

～土壤水分管理技術について～



農業技術センター 生産環境研究部・栽培技術研究部

1. 土壌水分に関連する土壌物理性と
圃場づくりについて
2. 土壌物理性改善の実例
3. 土壌水分の表し方と測り方

1. 土壌水分に関連する土壌物理性と 圃場づくりについて

土壌水分管理を効果的に行うために

土壌水が必要な時供給され、作物が生育できる
土壌環境が必要



土壌物理性を好適な条件に整える

まず、土壌物理性について再確認しましょう！

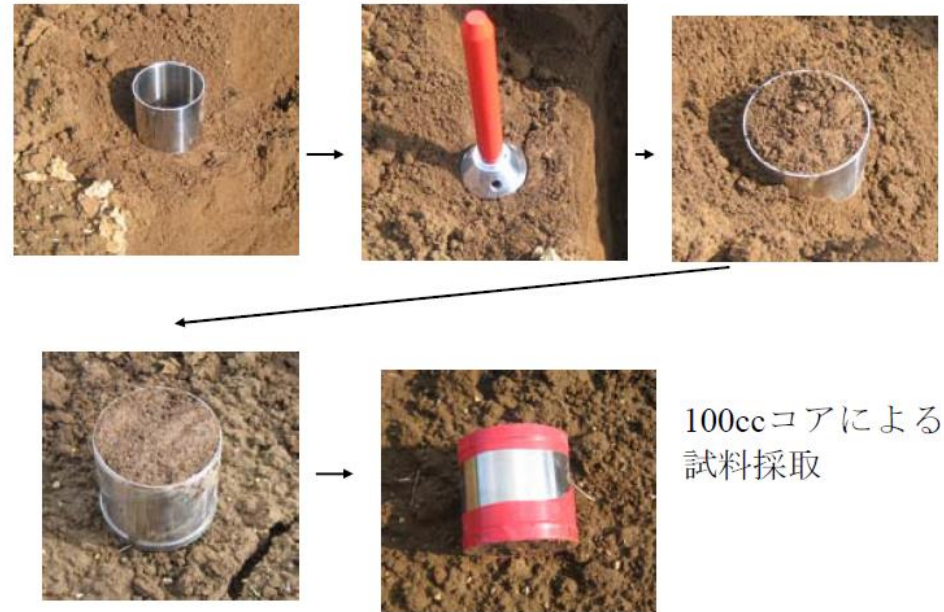
土壌診断（物理性）

| | 作業・計測 | 何が分かる？ |
|---|---------------------|--------------------|
| ① | 100円筒管への土壌採取（通常3反復） | |
| ② | 実容積の計測 | 固相+液相率 気相率 |
| ③ | pF1.5～2.7の水分量計測 | 易効性有効水 （水分特性曲線） |
| ④ | 飽和透水係数の計測 | 透水性 |
| ⑤ | 乾土重の計量 | 固相（三相分布） 仮比重 |

① 土壌採取



40cm深程度の土壌断面を作製



100ccコアによる
試料採取

必要な層の試料を採取



100ml円筒に採取した土壌

令和3年度農地土壌炭素貯留等基礎調査事業
農地管理実態調査の定点調査及び基準点調査
における土壌炭素調査実施方法 より引用

②実容積の計測



実容積計
(DIK-1150)

円筒管をセットし, 100ml中の気相以外の容積
(固相と気相を合わせた数値) を計測



三相分布の気相率が分かる

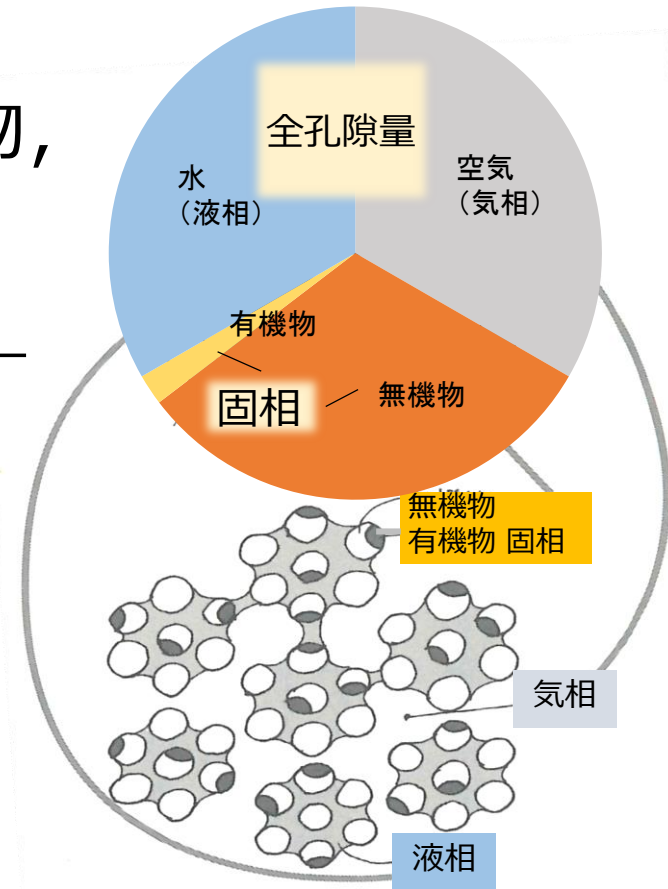
三相分布

固相, 液相, 気相の容積割合

固相：無機成分と有機成分（有機物，腐植物質，非腐植物質など）
生育に必要な養分の供給源，保肥機能

液相：土壤水
水や養分を供給

気相：空気
酸素供給，水分貯留，通気性・透水性に關与



新版 図解土壤の基礎知識
藤原俊六郎 農文協より引用

三相分布

一般的な三相分布

| | |
|----|--------|
| 固相 | 40～50% |
| 液相 | 25～30% |
| 気相 | 25～30% |

* 土壌の特性を表すときは、pF1.5の時の値を示す

| 土壌の種類 \ 三相 | 固相 | 液相 | 気相 | 備考 |
|------------|-------|----------|----------|--------------|
| S(砂土) | 50 | 10 | 40 | |
| C(しょく土) | 40 | 20 | 40 | |
| HC(重しょく土) | 40 | 30 | 30 | (重粘土) |
| 火山灰土 | 30 | 30 | 40 | |
| 熟畑土 | 30～40 | 40～30 | 30 | |
| 三相の変化 | | 増大 減少 | 減少 増大 | ← 湿害 ← 干害 |

農業協同組合新聞HPより引用

<https://www.jacom.or.jp/archive03/series/cat122/2009/cat122090804-5507.html>

③ pF1.5~2.7の水分量計測



砂柱法
(低pFで使用)



加圧板法



(加圧板法) チャンバー内の多孔質板上に円筒管をセットし、設定したpF値に加圧，多孔質板を通し圧力が均衡するまで水が排出される。水の排出が終わったのちの重量を計量

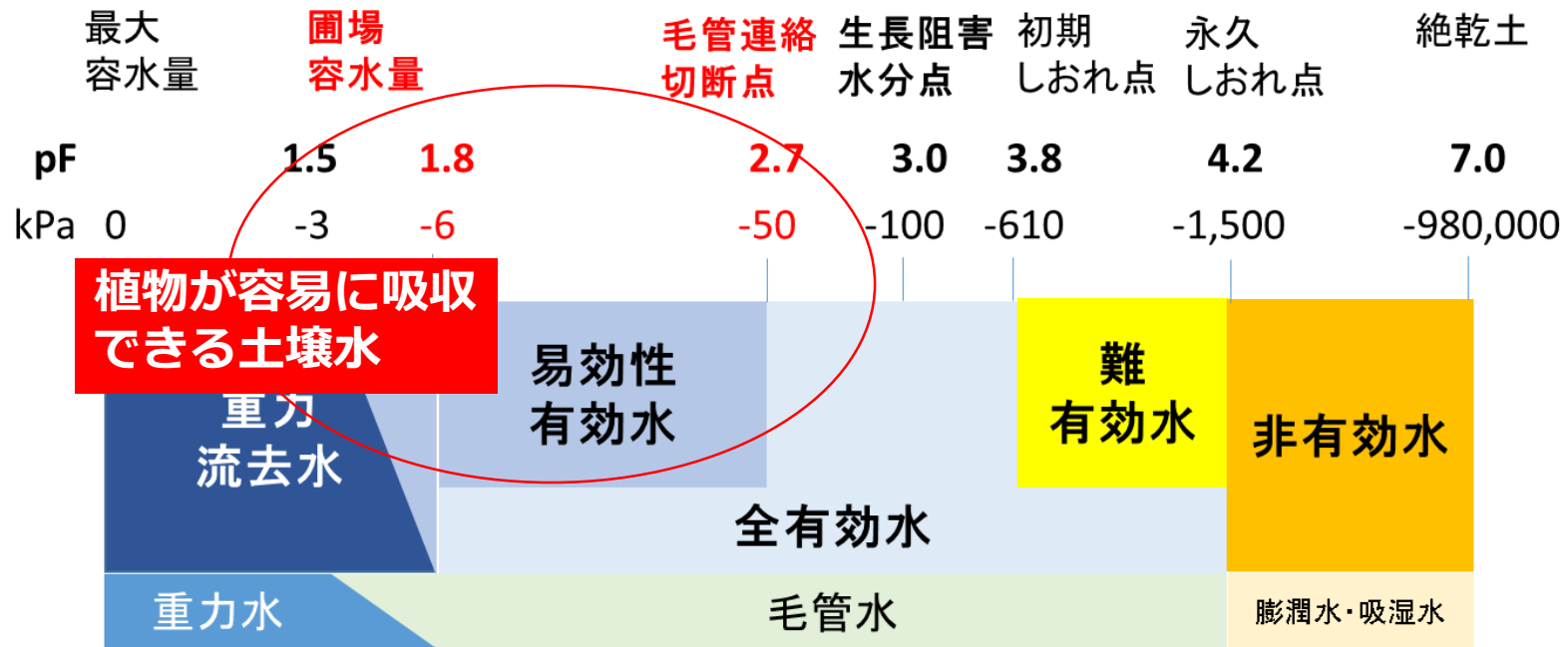
pF値毎の水分量が分かる

易効性有効水
(水分特性曲線)

保水性（易効性有効水）

圃場容水量（黒ボク土でpF1.5, 非黒ボク土でpF1.8）から

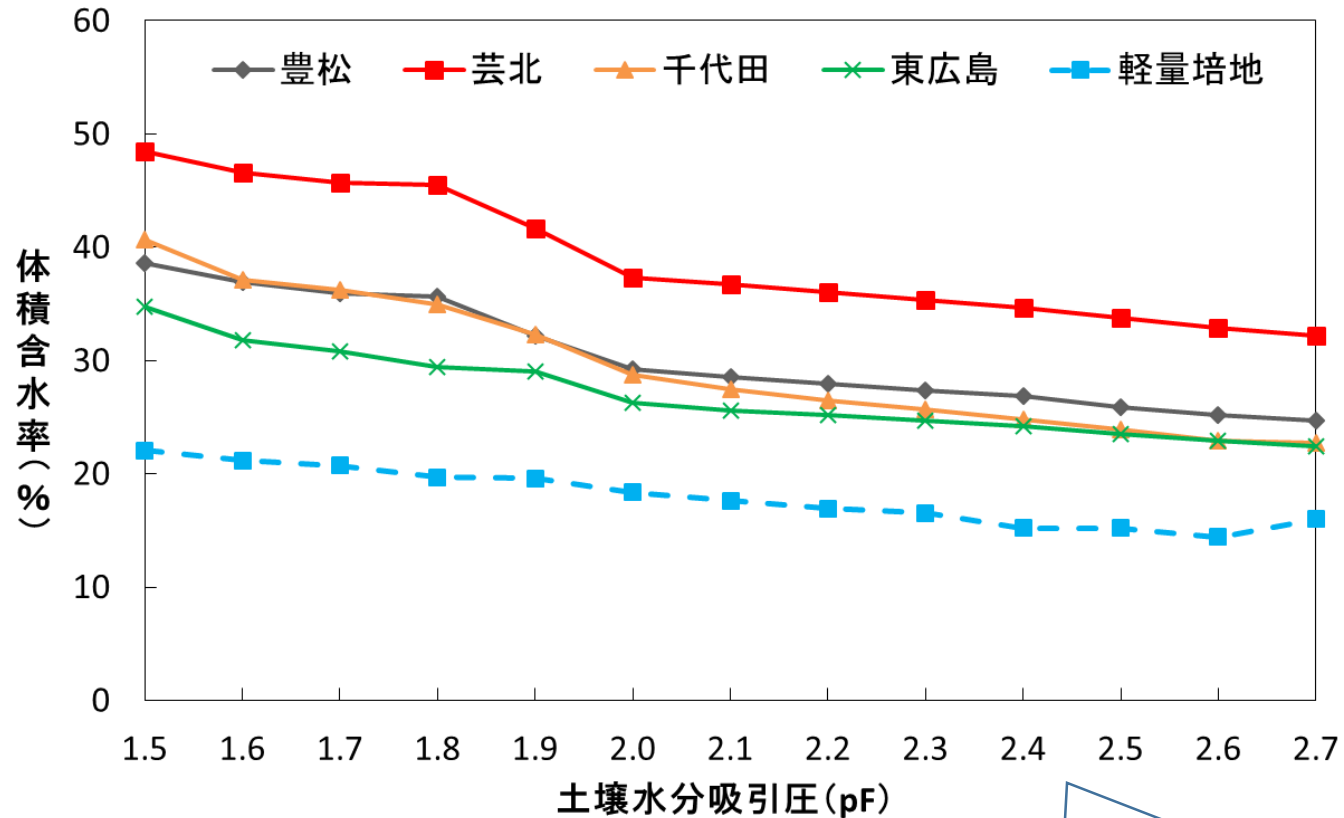
毛管連絡切断点（pF 2.7~3.0）からまでの水を保持する能力



| 土の種類 | 易効性有効水 |
|------|-----------|
| 黒ボク土 | 13~20% |
| 砂質土 | 5~10% |
| その他 | これらの中間的数値 |

水分特性曲線

体積含水率と土壌水分吸引圧の関係を表す



土壌の種類や条件によって異なる

pF値1点あたりおおよそ
7~10日かかります！

④飽和透水係数の計測



定水位法

上から水を注ぎ、円筒管を通して排出される水量と経過時間を計測

透水性が分かる

透水性（飽和透水係数）

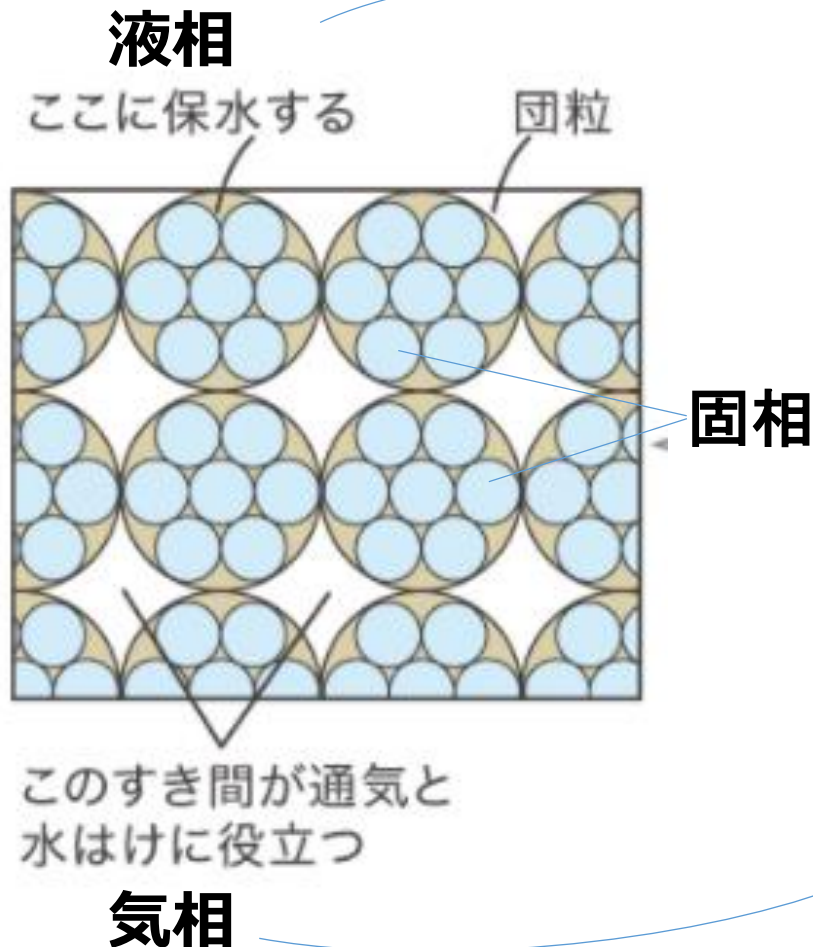
土壌孔隙が水で満たされた状態での20℃における
1秒当たりの流速（cm sec⁻¹）

目安

| | 良好 | 不良 |
|----|------------------------------------|---------------------|
| 畑地 | 10 ⁻³ ~10 ⁻⁴ | 10 ⁻⁶ 以下 |
| 水田 | 10 ⁻⁴ ~10 ⁻⁵ | |

良すぎても悪すぎてもいけない。

(少し整理) 透水性と保水性



保水性(作物に必要な水を保持)

団粒構造内で固相の間(液相)に
保持される水の量
団粒構造が必要

透水性(排水しやすさ,
作物に過剰な水を排除)

団粒構造外の気相部分の水の
排出しやすさ

⑤乾土重の計量



円筒管を105℃で24時間乾燥し、計量

↓
固形物の重量が分かる

→ 三相分布の固相
仮比重

その他の項目（仮比重）

仮比重：単位容積あたりの固相の重量
土壌のち密・膨軟程度の指標

目安

| 土の種類 | 仮比重 (g cm ⁻¹) |
|-------|---------------------------|
| 有機質土 | 0.2~0.5 |
| 黒ボク土 | 0.6~0.7 |
| 非黒ボク土 | 0.8~1.3 |

その他の項目（土壌の層位）

土壌の層位

有効土層；作物の根が侵入可能な土層

（土壌硬度29mm以上厚さ10cm以上の土層（耕盤）や
極端な礫層よりも上の層）

作土（耕土）層；根が容易に伸長できる土層

人為的な耕耘の影響を受けた膨軟な層

下（心土）層；作土層より下の層の総称

| 圃場 | 作土深 |
|---------|---------|
| 水稻 | 15～20cm |
| 野菜・畑地土壌 | 25cm以上 |

その他の項目（土壌の層位）

（説明で使う層位）

土壌表面から下に向かって、1層→2層→3層と表す。

土壌特性（色，硬度，礫の有無など）が変わるところを区切って調査している。

1層は概ね作土と考えてもよい。

一般的な 化学性分析⇒作土層を採取
物理性測定⇒必要な部位毎に採取

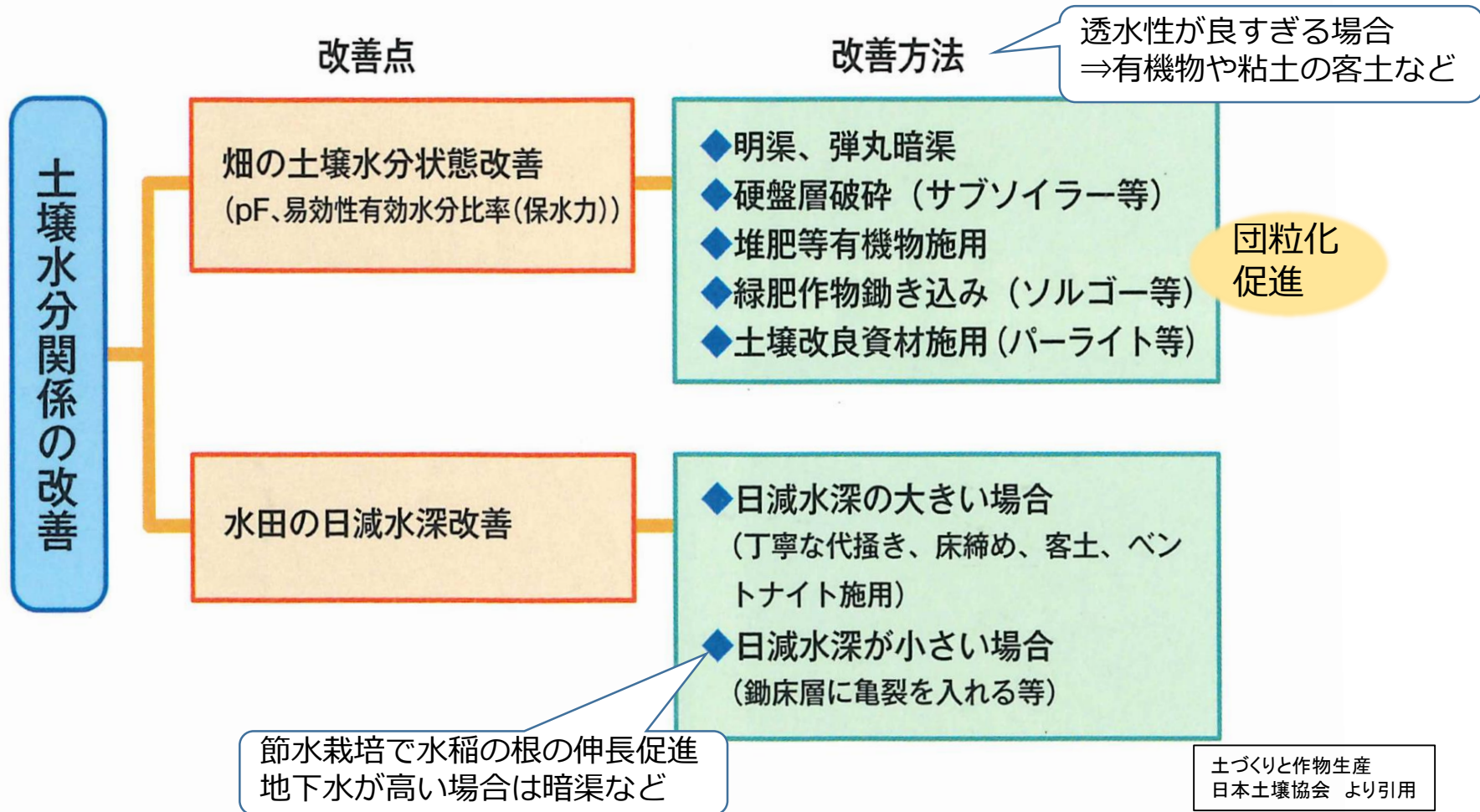
土層の改善

効果的な水管理を行うために



土づくりと作物生産
日本土壌協会 より引用

土壌水分に関連する改善



- ◆適度な保水性と透水性 (孔隙率) を有する土壌
- ◆土壌水が過不足なく供給され、根が十分伸長できる環境

土壌物理性診断による対策技術の選択

土壌物理性診断による問題点の把握



対策技術の選択

機械：右表

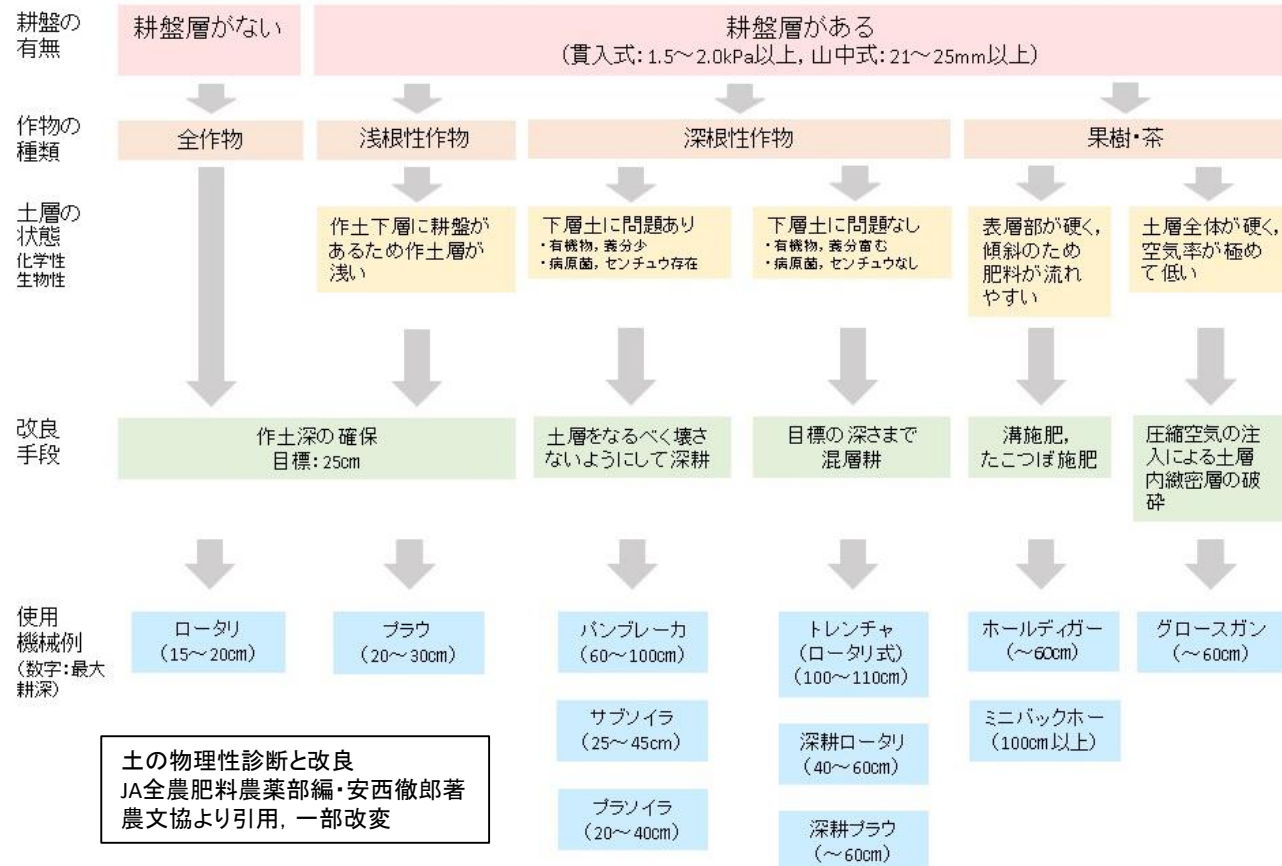
資材：

もみガラ

バーク(樹皮)堆肥

家畜ふん尿堆肥

緑肥 など



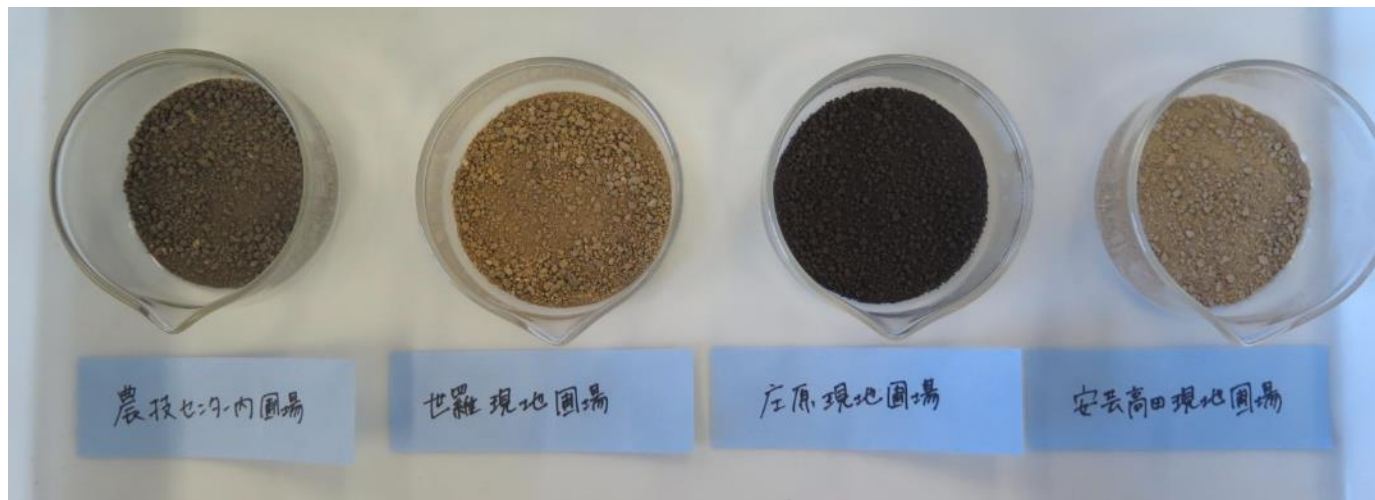
土壌化学性診断と合わせて継続的な対応が必要

2. 土壌物理性改善の実例

土壌物理性調査の実施例

4つの異なる圃場から採取した土壌の分析結果から、各圃場の土壌水分の特徴を考えてみましょう

| 土壌採取地点 | 作目 | 土壌分類 |
|-------------|------------|---------------|
| 農業技術センター内圃場 | ホウレンソウ | 中粒質灰色低地水田土 |
| 世羅町現地圃場 | キャベツ(造成地) | 細粒質赤色風化変質赤黄色土 |
| 庄原市現地圃場 | キャベツ(水田転換) | 細粒質腐植質グライ低地土 |
| 安芸高田市現地圃場 | 造成中 | 細粒質普通褐色森林土 |



農業技術センター内圃場

| 土壌採取地点(作目) | 層位 | 深さ (cm) | 仮比重 | pF1.5三相分布(V%) | | | 全孔隙量 (V%) | 有効水 (1.5-2.7) | 飽和透水係数 (cm/sec) |
|--------------------|----|------------|------|---------------|------|------|--------------|------------------|----------------------|
| | | | | 固相 | 液相 | 気相 | | | |
| 農技C内圃場 (ホウレンソウ) | 1層 | ~-13 | 1.20 | 44.9 | 31.0 | 24.1 | 55.1 | 10.9 | 6.4×10^{-3} |
| | 2層 | -13~-24 | 1.31 | 50.4 | 36.2 | 13.4 | 49.6 | 12.3 | 2.8×10^{-3} |
| | 3層 | -24~ | 1.34 | 51.5 | 29.8 | 18.8 | 48.5 | 6.1 | 3.4×10^{-3} |

【特徴】

- ・1~3層全てにおいて飽和透水係数が適域
(畑土壌: $10^{-3} \sim 10^{-4}$)
- ・易効性有効水も1, 2層でおおむね適域



世羅町現地圃場

| 土壌採取地点(作目) | 層位 | 深さ (cm) | 仮比重 | pF1.5三相分布(V%) | | | 全孔隙量 (V%) | 有効水 (1.5-2.7) | 飽和透水係数 (cm/sec) |
|-------------------|----|------------|---------|---------------|------|-------|--------------|------------------|------------------------|
| | | | | 固相 | 液相 | 気相 | | | |
| 世羅町現地圃場 (キャベツ) | 1層 | ~-10 | 1.12 | 44.2 | 45.5 | 10.4 | 55.8 | 3.5 | 2.3×10^{-3} |
| | 2層 | -10~-30 | 1.60 | 60.8 | 37.5 | 1.7 | 39.2 | 1.5 | 1.6×10^{-7} |
| 適域 | | | 0.8~1.3 | | | 25~30 | 50~60 | 10~15 | $10^{-3} \sim 10^{-4}$ |

【特徴】

- ・2層の仮比重が大きい
- ・2層の全孔隙率が悪い
- ・2層の飽和透水係数が極めて悪い



非常に緻密で排水性が極めて悪い土壌



湿害が発生する可能性が極めて高く、
排水対策が必須



庄原市現地圃場

| 土壌採取地点(作目) | 層位 | 深さ (cm) | 仮比重 | pF1.5三相分布(V%) | | | 全孔隙量 (V%) | 有効水 (1.5-2.7) | 飽和透水係数 (cm/sec) |
|-------------------|----|------------|------|---------------|------|-------|--------------|------------------------|----------------------|
| | | | | 固相 | 液相 | 気相 | | | |
| 庄原市現地圃場 (キャベツ) | 1層 | ~-15 | 0.75 | 31.1 | 41.8 | 27.1 | 68.9 | 10.6 | 2.5×10^{-3} |
| | 2層 | -15~-30 | 0.89 | 37.5 | 53.8 | 8.8 | 62.5 | 7.9 | 9.0×10^{-5} |
| 適域 | | | | | | 25~30 | 10~15 | $10^{-3} \sim 10^{-4}$ | |

【特徴】

- ・2層の全孔隙率が悪い
- ・2層の飽和透水係数が悪い

排水性が悪い土壌
(地表水が停滞)

湿害回避のため、排水対策が必要



安芸高田市現地圃場

| 土壌採取地点(作目) | 層位 | 深さ (cm) | 仮比重 | pF1.5三相分布(V%) | | | 全孔隙量 (V%) | 有効水 (1.5-2.7) | 飽和透水係数 (cm/sec) |
|--------------------|----|------------|---------|---------------|------|-------|--------------|------------------|----------------------|
| | | | | 固相 | 液相 | 気相 | | | |
| 安芸高田市現地圃場 (造成中) | 1層 | ~-13 | 0.67 | 26.3 | 44.1 | 29.7 | 73.7 | 10.9 | 1.1×10^{-2} |
| | 2層 | -13~-37 | 1.44 | 54.9 | 35.6 | 9.5 | 45.1 | 4.1 | 3.7×10^{-4} |
| | 3層 | -37~ | 1.62 | 63.5 | 33.5 | 3.0 | 36.5 | 2.8 | 1.4×10^{-4} |
| 適域 | | | 0.8~1.3 | | | 25~30 | 50~60 | 10~15 | |

【特徴】

- ・1層についてはおおむね良好
- ・2層以下の仮比重が大きく、全孔隙率が低い



非常に緻密で排水性が悪い土壌



下層土改良および排水対策が必要



土壌物理性改善の事例①下層土改良

本試験は、新稲作研究会令和元年度委託試験により実施



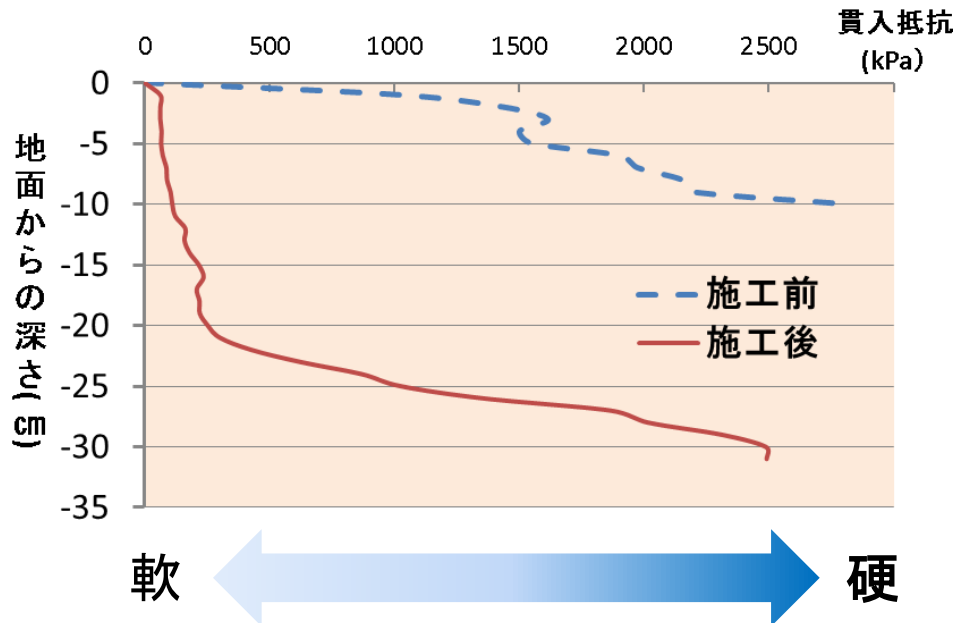
プラソイラ（スガノ農機）による耕盤破碎と下層土の一部反転



プラソイラにより発生した下層土を含む土塊を逆回転ロータリーで碎土

土壌物理性の変化

処理方法：幅0.25m，深さ0.3mでプラソイラ施工後，
全面に逆回転ロータリーを施工



深い位置まで軟らかい土に

| 時期 | 土壌層位 | 全孔隙量 (V%) | 飽和透水係数 (cm s ⁻¹) |
|-----|------|-----------|------------------------------|
| 施工前 | 1層 | 45 | 2.7 × 10 ⁻³ |
| | 2層 | 29 | 1.0 × 10 ⁻⁵ |
| | 3層 | 24 | 1.4 × 10 ⁻⁶ |
| 施工後 | 1層 | 58 | 4.4 × 10 ⁻⁴ |
| | 2層 | 53 | 2.8 × 10 ⁻³ |
| | 3層 | 48 | 1.6 × 10 ⁻³ |

注) 1層：-4~-9cm、2層：-16~-21cm、3層：-24~-29cmの位置を採取

プラソイラにより
下層土の液相と気相が増加，透水性
が向上

逆回転ロータリーにより
反転された硬い下層土が砕土され，
気相と液相が増加

ホウレンソウの生育

施工あり



根の生育促進と株重の増加

施工なし



耕盤により根が入らないことも

土壌物理性の改善とホウレンソウの
生育促進に効果

排水対策の事例①緩傾斜付与による圃場表面排水の促進

(2019～2020年スマ農事業)



CPSレベラーによる緩傾斜施工

GPSレベラーにより0.2%の傾斜を付与

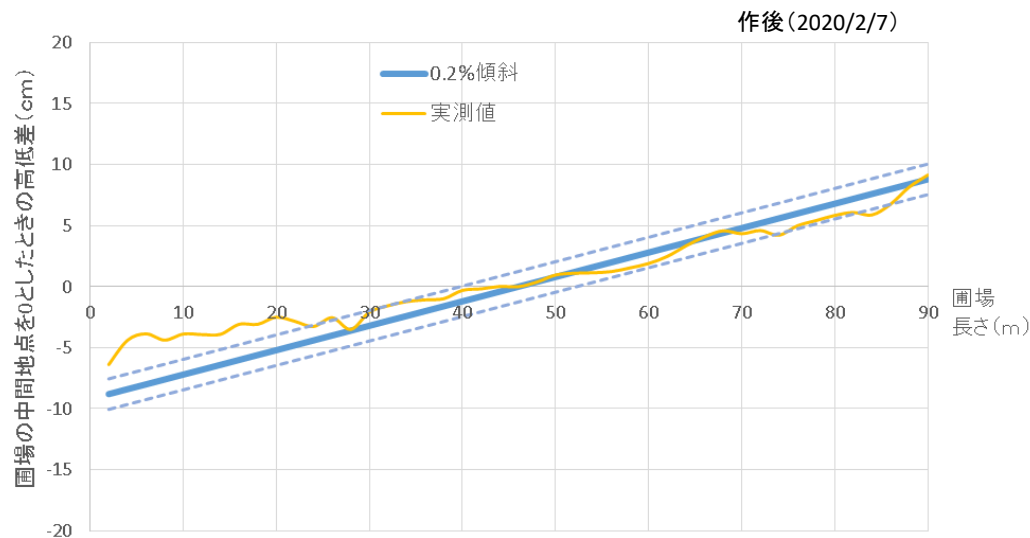
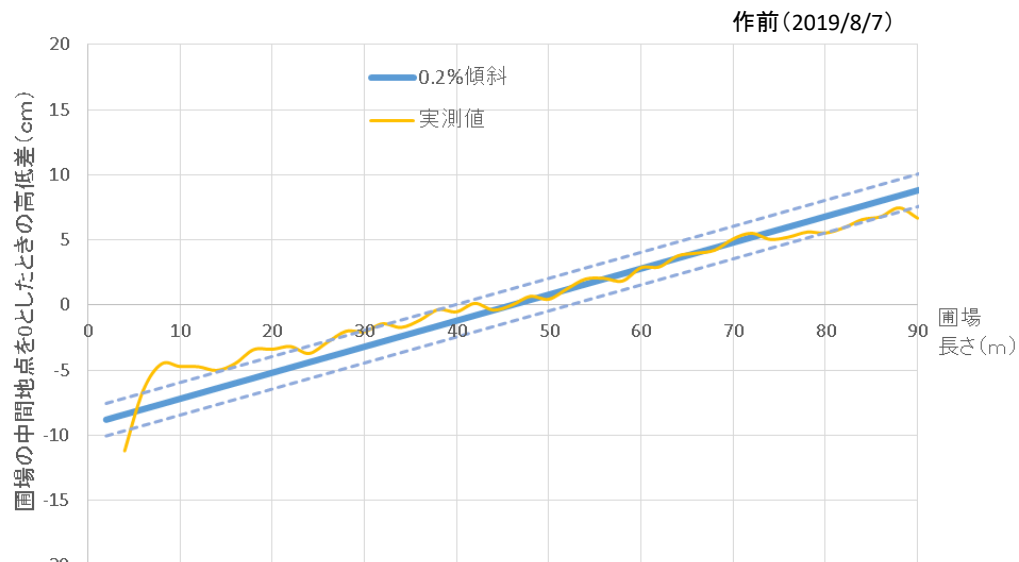


↑GPSレベラー



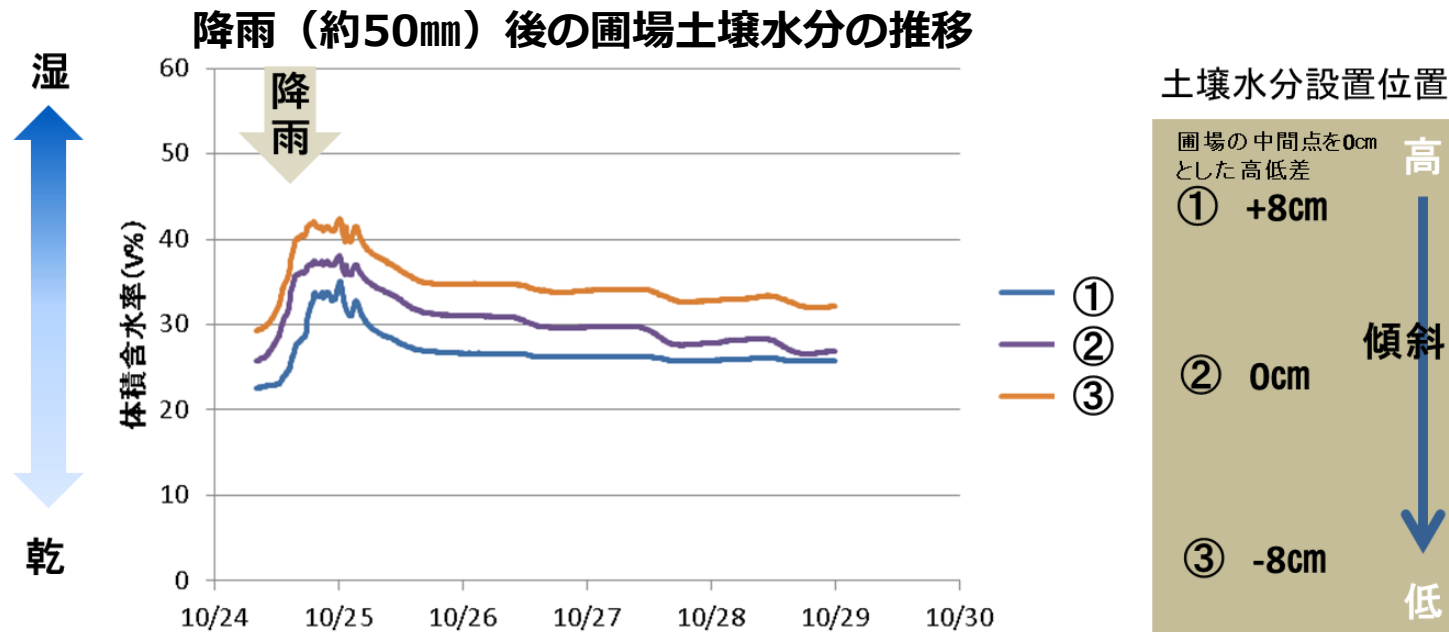
←基地局

↓作業状況



概ね0.2%の傾斜作後も維持

土壌水分の推移およびキャベツの形質



キャベツの収穫時形質および収量（2020/2/7）

| 緩傾斜の有無 | 調製重 (g) | 横径 (cm) | 縦径 (cm) | 湿害株率 ²⁾ (%) | 想定収量 ³⁾ (t/10a) |
|----------|------------|------------|------------|---------------------------|-------------------------------|
| 施工あり | 1,625 | 20.8 | 14.7 | 0 | 4.1 |
| 施工なし(参考) | 1,006 | 17.7 | 12.6 | 0 | 2.2 |

²⁾ 黄化や萎れなど湿害症状がみられる割合(遠観調査)

³⁾ 株間30cm, 畝間60cm, 圃場利用率75% (4167株/10a),
欠株率: 施工あり39%, 施工なし47%で計算

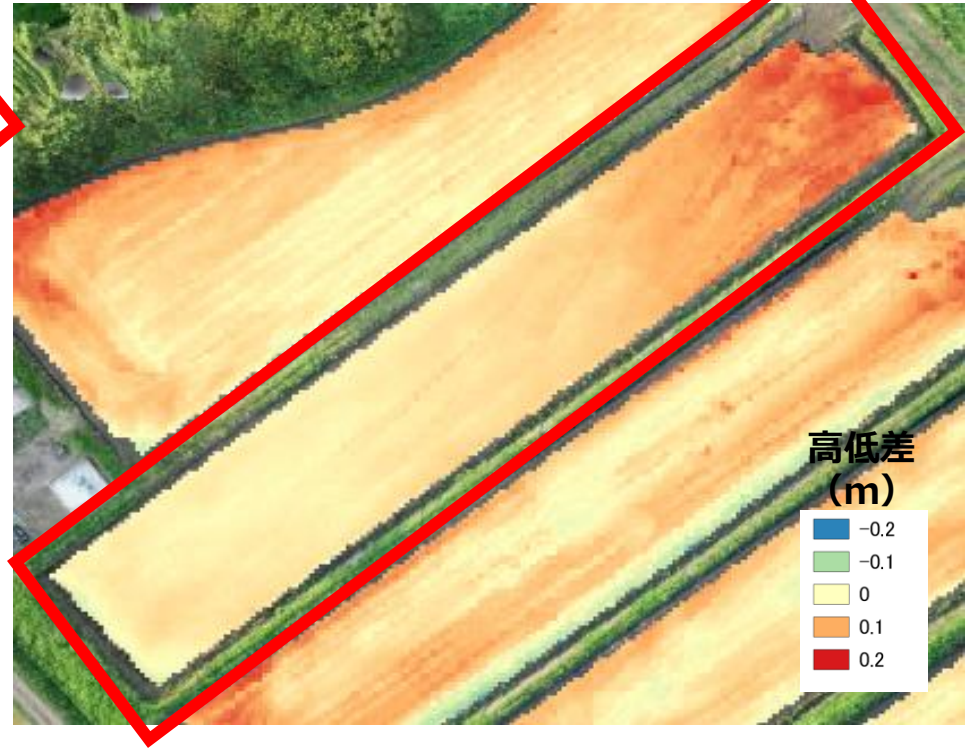
- ◆GPSレベラーによる緩傾斜施工は、傾斜下方部が目標よりやや緩い傾斜となったが、施工後もほぼ同程度の傾斜が維持
- ◆土壌水分は傾斜方向に速やか低下
- ◆キャベツの湿害は発生なし

おまけ：事前に圃場の不陸を把握する方法は？

レベラー前



レベラー後



ドローン空撮画像により、圃場の不陸を計測→複数圃場の不陸を一度に可視化できる

手法：農研機構(2018)「ドローンを用いたほ場計測マニュアル(不陸(凹凸)編)」

http://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/pub2016_or_later/files/drone_unevenness.pdf

排水対策の事例②もみ殻大量施用による排水促進

(2017～2018年新稲作研究会委託試験)



処理区と土壌pF

表 処理区の構成 (2016~18) (10a当たり)

| 処理区 | 籾殻施用量 (m ³) | | | | 窒素の合計 施用量 (kg) |
|---------------------|-------------------------|-----|-----|----|-------------------|
| | 1年目 | 2年目 | 3年目 | 合計 | |
| 無施用 (対照) | 0 | 0 | 0 | 0 | 84.00 |
| 5m ³ 連用 | 5 | 5 | 5 | 15 | 95.25 |
| 15m ³ 連用 | 15 | 15 | 15 | 45 | 117.75 |
| 45m ³ 一括 | 45 | 0 | 0 | 45 | 117.75 |

キャベツの生育収量への影響を検討

※ 窒素飢餓対策: 籾殻5m³当たり窒素成分3.75kgを、上乗せて施用

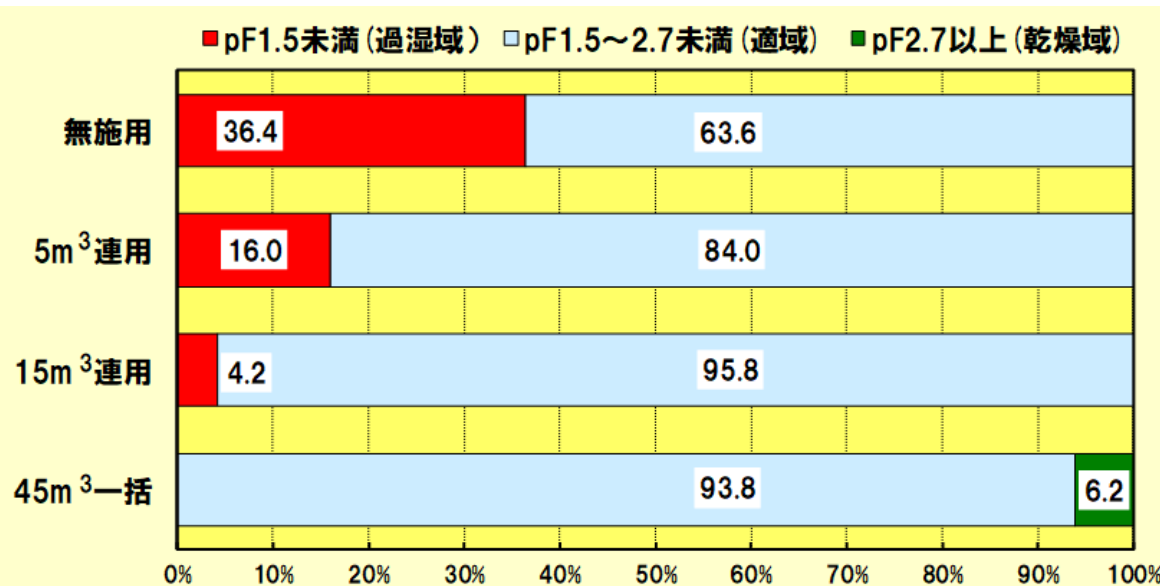


図 土壌水分吸引圧別の遭遇時間の比率 (2018)

計測期間は6月4日~7月2日で、地点は畝面から10cm深を計測。

45m³一括区では、pF1.5未満(過湿域)とならなかった

キャベツの結球重

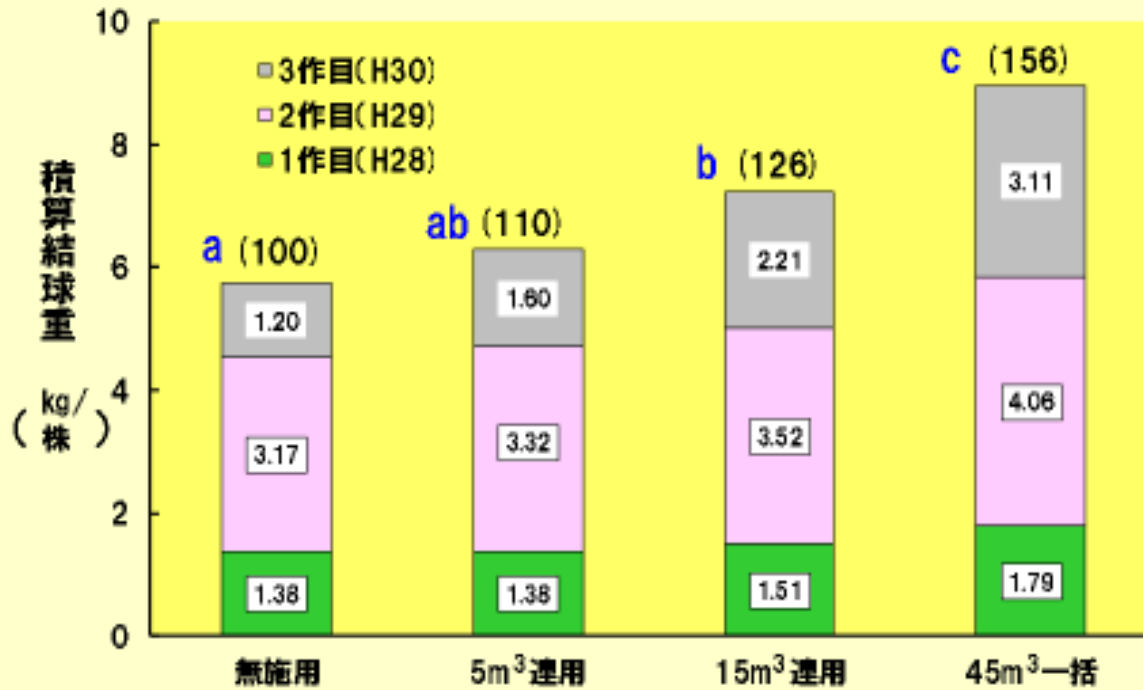


図 1株当たりの3作積算結球重(2016~18)

Tukeyの多重検定により、同一符号間には5%で有意差なし

3作の積算結球重は、
45m³一括区が最も
多かった

《もみがらの45m³/10a一括施用の効果》

高い気相率が維持され、土壤水分は低く推移
連年分施と比較して、キャベツの湿害軽減と増収の効果大

→粘質作土の早期透水性改良に有効

3. 土壌水分の表し方と測り方

1) 土壌水分吸引圧 (pF)

◇水が土壌に吸着・保持されている強さの程度
を水頭の常用対数で表した数値

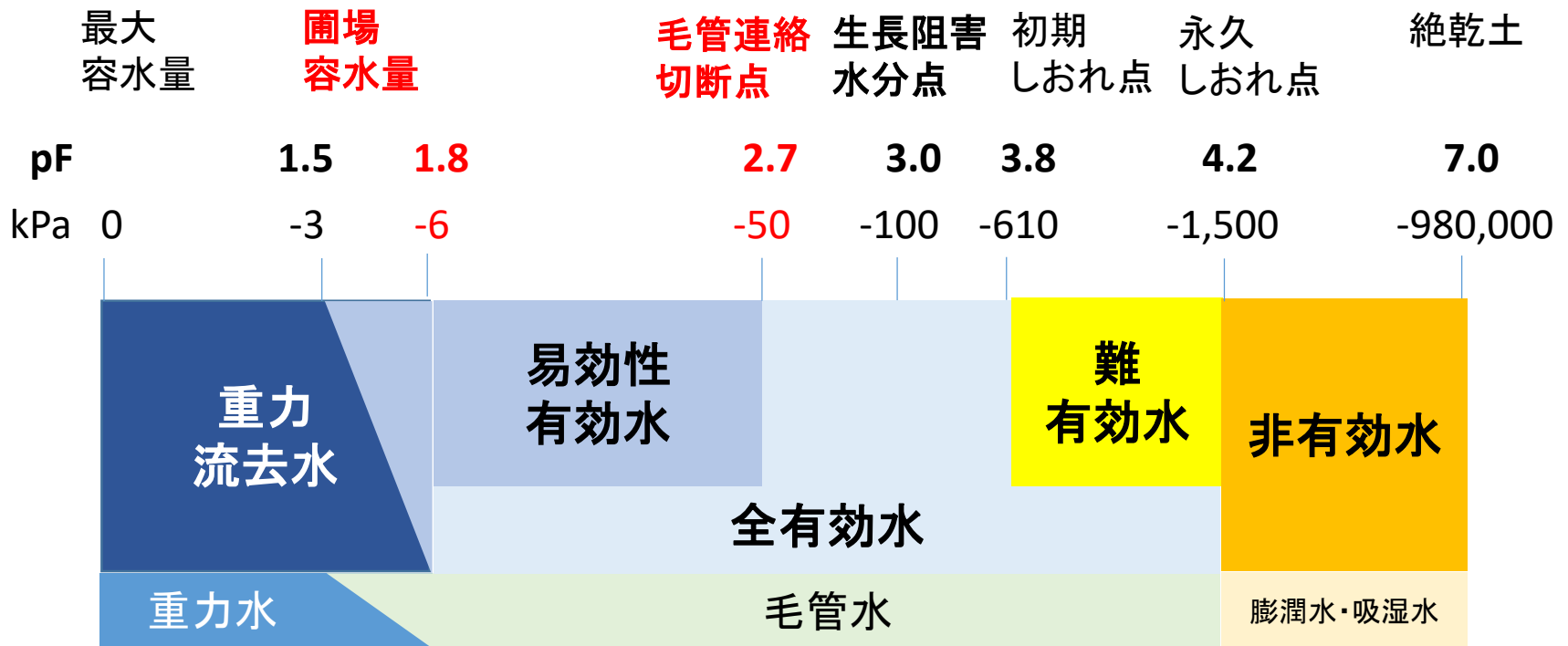
土壌水分の状態を示すものであり、
水分量ではない

2) 含水量

(含水率, 飽水度, 含水比, 水分率 (体積含水率))

◇土壌が保持している水分量

土壤水分吸引圧 (pF)



作物の水吸収から見た土壤水分

最大容水量：土壤が保持できる水分の最大量，全孔隙量に相当

圃場容水量：畑土壤が重力に抗して保持できる最大の水分量

永久萎凋点：植物が萎れ，回復できなくなった時の水分状態

水の量に関わらず，作物側からの水利用の目安

新版 図解土壤の基礎知識
藤原俊六郎 農文協より 一部改変

土壌水分吸引圧 (pF) の測り方

測定方法：テンションメーター；土壌の乾湿により素焼きカップから水が出入りするときの圧力を計測



(株式会社竹村電機製作所
HPより)



土壌水分計
テンシオメモリー4CH
(株式会社センシズHPより)



メーター社
TEROS-32 テンシオメータ
(アイネクス株式会社HPより)

含水量

含水率：湿土重量に対する水分重量
(いわゆる重量%)

飽水度：土壌の孔隙利率に対する水分の容積率

含水比：乾土重量に対する水分重量

**水分率（体積含水率）：全土壌容積に対する
水分の容積率**

測定方法：○湿土重と105℃乾燥重との差
○土壌水分センサー

土壌水分センサーの例



EC-5土壌水分センサー



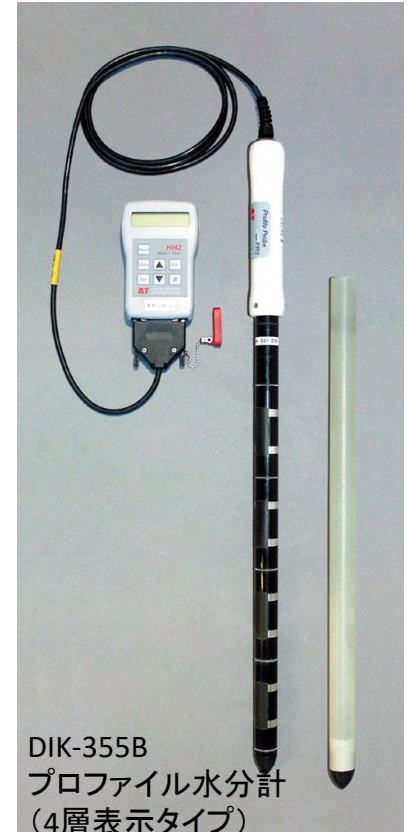
GS3 土壌水分・温度・ECセンサー

(アイネクス株式会社HPより)



水分センサー
WD-3-WT-5Y

(株式会社A・R・P HPより)



DIK-355B
プロファイル水分計
(4層表示タイプ)

(大起理化工業株式会社
HPより)

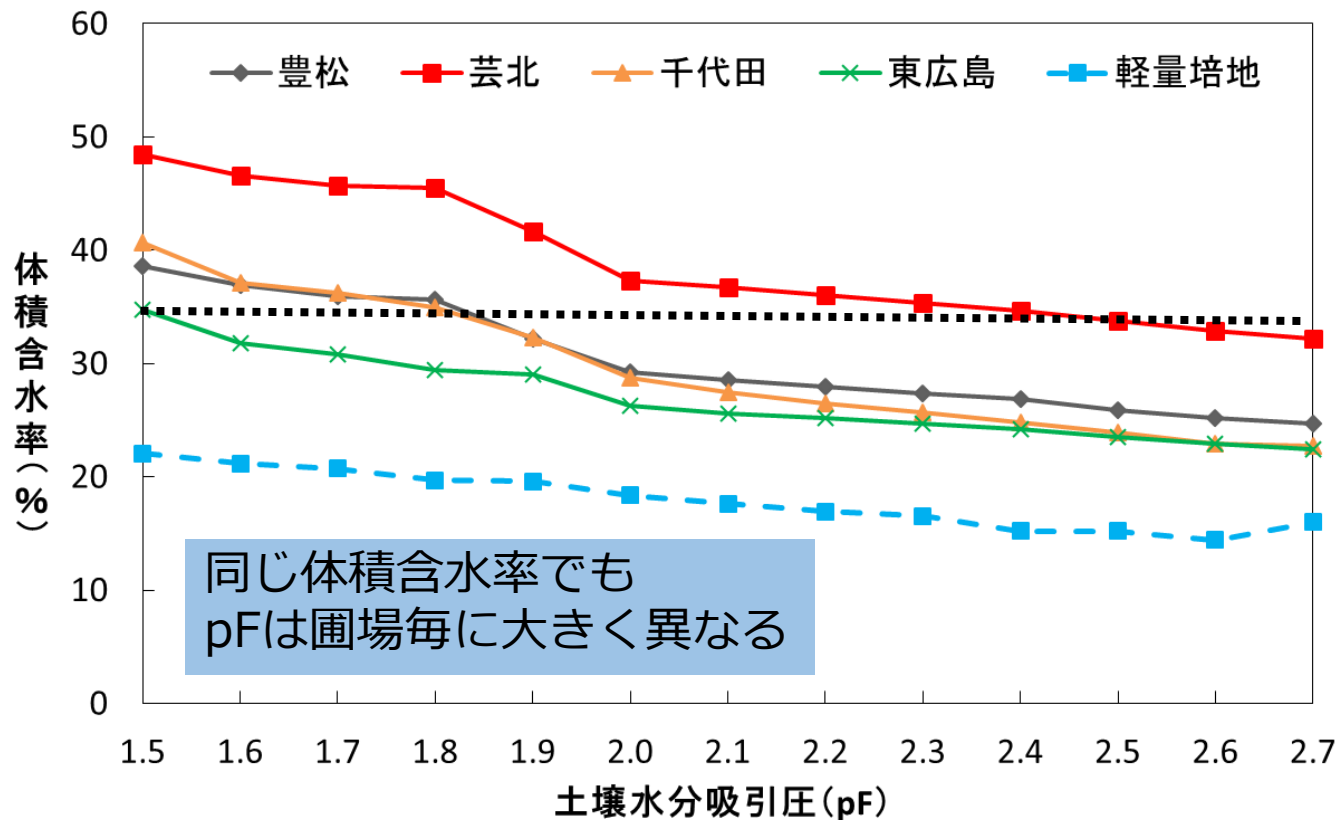
土壌水分センサー（体積含水率）による計測

| メリット | デメリット |
|----------------|-----------------------------|
| リアルタイムで測定可能 | 精度（3～6%誤差） |
| サンプリングが不要 | 個体による差が大きい （キャリブレーション必要） |
| 水の追加など必要がない，簡単 | 測ったところでどーなん？ |

体積含水率の数値をどの
ようにとらえるのか？

土壌水分吸引圧 (pF) と体積含水率との関係

水分特性曲線 (県内トマト圃場の事例)



同じ体積含水率でも
pFは圃場毎に大きく異なる

測定方法: 設定値に加圧し,
重量を計測
(水分センサーの値ではない)

例えば
体積含水率35%



芸北はpF2.5
豊松・千代田はpF1.8
東広島はpF1.5

土壌水分センサーによる土壌体積含水率の計測

かん水の指標に使うことは可能か？



体積含水率とpF値との関係を調べておく必要がある

しかし、、、そもそもセンサーの誤差3~6%

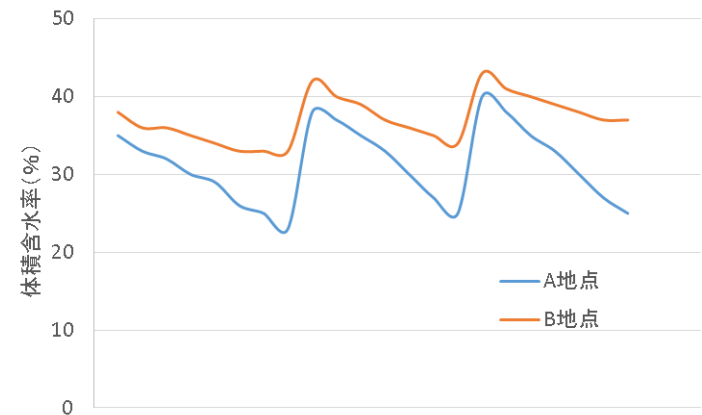
かん水は、現状ではpFを指標としている

土壌水分センサーのメリットを活かして

**同じ条件下で相対的な評価をする
経時的な水分の変化をみる**



例) 同じ圃場内でかん水の均一性の評価



例えば・・・

同じかん水をしてB地点は過湿かもしれないと推定