

エコファーマーネットワーク通信

〈No.10〉



☆朝夕の冷え込みとともに秋の深まりが感じられるこの頃です。今年の夏は猛暑寡雨の気象条件で、農作物の水管理などご苦勞が多かったことと思いますが、皆様方のご苦勞により、水稻をはじめ農産物は例年以上の品質・収量を伴った稔りの秋を迎えられ一安心のことと思います。

☆一方、東日本大震災や福島第一原子力発電所事故による被災地及び周辺地域の風評被害や津波被害の解消・復興の遅れが見られますが、津波による被災農地においては農業者自身の除塩等のご努力により少しずつではありますが、復旧した農地での生産が始まっており、これらに取り組んでおられる農業者方々に敬服いたしております。

☆このような中で、農林水産省では「我が国の食と農林漁業の再生のための基本方針・行動計画」を定め、我が国の食と農業の再生に貢献する主な生産対策として、環境保全型農業などの推進によって「美味しい」、「安全」、「環境にやさしい」といった持ち味を再構築する施策が進められています。

☆その具体的な一つとして、生産者と消費者、日本と世界の絆を深めることにより、我が国の農林漁業・食品産業・農山村がもつ素晴らしい価値を広く国民・世界に伝え、ジャパンプランドの再構築を図る「食と農林漁業の祭典～生産者と消費者、日本と世界を結ぶ～」が、本年2月から進められ10～11月には祭典のクライマックスとして多くのイベントが開催されています。

☆全国エコファーマーネットワークでも、24

年10月29日～11月2日まで農林水産省の消費者の部屋で、昨年度に引き続き「環境に貢献するエコファーマーの活動～環境にやさしい農業を目指して～」をテーマに特別展示を行いました。展示内容は、

- ① 環境保全型農業施策の中で農業生産と環境の関わりなどの紹介
- ② エコファーマーに関する展示として、エコファーマーネットワーク幹事各位の協力・支援を頂き活動状況や農産物の展示

を行いました（展示結果は次号で紹介）。

☆また、会員には、既に開催案内チラシでご案内しておりますが、11月27日午後にはエコファーマーネットワークが後援する「平成24年度環境保全型農業推進シンポジウム」を、翌日28日午前中には「エコファーマー全国交流会」を東京都千代田区の日本教育会館で開催します。

☆当シンポジウムと全国交流会では、環境保全型農産物の流通販売問題をテーマとした講演等を行います。また、当シンポジウム等の開催とあわせて、平成24年度第1回の幹事会を同会場で開催することとしています。

☆今回の通信では、本年1月12日に埼玉県熊谷市で開催されました「エコファーマー全国交流会（in埼玉）」の中から「微生物が息づく土づくり－新たな環境保全型農業の展開を目指して－」の概要を掲載しておりますのでご覧ください。

〈全国エコファーマーネットワーク事務局〉

微生物が息づく土づくり

－新たな環境保全型農業の展開を目指して－

全国環境保全型農業推進会議・会長
東京大学名誉教授 松本 聡

はじめに

「微生物が息づく土づくり」という表題にした理由は、今まで、土づくりの基本としての目の付けどころは、主として土の物理性や化学性に目を向ける取組でした。しかし、土は物理性や化学性だけでその重要なところを構成しているわけではなく、もう一つ、生物性が非常に重要です。しかしながら、土の生物性ということを環境保全型農業をやる中でどのように捉えていくかについて、エコファーマー、あるいは農業者全体の中でもっと身近なものとして捉えていくということが非常に弱かったわけです。今後は、エコファーマーの土づくりに生物性というものを積極的に入れていくことによって、もっと総合的な土づくりが必要であると思い、今回の表題にしたわけです。

環境保全型農業が求められるようになった背景について、既によくご存じのこととは思いますが、最初におさらいした後に、環境保全型農業で自然はどのように変わりつつあるのかということを話させていただき、その中で特に生物多様性から見た変化というところで、土の中の生物の重要性についてお話できればと思います。

1 1980年以前の農業が抱えていた問題

まず、環境保全型農業が我が国で強く求め

られるようになった時期に、我が国農業がどんな問題を抱えていたかを振り返ってみます。1980年以前の我が国の農業政策は、「食料の生産」を重視した方向であり、農家は化学肥料や化学合成農薬の多施用を行う「化学農業」を偏重しながら、生産効率の高い農業を進めて参りました。その結果、土壌では堆肥のような有機物の投入が激減し、土壌の色が退色し、硬い土壌が多く見られるようになりました。

本来、土壌はたくさんの有機物を蓄え、そこに植物が根を伸ばして栄養を吸収をしてきました。化学肥料や化学合成農薬をたくさん使って栽培していると、土壌の有機物が少なくなると赤茶けた色となり、土層全体が硬くなってきます。硬い土壌の発生は、土壌の保水力、保肥力を低下させ、そのために肥料などの栄養成分が土壌中に浸透せず、表面を流去して河川や海に入り、水質の富栄養化が発生し著しい環境破壊が起こり始めました。水質汚濁は、海ではアオコの発生、植物プランクトンの異常発生、河川では魚類の激減等を引き起こしました。

一方、農薬は殺菌、殺虫、除草及び作物の成長を調節することで、作物生産を有利に導くために開発された自然界には存在しない薬剤で、化学合成によって得られたものであり、その多くは、生物に対して毒性を持っています。この点、化学肥料とは基本的に異なります。いつも化学肥料と農薬を一緒くたにして、化学肥料も毒性があるというふうに誤って伝えられていますが、これは全く違います。

今でこそ、低毒性農薬の開発、毒性の強い農薬や残留性の強い農薬は登録抹消されるなど規制は非常に厳しくなっていますが、以前は必ずしも厳格ではありませんでした。アメ

リカの生物学者で有名なレイチェル・ルイー
ズ・カーソンによる著書“沈黙の春”が話題
になったのは、農薬が世界中に多用された、
そういう一時期のことです。

2 変化しつつある農産物生産

環境保全型農業は、以前のように化学肥料
や化学合成農薬だけに頼る農業ではありません。
肥料は、食物残渣などの有機物に含まれ
る植物の生育に必要な成分を「堆肥化」とい
う方法で、植物が利用吸収できる形に変えて
施用する方法を積極的に採用し、農薬は、害
虫に対する天敵生物の導入や土壌病害を忌避
する植物を作物の傍らに植えることで、本来
の農薬の使用量を低減しています。

肥料は作物の生育で特に欠乏しやすい窒
素、リン酸、カリなどを作物に施用する行為
です。化学肥料は人畜無害な化学物質で、天
然からその材料を得ており、作物が吸収利用
されやすい形に化学合成し、直接作物に施用
するものです。例えば、空気中に無尽蔵にあ
る窒素ガスは、ハーバー・ボッシュ法によっ
てアンモニア (NH_3) に合成されています。

堆肥は、有機物を腐熟させ、微生物の力で
分解し、無機化する過程で得られたアンモニ
ア、リン酸、カリなどを利用していく非常に
有力な一つの栄養塩の与え方です。例えば、
食物残渣の中には、我々に必要なタンパク質
がたくさん含まれ、そうしたものを土壌に施
用すると、土壌中の微生物の活動により、化
学肥料と同じ形の成分のアンモニア (NH_3)
などになって出てきます。

さて、環境保全型農業では、主として用い
る肥料供給源として、畜糞堆肥を大いに活用
しています。畜糞堆肥では、特に牛糞堆肥、
豚糞堆肥、鶏糞堆肥が多用されていますが、
それぞれ成分的に見て大きな特徴がありま

す。牛糞堆肥は低窒素でカリが豊富、豚糞堆
肥は窒素は豊富でカリは少ない、鶏糞堆肥は
窒素が豊富でリン酸も豊富であり、こういう
それぞれの畜糞堆肥に特徴があることをあら
ためて認識しておきましょう。また、時々使
われる馬糞堆肥は低窒素に加えて、高温発酵
菌がたくさん含まれています。

一方、化学合成農薬に完全に代わるもの
は、現在のところ存在しません。そのため、
防除適期を逃さず、効果的な防除を心がけ、
出来るだけ散布回数を減らすことが指導され
ています。また、補助的な害虫駆除の方法と
して、天敵生物の導入、弱毒ウィルスの感染
による種々のモザイク病の発生抑制、雑草駆
除方法が実用化されています。

最近では、作物体内に微生物を接種して、
作物自身と共生させることで、作物自身に病
害抵抗性を付与させるエンドファイト法に注
目が集まっています。

近年の消費者の安心・安全意識の高まりの
中で、生産者側による減化学肥料・減農薬栽
培や特別栽培、さらには有機栽培や最近では
GAP（農業生産工程管理）等の努力がされ
ており、肥料取締法や農薬取締法の改正もあ
り、我が国の農産物は安全であり、安心であ
るという認識が高まっています。

このような状況には、政府の支援も大いに
関係しています。国は持続性の高い農業生産
方式の導入に関する法律（持続農業法）を
1999年に制定し、化学肥料や化学合成農薬
の施用を低減し、環境に調和した農業を行
う農業者を「エコファーマー」として位置づ
け、都道府県知事が認定する制度を作りました。
平成23年4月現在のエコファーマー件数
は全国で21万件を超えるまでになっています。
当初は、認証を受けたエコファーマーが生
産する農産物は図1のようなマークを張り



図1 エコファーマーのマーク

付けることができ、慣行栽培による農産物とは区別した販売戦略を採れるようになりました。消費者もこのような農産物の出現を歓迎し、慣行栽培による農産物の価格よりも、15～30%のプレミアムを付けて販売された時もありました。しかし、その後、マークをプリントし、不正に農産物に添付する事件が起きるようになったために、全国的に使用することを中止し、希望する10数県の厳重な管理のもとで、本マークは使用されることになっています。

3 作物生産の場における土壌の理解 —理化学性と生物性の理解の大きな相違—

化学肥料や化学合成農薬の施用の低減を行うつつ、堆肥を中心とした土づくりを行う環境保全型農業の実施者には、多くの書物や現場での見聞を通して、土づくりの概要を把握されている方が非常に多いと思われます。環境保全型農業では、安心・安全な農産物の生産を安定的に持続するための耕作の仕方や、おいしい食料を消費者に届けるための施肥法や栽培法を目指して努力しており、納得できるものが多いところでは。

しかし、その理解の大半は、土壌の理化学性についてであり、土壌の生物性に触れることはほとんどないのが実態です。例えば、図2

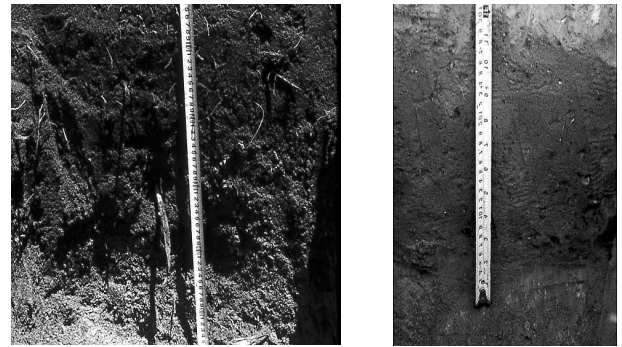


図2 形態の異なる2つの土壌断面

に示す土壌断面でこのことをお話すると、左の土壌断面は有機物が多く、植物根が断面の下部にまで達していることから、土層が軟らかく、作物の生育には適していると容易に判断されます。これに対して、右の土壌断面は、一見して、有機物が少なく、目立った作物根が認められないことから、土層は全体的に硬く、作物の生育には必ずしも適した土壌ではないであろうことが想像できます。事実、野外土壌調査で用いる土色帳や、硬度計でその視覚や感触を数値化し、記録することが出来ますし、その反応性についても、土壌のpHを野外で測定することによって、即座に作物生育に適当か否かの判断を下すことが出来ます。

これに対して土壌の生物性は、ミミズ、オケラなどの土壌動物の存在はもちろん、ルー

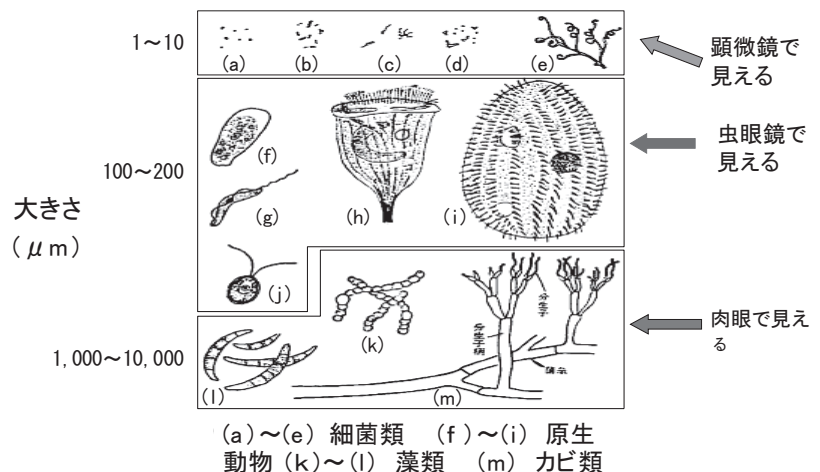


図3 土壌中で見られる微小生物

べを持参すれば、もっと微小な原生動物の存在を確認することが出来ます（図3）。しかし、それらの存在が作物の生産にどのように影響しているのかを、土壤の理化学性のようにその場で即座に見極めるのは、非常に難しいのです。ここに、土壤の生物性による作物の生育、収量、品質についての判断が、土壤の理化学性による判断と根本的に異なる大きな理由があり、そのために、生物性は語られずに済まされることが多かったということになります。

4 土壤の生物性の重要さを検証する

これに関して、きわめて興味深い実験を紹介します。褐色森林土壤（ナラ、ブナなどの落葉広葉樹が生育する、火山灰土壤でない森林土壤）の表土は、沢山の団粒構造を含む土壤です。この表土に少量の水を加え、高温・高圧の水蒸気釜（一般に、オートクレーブと呼ばれ、微生物を殺菌する場合によく用いられる）に入れ、15分間処理→放冷のサイクルを3回繰り返してから、この土壤を培土として、無菌状態・無菌液体肥料・人工照明下でコマツナを栽培したところ、コマツナの種子の発芽は観察できましたが、その後の生育は緩慢で、播種してから7日後には、すべての供試発芽個体は枯死しました（図4）。

枯死した原因を培土を中心にして調査して

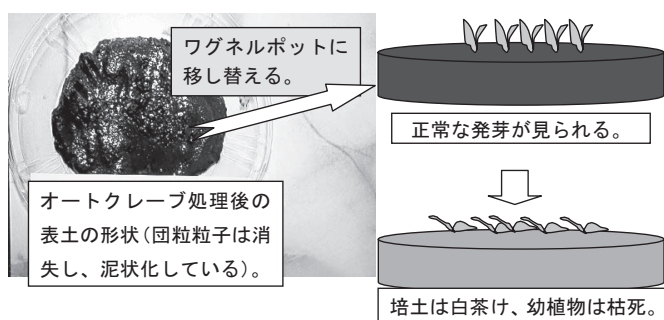


図4 培土に用いた処理土と処理土を用いた植物幼植物試験

見ますと、培土の表面は厚さ1～2mmの粘土の皮膜（クラストと言う）で覆われ、肥料水の浸透は非常に悪く、液体が表面に留まったり、側方に流下したりして、土層内部には浸潤しないことが分かりました。この場合、培土全体が当初の黒褐色から退色し、白茶けた土色になっていました。この退色は野外の黒ボク土壤の畑圃場でも認められる現象と同様で、耕耘直後の土色は黒色が強いのですが、しばらく経つと土色が灰色に変化して行くのは、細かい土壤粒子の表面から水分が蒸発によって急速に失われるためです。この簡単な実験から、播種した植物（作物）が順調に生育し続けるには、植物の根へ水分の供給が常に行われる必要があることを示しており、このためには土壤の団粒構造の存在が不可欠です。

土壤の団粒構造の形成には、無機行的に行われる場合（無機団粒）と、有機的に行われる場合（有機団粒）がありますが、前者は土壤中の鉄やアルミニウム等の水酸化物がセスキオキサイド（ R_2O_3 で表わされる金属酸化物）となって土壤粒子を固結する作用があり、後者は土壤微生物の分泌する代謝生産物（多糖類、アミノ糖など）が土壤粒子を粘着する作用のあることが、それぞれ分かっています。これらの団粒は手に採って見ただけでは、その違いは分かりませんが、水を入れた容器にこれらの団粒を沈めれば、容易に無機団粒か、有機団粒かを判別できます（図5）。すなわち、無機団粒は直ぐに崩壊し、泥状化しますが、有機団粒は水中でも形を崩さないで存在しています。有機団粒が水中でも形を崩さずに存在できるのは、団粒が耐水性団粒になっているからですが、これは土壤微生物の代謝生産物が団粒にこのような性質を付与したことによるものです。このことから、植物

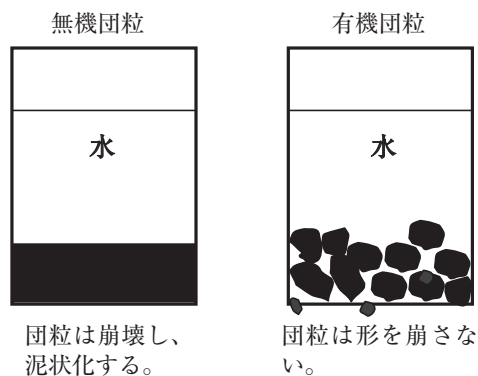


図5 無機団粒と有機団粒の水中での安定性

(作物)の生育には耐水性団粒の存在が不可欠であり、土壤微生物は単に有機物を分解して、無機化した栄養塩を植物に与えているばかりでなく、植物の生育の培土に重要な構造的な貢献をもたらし、耐水性団粒の存在こそが下層土深くまで雨水または灌漑水を毛管浸透させるチャンネルとなり、植物に安定的な水分を供給する生命線になっているからです。

5 土壤微生物の住処を提供する —マイクロハビタットの重要性—

図6は、土の中の原生動物が、体型の小さな細菌の集団を捕食している様子を顕微鏡下で捉えたものです。土の中の世界に限らず、自然界では体型の大きな動物がより小さな動物を捕食する毅然とした秩序(食物連鎖)があり、この秩序が守られるには、体型の大きさとその個体数の間には明確な逆相関が成り立っています(図7)。仮に土壌中の微生物が原生動物に対して、まったく無防備な開放系で存在していたとすると、微生物の多くの個体は原生動物に捕食され、土壌が息づく多様な微生物社会は形成され難くなり、土壌の有する固有の重要な機能の一つが消失しかねないわけです。すなわち、土壌の機能が十分に発揮され、健全な土壌生態系が維持

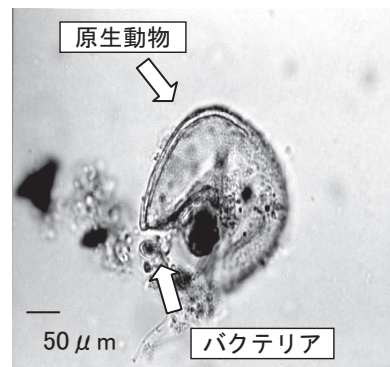


図6 原生動物(ミジンコ)が細菌を捕食している様子(顕微鏡下)

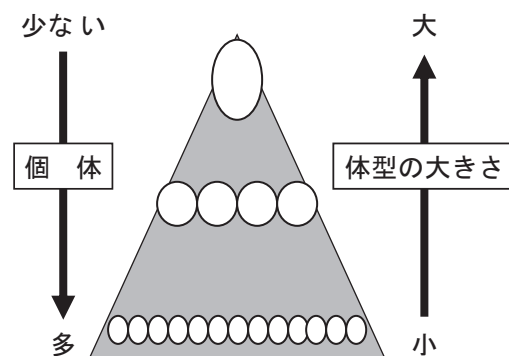


図7 ある生態系内での体型の大きさと個体数に関する大原則

されるためには、土壤微生物の大集団が安全に棲息できる堅牢なシェルター(マイクロハビタット)の存在が必須です。このマイクロハビタットは単に物理的に堅牢な微細空間を保持するものだけではなく、栄養塩を含む土壌水が浸潤でき、土壤微生物の生命を維持できるような素材でなければならないのです。

図8は、完熟した木質系堆肥(バーク堆肥)で構成されるマイクロハビタットの薄片を作製し、その中に棲息する微生物を特殊な蛍光

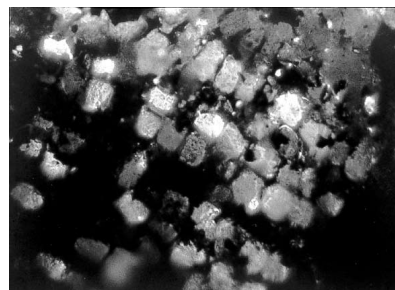
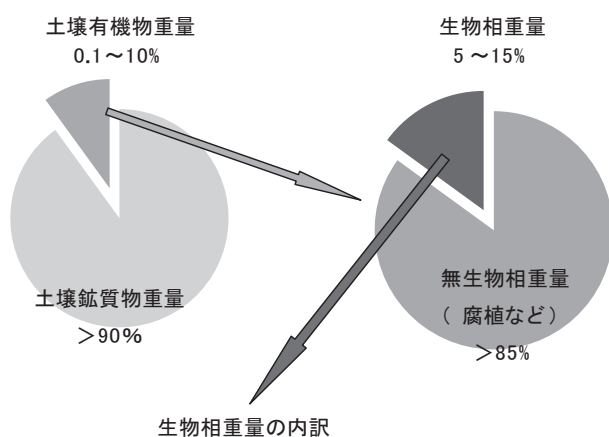


図8 マイクロハビタット内の生きた微生物細胞 (Matsumoto, 1999)

染色剤を使用して染色し、蛍光顕微鏡で観察したものです。この蛍光染色剤は「生細胞」のみに染色して青白く発色しますが、死細胞には染色しないという特徴をもっており、細菌の生死を判別するのに便利な発色剤です。図8によれば、このマイクロハビタット内の土壤微生物のほとんどすべては生きており、活動していることが示唆されます。

マイクロハビタットとして、土壤中に存在できるものとして、腐熟した木質系堆肥や、上述の有機団粒が挙げられますが、これらの給源は堆肥を中心とした土づくりがあってこそ達成できるものです。今まで、堆肥の施用は作物への栄養塩の供給や土壤の物理性の改善を主要な効能として考えられてきましたが、土壤中の微生物を息づかせるためにも堆肥の施用は必要不可欠の資材であると言えます



相	相重量の割合	密度 (個体数/g・土壌、 またはm ²)
動物相	5~10%	
原生動物、線虫類		10~10 ⁶ /g・土壌
ミミズ、ダニ類		10~10 ⁶ /m ²
微生物相	75~90%	
藻類		10 ⁴ /g・土壌
細菌類		10 ⁹ /g・土壌
放線菌類		10 ⁷ /g・土壌
カビ類		10 ⁶ /g・土壌

図9 健全な土の構成物質からみた生物相
(Bloemら, 2003)

す。

ところで、土壤中の微生物の存在を示す言い方として、教科書的には、単位重量当たり10⁸~10⁹個存在する、といった表現が多く用いられて来ました。しかし、この表現では、おびただしい数の微生物が存在することは理解できても、「重量」としての表現に乏しいために、土壤中の微生物の「存在感」を具体的に感じ取りにくかったことも事実です。Bloem（プロエム、2003年）らは、堆肥が十分に施用された健全な土壤の構成物質を「重さ」として分画して行くうちに、微生物も含めた土壤生物相が土壤の有機物重量の10%内外を占め、さらに土壤生物相のほとんど（土壤全体重量の約1%）が土壤微生物の生きた菌体であることを明らかにしました（図9）。

6 土壤中の微小で多様な生物が創る生物多様性の社会

—環境保全型農業との関わり—

人口増加、食糧危機、災害、貧困、沙漠化、乱獲、樹木の乱伐などさまざまな社会的要因で、地球上の生物種の多くは絶滅の危機に遭遇しています。生物多様性とは、遺伝資源、種、生態系が多様であることを意味しており、生物の数が多いいことを意味するものではありません。

我が国の農地に限って見ても、多量の化学肥料と合成農薬が使用された時期があり、そのために生物の種、数がともに激減しました。現在、化学肥料や合成農薬の削減は行われつつあり、その地域の食物連鎖の頂点に当たる生物（例えば、コウノトリやトキ）が故郷に帰ってきたことが話題になっていますが、かつての後遺症は未だに色濃くその影を落としているところもあり、完全に復活したわけではありません。

生物多様性の消滅は遺伝資源の喪失を意味しており、育種、病気の治療といった目先の応用技術の道が閉ざされるばかりでなく、地球生態系の健全で持続的な発展を妨げる要因になります。今までお話しして来ました土壌の有機団粒は、土壌微生物の住処から見れば正に土壌微生物が創造する多様性豊かな微生物社会（ミクロコスモス）です。

それでは、有機団粒に何故多様な生物が生息できる環境が出来るかについてですが、その一つは、有機団粒にはきわめて複雑な空間が用意されており、どの部分を探って見ても、まったく同一の環境は存在しないという事実によると考えられます。これらの環境を決定する因子は有機物の多少、水分の多少、団粒の外部からの空気の流通の多少など多岐

にわたり、これらの因子の組み合わせで、その微生物の生息場所としてもっとも適切な場所が決定されます（図10）。

土壌病害の発生し難い土壌を抑止型土壌と呼んでいますが、このような土壌を詳細に調べてみますと、土壌の理化学性、生物性に特に目立った特徴はなく、平均的な性質を示す圃場が多いことに気がつきます。平均的な性質、それは換言すれば、「バランスのとれた土壌」ということができます。実は、バランスの取れた土壌こそが、土壌生物の多様性がもっとも活かされた土壌ではないかと考えられます。土壌微生物の多様性を如何にして保持するか、これは、今後の環境保全型農業における土づくりを展開して行く上で、重要なポイントになると思われます。

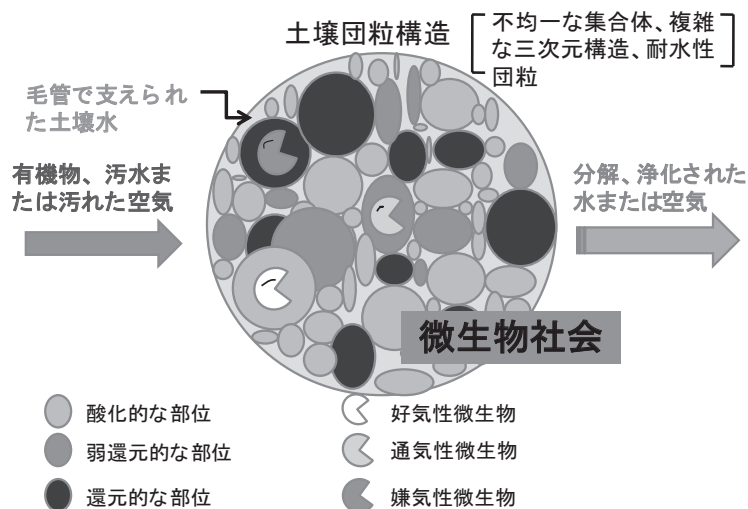


図10 土壌団粒構造の内部と機能