



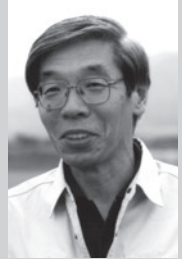
土と施肥の基礎知識

その **13**

土壌診断は穴掘りから

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. 「土づくり」とは

「土づくり」とよくいわれるが、土とは自然が長い時間をかけて作ってきたもので、人の力で作れるような代物ではない。また、人手の加わっていない土では自然の物質循環が成り立っているため、数年や数十年でその性質が大きく変化することはない。しかし、土を農産物生産の場として利用すると、土の中の環境が一変してしまう。耕すと、土の中に酸素が供給されて土壌微生物の活動が活発になり、腐植が分解される。また、農作物を育てるために土壌改良資材を施用すれば土の性質が変わる。さらに肥料の施用と農作物の収穫により土の中の養分量が大きく変化する。すなわち、「土づくり」とは土をつくるということではなく、「土の環境管理」あるいは「土の健康管理」と考えたほうがよい。

2. 根のつもりになって穴を掘る

人の健康管理に健康診断が欠かせないように、土の健康管理には土壌診断が不可欠である。土壌診断とは畑や水田から土を採取して、窒素・リン酸・カリなどの養分量を分析することと思っている人が多いようだが、それは大きな間違いである。最も大切なことは、農家自身が作物の

根のつもりになって、写真1のようにスコップで穴を掘ることだ。

通常、作土は軟らかく根が伸びやすい状態になっている。問題はその下層で、最近の野菜畑では大型トラクターの度重なる走行により緻密化しているケースが目立つ（写真2）。穴を掘り下げるのに額から汗が出るようであれば、作物も根を充分伸ばせず、水はけも悪くなる。そのような場合にはサブソイラーなどによる深耕が有効だ。また穴を掘れば、作土の厚さや団粒化の状態を知ることができる。土の中での根の分布や量、あるいは根腐れやこぶの有無など根の状態を調べることも大切である。

3. 土壌診断分析では

試料の採り方が最重要

作物の生育に影響を及ぼすもうひとつの要因が土壌の化学性だ。穴を掘ればわかる土壌の物理性とは異なり、化学性は土を見たり、触ったり、舌でなめてもpHや養分の量はわからない。そこで必要となるのが土壌診断分析である。

土壌診断分析で重要なのは土壌試料の採り方である。どんなに精密な分析をしても、サンプリング方法が悪ければ誤った情報を得ることになる。穴を掘らずに移植などで土を採ると図1の左のようになりがち

で、これは悪い事例である。正しくは右のように穴の断面に沿って垂直に土を採る。農地の土はたいへん不均一で、たとえ一枚の平らな圃場でもpHや養分量などの化学性も相当ばらつくことが知られている。そこで、分析用の土を採取する場合には1カ所からだけではなく、少なくとも5カ所から同量の土を採取し、バケツなどの中でよく混ぜ合わせることも大切である。

写真2：下層が緻密化した野菜畑

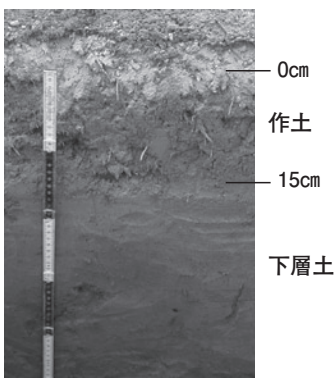
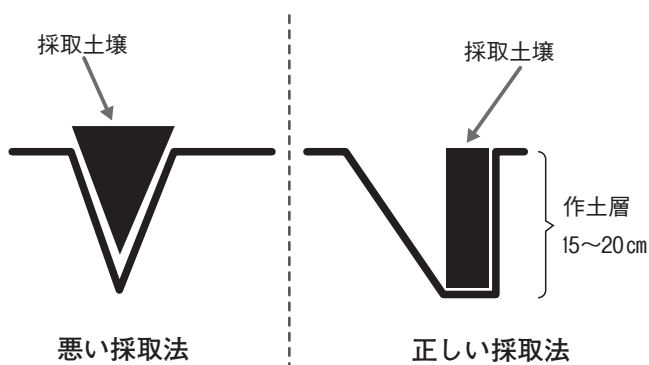


写真1：土壌診断は穴掘りから始まる



図1：土壤診断分析のための土壤試料採取法



土壤診断室での分析では、0・5g程度のごく少量の土を使って分析を行なうことも多い。そのため、分析用試料は乾燥してから軽く粉碎し、ふるいを通して、土を均一に調整してから分析を行なう。土壤診断室によっては予め調整した土の提出を求めることも多いが、より正しい測定値を得るための大切な前処理なので、決して面倒と思つてはいけない。

また、機器による分析を伴うため、結果を入手するにはしばらく時間がかかる。それ待てなくて、試験紙などによる簡単な土壤診断分析キットを使う農家も多いが、それだけで

済ますことはやめたほうがよい。少なくとも年に一度は、人の健康診断や人間ドックに相当する土壤診断室での詳しい分析を行なうべきだ。

通常行なう土壤診断分析の項目には、pH、EC、硝酸態窒素のように作物の栽培期間中に大きく変化するものと、CEC（陽イオン交換容量）、可給態（有効態）リン酸、交換性石灰・苦土やリン酸吸収係数のようにあまり変化しないものがある。皆さに土壤診断分析キットで分析していただきたいのは前者の項目だ。なお、ECは硝酸態窒素量にほぼ支配されるので、いずれかの分析を行なえばよい。

畑あるいはハウスと水田とは必要な分析項目が異なる。水田では、上記の項目のほかにアンモニア態窒素、可給態ケイ酸、遊離酸化鉄が必須である。逆にECと硝酸態窒素はなくてもよい。ほとんどの土壤診断室では、すべての土壤で腐植とリン酸吸収係数を分析しているが、土の色を見ればおおよその腐植含有量を判断できる。具体的には、黒みが全くなければ数%以下、やや黒みがあれば数%～5%、かなり黒ければ5%～10%、真っ黒であれば10%以上と見なせばよい。もうひとつのリン酸吸収係数は本来リン酸欠乏土壤を対象にする分析項目なので、園芸土壤な

どのような可給態リン酸過剰が明らかの場合には省略できる。園芸土壤では可給態リン酸のほかに水溶性リン酸と、最近蓄積傾向にあるとされている硫酸イオンの分析を通常分析項目に加えることが望まれる。

最近では多くの土壤診断室で微量要素の分析もできるようになった。とてもよいことだが、ホウ素以外の微量要素は分析方法が統一されていないことが今後の課題である。水田土壤には従来から用いられてきた0・1モル/l塩酸抽出法でよいと思われるが、園芸土壤のなかでもとくにpHが高い土は塩酸が中和されてしまったため過小評価されることがあるので注意を要する。水稻はホウ素の要求性が低いので、水田土壤にはホウ素の分析は不要である。

4. 土壤診断スコップと分析キット

栽培期間中の分析には写真3のような土壤診断スコップを勧めたい。作土に差し込んで一回転すれば、正しく土を採ることができる。これを使い出すと簡単に土壤試料が採取できるので、正直なところ穴掘りが億劫になつてしまう。しかし、あくまで「穴掘りが土壤診断の基本」であることだけは忘れないでほしい。

簡易分析機器はさまざまあるが、

写真3：土壤診断スコップ

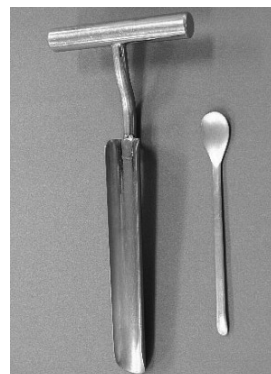


写真4：農大式簡易土壤診断キット「みどりくん」



最も簡単・迅速なものに農大式簡易土壤診断キット「みどりくん」(写真4)がある。「みどりくんN」では硝酸態窒素のついでにpHも測定できる。試験紙の色を標準カラーチャートと見比べる方式だが、慣れると試験紙のピンク色を見ただけで作土中に残留する硝酸態窒素量を知ることができ、窒素追肥の判断に役立つ。



土と施肥の基礎知識

その **14**

土壌の化学分析結果の見方

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. 見るべきは 処方箋より分析値

土壌診断で穴を掘り、断面を調べればわかる土壌物理性に対して、見ても触ってもわからない土壌化学性を把握するには化学分析を行なうほか手段はない。

J Aや肥料商の土壌診断室に分析を依頼すると、分析値のほかに必ずといってよいほど処方箋が付いてくる。そこには、肥料や土壌改良資材の銘柄と施用量が記載されている。しかし、ろくに分析値を見ないで勧められるがままに注文してしまつては、土の健康管理には役立たない。土壌の化学分析結果の診断表には分析項目ごとに下限値と上限値が記載されているので、自分の圃場の分析値と見比べて、「少なければ施し、多ければ施さない」が大原則だ。

2. 露地畑とハウスで異なる 酸性土壌の対処法

土壌の化学分析結果にはレーダーチャートあるいは分析値を明示した表などが記載されていて、土の健康状態が一目でわかる。図1は、「全国土の会」で利用している「Webみどりくん」のレーダーチャート（畑・施設土壌用）である。

図1の左は露地の野菜畑、右は野

菜ハウスの土で、どちらもpHが5.5程度の酸性を示している。野菜を栽培するにはややpHが低いので改良したい。この場合はどのような対策をすればよいだろうか。

まずpHが低いからといって、すぐに石灰資材を施用してはいけない。交換性カルシウム（石灰）とマグネシウム（苦土）の分析値を見ると、野菜ハウスではすでに石灰も苦土も過剰である。また、土の胃袋のふくれ具合を示す塩基飽和度も129%と腹八分目（80%）を大きく超過している。このような状態で石灰資材を施用すれば、塩基過剰をさらに助長して土の健康を損ねてしまう。

野菜ハウスでは露地畑とは違うメカニズムで土が酸性化する。その原因成分が硝酸態窒素である。土に施用された窒素はアンモニウムイオン（アンモニア態窒素）を経て、最終的に土壌微生物の作用（硝酸化作用）で硝酸イオン（硝酸態窒素）に変化し、その際に水素イオンが生成される。図1右のよう

に雨にさらされないハウス内ではその水素イオンが土の中に残留し、硝酸として挙動するので、pHが低下すると電気伝導率（EC）が高くなる。この場合には石灰資材を施用するのではなく、多量の水を灌水して硝酸を流せば、ECが低下してpHが高まる。

3. 塩基の量的バランスも 整えよう

人の健康を保つには「腹八分目」

荷増大につながることは以前の連載で述べたとおりである。ハウス内の土を酸性化かつ高EC化させないための最大の対策は、窒素肥料の過剰施用を避けることに尽きる。

一方、露地の野菜畑（図1左）では石灰と苦土が不足していて、塩基飽和度も56%と低い。この場合には石灰資材を施用して酸性を改良するが、具体的な方法は次回に解説する。

図1：2種類の酸性土壌のレーダーチャート

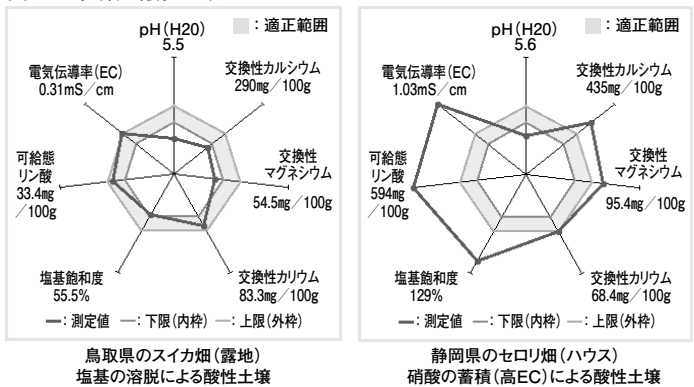
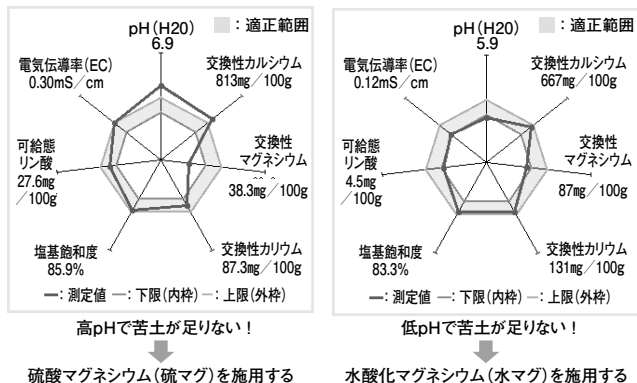


図2：苦土欠乏土壌への対応(苦土肥料の選び方)



だけでなく、炭水化物、タンパク質、脂質などをバランスよく摂取することが大切だ。土壌の胃袋でも塩基飽和度だけでなく、交換性塩基の量的バランスを整える必要がある。具体的には、陽イオン交換容量(CEC)に占める交換性石灰の割合(石灰飽和度)が50～60%、交換性苦土の割合(苦土飽和度)が15～20%、交換性カリの割合(カリ飽和度)が2～10%が最善で、石灰・苦土・カリの割合はほぼ7:2:1となる。これを塩基バランスという。なお、塩基バランスの値は各塩基の重さ(㎎/100g)ではなく、各塩基のイオン電荷数の割合である。

最近の農耕地では、家畜糞尿由来する堆肥施用によるカリ過剰や、有機石灰と呼ばれる牡蠣殻石灰の多用にともなう石灰過剰と苦土欠乏による塩基バランスの崩れがよく見受けられる。そこで、その対処法について触れておきたい。

石灰やカリ過剰の場合には石灰資材とカリ施用量を減らすことしかないが、苦土が少ない場合にはその土のpHにより補給資材の選択がカギとなる。pHが6.5程度より高い場合(図2左)には硫酸マグネシウム(硫マグ)を、低い場合(図2右)には水酸化マグネシウム(水マグ)を施用する。10a当たりの施用量は分析結果により異なるが、硫マグでは20～60kg、水マグでは40～100kgを目安とする。

4. 無リン酸栽培が可能な条件

日本の土は一般にリン酸肥沃度が低いといわれるが、その程度は土壌の種類により大きく異なる。黒ボク土は世界でも最もリン酸が効きにくい土のひとつで、水田で多く見られる低地土は日本の土の中では最もリン酸肥沃度が高い。その違いは土に含まれる活性アルミナ量である。

土にリン酸が施用されると、根が吸収する前にこの活性アルミナがリン酸を捕まえて、リン酸アルミニウムという水にほとんど溶けない化合物に

なってしまう。これが「リン酸の固定」としてよく知られている現象だ。そのリン酸固定量を調べるための分析項目がリン酸吸収係数である。リン酸吸収係数が大きいほど活性アルミナを多く含み、リン酸が効きにくい。通常黒ボク土では1500mg/100g以上を示す。アルミナのほかに量は少ないが、鉄もリン酸固定に関与する。一方、可給態リン酸とはpHが3の薄い硫酸で溶出するリン酸で、土の中ではリン酸カルシウムとして存在している。適正域は一般に土100g当たり10～100mgだが、黒ボク土では上限を50mgと見なしたほうがよい。可給態リン酸が10mg以下の場合にはリン酸の施用が不可欠で、水溶性の過リン酸石灰(過石)やリン安より、熔成リン肥(熔リン)のようなく溶性リン酸が望ましい。また、格安のリン酸肥料としては発酵鶏糞の施用を勧めたい。ただし、鶏糞のカリ含有量に比べてカリ施用量を削減する必要がある。

リン酸欠乏農地にリン酸を施用することに消極的な農家はほとんどいない。問題はリン酸過剰土壌への対応である。どんなにリン酸過剰でも、リン酸を施してきた農家にとってリン酸削減や無リン酸栽培には断腸の思いを抱くようだ。可給態リン酸が過剰でも水溶性のリン酸肥料を施用すべきかと思っている人も多い。

表1：主要作物の1作当たりの養分吸収量(kg/10a)

品目	窒素	リン酸	カリ
普通作物			
水稲	5.8	3.2	1.4
露地野菜			
キュウリ	12.7	6.3	19.8
トマト	7.6	2.8	19.4
ナス	12.9	4.3	18.6
キャベツ	9.9	2.7	11.3
ハクサイ	12.5	5.6	17.4
ホウレンソウ	11.4	3.0	19.2
施設野菜			
キュウリ	14.3	7.2	22.4
トマト	9.3	3.4	23.8
ナス	26.7	8.9	38.6
ホウレンソウ	5.7	1.5	9.6

出典：農水省農業環境対策課調べ(2009年5月)

可給態リン酸には必ず10%程度の水溶性リン酸が含まれる。例えば、100gの土に可給態リン酸が100mg含まれていれば、水溶性リン酸が10mg程度存在するので、15cmの作土に換算すると約15kg/10aとなる。水溶性リン酸とは最も根から吸収されやすいリン酸だ。表1のように、どのような作物でも1作当たりのリン酸吸収量は窒素やカリに比べて少なく、数kg/10aなので、リン酸肥料を施用しなくても足りることがわかる。無リン酸栽培で水溶性リン酸が減ると以前に解説したリン酸銀行の原理が働き、再び水溶性リン酸が生成される。そのため、100mg/100g以上の可給態リン酸を含む土であれば、少なくとも数作は無リン酸栽培が可能である。



土と施肥の基礎知識

その **15**

転炉スラグの特性と使い方

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. 常識破りの 土壌酸性改良資材

土壌診断分析でpHが6程度以下かつ石灰が基準より少なく、塩基飽和度が80%程度以下であれば、石灰資材の施用による酸性改良が必要である。一般的な石灰資材には、炭酸カルシウム（炭カル）や苦土石灰（苦土カル）がある。それらに共通する欠点は土のpHを高めすぎると微量元素欠乏を起こしやすいことだ。

微量元素とは、植物の生育に必須だが必要量がごくわずかな養分のこととで、具体的には鉄・マンガン・亜鉛・銅・塩素・ホウ素・モリブデン・ニッケルの8種類を指す。塩素とモリブデンを除く微量元素は土のpHが6・5程度より高くなると水に溶けにくい形態となり、植物への吸収が阻害され微量元素欠乏症を起こしやすくなる。このことから「土のpHを6・5より高めてはいけない」という説が土づくりの常識になってしまった。

しかし、転炉スラグを使えばpHが7・5になっても微量元素欠乏が起きにくい。転炉スラグはいわば常識破りの土壌改良資材なのだ。筆者らはそのことをすでに1970年代に明らかにしたが、つい最近まで実用化を進めることができなかった。その原因は厚い土づくりの常識の壁と「スラグ」

2. 転炉スラグとは

製鉄所では高炉の中に鉄鉱石と石灰岩、それにコークスを加えて鉄鉄を作る。少量の炭素やリン、硫黄などを含む鉄鉄はもういため、溶けた鉄鉄を転炉と呼ばれる炉に入れ、そこに生石灰などの副材料を加えて酸素を吹きつける。すると、鉄鉄中の不純物が取り除かれ、純度の高い鋼となる（図1）。こうしてできた鋼から自動車用鋼板やレール、鋼管などさまざまな鉄鋼製品が作られる。

このような製鋼工程の副産物が転炉スラグだ。ケイ酸カルシウムを主体として少量の酸化カルシウムのほか、鉄・マンガン・マグネシウム・リン酸・ホウ素などを含む（表1）。転炉の中は約1500℃にも達するため、仮に原料中に有害成分が含まれていたとしても、沸点が低いカドミウムやヒ素、水銀などの有害元素は揮散し、PCBやダイオキシンなどは熱分解してしまう。ましてや原料は天然鉱物で、安全・安心な資材であることはいうまでもない。

なお、高炉で鉄鉄がつくられる際の副産物は高炉スラグといい、転炉スラグと合わせて鉄鋼スラグと呼ばれる。高炉スラグの主成分は非晶質のケイ酸カルシウムで、55年から「ケイカ

表1：転炉スラグの化学組成（事例）

成分		含有量
ケイ素	(SiO ₂)	14.0 %
アルミニウム	(Al ₂ O ₃)	2.8 %
鉄	(Fe ₂ O ₃)	24.1 %
マグネシウム	(MgO)	6.4 %
マンガン	(MnO)	3.6 %
カルシウム	(CaO)	41.4 %
ナトリウム	(Na ₂ O)	0.1 %
カリウム	(K ₂ O)	0.1 %
リン酸	(P ₂ O ₅)	2.1 %
ホウ素	B	85.0 mg/kg
銅	Cu	13.0 mg/kg
亜鉛	Zn	17.0 mg/kg

図1：鉄鋼スラグの種類と製法

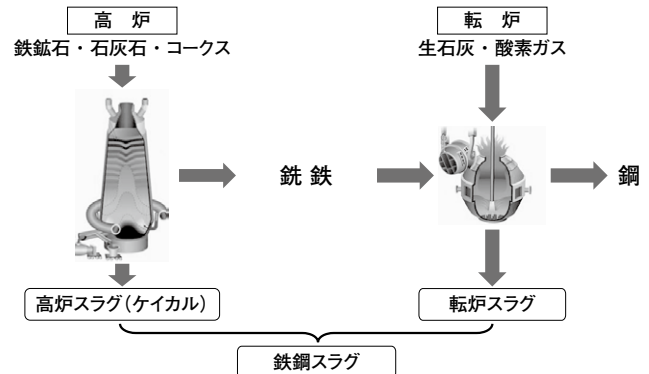
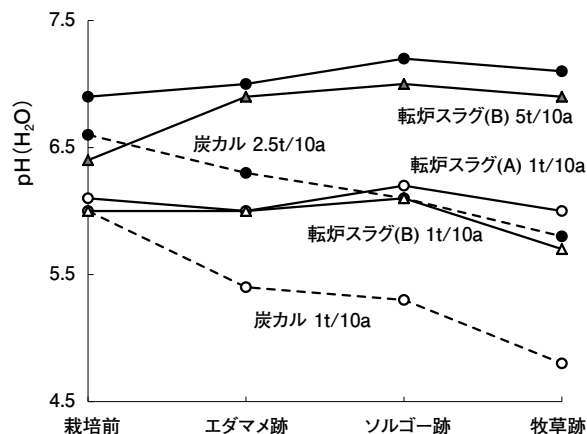


写真1：土壌pH7.2でのコマツナの生育比較



図2：転炉スラグの土壌酸性改良持続効果（ポット栽培試験）



ル（鉱さいケイ酸質肥料）」として主に水田に施用される。68年頃には年間130万t以上に及んだが、現在ではその1/10程度に留まっている。

一方、転炉スラグは52年に制定された耕土培養法（84年に廃止）で遊離酸化鉄含有量の少ない老朽化水田に対する鉄補給資材（含鉄物）として指定を受け、主に西日本を中心とする花崗岩風化土壌（まさ土）地帯の水田で利用されてきた。しかし、それ以外では、東北地方の草地で既存の石灰資材の代替として利用されていたに過ぎなかった。

現在、転炉スラグとして市販されている資材は、粒径や組成の違いにより副産石灰肥料・混合石灰肥料・特

殊肥料のいずれかとして登録された、れっきとした肥料である。

3. 転炉スラグの威力

未耕地から採取した酸性土壌に苦土カルと転炉スラグをそれぞれ施用し、pHを7・2に酸性改良して栽培したコマツナが写真1である。転炉スラグ区では生育に支障がないが、苦土カル区ではほとんど育たなかった。そこで、苦土カルに微量要素肥料（FTE）を併用すると転炉スラグ区と同様に生育した。この試験から転炉スラグの特性が明らかになった。

その理屈はこうだ。土に施用されると、作物の根は転炉スラグの粒に絡みつく。転炉スラグに含まれる微量元

素は水に溶けないが、作物の根から分泌される有機酸によって溶かされる。その結果、作物は根から微量元素を直接吸収できるようになる。このような現象を接触吸収という。土壌酸性改良効果に影響する転炉スラグのアルカリ度（石灰と苦土含有量の合計）は炭カルや苦土カルに比べて低い。同じpHに改良するのに既存資材の2倍以上の施用量を必要とするが、そのおかげで作物の根と転炉スラグの粒が土中で接触する確率が高まり、微量要素が吸収されやすくなる。

図2は転炉スラグと炭カルとでそれぞれ酸性改良した土による3作連続のポット栽培試験の結果である。転炉スラグ施用区は炭カル区に比べて顕著なpH持続効果が認められた。このように転炉スラグを土壌酸性改良資材として利用すると、pHを7・5以上に高めても、作物は微量要素欠乏をきたさず、既存の石灰資材より酸性改良の持続効果に優れる。

4. 根こぶ病やフザリウム、病害対策にも役立つ

全国の野菜産地では、さまざまな土壌病害に苦しめられている。なかでも、ホウレンソウ萎凋病などのフザリウム病害やウリ科ホモプシス根腐病、ネギやニンニクの黒腐菌核病などの糸状菌（カビ）を病原菌とする土壌病害、

アブラナ科野菜根こぶ病は、土のpHを高めると発病を抑制できることが知られている。転炉スラグを施用してpHを7・5程度に高めると発病軽減効果が得られ、少なくとも5年以上は持続する。最近では、細菌病であるトマト青枯病にも有効なことが確認されている。ただし、ジャガイモのそうか病については発病を助長する。

土壌病害対策としての施用量は10a当たり数tに達することもあり、転炉スラグの施用によって酸性改良した土壌を元に戻すことは至難の業で、注意を要する。転炉スラグを施用すると、アルカリ効果により可給態窒素が増加し、キャベツやスイカ、メロンの玉割れが生じたり、水稻では倒伏するおそれがある。施用後最初の作付け時には窒素施肥量を削減するか無窒素とする。

土壌病害対策のほかにも既存の石灰資材として利用することも有効である。その場合は、pHを6・0～6・5に改良する。施用量は既存石灰資材と同様に緩衝能曲線から求める。

なお、市販されている転炉スラグには粉状品と粒状品がある。粒状品は散布しやすいが、土の中でほとんど崩壊しないため酸性改良効果が著しく劣る。土壌酸性改良を目的とする場合には、必ず粉状品を使うようにしてほしい。



土と施肥の基礎知識

その **16**

ゼオライトの特性と使い方

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. 「いんちき・いかさま資材」 とみなせようぜいぞい!

肥料に比べて、土壌改良資材には施用効果がいまいち判然としないものも多く、そのひとつがゼオライトである。「連作障害や塩類濃度障害に有効」「ケイ酸やミネラルが効く」などと、魔法の石[※]としてもはやされたが、施してみてもそれらの効果が現れないため、「いんちき・いかさま資材」になり果てた時期もあった。筆者は、ちょうどその時期（1970年代後半）にゼオライトの魅力にとりつかれ、今日までその特性を活かした農業利用法を研究してきた。

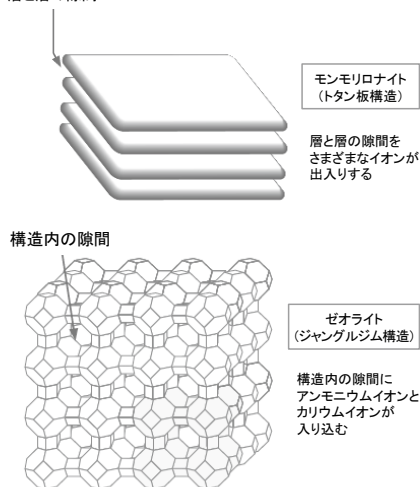
ゼオライトとは火山活動が活発だった2000万年ほど前の海底に堆積した火山灰が、続成作用と呼ばれる地殻変動により変質してできた鉱物で、ケイ酸とアルミナを主成分とする。海底にできたゼオライトは、その後に隆起して、現在では福島県や山形県などで露天掘りされ（写真1）、日本国内の埋蔵量は無尽蔵といわれている。また、その品質は世界最高級である。

成分組成は土壌中の粘土鉱物のなかでも優良粘土といわれるモンモリロナイトによく似ている。また、どちらも土の胃袋にたとえられるCEC（陽イオン交換容量）が大きく、保肥力を高める効果がある。

写真1：天然のゼオライト鉱山（山形県米沢市・板谷鉱山）



図1：ゼオライトとモンモリロナイトの構造の違い
層と層の隙間



しかし、構造はまったく異なる（図1）。モンモリロナイトは3枚のトタン板を重ねたような板状構造だが、ゼオライトは公園のジャングルジムのような三次元の網目状構造で、岩石を構成する造岩鉱物のなかで最も風化しにくい石英に似ている。たいへん頑丈で、土壌中でもほぼ永久にその構造は変化しない。一方、モンモリロナイトは土壌中で徐々に変質してCECが減少するため、土壌の保肥力改善にはモンモリロナイトよりゼオライトのほうが優れる。ただし、モンモリロナイトは土壌中で変質する際にケイ酸が遊離するので、その一部が水稻やウリ科野菜に吸収・利用されるが、ゼオライト中のケイ酸は頑固なジャングルジムの構成成分なので、作物には有効ではない。

ゼオライトのジャングルジムのなかにある空間はアンモニウムイオンとカリウムイオンとちょうど同じ大きさなので、増収効果のメカニズムを説明しよう。窒素肥料として硫酸を畑に施用すると、アンモニウムイオンが一部水溶性アンモニウムイオンとして土壌水中に留まり、硝酸化細菌と呼ばれる土壌微生物の作用により硝酸イオンに変わる。この硝酸イオンが畑作物の養分

ので、肥料として施した窒素とカリを貯金箱のように貯め込むことができる。

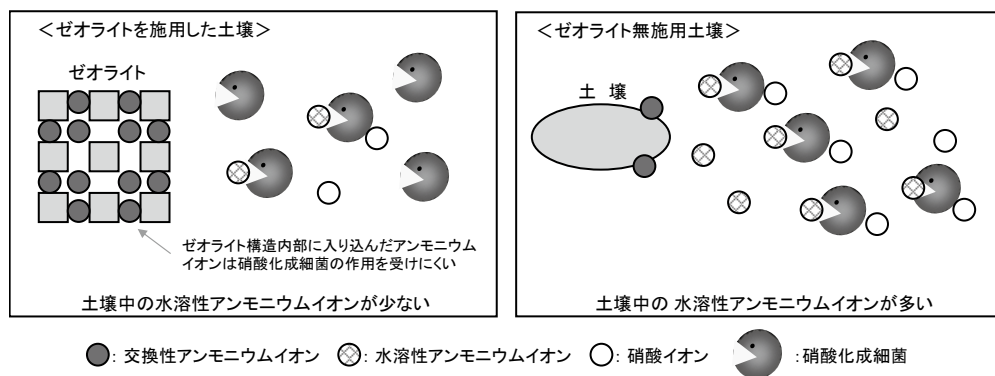
2. 有機質肥料とも相性が良い

CECが10以下の土壌にゼオライトを10a当たり数t単位で施用すれば、保肥力が改善される。しかし、CECが20以上の土壌では大量のゼオライトを施用しても増収には結びつかないことが多い。ゼオライトの施用効果は、保肥力改善より窒素やカリ肥料の貯金箱としての働きのほうが大きい。とくに有機物とのコンビネーションが最大の効果を発揮する。

になり、根から吸収される。

この硝酸化成細菌の作用がゼオライト施用の有無で異なるのだ(図2)。ゼオライトを施用しない土壤では、硝酸イオンが陰イオンであるため土壤には吸着されにくく、降雨や灌水により下層に流れてしまう。

図2：ゼオライト施用の有無による硝酸化成細菌の作用の違い



一方、ゼオライトを施用した土壤では、硫酸を施用するとアンモニウムイオンがゼオライトの結晶構造のなかに入り込み、交換性アンモニウムイオンとして吸着される。吸着されなかったものが水溶性アンモニウムイオンとなり、土壤中の硝酸化成細菌により硝酸イオンに変化する。土壤中では一定のイオンバランス(化学平衡)が保たれているので、水溶性アンモニウムイオン濃度が下がると、ゼオライトに吸着されていた交換性アンモニウムイオンが放出され、水溶性アンモニウムイオンに変わる。

土壤中の粘土鉱物や腐植にも陽イオンを吸着する能力があるが、ゼオライトに劣るため、アンモニウムイオンが硝酸イオンに変わる速度が速まる。つまり、ゼオライトを施用した土壤では交換性アンモニウムイオンとして留まる時間が長くなるため窒素肥料としての肥効が持続し、それが収量アップにつながるのだ。

窒素肥料には硫酸などの化学肥料と、油かすなどの有機質肥料がある。畑に有機質肥料を施すと、土壤中の糸状菌(カビ)などの微生物により分解され、アンモニウムイオンが放出される。それらはいったん土壤に吸着されてから硝酸化成作用を受けるが、ゼオライトを施用した土壤ではアンモニウムイオンが保持され、硝酸イオンへの

変化を遅らせる。そのため、有機質肥料の単独施用より窒素の肥効を高めることができる。ゼオライトは有機質肥料との相性もよく、併用効果は堆肥や緑肥などの有機物でも同様に保肥力改善に有効だ。

3. 賢いゼオライトの使い方

野菜の苗を育てるための床土は農家が自ら作るものと相場が決まっていた80年代に、筆者らは砂状のゼオライトを主原料とする園芸用育苗培土を開発した。副原料として保水性・透水性を高めるためのビートモスとバークキュライト、パーライトを混合し、肥料源としてリン安や塩安などの水溶性化学肥料、そのほかに硝酸化成細菌を添加した。肥料以外の原料は100%土壤改良資材なので、作った苗を本圃に定植すれば、徐々にではあるが、土壤改良効果が発揮される。この育苗培土の最大の特長は、窒素の肥効が長く続くことで、ネギなど育苗期間の長い野菜でも追肥がいらないことである。

もう一つの上手な使い方が、堆肥やぼかし肥への混合だ。家畜ふん堆肥を作る際に、この粉状のゼオライトを10%程度混ぜると、家畜ふんが分解して発生するアンモニアをゼオライトが吸着して、悪臭を抑えることができ、水分調節材にもなる。「ゼオライト堆肥」に吸着されたアンモニウムイオン

は、施用後真つ先に速効性窒素肥料としてはたらく。

ぼかし肥の一般的な原料といえば、油かす・魚かす・骨粉などだが、写真2のように大豆油かすとゼオライトを混ぜ、枯草菌を添加して10日から2週間ほどかすと「ゼオライトぼかし」ができる。従来のぼかし肥に比べて、窒素主体でリン酸含有率が低いため、園芸ハウスのようなリン酸過剰土壤にピツタリの肥料だ。全量を施用しないで一部を残しておき、次のぼかし製造時に種菌源として使うと、毎回枯草菌を購入せずに済む。なお、添加する枯草菌を選べばフザリウムなどの土壤病害に対する拮抗性も期待できる。

また、基肥を溝施用する際に肥料と同量程度のゼオライトを併用すれば、肥料中の窒素とカリの肥効率を高めることができる。まさにゼオライトは「土づくりの助っ人」だ。

写真2：ゼオライトぼかしの製造作業





土と施肥の基礎知識

その **17**

土の健康と土壌病害

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。

1. 土壌病害はなぜ起るのか

畑やハウスで同じ作物を作り続けると連作障害が起こりやすい。その典型が土の中に生息する病原菌が根から感染して、地上部まで枯らしてしまう土壌病害である。土壌病害が出ている畑には病原菌がいるが、発病していない畑にはいない、と思っている人が多いようだが、それは大きな間違いだ。連作を続けてきた土には、必ずといってよいほど病原菌が生息している。

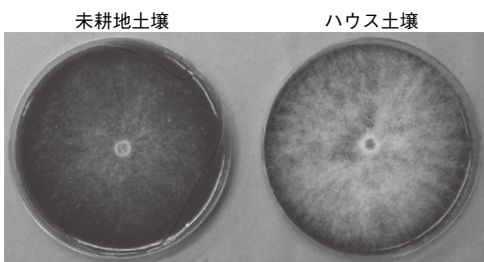
そのメカニズムは、次のようなことである。植物は自分の根の周りの土（根圏土壌）の微生物活性を高めるために、根から糖やアミノ酸などの物質を分泌し、それを餌とするさまざまな微生物を集めている。分泌される物質は植物ごとに異なる。連作を続けると根から同じ餌が分泌されるが、微生物にも好みがあるので、特定の微生物だけが増殖することになる。そのなかに病原菌がいれば、連作によりその密度が徐々に高まり、ある一定の密度を超過すると根に感染して発病に至る。すなわち、土の中に病原菌がいるからといって、即発病するのではない。

これを人の病気に例え

写真1：ホモブシス根腐病が発病した小玉スイカのハウス



写真2：未耕地とハウス土壌でのホモブシス根腐病菌の菌糸伸長の相違

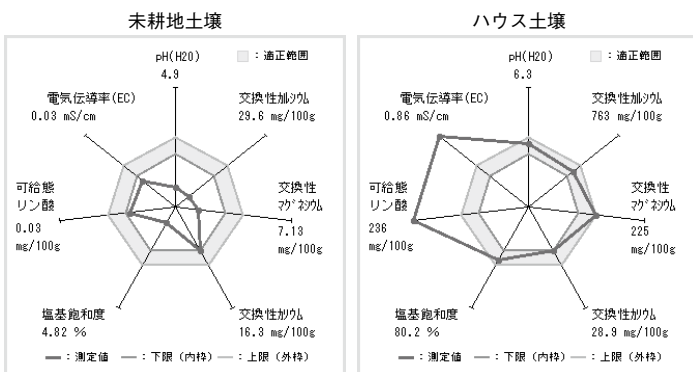


2. 土づくりを重ねるほど「土力」は下がる

てみよう。人は無菌状態で暮らしているわけではなく、空気中や食べ物からさまざまな病原菌やウイルスを体内に入れている。人には体力があるため通常は発病しないが、汚染されたものを食べたり、あるいは体調を崩して体力を消耗したりすると発病してしまう。土壌病害もこれと同じで、土を健康に管理し、連作を輪作に切り替えれば、発病を抑えることができる。このように、土にも人と同じような体力があり、土の体力を「土力」という。

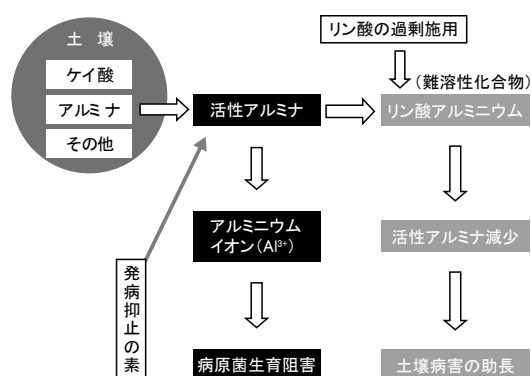
筑波山の山麓に位置する茨城県筑西市は古くから小玉スイカの大産地として知られている。パイプハウスに12月頃スイカ苗を定植し、翌年6月

図1：未耕地とハウス土壌の土壌診断図の相違（茨城県筑西市・黒ボク土）



頃までに収穫、その後トマトを定植し、11月頃まで収穫する。この地域の土壌は関東ローム層を母材とする黒ボク土で、半世紀以上にわたってスイカを栽培しているが、2000年頃から写真1のようなホモブシス根腐病が多発している。その病原菌はカビ（糸状菌）で、根から感染して果実の肥大開始期から収穫期にかけて茎葉が急激にしおれて、やがて枯死する。この土壌病害はスイカ・メロンだけでなく、キュウリやカボチャなどのウリ科野菜に感染し、全国各地で大問題となっている。筑西市内のホモブシス根腐病で全滅

図2：リン酸による活性アルミナの固定



したハウスの作土とその近くの林の中から表層土を採取したところ、どちらも同じような黒褐色の黒ボク表層土だが、ハウスでは長年にわたって堆肥や肥料が施されてきたのに対して、林の土は人の手が加わっていない。そこで、それぞれの土を寒天とカビの培養に用いる培地に添加して滅菌した後、ペトリ皿に移して土壌添加平板培地を作り、その中央部に純粋培養したホモブシス根腐病菌を置いて、1週間程度培養した。その結果、写真2のように左側のハウス土壌ではペトリ皿ほぼ一面に菌糸が広がったが、未耕地土壌では病原菌の生育が抑えられた。すなわち、未耕地の土には病原菌の生育を抑制する力があることがわかった。これが「土力」だ。しかし、長年土づくりに励ん

だ土では「土力」が低下し、病原菌が繁殖しやすくなる。

3.「土力」の素は活性アルミナ

ホモブシス根腐病が発病したスイカハウスの土壌診断分析結果を未耕地の土と比べてみよう(図1)。

未耕地では酸性が強く、石灰・苦土が極端に少ないが、ハウスではpHや塩基状態はほぼ良好である。黒ボク土はリン酸が効きにくい土としてよく知られている。その原因が活性アルミナである。未耕地では、本来リン酸含有量が少ないうえに多量に含まれる活性アルミナがリン酸を不溶化(固定)してしまうため、可給態リン酸は皆無に等しい。しかし、図2のように活性アルミナの一部は土の中でアルミニウムイオンとなり、それが土壌病原菌の生育を抑える。すなわち、「土力」の素こそが活性アルミナである。

その一方、ハウスでは可給態リン酸が240mg/100gに達している。これまでの長年の土づくりで施してきたリン酸があまりにも多かったため、活性アルミナによるリン酸固定量を上回り、大量の可給態リン酸を含む土となってしまったのだ。

さらにこのスイカハウスでは、「リン酸による活性アルミナの固定」という異常な現象が起きている。「土力」の素である活性アルミナがリン酸で固定

されると、土の体力が低下して、根に病原菌が感染しやすくなるのではない。か。そのように考え、土壌リン酸の過剰がホモブシス根腐病の発病に及ぼす影響をポット栽培試験で確認した。

まず、土に水溶性リン酸肥料を施用して、可給態リン酸を18〜210mg/100gとした4種類の土壌に人工培養した病原菌を添加して、メロンの育苗試験を行なった。その結果、写真3のように可給態リン酸が100g当たり18mg・54mgでは発病しなかったが、同170mg以上では葉がしおれた。また、可給態リン酸量の異なる土を使つて、病原菌の培養試験を行なった結果、可給態リン酸が増加し、逆に活性アルミナ(可溶性アルミニウム)が減少するほど、菌糸がよく生育した(写真4)。

4. 人のコレステロールと土のリン酸

コレステロールは人の生命維持に不可欠な物質だが、摂取しすぎれば血管の内側に溜まり脳疾患を引き起こす原因ともなる物質で「人のメタボ」要因のひとつだ。人のコレステロールに匹敵するの、土のリン酸である。これまで、リン酸過剰は作物に過剰害が出にくい養分としていわれてきたが、決してそうではなく、土壌病害の発病を助長する。健康な土の可給態リン酸は20〜50mg/100gである。

写真3：リン酸の施用がホモブシス根腐病の発病に及ぼす影響(水溶性リン酸肥料を施用したメロンの育苗試験)

土の中の可給態リン酸 (mg/100g)	18.4	53.9	169	210
試験結果	発病なし	発病なし	葉がしおれた	葉がしおれた

写真4：リン酸添加がホモブシス根腐病菌の菌糸伸長に及ぼす影響(黒ボク表層土)

可給態リン酸 P ₂ O ₅ (mg/100g)	6.6	58.1	108	271
	少			多
活性アルミナ Al ₂ O ₃ (mg/100g)	1180	415	377	113
	多			少



土と施肥の基礎知識

その **18**

根こぶ病は根絶できる

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. 「根こぶ算」式に増える 休眠胞子

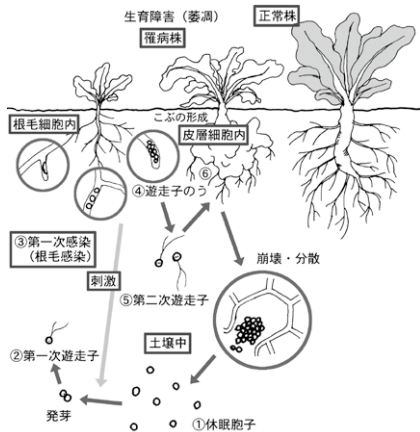
アブラナ科野菜根こぶ病とは、寄生性原生動物の一種であるネコブカビがアブラナ科植物の根に感染してこぶを作り、地上部を枯らす土壤病害（写真1）で、従来から難防除土壤病害のひとつといわれてきた。

図1が根こぶ病の病原菌の生活環だ。病原菌は土の中で直径0・002mmの休眠胞子として生息する。アブラナ科植物の根が近づくと発芽して第一次遊走子となり、根毛に感染し増殖した後、土の中に放出されて第二次遊走子となる。これが再び根に感染すると細胞が肥大してこぶになり導管を圧迫し、地上部への水分移動

写真1：根こぶ病で全滅したカリフラワー畑



図1：根こぶ病の生活環



が阻害されるため枯死する。肥大化したこぶ1gの中には一億個にもおおよぼ休眠胞子が詰まっているため、こぶを鋤き込んでしまうと「ねずみ算」をはるかに上回る「根こぶ算」式に休眠胞子が増加して、やがて野菜畑が根こぶ病畑に二変する。なお、休眠胞子はアブラナ科植物の根が近づいてこなければ、何年もの間、居眠りをしながら待っていることから、休眠胞子と名付けられた。

2. おとり植物と抵抗性品種

根こぶ病はアブラナ科植物だけが

発病する土壤病害だが、不思議なことにダイコンは発病しない。ただし、根毛には感染すること、ダイコンを栽培した後作では発病しにくいことが知られている。その原因は休眠胞子がダイコンの根毛に一次感染しても、増殖せずに二次遊走子を放出しないためであるが、そのメカニズムは明らかになっていない。

わかりやすくいえば、ダイコンの根には土の中の休眠胞子を掃除機のように吸い取るしくみが備わっている。このような特性を持つ植物を「おとり植物」といい、ダイコンのほかにはハダイコンなどがある。ハダイコンはダイコンより細根が多いため、休眠胞子の吸い取り効果に優れ、そのまま鋤き込めば緑肥としての効果も期待できる。

根こぶ病が発病しやすいハクサイやキャベツなどには多くの抵抗性品種が市販されていて、根こぶ病に苦しめられる農家はその恩恵を受けている。実は、このような抵抗性品種とは根にダイコンと同じような掃除機機能を付加したものである。しかし、抵抗性品種を作付けし続けるとやがて罹病性が復活してこぶが付くようになるので、農家にとって根本的な根こぶ病対策とはならない。

ダイコンやハダイコンは抵抗性品種のように罹病性が復活することがないため、それらの作付けを繰り返せ

写真2：カリフラワー根こぶ病に対する転炉スラグの施用効果



3. 転炉スラグで根こぶ病を根絶する

根こぶ病は土壌が酸性化するほど発病しやすく、pHを7・2程度以上に高めると抑制できることが従来から知られていた。しかし、一方では畑土壌のpHは6・0～6・5とすることが野菜栽培技術の常識だったため、土壌の酸性改良だけでの根こぶ病対

策は実用的ではなかった。そこで、土のpHを7・5程度まで高めても微量要素欠乏を起こしにくい転炉スラグを施用して徹底的な酸性改良を行った結果、写真2のように顕著な根こぶ病発病抑制効果が認められた。この技術を開発した1970年代当初は前述した「常識の壁」に阻まれ、非常識との批判も受けたが、最近では根こぶ病対策のひとつとして全国的に普及しつつある。

なぜ、土壌pHを7・5程度まで高めると根こぶ病の発病が抑制されるのか。それはいまでも謎である。筆者らの研究では土壌pHを高めた状態で根こぶ病罹病性の野菜を栽培すると、一次感染はするが、二次感染はしない。すなわち、キャベツやハクサイの根にダイコンの根と同じような掃除機の機能が備わることがわかった。

土壌病害が発生する最大の原因は連作である。そのため、連作をしないことが土壌病害対策の基本となるが、根こぶ病対策ではあえてアブラナ科野菜を連作することで発病を抑制するばかりか、土壌中の休眠胞子密度まで下げることができる。

事例を紹介しよう。ブロッコリー根こぶ病で全滅した東京都三鷹市の畑に転炉スラグを5t/10a施用して、畑のpHを5・8から7・9に高めた後、転炉スラグを再施用せずに10

年以上にわたってブロッコリーかカリフラワーを栽培したが、根こぶ病は発生せず、休眠胞子密度は4年目には検出限界以下となった(表1)。

4. 総合防除対策で根こぶ病を抑える方法

転炉スラグを施用して土壌pHを高めた後にアブラナ科野菜を連作して根こぶ病を根絶する技は、水稲収穫後の水田でアブラナ科野菜を栽培する地域では通用しないこともある。フザリウム病害など糸状菌(カビ)が原因となる土壌病害では、野菜収穫後に水田化すれば、好気性微生物である病原菌が窒息して菌密度が低下する。しかし、根こぶ病の休眠胞子は水中でも生存可能で、逆に生息域を広げてしまう。さらに、水田では水はけが悪いため根こぶ病には最適の発病条件となる。水稲収穫後のアブラナ科野菜栽培では、転炉スラグの施用だけでなく、高畝栽培や殺菌剤の施用などを併用して対策を講じる必要がある。

根こぶ病対策用の殺菌剤には、休眠胞子の発芽を抑制する薬剤(フルスルフアミド、フルアジナム)と発芽後の遊走子を殺す薬剤(アミスプロム)、石灰窒素などがある。いずれも発病抑制には有効だが、おとり植物を作付けする場合にはフルスルフアミ

表1：転炉スラグ施用後の土壌pHと根こぶ病の発病状況

年	土壌pH	作付品目	発病度	休眠胞子密度 [$\times 10^4/g$]
1991	5.8	ブロッコリー	100	100
1992	7.9	カリフラワー	2.9	32.1
1993	7.4	カリフラワー	0	9.9
1994	7.2	カリフラワー	0	3.4
1995	7.7	カリフラワー	0	N.D.*
1996	7	カリフラワー	0	N.D.
1997	7.3	ブロッコリー	0	N.D.
1998	7.3	カリフラワー	0	N.D.
1999	6.8	カリフラワー	0	N.D.
2000	7.2	ブロッコリー	0	N.D.
2001	7.2	カリフラワー	0	N.D.
2002	7.3	カリフラワー	0	N.D.

注) N.D.*：検出限界($3.1 \times 10^4/g$)以下

ド、フルアジナムとの併用は避けたいほうがよい。石灰窒素を使う場合には、その分の窒素肥料を削減する。

転炉スラグを施用後にアブラナ科野菜を連作して休眠胞子を減らす技は、あくまで根こぶ病防除対策のいわば裏技である。例えば、高pHでハクサイを連作すると黄化病が出やすくなるので、根こぶ病が発病しなくなれば、連作を止めて輪作に戻す。埼玉県などで行なわれているスイートコーンとブロッコリーの輪作はそのよい事例だ。スイートコーンの雌穂収穫後に茎葉を緑肥として鋤き込めば、よい有機物補給源ともなる。

最後に、ジャガイモを栽培する畑では、転炉スラグを施用して土壌pHを高めると必ずといってよいほど、そうか病が発生するので注意してほしい。