

TSS 文化大学一般教養講座
平成 27 年 3 月 17 日 10 : 00 ~
於 TSS 新館 9 階スタジオ

土を知る－生命を育む土

河野 憲 治

(広島大学名誉教授)

はじめに

2013年12月20日の国連総会で、12月5日を世界土壌デーと定め、2015年を国際土壌年とすることが採択され決議されました。これは国際土壌科学連合（IUSSS: International Union of Soil Sciences）と国際連合食糧農業機関（FAO: Food and Agriculture Organization of the United Nations）が国際的に土壌の重要性を啓発するために協力して取り組んできたものです。主たる目的は、持続的な食糧生産や地球環境の保全に土壌が重要な役割を果たしていることを周知徹底することにあります。

そこで、今回の講演では1.土(土壌)とはどんなもの？ 2.土はどのようにして出来る？ 3.土はどんな働きをする？ 4.土の働きの主役は何？と言った疑問に答える形で土について紹介をすることにいたしました。



TSS 文化大学で講演する著者

1. 土（土壌）とはどんなもの？

土は、専門的には土壌と呼びます。「土壌とは、地球の陸地表層または浅い水の下にあり、岩石の風化や水、風による堆積作用と生物の活動によりできた有機物と無機物からなる粒状物質であり、植物をはじめとする生物を養い、物質の保持や循環などの機能を持つ。土は土壌とほぼ同義であるが、上記の成分や機能に関する条件を欠いても土に含め、惑星や衛星の表層に存在する粒状物質などをさす。」これは、日本土壌肥料学会における土壌の定義です。しかし、ここでは地表下わずか 20-30cm の粘土・有機物・微生物を含む、黒っぽくて、やわらかいもの、としてイメージしてみてください。

写真は、広島県安芸太田町温井ダム周辺林地ですが、付け替え道路切土面の白っぽい部分は風化した花崗岩、地表の黒っぽい部分が土壌です。そこに生育する樹齢約 50 年のコナラの木を掘り起こしたものです。地表下わずか 30cm 程度の土壌に 90%以上の根が分布し、生育に必要な養分の大部分はそこで賄われています。



「黒っぽくてやわらかい」など身近な土を表現する場合によく用いられるのが土の色と手触りです。土の色や手触りは何で決まるのでしょうか。土色の原因となる物質は腐植、鉄化合物、マンガン化合物、水分などが挙げられますが、主として腐植と鉄化合物です。黒っぽいのは腐植の色、赤っぽいのは酸化鉄、緑・青っぽいのは二価鉄の色です。

「やわらかい」などの土の感触は、砂、シルト、粘土の割合と固相、液相、気相の割合（土壌三相と言います）で決まります。土のふかふか感は空気です。ちなみに土壌分野では、直径 2mm 以下が土壌の対象で、2 ~ 0.2mm を粗砂、0.2 ~ 0.02mm を細砂、0.02 ~ 0.002mm をシルト、0.002mm 以下を粘土と呼びます。そして砂・シルト・粘土の割合で砂土、砂壤土、壤土、埴土、埴土などに区分しています。

2. 土はどのようにして出来る？（土の生成）

岩を細かく砕けば土壌になる訳ではありません。土壌の生成には時間のかかる変身が必要なのです。まず、1) 岩石の風化：岩石が砂や粘土のような細粒の物質（レゴリス）となり、さらに岩石をつくっていた鉱物から構成元素の流出や再結晶などにより、新たな鉱物「粘土鉱物」が生成します。これには数千から数百万年を要します。そして2) 植物の作用：植物根の脱落や根からの分泌物などの有機物が供給され、3) 微生物の作用：微生物が有機物を分解して土壌特有の物質である、「腐植」が数千～数百年かけて生成・蓄積します。さらに数百～数十年かけて、微生物の働きで粘土と腐植がくっつき粘土-腐植複合化合物を形成し土壌団粒が発達し、そして種々の土壌化作用を経て様々な機能を有する土壌が形成されていきます。

すなわち、土は、ながーい歳月をかけて出来た多機能物質であり、貴重な資源なのです。大切なことは、粘土鉱物や腐植と言った土壌特有の物質が新たに出来ることです。また、レゴリスが土壌に変化するためには生物の働きが不可欠であることから、「地球は土壌の惑星」と言われています。

図は地表の黒っぽい部分である表土の土壌団粒を模式化したものです。

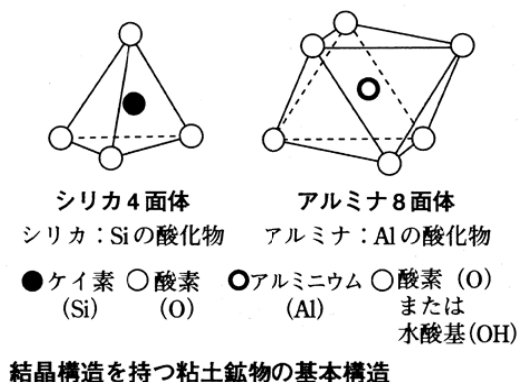
個々の団粒の中には粘土、有機物の他、水、空気、土壌微生物、土壌動物が含まれ、土壌団粒が形成されると、その中に雨水を蓄えることが出来るし、余剰の雨水は団粒間を流れます。つまり、保水性が良く、透水性も良い土壌になります。こうして、土壌が水を含み、通気しているからこそ生物を養えるのです。



これまでに登場した聞き慣れない単語についてもう少し説明いたします。

2.1 粘土鉱物の生成

粘土鉱物は土壌中の造岩鉱物（一次鉱物）が風化作用を受けて二次的に生成されるもので、二次鉱物とも呼びます。粘土鉱物の多くは層状ケイ酸塩鉱物で、その基本構造（最小構成単位）は、ケイ素（Si）を4つの酸素（O）がとり囲んだシリ

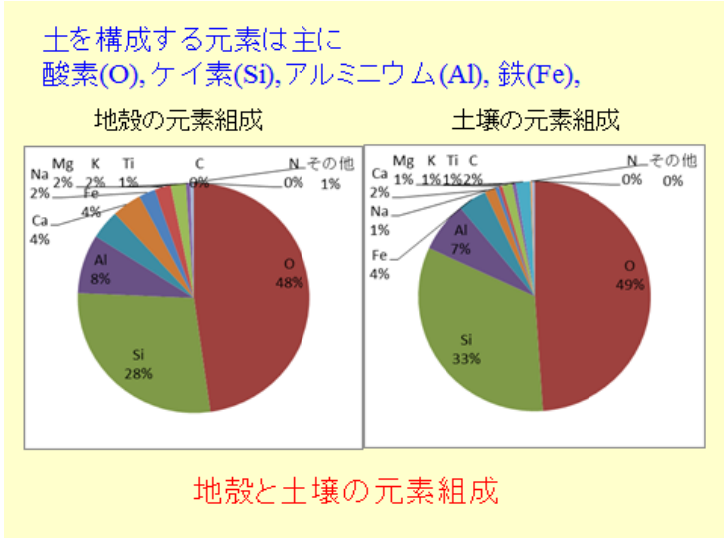


カ四面体とアルミニウム (Al) を 6 個の O または OH 基が囲んだアルミナ八面体です。これらがシート状に連結した、四面体シートと八面体シートが重なって、1 : 1 型粘土鉱物、2 : 1 型粘土鉱物などが生成します。

ちなみに、風化作用とは、自然界の物理的、化学的作用によって岩石が細分化される作用のことで、温熱、空気、水、生物などによる力が岩石に加わり、岩石を崩壊させる物理的風化作用と環境中の酸素ガス、炭酸ガス、水などによって岩石が溶解したり、分解して細分化される化学的風化作用があります。

地殻と土壌の元素組成は大きくは異なりませんが、風化作用の過程で造岩鉱物に含まれるカルシウム (Ca)、ナトリウム (Na)、カリウム (K) などは溶出・溶脱して減少し、Si、Al、鉄 (Fe) などの元素は相対的にやや増加します。

土は主に O、Si、Al、Fe で出来ていて、これらが土壌の元素組成の 90% 以上を占めます。



2 - 2 腐植の生成

地表面に堆積した落葉や地中の枯死根、生物遺体等はミミズや昆虫などによって土壌母材と混合したり、微生物によって分解されます。そして微生物分解産物は、さらに化学反応により重縮合したり変成して、腐植 (暗色で高分子化合物群) と呼ばれる土壌に特有な難分解性物質が生成します。

2 - 3 土壌微生物

土壌中の微生物は、細菌、放線菌、糸状菌、原生動物の 4 種類に大別されます。

1) 細菌 (bacteria) は、単細胞で堅い細胞壁を有する原核生物で、細胞分裂により増殖します。基本形態は球状、桿状、らせん状で、それぞれ球菌、桿菌、らせん菌と呼ばれます。グラム陽性細菌とグラム陰性細菌に大別され、肥沃な表土には土壌 1 g あたり数十億の細菌が生息します。有機物の分解、窒素固定や硝化、脱窒作用さらに窒素 (N)、イオウ (S)、鉄、マンガン (Mn) など無機元素の酸化・還元反応に関与し、土壌の物質循環の重要な担い手となっています。

2) 放線菌 (actinomycetes) は、菌糸状の形態をとる細菌の総称で、グラム陽性細菌と糸

状菌の中間的な性質を持つもので、多様な有機物を栄養源にして生育し、キチンやセルロースなどの高分子有機物の分解能力や抗生物質を生産する能力を有し、土壌伝染性病原菌の制御に役立っているものと考えられています。

3) 糸状菌 (fungi) は、真菌門のうち栄養繁殖期に菌糸状をなす接合菌類、子囊菌類、担子菌類などの総称で、細胞核やミトコンドリアを有する真核生物です。肥沃な土壌では菌糸長が土壌 1 g あたり数 100m にも達します。細菌に比べて耐酸性が強く、特に酸性土壌中での有機物分解において重要な役割を担っています。また、土壌中におけるリグニンの分解はおもに糸状菌によってなされ、森林土壌表層の落葉落枝 (リター) の分解も主に糸状菌によって行われます。

4) 原生動物 (protozoa) は、単細胞動物の総称で、真核生物です。土壌中の原生動物は、アメーバ、繊毛虫、鞭毛虫などからなり、多くは動植物遺体や各種微生物を食べて生きています。

2 - 4 土壌化作用

土壌化作用とは、土壌の母材に働きかけて土壌断面に特徴を与え、土壌特有の構造と機能とを与える作用のことで、土壌母材は土壌化作用を経て初めて土壌となります。具体的には、生物が関与する腐植集積作用、溶脱作用、集積作用などで層位の分化を生じます。

写真の土壌断面のように、地表から黒色、黄赤色、黄色と地表面に平行な層が認められます。

これを土壌層位とよび上から A 層、B 層、C 層と呼びます。



1) 腐植集積作用

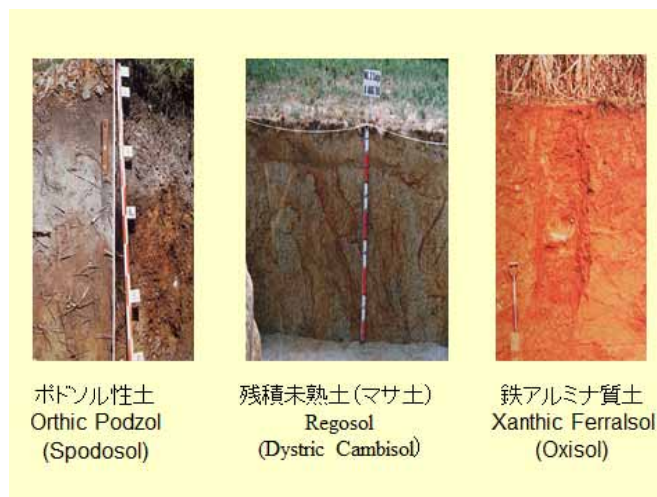
腐植の集積量は、生物遺体などの材料供給速度と有機物や腐植の分解速度に依存しますが、腐植含量が特に高い土壌として、a) 春の温暖多雨条件下で有機物供給量が増大するが、夏期の乾燥、秋冬期の低温により微生物の有機物分解が抑えられ、腐植が集積しやすいチェルノーゼム、b) 有機物や生成した腐植物質が火山灰土壌に豊富なアルミニウムと結合し、



微生物分解への抵抗性が大きい難分解性有機物に変化する黒ボク土 ,c)湛水により大気からの酸素ガス供給が絶たれ ,有機物の酸化分解が抑制されて生成する泥炭土が知られています .泥炭土は日本では北海道の一部に見られますが ,ウイスキーの香り付けにも用いられます .

2) 溶脱作用

降水量が多い地域の土壌では ,土壌を通過する水によって土壌中の物質が溶解したり ,懸濁して下層へ移動することを溶脱作用 (leaching) と呼びます .移動した物質はB層 (集積層) へ蓄積したり ,さらに下層のC層以下へ流去します .この溶脱作用の結果 ,土壌断面の水平方向に連続した土壌層 (層位) が形成されます .溶脱作用は降水量が多い地域に生じますが ,一般に降水量の多い高緯度地帯ではポドゾル化作用 ,温帯では酸性化作用 ,熱帯ではラテライト化作用が卓越し ,亜寒帯地域のポドゾル性土 ,温帯地域の塩基溶脱型酸性土 (例 : マサ土) ,熱帯・亜熱帯地域の赤色土 (例 : 鉄アルミナ質土) などが発達します

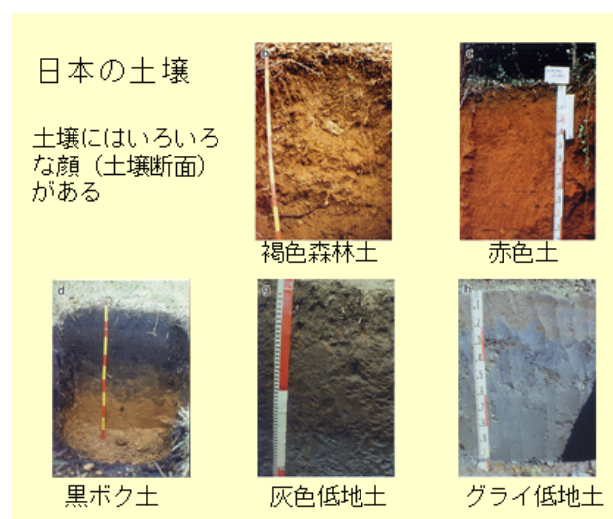


3) 集積作用

水の土壌表層への移動や海水などからの塩類の供給により土壌中に塩類が集積する場合がありますが ,土壌中に塩類を蓄積させる作用を塩類集積作用あるいは塩類化作用といいます .乾燥地帯では一般に Na 塩類が Ca や Mg 塩類よりも多量に集積する 경우가多く ,半乾燥や乾燥地帯では炭酸カルシウムが集積する場合があります ,この作用を石灰集積作用と呼びます。

4) グライ化作用

水田のような湛水条件下では ,土壌の還元化が進み ,土壌中の鉄の一部は還元されて青灰色や緑灰色の 2 価鉄イオンとして存在し ,土色も青灰色を呈します .このような土壌をグライ土 (Gley soil) と呼び ,この土壌を生



成する作用をグライ化作用と呼びます。

こうした土壌化作用の結果，性状が異なる多種の土壌が生成され，また，土壌化作用により土壌母材には無かった土層の分化が生じ，二次的な構造が形成され，土壌特有の機能を持つようになります。

3．土はどんな働きをする？

土壌は，1)植物の支持と植物への酸素・水分・養分の供給 2)土壌中の養分の吸着・保持 3)土壌 pH などの変化に対する緩衝作用 4)土壌微生物の住家となり，炭素(C)，窒素(N)，リン(P)，イオウ(S)などの物質循環の要 5)水の涵養(天然のダム) 6)農薬など有害物質の分解 7)水や空気の浄化 8)水の蒸散による温度調節など実に様々な働きをします。そのいくつかを紹介します。

1) 植物生産機能

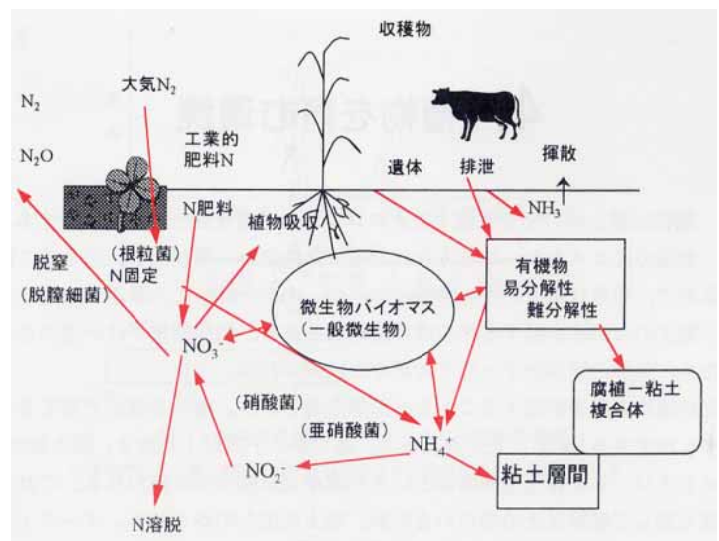
土は，植物の生育に必要な条件である，光，水，空気，温度，養分，有害物質が無いことの内，光以外の条件を全て整え，植物を育てることが出来ます。

2) 土壌微生物の住家

土壌は，a)水分の多い下層土では地温の日較差は小さく，温熱環境が安定している。b)土壌空気は水蒸気で飽和されており，乾燥に弱い多くの微生物にとって好適な水分環境となっている。c)化学的变化に対する緩衝能が大きいため，土壌 pH などの化学的環境が変化しにくい。d)土壌中の有機物が多い多くの土壌微生物のエネルギー源や養分源となる。e)微生物にとって有害な太陽光線が遮断される。などで，土壌微生物の住家として最適な環境です。

3) C, N, P, S などの物質循環の要

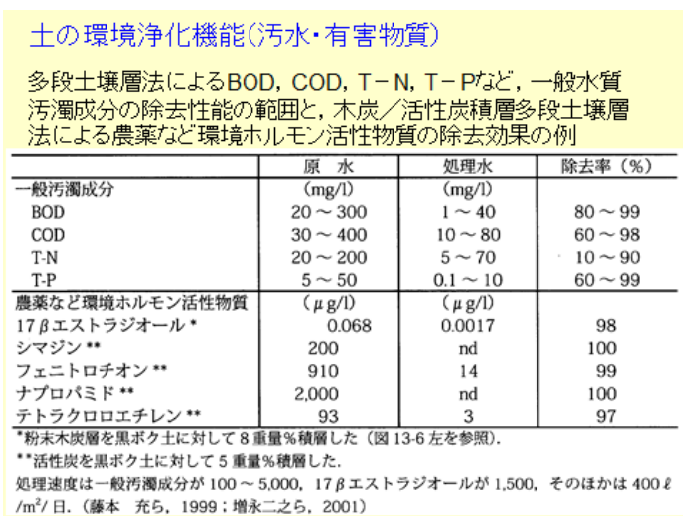
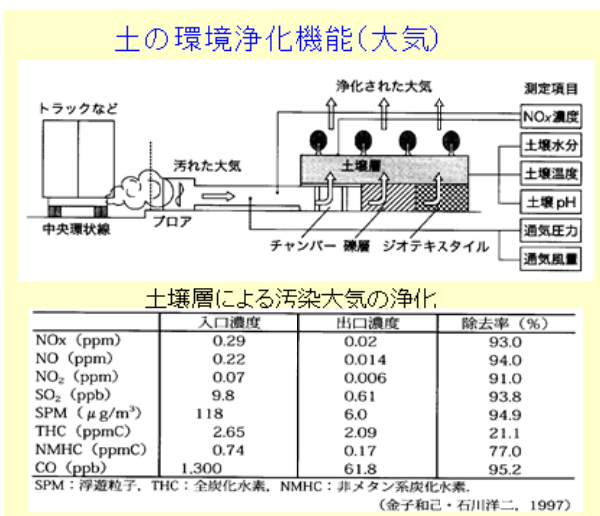
ここでは N の循環について紹介します。動植物から供給された有機物(有機体 N)は土壌中の大部分の有機栄養微生物によって無機化されアンモニア態 N に変化し，さらに亜硝酸菌や硝酸菌によって硝酸態 N に変化し植物に吸収されます。硝酸態 N の一部は雨水と共に流出したり，脱窒細菌によって窒素ガス(N_2O ，



N₂) となり大気中に放出されます。一方で、根粒菌などの窒素固定細菌が大気中の窒素(N₂)を有機態Nに固定します。また、多くの有機栄養微生物は無機Nを吸収し有機態Nへと同化します。これら土壌中におけるNの形態変化は全て土壌微生物によって行われ、Nの物質循環の要となっています。

4) 水や空気の浄化

土壌層を通過させることによって、大気中のNO_x、浮遊粒子、一酸化炭素などの汚染物質は90%以上除去できること、また、汚水中のBOD、COD、リンの60%以上、農薬、環境ホルモン活性物質の95%以上を除去できることが知られています。

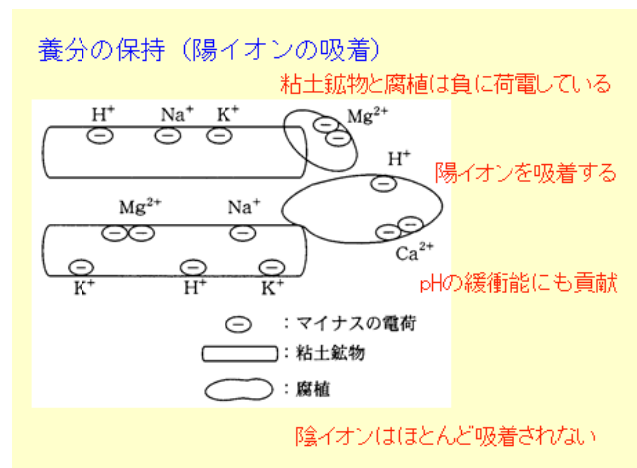


4. 土の働きの主役は何?

土の働きの主役は、主として粘土鉱物、有機物(腐植)、土壌微生物です。

1) 粘土鉱物の働き

土壌粘土鉱物は粒子表面の正負の荷電(同形置換による荷電、水酸基のプロトンの解離や付加による荷電)を介して、有機、無機の陽、陰イオンの吸着、固定、交換、反応の触媒などを行います。大切なのは荷電を帯びていることです。一般に負に帯電していて、Ca、Mg、Kなどの植物に必要な養分(陽イオン)を保持し、供給することが出来るのです。



2) 土壌有機物（腐植）の働き

有機物（腐植）は、以下のように土壌の物理性、化学性および生物性を改善します。

a) 土壌の物理性への効果

糸状菌の菌糸や土壌微生物が分泌する多糖類および腐植物質などは土壌の団粒形成を促進し、土壌の通気性、排水性、保水性を改善します。

b) 土壌の化学性への効果

土壌有機物は養分を含み、分解に伴って徐々に養分を供給し、腐植物質は負荷電をもった官能基、疎水性構造などを有し、養分保持能（陽イオン交換容量）および緩衝能を向上させます。また、有害な金属や有機化合物と結合し不活性化します。

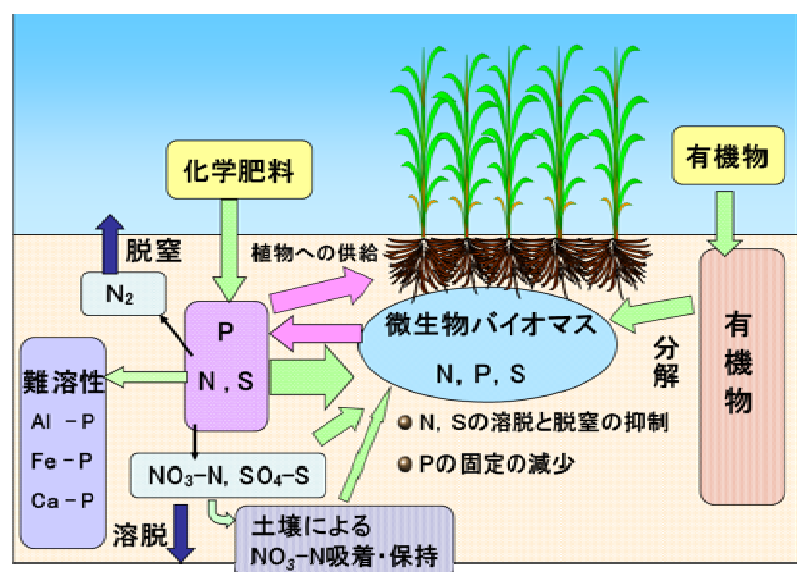
c) 土壌の生物性への効果

栄養源として土壌微生物の生育を促進し、植物への養分の供給や物質循環に貢献します。

3) 土壌微生物の働き

土壌微生物は、有機物の分解・無機化や、硝化・脱窒など窒素の形態変化に関わると共に、窒素、リンなどの無機養分を微生物体内（微生物バイオマス）に貯蔵して必要に応じて供給することで、養分の貯蔵・供給源として働きます。そして団粒構造の形成を通じて土壌物理性の改善、さらに農薬などの有害物質や水、大気汚染物質の分解を司り、大気・汚水浄化などの中心的役割を担います。

土の中には、わずか 1g の土壌に細菌や糸状菌が 1～10 億個生息し、その重量は畑 10a 当たりで 700kg に相当します。土壌中の微生物数ではなく、土壌微生物菌体総量あるいは微生物体に含まれる元素の現存量を土壌微生物バイオマスと呼び、土壌微生物総量の定量的指標や、作物の可給態養分量の指標などとして用いられます。例えば、1ha 当たりの微生物バイオマス N、P 量は各々約 110kg、80kg に相当し、トウモロコシの生育に必要な量 150kgN、25kgP の 70%以上に匹敵し、植物への養分供給源として大きく寄与します。



最後に，土壌が生成するには長い年月を要しますが，適切な利用・管理がなされなければ非常に短期間で失われてしまいます．土壌は決して無限な資源ではなく，土壌の植物生産や環境保全に果たす役割を良く理解し，土壌資源を有効に利用し，かつ適切に保全することが必要と思います．土壌についての理解を深める一助として頂ければ幸いです．

参考資料

土壌サイエンス入門 三枝正彦 編（文永堂出版）

最新土壌学 久馬一剛 編（朝倉書店）

土壌生化学 木村真人 他著（朝倉書店）

日本の土壌 岡崎正規 他著（朝倉書店）

（本稿は 2015 年 3 月 17 日に行われた TSS 文化大学における講演の概要です）