

# 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 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. 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

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）

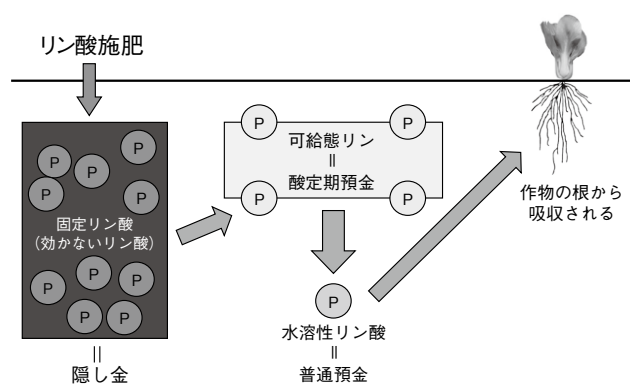


ことも珍しくはない。

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

図1：土の中のリン酸銀行のしくみ



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%だが、リン酸が効きやすい低地土では10~20%にも達

しない。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。

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、 $Fe^{2+}$  (二価鉄イオン) か  $Fe^{3+}$  (三価鉄イオン) のどちらかで存在する。酸素が十分にある畑の

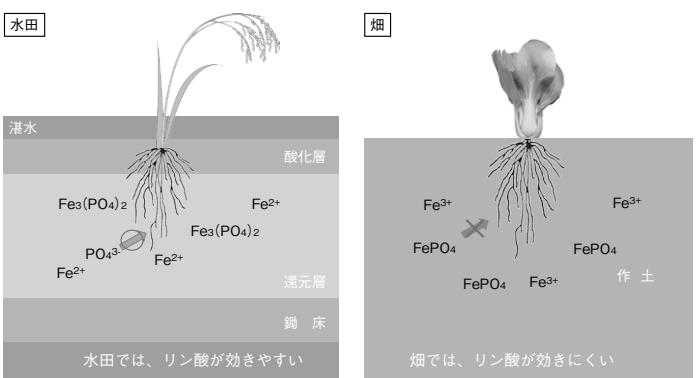
一方、可給態リン酸はカルシウム型リン酸と呼ばれる形態で、その一部が水に溶けて水溶性リン酸イオンとして存在し、これが作物の根から吸収される。

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%だが、リン酸が効きやすい低地土では10~20%にも達

図2：畑と水田で異なる鉄型リン酸の働き方



作土では、図2のように鉄が $Fe^{2+}$ として存在するのに対して、湛水条件下の水田では $Fe^{3+}$ に変化する。

$Fe^{3+}$ イオンと結合する鉄型リン酸は $Fe^{3+}$ イオンと結合したもの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以上ではリン酸施用量を標準量より半減できることが知られている。