

## 植物に対する土壌の役割 1 (土壌と土壌生物)

### 1. 土とは何でしょうか？

#### 1. 1. 土の二大成分

生徒さんの中には、「土とは岩(岩石)のかけら、屑の集まったもの」と答える例もしばしばみられます。しかし、正しくはそうではありません。土は岩のかけらなどに由来する無機物★や下記の有機物★が混合したものです。この有機物は一般に腐植(ふしょく)とよばれ、落ち葉や植物の根、茎、枝、幹などの植物遺体や土の中に棲む動物の遺体などが材料となり、長い時間をかけて徐々に分解、変質してできたものです。腐植が特に土の構成成分としてクローズアップされるのは、土中に棲む微生物の餌となる、土の構造を保つのに役立つ、粘土と同様、養分を吸着できる性質を持つ等の重要な働きをするためです。いずれはこれも最終的には無機化されることとなります。この腐植が多く含まれる土ほど、植物には育ちやすい、肥えた土、養分の多い土となり、それらを特に土壌(どじょう)という言い方をします。

**トピックス1「壤という漢字の意味」:**土壌の「壤」という漢字を分解すると左側の土(つち)偏と右側のつくりに分けられますが、そのつくりの部分は長い時間をかけてゆっくりと、大事に手塩にかけて育てると言う意味があります。例:醸造の醸、お嬢さまの嬢、など。

**トピックス2「土、社という漢字の意味」:**土という漢字は元々、今日のいわゆる“土壌”という意味ではなく、土を盛った形の象形文字が由来と言います。これは天の神に対する地の神を祀った際の盛り土の形であり、その後、土という文字に今日の土壌の意味も加わってきたため、本来の土の意味を改めて区別するため、社(やしろ)という文字が作られました。この漢字の左側の偏は示(しめす)偏と呼ばれ、元々は当時、神を祀るために設けられた祭卓(お供え物を供える高い台)の形に由来するそうです。ですので、当時の宗教、祭祀関係を示す漢字にはこの示(しめす)偏がしばしば使われています。祈、神、禪、社、祖、祭など。

話を社に戻せば、社とは土(つち)本来の意味、すなわちその地の神を祀ること、祀った所を表し、さらにそこでの会合の意味から派生して会社、社会という熟語が後に生まれました。人間は社会的動物であるとも言いますが、その漢字の元々の始まりはこの土であるという訳です。

**有機物★:** 炭素を骨格とした複雑な物質(化合物)を指します。それらは他にたいいてい水素や酸素も含んでいますが(ただし、構造が簡単な一酸化炭素や二酸化炭素、二硫化炭素、またダイヤモンドやグラファイトなど、一部の化合物は除きます)。

**無機物★:** 全物質のうち、有機物を除く化合物すべてを指します。

小学生には便宜的に、生物に由来した炭素を含む、複雑な構造の物質が有機物、それ以外が無機物であると大きなくくりの中でまず教えて頂くのも一つの便法です。

#### 1. 2. 土ができる過程

実際、一般的な岩が細かい粒子へ、熟成のレベルから言えばまだ最初の段階の土へ変化するだけで、百万年単位の年月がかかります。その後一部がさらに細かい粒子の粘土に変化し、有機物が含まれてゆくことで植物を育てられる土壌へと変化してゆくのです。

これら岩を細かい粒子に変えてゆく過程を、風化(ふうか)と言います。温度が上がると一般的に物質は膨張しますが、岩(岩石)はふつう色々な鉱物の含まれた混合物であり、その鉱物の種類によって膨張率(膨張する割合)が異なるため、夜から昼へ、冬から夏へと長い年月を掛けて温度の違いをくり返してゆくことにより徐々に地表に出た岩石にひび割れが入っていきます。その途中の段階からは生物の作用も加わります(植物の根が岩の隙間に伸びて岩を砕く例など)。亀裂が入った箇所には雨などの水がふれるようになると鉱物の成分の中の溶けやすいものが真っ先に、溶けにくいものが後からと徐々に溶け出していきます。(化学的風化)

山のむき出しになった岩から破片が生じ、それが上流から下流へと流されてゆく中で、互いに触れ合い、こすり合い、また水にもみがかれて、最初のぎざぎざ、とげとげしていた表面が徐々に滑らかになっていきます。(物理的風化)

### 1. 3. 土中の無機物の構造

土に、れき(2mm以上)、砂(2mm~20 $\mu$ m★)などの比較的大きな粒子が含まれる場合、それらはそのまま個々にバラバラの状態が存在し、さらに細かいシルト(20 $\mu$ m~2 $\mu$ m)、粘土(2 $\mu$ m以下)が含まれる場合は、ある程度粒子同士が集まりくっついて、砂やれきと同じ程度の大きさの固まりを作ります。これを団粒(だんりゅう)と言います。ある種の有機物やミミズの糞に含まれる特定の物質の作用などにより、それらが接着剤の代わりとなって固まりを作ると考えられます。それをたとえば水の中に入れても簡単に崩れずそのままの形を保ちます。土の中に団粒ができると、それらの間には数mmからnm★までの色々な大きさの間隙が土の中にできることとなり、その間隙のサイズ、数に従って水の抜け方に差が出てきます。もちろん、間隙が大きいほど水の抜けは速くなります。また、色々な大きさの間隙を持つ土ほど、水の入り具合、その抜け方双方とも穏やかになっていきます。一方、団粒構造を人為的に作るのとは容易ではなく、自然の作用に任せて土の中にそのような色々な大きさの間隙を数多く作るには実際、長い年月が必要と言われてい

ます。  
 $\mu$ m(マイクロメートルあるいはミクロン)、nm(ナノメートル)★: ミリ(m)はある単位の千分の1を示す用語(接頭辞)であり、さらにその千分の1がマイクロ( $\mu$ )という用語(接頭辞)で表される。さらにその千分の1がn(ナノ)である。たとえば、20 $\mu$ mはすなわち、0.02mmと等しい。

### 1. 4. 土中に棲む生物

豊かな土、植物にとって栄養に富んだ土には必ずと言っていいほど色々な動物、菌類(カビ、キノコ、酵母など)、細菌類(バクテリア)、藻類、原生動物(アメーバ、ゾウリムシなど)、ウイルスなどが棲んでいます。

大きな動物として、日本ではまず哺乳類のモグラやトガリネズミがあげられます。

さらに小型のミミズ、クモ、トビムシ、ダニ、昆虫の幼虫、線虫などの無脊椎動物が植物の遺体を細かく粉砕したり、土を耕したり、特定の病害虫被害の急激に発生するのを防いだりしています。以下は仮定の話ですが、もしもこれらの動物、生物が土中に棲んでいなかったら、たとえば森林では毎年地面に積もる落ち葉がそのまま分解されずに残って行き、その結果植物遺体などから分解、生成されていた無機成分の植物にとっての栄養の供給も止まり、すなわち植物がそれ以降育つことができなくなるでしょう。植物が育たなくなれば、それを餌とする動物も生きていけなくなります。すなわち、地球の生き物が次の世代も生きていけるように物質を循環させる輪の中にこれら生物の存在は欠かせません。植物が単純な化合物から太陽の光エネルギーを使って複雑な有機化合物を作り、その一部を動物が利用し、さらに作られた複雑な有機物を植物が栄養として利用できる単純な無機物へと分解する過程を担っている、それがこれら土中の生物たちなのです。



左)トガリネズミ :Blarina brevicauda / Gilles Gonthier 中)モグラ :Mole in hole. / jkirkhart35 右)ミミズ :Earthworm / Dodo-Bird

**トピックス3「植物の消化器官」:** 植物は動物にみられるような消化器官を持っていません。人間は口で咀嚼(そしゃく)して食べ物を噛み砕き、そこに出てくる分解酵素も混ぜて胃へ送ります。胃から十二指腸、小腸へと大変強い酸や色々な酵素を使って、複雑、雑多な有機物を分解して小さくしてより単純な物質へ変えていき、そうやって始めて体内へ吸収できるようになります。一方、植物は、吸収できるような単純で小さな化合物を外部から直接吸収します。複雑な有機物を分解する生物群は炭素循環を途切れさせないために必須の存在であり、その観点からも土壌の生物は植物にとって生きていく上で欠かせない存在、大事なライフラインと言えます。

ミミズは土中を動き回って穴を通し、団粒と呼ばれる小さな土の固まりとなる糞をあちこちに置いていく結果、土は耕され、そのミミズの糞は実際、10年で6cm位、土の表面に積もるといふ計算もあるほどです。またミミズの身体表面や腸にいた微生物がミミズの移動、糞をまいていくことに伴い、それ自身では活発な移動手段を持たない微生物類もまた土中を広く深く移動、拡散していきます。

リンは植物の成長に欠かせない重要な元素の一つですが、土中のリンの多くはそのままでは植物に利用できない状態になっていることがしばしばある一方、ミミズの糞に含まれるリンは植物にとって利用できるような水溶性に変わり、またミミズの糞中の特定の酵素がリンをそのような有効

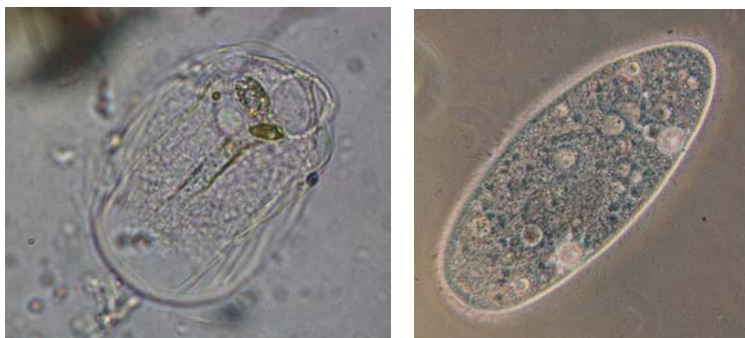
な状態へ変える働きを持っています。すなわち、リンの植物への供給にもミミズは大活躍しています。

ミミズなどの動物によって粉碎された有機物は次に、菌類や細菌類にとっての餌となり、微生物がさらに分解する働きを担います。分解された有機物は腐植となり、また植物が吸収できるような小さな化合物である無機栄養物へと変化していきます。

菌類の役割、特に菌根菌(きんこんきん)について詳しくは教材4(菌根菌)を参照

細菌類は、植物を始め生物全体にとって重要な窒素(大気の最も多い成分)やイオウ(火山や温泉、ゆで卵などからしばしば匂ってくる元の物質)という元素の地球規模における循環に大きな役割を果たしています。最近、温暖化で注目を集めている二酸化炭素の循環にも土中の微生物がこれまで考えられていた以上の大きな働きをしている可能性が高いという報告も上がっています。

他に、アメーバやゾウリムシなどの単細胞の原生動物や植物の先祖に当る藻類、ウイルスなどの生物も棲んでいて、多様な土中の生物の世界を作っています。



左)アメーバ: 著作権ウィキペディア Keisotyo 氏 右)ゾウリムシ: 著作権ウィキペディア Barfooz 氏

もちろん、ウイルスが人間にもたらす怖い病気は数多く知られていますが、土中に棲むウイルスについては人間などの動物には悪さをせず、おそらく土中の菌類や細菌などに作用することにより生活を営んでいると考えられます。実際、土をいじったり、それが口に入ったりして起こる、恐ろしい病気は知られていません。天然の土は私たち人間に益こそあれ、害はないと言うわけです。

**トピックス4「赤ちゃんが地面に落ちてくるバッチイ物と免疫と」:** 人が幼児期、一生の免疫の型が決まるその重要な時期において、空中に漂う細菌由来の物質や下に落ちている物などと接触することにより、多様な体外生物の異物となる対象を身体の免疫系が経験把握できる機会を得て、その結果過剰な免疫反応(アレルギー、自己免疫疾患)などの症状が後に起こるのが防がれるという学説も近年みられます。

January 27, 2009

**Eating dirt can be good for you - just ask babies**

<http://www.nytimes.com/2009/01/27/health/27iht-snbabies.1.19711937.html>

September 19, 2002

## Environmental Exposure to Endotoxin and Its Relation to Asthma in School-Age Children

<http://content.nejm.org/cgi/content/full/347/12/869>

赤ちゃんは、本能に従って行動するようにプログラムされています。下に落ちているものなどもしばしば口に入れようとするのは、ひもじいとか食べ物がほしいと言う理由からではなく、その個体の免疫の型を決める大切な時期に土壌や空中、環境の色々な微生物や生物に触れ、その生化学的な情報を自分の免疫系へすりこむよう、本能が意図してとらせている行動の可能性を示した研究報告があります。しかし、現代の都市生活を営む家庭では、化学的、物理的な観点から赤ちゃんが口に入れれば危険となるものがあふれているわけで、数百万年かけて培ってきた私たち人類の赤ちゃん時期における本能行動は、現代のここ数百年来の文明の発展、人工物に囲まれた生活への急激な変化にとても追いつけてないと言えるのかも知れません。

酪農の環境に育った幼児は空中に舞う牛フン等に含まれていた細菌の死骸(エンドトキシン)との頻繁な接触を持つこととなり、都市生活の環境で育った子供と比べて後にアトピーなどアレルギーの発症率が低くなる傾向を認めたという報告もありました。

土はその1g当り、ふつう10万の菌類、約1億の細菌類が棲むといわれます。1億といえば、丁度、日本の総人口に匹敵する数です。大きさが違うとはいえ、それだけの数の生き物が指先に乗るくらいの土の中で日々活動していると言うのは一種、感動ものですよ。もちろん、菌類、細菌類は大変小さく、顕微鏡を使って始めて見える程度であるため、重さはそれらすべて合わせても0.01g以下です。

### 1. 5. 土の持つ性質(水はけのよさ(通気性) vs. 水持ちのよさ(保水性))

1.3. で述べたとおり、土は色々な種類の鉱物粒子から成っています。もし、それが砂だけだったら、水はけがよすぎて雨が降らなくなればすぐに植物や土中の生物に供給する水が不足することになります。一方、粘土の成分だけで土ができていたら、空気を含む隙間(空間)が大変小さくなり、植物の根は根腐れを起こしてしまいます。植物は根の部分でも呼吸をしており、十分根にも空気に触れられることが大事です。そもそも、水はけのよさと水もちのよさは相反する性質であり、それを両立して持つのが土の素晴らしい特徴の一つと言えます。特に団粒を多く含む土壌では、日照りが続いても長く団粒の内部に水を保持し、そのため植物へ水を供給し続けられます。一方、団粒間の空間は空気の通りがよく、よって土中の空気(酸素)を嫌う微生物(嫌気性菌: けんきせいきん)は団粒の内部に、空気(酸素)を好む微生物(好気性菌: こうきせいきん)はその外部に棲み分けられる、つまり多様な生物が棲める豊かな土壌となる性質を持ちます。団粒間の空間はまた空気以外の雨水や、水に溶けた栄養素の通り道にもなります。

土中の生物が多く棲んでいると、土内部の隙間(空間)は実に30%~50%位にもなります。火山灰の土はまた別の理由で、つまりその軽石状粒子のもつ性質のために 70%にまでなる場合もあ

ります。ちなみに、岩(岩石)ですら数%あります。

## 1. 6. 土とアスファルト、コンクリートとの違い

土が空気を多く含んでいるおかげで、そこでなら転んでもコンクリートやアスファルトの地面の場合と比べ、怪我がしにくいという、言わば優しい大地となって私たち人間や様々な動物たちの活動環境を提供してくれています。また、月のレゴリスと異なり、地球の土の構成粒子は風化した後の状態のため、とげとげしてたり、ぎざぎざしてたり、あるいは身体に刺さってくることもありません。地球では当たり前の土の危険のなさが一歩、宇宙へ出かけ、一番近い天体の月へ行ってみてさえ、その点からして違うのです。

土はまた水を含むおかげで、真夏の日中、日照りが強くなっても、土の中から水が蒸発していくため、地表温度の上昇が抑えられます。そこに生えている植物からも水が蒸散しますし、日陰や木陰も作ってくれます。一方、アスファルトやコンクリートの地面ではそれは起きません。温度の上昇が激しい環境です。つまり、地球の土は私たち人間を含む環境に限りなく優しいのです。

## 2. 陸生植物と土

### 2. 1. 栄養、水の供給と植物構造体の支持

今から4億年以上前に当時の海から今の陸生植物の先祖が陸地への進出を果たしたと言われます。水の中では身体を支える必要がない一方、地上は 1G という大きな重力が作用する世界であり、そこへ適応するため、身体の構造に大きな変化が必要とされました。まだ脊椎動物たちの先祖はすべて水の世界に暮らしていたそんな昔です。

その時以来、陸生植物は自分の身体を特定の方向へ向かって伸ばし、また環境中の自身の位置がずれないように、身体を支え固定する性質を持つように進化してきました。土は植物が根を生やすことにより自身を支え、固定する基盤を提供する役割を果たすと共に、水や栄養分の吸収できる環境を与えてきました。一方、大きな樹木などは自身を支える土が流れ出ると自身の生存が脅かされることもなり、しっかりと根を張り発達させて土砂崩れ、雨などによる土の侵食が起きるのを防いできました。ですから、森林と土はあたかも一種の相利共生のような、お互いを守り合っているような関係を結んでいるという見方もできます。もっとも土に意思はないはずですが。

### 2. 2. 植物の栄養、および植物へ供給のされ方

植物の栄養は以下の各種無機物であることが明らかになったのは、今から2百年も経っていない、19世紀半ばのことです。それまでは腐植などの有機物が栄養になると信じられていました。この発見が契機となり、人工肥料の開発、利用が飛躍的に進み、そのおかげで以降の爆発的な人口の増加を支える基盤となりました。

植物の必須16物質(元素)のうち根から吸収される13物質(元素)：

窒素(N)、カリウム(K)、リン(P)、カルシウム(Ca)、マグネシウム(Mg)、硫黄(S)、鉄(Fe)、マン

ガン(Mn)、ホウ素(B)、銅(Cu)、亜鉛(Zn)、塩素(Cl)、モリブデン(Mo)

植物がもっとも大量に必要とする栄養は、肥料の3栄養素とも呼ばれる窒素(N)、カリウム(K)、リン(P)です。

窒素は、土中の分解された有機物からもたらされたり、あるいは空気中の窒素ガスを植物が取り込めるようにする窒素固定菌の仲間(藍藻、細菌の一種や根粒菌★など)が土中の窒素含量を高める働きをしています。土中有機物の分解にしても空中窒素の固定にしても、すべて土中の微生物の力によるもので、植物、ひいては生物すべての生存を支えているのはこれら土中に棲む生物群であることがこのことから理解できます。なお、窒素は植物、動物すべての生物の身体を構成するタンパク質や遺伝物質である核酸(DNA、RNA など)や葉緑素(クロロフィル)に欠かせない物質(元素)です。

**根粒菌★**： JAXA 宇宙教育センター・ホームページ内、「JAXA 宇宙ステーション教育的科学実験」のサイトに掲載されたテキストを参照

カリウムは元々岩石に含まれる鉱物(雲母や長石)の無機成分で、風化によりイオンとしては中程度の速さでそこから溶け出しますが、粘土などを含まない土の場合、すぐに雨などによって地表からさらに洗い流されてしまいます。粘土や腐植など養分を吸着できる性質を持った要素が土に加わるにより始めて植物が持続的に利用可能となります。すなわち、土の肥沃度を高める上で粘土が大きな働きを果たしているわけですが、粘土はその生成過程で単に岩石や砂が砕かれただけでない、化学的風化によって作られたことを考えますと、カリウムの生成もその保持についても地球環境ならでは(月面ではできない)の有難さが感じられます。なお、カリウムは細胞内外の物質の移動は酸性度の調節、多くの酵素の働きの促進などに作用すると考えられる一方、詳しくはまだ不明の点も多いと言われます。

リンは岩石や土中の有機物からもたらされますが、土の中の特定の成分(火山灰土の主要な粘土鉱物のアロフェンなど)と反応して水に溶けない状態へ容易に変化する性質を持ちます。日本では一般に土にリンは欠乏しているのではなく、実際は逆に過剰に存在している場合が珍しくありません。しかし、そのままの形態では植物は利用できず、1.4.でもご紹介したとおり、ミミズの活動によってそれが水溶性(水に溶ける性質)に変化されたり、あるいは多くの植物は菌根菌★と呼ばれる菌類と共生関係を結び、共に助け合って生活していますが、その菌が作る菌糸が植物の根の届かない遠くまで伸び、そこにあるリンを取り込んで植物の根へ提供したりしています。その代わりに菌根菌は植物から有機物の栄養をもらい、土中の色々な生物と植物との長い歴史を積み重ねることによって作られてきた生態系の奥深さ、不思議さが感じられるものです。

なお、リンは植物内のエネルギーの蓄積や利用、細胞の仕切りである膜、遺伝物質である核酸(DNA、RNA など)の成分などとして重要な物質(元素)です。

**菌根菌★**： 教材4(菌根菌)を参照

(教材3をさらに発展させられる余地があると先生がクラスの状態を判断された場合、教材4へ)