

バイオマス資源で生産可能

植物が生育するのに不可欠なものは水・空気・適温・養分で、土は含まれていない。その証拠に、今流行の植物工場では土を使わない野菜生産が行われている。無農薬栽培で、土耕栽培より短期間で収穫できる。栽培条件をコントロールすれば、特定の機性能成分含有量を高めることもできる。病原性大腸菌汚染などの心配もない安全・安心野菜で、収穫後洗わずに食べることもできる。

植物が生育するのに不可欠なものは水・空気・適温・養分、土は含まれていない。その証拠に、今流行の植物工場では土を使わない野菜生産が行われている。無農薬栽培で、土耕栽培より短期間で収穫できる。栽培条件をコントロールすれば、特定の機性能成分含有量を高めることもできる。病原性大腸菌汚染などの心配もない安全・安心野菜で、収穫後洗わずに食べることもできる。

がいたため、化学肥料あるいはその原料のほぼ全量を輸入に依存している。

化学肥料の輸入が止まれば、植物工場もストップしてしまう。

カリ岩塩はカナダの地下千メートルに大量埋蔵されている。また、枯渇が懸念されたりん鉱石もモロッコで大きな鉱床が発見された。当分資源枯渇はないと思われるが、天然資源は有限だ。また、何らかの政治・経済的原因で肥料の輸入がストップする可能性もある。

しかし、「土」さえあれば、たとえ化学肥料がなくなっても農業を続けることができる。家畜ふん尿や下水汚泥、生ごみなどはかつて有機性廃棄物といわれ、厄介者扱いされてきたが、今ではバイオマス資源と呼ばれるようになった。

まさに、合理的な植物生産方式だが、一つ懸念されることがある。それは、植物工場で使える肥料が基本的に水に溶ける化学肥料ということだ。決して、化学肥料が悪いということではない。日本には化学肥料の原料になるリン鉱石や岩塩

これらを原料にして肥料を作り、それを農地に施せば、土壌動物や微生物の力を借りて、農産物を生産できる。

土はさまざまな力を秘めている。土はさまざまな力を秘めている。



このように、土は厄介者を資源化する力ばかりでなく、水や空気、肥料を蓄える力、さらには大気中の炭素を蓄える力など、さまざまな力を秘めた物質である。

基礎から学ぶ! 土づくり 作物を醸しながら育てる土

全国土の会 会長 後藤 逸男 ②

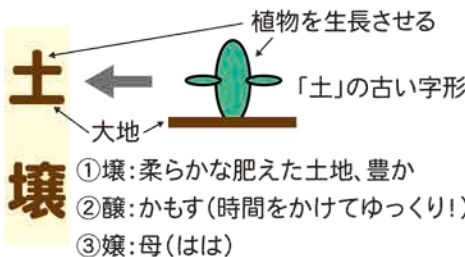
自然の物質循環を巧みに利用

土壌動物・微生物が有機物分解

筆者は東京農業大学で2015年3月まで40年間にわたり「土学」ではなく「土壌学」を担当してきた。「土壌診断」や「土壌微生物」という用語もあるように、土のことを正しくは「土壌」という。しかし、一般には「土」や「泥」が使われる。「土」と「土壌」、この二つの同じような用語は、どのように違うのだろうか。

筆者は東京農業大学で2015年3月まで40年間にわたり「土学」ではなく「土壌学」を担当してきた。「土壌診断」や「土壌微生物」という用語もあるように、土のことを正しくは「土壌」という。しかし、一般には「土」や「泥」が使われる。「土」と「土壌」、この二つの同じような用語は、どのように違うのだろうか。

「土」と「壌」の意味



「土」と「壌」の意味

植物を生長させる

「土」の古い字形

大地

① 壌: 柔らかな肥えた土地、豊か
② 醸: かもす (時間をかけてゆっくり!)
③ 嬢: 母 (はは)

このように土壌の「壌」には深い意味があることを知った上で、普段は「土」というよりもよいだろう。

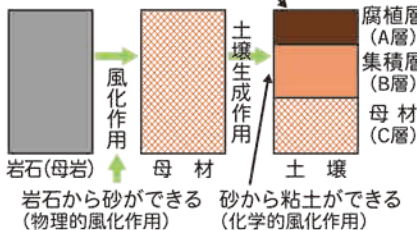
枯れた植物が腐植を作る

土とは、陸地の表面を覆う「地球の皮膚」のような存在だ。人は土の上に家を建て、水田や畑から収穫した農産物を食べる。土はわれわれの生活に最も身近な環境の一つである。この土はどのようにしてできたのだろうか。「岩石が風化して土ができた」と思っている人が多いようだが、完璧な答えとはいえない。

土の主原料が岩石であることは間違いないが、その他に水や空気、生物の作用がなくては土にはならない。岩石とは、石英・長石・雲母など造岩鉱物の集合体である。陸地の表面に露出した岩石が昼と夜の変化などで寒暖を繰り返すと、造岩鉱物の熱膨張率の違いによりひびが入り、徐々に細くなる。この過程を物

土のできかた

植物から腐植ができる(生物学的風化作用)



本の指の間でこすると、つ

るつるする物質が粘土、ざらざらする物質が砂である。粘土には保水性や保肥力があるので、植物が繁殖しやすい。その植物が枯れると土壌動物や微生物により分解され、やがて腐植と呼ばれる土壌有機物を生成して、表層が黒くなる。このように、岩石が物理的・化学的・生物的風化作用を受けて、腐植層(A層)・集積層(B層)・母材(C層)からなる土ができる。なお、土ができるには数千年から数万年におよぶ時間が必要で、日本の気候条件では年間にせいぜい2ミ程度といわれている。

土ができる際の主原料としては、堅い岩石の他にも沖積堆積物、火山灰、植物遺体などがある。

色だけで良しあし判断できず

十人十色といわれるように、世の中に同じ人は二人といない。たとえ、同じ顔をした双子でも性格は同じではない。土は人と共通点が多く、土の色もその一つだ。

土の色は黒、褐、黄、赤、灰、青、白の他、それらを組み合わせた色など数限りないが、土の色を決める成分はわずかに二つしかない。黒い土の正体は腐植と呼ばれる土壌中の有機物であり、腐植が多いほど色が黒くなる。その他の土色は土壌中の主に鉄化合物の組成とその含有量により支配される。

分布する土はレンガを思わせる真つ赤で、その主成分は酸化鉄である。家庭園芸などでは関東地方に分布する黒ボク土の下層土を赤土とか赤玉土と呼ぶが、土壌学的には赤土ではなく褐色土が正しい。水田や湿地のように水分が多くなると灰色がかったくる。

日本の気候条件では、腐植を含まない下層土の色は一般に鉄さびのような褐色であるが、気温が高くなるほど黄色から赤色を示すようになる。特に熱帯地域に



十人十色の土のいろいろ

水はけの悪い水田を掘り起こすと下層からきれいな青い土（グライ土）が出てくることもある。この青は酸素の少ない環境でできた鉄化合物の色であるため、掘り上げて空気にさらすと褐色に変わってしまう。白い土は特殊な環境条件で鉄化合物が溶け出し、下層に流れてしまったために白くなったもので、シベリアやカナダあるいは日本では高山帯の針葉樹林下の土（ポドゾル）に見られる。このように、複雑な土の色も主に腐植と鉄化合物の組み合わせにより決まる。

色の黒い土ほどよい土と思っている人が多いようだが、人の顔を見ただけで、その人がよい人か悪い人かは判断できない。繰り返すが、土も人と同じだ。

同じような色でも異なる性質

黒土とか赤土のように色で土の種類を分けることが最もわかりやすいが、同じような色をしている土でも、土壌診断分析をしてみると全く性質が異なることも多い。動物や植物の分類と同じように土壌学ではでき方や性質などにより土を分類する。

日本の土は大まかに褐色森林土・黒ボク土・赤黄色土・低地土に分類される。

褐色森林土は山間部や丘陵地の土で主に林業や果樹園あるいは畑として利用されている。黒ボク土は主に火山灰を原料(母材)とする土で、表層は色が黒く一般に黒土(くろつち)と呼ばれる。一見、肥沃な土のように思われがちではあるが、ウクライナなどに分布する世界で最も肥沃なチェ

ルノーゼム(黒土IIくど)とは似て非なる土である。黒ボク土は本来、酸性が強く、リン酸が極端に欠乏した世界にもまれな痩せ土であるが、水持ちや水はけなどの土壌物理性はよいので、適切な土壌改良を施せばよい土になる。日本の畑の約半分はこの黒ボク土で、特に野菜づくりには主要な土となっている。この

黒ボク土の腐植層の下には、通称赤土あるいは赤玉土と呼ばれる土層があり、これを採掘して乾燥調整した土が園芸用土として使われる。赤黄色土は瀬戸内沿岸地域や西南諸島などに見られる土で、畑や果樹園・茶園などに利用される。水田の土の多くは、河川の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)を母材とする

土で、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る、日本の土の中では比較の肥沃度が高い。

日本に分布する土については、インターネットから閲覧できる土壌図が「日本土壌インベントリ」そして農研機構から公開されている。

日本の土壌図



出典: <http://soil-inventory.dc.affrc.go.jp/explain.php>

こくど 黒土を参考に土づくりを

世界で最も肥えた土はチエルノーゼムで、ウクライナからシベリア南部にかけて分布する。年間雨量は500㎜程度と少なく、冷涼なステップ気候からなる草原地帯で、雨季には草が茂り乾季に枯れる。これが長年繰り返されることにより、大量の有機物が供給され、厚い腐植層ができるため、表層の色は真っ黒で黒土（こくど）とも呼ばれる。

灰や苦土などの養分を溶かして下層に移動するが、乾季になると反転して地表に上昇する。すなわち、チエルノーゼムでは石灰や苦土のような塩基と呼ばれる養分が循環するので、土が酸性化せず、中性ないしは弱塩基性（アルカリ性）が保たれる。

残念ながら日本には、このような三位一体の土は分布していない。色こそ同じで多量の腐植を含む黒ボク土（黒土IIくろつち）は酸性が強く、リン酸が効きにくい。そのために「土づくり」が必要になるわけだが、参考になるのがチエルノーゼムだ。ただし、どんな肥沃な土でも、そこで農業を営めば土は疲弊する。農業は土の養分を略奪する産業であることを忘れてはいけ

この土が肥沃な理由はいくつもある。まずは表層に大量の腐植を含むため団粒構造が発達して、土壌物理性（水持ちと水はけ）がよいことだ。土の中には水に溶ける養分（水溶性養分）が含まれている。

この地域では、雨量が少ないため雨季の間に土の中にしみ込んだ水は水溶性石

さらに、適度な水分と温度条件で、土壌の化学的風



世界で最も肥沃なチエルノーゼム

ない。

汚染せずとも含まれる有害元素

土には自然界に存在する

土はよく似ている。

られていない。微量元素には、植物生育に必須な微量

92種類の元素のほとんどが含まれると考えられるが、

ケイ素に続く元素はアルミニウムで、その3元素で

全体の約90%を占め、土の骨格を作り上げている。その他に、鉄、チタン、マンガ

少なすぎて分析できないものも数多い。最も多量に含

まる元素は酸素で、次いでケイ素である。一方、人

を構成する元素では酸素・炭素の順だ。人と土の2番

目に多い炭素とケイ素には

共通点があり、元素の周期律表では同じ炭素属という

グループに属している。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。人は炭素を中心とする高分子有機化合物から

できていて、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。このように人

と

土と人の元素組成

土

カルシウム1.4%、ナトリウム0.6%、マグネシウム0.6%、炭素2.0%、鉄3.8%、アルミニウム7.1%

酸素 49%、ケイ素 33%、その他 1.1%

人

カルシウム1.5%、リン1.2%、窒素2.6%、水素10%、炭素23%、酸素61%、その他0.7%

土と人の元素組成

人

土と人の元素組成

土

人

土と人の元素組成

土

人

土と人の元素組成

土

人

土と人の元素組成

土

人

土性や粘土鉱物の差が性質に影響

1969年にアメリカの宇宙飛行士が初めて月面に足跡を残した。その写真を見て月の表面にも土があると思っただけかもしれないが、空気も水もない月に土は存在しない。そこにあるのは、岩石が単に細くなった砂である。それとは対照的に、地球の陸地の表面を覆う土には、砂の他に粘土と腐植が含まれている。また、多数の土壌動物や微生物も生存している。すなわち、土は無機物と有機物からできている。有機物とは炭素を含む化合物の総称で、生物由来と考えてよい。一方無機物とは有機物以外の物質で、土の成分としては砂と粘土が該当する。世間ではよく「ミネラル」という言葉が使われ、鉄や亜鉛などを含んだサプリメントや微

量要素肥料のことと思っている人が多いのだが、決してそうではない。

土壌学では、土の無機成分を粒径で区分し、直径2mm以上を礫（れき）、0.002~2mmを砂、それより細かい成分を粘土と定義する。礫はいわゆる石のこと

より粗砂・細砂・微砂（シルト）に分けられる。粗砂は礫がさらに細くなった物質であるが、細砂と微砂になると造岩鉱物がバラバラになった単一の鉱物で、砂の粒径が細くなるほど、風化しにくい長石や石英の割合が増えてくる。

とで、岩石が物理的風化作用により砕かれ細くなった物質で複数の造岩鉱物の集合体である。砂は粒径に

粘土の中には、風化しやすい造岩鉱物から化学的風化作用により新たに生成した鉱物が含まれている。これが粘土鉱物で、造岩鉱物から二次的に生成したという意味から二次鉱物、一方造岩鉱物は一次鉱物とも呼ばれる。すなわち、砂と粘土は大きさだけでなく、中身も大きく異なる。この砂と粘土の混合割合である土性や粘土鉱物の種類の違いが、土の性質に大きく影響する。

土の中の砂と粘土



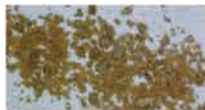
粗砂:0.2~2mm



細砂:0.02~0.2mm



微砂:0.002~0.02mm



粘土:0.002mm以下

ケイ酸とアルミナが肥持ちの要因

粘土と粘土鉱物、両者はどう違うのだろうか。粘土とは大きさ 0.002μ 以下の無機成分で、その主体が粘土鉱物である。粘土鉱物とは、造岩鉱物が化学的風化作用により結晶構造が変化してできた鉱物で、その構造により1・1型粘土鉱物、2・1型粘土鉱物、アロフェンの三つに大別される。1・1型と2・1型粘土鉱物はトタン板を重ねたような層状構造で、ケイ酸四面体層とアルミナ八面体層からなる。1・1型粘土鉱物はそれぞれ1枚ずつの層が重なっているのに対して、2・1型粘土鉱物は2枚のケイ酸四面体層の間にアルミナ八面体層が挟み込まれている。アロフェンは中心が空洞になった中空粒状構造である。このように、

3種類の粘土鉱物の構造は異なるが、主成分はいずれも酸素・ケイ素・アルミニウムで、ケイ酸（酸素とケイ素の化合物）とアルミナ（酸素とアルミニウムの化合物）から構成される。日本の土に最も多く含まれる粘土鉱物が1・1型のハロイサイトである。一方、2・1型粘土鉱物は世界一肥沃なチエルノーゼムに多く含まれる。アロフェンは火山灰を母材としてできた黒ボク土に含まれる粘土鉱物である。これら粘土鉱物の性質は著しく異なり、肥沃度や植物生育の観点から最も優良な鉱物は2・1型で、次いで1・1型、アロフェンは不良粘土にランクされる。これらの優劣を決定する最も大きな要因はケイ酸とアルミナの比率で、その比が大きいほど肥持ちも大きい。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よい土といえるわけだが、残念ながら日本の土の中にはほとんど含まれていない。農業では優良粘土といわれるモンモリロナイトだが、乾燥すると収縮するので窯業原料には適さない。このように、粘土鉱物の優劣は用途により異なる。

粘土と粘土鉱物、両者はどう違うのだろうか。粘土とは大きさ 0.002μ 以下の無機成分で、その主体が粘土鉱物である。粘土鉱物とは、造岩鉱物が化学的風化作用により結晶構造が変化してできた鉱物で、その構造により1・1型粘土鉱物、2・1型粘土鉱物、アロフェンの三つに大別される。1・1型と2・1型粘土鉱物はトタン板を重ねたような層状構造で、ケイ酸四面体層とアルミナ八面体層からなる。1・1型粘土鉱物はそれぞれ1枚ずつの層が重なっているのに対して、2・1型粘土鉱物は2枚のケイ酸四面体層の間にアルミナ八面体層が挟み込まれている。アロフェンは中心が空洞になった中空粒状構造である。このように、

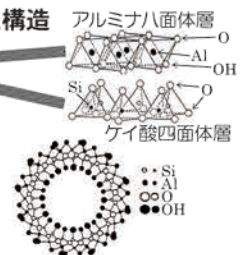
粘土鉱物の種類と構造

アルミナ八面体層
ケイ酸四面体層

1: 1型粘土鉱物
(ハロイサイト)

ケイ酸四面体層
アルミナ八面体層
ケイ酸四面体層

2: 2型粘土鉱物
(モンモリロナイト)



アロフェンに類似のイモゴライトの構造(原図: 和田, 1986)

粘土と粘土鉱物、両者はどう違うのだろうか。粘土とは大きさ 0.002μ 以下の無機成分で、その主体が粘土鉱物である。粘土鉱物とは、造岩鉱物が化学的風化作用により結晶構造が変化してできた鉱物で、その構造により1・1型粘土鉱物、2・1型粘土鉱物、アロフェンの三つに大別される。1・1型と2・1型粘土鉱物はトタン板を重ねたような層状構造で、ケイ酸四面体層とアルミナ八面体層からなる。1・1型粘土鉱物はそれぞれ1枚ずつの層が重なっているのに対して、2・1型粘土鉱物は2枚のケイ酸四面体層の間にアルミナ八面体層が挟み込まれている。アロフェンは中心が空洞になった中空粒状構造である。このように、

有機物補給目的は腐植の減少防止

堆肥や有機質肥料などの有機物を施用することは土づくりの基本だが、目的は何だろう。腐植を増やすためと思っていないだろうか。土壌中の有機物を一般に腐植というが、正確には腐植と非腐植物質を総称して土壌有機物と言う。例えば、完熟堆肥を大量に施用して、前後に土壌診断分析を行えば、確かに腐植含有量が増える。増える成分は本当の腐植ではなく、原料ともいえる非腐植物質だ。

土に施用された有機物の大部分は、土壌動物や微生物のエサとなり速やかに分解されてしまう。微生物による分解を受けずに残った成分が複雑な化学反応を起こして腐植となり、それが粘土と堅く結合して土の色を黒くする。腐植を多く含

む黒ボク土に水酸化ナトリウム溶液のような強アルカリ性薬品を添加して加熱すると真っ黒い溶液（Ⅱ写真左）が得られる。これに酸を加えると、腐植酸（フミン酸）とフルボ酸に分離される。これが腐植の正体だ。いずれも複雑な高分子化合物で、詳細な化学構造は明らかでない。腐植酸には養分の吸着、団粒の形成や微生物活動の促進など、土壌の化学性・物理性・生物性

黒ボク土から分離した
腐植酸（フミン酸）とフルボ酸



土壌のアルカリ抽出成分

左の黒色溶液に硫酸添加

を整える働きがある。フルボ酸は土壌中での金属の移動に関与する。土壌中でフルボ酸ができるには数百年、腐植酸は数千年かかるといわれている。腐植は気が遠くなるほど時間をかけて作られる土壌成分だ。

このように、有機物を施用してもすぐに腐植になる訳ではない。有機物を全く施用せず、化学肥料だけで農業生産を続けば、土壌動物や微生物のエサとなる非腐植物質が少なくなる。飢えた土壌微生物は堅くておいしくない腐植を食べることになり、腐植含有量が減少する。これが全国の水田で起こっている地力の消耗である。有機物補給目的は、土壌微生物にいいエサを与え、腐植が減らないようにするためだ。