

“第4回「都市と自然の共生」を学ぶ集い” の開催に向けて、

「土壌・土壌生物の働きと生態系における物質循環」

について多いに学ぼう

代表取締役 水野貞明

【はじめに】

私共は日々、樹木や生物・土壌に深く関わって今日まで造園・緑化という事業を展開し、共に多くを学んでまいりました。そして、そうした活動を通してまた**土壌**を保全することの生態学的重要性についても気づきました。生命の存在なくしては生成されなかった土壌、自然生態系における物質循環・エネルギー収支にとって重要な役割を担う土壌等々。

また陸上生態系の多様性の確保にとって、分解や土壌形成などの重要な機能を担っている**土壌生物**（土壌微生物・土壌動物）についても併せて学ぶことが緊要であるとの認識のもと、今回の企画を計画しました。

今年(平成22年11月20日(土)を予定)の講師には、**土壌生態学**の第一人者であります横浜国立大学大学院環境情報研究院教授の**金子信博**先生をお迎えし、自然環境問題の重要性が叫ばれている今日的課題等々についてご講義を受けたいと、先生の御内諾を頂き現在調整中であります。また“学ぶ集い”の開催形式等についても、現在検討中です。

そこで、土壌生態学について、まず私たち自身が理解を深め、先生のご講演の真髓を理解する一助となればとの思いで、さまざまな関連資料から要点を抜粋しつつ私なりに纏めてみました。ぜひ、この機会にご一読されることをお勧めいたします。

1. 土壌の三相組成

- 大雑把に言えば、その容積の半分が無機物と有機物より成る**固体（固相）**であり、残りの半分は**孔隙**である。
- この孔隙を**水（液相）**と**空気（気相）**が分け合っている。
- 黒ボクは全部火山灰由来であり、固相の割合が小さく重さが軽く、**孔隙率**が極めて高い。

2. 団粒構造

- 土壌が示す孔隙率はしばしば**50%**を超えている。これは**土壌粒子**が生物的な作用によって相互に連結されて集合し、**団粒**を作っていることによる。
- **孔隙率**の違いは、それぞれの土壌の**団粒構造**の発達程度が違うことに起因する。
- **孔隙の大きさの差異**は、植物生育の培地としての土壌にとって重要な意義をもっている。
- 植物の根が呼吸するには**酸素**が必要であるから、土壌中の孔隙は大気と通じていなければならない。
- 土壌中を通過して水をはかせる**透水**の機能と、空気を補給する**通気**の機能とは同じことの表と裏である。

3. 湿害

- 透水・通気の働きが十分でない土壌では、根に湿害を起こす。
- 一種の酸素欠乏による呼吸困難の症状

4. 良い土壌

- 一方で水をはかすと同時にもう一方で水を保持できないといけない。
- この**透水・通気**と**保水**という一見矛盾した機能を果たすのでなければ、良い土壌とはいえない。

5. 毛細管（毛管）現象

- 管内の水と空気との間に**メニスカス**とよばれる凹面ができ、この裏側では水の示す圧力が外圧より低いために、水が毛細管の中に押し上げられたもの。

- 土壌中の小さな孔隙の中に入った水は、大きな孔隙の水が抜けた後に入ってくる空気との界面にメニスカスができるために、水の中の圧力の方が外圧よりも低くなって、孔隙の中に閉じ込められた形になり土壌に保持される。

6. B 層

- 成熟した土壌は A 層と C 層の間に、母材が風化して化学的にも変質した、多少とも粘土質で、強い褐色や赤みがかかった色を示す B 層を持っている。
- 土壌の断面が A-B-C 層といった形をとるまでには数千年といった長さをみておかねばならない。

7. 植物栄養における無機栄養説

- リービッヒは作物の炭素源は**大気中の炭酸ガス**であること、作物の収量は土壌と土壌に施された堆肥中の無機質含量に依存することを結論した。
- 植物の生育に必須な要素、光・水・土壌養分などのうちの一つでも不足したものがあれば、他の要素がいくらあっても植物は正常な生育ができないという「**最少律**」の提唱者でもある。

8. 水耕栽培

- 生産上実用化されたのは、戦後アメリカ軍が進駐してきて、水耕農場を作り、いわゆる**清浄野菜**を栽培し始めた時である。
- その当時我が国の野菜の栽培には下肥（人糞尿）が使われるのが普通であったために、寄生虫など衛生上の心配をしたためである。

9. 水耕栽培の利点

- 病原菌などに対する消毒が簡単にできること。
- 連作障害の恐れがないこと。
- 温度や湿度などが完全にコントロールされているため葉菜・果菜類では生育速度が早く、温室など施設の利用効率が高まる。

10. 植物の生育に必要な 17 元素

- 三主要元素 — 窒素 (N) リン (P) カリ (K)
- 中量元素 — カルシウム (Ca) マグネシウム (Mg) 硫黄 (S)
- 微量元素 — 鉄 (Fe) マンガン (Mn) 銅 (Cu) 亜鉛 (Zn) ニッケル (Ni) モリブデン (Mo) ホウ素 (B) 塩素 (Cl)
- 有機物構成 — 炭素 (C) 酸素 (O) 水素 (H)
- これらの元素の多くは、植物の要求するレベルよりも過剰にあると有害であって、欠乏が生育を制限する（**欠乏症**）だけでなく、過剰も生育を阻害する（**過剰症**）。
- 元素間のバランスも問題となり、**カルシウム**が多いと、カリがあっても**植物はカリの吸収を妨げられる**。

11. 風化

- 地球の表面に露出した岩石とそれを作り上げている鉱物（**造岩鉱物**）が、地表の条件下で物理的に細かく破碎され、あるいは化学的に変質する過程をいう。

12. 石灰岩の溶解反応

- 石灰岩そのものは非常に水に溶けにくいのであるが、炭酸ガスを溶かし込んだ水には**重炭酸カルシウム**として溶解する。
- カルシウムやマグネシウム、カリなどの一般に塩基類を含む**ケイ酸塩鉱物**では**加水分解**が広くみられる反応である。

13. 玄武岩の溶解反応

- 塩基含有量の高い岩石中に含まれる**マグネシウムかんらん石**が加水分解すると**マグネシウム**と**ケイ酸**が溶け出す。

14. 花崗岩の溶解反応

- 花崗岩の中に含まれる正（カリ）長石の加水分解は、**カリ**と**ケイ酸**が溶け出すとともに、粘土鉱物の一種である**オカリナイト**を風化産物として生ずる。

15. 岩石の風化と養分の開放

- 岩石や鉱物の風化による植物養分の開放という観点からは、溶解や加水分解のような**化学的風化作用**が最も重要性が高いということになるが、化学反応が速やかに起こるための、広い表面積を作り出す物理的な**細粒化**も、あるいは生物による**有機酸類**の生産も等しく重要である。

16. 小流域法

- 一つの小流域を注意深く選ぶことによって、生態系全体のエネルギー、水、物質の収支を、雨と雪の量と溶存成分の組成、流域から流れ出す川の水の量と、溶存成分の組成、浮遊物の量と組成の測定から定量的におさえようとする方法。
- 生態系内部での物質やエネルギーの動きについても研究が行われている。

17. 岩石の差異

- 一般に岩石は**火成岩**と**堆積岩**（または水成岩）に大別されるが、堆積岩も元はと言えば火成岩が陸上で風化し、その風化産物としての土が地表から洗い流されて（浸食）、湖や海の底に運搬堆積されたものにほかならない。

18. 火成岩の元素組成

- 玄武岩は花崗岩に比べてケイ酸（ SiO_2 ）とカリ（ K_2O ）の含量がかなり低く、逆に鉄（ Fe_2O_3 ）、マグネシウム（ MgO ）、カルシウム（ CaO ）の含量がいずれもかなり高い。
- 玄武岩のような組成をもつものを**塩基性岩**、花崗岩で代表されるような組成をもつものを**酸性岩**とよぶ。
- 安山岩は、これら両者の中間的な組成を有し、**中性岩**とよばれる。

19. 花崗岩

- 溶けたマグマが地下深くの高温・高圧条件下でゆっくりと冷却して固化したために、**石英**、**正長石**、**雲母**の結晶が大きく発達している。（**深成岩**）
- これを温度も圧力も低い地表にもたらすと、大きく成長した各鉱物の結晶はその膨張や収縮の仕方に違いがあるため、鉱物間の組織がゆるんで物理的な風化を受けやすく、いわゆる**マサ（真砂）**に風化する。
- 花崗岩を作る鉱物は相対的には低い温度で安定な鉱物であるために、地表では化学的風化を受けにくい。
- 中でも**石英**は地表ではきわめて安定であるために、花崗岩の中の粗い石英粒子は岩石が風化して土になった後にもそのままの形で残り、粗い砂粒となる。
- 花崗岩といえども火成岩の場合、もとの材料は直接マグマに由来し、水成岩のように風化、浸食、運搬に伴う選別過程を経っていないために、たとえ微量ではあっても**あらゆる養分がまんべんなく含まれている**。
- 花崗岩が風化してできた砂質のマサ土を、同じように砂質の砂岩風化物と比べると、微量養分元素の欠乏なども起こりにくい。

20. 玄武岩

- 玄武岩を作る黒っぽい色をした鉱物（**有色鉱物**）や**斜長石**は高温高圧下で安定なものであるために、条件を異にする地表では不安定化し、容易に加水分解などの化学的風化を受けて**鉄**や**カルシウム**、**マグネシウム**などのイオンを放出する。
- それと同時に遊離される**ケイ酸**や**アルミニウム**から二次的に**粘土鉱物**が再合成されて粘土質の土になる。

21. 塩基性岩の土

- 化学的風化を受けやすく、有色鉱物が風化の過程で遊離した**鉄分**のために、強く褐色ないし赤褐色に着色した粘土質の土壌となる。
- 易風化性の鉱物を含む若い土壌はカルシウム、マグネシウムをはじめ多くの植物養分に富んでいて肥沃である。

22. 酸性岩の土

- 酸性岩からは鉄分が少なく、石英が多いために、白っぽくて砂質の土壌ができる。**カリ**には富んでいるが、他の養分には比較的乏しい。

23. リン

- 地殻中の平均含有量は**0.1%**であり、多くの高等植物が必要とする量を岩石・鉱物からの風化放出量だけではなかなか賄いきれない。
- 植物に対する養分の主たる給源となるのは土壌中に蓄えられた有機物である。
- 土壌中のリン酸は水に溶けにくいから、一度表土に集められたものは植生と表土の間で循環するだけで、系外への損失はあまり多くない。

24. 窒素

- 植物に対する養分の主たる給源となるのは土壌中に蓄えられた**有機物**である。
- **生物的窒素固定**によって大気中の窒素を植物に吸収できる形に変換できるから、土壌中に有機物の形で蓄積された量以上の窒素を植物が使えることになる。

25. 物理的風化

- 岩石が**温度変化**とか**凍結・融解**とか、あるいは**砂嵐**による研磨のような物理的な営力を受けて細粒化していく過程をいう。

26. 粘土鉱物

- ベントナイトやカオリンは**熱水作用**（地殻内の高温水溶液による鉱床の形成や母岩の変質作用）の産物である。
- わが国には火山の噴出した軽石質の堆積岩や凝灰岩から続成作用とよばれる圧密や再結晶などの過程を経てベントナイトやゼオライトの鉱床ができている例が多い。
- しかし、もっと普遍的に粘土鉱物の生成が起こっているのは、地表の土壌であり、それは化学的風化作用の結果である。
- 構成の基本単位は共通であって、**ケイ素四面体層**と、**アルミニウム八面体層**の二つである。
- 地球の外縁をなす地殻というのは、その体積の全体に大型の陰イオンである**酸素**をつめこみ、その酸素イオンの隙間に小さな陽イオンである**ケイ素**、**アルミニウム**を埋め込んで、電気的にバランスをとったものと考えればよい。

27. 粘土鉱物のもつマイナス荷電

- **同形置換**に際して荷電の大きさの異なるものが置き換わると荷電の過不足が生じ、鉱物全体として荷電をもつようになる。
- 土壌の**粘土**の場合には、高い荷電をもつ陽イオンが低い荷電をもつもので置き換えられることが多いために、粘土は**マイナス**の荷電を持つことになる。
- この**マイナス荷電**こそ、土壌が養分を保持する機能の起源である。
- 粘土鉱物の末端の面に生ずるマイナス荷電は条件によって変異するので、これを**変異荷電**とか**pH 依存荷電**とよぶ。
- これに対して同形置換由来のマイナス荷電は、周囲の条件の如何にかかわらず常に発現するので、これを

永久荷電とか一定荷電とよぶ。

- いずれもマイナス荷電であるから、プラスの荷電を持つ養分の保持に役立っている。

28. 腐植

- 土壌に入った有機物の多くは酸化されて**炭酸ガス**と**水**に分解され、究極的にはすべてなくなってしまうが、この過程で有機物の一部は黒色の比較的分解しにくい、土壌に独特な高分子の**有機化合物**に組み替えられる。これを腐植とよぶ。
- また動植物遺体などが土壌中で腐植物質に変化する過程を**腐植化**とよぶ。

29. 腐植化

- 土壌表層の好気的な条件下で進行するために、生成される腐植はその分子の構成の中に、酸素原子を含む多くの**酸性官能基**を持っている。
- これらの酸性官能基もそれぞれの酸としての強さに応じて**水素イオン**を解離して**マイナス荷電**を発現する。
- すなわち腐植も変異荷電の担い手である。

30. イオン交換

- 粘土や腐植のもつマイナス荷電は、**陽イオン**をひきつけるが、それと強い結合をしてしまうわけではなく、次の陽イオンが現れると前にあった陽イオンと置き換わることができる。
- 土壌のもつマイナス荷電の上での陽イオン交換は、自然界における**水質の浄化**などに重要な役割を果たしている。

31. 土壌の陽イオン交換容量 (CEC)

- 陽イオン交換の能力がどれほど大きいかは、基本的には土壌のもつ**マイナス荷電**の量によってきまる。
- CECを測る時に注意しなければならないのが**変異荷電**の存在である。

32. 無定形粘土と変異荷電

- 土壌中の**酸化鉄**や**酸化アルミニウム**鉱物の多くは無定形であるし、わが国の火山灰起源の土壌中にみられる**アロフェン**とよばれる鉱物も無定形である。
- これらの無定形粘土が、結晶性粘土のような同形置換による永久荷電をもたないのは当然であるが、粒子界面には結晶末端と同じ機構による変異荷電が発現する。

33. 両性酸化物

- **酸化鉄**や**酸化アルミニウム**は媒質の pH によってマイナス荷電のみならずプラス荷電をもつ可能性がある。
- このように媒質の条件によって正負の荷電を現わすような酸化物をいう。

34. リン酸の特異吸着

- リン酸は、酸化鉄や酸化アルミニウムの表面の Fe あるいは Al と強く結合してしまい、イオンとして他の陰イオンでは交換されなくなる。これをリン酸の特異吸着あるいは**固定**といい、特に活性の高い**アルミニウム**を多く含む火山灰起原の土壌で顕著に起こる。

35. イオン交換

- 一般に荷電の異なる陽イオンの間では、荷電の高いものの方が低いものよりも強く保持される。また同じ荷電をもつ陽イオンの間では、イオン半径の大きいものの方が小さいものよりも強く保持される。

36. 植物根による養分吸収とイオン交換

- 植物の根はもっぱら土壌溶液に溶けた養分を吸収するが、粘土や腐植のマイナス荷電によって保持されている NH_4^+ や K^+ 、 Ca^{2+} を、土壌溶液中に放出させるためには、やはりイオン交換を行わせることが必要である。
- このイオン交換に働くのは**植物の根**が分泌する各種の**酸**である。(pH3~4程度の酸性)

- この酸の**水素イオン**が、根の近傍にある粘土や腐植が保持している NH_4^+ や K^+ を溶液中に解き放って、植物根が吸収できる状態にする。

37. 肥沃度

- 広い意味では土壌の**生産力**、狭い意味では養分の**供給力**とか**保持力**のように土壌の化学的な性質に限定して使われる。
- 後者の場合、肥沃度は土壌の生産力の一半を担うにすぎず、他の一半は**保水**と**透水**のバランスや耕しやすさのような土壌の物理的な性質（これを**易耕性**とか**チルス**とよぶ）が担うことになる。
- すなわち土壌の生産力は**肥沃度**と**易耕性**から成り立っている。

38. 粘土の風化序列

- 風化の早い段階ではまだ易風化性の造岩鉱物から次々に塩基類が放出されているが、この状態では**ケイ素四面体層**の安定性が高く、2:1型の粘土鉱物ができやすい。
- こういう 2:1 型鉱物は養分保持力が高いから、この時期の土壌は養分供給力も保持力もピークに達し、最も肥沃度の高い段階にある。
- やがて易風化性の鉱物（主として鉄やマグネシウム、カルシウムに富む鉱物である）も底をつき、媒質中にこういう塩基類が乏しくなる。
- 風化の最終段階では、抵抗性の高い**酸化物鉱物**（**酸化アルミニウム**、**酸化鉄**、**酸化チタン**など）と**石英**だけが土壌の主要な構成成分となる。

39. 化学的風化と温度

- 気温が 10°C 上がれば化学反応の速度は **2~3 倍**になるとされるから、化学的風化は高温で湿潤な条件の下で速やかに進むことになる。温帯よりも亜熱帯、熱帯に向けて、風化の進んだ段階にある土壌を見る機会が増えるのはこのためである。
- 熱帯の景観的特徴の一つとして赤い色をした土壌が広く分布することは、よく知られている。この赤い色は、風化抵抗性の強い**酸化鉄**が、他の壊れやすい鉱物のなくなった後相対的に多くなっていることのあらわれであって、風化の進んだ段階を示している。

40. pH

- **水素イオン濃度**の逆数の常用対数をとったもの。
- 純水中の水素イオン濃度は 10^{-7}mol であるから、純粹の pH は 7 となる。

41. 酸性土壌

- 土壌が酸性を示す原因として、土壌に遊離の酸あるいは酸性物質が含まれていることが多い。最も広く見られるのは、土壌に加えられる**落葉落枝**や**作物残渣**など、未分解の有機物の分解過程で生じた**有機酸**が土壌溶液中に入って酸性を示す例である。
- まれには火山の硫気孔原に見られるように**硫黄**が存在する場合や、界面干拓によって造成した土地で、堆積物が**黄鉄鉱** (FeS_2) を含有する場合に、この硫黄分が**微生物**によって酸化されて**硫酸**を生じ、pH3 程度の強い酸性を示すことが知られている。

42. なぜ土壌は酸性になるのか

- 土壌のもつマイナス荷電に**水素イオン**が吸着され、それが解離するために土壌が酸性を示す。
- 土壌の材料となる岩石や鉱物が風化して粘土の生成が起こるときには、同時に Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^+ や Na^+ のような 2 価や 1 価の陽イオン類が遊離されるから、生成した粘土の表面のマイナス荷電にはこれらの陽イオンが先に吸着される。
- 雨の中には多少とも酸が溶け込んでいるために、不可避免的に土壌が酸性化する。つまり雨の中の水素イオンが、土壌粒子表面の陽イオンと置き換わる。
- 置き換えられた陽イオンは、多くは炭酸水素（あるいは重炭酸）陰イオン (HCO_3^-) とペアになって、

地下水から河川や湖沼に入り、最終的には海に注ぐ。

- 海のもつ莫大な量の塩類はこうして岩石、鉱物や土壌の風化によって解放されたものにほかならない。
- 土壌の保持している陽イオンのうち K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} はいずれも植物にとって必須の養分元素である。植物がこれらの陽イオンを土壌から吸収する時もイオン交換が起こっている。
- 根は有機酸を分泌し、その H^+ との交換によって K^+ や Mg^{2+} を土壌溶液中に遊離させ、吸収している。(陰イオンの吸収よりも多い)
- したがって植物の養分吸収に伴う土壌の酸性化も起こっている。

43. 生理的酸性肥料

- 硫酸や塩加 (KCL) のようにそれ自体は酸性でないが、植物の養分吸収のために酸性化を引き起こすような肥料のこと。
- 農耕地では生理的酸性肥料の多用による酸性化も極めて大きい。

44. 酸性雨

- 工場の排煙や自動車の排気中に含まれる SOX とか NOX といわれる硫黄酸化物や窒素酸化物が、大気中で究極的には硫酸や硝酸に酸化され、水に溶けて地表に降ってくる。
- また、火山の噴気中には亜硫酸ガスや硫化水素のような硫黄酸化物が含まれているし、稲妻のような自然の放電現象に伴って NO_x の合成も起こっている。
- 雨の中には必ず空気中の炭酸ガスが溶け込んでおり、炭酸として解離し酸として働く。

45. 土壌の酸性

- 土壌の負荷電を中和する陽イオンの一部が水素イオンで置き換えられている状態である。
- 陽イオンといっても、 H^+ と Al^{3+} は酸性を示すのに対して、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^+ 、 Na^+ などは塩基性を示し、その働きは逆である。前者を酸性陽イオン、後者を塩基性陽イオンという。
- 土壌生物の多くは酸性に弱い。動物の中ではミミズが、微生物の中では細菌が特に酸性に敏感である。
- ホウレンソウはクローバーの仲間とともに最も酸性に弱い作物であるし、稲や燕麦は強いものの代表である。
- お茶の木は極めて酸性に強く、土壌溶液中に少しアルミニウムがあるほうが生育はよい。
- パイナップルも酸性を好む作物である。

46. 黒ボク土

- 火山の噴出した火山灰に由来し、国土に占める面積割合は約 17% である。
- 火山灰が降ったところにそのまま長く積っていることが前提条件であり、地形が平坦で雨が降っても流れないことを意味し、農地として使いやすい条件を備えている。
- 火山灰は火口から噴き出されて急速に冷却されたもので、ガラス質で鉱物は結晶化しておらず、鉱物としての構造が弱い。
- 粒子が細かく表面積が大きいから水と反応して加水分解し、化学的な風化を受けやすい。
- 雨が多く、夏の温度が高いわが国の条件は、この変化を加速することになる。
- 火山灰の風化で解放されるアルミニウムは植物遺体の分解過程でできる土壌中の腐植と結合して、分解されにくい Al-腐植複合体を大量に土の中に貯める。これが黒い色の原因である。
- 下層土は風化によって遊離した酸化鉄のために一般に赤褐色から黄褐色を呈する。
- 有機物が多いから土壌の団粒構造はよく発達していて安定でもある。水はけもよいし、保水性にもすぐれている。
- 孔隙率は高く、容積重は他の土壌に比べてかなり小さい。
- この軽さが、春先の土の乾く時季には、黒ボクの風食の危険性を大きくしている。
- 表土が強く酸性化していることは、その生成の条件から明らかである。

- 黒ボクを畑として利用する時には、酸性を直してやらねばならないし、それ以上にリン酸を多量に施用して、土壌のリン酸固定力にうちかたねばならない。
- 開墾当初に苦土石灰で酸性を中和した上、10アール当り1トン以上ものリン酸肥料が施用されることによって解消された。
- 資源多消費型の農業の中で初めて可能になった。

47. 畑作農業と土壌

- 黒ボク — 腐植質酸性土壌
真黒な有機物を多量に含み、強酸性を示す

- 赤黄色土 — 鉍質酸性土壌

丘陵の緩斜面とか段丘の上など、比較的地形の安定した台地に乗っており、土の材料はよく風化し、雨で洗われている。鉄分が多い。有機物の蓄積が少ないのに加えて、粘土分が多く土壌に良い構造を与えることが難しい。

48. 畑土壌の物理性

- 水もちと水はけのバランスは、団粒によって支配される。
- 団粒構造の形成には、有機物とそれによって養われる多数かつ多様な土壌生物の働きが必須である。
- 昔、化学肥料が使われなかった時代には、養分を補給するために、作物の残渣を土に返すのはもちろん、山の落葉を掻き集めたり下草を刈ったりして田や畑に入れた。馬糞や牛糞だけでなく、人間の排泄物まで集めて肥やしとし、それを農地に施すのが日本の農業の一つの特徴。

49. 連作

- 畑作では輪作が基本であり、連作をすると一般に「いやぢ（忌地）」とよばれるような障害が出る。
- 最大の要因は土壌伝染性病害であり、全体の70%程度を占める。
- その他に、アレロパシー（他感作用）と呼ばれる、植物根の分泌する特殊な物質に起因する後作物への生育障害や、土壌養分の欠乏や集積、養分間のバランスの崩れなどに起因する生理障害と呼ばれる現象、センチュウ（線虫）というごく小さい土壌動物の作物根への寄生など。

50. 土壌のアルカリ性

- 石灰の過剰施用に起因するものであるが、土壌のpHをアルカリ性となるまで高めることは、例えば微量元素の欠乏を引き起こすようなマイナスの効果があるだけで、何の利益もないので注意する必要がある。

51. 石灰質土壌

- 石灰岩地帯では、少なくとも風化を受けつつある石灰岩と接している部分の土壌は中性ないしアルカリ性を示す。
- 石灰（炭酸カルシウム）によってアルカリ性を示す土壌のpHは、高い場合でも8.4ぐらいである。
- 塩類土壌の多くは水に溶けやすい硫酸ナトリウムや硫酸カルシウムのような中性の塩と共に炭酸カルシウムを含んでいるので、そのpHは8.4ぐらいまでの範囲にある。このpHは、炭酸カルシウムが大気中にある0.03%の炭酸ガスを溶かし込んだ水に溶けて示す値である。

52. 塩類障害

- 植物の吸水障害

溶けている塩の濃度が高くなると溶液の浸透圧が高くなって、普通の植物は水を吸えなくなる。海水中で普通の植物が生きられないのと同じ理由によっている。

- 養分のバランスの乱れ

土壌溶液のカルシウムの濃度が高くなるとカリの吸収が妨げられる。

53. アルカリ土壌

- 交換性陽イオンの中で**ナトリウムイオン**の割合が15%程度よりも高くなると、粘土の粒子間にはナトリウムイオンにくっついて持ち込まれた水分子が多くなり、粒子間の凝集力は小さくなって、粘土粒子は分散しやすくなる。そのために分散した粘土が水と共に移動して土壌の孔隙を埋めて**目づまり**を起し、非常に緻密で固い土層を作る。そうすると水の通りが悪くなり、耕作もしにくくなる。
- ソーダ質土壌の改良によく用いられるのは**石膏（硫酸カルシウム）**である。石膏をまいてから水で洗うと、水に溶けた硫酸カルシウムが粘土の膨潤を防ぐと同時に、カルシウムイオンが土壌のナトリウムイオンと置き換わって粘土の分散を抑えるために、水の通りが良くなり土壌改良が進む。
- **硫酸カルシウム**は難溶性の物質であるが、土壌中では十分な溶解度をもつ。

54. 土壌のアルカリ化

- 台風時の高潮で海岸の農地が**海水**を冠った時、あるいは**干拓地**を造成したような時に起こる。
- 海水を冠った直後は塩分の濃度が高いので、粘土粒子も凝集して水が通りやすく、あるところまでは簡単に塩を洗うことができる。
- ところが雨水や灌漑水などで塩を洗ってゆくと、遊離の塩がなくなるにつれて、海水中の**ナトリウムイオン**を吸着した土壌は**加水分解**して高い**アルカリ性**を示すようになるだけでなく、粘土は分散を始めて目づまりを起こす。まさに土壌のアルカリ化、すなわち**ソーダ質土壌への転化**が起こる。

55. 湛水下の土の特性

- 土の色が赤味を失って灰色になるのは、水を湛えると**酸素**が土に入らなくなるためである。
- 酸素が水の中を動く速度は、空気中を動く速度の**1万分の1以下**に減ることが知られている。
- 湛水下の土の中は漸次酸素不足の状態、つまり好氣的な状態から嫌氣的な状態へ、酸化的な状態から**還元**的な状態へと推移する。
- 土の色の灰色は、着色した第二鉄化合物が還元によって失われた結果、土の粒子の地の色がでていうことである。
- しかし水田の土も長く湛水下においておくと、やがて土地の表面の部分、つまり土と水の境界の部分だけは、再び**赤黄色**に着色するようになる。これは空気が非常にわずかではあるが、絶え間なく水の中を通過して入ってくる結果である。

56. 窒素の循環

- 水田の土の中の窒素の大部分は土壌有機物中に存在する。この有機物が湛水することによって土の中にたまることが確かめられている。
- これは湛水によって酸素の供給が強く制限されるために、土の中に入った有機物の酸化分解が阻害された結果である。
- この有機物が**微生物**によって分解されると、その中の窒素は**アンモニア**として放出されることになる。

57. 乾土効果

- 湛水前に土をよく乾かしておけばおほど、湛水後の有機物分解と**アンモニア**の生成が促進される。
- 湛水による土の**還元過程**とアンモニアの生成過程とは相伴って進行する。
- しかもアンモニアは窒素の作る多くの化合物の中で、還元条件下で安定なものである上、**陽イオン**であるためにマイナス荷電をもった粘土や有機物に保持され、簡単に水に乗って失われることはないが、稲の生育に伴って吸収されていく。

58. 脱窒

- 湛水後1か月もたつと、水を通して絶えず拡散してくる空気中の酸素によって、作土の表面にうすい酸化的な層ができる。
- アンモニアはこの酸化的な条件のところへ出てくると、**硝化細菌**といわれる特殊な微生物によって、容

易に**硝酸**に変えられる。

- 硝酸が陰イオン (NO_3^-) であるために土に保持されにくく、水の動きに伴って流れやすい。
- 下向きに動いた硝酸はすぐ還元的な作土層に入るが、そこではこの硝酸はもう一度**還元**して**窒素ガス**として空気中へ返してしまう。
- つまり土の中の窒素の損失を引き起こすのである。
- ほとんどの硝酸が土の中ではあいにくアンモニアに行く手前の窒素までしか還元されないために、気体として失われることになる。
- 特に穂肥のように**追肥**をする時には、アンモニア態窒素は土の表面に落ちるが、そこは硝酸への変化が活発に起こるところであるから、すぐ**脱窒**につながる。
- この損失を減らすために**全層施肥法**（土壌の表面近くに肥料が集中しないようにする）とか、**固形肥料**（土壌深くへ埋め込む）とかが開発されてきた。

59. 窒素の固定

- 豆科の作物の根に寄生して共生的に窒素を固定する**根粒菌**の役割の大きさは、ギリシャ・ローマ時代から知られていた。
- 水田の土で窒素固定の重要性が注目されるようになり、水田の湛水中やイネの株本、土の表面などにいる**藍藻類**が大きい固定量を示すことが報告された。
- 藍藻類だけでなく、**光合成細菌**や稲の根の近くにすむ多くの**従属栄養細菌**などが活発に窒素固定をすることが知られるようになってきた。

60. リン酸の有効化

- 土の中には少ないながらも見られる元素であるが、湿潤な気候条件下では、風化によって土の中に多量に存在する**鉄**や**アルミニウム**と結合して非常に溶けにくい化合物（リン酸第二鉄、リン酸アルミニウムなど）となっているところに問題がある。
- 酸性が強い上にアルミニウム化合物の活性が高い火山灰由来の**黒ボク**では、施肥をしてもリン酸固定のために作物に対するリン酸の欠乏が起こりやすい。

61. 水田の土

- 日本の水田の土を乾かした時の平均 pH は大体 **5.3~5.5** ぐらいであるが、これを湛水して**還元状態**で測定した pH は、普通 **6.5~7.0** くらいまで上昇している。つまり土はもはや酸性ではなく中性に近づいているのである。
- 水田では土の中のリン酸が、うまく有効化されるために、リン酸を施肥しなくても収量があまり低下しないが、畑ではリン酸をやらないと、たちまちそれがひびいて大きな減収になる。

62. 水稻の根腐れ

- 強い還元条件下での硫酸根 (SO_4^{2-}) の還元によって**硫化水素** (H_2S) が発生することが原因である。
- 酸素がまず還元消費され、次いで硝酸、酸化マンガン、酸化鉄の還元と進むが、さらに強い還元条件の下では**硫酸根**が還元される。
- 硫酸根が還元されると硫化物となるが、これは土の中にやはり還元の産物としての第一鉄イオンがあると、それと化合して硫化鉄となり、このものの溶解度がきわめて低いために沈澱して無害化される。
- ただ硫化物を沈澱させるのに十分な第一鉄イオンがないと、毒性の高い遊離の硫化水素となって、稲の根をおかし、根腐れに導く。
- **強還元による硫化物の生成と鉄の欠乏とが重なって起こる生理障害**である。

63. 秋落ち

- 盛夏の頃から稲の作柄が悪化し、期待外れの低収に終わる現象をいう。
- 鉄欠乏をはじめ、カリ、マグネシウム、ケイ酸など多くの養分についても欠乏傾向を示すところから、**老朽化水田土壌**とよばれる。
- 戦後国の補助金による**肥鉄土**（酸化鉄含有量が高く強い赤色を示す山土など）のような土壌改良資材の施用（客土という）が行われた。

64. 土壌生物

- 土壌のもつ細かい粘土粒子などを**団粒**にまとめあげて、団粒の内部の小さな孔隙には水を保ち、団粒と団粒の間の大きい孔隙からは水をはかして空気をいれる、そういう相矛盾した働きを作り出すことによって植物の健全な生育を可能にしている。

65. 団粒形成

- ミミズは食餌としての土壌中の有機物を細粒の無機物とともに摂取し、腸管を通す間に接着剤として働く腸内の有機物やカルシウム塩などの分泌物を混ぜて安定な団粒を作り上げ、糞として体外に排出する。最も典型的な団粒である。
- 土壌の団粒形成には動物も微生物も含めて**土壌生物の働き**が不可欠である。

66. 土壌呼吸

- 分解された有機物量のおよそ 10~40%に相当する生物体が再生され、残りは生物の生活に必要なエネルギーとして消費される。
- 土壌中の有機物が分解されると、その中の炭素は最終的には炭酸ガスとして放出される。こうした土壌からの炭酸ガス発出を、人間の呼吸による炭酸ガス発出と同じとみて、一般に**土壌呼吸**と呼ぶ。
- 土壌呼吸の測定値の中には、土壌の**有機物の分解**によるもののほか、生きている植物の**根の呼吸**によるものも含まれている。

67. 土壌動物

- 働きの中で重要なものの一つは、**植物遺体の粗砕き**である。植物の葉や小枝を噛み砕いて一部を消化するが、多くを糞として排出し、微生物たちに分解されやすくしているし、またこの摂食と排泄の過程で有機物を無機粒子と混和し、団粒の形成をはじめとして、土壌の表層を植物にとって好適な生活の場にする上で大事な役目を担っている。
- ミミズのような大型の動物の場合には、土の中に縦横に穴を開けるのも仕事のうちである。これらの空隙は**水や空気の通り道**として植物の根の活性を維持するのに役立つことになる。
- ミミズはまた土壌を耕し、かき混ぜる働きもある。
- 熱帯では**シロアリ**が温帯におけるミミズと同様に**土壌攪拌作用**を果たしている。

68. 土壌微生物

- 植物にとって最も重要な栄養素の一つである窒素は、ガスとしては大気中にその体積の 78%も存在するのであるが、このままの形では植物は利用できない。
- 植物には**アンモニウム (NH_4^+) イオン**の形で窒素を好むものと、**硝酸 (NO_3^-) イオン**の形で窒素を好んで利用するものがある。
- このガス態の窒素を、アンモニア態あるいは硝酸態の化合物の形に変換することを**窒素の固定**という。
- ガス態の窒素を固定するには、まず安定な分子状の N_2 を 2 原子の N に分解する必要がある。
- 自然に起こる反応のうちで、この大量のエネルギーを放出するものとして、大気中での**放電現象**である**雷**や**宇宙線**がある。
- このエネルギーで大気中の窒素分子の一部が N となった上、空気中の酸素と化合して硝酸態窒素を生成する。
- 昔から雷の多い年はイネのできが良いといわれている。

69. 生物的窒素固定

- **共生的窒素固定生物**

マメ科植物の根（まれに茎や葉にも）と共生する**根粒菌**

木本植物の根と共生する**放線菌**（フランキア＝放線菌の仲間）や**藍藻**（シアノバクテリアという細菌の仲間）

アカウキクサ（アゾラ＝水生シダ）と共生する**藍藻**

- **独立窒素固定生物**

アゾトバクター（好気性）

クロストリディウム（嫌気性）

光合成細菌、**藍藻**（好気性）

これまでのところ細菌のように核をもたない原核生物の中にしか窒素固定生物は知られていない。

70. 硝化と脱窒

- 固定された窒素は生物の体の中に入って有機物の中に組み込まれる。これらの生物が死に、有機物として土に還ると土壌微生物によって分解されて、窒素はいつでも**アンモニア態**として開放される。
- これを**アンモニア化成**というが、そのままの形で植物に吸収される場合と、アンモニアからいったん**硝酸態**になって吸収される場合とがある。
- このアンモニア態から硝酸態への変化は**硝酸化成**または**硝化**と呼ばれる。
- これらの反応がいずれもエネルギーを生み出す反応であって、理論的には微生物の関与がなくとも進行するはずのものであるが、現実には硝化は空気中の酸素による自然酸化では起こらず、**微生物**の関与があって初めて可能になる反応であるということである。
- 一般に有機物を分解して得られるエネルギーを利用する細菌を**従属栄養細菌**と呼ぶのに対し、光合成反応や化学反応によって生ずるエネルギーを利用する細菌を**独立栄養細菌**と呼ぶ。
- いったん硝酸にまで酸化された窒素も、嫌気的な条件に会うと NO_3^- から順次還元されて結局は N_2 ガスとなって大気中へ還り、窒素固定に始まった一つの循環系が完結する。この NO_3^- から N_2 ガスへの還元を**脱窒**と呼ぶが、この作用も条件的嫌気性細菌である**脱窒菌**によって営まれる微生物的過程であり、生態系の過度の富栄養化を防ぐ役割を担っている。

71. 根 圏

- 植物の根と土壌との界面のごく薄い、**厚さ 1mm以下**ぐらいの部分のことを呼ぶ。
- 一般に根圏では、植物根の表皮や細かい根毛などが、古くなるにつれて次々に剥落するので、新鮮な有機物が贅沢に供給される。
- **ニトロゲナーゼ**をもった微生物にとって、エネルギー源としての有機物の供給は活発な**窒素固定**を可能にするものであり、そのため根圏での窒素固定量は大きくなる。
- 水田において、湛水下の水稲の根が**酸素**を地上部から通導組織を通して根に運び、嫌気的な条件下での**呼吸**を可能にしている。
- 酸素が運ばれるのであれば**窒素**も根にはこぼれているはずであるから、根圏での窒素固定の条件は整っている。

72. 菌根菌

- **マツ**や**ブナ**などの木本の根の表面に菌糸網をつくる**外生菌根**と、穀類をはじめとする多くの作物の根に寄生し、その皮層細胞の間や内部に入り込んで特殊な構造（分岐体や嚢状体）を形成する**内生菌根 (VAM)**との二種類に大別される。
- 内生菌根の場合も根に寄生しながら、根の外の土壌中に菌糸を張りめぐらして土壌から**無機養分**を吸収し、それを宿主である植物に供給し、見返りとして菌根は植物から**窒素**や**光合成産物**を得ている。
- 土壌から吸い上げて植物に供給している養分として最も重要なものが**リン酸**であり、通常植物の根が吸収

できないようなリン酸まで菌根は利用できるようである。

- リン酸以外に微量元素として重要な**亜鉛**も、菌根によって植物の吸収が促進される。
- 熱帯の作物のキャッサバも菌根との共生がいられている。

73. 根圏における植物根の反応

- 植物の根が養分の吸収をするために酸を分泌したり、アルカリを分泌したりしていることはよく知られている。
- オオムギの根は、土壤中の鉄を可溶化する能力のある一種のアミノ酸（**ムギネ酸**という）を分泌する。

74. 連作

- 養分吸収の偏りによって、特定の養分が欠乏する恐れがある。
- 管理の仕方にくせがあったりするために土壤の団粒構造が維持できず、土壤の物理的な性質が悪化し根張りが悪くなる。
- 土壤の生物性が悪くなる。ある作物に特異的につく**病害**や**虫害**があると、その作物がくり返し栽培されることは、その病原菌や害虫がはびこり続ける条件を確保してやることになる。

75. 連作障害のない水稲栽培

- 湛水と落水の反復は、現在連作障害対策として広く行われており、畑条件で連作をして障害が出始めるとしばらく湛水して休ませるとか、田畑輪換といって交互に水田として使ったり畑として使ったりするような慣行もある。
- いずれにしても水田稲作が連作障害のない体系であることは大変重要なことである。

76. 畑作における連作障害

• 土壤伝染性病害

フザリウム属の糸状菌（カビ）

ダイコン、キャベツなどの萎黄病、ナス科作物の萎凋病などの原因

バーティシリウム属の糸状菌

ハクサイの黄化病

• 生理障害

アンモニアの過剰によるカルシウムの吸収阻害は、ハクサイの縁腐れや心腐れ、トマトの尻腐れなどよく見られる障害の原因になっている。

石灰の過剰施用によって蔬菜連作土壤の pH が弱アルカリ性を示す場合が頻繁に見られるが、こういう土壤では銅、亜鉛、マンガンなどの**微量元素**の欠乏を来している場合もあると思われる。

77. 有機農業

- **有機物**の投入による養分の供給とともに、**土壤生物**の活性化にある。
- すなわち動物や微生物の餌になる分解しやすい有機物を土壤に施用することによって、土壤生物の種類も数も増やし、それら生物の活動によって安定な団粒構造をつくりだして、植物の根の発達をうながすとともに、分解した有機物から解放される養分の再循環を図ろうとするものである。

78. 抑止型土壤

- 自然の生態系の中では、**生物種**の多様性を確保することが、系の安定性の確保につながる。
- たくさんの種を維持している系では、特定の生物だけがはびこる機会は少なく、生物種間の**チェック・アンド・バランス**によって**ホメオスタシス（恒常性）**が保たれやすい。
- **生態系の多様性**＝安定性の原理に基づく**土壤生物相**の活性化

79. 土壤の色

- 日本でも古い農書の中で**紫**が肥沃度の高い土を、**白**が低い土を形容する言葉として使われている。
- 赤や黄色は**酸化鉄**の色であり、一般に土の材料の風化が進めば進むほど赤い色が目立つようになる。
- 一般に赤い土は養分の少ない痩せた土であるし、白い色は砂の色である。
- 灰色は土が水に浸かって**酸素欠乏**の状態にあることを表している。

80. 熱帯土壌の特異性

- 湿潤熱帯低地の高温の下では、土壌の材料の化学的風化と、それによって解放される養分元素の洗脱が速く進むので、土壌は早く老化しやすい。具体的には粘土が1:1型の**カオリナイト**を主体としたものになると同時に、土壌材料の**ケイ酸塩鉱物**が風化分解して、養分元素が流れた後に残る**酸化鉄**や**酸化アルミニウム**、**石英**などの割合が高くなる。
- 温帯土壌の粘土の主体は、**スメクタイト**のような高活性の2:1型鉱物であって、高い永久荷電を示す上に有機物の蓄積も多く、これがまた土壌の負荷電を増強している。
- **オキシソル**のような熱帯土壌では、高温条件の下で有機物の分解が早く進み、土壌の無機質材料の性質を修飾するほどの有機物の蓄積が起こらないのとは対照的である。

81. 焼 畑

- 大きくは、地力の回復を休閑期の自然植生の回復に依存する**自然休閑方式**の中に含まれる。
- 一般に熱帯アジアの焼畑では、二次林を伐開して、乾燥後焼却し、通常は耕起などを行うことなく、掘り棒で穴をあけてオカボ（陸稲）、トウモロコシ、雑穀などを播種し、順次成熟をまって収穫する。

82. 炭酸ガスと土壌

- **土壌**が地球上で最も大きな炭素の隔離場所となっていることはあまり知られてないが、世界の土壌の含有する有機物炭素の総量は表層1mの範囲だけをとっても1兆**5,000億t**もあって、これは陸上のあらゆる植物の中に存在する炭素のざっと**3倍**、大気中の炭酸ガスのもっている炭素の**約2倍**に相当する。
- 地球上で大量の有機物を貯留しているのは、寒帯や亜寒帯に広く分布する**泥炭**や**ツンドラ**などの土壌である。
- **泥炭**は低地にあって水浸しの条件下で、酸素が自由に入らないために微生物による有機物の分解が妨げられて生ずるものであり、しばしば10m以上もの深さをもつものがあって大量の有機物を貯め込んでいる。
- **ツンドラ**というのは、極地方にあって冬には全体が凍結するし、夏でも地表部の**30~50cm**が融けるだけで浅いところに**永久凍土層**をもつようなものことである。この低温が微生物の活動を妨げるために有機物を蓄積しているのであるが、植生自体も貧弱であるから、単位面積あたりの有機炭素の貯留量は泥炭ほど多くはない。
- 地球温暖化による気温上昇は極地方や亜寒帯圏で最も大きいとされているから、これらの泥炭やツンドラは温暖化によって重要な炭酸ガスの発生源になる恐れが大きい。

83. 亜酸化窒素

- **亜酸化窒素**は通常の大気中の濃度では炭酸ガスの1000分の1しかならないが、その温室効果は炭酸ガスの200倍以上も大きい。また**フロン**などとともに**オゾン層の破壊**にも手を貸している。
- 窒素肥料の多くは**アンモニア態 NH_4^+** として施用されるが、これが土壌中では**硝化細菌**の作用で自然に**硝酸態 NO_3^-** に変わっていく。この硝化の過程で副産物として少量の亜酸化窒素が発生する。
- つまりアンモニアが硝酸まで酸化されるときに、一部が不完全に酸化されて **N_2O** になる。

84. 水田土壌とメタンの生成

- **メタン (CH_4)**は通常の大気中には炭酸ガスの200分の1の濃度でしか存在しないが、**温室効果**は炭酸ガスの何十倍も強い。
- メタンは強い嫌気的な条件下で生成するので、水田はメタンの大きな発生源として位置づけられている。

- 牛や羊のような反芻動物の胃袋の中も嫌氣的なので、全世界では水田と同じくらいか、それよりも多いくらいのメタンを出しているといわれる。
- メタンは分解されやすい有機物を多量に含む土壌を、湛水して嫌氣的な条件におくと、メタン生成菌によって容易に作られる。しかし生成したメタンは、表面の水と土との境界近くの酸化条件のところに出てくると、メタン酸化菌によってこれまた容易に分解されて炭酸ガスになる。
- メタンが大量に大気中に出ていくためにはイネとかヨシのような、その体内の通導組織を通してメタンを根から地上部へ運ぶことのできる湿地性の植物の存在が必要である。
- わが国の稲作では**中干し**といって盛夏に1週間から10日も水田から水を落とす慣行がある。これは無効な**分けつ**（根に近い節からの枝分かれ）を抑えるためと、根の**活力**を増すために行われるのであるが、メタン生成を抑制する上で非常に大きな効果がある。
- また出穂後イネの登熟期には、**間断灌漑**といって3~4日間湛水しては4~5日落水するような水管理もよく行われるが、メタン生成を抑えるのに有効である。

85. 酸性雨

- 原初の地球に降った強烈な**酸性雨**が現在の海水の組成をあらかじめ決めた。
- 岩石や土壌は究極的には酸性雨の中和剤として働き、酸性雨の生態学的影響を緩和する役割を果たしている。
- 土壌の酸中和能の根幹は**炭酸塩**と陽イオン交換基に補足されている Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^{+} 、 Na^{+} などの**塩基性陽イオン**であるが、これらの物質が消費されてしまうと、土壌の骨格成分である粘土そのものが溶解されて、その中に含まれていた塩基性陽イオンだけでなく、粘土の主成分であるアルミニウムまでが溶け出す。**アルミニウム**は植物にとって**毒物**である。
- 炭酸ガスはそれ自体が水に溶けると炭酸という弱い酸となる酸性物質である。
- 大気中の炭酸ガスを十分水に溶け込ますと、その水のpHは**5.6**ぐらいになる。
- 一般にはpHが**5.6**よりも低い雨を**酸性雨**としている。

86. 酸性物質の起源

- 中国では石炭の燃焼に起因する**亜硫酸ガス**が大気汚染の原因となっている。
- アメリカにおいてすら、化石燃料由来の**硫黄**が現在でもまだ重要な大気汚染源となっている。
- ガソリンエンジンなどでの燃焼過程において大気中の窒素と酸素が化合して作られる**窒素酸化物**が問題である。（窒素固定）

87. 灌漑による塩類集積

- 潜在的な蒸発散量が非常に大きい乾燥地では、水を流し続けている限りは土の中での水の動きは上から下に向いている。
- **水を止めるとすぐに**地表からの蒸発につれ、**毛細管現象**によって水は下から上へ向かって動き始める。
- 水に溶け込んだ**塩分**も地表へ向かって引き上げられ、水が大気中へ逃げるにつれて塩類は表土にたまってゆく。
- 悪いことに、灌漑水中にもともと含まれていた塩分だけでなく、水が下層土の中にあつた塩分まで溶かし込んで地表へ運ぶために、表土への塩分の集積は灌漑水が土壌へ持ち込む塩の量よりも多くなる。
- さらに問題なのは、灌漑がその地域の地下水位を高め、場合によっては地表にまで湛水するようになり、地下水位が高くなって地表まで毛細管がつながってしまうようになる。
- こういう乾燥地域の地表から浅い層にある地下水には、塩類濃度の高いものが多い。
- したがって毛細管が地下水から地表面までつながってしまうと、どんどん表土に塩を貯めることになる。
- 豊饒な三日月地帯といわれた**メソポタミアの文明**は灌漑によって興ったが、また灌漑の結果としての**塩**

類化によって滅びた。

- インダス河の流域にあった**モヘンジョダロ**や**ハラッパー**の文明も周辺の森林の伐採による氾濫の増加と塩類化によって滅亡した。
- エジプトのナイル河谷の場合は毎年ナイル河の氾濫による自然の養分供給と塩分洗浄過程を伴っていたためにより安定していたが、現代のテクノロジーによる**アスワンハイダム**の建設によって年々の氾濫がなくなった結果、農地土壌の塩類化が激化しているといわれている。
- ユーカリは高い蒸散能と耐塩性、生長の速さなどの特性をもつために、その植林は地下水位の低下に寄与するだけでなく、乾季には根域での急速な吸水によって毛管水の連続を絶ち、塩分の地表への上昇を阻止するように動く。

88. 土壌侵食

- 自然の植生遷移に伴って土壌が生成発達する際に、植物は表土との間で物質を循環しながら、だんだんと表土の中の**養分の蓄積量**を大きくしていく。
- 土壌侵食が怖いのは、まさにこの表土を失わせ、土壌の**肥沃度**を根こそぎ奪ってしまう危険があるからである。

89. マングローブ跡地の問題

- 現在マングローブを伐採して養魚池を作っているところでも、池の周りの土手に積み上げた泥が空気に触れて強く**酸性化**し、そこを流れて流れ込む酸性の水のために魚やエビが死んでしまうといった問題が生じている。

90. 持続的農業

- 土壌侵食との関連では、代替農業の中で推奨されている**不耕起法**、**最少耕法**、**畝立て耕転法**など、**保全耕法**と総称されているものの採用も有効である。
- 有機農業における地力維持方式の最も重要な点は、土壌生物の働きをいかに尊重し増進するかにある。

91. 土は生きている

- 土は酸素を吸収し、二酸化炭素を吐き出している。
- 土の中では、植物の根が呼吸をしたり、有機物が分解されたりしている。

92. 自律的恒常性（ホメオスタシス）

- 生命体の体内諸器官が、気温や湿度などの外部環境が変化しても、血液成分や血圧、血流量、体温などといった内部環境を一定の範囲に保つはたらきのこと。
- 土も植物根や土壌生物が適切な生活をおこなえるよう、土中環境の急激な変化を抑え、それを一定の幅のなかに保つ能力を持っている。

93. 粘土

- 単に岩石が細粒化したものではなく、雨によって岩石から溶け出した**アルミニウム**や**ケイ素**、**鉄**などが、再び化学的に結合して生まれたもの。

94. 土の誕生

- 4億3000万年前、物理的風化によってできた岩くずの表面に、**カビ類**と**藻類**の共生体である**地衣類**が生息し始めたことで誕生した。
- カビ類は水や養分を吸収する根の役割を果たし、藻類は**光合成**をおこなって炭水化物を生産する。地衣類が長期間生息し続けることで、ごく僅かずつではあるが、岩くずに**有機物が蓄積**されていった。

95. 粘土の役割

- 粘土の持つ重要な特質は、一般に表面積がきわめて大きく、マイナスやプラスの電気を帯びていることである。
- そのため、いろいろな物質を大量に吸着し、植物養分であるアンモニウム、カリウム、カルシウムなど、プラスに帯電している原子や分子に加えて、マイナスの電気を帯びている硝酸やリン酸などの分子をも表面に吸着し、それらが降雨などによって下方に流されるのを防いでいる。
- 水はけと水もちを同時に実現する**団粒**は、粘土なしには生成されない。
- pH の急激な変化をやわらげ、土の**化学的恒常性**の維持に大きな役割を果たすとともに、有害な重金属類を強く吸着して地下水に流入するのを防いでいる。(粘土が**電気**を帯びているからである)
- 一般に表面積が大変大きいので、電氣的に中性の物質ですら多量に吸着して水をきれいにする。

96. 団 粒

- 団粒とは、**粘土**と**シルト**がくっついてできた集合体のことである。
- マイナス電気を帯びている粘土同士が、カルシウム、カリウム、鉄などのプラスに帯電している原子をはさんで静電氣的に結びつき、シルト程度の大きさの集合体をつくる。
- この集合体とシルトがさらに結びついて二次的な集合体をつくる。これが**団粒**である。
- シルトと粘土の集合体を接着する働きをするのは、有機物の分解過程で生じるある種の高分子である。
- この高分子はシルトと粘土をしっかりとくっつけるため、団粒は水に浸かった程度では壊れない。
- 団粒が集まってつくられる土の構造を**団粒構造**と呼んでいる。
- 団粒の大きさは0.1~数ミリメートルくらいで、**砂の大きさ**とほぼ同じである。
- 団粒構造にごく近いと考えられているのは、自然林や雑木林の地表面近くに存在する黒いサラサラとした感じの土であり、畑などの土は、団粒構造と単粒構造の中間的な構造を示している。

97. 有機物

- 粘土の集合体とシルトを結びつける**糊**の役割を果たす。
- 土中微生物や土中動物のエサとなり、土中の生物相を豊かにする。
- 有機物起源の植物養分は、植物にとってバランスのとれたものとなっている。
- 有機物が存在すると、植物の根ばりがよくなる。分解過程で生じる**エチレン**などの**植物ホルモン**が植物の生長を促すからである。
- 土中有機物の大部分を占める**腐植**と呼ばれる物質は、マイナスの電気を帯びており、粘土と同じように養分を保持し、土中の化学的変化をやわらげる働きをする。

98. 腐 植

- 土中に供給された植物残渣や動物の遺体といった生物遺体が、土中の微生物や小動物によって分解・合成されて出来たもの。
- 生物遺体の成分の中で、まず糖・デンプン・たんぱく質が分解される。ついでセルロースが分解され、後には木質細胞の構成成分である**リグニン**が残る。このリグニンも微生物の作用を受けて変質していく。
- 一方、食糧を得て繁殖した微生物も、次々と寿命を終える。これら微生物の**遺体**の成分(おもにたんぱく質)と変質した**リグニン**が、微生物の作用のもと再合成された高分子が腐植である。
- 腐植は黒い色をしているので、腐植を多量に含む土は黒みがかっている。
- 土の色は、腐植とともに**鉄**の存在に依存する。

99. 有機物の分解

- 有機物は土の重要な構成物質であるが、その機能・役割を果たすには、土中にすむ**微生物**によって分解されなければならない。
- 微生物とは、単細胞生物につけられた総称であり、**酸素**が必要な**好気性微生物**と酸素が嫌いな**嫌気性微**

生物が存在する。

- 土中で実際に有機物を分解するのは、**細菌（バクテリア）**類と**糸状菌（カビ）**類である。
- そのほかに土中にすむ微生物としては、光合成を営む**藻類**のほか、**アメーバ**などの原生動物がいる。
-

100. 土壌動物

- ミミズやアリなどが土中を縦横に掘り進むことで、土が耕される。
- **コガネムシの幼虫**なども、地上に堆積した落葉を土中に引っ張り込んで、有機物を垂直・水平方向に移動・混合させる。
- そうすることで土中にひっそり暮らしている**微生物**に、エサを供給する役割を果たしている。
- ミミズは、土粒子を有機物とともに飲み込み、それを**団粒化**して排出する。
- 大あごをもつミミズ・ヤスデ・ワラジムシなどは、落葉などを噛み砕き、それを糞として排出する。
- 多くの**土壌動物**は、歯を持たないカビや細菌が食べやすい形で食糧を提供する役割を担っており、土中微生物にとってなくてはならない存在である。

101. 植物に必要な無機元素

- 植物は、炭素、酸素、水素、窒素、塩素、カルシウム、カリウム、リン、マグネシウム、イオウ、鉄、マンガン、亜鉛、銅、モリブデン、ホウ素の**16**の無機元素を必要とする。
- これらの無機元素のひとつが欠けても、植物は健康に生育することはできない。
- 作物は、**肥料三要素**と呼ばれる、**窒素、リン、カリウム**を**10**アール当たり**5**キログラム以上必要とする。
- ついで、**カルシウム、マグネシウム、イオウ**を**2**キログラム前後必要とするが、それ以外の元素は**100**グラム以下で十分である。
- 炭素、酸素、水素をのぞく**13**元素のうち、窒素以外の**12**元素はすべて岩石などに含まれている。
- したがって、育った植物が外部に持ち去られてしまう農耕地のような土でないかぎり、これらの元素は雨が降るたびに岩石から溶け出してきて土中に溜まり、年を経るとともに土中に増えていく。
- 唯一**窒素養分**だけは、**岩石には一切含まれていない**。
- 植物も大気中の窒素を直接取り入れることはできない。
- もっとも古くから生き続けてきた微生物のなかには、大気中の窒素ガスを取り込んで、体内でアンモニアと水素ガスをつくるものがある。
- **窒素固定作用**と呼ばれる反応で、この反応を起こす微生物を**窒素固定微生物**という。

102. 窒素固定微生物

- 独立性窒素固定菌と共生的窒素固定菌の**2**種類が存在する。
- **独立性窒素固定菌**は、固定したアンモニアを自分だけで消費し、**共生的窒素固定菌**は、固定した窒素養分を共生している植物にも与え、活動エネルギー源の淡水化物を植物からもらっている。
- 大豆の根につく**根粒菌**は共生的窒素固定菌である。
- 両者とも、土中の窒素養分を増やしてくれる。
- 草本期、灌木期、低木期、高木期のすべてを通じて土中の窒素養分は増え続け、より高次の植生への遷移を準備してきた。それは**窒素固定微生物**のはたらきによるものである。
- 現在でも、これら窒素固定微生物は活動を続けており、人工的に製造される化学窒素肥料を上回る窒素養分を生産し続けていると推定される。

103. 土の自律的恒常性（ホメオスタシス）

- **化学的恒常性**

もっともよく知られている例は、化学的緩衝作用と呼ばれるもので、酸やアルカリが土に加えられたとき、その影響をやわらげる働きである。マイナスとプラスの電気を帯びている**粘土**、およびマイナスの電気を帯びている**腐植**のはたらきに負っている。

- **物理的恒常性**

土中の水分と温度にかかわるはたらきがある。**団粒構造**の土でこのはたらきをもっとも強く表れる。

- **生物的恒常性**

生物の**多様性**が、病虫害など、特定の生物種の大発生を防ぐ。

104. 土の気温維持能力

- 水は蒸発する際には、周囲から 1 グラムにつき約 **540 カロリー**の熱を奪う。
- 気温が零下以下に低下すると、土中の水は凍結して水 1 グラム当たり約 **80 カロリー**の熱を発生し、土中温度が急速に低下するのを防ぐ。
- 土中の水分によって、気温の変化がゆるやかになる。
- 森林の広がる公園内では、地表に届く太陽エネルギーの 9 割前後が土や植生からの水分蒸発に使われるため、気温の上昇が抑えられる。

105. 土

- 土がアルカリ性であるというのは、粘土や腐植に吸着しているプラスのイオンがすべて、植物の養分であるカルシウムやマグネシウムなどの**塩類イオン**であることを意味する。
- 吸着しているイオンの大半が**水素イオン**であるとき、その土は**酸性**であるという。
- 水素イオンの占める割合が高いほど pH 値は低くなる。
- **水素イオンは植物養分ではない**ので、土の酸性度が強いほど (pH 値が低いほど)、その土は植物養分に乏しいということを示す。
- 土の **pH 値が 4 近くまで低下**すると、土中の**アルミニウム**が溶け出す。
- アルミニウムイオンは植物の根にとって有害な作用があり、それによって植物の生育は大きく阻害される。
- 表層部の **O 層**は落ち葉や動物の死骸など生物遺体、すなわち有機物のみで形成されているため、「土」とは見なされない。**落葉・腐朽層・腐植層**からなっている。
- **A 層**は有機物含量が多く、植物の根が密集し、土壌動物や土壌微生物が活発に活動している層である。
- **B 層**は、A 層からの腐植やミネラルの移動が認められる。
- **C 層**は、母岩が物理的・化学的に風化した結果形成された土で、生物的影響がほとんど及んでいない層である。
- 土中の鉄の色は、土が若いときは褐色 (鉄さびの色) ですが、年をとるにつれて鉄が結晶化し、黄み、あるいは赤みを帯びるようになっていく。
- 粘土以外は、岩石がそのまま細粒化したもので、主として化学的風化にもっとも強い石英からなっているが、粘土だけは、岩石から**溶解した成分**が、土中で再結合したものである。

106. ベイト・トラップ法

- 地表面にはオサムシやシデムシやコガネムシなど、徘徊性で肉食性の昆虫がいる。これらを捕まえるには、**誘因エサ (ベイト)** を用いて**罠 (トラップ)** をしかけ、虫を採集する方法がいちばんである。
- 夜行性であるので、前日の夕方までにしかけて、翌朝回収する。

107. ハンドソーティング法

- 手 (hand) で選別 (sort) する意味である。
- つまり土壌動物を人の手と目によって、土のなかから見つけて捕まえる方法。
- 大型ミミズ類、ヤスデ・ムカデなどの多足類、ハサミムシ、カメムシなどの大型の昆虫類、動きがはやく

色彩の鮮やかなケダニなど。

108. ツルグレン法

- 採取した土に光を当てて乾燥させ、土壌動物を追い出す方法。
- ただ放置しておくだけで虫を採集できる便利な装置。
- 肉眼では捕まえることの難しい2ミリメートル以下の小型の土壌動物も採集できる。
- 線虫など土が乾燥すると動かなくなってしまう動物や、途中で死んでしまう動物を捕えることはできない。

109. ベールマン法

- **線虫類**など土中の水の中で生きている動物を採集するための方法。
- **線虫類**や**ヒメミミズ**は地中 0~10 センチメートルくらいのところに多く生息する土壌動物で、湿性動物のため、周囲が乾燥すると動かなくなる。また、**温度変化にも敏感に反応**し、温度が高くなると低温部へ移動する。この習性を利用した装置。

110. 落葉

- 葉がボロボロになるのは、それがミミズなどの土壌動物や土壌微生物の大好物であるからである。その過程で葉は腐植を経て、最終的には二酸化炭素と水と植物養分に分解される。
- マツ、ヒノキ、スギなどの**針葉樹**の葉は、ブナ、ナラなどの広葉樹に比べて窒素やミネラルに乏しい上に、腐りにくいだけでなく、土をより**酸性化**する。

111. 生命の誕生

- 今から 30 数億年前の深海底においてであったと推定される。
- 生命は、紫外線や放電などによって形成された簡単な構造の**有機化合物（アミノ酸）**が結合を繰り返し、**タンパク質状の化合物（ペプチド）**に進化することで誕生したと考えられる。
- 生命が誕生するためには、生成された有機化合物が、何らかの外的な刺激によって相互に反応しなければならない。

112. 全窒素 (TN) (ぜんちっそ)

- **無機態窒素**と**有機態窒素**の合計量。有機態窒素は生物体の構成要素の**タンパク質**に主として含まれるものであり、生物体自身または排泄物中に含まれる。
- 生物体となった窒素はその生物体が**ベントス**であれば、直ちに水中から除去され、また**プランクトン**であっても沈降し得るため水中から除去され得る。しかし、生物体自身がアンモニアとして窒素を放出したり、また生物の遺骸や排泄物の分解により再び無機化して水中に戻ったりする。
- **総窒素**ともいう。**水の富栄養化**の程度を表す指標の一つである。富栄養化のおそれのある湖沼および海域について、環境基準および排水基準が定められている。

113. 電気伝導率 (EC)

- 電気伝導率 EC は土壌の塩類濃度の指標として使われる。野菜畑、普通畑では肥料施用前の土壌で 0.1~0.3mS/cm 程度とされるが、牧草地では 0.1mS/cm 以下のことが多い。
- また土壌中の硝酸態窒素とも相関があり、そのため EC の高い土壌については施肥過剰の土壌が多く、他の分析項目でも高い値を示すことが多いので注意が必要。
- 施肥直後の土壌では高く出るので採取時期や施肥量などを考慮し判断すること。

114. 飽和透水係数

- 飽和透水係数とは土層の間隙が水で飽和した状態において、その土層が単位断面積・単位時間あたりにどれだけの水量を流し得るか（単位は cm/sec）を表す値である。
- したがって、この値は対象とした土層が**降雨を地中へ浸透させ得るかどうかを判断**するための最も基礎

的なデータとなる。ただし、野外の表層付近の土層は一般に間隙が水に対して不飽和の状態にあるため、厳密にはその時の土壌の水分量に対応した不飽和状態での透水係数（不飽和透水係数、通常は飽和透水係数よりも小さな値）が降雨浸透現象を解析するための重要な変数となる。しかし、その計測の困難さから通常は飽和透水係数が降雨浸透現象の指標として用いられることが多い。

- 透水係数が降雨強度より大きければ地面に供給された降雨はすべて地中に浸透する。ただし、降雨すべてが地中に浸透した場合でも、その後降雨が続いて水の供給量が土層の排水能力を上回ると、土層全体が飽和してしまいそれ以上水を含めなくなるという現象が発生する。その結果、土層内に浸透できない余剰水により地表流（飽和地表流）の発生に至ることがある。
- 一方、透水係数が降雨強度より小さい場合は、降雨中、地中に十分浸透し切れなかった余剰水が土層を不飽和状態にしたまま**地表流（ Horton 地表流）**として流出することになる。日本のような湿潤気候で森林植生に覆われた地域では、Horton 地表流の発生は一部地域を除いて希であり、大部分が**飽和地表流**である。しかし、火山灰など細粒の噴出物が堆積した斜面では、往々にして透水係数の低下により Horton 地表流が発生し、その結果、斜面が浸食され泥流・土石流災害に結びつくことになる。
- 通常、透水係数が 10^{-1}cm/sec 以上を透水性が高い（例えば、粗粒～中粒のレキなど）、 $10^{-1}\sim 10^{-3}\text{cm/sec}$ を普通（砂など）、 $10^{-3}\sim 10^{-5}\text{cm/sec}$ を低い（シルトなど）、 $10^{-5}\sim 10^{-7}\text{cm/sec}$ を非常に低い（シルト～粘土など）、 10^{-7}cm/sec 以下を不透水（均質な粘土など）と称する。

115. 三相分布

- 土の塊を手にとってみると、重たいものと軽いもの、すき間が多いものとびっしり詰まっているもの、乾いているものと湿っているもの、など様々なものがある。また、土の塊を水の中に入れてアワが出てくる。つまり、土は粘土、砂、有機物などの固体と、水及び空気からなっている。「土壌の三相分布」とは、これらの性質を数字で表す表現の仕方です。

三相とは、**固相、液相、気相**のことで、固相は固体を、液相は水を、気相は空気を意味し、これらの体積の割合を三相分布と言い、合計して 100% となります。液相と気相は合わせて**孔隙（すき間）**と言い、固相と孔隙を合わせて 100% です。前述の物理性との関連で言うと、**土の硬さ**は固相に、**水はけ**は孔隙のうち大きなもの、**水もち**は孔隙のうち非常に小さなものに、**通気性**は気相及び大きな孔隙にそれぞれ関連している。

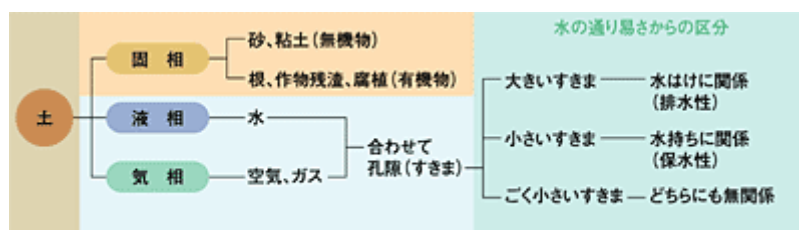
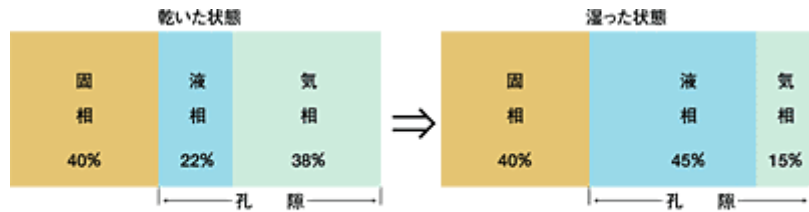


図1 土の三相分布

表 土壌の種類別の三相分布(表土) (%)

土壌の種類	固相	液相	気相	備考
砂 土	50	10	40	
埴 土	40	20	40	
重 粘 土	40	30	30	
火 山 性 土	30	30	40	
熟 畑 土	30~40	40~30	30	
三相の変化		増大 減少	減少 増大	← 湿害 ← 干害



※固相と孔隙の割合は常に一定で、水分状態が変わると言うことは、液相と気相の割合が変化することを示します。

図2 土壌の三相分布のイメージ図

116. 有効水分保持量

湿潤比重測定時の pF とは？

水は土壌中の空隙で土壌と結びついて（吸着されて）存在している。この吸着力を水柱の高さ（cm）の対数値で表わしたものが pF 値である。

たとえば、pF2.0 は 102cm の水柱の圧力に相当する力で吸着されている水分状態を表わす。土壌中空隙に空気がまったくなく水で満たされている状態が pF0 で、100℃熱乾状態で土壌と化合した水しか存在しない時が pF7 である。この範囲で水は空隙中に存在し、植物の生育と深く関係している。植物が根から吸収できる水分は、降雨や灌水後に残った水分から植物がしおれ始める初期しおれ点（pF3.8）と呼ばれるまでの水である。

有効水については、1) 湿潤比重測定時の pF とは？ で示した。pF 値と乾燥度合い、また水分状態や土壌水の種類の関係を以下にしめす。

湿潤～乾燥度合い	pF	水柱高さ (cm)	水分状態	土壌水の種類
湿潤 ↑ ↓ 乾燥	0	1	飽和状態	
	1	10		
	1.8	76	24 時間容推量	
	2	100		
	2.7	501	毛管連絡切断点	
	3	1,000	正常生育阻害水分点	
	3.8	6,200	初期しおれ点	
	4	10,000		
	4.2	15,849	永久しおれ点	
	6	1,000,000	風乾状態	
7	10,000,000	100℃熱乾（絶乾）状態		

以上にあるように、植物の生育は初期しおれ点よりもさらに水分の多い時点で実際には支障が出始める。それは毛管水が切れて水の移動が止まる状態の時、これを毛管連絡切断点（pF2.7～3.0）と呼び、pF1.8 からここまでの水分を易効水というので、一般的に pF1.8～3.0 の範囲を「有効水分量」という。

117. 腐植含有量

腐植とは： 植物残渣や微生物遺体の中の炭水化物やタンパク質は、**微生物**によって分解されたり、その分解産物から科学的・生物的に再合成されてキノイド性物質とかアミノ酸・タンパク質ができます。そして、これらが縮合して初生腐植物質ができます。一方、分解しにくいリグニン様物質やリグニンも分解の後期段階で微生物によって低分子のキノン系物質やポリフェノール等に分解され、これらはやはり縮合して**初生腐植物質**ができます。

生成されたこれらの初生腐植物質は、土壌中で無機成分の触媒的な作用を受けて**酸化的重合**を起こし、さらに重合度の高い**真正腐植物質**に変化します。

微生物の利用残渣といっても過言ではなく、きわめて多様性が高いものです。腐植があると、植物が育ちやすい。

土の黒い色は腐植によるもの				
腐植含量 10% 以上	腐植含量 5～10%	冷涼な地域	温暖	排水の悪い土地
およそ黒色	黒褐色	黒く	明るい	真っ黒な黒泥土や泥炭土
有機物は温度が高く排水がよい土地では分解がはやく、温度が低く水面下にあるところでは分解されにくい				

腐植の理想値は 5%

腐植 2 大効果

自然は地表にマルチをしいて、長い時間をかけて少しずつ腐植土をつくっている。

自然林では、落ち葉と微生物・(小)動物の死骸が腐植に変化し、腐植を栄養にしながら免疫機能を強化する物質を供給されて生命が営まれています。

1、養分を供給する効果

- 1) 腐植は窒素、リン酸、カリをはじめ微量元素を含んでいる肥料
- 2) その効果は、おだやかに長く効き、作物に害をあたえない

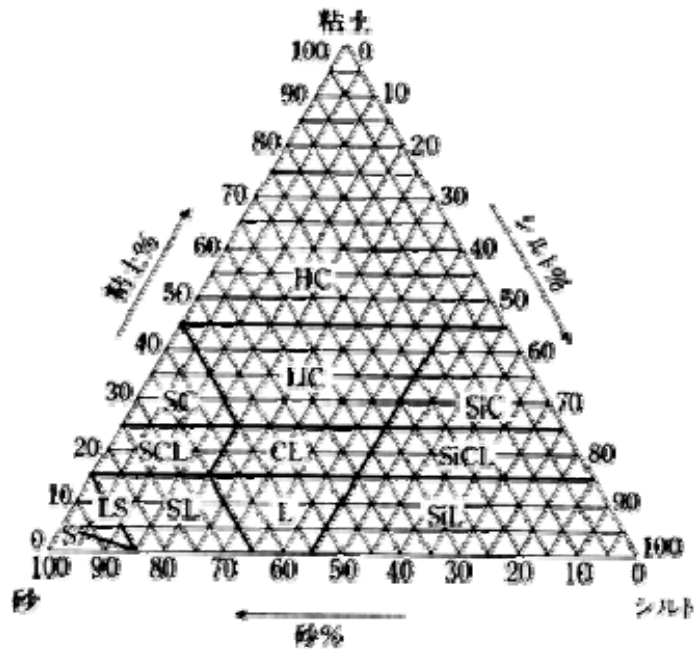
2、土壌を改良する効果

- 1) 腐植は、団粒構造を発達させる
- 2) 保水性、通気性を高め、作物の根を伸びやすくする
- 3) **陽イオン交換容量**が大きいので**保肥力**が高まり、化学肥料を施したときに急激に肥料濃度が高まるのを防ぐ
- 4) 微生物の活動を活発にして、有益な微生物の種類や数も増える

118. 土性

土性とは、土を構成する粒の大きさ別の構成割合のことを言います。

土を構成する粒子は、粒の大きさによって、粗砂、細砂、シルト（微砂）、粘土に区分されるのですが、これらの含まれる割合によって”土性”が決まります。土性の分類には、土性三角図表が用いられます。



砂質

S : 砂土

LS : 壤質砂土

壤質

SL : 砂壤土

L : 壤土

SiL : シルト質壤土

粘質

SCL : 砂質埴壤土

CL : 埴壤土

SiCL : シルト質埴

壤土

強粘質

SC : 砂質埴土

LIC : 軽埴土

SiC : シルト質埴土

HC : 重埴土

土性三角図表 (国際土壌学会法)

砂 (粗砂+細砂)、シルト、粘土の割合を決定するには、腐食を分解させたり、水中で粒子を分散させ、粒子の沈降速度を用いて算出したりと、本格的に分析するにはかなりの手間を必要とするようです。そのため、通常は手触りで判定、分類する方法が主となっています。

手触りでの分類 (水分を含んだ状態にしてから)	
砂質	ほとんど砂で、こねても固まらず、指にも付着しない土。
壤質	ほとんど砂か、砂と粘土が半々で、鉛筆くらいの太さになる土。
粘質	大部分が粘土でわずかに砂があり、マッチくらいの太さになる土。
強粘質	ほとんど粘土で、ヌルヌル・ベタベタしており、すごく細くなる土。

土性ごとの特徴

区分	耕耘の難易	通気性	排水性	保水力	保肥力
砂質	易	大	大	小	小
壤質	易	中	中	中	中
粘質	やや難	やや小	小	大	やや大
強粘質	難	小	極小	小	大