

土と施肥の基礎知識



1 その

作物づくりのプロは土づくりのプロか？

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. 自己紹介に代えて

筆者は、植物と化学に興味があったため、1969年に東京農業大学（以下、東京農大）農芸化学科に入學した。その後、夏休みに国の研究機関で土壌分析のアルバイトをしたことがきっかけで、3年次から土壌学研究室に入室した。

土壌学研究室とは東京農大の初代学長で、近代農学の祖といわれる横井時敬先生の次男にあたる横井利直先生が58年に設立した研究室である。横井先生がそれまで農林省で開拓地事業に携わっていた関係で、研究室活動は開拓事業の延長線上のようなものであった。筆者も入室後の夏休みには、北海道などの開拓予定地の土壌調査に駆り出され、原野での穴掘りと土壌採取を行なった。

調査の後には、研究室内での数百点にも達する土壌試料の化学分析が待っていた。当時はまだ原子吸光分析装置もない時代で、石灰・苦土の分析はキレート滴定法、腐植はクロム硫酸滴定法など、いまでは古典分析法といえる方法での土壌分析であったが、土壌学研究室には長年に及ぶ多量かつ迅速に分析するノウハウが蓄積されていた。そのような土壌分析を通じて、我が国の土がいかにかやせているかを目の当たりにした。

その後、75年に大学院修士課程を修了し、4年間の無給職員を経て79年に東京農大に助手として採用された。そこで、まず手がけた研究が当時では最新のICP発光分析装置などを用いた迅速・精密土壌分析法の開発であった。その他、鉄鋼スラグや天然ゼオライトなど未利用資源の農業利用に関する研究にも着手した。

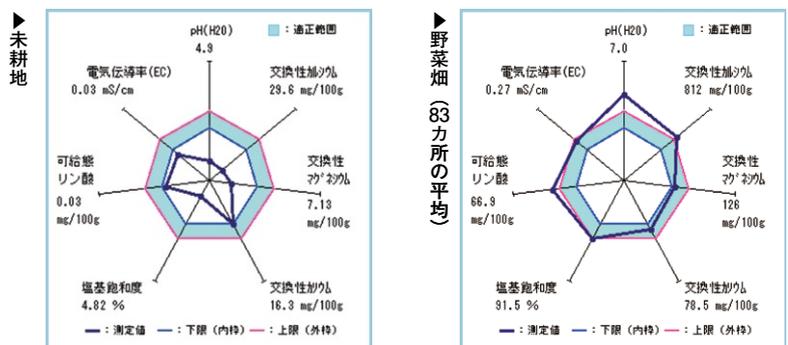
東京農大土壌学研究室には、研究は農業生産現場に密着すべきとの基本理念がある。その理念の下、かつては不毛の原野であった土がその後の開拓事業でどのように変わったかを調べることにした。そのような調査対象地が、我が国を代表する野菜王国となっていた長野県南佐久郡南牧村（野辺山）・川上村、群馬県嬬恋村などの野菜生産地であった。

2. 開拓地の土は一変った

東京農大の若手助手がいきなり農業生産現場に入るとは難しかったので、東京農大のネットワークを活用して農協の組合長や村長宛に調査協力依頼状を出したうえで現地入りした。それらの調査のなかから野辺山の事例を紹介しよう。

野辺山は戦後の開拓地を代表する地域の一つで、46年に入植が始まり、55〜65年ごろにはハクサイ・レタスなどの高原野菜の大産地となった。

図1：長野県南佐久郡の未耕地と野菜畑の土壌診断図



※図中の下限、上限は、地力増進法による畑土壌の改善目標値に準拠して設定

この地域の土壌は黒ボク土で、大量の腐植を含むが、pH(H₂O)が低く、とくに可給態リン酸を著しく欠くやせ土である。しかし、83カ所の野菜畑で土壌診断分析を行なった結果、図1右のような養分状態であった。図1左は畑に隣接する林の中から採取した土壌であるが、両者には歴然とした違いがあり、これが戦後半世紀以上にわたって行なわれてきた「土づくり」の成果だ。

ただし、分析結果をよく見ると、pH

写真1：長野県南佐久郡の野菜畑で見られたハクサイ根こぶ病



写真2：東京都三鷹市の野菜畑で見られたハクサイ根こぶ病



(H_2O)が7・0と高く、可給態リン酸が70 μg ／100 g 程度にまで増加していた。可給態リン酸は10～20 μg ／100 g でほとんどの作物の最高収量が得られることが明らかにされている。しかも、黒ボク土ということを考慮すれば、もはや肥沃な土を通り過ぎて、養分過剰の土、いまでいう「メタボな土」に変身していた。しかし、農家は基肥のほかに土づくり資材として熔リンや多量の堆肥を施用し続けていた。リン酸が効きにくい黒ボク土にはリン酸資材を施用することが常識となっていたわけだ。

3. 土のpHが高くても根こぶ病

野辺山周辺の野菜産地では、60年

ごろにハクサイやキャベツ根こぶ病の洗礼を受けた。国や県の研究機関の調査により、土壌酸性化がその原因であることが判明して、徹底した石灰資材の施用による酸性改良が行なわれた結果、根こぶ病は一掃された。それ以後、この地域では、たとえ土のpHが高くても石灰資材を施用することが慣行化した。そのような状況で筆者らが調査入りしたころには、根こぶ病は過去の土壌病害とさえ思われていた。

ところが、よく調べてみると写真1のような根こぶ病が激発する畑があった。根こぶ病は土壌pH(H_2O)が7・2以上では発生しにくいことが知られていた。しかし、その畑のpH

4. 東京都三鷹市でも根こぶ病が大発生

(H_2O)は7・5と高く、地元では高pHに堪える病原菌のせいであろうと思われていたが、土壌診断分析を行なうと可給態リン酸が過剰であった。この根こぶ病との出会いが、その後の「土壌養分と土壌病害との因果関係に関する研究」につながった。

野辺山で土壌診断調査を始めたのと同じころに、東京都三鷹市の農協

から根こぶ病防除の協力要請があった。三鷹市は東京カリフラワー・東京ブロッコリーの大産地であったが、75～85年ごろから根こぶ病が大発生して、産地崩壊の危機にさらされた(写真2)。筆者らが土壌診断調査を行なったところ、pH(H_2O)が低く、交換性石灰・苦土が欠乏していた。また、下層の緻密化も顕著であった。

根こぶ病に対する対策はもっぱら殺菌剤で、まともな土壌改良がなされていなかった。これまで、立派なカリフラワーやブロッコリーを作っていた農家が、土壌酸性改良をしていないことに驚いた。

なお、この三鷹市の根こぶ病多発畑が、その数年前より始めていた転炉スラグの農業利用に関する研究成果を実証する現場となり、さらには一連のアブラナ科野菜根こぶ病防除

の研究につながった。

このように、筆者らの土壌肥料学研究的発端は常に農業生産現場にあった。

5. 「全国土の会」の立ち上げ

各地の野菜生産地で土壌診断調査を始める前までは、農家は作物づくりだけではなく、土づくりのプロでもあると思っていたが、その考えは上記の事例をはじめ各地で覆された。農家は、黒ボク土に必ずリン酸を施す、野菜には石灰資材や堆肥を施すなどの「土づくり迷信」や、完熟堆肥であれば多く施すほど土が良くなるなどの「堆肥迷信」に惑わされており、決して土づくりのプロではない、と強く感じたのだ。

またそれとともに、可給態リン酸が過剰でもリン酸を施す農家や基本的な土壌改良を行っていない農家が多いのは、土壌肥料学の常識が農家に伝わっていないということ、それはとりもなおさず土壌肥料学研究者や技術者の怠慢ではないか。

そこで、89年に静岡県榛原町で、農家のための土と肥料の研究会「全国土の会」を立ち上げた。当初はわずか30名ほどであったが、その後拡大し、現在では全国各地に17支部を擁し、毎年秋に300名規模の全国大会を開催する研究会となっている。



土と施肥の基礎知識

その 2

土はどのようにできたか？

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」か「土壌」か

世間では、土や泥といえは汚れたもの、汚いものと思われがちである。「俺の顔に泥を塗った」とか、相撲で負けることを「土がつく」、悪いことをする「泥棒」など悪いイメージがある反面、泥を顔や肌に塗りつける「泥エステ」があり、「泥つき野菜」からは安全・安心を感じる人もいらつしやるだろう。

土や泥は全国各地で使われる用語であるが、新潟など北陸地方では土のことを「べと」という。おそらく、べとべととする重粘な土が多く分布するからだろう。

また、世界各地で土を食べる風習もある。胃腸薬の主成分は人工的な泥ともいえるケイ酸アルミニウムだ。さらに私たちは、土の上に建てた家に住み、土から収穫した農産物を食べている。これは農家はかりでなく、一般の人もガーデニングを楽しんでいる。

このように土は私たちにとって最も身近な環境のひとつである。

一方、大学のカリキュラムでは「土壌学」、また土の健康診断を「土壌診断」という。その他にも、「土壌微生物」「土壌消毒」「土壌改良資材」など、農業では「土壌」という用語がよく使われるが、普段は「土」や

「泥」ということが多い。

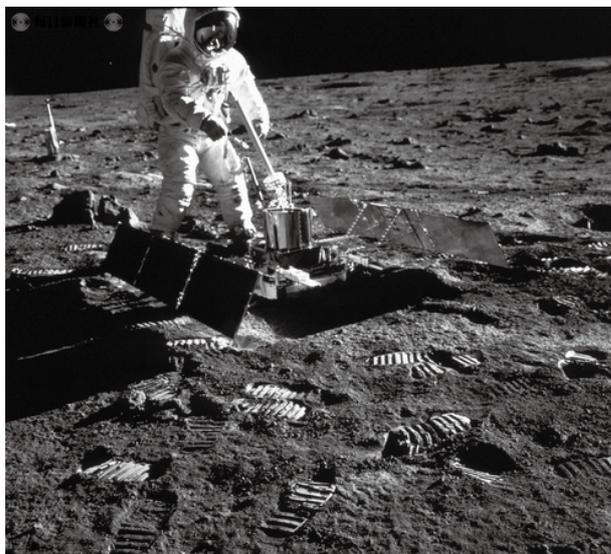
「土」と「土壌」はどう違うのだろうか。大きな辞書や漢和辞典をひも解いてみると、「土」とは大地を示す一線上に植物が生育した様を示す字で、「植物を生育させる大地」という意味があると思われる。一方、「壤」

には「柔」あるいは「やわらかな肥えた土地」の意味がある。

それによく似た字で醸造の「醸」は醸すの意味で、微生物の働きで物質がゆっくり変化する現象である。さらにお嬢さんの「嬢」には「母」の意味があるそうだ。すなわち、「土壌」とは「植物をゆっくり育てる柔らかな母なる大地」と意味づけられているのではなからうか。

やはり「土壌」には「土」より深い意味があるようだが、普段は「土壌」より「土」を使ってしまうことが多い。いずれにしても「土壌」の意味さえしっかり理解しておけば、「土」でもよいだろう。

写真1：月面に残った宇宙飛行士の足跡（NASA 提供）



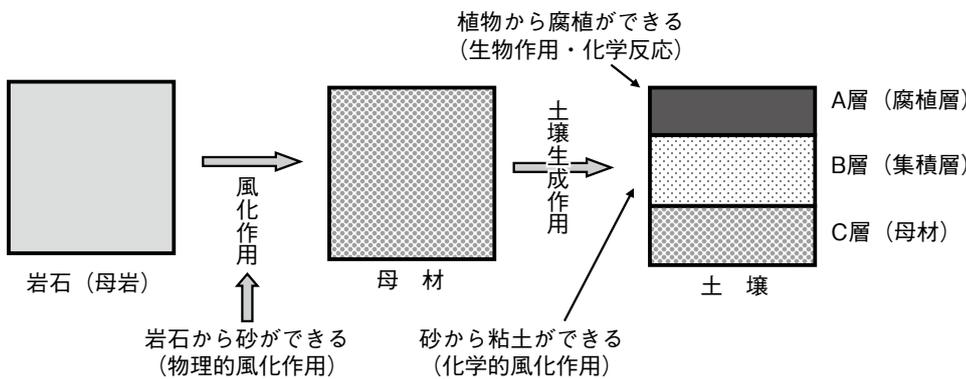
出典：<http://mainichi.jp/graph/2012/07/06/20120706org00m040025000c/016.html>

2. お月様には土がない

土はどのようにしてできたのだろうか。土は岩石が風化して細くなったもの、と知っている人が多いだろうが、土はそれほど単純な物質ではない。1969年にアポロ11号が初めて月面に降りた際、写真1のようにくっきりと宇宙飛行士の足跡がテレビに映し出された。しかし、あの物質は土ではなく単なる岩石の粉で、空気や水がない月には土が存在しない。すなわち、土ができるには岩石だけではなく、空気と水、それに生物のはたらきが不可欠だ。

いまから46億年前に誕生した地球

図1：土壌の生成模式図



では、その後、約41億年前に地殻がほぼ固まってきて、陸と海が生まれだ。陸地を被う岩石は、熱膨張率の違いさまざまな造岩鉱物の集合体で、昼間は太陽からの熱で暖められて夜に冷える。それを繰り返すことにより、岩石の表面からひび割れて次第に細くなる。これが風化作用

写真2：黒ボク土の土壌断面(長野県川上村の野菜畑)



のなかでも物理的風化作用と呼ばれ、岩石が崩されて細くなる過程である。地球には空気があり、雨が降る。空気中の二酸化炭素は雨水に溶けて希薄な炭酸水となって地上に降り注ぐ。また、空気中の酸素には物質を酸化する化学的活性がある。造岩鉱物の多くはケイ酸とアルミナを基本構造とするアルミノケイ酸塩鉱物で、最も構造が簡単なカンラン石から最も複雑な石英まで多種多様だ。構造が簡単な造岩鉱物ほど、炭酸水や酸素などによる化学反応を受けやすく、結晶構造が異なる鉱物に変化する。

このような化学的風化作用を受けて、造岩鉱物から粘土鉱物が誕生して粘土となる。逆に、正長石や石英のような結晶構造が複雑で風化抵抗性の強い造岩鉱物は、礫や砂になる。このようにして、固い岩石から礫・砂・粘土ができる。粘土には保水性と保肥性があるため、そこに生物が発生し、コケ(蘚苔類)が生え、次第に大きな植物へと進化した。それらの植物遺体を土壌動物や微生物が分解して、やがて腐植と呼ばれる土壌有機物ができ、土の表面から黒くなる。

このように、のっぺらぼうな岩石から物理的・化学的・生物的風化作用を経て、図1のような腐植層(A層)・集積層(B層)・母材(C層)という土層を持つ土壌ができ上がる。土は硬い岩石だけからできるわけではなく、地表に堆積した火山噴出物(火山灰)を母材としてできた、

写真2のような火山灰土壌(黒ボク土)も我が国には広く分布する。

3. 土は地球の宝物

こんなことは頭の中でしかできないが、地球上の陸地を被う土を全部集めて、平らなところに拡げると、その厚さはどれくらいになるだろう。なんと18cmにしかないそう。地球の半径6400kmに対して、岩石の塊である地殻の厚さはわずか40km。地殻を地球の皮膚に例えれば、土は「地球のあか」にも満たないほどの物質といえる。

岩石から土ができるまでにどれくらいの時間がかかるだろう。土の生成には化学反応や生物の活動がかかるため、その生成速度は気温や雨量など気候に依存する。いまから約100年前に滋賀県の岩石がむき出しになったはげ山に植林をしたところ、現在では約20cmの土層ができたという記録がある。すなわち、日本のような温暖多雨な気候条件での土壌生成速度は、1年間に約2mmということだ。

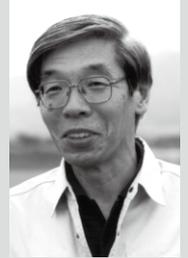
私たちはこのような土の上に住み、農家は土の仕組みを巧みに利用して農産物を生産している。あまりにも身近な環境であるために気づかないことが多いが、土は大切な資源であり、地球の宝物でもある。

土と施肥の基礎知識

3 その

土は何からできている？

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. 有機物が土の必須成分

筆者は東京農業大学在職中にたびたび海外での土壌診断調査にも出かけたが、その際には、必ず事前に農林水産大臣宛てに土壌特別輸入許可申請を行なっていた。害虫や病原菌などの国内への流入を防ぐため、土壌が輸入禁止品目リストアップされているからだ。

ただし、岩石あるいはその粉であれば、それには該当しない。その境目は、植物根が混入していないことと黒みを帯びていないことだそう。すなわち、土壌としての必須条件は有機物を含むことである。

有機物とは炭素を含んだ高分子化合物から構成される物質で、土の中には植物根のほかミミズやダニのような土壌動物、細菌やカビのような土壌微生物などの生物と、それらの遺体やそれらが分解してできた腐植として含まれている。

なお、空気中の二酸化炭素、土壌の酸性改良に使う苦土カルに含まれる炭酸カルシウムと炭酸マグネシウム、料理に使うふくらし粉（重曹）に含まれる炭酸水素カルシウムは、いずれも炭素を含んだ化合物であるが、有機物には分類されない。

ちなみに最も簡単な化学構造を持つ有機物はメタンである。

2. 土の中には宝石が

ちりばめられている

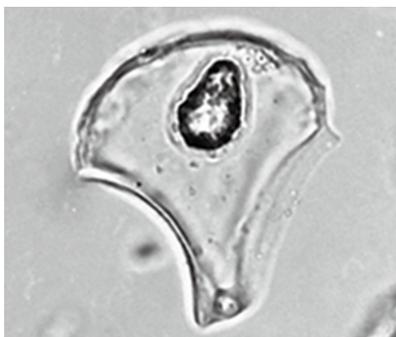
有機物以外の土の成分が無機物で、具体的には礫・砂・粘土から構成される。

礫とは直径2mm以上の岩石のかけらで、学術的に表現すると造岩鉱物の集合体ということになるが、わかりやすいいえば「石」である。とはいえ、石は学術用語ではないので、「石につまづいて転んだ！」は「礫につまづいて転んだ！」と言うべきだろう。

砂とは直径0.002〜2mmの粒子と定義され、岩石を構成する造岩鉱物が物理的風化作用によりバラバラになった物質で、具体的には石英・正長石・白雲母などである。いずれも、風化しにくい造岩鉱物で、岩石の中に含まれていた結晶構造がそのまま残っている。

石英はそれらの中で最も風化しにくい頑固な造岩鉱物であるため、土の中には必ずといってよいほど、この石英が含まれている（写真1）。熱帯地域では岩石の風化速度が速いため、石英以外の造岩鉱物が風化してしまい、砂のほとんどが石英からできていることもある。また、石英はクォーツとも呼ばれ、じつは宝石の一種である水晶と同じ構造の鉱物

写真2：土の中で見られるイネ科植物のプラントオパール



出典：<http://hibiyal.jp/data/card.html?s=2&cno=1167>

写真1：土から分離した粗砂中の石英（写真中央）

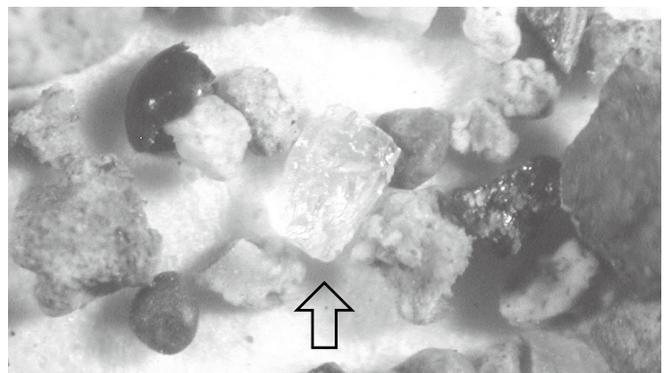


図1：岩石から一次鉱物と粘土（二次）鉱物が生成する過程

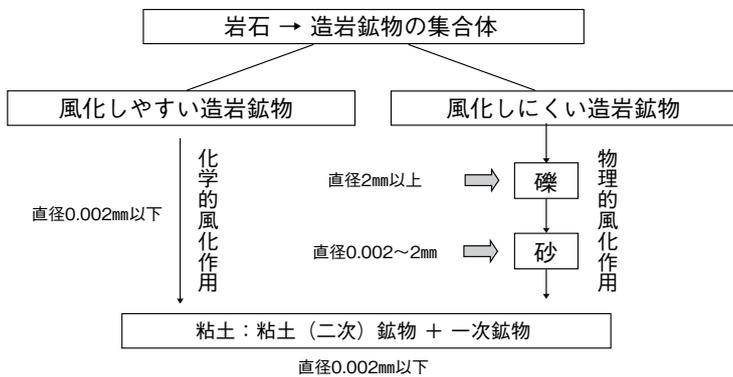
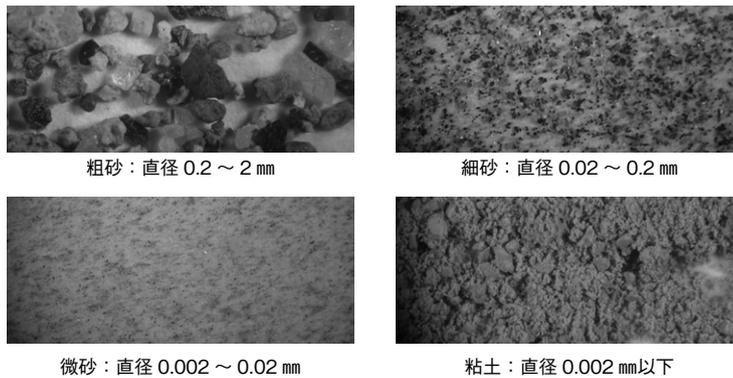


表1：土の無機成分の分類

| 粒子の大きさによる分類 | 鉱物による分類 |
|--|---------------------|
| 礫：直径 2 mm 以上 | 一次鉱物（集合体） |
| 砂 <ul style="list-style-type: none"> 粗砂：直径 0.2 ~ 2 mm 細砂：直径 0.02 ~ 0.2 mm 微砂：直径 0.002 ~ 0.02 mm | 一次鉱物（集合体・単粒） |
| | 一次鉱物（単粒） |
| | 一次鉱物（単粒） |
| 粘土：直径 0.002 mm 以下 （細粘土：直径 0.0002 mm 以下） | 一次鉱物 + 二次鉱物 二次鉱物 |

※一次鉱物：造岩鉱物、二次鉱物：粘土鉱物

写真3：粒径による砂と粘土の分類



このように、土は礫・砂・粘土からなる無機成分のほか、土壌動物や土壌微生物などの生物、それらの遺体やそれが変化してきた腐植などの有機物のように、大きさや組成が著しく異なる成分から構成されている。すなわち、土はたいへん不均一な物質で、それが土のすばらしい特性でもある。

一方、土に砂が多く含まれていると水はけ（透水性）がよくなる。砂そのものは保水性や保肥性を持たないが、大きな砂のすき間に小さな砂が入り込んで、砂と砂の間に大小さまざまな大きさのすき間ができる。小さなすき間には、表面張力により水（土壌水）が貯まり、保水性が高まる。同時に、植物に最も吸収されやすい水溶性養分が溶け込む。逆に大きなすき間には、植物根や土壌動物、微生物の呼吸に不可欠な空気（土壌空気）が含まれる。そのため、土壌空気は大气に比べて酸素が少なく、二酸化炭素が多い。

である。いわば、土の中には宝石がちりばめられているわけだ。そのほかにも、写真2のようなプラントオパールと呼ばれる植物由来のごく小さな宝石も含まれている。

3. 土の本体の粘土鉱物は粘土に含まれている

造岩鉱物が物理的風化作用により細かくなり、粒径が 0.002mm 以下になったものを粘土という。土を指先でこねるとツルツル、ベトベトする物質で、この粘土の中に土の本

造岩鉱物（一次鉱物）と粘土鉱物（二次鉱物）の関係は図1と表1のようになる。粘土の中でも粒径がさらに細かくなり、直径 0.002mm 以下の細粘土と呼ばれる大きさとになると、ほぼすべてを粘土鉱物が占める。この粘土鉱物にもさまざまな種類があり、その違いが土の保肥力や肥沃度に大きく影響する。

4. 不均一さが土の特性

一方、土に砂が多く含まれていると水はけ（透水性）がよくなる。砂そのものは保水性や保肥性を持たないが、大きな砂のすき間に小さな砂が入り込んで、砂と砂の間に大小さまざまな大きさのすき間ができる。小さなすき間には、表面張力により水（土壌水）が貯まり、保水性が高まる。同時に、植物に最も吸収されやすい水溶性養分が溶け込む。逆に大きなすき間には、植物根や土壌動物、微生物の呼吸に不可欠な空気（土壌空気）が含まれる。そのため、土壌空気は大气に比べて酸素が少なく、二酸化炭素が多い。

土と施肥の基礎知識

4 その

土の種類と色

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. 土も十人十色

十人十色といわれるように同じ人は二人とない。それと同様に土の種類も数限りないが、「黒土」や「赤土」のように土は色で分類することが多い。ほかにも土の色は、褐・黄・灰・青・白などさまざま（写真1）。黒い色の正体は腐植で、その含有量が多いほど黒くなる。園芸用土としても使われる「黒ボク土」には腐植を30%程度含む真っ黒な土があり、おそらく世界でも最も色の黒い土のひとつである。

黒土は黒ボク土の腐植層の土だが、その下層でほとんど腐植を含まない土を採掘し、乾燥してふるいを通した園芸用土が「赤玉土」だ。赤といっても実際には褐色で、本当に赤い土は亜熱帯や熱帯地域で見られる赤色土である。東京都内にも世界で最も赤いと思われる土が分布している。ただし、都心から約1000km離れた亜熱帯の島、小笠原村父島である。

東京から東海道新幹線で西に向かうと、小田原辺りまでは黒ボク土の畑が広がっているが、静岡県に入ると茶園が見られるようになる。その茶園の土の多くが黄色土という黄色い土で、酸性が強いため茶樹の生育に適している。なかには赤い土、あ

るいは黄色と赤が混じった土も見られ、赤色土と黄色土を合わせて赤黄色土ともいう。

2. 土の色を左右する鉄

これら土の褐・黄・赤色のもとなっている物質は、土の多量元素のひとつでもある鉄で、化学的条件の違いにより色が異なる。たとえば、新しい鉄くぎの表面はピカピカ光っているが、雨に当たると表面がさびて褐色になる。褐色の土にはその鉄さび（水酸化鉄）に類似する物質が含まれている。褐色の土を高温で焼くとレンガのような赤い色になる。それが赤色土の赤（酸化鉄）で、黄色は水酸化鉄と酸化鉄の中間物である。

北半球では気温が高くなる北から南に行くほど土中の鉄化合物の形態が変化して、色が褐・黄・赤と変化する。なお、日本では北海道や東北地方などにも赤い土が分布しているが、古赤色土と呼ばれ、過去の暖かかったころにできた土である。

このように下層土の色は鉄化合物の形態により異なるが、それだけでなく酸素の有無によっても変わる。水を張った水田の表面から数mmの土は、水中に溶けた酸素が供給される酸化層で褐色だが、酸素が遮断されるその下層では、灰色あるいは青色

写真2：水田下層土の青色還元層



出典：http://www001.upp.so-net.ne.jp/hide_kit/grayclay.jpg (北村 秀教)

写真1：さまざまな土の色



図1：土壤生成因子

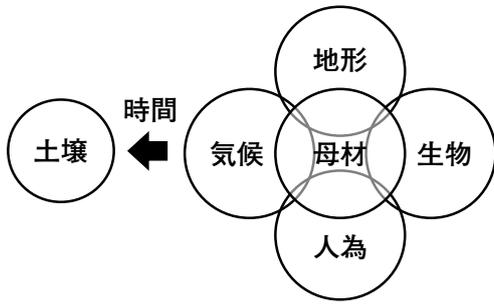


図2：日本の土壤図

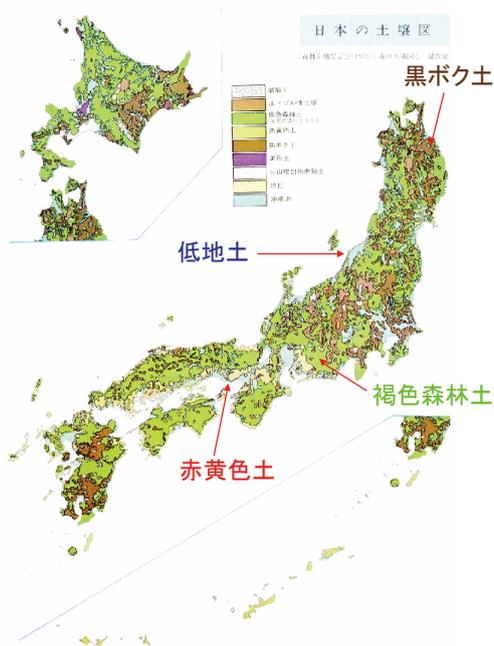


写真4：火山灰土壤(黒ボク土)の断面



写真3：低地土の断面(千葉県)



の還元層となる(写真2)。酸化層中の鉄(Fe₂O₃)は水に溶けにくい、還元層では水に溶ける形態の鉄イオン(Fe²⁺)となり、徐々にではあるが下層に流れる。水田では、この還元層ができることにより、さまざまな水田特有の現象が生じる。その辺りの話は別の機会としよう。

もう一つ土の色が残っている。皆さんは白い土を見たことがあるだろうか。土の色を黒くする腐植を含まず、また褐・黄・赤・灰・青色のもとになる鉄が含まれていなければ、土は白くなる。日本では標高約2500m以上の山岳地帯に分布する、ポドゾルや熱帯地域の沼地の土(熱帯ポドゾル)には白い土層が見られる。もともと鉄を含んでいなかったのではなく、土ができる過程で化学

反応により鉄成分が下層に流れてきた特殊な土層で、漂白層とも呼ばれる。

3. 日本の農耕地の主体は低地土と黒ボク土

「土壌とは母材を主原料として、気候・地形・生物の影響を受け、時間をかけて作られた自然物」と定義される。これらの「母材」「気候」「地形」「生物」「時間」ともう一つ「人為」を加えた6つを土壤生成因子という(図1)。

人為といえば「土づくり」のことかと思う人が多いかもしれないが、そうではない。土のなかには人が作ったものもあるという意味で、具体的には「水田の土」がそうだ。水田の土そのものは自然が作ったものだ

が、人が畦畔を作り、そこに水を張ることで、先ほど述べたように色の違う酸化層と還元層からなる水田土壌ができていく。

その水田の土だが、その原料の母材は河川上流から流れてくる土砂(非固結堆積岩あるいは沖積堆積物)であり、河川流域の低地に分布する。そのため低地土あるいは沖積土と呼ばれ、日本の土の中では比較的肥沃度が高い。

畑(普通畑・果樹や茶園などの樹園地・牧草地)の土は、黒ボク土・褐色森林土・赤黄色土などからなる。最も分布面積が広い土は黒ボク土で畑の約半分を占める。

褐色森林土とは、ナラ・ブナ・ケヤキなどの落葉広葉樹林に分布する土

で、下層の色が褐色であることからこの名が付いた。表層には大量の落葉が供給されるので、黒い腐植層となっている。我が国に最も広く分布する土(国土の51%)で、主に林業で利用される。褐色森林土は黒ボク土に似ているが、前者は山地から丘陵地、後者は緩やかな丘陵地から台地にかけて分布している。日本で見られる土壌の種類とそれらの分布は図2のとおりである。

このように、日本にはさまざまな土が分布しているが、農耕地として利用される土は水田では低地土(写真3)、畑では黒ボク土(写真4)が主体である。

土と施肥の基礎知識

その5

土の元素組成と粘土鉱物

東京農業大学 名誉教授 後藤 逸男
全国土の会 会長

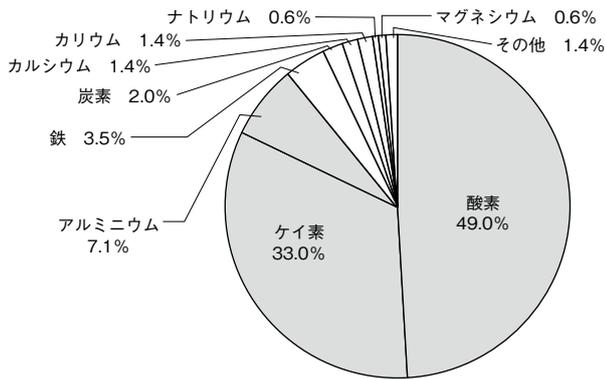


1950年生まれ。東京農業大学大学院修士課程を修了後、同大学の助手を経て95年より教授に就任し、2015年3月まで教鞭を執る。土壌学および肥料学を専門分野とし、農業生産現場に密着した実践的土壌学を目指す。89年に農家のための土と肥料の研究会「全国土の会」を立ち上げ、野菜・花き生産地の土壌診断と施肥改善対策の普及に尽力し続けている。現在は東京農業大学名誉教授、全国土の会会長。

1. 土の元素組成

本連載の後半では「土づくり」や「土壌診断」について記すが、その中で「土の健康は人の健康と同じ」というフレーズを何度も繰り返す。人は生物で土は非生物と、一見まったく違うように思われがちだが、両者には大きな共通点がある。人の体を構成する元素は多い順に酸素・炭素・水素で、一方の土は図1のように酸素・ケイ素・アルミニウムで全体の約90%を占める。酸素を最も多く含むことも両者に共通するが、重

図1：土壌を構成する元素の割合



人は炭素を中心とする高分子有機化合物からできているのに対して、土の主成分である砂と粘土はケイ素を中心とする高分子ケイ酸塩鉱物からできている。昨今では生物の遺伝子組み換えがブームだが、さらに科学が進歩して元素入れ替えが可能になると、人体中の炭素をケイ素に入れ替えて、熱や薬品に強いシリコーン人間ができるかもしれない。なお、シリコーンとはケトンと呼ばれる有機化合物中の炭素をケイ素に入れ替えて作った合成樹脂（シリコーン樹脂）で、耐熱性や化学的安定性に富むため、美容整形などにも利用される。また、木の化石として知られる珪化木とは、植物中の有機物が地中でケイ酸に置き換わった物

要な点はそれぞれ2番目の炭素とケイ素だ。

高校の化学で勉強したメンデレーエフの元素周期律表を思い出してみよう。原子番号6番の炭素の真下に原子番号14番のケイ素が位置している。元素周期律表の縦の列は族と呼ばれる。同じような性質の元素が配置されている。炭素とケイ素は同じ炭素族の元素で、いわば親類である。どちらも4本の手（原子価）を持ち、それらの手をつなぎ合わせる（共有結合）ことで高分子化合物を作ることができる。

質である。

土には自然界に存在する92種類の元素のほとんどが含まれると考えられるが、少なすぎて分析できないものも数多い。図1に示す9種類の元素のほかに、チタン、マンガン、リン、イオウ、窒素、水素を主成分元素、それ以外を微量元素という。

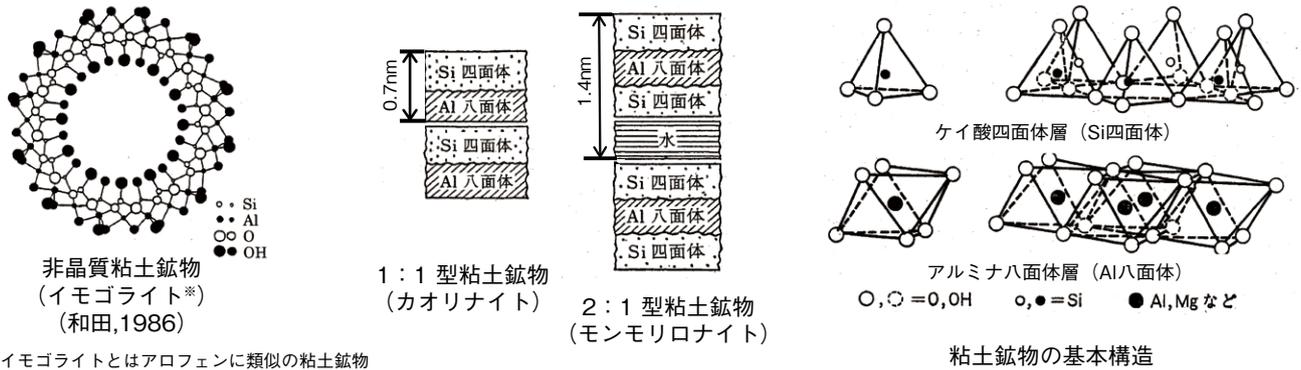
軽量で耐食性に優れる金属であるチタンが主成分元素に含まれていることはあまり知られていない。微量元素には、植物生育に必須な微量元素（亜鉛、銅、ホウ素、モリブデン、塩素、ニッケル）が含まれる。鉄とマンガンは植物栄養学では微量元素に該当するが、土壌学では主成分元素に分類される。

また、微量元素の中で有害元素に分類されるカドミウム、ヒ素、水銀などは人工的に汚染されていない土にも必ず含まれる。その含有量をバツクグラウンド値といい、水銀で0.1mg/kg以下、カドミウムで0.2~0.3mg/kg、ヒ素では10mg/kg程度に達することもある。土から有害元素が検出されたら直ちに汚染土壌と見なすのは誤りで、バツクグラウンド値と比べて汚染の有無を判断するべきである。

2. 粘土鉱物は土の屋台骨

土の保肥力や肥沃度に大きく影響

図2：粘土鉱物の構造（青峰・和田原図）



*イモゴライトとはアロフェンに類似の粘土鉱物

する粘土鉱物は、土の屋台骨ともいえる構成成分である。人の体を支える骨がリン酸カルシウムを主成分とするのに対して、土の屋台骨はケイ酸のほかにアルミナという物質からできている。

粘土鉱物は直径0・002mm以下のたいへん微細な粒子であるが、土の主成分である酸素・ケイ素・アルミニウムなどの元素が規則正しく配列する結晶構造を成している。その結晶構造により層状粘土鉱物と球状粘土鉱物に大別される(図2)。

前者はちようどタン板を重ねたような層状構造を有し、酸素とケイ素を主成分とするケイ酸四面体層と酸素とアルミニウムを主成分とするアルミナ八面体層が1枚ずつ組み合わされた1・1型粘土鉱物と、2枚のケイ酸四面体層の間にアルミナ八面体層が挟まれた2・1型粘土鉱物がある。また、火山灰から生成した黒ボク土に含まれる粘土鉱物は、ボールのような中空球状構造の粘土鉱物でアロフェンと呼ばれる。

これら粘土鉱物の性質は著しく異なり、植物生育の観点から最も優良な粘土鉱物は、モンモリロナイト(スメクタイトとも呼ばれる)で代表される2・1型粘土鉱物、続いてカオリナイト、ハロイサイトの1・1型粘土鉱物で、アロフェンが最も不良

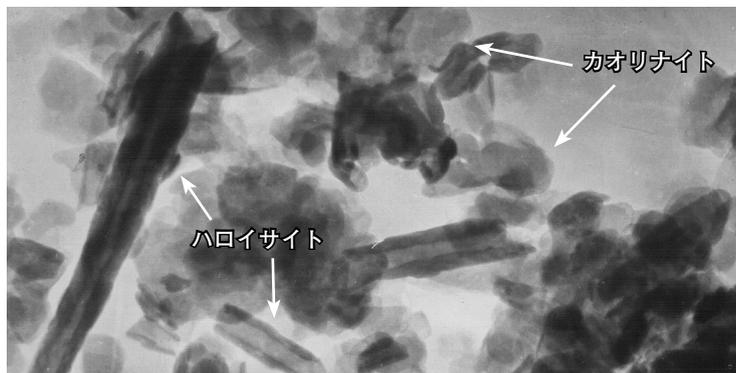
な粘土鉱物である。

粘土鉱物の優劣を左右する最も大きな相違点は、肥持ちあるいは保肥力と呼ばれる、土の胃袋に例えられる陽イオン交換容量(CEC)で、モンモリロナイトはほかの2種類の粘土鉱物に比べて10倍以上も大きい。すなわち、粘土鉱物としてモンモリロナイトをたくさん含んだ土が良い土で、その筆頭格が世界の穀倉地帯に分布するチェルノーゼムである。

日本の土にはモンモリロナイトはほとんど含まれず、1・1型粘土鉱物を主体としている。写真1は、ハロイサイトとカオリナイトの電子顕微鏡写真である。どちらも1・1型の層状粘土鉱物であるが、ハロイサイトはパイプのような中空管状となっている。黒ボク土にはアルミナを多量に含むアロフェンが含まれ、このような粘土鉱物の種類がチェルノーゼムと日本の土との根本的な肥沃度の違いの一因となっている。

なお、日本の穀倉地帯と呼ばれる新潟県、富山県などの北陸地域の水田にはモンモリロナイトを含んだ土が分布し、良質米の産地として知られる。ただし、それらのモンモリロナイトは、地表での土壌生成作用でできたのではなく、地殻内での熱水作用や続成作用と呼ばれる岩石の変

写真1：赤色土壌中の粘土鉱物（東京都小笠原村父島）



質により地下で生成した後の地殻変動で山地となり、浸食などにより河水水で運搬堆積されたものである。

このようにモンモリロナイトは農業的には優れた粘土鉱物であるが、ほかの鉱物とは異なり乾湿により体積が変化し、乾くと縮み、湿ると膨張する。そのため、あまりにも大量のモンモリロナイトを含んだ土壌は排水・透水不良となり土壌物理性が悪くなる。土の世界も過ぎたるは及ばざるがごとしといえる。



土と施肥の基礎知識

その 6

土の有機成分

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. 腐植と有機物

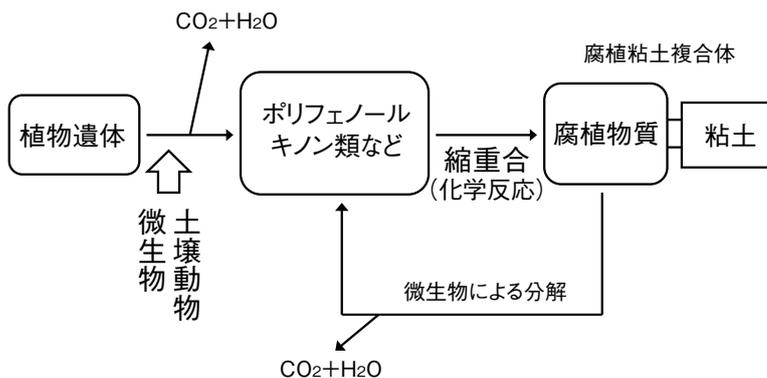
畑や水田に穴を掘ってみると、作土と呼ばれる表層15〜20cmはその下層より色が黒い。この黒い物質が腐植と呼ばれる土の中の有機成分である。ただし、正確には有機物≠腐植ではなく、腐植とは土壤有機物中の主要成分との表現が正しい。

多くの人が、土の色が黒いほどよい土で、土づくりの基本のひとつが腐植を増やすことと誤解しているようだが、どちらも間違いである。日本には、世界で最も色が黒い土「黒ボク土」が広く分布するが、自然の状態では酸性が強く、可給態リン酸が乏しいやせた土である。一方、同じような黒い土でも、ウクライナを中心とする中央ヨーロッパには「チェルノーゼム（黒土）」と呼ばれる世界で最も肥沃な土が分布する。すなわち、見た目だけでよい土かどうかを見分けることはできないが、多量の腐植を含む黒ボク土は水はけ・水持ち（土壤物理性）がよいので、酸性を改良して、適切な施肥管理を行えば、肥沃な土になる。

2. 腐植の正体

腐植とは植物が腐つてできた物質と考えると間違いではなく、図1のようなプロセスでできる。植物が枯れ

図1：土壌中での腐植の生成プロセス



て土に戻ると、土壤動物や土壤微生物の作用で植物中の有機物の大部分が二酸化炭素と水に分解され、リグニン・ポリフェノール・キノンなどのように構造が複雑で、微生物による分解を受けにくい成分が残る。それらが土壌中で加水分解や縮重合などの複雑な化学反応を経て腐植となる。

この腐植は粘土と化学的に結合して、腐植粘土複合体を生成する。この結合はたいへん強固で、切断する

には土に水酸化ナトリウム（苛性ソーダ）を加えて、煮沸する方法を用いる。そのようにして黒ボク土から抽出した腐植が写真1の左で、墨のように真っ黒だ。この黒い液に硫酸を加えて中和すると写真1の右のように、黒い物質が沈殿し、上澄は黄金色となる。黒い沈殿が腐植酸（フミン酸）、黄金色の液体がフルボ酸で、この両物質が腐植の正体である。腐植酸は土の保肥力を高め、フルボ酸は鉄・銅・亜鉛などの金属元素と結合（キレート化）して、それらの移動を助ける働きを果たす。わかりやすく表現すると、腐植酸は土の胃袋を大きくし、フルボ酸は微量元素の運び屋ということになる。なお、腐植の成分にはフルボ酸、腐植酸のほか、アルカリや酸処理によっても土から溶出しないヒューミンと呼ばれる物質も含まれる。

3. 有機物を施用しても腐植は増えない

植物の遺体が土壤動物と微生物により分解されて腐植となる過程で、まずはフルボ酸ができる。そのフルボ酸ができるまでには数百年、その後腐植酸になるまでには数千年の歳月を要することが知られている。ということ、有機物を施用しても、それらが腐植になるまでには途方も

写真1：黒ボク土から分離した腐植酸とフルボ酸

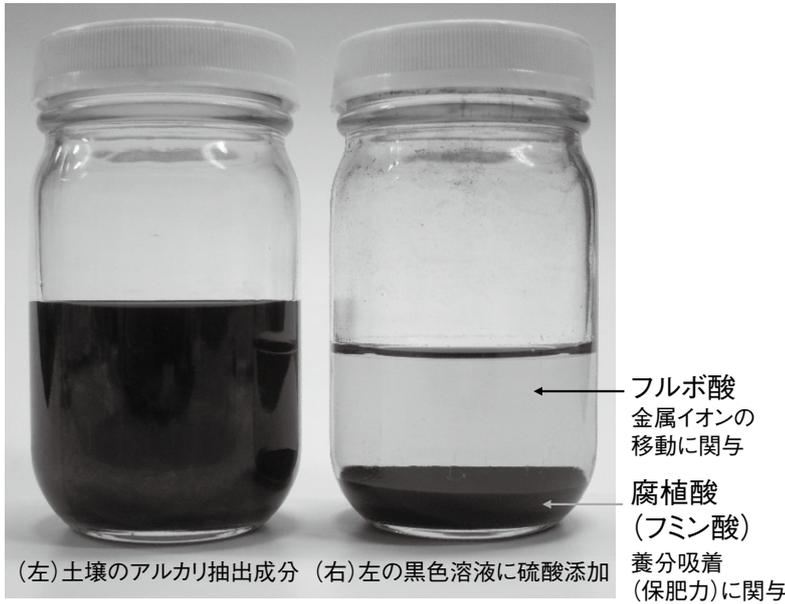
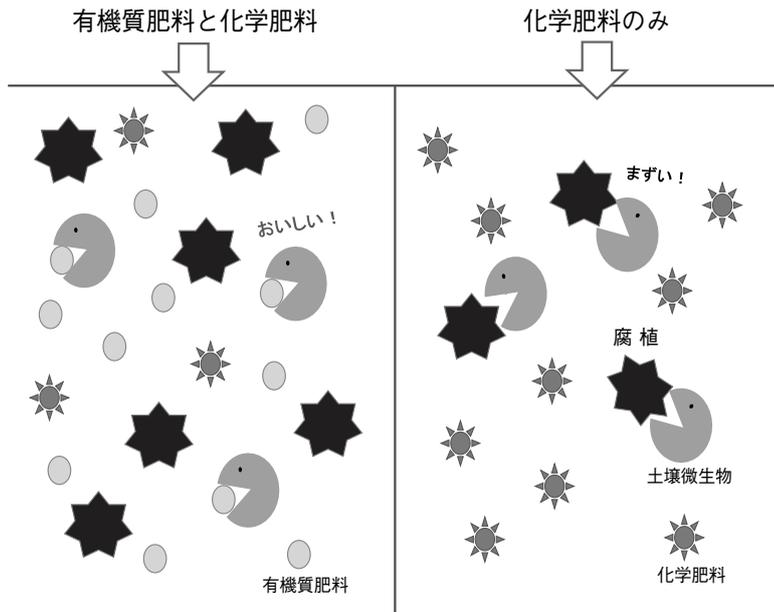


図2：化学肥料の施用と土の腐植が減るメカニズム



土づくりに有機物が必要なわけを土壌微生物のえさと考えると、堆肥だけが有機物ではなく、油かすや魚かすなどの有機質肥料や緑肥もおいしいえさとなる。堆肥とは施用前に微生物による分解を受けた資材であるので、いわば有機物のかすで、微生物にとっては有機質肥料や緑肥のような新鮮有機物のほうがおいしいはずだ。ただし、通気性の悪い水田に新鮮な有機物を多量に施用すると、微生物が食べ過ぎて、土の中の酸素が欠乏し二酸化炭素が増え、根腐れを起こしやすくなるので、水田には堆肥のほうが無難だ。

ない時間が必要ということである。農家にその話をすると、熱心な人は「そんなことはないはずだ。真っ黒な完熟堆肥を施用した土の腐植含有量を測定したら施用前より増えた」という。しかし、それは錯覚で、一般の土壌診断分析での腐植分析では、土をピロリン酸ナトリウムと水酸化ナトリウムという試薬で処理して、抽出された有機物の色の黒さを測定する。そのなかには堆肥中の黒色物質も溶け出るため、腐植含有量

が見かけ上、増えることになる。土づくりの基本のひとつが適切な有機物の施用であることは間違いないが、有機物を施用しなければならぬ理由は、腐植を増やすためではなく、腐植を減らさないためだ。フルボ酸や腐植酸が長期間にわたって土の中に存在するわけは、土壤微生物による分解を受けにくい、わかりやすく表現すると「まずくて、硬くて微生物が食わない」ためである。農耕地では施肥や耕うんを行な

い、農産物を生産・収穫するため、未耕地に比べて微生物数が多い。それらの微生物の多くが有機物を「えさ」とする従属栄養微生物であるので、有機物を分解してエネルギーを獲得する。もし、有機物を一切施用しないで、化学肥料だけで営農を続けると、土の中で微生物のえさが不足して飢餓状態となる。そこで、図2の右のように微生物は生き延びるためにまずくて硬い腐植を食べ、その結果として腐植含有

量が減少する。このような現象がいわゆる地力の消耗であり、多くの水田で起こっている。化学肥料だけの施肥に加えて、収穫後のワラや籾殻を水田から持ち出せば、そのような地力の消耗がより一層促進される。一方、図2の左のように適切に有機物を施用すれば、微生物は柔らかくておいしい有機物をえさにするので、まずい腐植には見向きもしない。すなわち、腐植含有量は減らないわけである。しかし、とくに園芸では土づくりのためと堆肥を多量施用する傾向にある。堆肥が完熟すればするほどリン酸やカリが濃縮される。完熟堆肥をたくさん施すほど土の養分過剰が進むので、注意したい。

土づくりに有機物が必要なわけを土壌微生物のえさと考えると、堆肥だけが有機物ではなく、油かすや魚かすなどの有機質肥料や緑肥もおいしいえさとなる。堆肥とは施用前に微生物による分解を受けた資材であるので、いわば有機物のかすで、微生物にとっては有機質肥料や緑肥のような新鮮有機物のほうがおいしいはずだ。ただし、通気性の悪い水田に新鮮な有機物を多量に施用すると、微生物が食べ過ぎて、土の中の酸素が欠乏し二酸化炭素が増え、根腐れを起こしやすくなるので、水田には堆肥のほうが無難だ。

量が減少する。このような現象がいわゆる地力の消耗であり、多くの水田で起こっている。化学肥料だけの施肥に加えて、収穫後のワラや籾殻を水田から持ち出せば、そのような地力の消耗がより一層促進される。一方、図2の左のように適切に有機物を施用すれば、微生物は柔らかくておいしい有機物をえさにするので、まずい腐植には見向きもしない。すなわち、腐植含有量は減らないわけである。しかし、とくに園芸では土づくりのためと堆肥を多量施用する傾向にある。堆肥が完熟すればするほどリン酸やカリが濃縮される。完熟堆肥をたくさん施すほど土の養分過剰が進むので、注意したい。

土づくりに有機物が必要なわけを土壌微生物のえさと考えると、堆肥だけが有機物ではなく、油かすや魚かすなどの有機質肥料や緑肥もおいしいえさとなる。堆肥とは施用前に微生物による分解を受けた資材であるので、いわば有機物のかすで、微生物にとっては有機質肥料や緑肥のような新鮮有機物のほうがおいしいはずだ。ただし、通気性の悪い水田に新鮮な有機物を多量に施用すると、微生物が食べ過ぎて、土の中の酸素が欠乏し二酸化炭素が増え、根腐れを起こしやすくなるので、水田には堆肥のほうが無難だ。

土づくりに有機物が必要なわけを土壌微生物のえさと考えると、堆肥だけが有機物ではなく、油かすや魚かすなどの有機質肥料や緑肥もおいしいえさとなる。堆肥とは施用前に微生物による分解を受けた資材であるので、いわば有機物のかすで、微生物にとっては有機質肥料や緑肥のような新鮮有機物のほうがおいしいはずだ。ただし、通気性の悪い水田に新鮮な有機物を多量に施用すると、微生物が食べ過ぎて、土の中の酸素が欠乏し二酸化炭素が増え、根腐れを起こしやすくなるので、水田には堆肥のほうが無難だ。