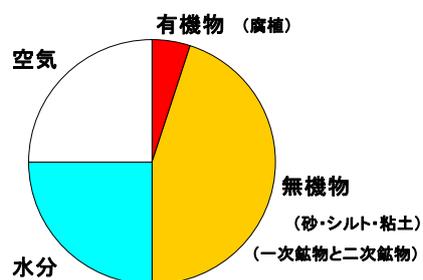


植物生産土壌学4

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

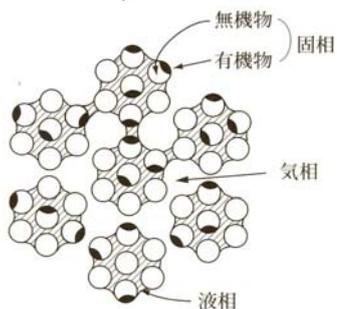


図5-1 土壌の三相の模式図 (高井・三好, 1977)

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 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 ($>3.0 \text{ cm}^{-3}$)

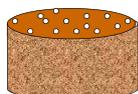
仮比重

非攪乱土壌の孔隙を含めた密度

砂質土壌 1.1~1.8

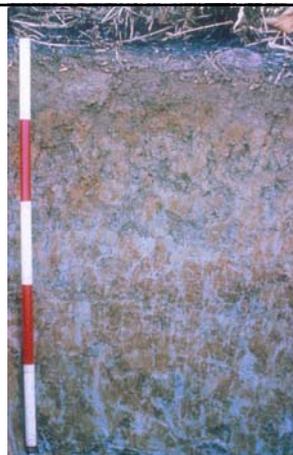
黒ボク土壌 0.5~0.8

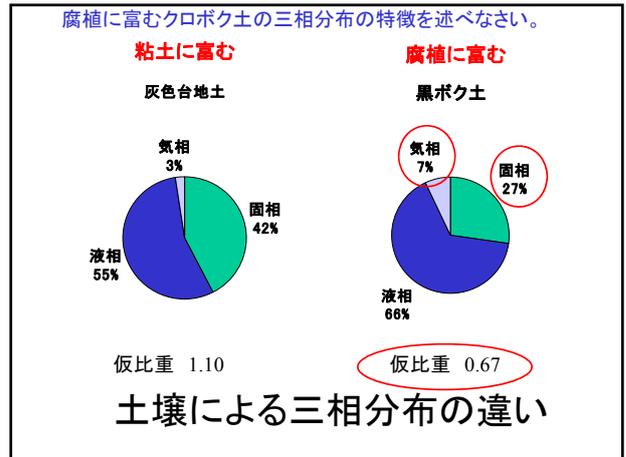
泥炭土壌 0.2~0.6



固い土

灰色台地土
(滝川)





細かい ←————→ 粗い

粘土	シルト	砂		れき
		細砂	粗砂	
0.002mm	0.02mm	0.2mm	2mm	

国際法による土壌粒径区分

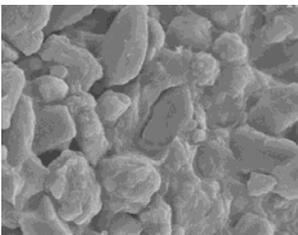
岩石の風化によって土の粒子ができる

- 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。



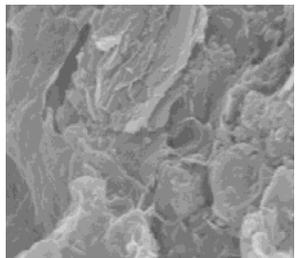

シルトの粒子

- 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。

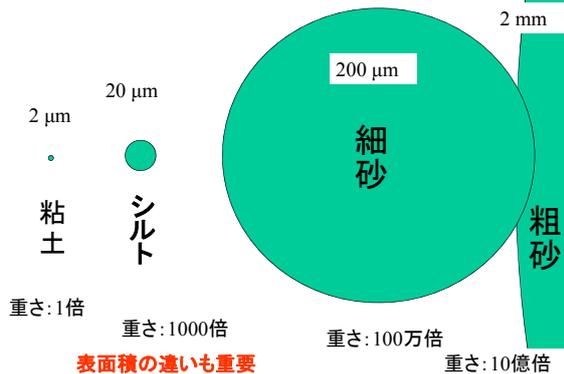


粘土質の土壌

- 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 μm	33%	0.1%
シルト	20 μm	33%	1%
結晶性粘土	1 μm	32%	14%
アロフェン	0.005 μm	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 2mm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	砂壌土	かためることが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	鉛筆くろいの太さができる
大部分粘土で一部 (20~30%) 砂を感じる	37.5~50.0	CL	埴壌土	マッチ棒くろいの太さができる
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

*土を少量の水で溼らし、指の感じによって粘土と砂の量を決める

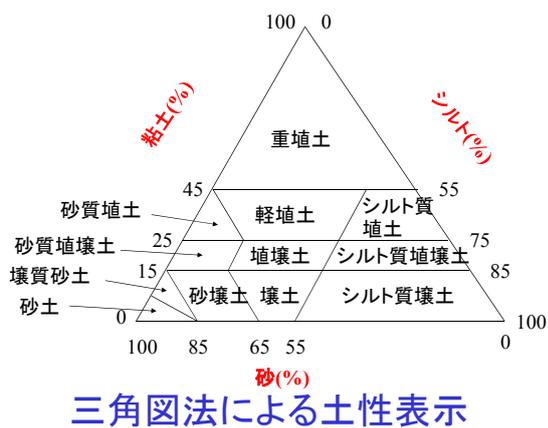
野外土性 砂壌土と壤質砂土の違い



砂壌土
(Sandy loam)

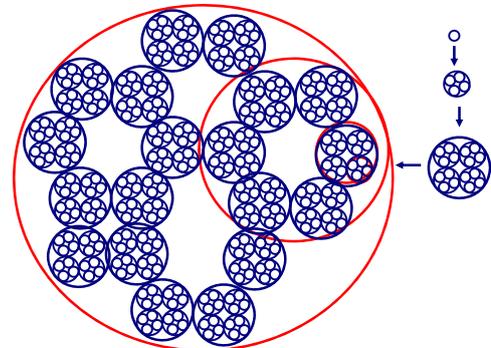
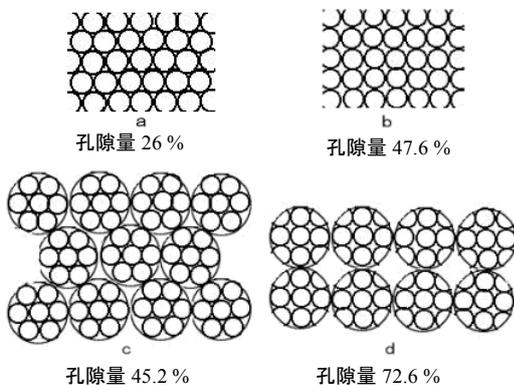


壤質砂土
(Loamy sand)

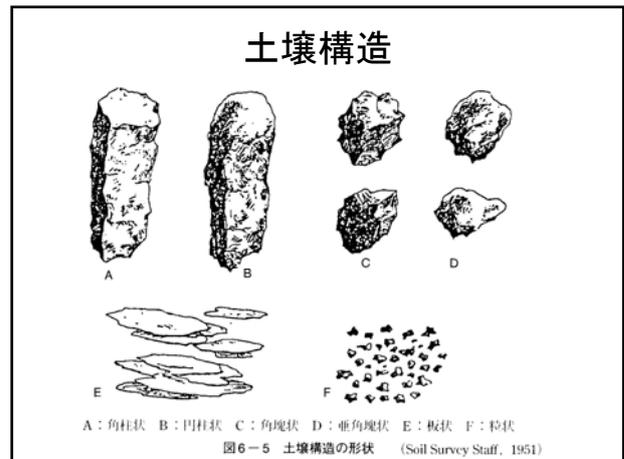


土壌団粒

できかたと役割



土壌団粒の階級的構造



- ### 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

$$100 \text{ gw/cm}^2 = 10^6 \text{ gw/m}^2 = 10^3 \text{ kgw/m}^2$$

$$= 9.8 \times 10^3 \text{ kg m/sec}^2 / \text{m}^2$$

$$= 9.8 \text{ kPa}$$

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(ϕ)	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 $\phi = 0$ 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 $\phi = - 6$ 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 $\phi = -49 \sim -98$ kPa

pF = 2.7 ~ 3.0

水柱の高さにして5 ~ 10 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 $\phi = - 600$ 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 $\phi = - 1,500$ kPa

pF = 4.18

1,500 kPa = $10.2 \times 1,500$ cm = 15,300 cm
= 153 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 9.67×10^{-5} mm (約0.1 μm : 細粘土の半径) まで

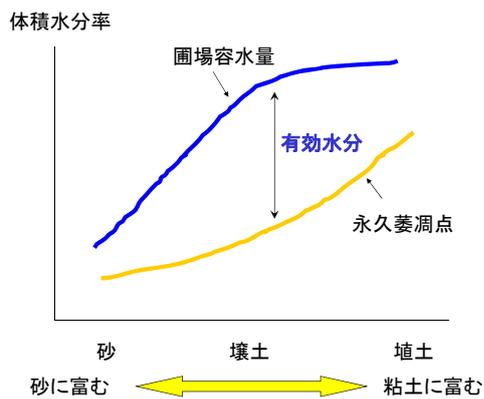
吸湿係数

20°Cで相対湿度98%の空気と平衡に達した時の水分

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

$$pF = 4.43$$

この水分では、植物は水を吸うことができない。



有効水分

砂土や重粘土では低く、
壤土で高い。

土壤有機物や堆肥も有効水分を増やすことができる。

土壤空気

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 ₂	78.1	0.96 - 1.15 倍
O ₂	20.9	>> 0.09 - 1.0 倍
Ar	0.93	1.0 - 1.2 倍
CO ₂	0.0345	<< 3 - 30 倍
CH ₄	0.00017	<<< ~30000 倍
N ₂ O	0.00003	<<< ~33000 倍
相対湿度	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

適正な土壌空気組成

- 気相率 10 – 15 %
- 酸素 10 % 以上
- CO₂ 8 % 以下

土壌空気中の酸素濃度

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

土壌空気中のCO₂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 ₂ %	深さ	CO ₂ %
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

作物生産と土壤物理性 土壤診断基準項目

- 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

作物生産と土壤物理性 土壤診断基準項目(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。

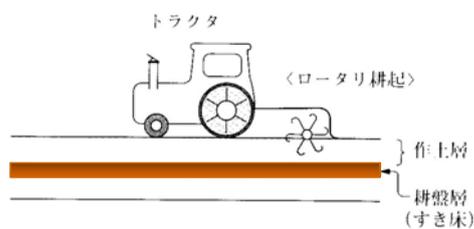
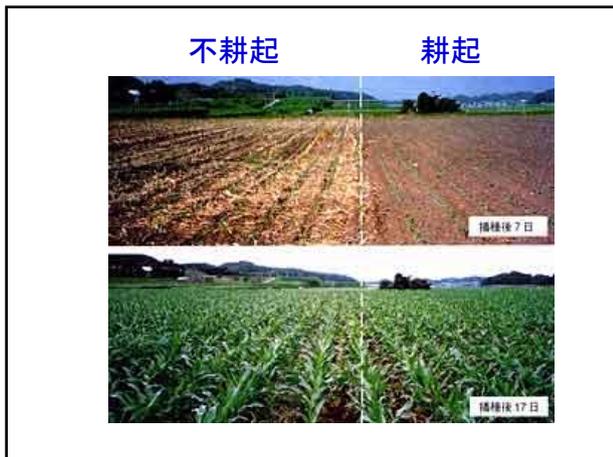


図14-12 露地野菜畑での耕盤層の生成

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。



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 病虫害発生
 - 除草剤の使用量増加
 - 根菜類の栽培困難

- ### 土壌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)
 - 土壌の種類（重粘土、砂土）
 - 対策 各種の土壌改良
 - 客土
 - 有機物施用・緑肥・輪作

- ### 土壌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
 - 土壌有機物の分解・土壌侵食
 - 土壌生物の不活性化
 - 堆肥の施用・緑肥の栽培・輪作体系の確立
 - 不耕起栽培

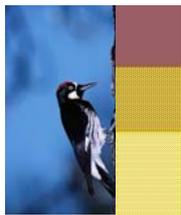
土壌物理性の低下と営農問題

- 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

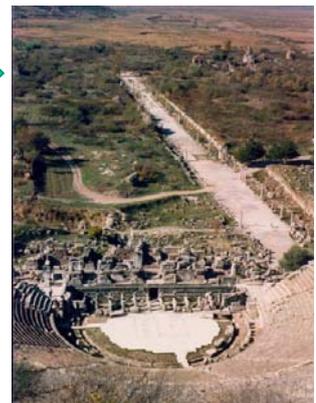


私たちは、どのように
土と農業を守っていつ
たらよいのか？

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。

