

7. コンポストの効果的な使用方法

7.1 コンポストの効能

コンポスト化の基本的な考え方は、「有機物が微生物や土壌動物※により、分解や再合成を通じて植物が利用できる形に変換されたり、土壌の団粒化や通気性の向上などが図られる土壌改良材として利用できる形に変換されたりすること」と表すことができます。

このように考えると、コンポストの効能は「植物成長のための肥料成分(窒素・リン酸・カリ・カルシウム・マグネシウムなど)の供給」と「土壌改良とその維持」と表すことができます。ここで、肥料成分の供給については、化学肥料に置き換えることができますが、土壌改良とその維持についてはコンポストだけが持っている効能です。「世界の至る所で問題化している土壌の疲弊に対応する(解決する)ためには、コンポストを使用することである。」といっても過言ではありません。

※：土壌動物とは土壌中で生活する動物の総称。アメーバ、線虫、ミミズ、ダニ、トビムシ、アリ、モグラなど多くの動物群にわたります。捕食動物と分解動物とがあり、後者は落葉落枝などの植物質や動物の死体などを分解し、土を豊かにする働きがあります。ただし、ここで述べる土壌動物はモグラのような哺乳類は対象としません。土壌動物によるコンポスト化の手法として既に実用化されているものとして、「ミミズ」「イエバエの幼虫」「ミズアブの幼虫」を使用する方法があります。

7.1.1 肥料成分施肥量と収穫量の関係

コンポストは農業で利用され、その一番の関心ごとは「農作物の収穫量アップ」です。ここでは「肥料成分施肥量と農作物の収穫量の関係」について説明します。

図では、施肥量と収穫量の関係を「①慣行栽培」「②施肥改善」「③土壌改良＋施肥改善」「④総合改善」の4つの栽培方法につて示しています。全ての方法において、施肥量を増やすことで収穫量が増える傾向にあります。なお、図に示す施肥量とは農作物が吸収する肥料成分(養分)のことであり、化学肥料及びコンポストの両方に含まれる成分を指します。

施肥量と収穫量の関係

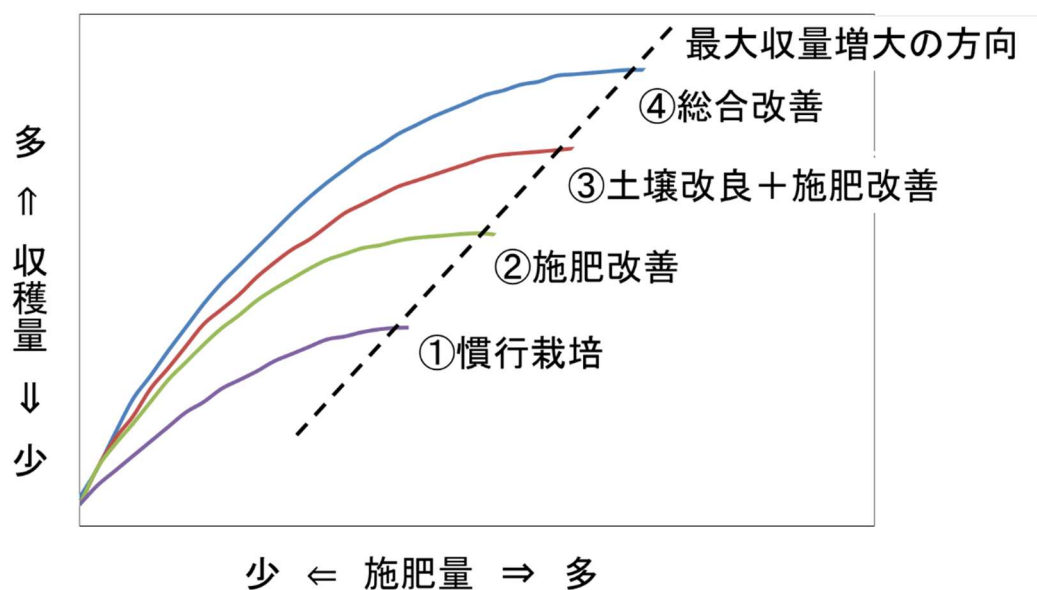


図 7-1 肥料成分施肥量と農作物の収穫量の関係

7.1.2 ①慣行栽培

その施肥量は農家の経験と勘に頼って決定します。本来、農作物の種類によって最適な肥料の要求量や気候条件は異なります。そのため、それぞれの必要量を充足することができない場合は、最も不足している成分が原因で収穫量が制限されてしまいます。図では、農作物が必要としている成分の量や条件を樽の高さで表し、本来得ることができる収穫量を水の量として表しています。しかし、Pの量が不足していることが原因で、あたかも樽から水が流れ出るように収穫量が少なくなっています。

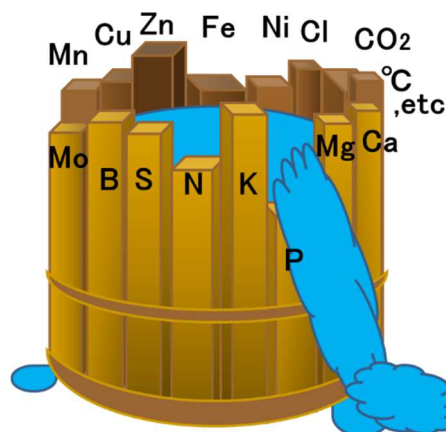


図 7-2 慣行栽培の施肥と収穫

必要とする肥料成分が不足することなので、化学肥料とコンポスのどちらを使用しても起きる現象です。

7.1.3 ②施肥改善

土壤に含まれる肥料成分を把握し、それぞれの農作物の肥料要求量に応じて施肥量を決定します。いわゆる施肥設計にもとづく栽培技術であり、バランスの良い施肥管理がなされます。慣行

栽培の例ではPが不足していましたが、施肥改善によりPを加えることで収穫量は改善されます。図で示すように、その土壌で得られるべき収穫量を手にすることができます。しかし、収穫量には限界があり、さらに収穫量を上げるためには土壌改良が必要となります。

7.1.4 ③土壌改良+施肥改善

施肥設計により農作物の肥料成分に不足はありませんが、植物が生育するための基盤である土壌の状態については考慮されていません。さらに収穫量を増やすためには、良好な土壌をつくり、植物の持つ能力を最大限引き出すことが必要となります。

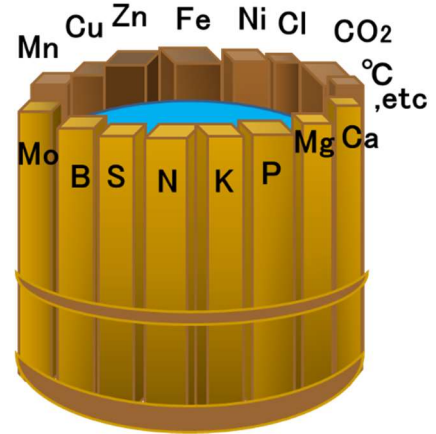


図 7-3 施肥改善の施肥と収穫

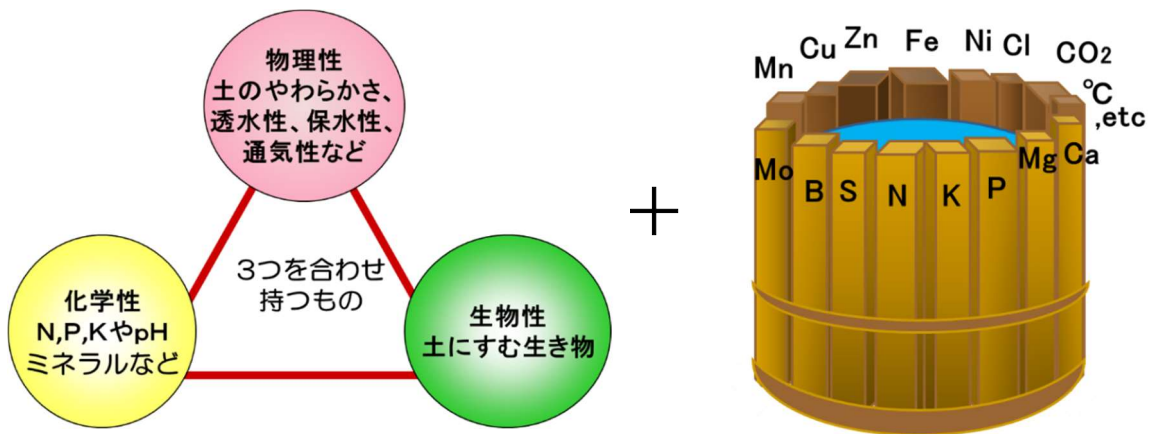


図 7-4 土壌改良+施肥改善の施肥と収穫

7.1.5 ④総合改善

さらに収穫量を増やすためには、品種改良による優れた品種の導入と栽培技術を含めた総合的な改善が必要となります。図では例として品種改良、土壌改良及び施肥改善を表しています。

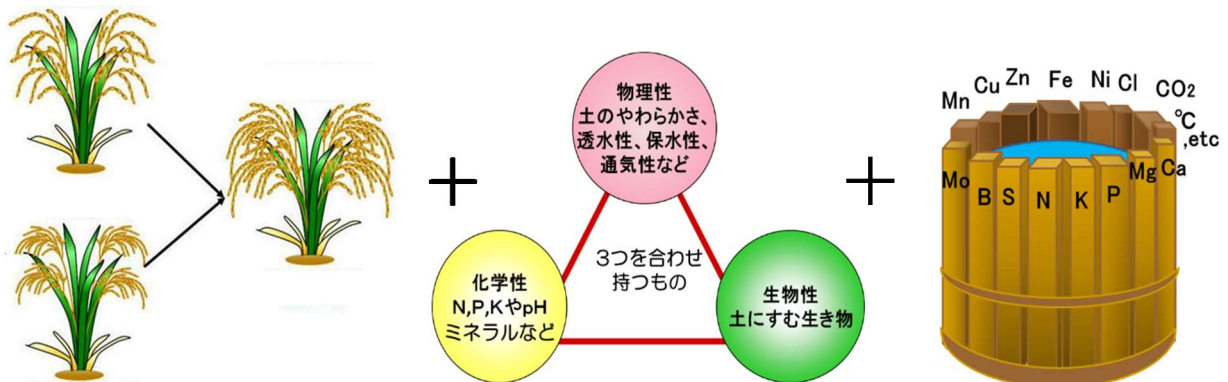


図 7-5 総合改善の施肥と収穫

7.1.6 過剰な施肥は収穫量減

施肥設計にもとづき、適正な施肥量であれば全く問題ありませんが、計算違いや収穫量を増やすための思い込みで過剰施肥量となった場合は、全ての栽培方法において収穫量は減少します。その時、過剰な成分の影響を受け、本来であれば肥料成分が充足しているにも係わらず、あたかも他の成分が不足している症状が出る場合があります。

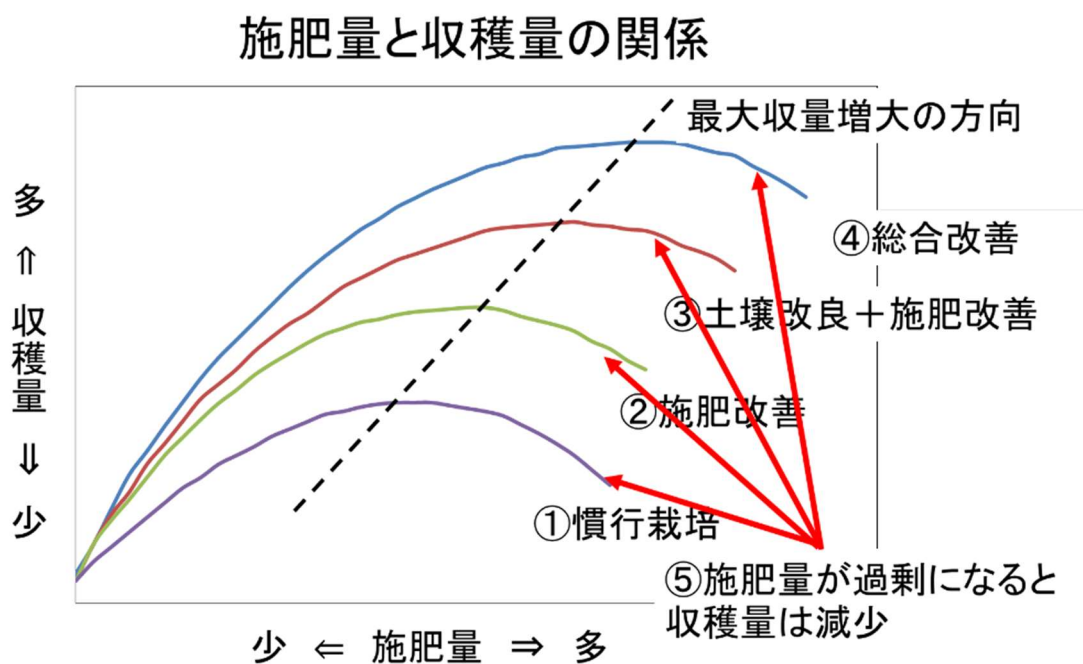


図 7-6 過剰施肥は収穫量減

例えば、全ての成分が満足しているにも係わらず $N(NH_4-N$: アンモニア体窒素) を過剰に施肥してしまうと、 NH_4-N の分子は K と同程度の大きさであり、 NH_4-N が過剰にあると植物は K を吸収したと錯覚します。その結果、農作物は K 欠乏症を示します。その対処法は症状からだけで判断すると、 K を追肥することになり K が過剰となります。 K 過剰は Mg の吸収を阻害するため、 Mg 欠乏症を招き、その対処法として Mg を追肥し Mg 過剰になってしまいます。肥料成分の過剰投与が原因で連鎖的に土壌の健全性が壊れてしまいます。

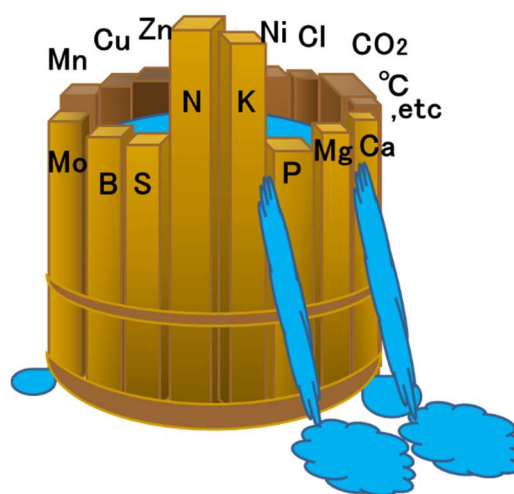


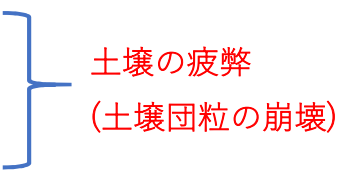
図 7-7 過剰施肥と収穫

なお、肥料成分の過剰投与なので、化学肥料・コンポストのどちらであっても土壌の健全性が損なわれてしまいます。

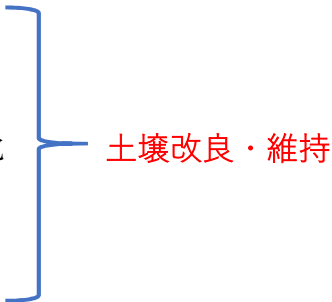
7.1.7 化学肥料と堆肥の特徴

化学肥料とコンポストの特徴の概要を次のようにまとめました。

(1) 化学肥料：

- ・ 施肥が容易であり、効き目が速い
 - ・ 目的とする肥料成分の施肥(肥料設計が容易)
 - ・ 微生物数と種の貧相化
 - ・ 土壌中の有機物の減少
 - ・ 土壌の酸性化
- 
- 土壌の疲弊
(土壌団粒の崩壊)

(2) コンポスト：

- ・ 肥料分量が少なく、施肥が面倒
 - ・ 様々な肥料成分の施肥
 - ・ 土壌中の有機物の増加
 - ・ 微生物種とその他生物の多様化
 - ・ 土壌団粒化の促進
 - ・ 土壌緩衝能の向上
- 
- 土壌改良・維持

7.1.7 コンポスト化に取り組む目的

「コンポスト化に取り組む目的は何でしょうか。」ここでもう一度考えてみたいと思います。

環境の視点から考えると、「生ごみなどの廃棄物として捨てられる有機物をコンポストにリサイクルすること」を第一に挙げることができます。いわゆる、有機廃棄物の減量化・資源化であり、廃棄物管理改善としての取り組みです。

しかし、廃棄物改善だけを目的とするだけでは不十分であり、廃棄物改善と製造したコンポストを使用するとの視点が必要です。製品コンポストを植物の栽培のために有効に利用しなければ意味がないということです。例えば、低品質のコンポストしか製造できないためにマーケットと成立しなかったり、製品コンポストの需要調査が不十分なため市場流通ができないため、埋め立て処分場の覆土材として利用するとの安易な考えは避けたいものです。廃棄物の埋め立て処

分量の減量化には貢献しますが、コンポストが本来持つ植物栽培の力を活用していないからです。

前述しましたが、農作物の収穫量を向上するために必要なことは、次の4点になります。

- i. 施肥設計
- ii. 土壌改良
- iii. 品種改良
- iv. 科学的な栽培管理

土壌を利用して農作物を栽培するためには、土壌が健全でなければなりません。すなわち土壌改良とその維持が、多収量を目指すためのキーポイントであり、また、持続的な農業のためには必要です。

コンポスト化に取り組む目的は、「有機廃棄物の減量化・資源化による廃棄物管理改善を図るとともに、製造したコンポストを使用することで収穫量の向上と持続可能な農業に貢献する。」と、まとめることができるのではないのでしょうか。

7.2 土壌改良について

植物が生育するために必要な要素は、「光」「適切な温度」「水」「CO₂(光合成)」「O₂(地上部及び根部)」「水」「養分(肥料成分)」であり、土壌は含まれていません。例えば養液栽培では土壌が無くても植物を栽培することは可能です。しかし、設備の導入や養液管理が必要であり、広大な面積で実施することは現実的ではありません。広大な面積で世界の人口を賄う農作物を生産するためには、自然の力を最大限利用した土壌による栽培が適しています。

農作物を効率良く安定的に栽培する持続可能な農業のためには、土壌改良とそれ維持する必要があります。この「土壌改良」とは土の状態を良くすることを意味していますが、どのような土の状態になればよいのでしょうか。イメージ的には「ミミズがたくさんいる土」「フカフカしてやわらかい土」「健康な土」「高い地力を持っている」などがあると思います。

ここでは、土壌が持つ3つの要素「物理性・化学性・生物性」の改善から、土壌改良について考えていきます。

7.2.1 物理性の改善

土壌の物理性とは主に「透水性(水はけ)」「通気性(空気の通り)」「保水性(水持ち)」のことを指しています。コンポストを使用することで土壌の状態が変化し、この物理性が改善する様子につ

いて考えていきます。

(1) 土壌を構成するもの

土壌は無機物と有機物に分かれ、無機物の多くは鉱物由来です。土壌中の無機物のうち、粒径が2mm以上の物を「礫」、礫を除いた部分を「細土」と呼んでいます。細土は様々な大きさの無機物を含んでおり、粒径0.2~2.0mmを「粗砂」、粒径0.02~0.2mmを「細砂」、粒径0.002~0.02mmを「シルト」、0.002mm以下を「粘土」と呼んでいます。有機物は数%~10%程度含まれていることが多く、動植物の遺体、土壌生物(微生物や土壌動物)、土壌生物がつくり出したものなどがあります。そして、畑の土壌は図のように表すことができます。

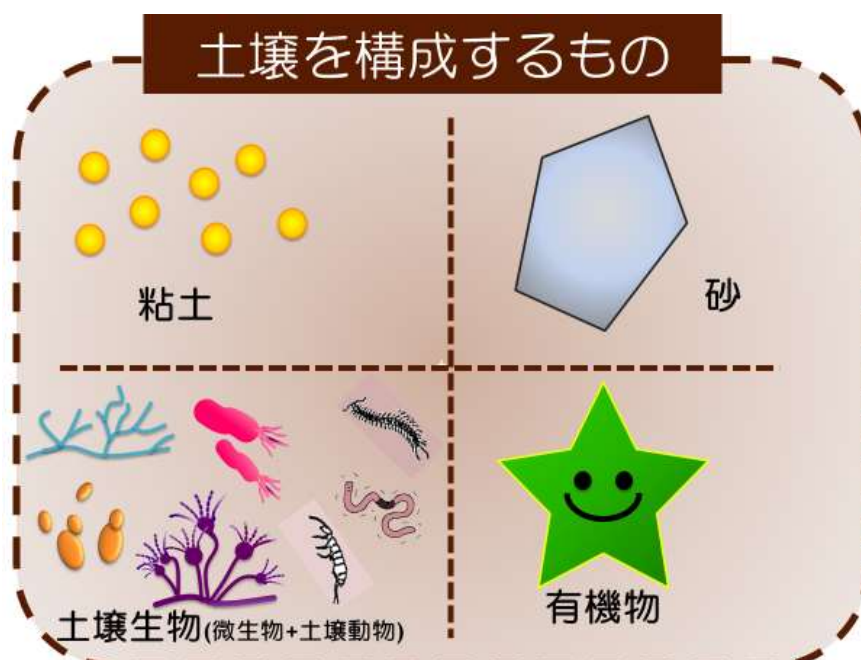


図 7-8 土壌の構成成分

(2) 土壌団粒の形成

粘土粒子は0.002mm以下の非常に小さな粒子です。この粒子は鉄やアルミニウム、マンガンなどの金属の水和酸化物と結合して、少し粒が大きくなります。その粘土粒子、細菌細胞、動植物の遺体が安定化した腐植、そして植物の破片が、微生物がつくり出した粘性物質(ネバネバ成分)によって結合し、小さな団粒を作ります。これをミクロ団粒と呼んでいます。ネバネバ成分は、日本の発酵食品「納豆」をイメージすると分かりやすいと思います。それでは土壌団粒が形成される様子を考えていきます。

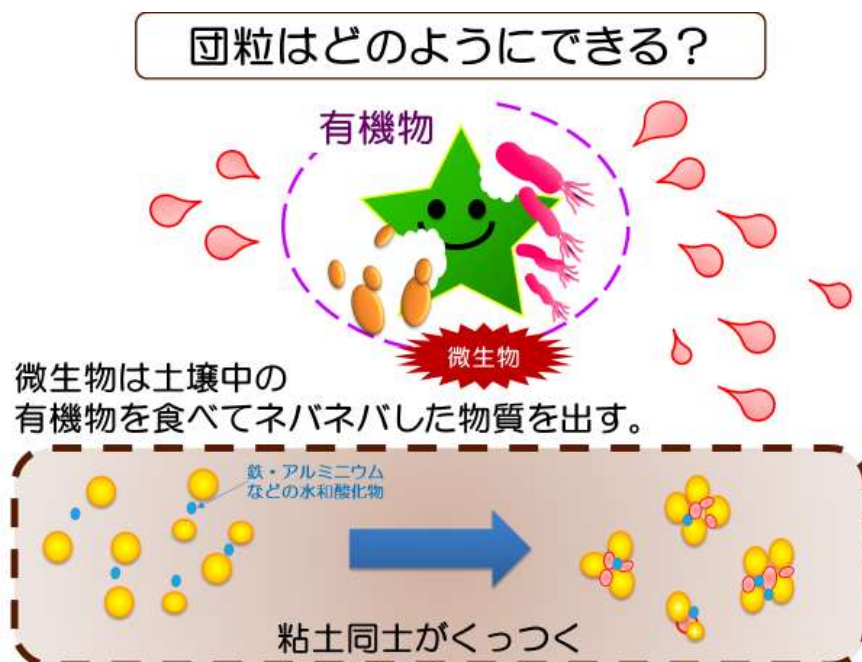


図 7-9 物理性改善のスタートは粘土粒子と金属水和物の結合

粘土粒子は 0.002mm ($2\mu\text{m}$) 以下の非常に小さな粒子でしたが、土壌生物の代謝物のネバネバ成分が植物遺体の破片も巻き込みながら大きくなり、 0.25mm ($250\mu\text{m}$) より小さな団粒を形成し、これをミクロ団粒と呼びます。

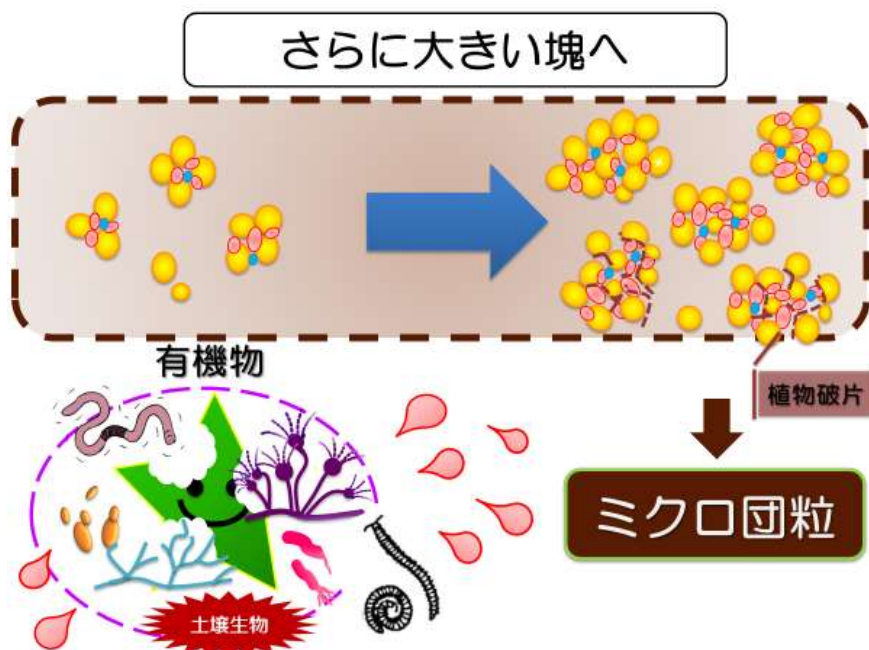


図 7-10 土壌生物の代謝物がミクロ団粒を形成

さらに、マイクロ団粒と植物遺体の断片がカビ(糸状菌)の菌糸と植物の根によって絡み合うことで、マクロ団粒へと大きな形になっていきます。マクロ団粒は 0.25mm(250 μ m) 以上の大きさとなり、1mm 以上の大きなものもあります。

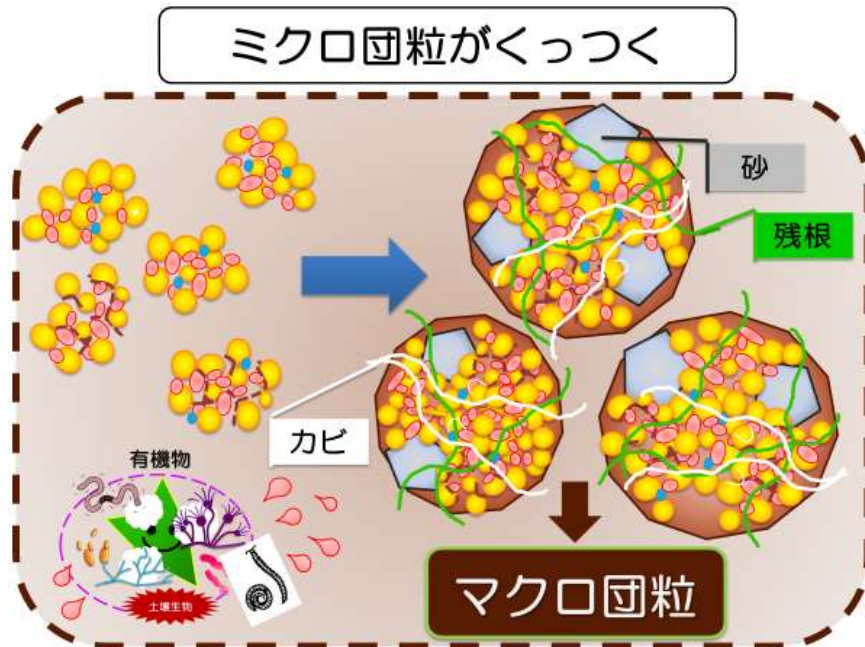


図 7-11 団粒の仕上げはマクロ団粒

図では分かりやすいように団子のような形状で表していますが、実際は植物の根やカビの菌糸と絡まるので歪な形をしています。例として、植物の根に絡みついているマクロ団粒の写真を示します。



写真 7-1 植物の根とともに形成されたマクロ団粒

(3) マクロ団粒が形成された土壌

マクロ団粒が形成されることで、物理性である「透水性(水はけ)」「通気性(空気の通り)」「保水性(水持ち)」が向上します。下記に粘土質土壌、砂地土壌、マクロ団粒土壌の様子を示します。

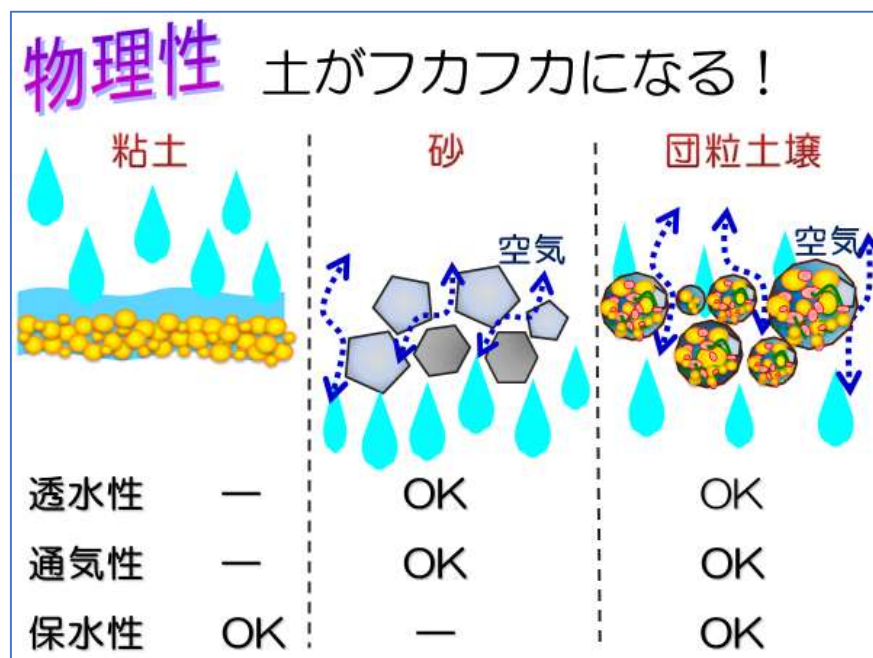


図 7-12 物理性改善のメリット

では、どうしてマクロ団粒は 3 要素を満足するのでしょうか。それはマクロ団粒内にミクロ団粒を含んでいるからです。粘土のように小さな粒子だけで土壌が構成されると「透水性」と「通気性」に不都合が生じてしまいます。一方、砂のように大きな粒子だけで土壌が構成されると「保水性」に不都合が生じてしまいます。

マクロ団粒土壌を拡大すると、マクロ団粒間の隙間を利用して「透水性」と「通気性」が確保され、マクロ団粒を構成しているミクロ団粒間の小さい隙間では毛管現象で「保水性」が確保します。一見すると、通水性と保水性の相反する現象を同時になしているのです。これこそ自然の力、恵みと表現しても良いのではないのでしょうか。

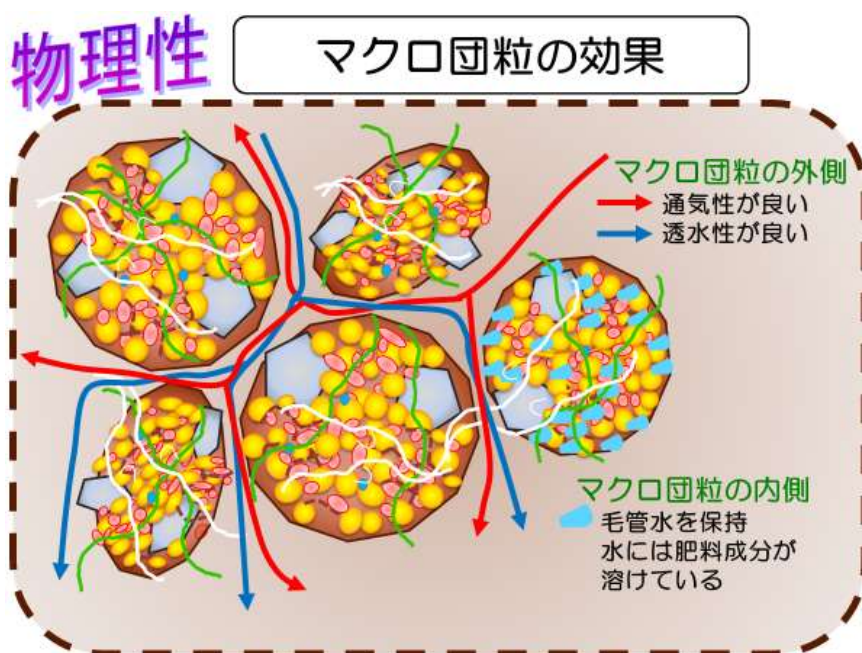


図 7-13 マクロ団粒による物理性の改善

(4) 通気性と透水性の関係

植物栽培には「水やり(灌水)」が付き物であり、保水性と植物栽培の関係はイメージしやすいと思います。また、水捌けが悪いと「根腐れを起こす」とよく言われ、植木鉢栽培では粒の大きな赤玉土を入れて水捌けがよくなるように工夫します。その一方で、養液栽培のように植物の根が完全に養液に浸かっている場合もあります。この時、養液中にある根が酸素不足にならないようにエアレーションするなど、何らかの方法で酸素を供給する工夫をしています。なぜならば、植物の根が健全に生長し機能しなければ、植物の生長は著しく妨げられてしまうからです。

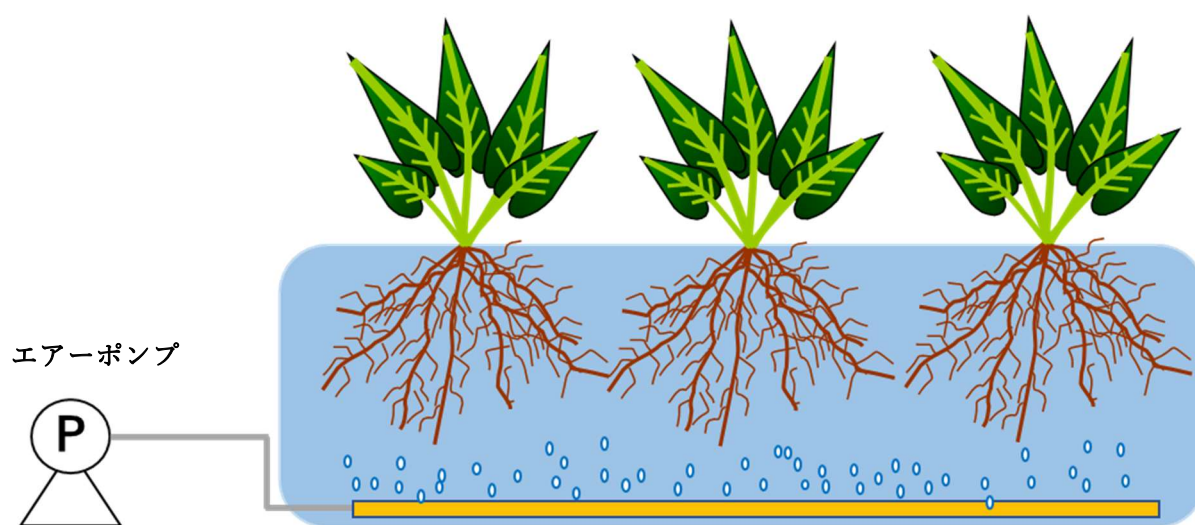


図 7-14 養液栽培ではエアレーションをして酸素を供給

根の活性を維持して根が健全に成長するためには、十分な酸素の供給が必要ですが、%オーダーの酸素濃度(溶液の場合は溶存酸素)を必要としているわけではありません。養液栽培の場合、水温 20℃の飽和溶存酸素濃度は 9ppm(0.0009%)程度です。多くの作物では、溶存酸素濃度が 1.5~2.0ppm 以下になると呼吸速度が急激に低下し、生長に大きく影響します。

畑で植物栽培する時も全く同じことが言えます。水中では酸素はたったの 0.0009%程度しか存在しませんが、空気中の酸素濃度は約 21%です。土壌中に小さくても良いので多くの隙間があれば、そこには空気が入り込むので、根は十分に呼吸できるので活性を維持することができます。すなわち、土壌の団粒化が進むことで根が呼吸しやすい畑へと変わっていきます。

また、雨や灌水で団粒の隙間に水が満たされますが、水はけが良いと地下にゆっくりと浸透していきます。この時、地下に浸透する水に引っ張られるように空気が土壌の隙間に入り込みます。雨や灌水の都度、団粒土壌の隙間は空気の入れ替えがなされることになります。

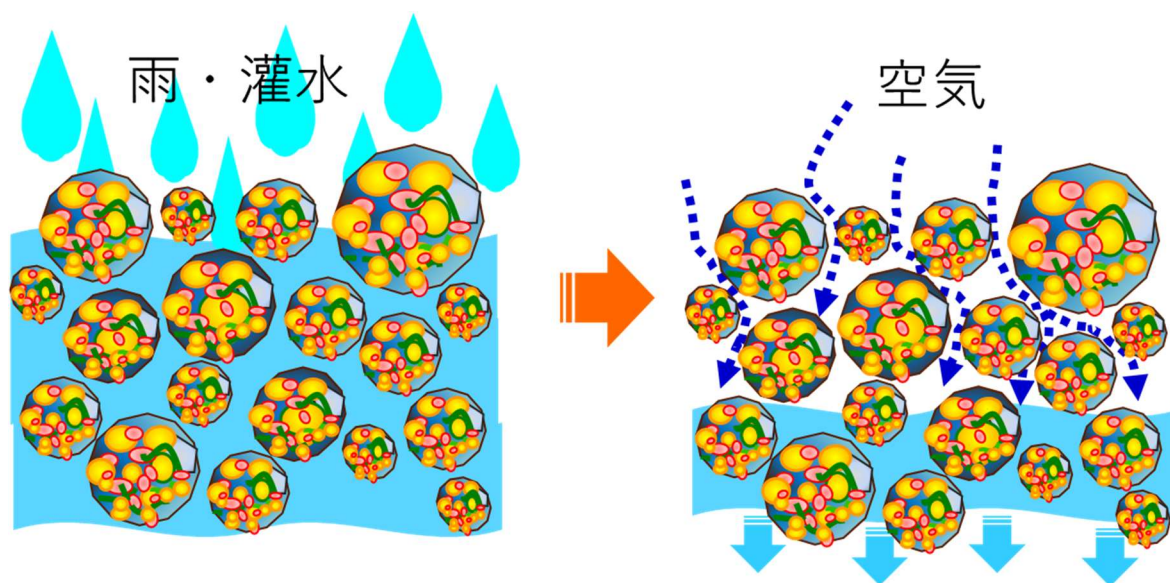


図 7-15 土壌から水が捌けるときに空気が入り込む

ただし、水田での稲作は例外です。稲は水中で栽培しますが、地上部で取り入れた酸素を効率よく根へ送る部位を持っているので、酸欠になって根が腐ることはありません。しかし、根への酸素供給量が増えると稲の生長が良くなるので、水田の水を落水し、酸素を供給することを繰り返す栽培管理方法が普及しています。

(5) 土壌団粒化の促進

土壌団粒は様々な要素による複雑な反応によって形成されますが、ここでは分かりやすくするために、微生物活動によるネバネバ成分の放出、カビの菌糸及び植物根が土壌団粒を形成するポイントであると単純化して説明しましたが、このネバネバ成分とカビの菌糸を増やすために有効なのがコンポストの施肥です。なぜならばコンポストは微生物と有機物の塊だからです。コンポストに含まれる微生物がコンポストの有機物を分解してネバネバ成分を放出したり、カビの菌糸を伸長したりします。そのように考えると、コンポスト中には微生物が利用できる状態の有機物が多く残っている方が土壌の団粒化には有利になります。すなわち土壌の団粒化の観点からは、中熟コンポストの施肥が効果的です。一方の完熟コンポストは、施肥後の微生物活動による障害を抑制するために、事前に有機物の分解を終了させた状態です。

コンポストを利用して土壌団粒が形成されると、それはいつまでも維持されるのでしょうか。コンポストの施肥は労力を要するので、土壌の団粒化後は化学肥料による施肥に切り替えたいと思うのが人情です。しかし、化学肥料だけでは土壌団粒を維持することができません。化学肥料だけの施肥になると土壌中の有機物は微生物により利用され、徐々に減少します。そのため、ネバネバ成分は有機物、カビの菌糸も死後は有機物であり、土壌中微生物の分解対象として使用され、土壌団粒は崩壊することになります。このようなことが、実際に農地の土が硬くなっている現象として生じています。

では、土壌の団粒化が最も進んだ（土壌団粒が最も良い状態）土壌はどこにあるのでしょうか。継続してコンポストを施肥している管理された畑地土壌でしょうか。実は草地土壌が最も土壌の団粒化が進んでいます。植物は光合成でつくった有機成分の 1/3 を土壌部に送り、根や地下茎として蓄えたり、根からムシゲルとして放出したりします。土壌中微生物は、植物遺体、残根及びムシゲルを利用して活動することができるので、土壌の団粒化を促進したり維持することが可能となります。草地では有機物を野菜等のように収穫物として系外に持ち出されることなく循環することになります。農地では収穫物の系外への持ち出しと、耕うんによる土壌への過剰な酸素の補給による有機物分解の促進がなされるため、草地のようなバランスが崩れます。

草地、林、森等の自然界では、自然の力で植物が生育するために必要な土壌の条件を、自然の力でつくり出しています。一方の畑地等の農地は人工的に農作物栽培のために整備したもので

あり、農作物の生育条件を維持するためにはコンポストの施肥等の人の手は必要となります。農業は食料増産の観点から多収穫を目指した品種が導入されており、適切な栽培技術も同時に導入しない限りは、農地は疲弊するばかりです。

7.2.2 化学性の改善

土壌の化学性とは主に「肥料成分」「保肥力・陽イオン交換容量(CEC)」「pH」「EC」のことを指しています。コンポストを使用することで土壌の「肥料成分」「保肥力・陽イオン交換容量(CEC)」などが改善する様子について考えていきます。

(1) 肥料成分の改善

① 植物の生長に必要な肥料成分

未開の地を開墾し作物を栽培するための原始的な方法として焼畑農業があります。しかし、同じ場所で繰り返し栽培するうちに作物の育ちも悪くなるので、焼畑の場所を移動していきます。しかし、無秩序に焼畑を繰り返すことは森林環境に大きなダメージを与えることになります。

では、どうして野菜の育ちが悪くなってしまうのでしょうか。

答えは簡単です。自然界では植物は根から土壌中の養分を吸収して生長し、落葉したり枯れ足りすれば土壌の上に堆積します。この堆積物は微生物や土壌動物により分解されるなどして土壌に戻され、再び植物の養分として利用されることになります。一方、作物は収穫するために栽培しているので、作物が吸収した土壌中の養分が外に持ち出されることになり、作物の栽培の都度、土壌中の養分が減少するからです。そのため、作物を栽培するためには人為的に何らかの方法で肥料生物を供給する必要があります。

植物の生長に必要な肥料成分は「主要素」「副要素」「微量要素」と大きく分けることができます。

i 主要素

窒素(N)・リン(P)・カリウム(K)の3成分です。

- ・ 窒素(N)：葉や茎の生長を促して植物の体を大きくする。
- ・ リン(P)：生長、分げつ、開花、結実を促す。
- ・ カリウム(K)：根や茎を丈夫にし開花、結実を促す。

あり、農作物の生育条件を維持するためにはコンポストの施肥等の人の手は必要となります。農業は食料増産の観点から多収穫を目指した品種が導入されており、適切な栽培技術も同時に導入しない限りは、農地は疲弊するばかりです。

7.2.2 化学性の改善

土壌の化学性とは主に「肥料成分」「保肥力・陽イオン交換容量(CEC)」「pH」「EC」のことを指しています。コンポストを使用することで土壌の「肥料成分」「保肥力・陽イオン交換容量(CEC)」などが改善する様子について考えていきます。

(1) 肥料成分の改善

① 植物の生長に必要な肥料成分

未開の地を開墾し作物を栽培するための原始的な方法として焼畑農業があります。しかし、同じ場所で繰り返し栽培するうちに作物の育ちも悪くなるので、焼畑の場所を移動していきます。しかし、無秩序に焼畑を繰り返すことは森林環境に大きなダメージを与えることになります。

では、どうして野菜の育ちが悪くなってしまうのでしょうか。

答えは簡単です。自然界では植物は根から土壌中の養分を吸収して生長し、落葉したり枯れ足りすれば土壌の上に堆積します。この堆積物は微生物や土壌動物により分解されるなどして土壌に戻され、再び植物の養分として利用されることになります。一方、作物は収穫するために栽培しているので、作物が吸収した土壌中の養分が外に持ち出されることになり、作物の栽培の都度、土壌中の養分が減少するからです。そのため、作物を栽培するためには人為的に何らかの方法で肥料生物を供給する必要があります。

植物の生長に必要な肥料成分は「主要素」「副要素」「微量要素」と大きく分けることができます。

i 主要素

窒素(N)・リン(P)・カリウム(K)の3成分です。

- ・ 窒素(N)：葉や茎の生長を促して植物の体を大きくする。
- ・ リン(P)：生長、分げつ、開花、結実を促す。
- ・ カリウム(K)：根や茎を丈夫にし開花、結実を促す。

ii 副要素

カルシウム(Ca)・マグネシウム(Mg)・硫黄(S)の3成分です。

- ・ カルシウム(Ca)：細胞組織を強化し植物の体を丈夫にする。
- ・ マグネシウム(Mg)：リン酸の吸収を助け葉緑素の成分となる。
- ・ 硫黄(S)：タンパク質などの合成、葉緑素の生成に間接的に関与する。

iii 微量元素

鉄(Fe)・銅(Cu)・亜鉛(Zn)・モリブデン(Mo)・マンガン(Mn)・ホウ素(B)・塩素(Cl)・ニッケル(Ni)の8成分です。

- ・ 鉄(Fe)：光合成の反応に関係する酵素を生成する成分となる。
- ・ 銅(Cu)：光合成と呼吸に関係する。
- ・ 亜鉛(Zn)：植物生長ホルモンを調節し、細胞分裂に関係する。
- ・ モリブデン(Mo)：硝酸還元酵素の成分であり、硝酸態窒素のタンパク質同化に関係する。
- ・ マンガン(Mn)：光合成酵素や葉緑素の生成など生理的に重要な成分である。
- ・ ホウ素(B)：細胞膜の形成と維持、根や新芽の生長に関係する。
- ・ 塩素(Cl)：マンガンとともに光合成に関係する。
- ・ ニッケル(Ni)：尿素分解酵素の成分である。

また、これら要素以外にケイ素(Si)にも注目しています。植物はケイ酸(SiO_2)の形で吸収し表皮を硬くして病原菌の侵入を防ぐなどの効果があります。イネ科植物はケイ酸の吸収量が多く、特に稲作ではケイ酸の供給に関心を持つべきです。

② 作物栽培時に土壌への施肥に関心を持つべき肥料成分

先に述べたように植物が必要とする肥料成分について説明しましたが、これらのなかで特に土壌中の存在濃度が低い成分があります。土壌中の濃度は世界各地で分析した中央値で評価しているため地域により違いがありますが、肥料成分の供給を考えると参考になります。

作物栽培の栄養成分として、何らかの形で畑地土壌に供給しないと不足しやすい成分を順番に並べると次のようになります。

$$\text{N} \gg \text{P} > \text{B} > \text{S} > \text{Cl} > \text{K} > \text{Zn} > \text{Mg} > \text{Ca}$$

主要素であるN・P・Kの3成分全てが不足しやすい成分であり、化学肥料として施肥する成

分がこれら 3 成分に偏っていることにも納得できます。違う表現をすれば、とりあえず化学肥料の N・P・K を施肥すれば、作物を収穫することができます。しかし、時間の経過とともに他の成分が作物に吸収され外に持ち出されたことにより、特に B・S・Cl・Zn 不足による欠乏症が発生するリスクが高まります。

③ コンポスト使用による肥料成分の供給

化学肥料の製造は目的とする成分以外は含まれません。そのため先に述べたように化学肥料だけを連用すると、他の必要とする肥料成分が不足し、欠乏症が発生して初めて肥料成分の不足に気づくことになります。この時、作物に現れた症状が肥料成分欠乏症と分からず病害虫の被害と勘違いし、農薬を散布する的外れな対処を取ってしまうことも考えられます。

コンポスト原料が野菜などの植物質であったり、牛ふんなどの植物を餌とする家畜のふんであれば、原料に「主要素」「副要素」「微量元素」が含まれており、できたコンポストもそれらが含まれることになります。すなわち、コンポストを使用することで肥料成分欠乏症の発生を予防することになります。

これが肥料成分の改善に当たります。

(2) 保肥力・陽イオン交換容量(CEC)

① 肥料成分の保持

土壌が肥料成分を吸着できる能力を「保肥力」と呼び、一般的には肥料成分の陽イオンを吸着する能力として、陽イオン交換容量（CEC：Cation Exchange Capacity）として示されます。また、陽イオンは「塩基」とも表現されるので、塩基置換容量と示される場合もあります。水に溶けてイオンの形で存在する肥料成分の多くは陽イオンであり、代表的なものとしてアンモニウムイオン(NH^+)、カルシウムイオン(Ca^{2+})、マグネシウムイオン(Mg^{2+})、カリウムイオン(K^+)があります。しかし、硝酸イオン(NO_3^-)は陰イオンです。

土壌の陽イオン交換容量が小さいと、雨や灌水で陽イオンの肥料成分の流亡が多くなり易く、大きくなるほど肥料成分の吸着量が多くなり、肥料成分が土壌から流亡することを防ぎます。その結果、肥効も持続します。硝酸イオン(NO_3^-)のような陰イオンは、土壌に吸着されず流亡しやすくなります。

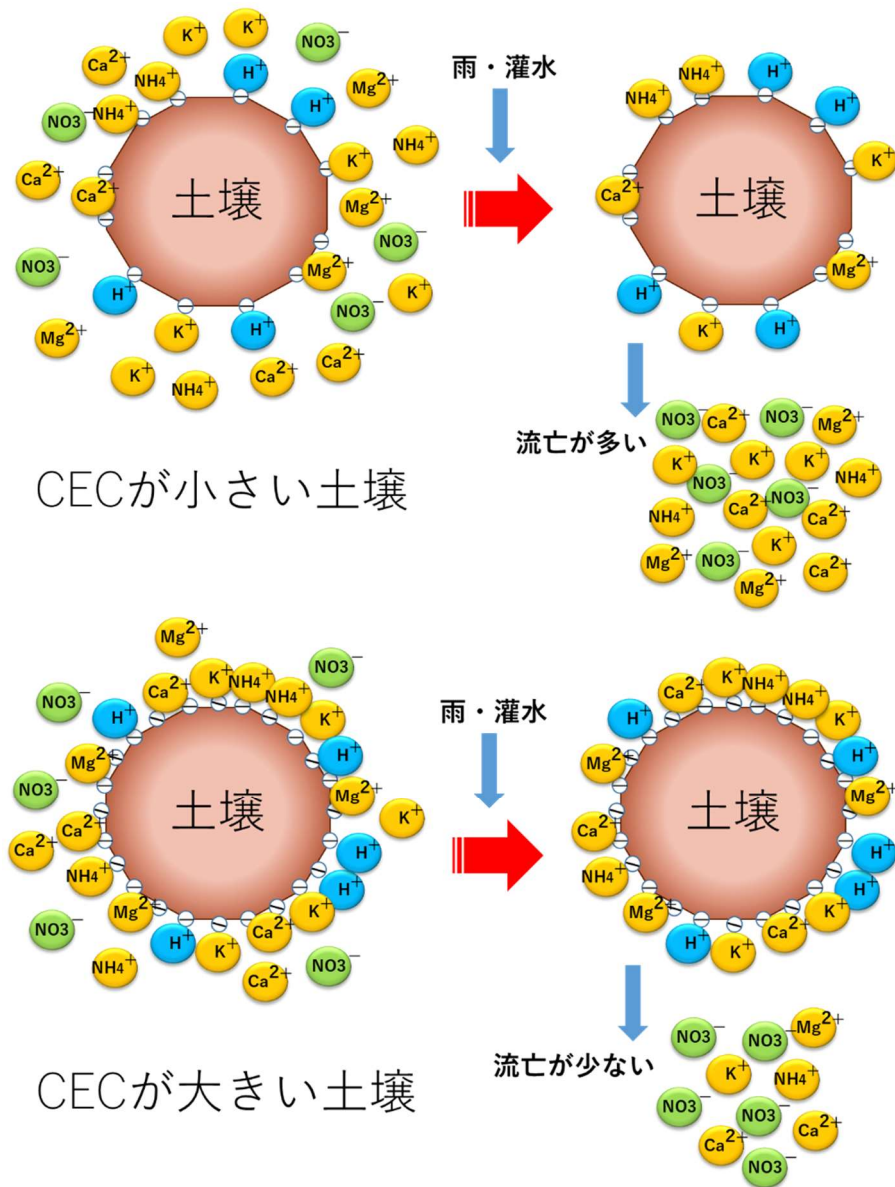


図 7-16 陽イオン交換容量(CEC)の仕組み

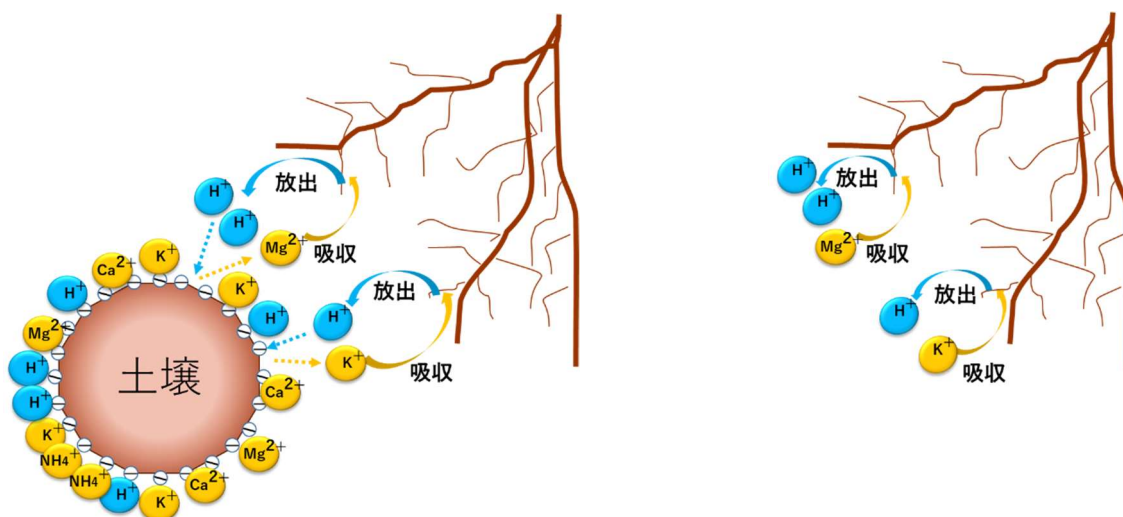
土壌のうち粘土鉱物は CEC が大きい傾向にありますが、種類によってその大小は異なります。また、CEC は腐植質の量にも関係します。土壌中の有機物は様々な土壌生物により分解されますが、最終的には分解し難い「腐植質」として安定します。この腐植質は土壌の団粒化にも大きく関係します。

コンポストを継続的に施肥することで土壌中の腐植質は多くなり、土壌の団粒化も促進されることで土壌の CEC は大きくなっていきます。

② 土壌 pH の変動の緩和

畑地土壌で作物を栽培すると土壌の pH が低くなる傾向にあります。大部分の作物は pH6.0～

6.5 が最適領域なので、これよりも低い酸性土壌で栽培すると生育不良になることが多くなります。根が養分を吸収する仕組みは、根が陽イオンの養分を吸収するときに、同じ陽イオンの水素イオン (H^+) を放出します。このため、根の微小な範囲では pH が低くなりますが、CEC の大きな土壌であれば、pH の急激な変化を和らげてくれます。



土壌に保持されている K^+ は、根から放出された H^+ と交換して根に吸収されるので、pH の変化は無い。

土壌中にフリーに存在する K^+ と根から放出された H^+ が交換するので、 H^+ はフリーになり pH が低くなる。

図 7-17 土壌 pH の変化

③ 土壌 pH と肥料成分の吸収

大部分の植物の最適土壌 pH は 6.0～6.5 であると述べました。これは植物が土壌中の肥料成分を利用するために好ましい pH 範囲であると言い換えることができます。図に土壌 pH と肥料要素の溶解度・利用度を示します。植物の生長に不可欠な 13 の必須要素(主要素・副要素・微量元素)は、pH5.5～ 7.0 の範囲で各要素を過不足なく利用できることを示しています。ほとんどの野菜の適正 pH はこの範囲に入りますが、一部の野菜では pH5.5 程度となるとマンガンの過剰吸収の障害が出る恐れがあるため、安全を見込んで pH6.0～6.5 が最適領域となります。

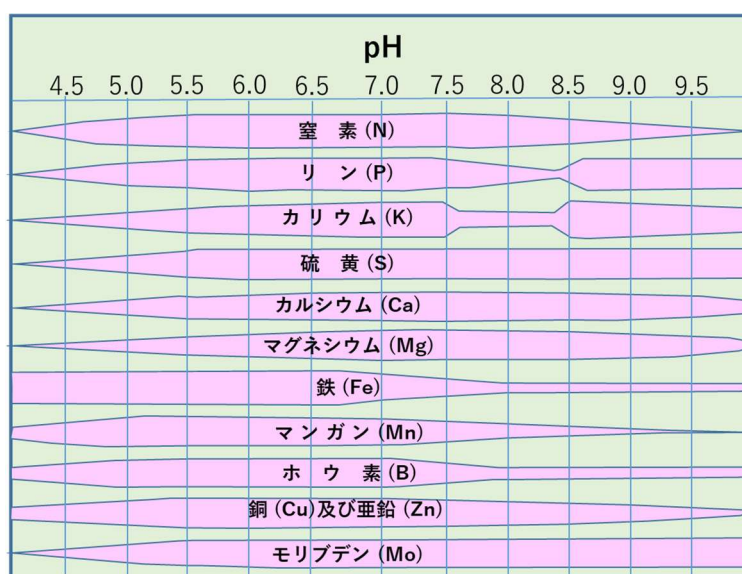


図 7-18 土壌 pH と肥料成分の吸収

4.2.3 生物性の改善

土壌の生物性とは主に「土壌動物」と「土壌微生物」を指しています。土壌中に様々な種類の生物(多様な生物)がバランス良く生息していると、それは「生きた土」と表現することができます。生物性の改善とは、この「生きた土」をつくることを目指します。

(1) 土壌動物

土壌動物とは聞きなれない言葉ですが、生活のほとんどを土壌中(落ち葉も含む)で過ごす動物のことであり、畑地にコンポストを連続して施肥することで多様な種類が数多く生息するようになります。良好な畑の土づくりをするうえで重要な役割を持っています。分類は様々な方法がありますが、その大きさに分けることで理解しやすくなります。なお、モグラ、トカゲ、蛇なども大型土壌動物に分類されますが、ここでは土壌改良の点から考えるので対象外とします。

表 7-1 土壌動物の種類

分 類	体 長	種 類
ミクロファウナ (小形土壌動物)	0.2mm 以下	鞭毛虫、アメーバ、繊毛虫、ワムシなど
メソファウナ (中形土壌動物)	0.2～2mm	線虫(ネマトーダ)、ヒメミミズ、ダニ、カニムシ、トビムシ、アザミウマ、コムカデ、など
マクロファウナ (大形土壌動物)	2～20mm	ミミズ、ダンゴムシ、ワラジムシ、アリ、甲虫の幼虫、ハエやアブの幼虫、ナガコムシ、ムカデなど

例として私が畑等から採取した土壌動物の写真を示します。20～40 倍程度の実体顕微鏡を使用して撮影しました。

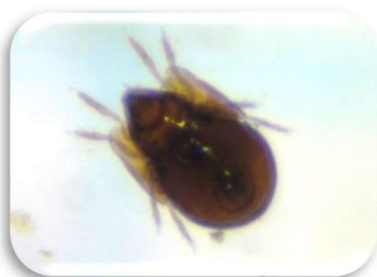


写真 7-1 ダニ



写真 7-2 ダニ

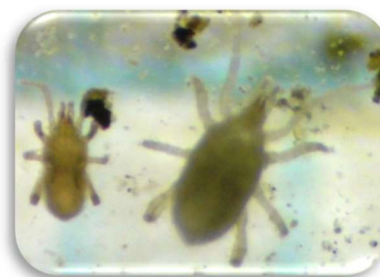


写真 7-3 ダニ



写真 7-4 ダニ



写真 7-5 ダニ

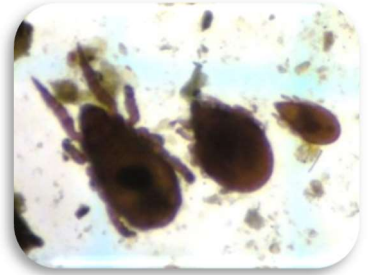


写真 7-6 ダニ



写真 7-7 ダニ



写真 7-8 ダニ

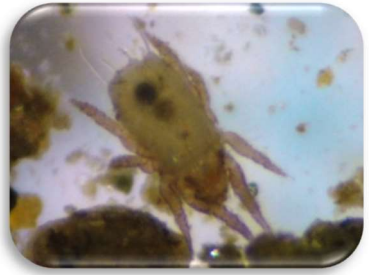


写真 7-9 ダニ



写真 7-10 トビムシ



写真 7-11 トビムシ



写真 7-12 トビムシ



写真 7-13 ジムカデ



写真 7-14 イシムカデ



写真 7-15 センチュウ

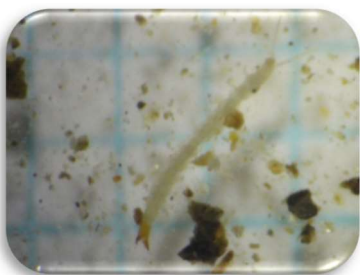


写真 7-16 ナガコムシ



写真 7-17 ヒメミミズ



写真 7-18 ダンゴムシ

土壌動物の役割として大きく3つに分類することができます。

- i 植物遺体の摂食と分解：硬く乾燥した植物遺体は、ワラジムシ、ダンゴムシ、ササラダニ、大形のミミズなどによって摂食・粉碎される。
- ii 土壌の団粒化を促進：上記 i で摂食して放出されたふんは土壌団粒であり、粉碎された植物遺体は、トビムシ、ヤスデ、カタツムリ、ミミズ、ヒメミミズ、線虫などの分解、消化に伴って土壌の団粒化が進行する。
- iii 土壌動物の多様性：多様な土壌動物が生息することで、特定の土壌動物だけの増殖を抑制します。これは害虫の異常発生を予防することに繋がります。

これら以外にも重要な役割を持つ土壌動物がいます。その代表的な役割はミミズによる耕うんです。ミミズは土壌、土壌微生物及び有機物を飲み込み、腸管を通して地上部へ排出します。草地等のミミズの生育に適した土壌では、ミミズによる耕うん量を 50t/ha と見積もる報告もあります。そして、ミミズが土壌中を通過することで形成されるトンネルは空隙率の向上に寄与します。また、ダニについては農業害虫の種類だけでなく、それを捕食する生物農薬として使用される種類もあり、さらにトビムシでは病原性のカビを好んで食べる種類もいます。

(2) 土壌微生物

土壌微生物の多様性が増すことで、特定の土壌微生物だけの増殖を抑制します。これは農作物の病気の拡大を予防することに繋がります。畑地土壌を殺菌する栽培方法を採用することがありますが、この時、病原性細菌の侵入には細心に注意を払う必要があります。土壌中には微生物の増殖に必要な栄養成分(有機物・無機物)を十分に含んでいることに対し、病原性微生物に拮抗する微生物が殆ど存在していないと、たちどころに病気がまん延してしまいます。

微生物のうち放線菌には抗生物質を産出する種類があり、フザリウム菌のまん延を予防する目的で、この種の放線菌によるコンポストが製造・販売されています。また、ホルモン様物質、ビタミン及びアミノ酸を産出する微生物もあり、農作物の生育に寄与します。この時、ビタミンとアミノ酸については植物生育への寄与は期待できないとの意見もあるようなので、これらについて少しだけ述べたいと思います。

- i 微生物の増殖に必要なビタミン類とアミノ酸：

人は生命活動に必要であり体内で産生することができないビタミンとアミノ酸については、

食物を通じて得ています。同様に、土壤微生物にも自身の増殖に必要な要素(ビタミン・アミノ酸等)をすべて構築することができる代謝系を持っていないものもあり、不足する栄養素を外部に求めます。これを栄養要求性と呼びます。すなわち、栄養要求性微生物は、他の微生物が産生したビタミン・アミノ酸を利用して増殖すると、土壤中の生物多様性が増し、農作物の生育に寄与することになります。

ii 植物が吸収するアミノ酸：

植物が根から栄養成分を吸収し生育するに当たり、リービッヒが提唱した「無機栄養説」は普遍の原理として広く認められており、この概要は次のように表すことができます。

「コンポストを含め、有機質肥料が土壤に施されると、有機物は土壤微生物によって分解され、硝酸イオン(NO_3^-)、アンモニアイオン(NH_4^+)、リン酸イオン(PO_4^{3+})などの無機イオンとなって土壤中に放出される。そして、これらの無機イオンが植物の栄養として根から吸収される。すなわち、植物は有機物を栄養成分として直接吸収するのではなく、微生物により無機イオンになることで利用される。」

これに対し、根のアミノ酸直接吸収による植物への有効性が明らかになっています。

「植物によっては、窒素源としてアミノ酸単独でも生育した。」

「通常、植物体内で合成するアミノ酸の原料は、光合成によってつくられた炭水化物と根から吸収した無機態窒素である。これに対し、アミノ酸が根から直接吸収されれば、植物体内でのアミノ酸合成を省略できるため、無機態窒素の利用に比べて植物の生育に有利であるといわれている。」

「天候不順で光合成速度が生育の律速となっているときに、根から代謝されやすいアミノ酸が直接吸収されれば、それは根の生長にそのまま使われる。同時に根の活性が増加するので、地上部への養分供給量も増大し、地上部の生育が促進すると推察される。」

また、赤血球のような高分子有機物が根から直接吸収されている様子も観察されています。

参考資料：

- ・ 高倉弘二：海外技術協力を通じた高倉式コンポストの技術移転に関する研究，九州工業大学大学院生命体工学研究科博士論文，2016年5月
- ・ 駒大輔，山中勇人，森芳邦彦，大本貴士：培地の成分知っていますか？，生物工学会誌 89(4), 195-199, 2011-04-25
- ・ 独立行政法人農業環境技術研究所：リービッヒの無機栄養説と土壌肥料学，農業と環境 No.102 (2008年10月1日)
- ・ 二瓶直登：植物のアミノ酸吸収-植物の種類，アミノ酸の種類による違い，農業技術体系 土壌施肥編作物栄養Ⅲ，農山漁村文化協会出版，p.44の10～17，2009
- ・ 一般財団法人全国肥料商連合会：施肥の新知識，農山漁村文化協会出版
- ・ 加藤哲郎：土壌・肥料の基本と作り方・使い方，ナツメ社
- ・ 西尾道德：土壌微生物の基礎知識，農山漁村文化協会出版
- ・ 岩田進午，塚本明美：だれでもできる やさしい土のしらべかた，合同出版
- ・ 松本慎吾，阿江教治，作物はなぜ有機物・難溶解成分を吸収できるのか，農山漁村文化協会出版
- ・ 藤原俊六郎，安西徹郎，加藤哲郎：土壌診断の方法と活用，農山漁村文化協会出版
- ・ 山根一郎：土と微生物と肥料の働き，農山漁村文化協会出版
- ・ 岩田進午：「健康な土」「病んだ土」，新日本出版社
- ・ 藤原俊六郎：新版 図解土壌の基礎知識，農山漁村文化協会出版
- ・ 藤原俊六郎：堆肥の作り方・使い方 原理から実際まで，農山漁村文化協会出版
- ・ 松崎敏英：土と堆肥と有機物，家の光協会
- ・ 青山正和：土壌団粒 形成・崩壊のドラマと有機物利用，農山漁村文化協会出版
- ・ エイミー・ステュワート，今西康子訳：人間にとって重要ないきものミミズの話、飛鳥新社
- ・ 金子信博：土壌生態学入門 土壌動物の多様性と機能、東海大学出版会
- ・ 横山和成：図解で良く分かる土壌微生物のきほん，誠文堂新光社