

# I 土壤診断と対策



# I 土壌診断と対策

## [1] 土づくり

### 1 土づくりとは

土壌は、土壌の材料（母材）である岩石がただ単に細くなり堆積したものではなく、母材の成分、地形、気象、植生、動物、微生物などの影響を受けながら長い年月を経て生成されたものである。このように生成された土壌を自然土壌という。

この自然土壌が人間に利用され、人間の影響を受けた土壌、特に農地は、ただ単に土壌本来の性質のみならず、各時代の様々な技術や農業的、工業的技術の進歩や社会・経済的な諸条件の影響を受けて、現在の土壌の形を示している。

実際の農業生産においては、このような色々な種類の土壌に多種類の作物を栽培し、目的とする作物生産ができるよう土壌を改善し、良い状態に保ちながら利用している。

このように、土壌の環境を改善し、作物が必要とする養分や水分をバランス良く十分に供給できるような能力すなわち地力を高め、土壌の作物生産能力を維持していくことが「土づくり」である。

「土づくり」に関連した土壌の性質を簡単に、物理性、化学性、生物性の三側面から見るができる。これらは、お互いに関連性を持っているので、それぞれが作物生産において調和がとれるようにすることが大切である。また、土壌診断によって養分の過不足を把握し、適正施肥による施肥コスト削減や環境負荷の低減に繋げていくことが望ましい。

### 2 物理性の改善

土壌の物理性は、透水性、通気性、保水性、易耕性などに関連し、土壌の三相つまり、固相、液相、気相の分布状態で示される。

固相には、砂、シルト、粘土などの土壌粒子、動植物の遺体、腐植、微生物、ダニやミミズなどの土壌動物が含まれる。液相は固相間の孔隙内にある土壌水のことで、気相は固相間の孔隙内で土壌水で満たされない部分のことである。

土壌の物理性（三相）は、作物の根の伸長の難易や根への水分、養分、酸素の供給の可否に深く関係しており、作物の生育にとって重要な性質である。

普通の土壌では、固相率が40%ぐらい、液相率と気相率は各30%ぐらいであるが、作物が正常に生育するには、降雨直後を除き、気相率は少なくとも20%ぐらいは必要とされている。

作土層の物理性を改善するためには、堆肥などの有機質資材及びバーミキュライトやパーライトなどの鉱物質系の物理性改良資材を施用する必要がある。

### 3 化学性の改善

土壌は粘土と腐植からなる土壌コロイドや腐植等を含み、これらは電気を帯びイオン

交換を行うため、土壌の化学性が生じる主要因となっている。

土壌の化学性は、土壌 pH、塩基交換容量（CEC）、りん酸吸収性、酸化還元性、生育阻害物質等の状態など、作物の生育に直接的に関係する各種性質が含まれている。

作物が正常に生育する土壌の pH は、作物の種類により異なるが、微酸性から中性である。

CEC は、土壌中の陽イオンを土壌粒子表面に吸着できる能力を示すもので、これが小さいと施肥した肥料成分や土壌養分が降雨などで流亡しやすい。

また、酸化還元は、土壌中の物質の形態変化に関連し、作物に対する酸素や養分の供給と関係がある。

これら化学的な性質については、作物別に改良目標値が細かく決められており、作付けする前に、土壌分析を行い、その結果に基づき改良する必要がある。

## 4 生物性の改善

土壌中には種々の生物（動植物、原生動物、微生物、ウイルスなど）が生息しており、土壌の生物性を担っている。

土壌に施用されたり、土壌中に残った動植物遺体などの有機物は、生息している種々の生物による食物連鎖で次々と利用分解される。これらの過程で作物の生育に有効な物質（アミノ酸、植物ホルモンなど）が生産される。

また、有機物の分解から生成される腐植物質やミミズなどの土壌動物から排出される物質などの働きにより土壌の CEC や緩衝能が大きくなる。

土壌に施用された有機物は、最終的には無機イオンまで分解され、土壌の化学性に応じた安定した形態になり、一部は作物に吸収され、一部は土壌中に蓄積される。

このように土壌の生物性は、多種多様な生物の働きにより担われており、土壌の生物性を望ましい状態にするためには、土壌生物のエサとなる粗大有機物や良質な堆肥を施用することにより、微生物の種類と数を多くし、お互いに一定の均衡状態を保ち、その相互作用により、ある種の病害性微生物などの異常発生を防ぐようにすることが大切である。

土壌の生物性を良好な状態に保つことは、土壌の作物生産能力である地力の維持向上のためには極めて重要であり、環境への負荷軽減と持続的な農業を推進する上での要となるものである。

## 5 県内の耕地土壌について

農業面においては、その生産基盤となる土壌を活用する場合、対象とする土壌の分布状況や土壌の特徴をあらかじめ知って、その能力を維持・向上させていくことが必要である。

青森県が国の地力保全事業（のちに土壌保全調査事業と改称）により調査した結果では、本県の耕地土壌は、12土壌群、27土壌統群に分類されている（旧農耕地土壌図）。

土壌統とは、「土壌断面の主要な特徴、母材、分布などについて、共通点を持っている一群の土壌」をいうもので、土壌統では、数が多いので、断面形態など主要な共通点

をもっている土壤統をまとめて土壤統群、さらにまとめて土壤群としている。

県内の耕地土壤の土壤群、土壤統群の主な性質と分布状況を表1に示した。なお、土壤図は、農研機構 農業環境変動研究センター 日本土壤インベントリーのホームページ上で閲覧できる (<http://soil-inventory.dc.affrc.go.jp/figure.php>)。また、iOS又はAndroid搭載のモバイル端末では、専用アプリ「e-土壤図Ⅱ」でも土壤図の閲覧が可能である (App Store/Google Playから無料でアプリをダウンロードできる)。

表1 県内耕地の土壤群及び土壤統群 (旧農耕地土壤図)

土壤群名	土壤統群名	主な性質と分布状況
岩屑土 (01)	岩屑土 (01A)	下北地域の古成層地帯で、石灰岩を採掘している地域の台地上の平坦部 (東通村尻屋、母衣部、尻労) 及び下北半島の津軽海峡に面した洪積台地上の平坦部及び緩傾斜地に分布し、畑地利用である。表層腐植層はなく、表土・有効土層とも一般に深い。また、表層、次層とも礫に頗る富む土壤で土性は強粘～粘質である。一般に保肥力は大きい但固定力は小さい。また、土層の塩基状態は、小～中であるが、有効態の養分は少なく、傾斜地に分布する割合が大きいので水蝕を受けやすい。
砂丘未熟土 (02)	砂丘未熟土 (02A)	屏風山砂丘地帯の一部と陸奥湾に面した田名部低地帯の平坦部に分布し、畑地利用である。表土は浅いが、有効土層は深く腐植含量は極めて少ない。表土、次層とも粗粒質で透水性が大きく、かつ保水力が小さいので干ばつの害を受けやすい。固定力、土層の塩基状態は中庸であるが、保肥力が小さいので養分の流亡を受けやすく、交換性の石灰、苦土、有効態りん酸含量は少なく酸性である。
黒ボク土 (03)	厚層多腐植質黒ボク土 (03A)	県南地方 (主として三戸町、八戸市に存在するが、新郷村、田子町、五戸町：旧倉石村にも分布する) の台地、山間地及び緩傾斜地に分布し、畑地利用である。全層多腐植質の火山灰土壤で表土、有効土層とも一般に深い、透水性が大きく、また、表土が軽しうなため過乾燥及び風蝕のおそれがある。保肥力、固定力は中庸であるが、土層の塩基状態はやや劣り、交換性の石灰、苦土及び有効態りん酸は少ない。
	厚層腐植質黒ボク土 (03B)	県南地方の洪積世段丘上の平坦地及びそれに連なる緩傾斜地に主に分布するが、一部岩木山麓裾野の小河川によって開析された傾斜地にも分布し、畑地利用である。表土及び有効土層は深い。一般に透水性は大きく、表土が軽しうなため一時的に過干になりやすく、風水蝕のおそれがあるが、土壤統によっては、強粘質のものもあり保水性が大きく、地形によっては過湿のおそれのある土壤も一部見られる。全般に保肥力は大きい、固定力、土層の塩基状態は低位にあり、交換性塩基及び有効態りん酸は少ない。
	表層多腐植質黒ボク土 (03C)	主として、山麓台地や、洪積世段丘上の平坦部及び緩傾斜地に分布する火山灰土壤で全県的に見られるが、主に上北地域に分布する割合が多い。土地利用形態は、水田・畑地である。土性は、粗粒質のものから強粘質まで多岐にわたるが、一般的には表層、次層とも粗粒で有効土層がやや浅く、下層に火山浮石砂土 (粟砂) が介在する。畑地では表土が極めて軽しうで、透水性が大きいため耐風水蝕性は小さい。水田では透水性が大きいため冷水かんがいとなりやすい。土壤は腐植含量が高く、保肥力は中庸であるが、りん酸固定力は大きく、土層の塩基状

		態及び、有効態養分に欠ける土壤が多い。
	表層腐植質 黒ボク土 (03D)	主に山麓台地の波状地形及び、洪積世台地の平坦部、並びにこれに連なる緩傾斜地、あるいは海岸段丘上の平坦部に分布する火山灰土壤で全県的に分布し、ほとんどが畑地利用であるが、一部水田に利用されている。畑地利用のうち山麓台地（波状地形）では果樹（りんご）が栽培されている。土性は強粘質から砂質で土壤統によって異なるが、一般に表土の腐植含量は高い。自然肥沃度は劣る～中程度で、土壤の養分状態も悪く、一般にやせた土壤が多い。また、土壤統によっては、表土、有効土層とも一般に浅く、下層に栗砂（火山浮石粒）の混在するもの（桜統）、あるいは火山性風化小円礫（通称ゴロタ）層が介在し、透水性が大きく、過干になりやすいものや、粘質のため一時過湿のおそれのある土壤（大川口統）も見られる。
	淡色 黒ボク土 (03E)	洪積台地の波状丘陵地形の平坦部及び緩傾斜地、海岸段丘の緩傾斜地、山麓裾野の波状大地に分布し、下北半島の基部（横浜町、野辺地町）、津軽半島の中山山脈の西麓、岩木山北麓に主に見られる。土性は強粘質から壤質で表層腐植をもたない火山灰土が主体である。土地利用は畑地利用で、津軽地域では主に果樹（りんご）を栽培している。有効土層は一般に深い表土はやや浅い。保肥力は中庸であるが、固定力は大きく、土層の塩基状態及び反応はやや劣る。また、土性が粗粒で透水性の大きい土壤（清水沢統、峰の宿統、上来島統）では、過干のおそれがあり、土性が強粘質な土壤（丸山統）では一時的に過湿害の生ずるおそれのある土壤、あるいは傾斜度が大きく、水蝕のおそれのある土壤（大河内統）等もみられる。
多湿 黒ボク土 (04)	厚層腐植質 多湿 黒ボク土 (04B)	主に県南地域の山間部に分布し、地形的には中小河川によって解析された河岸段丘の平坦部に存在するが、一部谷床地形及び山裾の凹地にも見られる。主として水田利用であるが、畑地（樹園地：りんご）に利用されているものもある。表土、有効土層とも一般に深く、水田に利用されている所は自然肥沃度及び、養分の豊否等は中庸であるが、有効態窒素に乏しい。畑地に利用されているもの（深井統）は、山裾の凹地にあり、長雨時等には一時的に過湿となるおそれがあるばかりでなく、土壤の塩基状態及び交換性の石灰、苦土並びに有効態りん酸に乏しい。
	表層腐植質 多湿 黒ボク土 (04D)	全県的に分布するが、主に中南地域に多く、地形的には山裾及び、これに連なる台地で、小河川の河岸段丘、低位段丘上に主として分布し、土地の利用形態は水田がほとんどであるが、畑地利用も1割程度見られる。水田の場合表土の土性は壤質から強粘質で一般には湛水透水性の大きい土壤が多いが、台地上の窪地に存在するため、湛水透水性の劣る水田も見られる（吉岡統）。また、自然肥沃度はやや劣り、有効成分に乏しい土壤も存在するが、概して養分の豊否については問題が少ない。 畑地に利用されているものには、堆積様式が風積の場合と水積によるものがあるが、概して窪地に分布するため過湿になりやすく、土壤の塩基状態も不良である。
黒ボク グライ土 (05)	腐植質黒ボク グライ土 (05B)	上十三、東青地域に分布し、地形的には河岸段丘及び谷床地形あるいは山間地、扇状地の開始地点、海岸沼周辺に主に分布し、水田利用である。主として表層腐植層で、土性は砂質から強粘質の多岐にわたる。土壤等によっては下部に砂礫層の存在するものも見られるが（一の渡統）、一般に表層、有効土層とも深い。概して保肥力は中で、固定力が大きく、土層の塩基状態が悪いなど自然日肥沃度が劣るほか、有効態りん酸、ケイ酸、交換性の塩基等養分的にも劣る。また、排水が不良なため、強還元になりやすく、水稻の根系障害をおこすおそれがある。

褐色森林土 (06)	細粒褐色 森林土 (06A)	中南地域の東部丘陵地帯の傾斜地に分布し、畑地（樹園地：りんご）利用である。表土、有効土層ともやや深く、礫を含み、土性は強粘質である。保肥力、固定力は中庸であるが、土層の塩基状態はやや劣り、交換性塩基、有効態りん酸は少ない。また、土壌の有機物含量が少なく15～20度と傾斜が大きいいため水蝕を受けやすく、過干のおそれが多い。
	礫層褐色 森林土 (06C)	中南地域の東部丘陵地帯及び青森平野南部周辺の丘陵地帯の傾斜地に分布し、畑地（樹園地：りんご）利用である。表層腐植層はなく、土性は壤質から強粘質で30～60cmより下部に礫層があり、表土、有効土層もやや浅い。保肥力、固定力は中庸であるが、土層の塩基状態は劣り、反応も弱酸性から強酸性で養分状態も一般に悪い。また、土壌有機物含量も少なく、3～15度とやや傾斜が大きいいため、過干あるいは水蝕のおそれがある。
黄色土 (10)	細粒黄色土 斑紋あり (10D)	本土壌は上北地域（横浜町）に一部見られるが、主として、下北地域の第三紀層の丘陵地及び、河岸段丘上に分布し、水田に利用されている。表層に腐植層を欠き、表土は20cm内外でやや浅いが、有効土層は深く、強粘質であるため耕うん碎土はやや困難で透水性が悪い。一般に保肥力及び土層の塩基状態が劣り、かつ交換性の塩基、有効態りん酸、有効態ケイ酸の少ない土壌である。また、下層にち密層があり、水稻根の伸長を阻害している場合も見られる。
褐色低地土 (12)	礫質灰色 低地土・斑紋 あり (12F)	県南地方の三戸郡にほとんど分布し、主に中河川流域の平坦地に見られるが、一部谷床台地にも分布しており、水田利用である。表層腐植層を欠き、表土の有機物含量は少なく小円礫を含む。下層に砂礫層を有し、有効土層は浅い。一般に透水性が大きく、また、保肥力が弱いいため、有効態養分（窒素、りん酸、ケイ酸等）に乏しい土壌が多い。
灰色低地土 (13)	礫層灰色低 地土・灰色系 (13C)	県内一円の河川流域に分布し、水田利用である。下層に礫層あるいは砂礫層を有し、透水性がやや大きく、有効土層は浅い。土性は壤質から強粘質で、一般に固定力及び土層の塩基状態が劣り、また、窒素、りん酸、ケイ酸等の有効成分が劣る。
	細粒灰色低 地土・灰褐色 系 (13D)	河成沖積地の平坦地及び段丘上に分布するが、河川の下流域に行くに従って分布は少なくなる。土地利用は主に水田利用であるが、畑地にも利用されている。土質は強粘～粘質で耕うん碎土にやや難がある。固定力、土層の塩基状態はやや悪いので自然肥沃度がやや劣る。養分の豊否については特に問題はないが、有機物含量が少なく、有効態窒素、りん酸、ケイ酸等が不足する場合も見られる。
	中粗粒灰色 低地土・灰 褐色系 (13E)	県内一円の河川流域に広がる河岸段丘及び低位段丘上に分布し、大部分水田利用である土性は壤質から砂質で一般に透水性が大きく、有効土層は深い。保肥力は中庸で、固定力は小さく、土層の塩基状態は中である。養分的にも問題は少ないが、鉄などの溶脱が見られる場合もある。 畑地の場合は立地的な関係で地下水位の高い所が見られ、一時過湿になるおそれがあるほか、土層の塩基状態がやや劣り、反応も強酸性で交換性の石灰、苦土、有効態のりん酸に乏しいものが多い。
	灰色低地土 ・下層有機質 (13H)	主に奥入瀬川、五戸川河口付近、あるいは馬淵川流域に分布するがその面積は少なく、土地利用は水田、畑地である。一般に有効土層はやや深く、土色は灰～灰褐色で下層（50cm以下）に黒泥層を有する。水田の場合、透水性は大きい地下水位が高く、弱いグライ斑を示す。保肥力、土層の塩基状態は中庸で

		あるが、固定力は大きく、交換性の加里及び有効態のりん酸含量がやや劣る。畑地では土性が粘～強粘質で反応が強酸性のものが多く、また、過干のおそれのある土壌が多いが、反面強粘質のところでは過湿害を生ずるおそれのある所も一部見られる。
	灰色低地土 ・斑紋なし (13 I)	主として新井田川、馬淵川流域、岩木川及び岩木川支川流域の川原地帯に分布し、河川の堆積作用を強く受けている土壌で、土地利用は畑地（ほとんど樹園地であるが、普通畑も若干見られる）である。土性は壤質～砂質で、土壌統によっては下層（50cm前後）に砂礫層を有し、表土及び有効土層の浅いものもある（真宮統）。土壌の反応は一般に酸性から強酸性で、保肥力及び土層の塩基状態がやや劣る場合が多い。また、交換性の石灰、苦土、有効態りん酸も一般に少ない。
グライ土 (14)	細粒強 グライ土 (14A)	津軽、下北地域の沖積平坦部の低地に主として分布するが、一部谷床地形及び低位段丘、海岸段丘にも分布し、水田利用であるが地下水位が高く、作土直下よりグライ層となっている。表土及び有効土層は一般に深い。土性は強粘質で透水性が小さく、土壌の易分解性有機物が多い反面遊離酸化鉄が少ないので強還元になりやすく、水稻の根系障害を起こすおそれが大きい。また、保肥力は大～中、固定力の中～小で自然肥沃度は比較的良好であり、養分の豊否についても特に問題はない。
	中粗粒強 グライ土 (14B)	主に河川流路の変遷跡や河口周辺、自然堤防の後背湿地及び海岸低湿地などに存在し、下北地位に一部見られるが、大部分、津軽地域に分布し水田利用である。土性は壤質から砂質であるが、湧水面が高く湛水透水性の劣る土壌である。さらに、土壌の易分解性有機物含量が多く、酸化還元性が劣り、水稻の根系障害を起こすおそれが大きい。固定力の中～小、保肥力は大～中で自然肥沃度は中庸であるが、一般に有効態りん酸、ケイ酸及びその他の塩類の含量が少ない。
	礫質 強グライ土 (14C)	岩木川支流の相馬川及び、その支流の藍内川、作沢川の河岸段丘の凹地並びに、五戸川、浅水川及びその支流の小河川流域に主に分布しており、水田利用である。有効土層はやや浅く、下層に砂礫層があるが、地下水位が高くグライ化しており還元が強いので、水稻の根系障害を起こすおそれが大きい。保肥力、固定力の中～小で自然肥沃度はやや劣る。また、一般に交換性の石灰、苦土、加里及び有効態の窒素、りん酸等に乏しい土壌が多い。
	細粒 グライ土 (14D)	津軽平野の東南部から西北部にかけて主に分布しているが、三八地域及び、西海岸地域にも分布している。地形的には河川沖積地の平坦部で標高のやや低いところに見られ、大部分水田利用であるが、畑地（樹園地：りんご）に利用しているところもある。地下水位がやや高く、土性は粘質～強粘質で湛水透水性はやや劣るが、グライ層は50cm内外より下層に存在し、還元も弱いので水稻の根系障害を起こすおそれは少ない。一般に保肥力の中、固定力は小～中で自然肥沃度あるいは養分の豊否等は中庸であるが、交換性の石灰、苦土や有効態の窒素、りん酸及びケイ酸の少ない土壌も見られる。畑地では、周囲が水田のところが多く全体的に排水不良で、一時的に過湿になる場合が多い。
	中粗粒 グライ土 (14E)	本土壌はほとんど津軽地方に分布しており、地形的には河成沖積地の平坦部及び砂丘湿地、山裾並びに山間地に分布し、水田利用である。土性は壤質から砂質で地下水位が比較的高く、50cm前後より下層にグライが存在するが、還元化が弱く水稻根系に障害を及ぼすおそれは少ない。一般に保肥力・固定力にやや劣るが養分的には問題の少ない土壌である。しかし、土壌統



		<p>によつては自然肥沃度が劣り、また、有効態養分や塩基に乏しい土壌も存在する。</p>
	<p>グライ土 下層有機質 (14G)</p>	<p>東青、西北、中南地域に見られるが、主に五所川原市を中心とした西北地域に多く、沖積平野の平坦部及び低位段丘、山間地に分布する。本土壌は、泥炭土の周辺部に出現する割合が多く水田利用である。下層に泥炭層あるいは黒泥層を有するが、面積的には泥炭層を有する場合が多い。一般に湧水面が高く作土直下よりグライ層となっている。表土の最微な土性は粘質～強粘質で、湛水透水性が小さく、酸化還元性が劣るため、水稻の根系障害を起こすおそれが大きい。保肥力は大、固定力は小～中で自然肥沃度は比較的良好であり、養分状態も問題は少ないが、有効態窒素の少ない土壌の見られる場合もある。</p>
<p>黒泥土 (15)</p>	<p>黒泥土 (15A)</p>	<p>上北地域、中南地域の小河川流域の沖積平坦地に主として分布するが、三戸郡、下北郡、五所川原市にも一部分布し、水田利用である。作土の土性は粘質～強粘質のものがほとんどで、地下水位が高く、易分解性有機物含量も多く、還元になりやすいので、水稻根系の障害を受けるおそれが大きい土壌である。一般に自然肥沃度は中庸であるが、土壌統によって固定力の大きい土壌も見られる。全般に有効態のりん酸、ケイ酸のやや劣る土壌である。</p>
<p>泥炭土 (16)</p>	<p>泥炭土 (16A)</p>	<p>県内一円の大小河川流域の低湿地帯及び平坦地と山地の接する排水不良地の水田、あるいは谷床地形、海岸低湿地に分布するが面積的には西北地域、上北地域に分布するが割合が大きい。表土の土性は粘～強粘質で、湛水透水性が小さい。地下水位が高く、易分解性有機物含量も多く、酸化還元性が極めて劣る土壌である。保肥力の中、固定力はやや大きく、有効態のりん酸及びケイ酸がやや少ないばかりでなく、その他の塩基に欠乏している土壌が一般に多い。</p>

## [ 2 ] 土壌診断の方法と活用

### 1 土壌診断の進め方

土壌診断には予防診断と対策診断がある。予防診断は、土壌悪化を事前に把握して、土壌の状態を点検しようとするものである。一方、対策診断は、作物の生育が何らかの原因で不良になってから治療を行うものである。この両者を包括して土壌診断の手順を整理すると図1のとおりである。

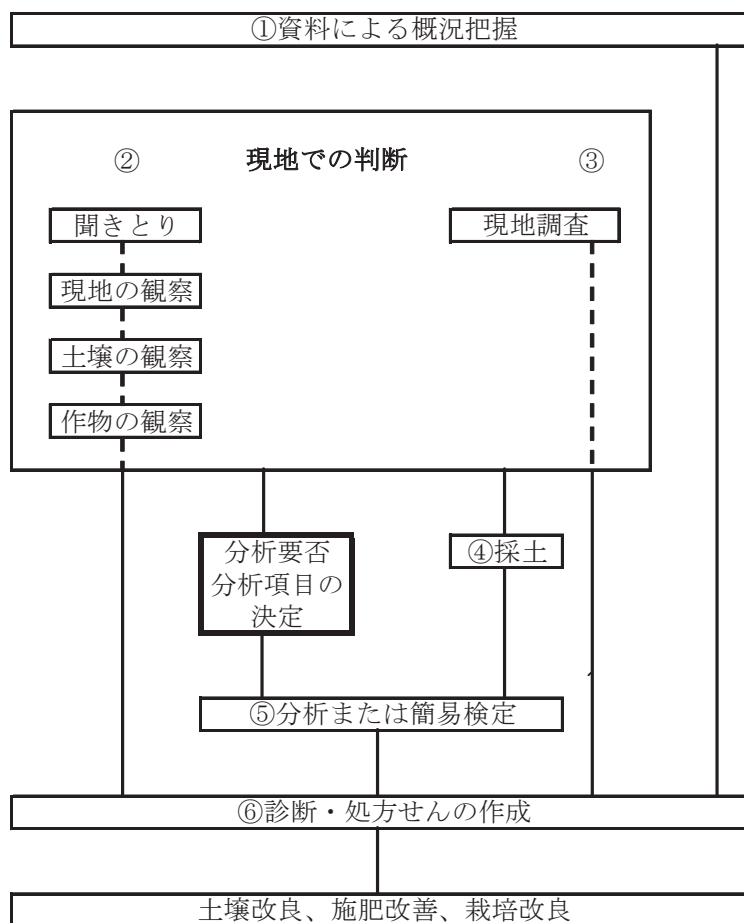


図1 土壌診断の手順

最初は過去の調査結果、資料などを収集、整理して診断地域の概況を把握する（①）。次に診断の対象となる現地での聞きとり、観察、調査により判断をする（②、③）。次に採土（④）した試料を分析（⑤）し、以上の結果を総合的に考察して処方せんを作成（⑥）する。処方せんに従い、土壌改良、施肥改善、栽培改良を行い、その効果を確認する。

この手順は場合によって部分的に省略されることがある。①、②の下調べ、聞きとり、観察の省略ができるのは、前もって概況なり問題点なりの把握がしっかりできている場合である。はじめてのほ場や概況、問題点の把握が十分でない場合は省略するべきでは

ない。③の現地調査が省略できるのは、①、②の下調べ、聞きとり、観察の結果、土壌の分析を行えば十分診断ができると判断した場合である。しかし、現地の土壌や作物を観察しない診断は誤りを犯しやすいので、③は原則として省略すべきではない。④、⑤の採土、分析を省略できるのは、①、②の資料、聞きとり、観察で問題の解決方法が分かった場合と、③の現地調査で解決した場合である。

土壌診断に基づく改良対策が所期の成果を上げたかどうかを確認することが、次の機会により良い土壌改良をするための大切な経験となる。深耕は有効だったか、かん排水対策は充分だったか、土壌の化学性はどこまで改善されたか、作物の生育収量の回復状況などを確認する必要がある。

pH及びECから簡易な分析を行う場合、以下のフロー図に従う（図2）。

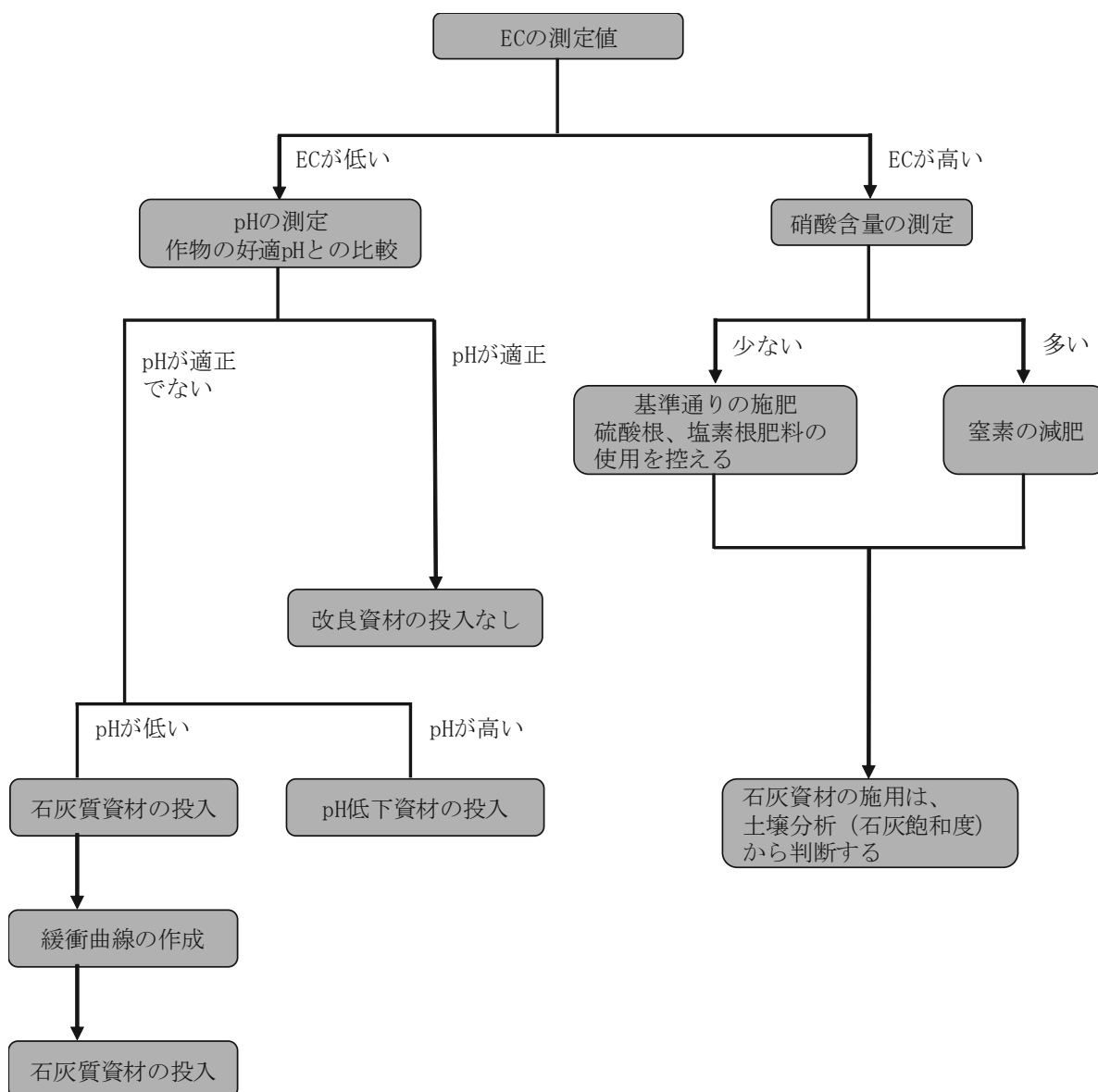


図2 pH及びECによる簡易な分析

## 2 土壤物理性の診断

### (1) 物理性の評価基準

土壤物理性の診断項目は①表土の厚さ、②有効土層の深さ、③表土の礫含量、④耕うんの難易、⑤湛水透水性、⑥酸化還元性、⑦土地の乾湿である。「表土の厚さ」などは15cm以上、25cm以上などの厚さだけで判断できるが、「耕うんの難易」「土地の乾湿」などは、関連するいくつかの要因項目ごとにその強度を決め、それらを総合して判定しなければならない。例えば「耕うんの難易」の場合は、表土の土性、表土の粘着性、表土の風乾土の硬さを要因項目とし、各項目の強度が異なっている場合は、安全性をみて、低い項目に合わせて等級を判定する。

等級と各診断項目の分級基準は、次のとおりである。

#### ア 等級

各診断項目について、制限あるいは阻害因子の強度によってⅠ～Ⅳ等級に分類する。改良対策が著しく困難な場合を除いて、第Ⅰ等級を改良目標とする。

##### 【第Ⅰ等級】

正当な収量をあげ、また正当な土壤管理を行う上で、土壤的に見てほとんど制限因子あるいは阻害因子がなく、土壤悪化の危険性もない良好な耕地とみられる土地

##### 【第Ⅱ等級】

土壤的に見て若干の制限因子あるいは阻害要因があり、また土壤悪化の危険性が多少存在する土地

##### 【第Ⅲ等級】

土壤的に見てかなり大きな制限因子あるいは阻害要因があり、また土壤悪化の危険性が極めて大きく、耕地として利用するのは極めて困難と認められる土地

##### 【第Ⅳ等級】

土壤的に見て極めて大きな制限因子あるいは阻害要因があり、また土壤悪化の危険性が極めて大きく、耕地として利用するのは極めて困難と認められる土地

#### イ 分級基準

水稻、普通作物をはじめ、果樹や牧草など作物別に基準項目及びその内容を考慮して等級値が決められている。

##### (ア) 表土の厚さ

表土は土層の最表層で、作物の根が水分及び養分吸収のため容易に伸長できる土層のことである。

表2 作物別表土の厚さの等級

分級基準	等級			
	水稲	普通作物・野菜	果樹	草地
25cm以上	I	I	I	I
15～25cm	I	II	II	I
15cm以下	II	III～IV <sup>※1</sup>	III～IV <sup>※1</sup>	II <sup>※2</sup>

注) ※1：有効土層の深さがIVの場合にはIVとする。

※2：有効土層の深さがIIIの場合はIIIとする。

(イ) 有効土層の深さ

作物の根がかなり自由に貫入しうると認められる土層のことである。すなわち、基盤、盤層および硬度計で29以上を示し、厚さ10cm以上の土層あるいは極端な礫層までを有効土層としている。

表3 作物別有効土層の深さの等級

分級基準	等級			
	水稲	普通作物・野菜	果樹	草地
100cm以上	I	I	I	I
50～100cm	I	II	II	I
25～50cm	II	III	III	I～II
15～25cm	III	III	IV	II～III
15cm以下	IV	IV	IV	III～IV

(ウ) 表土の礫含量

礫の含量と大きさ、風化の程度を考慮して等級を決める。

表4 作物別表土の礫含量の等級

分級基準	等級			
	水稲	普通作物・野菜	果樹	草地
5%以下	I	I	I	I
5～10%	I	II	I	I
10～20%	I～II	II～III	I～II	II
20～50%	II～III	III～IV	II～III	III～IV
50%以上	IV	IV	III～IV	IV

(エ) 耕うんの難易

表土の土性、粘着性、風乾土の硬さを要因項目とし、これらを総合して判定する。

表5 要因項目別耕うんの難易の等級

要因項目				等級	備考
土性	粘着性	風乾土の硬さ	湿潤度		
1	1	(2)	1	I	} 耕うんし易い～ わずかに困難
2	2	2	1	I	
2	2	3	2	I	
2	2	3	2	II	} 中度に困難
3	3	3	1	II	
2	2	3	3	III	} 非常に困難
3	3	3	2	III	

表6 要因項目別要因強度

要因項目	要因強度			
	(2)	1	2	3
表土の土性		中粗粒	細粒質	微粒質
表土の粘着性		なし～弱	中	強
表土の風乾土の硬さ	軟	やや硬	硬	極硬
表土の湿潤度	乾～半乾	半湿	湿	多湿

注1：要因強度を( )で表したのは、風乾土の硬さが最も耕うんしやすい状態の1に対して軟らかすぎるための耕うんし難さを示す。

2：土性区分

粗粒質：砂土(S)、壤質砂土(LS)

中粒質：砂壤土(SL)、細砂壤土(FSL)、壤土(L)、シルト質壤土(SiL)

細粒質：砂質埴壤土(SCL)、埴壤土(CL)、シルト質埴壤土(SiCL)

微粒質：砂質埴土(SC)、軽埴土(LiC)、シルト質埴土(SiC)、重埴土(HC)

(オ) 湛水透水性

この項目は水田のみについて、作土下50cmの土性及びその最高ち密度によって等級を決定する。

表7 要因項目別湛水透水性の等級

要因項目		等級	備考
作土下50cmの土性	最高ち密度		
1	1	I	} 透水性 弱
1	2	I	
2	2	I～II	} 透水性 中～良好
3	2	II	
3	3	III	透水性 良～過良

注) 土性は微粒質1、細粒質2、中粒質3に区分し、

最高ち密度は硬度計の読みで25以上は1、11～24は2、10以下を3に区分する。

(カ) 酸化還元性

この項目も水田のみについて、作土の易分解性有機物含量、作土の遊離酸化鉄含量及びグライ化度を要因項目として、水田土壌の酸化還元性を判定する。ただし、湛水透水性がⅢ等級で良～過良の場合及び冷水が原因で地温が低いところでは酸化還元性を1等級引き上げて決定する。

表8 要因項目別酸化還元性の等級

要因項目			等級	備考
易分解性有機物含量	遊離酸化鉄含量	グライ化度		
1	1	2	I	} 根の障害 なし～弱
1	3	2	I	
2	1	2	I	
1	1～2	3	II	} 根の障害 中～強
1	3	3	II	
2	1～2	3	II	
3	1	2	II	} 根の障害 極強
2	3	3	III	
3	2	2	III	
3	3	2	III	
3	1	3	III	

表9 要因項目別要因強度

要因項目		要因強度			備考
		1	2	3	
作土の易分解性有機物	風乾生成量	10以下	10～20	20以上	乾土100g当たりのNH <sub>4</sub> -N生成量(mg)
	高温生成量	10以下	10～15	15以上	
作土の遊離酸化鉄含量		1.5%以上	0.8～1.5	0.8%以下	
グライ化度		50cm以内にグライ層のないもの	50cm以内より下部にグライ層のあるもの	全層グライ、作土直下からグライ層のあるもの	

(キ) 土地の乾湿

透水性、保水性、湿潤度を要因項目として総合的に判定する。通常は普通作物、果樹、牧草を対象とする。干ばつのおそれがある場合には要因強度、等級とも( )で表現する。

表10 要因項目別土地の乾湿の等級

要因項目			等級	備考
透水性	保水性	湿潤度		
1	3	(2)	(IV)	干ばつの危険性 大 中 小 なし
1	3	1	(III)	
1	2	1	(II)	
1	1	1	I	
2	2	2	II	過湿の危険性 大 中 小
1～3	1	3	III	
3	2	3	IV	

表11 土地の乾湿の要因項目別要因強度

要因項目	要因強度			
	(2)	1	2	3
透水性		大	中	小
保水性 (ほ場容水量～萎凋係数)		20以上	10～20	10以下
湿潤度	乾～半乾	半湿	湿	多湿

注) 保水性：土壌100g当たりの水分(g)

## (2) 診断項目

### ア 表土の厚さ

表土とは、農耕地では一般に作土あるいは耕起されている土層のことである。黒ボク土の畑土壌では単に作土だけでなく、土壌断面の最上層の腐植層を表土とする場合もある。

作土とは、作物の根が水分及び養分を吸収するために、容易に根が伸長していくことができる土層のこと、人工的に耕起などの影響を直接受けた膨軟な土層の部分である。作土の厚さは、耕起に使う農具あるいは機械によって異なる。くわでは10～12cm、ロータリーでは12～15cm、ディスクプラウでは20～25cm、ボトムプラウでは15～30cm耕起されるので、その深さが作土の厚さになる。

表土の浅い場合には、根域は狭くなり、過湿過乾になりやすく、養分供給力は小さく、作物の生産力は著しく低下することになる。

表土の厚さを規制している要因は、礫、火山砂礫の存在、盤層、ち密層など不良土層の存在などである。礫、火山砂礫が存在する場合は、土性は一般に粗粒質で透水性過良のため、養分の溶脱を招き、水田では用水過多による冷水かんがいとなり、畑、樹園地では水分不足になりやすい。

盤層、ち密層など不良土層の存在する場合には、透水性が不良となり、根の活力低下に基づく養水分の吸収阻害が起こることになる。

改良対策としては、次層が砂礫層の場合は除礫や客土を行う。客土材料の性質によっては、改良資材の施用や有機物の投入も必要である。盤層、ち密層などの不良土層の存在する場合、あるいは次層の母材、堆積様式が著しく異なっている場合は、深耕、混層耕、心土耕、盤層除去などの土層改良を行うが、下層土の性質に応じて、土壌改良資材の施用、有機物の増施に努める必要がある。なお、畑、樹園地、草地では、土壌侵食が表土の厚さを規制している場合も多いので、侵食防止による表土の保全を図ることも重要である。

### イ 有効土層の深さ

有効土層とは、作物の根がかなり自由に貫入しうると認められる物理状態の土層を意味する。その深さは、おおむね基岩、盤層、ち密度29以上のち密層あるいは極端な礫層までと考えればよい。ただし、地表下50cm以内で、有効土層を制限してい



る土層が、機械力により比較的容易に破碎混入または除去しうる場合は、その層または下層までを有効土層に含めることができる。したがって、有効土層は、作物の根が十分に伸長する可能性のある全土層のことであり、作土層とは区別されるものである。

有効土層が浅い場合には、根系の活動範囲が制限され、養水分の吸収に直接的な影響を与え、また、過湿・過乾になりやすい。水稻の場合、土層の状態によって、漏水過多になったりあるいは酸素不足になって還元が進んだりし、間接的に根系の発達、養分の吸収機能の低下をもたらすことになる。

有効土層の改良法はこれを制限している要因によって異なり、礫層が浅く出現する場合には、除礫による有効土層の拡大、耕土量の増大、漏水防止対策の実施が最重要であり、盤層、ち密層が存在する場合には、土層改良による根圏の拡大と透水性を与えることが目的となる。

岩盤、基岩が存在する場合の改良は極めて困難であるが、客土によって可能な限り有効土層の拡大を図る必要がある。

ち密度と根群の分布（図3）との関係を見ると、火山灰土では、ち密度20～23mm、非火山灰土では20～22mmを境にして根群の分布が激減していることから根群はち密度おおむね20mm未満でよく発達するようである。

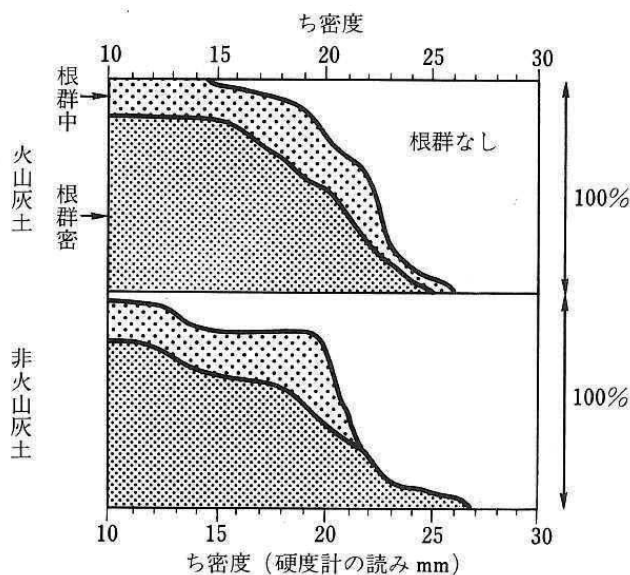


図3 ち密度と根群の分布

### ウ 表土の礫含量

多量の礫が表土中に存在する場合、細土量が少なく養分の供給力が小さく、保肥力も小さいため肥料成分が溶脱しやすい。また、保水力が小さいため過乾になりやすい。しかしながら、畑、樹園地などの土壌では、ある程度の礫の存在は通気性や透水性を良好にし、かえって好適な条件を作り出している場合もある。また、礫の存在は一般には耕起、碎土など農作業面に対して能率を低下させる。

礫含量の高い土壌は除礫あるいは客土などによって、養水分供給の大きい農作業

を行いやすい土壌に改善しなければならない。

具体的には、細、小、中礫含量50%以上又は大巨礫が存在する場合には除礫を、細、小、中礫含量20~30%の場合には、客土、混層耕、ブルドーザによる代かきを行う。客土、混層耕を行うときは改良資材及び有機物の施用が必要である。

## エ 耕うんの難易

耕うんの難易は、耕起、砕土に関する評価であり、土壌のコンシステンシーに関連した諸性質として表土の土性、粘着性、風乾土の硬さなどが関与している。

表土の土性は耕起、砕土時における土塊の大小、粘着性、風乾土の硬さと密接な関係を持っている。一般に粘土含量が高いほど、また、モンモリロナイト系粘土はアロフェン系粘土よりも耕起、砕土時に大きな土塊を作りやすく、発芽、苗立ちに影響を与える。粘着性は湿潤時において、土壌が農機具へ付着する性質を示すもので、腐植含量が少なく、粘土含量が高いほど、また、保水力の大きい性質を持った土壌ほど付着力は強くなる。風乾土の硬さは、乾燥時、土壌の農機具に対する抵抗性の指標になるもので腐植含量が少なく、粘土含量が高いほど、また、モンモリロナイト系の粘土を多く含む場合に、乾燥時に強い団結力を示し、農機具に対する抵抗が大きくなる。

耕うんの難易に対する改善策として、農機具による耕起や砕土などの作業効率を上げるとともに、作業適期を拡大するための土壌条件の改善が必要である。

表土の土性が強粘質の場合には、一般に砂客土を行うが、水田の場合には代かき作業によって砂の部分は作土直下に沈降し、盤層を形成する懸念がある。

有機物の施用によって土壌中の腐植含量を高めると土壌の粘着性や団結力を低下させて易耕性を高める。

下層に盤層やち密層などの不透水層が存在する、あるいは地下水位が高い場合には過湿になりやすく、作業適期が限定され、農機類のスリップや沈下など機械走行に大きな支障を来すので、心土破碎や深耕などによって透水性を付与するとともに暗きよなどによって地下水位を下げるのが重要な改善対策である。

## オ 湛水透水性

透水性の問題には、透水性が良すぎる場合と、悪い場合とがある。転換畑や野菜ではおもに透水不良が問題になり、水田では透水性が良すぎる漏水田が問題とされる。

透水性の表し方は、表12のように透水係数と減水深の二つがあり、これらは互換性がある。

水田の透水性は土性によって異なり、透水係数（cm/秒）で示すと粗粒質（砂質～砂壤土） $10^{-4}$ 、中粒質（壤土） $10^{-5}$ 、細粒質（埴壤土～埴土） $10^{-6}$ 位である。畑地では $10^{-3}$ ~ $10^{-4}$ が適正とされている。一般に畑地では、土性が強粘質の場合や耕盤が形成されている場合以外は、透水性に問題がなく最も問題になるのは転換畑で、排水対策が必要な場合が多い。

透水過多な水田は肥料及び養分の溶脱流亡が激しいために、水稻は養分欠乏を起こしやすく、秋落ち型の生育となって収量の低下、地力の低下などを起こしやすい。さらに、透水性が大きいために過度の用水量を必要とし、田面水温が上昇しにくく、

水稻の活着不良、冷水害、養分の吸収能力低下を生じやすく、水稻の生育、収量に悪影響を与えることになる（図4）。

水田で透水性が良すぎる場合の改善対策は透水を抑制することにあるが、改善目標は日減水深を20～30mmとする。作土下50cmまでの土性が中粗粒質で透水性が極めて大きい場合には、作土に客土、ベントナイトのような優良粘土の客入によって漏水防止を図る。作土50cmまでの最高ち密度が疎の場合には、転圧、破碎転圧によって床締めを行い山中式硬度計で25～28とするか、又は、盤ねり工法（作土を除去し、砂礫層の上に強粘質の湿潤土を、壁に塗ったようにする）によって透水性の小さい床を作る。透水過多な水田は一般に鉄や塩基も欠乏している場合が多いので、含鉄資材や土壌改良資材の施用も必要である。このほか、代かき回数の増加による減水深の抑制、迂回水路を用いてのかんがい水温の上昇、ゼオライトの施用や肥料の分施による施肥効率の向上、有機物施用による地力消耗の防止などの肥培管理が大切である。

転換畑や野菜畑における透水不良の場合は暗きょの効果が大きい。畑では耕盤破碎も必要になる。

表12 透水係数と減水深（三好）

透水係数 (cm/秒)	減水深 (mm/日)
$1 \times 10^{-7}$	0.1
$1 \times 10^{-6}$	0.9
$1 \times 10^{-5}$	8.6
$1 \times 10^{-4}$	86.4
$1 \times 10^{-3}$	86.4

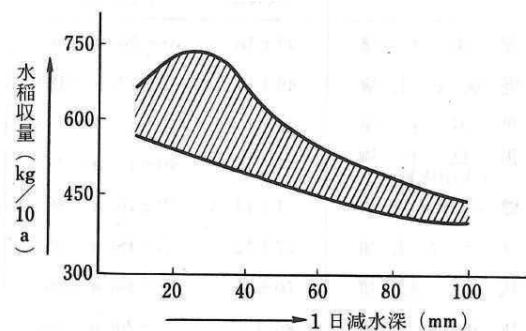


図4 減水深と水稻収量（五十嵐、1956）

## カ 酸化還元性

水田の湛水前の作土は、畑地と同じようにたくさんの空気を含んでいる。しかし、湛水してから代かきをすると空気は追い出され、残り少ない酸素は有機物の分解に消費される。酸素の多い状態を酸化状態といい、酸素が少なくなった状態を還元状態と呼んでいる。その程度を現す単位として酸化還元電位（Eh）が用いられ、ミリボルト（mV）で表現することになっている。

Ehは水田だけで問題になる診断項目で、土壌中における還元の過程は、表13のようになると報告されている。水田の酸化と還元状態の境のEhは300mV付近にあるといわれ、Ehが150mV以下になると、水稻の根の活性が衰えるとされている。

泥炭土や黒泥土などの水田、稲わらなどを多施用した水田、都市の雑排水などが流れ込む水田は、地温が上がると急激に有機物の分解が進み、異常還元になりやすい。

湛水下土壌の還元化は、りん酸の有効化、pHの上昇、窒素利用率の向上など、水稻にとってはプラスの働きをするが、還元が過度に発達すると硫化水素、有機酸

のような有害物質が集積し、水稻根の呼吸や養分、水分などの吸収を阻害することになる。

一般に易分解性有機物の多いほど、また遊離鉄含量の少ないほど、強度に還元化が進み、グライ層、泥炭層、黒泥層の位置が高いほど強度な還元になりやすい。還元性の高い土壌の改善対策としては、暗きょ排水に加えて、弾丸暗きょなどの表層排水も必要である。

作土の遊離鉄含量の少ない土壌に対しては、含鉄資材の施用、鉄含量の高い土壌の客入などを実施し、あわせて間断かんがい、中干し、無硫酸根肥料の施用などに努める。

表13 水田土壌の還元化の過程（渡辺）

湛水後の経過	大きな区分け		土壌中での物質の変化	酸化還元電位 (Eh, mV)	有機物からの アンモニアの発生	発生する問題
前期 ↓ 後期	第一期	（好 段気 ↓半 嫌気）	酸素ガス→消失	600～500	活発に進む	脱窒  水田の老朽化 水田の老朽化
			硝酸→窒素ガス	600～500		
			二酸化マンガン→一酸化マンガン	600～400		
			酸化鉄→亜酸化鉄	500～300		
	第二期	（嫌 気 段 階）	硫酸→硫化水素	0～-190	ゆっくり進む	根腐れ ごま葉枯れ
			有機物→水素ガス	-150～-220		
			炭酸ガス→メタンガス	-150～-190		

表14 土壌の状態による還元化の判定指標

項目	土壌の状態	土壌中での物質の変化
作土の土色	青灰色	二価鉄が生成している
	黒	硫化物ができている
臭い	卵の腐臭がする	硫化水素が発生している
泡	足を入れると出る	ガスが発生している
	ブクブク湧きあがる	ガスが多量に発生している

注) 物質の変化状況から表13によって判定する。

## キ 土地の乾湿

土壌中の水分が不足すると作物は水分吸収、光合成、呼吸作用などの生理作用に異常をきたすことになる。逆に、土壌中の水分は過剰になると土壌中の通気が不良となり酸素が不足することによって、根の呼吸障害、養分吸収が妨げられるほか、地温上昇の抑制、根の伸長、活力低下に伴う根腐れの多発及び微生物活性の低下をもたらす。したがって、作物栽培に対して、土壌水分を最適に保つことは極めて重要である。さらに、過湿地では地耐力が弱いいため、機械作業の能率、精度が悪くなり、機械運行に伴う土地の物理性の悪化を招きやすい。

### (ア) 土壌水分の種類

土壌水分は作物の側から見ると図5のように分類される。

重力水は、雨が降って24時間のうちに流れてしまう水のことで、土の一番大き

な孔隙を通過して流れ落ちてしまうため、作物には直接利用されない水である。作物に利用される水は主として毛管水と呼ばれ、土の中の毛管孔隙中に保持される水である。さらに小さな孔隙に保持される水は吸湿水と呼ばれ、土の粒子と強く結び付いているため、作物には利用できない水である。

雨が降って重力水が流れ落ちた24時間後に残った水分をほ場容水量といい、作物がしおれ始める水分量を初期しおれ点と呼んでいる。この間の水分を有効水と呼んでいるが、作物が普通に生育するために必要な水分は初期しおれ点よりは多く、ほ場容水量と毛管連絡切断点との間の易効水である。毛管連絡切断点とは、水分量が減った場合、毛管現象が断たれ作物に水分供給がスムーズにいかなくなる状態のことである。

水分量を示す指標として一般に p F が使われている。p F とは、水が土壌に引き付けられている強さの程度を示す数値で、ほ場容水量は p F 1.8 に当たり、毛管連絡切断点は p F 2.7 に相当する。

作物にとって重要なのは有効水の量であるが、これは土壌の保水量や機械による圧密などによって変化するものである。表15は、土壌の種類による保水力の違いをみたもので、粘土が多くなると保水力は大きく、砂が多いと保水力は小さくなり、同じ粘土分でも、腐植が多い火山灰土壌などは、ほかの土壌に比べて保水力は大きい傾向がある。

pF	相当する土壌水の 気圧分類		土壌の水分恒数 その他	
0	0	重力水		← 最大容水量
1.8	0.01			← ほ場容水量
2.7	0.1	毛管水	有効水	← 毛管連絡切断点
3.8	1			難効水
4.5	10	水	無効水	← 初期しおれ点
5.5	100			← 永久しおれ点
7.0	1000			← 風乾
				← 105°C 炉乾

図5 土壌水分の種類と p F 及び水分恒数 (三好)

表15 土性と保水性（松尾、1964）

土壌	粒径組成(%)		圃場容 水量(%)	しおれ 点(%)	保水力 <sup>※1</sup>
	シルト	粘土			
洪積層 土壌	16	45	24.4	18.2	6.2
	12	35	16.8	12.8	4.0
	9	25	11.7	9.1	2.6
	7	20	10.0	7.1	2.9
	5	15	7.9	5.8	2.1
	4	10	5.6	3.5	2.1
	2 0 <sup>※2</sup>	5 0 <sup>※2</sup>	3.6 2.1	2.1 1.5	1.5 0.6
洪積層 土壌	25	50	26.3	18.0	8.3
	〃	40	21.3	14.1	7.2
	〃	30	18.5	11.5	7.0
	〃	20	15.4	8.8	6.6
	〃	10	12.5	6.5	6.0
	〃	0	8.6	3.4	5.2
火山 灰土 壌	25	40	34.7	24.3	10.4
	〃	30	28.6	21.0	7.6
	〃	20	23.8	16.2	7.6
	〃	10	19.6	12.4	7.2
	〃	0	16.2	8.4	7.8

注)※1:保水力=圃場容水量-しおれ点

※2:砂100%

#### (イ) 土地の乾燥

干ばつ時に土地が過干になるのは、作土層の透水性が大きく、保水性が小さい場合及び地下水面との間に盤層、ち密層など不透水層があつて下層からの水の供給が妨げられている場合、並びに土壌が重粘で水分の上昇が遅い場合などである。

作物の生育は、土壌の水分状態が p F 3.0 以上に乾燥すると阻害されるといわれている。

過干になりやすい土壌、特に粗粒質の土壌などでは、粘土の客土、盤層、礫層の存在する土壌では、混層耕、心土破碎などによって根群域を拡大して保水性、透水性を改良し、土壌水分の有効利用を図ることも必要である。特に降水量の少ない地域では、畑地かんがいが必要である。このほかに、有機物の増施によって土壌の保水力を増大させることは、砂質あるいは粘質の土壌において効果が大きい。また、ポリエチレンフィルム、わらなどで地表面を覆うマルチは、土壌水分の蒸発を抑制する効果とともに地温を上昇させ、作物の養水分の吸収を促進し、生育が良好となる。

#### (ウ) 土地の湿潤

粘質な土壌あるいは盤層、ち密層の存在は、雨水の浸透を阻害し、地表部に過剰な水分を停滞させることによって過湿にする。さらに、地下水などの影響で年間を通して湿潤な土壌は還元的な性格が強く、根の発達が悪く、湿害を起こしやすい。

過湿地の改善対策は排水促進にあるが、土壌条件から見た改善目標は、飽和透

水係数 $10^{-3} \sim 10^{-4}$ cm/秒とする。

排水の方法には、明きょ排水や暗きょ排水などの恒久的な対策と、心土破碎や弾丸暗きょなどの補助的な対策がある。

補助的な対策はそれ自体でも十分な排水効果を持っているが、暗きょ排水と組み合わせて排水機能の向上を図る必要がある。このほかに、深耕、心土耕、混層耕などは、下層のち密層に対していずれも透水性を付与し、また、砂客土は土性を改善することによって、透水性の改善効果が期待される。

#### (エ) 三相分布

土壌は、固体、液体、気体の三部分によって構成され、それぞれを固相、液相、気相という。これら三相を容積百分率で表示したものを三相分布、あるいは三相組成と呼んでいる。

固相は、砂、シルト、粘土など様々な形態、粒径、化学組成の無機鉱物と有機物から成り立っている。

液相は、孔隙と呼ばれる固相間のすき間の一部を満たす土壌水であり、固相との結び付きの強さによって重力水、毛管水、膨張水、吸湿水の順に区別される。重力水は固相との結び付きが最も弱く、0.1mm以上の大きさを持つ固相間のすき間に存在する液相で、農地の排水性を判断する場合に重要な指標となる。

気相は、孔隙のうち、土壌水で満たされていない空間部分をいう。作物の湿害は気相率不足に原因しており、転換畑では、気相率は少なくとも20%以上は必要とされている。

液相や気相の比率は、土壌の水分状態などで変化するが、固相率は地質や母体でほぼ一定の値となる。火山灰土は16~30%と低く、非火山灰土では40~45%が一般的な値である。

三相分布は、土壌粒子と水の充填状態を総合的に表示している。すなわち、固相率は土壌の硬さと関係し、気相率は通気性や排水性と関係しており、作物生育とくに根の伸長と密接に関連している。根群分布を良好にする土壌条件の限界は、土壌三相適正範囲として表されている。

一般的には三相分布の理想的な比率は、固相：液相：気相が5：2：3、あるいは5：3：2と言われている。厳密には固相が45~50%、液相はpF 1.8~3.0の範囲にあって作物が吸収できる水分で20~30%、気相率は20%以上と言われている。畑作物は根圏の土に空気が十分ないと、根の健全な生長は望めない。根が伸長して十分な量まで分布するために必要な気相率は13~17%以上、根の活動を盛んにするために必要な気相率は、普通作物、野菜が20%以上である。ただし、より多くの空気を必要とするキャベツやインゲンなどは24%以上である。

野菜栽培土壌の物理性の診断基準を表16に示した。これらの根の伸長にとって好適な三相分布範囲から測定値が大きく外れた場合は適切な対策を講じなければならない。一般的には固相率が高くなったために三相分布が問題となることが多い。その対策は、深耕、心土破碎などによりち密層を膨軟化させることが必要である。

表16 野菜栽培土壌の物理性の診断基準

土壌	作物	有効根群域 必要深 (cm以上)	有効根群域の条件			
			固相率 (仮比重)	気相率	粗孔隙 <sup>※2</sup>	ち密度 <sup>※4</sup>
火山 灰土	野菜	40～50	< 28 (< 0.75)	> 15～20	> 10 <sup>※3</sup>	< 20
	葉菜	40 <sup>※1</sup>				-----
	短根菜	40～50				< 18
	長根菜	80				
砂質土	野菜	40～50	< 50 (< 1.40)	> 15～20	> 10 <sup>※3</sup>	< 20
	葉菜	40 <sup>※1</sup>				-----
	短根菜	40～50				< 18
	長根菜	80				
壤質土	野菜	40～50	< 53 (< 1.35)	> 15～20	> 10 <sup>※3</sup>	< 20
	葉菜	40 <sup>※1</sup>				-----
	短根菜	40～50				< 18
	長根菜	80				
粘質土	野菜	40～50	< 53 (< 1.35)	> 15～20	> 10 <sup>※3</sup>	< 20
	葉菜	40 <sup>※1</sup>				-----
	短根菜	40～50				< 18
	長根菜	80				

注) ※1: 集約で30 ※2: pF1.5の気相率 ※3: 作土は>15% ※4: 山中式硬度計mm

(オ) 孔隙

土壌中には、大は亀裂から小はウィルスをも通さない極小の孔隙まで、いろいろな大きさ、形態の孔隙が無数に分布している。その大まかな役割分担は図6のとおりで、亀裂や比較的大きな孔隙・粗孔隙（直径0.1mm相当）は主に通気性、透・排水性、微細な孔隙・毛管孔隙は保水性に重要な役割を担っている。これらの孔隙量を知ることは土層改良、土壌診断を行う上で極めて重要である。また、毛管孔隙のうち、有効孔隙量の把握は畑地かんがいの計画や実施に際しての必須条件でもある。

孔隙は水と空気と養分の移動の場であるため、水を貯える水田はあまり関係ないが、畑地では根の通路で生活の場でもあり、湿害、干害など根の働きに関連してその組成は作物栽培上極めて重要である。孔隙の基準値は表17のように設定されている。

孔隙特性から畑土壌は、およそ次の3タイプに分けられる。

- ① 粗孔隙多・有効孔隙少（保水性・水に問題あり）、砂土、粗粒火山灰土
- ② 粗孔隙少・有効孔隙少～中（通気性、水分供給性・水と空気の問題あり）、構造の悪い低湿な土壌、水田転換畑、重粘土、構造が破壊された圧密層及び造成攪乱土



③ 粗孔隙中・有効孔隙中（問題なし）、構造の発達した土壌・壤粘質土、黒ボク土

土壌の孔隙特性とその改良目標とを照らし合わせると、前述の①②の問題点が明らかにされる。改善対策は問題点に対応して客土、心土破碎、排水などの中から方法を選ぶ必要がある。

粗孔隙は p F 1.5 の時の気相率、すなわち 32cm 下に地下水があってもなお空気で占められている孔隙と規定される。

作物生産に有効な水分の保持、移動に最も重要な役割を果たす孔隙である。

保水性が低い砂質土（6～15mm/30cm）の改善対策として、客土が実施されている。これによる保水性は増加するが、地温が上昇しにくくなるため、その効果は作物の種類によって異なる。すいか、メロンなど高温を好む作物を除いて、効果はかなり高い。しかし、地温が上昇しやすいという砂質土の特性を生かすため、客土のかわりに畑地かんがいが実施されている。

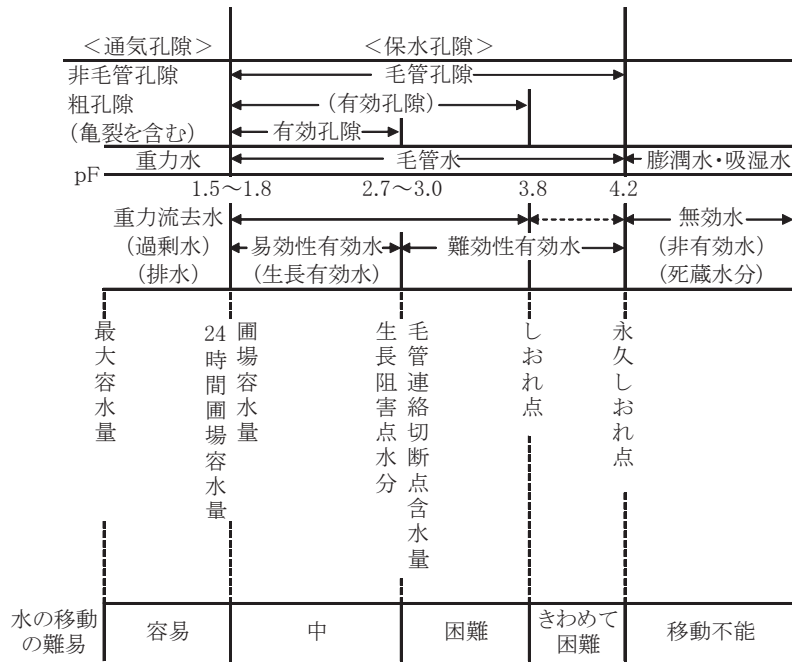


図6 作物の生育と水分恒数

表17 望ましい畑土壌の性質

項目	理想値	許容値	関係する土層改良工
1) 作土深	25cm以上	15cm以上	(深耕)、客土
2) 有効土層 <sup>※1</sup> 深	100cm以上	30cm以上	心土破碎
有効土層のち密度	10~15mm (山中式硬度計)	20mm以下	心土破碎
3) 孔隙			
孔隙率	60%程度	普通土 30~80% 黒ボク土40~90%	粗にすぎるとき:客土(鎮圧) 密にすぎるとき:(団粒形成)
粗孔隙(pF1.5以下)	15~20%	10~30%	
細孔隙 <sup>※2</sup> (pF1.5~3.0)	15%以上	10%以上	
4) 透水性	50mm/日	20mm/日以上	心土破碎
透水係数	10 <sup>-3</sup> cm/秒以上	10 <sup>-4</sup> cm/秒以上	混層耕
5) 土性(粒径組成)	L~CL (壤土~埴壤土)	SL~LiC (砂壤土~軽埴土)	砂土:客土 強埴土:砂客土(暗きよ)
6) 石礫(3.5cm以上)	なし <sup>※3</sup>	容積10%以下	除礫

注)※1:畑地灌漑の場合に使われるものとは異なることに注意

※2:便宜的に用いたもので、学術用語ではない

※3:とくに石礫を必要とする作物は別途考慮する

この表の作成については、農業土木学土層改良設計基準作定委員会の方々の援助をえた  
細孔隙15~20%は厚さ10cmの土層で15~20mmの水分量に相当する(加筆:渡辺)。

### (3) 機械による土壌物理性の改善 (排水対策)

土壌物理性の改善には排水対策が有効な手段の一つとして挙げられる。排水対策に用いられる機械には、表土やトラクター等に踏み固められてできた耕盤を改良するものや、明きよや暗きよを施工するものがある。以下に主な機械と用途を示す。

#### ア 深耕、心土破碎、混層耕

##### (ア) サブソイラー



耕盤の破碎、簡易暗きよの施工により、ほ場の排水性を向上させる。

##### (イ) プラソイラー



サブソイラーよりも高い心土破碎、排水、根域拡大効果がある。

心土を破碎しながら、下層土を表層に上げる働きもする。

## イ 明きよ

### (ア) 溝掘機



ほ場の周囲、ほ場内に溝を切ることによって、ほ場表面の排水を促進する。

## ウ 暗きよ

### (ア) モミサブロー



もみがら簡易暗きよを施工することで、ほ場排水を改善する。

### (イ) カットドレーン



ほ場の土を10～15cm角のブロック状に切断して動かすことで、資材を使わず、40～70cmの任意の深さに四角形の空洞を、心土破砕と同じ施工速度で成形する。本穿孔空洞は、排水路に通じる無材の暗きよや既設暗きよに続く補助暗きよになる。畦を超えてほ場外へ通じる排水口も成形することができ、暗きよと同様の構造を作ることが可能である。

### (ウ) 浅層暗きよ施工器



64kWのセミクローラ型トラクターで、PTOからの動力を用いずに深さ0.5m程度に本暗きよを施工することができる。雨量の14～30%を暗きよから排水することができ、水田の地下排水機能を強化することができる（機械開発：東北農業研究センター）。

## エ その他

### (ア) レーザーレベラー (均平)



ほ場を早く簡単に水平均平することができ、  
地表排水を円滑に行うことができる。

### 3 土壤化学性の診断

#### (1) 土壤の採取方法

土壤分析試料は、そのほ場を正確に代表する性質を持つように採取しなければ、誤った診断あるいは改良対策を行うことになる。

土壤はもともと物理的にも化学的にも不均質なものであり、異なった状態で生成され集合し、さらに経時的にも絶えず変化している。例えば、同一ほ場で採取したとしても、数メートル離れたところでは土層の厚さや性質は異なり、深さによってもそれは異なる。

また、土壤試料の採取は、必ず何らかの目的があって行われるはずであり、採取方法も、その目的に合致した地点や方法である必要がある。目的に合致しない採取の方法では、その後の調製、分析がいかに精密、丁寧に行われても意味がないことになる。サンプリングの誤差は、分析測定 of 誤差よりもはるかに大きいものであることを念頭に入れて、慎重に正確な採取をするべきである。

##### ア 採取時期

原則として作物収穫後、後作の耕起施肥前に採取する。永年作物の場合もこれに準じて行う。

##### イ 採取方法

主な採土法を図7に示した。水田や畑の採土は場所による差を小さくするため、対角線に5地点から、1地点500g程度採土し、混合したものを試料とする。このとき目的とする深さまでV字型に掘り、その面に沿って一定の厚さで採土する。うね立てしてある場合は、うね間から隣のうね間までの土壤を採土する。

樹園地では平均的な樹5～6本について、樹冠下から2～3か所を採土し、混合したものを試料とする。

採取した土壤試料はよく混合した後、直射日光の当たらない場所にうすく広げ、大きな土塊を砕いて速やかに風乾する。急を要する場合は30～40℃の温風乾燥器を用いてもよい。

風乾した試料は粉砕後、2mmのふるいを通し分析に供する。

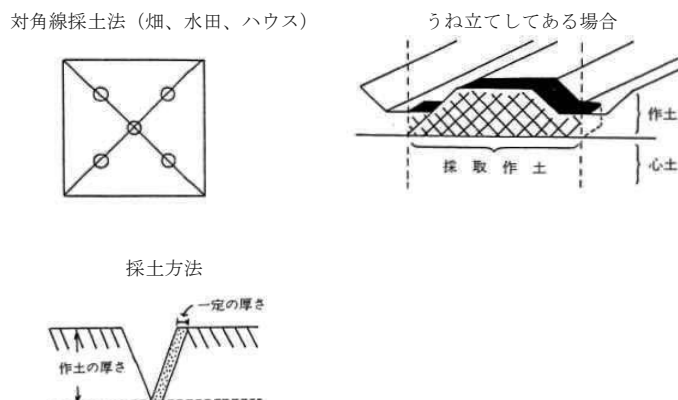


図7 土壤試料の採取方法

## (2) 診断項目

### ア pH

土壌化学性を診断するときに必ず最初にpHを測定し、次の項目の測定に移るが、これは土壌の健康状態がpHでおおよそ判定できるからである。作物の生育は土壌のpHに大きく影響され、アルカリ性や酸性に傾いていると養分欠乏症、過剰症、生育不良など様々な障害を引き起こす。そのため、土壌のpHは常に適正に保つ必要があり、土づくりの基本といえる。

土壌に一定の比率で水あるいは塩化カリウム溶液を加えて得られた懸濁液のpHを測定し、この値を土壌のpHとして表す。

土壌中の $H^+$ には土壌水分（溶液）中に溶けているものと、土壌コロイド粒子（粘土や腐植）の表面に電氣的に吸着されているものとの2種類がある。水を加えて測定するpHは、溶液中に溶けている $H^+$ の濃度を表し、塩化カリウム溶液を加えて測定したpHは溶液中に溶けている $H^+$ と土壌コロイド粒子に吸着されている $H^+$ の合計濃度を表している。

この2通りのpHを区分するために、水を加えて測定した場合はpHあるいはpH ( $H_2O$ ) と表示し、塩化カリウム溶液を加えて測定したpHはpH (KCl) と表示することになっている。

pH ( $H_2O$ ) とpH (KCl) にはそれぞれ違った意味があり、pH ( $H_2O$ ) は作物（根）の生育に直接関わる土壌酸性の強弱（活酸性）を示すのに対し、pH (KCl) は土壌が持つ潜在的な酸性（潜酸性）を示す。

土壌pHと作物の生育との関係については、これまで多くの水耕試験や土耕試験などで解明され、実際の土壌でもほぼ適正pH領域が明らかになっている（表18）。

表18 作物別の最適pH

穀物・普通作物		野菜		花き		果樹	
水稲	5.5~6.0	だいこん・にんじん	6.0~6.5	キク	6.0~6.5	りんご	6.0
小麦	6.0~7.0	ながいも・ごぼう	6.0~6.5	バラ	5.5~6.5	ぶどう	6.0~6.5
はとむぎ	6.0~6.5	にんにく	6.0~6.8	トルコギキョウ	6.0~7.0	おうとう	5.5~6.0
なたね	5.5~6.5	はくさい	6.0~6.5	リンドウ	5.0~6.0	なし	5.5~6.0
そば	5.5~6.0	キャベツ	6.0~6.5	カーネーション	6.0~6.5	もも	5.5~6.0
大豆・小豆	5.5~6.5	レタス	6.0~6.5	アルストロメリア	6.0~6.5	うめ	5.5~6.0
		ねぎ	5.7~7.4	ユリ類・球根類	6.0~6.5	あんず	5.5~6.0
		しゅんぎく	6.0~6.5	宿根カスミソウ	6.0~6.5	すもも	5.5~6.0
		ブロッコリー	5.5~6.6	デルフィニウム	6.0~6.5	ブルーベリー	5.5~6.0
		アスパラガス	6.0~6.5	サクラ・花木類	6.0~6.5		
		えだまめ	6.0~6.5				
		トマト	6.0~6.5				
		ほうれんそう	6.3~7.0				
野菜							
ばれいしょ	5.0~6.0						
すいか・メロン	6.0~6.5						
きゅうり	6.0~7.0						
ごぼう	6.5~7.0						
スイートコーン	6.0~6.5						

注1：ほうれんそうは、やさい栽培の手引（青森県、平成29年3月）による

わが国は降水量が多く、雨に炭酸が含まれているため、土壌は塩基成分 ( $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{NH}_4^+$ ) が溶脱されて酸性になりやすい。酸性土壌では、塩基成分の欠乏、アルミニウムイオンの過剰害、りん酸の固定、微量元素の過剰 (鉄、マンガン、銅、亜鉛) 及び欠乏 (ホウ素、モリブデン)、病害の多発 (アブラナ科の根こぶ病) による生育不良になる場合が多い。

一方、野菜や果樹の施設では年中雨水による溶脱がほとんどないので、カルシウムなどの塩基成分がかなり蓄積し、土壌のpHが7を超えることがある。このようなアルカリ性土壌では、微量元素の不可給化 (鉄、マンガン、ホウ素、銅、亜鉛)、石灰によるりん酸の不可給化、病害の多発 (ばれいしょのそうか病) による生育不良が発生する。

## イ EC

ECとは、Electro Conductivity (電気伝導度) の略で、土と純水を混ぜた混濁液中の電気の通りやすさを数値化したものであり、水溶性塩類 (塩基、陰イオン) の濃度が高くなると、ECは高くなる。

一般にECが高くなると作物の根からの水分吸収が阻害され、作物体内の塩含有率が高くなって生育不良になり、限界濃度を超えると枯死に至る。塩類による阻害程度 (耐塩性) は、作物の種類により異なり、診断基準も作物ごとに設定されている。

わが国は降水量が多いために、農耕地での塩類集積は起こりにくいとされてきた。しかし、施設栽培の普及に伴って、雨水がかからないため、土壌中の塩類濃度が上昇し、濃度障害の発生が見られている。

## ウ 塩基交換容量 (CEC)

土壌の粒子あるいは腐植の表面は、マイナス荷電を帯びている。一方、アンモニウム態窒素、石灰、苦土、カリなどの養分は土壌中の水に溶けてプラスの荷電を持つ陽イオンとして存在する。土壌のマイナス荷電は、これら陽イオンとともに水素イオンを吸着し保持している。このため、土壌のマイナス荷電の総量を表した値を塩基交換容量 (CEC: Cation Exchange Capacity) と呼び、CECが高い土壌ほど、多くの養分を保持することができる。

CECは、土壌の養分保持力やpHなどに深く関係しているとともに、石灰や苦土を含む土壌改良資材の適切な施用量を算出するために欠かせない値である。

CECの大きい土壌は保肥力が高く肥沃度が高いといえるので、CECの小さい土壌では堆肥やゼオライトなどの改良資材の投入により、CECを高めることは必要である。

しかし、基本的には、CECは表19に示すように土壌固有のものであり、基準値を設定して改良することは相当困難であるとともに、あまり意味がないものと考えられる。むしろ、土壌の性質に合った施肥を行うための参考資料として活用するのが適当である。

例えば、保肥力の小さい砂質土壌では、肥料の流亡や濃度障害を防ぐために緩効性肥料を利用することや、肥料を数回に分けて分施することが有効な手段

となる。

表19 土壌の種類とCECの代表値の目安

(me/100g)					
土壌の種類	CEC	土壌の種類	CEC	土壌の種類	CEC
砂丘未熟土	3~10	褐色森林土	10~25	灰色台地土	15~25
淡色黒ボク土	15~25	黄色土	10~15	褐色低地土	15~30
腐植質黒ボク土	20~30	赤色土	15~25	黒泥土	20~35
多腐植質黒ボク土	30~40	灰色台地土	15~30	多湿黒ボク土	30~40

(土壌診断の方法と活用, 1996)

## エ 交換性塩基

土壌は粘土と腐植からなる土壌コロイドを含んでいる。土壌コロイドは一般的にはマイナス荷電を帯びており、これと電気的に中性を保つため、カルシウム (Ca)、マグネシウム (Mg)、カリウム (K)、ナトリウム (Na)、水素 (H) などの陽イオンが土壌コロイドに吸着されている。土壌コロイド表面に吸着されている陽イオン (交換性陽イオン) が土壌溶液中の他の陽イオンと交換することを、土壌の陽イオン交換と呼んでいる。なお、交換性陽イオンの中で水素イオンを除いたものが交換性塩基と呼ばれる。

一般に陽イオンはその種類によって土壌に吸着されやすいものと、されにくいものがある。その順序は $H^+ > Ca^{2+} > Mg^{2+} > K^+ > NH_4^+ > Na^+$ であり、水素イオンがもっとも吸着されやすく、ナトリウムイオンが最も吸着されにくい。

交換性塩基は土壌溶液中の水素イオンと置き換わり、植物の養分となるが、一部は降雨とともに下層に溶脱される。陽イオン交換は土壌中の最も重要な反応の一つであり、物質の変化や移動、鉱物の風化、膨潤・収縮、透水などの物理性、植物への養分供給能などと関係が深い。

交換性塩基類の総量は土壌 pHとも密接な関係にあり、pHの測定でもある程度類推ができる。しかし、総量だけでなく塩基間のバランスも重要な要素であり、それらの把握のためには個々の成分測定が必要になる。

### (ア) 石灰

石灰は作物の養分として欠くことができない要素であるが、それ以上に土壌団粒の形成、土壌 pHに関わる緩衝能の向上、土壌物理性の改良や微生物活動にとって非常に大切な要素である。

土壌の塩基交換容量に対する交換性石灰の割合を石灰飽和度と呼んでいる。土壌改良の目標値設定の項目の一つになっている。改良目標を設定する場合、石灰飽和度を設定する場合と土壌 pHで設定する場合、更に養分的な考えを中心として、土壌中に含まれる交換性石灰の絶対含量を基準にして設定する場合がある。

これら3つの基準値の相互作用は、まだ明らかになっていない。石灰飽和度で基準値を定めると、塩基交換容量が小さい場合は相対的に石灰質資材の施用量が少なくなり、絶対量が不足になる可能性があり、逆に塩基交換容量が大きい場合には、多量の石灰質資材を施す必要がある。



pHを基準値に定めると、いろいろな土壌に対する使用資材の緩衝曲線が一般化されていないので、使用の都度、緩衝曲線を測定しなければならないことになる。

絶対量を基準に定めると、主として石灰に関する生理障害の発生限界を基礎にしているので、土壌の物理性、微生物相に対する影響、土壌pHなどの相互関係が無視されることになる。したがって、測定結果からそれぞれの方法に従って施用量を推定し、総合的に判断する必要がある。

#### (イ) 苦土

苦土は葉緑素の構成元素であり、葉に含まれる苦土の10%程度がクロロフィル成分として、残りは原形質中で結合した状態及び $Mg^{2+}$ として存在している。

土壌中では交換性の苦土として石灰と同様に緩衝的な作用を持っている。しかし、石灰とは異なり、ケイ酸塩に変化しやすく、土壌溶液中から除外されやすい養分でもある。りん酸、石灰、カリの多施用によって、この傾向を助長し、苦土欠乏症が発生する可能性がある。

苦土欠乏の診断に当たっては、作物の生育状況を観察し、苦土の絶対量不足によるものか、他の要素との割合、バランスなどによって吸収が阻害されているのかを土壌分析によって診断する必要がある。

#### (ウ) カリ

カリは、植物の三要素の一元素であり、作物中の含量も多い元素である。生理的な機能は、細胞内での物質代謝が正常に行われるための原形質構造の維持やそのpH、浸透圧の調整に $K^+$ として作用するなど、多くの生理作用に直接、間接的に影響している。

自然状態の土壌は可給態のカリを非常に多く含んでいる。長石、雲母あるいは粘土類などの風化に伴ってカリウムイオン( $K^+$ )が土壌溶液中に放出されるものである。土壌溶液中の $K^+$ は作物に直接吸収されたり、土壌コロイドに吸着保持されたりする。更に吸着保持された交換性カリウムの一部はりん酸、アルミニウムなどと難溶性の塩(化合物)を作り、作物に直接利用されない形態にある。

$K^+$ はアンモニウムイオン( $NH_4^+$ )とほぼ等しい大きさを持ち、土壌の同一格子空間に固定されるために、 $NH_4^+$ の過剰施用は $K^+$ の溶脱を促進する結果になる。特に、火山灰土などの塩基交換容量がpH依存型の土壌では、pHの低下に伴って交換容量が減少して $K^+$ 、 $NH_4^+$ の溶脱が起こる。

### オ 塩基バランス

交換性塩基類は、いずれも水和するとアルカリ性を示すという共通した性質を持っている。一方、作物がこれらの塩基類を吸収する過程でも共通した性質が見られる。作物による塩基類の総吸収量はほぼ一定である。カリの吸収量が少ない場合には石灰、苦土の吸収量が多くなり、逆にカリの吸収量が多くなると石灰、苦土の吸収量が低下する。このような現象を養分吸収における拮抗作用と呼んでいる。

養分の吸収が偏ると当然の結果として、要素欠乏が発生し、収量は低下して

くる。

石灰、苦土、カリの合計値から塩基飽和度を求め目標値に照合して過不足を計算するが、塩基のバランスをどのように設定するかという問題は、作物の種類別養分吸収量や最適pHの条件などで変化するので単純には決めることができないことから、石灰／苦土(当量比)は6以下、苦土／カリ(当量比)は2以上が望ましいとされている。

#### カ 塩基飽和度

塩基飽和度とは、土壤の塩基交換容量(CEC)が交換性塩基で満たされている程度を百分率で表したものであり、次式によって計算される

$$\text{塩基飽和度 (\%)} = \frac{\text{交換性全塩基 (me)}}{\text{塩基交換容量 (me)}} \times 100$$

塩基飽和度は計算上の値であるが、土壤のpH、塩基バランスなど土壤の状態を検討するときに参考となる項目である。

一般に交換性塩基類の総量は塩基交換容量の80%程度が良いとされている。

施設栽培の場合には、塩基飽和度が100%を超えているものがある。特に、塩基交換容量が小さい場合に塩基飽和度が大きくなっている傾向が見られる。塩基交換容量が小さい場合には、塩基飽和度で施肥量を制限すると、土壤養分の絶対量が少なくなり、養分不足を来しやすいため、塩基飽和度が100%を超えて濃度障害が出現する限界点まで施用されているためと考えられる。このような塩基交換容量が小さい土壤で、塩類濃度障害を避けるためには、塩基飽和度を100%以下に抑えると同時に、肥料養分の絶対量が不足しないように追肥回数を多くして、1回当たりの施用量を少なくするような対策が必要である。

#### キ 有効態りん酸

施肥されたりん酸は、カリや石灰などのように交換態として土壤に保持されることはほとんどなく、多くは土壤中のカルシウム(Ca型)やアルミニウム(Al型)、鉄(Fe型)と結合した形態となる。作物によく利用されるのはカルシウム型のりん酸で、アルミ型は吸肥力の強い普通作物や牧草が一部利用するといわれている。畑地では、鉄型のりん酸は難溶性のため、利用するのは困難である。しかし、水田においては、湛水して還元化が進むと、鉄の形態が変化して水に溶けるようになり、りん酸が有効化し、イネに吸収利用される。

このように土壤中のりん酸は形態の違いや土壤環境によって変化するため、有効態りん酸の定量が問題となる。一般には薄い硫酸(0.002N)に溶けるりん酸を土壤から抽出、測定するトルオーグ法が広く採用されている。トルオーグりん酸は調査資料も多く、作物の生育との関係もかなり明らかにされているため、単に有効態りん酸という場合は、これを指すことが多い。トルオーグ法では、主にCa型のりん酸を測定していることになる。

#### ク りん酸吸収係数

土壤にりん酸質肥料を施すと、一部は易溶性になったり、石灰と結合したりして、作物に利用されやすい形で残る。しかし、大部分は土壤中の鉄とかアルミニウムと結び付いて、水に溶けにくく、作物に利用されにくい難溶性のりん

酸に変化する。このような水溶性から難溶性への変化をりん酸の固定と呼んでいる。固定力の強さを表す指標として、乾土100gあたりに固定されたりん酸の量をmg単位で示し、りん酸吸収係数と呼んでいる。

りん酸固定の特徴は、土壌の生成過程で活性アルミニウムを多く含む火山灰土（黒ボク土）で強く、極めて速やかに固定される。

りん酸吸収係数の区分はおよそ1,200を目安として、火山灰土と非火山灰土とを区分している。しかし、一般に火山灰土は1,500以上、非火山灰土は500～1,000程度であり、1,000～1,500の場合は、火山灰土と非火山灰土が混合再堆積された土壌や、強酸性化した赤、黄色土などで見られる数値である。

りん酸吸収係数が1,000以下の土壌では、りん酸の固定はあまり問題にならないが、1,500以上の火山灰土の畑地や水田では土壌改良を考慮する必要がある。

りん酸吸収係数の高い火山灰土でも、施肥りん酸の大部分は土壌に残存、蓄積されるので、りん酸の肥沃度は向上してくる。しかし、かなり多量のりん酸を蓄積しても、りん酸吸収係数は急減するようなことは少ない。したがって、りん酸の肥沃度に応じた、合理的な土壌改良や施肥を行うために、りん酸吸収係数と合わせて、土壌中の有効態りん酸を測定する必要がある。

火山灰土の生産性を高めるには、アルミニウムの活性化を弱めることである。そのためには、pHの矯正、堆肥などの有機質資材の施用、ケイ酸質資材の施用などが有効である。これらの方法は、施肥りん酸の肥効を高めるには効果的であるが、りん酸の肥沃度を高め、生産力の高い土壌にするには長い年月を必要とする。

そこで、短期間に生産力を上げるための土壌改良法として、りん酸多施用技術がある。この方法は、りん酸吸収係数の5～10%に相当するりん酸量を、一度に投入して土壌と混和、有効態りん酸を富化すると同時に、酸性の矯正、石灰と苦土の比率、塩基飽和度を含めて総合的に改善する方法である。

## ケ 腐植

腐植とは、土壌に含まれる有機物のことで、土壌の物理性、化学性、生物性を良好にするために重要である。腐植は、微生物によって時間の経過とともに分解され、耕うん作業等により土壌の構造が破壊されたり、酸素供給量が多くなると更に分解が進むことから、堆肥などの有機物を施用し補給する必要がある。

有機物の施用によって、すぐに土壌中の腐植含量を増加させることは一般に困難である。有機物を多く施用すると窒素などの養分過剰となる可能性があるため、一時的に施用できる量には限界がある。そのため、腐植含量の改善には、堆肥などを連用して長年の集積効果を利用することが大切である。

### (3) 土壤改良資材量の求め方

#### ア pHの改良

##### (ア) 酸性の矯正

##### a 緩衝能曲線による方法

中和に要する石灰質肥料の量は、土壤毎の緩衝能の違いによりアルカリ資材添加時のpH上昇度が異なるので、土壤pHだけからは算出できないものである。したがって、土壤毎に緩衝能曲線を作成し、石灰質肥料の量を算出する方法がとられている。

図8の場合、10a、深さ10cmの土壤の重さを100,000kg(比重1.0)とすると、目標pH6.0では土壤10gで5mg必要となるので、炭酸カルシウムは50kgを要する計算となる。

**【例】** 風乾土10g  
↓  
100ml用のふた付き容器に入れる。  
(同じものを10本つくる)  
↓  
0.1N水酸化カルシウム液又は0.1N  
水酸化ナトリウム液をそれぞれの容  
器に0、1、2、4、6、8、10、12、14ml  
加える。  
↓  
全量が25mlになるように蒸留水を加え、蓋をした後、時々振とうしながら24時間放置。  
↓  
pH測定  
↓  
グラフ上に添加量毎のpH値をプロットして緩衝曲線をつくる(図8)。なお、使用  
したアルカリ溶液1mlは炭カル約5mgに相当するので、換算してグラフを作成する。

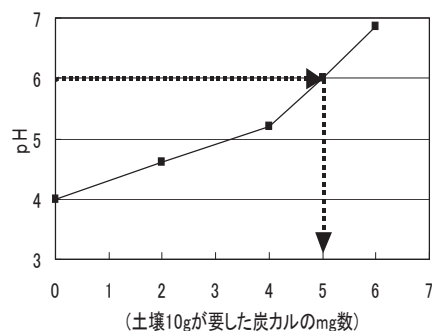


図8 緩衝能曲線の一例

##### b アレニウス表による方法

簡便法としてアレニウス表(表20)によって石灰質肥料量を求める方法がある。これは主として畑土壤の改良に用いられており、pH6.5に矯正するときの炭カルの所要量を示してある。なお、この表によりpHを矯正した場合は、石灰質肥料を施用耕起後7~10日位経ってから更にpHを測定し、目標のpHになっているか確認する必要がある。

表20 アレニウス表による酸性矯正用炭酸カルシウム施用量

(目標 pH (H<sub>2</sub>O) に要する量、(kg/10a))

土性	腐植含量	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
	頗る富む	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
	頗る富む	1,268	1,166	1,065	964	863	761	660	559	458	356	255	154	53
埴壤土	含む	844	776	709	641	574	506	439	371	304	236	169	101	34
	富む	1,054	971	885	803	716	634	548	465	379	296	210	128	41
	頗る富む	1,549	1,425	1,301	1,178	1,054	930	806	683	559	435	315	188	64
埴土	含む	1,054	971	885	803	716	634	548	465	379	296	210	128	41
	富む	1,268	1,166	1,065	964	863	761	660	559	458	356	255	154	53
	頗る富む	1,830	1,684	1,538	1,391	1,245	1,099	935	806	660	514	368	221	75
腐葉土		2,062	1,898	1,733	1,568	1,403	1,238	1,073	908	743	570	413	248	83

注) ○この表は耕土の深さ10cmに要する施用量である。

○消石灰使用の場合は0.75を乗じた量を施用する。

○火山灰土の場合は普通土壌より比重が軽いので、この量より30%内外を減じた方がよい。

(火山灰土は通例容積量80以下であり、他の非火山灰の洪積、沖積土壌は一般に大きい)

### (イ) アルカリ性の矯正

土壌がアルカリ性に傾いたものを酸性側に矯正することは、酸性改良するよりも難しいことである。改良資材としては、濃硫酸を適宜希釈して土壌に散布混和する方法と硫黄粉あるいは硫黄華を土壌に混和する方法がある。資材の量は、1坪(3.3m<sup>2</sup>)当たり深さ10cmの土壌をpH1下げるには下表(表21)の量が適当である。

なお、硫黄粉(華)は反応の発現が遅く、15~25日ほど要するので早めに混和する必要がある。また、改良資材施用後にpHを測定し、目標のpHになっていない場合は、更に改良資材を添加する必要がある。

表21 pHを1下げるために必要な資材量  
(1坪(3.3m<sup>2</sup>)当たり) (北海道)

土壌の種類	濃硫酸	硫黄粉
泥炭土	2,400g	800g
粘土質土	800g	260g
砂質土	530g	180g

### イ 有効態りん酸の改良

#### (ア) 有効態りん酸量から算出する方法

##### a 算出に必要な項目

- ・改良目標有効態りん酸量
- ・土壌分析による有効態りん酸量
- ・土壌の容積量(仮比重)
- ・りん酸必要量とりん酸吸収係数との関係
- ・りん酸質肥料の成分
- ・土壌分析測定のにん酸吸収係数

b 改良資材の算出法

- ・不足有効態りん酸量 (mg/100g) = 改良目標有効態りん酸量 - 測定有効態りん酸含量
- ・土壌のりん酸吸収係数からみたようりの必要量 (kg/10a深さ10cm)  
= りん酸吸収係数別の1 mg当たりのようりん量 (kg) × 不足有効態りん酸量 (mg) × 土壌の容積量 (仮比重)

【例】有効態りん酸量が10mg/100gの水田土壌(りん酸吸収係数2,000以上、仮比重0.9)を有効態りん酸量15mgまで改良するのに要するようりの施用量

$$\text{ようりん (kg/10a)} = 60 \times (15 - 10) \times 0.9 = 270 \text{ kg/10a}$$

↑

りん酸吸収係数ごとの不足りん酸当  
たりのようりん施用量 (kg/10a、10  
cm耕起時)。表22を参照。

表22 りん酸必要量とりん酸吸収係数との関係

りん酸吸収係数	ようりん施用量 P 1 mg 当たり kg /10a 10cm耕起	作物のりん酸の 利用率 (%)	備 考
2,000以上	60	8	火山灰土
2,000～1,500	40	12	
1,500～1,000	30		
1,000以下	20	25	沖積土、非火山灰土

表23 りん酸肥料の成分と換算

品名	登録名	りん酸 成分量 (%)	ようりん からの換算 (倍率)	品名	登録名	りん酸 成分量 (%)	ようりん からの換算 (倍率)
20ようりん	20. 0 溶成りん肥	20	×1	BM重焼りん	ほう素マンガ入り苦土重焼りん	35	×0.57
粒状20ようりん	20. 0 粒状溶成りん肥	20	×1	ダブリン	35 粒状苦土りん肥	35	×0.57
粒状24ようりん	24. 0 粒状溶成りん肥	24	×0.83	17. 0 過石	17. 0 粒状過りん酸石灰	17	×1.18
25ようりん	25. 0 溶成りん肥	25	×0.8	20. 5 過石	25. 0 粒状過りん酸石灰	20.5	×0.98
粒状25ようりん	25. 0 粒状溶成りん肥	25	×0.8	重過石	34 粒状重過りん酸石灰	34	×0.59
BMようりん	20. 0 溶成ほう素マンガりん肥	20	×1	苦土重過石	40 粒状苦土重過りん酸	40	×0.5
粒状BMようりん	20. 0 粒状溶成ほう素マンガりん肥	20	×1	腐植りん	15. 0 腐植酸りん肥	15	×1.33
苦土重焼磷1号	苦土重焼磷1号	35	×0.57				

表24 有効態りん酸不足量とようりん必要量

(深さ10cm当たりのようりん必要量(kg/10a))

不足りん酸量mg りん酸吸収係数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
2,000以上	60	120	180	240	300	360	420	480	540	600	660	720	720	840	900	960	1,080	1,080	1,140	1,200
2,000~1,500	40	80	120	160	200	240	280	320	360	400	440	480	580	560	600	640	620	720	780	820
1,500~1,000	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	360	420	400	480	540	540	570	600
1,000以下	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	240	280	300	320	360	360	380	400

(イ) りん酸吸収係数から算出する方法

$$\text{りん酸施用量(kg/10a)} = \left( \frac{P \times R / 100}{1,000} \right) \times D \times d \times 100 = \frac{PRDd}{1,000}$$

- ・ P=2,000 (りん酸吸収係数)
- ・ R=2 (りん酸吸収係数の2%相当を施用する場合)
- ・ D=10 (土壌改良深10cm)
- ・ d=0.8 (容積重80g/100ml)

計算式に上記の数値を代入すると、

$$\text{りん酸施用量(kg/10a)} = 2,000 \times \frac{2 \times 10 \times 0.8}{1,000} = 32$$

$$\text{ようりんの成分20\%として現物所要量は、} 32 \times \frac{100}{20} = 160 \text{ (kg/10a)}$$

## ウ 塩基の改良

(ア) 不足石灰量を算出する方法

a 算出に必要な事項

- ・ 改良目標石灰量 mg/100g . . . . . (A)
- ・ 測定石灰含量 mg/100g . . . . . (B)
- ・ ほ場の土の重さ 容積量g/100ml×深さcm . . . . . (C)
- ・ 石灰質肥料の成分量 炭酸カルシウムの場合 CaO 53%

b 算出法

$$\text{(改良目標石灰量 - 測定石灰含量)} \times \text{面積当たりの土の重さ} = \text{必要な石灰量} \dots\dots (1)$$

$$((A)\text{mg} - (B)\text{mg} \times 10a) \times 10\text{cmの土の重量kg (耕深(C)cm/10)} = \text{CaOkg/10a}$$

・ 必要石灰量から炭酸カルシウムへの換算

$$(1) \times \frac{100}{53} = \text{炭酸カルシウムkg/10a (53は炭酸カルシウムの成分(\%))}$$

【例】石灰(CaO)の分析値が235mgの火山灰畑(仮比重0.7)の作土10cmを基準値が300mgまで改良するために必要な炭酸カルシウム(CaO 53%)の量を求める。

- ・不足石灰量=300mg-235mg=65mg
- ・必要石灰量=65mg/100g×1,000m<sup>2</sup>×0.1m(作土深)×0.7=45.5kg/10a
- ・必要炭酸カルシウム量=45.5kg× $\frac{100}{53}$   
=85.8kg/10a

c 塩基を含む資材の成分量と換算

酸性を中和する能力はアルカリ分で表現されているが、アルカリ分とは石灰、苦土のアルカリ総量を表わしたもので、次のように算出される。

$$\text{アルカリ分} = \text{CaO \%} + (\text{MgO\%} \times (56(\text{CaOの分子量})/40(\text{MgOの分子量})))$$

塩基を含む肥料等には下表(表25)のようなものがある。

表25 塩基を含む肥料等

品名	登録名	アルカリ分 (%)	炭カルからの換算 (倍率)	苦土成分 (%)	苦土炭カルからの換算 (倍率)
粒状ケイカル	粒状珪酸苦土石灰	40	×1.32	1	×10
砂状ケイカル	珪酸苦土石灰	50	×1.06	5	×2
アヅミン苦土石灰	園芸土壤改良用混合石灰	50	×1.06	10	×1
防散融雪炭カル	50.0カーボンブラック入り防散炭酸カルシウム肥料	50	×1.06		
融雪炭カル	50.0カーボンブラック入り炭酸カルシウム肥料	50	×1.06		
カルミン	混合石灰	50	×1.06	10	×1
炭カル	炭酸カルシウム肥料	53	×1		
苦土炭カル	53.0苦土入り炭酸カルシウム	53	×1	6	×1.67
てんろ石灰	てんろ副産石灰	53	×1	6	×1.67
苦土炭カル10	10炭酸苦土石灰	55	×0.96	10	×1
粒状苦土石灰	粒状苦土カル	55	×0.96	10	×1
消石灰	65消石灰	65	×0.82		
焼成苦土	18苦土消石灰	70	×0.76	18	×0.56
ビクトリー	100生石灰	100	×0.53	30	×0.33
20ようりん	20.0熔成りん肥	50	×1.06	15	×0.67
粒状20ようりん	20.0粒状熔成りん肥	45	×1.18	12	×0.83
粒状24ようりん	24.0粒状熔成りん肥	45	×1.18	12	×0.83
25ようりん	25.0熔成りん肥	50	×1.06	12	×0.83
粒状25ようりん	25.0粒状熔成りん肥	50	×1.06	12	×0.83
BMようりん	20.0熔成ほう素マンガんりん肥	45	×1.18	13	×0.77
粒状BMようりん	20.0粒状熔成ほう素マンガんりん肥	45	×1.18	12	×0.83
苦土重焼燐1号	苦土重焼燐1号			4.5	×2.22
BM重焼りん	ほう素マンガん入り苦土重焼りん			4.5	×2.22
ダブリン	35粒状苦土りん肥			7	×1.43
腐植りん	15.0腐植酸りん肥			8	×1.25
苦土重過石	40粒状苦土重過石りん酸			5	×2



(イ) 不足塩基量を塩基のバランスから算出する方法

a 算出に必要な事項

- ・ 塩基置換容量 (CEC)
- ・ 目標石灰飽和度 (%)
- ・ 測定石灰含量 (mg/100g)
- ・ ほ場の土の重さ

b 算出法

- ・ 作物ごとの目標石灰飽和度

塩基として石灰、苦土、カリがある。そのバランスを当量比石灰/苦土=6、苦土/カリ=2 とすると、石灰：苦土：カリ=6：1：0.5となる。

石灰+苦土+カリ：石灰は100：80である。

したがって、塩基飽和度の80%は石灰で占めるようにする。

目標塩基飽和度(60%とする)×80/100

$$\rightarrow 60 \times 0.8 = 48\% \text{が目標石灰飽和度である} \quad \dots\dots (1)$$

$$\text{現在の石灰飽和度} = \frac{\text{測定石灰量}}{28 \times \text{CEC} \text{ (28は石灰 1 mg当量の重量 [mg] )}} \quad \dots\dots (2)$$

目標石灰飽和度にするために必要な石灰量

$$(\text{目標石灰飽和度 (1)} - \text{現在の飽和度 (2)}) \times \text{CEC} \times \text{石灰当量} \\ = \text{必要石灰量mg} \quad \dots\dots (3)$$

炭酸カルシウムの施用量

$$(3) \times \frac{100 \times 10a \text{ 当たりの土の重さ}}{53 \text{ (53は炭酸カルシウムの成分(\%))}} \quad \dots\dots \text{炭酸カルシウム施用量}$$

苦土、カリについても、石灰と同様の計算で算出する。

<参考> 塩基類の当量

区分	当量(me)	備考
石灰	28mg	CaO=56、1分子量2グラム当量、1me=56/2=28mg
苦土	20mg	MgO=40、"、1me=40/2=20mg
カリ	47mg	K <sub>2</sub> O=94、"、1me=94/2=47mg

(ウ) 不足塩基量を塩基飽和度から算出する方法

a 土壌塩基の分析結果

改良したい土壌の分析結果は、塩基置換容量(CEC) 20me とした場合

石灰 (CaO) 168mg/100g乾土

苦土 (MgO) 60mg/100g乾土

カリ (K<sub>2</sub>O) 10mg/100g乾土

b 土壌の改良目標

石灰飽和度 50% (CaO 280mg/100g)

苦土飽和度 20% (MgO 80mg/100g)

カリ飽和度 2% (K<sub>2</sub>O 19mg/100g)

c 塩基施用量 (不足塩基量)

ここで、施用する塩基量 (不足塩基量) は

石灰 (CaO) 280 - 168 = 112mg/100g

苦土 (MgO) 80 - 60 = 20mg/100g

カリ (K<sub>2</sub>O) 19 - 10 = 9mg/100g

また、施用する資材の保証成分は

苦土炭酸カルシウム CaO 32%、MgO 15%

炭酸カルシウム CaO 53%

硫酸カリ K<sub>2</sub>O 50%

であり、苦土炭酸カルシウムは、苦土と石灰を含んでいるので、改良する成分の少ない苦土から算出する。

(a) 苦土施用量

必要な苦土炭酸カルシウム量は、

$$20 \times \frac{100}{15} = 133\text{mg}/100\text{g} \rightarrow 133\text{kg}/100\text{t}$$

(b) 石灰施用量

上記 (a) で算出した量の苦土炭酸カルシウムに含まれている石灰量は、

$$133 \times \frac{32}{100} = 43\text{mg}/100\text{g} \text{ が同時に施用されることになる。}$$

石灰の施用量は112mgであるから、

$$112 - 43 = 69\text{mg} \text{ を炭酸カルシウムで施用すればよい。}$$

したがって、施用する炭酸カルシウムは、

$$69 \times \frac{100}{53} \doteq 130\text{mg}/100\text{g} \rightarrow 130\text{kg}/100\text{t}$$

(c) カリ施用量

必要な硫酸カリ量は、

$$9 \times \frac{100}{50} = 18\text{mg} \rightarrow 18\text{kg}/100\text{t}$$

(d) 仮比重 (乾燥土壌 1 ml の g 数) による実際の施用量の決定

以上のように石灰、苦土、カリの施用量が判明したら、土壌の仮比重を測定し面積当たりの施用量を計算する。なお、仮比重は専用の器具を使用するため、測定に当たっては関係機関に問い合わせる。なお、目安は火山灰土 (黒ボク土) 0.7、火山性砂土0.8、沖積土0.9、砂土・重粘土壤1.1とする。

土壌の仮比重0.7、耕深15cmとすれば10a当たりの換算はmg/100g = kg/100t となり、10a当たりの土量は0.15m × 1000m<sup>2</sup> × 0.7 = 105tとなるので、係数は a kg × 105 / 100 = a / kg × 1.05となり、各資材の施用量は次のとおり算出さ

れる。

苦土炭酸カルシウム	$133\text{kg} \times 1.05 =$	140kg/10a
炭酸カルシウム	$130\text{kg} \times 1.05 =$	137kg/10a
硫酸カリ	$18\text{kg} \times 1.05 =$	19kg/10a

(エ) 塩基交換容量に対応する塩基飽和度と塩基含量

塩基交換容量に対応する各塩基飽和度及び塩基含量は、表26のとおりである。

表26 塩基交換容量に対応する塩基飽和度と塩基含量

塩基の種類	CECに対する飽和度 (%)	飽和度相当塩基量	塩基交換容量(CEC) (me/100g)								
			10	15	20	25	30	35	40	45	50
交換性石灰 (CaO)	35	mg/100g	98	146	196	245	294	343	393	442	491
	40		112	168	224	280	336	393	449	505	561
	45		126	189	252	315	379	442	505	568	631
	50		146	210	280	351	412	491	561	631	701
交換性苦土 (MgO)	5	mg/100g	10	15	20	25	30	35	40	45	50
	10		20	30	40	50	60	71	81	91	101
	15		30	45	60	76	91	106	121	136	151
	20		40	60	81	101	121	141	161	181	202
交換性加里 (K <sub>2</sub> O)	2	mg/100g	(9)	14	19	24	28	33	38	42	47
	4		19	28	38	47	57	66	75	85	94
	6		28	42	57	71	85	99	113	127	141
	8		38	57	75	94	113	132	151	170	188
	10		47	71	94	118	141	165	188	212	236

注) 分析値の1mg/100gは10a当たり深さ15cmとして、  
 0.6で0.90kg、0.7で1.05kg、0.8で1.20kg  
 0.9で1.35kg、1.0で1.50kg、1.1で1.65kg に相当する。

エ ケイ酸の改良

(ア) 「青天の霹靂」栽培地域における算出方法

(水稻によるケイ酸吸収量、かんがい水のケイ酸濃度が明確な場合)

ケイ酸の改良は不足可給態ケイ酸量に加えて、不足稲体ケイ酸供給量(水稻によるケイ酸吸収量－かんがい水のケイ酸供給量)を加算して算出する。

a 算出に必要な項目

- ・改良目標可給態ケイ酸量 mg/100g
- ・測定可給態ケイ酸量 mg/100g
- ・面積当たりの土の重さ 容積重g/100g×深さ
- ・水稻によるケイ酸吸収量kg/10a
- ・かんがい水ケイ酸濃度mg/L
- ・ケイ酸質肥料の成分量 ケイカルの場合SiO<sub>2</sub> 30%

b 不足可給態ケイ酸の算出法(A)

- ・(改良目標値可給態ケイ酸－測定可給態ケイ酸量) ×面積当たりの土の重さ  
 =不足可給態ケイ酸量kg/10a

c 不足稲体ケイ酸供給量(B)

- ・不足稲体ケイ酸供給量は以下の式で算出できる。

水稻によるケイ酸吸収量-(4.10×可給態ケイ酸)-(1.07×かんがい水ケイ酸濃度) = 不足稲体ケイ酸供給量kg/10a

(※4.10、1.07は可給態ケイ酸及びかんがい水ケイ酸濃度から稲体ケイ酸吸収量を推定するための指数。)

d 必要ケイ酸量

- ・必要ケイ酸量kg/10a

= 不足可給態ケイ酸の算出法(A) + 不足稲体ケイ酸供給量(B)

- ・必要ケイ酸量からケイカルへの換算

必要ケイ酸量× $\frac{100}{30}$  = ケイカルkg/10a (30はケイカルの成分%)

(例) かんがい水ケイ酸濃度30mg/L、水稻によるケイ酸吸収量が92kg/10aの場合、可給態ケイ酸の分析値が12mg/100gの水田土壌(仮比重1.0)の作土10cmを目標値まで改良するために必要なケイ酸量を求める。

- ・不足ケイ酸量=15mg-12mg=3mg
- ・不足可給態ケイ酸量=3mg/100g×1000m<sup>2</sup>×0.1m×1.0=3.0kg/10a
- ・不足稲体ケイ酸供給量=92-(4.10×12mg/100g)-(1.07×25mg/L)=16.1kg/10a
- ・必要ケイ酸量=3.0kg/10a+16.1kg/10a=19.1kg/10a
- ・必要ケイカル量19.1kg/10a× $\frac{100}{30}$  = 63.7kg/10a

(イ) 「青天の霹靂」栽培地域における算出方法

(水稻によるケイ酸吸収量、かんがい水のケイ酸濃度が不明な場合)

かんがい水ケイ酸濃度及び土壌中の可給態ケイ酸量から推定したケイカル施用量は表27のとおりである。必要ケイカル量は、表27のかんがい水ケイ酸濃度と土壌中の可給態ケイ酸量が交わる数字となる。かんがい水のケイ酸濃度の推定は、表28の地域におけるかんがい水ケイ酸濃度もしくは表29の河川別のケイ酸濃度からケイ酸濃度を推定する。

表27 必要ケイカル量

土壌中の 可給態ケイ酸量 (mg/100g)	かんがい水のケイ酸濃度(mg/l)					
	40~35	35~30	30~25	25~20	20~15	15以下
15~14	0	12	30	47	65	83
14~13	11	29	47	64	82	100
13~12	28	46	64	81	99	117
12~11	45	63	81	98	116	134
11~10	62	80	98	115	133	151
10~9	79	97	115	132	150	168
9~8	96	114	132	149	167	185
8~7	113	131	149	166	184	202

注1) 稲体の供給不足量、土壌不足量は、可給態ケイ酸及びケイ酸濃度範囲の一番低い値から算出。

注2) かんがい水ケイ酸濃度15mg/l以上の濃度範囲は10mg/lとして算出。

表28 津軽地域におけるかんがい水ケイ酸濃度

区分	灌漑水ケイ酸濃度(mg/l)					
	40~35	35~30	30~25	25~20	20~15	15以下
地帯区分Ⅰ	田舎館村	黒石市 藤崎町	板柳町 青森市浪岡 弘前市北部	平川市 弘前市岩木	弘前市相馬	弘前市 大鰐町
地帯区分Ⅱ		青森市西部		五所川原市 鱒ヶ沢町東部	青森市東部 鱒ヶ沢町西部	つがる市 鶴田町 深浦町

表29 河川別平均ケイ酸濃度（平成27～28年青森農林総研）

河川名	ケイ酸 mg/l	河川名	ケイ酸 mg/l	河川名	ケイ酸 mg/l
笹内川	13.6	岩木川中流	21.8	大峰川	30.7
追良瀬川	12.7	堤川	31.7	後長根川	23.2
赤石川	13.8	駒込川	20.4	相馬川	14.0
中村川	18.5	六枚橋川	34.2	盛田川	11.7
山田川	17.2	瀬戸子川	39.5	野辺地川	21.3
ベンセ沼	7.7	浪岡川	23.1	高瀬川	19.0
田光沼	16.8	十川中流	28.4	土場川	25.1
岩木川下流	20.9	浅瀬石川	32.5	作田川	16.5
鳥谷川	27.6	引座川	29.5	砂土路川	23.9
大沢内溜池	20.4	浅井川	31.0	坪川	15.7
藤枝溜池	25.0	六羽川	23.0	奥入瀬川	23.2
金木川	31.9	十川上流	28.0	五戸川	33.8
旧十川	25.6	平川	16.7	浅水川	36.2
飯詰川	33.1	三目内川	12.9	熊原川	26.8
松野木川	29.4	岩木川上流	15.9		
廻堰溜池	9.5	大石川	27.1		

(ウ) 「青天の霹靂」栽培地域以外の地域における算出方法

不足稲体ケイ酸量を30kg/10a（稲わらがすき込まれ、粃のみのケイ酸収奪分を供給することを想定）として算出する。

a 算出に必要な項目

- ・改良目標可給態ケイ酸量 mg/100g
- ・測定可給態ケイ酸量 mg/100g
- ・面積当たりの土の重さ 容積重g/100g×深さ
- ・ケイ酸質肥料の成分量 ケイカルの場合SiO<sub>2</sub> 30%

b 不足可給態ケイ酸の算出法（A）

- ・改良目標値可給態ケイ酸－測定可給態ケイ酸量×面積当たりの土の重さ  
＝不足可給態ケイ酸量kg/10a

c 不足稲体ケイ酸供給量（B）

- ・不足稲体ケイ酸供給量30kg/10a

d 必要ケイ酸量

- ・必要ケイ酸量kg/10a  
＝不足可給態ケイ酸の算出法(A)＋不足稲体ケイ酸供給量(B)
- ・必要ケイ酸量からケイカルへの換算

$$\text{必要ケイ酸量} \times \frac{100}{30} = \text{ケイカルkg/10a} \quad (30\text{はケイカルの成分}\%)$$

(例) 可給態ケイ酸の分析値が12mg/100gの水田土壌(仮比重1.0)の作土10cmを目標値まで改良するために必要なケイ酸量を求める。

- ・不足ケイ酸量=15mg-12mg=3mg
- ・不足可給態ケイ酸量=3mg/100g×1000m<sup>2</sup>×0.1m×1.0=3.0kg/10a
- ・不足稲体ケイ酸供給量=30kg/10a
- ・必要ケイ酸量=3.0kg/10a+30kg/10a=33kg/10a
- ・必要ケイカル量 $33\text{kg}/10\text{a}\times\frac{100}{30}=110\text{kg}/10\text{a}$

## (4) 簡易土壌診断の実施方法

### ア 水田可給態窒素

正規の可給態窒素測定法では、水田土壌を風乾後、30℃で4週間湛水培養して生成した無機態窒素を測定する。

国立研究開発法人農研機構中央農業研究センターが開発した簡易測定法(「水田土壌可給態窒素の簡易・迅速評価マニュアル」[http://www.naro.affrc.go.jp/publicity\\_report/publication/files/narc\\_available\\_N\\_paddy\\_man.pdf](http://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/publication/files/narc_available_N_paddy_man.pdf))では、2日程度の短期間での測定が可能である。

試験研究・分析機関対象、普及指導機関等対象の2種類の測定法がある。

(ア) 絶乾土水振とう抽出法(試験研究・分析機関対象、図9～図11、表30)

#### a 分析手順

##### 【1日目】

- ① 風乾細土4～5gを秤量管又はビーカーに採取する。
- ② 通風乾燥機で105℃、24時間乾熱し、絶乾土にする。
- ③ 2日目、抽出に用いる蒸留水を25℃くらいになるように準備しておく。

##### 【2日目】

- ① 通風乾燥機から取り出した後、デシケーター内に静置し、素手で持てるくらいまで冷却する。やけどに注意する。
- ② 絶乾土3gを50mlポリプロピレン容器に採取する。
- ③ 約25℃の蒸留水50mlを添加する。
- ④ 土塊を無くするため、手で30回(10秒弱)転倒攪拌する。
- ⑤ 室温(25℃目安)で1時間振とうする。
- ⑥ 10%硫酸カリウム液5mlを添加し、手で20回程度軽く攪拌する。
  - ・懸濁を除去するため、少なくとも10分は静置する。
- ⑦ 上澄み液をNo.5Cろ紙でろ過する。

b 測定方法…TOCとCODのいずれかから可給態窒素を算出する。

- ① **【TOC(抽出有機態炭素量)から可給態窒素を算出する方法】**
  - ・TOC測定機器の操作手順に従って測定する。

有機態炭素（TOC）と可給態窒素との関係（図9）は、決定係数が0.86と高いことから、この回帰式（ $y=0.26x-4.41$ ）を用いて抽出・測定したTOCから可給態窒素の値を推定する。

なお、地域ごとに、ほ場の乾湿や土壌の種類に応じた回帰式を求めておけば、より推定精度を高めることができる。

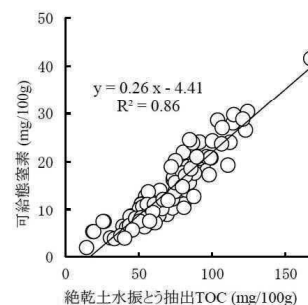


図9 絶対乾土水振とう抽出法によるTOCと可給態窒素の関係

【換算式】

可給態窒素含量(mg/100g乾土)

$$=0.26 \times \text{測定値} \times \text{希釈倍率} \times \frac{(50\text{ml}+5\text{ml})}{1,000} \times \frac{100}{3\text{g}} - 4.41$$

- ・測定値：TOCによる測定値
- ・希釈倍率：抽出液を薄めた倍率（希釈しない場合は1）
- ・50ml+5ml：蒸留水+10%K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>（硫酸カリウム）
- ・3g：絶対乾土

②【COD（化学的酸素消費量）から可給態窒素を算出する方法】

測定したCODと可給態窒素との関係（図10）は、TOCと同様に高い正相関を示していることから、この回帰式（ $y=0.15x-1.9$ ）を用いて可給態窒素の値を推定する。

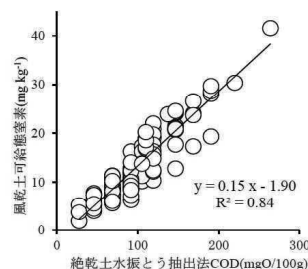


図10 絶対乾土水振とう抽出法によるCODと可給態窒素の関係

【換算式】

可給態窒素含量(mg/100g乾土)

$$=0.15 \times \text{測定値} \times \text{希釈倍率} \times \frac{(50\text{ml}+5\text{ml})}{1,000} \times \frac{100}{3\text{g}} - 1.9$$

- ・測定値：標準色版で読み取った数値
- ・希釈倍率：抽出液を薄めた倍率
- ・50ml+5ml：蒸留水+10%K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>（硫酸カリウム）
- ・3g：絶対乾土

表30 絶乾土振とう抽出法によるCODと  
およその可給態窒素量 (mg/100g)

判定値	抽出液の希釈倍率		
	5倍	8倍	10倍
0	0	0	0
2.5	2	4	5
5	5	9	12
7.5	8	15	19
10	12	20	26
11.5	14	23	30
13	16	27	34

表30は乾土100g当たりの可給態窒素の目安である。

地力増進基本指針による水田の可給態窒素の目標値は、乾土100g当たり窒素として8mg以上20mg以下である。

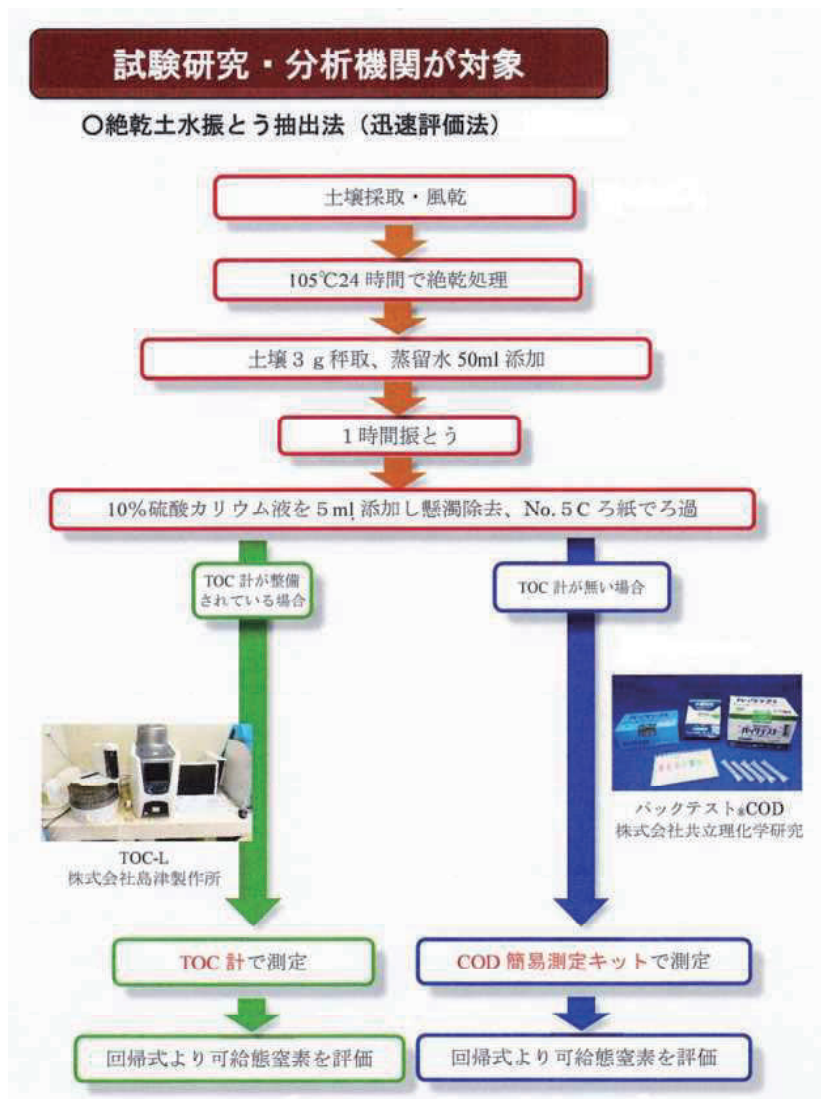


図11 試験研究・分析機関対象フロー図

(イ) 簡易乾熱土水抽出法（普及指導機関等対象、図12～図13、表31）

a 分析手順

【1日目】

- ① 2日目、抽出に用いる蒸留水を25℃くらいになるように準備しておく。

【2日目】

- ① 風乾細土4.0gを秤量管又はビーカーに採取する。



- ② オープンの温度を120℃に設定し、予熱を行う。
  - ・予熱はオープンの機能を使用する。
- ③ サンプルを庫内に静置する。
  - ・熱ムラを抑えるため、一度に処理を行うサンプルは10個程度とする。
- ④ 再度、120℃で予熱を行い、乾熱土にする。
  - (サンプルを入れたことにより庫内温度が下がるため)。
- ⑤ 120℃で2時間乾熱を行う。
- ⑥ オープンから取り出した後、デシケーター内もしくは室内で埃等が入らないようアルミホイル等をかぶせて静置し、素手で持てるくらいまで冷却する。やけどに注意する。
- ⑦ 乾熱土3.0gを50mlポリプロピレン容器に秤取する。
- ⑧ 約25℃の蒸留水を50ml添加する。
- ⑨ 土塊を無くするため、手で30回(10秒弱)反転して攪拌する。
- ⑩ 室温(25℃目安)で1時間振とうする。
- ⑪ 10%硫酸カリウム液5mlを添加し、手で20回程度軽く攪拌する。
  - ・懸濁を除去するため、少なくとも10分は静置する。
- ⑫ 上澄み液をNo.5Cろ紙でろ過する。
- ⑬ 簡易測定キットによるCODの測定

#### b 測定方法

##### 【COD(化学的酸素消費量)から可給態窒素を算出する方法】

(簡易乾熱土水抽出法の場合)

COD測定値と可給態窒素との関係(図12)は、決定係数が0.85と高いことから、この回帰式( $y=0.19x-2.03$ )を用いて可給態窒素の値を推定する。

なお、回帰式は、絶乾土水振とう抽出法と同様に、地域ごとにほ場の乾湿や土壌の種類別に分けて求めておけば、より推定精度を高めることができる。

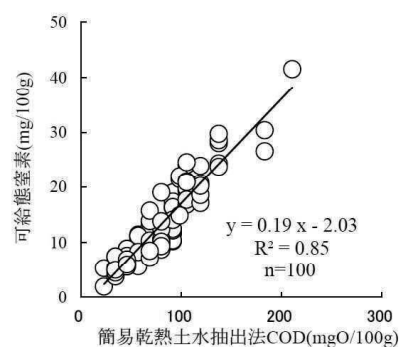


図12 簡易乾熱土水抽出法によるCODと可給態窒素の関係

##### 【換算式】

可給態窒素含量(mg/100g乾土)

$$= 0.19 \times \text{測定値} \times \text{希釈倍率} \times \frac{(50\text{ml}+5\text{ml})}{1,000} \times \frac{100}{3\text{g}} - 2.03$$

- ・測定値：標準色版で読み取った数値
- ・希釈倍率：抽出液を薄めた倍率
- ・50ml+5ml：蒸留水+10%K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>
- ・3g：乾熱土

表31 乾熱土振とう抽出法によるCODとおよその可給態窒素量 (mg/100g)

判定値	抽出液の希釈倍率		
	5倍	8倍	10倍
0	0	0	0
2.5	2	5	7
5	7	12	15
7.5	11	19	24
10	15	26	33
11.5	18	30	38
13	21	34	43



図13 普及指導機関等対象フロー図

## イ 畑土壌可給態窒素

80℃16時間水抽出-COD簡易測定キットによる畑土壌可給態窒素の簡易測定は、農研機構中央農業研究センターで開発された方法で、従来の方法(30℃、4週間培養)よりも短期間で測定が可能である。

### (ア) 測定手順

- ① 風乾細土 3 gを100ml三角フラスコに入れ、フラスコを含む全重 (A) を測定する。別途、土壌の含水率を測定する。
- ② 80℃の蒸留水を50ml注いでアルミ箔でふたをし、攪拌する。
- ③ 80℃に加熱した恒温機で16時間加熱処理する。
- ④ 恒温機から取り出し、室温 (25℃) まで放冷する。三角フラスコの重量 (B) を測定する。(抽出液量 = (B) - (A) )
- ⑤ 10%硫酸カリウム5mlを入れ、振り混ぜる。
- ⑥ No. 5Cのろ紙でろ過する。
- ⑦ ⑥で得たる液を30mlビーカーに 5 mlとる。
- ⑧ 25℃の蒸留水を20ml加える (COD値が10程度になるように希釈倍率を調節する)。※蒸留水を20ml加えた場合の希釈倍率は5倍
- ⑨ パックテストチューブに1.5ml採取し、液温に応じて規定の時間放置する。(液温10℃の場合は6分、液温15℃の場合は5分30秒、液温20℃の場合は5分、液温25℃の場合は4分30秒)
- ⑩ 液温に対応した反応時間後、カラーチャートによりCOD値を測定・記録

### (イ) 計算方法

可給態窒素含量(mg/100g乾土)

$$= \text{測定値} \times \text{希釈倍率} \times \frac{100}{3} \times \frac{\text{抽出液量} + 5}{1000} \times \frac{100}{100 - \text{含水率}} \times 0.034$$

## 4 「施肥なび」を利用した適正施肥

施肥設計支援システム「施肥なび」は、土壌分析に応じた土づくり肥料の施用量、土壌蓄積養分や堆肥に含まれる養分を考慮した肥料の施用量及び肥料費をインターネットを利用して簡単に計算することができるプログラムである（URL <http://www.aomori-itc.or.jp/sehisekkei>）。移植水稻、畑作物、露地野菜の施肥設計を行うことができる。

施肥なびの機能と特徴は、以下のとおりである。

- ① 土壌分析結果に基づく土づくり肥料の施用量を計算できる。
- ② 土壌蓄積養分と堆肥に含まれる養分を考慮した肥料の施用量を計算できる。
- ③ 土づくり肥料、肥料、堆肥の銘柄を登録でき、任意の銘柄で施用量や肥料費を計算できる。堆肥は県内で製造されている24銘柄が初期登録されている。
- ④ 土壌養分の改良程度、肥料成分の投入量の過不足をグラフで確認できる。
- ⑤ グーグルマップを背景にした土壌図を表示し、ほ場の土壌の種類を判別できる。
- ⑥ 処方箋を保存することが可能で、後で閲覧や修正ができる。

① 作目・品種・地域などを選択

② 土壌分析結果を入力

③ 土づくりの改良程度、使用する土づくり肥料を選択

④ 使用する堆肥を選択

⑤ 肥料を選択

⑥ 肥料費

⑦ 土の養分や肥料成分の過不足の程度を視覚的に確認

← 土壌の種類が分からない時

http://www.aomori-itc.or.jp/sehisekkei  
(農林総合研究所HPからもアクセス可能)

図14 施肥なびの処方箋作成画面

## 5 JA全農青森県本部土壌分析センターの概要

### (1) 土壌診断の流れ

JA全農青森県本部では、平成21年度から当センターを運用し、年間約5,000点の土壌診断を実施するなど広域的な診断体制の主体を担っている。また、機械化により、これまで手作業により1週間要していた診断が3日前後に短縮され、早期の診断が実現されている。

作業	内容	区分
土壌採取		手動
受付	<ul style="list-style-type: none"> <li>・土壌サンプルごとに、農家名、所属JA、ほ場名、土質、作物、栽培型の分析項目をパソコンに入力します。</li> <li>・分析作業中には、進捗を確認します。</li> </ul>	手動
前処理作業	<p><b>計量</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・各分析項目に応じた量の土壌を採取します。</li> </ul> <p><b>抽出液注入</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・各分析項目に応じた種類や量の抽出液を、計量済みの土壌に注入します。</li> </ul> <p><b>振とう</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・各分析項目に応じた時間で、振とうします。</li> </ul> <p><b>ろ過</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・分析に必要な量をろ過します。ただし、pHとECはろ過しない。</li> </ul>	自動
	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p><b>自動前処理装置</b></p> </div> <div style="text-align: center;"> <p><b>CEC前処理装置</b></p> <p>・CECとは、土壌が肥料分を保持する力「保肥力」のことを言い、人間の「胃の大きさ」に例えられることがあります。</p> </div> </div>	手動
分析作業	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p><b>PH/ECメータ</b></p> </div> <div style="text-align: center;"> <p><b>原子吸光光度計</b></p> </div> <div style="text-align: center;"> <p><b>自動化学分析装置</b></p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 30%;"> <p>分析項目</p> <p>pH・EC</p> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 30%;"> <p>鉄・銅・マンガン・亜鉛・モリブデン・ホウ素</p> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 30%;"> <p>石灰・苦土・カリ・りん酸・硝酸態窒素・アンモニア態窒素・りん酸吸収係数・CEC・腐植・ケイ酸(水稻のみ)・ホウ素</p> </div> </div>	自動
結果	<p><b>処方せん出力</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・各分析装置からの分析結果データを、オンライン集計します。</li> <li>・分析結果を本会営農指導課へ転送し、各品目担当が処方箋を作成後、各JAへ送付します。</li> <li>・品目別・地域別のデータを集積・管理し、部会や地域全体の良質・安定生産に活用し、農家の所得向上を図っていきます。</li> </ul>	手動

## (2) 土壌分析項目

植物の生育に不可欠な元素である必須元素を中心に、全18項目の土壌分析に対応している。また、必須元素全てを分析する「一般分析」と、必須元素のうち多量要素を中心に分析する「多量分析」の2種類が分析可能となっている。

分析種別	一般分析		多量要素分析		項目の意味
	18項目	17項目	12項目	11項目	
品目	水稻	園芸	水稻	園芸	
pH	○	○	○	○	土壌の酸性又はアルカリ性を判断する指標
EC (電気伝導度)	○	○	○	○	土壌中に肥料が残っているかの指標 (土壌中の水溶性塩類の総量)
石灰	○	○	○	○	作物体を丈夫にし、健全な体をつくる基 となり
苦土	○	○	○	○	光合成に必要不可欠な葉緑素を形成す る
カリ	○	○	○	○	「ぜいたく吸収」する特性があり、石灰・ 苦土の吸収を阻害する
硝酸態窒素	○	○	○	○	作物の殆どがこの窒素形態で根から吸 収する
アンモニア態窒素	○	○	○	○	微生物の働きによって硝酸態窒素に分 解する
りん酸	○	○	○	○	「根張り」や「開花・結実」に関与。土壌 に吸着しやすく、過剰障害がでにくい
りん酸吸収係数	○	○	○	○	値が高いほど、りん酸が土壌に吸着さ れやすく、作物に吸われにくい
腐植	○	○	○	○	土壌に含まれる有機物の量を示す
CEC (陽イオン交換容量)	○	○	○	○	土が肥料を捕まえておく力(保肥力)の 指標
ケイ酸	○		○		稲に必要な不可欠な要素で、いもち病や 倒伏防止、受光体勢の改善
ホウ素	○	○			細胞壁の構造を安定化させる
鉄	○	○			光合成における酵素や葉緑素の形成に 役割を果たす
マンガン	○	○			光合成に関与
銅	○	○			タンパク質構造維持に必要。高pH、り ん酸過剰により亜鉛を吸収しにくい
亜鉛	○	○			光合成の捕捉
モリブデン	○	○			硝酸から亜硝酸への還元酵素

### (3) 土壤診断書

土壤診断書は、土壤分析により明らかになった成分の過不足を項目毎に記載している。また、分析結果から肥料設計や土壤改良材の投入量をその地域で使用されている肥料や土壤改良材の銘柄を基に提案している。

## 土壤診断書の見方

分析区分	肥分析	基準値に対して分析値が低いか、適正か高いか	分析月日	2015/4/22			
分析項目	基準値		分析値	過不足	改善値	判定	コメント
	最低	最高					
PH (H <sub>2</sub> O)	6.0	~ 6.5	↓ 5.34		6.03	低い	PHが低いので石灰資材を通常より多めに施用し矯正してください。
CEC (me)	20.0	~ 20.0	→ 22		22.1	適性	...
EC (ms/cm)	0.3	~ 0.7	0.20		0.20		...
石灰 (mg/100g)	309	~ 371	↓ 207.9	-53	261	不足	石灰資材(苦土タンカル、M-10等)は通常どおり施用して下さい。
苦土 (mg/100g)	66	~ 88	↓ 27.0	-26	53	不足	苦土が少ないので重点的に補給してください。
加里 (mg/100g)	31	~ 62	↓ 52.1	6	46	適正範囲	加里成分が多いので、堆肥等養分の多い資材の多投入は控えてください。
有効態磷酸 (mg/100g)	30	~ 80	↑ 113.9	29	80	過剰	磷酸が過剰傾向です。Fe・Zn・Mnの欠乏を誘発するので注意が必要です。深耕につとめ、投入量を通常より減らしてください。
硝酸態窒素 (mg/100g)	0.7	~ 3.5	4.2			-	元肥は通常通り施用してください。
アンモニア態窒素 (mg/100g)	0.3	~ 1.5	1.7			-	
りん酸吸収係数	900	~ 1200	594			固定力低い	
腐植 (%)	3	%以上	6.3			富む	
石灰苦土当量比	3	~ 6	→ 5.5		3.5	適正範囲	
苦土加里当量比	2	~ 4	↓ 1.2		2.7	不足	
<b>塩基バランス</b>		基準値	分析値		改善値		
塩基飽和度	65.0	~ 80.0	↓ 44.7		58.6	不足	
石灰飽和度	50.0	~ 60.0	↓ 33.6		42.2	不足	石灰資材の施用量が多いため長期間で改良してください。
苦土飽和度	15.0	~ 20.0	↓ 6.1		12.0	不足	
加里飽和度	3.0	~ 6.0	6.1				
<b>微量元素(ppm)</b>		基準値(参考値)	分析値		改善値		
ホウ素 (B)	0.7	~ 2.5	0.7				不足は控えましょう。
マンガン (Mn)	7	~ 20	38.5	31.5	7.0		
銅 (Cu)	1	~ 3.5	1.4	0.4	1.0		
亜鉛 (Zn)	10	~ 40	23.7	13.7	10.0		
鉄 (Fe)	15	~ 100	36.5	21.5	15.0		
モリブデン (Mo)	0.5	~ 1	0.0	-0.5	0.5		
物理性	サブソイラー等で深耕、耕盤を破壊し、物理性の改善(保水・排水対策)をしてください。						

矢印の意味

→ 適正(やや低い・やや高い)

↑ 高い

↓ 低い

昨年の生育状況などを勘案し、「過剰」と判断された場合、一度に無施用とするのではなく、半減など減らしましょう。

#### 施肥設計案(10a)

<b>【基準基肥肥料】</b>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>施用量</th> <th>施用袋数</th> </tr> <tr> <td>100kg</td> <td>5袋</td> </tr> <tr> <td>...</td> <td>袋</td> </tr> <tr> <td>...</td> <td>袋</td> </tr> </table>	施用量	施用袋数	100kg	5袋	...	袋	...	袋	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="3">成分量(kg)</th> </tr> <tr> <th>窒素</th> <th>リン酸</th> <th>カリ</th> </tr> <tr> <td>10</td> <td>6</td> <td>8</td> </tr> </table>	成分量(kg)			窒素	リン酸	カリ	10	6	8
施用量	施用袋数																		
100kg	5袋																		
...	袋																		
...	袋																		
成分量(kg)																			
窒素	リン酸	カリ																	
10	6	8																	
<b>【分析結果に基づく施肥設計】</b>																			

基肥1	基肥2	石灰資材	苦土資材	加里資材	磷酸資材	
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> </div> <p style="text-align: center; color: green;">水稲・果樹は概ね改良深度10cm 野菜類は改良深度15cm</p>						
<b>【土壤改良資材投入量】</b>		<b>改良深度</b>				
	資材名	10cm	15cm			成分量(kg)
石灰	M-10	160kg	240kg	石灰	苦土	カリ
苦土	ハイ苦土40	30kg	50kg	0	10	0
加里	硫加	0kg	0kg	0	0	0
磷酸	過磷酸石灰 粒	0kg	0kg	0	0	0
				計	53	26

