

VII 土壌診断とその活用

1 土壌診断の必要性

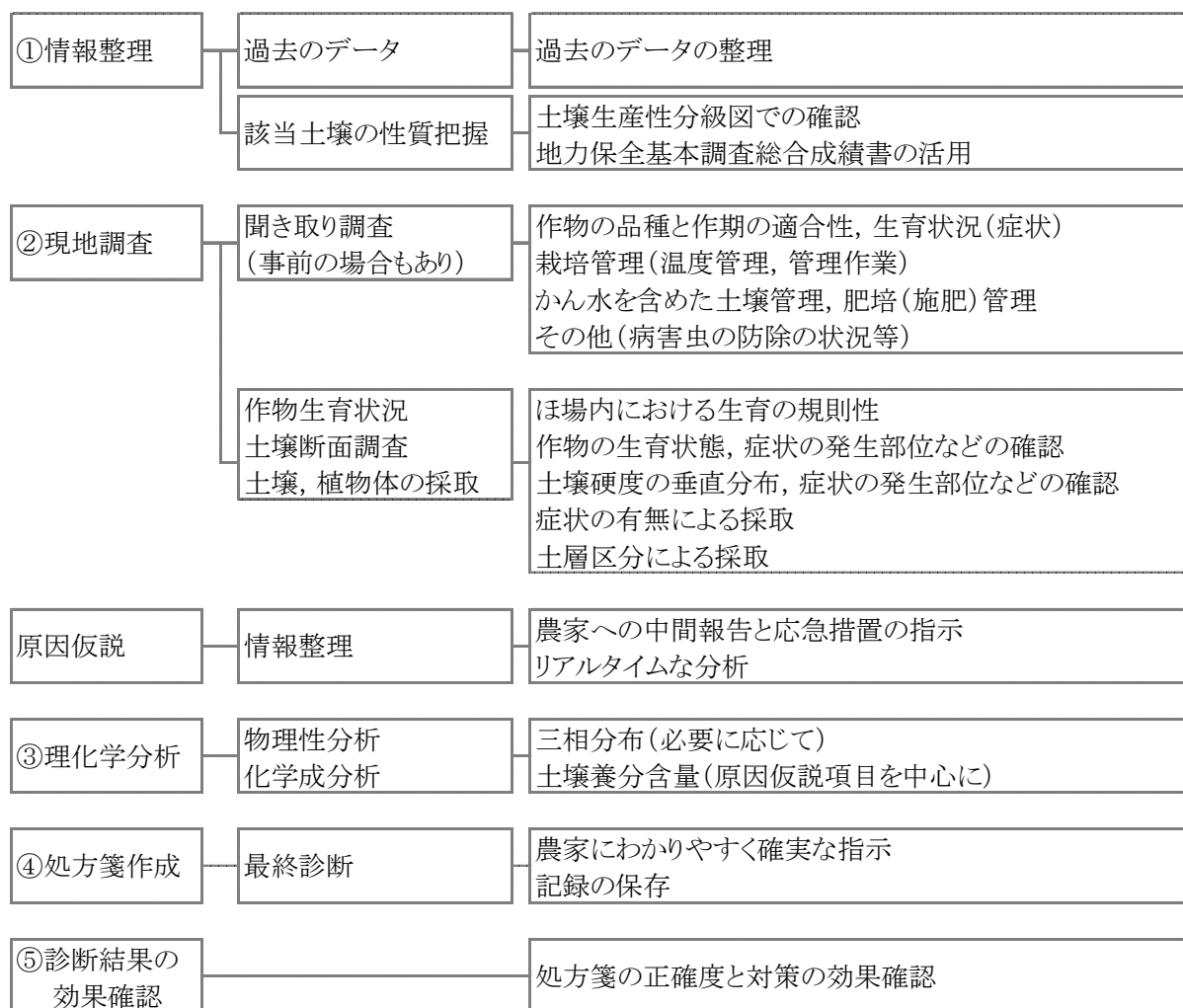
作物の生育は、栽培、土壌、施肥、病虫害、気象条件等に左右される。なかでも、土壌、施肥管理は、作物への養水分供給と根群の健全な発達のための生産環境を制御する因子であり、特に重要である。これら生産環境を良好に保つには、土壌の状態を知り、適切な肥培管理を行うことが求められる。「土壌診断」は、これら生産環境の状態を把握するための手段である。

土壌診断は、次の二つの目的のいずれかで実施する場合が多い。

- I 作物栽培前の土壌の状態を把握する
- II 作物の生育不良・障害を究明し対策をたてる

2 土壌診断の手順

土壌診断の基本的な手順は、①情報整理（聞き取り調査、土壌の性質把握）→②現地調査（土壌の採取等）→③理化学分析→④処方箋作成→⑤診断による土壌改良、施肥改善等の効果確認である。診断処方箋を作成する際は、分析値が土壌診断基準値に対してどのような状態なのかを的確にまとめ、具体的に分かりやすい表現で示す必要がある。



3 知っておきたい基本的な診断項目の内容

- (1) 表土(作土)：養水分の吸収のため作物根が容易に伸長できる土層。
- (2) pF1.5の気相率：畑状態で十分な降雨があった後1～2日経過して、重力水が根圏から排水されときの土壌水分状態(ほ場容水量)での土壌の空気率。
※pF：水が土壌にひきつけられている強さの程度を水中の高さの対数で表した数値。
値が大きいほど植物が水を吸収しにくい。
- (3) ち密度：一般に、山中式硬度計やSR2型土壌抵抗測定器等による測定で得られた値をいう。土層における土粒子の詰まりかた、すなわち粗密の程度を表す。生産力の高い土壌では12～19mmぐらいの値が多い。ち密度が21mmを超えると通常、作物根の伸長は阻害され、25mmではほとんど伸長できなくなるといわれており、29mm以上の層は盤層として扱われる。
- (4) 地下水位：地下水位の高さは作物の生育に大きく影響する。地下水位が高い条件では湿害を助長しやすい。
- (5) グライ層：湛水条件下にあるため還元状態(酸素がほとんどない状態)が発達し、青灰色や緑灰色をしている土層をいう。土壌中に酸素がたくさんあると土壌中に含まれる三価鉄によって土色は褐色に保たれているが、酸素欠乏状態では三価鉄が二価鉄に変わるため、上記の色を示すようになる。
- (6) 腐植：土壌中で微生物によって動植物遺体などの分解と再合成によってつくられた土壌固有の暗色無定形の高分子化合物の総称。土壌の腐植含量は全炭素含量に1.724を乗じてあらわす。一般に土色で判定できる。
- (7) 陽イオン交換容量(CEC)：土壌(粘土、腐植)が陽イオンを吸着できる容量の大きさ。陽イオン交換容量が大きければ、保肥力の高い土壌といえる。
- (8) 塩基飽和度：CECに占める交換性塩基(石灰、苦土、カリ)の割合を百分率で示したもの。石灰、苦土、カリ飽和度はそれぞれの塩基のCECに占める割合。
- (9) 交換性石灰：CaO。土壌の陰荷電に吸着され、他の陽イオンと容易に交換されるカルシウムのことをいう。カルシウムは一般的には塩基のなかで最も多いが、降雨やかん水などによって溶脱しやすく、その結果土壌が酸性化する。
- (10) 交換性苦土：MgO。土壌の陰荷電に吸着され、他の陽イオンと容易に交換されるマグネシウムのことをいう。マグネシウムは、作物の葉緑素の構成要素として重要である。
- (11) 交換性カリ：K₂O。土壌の陰荷電に吸着され、他の陽イオンと容易に交換されるカリウムのことをいう。カリウムは堆肥などの有機物に多く含まれているため、有機質資材の多量施用によって過剰になることがある。
- (12) 塩基バランス：土壌中に含まれる交換性陽イオン相互の存在量の比率で、塩基組成ともいう。一般に、石灰苦土比(CaO/MgO)、苦土カリ比(MgO/K₂O)を当量比で表す。植物が養分吸収を行う場合、お互いに拮抗作用がある。例えば、カリが多くなると石灰、苦土の吸収量が低下。したがって、塩基類の場合、量とともにバランスが重要。
- (13) 無機態窒素：通常、アンモニア態および硝酸態の形態で存在。この窒素の肥効は速

効性であることから、施肥の場合、基準施肥量からこれらの窒素量を差し引いて施用する。

- (14) **無機態窒素生成量**：可給態窒素量ともいう。土壤窒素の大部分は有機化合物として存在し、微生物等により無機化し作物に吸収される。この有機態窒素が無機態窒素に変化する量は、作物に対する窒素供給の可能性を示す指標となる。
- (15) **可給態リン酸**：有効態リン酸ともいう。作物に利用されやすいリン酸。無機態がすべて可給態リン酸とは言えない。例えば、鉄型やアルミニウム型は難溶性だが、石灰型は作物に利用されやすい。トルオーグ法で測定されるリン酸は主に石灰型である。
- (16) **EC(1:5)**：電気伝導度ともいう。この値が高い土壤ほど土壤溶液中にイオン含有量の多いことを意味する。特にECと硝酸態窒素とは相関が高い。塩類濃度障害の防止や残存する硝酸態窒素量の推定の指標となる。

4 土壤の採取法

(1) ほ場での土壤採取

土壤は、作物収穫後から次の作付けの施肥耕起前のできるだけほ場が乾いている時に採取する。10アール当たり5箇所を目安として作土を採取し、ビニール袋内でよく混ぜる。作土とは耕うんされている土壤のことで、スコップが入りやすい表層の土である。採取する場所は、ほ場が四角形の場合、対角線上の離れた地点を選ぶ。5箇所から採取する場合は、サイコロの5の目のようになる。

採取にあたっては、まず、土壤表面の作物残渣やゴミを取り除く。次にごく表面の土を薄く剥いでから、下層土の上端まで(スコップが入りにくくなるまで)、できるだけ同じ厚さで作土を取る。地力ムラが大きなほ場や、明らかに土の色や砂・粘土の割合が異なる区画がある場合は、それぞれの区画毎に分けて採取、分析することが望ましい。



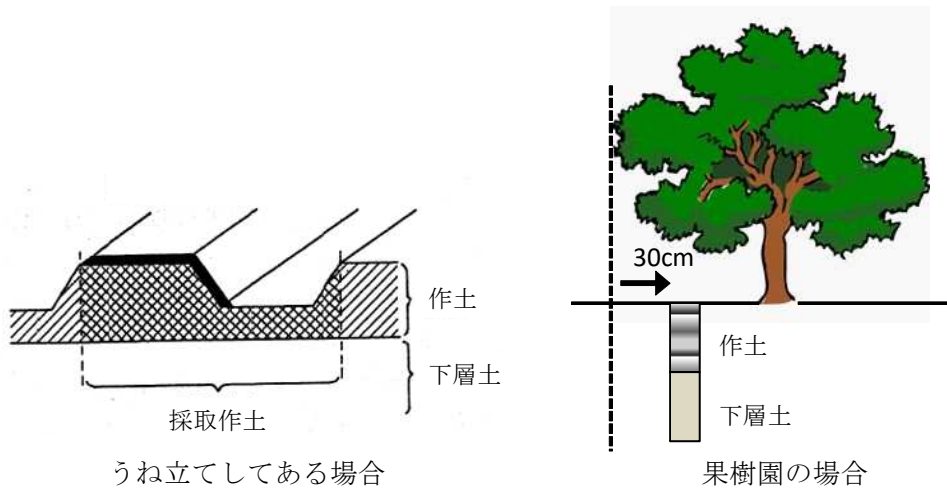
図VI-4-(1)-1 対角線採土法（サイコロの五の目のように採取する）



土壤表面の作物残渣やゴミを取り除き，ごく表面の土を薄く剥いで(左)，下層土の上端までできるだけ同じ厚さで作土をとり(右)，5箇所を混ぜ合わせる

図VI-4-(1)-2 土壤採取の方法

野菜などうね立てしている畑では，うねとうね間の作土を同じ長さ(30~40cm程度)ずつ採取し，スコップなどでよく混ぜてから，その一部を採取する。果樹では，平均的な樹を数本を選び，樹冠から30cm内側の数か所をそれぞれ採土する。



図VI-4-(1)-3 土壤採取の方法

(2) 採取した土壤の調整方法

ア 生土による分析

pH，ECおよび無機態窒素などは生土で分析する。採取した土壤をよく混ぜてから，バットやビニールシートに広げて，石，植物根，ゴミをできるだけ取り除く。次に，可能であれば2mmのフルイに通す。この際，ゴム手袋をして，フルイの目を擦るようすれば速く処理できる。すぐに分析しない場合は，調整した土壤をビニール袋に入れて冷蔵庫に保管する。

イ 風乾土による分析

採取した土壌をよく混ぜてから、バットやビニルシートに薄く広げる。この際、大きな土塊を手で割り砕き、石や根などをできるだけ取り除く。風通しが良く直射日光の当たらない室内で乾燥させる。乾燥後、2mmのフルイを通す。この際、土の塊があれば、木槌などで軽く叩いて砕き、フルイを通す(※強く叩くと風化した小石が割れることがある)。フルイの目を通らない小石やゴミは取り除いて捨てる。調整した土壌は、蓋付きのビンやビニル袋に入れて室温で保管する。

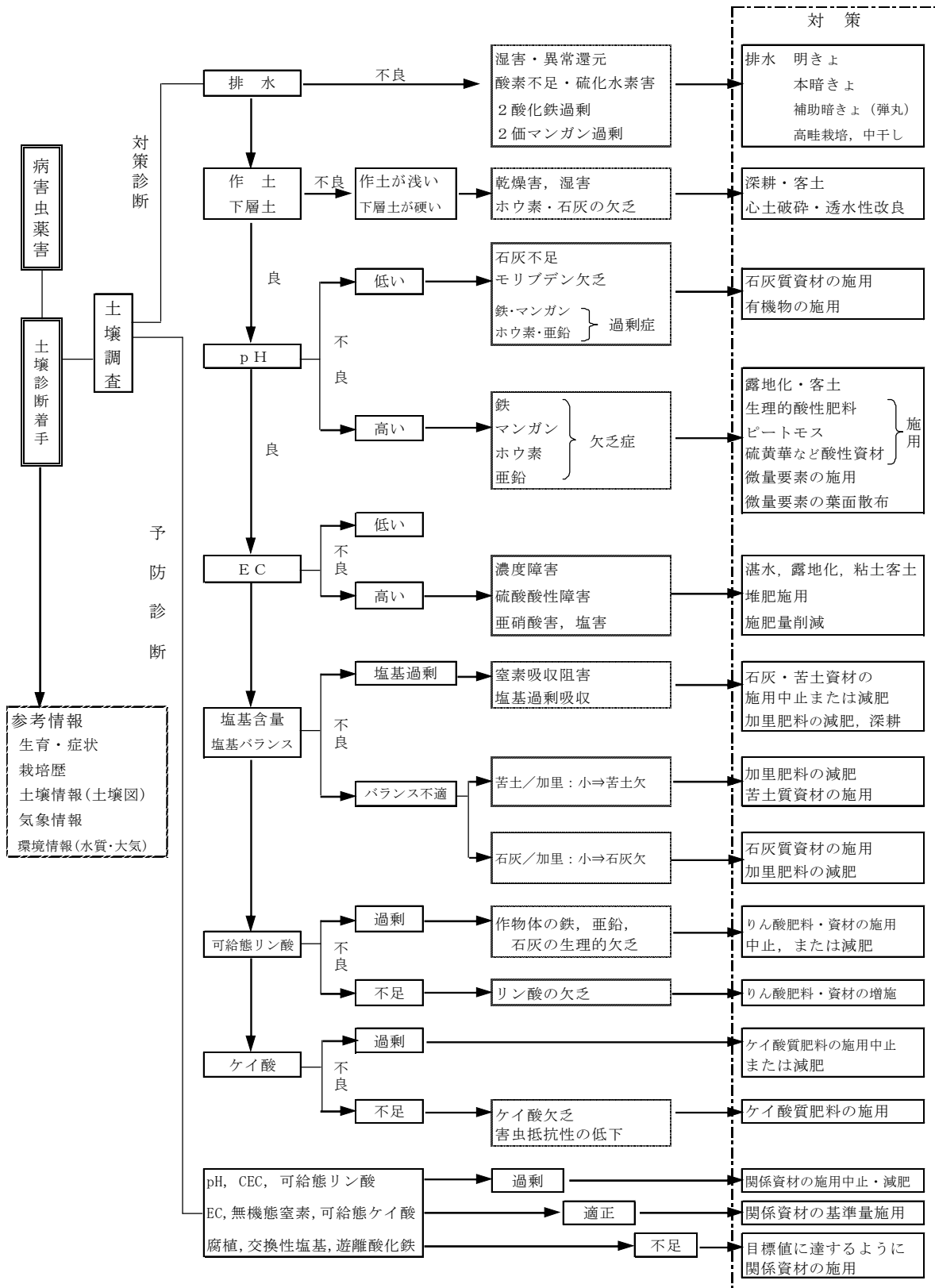


生土はバット等にひろげてゴミ類を取り除き、可能なら2mm程度のフルイに通し(左)、風乾する場合は風通しが良く直射日光が当たらない室内で乾燥させる(右)

図VI-4-(2)-1 採取した土壌の処理

5 土壌診断フローチャート

分析結果を基に、土壌診断基準値との比較において対策を講じる必要がある。そのフローチャートを下に示す。



図VI-5-1 土壌診断フローチャート

6 分析結果に基づいた土壌改良

(1) 土壌のpHとECによる改良

ア pHと酸性の改良

pHは土壌診断の最も基本的な項目で、総合的診断指標の性格を備えている。土壌中の H^+ には、土壌溶液中に溶けているものと土壌のコロイド（粘土や腐植）の表面に電氣的に吸着されているものの2種類がある。水を加えて測定するpHは前者の H^+ の濃度を測定したもので、pHもしくはpH (H_2O) と表示する。

塩化カリウム溶液などを加えて測定するpHは、これら2種類の H^+ 濃度の合計を測定したもので、pH (KCl) と表示する。

pHが5以下の強酸性土壌では、ほとんどの作物は生育が抑制される傾向にある。この要因として、以下があげられる。

- ① 土壌の酸性化により、土壌中のカルシウムやマグネシウムなどの塩基が失われ欠乏症状が発生する。
- ② 土壌の酸性化により土壌中のアルミニウムが溶出し、作物の根の機能を阻害する。
- ③ 土壌の酸性化とともにアルミニウムや鉄が溶解し、それらがリン酸と結合して不溶化するため、リン酸の吸収が抑制される。
- ④ モリブデン、ホウ素、銅、亜鉛等の微量元素の溶解度が低下し欠乏症状が発生しやすい。一方、鉄、マンガンの溶解度が高まりマンガン過剰症が発生する場合がある。
- ⑤ アブラナ科野菜の根こぶ病など発生しやすい病害がある。

一方、pHが7を超えるアルカリ土壌では次のような障害が発生しやすい。

- ① 鉄、マンガン、ホウ素、銅、亜鉛が不可給化し、これらの欠乏により生育障害が発生する。
- ② 陽イオン交換容量（CEC）相当量以上の塩基が集積し、濃度障害が起こりやすい。
- ③ ジャガイモそうか病などpHが高いと発生しやすい病害がある。

イ 土壌pH(KCl)の簡易測定法

土壌pH(KCl)は土壌の酸性の指標として使用できる。簡易法は下記のとおりである。

(ア) 準備するもの

pH計（少数2桁表示の機種）、pH計を校正するための標準液、pH計などの洗浄用水、1M塩化カリウム溶液、はかり、ねじ蓋付き容器

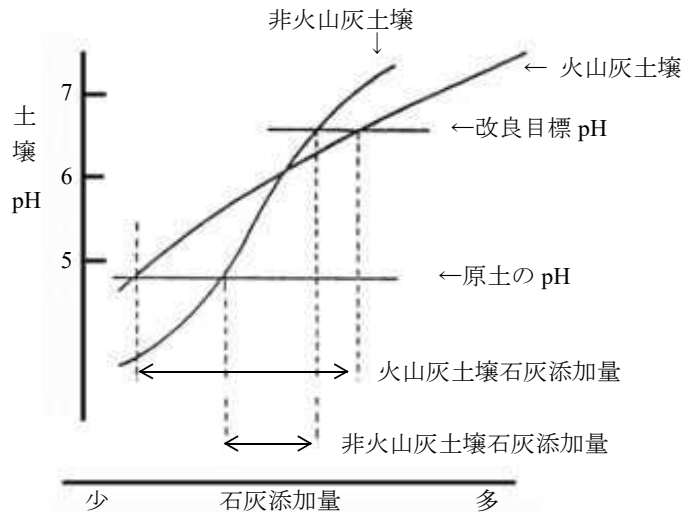
(イ) 簡易法の流れ



注) 引用:バレイシヨ畑の土壌酸性管理のためのpH(KCl)簡易測定法(農・食事業27003C, 平成27~29年度)

酸性土壌を改良する場合，これに要するアルカリ資材の量は，土壌の粘土鉱物の種類と有機物含量の多少により，土壌の緩衝能に差があるため著しく異なる。したがって，正確な施用量を求めるには，アルカリ資材を種々の割合で土壌に加えてpHの変化を調べ，土壌の種類毎に緩衝曲線（図VI-6-(1)-1）を作る必要がある。

しかし，これには手間を有するため中和石灰量の簡易算定方法例としてpHから求めたおおよその石灰必要量としてアレニウス氏表（表VI-6-(1)-1）を示した。



図VI-6-(1)-1 緩衝曲線と石灰添加量（模式図）

表VI-6-(1)-1 アレニウス氏表による酸度矯正のための炭カル施用量 (kg/10a)

土性	腐植度	4.0	4.2	4.4	4.6	4.8	5.0	5.2	5.4	5.6	5.8	6.0	6.2	6.4
砂壤土	含む	424	390	356	323	289	255	221	188	154	120	86	53	15
	富む	634	581	533	480	431	379	330	278	229	176	128	75	26
すこぶる	富む	986	908	829	750	671	593	514	435	356	278	199	120	41
壤土	含む	634	581	533	480	431	379	330	278	229	176	128	75	26
	富む	844	776	709	641	574	506	439	371	304	236	169	101	34
すこぶる	富む	1268	1166	1065	964	863	761	660	559	458	356	255	154	53
埴壤土	含む	844	766	709	641	574	506	439	371	304	236	169	101	34
	富む	1054	971	885	803	716	634	548	465	370	296	210	128	41
すこぶる	富む	1549	1425	1301	1178	863	930	806	683	559	435	315	188	64
埴土	含む	1054	971	885	803	745	634	548	465	379	296	210	128	41
	富む	1268	1166	1065	964	863	761	660	559	458	356	255	154	53
すこぶる	富む	1830	1684	1538	1391	1245	1099	953	806	660	514	368	221	75
腐植土		2063	1808	1733	1568	1403	1238	1073	908	748	570	413	248	83

注) pH (H₂O) 6.5に矯正するのに要する炭カル施用量 (10a, 深さ10cm当たりのkg)。

なお，炭カル以外の石灰質肥料を利用する場合は，表VI-6-(1)-2アルカリ分含有量と中和力をもとに算出する。

表VI-6-(1)-2 石灰質肥料のアルカリ分と中和力

石灰質資材	炭カル	苦土石灰	消石灰	ようりん	ケイカル
アルカリ分 (%)	53	53	65	50	45
炭カルへの換算係数 ^{注)}	1	1	0.8	1.3	1.5
石灰質資材の中和速度	やや速	やや速	速	遅	遅

注) 同じアルカリ分でも、資材により中和力が異なる。ここでは、炭カルの中和力を1とした場合に、それと同等の中和力にするための換算係数を示す。ようりん、ケイカルの中和力は、炭カルの中和力よりも小さい。

アルカリ分とは、石灰質肥料に含まれる苦土を石灰に換算し、石灰との含量で表示した値のことである。アルカリ分の計算方法は以下のとおりである。

アルカリ分の計算例：

- ・ CaO39%、MgO10%の苦土石灰の場合のアルカリ分は、以下のように計算できる。

手順1 MgO(分子量40)をCaO(分子量56)に換算する。

$$10\% \times \frac{\text{CaO}}{\text{MgO}} = 10\% \times \frac{56}{40} = 14\%$$

手順2 もともとCaOとして39%含まれているので、求めるアルカリ分は、 $39\% + 14\% = 53\%$

- ・ ようりんを投入した場合の中和力は以下のように計算する。

手順1 ようりんは、CaO29%、MgO15%であるので、上の計算法により、

$$\text{アルカリ分} = 29\% + 15\% \times \frac{56}{40} = 50\%$$

手順2 中和するための炭カルへの換算係数は、VI-6-(1)-2より1.3であるので、炭カルとしてのアルカリ分への換算は、以下のとおりである。

$$50\% \times \frac{1}{1.3} = 38\% \quad \dots \text{ようりの炭カル換算アルカリ分}$$

手順3 ようりんを投入後、pHを炭カルで調整する場合の投入量は、手順2で示した炭カル換算アルカリ分を考慮して、炭カルの投入量を設定する。

ウ ECと作物の生育

土壌診断の基本的な診断項目にEC（電気伝導度）がある。ECは土壌中の塩類濃度を診断する指標である。施設栽培は、直接降雨を受けない環境下での栽培であり、作物が必要とする水分は人為的に供給しなければならず、その量は降雨に比べると著しく少ない。そのため、土壌中の塩類濃度が高まり、土壌溶液の浸透圧が高くなり、作物根による養水分の吸収が阻害される恐れがある。したがってECは、施設栽培では特に必要な分析項目である。

表VI-6-(1)-3 土壌別および作物別の好適EC濃度 (mS/cm)

	火山灰土	非火山灰土		
		砂質土	壤土～粘質土	重粘質土
果菜類	0.3～0.8	0.2～0.4	0.3～0.7	0.1～0.7
葉菜類	0.2～0.7	0.2～0.5	0.2～0.6	0.1～0.6
根菜類	0.2～0.7	0.2～0.3	0.2～0.5	0.1～0.5

表VI-6-(1)-4 土壌塩類濃度に対する野菜の耐性による分類

耐性	弱い	中	強い
EC(mS/cm)	0.3～0.5	0.5～1.0	1.0～1.5
作物名	ミツバ, イチゴ レタス, インゲン タマネギ, ソラマメ	キュウリ, ピーマン ニンジン, ナス ネギ	セルリー, カブ ハクサイ, ダイコン キャベツ, ホウレンソウ

施設栽培土壌では、土壌溶液中の可溶性塩類の主体が硝酸塩であるため、ECと硝酸態窒素とは高い相関が認められる。しかし、土壌溶液中の可溶性塩類が肥料の副成分である塩酸塩や硫酸塩で占められEC値が高くなっている場合がみられる。

エ pH(H₂O)とpH(KCl)測定値の差による診断

土壌pHの測定には、水を加えて測るpH(H₂O)と1Mの塩化カリウム溶液で測るpH(KCl)がある。pHは土壌の水素イオン(H⁺)を測って酸性度をみるもので、水素イオンが多いことをpHが低い、つまり酸性という。

H⁺には土壌溶液中に溶けているものと土壌のコロイド(粘土や腐植)の表面に電氣的に吸着されているものの2種類がある。この土壌コロイドのマイナス荷電と結合しているH⁺は、水振とう程度では分離しない。しかし、塩化カリ溶液を使うと、KClのK⁺が優先し、H⁺に代わって土壌コロイドに結合する。このため、KCl振とうでは土壌コロイドに吸着していたH⁺も測定することになる。つまり、KCl振とうpHのほうがH₂O振とうpHに比べて溶液中のH⁺が多いため、より酸性の値を示す。

このpH(H₂O)とpH(KCl)測定値の差で、土壌中の肥料の量が推定できる。すなわちpH(H₂O)とpH(KCl)測定値の差が大きいと、K⁺で追い出されたH⁺(土壌コロイドに荷電していたH⁺)が多く、土壌コロイドに他のプラス荷電をもつ肥料成分(NH₄⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺)などが少ないということである。

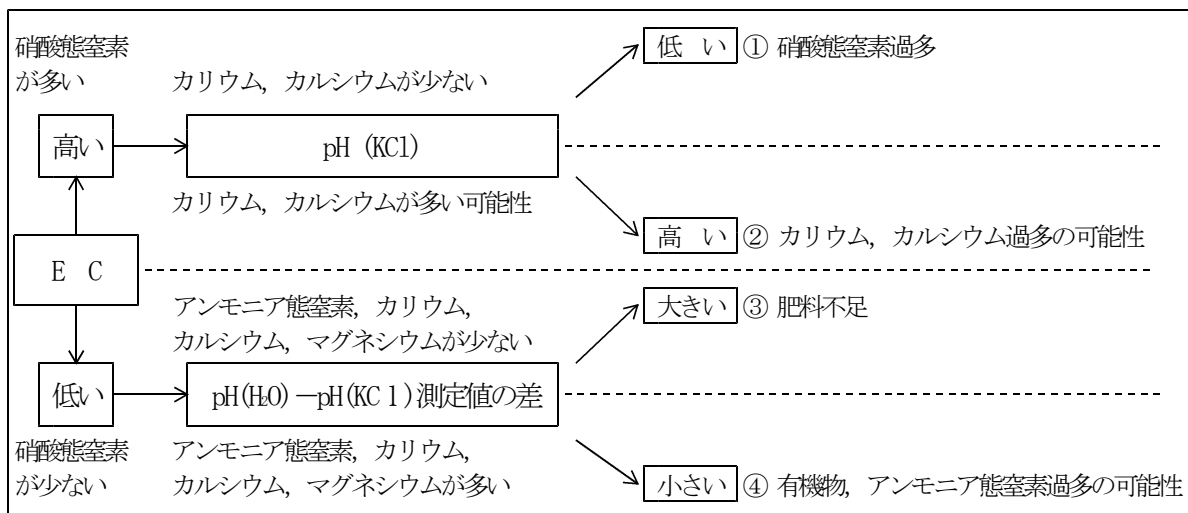
表VI-6-(1)-5 土壌のpH(H₂O)測定値とpH(KCl)測定値の差による簡易診断

pH(H ₂ O)測定値-pH(KCl)測定値	簡易診断 ^{注)}
1.0以上	肥料不足(NH ₄ ⁺ , K ⁺ , Ca ²⁺ , Mg ²⁺ が少ない)
0.7~1.0	ほぼ適正施肥量
0.5~0.7	施肥過剰
0.5以下	施肥過剰(濃度障害の危険)

注)これだけではNH₄⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺の種類や量のバランスは判断できない。

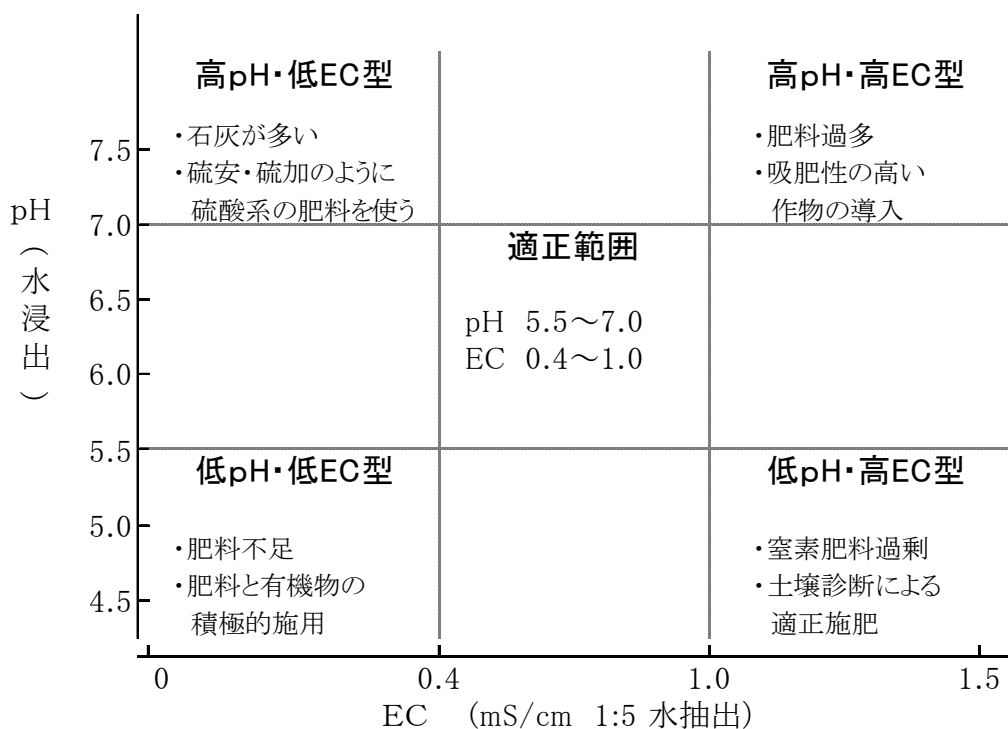
オ pH(H₂O)とpH(KCl)とECによる簡易診断

pHがプラス荷電を測るのに対して、ECは土壌中の電気伝導度、つまりマイナス荷電のものを測る。マイナス荷電をもつものとして、NO₃⁻, H₂PO₄⁻, Cl⁻, SO₄²⁻などがあるが、概ね硝酸イオンNO₃⁻の影響が大きい。つまり、ECが高い場合、概ね硝酸態窒素が多い場合が多い。これらの組み合わせで簡単診断が可能である。



カ 施設栽培土壌におけるpHとECによる簡易診断

施設栽培では、連作と多肥が行われるため、特異的に養分が蓄積する。そこで、比較的簡単に測定できるpHとECの4つの組み合わせから作物の生育状況が判断できる。



注) ECは黒ボク土の数値である。沖積土は3/4, 砂土は1/2とする。

(ア) 高pH, 高EC型

肥料成分が過剰であり、特にキュウリなどの長期穫りの連作施設に多い。作物は濃緑色となり、草丈が伸びない。果菜類では花落ちしたり着果不良となる。根が伸びず、コルク化していることが多い。土壌改良資材や肥料を多施用し、多かん水で根の生育不良を補って栽培される場合に多くみられる。

(イ) 低pH, 高EC型

低pHの原因は塩基成分の不足でなく、硝酸や硫酸の蓄積によるためであり、ECは高くなる。キュウリ、トマト連作施設に多い。作物は黒みを帯びた濃緑色となり、草丈が伸びずいじけた生育を示す。根は伸びず、コルク化する。窒素肥料を多施用し、多かん水している施設が多い。

(ウ) 高pH, 低EC型

塩基成分が多く、窒素肥料が少ない場合で、メロンやイチゴの施設に多い。作物は黄緑色となり、ひ弱な生育を示す。高pHのため、微量元素の吸収が悪くなり、欠乏症を生じやすい。

(エ) 低pH, 低EC型

全体的に肥料成分が不足している施設で、作物の葉色は淡く、黄色味が強くなる。施設ではあまりみられない。

(2) リン酸の改良

土壌中のリン酸は石灰、鉄、アルミニウム等と結びついて存在する。リン酸は、鉄、アルミニウムと結合すると植物が吸収できない難溶性のリン酸となる。難溶性のリン酸に変わることをリンの固定といい、固定力の強さを表す指標をリン酸吸収係数という。本県に多く分布する火山灰土壌は、アルミニウムを多く含むため、リン酸質肥料の施用が必要である。しかし、近年は施設園芸ほ場だけでなく、露地野菜畑でも土壌診断基準値を超える事例が認められる。リン酸過剰による作物の生理障害事例は少ないものの、収益性や省資源・環境保全的な立場から必要量以上の施用は避ける。

このことから、土壌診断結果により可給態リン酸が50mg/100g以上の場合は、堆肥等の有機物からのリン酸供給を考慮すると、化学肥料からのリン酸の供給は必要最低限とする。リン酸の施用量は、リン酸吸収係数および可給態リン酸含量から必要量を算出する。リン酸吸収係数、作物のリン酸利用率とリン酸必要量との関係は表VI-6-(2)-1のとおりである。なお、リン酸質資材を効果的に利用するため、土壌が酸性の場合には、ようりん等の可溶性リン酸、中性ではダブリンや重焼リン、アルカリ性の場合には過石、重過石と使い分ける。

表VI-6-(2)-1 リン酸吸収係数，作物のリン酸利用率とリン酸必要量

リン酸吸収係数	リン酸利用率 (%)	可給態リン酸1mg増加に必要なリン酸の施用量 (mg/100g)
2,000以上	8.3	12
2,000～1,000	12.5	8
1,000以下	25.0	4

リン酸質肥料の施用量は以下のとおり計算できる。

手順1 改良目標値から不足リン酸量を求める。・・・ A

手順2 A に表VI-6-(2)-1に掲載された「可給態リン酸1mg当たり増加に必要なリン酸量」を乗じる。

手順3 改良する深さ，土壌の仮比重，供試資材のリン酸成分からリン酸肥料の施用量を計算する。

$$\text{リン酸質肥料施用量} = A \times \frac{\text{可給態リン酸1mg当たりのリン酸施肥量}}{10} \times \frac{\text{改良深} \times \text{仮比重}}{10} \times \frac{100}{\text{資材のリン酸成分(\%)}}$$

<計算例> 可給態リン酸が改良目標値に5mg/100g不足する土壌（仮比重0.7，リン酸吸収係数1500）を深さ20cmまで「ようりん」で改良する場合の投入量。

$$\text{リン酸質肥料施用量 (kg/10a)} = 5 \times 8 \times \frac{20 \times 0.7}{10} \times \frac{100}{20} = 280 \text{kg/10a}$$

表VI-6-(2)-2 リン酸質肥料の保証成分 (%)

	ようりん	苦土重焼リン	ダブリン	重過石	過石	リンスター
保証成分	20	35	35(20)	40	17	30

(3) 塩基の改良

土壌中の塩基は、粘土や腐植などの持つマイナス荷電により吸着・保持される。そして、土壌溶液中の水素イオンと置換して遊離し、植物の根から吸収されたり、一部は下層へ流亡する。土壌に吸着されている陽イオンの量は、カルシウム>マグネシウム>カリウム>ナトリウムの順になっているが、ナトリウムの要求量は少ないため、特に補給する必要はない。

塩基類の施用量は、石灰、苦土、カリウムそれぞれの改良目標値から算出する方法と、塩基バランスを重視したそれぞれの改良目標飽和度から算出する2通りの方法がある。改良目標値から算出する方法よりも塩基バランスを重視した方法が望ましいが、CECが明らかでない場合、前者の方法で求める。

カリウムは、家畜ふん堆肥中に多く含まれるため、施設栽培土壌ではカリウム集積による生育への影響が懸念されている。堆肥中のカリウムの化学肥料代替率は堆肥の種類に関わらず90%程度で、化学肥料的な肥効を示す。したがって、家畜ふん堆肥を施用する場合、堆肥に由来するカリウムの投入量を十分考慮することが大切である。カリウムが過剰に集積したほ場では、土壌診断により肥料として投入されるカリウムが少なくなるよう施肥設計することが大切である。各計算方法は、以下のとおりである。

ア 改良目標値からの計算法

$$(\text{改良目標値} - \text{土壌分析値}) \times \frac{\text{改良深} \times \text{仮比重}}{10} \times \frac{100}{\text{肥料成分}(\%)}$$

<計算例>石灰の土壌分析値が280mg/100gであった。炭カルを用いて、深さ15cmの土壌を改良目標値350mg/100gにするための石灰投入量を求める。なお、炭カルの保証成分は53%、土壌の仮比重は0.7である。

$$\text{炭カル投入量} = (350 - 280) \times \frac{15 \times 0.7}{10} \times \frac{100}{53} = 138.7 \text{ kg/10a}$$

上記計算から、炭カルは7袋(20kg入り)施用すればよいと計算される。

イ 塩基飽和度からの計算法

$$\left(\left(\text{CEC} \times \frac{\text{目標飽和度}}{100} \times 1 \text{ミリグラム当量} \right) - \text{土壌分析値} \right) \times \frac{\text{改良深} \times \text{仮比重}}{10} \times \frac{100}{\text{肥料成分}}$$

注：1)各塩基の1ミリグラム当量 (meq) は表VI-6-(3)-1を参照

2)土壌分析値の単位はmg/100g

表VI-6-(3)-1 1ミリグラム当量(meq)に相当する塩基含量 (mg/100g)

塩基名	石灰	苦土	カリ
化学式	CaO	MgO	K ₂ O
塩基量(mg/100g)	28	20	47

<計算例>CECが25meq/100g, 石灰の土壌分析値が280mg/100gの土壌において, 石灰飽和度が70%になるよう, 深さ15cmの土層を改良するための炭カル投入量を求める。炭カルの保証成分は53%, 土壌の仮比重は0.7とする。

石灰の1ミリグラム当量は, 28mg/100gに相当するので, 目標とする石灰投入量は以下のように計算できる。

手順1 目標とする石灰飽和度が70%の石灰含量を求める

$$25 \times \frac{70}{100} \times 28 = 490 \text{mg}/100\text{g}$$

手順2 計算式に代入して求める

$$(490 - 280) \times \frac{15 \times 0.7}{10} \times \frac{100}{53} = 416 \text{kg}/10\text{a}$$

上記計算から, 炭カル416kg/10a施用すれば目標値になるが, 通常の石灰質肥料の施用量は100~200kg/10aであるので, 数年かけて段階的に改良するようにアドバイスした方が望ましい。

表VI-6-(3)-2 石灰質肥料の石灰成分量

石灰質肥料	炭カル	苦土石灰	消石灰	ようりん	ケイカル
成分量(%)	53	32	65	29	40
炭カルへの換算係数	1	1.7	0.8	1.8	1.3
その他の成分(%)		(MgO) 15		(P2O5) 20 (MgO) 15 (SiO2) 20	(SiO2) 30

表VI-6-(3)-3 苦土質肥料の苦土成分量

苦土質肥料	苦土石灰	水マグ	硫マグ	ようりん	苦土重焼燐
成分量(%)	15	5.5	25	15	4.5
炭カルへの換算係数	1	0.3	0.6	1	3.3
その他の成分	(CaO) 32			(P2O5) 20 (SiO2) 20	(P2O5) 35 (CaO) 20

表VI-6-(3)-4 カリ質肥料のカリ成分量

カリ質肥料	塩化カリ	硫酸カリ	ケイ酸カリ
成分量(%)	60	50	20
その他の成分			(SiO2) 20 (MgO) 3

ウ 塩基バランス

交換性塩基類は互いに吸収を抑制しあう現象がみられ, これを養分吸収における拮抗作用といい, 成分間のバランスを考慮した施用が必要である。改良対策では, 苦土・カリ比, 石灰・苦土比も考慮に入れて施用量を決定する。

(4) 客土

客土の目的には、土壌の理化学性を改良する目的と、耕土量を増やす目的とがあるが、ここでは、陽イオン交換容量の増大と強粘質土の改良について述べる。

ア イオン交換容量（CEC）の増大

客土量算出の計算式は次式による。

$$\text{客土量 (t/10a)} = \frac{\text{改良目標CEC値} - \text{土壌のCEC値}}{\text{客土材CEC値} - \text{改良目標CEC値}} \times 100$$

この場合、改善を必要とする土壌の仮比重を1.0、10a当たりの深さ10cmの土量を100tとして客土量を算出している。客土材の仮比重も1.0とすると、客土量20tの場合は土壌100t（深さ10cm）と客土材20t（厚さ2cm）の合計12cmの耕土をかくはんする。

表VI-6-(4)-1 CECが6 meq以下の土壌をCEC20meqに高めるのに必要な客土量(t/10a)

客土材のCEC	3～6 meqの土壌に対する客土量				施用資材の種類
	3 meq	4 meq	5 meq	6 meq	
100meq	21.3	20.0	18.8	17.5	ゼオライト
50	56.7	53.3	50.0	46.7	頁岩, 頁岩風化物
30	170.0	160.0	150.0	140.0	安山岩風化物, 第3紀層粘土

イ 強粘質土の改良

強粘質土壌の土性を改良するためには、適量の砂客土が必要である。土壌中の粘土含量を少なくするためには、次式により客土すべき砂の量を計算する。

$$\frac{B}{100-A} = \frac{D}{100-C}$$

A : 土壌の砂含量(%), B : 土壌中の粘土含量,
C : (A + 砂客土) の砂含量, D : 目標の粘土含量

この関係式より

$$C = 100 + (A - 100)D/B$$

土壌の客土前の仮比重を1とすると

$$\text{砂客土} = (\text{改良する耕土の深さcm}) \times 10t \times (C - A) / 100$$

$$= (\text{改良する耕土の深さcm}) \times 10t \times \left\{ \left(100 - \frac{D(100-A)}{B} \right) - A \right\} / 100$$

(例) 砂含量40%, 粘土含量30%の土壌（改良耕土深25cm）に砂客土を実施し、粘土含量を20%以下に下げるときの砂客土量は、以下の計算により求められる。

$$25 \times 10 \times \left\{ \left(100 - \frac{20 \times (100 - 40)}{30} \right) - 40 \right\} \times \frac{1}{100} = 50t \quad (/10a)$$

7 土壌断面調査の方法

(1) 土壌断面調査の必要性

土壌表面に対して土壌を垂直に切った面を土壌断面という。作土層から下層までの深さ、色、砂や粘土の割合などを観察、調査することで、保肥力や肥沃度、作物の根の伸長阻害や透水不良なち密な層などを把握することができ、作物の安定生産を図るうえで重要な情報を得ることができる。土壌断面調査の方法については、土壌調査ハンドブック（ペドロジスト懇談会編）を参考して作成した。

(2) 土壌断面調査作成用機材

ア 孔掘り道具

①剣先スコップ、細スコップ、ツルハシ、カマ、選定ハサミ、②検土杖など

イ 断面調査道具

③土壌断面調査票、④移植ゴテ、⑤標尺、⑥折り尺（ものさし）、⑦土色帖、硬度計（⑧プッシュコーン式、あるいは山中式）、⑨採土管、⑩採土器、⑪木づち（ハンマー）、⑫ナイフ（大きめのカッター）、⑬ビニルテープ、⑭クリノメータ、⑮ジピリジル液、⑯カメラ、⑰土壌採取用ビニル袋（No. 11～13）、⑱筆記用具、⑲タオル類、⑳G P S（緯度、経度、高度測定）、㉑デジタル貫入式硬度計など（図VII-7-(2)-1）



図VII-7-(2)-1 土壌調査用具一覧

(3) 土壌断面のつくり方

ア 調査地点の選定

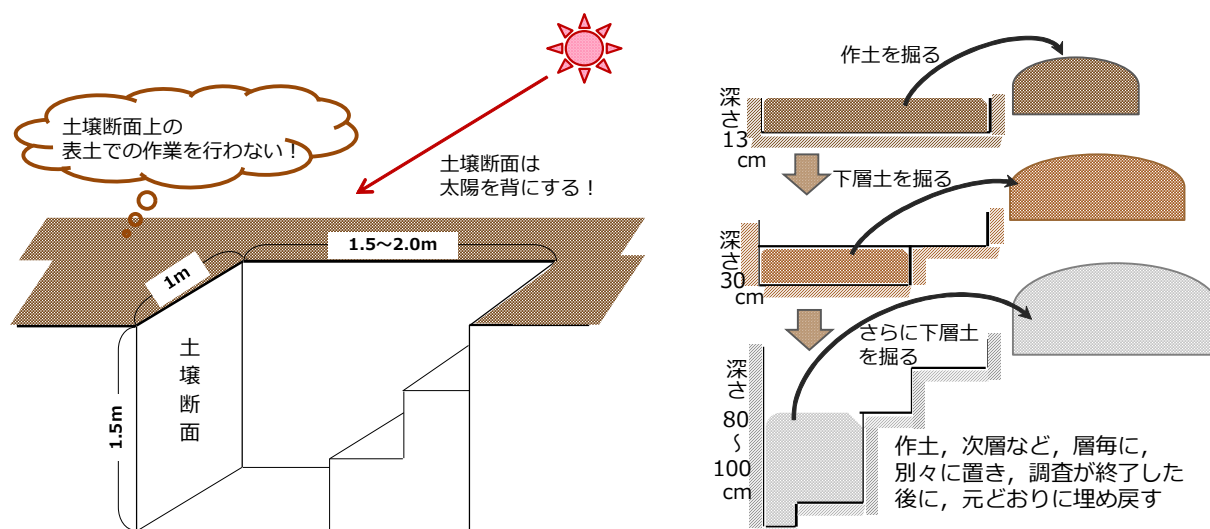
調査地点を選定するために、圃場内のいくつか場所に検土杖を差し込んで、土色や土性（砂や粘土の割合）などの土壌断面の概要を調べ、当該圃場の代表地点を選定する。

イ 土壌断面づくり

調査地点を選定したら、表層から深さが約1 mの調査用試坑を掘り、調査用の垂直の土壌断面をつくる（図VII-7-(3)-1）。土壌断面は太陽を背に、南向きになるようにして掘る。掘り上げた土壌は調査面側からみて左右に置き、作土と下層土を区別しておく、下層土から順序よく埋め戻せる。調査面と反対側は出入りしやすいように2～3段の階段をつくる。土壌断面上の表土での作業を行わない。

素掘りが終わったら移植ゴテなどを用いて、断面の凸凹を削って見やすい状態とする。その際、石や礫はできるだけ断面内に残し、根は断面に少し浮くように切りそろえる。

その後、土壌断面に赤白の標尺や折り尺などのものさしを当て、地名、日付けなどを記入したラベルをおいて、土壌断面を撮影する。他に、周辺の植生なども撮影しておく。



図VII-7-(3)-1 土壌断面のつくり方

(4) 土壌断面の記録

ア 土壌断面調査票

土壌断面調査では、層位毎の深さ、土の色、腐植含量の程度、土性、れき、孔隙、硬さ（ち密度）、可塑性、粘着性、植物根の分布、湧水面、斑紋・結核、グライ層などを調査する。調査した結果を表VII-7-(4)-1に示す土壌断面調査票に記録する。

イ 層位の区分

土壌断面の表土から、色、かたさ、土性（砂や粘土の程度）などの性質の違い毎に層を分け、層位毎の深さを表土から調べ、以下の項目を区分、判定する。

ウ 土色

土の色は、腐植の豊否と鉄化合物の形態によって異なり、一般に黒色味の強い土壌は腐植に富み、赤色味の強い土壌は酸化的、青～緑色系の土壌は還元的である。

オ 土性

土性とは、礫を除いた細土部分（2mm未満）の土粒の粒径組成のことで、砂（2～0.02mm）、シルト（微砂、0.02～0.002mm）、粘土（<0.002mm）の重量比によって区分されている。現場では、表VII-7-(4)-3のとおり指先で土塊をこねたときの感触で判定し、保肥力、透水性、保水性、耕うんの難易などの診断に資することができる。

表VII-7-(4)-3 土性判定のめやす

区 分	判 定 法
砂土 (S)	ほとんど砂ばかりで、ねばり気を全く感じない
砂壤土 (SL)	砂の感じが強く、ねばり気はわずかしかない
壤土 (L)	ある程度砂を感じ、ねばり気もある。砂と粘土が同じくらいに感じられる
シルト質壤土 (SiL)	砂はあまり感じないが、サラサラした小麦粉のような感触がある
埴壤土 (CL)	わずかに砂を感じるが、かなりねばる
軽埴土 (LiC)	ほとんど砂を感じないで、よくねばる
重埴土 (HC)	砂を感じないで、非常によくねばる

カ れき（礫）

石礫含量は、土壤断面の各層位について、石礫の大きさ、占める面積割合で、表VI-7-(4)-4のとおり区分する。

礫の大きさや含量については表VI-7-(4)-5、表VII-7-(4)-6により判定する。これらは土壤の乾湿、耕うんの難易、根の張りなどに影響するから、必要があれば、除礫を検討する。

表VII-7-(4)-4 礫の形状

区 分	形 状
角礫	稜が鋭くとがっているもの
亜角礫	稜が磨滅して丸味をおびるもの
亜円礫	稜がほとんどなくなっているもの
円礫	球形に近いもの

表VII-7-(4)-5 礫の大きさ

区 分	大 き さ
巨礫	20 ～30cm
大礫	10 ～20cm
中礫	5 ～10cm
小礫	1 ～ 5cm
細礫	0.2～ 1cm

表VII-7-(4)-6 礫の含量割合

区 分	含 量 割 合
あり（なし）	< 5%
含む	5～10%
富む	10～20%
すこぶる富む	20～50%
礫土	>50%

キ 土壤構造

土壤の粒子は、それぞれがバラバラにつまっている状態のときもあれば、いろいろな形や大きさの集合体（柱状、塊状、粒状）を形成している場合もある。これら粒子の集合状況は土壤構造と呼ばれ、透水性、保水性と密接に関連がある。表VII-7-(4)-7のとおり形態的な特徴により8つの区分され、その発達程度により表VII-7-(4)-8のとおり3つに区分される。

表VII-7-(4)-7 土壌構造の形態的な特徴

区分	形態的な特徴
屑粒状	膨軟で多孔質な数mm程度の小粒の構造。指間で容易につぶれ、ほとんど指に抵抗を感じない。水はけ、水もちが良いとされる
粒状	比較的小型(2~5mm)の丸味のある固くてち密な構造。指間でつぶす時、かなりの抵抗を感じる
角塊状	稜角、つやのある面が比較的はっきりしている構造。一般に大きさは1cm以上で、内部がち密とされる
亜角塊状	比較的丸味があり、表面のつやは弱く、内部もさほどち密ではない比較的大型の構造(2~5cm)。水はけがやや良いとされる
板状	水平2軸方向に発達した構造で、ほぼ水平に配列し、水平面が比較的明瞭なもの。水はけが悪いとされる
柱状	垂直軸の発達が水平方向の2軸より良好で、垂直に配列する。垂直面は明瞭で稜角は角張っている。柱頭の丸い「円柱状」と丸くない「角柱状」がある。水はけが良いとされる
単粒状	砂丘の砂のように各粒子がバラバラで、互にくっつき合っていないもの。水もちが悪いと判断される
壁状	土層全体が緊密に凝集し、一定の構造を認めることができないもの

表VII-7-(4)-8 土壌構造の発達程度

区分	発達程度
強度	土層内できわめて明瞭に認められ、断面から取り出すと、大部分は完全なベッドになり、非集合体はほとんど認められない
中度	土層内ではあまりはっきりしないが、断面から取り出すと、かなり安定で明瞭なベッドと若干の壊れたベッドになり、非集合体はほとんど認められない
弱度	かろうじて識別しうる程度の発達微弱なベッドが認められ、断面から取り出して砕くと、ベッドの大半は壊れ、非集合体もかなりある

ク 孔げき(隙)

孔げきは土壌の透水性、根の伸長などに関係する重要な性質で、土塊を割った面において、隙間の径やその量を肉眼で観察し、下表を基にして記録する。

表VII-7-(4)-9 孔隙の短径

区分	短径
細孔	0.1~0.5mm
小孔	0.5~2.0mm
中孔	2.0~5.0mm
粗孔	> 5.0mm

表VII-7-(4)-10 孔隙量

区分	孔隙量 (2.5cm平方当たり)
あり	1~3個
含む	4~14個
富む	>14個

ケ ち密度

プッシュコーン式、あるいは山中式の硬度計を、土壌断面に直角にツバ元まで押し込み、土の硬さに応じてバネが押し戻される距離(mm)を読みとる。一般の作物の根が十分に伸長できる硬度は20mm以下、作土の硬度はおよそ10mm前後の場合が多い。

調査層位において、5か所以上測定して記録し、それらの平均値をち密度とする。

コ 可塑性

可塑性とは、力を加えていくと変形し、力を除いたときにその変形を保持する能力をいう。可塑性の強弱は、土壤に十分な湿りを与え、親指と人差し指の間でこねて、土が指に付着しなくなったときの棒状の程度により、表VII-7-(4)-11のとおり区分する。

表VII-7-(4)-11 可塑性の判定基準

区分	基準
なし	全然棒状に延ばせないもの
弱	かろうじて棒状になるが、すぐ切れてしまうもの
中	直径2mm内外の棒状に延ばせて、こね直すのに力を要しないもの
強	直径1mm内外の棒状に延ばせて、こね直すのにやや力を要するもの
極強	長さ1cm以上の極めて細かい糸状に延ばせて、こね直すのに、かなりの力を要するもの

コ 粘着性

粘着性とは、土壤を親指と人差し指の間で圧して、引き離すときの付着する性質をいう。粘着性は水分状態によって変化し、最も高まったときの状態により、表VII-7-(4)-12のとおり区分する。

表VII-7-(4)-12 粘着性の基準

区分	基準
なし	土壤がほとんど指に付着しない
弱	土壤が一方の指に付着するが、他の指には付着しない。指を離すと伸びない
中	両指頭に付着する。指を離すと、多少伸びる傾向をもつ
強	指頭に強く付着する。指を離すと伸びてくる

サ 植物根の分布状況

根、とくに径2mm未満の細根は、土壤条件に敏感で、物理性、化学性の良いところに多く分布することから、根の分布の豊肥は、土壤の物理性、化学性の総合評価を示したものと見える。表VII-7-(4)-13および表VII-7-(4)-14のとおり層位毎に根の太さ、混量を記録する。

表VII-7-(4)-13 植物根の太さ

区分	根の太さ
大	径10mm以上
中	径 5～10mm
小	径 2～ 5mm
細	径 2mm 以下

表VII-7-(4)-14 植物根の量

区分	根の断面割合
あり (なし)	< 5%
含む	5～10%
富む	10～20%
すこぶる富む	>20%

シ 斑紋、結核

土壤中で、鉄やマンガンなどが移動して、ある部位に集積し、あるいはある部分から消失して特有の色を示したものを斑紋（斑鉄、マンガン斑）という。また集積した成分が硬化したものを結核という。土壤の酸化還元状態の指標として、とくに水田で重要な調査項目で、表VII-7-(4)-15、表VII-7-(4)-16および表VII-7-(4)-17のとおり、形態別に、それらの鮮明度と断面割合を記録する。

表VII-7-(4)-15 斑紋・結核の形態的な特徴

区 分	形態的な特徴
糸根状	イネの根に沿った条線状のもの
管状	根の孔に沿ってできる点は糸根状と同じであるが、肉厚のパイプ状のもの。外縁部の輪郭が不鮮明なものを特に「うん管状」とよぶことがある
膜状	割れ目、または構造体表面を被覆する薄膜状のもの
点状	基質中に斑点状に析出。ほとんどが黒色のマンガン斑
雲状	基質中に見られる輪郭不透明な不定形斑状のもの。ほとんどがオレンジ色の斑鉄

表VII-7-(4)-16 斑紋・結核の鮮明度

区 分	鮮明度
不鮮明	色相、彩度、明度ともに基質のそれに近く、注意して観察することにより見分けられる
鮮明	色相で1～2段階、明度・彩度で数段階基質から離れている
非常に鮮明	色相、彩度、明度ともに基質から数段階隔たって、非常に目に付く

表VII-7-(4)-17 斑紋・結核の断面割合

区 分	断面割合
あり	2～5%
含む	5～10%
富む	10～20%
すこぶる富む	20%以上

ス 湧水面

湧水面（地下水面）は、湧水の上昇がほぼ停止した位置までの深さを測り、断面スケッチの相当する深さのところに $\frac{\nabla}{60\text{cm}}$ のように記録する。数字は水面までの深さを表す。

セ 反応試験

(ア) 活性二価鉄イオン

α 、 α' ジピリジルが二価鉄イオンと反応して赤色の錯体を形成することを利用して、還元状態の判定を行う。

(イ) マンガン酸化物

テトラメチルジアミノジフェニルメタン（テトラベース：TDDM）がマンガン酸化物と反応して紫黒色を呈することを利用して、マンガンの酸化沈積物の判定に用いる。

表VII-7-(4)-18 反応試験

区分・記号	基 準
—	しばらく放置しても、呈色しない
±	しばらく経つと、弱く呈色する
+	即時に呈色するが、その程度は弱い
++	即時鮮明に呈色する
+++	即時非常に鮮明に呈色する

(ウ) 活性アルミニウム

活性なアルミニウムがフッ化ナトリウムと反応してOH基を放出するために起こるpHの上昇を利用して、活性アルミニウムの多少を判定する。なお、黒ボク土壌のほとんどが当試験において赤変を示す。

活性二価鉄イオン、マンガン酸化物および活性アルミニウムの反応試験の結果を表VII-7-(4)-18のとおり記録する。

ソ 土壌断面調査結果の記載

表VII-7-(4)-19に土壌断面調査票記載例を示す。それぞれの項目の記録だけでなく、調査時の天候、作物の生育状況など、土壌の物理性や化学性の解析の参考になるので、気づいた点があれば記録する。

表VII-7-(4)-19 土壌断面調査票記載例

鹿児島県

地点番号		10		地目		畑		調査地点		熊毛市・郡 南種子町 西之〇〇 番地		耕作者		脇門 〇〇		調査日		令和元年 10月 25日								
土壌分類		赤層腐植質黒ボク土		調査時天気		曇り		調査前日天気		雨		地形地質(母岩)		丘陵地, 火山灰		堆積様式		風積								
傾斜		調査地点		平坦(1°未満)		周辺地区		サトウキビ栽培地帯		標高		約100m		緯度・経度		30.38		130.88								
侵食度		シートエロージョン		主な受食期		8~9月(梅雨, 台風)		侵食防止対策		簡易な明きよあり		圃場攪乱状況		表層整備による表層, 下層土の攪乱あり												
有効土層の厚さ	作土の厚さ	断面スケッチ		厚さ・層界	試料		土色	腐黒植泥・泥炭	結核・斑紋	還元斑	土性	礫	土壌構造	孔げき	風か乾たさの	盤層の硬さ	硬ち度密計	可溶性	粘着性	透水性	湧り水面	植分分布根状の況	反応試験			採土管 No
		湿	乾		Fe II	Mn																	Al			
13	黒ボク: アカホヤ が1:1の 泥層	10	1	7.5YR 3/2							SL	未風化 細小 亜角礫有	細 亜角礫	細 有り		盤層 なし	16,16, 16,17, 16		弱	弱			細小 蕾む			H55, H56, H57
		20		7.5YR 2/3							CL	未風化 細小 亜角礫有	細 亜角礫	細 蕾む		盤層 なし	21,20, 21,22, 23		中	中			細 蕾む			H38, H10, H38
		30		7.5YR 1.7/1 5/8							CL	未風化 細小 亜角礫有	細 亜角礫	細 蕾む		盤層 なし	22,21, 23,22, 21		中	中			細 有り			M49, M50, M51
		40	2	7.5YR 5/8							SL	未風化 細小 亜角礫有	細 亜角礫	細 蕾む		盤層 なし	23,24, 24,21, 23		弱	弱			細 有り			A44, A45, A46
作物の生育状況		サトウキビ, 台風の影響が倒伏, 一部折損あり。雑草少なめか										障害発生状況・雑草の繁茂状況				雑草少々										
備考		他サトウキビ圃場に比べて生育がやや不良か。香鈴風, 冬場の風がたりの強い圃場か。										調査者		餅田, 相本												