

ほどほどに含んだ壤土が生育に理想

良い土とは「物理性・化学性・生物性が整った三位一体の土」と表現されることが多い。三位の中で最も大切な土壌物理性を大きく支配する要因が砂と粘土の割合で、土壌学では土性と呼ぶ。土の性質を大きく支配する性質という意味だ。砂が多い土では透水性（水はけ）や通気性は良いが、保水性（水もち）や保肥力（肥えもち）が悪くなり、粘土が多い土では逆の性質を示す。作物を栽培するための理想的な土壌とは砂と粘土をほどほどに含んだ壤土と呼ばれる土である。この土はプラウやロータリーの刃に付着しにくいので、耕うんにも都合がよい。土性を簡単に調べるには、写真のように親指と人差し指の間に少量の土を取り、擦

り合わせる。土が乾いている場合には土を少量の水で湿らすとよい。ツルツルしてほとんど砂のザラつきを感じない土が埴土（しよくど）（C）、逆にザラザラして粘土のなめらかさを感じない土が砂土（S）、ツルツルの中にザラザラを感じるツルザラ土が最良土壌の壤土（L）だ。土性をもう少し細かく分けると、ツルツルの中に少しだけザラザラを感じるチョイザラが

埴壤土（CL）、ザラザラの中に少しだけツルツルを感じるチョイツルが砂壤土（SL）の5区分となる。なお、土壌学では砂と粘土含有量により12の土性に区分するが、実用的には上記のような3あるいは5区分で十分だ。

砂が多い土では、砂粒子間にできるすき間が広くなる。一方、粒径の小さな粘土では狭いすき間となる。土の中に雨水や灌漑水がしみ込んでくると、表面張力により狭いすき間には水がたまるが、広いすき間に入



親指と人差し指の間に擦り合わせることで土性を調べられる

った水は重力により下層に流れ去る。しかし、その後には地表から新鮮な空気が入ってくる。砂と粘土が適度に混ざった土は水もちと水はけのよい作物生育に好都合な土となる。

有機物施用と耕運で大きさ多様に

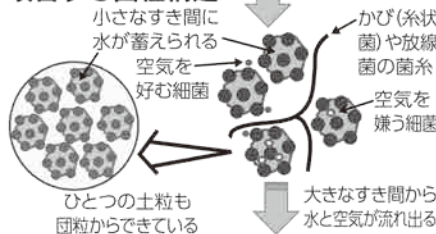
容量100ccの円筒を畑の表面に打ち込んで土の構造を壊さないように土を採取し、重さを量ってみるとおよそ100g前後となる。土の密度は通常、1cc当たり1g前後で、黒ボク土のような軽い土では0.7g/1cc程度になることもある。水の密度が1g/1ccであるので、黒ボク土は水より軽いことになるが、水中に放り込めば土の粒子は沈んでしまう。その理由は、土の中に多くのすき間が存在するためで、その割合（孔隙率）はおおよそ半分、密度の小さな黒ボク土では60〜70%に達する。このすき間の中に水と空気が含まれていて、雨が降ればすき間の多くが水で占められる。天気が回復すれば、水が減り空気の占める割合

が多くなるが、小さなすき間に水が蓄えられるので、しばらく雨が降らなくても植物が枯死することはない。土のすき間には水と空気が含まれているが、このすき間が土壌動物や微生物の住み家となっている。畑の土を拡大するときさまざまな大きさのすき間があることがわかる。ひとつに見える土壌粒子も小さな粒の塊からできていて、これ

を団粒構造という。団粒構造が発達している土ほどすき間が増える。団粒の中には小さなすき間、団粒間には大きなすき間ができて大きさに多様性を持たせることで、水はけと水持ちを両立させられ、土の中の生物多様性にもつながる。

団粒構造を発達させるにはどうすればよいだろう。団粒とは土の粒子どうしがくっついた構造であるので、土の中で「のり」を作ればよい。のりには有機質と無機質がある。前者は施用した有機物を土壌動物と微生物が分解する時にでき、後者は土を適度に乾燥したり湿らせたりすることによる無機成分の形態変化により生成する。適度な有機物施用と耕運が団粒構造の発達に役立つ。

土の物理性と生物性を改善する団粒構造



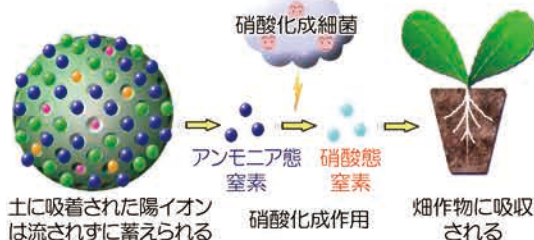
の発達に役立つ。

粘土や腐植と微生物のコラボで

土の主な成分は砂と粘土、それに腐植であるが、粘土の中には含まれる粘土鉱物と腐植には養分を蓄える保肥力（肥持ち）が備わっている。作物を栽培するために施した肥料は、化学肥料でも有機質肥料でも土壌微生物の働きでイオンとなって根から吸収される。イオンは水に溶けるため、雨や灌水により下層に流れてしまいが、それらを捕まえて逃がさず、効率よく作物に供給する性質が保肥力であり、いわば土の胃袋だ。ただし、袋の中に食べ物を蓄える人の胃袋とは違い、表面にイオンを電気的に吸着することで養分を蓄える。

イオンには、アンモニウムイオン（アンモニウムイオン）、カルシウムイオン、マグネシウムイオン、カリ

畑での窒素供給メカニズム



ウムイオンのように陽電荷を帯びた陽イオンと硝酸態窒素（硝酸イオン）、リン酸イオン、硫酸イオンのように陰電荷を帯びた陰イオンがある。粘土鉱物と腐植の表面には陽電荷と陰電荷の両方が備わっているが、陰電荷が圧倒的に多いため、陰イオンより陽イオン

の方が蓄えられやすい。

窒素は作物にとって最も重要な養分であるが、畑作物は主に硝酸態窒素、水稲はアンモニウム態窒素を好んで吸収する。日本のように雨量の多い地域で、畑に硝酸態窒素を含む肥料を施用すると土に蓄えられずに下層に流れてしまうため、あえて畑作物が好まないアンモニウム態窒素を含む肥料を施すわけだ。

しかし、土の中には素晴らしい仕組みが整っていて、土に蓄えられたアンモニウム態窒素が土の中の細菌（硝酸化成細菌）の働きで硝酸態窒素に変化して、畑作物に吸収される。畑では土の保肥力を担う粘土鉱物や腐植と土壌微生物のコラボで窒素が効率よく作物に供給されるII図。

土の酸性改良で保肥力アップ

表面に電荷を持つ粒子をコロイドというが、土の保肥力を担っている粘土鉱物と腐植もコロイドのひとつだ。通常、土のコロイド表面には陰電荷が備わっているため、それらに土の中の陽イオンが吸着されて電荷のバランスを保っている。

土のコロイドが持つ陰電荷が多いほど、たくさんの陽イオンを吸着することができ、保肥力の大小が決まる。粘土鉱物の中でモンモリロナイトのような2:1型粘土鉱物と腐植は数多くの陰電荷を持つのに対して、ハロイサイトのような1:1型とアロフェンは陰電荷が少ない。このような保肥力の大小を知るための土壌診断分析項目が陽イオン交換容量(CEC)だ。大量のモンモリロナイト

と腐植を含むチェルノーゼムは30〜50と土では最大級のCECを持つ。それに対して、日本に分布する水田の土では15〜20にすぎない。一方、畑土壌の約半分を占める黒ボク土ではチェルノーゼムに匹敵するCECを示すことも少なくない。チェルノーゼムと黒ボク土、CECから見れば同等の保肥力の大きさである

が、保肥力には大小の他に強弱がある。

土の保肥力(CEC)は

人の胃袋にたとえられるが、鉄粉を吸い付ける磁石と考えてもわかりやすい。

磁石には永久磁石と電磁石がある。前者は常に同じ強い磁力を持つが、電磁石は流す電流の大ききで磁力の強弱が変化する。土のコロイドには、このような永久磁石と電磁石があり、モンモリロナイトは強力な永久磁石と電磁石の両方を持つが、ハロイサイトやアロフェンそれに腐植には電磁石しかない。土の電磁石は永久磁石より吸着力が弱く、さらにpHが下がると陰電荷数も減ってしまう。すなわち、土の酸性改良は保肥力を大きくすることにもつながる。

土の永久磁石と電磁石



土にしみ込む雨が酸性化をもたらす

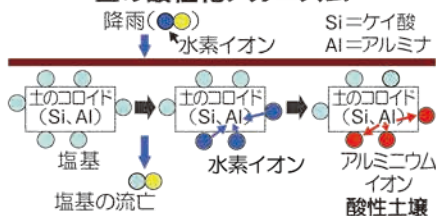
日本の土はほとんどが酸性を示すが、その張本人は雨だ。ただし、酸性雨がその原因というわけではなく、全く汚染されていない雨でも土が酸性化する。酸性・中性・アルカリ性の指標としてpHがある。7が中性、それ以下では酸性、7以上ではアルカリ性となるが、雨のpHはおよそ5・5だ。その原因は雨の中に大気中の二酸化炭素が溶け込んでいるためで、雨はごくうすい炭酸水である。

土の酸性には土のコロイドに吸着されている陽イオンの種類が影響する。出来たての土にはカルシウムイオン（石灰）、マグネシウムイオン（苦土）、カリウムイオン（カリ）などアルカリ（塩基）性を示す陽イオンが吸着されているため

アルカリ性を示すが、そこに雨が降ると土のコロイド表面で陽イオンの争奪戦が始まる。pH5・5の雨水にはごく少量だが、水素イオンが含まれていて、それが土の中に浸入してくる。水素イオンは小さくすばやいのので、土のコロイドに吸着されている陽イオンを押し替えて入れ替わってしまう。このような現象を陽イオン交換反応といい、土の

アルカリ性を示すが、そこに雨が降ると土のコロイド表面で陽イオンの争奪戦が始まる。pH5・5の雨水にはごく少量だが、水素イオンが含まれていて、それが土の中に浸入してくる。水素イオンは小さくすばやいのので、土のコロイドに吸着されている陽イオンを押し替えて入れ替わってしまう。このような現象を陽イオン交換反応といい、土の

土の酸性化メカニズム



中では頻繁に起こっている。水素イオンは酸性を示すイオンであるため、その割合が増えるほど土が酸性化する。

土壌コロイドに吸着されているカルシウムを交換性カルシウムというが、それが水素イオンに追い出されると水溶性カルシウムになり、雨水の浸透に伴い下層に流れてしまう。このような現象を塩基の流亡という。塩基と水素イオンの陽イオン交換反応が進み、土のコロイドに水素イオンがたくさん吸着するようになると、その水素イオンとコロイド中のアルミナが化学反応を起こす。その結果、酸性を示すアルミニウムイオンが溶出して土のコロイドに吸着される。これが、酸性土壌の正体だ。

酸性改良には6.0～6.5が基本

モンスーン気候で雨量が多い日本では土が酸性化する。人の手が加わっていない未耕地の土のpHは5・5前後で、雨のpHにほぼ等しい。そのような酸性でもよく生育する作物が水稻で、日本の風土・気候・土にマッチしているわけだ。一方、ほかの畑作物や野菜などの生育には不向きで、土の酸性改良を行う。その方法は、雨で流亡した石灰や苦土を石灰質資材として補給し、酸性土壌コロイドに吸着している交換性アルミニウムを追い出してやればよい。石灰資材としては苦土カル(苦土石灰)が一般的である。

とすることが基本とされている。

段階にしコマツナを栽培した。その結果、写真のようにpH 6・0と6・5ではよく生育したが、7・2までpHを高めた土では著しく生育が阻害された。この原因は、土のpHが高すぎると、作物の生育に不可欠な微量元素が水に溶けない形態に変化するために生じる微量要素欠乏症である。このような現象は、土のpHが7程度以上になると生じやすい。そのため、土の酸性改良にはpHを6・0～6・5

そのような条件では、土のコロイドの陰電荷の約80%を石灰・苦土・カリなどの塩基性陽イオンが占め、残り20%は酸性を示すアルミニウムイオンとなっている。石灰・苦土・カリは植物の生育に不可欠な多量必須要素で、いわばおいしい食べ物だ。一方、アルミニウムイオンは根の生育を阻害する成分だが、20%程度存在することで土の中の植物生育環境を整えている。おいしい食べ物ばかり食べ過ぎて、胃袋を満杯にしては健康を保てない。土の健康も人と同じで「腹八分目」がよい。土の胃袋(陽イオン交換容量)に占める交換性石灰・苦土・カリの割合を塩基飽和度という。

未耕地から採取したpH 5・5の酸性土壌に苦土カル施用量を加減して、pHを6・0、6・5、7・2の3



苦土カル

苦土石灰を施用した土のpHとコマツナの生育

とすることが基本とされている。

土の塩類濃度を高めない唯一の方法

ハウスで野菜や花を作っていて土の塩類濃度を気にする人は、塩類の正体を食塩、すなわち塩化ナトリウムと思いついて入れていることが多い。それは「迷信」だ。

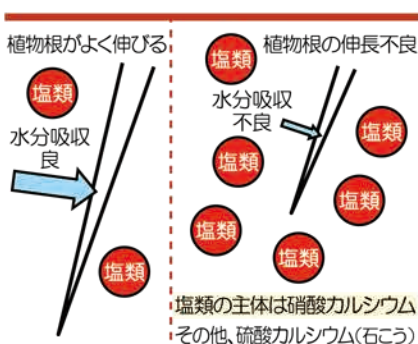
ハウスで野菜や花を作っていて土の塩類濃度を気にする人は、塩類の正体を食塩、すなわち塩化ナトリウムと思いついて入れていることが多い。それは「迷信」だ。

土の中の有機物分解や硝化作用で生成した硝酸カルシウムは水によく溶けるため、露地であれば雨水で下層に移動するが、雨に当たらないハウスでは徐々に集積してしまう。その濃度が適切であれば作物は正常に生育し、他の養分や水分もスムーズに供給されるが、塩類濃度が高まると「青菜に塩」のように根の活力が低下してしまう。この現象が塩類濃度障害である。そこで、土の塩類濃度を把握するための

中近東などの乾燥地域に分布する塩類土壌では塩化ナトリウムが主体だが、日本のハウスの土に最も多く含まれる塩類は硝酸カルシウムという肥料成分で、その由来は肥料や堆肥など有機

物中の窒素である。他にも化学肥料の副成分である硫酸や塩素イオンは土壌中の塩類の一部となる。

ECとは土壌中の塩類濃度と主に窒素肥料残存量を知るためのバロメーターで、施肥直後を除いて0.2~0.5であることが望ましい。1以上では濃度障害を受ける可能性がある。ただし、障害を受ける濃度は作物の種類により著しく異なる。一般に、化学肥料は塩類濃度を高めやすいと思われるが、尿素や硝酸カリウムなど塩素や硫酸イオンを含まないような施肥設計を立てればECの上昇を防止できる。逆に、有機質肥料でもたくさん施用すれば化学肥料以上にECが高まることもある。無駄な肥やしや有機物を入れないことがECを高めない最良かつ唯一の方法だ。

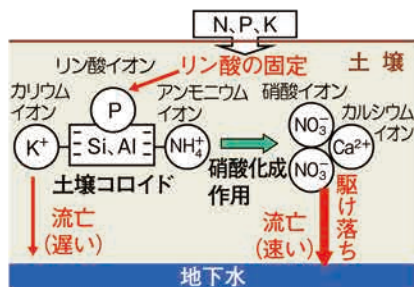


ECが適切な土 (0.2~0.5mS/cm) 土の塩類濃度と電気伝導率(EC)
ECが高すぎる土 (1mS/cm程度以上)

分もスムーズに供給されるが、塩類濃度が高まると「青菜に塩」のように根の活力が低下してしまう。この現象が塩類濃度障害である。そこで、土の塩類濃度を把握するための

過剰施用は根こぶ病などの原因に

未耕地の土にはリン酸が0.2%程度含まれているが、その大部分が有機物やアルミニウムあるいは鉄と結合しているため植物には利用されにくい。一方、植物に有効なリン酸はカルシウムと結合しているリン酸で、有効（可給）態リン酸と呼ばれる。土壌診断分析でリン酸として表示される数値だ。この値が10〜20ミ



土の中の三要素の挙動

／100%以上であれば、作物は正常に生育するが、これを信じないで無駄なリン酸肥料を施用する農家が多い。その根底に日本の土はリン酸が効きにくいという「土づくり迷信」がある。しかし、それは第2次大戦後に未開の原野を農地に變える開拓事業が行われていた頃の名残にすぎない。その頃に誕生した農地もすでに半世紀以上の年月が経過した。

土の中でリン酸は窒素やカリとは異なる動きをする。窒素はアンモニア態や硝酸態窒素になり、残留した硝酸態窒素は雨水で下層に流れてしまう。カリはカリウムイオンとして存在し、土のコロイドに吸着される。作物に吸収されなかつたカリは窒素よりゆっくりとだが、雨で下層へ流される。一方、作物に吸収されなかつたリン酸はすべて土の中にとどまる。砂丘地のような砂質土でない限りは作土から下層への移動もほとんどない。三要素の中では作物の種類にかかわらずリン酸吸収量は窒素とカリより少なく、2分の1〜3分の1以下で、一作当たり5キから多くても10キ／10ア程度だ。すなわち、有効態リン酸が20ミ／100%程度以上の農地ではリン酸施用量を窒素、カリより減らしてもよい。

リン酸が過剰でも作物に過剰症が出にくいといわれてきたが、筆者らの研究で土のリン酸過剰が根こぶ病やフザリウム病害の発生を助長することが明らかになっている。

欠乏すると深刻な生育阻害

微量元素肥料をミネラル肥料と言う人も多いが、ミネラルとは無機物あるいは灰分という意味で有機物に相対する用語である。したがって、ミネラル肥料とは無機質肥料すなわち化学肥料という意味になる。植物を燃やした後に残る白い灰がミネラルで、その中には

微量元素(カリ・リン酸・石灰・苦土・硫黄)と微量元素(鉄・マンガン・亜鉛・銅・ニッケル・塩素・ホウ素・モリブデン)が含まれる。植物に含まれる微量

要素含有量は乾燥物当たり0.01%程度以下にすぎないが、植物生育には不可欠な成分だ。欠乏すれば深刻な生育阻害を受けるが、多すぎても過剰症が出る。一般にわが国の未耕地土壌中の微量元素含有量は低く、第2次大戦後の開拓地では畑作物に亜鉛や銅欠乏などが多発した。一方、現代版微量元素欠乏は土に十分な量が含まれているにも関わらず、植物に吸収されない現象である。石灰資材の過剰施用で土のpHが高ま

りすぎると、微量元素が不溶化して、鉄、マンガン、ホウ素欠乏症などが生じやすい。亜鉛はリン酸と結合しても不溶化するので、リン酸過剰畑やハウスでは亜鉛欠乏が出ることもある。野菜や果樹にマンガン過剰症が起こることも多い。その主な原因は、土の酸性化と排水不良による還元化である。前者はミカンなどの果樹に、後者は転作田での野菜に発生しやすい。ホウ素は欠乏症が出やすい半面、多めに施用すると過剰障害をもたらしやすい、やっかいな微量元素である。



プリムラの鉄欠乏症
(写真：渡辺和彦)



レタスのホウ素過剰症

微量元素対策には、微量元素肥料の施用より、土壌物理性とpHや有効(可給)態リン酸など土壌化学性を適正に整えることが最も大切である。

多様な生物のバランス

「土は生きている」とよく言われる。確かにすばらしい表現で、土の不思議さ・神秘さを感じる。また、少量の土を密閉できる容器に入れ、一定時間後に容器内の空気を分析してみると、酸素が減り二酸化炭素が増加する。まさに、土が呼吸をしているわけで「土壤呼吸」が土壌学の専門用語にもなっている。この土壤呼吸量を測定することにより、土壌中の微生物活



土壌中に生息する中型動物

性が評価できるためである。しかし、そのような現象は当然土の中に生息する動物や微生物の呼吸に伴うもので、土が生きているというわけではない。科学的に表現すれば「土は生物を育む環境」ということになるだろう。

土の中には種類や大きさの異なるさまざまな動物が生息していて、土壤動物学という専門の学問分野もある。土壤動物の分類法にはさまざまあるが、体の大きさで分けることが最も実用的でわかりやすい。モグラやミミズなどの巨形動物、ムカデやダンゴムシのような大型動物、トビムシやダニのような中型動物、アメーバやワムシのような小型動物（原生動物）までバラエティに富んでいる。原生動物の中には葉緑素を持ち、動物と植物の区別が難しいミドリムシ（ユーグレナ）なども含まれるが、それ以外の土壤動物は有機物を摂取する。土に施された有機物を巨形動物のミミズが食べると、その80%を粒状の糞土として排出する。

それを大形動物が食べ、その糞を中形動物が食べることに、土の中の食物連鎖が起こり有機物が分解・細断されて、次の微生物分解に引き継がれる。

アマチュアの園芸愛好家には、ミミズがたくさんいるほどよい土と思っている人も多いが、ミミズが増えるとモグラがきて畑をトンネルだらけにしてしまう。多種多様な生物がバランスよく生息する生物多様性がよい土の条件の一つだ。