

## 第4章 参考資料

### 第1 現場で活用できる分析測定法

#### (1) 三相分布

##### ア 三相分布の概要と実容積の測定

三相分布は土壌の固相、液相、気相をさし、その比率は土壌・根圏環境（排水性・保水性・微生物活動等）のうえで重要である。採土管にとった土壌から土壌三相計を用い、実容積（固相、液相の容積の合計＝気相以外の部分）を測定できる。また土壌を乾燥して水分重量を量ることで、液相率、固相率を算出できる。

以下に実容積法（実容積計）の基本原理解等を示す。機構はやや異なるが土壌三相計もこれと同じ原理を利用している。測定操作は各製品の説明書に従うこと。

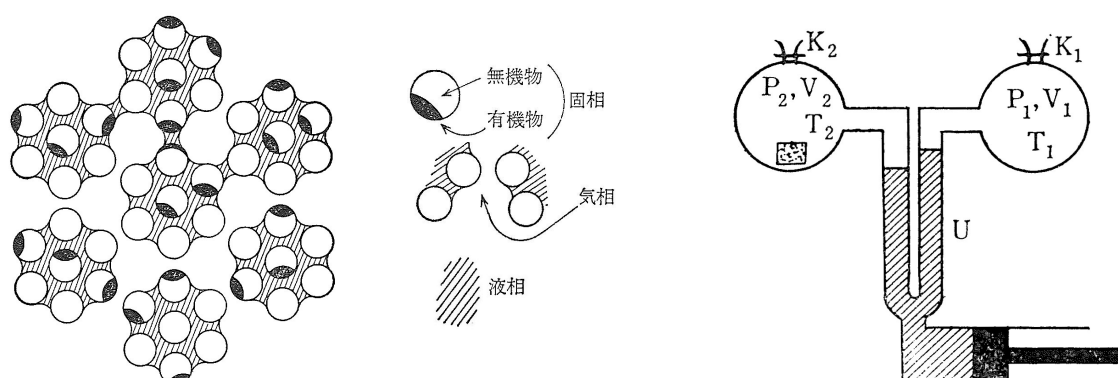


図4-1(上左) 土壌三相の模式図

土壌学概論，犬伏和之・安西徹郎編，朝倉書店 2001，p.6 より

図4-2(上右) 実容積法・実容積計の原理

土壌物理性測定法，土壌物理性測定法委員会編，養賢堂 1972，p.4 より

##### 【基本原理（図4-2）】

気体の圧縮に関するボイルの法則を利用。左右のセルの容積は同じで、圧力(P)、温度(T)が一定のとき ( $P_1=P_2$ ,  $T_1=T_2$ )、気相容積(V)が  $V_1 > V_2$  であれば、ピストンを左に動かす圧縮過程で常に  $P_1 < P_2$  となり、連通管の水面は当初の容積の大きい  $V_1$  側が高くなる。コック(K)を開いて水面が高い側のセルに水を加えて密閉・再圧縮し、水面の高さを合わせると、添加水量から最初の容積差を測定できる。

##### 【土壌三相計に関わる注意点】

- ・土壌採取の詳細は別項参照。各種分析に対応できるように、通常は採土管の上下を現地土壌の上下に合わせる。採取後は実容積の測定まで衝撃は厳禁とする。
- ・土壌試料の採取と測定にあたっては十分な反復をとる。
- ・実容積法はその原理から、一連の操作がほぼ一定温度下で行われることを前提とする。また土壌孔隙の気相がすべて大気と連続しているという仮定に基づくため、水分の多い粘質土壌などでは測定誤差を生じやすい。
- ・試料室の気密性が重要なため、密着部にシリコングリスを塗布する。
- ・アナログ機種のリョームゲージの長針値は、短針目盛間の達観値に等しい。

##### イ 実容積測定後の操作と計算（全容積 100 mL の場合）

土壌試料の実容積 (V) の測定後、秤で全重量 (W) を測定する。  
続いて乾燥機で 105°C、24 時間乾燥し、全重量を測定する。

\*ここでは乾燥前後の重量差 (=水分重量) が重要。したがって上蓋を外して試料円筒ごと乾燥し、全重量も上下蓋付き (土の落下や乾燥・吸湿の防止にもなる) の測定でよい。なお採土管のみを秤量しておくと同相重量が分かり、仮比重のほか、土壌母材の特性が反映される真比重も算出できる。

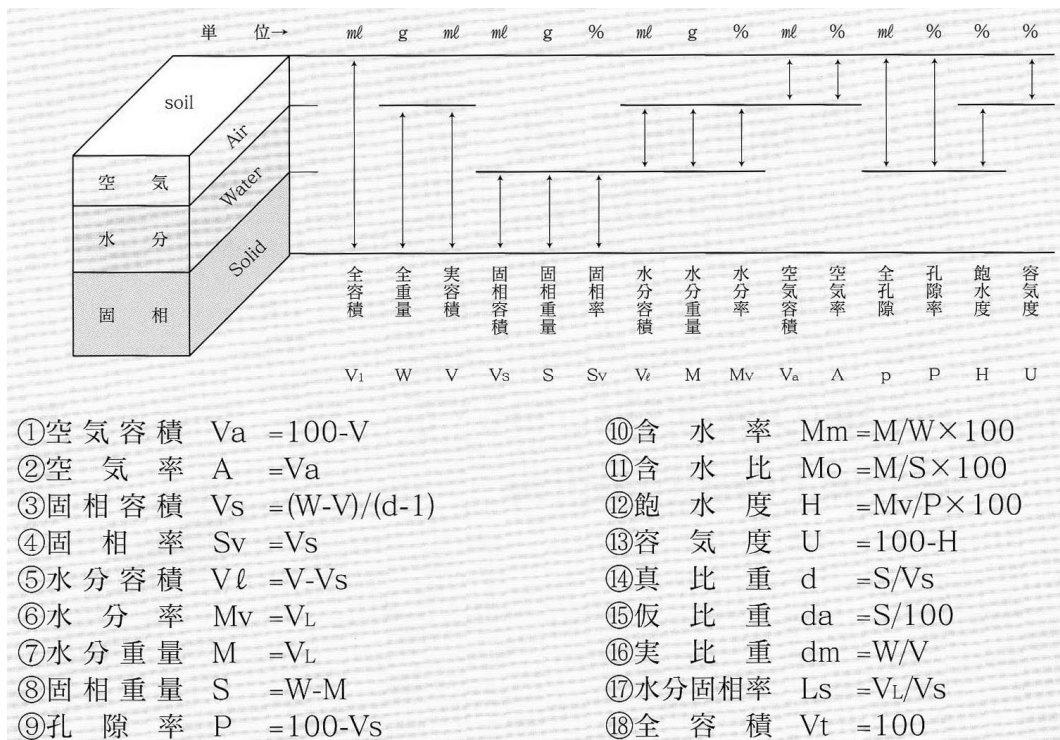
乾燥前後の重量差  $g =$  水分重量  $g(M) =$  水分容積  $mL(V_l) =$  水分率  $\%(M/V)$

固相率  $\%(S/V) =$  固相容積  $mL(V_s) =$  実容積  $mL(V) -$  水分容積  $mL(V_l)$

空気率  $\%(A) =$  空気容積  $mL(V_a) = 100 -$  実容積  $mL(V)$

孔隙率  $\%(P) = 100 -$  固相率  $\%(S/V)$

注) 近年は液相率, 気相率にかわり水分率, 空気率の用語が使われることが多い。



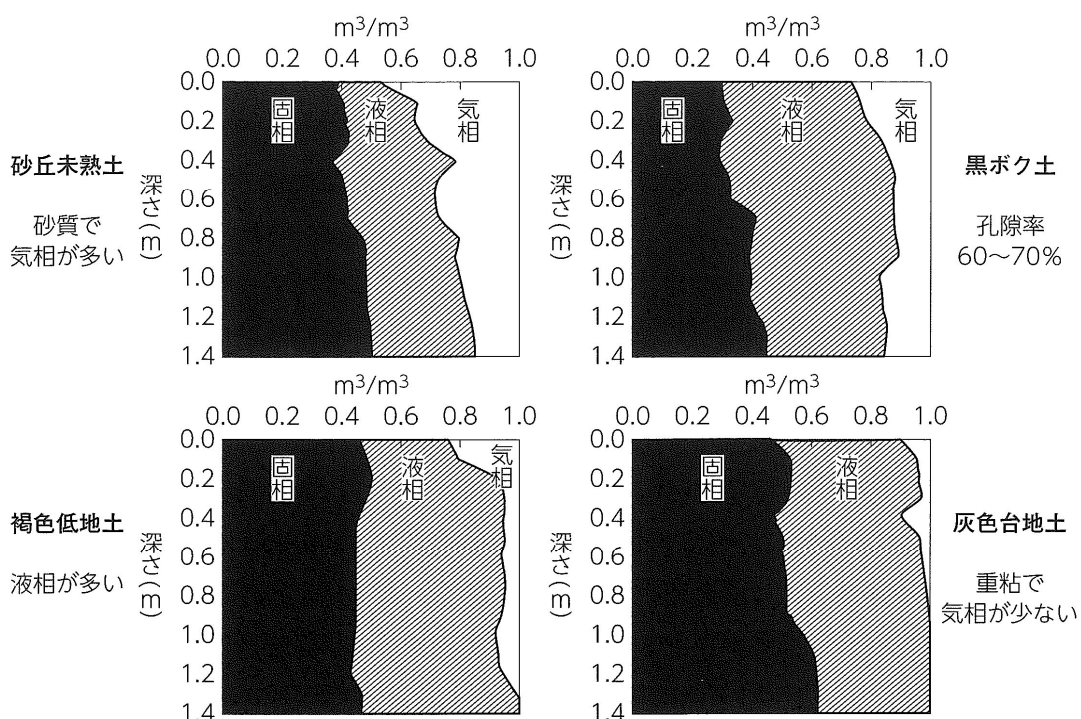
(株)大起理化工業製品案内資料より

ウ 望ましい三相分布と測定例

表 4-1 作物生育に望ましい土壌種類別の三相分布 (pF 1.5)

土壌の種類等	固相 (%)	液相 (%)	気相 (%)
砂土 (S)	50	10	40
埴土 (C)	40	20	40
重埴土 (HC)	40	30	30
火山灰土	30	30	40
(湿害)	—	増大	減少
(干害)	—	減少	増大

施肥診断技術者ハンドブック, JA 全農肥料農薬部 1999, p.28 より抜粋・一部改変



二相分布はもともとの土質によるどころも大きい。

土と施肥の新知识, 渡辺和彦・後藤逸男・小川吉雄・六本木和夫著, 農文協 2012, p. 23 より

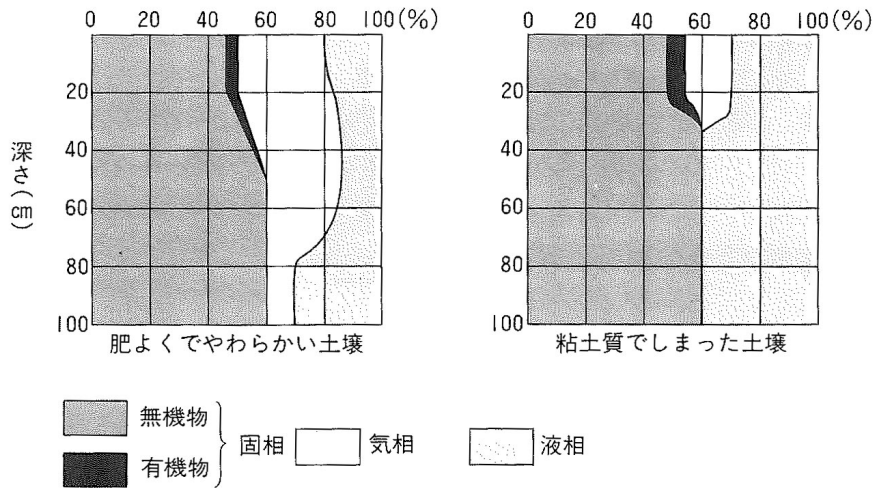


図 4-7 膨軟な土壌としまつた土壌の三相分布の例  
 基礎シリーズ栽培環境入門, 角田公正・松崎昭夫・松本重男編著,  
 実教出版株式会社1998, p.64 より  
 (引用元: 川口桂三郎ほか, 土壌学 1980)

## エ 三相分布の改善方法

三相分布はもともとの土質による差異が大きく、改良目標は地域や土質ごとに異なる（改良処理の有無によるほ場間比較が主になる）とみられるが、対策としては以下のようなものがある。

〈ち密→適正〉 堆肥施用等による土壌の団粒化の促進，深耕，心土破碎など

〈膨軟→適正〉 過度な堆肥施用の中止など

以下の模式図（図 4-1(1)の 6）に示すように、土壌の単粒構造から微小団粒、さらには微小団粒が集合して団粒化が進むと孔隙率が増加する。ここに示した図は同じ粒径の土壌粒子を基本として配置も単純化したモデルであるが、団粒の配置がランダムになるとさらに孔隙率は増大する。団粒構造が発達し、大小様々な孔隙ができると、作物栽培のうえで適度な排水性，保水性，通気性を兼ね備えた土壌となる。直径 0.2 mm 程度以上を団粒と呼ぶことが多いが、一般的に農用地で理想とされる団粒の大きさは直径 1～5 mm 程度とされている。

団粒構造の形成においては、腐植や土壌生物相由来の高分子有機物が接着剤の役割を果たしているほか、ミミズなど土壌動物の排泄物の寄与も大きい。形成を人為的に促進するには、有機物施用のほか石灰分の施用も有効とされる。団粒は生成と崩壊とを繰り返しているが、崩壊の要因としては、土壌の過度の乾燥や湿潤、有機物の分解・消耗、降雨、過度の耕うん、農機による踏圧などがある。

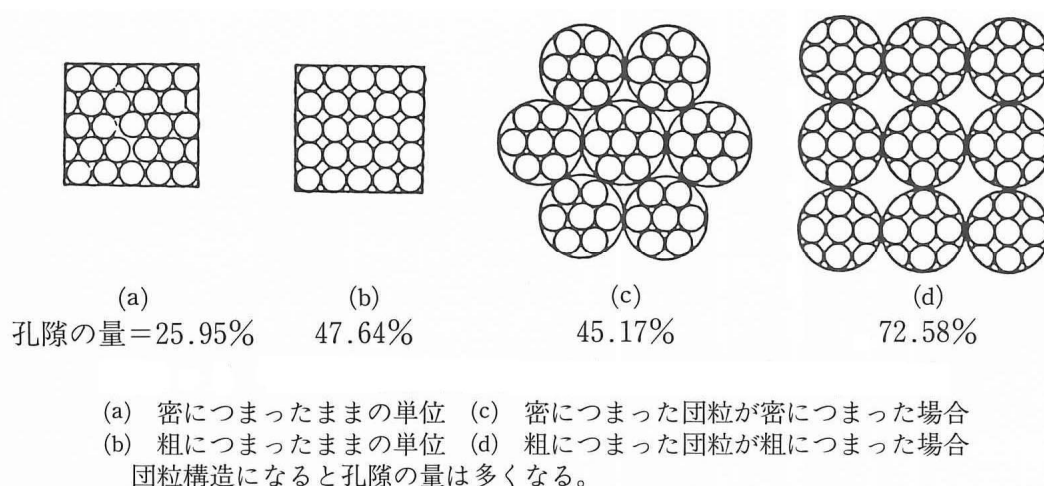


図 4-6 土壌粒子のつまり方と孔隙率との関係

新版土壌肥料，岡崎正規・安西徹郎・加藤哲郎，  
社団法人全国農業改良普及協会 2001，p.7 より（原典：川口 1974）

## (2) RQ フレックス

### ア RQ フレックスの概要

ドイツのメルク社が開発した小型反射式光度計であり、専用の発色試験紙を用いて検液中の各種イオン濃度を測定できる。原理は特定イオンに対して発色する各種試験紙に試料溶液を滴下し、一定時間発色させたのち LED 光を当て、反射光の特定波長の強度からイオン濃度を測定する。測定精度を高めるため、試験紙の発色部は 2 区画（2 反復）となっている。測定可能なイオンとしては、アンモニウム、アスコルビン酸、カルシウム、塩素、グルコース、鉄、マグネシウム、硝酸、亜硝酸、リン酸、カリウム等があるが、測定操作は様々であり、説明書の操作手順を遵守する。なお RQ フレックスの精度を維持するための製品として、補正用の「RQ リキャリブレーションセット」や機能確認用の「RQ チェック」がある。

表 4-2 窒素に関連する RQ フレックスの測定条件

(2017 時点、2013 年更新の製品情報をもとに作成)

測定イオン 〔試験紙〕	イオン濃度 (mg/L)	N 濃度 (mg/L)	液温、反応時間	備考	換算係数 〔イオン→N〕
硝酸イオン (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	3~90	0.7~20.3	15~30℃、60 秒	亜硝酸イオン(NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )0.5mg/L 以上では所定の前処理が必要。	0.226 (N/NO <sub>3</sub> =14.01/62.01)
	5~225	1.1~50.8	15~30℃、60 秒		
亜硝酸イオン (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	0.03~1.0	0.009~0.304	15~30℃、60 秒	試薬にヒドロキシルアミン(劇物)含む。 N-(1-ナフチル)-エチレンジアミンによる発色。試薬に毒劇物を含まない。	0.304 (N/NO <sub>2</sub> =14.01/46.01)
	0.5~25.0	0.2~7.6	15~30℃、15 秒		
アンモニウムイオン (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	0.2~7.0	0.16~5.4	20~30℃、480 秒	インドフェノールによる発色。 試薬に毒劇物を含まない。	0.776 (N/NH <sub>4</sub> =14.01/18.05)
	5.0~20.0	3.9~15.5	20~30℃、240 秒		
	20~180	15.5~140	15~25℃、15 秒	ネスラー反応。試薬による化水銀(毒物)、水酸化ナトリウム(劇物)含む。	

※これ以外にも測定上の注意事項は多い。説明書に記された内容を遵守すること。

### 【RQ フレックスの留意点】

- 目的物質の濃度が測定レンジ内であるか、あらかじめチェックする。
- 窒素(N)濃度は、直読値であるイオン濃度と間違えないよう、注意する。
- 機器の安定や各種反応(発色反応など)は、一般に高温下で早く低温下で遅くなる。したがって同時測定でない場合、数値の細かな比較は難しい(RQ フレックスに限らない)。
- 試料液の液温範囲や pH レンジ、反応時間、測定に影響する夾雑物質の除去法等の指定に注意し、必要に応じて所定の方法で前処理を行う。
- 試験紙の有効期限に注意し、使用・保管方法等は説明書に従う。
- 測定時の試験紙に滲んだような模様がある場合や、測定後のインターナルスタンダード(ストリップアダプターのグレーのパーツ)が発色液で汚れている場合は、測定ミスの可能性が高い(水滴過多による発色液の流下、および測定条件の変化)。
- 高電圧タイプの電池には対応していないので注意すること。通常の電池でも液漏れによる破損例は少なくないため、使用後はなるべく電池を外しておく。

### 【エムクアント シリーズ（メルコクアント テスト）】

試験紙の色をカラースケールと比較して判定する。RQ フレックスの測定前のレンジ確認にも利用できる。

硝酸イオン( $\text{NO}_3^-$ ) 0~500 mg/L、亜硝酸イオン( $\text{NO}_2^-$ ) 0~80 mg/L、アンモニウムイオン( $\text{NH}_4^+$ ) 0~400 mg/L

### (3) 迅速養分テスト（兵庫方式の簡易分析法）

#### ア 迅速養分テストの概要

圃場の観察や聞き取りに、これから述べる本県で開発された迅速養分テスト法（各種試薬による発色から目視で判定）を組み合わせると、栽培上の問題点をかなり絞り込むことができる（p. 134 のフローチャートを参照）。以下に土壌、作物体の順で個別の操作手順を記す。水抽出による分析項目には RQ フレックスで測れるものもあるが、迅速養分テスト法には、試薬類とごく一般的な器具があれば、長期にわたって実用的な分析環境を自身で整えられるというメリットがある。なお RQ フレックス、迅速養分テストとも、一部に毒劇物や特定化学物質を使用するものがあるため、管理や廃液処理はそれらの指定に関する最新の情報に基づき、適正に行う。

表 4-3 迅速養分テスト法(土壌)が得意、不得意な元素

得意な元素	$\text{NH}_4$ , $\text{NO}_3$ , $\text{NO}_2$ , $\text{P}_2\text{O}_5$ , $\text{K}_2\text{O}$ , $\text{Mn}$ , $\text{Al}$ , $\text{Cl}$ , $\text{SO}_4$
やや不得意で、工夫の必要な元素	$\text{CaO}$ , $\text{MgO}$ , $\text{Fe}^{2+}$
過剰でしか検出できない元素	$\text{B}$ , $\text{Zn}$ , $\text{Ni}$ , $\text{Fe}^{3+}$

「わかりやすい園芸作物の栄養診断の手引き」, 渡辺和彦著, 誠文堂新光社 2010, p.23 に基づき作成。

## イ 土壌の迅速養分テスト

### (7) 生土容積法による pH, EC の測定と養分抽出

250 mL 容ふた付きのポリビンを準備し、140 mL と 162 mL の 2 ヲ所に印を付ける。まず 140 mL の線まで水を入れ、そこに生土を、水面が 162 mL の線にくるまで入れて 5 分間よく振り混ぜる (図 1)。この乾土(g) : 水(mL) ≒ 1 : 5 の懸濁液\*を用い、pH と EC を測定する。秤を用いる場合には、水 140 mL に生土は 40 g、乾土は 28 g を入れる。\*土の真比重を 2.5 (通常 2.3~2.7) と仮定。

pH の測定は正式には土液比 1 : 2.5 の懸濁液で行うが、1 : 5 の懸濁液で測定しても診断上の問題はほとんどない。この土壌懸濁液を一般的な JIS 規格 6 種のろ紙 (製品番号 No. 6 など) でろ過し、ろ液を次項以下の養分テストに用いる。

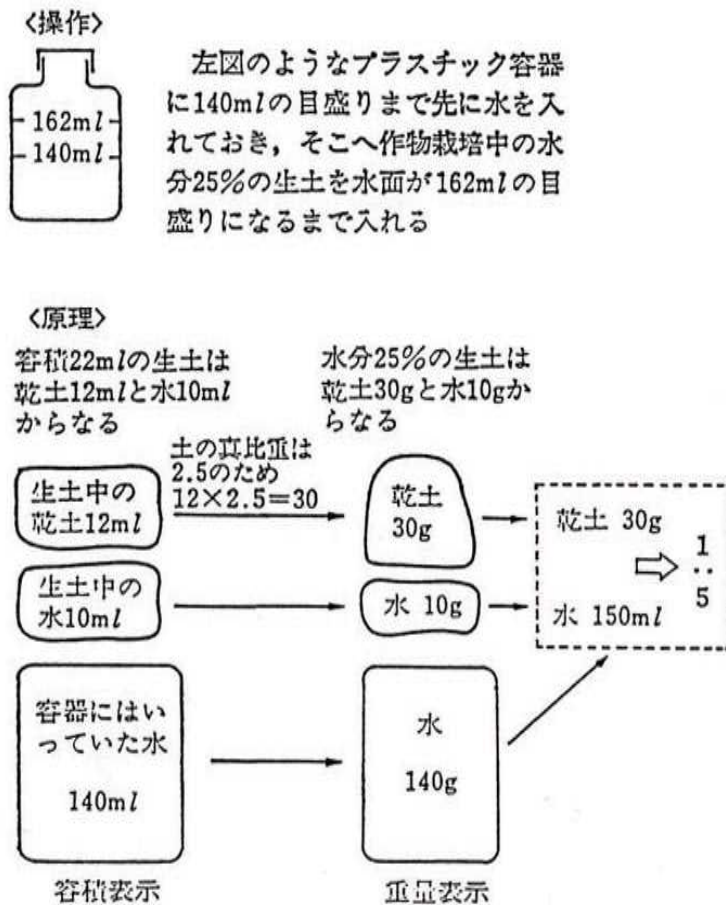


図 4-7 土壌の養分抽出の方法

\*カルシウム、マグネシウム、亜鉛、アルミニウムは水で抽出されにくい。必要に応じて抽出しやすい 10%酢酸ナトリウム液 (pH 5.2) を用い、水の場合と同様に操作する。

\*土壌養分含量 (mg/100g) ≒ (kg/10a)

(表層 10 cm の作土量を 100 t/10a として概算)



#### (4) 土壤中窒素の測定・診断基準

##### ① 操作法

ろ液約 2 mL を試験管にとり、下記試薬を加えて混合し、10 分後の発色を比色表と比較する。

アンモニア態窒素： ネスラー試薬（取扱注意）をスポイトで 2 滴（約 0.1 mL）

亜硝酸態窒素： GR 亜硝酸用試薬を耳かき 1 さじ（約 25 mg）添加。

硝酸態窒素： GR 硝酸用試薬を耳かき 1 さじ（約 25 mg）添加。

水抽出液の pH（4～10）の影響はいずれも小さい。またこれら 3 種とも試薬添加量の影響は小さく、基準量の 1/2 から 2 倍の範囲は許される。しかし 1/4 では呈色度が低下し、4 倍量では色調が変化する。

##### ② 診断基準

土壤中窒素の診断基準を表 4-4 にまとめた。作物の種類や生育段階により必要な窒素量は異なるため、診断の項はおよその目安である。特に露地栽培では硝酸態窒素が雨で流亡するので、あまり多くは検出されない。一段階以上診断基準を下げる必要がある。

ガス障害の判定には、ハウス内のビニールに付着した露滴を約 2 mL 採取する。ハウスのアンモニアガス障害では、露滴中にアンモニア態窒素が呈色度 +4～+5、亜硝酸態ガス障害では亜硝酸態窒素が呈色度 +5 程度発色する。ふつうのハウスの露滴中にも、亜硝酸態窒素は +1～+2 程度はよく検出されるが、これは亜硝酸態窒素の検出感度が極めて高いためである。

表 4-4 土壤中の水溶性窒素（N）の診断基準

呈色度	アンモニア態窒素 (NH <sub>4</sub> -N)					硝酸態窒素 (NO <sub>3</sub> -N)					亜硝酸態窒素 (NO <sub>2</sub> -N)					
	+1	+2	+3	+4	+5	+1	+2	+3	+4	+5	+1	+2	+3	+4	+5	
テスト液中濃度 (ppm)	1	2.5	5	10	50	1	2.5	5	20	50	0.05	0.1	0.25	0.1	2.5	
換算 す れ ば	乾土100g当たりmg	0.5	1.25	2.5	5	25	0.5	1.25	2.5	10	25	0.025	0.05	0.125	0.5	1.25
	(10a当たりkg)	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃
土壌溶液中濃度 (ppm)	15	37.5	75	150	750	15	37.5	75	300	750	0.75	1.5	3.75	15	37.5	
同上 (me/L)	1.1	2.7	5.4	11	54	1.1	2.7	5.4	21	54	0.054	0.11	0.27	1.1	2.7	
診 断	適 当		や や 多 い	多 い	過 剩	少 ない		や や 少 ない	適 当	多 い	酸 素 不 足 ま た は 多 肥	注 意			ガ ス 障 害 危 険	

注) 呈色度 (+1～+5) は比色表（「原色 野菜の要素欠乏・過剰症」、渡辺和彦著）等を参照。

#### (ウ) 作物体の迅速養分テスト（基本操作：p. 135 参照）

約 2 mm に細断した葉柄約 0.2 g に蒸留水または 10%酢酸ナトリウム溶液(pH 5.2) 2 mL を加え、5 分間程度よく振り混ぜたのち、各試薬を添加する。抽出液の種類と量を調整すれば、硝酸態窒素、リン酸、カリ、カルシウム、マグネシウム、マンガンは、作物体の抽出液(懸濁液)のままテストできる。テストに用いる葉は、比較のため、なるべく同じ生育ステージで同じ葉位のもを採取する。必要に応じ、葉身や茎を利用する場合もある。作物体の養分含有率は、正常範囲であっても変動幅が大きい場合が多い。したがって診断は、正常なものと異常なものとを、同時に・同量により・同部位について比較することを基本とする。

#### 【作物体の迅速養分テストの留意点】

##### 硝酸態窒素：

葉身は葉緑素が多く、GR 硝酸試薬の発色阻害のおそれがあるので葉柄を用いる。

##### リン酸：

必要に応じ試験液を試薬添加前に希釈し、添加後 5～15 分後に比色(目視)する。

##### カリウム：

水溶性で多量に存在する。葉柄 0.2 g に水 10 mL を添加し、試薬は 10 滴とする。

##### カルシウム：

水または 10%酢酸ナトリウム(pH 5.2) 2 mL で抽出する。妨害元素は少ない。

##### マグネシウム：

水または 10%酢酸ナトリウム(pH 5.2) 2 mL で抽出する。試薬①の量を厳守する。

##### マンガン：

栽培条件による変動が大きい。正常作物でも乾物あたり数～数百 mg/kg の幅か。

注) 土壌, 作物体とも、各元素, イオンの標準液の発色と比較すれば、試薬の品質や調製状況にかかわらず判定が容易となる。また試薬を添加した蒸留水を対照とすることが望ましい。

#### 【その他の留意点】 pH, EC 測定, RQ フレックス, 迅速養分テスト法等、全般

- ・ 試料や試薬の秤量に用いる電子天秤は静電気に弱いため、アース付コンセントの使用を基本とする。
- ・ 機器の安定や各種反応（発色反応など）は、一般に高温下で早く、低温下で遅くなる。したがって同時測定でない場合、数値の細かな比較は難しい。
- ・ 各種標準液の保管に注意し、使用分は適時更新する（製品説明にしたがう）。
- ・ 通常、土壌 EC が高いと粘土粒子が分子間力により凝集しやすく、ろ液が濁りにくい傾向にある。
- ・ 土壌懸濁液を静置して上澄みをろ過すると、ろ過速度は早いがかえって濁りを生じることがある。

(I) 迅速養分テスト法を用いた簡易診断のフローチャート及び、基本操作 (次ページ)

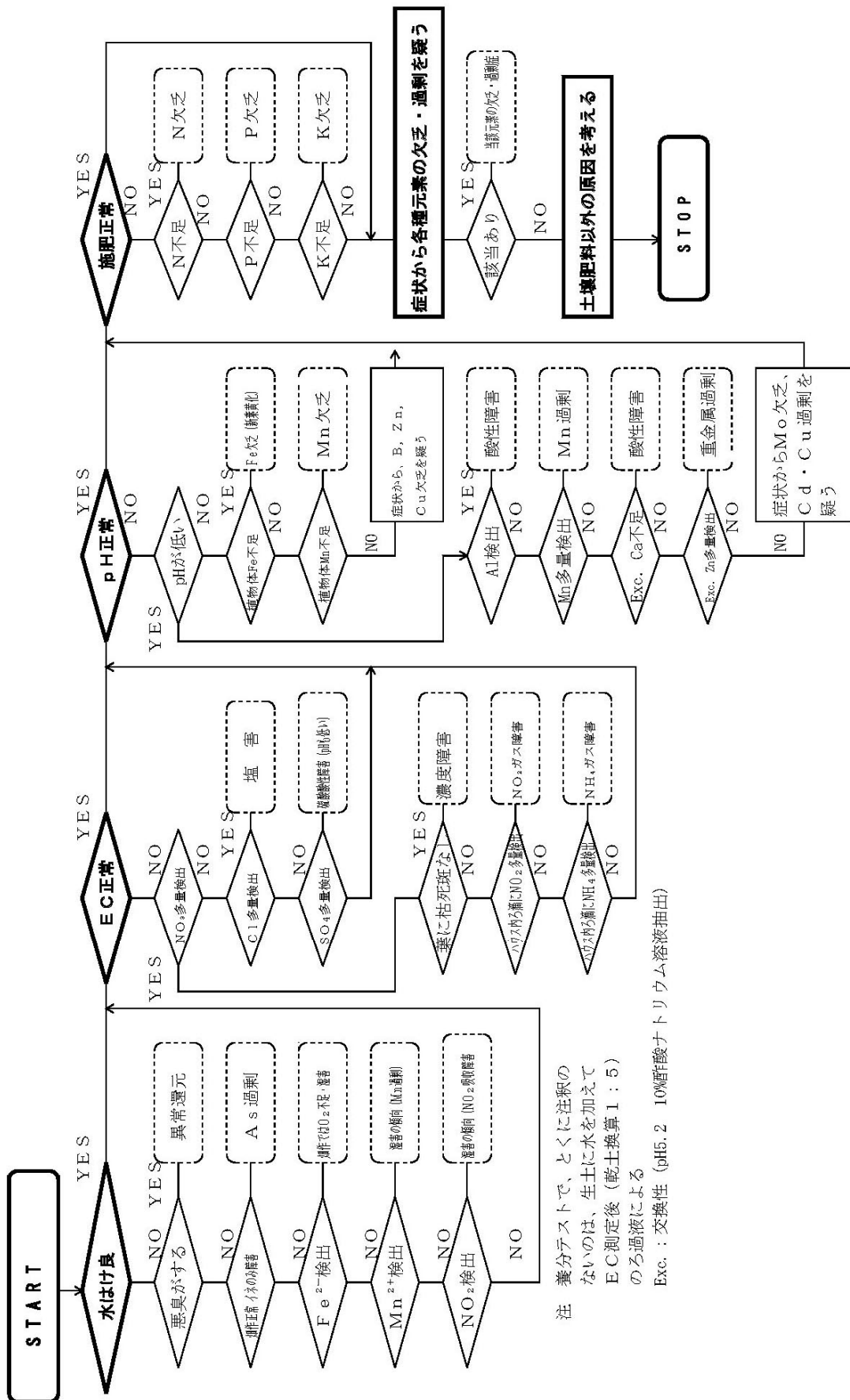


図 4-8 迅速養分テスト法を利用した分析手順

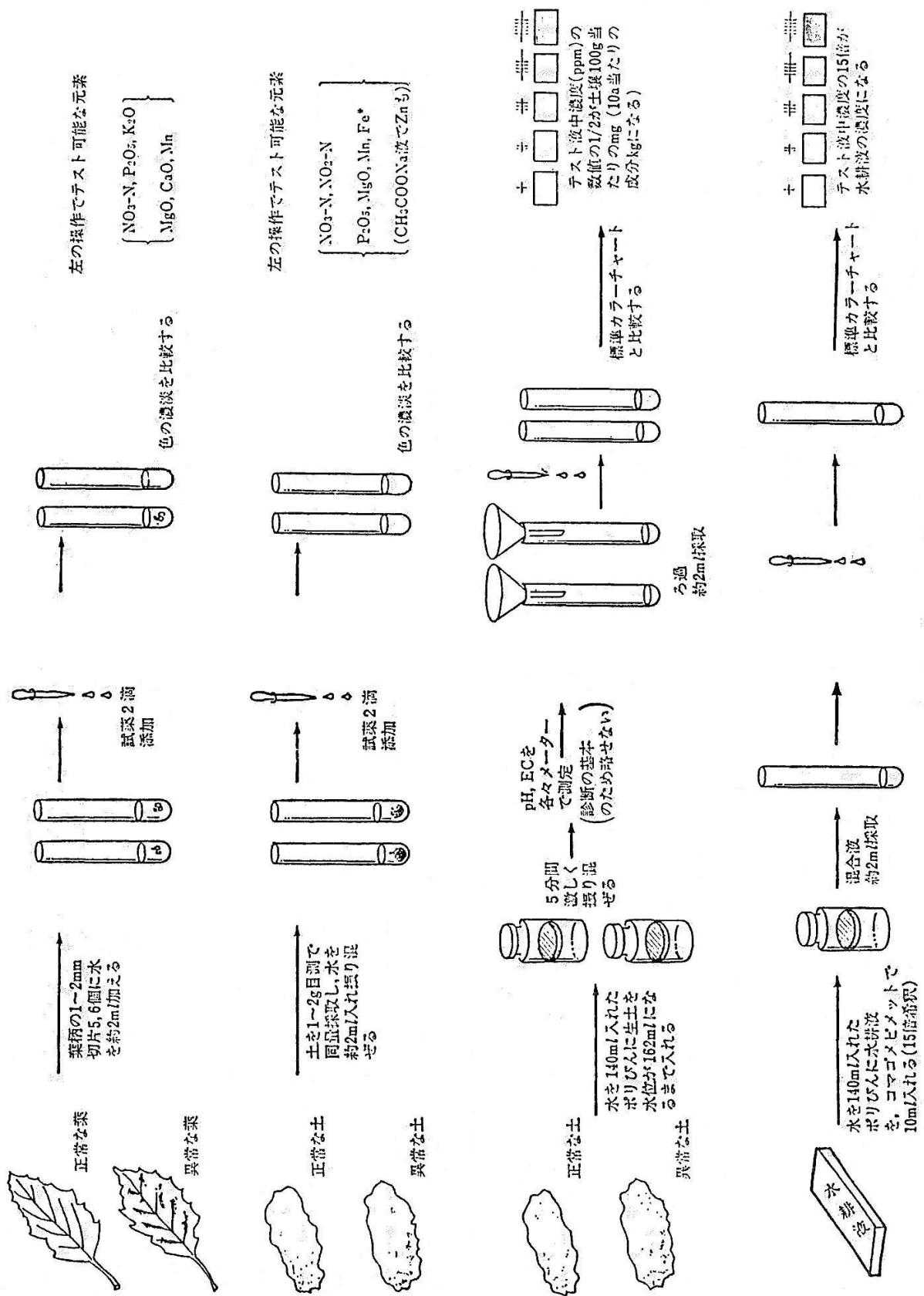


図 4-9 迅速養分テストの基本操作

(オ) 迅速養分テスト法で用いる試薬類

試薬類と操作を以下に示す。一部に毒劇物や特定化学物質を含むため、管理や廃液処理は適切に行うこと。

大半の試薬（調製したもの）は冷蔵すれば長期保存に耐える。

試験液 2mL/試験管、 試薬は必ず記載順に添加する（①→②→③）

添加量の目安： 1滴≒0.05mL,

ミクロスパーテル(以下、耳かき)1杯≒25mg

診断養分	試薬	添加量 (標準)	発色に要する 時間
NH <sub>4</sub> -N	①ネスラー試薬 〔市販。水銀を含む毒物、注意！〕	2滴	10分
NO <sub>3</sub> -N	①GR硝酸試薬〔市販〕	耳かき1杯	10分
NO <sub>2</sub> -N	①GR亜硝酸試薬〔市販〕	耳かき1杯	10分
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	①2% モリブデン酸アンモニウム [(NH <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> Mo <sub>7</sub> O <sub>24</sub> ・4H <sub>2</sub> O] in 3.78M HCl	4滴	
	②5%塩化スズ [SnCl <sub>2</sub> ・2H <sub>2</sub> O] in 1.2M HCl (+ 金属錫1 粒, 貯蔵用)	2滴	
K <sub>2</sub> O	①5% テトラフェニルほう酸ナトリウム Na(C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> ) <sub>4</sub> B	2滴	5分以上
CaO	①4% しゅう酸アンモニウム [(COONH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ・H <sub>2</sub> O] in 1% 酢酸	2滴	5分以上
MgO	①0.1% チタン(イ)エロー(C <sub>28</sub> H <sub>19</sub> N <sub>5</sub> Na <sub>2</sub> O <sub>6</sub> S <sub>4</sub> )	2滴	
	② 2.5M NaOH	10滴	5分
Fe <sup>2+</sup>	①0.2% o-フェナントロリン	2滴	5分以上
Fe <sup>3+</sup>	①L-アスコルビン酸	耳かき1杯	
	②0.2% o-フェナントロリン	2滴	5分以上
Mn	①過よう素酸カリ KIO <sub>4</sub> 飽和溶液	4滴	
	②10% 酢酸	2滴	
	③1% テトラベース (Tetramethyldiaminodiphenylmethane) in アセトン	4滴	30～60秒 〔退色が早い〕
Zn	①緩衝液 (NaOH 4.3g, KCl 18.7g, ホウ酸 15.5g /500mL)	8滴	
	②0.13% ジンコン(o-(2-(α-(2-Hydroxy-5-sulfophe nylazo)benzylidene)-hydrazino)benzoic acid, Na salt) in メタノール	4滴	2～5分
Ni	①1% ジメチルグリオキシム in 1% NaOH	2滴	5分
Al	①0.2% アルミノン (HOC <sub>6</sub> H <sub>3</sub> COONH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> C:C <sub>6</sub> H <sub>3</sub> (COONH <sub>4</sub> ):O)	2滴	
Cl <sup>-</sup>	①0.1M 硝酸銀 AgNO <sub>3</sub>	2滴	5分以内
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	①3% 塩化バリウム BaCl <sub>2</sub>	2滴	

(カ) 迅速養分テスト法の診断基準

呈色度	NH <sub>4</sub> -N					NO <sub>3</sub> -N				
	+1	+2	+3	+4	+5	+1	+2	+3	+4	+5
試験液中濃度 (ppm)	1	2.5	5	10	50	1	2.5	5	20	50
mg/100g, 乾土	0.5	1.25	2.5	5	25	0.5	1.25	2.5	10	25
診断	適当		やや多い	多い	過剰	少ない		やや少ない	適当	多い

呈色度	NO <sub>2</sub> -N				
	+1	+2	+3	+4	+5
試験液中濃度 (ppm)	0.05	0.1	0.25	1	2.5
mg/100g, 乾土	0.025	0.05	0.125	0.5	1.25
診断	酸素不足 または多肥		注意		ガス障害の危険性

呈色度	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>				
	+1	+2	+3	+4	+5
試験液中濃度 (ppm)	1	2.5	5	10	50
mg/100g, 乾土	0.5	1.25	2.5	5	25
診断	少ない	やや少ない	適当	やや多い	多い

比濁度	K <sub>2</sub> O				
	+1	+2	+3	+4	+5
新聞の字	よく読める	見えるが読めない	かすかに見える	模様のように見える	全く見えない
試験液中濃度 (ppm)	10	25	50	100	200
mg/100g, 乾土	5	12.5	25	50	100
診断	少ない	適当	多い	多すぎる	過剰

		CaO				
比濁度		+1	+2	+3	+4	+5
新聞の字		よく読める	少し読みにくい	見える	かすかに見える	全く見えない
試験液中濃度 (ppm)		10	25	100	150	300
mg/100g, 乾土		5	13	50	75	150
診 断		適 当		多 い	異 常	
塩抽出*	試験液中濃度 (ppm)	50	100	175	250	400
	mg/100g, 乾土	25	50	88	125	200
	診 断	欠 乏				適 当

\*10%CH<sub>3</sub>COONa (pH5.2) 抽出

		MgO				
呈色度		+1	+2	+3	+4	+5
試験液中濃度 (ppm)		2.5	5	10	20	50
mg/100g, 乾土		1.25	2.5	5	10	25
診 断		やや少ない	適 当	やや多い	多 い	過 剰
塩抽出*	試験液中濃度 (ppm)	2.5	5	10	20	50
	mg/100g, 乾土	1.25	2.5	5	10	25
	診 断	欠 乏			少 ない	適 当

\*10%CH<sub>3</sub>COONa (pH5.2) 抽出

		Fe <sup>2+</sup>				
呈色度		+1	+2	+3	+4	+5
試験液中濃度 (ppm)		0.5	1	2.5	5	10
mg/100g, 乾土		0.25	0.5	1.25	2.5	5
診 断		湿害注意	湿害	水田なみ		

	Mn <sup>2+</sup>				
呈色度	+1	+2	+3	+4	+5
試験液中濃度 (ppm)	0.05	0.1	0.25	0.5	1.0
mg/100g, 乾土	0.025	0.05	0.125	0.25	0.5
診 断	適当※		やや多い		多い

※不検出 → Mn欠乏の可能性

	Zn					
呈色度	+1	+2	+3	+4	+5	
試験液中濃度 (ppm)	0.25	0.5	1.0	2.5	5.0	
mg/100g, 乾土	0.125	0.25	0.5	1.25	2.5	
診 断	多い	過剰				
塩抽出*	試験液中濃度 (ppm)	0.25	0.5	1.0	2.5	5.0
	mg/100g, 乾土	0.125	0.25	0.5	1.25	2.5
	診 断	適当	やや多い		多い	過剰

\*10%CH<sub>3</sub>COONa (pH5.2) 抽出

試薬②の添加前に、試薬①で試験液のpHを8.5~9.5とする。

	Al					
呈色度	+1	+2	+3	+4	+5	
試験液中濃度 (ppm)	0.5	1	2.5	5	10	
mg/100g, 乾土	0.25	0.5	1.25	2.5	5	
診 断	過剰障害発生濃度					
塩抽出*	試験液中濃度 (ppm)	0.5	1.0	2.5	5	10
	mg/100g, 乾土	1.25	2.5	6.25	12.5	25
	診 断	微量	含む	多い	多すぎる	過剰

\*10%CH<sub>3</sub>COONa (pH5.2) 抽出

塩抽出の場合、塩抽出液2mLに蒸留水8mLを加えて10mLとし、試薬10滴を添加する。



	Ni				
呈色度	+1	+2	+3	+4	+5
試験液中濃度 (ppm)	2.5	5	10	25	50
mg/100g, 乾土	1.25	2.5	5	2.5	25
診 断	過剰障害発生濃度				

	Cl <sup>-</sup>				
比濁度	+1	+2	+3	+4	+5
新聞の字	よく読める	読める	見える	わずかに見える	全く見えない
試験液中濃度 (ppm)	5	10	50	100	500
mg/100g, 乾土	2.5	5.0	25	50	250
診 断	正常	多い	異常	生育不良	障害

	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>				
比濁度	+1	+2	+3	+4	+5
新聞の字	よく読める	少し読みにくい	見えるが読めない	模様のように見える	全く見えない
試験液中濃度 (ppm)	50	100	200	500	1000
mg/100g, 乾土	25	50	100	250	500
診 断	正常	異常			

\*迅速養分テスト法の詳細および呈色度・比濁度のカラーチャートは、「原色 野菜の要素欠乏・過剰症」, 渡辺和彦著, 農文協2002を参照。  
呈色度・比濁度は、各元素・各イオンの標準液を用いて実際に操作すると分かりやすい。

---

### 【参考】万能指示薬による簡易な土壌 pH の測定について

迅速養分テスト法の流れとは別個のものであるが、土壌 pH の現地測定に便利な指示薬である。試験管に 1 g 程度の土を目測で採取し、蒸留水を目測で 2~3 mL 入れて少し振り混ぜ、万能指示薬を 2 滴添加する。その上澄み液の呈色から土壌 pH を判定する（表）。

\* 圃場内数カ所から採取した土壌をよく混ぜるか、地点を変えて数回確認することが望ましい。

表 4-5 万能指示薬の変色域

	4.2	4.6	5.0	5.4	5.8
呈色	赤(僅橙)	赤(橙)	橙	橙~黄	黄(僅橙)
pH	6.0	6.2	6.6	7.0	7.4
呈色	黄	黄(僅緑)	黄緑	緑	青

### 【万能指示薬の作成方法】

- ①メチルレッド 40 mg + 0.1 M NaOH 1.28mL + H<sub>2</sub>O 98.72 mL = 100 mL
- ②ブロムチモールブルー 80 mg + 0.1 M NaOH 1.28mL + H<sub>2</sub>O 98.72 mL = 100 mL  
\* 両指示薬とも乳鉢で細かく粉碎したのち、0.1 M NaOH によく溶かす。
- ③上記の①液 (MR 液) と②液 (BTB 液) を容積 5 : 6 で混合し、完成。

\* この参考事項は、「わかりやすい園芸作物の栄養診断の手引き」, 渡辺和彦著, 誠文堂新光社 2010, p. 83-85 に基づき作成。

---

# 水田土壌の可給態ケイ酸の測定法

現在、可給態ケイ酸の測定法には様々な方式が提案されており、目的に応じて使い分ける必要がある。測定法の一覧と、主要なものの特徴を以下に示す。方式により値が大きく異なる場合もあるので、測定値には必ず測定法を併記する。

\* 今後、さらに新手法が開発される可能性もある。

表4-6 土壌の可給態ケイ酸の測定法

測定法	提案者・発表年	抽出液、土液比等	抽出温度	抽出時間	備考	
pH4 酢酸緩衝液法	今泉・吉田 1958	1M酢酸緩衝液、1:10	40℃	5時間	現場で広く長く使用、資材の不可給態ケイ酸も溶出	
湛水保温静置法	高橋(農水省土壌診断) 1981	水、1:6	40℃	1週間	資材施用時にも適用可	
土壌溶液法	岡山 1989	圃場土壌、6月中旬	—	—	土壌溶液の採取、現場対応	
逐次上澄液法	北田 1992	水、1:4.5 (上澄液交換)	30℃	12週間	容量因子も評価	
溶出吸着特性値法	住田 1992	Si溶液、1:10	30℃	5日間	容量因子も評価	
pH6. 2 リン酸緩衝液法	加藤(農水省土壌診断) 2000	0.04Mリン酸緩衝液、1:10	40℃	24時間	資材施用時にも適用可、測定値は中性PB法の約2倍	
pH6. 9 リン酸緩衝液法 (中性PB法)	精密法	JA全農 2002	0.02Mリン酸緩衝液、1:10	40℃	5時間	資材施用時にも適用可、目標値(SiO <sub>2</sub> として)は非黒ボク土
	迅速法	JA全農 —	0.02Mリン酸緩衝液、1:10	80℃	30分	15mg/100g程度、黒ボク土 25mg/100g 程度

ケイカルのQ&A (2014年改訂版)、珪酸石灰肥料協会より一部改変。

## 〔pH4 酢酸緩衝液抽出法〕

現場で広く長く使用され、過去のデータの蓄積も多い。国の目標値 15 mg/100g、兵庫県目標値 25 mg/100g。しかしケイ酸資材中の不可給態ケイ酸も溶出するため、資材施用後しばらくの間は可給態ケイ酸が過大評価されやすく注意を要する。

## 〔湛水保温静置法〕

試験機関などでは一般的な測定法で、抽出に1週間を要するが実際の溶出条件に近いとみられ、資材施用によるケイ酸の過大評価の危険性も低い。兵庫県における目標値(目安)16 mg/100g 以上。

## 〔pH6. 2 リン酸緩衝液抽出法〕

酢酸緩衝液法よりも抽出液のpHが高く、資材施用による過大評価の危険性が低いほか、抽出時間も24時間に短縮されている。測定値は通常、下記の中性PB法の約2倍となる。

## 〔pH6. 9 リン酸緩衝液抽出法(中性PB法)〕

抽出液のpHはほぼ中性で、資材施用による過大評価の危険性が特に低いほか、抽出時間も0.5~5時間と短い。したがって土壌診断や資材施用後の評価に適している。兵庫県における目標値(目安)12 mg/100g 以上。

\* pH6. 2 リン酸緩衝液法と紛らわしいので、分析委託の時などに注意すること。

## ケイ酸に関する備考

水稻のケイ酸( $\text{SiO}_2$ )吸収量は玄米収量 100 kg あたり約 20 kg とされ、玄米目標収量が 600 kg/10a の場合、その吸収量は約 120 kg/10a となる。

稲わらやモミガラは結晶化したもの（プラントオパール）が多い。稲わら等を還元してもその全量がすぐに可給化することはない、過去の還元分から少しずつ放出される。したがって適切な測定法による可給態ケイ酸の値を参考に、不足分を適時、ケイ酸質資材で補うことが望ましい。

## 第2 用語の説明

用語	説明
ア アンモニア態窒素 (NH <sub>4</sub> -N)	アンモニア基 (NH <sub>4</sub> ) の形態で存在する窒素のことで、アンモニア性窒素ともいう。アンモニア基はプラスの電荷を帯びており、マイナス電荷の土壌粒子に吸着保持されるので、雨水などにも流れ去りにくく、肥効が持続する。
カ 可給態ケイ酸 (SiO <sub>2</sub> )	土壌中に含まれるケイ酸のうち、作物が吸収利用可能なものをいう。兵庫県の土壌診断の基準値は、pH4.0 酢酸緩衝液抽出法で示されている。
可給態窒素	土壌中に含まれる窒素のうち、作物が吸収利用可能なものをいい、通常、土壌を 30℃、4 週間培養して無機化される窒素量 (mg/100g) をいう。
可給態リン酸 (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	土壌中に含まれるリン酸のうち、作物が吸収利用可能なものをいう。兵庫県の土壌診断の基準値は、トルオーグ法で示されている。
交換性陽イオン (置換性塩基)	腐植や粘土などの土壌膠質 (コロイド) は電氣的にマイナスの性質を持っているので、プラスの電気を持つ塩基や水素イオンを吸着している。これらの陽イオンは、他の陽イオンによって、容易に交換 (置換) されて土壌溶液中に出てくるので、交換性陽イオンと呼ばれる。
サ 作土	土層の最上部に位置し、耕耘、施肥、灌水など、作物を栽培するために、人間が土壌に強く影響を与えている土層のことをいう。通常の営農管理が行われている土壌では、下層土に比べて膨軟で、有機物含量が多く養分に富んでいる。作物の根は大部分の養水分を根から吸収するため、作物の生育にとって作土層の理化学性は重要である。
硝酸態窒素 (NO <sub>3</sub> -N)	硝酸根 (NO <sub>3</sub> ) の形態で存在する窒素のことで、硝酸性窒素ともいう。硝酸根はマイナスの電荷を帯びており、土壌粒子には吸着保持されにくく、施設やマルチ栽培では流亡しにくいですが、露地では雨水により下方へ流れ去るので、水田の基肥には適さない。
タ 地下水位	地下水には、土の孔隙を通して大気と連絡し、水面が自由に上下できる自由地下水と、不透水層があって自由な運動を妨げられている被圧地下水 (宙水) とがある。ふつう、地下水位という場合は地表から自由地下水面までの深さをさす。
電気伝導度 (EC)	EC は電気の通りやすさの指標で、土壌の水溶性塩類の総量を反映する。純粋な水はほとんど電気を通さず、主に溶け込んだイオン類を介して電気が通じることから、肥料成分等が多いと土

	壤の EC も高くなる。
当量比	当量比とは、各成分の絶対量（グラム当量）による比率。原子量（分子量）/原子価（イオン原子価）を1グラム当量、その1,000分の1を1ミリグラム当量（me）という。CaOの分子量は56、原子価は2なので、 $56/2=28$ mgが1meになる。CaO 200 mgは $200/28=7.1$ me、同様にMgO 30 mgは1.5meとなり、当量比は $7.1/1.5=4.7$ となる。
ハ pH	pHは土壤等の化学的性質を表す最も基本的な指標で、水溶液中の水素イオン濃度に基づき、以下のように定義される。 $\text{pH} = -\log_{10} [\text{H}^+] = \log_{10} (1/[\text{H}^+])$ [H <sup>+</sup> ]：溶液中の水素イオン濃度（mol/L = M） pHは0～14の数字で表され、pH値が低いほど水素イオン濃度が高い。
腐植（土壤有機物）	有機物の分解過程で、一部の低分子化合物が縮重合により、暗色無定形の分解しにくい高分子化合物が生成される。これを腐植といい、ヒューミン、腐植酸、フルボ酸などで構成される。腐植は比重が軽いので、腐植を多く含む土壤は軽くさばきやすく、水はけがよいので降雨後の作業性もよい。また、黒っぽい色をしており、土色である程度腐植の多少を判断できる。腐植は弱い電気を帯びていて、土壤粒子を結合し団粒を形成するほか、養分（塩基類）を吸着保持する機能がある。また、腐植自身も微生物によって緩やかに分解され、種々の無機栄養源となる。
ヤ 有効土層	作物根がかなり自由に貫入しうると認められる土層を有効土層という。基岩、盤層、地下水面、極端な礫層、硬度計によるち密度測定値が29mm以上を示す層が厚さ10cm以上ある層までを有効土層と考える。
遊離酸化鉄（Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ）	土壤中の鉄は極めて多くの形態をしており、土壤から比較的独立し緩く結合した状態の鉄を遊離鉄といい、その中で酸化物となっているものを遊離酸化鉄という。遊離酸化鉄が少ない水田では、硫化水素による硫化水素による根腐れが起こりやすい。
陽イオン交換容量（CEC） （塩基置換容量）	土壤が陽イオンを吸着できる最大量（土壤の陰荷電の総量）を示す数値。土壤中の粘土や腐植は電氣的にマイナスの性質を持ち、陽イオンであるカルシウム、マグネシウム、カリウム、ナトリウム、アンモニウムイオン等を吸着する。
陽イオン（塩基）飽和度	土壤の陽イオン交換容量（CEC）の何%が、交換性陽イオン（カルシウム、マグネシウム、カリウムイオン等）で満たされているかを示したもの。 陽イオン（塩基）飽和度（%） = （交換性陽イオン総量（me）/CEC（me）） × 100（%）

ラ リン酸吸収係数

土壌 100g が吸収固定するリン酸の量をmgで表したもの。リン酸吸収係数は、リン酸肥料の施用量た肥効を評価するために、また、火山性でリン酸の吸収固定力が強い黒ボク土を他の土壌と区別するための指標となる。

## 執筆者一覧

### 第1章

#### 第1 はじめに

農政環境部 農業改良課  
環境創造型農業推進班 班長 磯崎博隆

#### 第2 兵庫県の耕地土壌の特徴 . . . . .

県立農林水産技術総合センター農業技術センター  
農産園芸部 研究員 青山喜典

### 第2章

#### 第1 土づくりの必要性 . . . . .

県立農林水産技術総合センター農業技術センター  
農産園芸部 主席研究員 松山 稔

#### 第2 作物・土壌ごとの土づくり

##### (1) 土地利用型作物 . . . . .

県立農林水産技術総合センター農業技術センター  
農産園芸部 主席研究員 松山 稔

##### (2) 野菜 . . . . .

県立農林水産技術総合センター農業技術センター  
農産園芸部 研究員 本田 理

##### (3) 果樹 . . . . .

県立農林水産技術総合センター農業技術センター  
農産園芸部 主席研究員 水田泰徳  
農産園芸部 主席研究員 真野隆司

#### 第3 土づくり資材の特徴

##### (1) 有機質資材(堆肥等)・肥料 . . . . .

県立農林水産技術総合センター農業技術センター  
農産園芸部 主任研究員 桑名健夫

##### (2) 緑肥作物 . . . . .

県立農林水産技術総合センター農業技術センター  
農産園芸部 主席研究員 松山 稔

##### (3) 土壌改良資材(土づくり資材) . . . . .

県立農林水産技術総合センター農業技術センター  
農産園芸部 主任研究員 桑名健夫

### 第3章 土壌の診断方法と対応

#### 第1 土壌の性質

##### (1) 土壌の物理性 . . . . .

県立農林水産技術総合センター農業技術センター  
農産園芸部 研究員 青山喜典

##### (2) 土壌の化学性 . . . . .

県立農林水産技術総合センター農業技術センター  
農産園芸部 主任研究員 大塩哲視



(3) 土壌の生物性 . . . . . 県立農林水産技術総合センター農業技術センター  
農産園芸部 研究員 本田 理

(4) 作物の必須元素 . . . . . 県立農林水産技術総合センター農業技術センター  
農産園芸部 研究員 本田 理

#### 第4章 参考資料

第1 現場で活用できる分析法 . . . . . 県立農林水産技術総合センター農業技術センター  
農産園芸部

第2 用語の説明 . . . . . 県立農林水産技術総合センター農業技術センター  
農産園芸部

第3 その他 (別冊) . . . . . 県立農林水産技術総合センター農業技術センター  
農産園芸部  
農業改良課 環境創造型農業推進班

編集担当者 . . . . . 県立農林水産技術総合センター  
企画調整・経営支援部 専門技術員 高澤 充洋  
専門技術員 福井謙一郎  
専門技術員 福本宣弘  
専門技術員 桂 裕之  
農産園芸部 研究主幹 池上 勝  
研究主幹 松浦克彦  
研究主幹 山中正仁  
主任研究員 大塩哲視  
農政環境部 農業改良課  
環境創造型農業推進班 主査 下野真喜