



土と施肥の基礎知識

その 7

土の水はけと水もち

東京農業大学 名誉教授 後藤 逸男
全国土の会 会長



1950年生まれ。東京農業大学大学院修士課程を修了後、同大学の助手を経て95年より教授に就任し、2015年3月まで教鞭を執る。土壌学および肥料学を専門分野とし、農業生産現場に密着した実践的土壌学を目指す。89年に農家のための土と肥料の研究会「全国土の会」を立ち上げ、野菜・花き生産地の土壌診断と施肥改善対策の普及に尽力し続けている。現在は東京農業大学名誉教授、全国土の会会長。

表1：指の触感による土性判定

土 性	指の感触	水もち	水はけ
さど 砂土(S)	ザラザラ	×	○
さじょうど 砂壤土(SL)	チョイツル	△	○
じょうど 壤土(L)	ツルザラ	○	○
しよくじょうど 埴壤土(CL)	チョイザラ	○	△
しよくど 埴土(C)	ツルツル	○	×

1. 物理性のよい土

よい土とは、「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。そこで、今回から土の物理性・化学性・生物性について解説しよう。それらのなかでは物理性が最も大切で、土の物理性のよい土とは、水はけと水もちのよい土である。

砂の多い土は水はけがよく、粘土の多い土は水もちがよいので、砂と粘土が適度に混ざった土が最善である。砂と粘土をほどほどに含んだ土を壤土、砂が多い土を砂土、逆に粘土が多い土を埴土という。これらの砂土・壤土・埴土は土性と呼ばれ、土壌中に含まれる砂と粘土の割合によって分類される。土性とは、まさ

に土の性質を大きく支配する性質という意味である。

この土性を判定するには、湿らせた少量の土を親指と人差し指の間でこねてみる方法がある。ザラザラであれば砂土(S)、ツルツルであれば埴土(C)、その中間のツルザラであれば壤土(L)ということになる。ちなみに、ほとんどザラザラであるが、少しツルツルを感じるチョイツルを砂壤土(SL)、逆にほとんどツルツルだが少しだけザラつくチョイザラを埴壤土(CL)という(表1)。

土壌学では砂と粘土含有量により12の土性に区分されるが、現場での土性判定には上記のような3区分、あるいは5区分で十分だ。

2. すき間の大きさで

水はけと水もちが決まる

砂が多いと水はけがよく、粘土が多いと水もちがよいのはなぜだろうか。砂の粒子は直径0.002~0.2mmと大きく、粘土の粒径はそれより小さい。そのために砂が多い土では、砂粒子の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。このような土のなかにできるすき間の大きさが違うことにより、水はけと水もちが決まる。

図1：土壌粒子のすき間の大きさと水の挙動の相違

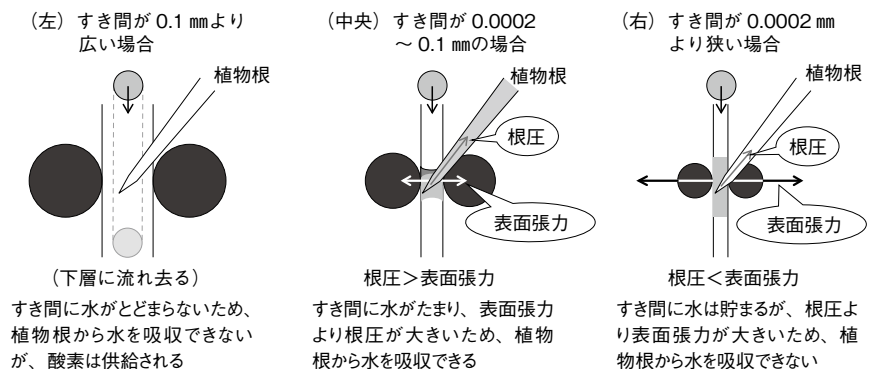


図1のように土壌粒子のすき間の真ん中に水が入ってくると、その水は下に落ちようとする重力と両方の粒子から引く張られる表面張力を受ける。つまりすき間の大きさが違うことで、水の流れ方は変わってくる。表面張力はすき間が狭いほど大きくなるので、ある一定の間隔より小さいすき間では水が土壌粒子の間にとどまり、それよりすき間が広くなる



土と施肥の基礎知識

その 8

土の化学性① pH と電気伝導率

東京農業大学 名誉教授
全国土の会 会長

後藤 逸男



1950年生まれ。東京農業大学大学院修士課程を修了後、同大学の助手を経て95年より教授に就任し、2015年3月まで教鞭を執る。土壌学および肥料学を専門分野とし、農業生産現場に密着した実践的土壌学を目指す。89年に農家のための土と肥料の研究会「全国土の会」を立ち上げ、野菜・花き生産地の土壌診断と施肥改善対策の普及に尽力し続けている。現在は東京農業大学名誉教授、全国土の会会長。

1. 土の化学性は目に見えない

土の物理性がよい土とは、団粒構造が発達し、下層への水はけが適度な土である。そのような状態は、圃場に穴を掘って下層の緻密さを調べたり、作土を手にとって観察したりすれば、誰でも簡単に判断することができる。しかし、土の化学性の良し悪しはそうはいかない。そこが目には見えない化学性の厄介なところだ。

土の化学性とは、pH、塩類濃度、作物の生育に不可欠な養分（必須要素）の多少で、土壌分析により明らかにする土の性質である。

ただし、土がなくても、それらの生育に必要な環境を整えば、作物を栽培することができる。その事例が植物工場である。植物工場では基本的に養液栽培なので、作物の栽培期間中に、土の代わりに養分を水に溶かして供給し続けることで作物が育つ。

それに対して、土耕栽培では、播種や植え付け前に施用する基肥が基本で、必要に応じて追肥を補給すればよい。なぜなら、土には養分を蓄える保肥力（肥もち）が備わっているからだ。この保肥力も、土の化学性のなかで重要な項目のひとつである。

2. 人の臓器や健康診断項目に例えるとわかりやすい

人が健康に暮らすには年に一度の健康診断が不可欠といわれるように、土の健康を保つためのツールに土壌診断がある。土の化学性も土壌診断の分析項目に該当する。先に述べたpHや電気伝導率（EC）で示される塩類濃度、保肥力の大小を表す陽イオン交換容量（CEC）をはじめ、分析項目が多く、しかもそれぞれに数値を伴うため、診断結果がわかりにくいという人も多い。しかし、それぞれの分析項目を人の健康診断項目、あるいは臓器に例えるとわかりやすい。

たとえば、pHは土の酸性・中性・アルカリ性を調べる項目であるが、体温測定と考えればよい。体調不良で病院に行けば、まず体温を測定する。それと同じように、土の健康を調べる際に真っ先にpHを測定することが多いからである。電気伝導率は土の塩類濃度を測定する項目で、まさに土の血圧測定に匹敵する。陽イオン交換容量は土の胃袋だ。以下、土の化学性について主な項目ごとに要点を解説する。

●土の体温（pH）

作物の生育に最も大きく影響する

土壌化学性項目の筆頭がpHである。土に水を加えて懸濁液にした状態でpHメーターや試験紙などで測定する。まさに人の体温と同じように、農家でも簡単に測ることができる。

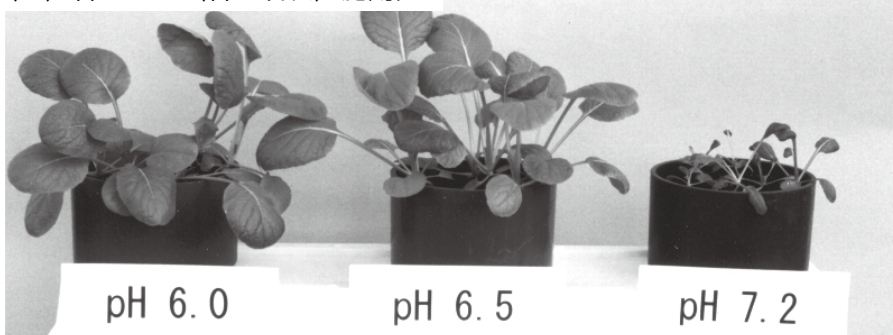
pHとは、液の酸性・中性・アルカリ性を示す数値で、一般的にpHは7が中性、7以下が酸性、7以上がアルカリ性となっているが、土のpHでは6・0～6・5を中性土壌と見なす。その理由は、多くの作物がそのpHの範囲で最もよく生育するためである。

その事例を紹介しよう。栃木県鹿沼市の山林から採取した黒ボク土（黒土）のpHは5・5と低かった。そこで、代表的な土壌酸性改良資材である苦土カル（苦土石灰）を施用して、pHを6・0、6・5、7・2に高めた試験区をつくってコマツナを栽培したところ、写真1（上）のように6・0～6・5ではよく生育したが、7・2では深刻な生育障害を来した。

これは、マンガンやホウ素などの微量元素は土のpHが高まると水に溶けにくい形態になるために生じる微量元素欠乏である。その欠乏が生じないように、土のpHを6・5程度以上に高めることは御法度とされてきた。ただし、最近では転炉スラグを施用して土のpHを7・5程度まで高

写真1：土のpHとコマツナの生育状況の比較

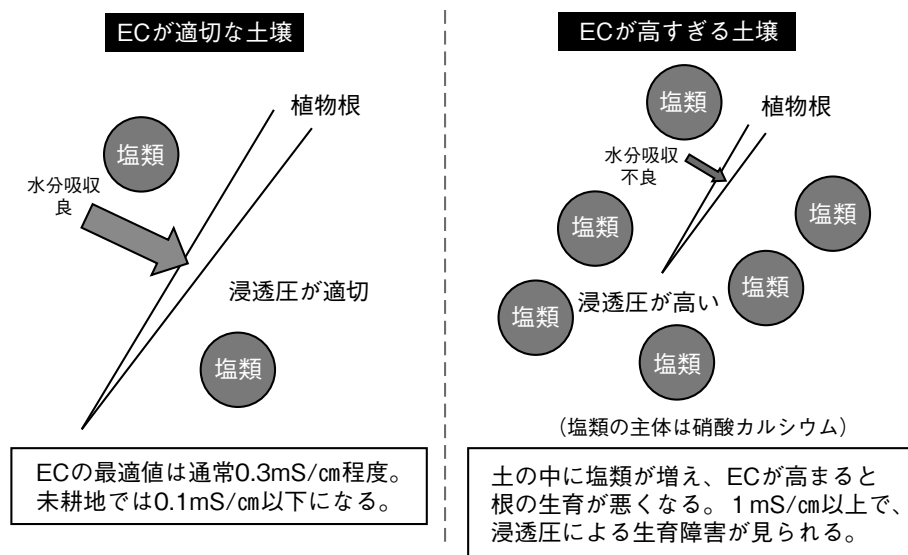
(上) 苦土カル（苦土石灰）施用区



(下) 転炉スラグ施用区



図1：土の電気伝導率（EC）と根の生育



ECの最適値は通常0.3 mS/cm程度で、未耕地なら0.1 mS/cm以下であることも多い。しかし、雨の降らないハウス内などでは、作物の種類により異なるが、通常ECが1 mS/cmより高まると生育に支障が出やすくなる。なお、高糖度トマトなどの栽培では、あえてECを高めて水分ストレスをかけることもある。

ECの最適値は0.3 mS/cm程度で、未耕地なら0.1 mS/cm以下であることも多い。しかし、雨の降らないハウス内などでは、作物の種類により異なるが、通常ECが1 mS/cmより高まると生育に支障が出やすくなる。なお、高糖度トマトなどの栽培では、あえてECを高めて水分ストレスをかけることもある。

●土の血圧（電気伝導率）

人の血圧に、ぴったりと当てはま

め、アブラナ科野菜の根こぶ病やホウレンソウ萎凋病などの土壌病害対策とする新しい技術が普及しつつある。なお、転炉スラグについては、応用編で詳しく解説する。

る土壌診断分析項目がECとも呼ばれる電気伝導率だ。土に水を加えた懸濁液にセンサーを浸し、電気の流れやすさを測定する。土の中に塩類が多く含まれるほど、それらが水に溶けてイオンになるので電気を流しやすくなり、ECが高まる。すなわち、ECとは土の中の塩類濃度を測

定する分析項目である。図1のようにECが高まると土の浸透圧が上昇するので、根からの水分吸収が阻害される。まさに、「青菜に塩」である。ただし、土の塩類とは海浜部の農地を除けば「漬け物の塩（塩化ナトリウム）」ではなく、主に硝酸カルシウムという物質であ

る。肥料や堆肥などとして施用された窒素は、土壌微生物の作用でアンモニア態窒素を経て最終的には硝酸態窒素（硝酸イオン）となる。畑作物はそれらを根から吸収して大きく育つ。硝酸イオンは陰イオンなので、陽イオンのカルシウムイオンがその相手となり、土の中に硝酸カルシウムができる。

硝酸カルシウムは水によく溶けるため、露地の畑では降雨により容易に下層に移動し、最後には地下水に溶け込む。これが溶脱と呼ばれる現象で、わかりやすく例えれば「駆け落ち」である。この溶脱により、露地の畑では施肥直後を除いてECが高まりすぎることはないが、問題は雨が降らないハウス内の土である。

写真1：土のなかの団粒構造

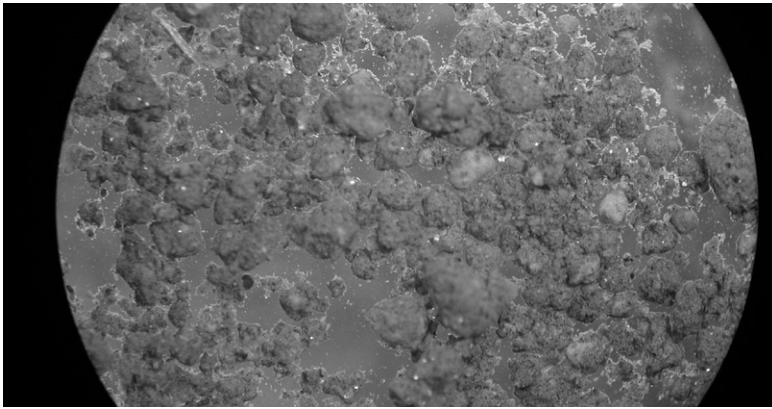
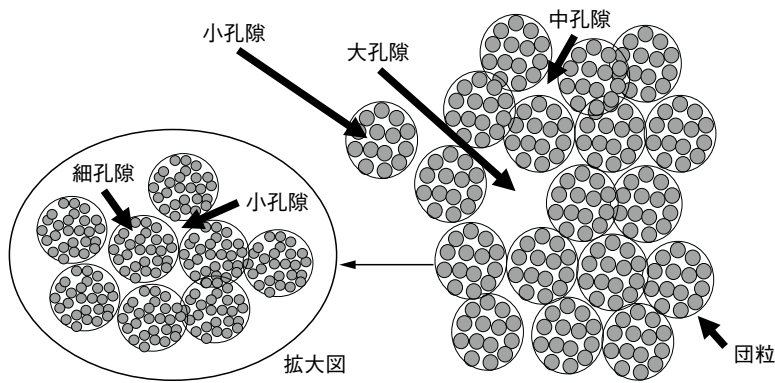


図2：団粒構造のしくみ



と、水はすき間で保たれずに下層に流れ去ってしまう。

植物の根は、この土壤粒子の間に保たれた水を吸収するわけだが、根が水を吸収できるすき間の間隔はどれくらいだろう。植物にも乾燥に強い・弱いがあるため一概には言えないが、その間隔はおおよそ $0.0002 \sim 0.001$ mmとされている。

図1の左のように、すき間の広さが 0.1 mm以上の場合には、土壤粒子のすき間に水がたまらず下層に流

れ去ってしまうので、植物は水を吸収することができない。ただし、水が流れ去った後には、新鮮な空気が入り込むので、根は植物生育に不可欠な酸素を取り込むことができる。

一方、図1の右のようにすき間の間隔が 0.0002 mm以下になると、そこに水があっても根が水を吸い上げる力（根圧）より表面張力のほうが強いので、植物はその水を利用することができない。

図1の中央のように適度なすき間

があると、そこに水が蓄えられ、根から吸収される。

このように、土のなかのすき間の大きさで水はけと水もちが左右され、広さの異なるすき間が存在することで、植物根は水と酸素の両方を吸収できるわけだ。

3. 土のおよそ半分はすき間

容量 100 cm^3 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 100 cm^3 の土を採取し、その重さを測ってみると、おおよそ 100 g 前後となる。すなわち、土の密度は通常 1 g/cm^3 前後で、黒ボク土のような軽い土では 0.7 g/cm^3 程度になることもある。水の密度が 1 g/cm^3 なので、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、土のなかに多くのすき間が存在するためで、その割合（孔隙率）は一般的にはおおよそ半分、密度の小さな黒ボク土ではなんと $60 \sim 70\%$ に達する。

このすき間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。その後、雨がやんで天気が回復すれば、水は流れ去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。このように土のす

き間には水と空気が含まれているが、このすき間は土壤動物や微生物の住み家にもなっている。

4. 水はけと水もちを両立できる団粒構造

畑の土を拡大すると写真1のような構造になっていて、大きささまざまなすき間があることがよくわかる。ひとつのように見える土壤粒子もじつは図2のようにさらに小さな粒の塊からできていて、このような構造を団粒構造という。団粒構造が発達している土ほどすき間が増え、しかも団粒のなかには小さなすき間、団粒間には大きなすき間ができて、その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ることができる。とともに、土のなかでの生物多様性にもつながる。

それでは、団粒構造を発達させるにはどうすればよいだろうか。団粒とは土の粒子同士がくっついた構造であるので、土のなかで「のり」を作ればよい。その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壤動物と微生物が分解する際にでき、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される。すなわち、適度な有機物施用と耕うんが団粒構造の発達に役立つ。



土と施肥の基礎知識

その⑨

土の化学性② CEC (土の胃袋)

東京農業大学 名誉教授
全国土の会 会長

後藤 逸男



1950年生まれ。東京農業大学大学院修士課程を修了後、同大学の助手を経て95年より教授に就任し、2015年3月まで教鞭を執る。土壌学および肥料学を専門分野とし、農業生産現場に密着した実践的土壌学を目指す。89年に農家のための土と肥料の研究会「全国土の会」を立ち上げ、野菜・花き生産地の土壌診断と施肥改善対策の普及に尽力し続けている。現在は東京農業大学名誉教授、全国土の会会長。

1. 土も「腹八分目」が健康

人に胃袋があるように、土にも養分を蓄えるしくみがある。人の胃袋はまさに袋で、その中に食べたものがたまるが、土の場合は少し違う。土の胃袋は陽イオン交換容量（CEC）と呼ばれ、図1のようにその表面がマイナスイオンに帯電しているため、そこに石灰・苦土・カリ・アルミニウムなどの陽イオンが電気的に吸着される。その概念を人の胃袋に例えただけで、実際に袋状のものは存在しない。

土の胃袋の表面に吸着される陽イオンを交換性陽イオンという。そのうち、石灰・苦土・カリを交換性塩基と呼び、土の中では塩基性（アルカリ性）を示す。一方、交換性アルミニウムは酸性を示す陽イオンで、これと交換性塩基と割合により土のpHが左右される。

石灰・苦土・カリは植物の必須要素でもあるが、多くなりすぎると土が塩基性に傾き、微量元素欠乏により作物の生育が阻害される。逆に、交換性アルミニウムが増え、土が酸性に傾くとともに、根の生育を著しく阻害する。

CECに占める交換性塩基の割合（塩基飽和度）が80%程度、交換性アルミニウムが20%程度の状態が

「腹八分目」で、多くの作物が最もよく生育する。そのような状態の土のpHを測定すると6・0～6・5を示すことから、我が国の土壌学ではその範囲の土を中性と見なすことにしている。人と同じように、土も「腹八分目」が健康にいい。なお、土の胃袋を科学的に表現した用語が「土のコロイド」である。

2. 土の胃袋には 大小と強弱がある

土の中でCECの機能を持つ成分は粘土と腐植である。したがって、CECの大きさは土性（砂と粘土の混ざり具合）と腐植含有量、それに粘土の中に含まれる粘土鉱物の種類により決まる。

海岸近くの砂丘地ではCECが5程度以下と小さく、腐植を多量に含む黒ボク土では40以上にも達する。通常、土のCECは15程度以上が最適値とされるが、大きいだけが能ではない。

CECには大小のほかに強弱があり、腐植自体は大きなCECを持つが、塩基類の吸着力は粘土より弱い。粘土は腐植より吸着力は強いが、そのなかでもモンモリロナイトのような2・1型粘土鉱物はCECが100内外と大きく、塩基類の吸着力も強い。モンモリロナイトは世界で最

も肥沃なチェルノーゼムに多く含まれる粘土鉱物で、優良粘土と呼ばれるが、残念ながら日本の土の中にはほとんど含まれていない。日本の土に多く含まれるハロイサイトのような1・1型粘土鉱物のCECは、モンモリロナイトの10分の1程度に過ぎず、吸着力も弱い。

CECの強弱の違いは粘土鉱物の構造に関係する。土の表面にマイナスイオンに帯電する電荷を陰電荷と呼ぶが、これが強力なほど吸着力が大きくなるからだ。

たとえば、図2の2・1型粘土鉱物のように2枚のケイ酸四面体に挟まれたアルミナ八面体層中には強力な陰電荷が発生するが、1・1型粘土鉱物のアルミナ八面体層中には発生しない。どちらの粘土鉱物もトン板を2枚あるいは3枚重ねたような層状構造であるため、必ず端ができる。そのケイ酸四面体層の端には弱い陰電荷が発生する。また、黒ボク土に含まれるアロフェンは球状構造であるため端はないが、その表面に弱い陰電荷が発生する。

CECが強ければ、交換性塩基を強く引きつけるので、雨やかん水などでも流れにくい。逆にCECが弱いと土の胃袋から交換性塩基が外れやすく、作物に利用されずに地下に流れてしまう。交換性塩基が外れた

図1：CECの大きな土と小さな土（土のコロイドの概念図）

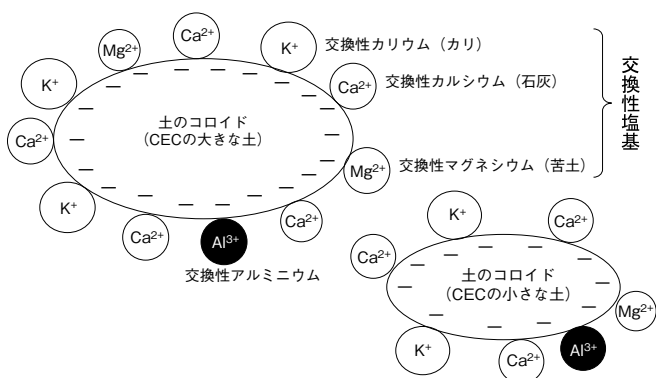
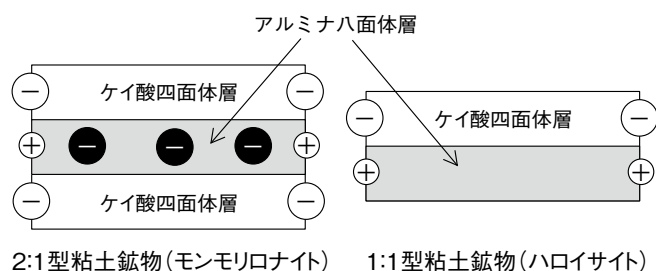


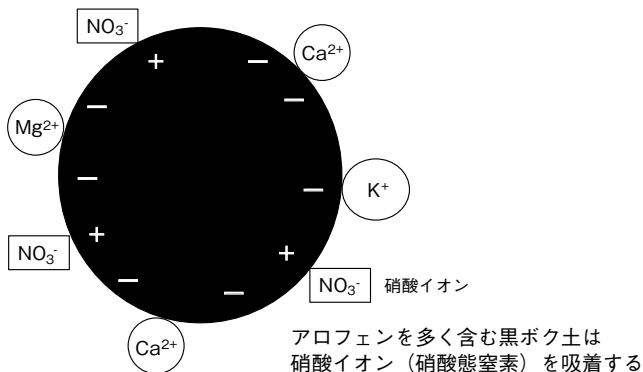
図2：層状粘土鉱物の構造と電荷の種類



●：永久陰電荷 ○：pH依存性陰電荷 ⊕：陽電荷

※陰電荷の周りには交換性陽イオンが吸着される(図示省略)

図3：アロフェンの構造と電荷の種類



アロフェンを多く含む黒ボク土は硝酸イオン（硝酸態窒素）を吸着する

黒ボク土は化学性が悪い土とのイメージが強いが、この点は非黒ボク土に優る。なお、AECに大小はあるが強弱はない。ちなみに、AECが最も大きな土はアロフェンを多く含む鹿沼土だ。鹿沼土は単に保水性に優れるだけの園芸用土ではない。その辺りの話はまたの機会に。

黒ボク土は化学性が悪い土とのイメージが強いが、この点は非黒ボク土に優る。なお、AECに大小はあるが強弱はない。ちなみに、AECが最も大きな土はアロフェンを多く含む鹿沼土だ。鹿沼土は単に保水性に優れるだけの園芸用土ではない。その辺りの話はまたの機会に。

土のpHが酸性に傾くと、作物の根がアルミニウムイオンによる生育障害を受けるため、石灰資材を施用して酸性を改良することが土づくりの

3.日本の土は、酸性になるほどCECが小さくなる

ところには、交換性アルミニウムが入り込むため、土が酸性に傾くことになる。土の胃袋の大きさは、土壌分析によりCECとして測定できるが、強弱は通常の分析では測れない。ただ、日本の土の胃袋の強弱は「中」ないし「小」と見なせばよい。

基本とされている。しかし、酸性の土を改良する理由はもう一つある。じつは、土のCECはpHにより変化する。pHが低下するほど小さくなるのだ。そのメカニズムは少し複雑だが、土のCECを電磁石に例えるとわかりやすい。電磁石のコイルに流す電流を大きくするほど磁力が高まるように、pHが高まれば粘土鉱物や腐植内の陰電荷が増えてCECが大きくなり、pHが下れば陰電荷が減ってCECが小さくなる。土壌学では、このような陰電荷のことをpH依存性陰電荷という。

ルミナ八面体中の陰電荷は、pHによる影響を受けないので、永久陰電荷と呼ばれる。これは通電量によって磁力が変化する電磁石に対して、永久磁石に相当する。pHによりCECが変化する電磁石のような性質は、1・1型粘土鉱物やアロフェンを多く含む日本の土ほど大きいので酸性改良が重要となる。土壌診断で示されるCECはpH7の場合の数値である。たとえば、CECが改善目標値の15であってもpHが5・5であれば、その土の真のCECは15より小さい。なお、CECには単位（meq/100g）がある

4.黒ボク土が持つもう一つの胃袋

土の胃袋にはCECのほかにAEC（陰イオン交換容量）という機能も備わっている。CECは胃袋の陰電荷に陽イオンが吸着されるのに対して、AECでは胃袋の表面がプラスに帯電し、陽電荷が発生する。その陽電荷に硝酸イオン（硝酸態窒素）・塩素イオン・硫酸イオンなどの陰イオンが吸着される。

るが、生産現場では省略することが多い。



土と施肥の基礎知識

その **10**

土の化学性③ 土の酸性

東京農業大学 名誉教授
全国土の会 会長

後藤 逸男



1950年生まれ。東京農業大学大学院修士課程を修了後、同大学の助手を経て95年より教授に就任し、2015年3月まで教鞭を執る。土壌学および肥料学を専門分野とし、農業生産現場に密着した実践的土壌学を目指す。89年に農家のための土と肥料の研究会「全国土の会」を立ち上げ、野菜・花き生産地の土壌診断と施肥改善対策の普及に尽力し続けている。現在は東京農業大学名誉教授、全国土の会会長。

1. 雨が土を酸性にする

日本の年間平均降水量は約1700mmと世界平均の約2倍で、その雨が土を酸性にする。ただし、酸性雨がその原因というわけではない。大気中には約0.04%の二酸化炭素が含まれていて、その一部が雨に溶けるため、まったく大気汚染のない地域でも雨のpHはおよそ5.5で、ごく希薄な水素イオンを含む炭酸水と考えてよい。

前回事述べたように、土の胃袋（コロイド）には石灰・苦土・カリが交換性塩基（陽イオン）として吸着されている。雨水中の水素イオンが土の中にしみ込んでくると、どちらも陽イオンであるため、交換性塩基と水素イオンの間で場所取りのケンカが始まる。水素イオンは図体が小さく、すばしっこいためケンカにめっぽう強い。そのため、交換性塩基がコロイドから外れて、そこに水素イオンが入り込んでしまう。このような土のコロイドでの陽イオンのケンカを陽イオン交換反応という。

水素イオンに追い出された塩基は、土の中で交換性塩基から水溶性塩基に変わり、一部は作物に吸収されるが、それ以外は下層に移動して、やがては地下水に流れ込む。

一方、水素イオンが土のコロイド

に吸着されると、土が酸としての性質を帯びるため、その酸で粘土鉱物中の屋台骨に相当するアルミナ八面体層の一部が崩れてアルミニウムが溶出する。それが土のコロイドに吸着され、交換性アルミニウムイオンとなる。

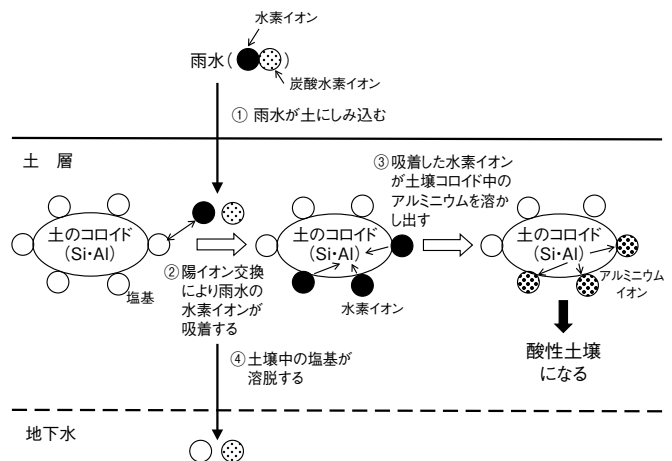
土の中で、このような陽イオン交換反応とアルミニウムイオンの溶出が繰り返されると、交換性塩基が減り、逆に酸性を示す交換性アルミニウムが増えるため、塩基飽和度が徐々に低下して、土が酸性化する。これが図1に示した酸性化のメカニズムである。

2. やせた土と良質な地下水

名水百選でなくとも、日本の地下水は良質といわれるが、その一因は適度な濃度のミネラルが含まれているためだ。ミネラルといえば、何かによい成分のように思いがちだが、日本語では「無機質」あるいは「灰分」といい、有機物を燃やした後に残る灰を意味する。

地下水中のミネラルの主成分はカルシウム・マグネシウム・カリウムイオンなどだ。それらの一部は、土の中で陽イオン交換反応によって水素イオンに追い出された水溶性塩基

図1：未耕地（自然状態）で生じる土壌の酸性化メカニズム

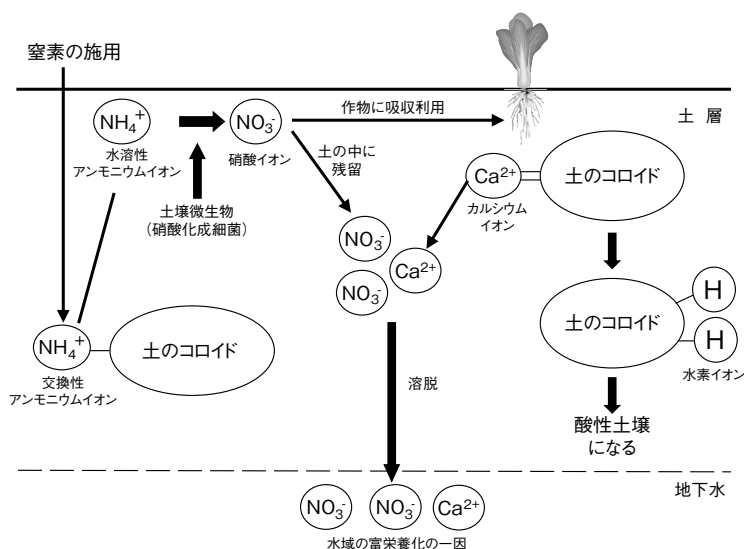


3. 窒素の過剰施用が 土の酸性化を促進する

が、地下水に流れ込んだミネラル類である。すなわち、日本の土は一般にミネラル類が流され酸性化してやせているが、そのミネラルが流れ込んだ地下水は良質で、土と地下水の善し悪しは裏腹の関係にある。

pHの数値自体は0～14までだが、日本の土のpHは特殊な土を除いてほぼ5～8の範囲にある。pHが最も高い土は、山口県の秋吉台や沖縄県の一部などの石灰岩地帯に分布する土などで、7～8のアルカリ性を示す

図2：窒素施用で促進される畑土壌の酸性化メカニズム



硝酸イオンが下層に移動する際には、土のコロイドに吸着されている交換性塩基を誘い出し、お手々をつないで流れ去る。すなわち、駆け落ちのようなものだ。交換性塩基組成は通常、石灰（カルシウ

ム）、苦土（マグネシウム）、カリ（カリウム）の順で多いので、硝酸イオンのお相手は主にカルシウムイオンとなる。窒素を施用してから硝酸イオンとカルシウムイオンが溶脱するまでのメカニズムが図2である。

ただし、それらのすべてが吸収されるわけではなく、とくに野菜畑では収穫後にも硝酸イオンが残留する。陰イオンである硝酸イオンは、土のコロイドに吸着されにくいいため、露地畑では雨水の中に溶け込んで下層に流れてしまう。土の中では陰イオンあるいは陽イオンが単独で存在することはなく、必ず両者のバランスがとれている。人間の世界でも男と女がほぼ同数いるのと同じである。

だ。

4. 窒素の過剰施用は悪循環の始まり

畑で窒素施用を繰り返せば、このようなメカニズムで交換性塩基が一方的に減るので、土のコロイドには土の中に多量存在する水分子から外れた水素イオンが吸着される。その後は未耕地と同じメカニズムにより、土のコロイドからアルミニウムイオンが溶出し、土が酸性化して雨水のpHが低下する。

そこで、野菜や畑作物栽培では苦土石灰などの石灰資材を施用して、

硝酸イオンと駆け落ちした石灰や苦土を補ってpHを6・0～6・5に戻す。これが畑の酸性改良の基本である。一方、茶樹はpH4～5の酸性を好む作物であるため石灰施用量が少なく、また茶葉の品質を高めるため窒素肥料を多く施すので、極端な酸性土壌となる。

また、地下に駆け落ちした硝酸イオンが地下水に流れ込むと、それが水域の富栄養化の一因となる。

このように、無駄に窒素肥料を多用すれば石灰資材も増え、肥料代の浪費ばかりでなく、環境負荷を増す。さらに、窒素肥料のほかにも生理的酸性肥料に分類される塩化カリウム（塩加）や硫酸カリウム（硫加）などの過剰施用も土の酸性化を助長するので、土壌診断分析に基づいた施肥管理を徹底すべきである。

第28回全国土の会九州大会開催のお知らせ

来る11月9日（水）に熊本県熊本市にて第28回全国土の会が開催される。「全国土の会」とは東京農業大学土壌学研究室が全国の農家に呼びかけて、平成元年に結成した「農家のための土と肥料の研究会」である。水稻・露地野菜・施設野菜・果樹・花卉栽培農家や有機農業実践農家など営農・経営形態の異なる全国の農家が年に一度、「健康な土づくり」を合い言葉として全国大会に結集する。参加希望の方は事務局に問い合わせください。

日時：2016年11月9日（水）
（翌10日に現地検討会あり）
場所：ホテルニューオータニ熊本

■問い合わせ先
（株）全国土の会 事務局
TEL & FAX：03-3426-1771
Eメール：soil@nodai.ac.jp
http://tsutinokai.co.jp/soil



土と施肥の基礎知識

その 11

土の化学性④

土の中でのリン酸の挙動

東京農業大学 名誉教授
全国土の会 会長

後藤 逸男



1950年生まれ。東京農業大学大学院修士課程を修了後、同大学の助手を経て95年より教授に就任し、2015年3月まで教鞭を執る。土壌学および肥料学を専門分野とし、農業生産現場に密着した実践的土壌学を目指す。89年に農家のための土と肥料の研究会「全国土の会」を立ち上げ、野菜・花き生産地の土壌診断と施肥改善対策の普及に尽力し続けている。現在は東京農業大学名誉教授、全国土の会会長。

1. 黒ボク土は世界でもまれなリン酸欠乏土壤

我が国の畑地の約半分を占める黒ボク土は、世界最高の土チエルノーゼムに匹敵する良質の腐植をたくさん含む土である。しかし、残念ながらリン酸肥沃度は世界一低いといっても過言ではない。まずは、その原因を説明するために黒ボク土の成り方を簡単に解説しよう。

黒ボク土は火山噴出物（火山灰）を原料（母材）とする特殊な土である。火山灰とは地下のマグマが噴火により空中に吹き上げられ急速に冷やされた非晶質物質（ガラス質）である。その成分は硬い岩石と同じようなケイ酸塩鉱物だが、粒径が細かく表面積が大きいのが特徴だ。厚く堆積した火山灰層に雨が降ると、火山灰中のカルシウムなどの塩基が溶けて、雨水はアルカリ性となる。アルカリ性の雨が火山灰の中に入り込み、ケイ酸塩鉱物の屋台骨であるケイ酸が溶け出して、塩基だけでなくケイ酸までが溶脱される。このような化学反応が長く続くと、火山灰の中から塩基とケイ酸が減少して、相対的にアルミナ（酸化アルミニウム）の含有量が増加し、アロフエンと呼ばれる粘土鉱物を多く含む土ができる。これが黒ボク土である。

こうしてできた土はアルカリ性を示す塩基が徹底的に溶脱されているので、酸性が強いだけではなく、リン酸イオンと化学的に結合して無効化してしまう大量のアルミナを含む。このようなアルミナを活性アルミナと呼び、リン酸を無効化する現象を「リン酸の固定」という。これが黒ボク土のリン酸肥沃度が低い原因である。

なお、黒ボク土の色が黒い原因は、写真1のような黒ボク土の原野で生育するススキから供給される有機物が数千年ともいわれる長い年月を経て腐植化したためとされている。

2. リン酸吸収係数と可給態リン酸

リン酸がらみの土壌診断分析項目には、「リン酸吸収係数」と「可給態（有効態）リン酸」がある。

リン酸吸収係数は、一定濃度のリン酸イオンを含む溶液を一定時間土に反応させて、そのろ液中のリン酸イオン濃度を測定し、土100g当たり何mgのリン酸が吸収固定されるかを調べる。リン酸固定力の大きな黒ボク土では通常1500mg/100g以上の値を示す。この値が大きいほどリン酸肥沃度が低い土であることを表し、黒ボク土の未耕地では2500mg/100g程度に達する

ことも珍しくはない。

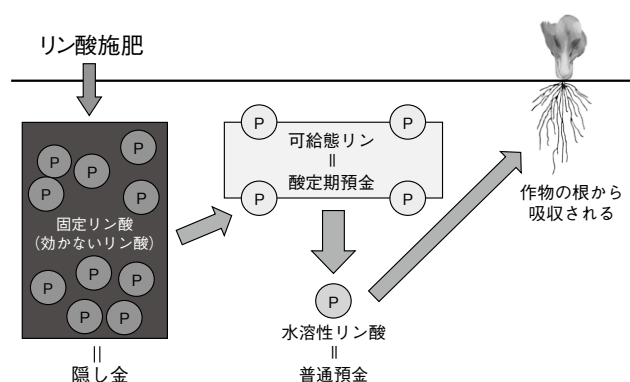
一方、可給態リン酸は作物が利用可能なリン酸量を測定する分析項目で、いくつかの分析方法があるが、トルオーグ法が最も広く用いられている。トルオーグ法は、作物の根から分泌される有機酸を想定して、pH3の希薄な硫酸溶液で土を処理したときに溶出するリン酸を測定する方法で、通常このリン酸が土100g当たり10mg以上あれば作物は正常に生育するとされている。

リン酸吸収係数が2000mg/100g程度以上の土では、可給態リン酸を測定してもほとんど検出され

写真1：ススキが繁茂する黒ボク土の原野（静岡県富士宮市）



図1：土の中のリン酸銀行のしくみ



ない。しかし、リン酸肥料の施用を繰り返すにしたがってリン酸吸収係数が低下し、可給態リン酸が徐々に増えてくる。

3. 土の中の「リン酸銀行」

土の中には活性アルミナのほかに遊離酸化鉄と呼ばれる鉄化合物も存在する。これもリン酸固定に関与する成分である。ただし、量的には活性アルミナのほうが多い。それぞれに固定されたリン酸をアルミニウム型リン酸、鉄型リン酸という。いずれも溶解度が小さいため作物には利用しにくいリン酸である。

一方、可給態リン酸はカルシウム型リン酸と呼ばれる形態で、その一部が水に溶けて水溶性リン酸イオンとして存在し、これが作物の根から吸収される。

リン酸肥料を施用しつづけると、リン酸肥沃度が高まり、土の中には固定リン酸・可給態リン酸・水溶性リン酸という3つの形態のリン酸が共存することになる。これらのリン酸がどのようにして作物に吸収利用されるかを理解するには、土の中に図1のような「リン酸銀行」があると考えるとよい。

銀行口座には、いつでも引き出せる普通預金と、自分のお金ではあるが満期にならないと使えない定期預金がある。可給態リン酸がいわば定期預金で、水溶性リン酸が普通預金だ。実際の銀行預金システムと違うのは、リン酸銀行では普通預金を使うと、減った分が自動的に定期預金から自動的に補填されるので、普通預金は減らない点である。

また、定期預金と普通預金の割合は一定である。一般的には定期預金（可給態リン酸）の10%程度が普通預金（水溶性リン酸）であるが、その比率は土の種類により異なる。黒ボク土のようにリン酸固定力の大きな土では数%10%だが、リン酸が効きやすい低地土では10%20%にも達

する。たとえば、可給態リン酸が50mg/100gの土では、水溶性リン酸が5mg/100g程度存在するといった具合だ。

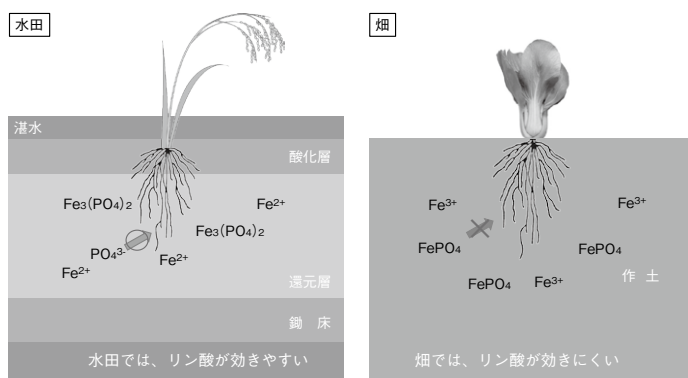
作物の根はまず普通預金である水溶性リン酸を吸収するが、それが減ると可給態リン酸から補填されるので、水溶性リン酸の量は減らない。その結果、一時的に可給態リン酸は減るが、土の中には可給態リン酸の何十倍にもおよぶ大量の固定リン酸が控えていて、その一部から補填される。つまり、固定リン酸は自宅の縁の下に隠した「隠し金」のようなものである。このように、3つの形態のリン酸の間には一定の「化学平衡」が成立している。

従来、リン酸肥沃度の判定にはリン酸吸収係数と可給態リン酸が用いられてきたが、園芸土壌のようにリン酸肥沃度が高まった土ではリン酸吸収係数の測定は不要で、その代わりに水溶性リン酸を必須土壌診断分析項目に加えるべきである。

4. 畑と水田では異なるリン酸肥沃度

固定リン酸のうち、鉄型リン酸は畑と水田で挙動が異なる。鉄は周りの環境により、 Fe^{3+} （三価鉄イオン）か Fe^{2+} （二価鉄イオン）のどちらかで存在する。酸素が十分にある畑の

図2：畑と水田で異なる鉄型リン酸の効き方



作土では、図2のように鉄が Fe^{3+} として存在するのに対して、湛水条件下の水田では Fe^{2+} に変化する。 Fe^{3+} イオンと結合する鉄型リン酸は $FePO_4$ イオンと結合したものより溶解度が高いので、水田では畑よりリン酸が効きやすい。具体的には、畑では可給態リン酸が100mg/100g程度以上ではリン酸肥料の施用効果が著しく低下するが、水田では15mg/100g以上ではリン酸施肥用量を標準量より半減できることが知られている。



土と施肥の基礎知識

その **12**

土の生物性

東京農業大学 名誉教授
全国土の会 会長

後藤 逸男



1950年生まれ。東京農業大学大学院修士課程を修了後、同大学の助手を経て95年より教授に就任し、2015年3月まで教鞭を執る。土壌学および肥料学を専門分野とし、農業生産現場に密着した実践的土壌学を目指す。89年に農家のための土と肥料の研究会「全国土の会」を立ち上げ、野菜・花き生産地の土壌診断と施肥改善対策の普及に尽力し続けている。現在は東京農業大学名誉教授、全国土の会会長。

1. 土は生物を育む環境

「土は生きている」といわれることが多い。確かにすばらしい表現で、土の不思議さや神秘さを感じる。また、少量の土を密閉容器に入れ、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、「土壌呼吸」が土壌学の専門用語にもなっている。この土壌呼吸量を測定することにより評価できるのは土壌中での微生物活性である。つまり、土が呼吸しているといわれる現象は当然、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。

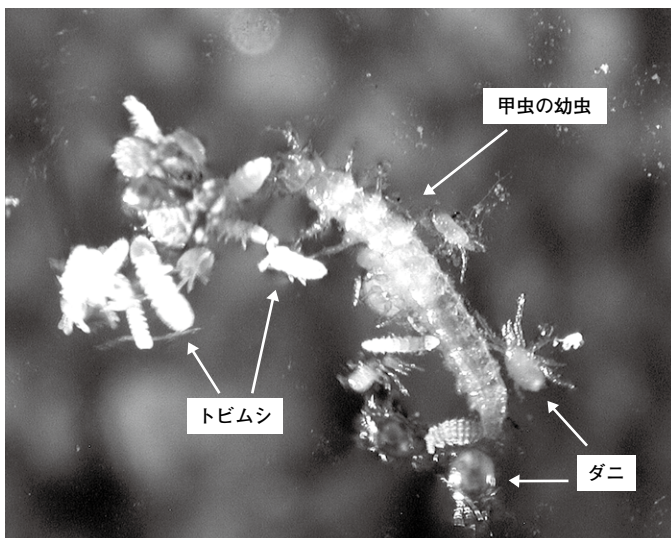
2. 土壌動物の種類と役割

土の中には種類や大きさの異なる動物が生息していて、土壌動物学という専門の学問分野もある。土壌動物の分類法にはさまざまなあるが、表1のように、大きさを分けることが最も実用的でわかりやすい。

表1：体長による土壌動物の分類と種類

分類	最大体長	主な種類
巨形動物	20 mm以上	モグラ、トカゲ、ヘビ、ミミズ
大形動物	2～20 mm	アリ、クモ、ヤスデ、ムカデ、ダンゴムシ
中形動物	0.2～2 mm	トビムシ、ダニ、ネマトーダ
小形動物	0.2 mm以下	アメーバ、鞭毛虫、繊毛虫、ワムシ

写真1：土壌中に生息する中形動物

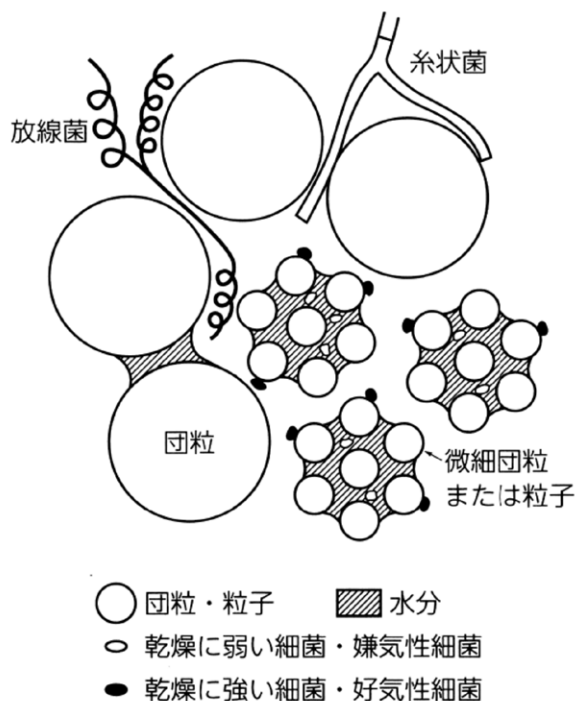


巨形の哺乳動物から小形の原生動物までバラエティに富んでいる。原生動物のなかには葉緑素を持ち、動物と植物の区別が難しいミドリムシ（ユーグレナ）なども含まれるが、それ以外の土壌動物は有機物を摂取する従属栄養である。土に施された有機物を巨形動物のミミズが食べると、その80%を粒状の糞土として排出する。それを大形動物のダンゴムシなどが食べ、その糞を中形動物のダニ（写真1）などが食べることで、より、土の中での食物連鎖が起こり有機物が分解・細断されて、次の微生物分解に引き継がれる。

3. 地力が維持できる水田と消費しやすい畑

土1gの中には、少なくとも1億以上の微生物が生息し、それらは細菌・放線菌・糸状菌・藻類に大別される。そのうちの放線菌は現在では細菌の一種に分類されている。糸状菌とはかびとこのことで、藻類は主に水田に生息する藻の仲間である。土の中で最も数が多い微生物は細菌だが、重さでは糸状菌が全体の70%程度を占める。放線菌と糸状菌は酸素を好む好気性微生物で、有機物を餌とする。しかし、細菌には好気性と

図1：土の団粒構造と土壌微生物の棲み分け



(高井康雄 1977年)

嫌気性、また有機物を餌とするもの
としないものが出て、バラエティに
富んでいる。このような性質の異な
る微生物が同居（棲み分け）できる
環境が土の団粒である（図1）。

土壌動物が細かくほぐした有機物
を糸状菌が分解し、さらに細くな
った有機物を細菌が低分子に分解す
る。酸素に富む畑では、糸状菌が活
発に有機物を分解するが、湛水した
水田では作土に酸素が少なく糸状菌
が生息しにくいので、有機物分解が
進まない。このことが、畑と水田で
は有機物の施用法が異なる理由にな
る。

畑では糸状菌が活発に働くので、
有機質肥料や緑肥などの新鮮有機物

を施用しても、しばらく分解期間を
おいて作付ければ、生育に支障はな
い。一方、水田では糸状菌が十分に
働けないので、有機物が分解しづら
い。そのために、あらかじめ分解さ
せた堆肥を施用するわけだ。農家に
はびこっている「堆肥迷信」ができ
た背景には、このような畑と水田で
の土壌微生物の違いがある。

我が国では、弥生時代から水田で
の稲作が始まり、今日までそれが持
続している。その理由は、糸状菌が
繁殖しにくい水田では有機物分解が
進みにくく、地力を維持しやすいか
らである。しかしながら、畑では糸
状菌の働きが活発なため有機物分解
が促進され、それが腐植の減少と地

力の消耗につながっている。

4. 農作業と土壌微生物のかかわり

普段は気づかないが、さまざまな
農作業に土壌微生物が大きく関与し
ている。畑の酸性を改良するために
石灰資材を施用してpHを高めると、
土の中に無機態窒素が生成される。
糸状菌の多くは酸性土壌を好んで生
息するのに対して、細菌は中性土壌
を好む。そのため、pHが高まると糸
状菌の生息環境は悪化し、一部が死
滅する。

その死菌体を細菌がえさとするこ
とで、死菌体中のタンパク質が分解
してアンモニア態窒素から硝酸態窒
素に変化し、作物に吸収されて生育
が増進する。この現象をアルカリ効
果という。作物生育の面から見ると
プラスの効果であるが、実はそれが
地力の消耗につながる。すなわち、
土壌の酸性改良を行なう場合には、
石灰資材だけではなく、有機物の補
給も不可欠ということだ。

従来、水稲単作地帯では春一番の
農作業として「荒起こし」を行なっ
ていた。水田の作土を反転すること
で、下層に生息していた嫌気性細菌
が空気にさらされて死滅し、好気性
微生物の分解を受けてアンモニア態
窒素が生成される。このような土を

乾かすことで窒素が無機化する現象
を「乾土効果」と呼ぶ。肥料がな
かったころに農家が見いだした生活の
知恵である。

最近では、作物の連作障害を回避
するため薬剤による土壌消毒のほ
か、太陽熱消毒や土壌還元消毒も行
なわれているが、それにより多くの
土壌微生物が死滅する。生き残った
微生物がそれらの死菌体を分解する
際にアンモニア態窒素が生成するの
で、次作の基肥、とくに窒素量を減
らす必要がある。また、土壌消毒は
地力消費作業でもあることを肝に銘
ずるべきだ。

5. 共生菌と土壌病原菌

土壌微生物のなかには悪玉菌とも
いわれる土壌病原菌と、役に立つ共
生菌が共存している。共生菌には、
マメ科植物の根に共生する根粒菌や
水田のアカウキクサの葉に共生して
空中窒素を固定するラン藻などがあ
る。また、多くの植物に共生する菌
根菌は土の中でリン酸の吸収を助け
るなどの役割を果たすが、日本の農
耕地のように肥沃度が高まった畑や
水田では、共生菌の効果を期待する
ことは難しい。

土壌病原菌が引き起こす土壌病害
の発病要因とその対策については応
用編で触れる。