

堆きゅう肥の利用と

土壤微生物の効果 ①

京都大学農学部農芸化学教室 小林 達 治

はじめに

土壤中の微生物は肉眼では個々の細胞を認めることはできない。それ故、自然界に多数生存する微生物の役割を見逃すことが多かった。

高等植物は土壤中に根を張りめぐらせ、水分や栄養素を吸収し、茎葉部での太陽エネルギー利用により炭酸同化を続けて生長する。その根のまわりには、たくさんの土壤微生物が共存して、植物根に大きな影響を及ぼしている。

本稿では、土壤微生物と高等植物との関係を中心に概述し、最後に、堆きゅう肥をいかに上手に土壤へ還元利用してゆくかについて述べたいと思う。

高等植物と根圏微生物

植物は地上部で見られるような茎葉部と比較して、決して劣らないほど、土壤中深く根を張りめぐらせて(図1参照)、水分と栄養素を吸収し、自らの茎葉部を直立させるといった働きをしている。

その根は主根—支根—細根—根毛というように、更に細分化しており、土壤中をくまなく充満する

勢いで生長し、その根圏域を拡げてゆく。その根毛のまわり(写真1)には、根圏微生物がたくさん共存し、これから述べるように根に多大な影響を与えている。それら根圏微生物の中、植物根にとって良好な影響を与える物質を分泌するものが生存

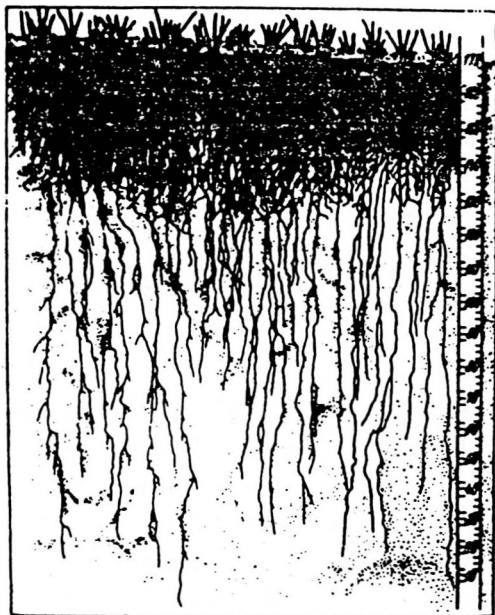
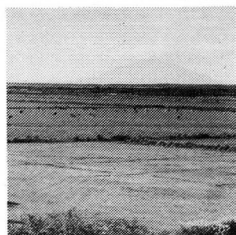


図1 小麦の根の分布図

目 次



放牧始まる
—天塩の泥炭草地—
(背景は利尻富士)

□昭和58年産乾草の分析結果	表②
□昭和58年産サイレージの分析結果	表③
■堆きゅう肥の利用と土壤微生物の効果①	小林 達治… 1
■低コスト粗飼料生産と草地の整備改良	角田 昭郎… 6
■牛ふん尿の連用と飼料作物及び土壤の反応	反町 裕… 10
□短年利用の多収草地に最適な「テトリライト」	上原 昭雄… 14
■旭川市におけるネギの栽培について	村瀬 慎治… 17
■中国野菜の栽培と利用	加藤 俊介… 21
■飼料カブの放牧利用	上出 純… 24
□草地の整備改良を計画的に推進しよう!!	28
□夏季乾草作りのエース：ローズグラス	表④

すれば、その植物の生長は促進されて健全に生長し続けるが、もし根圏に悪い影響を与える物質(例えば毒素)を分泌するような有害菌が存在すると根は犯され、生長は阻害され、不健全な状態となり、究極的に枯死するに至る。

植物は、この大自然に美しく、緑葉を繁茂させ、花を咲かせて、我々人間社会の生活を豊かにしている。しかし、その植物も実は大地の中に多数生存する土壌微生物の大集団の影響を受けながら共存しているのである。これからその微生物の概略について説明しましょう。

土壌微生物の種類と形態

糸状菌：俗称、カビといわれている。土壌に有機物をたくさん施用すると、白いカビの集落を認めることがあるが、その個々の細胞は小さくて顕微鏡でないと見ることはできない。形態はいろいろあるが、普通は写真2に示すように孢子や厚膜孢子を作って休眠し、次の増殖の機会を待つ。菌糸の形で糸状菌の種類を見分けるのは非常に難しいので、分生子柄や孢子の形態でもって区別する(図2参照)。図2(1)は植物に病原性の強いフザリウム・オキシスポラムの孢子の形態を示す。土壌伝染性糸状菌として、我々を悩ませる最もありふれた有害菌である。

放線菌：放線菌は、写真3のように、直径0.5~0.8ミクロンの分枝状の単細胞菌糸からできているのが一般的である。キチン質を分解する能力が高く、糸状菌の細胞壁を溶解し、死滅させることができる。連作障害を引起す植物病原性糸状菌を抑圧できるので、農業的には有益菌として価値の高いものが多い。

藻類：藻類は葉緑素等の色素をもち、太陽エネルギーを利用して光合成を行うことができる。クロレラのように単細胞のものから、海中の「コンブ」のように大きく複雑な構造をしたものまである。水田、湖、海など湛水状態の所によく繁殖するが、表層の少しじめじめした土壌にもよく生長し、糸状菌と共存繁殖して「コケ」のように認められることもある。

細菌：細菌は球状、桿状、らせん状など種々の形態をしており、普通のおおきさは0.5ミクロン程

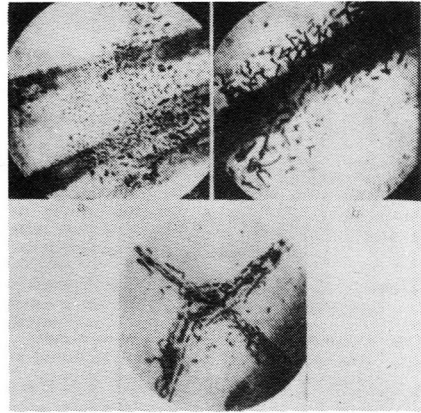


写真1 根毛のまわりに共存する微生物 ×600

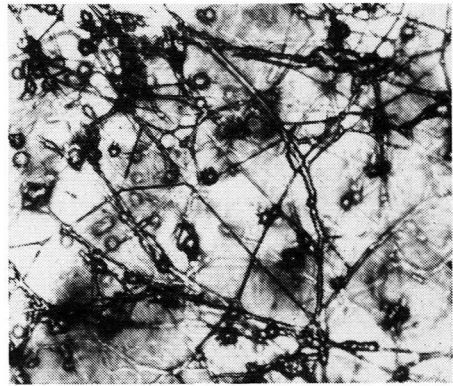


写真2 フザリウム・オキシスポラムの菌糸の顕微鏡写真 (厚膜孢子が認められる) ×800

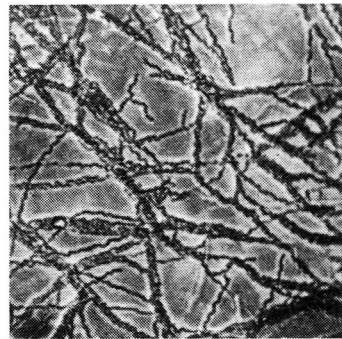


写真3 放線菌ノカルディア・マデュレの顕微鏡写真 ×250

度、らせん状のものは長さ3ミクロンからそれ以上になるものもある。全く動かないものからペン毛をもって、活動的に動き回るものまでいろいろ存在し、分類学的に未確立要素が多い。酸素を要求する好気性菌もおれば、酸素をきらう嫌気性菌があり、栄養要求性も有機物を利用する有機栄養細菌から有機物よりも無機物をより好む無機栄養細菌もいる。

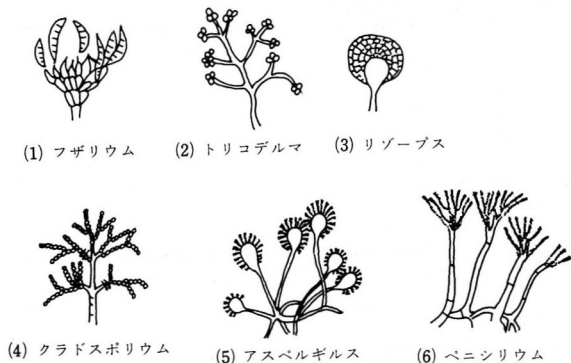


図2 糸状菌の形態

注 糸状菌の区別は菌糸体ではできないので、図のような胞子の形成状態で区別する。

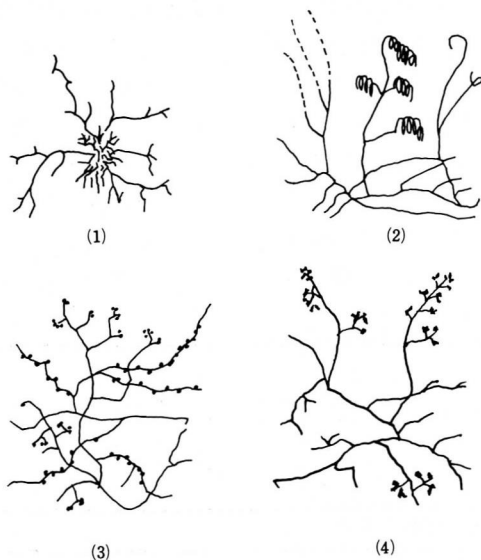


図3 放線菌の形態

- (1) アクテイノマイセス (Actinomyces)
- (2) ストレプトマイセス (Streptomyces)
- (3) サーモアクテイノマイセス (Thermoactinomyces)
- (4) サーモモノスポラ (Thermomonospora)

農業的立場で今までよく研究されてきたのは窒素固定細菌である。アゾトバクター(好気性)、クロストリディウム(嫌気性)のように単独で空中窒素固定をするもの、またマメ科植物に共生して根粒中で窒素固定をする根粒菌についてはよく研究されてきました。

無機栄養細菌として研究が進んでいるものに亜

硝酸、硝酸化細菌がいる。アンモニアを亜硝酸に酸化して、その酸化エネルギーで増殖するニトロソモナス ($2\text{NH}_3 + 3\text{O}_2 \rightarrow 2\text{HNO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$, $\Delta G = -132\text{ kcal}$, アンモニア酸化, Nitrosomonas), 更に硝酸にまで酸化するニトロバクター ($2\text{HNO}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{HNO}_3$, $\Delta G = -35\text{ kcal}$, 亜硝酸酸化, Nitrobacter)は無機の窒素肥料過剰施用により土壤中に硝酸・亜硝酸が過剰蓄積し、いろいろな実害が発生し、硝酸化細菌は大きな社会問題を引き起こすようになりました(後述する)。更に窒素循環に関係する細菌として脱窒菌 ($5\text{S} + 6\text{KNO}_3 + 2\text{CaCO}_3 \rightarrow 3\text{K}_2\text{SO}_4 + 2\text{CaSO}_4 + 2\text{CO}_2 + 3\text{N}_2$, $\Delta G = -660\text{ kcal}$, 脱窒と硫黄酸化, Thiobacillus denitrificans)があり、土壤中の窒素成分の損失を促進する菌も多くいる。

湛水状態土壌には窒素や硫黄の循環に関与する光合成(光栄養)細菌、また、不潔な環境で有毒な硫化水素を発生する硫酸還元菌も多数存在する。その他、重金属を利用する細菌、粘質物を大量に生産する細菌などその種類はあまりにも多い。

ウイルス：ウイルスは生命のある生物の中で最小のものであるということができよう。その種類がどれくらいあるか、見当もつかない状態である。その形態はいろいろで球状・棒状・六角柱状等々多種類にわたり、大きさも細菌の数百分の一から数千分の一と非常に小さい。ウイルスには増殖能力があるといっても、鉱物質のように結晶化し、生命のある生物と無生物との中間のような性質もっている。そして生体細胞内に侵入すると増殖し、その生体を破壊し、発病させたりする。あまりにも構造が小さいので、細菌以上に研究は進展していない。

その他の生物：土壌中には微生物に加えて原生動物や線虫も多数共存している。"土が生きている"といわれるのは、以上のような微小な生物が有機的に生命活動を営んでいるが故にそのようにいわれるのである。

微生物の増殖：微生物の増殖速度は条件がそろると非常に速いものである。例えば枯草菌(納豆菌はその一種)は31分で2倍になり、24時間後の1日で 6×10^{23} 倍になる。根粒菌は110分で倍になり24時間で 8×10^3 倍、緑藻であるクロレラが1日で

12倍, 原生動物のパラメシウムが4.9倍であるの
に比較して, 細菌の増殖力がいかに大きいか理解
して頂けたと思う。

土壌中の微生物数: 土壌中の微生物数は地温, 有
機物含量とその種類, 含水量並びに通気性など土
壌構造にも左右されるが, 一般的な土壌では普通
表1に示す程度は存在が確認されている。

土壌微生物の生態: 土壌微生物は土壌という複
雑な構造の中でどのような生活を営んでいるか,
非常に興味のあることである。しかし, その複雑
さのために断片的な研究成果しかないのが現状で
ある。その中の一つを紹介しましょう。

有機物の分解・連作障害と土壌微生物の変動

稲わらやクローバを土壌にすき込んで有機物を
分解させる場合の微生物の変動は表2に示すよう
に時間の経過とともに変化することがわかる。特
に稲わらをすき込んで湛水すると, 水稻根に有害
な硫化水素を発生する硫酸還元菌が多数増殖して
くる。一方, 有機物でも稲わらと違って, クロー
バ(稲わらに比べてクローバは蛋白質含量が高い)
を湛水条件下で分解させても硫酸還元菌は見出せ
ず, そのかわり蛋白質をよく分解する菌が非常に

表2 a) 稲わらと砂混合物の湛水培養条件下における微生物群の変動 (菌数/ml)

菌 群	培 養 日 数						
	0	4	7	14	21	28	35
嫌 気 性 菌	43×10^4	12×10^6	11×10^7	25×10^6	10×10^6	78×10^6	—
セルロース分解菌	23	13×10^1	22×10^1	49×10^3	79×10^2	24×10^5	—
硫 酸 還 元 菌	0	0	0	45	49×10^2	18×10^6	—
蛋白質分解菌	22×10^3	16×10^8	92×10^6	33×10^6	24×10^6	92×10^6	49×10^5

b) クローバと砂混合物の好気培養条件下における微生物群の変動 (菌数/g乾物)

菌 群	培 養 日 数				
	0	10	20	30	60
好 気 性 細 菌	21×10^5	25×10^6	17×10^7	68×10^6	14×10^7
放 線 菌	16×10^4	32×10^5	19×10^6	30×10^6	49×10^5
糸 状 菌	42×10^2	33×10^4	14×10^4	21×10^4	64×10^3
蛋白質分解菌	28×10^3	70×10^9	67×10^8	22×10^8	46×10^7
セルロース分解菌	12×10^2	28×10^5	62×10^7	92×10^8	92×10^9

c) クローバと砂混合物の湛水培養条件下における微生物群の変動 (菌数/ml)

菌 群	培 養 日 数									
	0	4	7	14	21	28	35	63	84	
好 気 性 細 菌	45×10^5	36×10^6	15×10^6	21×10^6	13×10^6	47×10^5	41×10^6	48×10^5	40×10^6	
放 線 菌	75×10^3	7×10^4	2×10^5	8×10^5	5×10^7	38×10^4	1×10^6	3×10^4	33×10^4	
嫌 気 性 菌	22×10^4	22×10^7	15×10^7	10×10^7	11×10^7	8×10^7	13×10^7	13×10^7	31×10^6	
蛋白質分解菌	35×10^3	12×10^8	26×10^8	28×10^9	17×10^9	10×10^7	49×10^8	70×10^6	79×10^6	
セルロース分解菌	13×10^2	11×10^4	24×10^5	22×10^4	23×10^6	16×10^8	45×10^8	42×10^8	46×10^8	
硫 酸 還 元 菌	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

(藤井らによる)

表1 土壌中の各種微生物数

種 類	土壌 1 g 当りの数
細菌	16,900,000
放 線 菌	1,340,000
嫌 気 性 細 菌	1,000,000
糸 状 菌	205,000
嫌 気 性 糸 状 菌	1,326
藻 類	500
原 生 動 物	40

(Burges による), 古坂澄石編「土壌微生物入門」より
多くなっていることがわかる。

有機物の種類によって, また好気条件と嫌気条
件によって増殖する微生物の種類と数はかなり異
なってくる(表2(b), (c)参照)。

連作障害をおこす植物, 例えば, トマトを栽培
した後の残根のある土壌を分析すると, 非連作土
壌に比べて植物病原性糸状菌が非常に多くなり,
細菌と糸状菌(B/F 値), 放線菌と糸状菌(A/F 値)
の比率が非連作土壌に比べて数十分の1から数千
分の1にまで低下していることが判明した。また
連作土壌中には, 寄生性線虫が多くなってくる
ことも特徴の一つである(表3参照)。

土壌に有機物を施用したり, 植物を栽培すると,
土壌中では種々の微生物が増減を繰り返す, 拮抗
関係でお互いに殺し合い, また, お互いに助け合

いながら生命活動を続けているのである。

土壌微生物と高等植物との相互作用

土壌中の微生物は増殖したり、死滅したり、変動を繰り返しながら種々の物質代謝を行なっている。その過程で低級脂肪酸、アミノ酸、核酸、ビタミン・ホルモン、その他植物にとって大切な有機物を根圏に供給している。それが植物にとって有益であれば(pH, 濃度, 酸素分圧, 水分条件など適当であれば)植物根は著しく生長を促進される。

大豆と小麦の例で紹介しましょう。

それら植物を無菌栽培し、莖葉部と根を切断し、根部のみ無機成分を含む三角フラスコ中に入れる。それに微生物を別にフラスコ培養し、菌体を濾別し、その分泌液を添加する(微生物分泌物中には、アミノ酸、核酸の塩基類、低級脂肪酸、ビタミン、ホルモン等を多量有している)。表4に示すように無機成分のみの対照区は莖葉部がないため光合成産物の供給もなく、ほとんど生長は認められない。しかし植物根にとって有益な物質を含む分泌物(アゾトバクター、根粒菌、放線菌)を添加すると根は著しく生長した。これは光合成産物と同じ物質を微生物の分泌中に含んでいることを示している。しかし、これとは逆に根の生長を阻害する物質を排出するものもいるのである(表4の枯草菌参照)。

良質の有機物を土壌に施用し、農業有益菌が増殖した場合、根がよく生長し、その結果、植物は健康に育ち、収量増加が起こるのは、このような有益菌の分泌物による効果があることを忘れてはならない。無機の化学肥料を施用した場合、そのような有効菌による植物根の生育促進はなく、逆に莖葉繁茂のための肥料成分は十分にあるので(土壌表層から浅い所にしか施用混合できない)植物は根を深く成長させる必要はなく、小さな根で栄養成分を十分吸収できる。従って、表5に示すように、莖葉と根の生長比が有機物を施用した時に比べて、あまりにも高いのである。すなわち、肥満児のように、見掛け上、体ばかり大きくなる。その結果、天候異変(風雨、旱魃、低温障害など)に非常に弱くなるのである。表6を見て頂くとそのような効果をよく理解して頂けると思う。(この

表3 トマト連作土壌と非連作土壌における微生物数の変化 (菌数/g土壌)

トマト移植前	連作土壌	非連作土壌
糸状菌 (F)	2.1×10^4	1.3×10^3
放線菌 (A)	1.3×10^6	9.1×10^5
細菌 (B)	1.8×10^6	6.8×10^5
A/F 比	61.9	700
B/F 比	85.7	523
線虫	25.0	0
トマト移植1カ月後		
糸状菌 (F)	4.4×10^5	9.0×10^2
放線菌 (A)	1.4×10^6	2.0×10^6
細菌 (B)	1.8×10^7	1.9×10^7
A/F 比	3.2	2222
B/F 比	40.9	21111
線虫	28.0	0

表4 有益菌の分泌物による植物根の生長促進効果*

	大豆	小麦
無機肥料のみ	0.3cm	0.1cm
アゾトバクター	27.0	15.0
根粒菌	50.0	45.0
放線菌	37.0	30.0
枯草菌	0.0	0.0

*大豆と小麦を無菌栽培し、その幼植物の莖葉部を切断、根のみ三角フラスコ中で1カ月間分泌物を添加しながら培養する。

表5 無機肥料と完熟堆肥施用におけるキュウリ幼植物の莖葉並びに根の生長との比較*

	莖葉	根	莖葉/根比
無機肥料	2.4 g	0.45 g	5.3**
完熟堆肥	3.1	1.25	2.5**

*砂耕栽培1カ月後

**完熟堆肥を施用した方が無機肥料施用より根の生長が約2.5倍よくなっていることがわかる。

表6 有機肥料を施すと無機肥料の3倍の根ができるキュウリ

	新鮮重	莖葉重	根重
無機肥料	1.58 g	1.28 g	0.30 g
光合成細菌	3.20	2.23	0.97
アゾトバクター	2.94	1.99	0.95
根粒菌	3.08	2.15	0.93

(砂耕栽培8~22℃の条件, 3週間)

実験では、異常気象は人工的に8~22℃と変化させることにより作られた。キュウリ幼植物を砂耕栽培し良質の有機質肥料として農業有益菌体を使用した。))

良質の有機質肥料を施用すると夜温の急変による晩霜の害や、無機肥料の過剰施用による濃度障害に強く、また施設園芸作物における温度調節の不均衡による不良環境にも強くなるのである。