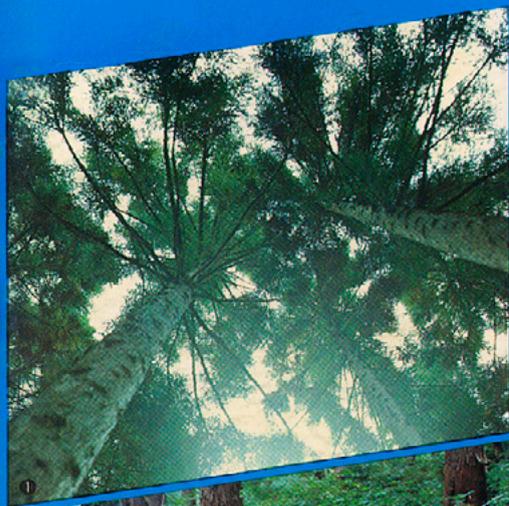


# 14 URBAN KUBOTA

アーバンクボタ・MARCH 1977・久保田鉄工株式会社

●特集＝森林土壌の生態 | 森林土壌の生きもの | 森林・その土壌と植生をめぐって



①スギの人工林で林齢は約50年。場所は京都府北部の温帯落葉広葉樹林である。スギは、適潤・肥沃地でよく生育するから、写真⑥にみるような天然生の広葉樹林を伐採してスギが植栽される。(堤)

②スギ人工林①の林床植生。スギの人工林で林冠が閉鎖すると、林内は暗く、下層の植生の発達はおさえられる。この林は谷間の湿った環境にあって、シダ類が多い。(堤)

③スギの落葉を白色にくさらせるきのこ。落葉をかきとると真白な菌のコロニーが見える。(小川)

④①②下の土壌断面。スギの落葉は広葉樹の場合と違い、枯死すると小枝とともに落ちる。新鮮な落葉落枝はややかさばっているが、水分などの条件に恵まれて分解は速い。(堤)

⑤京都府北部の温帯落葉広葉樹林のうち、土壌のよく発達した斜面下部、谷間の植生である。トチノキ、サワグルミ、ミズキ、オオモミジなどにブナ、クマシテなどが混じり、ミズナラの大径木が点在している。(堤)

⑥この林の林内には、低木類の発達は少なく散生する程度であり、ジュウモンジシダ、リュウメンシダなどのシダ類が多い。(堤)

⑦湿ったところに好んででてくるカレバタケの仲間。落葉を白くくさらせ、F層に大きなシロをつくる。(小川)

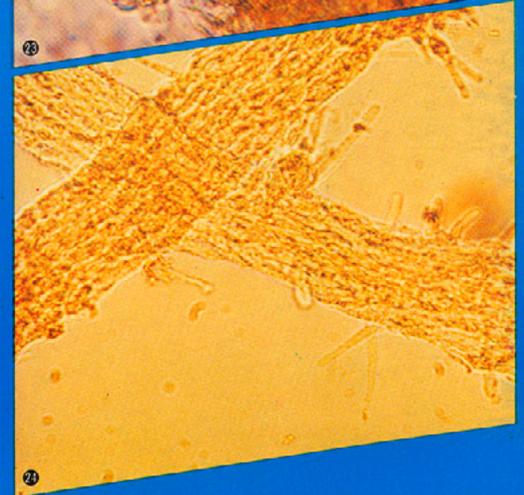
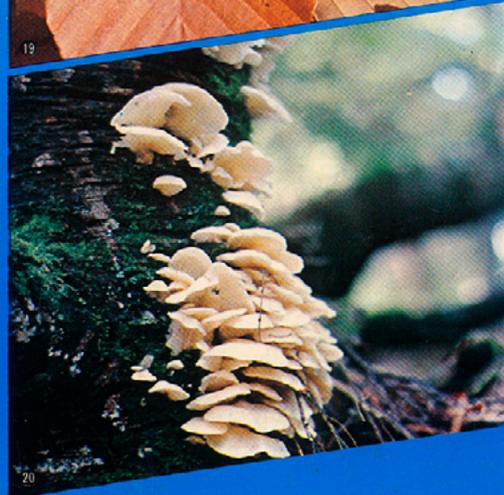
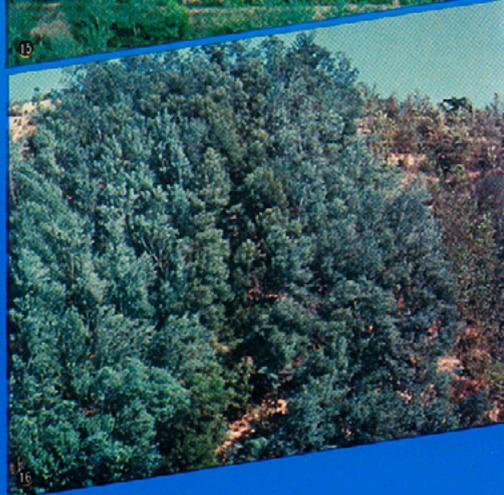
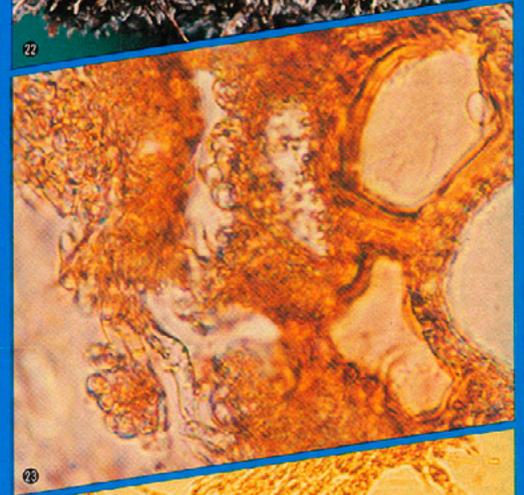
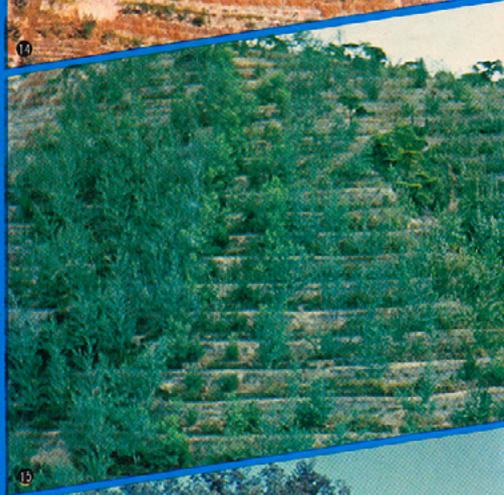
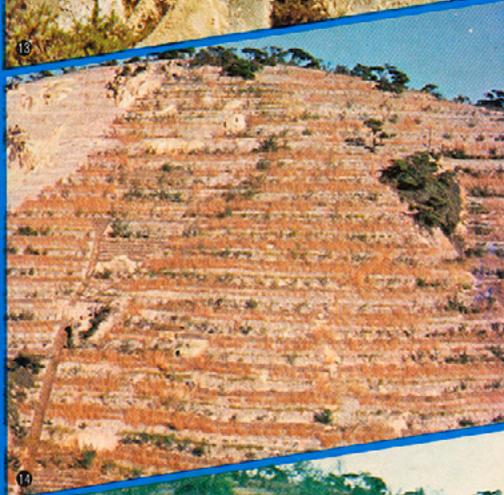
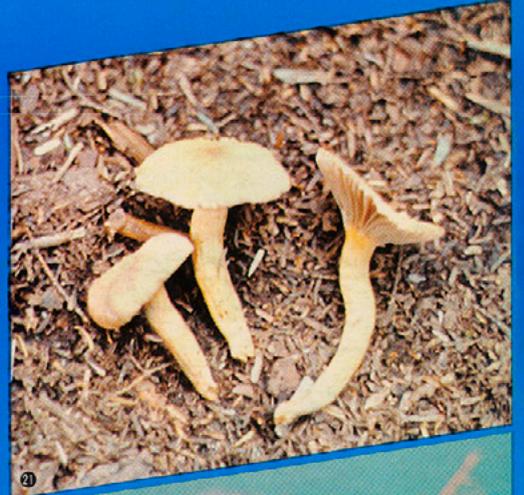
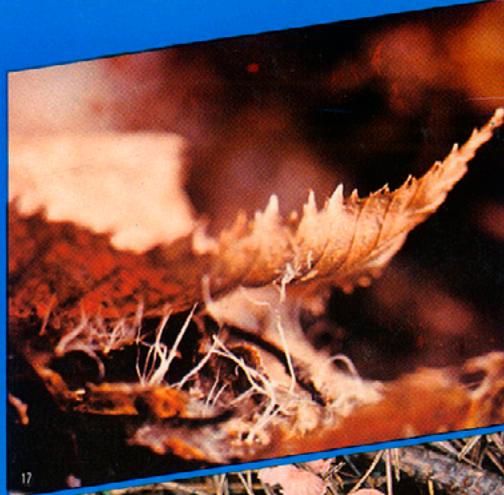
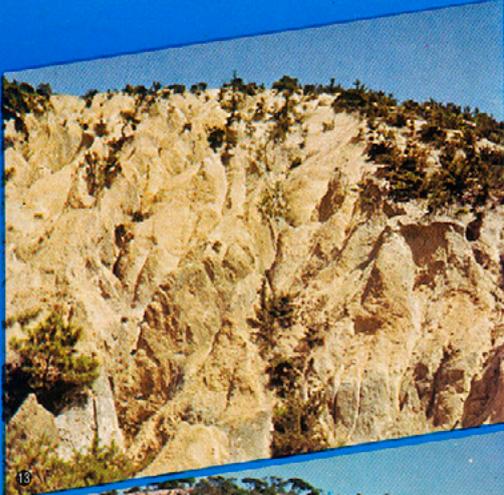
⑧写真⑤下の土壌断面。水分に恵まれ、土壌が肥沃であって、落葉の分解は活発である。地表面にはL層のみがみられ、F層、H層は発達しない。A層は腐植を含み、軟かく、深い。(堤)

⑨写真⑤と同じ地域の中で、尾根筋にみられる落葉広葉樹林。土壌が浅く、乾燥し、コナラ、ミズナラのほか、ナナカマド、アオハダ、アズキナシなどが多く、樹高が低い。(堤)

⑩③の林では低木層が密に発達し、ノリウツギ、リュウブ、ネジギなどのほかホツツジ、ウスギョウラクなどのツツジ類やスノキなどの低木が密生している。(堤)

⑪広葉樹の落葉をくさらせるカヤタケの仲間。林の中に輪をえがいて、きのこをつくる。そのシロのなかでは落葉が白色にくさる。(小川)

⑫写真⑤⑩下の土壌断面。落葉の分解がおくれ、地表面に厚く堆積し、新鮮な落葉の下層に細かく砕けた落葉からなるF層が発達している。A層は腐植にとむがうすく、A・B層の境は明瞭である。根はF層やA層に多い。(堤)



⑬⑭⑮⑯は、アカシア根粒菌接種試験の記録写真。⑬は砂防造林実施前の禿山崩壊地の展望。場所は瀬戸内（岡山県玉野市堀切）の花こう岩地帯。（植村）

⑰法切り階段工を施し、階段上にフサアカシアを直播きした造林実施後6ヵ月目の景観。画面の左半分は根粒菌接種区で、左半分が根粒菌接種区である。（植村）

⑱造林後1年半目の景観。左半分の根粒菌接種区では、平均樹高387cm、平均直径4.6cm、右半分の根粒菌無接種区では平均樹高268cm、平均直径3.3cm。材積で接種区は、無接種区の3倍強の生長がみられた。（植村）

⑲造林後3年半目の景観。左半分の根粒菌接種区では、平均樹高546cm、平均直径7.0cm、右半分の根粒菌無接種区では平均樹高452cm、平均直径5.5cm。両試験区が近接しているため根粒菌の移動のため両区の差が縮小したが、材積で2倍の生長差がみられた。（植村）

⑲秋おちた新鮮な落葉に土壤中の菌糸がはいり地表におちばをつなぎとめる。この菌は低温多湿条件で活動する。（小川）

⑳鮮やかな色をしたハリガネオチバタケ。マツの葉を分解して白くくさらせる。梅雨季にきのこが群生する。（小川）

㉑ブナの実につくウスキブナノミタケ。実をくさらせる。1つのブナの実から必ず1本でてる。（小川）

㉒針葉樹の材をくさらせるスギヒラタケ。材を白くくさらせ、秋にきのこをつくる。ミツ汁により、トビムシが好んでつく。（小川）

㉓コメツガの林に発生する菌根菌、フサクギタケ。  
*Gomphidius tomentosus*、下層の中に生息する。（小川）

㉔フサクギタケがコメツガの根につくった菌根。菌糸が根を完全につつま。根は菌がつくと、刺戟されて枝分れし、数年のびつづける。そのために菌根はサンゴのような形になる。（小川）

㉕菌根を切って顕微鏡で見るところ。外側の小さい細胞は表皮、大きい細胞は皮層。白い菌糸は表皮をおおい、皮層の細胞の間に侵入している。（小川）

㉖フサクギタケの菌糸の束。菌糸束で根から根へと広がり、菌根をつくる。細い菌糸が集まって束になり、表面にかざりを作り、内部は植物の根のように発達している。（小川）

Kubota

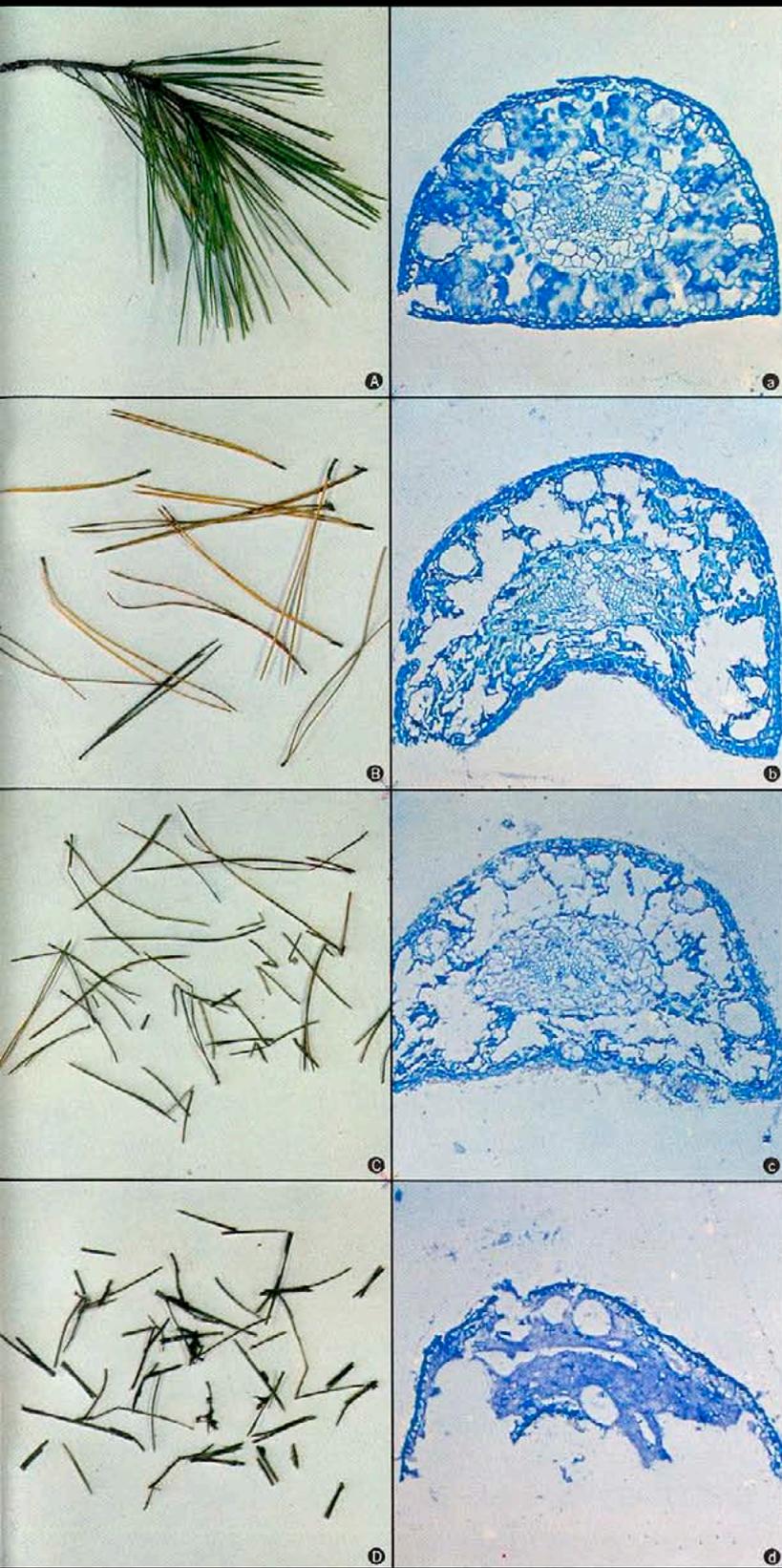
## 目次

### 特集 = 森林土壌の生態

1 落葉と人間 堤利夫	2
2 森林土壌の生きもの	
きのこ 小川眞	4
カビ 石井弘	8
バクテリア 仁王以智夫	10
土壌動物 渡辺弘之	14
・根と微生物	
菌根 小川眞	18
根粒植物 植村誠次	22
3 座談会 森林・その土壌と植生をめぐって	
土壌と植生の相互作用<東北日本を中心に> 山谷孝一	26
森林における水のはたらき<土壌と植生を中心に> 有光一登	32
土壌生物のはたらき 小川眞	37
森林における物質循環 堤利夫	44

### 鉄管事業部

中間スリーブ管による長スパン推進工事	52
環境装置事業本部	
クボタムービーフィルター	54



落葉が分解していく過程を撮影したもので、左側が外観、右側がその横断面の顕微鏡写真。材料はアカマツである。一番上は生きている葉とその横断面である。かたく厚い表皮系の内部に葉緑粒を含む葉肉があり、中心に葉脈がある。葉肉にある丸い大きな空隙は樹脂道である。落葉して地表に落ちた比較的新鮮な落葉は、外観上変化が目立たないが、微生物などが働いて、まず柔らかい葉肉部分が分解される。これが上から2番目の状態である。さらに分解が進み、葉はいくつかの細片に分割される。この時期は葉脈を残して表皮系も次第にうすくなり、形は次第にくずれていく。一番下はこの過程がかなり進行した状態で、土壌に混っていく過程になる。(堤・写真提供とも)

なおNO.13号表紙カラー

は、林業試験場発行<林野土壌断面図集2>より。

発行所 = 株式会社クボタ

大阪市浪速区敷津東1丁目2番47号

発行日 = 1977年3月

第6刷 = 2002年3月

編集製作 = (有)アーバンクボタ編集室

印刷 = 大日本印刷株式会社大阪工場

主要図版作製 = 巧凡社

# 落葉と人間

堤利夫 = 京都大学農学部教授

落葉は土壌と植生を一つに結ぶ

いまは紅葉のシーズンである。紅、黄、褐色と様々な色彩で人々を楽しませる紅葉も、やがて葉は落ちつくし、山は、新しい落葉のフトンを着て冬を迎える。落葉となってしまえば、人々の興味をひくことは少ない。街では、しばしば邪魔者扱いである。しかし、森の生きものたちにとってみれば、落葉は、いろいろと大切な意味をもっている。

落葉は、土の中の生きものたちのエサである。落葉を食べるもの、落葉を食べる生きものを食べるものなど様々であるが、地上の動物たちが生きている植物を基礎とする食物連鎖で結ばれているのと同様に、土の中では、落葉その他様々の生きものの遺体を基礎とする食物連鎖で結ばれた生きもの社会ができあがっているのである。土壌生物というのは、バクテリアやカビなどの土壌微生物からトビムシやミミズといった土壌動物もあって、大変多様な生物社会である。その生活史や機能は種ごとに違う。土壌生物が落葉を食べる結果、落葉は次第に腐って分解し無機化され、その中に含まれていた無機養分は、土の中に放出される。植物は、土の中でつくられたこれらの養分を吸収して生活し、年々落葉・落枝をつくっている。

森林では、地表面が落葉でふわりとおおわれているおかげで、土壌の水分や温度の変動が、森林の外部や裸地にくらべて安定している。山で、落葉を上からそとはがしていくと、表面の1~2枚は乾いていても、その下はたつぷりと湿っているのがわかる。落葉のあるなしは、土壌生物の生活環境をきめるうえで大変に大きな意味がある。

また、落葉や枯枝が腐り分解していく過程で、腐植とよばれる黒色の有機物ができる。これは、分解に抵抗的で、かなり長く土壌中に集積し、岩石が風化してできる粘土と結びついて、土の物理・化学的いろいろな性質をつくりあげるのに重要なものである。土というものは、単に岩石の風化したものではない。それに植物の根の作用、落葉・落枝とそれにかかわる土壌生物の多様な作用とが加えられて、土ははじめて

できるのであって、この意味において、土は生きものであるといつてよい。

よく発達した古い森林の表土は、耕もしないのに概して軟らかい。歩くと足が沈むほどである。それは、よい腐植が土粒子を集めて構造が発達し、土に隙間ができているからであるが、土に隙間が多くなると、土壌生物の活動がさかなくなり土が耕されるので、土のふわりとした構造はいつも維持されることになる。このことは、植物にとっても都合のよいことである。

落葉は、植物と土壌とをわかちがたくむすびつけている。土壌生物は、植物のつくった落葉・枯枝をエサとして生活し、植物は、土壌生物のつくる土に依存して生活している。

落葉採取の影響は環境によりさまざまに異なる

植物と土壌とは相互に物質の流れで結ばれているから、一方に変化があるとそれは他方にも伝えられていく。たとえば、毎年、新しく落ちた落葉を採取してしまうと、長い年月の間には土壌も植生も変わってしまう。

落葉は、つい最近までは燃料や堆肥の材料としてよく利用されてきた。落葉を長い間にわたってとりつづけ、さらに薪炭用の樹木の伐採などが加わって、農村周辺の里山は次第にやせていった。里山にアカマツが多いのはこの故である。タイ国東北部などに広くみられる乾燥したフタバガキ科の貧弱な落葉樹林は、毎年乾季にきまって入る野火の影響のもとにできた植生である。野火は、直接火に弱い植物の生育を不可能にするが、同時に地表の落葉や植物を焼いてしまうので、土はやせ、かたくしまってしまう。このことが、この特徴ある景観をつくっているのである。

肥料が化学製品に代り、燃料がガスに代って農用林は不用となり、過疎化で山を見る人も少なくなった結果、里山は現在急速に変わりつつある。マツタケの減少はその一つのあらわれであるという。京都の東山は、かつてアカマツの多い山であった。明治以来、厳重な保護の下で土壌が次第に発達し、シノキやヒノキなどが多くなった。アカマツは今日、尾根筋

などに残るにすぎず、アカマツを育てるのに苦労しているような状態となっている。落葉とそれによって生きている土壤生物のはたらきが、山や森のありようにどれほど重要なかわりをもつかを示す一つの例である。

温帯の落葉樹林では秋に落葉がおこり、つづいて冬の低温期に入る。こうした低温期には土壤生物も植物も、その活動をほぼ休止している。春、気温の上昇とともに植物が葉を開き活動を開始すると、土壤生物の活動もさかんとなり、夏を経てつぎの秋を迎えることになる。南に下るに従い冬の寒さが緩和されてくると、土壤生物の活動も季節性がうすれてくるが、同時に植物の方も常緑となる。季節性に極めて乏しい熱帯の降雨林では、明らかな落葉期というものがなく、いつも同じぐらいの落葉がおこっているという。森林とそれを取りまく環境の違いに対応して、植生と土壤(直接には土壤生物)は、うまく調和できる形で変化しているようにみえる。

日本の山地は地形が複雑で、季節の変化もはげしい。だから斜面での環境は多様となり、植生は複雑で植物の種類も極めて多い。局地的にみても、谷筋と尾根筋、南斜面と北斜面で、樹木の分布・生育は同じではなく、土壤の性質もまた違うのである。一口に山の緑といっても、その緑の森の内容は、決して一様ではない。環境の違いに応じて植生と土壤の関係、つまり両者の結びつきかたが一様ではないとすれば、たとえば落葉採取や森林伐採の影響のあらわれ方も、一様ではありえないことになる。

#### 生物的自然と人間

人間社会の発展は、必然的に自然を改変する。自然を自然のままに放置することが許されないとすれば、自然の合理的で賢明な管理を目指すことが必要である。自然の生態系が成りたっている生物学的な自然科学的な法則性と、人間の社会的経済的な法則性とが、今日、使いうる技術の下でうまく統一されることが必要であるが、現実には、経済が優先し、その重圧の下で自然の法則性が押しつぶされているかにみえる。高度経済成長にともなう環境破壊はいうに及ばず、森林につい

てみても、悪名高い森林の大面積皆伐はその顕著な例である。農業生産もまた、生産性の向上のため、育種、肥料の多投などが行なわれてきた。堆肥などの有機質肥料から化学肥料に肥料が代ったことは、生物学的に重要な意味がある。有機質肥料は森林での落葉に相当しており、その施用によって土は育ち、成熟してきたのである。土づくりが米づくりの基本であった。しかし考えてみると、植物が必要とするものは土の中で無機化した養分であって、有機物そのものではない。植物は、無機の養分と水とがあれば土がなくても育つ。土をつくり維持するという仕事は、厄介で時間と労力がかかる。それより植物が必要とする肥料を化学製品で与える方がずっと能率的で管理しやすい。堆肥から化学肥料への変化は、農業の「土ばなれ」を意味すると思う。作物を土から切りはなし、より人工管理の度を強めることになる。この場合、土は単に作物が肥料を吸収するための物理的な場であるにすぎない。もともと、単一作物の画一的栽培という形で生物相を単純化しているうえに、さらに土を切りはなししてしまえば、系は極めて単純化される。その結果、系は不安定となり、その保護管理のために農薬が多投される。収量を倍にするには、10倍の肥料と農薬を使わねばならないという。このことは、資源とエネルギーの消費を拡大し、環境を汚染する。森林においても、スギやヒノキの人工林の育成は、農業と同じ方向をもっている。

自然に加える人間の干渉は、その環境における生物的自然の改変としてあらわれる。その改変が生物的自然の破壊につながる度合いを、今日では無視するわけにはいかないのではなからうか。複雑で多様な自然の生態系は、それ自身で安定し人間も含めたいろいろな生物の環境を維持してきた。自然は、自然であるからこそ私たち人間の環境として大切だと思うのだが、人間と自然との関係が正しく樹立されてゆくためには今日では、自然の、とりわけて生物的自然の生活のしくみについての理解がまずなければならないと思う。

森林土壌に生活するほとんどの微生物は、顕微鏡によらなければ見えない。微生物のうちで肉眼に見えるのは、地衣類、藻類の一部ときのこの仲間ぐらいのものである。きのこというとマツタケやシタケを思いうかべるが、いわゆるきのこは、比較的進化したといわれているカビの仲間の担子菌類や子のう菌がつくる生殖器官である。植物の枝・葉・根などに相当する本体は、土壌中や材の中あるいは根の周辺などにひろがっており、地表からは見えない。

きのこ狩りといえば、山や森へ出かけるものときまっている。なぜ、きのこは山に多いのか。当前とってしまえばそれまでであるが、ここには、森林の微生物社会を理解する糸口があるように思われる。きのこが多いということが森林微生物社会の特徴であり、きのこが繁殖できるような生態系が森林生態系であるといえる。

きのこ類とその生活史

きのこ類には様々な種があり、わが国のものだけでも4000種を下らないといわれる。そのうち名前がついているものは3割程度という状態である。栽培種、食用種の類は世界でもっとも多いが、たべるに忙しく、研究はなおざりにされてきた。したがって、その性質や役割がくわしく知られているものは少ない。

きのこといえば、傘形のものというイメージがつよい。かさの下がひだのもの、あみ目のもの、

穴のもの、じくにつばのあるもの、基部にふくろのあるもの、かさの表面にイボのあるものなどじつにさまざま、この仲間をマツタケ目という。ヒダナシタケ目というもある。これは主にサルノコシカケなどのかたい菌の仲間、穴やはり状の所に胞子ができる。また、キクラゲのようにゼリー状のもの、ホウキタケのようにサンゴ状のもの、ウスタケのようにラッパ状のものなど、担子菌類とよばれるきのこの仲間にはいろいろな形がある。一方、子のう菌とよばれるものには、チャワンタケ、ピョウタケ、ヘラタケなどの仲間があるが、大形のものではなく、小形の目につきにくいものが無数にある。

きのこ類は、他のカビにくらべると世代の交代を規則的に行っており、減数分裂をへて1核(n)の胞子をつくる。胞子から発芽したnの菌糸は、融合して2nとなり、きのこをつくる。nや2nの菌糸のまま厚膜胞子などをつくることもあるが、他の下等なカビほど頻度は高くない。不完全菌や藻菌のようなカビは、簡単に多量の胞子を生産してばらまくことができるが、きのこ類の場合は、一度きのこを作るという手間がかかっている。胞子を作りにくく、胞子が発芽しにくくなっているものもある。きのこの形も腹菌類に入るキヌガサタケのように複雑に発達しており、地中の菌糸もカビにくらべて格

段に進化している。そのために、きのこ類のことを高等菌類ともいう。

きのこの生活 土の中の菌糸

風、水、動物の身体、排泄物などによってはこぼれた胞子は、空地があれば、定着して新しいえさととりつき、糸状の菌糸をのばして繁殖する。胞子が発芽繁殖するには、その種が好むえさがあり、水や空気の状態が望ましくなければならない。発芽生長しても動物にくわれたり、他のカビや細菌におそわれることもあり、他の種とえさのとり合いに負けて死ぬこともある。微小の世界にもはげしい競争がある。生き残ったものは、自分の領域をひろげながらえさの中や表面にひろがり、ついで周辺になわばりをひろげる。

きのこ類の菌糸は、アナストモシスといって互いに橋をかけ合って連結しながら広がることができる。菌糸は放射状に拡大するのが基本であるが、糸がもつれるようにより合つて束になることもある。もっともよく発達したものはナラタケの根状菌糸束のように、エナメルのような外皮と内部の組織および空洞をもち、あたかも植物の根のような菌糸の束にまで発達する。こうなると外敵にはつよくなる。この仲間には、オチバタケ属のような特定の落葉を分解する菌や、特定の根に菌根をつくるテングタケ属、ベニタケ属、チチタケ属の菌などがある。あちこ

図1 - きのこの生活史

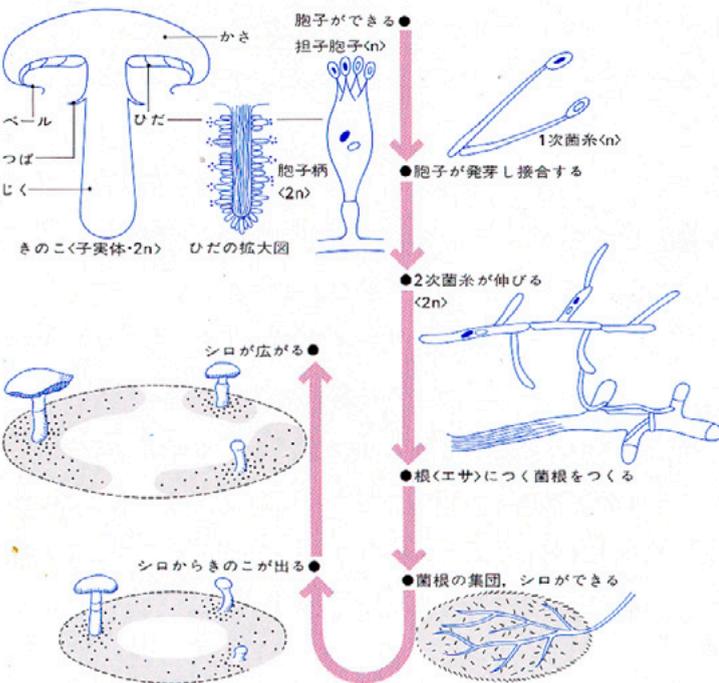
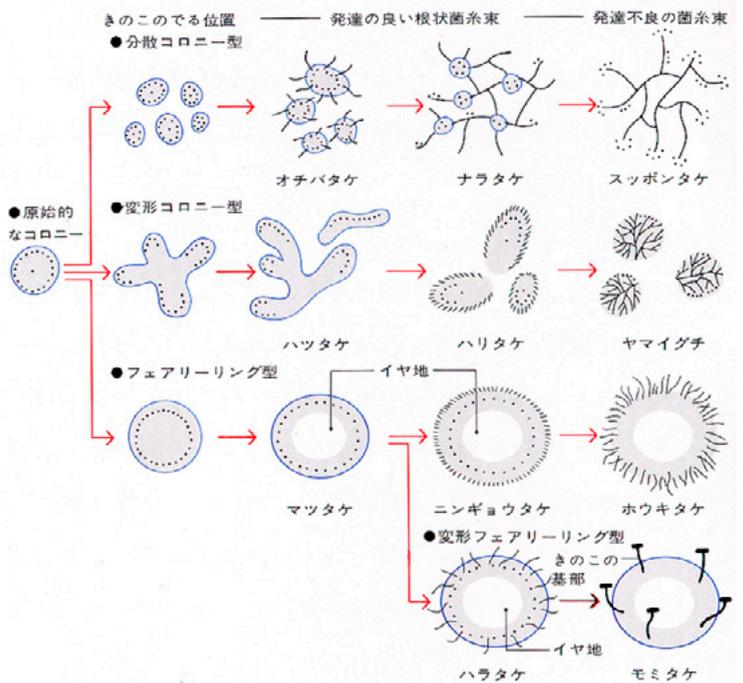


図2 - 自然界での菌糸集団<シロ>の形と進化過程



ちに分散しているえさを利用するには、どうしても発達した菌系の束をもっていなければならないのである。

菌系の束がさほど発達しないものにはイグチの仲間があるが、この多くは菌根菌である。菌系の発達が比較的わるく、明瞭な菌系の束をつくれないもの、例えばホウキタケの仲間などは、好むえさが一様に分布している所にだけ広がるか、またはえさの量を自らふやす性質がある。菌系の発達のわるいハラタケは、草原で草の根が一樣に分布する所に巨大な輪を作って生息する。同じような性質をもつマツタケは、マツの根の生長を刺戟して自分の繁殖方向に合せて増加させ、えさを得ている。また、発達しない菌系をもった菌がつくる集団(これをシロという)は、その内部から敵対する他の微生物を追い出して繁殖するという排他性を示す。マツタケは菌根から出る抗生物質によって、ハラタケやオオホウライタケなどはその菌が生産する抗生物質によって、カビを追い出すといわれている。このように、きのこが環状に発生するのをフェアリーリング(妖精の輪)という。日本では天狗の土俵ともいわれる。妖精が輪になってダンスをしている様子に似ているからとも、妖精がダンスをしてふみつけた跡であるからともいわれる。ハラタケのフェアリーリングの中の草が枯れて黄色くなっていることが多いからである。

きのこに限らず微生物一般にあてはまることかもしれないが、菌は種独自の集団を作り、まとまりと排他性を示して、その生息領域を押し広げようとする傾向をもつが、きのこ類ではとくにその性質がはっきりしている。また、このような性質があるからこそ、土や材の中に多年にわたって生息することができる。

きのこのはたらき  
くさらせる

きのこは他の微生物と同様、生きた動植物、死んだ動植物のすべてについて、腐生・共生・寄生などの生活を営んでいる。また時に、人間を含む動物のえさとなる。さらに人間は、きのこから薬品や酵素をとりだしたりするなど、きのこのはたらきはきわめて大きい。

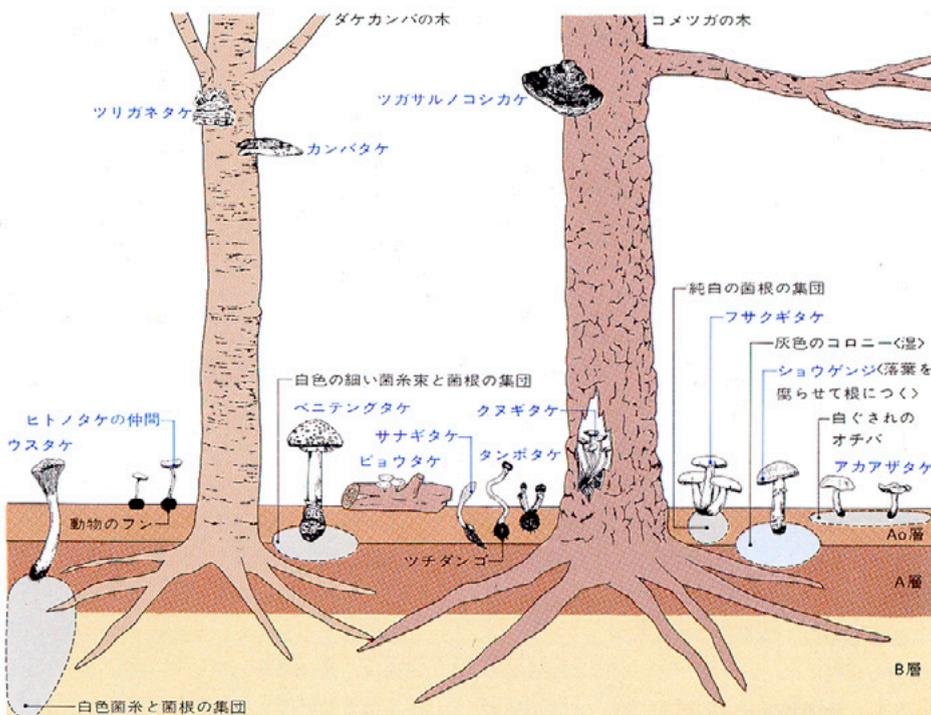
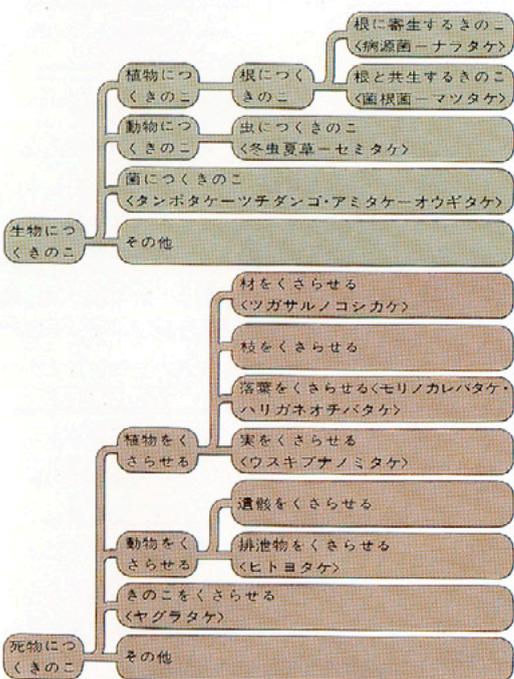
きのこが、落葉・枝・材・実などをくさらせるのはよく知られている。植物質の中のリグニン、セルロース、ヘミセルロースなどの難分解物は、ほとんどのきのこの仲間によって分解される。落葉をくさらせる菌、モリノカレバタケ、ワサビカレバタケ、ハリガネオチバタケなどは、落葉を重量にして50%以上も分解することができる。いずれもリグニンを分解する白色くされである。このような落葉や枝をくさらせる菌は下層で広がり、次々と落ちてくる葉を菌系でつないでくさらせ、何年も1ヵ所に生息する。場合によると6~7cmぐらいの厚い菌系の層をもった大

きなシロをつくる。このほか落葉をくさらせる菌は無数にあり、例えば、ヒサカキの葉、スギの葉だけにつくというように好みがきまっているものもあれば、落葉から落枝まで広く分解できるものもある。やわらかなカホン科植物の葉や茎などをくさらせる Discomycetes のような小さなきのこもある。えさの種類が限られているものは、菌系のまとまりも小さく、きのこも小さい場合が多い。

材を分解する菌は、時に樹木がまだ立っている間に幹をくさらせ始めることがある。ツガサルノコシカケ、ツリガネタケ、カワラタケ、カイガラタケなどのいわゆる硬質菌がその主役である。材のくされでは、白くされと褐色くされが明らかである。針葉樹には、どちらかといえば褐色くされが多い。この仲間も多年生で、何年もかかって材をくさらせる。菌系の発達はさほど良くない。やわらかいきのこの中にも材をくさらせるものは多く、シイタケ、ヒラタケ、エノキタケ、マイタケなどの食用菌からオオホウライタケのような有毒菌までさまざまである。この仲間では白くされが多い。材をくさらせる菌も、えさに対する好みを示す。食べるほどい下痢をするツキヨタケは、ブナだけに生える。有毒のニガクリタケは落葉樹の材に、スギエダタケはスギの枝だけにつく。

天然林では地表面積の30~40%が倒木や枝でお

図3 - きのこのはたらき



おわれており、これらの倒木は、ほとんどのこ類によって分解され、カビやバクテリアは僅かしか検出されない。そしてきのこによって分解された倒木の上に若木が生長する。したがって森林の場合、きのこが材をくさらせるはたらきは、物質の循環だけでなく森林の更新にも有効であるといえる。落葉でも材でも、腐朽が進行するにつれて菌の種類が交代し、いわゆる菌のサクセッションが現れる。一つのものがくさるにも、多くの菌が関与している。

実や皮だけにつく菌もある。ブナの実に特異的につくウスキブナノミタケが時に大発生する。ブナの実は、この菌に分解されてきえる。ヒノキの実やマツカサにだけつく菌もある。果実や果物の皮を山の中におくと、ペニシリウム、ケカビなどが大量に発生する。食べやすい糖やアミノ酸は、生長の速いカビに先にとられ、きのこはその残りをくさらせている。

このほか動物の排泄物にも特異な菌がでる。ウサギ、シカ、リスなどの糞によって、それぞれでる菌はちがっている。また、糞が新鮮な間はケカビなどのカビが、次いでビヨウタケのような子のう菌やヒトヨタケのようなきのこもでる。糞が古くなるのにつれて菌が交代して、分解がすすむ。

山に豆腐を置いたり魚を置いたりして、それが分解する様子を調べた人がいる。そうすると、普通にはみられないきのこがでてくる。動物の遺体や蛋白の腐敗にもなってでるものもある。尿や尿素をまくと、小さなきのこが無数にでた。この人は、それをイバリタケと称した。自然に分解が進行する過程を人為的に動かしてみると、分解過程が大きく歪められて、変な菌が多発する。焼跡などに、焼跡特有の菌がでるのもそのせいである。

それからまた、地上のきのこや地中の菌糸もくさる。ヒトヨタケのように、短時間でドロドロにとけてきえる自己消化が著しいものもある。ヤグラタケのように、死んだクロハツのかさの上に生えてくさらせるきのこもある。マツタケの土の中の菌糸は、モルティエラというカビによって分解される。このように、きのこは、きのこ・カビ・バクテリアによって分解されてゆく。

生きものに、つく・つかれる

動物の病気には、バクテリアが原因になるものが多い。緩慢に生長する植物では、カビが病原

になりやすい。きのこが病気のもとになることは比較的少ない。その中でもナラタケは面白い。北海道の人たちは、ポリポリと称してこの菌をたべる。この菌は、普通は材をくさらせるが、カラマツなどの病気のもとにもなる。ところが無葉緑のランにつかまると、菌根になってランにくわれるという3態の生活をしている(菌根の項参照)。硬いきのこやきのこに近い半担子菌の仲間には、病原となるものがある。

冬虫夏草というものがある。これは、昆虫や幼虫などに子のう菌がついたもので、冬は虫で夏にはきのこになるというものである。例えば、セミの幼虫は土の中で菌糸にくわれ、くいつくすときのこが地上にでる。この仲間もかなり多い。逆に虫にきのこが食べられることもある。キノコバエの仲間は、きのこの基部に卵をうみつけ、きのこがくさるとサナギになる。トビムシもきのこのヒダや胞子を食べる。土壌中の菌糸が虫に食べられることも多い。リスやノネズミなどは、よくきのこを食べる。春先のえさがないときには、土の中にできるツチダンゴやシヨウ口の仲間をほじくって食べる。北極のリスは、夏にきのこをくいだめしている。シカもきのこが好きで、アメリカマツタケはよくシカのえさになる。

きのこの仲間が生きた植物につく例としては、菌根がある。外生菌根をつくる菌は、大部分きのこの担子菌である。寄生から共生にわたる生活をするものが多く、きのこの60%位は菌根菌であろう(この部分は菌根の項参照)。

きのこの分布と競争

マツ林の中にワクを置いて、きのこが発生してくる位置を約2年間記録したものが図4である。林は70年生、尾根で、古くはマツタケを大量に発生した山である。今は落葉の層が厚くなり、細根はF層の中にネットのように広がり、A層以下に若い根はほとんどない。マツタケの発生もとまり、他の菌が繁茂しはじめている。きのこの出た位置をつづっていくと、きのこの生息範囲が島状に見えてくる。マツタケとホウキタケは大きな輪になっており、永年住んでいたことがわかる。他のきのこは、ほとんどA層に生息して菌根をつくったり、落葉を分解したりしている。林の地表のほとんどが、きのこのすみかであらうとみられる。各々の菌は、菌糸の層をつくり、同じような生活をす

葉をくさらせる菌とホウキタケはかさなって広がるが、土の中にシロをつくるマツタケとホウキタケは、決してまじわらずすみわけをしている。このような菌のなわばりとすみわけは、カンバ林、ツガ林、クロマツ林など多くの林で見られ、きのこが植物と同じように地中にかさなり合って分布していることがわかる。きのこが少ない所では、おそらく、カビやバクテリアが同じようにそのなわばりを守って生息しているはずである。

図4にみた林のように、きのこが多くなるにはかなりの年月が必要である。マツ林でも若い時期にはアマタケ、ヌメリイグチ、キツネタケなどが多く、菌根菌の中でも若い林の種類が優先する。ついで、根の量がふえ、土壌が成熟しはじめると菌根菌がふえ、マツタケやホウキタケがでる。次の段階では、ハツタケ、ペニタケ属などがでる。さらに林が古くなると、落葉分解菌や腐生的な能力のつよい菌根菌、ニンギョウタケ、シロカノシタ、テングタケの仲間、チチタケ属などが出てくる。次第に土壌は変化し、菌の種類も若い時代と全くことなり、林が崩壊する頃には菌根菌も減少する。ただし、これは断片的に種々の林の菌類相をつないだ話であって、60~70年の長期にわたって観察した結果ではない。

尾根から谷のような地形に応じて、きのこの分布は違っている。マツ林についてみると、尾根では乾燥を好む寄生的な菌根菌が優占する。マツタケモドキ、シシタケなどである。中腹になって落葉がたまるにしたがい、腐生性菌が増える。菌根菌でも共生的な性質の菌が多くなる。谷では、湿性を好む菌、腐生性の菌が増える。水ゴケの中などにはミズゴケタケなどがでるが、全般にきのこの量は減少する。すなわち、モル型の土壌ではきのこが多く、モダー型、ムル型になるに従ってきのこは減る。したがって、発生しているきのこをみることによって、その土壌が年を通じて湿性か乾燥かを知ることができる。同じコメツガ林でも、湿性の土壌ではシヨウゲンジが、乾燥の土壌ではハリタケ属がでるというように、指標性も高い。きのこの個々の生態的な特質を知っていれば、ある林にできるきのこのリストとその頻度をみることによって、表層土壌の状態を推測することもできる。きのこを使うことによって、その林の微生物相を表現することも不可能ではない。

きのこと人間のかかわり

きのこと人間のつながりは、食べることだけのように思われがちである。事実、食用菌の消費量はぼう大である。きのこは完全に食生活にとけこんでいる。野生のきのこもよく利用されている。

しかし眼につかないところで人間は、想像以上にきのこに干渉してきた。マツタケを見ると、おもしろいことがわかる。マツタケの産額は、明治以降昇りはじめ昭和初期をピークにして戦後低下し、昭和33～35年頃からは下る一方である。この低下は薪炭生産量の減少と比例し、農山村からの人口流出とプロパンガス・石油の消費量と逆比例する。マツクイムシ被害やマツ林の乱伐も、もちろん拍車をかけた。江戸時代のマツタケ産地は、塩業・窯業地帯や大都市周辺であり、その頃の記録では、山は庭のようであったという。ハゲ山が多く、明治から大正には治山事業が盛んとなり、マツの植林が大規模に行なわれた。明治以降の人口増にともなう燃料消費の増加は、アカマツ林をますます広げ、土

壤をやせさせた。マツタケは有機物のない所に生息する性質から、敵の少ないやせ山に広がった。したがって、マツタケは爆発的に増加し、それまでアカマツ林に優占した菌を追いだした。その後、燃料革命と過疎によって山は放置され、下ばえが繁茂し、地表は落葉が厚く堆積し、マツ林ではとくに分解が悪くなっている。

このような土壌にはマツタケは侵入せず、ハリタケ、シロハツなど、やや成熟しはじめた土壌を好む菌がマツタケにとってかわり始めている。日本のどこへ行ってもほぼ同じような状態があり、このことはとりも直さず、日本の低山帯の山が気づかぬうちにマツタケ型の微生物相から別のものに変わっていることを示している。われわれは、きのこのことなど少しも考えずに生活を改善してきたと思っていたが、マツタケの減産という思いもかけない所へその影響が出てきているわけである。

近年、東北地方ではツチクラゲというきのこによるマツの枯損が広がっている。この害は焚火跡からひろがり、菌が円形に広がるとその内部

のマツの根が枯死し、マツも枯れる。このような現象が最近ふえてきたのも、どうやらマツタケの場合と同じ原因によるらしい。古くは海岸林はかっこうの落葉採取地で、どこでもほとんど裸地に近いまでにマツ葉がかきとられていたものである。このような裸地状態では、ツチクラゲは広がりにくい。この菌は、どうやら表層に有機物がたまりはじめ、少し落葉のくさり始めた層ができ、そこに細根が上がってくる時期に好んで広がるようである。その状態で火によって部分的に土が殺菌され、敵対者がいなくなると、簡単に空家をみつめて入りこみ、繁殖することになる。いずれも人間の生活の変化が、きのこに与えた影響だといえよう。この他に放牧をしたり、農薬をまいたりしても、きのこの社会は大きな影響をうける。表層土壌の採取や流亡は、きのこの住家をなくさせてしまうので、きのこが帰ってくるのには何年もの歳月を要する。きのこは、見かけほどファンタスティックなものではなく、リアルな生き物なのである。

図4 - 菌類発生位置図

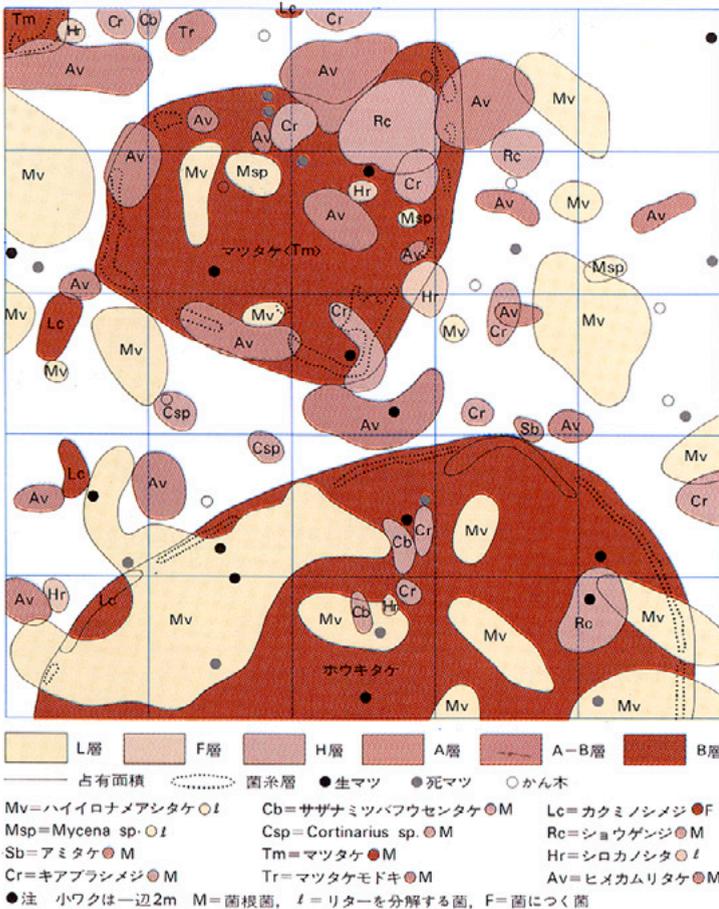


図5 - アカマツ林の斜面ときのこの分布

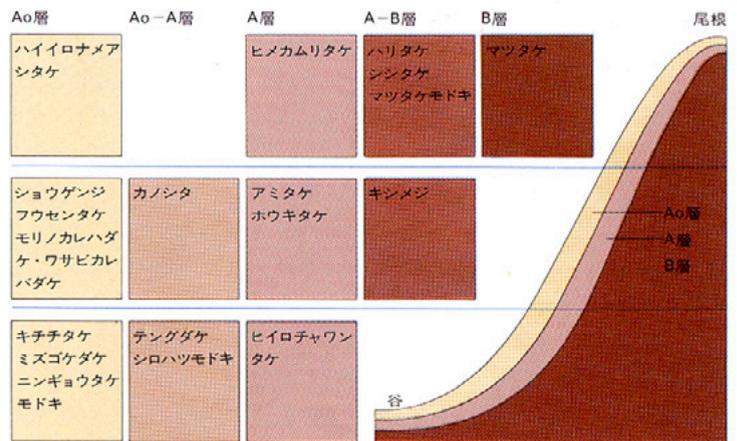
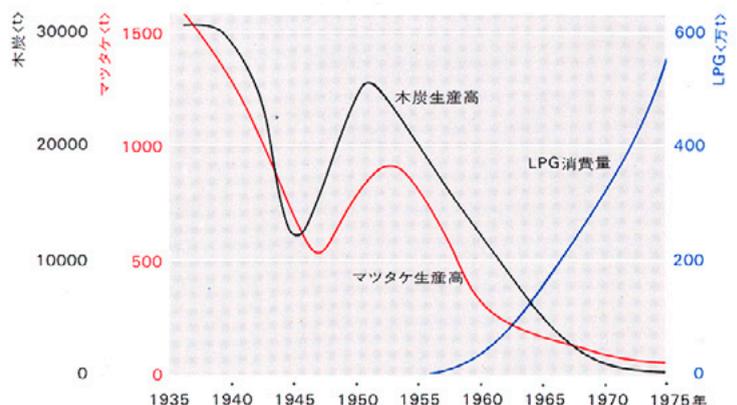


図6 - マツタケの生産高と木炭生産高・LPG消費量との関係



# カビ

石井 弘 = 島根大学農学部助教授

## カビ(糸状菌)

カビとは分類学でいう真菌植物門に属する微生物の俗称である。菌糸と呼ばれる分岐した糸状の体をもつ生物であって、栄養源となる有機物あるいは生きている動植物の表面または内部に菌糸を伸ばしながら、各種の酵素を分泌して有機物を分解し、それを菌体の表面から栄養物質として吸収する。

生殖器官の形成様式の違いから、鞭毛菌、接合菌、子囊菌、担子菌(きのこ、菌根の項参照)、不完全菌に大別されている(図1)。現在、約5,000属、45,000種が知られている膨大な一群である。

これらのものはすべて、土の中を生活の舞台としているわけではないが、カビの生息場所として土壌は見のがすことのできないところである。土壌は、微生物の宝庫であるとさえいわれている。森林土壌では、林木の落葉、落枝、花、果実などの各種リター、森林に生息する様々な動物の遺体、糞および林木の根の分泌物あるいは枯死した根などが、そこに住むカビ類の栄養源となる。また地上部で、主として植物に寄生して生活するものであっても、寄主植物の死後に落葉、落枝に付着したまま休眠状態で一時期を土の中で過ごすものも多い。根と特殊な共生関係をもち、互に必要な栄養物質を供給しあうこともある(きのこ・菌根の項参照)。

菌糸1本の太さは、せいぜい数ミクロンが普通で、完全に顕微鏡的な大きさである。これが何本も集まって束になったもの(菌糸束)や、養分の豊富にある所で自然界ではこうした場所は意外に少なく、全体としては微生物が容易に利用できる養分が欠乏しがちである。菌糸が密に繁茂して集落(コロニー)を形成するようになって初めて肉眼でも識別できる。そのほか、繁殖器官である分生子殻、分生子盤、子囊盤、きのこなどは肉眼でも見つけることができる大きさをもつ。しかし、土の中でカビが活動しているところを直接観察することはできないのが普通で、いろいろな手段を使って間接的にカビの生活を推測しなければならない。

したがって、現在森林土壌に住んでいるカビの生態に関する科学的な知見は非常に乏しい。確かなカビの世界を描けるまでには至っていない。そこで以下には、1~2の方法によってかいまみたカビ社会の側面について述べる。

土壌中には常に、活動中の菌糸と休眠中の胞子

の二つの形態のものが共存している。自然の土壌には、静菌作用と呼ばれる、胞子の発芽を抑制する機能がある。これは、栄養条件のわるいところで胞子が発芽してしまうという無駄を防ぐ自然界の不思議なカラクリと思われる現象であって、胞子は新しく栄養物質が持ちこまれて初めて発芽生長が促される。このため森林土壌のように、人為的に攪乱されることのない土壌中の胞子の密度は、常に、かなり安定した一定のレベルに保たれている。

一定量の土壌をとり、滅菌水で希釈液を作り、栄養寒天培地に注入して培養すると、主として接合菌、不完全菌に属する種類の休眠中の胞子が発芽、生長して、それぞれがコロニーを作る。この数を算えて、乾土壌1g当たり換算したものがいわゆるカビの菌数である。この菌数をいろいろな森林の土壌について調べてみると(表1)、これらの種類の分布のしかたに一定のパターンがあることが認められる。

## 土壌中の垂直分布

森林土壌では、その表層に林木の落葉、落枝が堆積する。これがカビを含む、各種の土壌動物、微生物によってしだいに粉砕、分解されながら、分解によって生じた代謝産物や分解残渣が化学的にも変化しながら鉱物質土層へ浸透していく。すなわち、微生物の栄養源である有機物質、量ともに表層から下層へ向かって減少した分布を示す。土壌中の酸素濃度は表層から下層へと減少し、逆に炭酸ガス濃度は増大する。おおまかにみると、どんな森林の土壌でもこの2点では共通している。したがって、他栄養的・好気性のカビ類の垂直分布は、同じように表層から下層へ減少の傾向を示す(図2)。

つぎに、カビの種類別にみるとどの種類も同じ傾向を示すことはなく、種類によってそれぞれ住み場所に好みのあることがわかる(図3)。

林床の一番表層には樹木の葉の形をそのままに残した未分解の落葉が見られるが、それらの落葉には、葉が生きていた時から生息している種類が多くみられる。分解が進んで落葉が細片化したつぎの層(F層)になると、それまでみられた種類はしだいに姿を消し、土壌中に普通よくみられる種類が多くなっていく。鉱物質土層になると、さらに、そこに特有の一群のカビが現れる。カビの類は酸素の多い所を好むので、どんな種類も深くなると急激に少なくなってしまう。以上は、土壌中の胞子の分布からカビの分

布を推測したものであるが、土の中の菌糸の量を測定してもほぼ同じ傾向があることがわかる(表2)。菌糸だけでは種類の区別は一般に困難なので、この場合には、種類ごとの特徴は知ることができない。

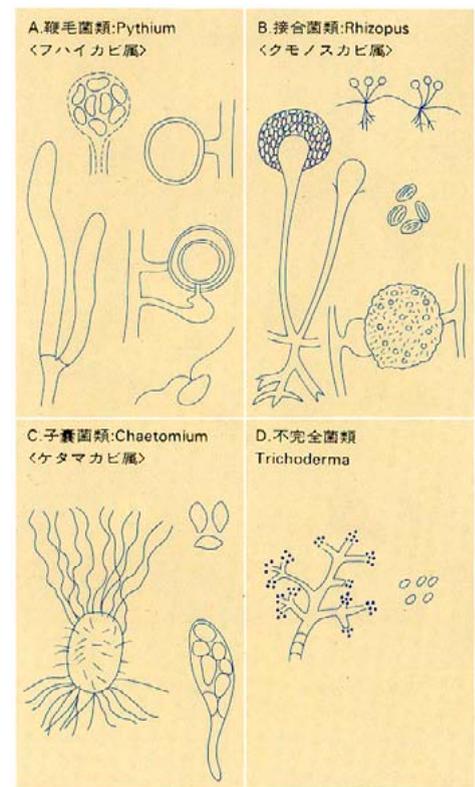
## 一つの山地斜面とカビの分布

山の一つの斜面を土壌の性質からみると、尾根から谷へ向かって、いろいろな点で変化が認められる。この土壌環境の違いと平行して、そこに住んでいるカビの社会にもおのずと変化が認められる(図3)。これから、乾性を好むカビと適潤性を好むカビがあることがわかる。またそうした変化になんの影響も受けない種類もみられる。

## カビの重要性

土の中の有機物の分解で、カビの類がどの程度のウェイトを占めているかということは、各種微生物の定量がいまのところ不可能なこと、それぞれの働きを区別して測定することができないことなどの理由から、まだ確実な証拠はえられていないが、森林土壌では、各種の微生物のうちでその役割が最も大きいことは、様々な観察例からみても間違いなさそうである。

図1



<Gilman, 1957 による>

図2 - 糸状菌数の垂直変化

<石井, 1970>

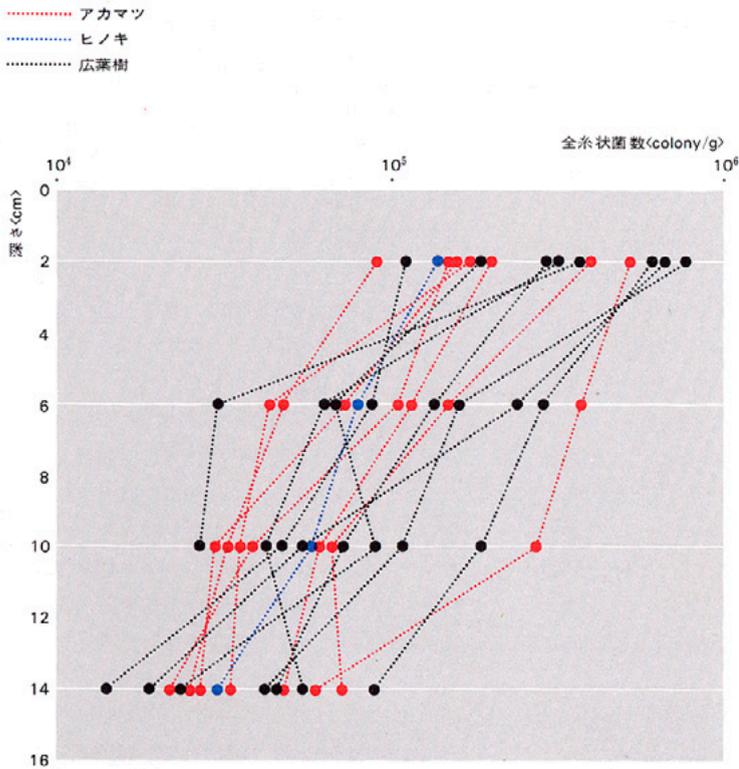


図3 - アカマツ林土壌における糸状菌の垂直分布

<石井, 1972>

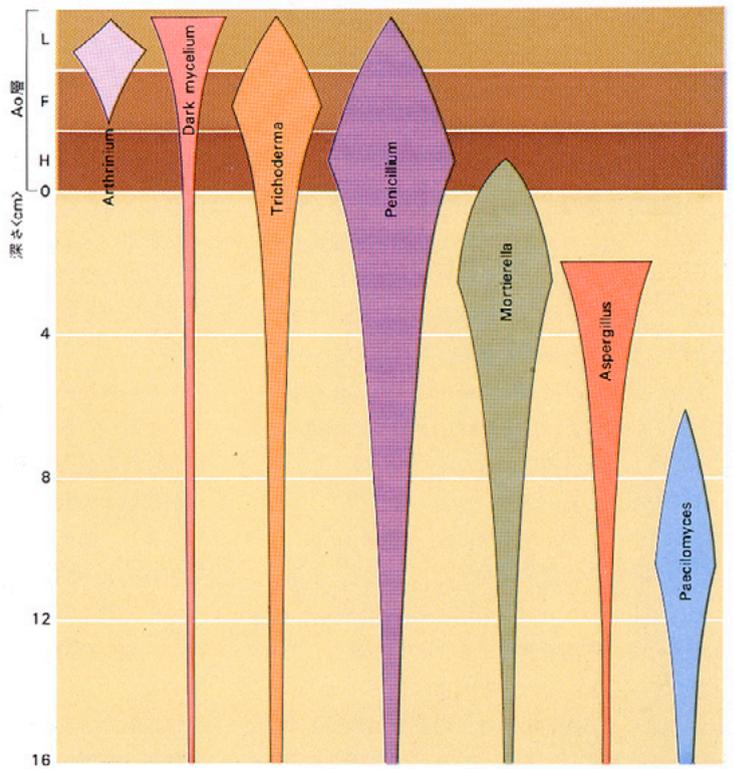


表1 - 各種森林の糸状菌数<0 - 4 cm>

<石井, 1970>

単位 =  $\times 10^3/g$

樹種	平均	最大-最小値
ヒノキ	155	251- 55
スギ	271	549-109
アカマツ	397	1595-137
クロマツ	444	582-365
カラマツ	522	578-465
落葉広葉樹	499	757-355
常緑広葉樹	444	740-108
落葉・常緑広葉樹混交	460	621-299

図4 - 一斜面における糸状菌の分布：落葉広葉樹林

<石井, 1974>

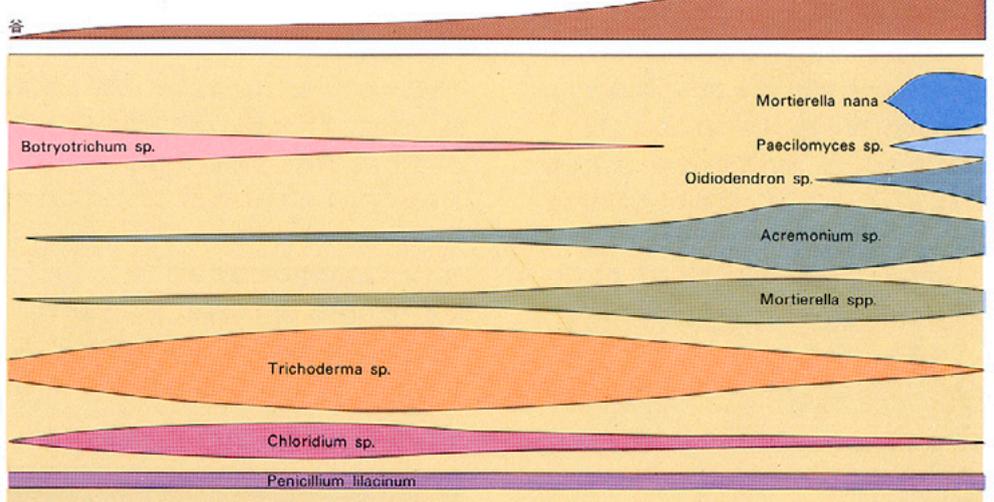


表2 - 土壌中の菌糸の長さ<m/g>

<Widden & Parkinson, 1973による>

層位	バンクシアマツ林	レジノサマツ林	ストロースマツ林	コントーアマツ林
H			210	2699
A <sub>1</sub>	83	184	30	1540
A <sub>2</sub>	49	31	16	351
B <sub>1</sub>	26	15		140
B <sub>2</sub>				
C			18	31

# バクテリア

仁王以智夫 = 東京大学農学部附属愛知演習林

## 細菌 (バクテリア)

細菌は、種々の土壌微生物群のうちでも最も古くから研究の対象とされてきた微生物である。細菌は、2分裂で増殖する単細胞生物で、カビあるいは高等生物のようにはっきりした膜に包まれた核を持たず、ミトコンドリア(注1)のような細胞内諸器官も発達していない。多くは1~2ミクロンの大きさで、1個体の重量も約 $10^{-12}$ グラムで、現存する生物のうちでは最も小さい。しかし、自然界での物質循環に果たす細菌の役割りはきわめて大きく、地球上のあらゆる生命活動は、直接間接に細菌の生活に依存しているといつてよい。それは主として、細菌のもつ次のような特質による。

### (a) 巨大な数と高い活性

微生物活動のさかんな土壌には、通常1gあたり $10^9 \sim 10^8$ 個の細菌が存在する。これは、重量にすれば土壌の0.1~0.01%に過ぎないが、かりにすべての細菌を直径1ミクロンの球として計算してみると、その全表面積は3~30cm<sup>2</sup>にもおよぶ。この表面のかなりの部分が外界との物質交換に関与しており、これが即ち活性の高さにも通じる。

### (b) 急激な増殖力

恵まれた条件におかれたある種の細菌は、十数分で2分裂をくり返す。これは計算上では、1個の細胞が24時間後には5,000トンに増加することを意味している。現実にはこのようなことはおこり得ないし、自然界での分裂に要する時間ももっとずっと長い。このような可能性を秘めていることは、条件が満たされれば、どこでも細菌による急速な物質変化が進行する可能性を示している。

### (c) 多様性と適応性

細菌の栄養的性質は著しく多様で、例えば土壌

や水中に生息するごくありふれた細菌であるシウドモナス属のある株は、数百種にもおよぶ化合物のいずれをも炭素源として利用し得る。また他方では、生育に特定の物質を必要とする細菌がある。さらに細菌には、新しい基質(注2)に遭遇した際に、その物質を適応的に分解する能力もある。この時には、それまで存在しなかった新しい分解酵素が作りだされる。

これらの特徴の組み合わせが、自然界での細菌の巨大な力となってあらわれるのである。土壌中には、このような細菌とは形態をやや異にする、放線菌と呼ばれる一群の微生物が生息している。これは、種々の点で細菌とカビの中間の性質の微生物とみなされる(表1)。栄養体は隔壁のない直径0.5~1ミクロンの細い菌糸で生育し、菌糸はカビと同様に分枝する。細菌と放線菌との間は連続的であって、明確に一線を画すことはできない。ミコバクテリウム属では、生育の初期に痕跡程度の菌糸をつくるのみである。一方、最も複雑なアクチノプラネス属では、菌糸より胞子のう胞子を生じて増殖する。放線菌は有機栄養生物で、多様な物質を基質として生育する。脂質、セルロース、キチン、デンプン、タン白質を分解する種も多く、ことに自然界でキチンの分解にあずかる微生物の大部分は放線菌である。

土壌微生物学としては、微生物群を細菌、放線菌、カビの3群に分けるのが普通であるが、細菌学的には、放線菌を細菌の一部として扱うこともよく行なわれているので、ここではこれを一括して扱うことにする。

### 森林生態系の中の細菌の分布

従来一般的には、森林生態系、特に土壌において細菌の占める役割りは、それほど重要視されてきたわけではなく、そこでの主役はむしろ高

等菌類やカビであると考えられてきた。落葉落枝という形で森林土壌に供給される有機物の大部分は、セルロースやリグニンのような巨大分子で占められるが、これらの物質の分解には、多くの場合高等菌類やカビが関与していること、またほとんどの森林土壌がpH6以下の酸性を呈するが、この土壌環境が細菌よりもむしろカビや高等菌類に向いていることなどにより、このように考えられてきたのである。しかし、土壌生態系の微生物的特徴は、森林土壌の型の多様性に対応してさまざまな様相を示しており、これを一般的に論じることはできない。イギリスの著名な土壌学者であるE.Wラッセルは、モル型土壌での有機物分解はカビ主導型であるのに対し、ムル型土壌では細菌主導型であると推定している。表2は、愛知県瀬戸地方の森林表土について、希釈平板法を用いて細菌とカビの数を測定した例であるが、土壌型あるいは森林の種類によって、細菌とカビの比率は非常に異なっている。概して、適潤性土壌の方が細菌の比率は高い。

森林生態系に存在する細菌の数や種類は、その部位によって異なっている。ブナ林で調査した結果によると、全体の半数は表層土壌(0~10cm)に存在している(図2)。生態系の各部位によって存在する細菌の種類にも特徴があるのは興味深い(図2)。植物の生葉には、機能は十分明らかではないが葉面細菌群と呼ばれる一群の細菌がすみついており、この中心的存在はカロチノイド系の色素を生成する桿菌である。一方、土壌層を特徴づける細菌群は、胞子形成菌、多形態性菌、放線菌などである。リッター層は、両者の中間的な分布の型を示すが、これはおそらく落葉が分解してゆく際の細菌相の遷移の中間的段階を示しているものと思われる。

図1 - 真正細菌細胞の主要な構造要素の略図

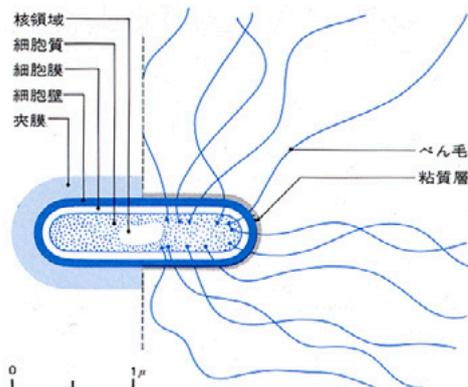


表1 - 細菌、放線菌およびカビの性状の比較

性状	細菌	放線菌	カビ
直径	0.5μ-2μ	0.5μ-1μ	2-10μ
形状	球状, 桿状	桿状-糸状	糸状
細胞内器官	分化せず	分化せず	核, ミトコンドリアなど
主な細胞壁	ムコペプチド	ムコペプチド	セルロース, ペクチン
増殖	二分裂	菌糸の切断, 分生子あるいは胞子のう胞子	菌糸の切断, 分生子あるいは胞子のう胞子

表2 - 森林土壌のカビと細菌の数の比較

土壌	森林の種類	細菌	カビ	比率
乾性土壌	広葉樹・アカマツ混交林	1,380	92	15.0
	ヒノキ人工林	3,550	289	12.3
適潤性土壌	広葉樹林	1,820	41	44.4
	スギ人工林	14,700	7	2100

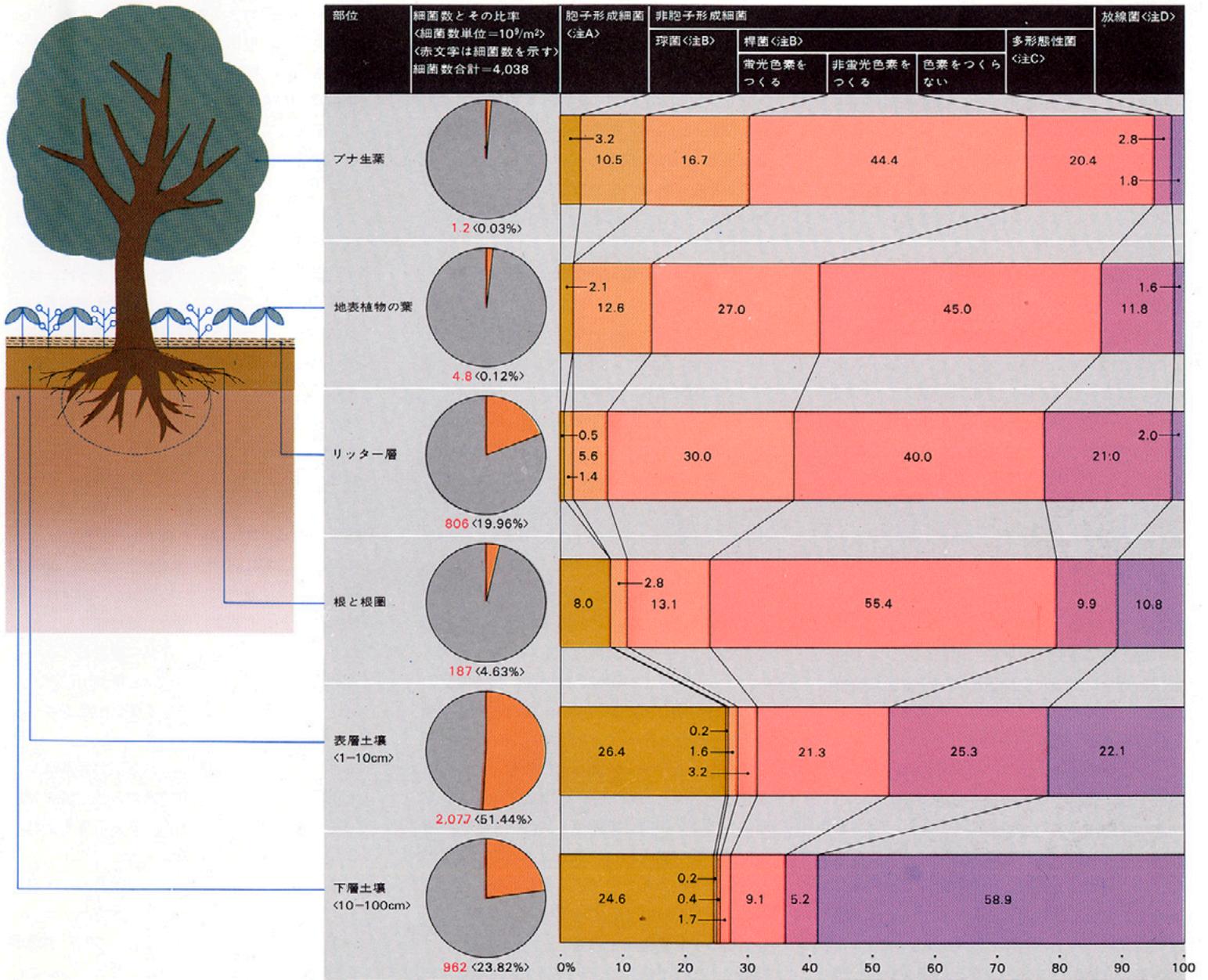
●注 菌数はいずれも×1000/g乾土

注1 ミトコンドリア=細胞顆粒の一つで、細胞呼吸に関係する一連の酵素系をもち、生体のエネルギー生成をつかさどる。

注2 基質=生物によって酸化され、エネルギーを生じる物質の総称。

図2 - ブナ林のそれぞれの部位に生息する細菌数の比較とその種類の割合

<エンセン, 1971 による>



●注A 胞子形成細菌  
生活環の一部で胞子<内生胞子>を形成する細菌。胞子形成能は細菌の中でも限定された属の持つ性質で、好気性あるいは条件的嫌気性菌のバチルス属、絶対的嫌気性菌のクロストリディウム属が有名である。細菌胞子は熱、放射線、薬剤などに対する抵抗性がきわめて大きいので、外界の不都合な環境下においても長く生存し続ける。

●注B 球菌と桿菌  
細菌は細胞の形からいくつかの型にわけられるが、球菌と桿菌は自然界に最も普遍的に存在する。球菌は直径約1ミクロンほどの球状で、一つ一つの細菌細胞が単独に存在したり、2個乃至多数の細胞が鎖状に、あるいは多数が塊状に存在する<図I>。土壌にはスタフィロコッカス属やマイクロコッカス属が見出される。桿菌は形態が棒状あるいは円筒状の細菌で、あるものは細胞の一端や全体にべん毛を持ち、活発な運動をする<図II>。

●注C 多形態性細菌  
生育にともなって球菌状から桿菌状、さらに複雑な形態<プレオモルフィズム>をとる細菌群で、アースロバクター属、セルロモナス属、コリネバクテリウム属などに見られる。土壌を直接検鏡すると球菌状の細菌が観察されるが、この多くは定常期<非増殖期>にあるこの菌群であろうと考えられている。

●注D 放線菌  
説明は本文参照  
a=ストレプトミセス属の菌糸  
b-f=胞子の種々の形態  
<T.Hattori: Microbial Life in the Soil, Marcel Dekker, Inc. New York 1973より>

## 森林土壌に生息する細菌群とその特徴

### 耕地に生息する細菌群のタイプ

耕地土壌(非根圏)を対象とした多くの研究によれば、この種の土壌では、アースロバクター属やノカルディア属のような多形態性細菌が優占種であることが知られている。これらの細菌群は、生化学的活性が低く、生存のために複雑な形の化合物を必要とする。実際には、腐植質を栄養源としているのではないかと考えられ、土壌固有型細菌群と呼ばれている。

一方、動植物遺体などが加えられた時に、これを栄養源として急速に増殖する細菌群がある。これは活性が高く、発酵型細菌群と呼ばれる。この菌群は一時的に数が増えても、基質が消費し尽されるとともにすみやかに死滅してゆく。さらに植物根の周辺(根圏)は、細菌にとってまた特殊な環境であり、そこにも特徴的な細菌群がすみついている。植物根からは絶えずアミノ酸や糖などの有機物が分泌され、また植物の成長にともなって枯死、脱落した根の破片が根の周辺に蓄積する。そしてこれらの有機物を利用する一群の微生物(根圏微生物と呼ばれる)が、根の周辺で活動する。

非根圏土壌で優勢な多形態性細菌がグラム陽性菌であるのに対し、発酵型細菌群や根圏細菌群の中心となるのは、シウドモナス属などのグラム陰性細菌群である。(注3)

### 落葉広葉樹林下の土壌の細菌群のタイプ

それでは、森林土壌に生息する細菌群にはどのような特徴があるのであろうか。オランダの微生物学者エンセンが、北欧のブナ林の表層土壌にすみついている細菌群を調べたところ、種が多様化している時期と大部分が白色のグラム陰性桿菌で占められる時期とがあった。また、筆者が落葉広葉樹林の褐色森林土の表層から分離した細菌の性質をしらべた結果、秋の落葉の時期に中心となるのは、やはり白色のグラム陰性桿菌、ことに細胞の端に一本から数本の長い毛(べん毛)を持って活発に泳ぎまわる細菌群であった。この菌群は、栄養要求性が単純で、ブドウ糖、アンモニウム塩とその他に無機化合物があれば旺盛な増殖を示し、その他の性質とも合わせてみて、シウドモナス属であると考えられた。その他の季節では、種類はもう少し多様で、増殖にアミノ態窒素を必要とする細菌の割合が多かった。これらのことから、落葉広葉樹林の表層土壌と農耕地の植物根圏とは、細菌群の内

容が似ていることがわかる。細菌が生活する場としてみた時、両者とも速度の差はあっても、易分解性の有機物が連続的に供給される一種の連続流動培養系とみなされる。そこでは、供給される基質に対応して一定の性質を持った細菌群の集積がおこる。細菌に対する栄養物の供給源は根圏では植物根であるのに対し、森林土壌ではおそらく表層の有機物層において種々の生物の作用で進行する代謝の中間あるいは最終産物なのであろう。

### 針葉樹林下の土壌の細菌群のタイプ

森林土壌の細菌の型は、針葉樹林では落葉広葉樹林とは全く異なっている。多くの針葉樹林土壌での研究によれば、優勢なのは孢子形成細菌で、その中でも特に増殖のために各種のアミノ酸やビタミン類を必要とするバチルス属の中の数種が優占している。バチルス属細菌の孢子は、環境の変化に対してきわめて強い抵抗力を有し、例えば沸とう水の中でも死滅しない。そしてこの孢子は、適当な環境条件になった時には栄養型に変化して分裂を開始する。北欧のポドソルや泥炭土の針葉樹林土壌でバチルス属が優勢なことから、酸性が強いこれら土壌では、孢子形成能を持つバチルス属細菌が有利であると考えられる。しかし、わが国において、例えば温帯のスギ林で適潤性の褐色森林土では落葉広葉樹林と比較してpHがより中性に近いにもかかわらず、やはりバチルス属が大部分を占めている場合がある。このことは、落葉広葉樹林と針葉樹林とは、細菌の栄養源として供給される有機物の性質が異なっていることを示しているが、具体的にどのような因子が細菌群の優位性に関与しているのかについては不明の点が多い。

### 土壌のチッ素循環と細菌

細菌の中には有機物の分解をおこなうもののほかに、特定の土壌化学的反応に関与するものがある。前者がおこなう分解過程はカビと共通しており、そのどちらが主としておこなうかは土壌環境によって定められる。これに対し、後者の反応にあずかるのは大部分が細菌で、特に植物の生活に重要な意味を持つ無機窒素代謝に関しては細菌の独壇場であるといえよう(表3)。

### 土壌窒素経済に占める硝化作用の意義

土壌をめぐる窒素循環の概略は図3に示されているが、その中でも特に窒素経済にとって重要な過程である硝化作用は、独立栄養細菌である硝化細菌と呼ばれる一群の細菌によってほとん

ど独占的におこなわれる。この細菌群は、増殖のために有機物を必要とせず、アンモニアあるいは亜硝酸を酸化する際に生成するエネルギーで炭酸ガスを固定する。土壌を中心とする生態系が窒素を失う最も主要な経路は、この硝化作用と関連している。アンモニアやほとんどの有機化合物の窒素は還元型で、そのままの形で系外に失われることはめったにないと考えられているが、硝化細菌の作用で酸化型になれば、土壌に吸着されることなく容易に流亡してしまう。また水田などで特徴的に見られるように、嫌気的条件下に窒素が窒素ガスや亜酸化窒素の形で気体として失われる脱窒現象も、必ず酸化型になったのちに進行する反応の結果である。従って、硝化がおこるかどうかは、その系の窒素経済においてきわめて重要な意味を持っている。

### 森林土壌における硝化作用

森林土壌においては、一般に硝化過程はほとんど存在しないと考えられている。硝化細菌の増殖の至適pHは中性から弱アルカリ性であるのに対し、通常の森林土壌は酸性が強く、硝化細菌の生息には適さないためである。図4は、耕地と林地とでの窒素代謝の主要な経路を比較したものである。しかし、詳細に検討してみると、森林土壌の窒素代謝はそれほど単純ではなく、pHが5以下の酸性環境でも硝化細菌が生息していることも多い。

森林の物質収支を明らかにする上で非常に有力な手段となるのが、流域の設定と流量の測定である。ある森林より流出する水の量とそれに含まれる物質の濃度を測定することによって、気体以外の形で系外に失われる物質の量が明らかになる。アメリカのライケンス等がニューハンプシャー州の広葉樹林中に設けられた小流域を用いた研究によれば、森林を伐採することによって土壌の硝化細菌数が急激に増加し、同時に流出水中の硝酸濃度が著しく増した。その結果、伐採前にこの流域から水溶性物質として失われる窒素が年間1ヘクタール当たり4.5kgであったものが伐採により57kgにも達した。この結果は、森林土壌の硝化作用が、単に土壌の酸性という面からのみでは説明できないことを示している。ライス等によれば、森林が極相に近づくにしたがって、土壌中の硝化細菌数は少なくなり、土壌の硝化抑制作用は顕著になるが、これは落葉に含まれるフェノール性物質が硝化細菌に対して阻害的に作用するためという。こ

注3 グラム陰性細菌群 = アニリン色素によって染色された細胞が、アルコール等の有機溶媒で容易に脱色される細菌群。この結果と耐乾燥性や薬剤耐性など他の性質との間には並行関係があるので、この判別法は細菌群の重要な類別法の一つである。

の説に従えば、森林が成長して極相林に達するまでの遷移の過程は、窒素に関していえば、開放系から閉鎖系への変化の過程であり、エネルギーと養分を自己の系の中に保持しようとする傾向であるとみなされる。

土壌型で異なる硝化作用

このような傾向は、土壌型が変わればまた異なっている。硝化抑制が明らかなのは主としてモル型土壌であり、ムル型土壌になると硝化細菌も比較的活発である。表4は、愛知県瀬戸地方のいくつかの森林において硝化細菌数を測定した結果であるが、硝化細菌の数は、植生あるいは土壌型によって大きく異なっている。一般に乾燥型土壌には硝化細菌はほとんどすみついていないが、湿潤型土壌にはこれに比べてかなり多く硝化細菌が存在する。例外はヒノキ造林地土壌で、湿潤型の所にもあまり存在しない。このことは、土壌型や地上植生の差異によって、土壌をめぐる窒素循環の型に本質的なちがいがあつて示している。ムル型土壌、あるいは湿潤型土壌では、おそらく土壌動物や細菌の作用で落葉落枝の分解が活発に進められ、窒素の無機化とそれに続く硝化も盛んにおこなわれるのであろう。これに対して、モル型土壌や乾燥型の土壌では、落葉落枝の分解は主としてカビやきのこが関係する比較的緩やかな過程であると考えられる。これは、かなり閉鎖的な性格の強いものであろう。

このことは、森林生態系への窒素の主要な流入路である窒素固定細菌の分布からもうかがうことができる。表5は、静岡県瀬尻の種々の土壌型の森林の各層位で窒素固定細菌の分布をみたものであるが、窒素固定細菌が生息しているのは弱乾燥から適潤性土壌に限られている。従ってこのような湿潤型の土壌は、乾燥型土壌とは異なって、絶えず系の外部と物質交換をおこなう動的平衡系として理解することができる。ここで再び図4に戻って考えてみよう。窒素代謝の主要な経路の比較において、農耕地の特徴とされている部分は、むしろ湿潤型の森林土壌の特徴でもある。その意味で、わが国のように、比較的近接した場所に異なった種々の土壌型が見出される森林では、ある特定林分の物質循環を知ろうとする際には、その土壌型が示す物質代謝の特徴を十分に把握せねばならない。

表3 - 土壌の窒素代謝と関与する微生物

●主としておこなう ○ごくまれにおこなう ×おこなわない

反応	細菌	カビ
無機化	●	●
硝化	●	○
脱窒	●	×
窒素固定<非共生>	●	×

図4 - 土壌の窒素循環における主要な経路

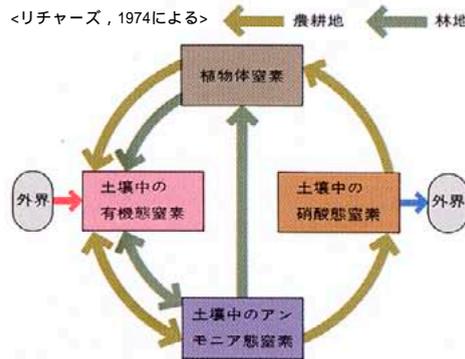


図3 - 土壌中での窒素の形態変化

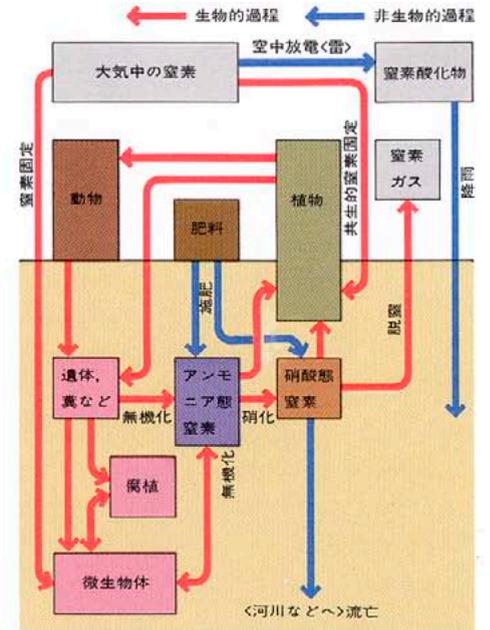


表4 - 森林土壌の無機態窒素量と硝化細菌の数

森林の種類	土壌型	pH	アンモニア態窒素NH <sub>3</sub> -N		硝酸態窒素NO <sub>3</sub> -N		アンモニア酸化菌<乾土1g当りの数>
			<Mg	g乾土>	<Mg	g乾土>	
落葉広葉樹林<二次林>	乾燥型<Bs>	4.2	8.5	0.8	0		
		4.2	13.9	1.7	0		
		4.0	13.7	1.5	0		
		4.6	19.5	0.8	3		
	湿潤型<Bs-Bd(d)>	4.7	14.9	3.5	2,940		
	4.2	6.3	2.1	182			
ヒノキ社令林<造林地>	乾燥型<Bs>	4.4	24.9	1.1	6		
	湿潤型<Bs(d)>	4.1	7.9	0.8	72		
スギ社令林<造林地>	湿潤型<Bs>	5.4	17.6	2.6	1,290		
農耕地<畑, 黒色土>		5.4	13.9	7.8	71,300		

表5 - 森林土壌の窒素固定細菌

<鈴木ら, 1975 による>

土壌型	層位	窒素固定細菌		
		アゾトバクター Azotobacter	バイエリンキア Beijerinckia	クロストリディウム Clostridium
Bs	F	※	※	※※※
	H	※	※	※※※
	A	※	※	※※※
	B	※	※	※※※
Bc	H	※	※	5,600
	A <sub>1</sub>	※	※	30,000
	A <sub>2</sub>	※	※	3,000
Bd	H	※	※	2,000
	A <sub>1</sub>	※	※	30,000
	A <sub>2</sub>	※	※	2,000
	B	※	※	4,300

●注 数字は乾土1g当りの数, ※は10以下, ※※※は1000以下

# 土壌動物

渡辺弘之 = 京都大学農学部講師

土壌動物のかたちと生活のしかた  
土壌動物をミミズ、ダンゴムシ、トビムシなどのように生活史のすべてを土の中で過ごすものと狭義に定義する場合と、土の中で見つかるすべての動物、すなわち一時的に、または発育過程の一時代あるいは数時代を土壌の表面に接触し、または土壌中において生活するものという広い意味で扱うかで、土壌動物のメンバーがちがってくるが、一時期だけでも土のなかで過ごすものも土壌にいろいろな影響を与えるので、現在では土壌動物を広い意味で取扱うことが多い。分類学的にみれば、アメーバ、ゾウリムシなどの原生動物から、モグラ、ネズミなどの脊椎動物の哺乳類まで含まれ、日本でも8門78目、あるいはそれ以上のものが土壌動物として出現する。その大きさは数マイクロンの原生動物から、越冬中のアオダイショウのように2mに及ぶものもある。

土壌動物は、土壌という暗黒で、すきまの少ない多湿な環境に生活しているが、そこは温度・湿度の変化の少ないところでもある。この特殊な環境に適応し生息するのであるから、土壌動物が地上の動物とは異なった形態を持っていることが指摘できる。  
まず、土壌中に孔隙の少ないこと、小さいことから、そこに生息する動物もトビムシ、ダニ、

ヒメミミズ、線虫といった小さなものの多いこと、土壌中の孔隙の中の水や土壌粒子をとりまく水膜の中に生活するアメーバ、ワムシ、クマムシなど水生動物と共通するものが多いことがあげられる。孔隙は、深くなるほど少なく小さくなるので、トビムシやダニなどでは、落葉層や土壌表層に生息するものにくらべ地中深くに生息するものほどからだの小さなものになる。そして土の中の動物の多くは、モグラ、ミミズ、ジムカデ、線虫などのように、からだは細長く円筒形か扁平で、脚は短いかなく、土の中を移動しやすいかたちをしている。昆虫では、飛ぶ必要がないため翅のないものが多い。しかしセミ、コガネムシ、モグラなどは、積極的に穴を掘って移動するので、前肢(脚)が掘穴肢として発達している。光のない暗黒での生活のため、体色は白っぽいもの、地味なものが多く、深層性のジムカデ、トビムシ、ダニなどでは、眼の退化しているものがたくさんある。

その土壌動物の生活様式は、多種多様である。土壌中の滞在期間からは、図1のように分けることができる。

土壌とその上に堆積する落葉層には、倒木やけもの・鳥類の遺体や糞、そして、きのこやこけもあるし、浮いた石もある。図3は、土壌動物をその生息場所から分けてみたものである。多

くの動物は、土壌中や落葉層に生息するが、倒木につくシロアリやキセルガイ、遺体につくシデムシやハネカクシ、糞につくセンチコガネ、クロバエ、きのこにつくキノコバエ、オオキノコムシ、こけにつくクマムシ、ワムシ、そして、石の下に好んで生息するイシビルやハサミムシなども、土壌動物として採集されることがある。図2は、主要な土壌動物がどのくらいの深さから出現してくるかを調べたものである。種類によってその生息場所が異なることがわかる。また土壌動物には、さまざまな食性を認めることができる。生きている植物を食べるもの=食植性。腐った植物を食べるもの=食腐性。微生物を食べるもの=食菌性・食バクテリア性。他の動物を捕えて食べるもの=食肉性。他の土壌動物に寄生するもの=寄生性。このように土壌動物には、いろいろな食性のものが含まれているが、たとえば、アリのように食腐性と食肉性にまたがるものや、コガネムシのように食植性と食腐性にまたがるものなども多く、すべての土壌動物の食性をいくつかのカテゴリーに明瞭に分けることはできない。表1および表2は、ヨーロッパと日本のいろいろな森林や草地での土壌動物の食性の割合を示したものであるが、どの植生下でも、食腐性と食植性の動物が圧倒的に多いことがわかる。

図1 - 土壌動物の土壌中の滞在期間

<原図 Wallwork, J.A. 1970 を改変>

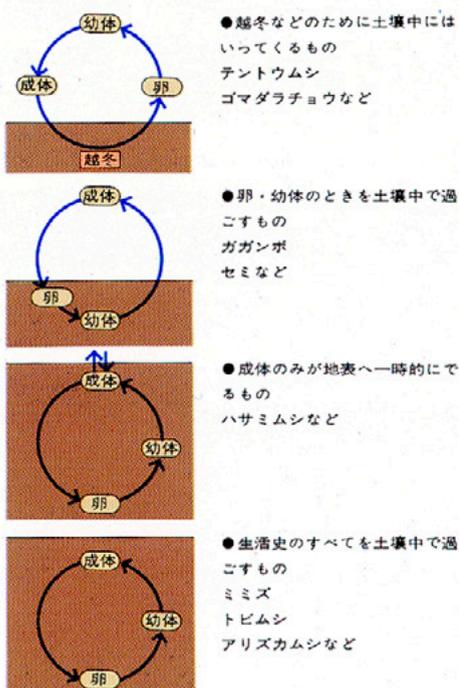


図2 - 土壌動物の生息する深さ

<渡辺 原図>

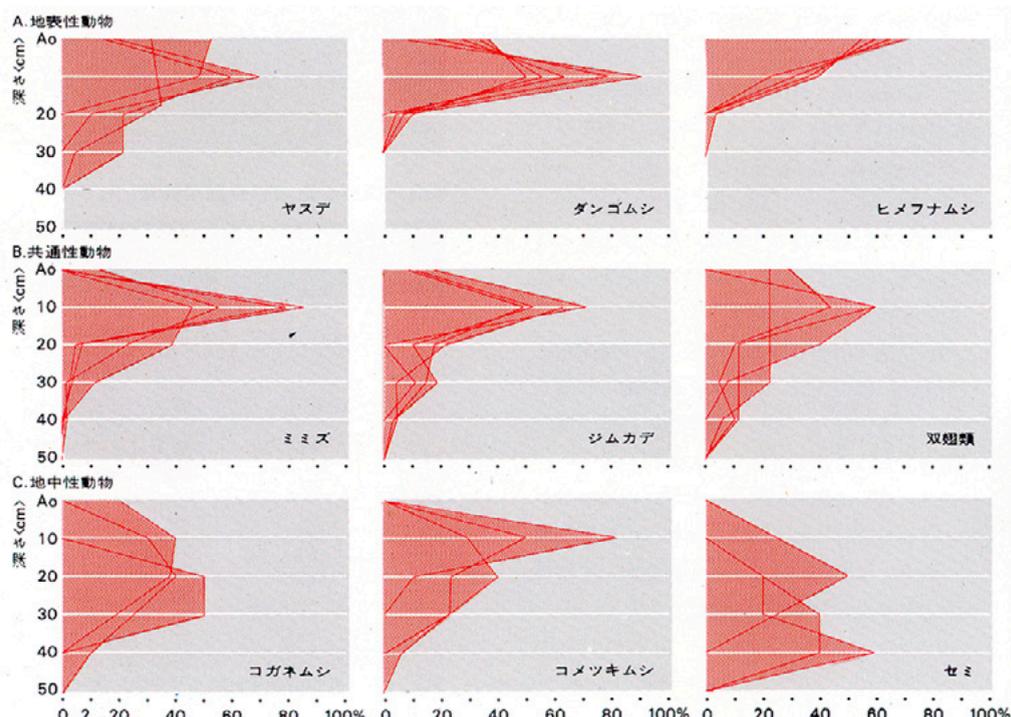


図3 - 生息場所からみた土壌動物

<単位のない数字はmmを表わす>

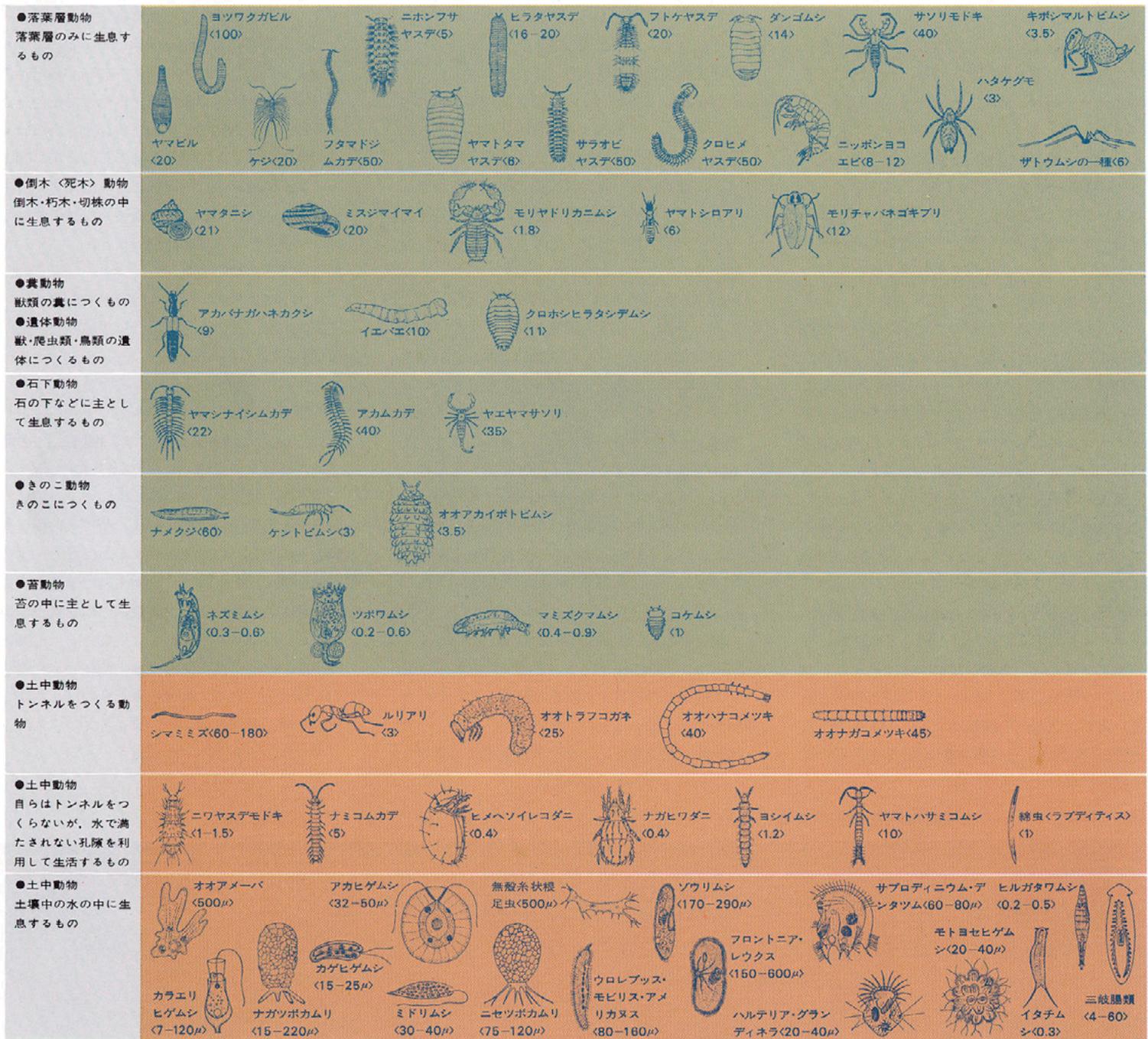


表1 - 土壌動物の食性割合<現在量による>

<Macfadyen, A. 1963>

	草地	カンナ	ブナ林	トウヒ林
食植性動物	17.4	11.2	9.3	5.9
蛾, マイマイ, カメムシ	(9.2)	(14.0)	(12.6)	(42.4)
大形食腐性動物	137.5	66.0	60.8	5.5
ミミズ, ダンゴムシ, ヤスデ	(72.6)	(82.6)	(82.2)	(39.6)
小形食腐性動物	25.0	1.8	2.4	1.4
ヒメミミズ, ダニ, トビムシ	(13.2)	(2.3)	(3.2)	(10.1)
食肉性動物	9.6	0.9	1.5	1.1
クモ, ムカデ, ハネカクシ	(5.1)	(1.1)	(2.0)	(7.9)
総計(g/m <sup>2</sup> )	189.5	79.9	74.0	13.9

表2 - 落ち葉層<A<sub>0</sub>層>量と動物の現存量<乾重 g/m<sup>2</sup>>

<渡辺, 1967>

食性	林相			
	マダケ林	ドイツトウヒ林	ブナ林	
落ち葉層量(g/m <sup>2</sup> )	A	340	900	480
食植・食腐性動物(g/m <sup>2</sup> )	C	1.391	0.702	0.327
食肉性動物(g/m <sup>2</sup> )	P	0.100	0.031	0.089
C/A(<%)		0.759	0.116	0.167
P/C(<%)		7.2	4.4	27.1

個体数と現存量

土壤動物の採集方法、個体数推定には、多くの問題が残されているが、志賀高原のオオシラビソ・コメツガ林で調べたところ、m<sup>2</sup>あたり有殻アメーバ18万、線虫40万、トビムシ17万、ダニ8万など、100万個体近い動物がでてきた報告がある。わずか1gの土に鞭毛虫7万、アメーバ4万がでてきたとか、1m<sup>2</sup>あたりアメーバは1~5億、線虫は180万~1億2,000万個体いるといった値もでてくる。各土壤動物群の密度の順位は、一般に図4に示されるような順序になり、全体的にみて、原生動物・線虫類・ヒメミズ類・ササラダニ類のような食腐性動物の密度が大きく、クモ類・甲虫類のような食肉性の捕食者の密度は小さい。しかし、こうした順序は固定的なものではなく、植生のちがいや季節の変化に応じてササラダニ類とトビムシ類が入れかわるといったようなことがおこる。土壤動物の現存量は、ハイマツ群落ではm<sup>2</sup>あたり1g、オオシラビソ、コメツガ、トドマツ林で3g、スギ、ヒノキなどの人工林で10~20g、ブナ、ミズナラ林で20~50g、シイ、カシ林で50~100gにも達し、暖かいところほど大きい値を示すようである。また、森林よりも草地、果樹園に大きいことも確かなようで、ヨーロッパのリンゴ園で287gという大きな値が報告されているし、北海道の牧草地でもミミズがm<sup>2</sup>あたり1,600個体、その重さは100gを超えている

ところがある。ともかく、驚くべき数と量の動物が土の中に存在する。陸のプランクトンと呼ばれることも納得できよう。

環境条件との関連

これら多種多様な生活史・習性を持つ土壤動物の種類組成、個体数、現存量は気象、植生、土壌などの環境条件の影響を大きく受けながら、また、動物どうしお互に直接・間接の作用を及ぼしながら生活している。とくに、厚い落葉層の存在する森林と、これを欠く草地や田畑の動物相はかなり違ったものになっている。堆積する落葉層は、土壤動物の主要な食物源であると同時に、温度・湿度の変化の少ない生息空間でもある。それだけに森林では、土壤動物の多くはこの落葉層や土壌表層に生息している。トビムシ、ダニ、ヒメミズなどの中形土壤動物は、土壌の表層に集中して生息し、深さとともに急激に減少するが、ミミズやセミなどの大形の土壤動物では、深くまでトンネルを掘ってもぐっているものがあり、中形動物ほど顕著ではないが、それでも個体数、現存量とも深さに伴って減少し、普通50cm以下の深さからは、ほとんど動物は出現してこない。土壤動物の生息空間(深さ)を制限している主な要因は、土壌が深くなるに伴って、孔隙が減少し、酸素量の不足と有機物の減少、すなわち食物源の不足によるものであると、深さとともに動物が減少するという分布の様相は不変のも

のでなく、冬期間には多くの動物が、より温度変化の少ない深いところへ移動する。しかし、それも落葉層のものが地中数cmのところへ、土壌表層のものが10~30cmへ移動するだけで、冬でも深さ50cm以下にはほとんどいない。

図5は、土壤動物の個体数と現存量をいろいろな植生と土壌ごとに調べたものであるが、図にみるように亜寒帯針葉樹林よりは温帯落葉広葉樹林に、さらにそれよりは暖帯常緑林や草地のほうに多くなることが認められる。

土壤動物のはたらき

土壤動物は環境条件に受身の存在であるが、一方において、その小さなからだで環境への反作用(環境改変作用)を行なう。ミミズが土を動かし、土の性質を変えることは、反作用の例として教科書でもよくとりあげられているが、この事実を科学的に指摘したのは「セルボーンの博物誌」のギルバート・ホワイトや「種の起原」のチャールズ・ダーウィンである。土壤動物のこの作用は、生態系の物質循環と土壌改良への貢献ということになる。土壤動物のはたらきは、大別すれば落葉の摂食・粉碎と、土壌の耕耘・有機物と鉱物質土壌の混合という二つに分けることができる。土壤動物の多くは、落葉・落枝や地中で枯死した根などを摂食している。食べられたものは、消化管を通る間に細かく砕かれ、糞として排泄される。マイマイ、ヤスデ、ワラジムシ、ダンゴムシ、

図5 - 各植生別にみた土壤動物の個体数、現存量



ミミズ、シロアリなど大形の動物は、外側から食べるが、ダニ、ヒメミミズ、線虫、双翅類幼虫などには、落葉の内部に入りこんで食べるものがある。

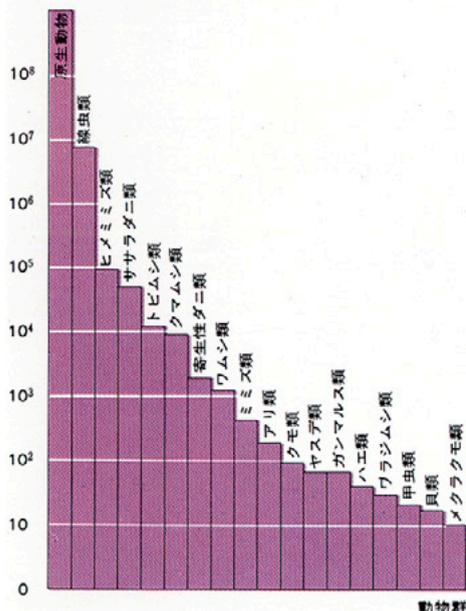
土壤動物によって、どのくらいの落葉が食べられるのかは、興味をひかれる。ヤスデでは1日に体重の26~40%のブナ・ナラの落葉を、ガガンボでは42%の落葉を、ミミズでは体重の10%くらいを食べるといわれている。

ミミズが1㎡あたり10.7gいる鹿児島県大隅半島のシイ林で、ミミズは1ヵ月に13.8gのシイの葉を食べ、これはシイの葉110枚に相当するとか、千葉県清澄山ではキシヤヤスデだけで1㎡あたり60g、ダンゴムシだけで15gの落葉を食べるといわれている。

オーストラリアの牧草地では、カッシュクツリミミズは1日に体重の1%の家畜の糞を食べるので、ミミズの現存量1㎡あたり80gでは活動期間を150日とすると、1年には1㎡あたり120gの家畜の糞がミミズによって摂食されるといった推定がある。すべての土壤動物の落葉摂食・粉砕量は、イギリスの例では、年間落葉量ヘクタールあたり3tの森林では、土壤動物は3ヵ月間でそのすべての落葉を食べてしまうとか、ヨーロッパのブナとハリモミの森林では、落葉の $\frac{1}{4}$ ~ $\frac{1}{5}$ が、土壤動物によって摂食・粉砕されるといった報告があり、土壤動物による落葉粉砕への働きの大きいことはまちがいない。

図4 - 1㎡当りの土壤動物個体数

<青木, 1969, 北海道土壤動物研究グループ, 1970より>



大形の土壤動物の糞やその食べ残し、あるいは微生物によってより腐朽の進んだものを、トビムシやダニが食べ、さらに、それを原生動物などが引きつぐ。連続した土壤動物による落葉粉砕、微生物との落葉分解の共同作業は、生態系の物質循環での主要な位置を占める。

また、ミミズ、アリ、シロアリなどは、地表の有機物を地中に引きずりこみ、地中深くの鉱物質土壌を地表に持ちだしたりして、有機物と無機物を混合・かくはんするし、セミ、コガネムシ、ミミズなどは、地中にトンネルを掘って移動し、土壌と有機物を垂直・水平方向に混合する。ダーウィンは、牧草地で1年にヘクタールあたり20~40tの土をミミズが動かすと述べているが、その後のいろいろな報告をみると、土壌や地表植生のちがいによって異なるが、多いところでは2600tにもなるところがある。ミミズには2mもの深いところへもぐるものがあり、地表からの有機物は、水とともに、このトンネルを通して運ばれる。農地のようにトラクターや耕耘機による耕耘のない森林では、土壤動物によって耕耘が行なわれているのである。この落葉粉砕と土壌の耕耘は、土壌の性質にいろいろな変化を与える。摂食の多いほど落葉の堆積(腐植)は少なくなるし、かくはんによって土壌粒子の組成をかえ、均一にするし、トンネルの造成・維持によって孔隙量が増加する。この孔隙には、空気や水がためられ、また排水に

表3 - ミミズの糞の化学的性質の変化

<Lunt, H.A. et al., 1944より>

	ミミズの糞	土壌 0-6inch	土壌 8-16inch
pH	7.00	6.36	6.05
全窒素(%)	0.352	0.246	0.081
有機炭素(%)	5.17	3.35	1.11
灼熱損量(%)	13.1	9.8	4.9
硝酸態窒素 <ppm>	21.9	4.7	1.7
有効態リン <ppm>	150.0	20.8	8.3
置換性カルシウム <ppm>	2793	1993	483
置換性マグネシウム <ppm>	492	162	69
置換性カリウム <ppm>	358	32	27

表4 - 異なった植生下における土壌とミミズの糞の中の細菌の数 <Ghilarov, M.S., 1963>

	ナラ林	ライ麦畑	草花
ミミズの糞	740	3430	3940
土壌	450	2530	2000

●注 数字の単位=×10<sup>3</sup>/g

も役立つ。この孔隙の造成・維持は、動物・微生物の生息空間の拡大をも意味する。

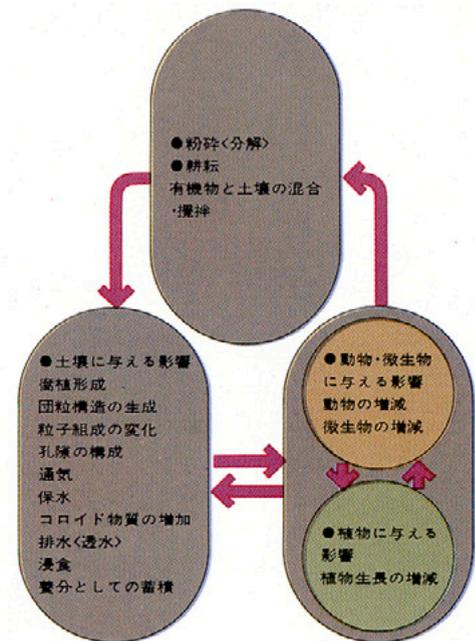
そして土壤動物の死体は、窒素の集積体であり、動物の多いだけ土壌中に窒素量が多いことになり、動物や微生物の窒素源として、また、植物の養分源として活用される。

表3は、ミミズの糞の養分含有量をその周辺の土壌とくらべてみたものであるが、糞の方の含有量がいずれもきわめて大きくなっていることがわかる。また、表4はいろいろの植生でのミミズの糞とその周囲の土壌1gあたりの細菌の数を調べたものであるが、いずれの植生でもミミズの糞が細菌のよい繁殖場所になっていることを示している。こうして増加した細菌が有機物の分解に大きな役割を果たしているであろう。

コガネムシ、コメツクムシ、ネカイガラムシなど、植物に直接加害するものや、アリマキ、線虫、ヒメミミズなど植物病菌を運搬するものもあるが、多くの動物の存在は、土壌の理化学的性質を変化・改良させることになり、植物の生長促進、収量の増加をもたらすことになる。森林では、この土壤動物を直接土壌に移殖・活用している例はないが、牧草地などでは、ミミズによる土壌の耕耘・土壌改良の役割を評価し、積極的に移殖・利用しているところがある。森林においても、土壤動物の存在をもっと高く評価してもらわなければならない。

図6 - 土壤動物のはたらき

<渡辺, 1973より>



# 菌根

小川 真 = 林業試験場土壌微生物研究室長

## はじめに

二つ以上の生きものが、かかわり合いながら生きているのを共生という。この共生の中でも比較的共利または双利共生的なグループの中に、植物と微生物とが根を通じてむすびついている根粒や菌根がある。菌根というのは、文字どおり植物の根が菌と合体したものである。菌が植物の根につくと、その根は殺されるか、無関係か、妥協してなれ合うか、のいずれかになる。菌根とは、根と菌とのなれ合いの産物であり、互いに殺し合うことなく共存している。このような間柄は、長い進化の歴史の中でつくられてきたもので、現在では、両者が不可分な状態になっているものも多い。

生物とは、適者生存の原則によって競争を主体にして進化するものであると思われるがちであるが、時には平和的に妥協し、寛容と忍耐によって共存共栄することもある。少数の例外を除き一般に菌根というのは、植物(自養性生物)と菌(他養性生物)とがむすびついでできた異常な根を意味する。それと同時に、両者の間にみられるかかわり合い現象の形をも意味している。したがって、菌根にはいろいろな型と性状のものが含まれている。菌根のすべてが、共利共生的

であると考えるのは早計である。

下等から高等にいたるまですべての植物は、それぞれ要求の度合は異なっても、ガス、光、水、温度などのより良い条件で生育しようとする。根は当然、良好な土壌条件を選んで繁茂する。肥沃な土壌、植物の栄養分を豊富に含んだ土壌、すなわち土壌中の物質が活発に循環したえず栄養物を供給してくれる土壌、いいかえれば、生物活動とくに微生物活動の盛んな土壌に、植物は好んで繁茂する。ここでは、微生物の種類も量も豊富であり、根は、発芽直後から無数の微生物におそわれることとなる。

植物にとって、微生物は栄養を製造してくれる大切なパートナーであるが、同時にうるさい相手でもある。土の中の微生物にとっては、そこに入ってきて生長する植物の根は、まず格好のエサであり、弱ければ即座にくい殺すことになる。強ければ気に入られた微生物だけが根をとりまき、協調して生活することになる。事実、全ての植物は、微生物と無関係に生活することを許されず、大部分の植物の根は、何らかの形の菌根ないしは根粒をその根にもっている。とくに、木本植物にその傾向がよい。

## 菌根の種類

19世紀の初めから、菌根を、その形や根の中への菌糸の入り方でわけることが行なわれてきた。菌根は、外生菌根、内生菌根、内外生菌根、擬菌根の4つのグループに大別される。

### 外生菌根

菌糸は根の表面に厚くついて、多くの場合、細根の形が変形する。菌糸は外皮と皮層上層の細胞間隙に入り、時にハルティヒネットとよぶ構造を表皮と皮層上層の細胞間隙につくる。ただし、根の細胞内への菌糸の侵入はない。このグループの中には、寄生的なものから、ほとんど無関係にみえるものまで含まれている。

### 内生菌根

菌糸は根の表面にはほとんどみえず、根の皮層細胞内に入って、球状、糸ダマ状、太いトグロ状、サンゴ状などに変形する。細胞間隙に菌糸がつまることはない。このグループは、細胞内での菌糸の変形のしかたによって、さらにいくつかに分けられる。

### 内外生菌根

上の両者の特徴をかねそなえたものであるが、1種の菌が2つの侵入のしかたを示すことができるかどうかまだ疑わしい。

図1 - 菌根のいろいろ

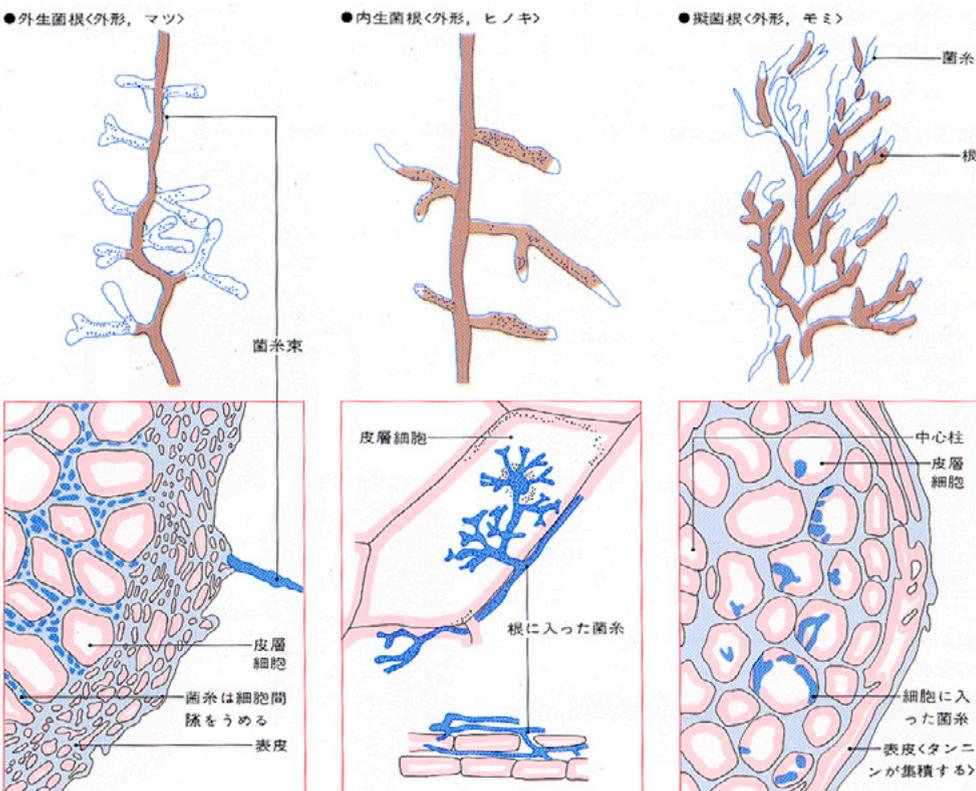
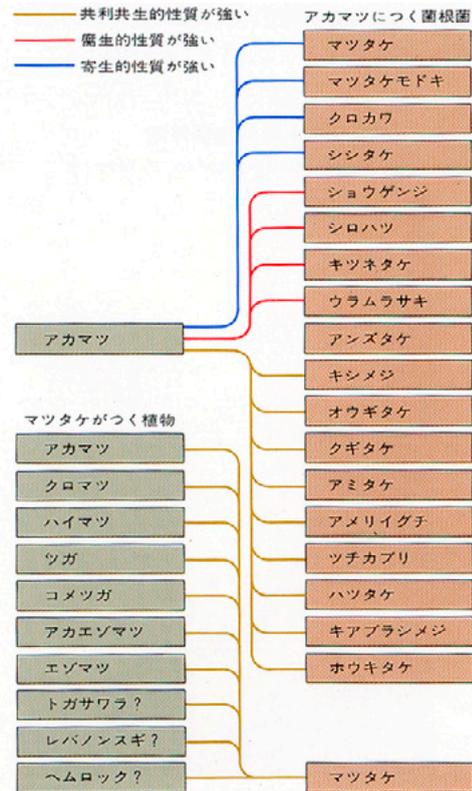


図2 - 菌と菌根植物の対応例



擬菌根

菌根は、一般に寄生すなわち病気に近いもので病原菌の侵入と似た方法で菌糸が侵入するが、このグループでは、根表面の菌糸の層や規則的な構造の発達が見られず、菌糸が比較的でたために入ることが多い。

菌根の種類は、外部の形や内部の構造で細かく分けられることもある。外生菌根では、特定の植物と菌、例えばアカマツとマツタケが作る菌根はどんな場所でもできて同じであるが、アカマツとアマタケの作る菌根は、アカマツとマツタケのものとは全くちがっている。このように相手がかわれば形もかわる。またマツタケは、ツガやハイマツにもつくが、それらはアカマツとマツタケが作った菌根ときわめてよく似ている。このように2者の組合わせていろいろの菌根ができる。例えばベニテングダケが同一であれば、相手がダケカンパであろうがシラカバであろうが、あるいはその他のものであれ、菌根の形も性状もほとんど同じである。このように、どちらかといえば菌根の形をさめるには、菌の性質の方がより支配的である。根の性質によっても、できてくる菌根の形は限られている。典型的な菌根の例としてよく示されるフォーク状やサン

ゴ状のものは、マツ属に限られている。内生菌根になると、このあたりの関係はわかりにくい。菌根をつくる菌の側のパートナーがきのこでなく、胞子などを作りにくいカビであるために、特定のものを除いてはわからない状態である。

1つの植物は何種類もの菌をつけ、1つの菌は何種類もの植物につく。例えばアカマツなどは、少なくとも30種の菌を根につける。その各々の作る菌根はちがっている。したがって、1本の根の上でも、いろいろな形の菌根ができる。またある種の菌が、いろいろな林ででてくるといったことが起こる。菌根の分類は、2種類の生物を扱う分類学になるのでやっかいである。

菌根を作る植物とその分布

何らかの形で菌根を作るといわれる植物は、ほとんど全ての科にわたり、菌根植物に関する報告はいまもどんどんふえている。シダ、蘚苔類から木本植物にいたるまでのものが菌根をつくるが、おおまかにいって、外生菌根は、木本植物とくに高木性の樹木に多く、内生菌根は、かん木性の木本植物から草本以下、下等な植物にまで広くおよんでいる。

外生菌根を作る樹木は、マツ科とモミ科の全て、ツガ属、トガサワラ属、モミ属、カラマツ属、

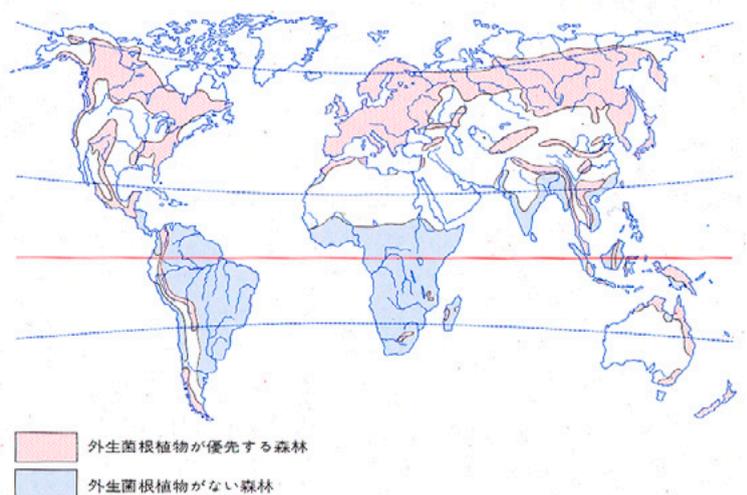
イロモミ属などの針葉樹、ヤナギ科のポプラ、ヤナギの仲間、カバノキ科のハンノキ、カンバの属、ブナ科のクリ、シイ、カシ、ブナ、クヌギ、ナラの仲間、ニレ科、クワ科の一部などがよく知られている。バラ科やその他の広葉樹にも外生菌根を作るものが多い。内生菌根を作るものとしては、スギ、ヒノキ、ビャクシン、カヤ、マキの仲間が針葉樹の中では知られている。広葉樹としては、ツバキ、ツツジ、シャクナゲ、サクラの仲間などが菌根を作る。この他にも大半のわい性かん木は、内生菌根をつけている。ササ、イネ、ムギなどのカホソ科、ラン、ユリ科の植物、ワラビ、ゼンマイなどのシダまで枚挙にいとまのないほどである。

広くみると外生菌根を作る樹種は、北半球に分布する傾向がつよく、外生菌根をつくるきのこも北半球に多い。南半球では、ユーカリやポドカルプス、カスタノブシなどに限って外生菌根ができるという。アラスカやシベリアにある植物は、全て菌根を作る。ツンドラの中のヤナギやカンバの貧弱な茂みに大きなきのこが沢山でている。南方では、根粒植物であるマメ科の樹木や内生菌根をつくる樹種が多くみられ、マツ科やモミ科の植物はなくなる。内生菌根を作

表1 - 外生菌根をつくる高等植物

裸子植物	マツ科	<i>Abies</i> <i>Cathaya</i> <i>Cedrus</i> <i>Keteleeria</i> <i>Larix</i> <i>Picea</i> <i>Pinus</i> <i>Pseudolarix</i> <i>Pseudotsuga</i> <i>Tsuga</i>	
	ヒノキ科	<i>Cupressus</i> <i>Juniperus</i>	
	被子植物	クルミ科	<i>Carya</i> <i>Juglans</i>
		ヤナギ科	<i>Populus</i> <i>Salix</i>
	カバノキ科	<i>Alnus</i> <i>Betula</i> <i>Carpinus</i> <i>Corylus</i> <i>Ostrya</i> <i>Ostryopsis</i>	
	ブナ科	<i>Castanea</i> <i>Castanopsis</i> <i>Fagus</i> <i>Lithocarpus</i> <i>Nothofagus</i> <i>Pasania</i> <i>Quercus</i> <i>Trigonobalanus</i> <i>Ulmus</i>	
	ニレ科	<i>Crataegus</i>	
	バラ科	<i>Malus</i> <i>Pyrus</i> <i>Sorbus</i>	
	マメ科	<i>Azelia</i> <i>Anthoatha</i> <i>Brachystegia</i> <i>Gilbertiodendron</i> <i>Julbernardia</i> <i>Monopetalanthus</i> <i>Paramacrolobium</i>	
	ムクロジ科	<i>Allophylus</i>	
	カエデ科	<i>Acer</i>	
	シナノキ科	<i>Tilia</i>	
	フトモモ科	<i>Eucalyptus</i>	
	ツツジ科	<i>Arbutus</i>	

図3 - 外生菌根をつくる植物の森林とつくらない植物の森林分布図



って最も北上しているのは、ヒノキの仲間とハンノキの一部だけである。北から南へかけて、また北半球と南半球とで植物の分布が大きく違っているが、これを植物側の性質だけで考えていいものかどうか、眼に見えないからといって菌の働きを無視するわけにはいかない。後述するように、菌根には植物の分布を支配できるような性質もある。

わが国は温帯に属し、亜高山や内陸もあるが、概して温暖な島国気候である。このような条件下では、外生菌根をつくる植物も内生菌根をもつものも共存している。植物の種類の豊富さは、それに付随する菌の多さに対応しており、菌が多ければ外来の植物が入ってきてても育ちやすいことになる。外国からの移入植物は病気や虫害を受けやすいが、日本ではまた育ちやすい。菌根を作る植物は、一般にやせた土壌にも生育することができる。狭い範囲でも立地条件によって、植物の分布が連続的に変化しているが、これは菌根を作る菌の分布ともきれいに対応している。尾根のマツには、マツを好んで、乾性の土壌を好む菌が多く、斜面下部では、湿性を好む他の菌がふえるといったようになる。

#### 菌根をつくる菌とその分布

菌根をつくるものは、カビやきのこといわれる真菌類である。バクテリアや放線菌が植物の根につくるものは、根粒と称している。概して、外生菌根はきのこによって、内生菌根はカビときのこの一部のものによって作られる。担子菌類、いわゆるきのこの類の種の約60%が外生菌根を樹木の細根に作り、その生長を助けたり、樹木からエサをとっている。土壌から出ている大形のきのこの大部分は、菌根菌である。この中には、食用になるマツタケ、アマタケ、シメジ、ハツタケ、ショウゲンジ、ハナイグチなど、有毒なベニテングダケ、テングダケ、乳液を出すチチタケの仲間、ハツタケの仲間、ハリタケなどがある。これらの菌は、各々種独自の生活形をもっており、土壌中で大きな菌糸層を作るものから、菌糸束を発達させるものまで変異を示す。それに応じて菌根の形や土壌中の分布などもちがってくる。マツタケの仲間、ハリタケの仲間などは発達した菌糸束を作らず、大きなシロを作る。したがって菌糸は1ヵ所に集中し、菌根も集中的に作られる。若い根の主根は菌に犯されることがないので伸長するが、側根は全て菌根となり、細かい根の大きな集合

体が1ヵ所に形成される。菌糸束が発達した菌は、邪魔物の多い有機物層でも根の少ない所でも、生長することができる。例えばテングダケの菌糸束は根に沿ってのび、細根の出た所で菌根を作る。したがって菌根は、まばらに広い範囲へ分布する。フサクギタケの菌糸束は、内部組織の発達がよい。この菌糸束は、1ヵ所でサンゴのような菌根の集団をコマツガの根に作らせ、また次へと移動する。深さ10 cmまでの表層土壌に分布するマツの細根は、その80%以上が菌根化している。外生菌根を形成する樹種の林地では、表層の主根以外の細根は、全て菌がついていてよい。きのこが少ない場合、例えば砂丘やツンドラ、亜高山帯などではシーノコッカムというカビの1種が広く分布し、黒色の菌根を作っている。菌がボールを作ってその中で菌根を作らせている種類もある。菌によっては擬菌根や内外生菌根を作る場合もある。腐生的だと思われた菌が樹種によって菌根を作ったりもする。内生菌根を作る菌の大部分は、エンドゴナシーというグループに入る菌だといわれている。木本、草本の若い根の周辺にまばらに繁殖する。季節によって土壌中に球状の胞子をつくる。菌糸は、外生菌根の時と同じように根と土壌とをつないでいる。水で洗うと胞子や菌糸がとれるが、これが一向に分離できないので、生理的な実験も分類学も進まない。内生菌根の中でもランには、きのこナラタケやオチバタケの仲間などが入ることがある。リゾクトニアという病原菌の仲間やその他のカビも入るといわれる。内生菌根を作る菌の方がどうやら分布は広く、どんな条件でもいるようである。ただし、この仲間は比較的南方型で、肥沃な条件を好んで分布するようである。有用樹種であるスギ、ヒノキの細根は90%以上菌の侵入をうけており、主要作物のチャ、カンキツ類、クリの木本植物、イネ、ムギ、ネギ、その他の農作物のほとんどのものが内生菌根をつけている。内生菌根を作る菌は、わが国の農林業を見えない所でささえているかもしれない。

#### 菌根のでき方と菌と根との相互作用

多くの場合、根が出ると、待ちかまえていた菌糸または胞子が若い根に侵入する。根冠や生長点、中心柱は菌に対する抵抗が強く、デンプンなどの貯蔵物も多い。若い根に先につくのは、病原菌が菌根菌である。長く生長した菌根から

微生物を分離してしらべると、生長している根の上に菌のサクセッションが成り立っており、菌根菌がその先駆者であることがわかった。先手必勝である。一旦とりつくと、次々と発根する根についてゆくことができる。マツの種をまいて2次根が出た1ヵ月後ぐらいには、すでに菌根ができています。

外生菌根の場合、寄生的性質の強い菌はほぼ完全に寄主植物から糖やアミノ酸の形で栄養をうけており、根への侵入の仕方もはげしい。一般の共利共生的な菌根の場合は、寄主植物で合成された糖その他の炭水化物が根を通して菌にゆき、菌糸が土壌中からえた窒素やミネラルが菌糸を通して根の中にもちこまれるといわれている。放射性同位元素C<sup>14</sup>、P<sup>32</sup>、Caなどを使った実験でもこれはよく証明されている。一般に菌根菌は、単糖のような単純なものしか利用できず、高分子のセルロース、リグニンなどを分解する能力をかねているか、非常によわい。一方、窒素については利用範囲が広い。ビタミンやホルモンを要求するものもあって、根とのつながりのつよいことがわかる。

また、このような物質の移動は当然水の動きをとまらう。根から菌へ、菌から根へと絶えず水が移動していると思われる。菌根ができると、根からは根毛が消えるが、菌糸がこの根毛にかわって水の吸収にも働いているといわれる。マツの場合、湿った条件下では菌根のでき方はわるくなる。無機窒素肥料やリンを多量に与えても菌根のできは悪く、乾燥ざみでN、Pなどの少ない方が外生菌根ができやすい。地上部の生長は、菌根があった方がより健全であり、このことから、菌根が植物の養分の吸収に働いていることがわかる。光がつけければ菌根ができやすいという説もある。また菌根は何年もついているものではなく、1~2年位で脱落し更新する。落葉と同じようにおちる前には枯死し、菌体は根の中でできる。この枯死によって与えられる栄養も無視できないであろう。

内生菌根の場合は菌が表皮を素通りして、中の細胞内に入る。恐らく、外生と同じように物質を与えたり、うけたりしていると思われる。木本植物、例えば、ヒノキの内生菌根では菌は夏から秋に多量に侵入し、冬から春に消える。菌糸は細胞内で変形し、消えるまえにとける。ランではさらに明瞭で、菌糸が根の細胞にくわれているように見える。おそらく、菌は外から物

を運んで、わずかに炭素源をえていると思われる。極端な例は無葉緑ランである。葉もなくクロロフィルももたない退化したランのグループがある。オキノヤガラ、ツチアケビ、ムヨウラン、ショウキランなどである。この仲間は、古くに草野、浜田両氏によって調べられ、世界でも珍しい例となっている。オキノヤガラはイモをつくる。ナラタケの菌糸束は土壤中や倒木の中にひろがり、材をくさらせており、腐生性菌であるが、何故かオキノヤガラにひかれる。小さい発芽したばかりのイモについてのナラタケは、根の細胞に誘いこまれ、殺される。この時、材からとった糖は菌からランにうつり、アミノ酸なども全てランに吸収されてしまう。ランはエサのすべてを菌からとって大きくなり、何年もの間ナラタケに養われている。同じ無葉緑のギンリョウソウも菌に養われており、この菌は、広葉樹にさらに菌根を作って養われているといった複雑な関係がある。内生菌根の全てがそうではないが、上の例のように、植物が菌に寄生するという場合もある。きびしい現実の世を生きぬいていくうちに身についたのが菌根という生活の知恵かもしれない。何となく、ヒモ的生活を思いうかべさせる。

#### 菌根は役に立つのか

菌根の研究が組織的にスタートした時から、この研究は応用研究の常として、役に立つことを証明しようという方向に走った。菌根の大家フランクは、樹木の生長が菌根によって促進されるとした。永年の菌根研究を通じて、菌根が有益なものであるということはほぼ立証されたが、どんな菌根でも植物に有利であるとはいえない。むしろ有害なものもあるはずである。菌根が植物に有利に働いている点をあげると次のようになる。

- (a) 栄養物を供給する。
  - (b) 水を供給する。
  - (c) 栄養のバランスをとる。
  - (d) 菌鞘で根をおおっていることによって、乾害、凍害を防ぐ。
  - (e) 病原菌と競争することによって、根を病害から守る。
- などである。

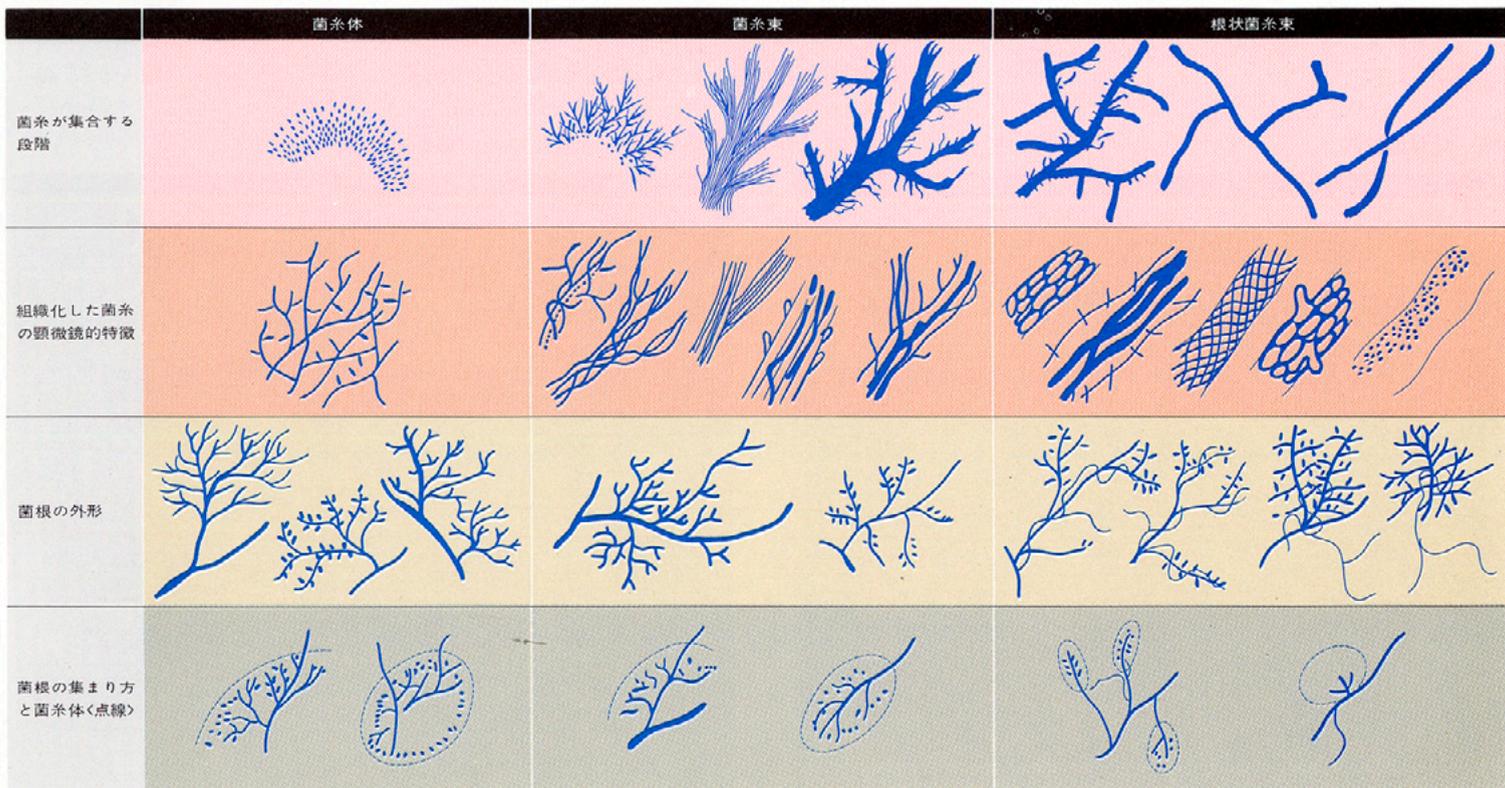
事実、菌がないと樹木が育たなかった例がたびたびある。北半球の針葉樹をアフリカ、オーストラリアなどにうつすとき、菌の入った土壌を同時に移植するとか、はげ山地帯や高山帯に植林する際に菌をもって行くなどというような

例もある。植林のための地ごしらえのやり方や更新などにも、菌根の知識は利用され始めている。農業でも、内生菌根に関する研究が漸く日の目を見はじめており、菌の利用が考えられ、農薬や肥料による影響も検討され始めている。これらはいずれも外国の例である。

わが国では、菌根研究の歴史はとぎれとぎれである。どこに植えても、必ずつき過ぎるほどに菌根ができる。したがって、日本での菌根の研究は、いきおいマツタケにみられるように菌を利用する方に走る。人間に無用なものを除いて、人間に有用なものだけを増やそうという最もむずかしいことにとりくむことになる。いわゆる微生物社会の制御である。

菌根は役に立つと思ひこまれてきた。しかし、菌は植物のために働こうと思ってくらししているのではない。植物の方でも、菌根の助けなしで生きてゆける場合が多い。おのおのその生活圏を守り広げる最大限の努力をしているのであって、菌根という異種の生物間にたまたま現れた関係は、永久不変のものでもない。実際には、役立っているのかいないのか、あいまいさに満ちているのが実状である。

図4 - 菌糸体の発達と菌根の形および集まり方との関係



# 根粒菌と根粒植物

植村誠次 = 林業試験場研究顧問

マメ科植物の多くは根に粒状の根粒を形成し、そのなかに根粒菌(細菌)が共生して、空気中の窒素を固定して自分の養分とし、同時に土壌の地力改善(とくに土壌の窒素成分の蓄積)に大きな貢献をしていることは、ひろく知られているところである。しかし、マメ科植物以外にも、現在、百数十種にのぼる根粒植物が知られている。これらの植物の多くは、マメ科植物の根粒菌とは異種の微生物(恐らくは放線菌)と共生していることが実証され、マメ科植物と同様、地球上の窒素の循環ならびに森林生態系に大きな影響をもつことが明らかになってきた。推算によると、地球の陸地において、生物による窒素固定量は、少なくとも年間 $10^6 \times 53t$ 、そのうちマメ科植物によるもの $10^6 \times 14t$ 、非マメ科植物(主に根粒植物と葉粒植物など)により $10^6 \times 5t$ といわれている。これは、生物による窒素固定量の約 $2/5$ を占めており、また年間 $10^6 \times 30t$ とされている工業的窒素固定量に比べてほぼその $2/3$ 以上に該当するものである。

## マメ科植物の根粒

マメ科植物は世界各地に分布しており、とくに熱帯、亜熱帯に多数の種類がみられている。現在450余属、13,000種ほど知られているが、これまでに約2,000種について根粒の調査が行なわれ、その結果、マメ科に属する植物のうちにも、本来根粒を形成しない種類が約10%あることが認められた。

マメ科植物の根粒内には、いずれもリゾビウム属の細菌(根粒菌)が共生して窒素固定を営んでいるが、いくつかの種類に分けられている。現在実用的見地からは、交互接種群による分類方法が用いられている。交互接種群とは、その群にふくまれる植物は、相互に根粒菌を交換しても根粒の形成が見られる植物群を指すものであって、現在20数種以上の群が知られている。その主なものは表1のようである。

普通、根粒菌は土壌中に広く分布しているが、多くの場合、種子が土中で発芽すると、早いものでは初葉ができるころ、肉眼で根粒の形成が見られる。菌は普通根毛から侵入し、感染糸をつくって内層部に侵入してから根の肥大生長、すなわち根粒の形成を開始する。根粒の寿命は多くは1年以内であって、開花時期までは生長がみられるが、結実するころから根粒の内容物は寄主植物に吸収され、次第に空洞になって崩壊し、同時に根粒内の根粒菌は土中に放出される。なお多年生のマメ科植物の中には、1年以上生き延びるものもみられる。

根粒菌の形態は、土壌中では鞭毛のある小型の球菌であるが、共生する時は大型となり、根粒内で種々な形態の変化を示す。根粒が完成すると桿状であった根粒菌は不規則な形態のバクテロイドとなり、同時に根粒組織中にレグヘモグロビンという赤色の色素がみられるようになり、この二つの特異な存在物が、共生窒素固定と深

い関連があるものとされている(図1)。

マメ科植物と根粒菌の共生関係は、根粒菌は寄主植物から炭水化物や他の栄養となる非窒素含有化合物をもらい、寄主植物に対しては、窒素化合物のほかホルモンなどを供給して、相互に利益を交換しているわけである。

根粒内における共生窒素固定の機構については、まだ完全に解明されていないが、恐らくモリブデンと鉄を活性の中心とする酵素ナイトロゲナーゼの触媒作用によって、空気中の窒素が固定されてアミノ酸化合物を形成するものと考えられている。その過程の中間生成物として、オキシム説とヒドラジン説がみられたが、最近では単独窒素固定菌(アゾトバクターやクロストリディウム菌)および共生窒素固定菌の場合を問わずアンモニア説が有力視されている。

土壌中に自然に分布している根粒菌には、共生窒素固定能力の大きい有効菌と、殆んど窒素固定能力のない寄生的な無効菌まで、各種の系統がみられる。したがってマメ科植物、とくにマメ科作物を栽培するさいには、無効菌が先に寄主植物の根に侵入しない前に、人工培養した有効根粒菌を種子に接種して有効根粒を形成させる人工接種が行なわれ、作物の収穫量(生長)の増加と品質の向上に大きな効果をもたらしている。とくにこれまで同一交互接種群のマメ科作物を栽培していない場所や、土壌条件が悪くて根粒菌の分布が不足している場所(せき悪地、

表1 - 交互接種群

群	交互接種群	細菌名	包含されるおもな植物名
第1群	アルファルファ類	<i>Rhizobium meliloti</i>	アルファルファ・スイートクローバー・コムツウマゴヤシ・黄花スイートクローバー
第2群	クローバー類	<i>R. trifolii</i>	赤ツメクサ・白ツメクサ・アルサイクローバー・クリムソンクローバー
第3群	ピー類	<i>R. leguminosarum</i>	エンドウ・ソラマメ・レンリソウ・コンモンベッチ・ニオイエンドウ
第4群	ピーン類	<i>R. phaseoli</i>	ガーデンピーン・インゲン類
第5群	ルーピン類	<i>R. lupini</i>	黄花ルーピン・ハウチワマメ・セラデラ・白ルーピン
第6群	ダイズ類	<i>R. japonicum</i>	ダイズ・大葉ツルマメ
第7群	カウピー類	<i>Rhizobium sp.</i>	カウピー・ナタマメ・ラッカセイ・クズ・アズキ・ハギ・エニシダ・ネムノキ・アカシア類・ヤハズソウ
第8群	ロタス属		ミヤコグサ
第9群	ダレア属		ダレア
第10群	イガマメ属		イガマメ
第11群	<i>Strophostyles</i> 属	<i>Strophostyles helvola</i>	
第12群	ニセアカシア属		ニセアカシア・青島トゲナシニセアカシア・英国トゲナシニセアカシア
第13群	<i>Amphicarpa</i> 属	<i>Amphicarpa monica</i>	
第14群	クロバナエンジュ属		イタチハギ類
第15群	タチレンゲソウ属		タチレンゲソウ・オウゴンハギ
第16群	ムレスズメ属		ムレスズメ類

●注 以上はFred. BaldwinおよびMc Coy(1932)による分類であるが、その後種々追加されて20数種の群に達しており、わが国のレンゲソウも独立した群として取扱われている

表2 - 非マメ科根粒植物が属する科・属

型	科名	属名	主なる分布地域	備考	
ハンノキ型 根粒植物	モクマオウ科 <i>Casuarinaceae</i>	モクマオウ属 <i>Casuarina</i>	濠州、熱帯アジア、太平洋諸島	モクマオウ類	
	ヤマモモ科 <i>Myricaceae</i>	ヤマモモ属 <i>Myrica</i>	熱帯、亜熱帯、温帯地方	ヤマモモ、ヤチヤナギ	
マキ型 根粒植物	カバノキ科 <i>Betulaceae</i>	ハンノキ属 <i>Alnus</i>	欧州、シベリア、北アメリカ、アンデス、日本	ハンノキ、ヤマハンノキ、ヤシヤブシ	
	グミ科 <i>Elaeagnaceae</i>	グミ属 <i>Elaeagnus</i>	アジア、欧州、北アメリカ	アキグミ、ナワシログミ	
	クロウメモドキ科 <i>Rhamnaceae</i>	<i>Hippophae</i> 属	アジア、欧州	外国産	
		<i>Shepherdia</i> 属	北アメリカ	外国産	
	クワメドモドキ科 <i>Rhamnaceae</i>	<i>Ceanothus</i> 属	北アメリカ	外国産	
		<i>Colletia</i> 属	北アメリカ	<i>C. cruciata</i>	
	ドクウツギ科 <i>Coriariaceae</i>	<i>Discaria</i> 属	南アメリカ、ニュージーランド、濠州	<i>C. cruciata</i>	
		<i>Coriaria</i>	地中海地域、チリ、日本、ニュージーランド	ドクウツギ	
	マキ型 根粒植物	バラ科 <i>Rosaceae</i>	チョウノスケソウ属 <i>Dryas</i> 属	北極圏、北半球温帯山岳部	<i>D. drummondii</i> 外国産
		ツツジ科 <i>Ericaceae</i>	<i>Purshia</i> 属	北アメリカ	外国産
<i>Cercocarpus</i> 属 <i>Rubus</i> 属			北アメリカ 東南アジア	外国産 <i>R. ellipticus</i> 外国産	
ソテツ科 <i>Cycadaceae</i>		<i>Arctostaphylos</i> 属	北・西部および中央アメリカ、欧州、アジア	外国産	
ソテツ型 根粒植物	ソテツ科 <i>Cycadaceae</i>	ソテツ( <i>Cycas</i> )属 その他8属	アジア、アフリカ、亜熱帯、北極	本邦産ソテツのみ 他は外国産	
マキ型 根粒植物	マキ科 <i>Podocarpaceae</i>	マキ( <i>Podocarpus</i> )属 属その他3属	南米、アフリカ、南洋群島、ニュージーランド	本邦産はイヌマキ、ナギの2樹種	
マキ型 根粒植物	コウヤマキ科 <i>Sciadopitaceae</i>	コウヤマキ属	日本	コウヤマキ	

秃しゃ地、崩壊地、鉱毒汚染地、砂漠)での接種効果は、マメ科農作物のみならず樹木にとっても著しいことが知られている。

元来、マメ科植物の根粒の形成は、比較的好気的条件下が必要であって、野外においては地表10~15cmの間に多くみられるが、堅密な粘土質土壌や湛水地では殆んどみられない。また窒素肥料を多量に施すと、根粒の形成と窒素固定能力を著しく低下させるが、逆にリン酸肥料は著しく促進する効果がみられる。リン酸成分の欠除は、たとえ他の条件が適当であっても根粒の形成はみられない。またこの他、微量元素のうち、硼素(B)は根粒の組織およびバクテロイドの形成に、モリブデン(Mo)は窒素固定に必須の元素とされている。なおこのような傾向は非マメ科根粒植物でも認められている。

非マメ科植物の根粒

マメ科植物以外の植物で根粒の形成が報告されているものは、表2のような科、属に属している植物の中にみられている。これらの根粒は一応、ハンノキ型、ソテツ型、マキ型およびハマビシ型の4つの型に大別されるが、ハマビシ型に属するハマビシ科およびアカネ科の根粒については報告例も少なく、根粒の範ちゅうに入れることについても異論がみられるので、ここでは除外することにした。

(1)ハンノキ型の根粒

この型に属する根粒植物は、現在、表2にしめ

すように世界で8科14属、総計158の種あるいは変種が知られている。わが国ではハンノキ属16、グミ属13、ヤマモモ属3、ドクウツギ属1、計33のものについて根粒の形成が報告されている。なお表2に記載されているバラ科のチョウノスケソウ属のうち、わが国の高山植物に属するチョウノスケソウには根粒の形成はみられていない。

この型の根粒は、いずれもほぼ類似した形態をしめしており、側根が伸長をやめて膨大したもので、根そのものの構成組織をもっている点で、マメ科植物の根粒とは内部構造が著しく異なっている。いずれも多年生根粒で、古いものは叉状分岐が密集したサンゴ状の球形をしており、ハンノキ、グミでは直径10cm以上のものがみられる。なおモクマオウ、ヤマモモ属の根粒には、他の属のものとは異なり、多くの場合根粒の先端部に本来の形態をした背地性の根粒細根の形成がみられ、これは根の呼吸作用と関連があるものと推定されている。これらの根粒の内生菌は、根粒の肥厚した皮層部柔細胞に分布しているが、その本体については、これまで細菌、糸状菌、放線菌、粘菌説などいろいろ異説が主張されているが、いずれについてもまだ異論のない根粒形成菌の分離に成功していない。しかし最近の詳細な電子顕微鏡による観察結果や、根粒から圧倒的に放線菌の分離に成功している例がしばしば見られることなどから、根粒内生

菌の本体は放線菌とする説が有力である。なおハンノキ、ヤマモモ、モクマオウ属などの根粒内には、内生菌系のほかに、内生菌の菌糸より生じたと思われる特異な形態物として胞状体とバクテロイドの存在が報告されており、前者は共生窒素固定機構に、後者は根粒の形成に密接な関連があるものとみなされている。

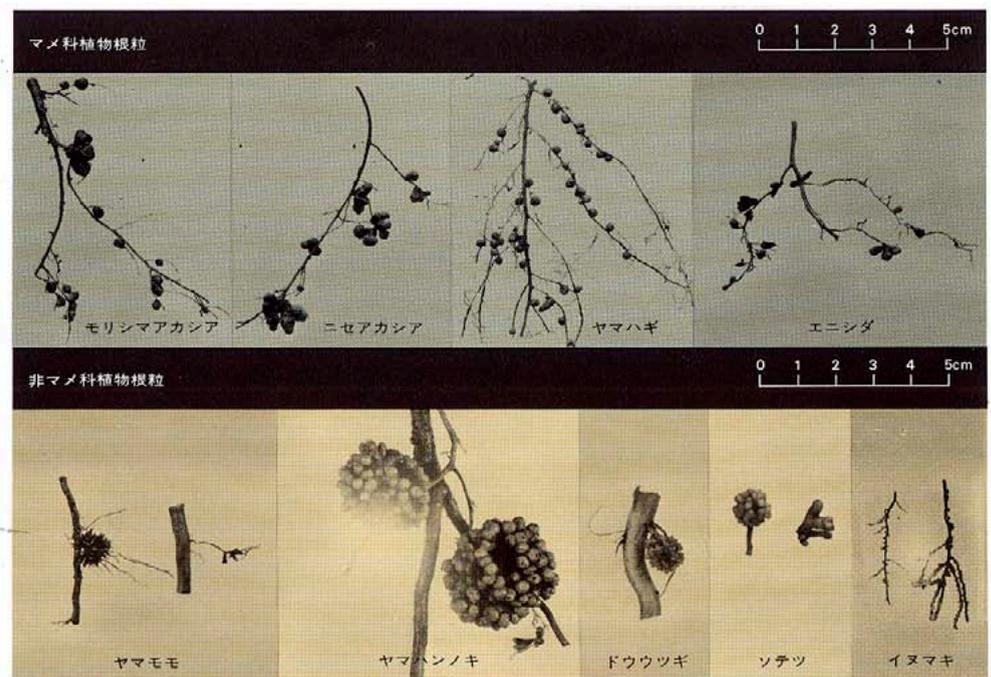
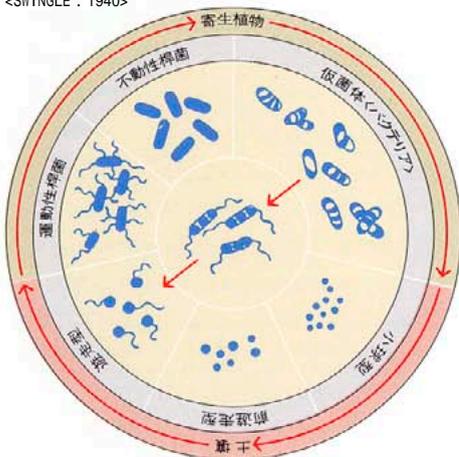
ハンノキ型に属する代表的な根粒(ハンノキ、ヤマモモ、グミ、モクマオウ、ドクウツギ、Ceanothus, Cercocarpusなど)は、最近の無窒素培養や<sup>15</sup>Nを用いた、またはアセチレン還元方法による基礎実験の結果では、マメ科根粒と同じように、共生窒素固定を行なうことが多数の研究者によって明らかにされている。その中には、マメ科作物に劣らない窒素固定能力をもつ例も少なからず報告されている。

ハンノキ型の根粒についての研究は、マメ科根粒に比べると大変遅れており、かつ調査が進むにつれて新しく追加されたものもあり、また根粒内生菌の本体も解決されていない現状で、その共生窒素固定機構の解明も含めて、極めて興味深い課題を提供している。

(2)ソテツ型の根粒

ソテツ科の植物は、9属約90種が知られ、これまでにその約1/3に根粒の着生が報告されている。ソテツの根粒は地表あるいはその近くに形成され、多年生で叉状分岐をしており、古いものはサンゴ状体をしていて、直径10cm以上に達す

図1 - 根粒菌の生活史における菌の各種形態  
<SWINGLE, 1940>



るものもある。外部形態は、ハンノキ、グミなどの根粒にやや類似しているが、内生菌を含んだ内皮細胞は著しく発達し、これに反して維管束の発達は不良である。ソテツの内生菌として最初に注目されたのは、内皮細胞中にみられる藍藻類であって、これは、根粒の断面が緑色をしているので肉眼的にも認められる。この他数種の細菌類の存在も主張されているが、根粒形成菌の実体は明らかでない。しかし最近では、ソテツの根粒は、イヌマキの根粒と同様、微生物と関係のない本来の性質であって、藍藻類などの内生菌は2次的に侵入したものと推定されている。

これらの根粒が共生窒素固定を行なうかについては、最近 Ceratozamia, Encephalartos, Macrozamia 属の根粒を対象とした  $^{15}\text{N}$  テストの報告があるが、強力な窒素固定がみられている。また根粒から分離された藍藻類および細菌類の中に、単独で窒素固定するものがみられている。

### (3) マキ型の根粒

マキ科(4属約60種、わが国ではイヌマキ、ナギが分布している)、コウヤマキ科あるいはこれに類縁の植物(Agathis, Araucaria属など)の根には、直径1~2mmの球状の根粒が多数着生しており、とくにマキ属の根粒は、古くから内外で非マメ科根粒の一つとして注目されてきた。これらの根粒は側根の変形したもので、中央維管束の発達は比較的不良であって、内生菌は内皮細胞中に分布している。普通1年生の根粒であるが、まれに2年生のものも認められる。内生菌の本体としては、糸状菌説、細菌説などが主張されてきたが、最近の電子顕微鏡による調査結果では糸状菌説(菌根説)が有力である。しかし他方では、根粒から主に放線菌を分離することに成功している例もあり、根粒菌の実体はまだ不明である。最近多くの研究者によれば、無接種の無菌養成苗にも根粒の形成をみており、根粒形成はソテツ型の根粒と同様、そのもの本来の性質であって、内生菌は2次的に侵入したものとする説が有力である。また、根粒は一種の保水器管の機能を兼ねるとする人もいる。マキ属の根粒が共生窒素固定を行なうものであるか否かについては、最近 $^{15}\text{N}$ を用いた2~3の実験が報告されており、その中には僅かな量ではあるが、窒素の固定が認められた例もみられている。

根粒植物と土壤生態系におけるチッ素の集積マメ科、非マメ科根粒植物は、やせ地、禿山、砂地、ときには湿地などの環境条件の悪い地域において、植生の先住木(先駆樹種)としての性質をもっているが、それと同時に土壤に窒素を蓄積する能力をもっているため、植物生態学上重要な役割をになっている。特に林業分野では、ニセアカシア、アカシア類、ハギ、イタチハギ、ネムノキ、エニシダなどのマメ科樹木、ハンノキ、ヤシャブシ、ヤマモモ、グミ、モクマオウなどの非マメ科根粒植物は、肥料木という名称で、やせ地や砂防地の造林木あるいは混植樹として利用され、大きな成果をあげている。

これらの根粒植物の野外あるいは林地における1ha当たりの年間窒素固定量の調査結果の数例を見ると、自然植生におけるマメ科樹木では、平均して50~150kgの間とされており、またマメ科樹木のタンニアカシアは、30年生の林で毎年200kgを固定する例がアフリカのナタール地方で報告されている。非マメ科根粒樹木では、ハンノキ属についての調査が多く、アラスカの石礫の不毛地で、ハンノキ(*A. crispa*)とチョウノスケソウを主体とした林では、毎年62kg/haの窒素の蓄積がみられ、土地が肥沃になると針葉樹が優生樹種となること。また、同様な現象が欧州のアルプスの氷河跡地においても報告されている。オランダのグルチノザハンノキを主体とした森林では、毎年60~130kg/haという報告例がある。なおアメリカのカリフォルニア湖では、湖畔に面してハンノキ林が密生していて、湖畔周囲の土壤及び湖水の水が富栄養化し、プランクトンが旺盛に発育している例があげられている。

ヤマモモは、わが国では、瀬戸内の石英粗面岩地帯における粘土質せき悪土壌の改良には必須の肥料木であって、マツと混植して大きな成果をあげており、混植後12年間に、毎年80kg/haの窒素増加の例がみられている。またアメリカのペンシルバニアの窒素分不足のボタ山では、定着樹種としてヤマモモが最も優れており、次いでグルチノザハンノキがあげられている。

グミ科の植物のうち、グミ属とくにアキグミの植物は、わが国の海岸砂丘などの緑化造林にクロマツと混植して大きな成果をあげている。スカンジナビヤではHippophae属の植物が氷河跡地の最初の優生樹種の位置をしめており、英国の海岸砂丘のHippophaeの若い林では、年間

1ha当り27kg、壮齢林では179kgの窒素の増加が報告されている。オランダの10~15年生のHippophaeの灌木林では毎年15kg/haの窒素増加が知られている。

モクマオウ属は熱帯性の樹種であるが、アフリカのケイベルデ岬諸島におけるモクマオウの造林地では、毎年64kg/haの窒素固定の例がみられ、またマレー半島では、牧草の収量増加のための母樹として、その効果が期待されている。ドクウツギは、マメ科植物の少ないニュージーランドやスペインの東部山岳地帯で、林内に侵入して地力の増強に大きな貢献をしている。Ceanothus属の植物は、アメリカのオレゴンでは不毛地に分布し、野獣の好飼料となっている一方、地力の維持、増強にも大きな役割を果たしている。また北部ロッキー山岳地帯では、ボンデローサマツの混植木として推奨されている。チョウノスケソウ(Dryas)属の植物は、最近アラスカや欧州の山岳地帯の寒冷地や、氷河跡地の先占木(土壤改良植物)として注目されており、アラスカの氷河跡地のチョウノスケソウとShepherdia属の植生で被覆された灌木林では、過去70年間に、毎年60kg/haの窒素の増加をみている。そのほかのハンノキ型の根粒植物に属するPurshiaおよびCercocarpus属の植物は、アメリカの西部11州に広く分布し、Arctostaphylos uva-ursiはカリフォルニア山脈のやせ地で、ヤマモモやCeanothus属の植物と一緒に自生し、やせ地の地力増強に貢献しているといわれている。

ソテツ科の根粒がかなりの共生窒素固定能力をもつことはすでに実証されているが、わが国の暖地でも、ソテツ林の林縁下では農作物の生長が促進されている例からも、ハンノキ型の根粒植物と同様な効果をもつものと思われる。

マキ型の根粒の共生窒素固定能力については、まだ実験的に十分な結果を得ていないが、オーストラリア、ニュージーランド、タスマニアの岩石地や山岳崩壊地に、先駆樹としての森林植生を占めている点から判断して、根粒植物に近い機能を持つものと推定される。

以上は、おもに各種根粒植物が、郷土の自然植生において、どの程度の窒素固定を行なっているかを紹介したものであるが、わが国では古くからこれらの根粒植物は、肥料木としてやせ地、砂防造林に取り入れられている。

いま前述のヤマモモの混植効果について、筆者

らが調査した事例の一部を紹介する。試験地は姫路に近い、海岸から2km離れた緩斜面で、石英粗面岩の粘土質せき悪地である。付近一帯は樹齢10～15年、樹高1～2mの矮生のクロマツ林が占め、短期間の皆伐の繰返しで土性は著しく劣悪化していた。1957年、約30haのクロマツ林内に、ha当りに換算して50kgの窒素を施して、3年生ヤマモモ苗4,000本を混植した。12年後の1969年に、隣接して、A区=ha当たりヤマモモは萌芽株も含めて4,300本、クロマツ1,500本の混植区。B区=ヤマモモ2,380本、クロマツ1,540本の混植区。C区=クロマツ6,490本単植区。という3つの試験区を設置し、各試験区のクロマツ標準木の生長ならびに土性調査を行なった。その結果の一部を示したものが、図2・図3である。すなわち

(1)ヤマモモ混植区のクロマツ標準木は、いずれも混植後3～4年目から生長が促進し、12年目には、非混植区のクロマツの標準木材積に比べ、A区で約5倍、B区で約3倍を示した。

(2)ヤマモモ混植区の土壌は、非混植区のものに比べ、いずれもアルカリ性に傾き、置換酸度 $y_1$ の値も小さく、また置換性Ca、Mgの含量も高く、C区に比べて土性の改善がうかがわれた。

(3)A、B、C区の層別土壌の窒素含有率にはそれほど差はみられないが、林床も含めて、地表下30cmの土壌のha当りの窒素含有量は、それぞれ、3,089kg、3,163kg、2,370kgで、これにバイオマス(ヤマモモ、クロマツの地下部も含

めた樹体全量)から換算した窒素量を加算すると、それぞれ合計3,452kg、3,395kg、2,428kgとなり、初期にA、B区に施与されたha当たり50kgの窒素を差し引いても、12年間に、C区に比べてA区は974kg、B区は917kgの窒素の増加、年間にしてha当り80kg内外の窒素の増加が認められている。いまそれらの肥培機構を分析してみると、以下の事項が考えられる。

(1)落葉・落枝の林地への還元

窒素含有量の高い落葉・落枝が、林床で容易に分解し、土壌へ還元され、土壌の物理的、化学的、微生物的条件を改善する。とくに、林床の窒素養分の増加と土壌腐植の造成を促進する。本効果は、落葉量の多いハンノキ類などでとくに大きい。

(2)根系および根粒崩壊物の林地への還元

本効果は、(1)の場合に準ずるものであるが、とくに根粒は、ほかの部分にくらべて窒素含有量が多く、しかもアカシア、ハンノキなどの例では、根粒が樹体の重さの10%近くの多量を占める場合もみられている。またマメ科作物のうち、地下部が地上部に比べて大きいルーサンやクローバーでは、その効果が大きいとされている。

(3)肥料木の根粒あるいは根系からの化合態窒素の分泌

ある環境条件下で、クローバーやハンノキの根粒からこのような現象が見られることから、根粒植物がもたらす肥培効果の一つと考えられるにいたったものであるが、(1)、(2)の場合にもた

らされる窒素量にくらべて、分泌される窒素量は極めてわずかであるとする説もみられる。

(4)根粒植物と非根粒植物の根系間の連結

異種植物間で根系の生理的連結が可能であるか否かは別として、マメ科と非マメ科牧草の混播あるいは肥料木と主林木(マツ、スギ、ヒノキなど)の混植林では、しばしば両者の根系が分離不可能な状態まで交索あるいは密着している場合が認められる。その著しい例として、アカマツの根がグミの根粒を貫いている例も見られている。このような場合は、根粒植物の根系あるいは根粒からの、窒素に富んだ分泌物が非根粒植物の根に吸収されて生長に有利な結果をもたらすことも考察される。なお老木の幹のうつろの中に、異樹種の植物が定着して生育している例は、時おり見られる

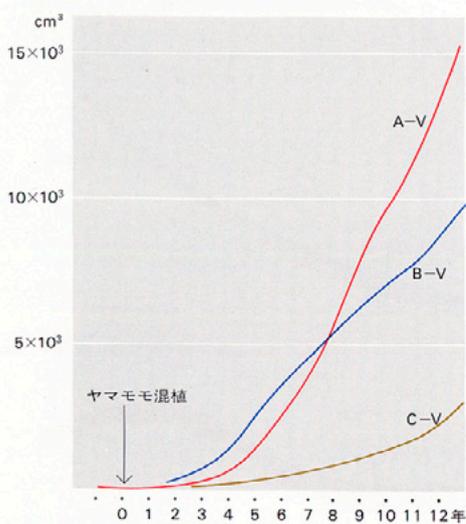
(5)炭酸ガス同化作用の促進

一般に根粒植物の根は、他の植物の根にくらべて炭酸ガスの発生量が2～3倍をしめしており、とくに根粒において著しいとされている。このことは植物の炭素同化作用を促進し、一方、土壌の養分水の濃度を高めて植物の生育を促す効果が期待される。

(6)その他

上述した以外にも、根粒植物の導入によって、根系による土壌の物理性の改善、病虫害を含めた諸被害の減少、林床の落葉、落枝の分解を促進して菌根菌や有効菌を増加させるなどの報告例がみられている。

図2 - 各試験区クロマツ標準木の樹幹材積生長経過



●注1 A区はヤマモモ4300本、クロマツ1540本ha当り  
●注2 B区はヤマモモ2380本、クロマツ2850本ha当り  
●注3 C区はクロマツ6490本ha当り

表3 - 各試験区の土性調査結果

試験区	層	深さ	酸度 ( $H_2O$ )	置換 酸度 $y_1$	全窒素 %	アンモニア 態窒素 mg/100g	硝酸態 窒素 mg/100g	炭素	塩基置換 容量 mg/100g	置換性塩基 mg/100g			容積 比重 %	全窒素 kg/ha		
										石灰	マグネ シウム	カリ			計	
A区ha当り ヤマモモ 4300本 クロマツ 1540本	L	3	4.35		1.84	22.7	52.5	48.9							129	3,089
	F	1-2	4.27		2.01	56.4	19.9	37.3						62		
	A	0-10	4.65	8.8	0.22	4.0	0.6	1.2	10.6	0.16	0.15	0.15	87	1,914		
	B <sub>1</sub>	10-25	4.85	8.2	0.05	2.3	0.7	0.5	4.6	0.13	0.05	0.16	118	708		
B区ha当り ヤマモモ 2380本 クロマツ 2850本	B <sub>2</sub>	25-30	5.17	5.7	0.03	1.7	1.0	0.3	4.6	0.05	0.18	0.13	115	276		
	L	3	4.50		1.68	34.3	42.2	46.8						113	3,163	
	F	1-2	4.70		1.77	45.0	17.5	38.7						43		
	A	0-10	4.85	7.7	0.19	4.0	0.9	1.1	9.7	0.15	0.12	0.13	83	1,577		
B <sub>1</sub>	10-25	4.78	7.7	0.07	2.0	1.0	0.5	4.3	0.12	0.07	0.14	110	1,155			
C区ha当り クロマツ 6490本	B <sub>2</sub>	25-30	5.05	6.0	0.05	1.8	0.8	0.3	4.1	0.05	0.13	0.13	110	275		
	L	3	4.00		1.09	22.6	33.3	48.6						72	2,370	
	F	1-2	3.90		1.46	33.2	6.0	44.4						58		
	A	0-8	4.43	14.9	0.17	2.4	0.6	1.3	12.0	0.13	0.05	0.13	85	1,156		
B	8-20	4.77	14.9	0.05	1.7	0.6	0.6	6.5	0.09	0.05	0.14	134	804			
B	20-30	4.80	16.5	0.02	1.5	0.6	0.3	5.0	0.02	0.15	0.12	140	280			

# 3 森林・その土壌と植生をめぐって

## 土壌と植生の相互作用

東北日本を中心に

山谷孝一 = 林業試験場東北支場育林部長

森林における水のはたらき

土壌と植生を中心に

有光一登 = 林業試験場土壌第三研究室長

土壌生物のはたらき

小川 真 = 林業試験場土壌微生物研究室長

森林における物質循環

堤 利夫 = 京都大学農学部教授

## 土壌と植生の相互作用

東北日本の森林を中心に

東北日本における森林・土壌の垂直的分布

編集 本誌13号では、土壌というものが長い時間的経過のなかでさまざまな環境因子によって生成されるという、いわば土壌のなりたちを特集したのですが、本号では、土壌と植生の相互作用というところに焦点をしばって、いろいろとお話をお伺いしたいと思います。最初に山谷先生からお願い致します。

山谷 土壌と植生の相互作用ということですが、これには二つの観点が含まれます。一つは、植生も土壌も自然物でありますから、長い時間的経過の中で生成された自然物として、自然環境の側面からとらえることができます。もう一つの観点は、植生と土壌とは一つの生態系を構成していて、土壌が植生に、植生が土壌にそれぞれ作用しあって一つの生物的な世界をつくっているということです。

まず第一の自然物としての観点からみてみますと、これは本誌前号に紹介されているように、植生と土壌とはある対応関係を保って出現して

おります。東北日本でもこのような森林・土壌の分布は、図1-1に示すように丘陵帯から高山帯まで、それぞれの気候帯に対応して、垂直的に変化しながらきれいに配列しております。

まず丘陵帯では、植生は夏緑広葉樹林のクリ・コナラ林、あるいは安定したアカマツの天然林が分布しておりますが、ここには赤褐色森林土、局所的には古赤色土があらわれます。

山地帯になりますと、植生はブナ林で代表されますが、上部ではブナ・ダケカンバ林になり、下部はブナ林あるいはブナ・ミズナラの天然林で占められます。土壌は、代表的な褐色森林土が分布しますが、上部のブナ・ダケカンバ林のところには、比較的腐植が蓄積している暗褐色森林土が分布します。

亜高山帯になりますと、植生では、東北地域ではアオモリトドマツ林が安定した森林になっており、そこでは比較的腐植の多い腐植型湿性ポドゾルが代表的な土壌としてあらわれます。アオモリトドマツ林もその上部になりますと、樹高が非常に低く形も悪い矮形になりますが、その土壌は、非常に過湿で腐植に富む泥炭ポドゾルとなります。高山帯は、森林限界にあたり

図1-1 - 東北日本における森林・土壌の垂直的分布

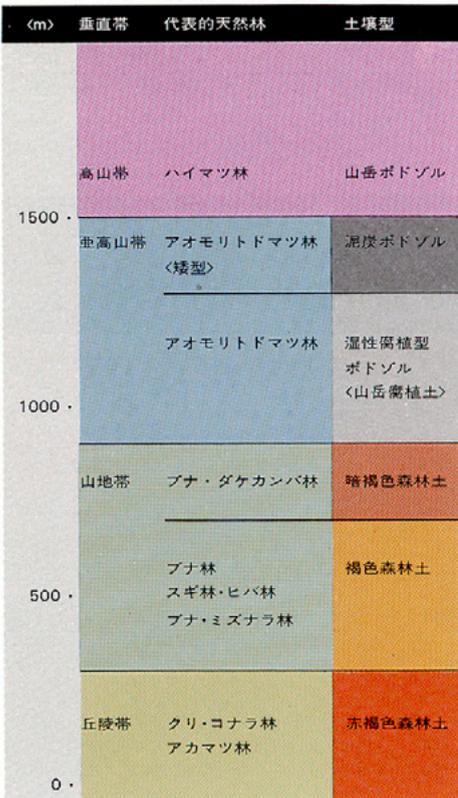
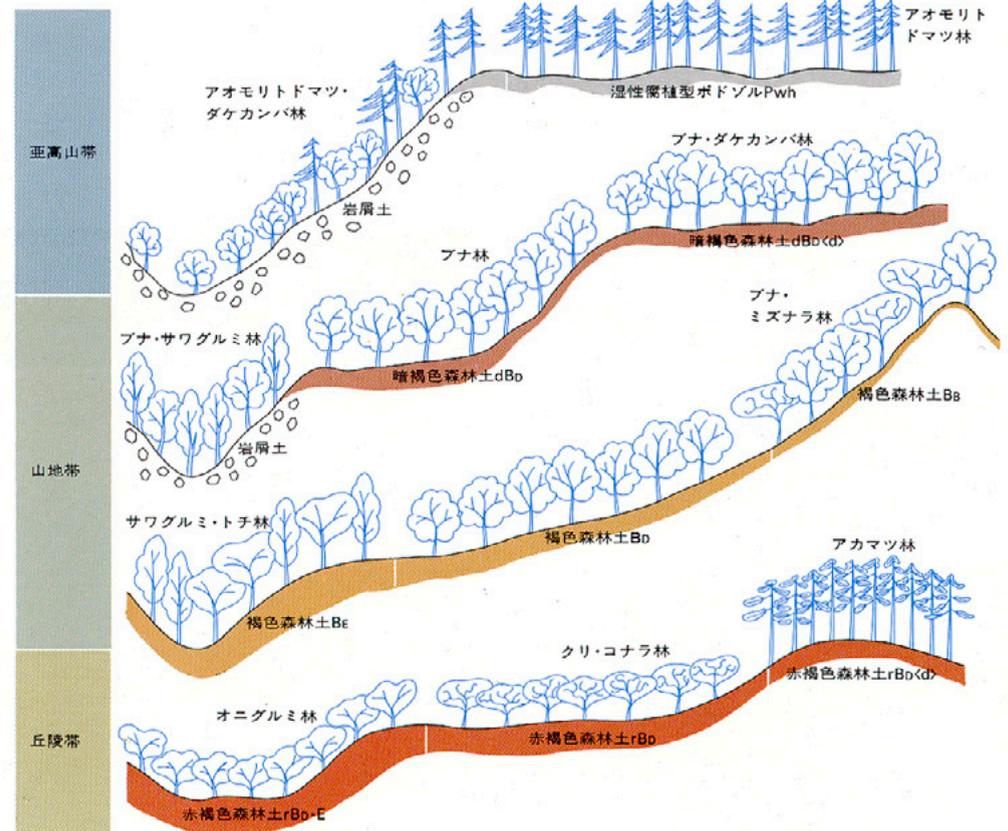


図1-2 - 各垂直帯内の起伏と土壌配列<カテナの関係>



植生はハイマツ林にかわり、その下には山岳ポドゾル土があらわれます。

局所的には起伏に応じて森林・土壌は分布する。このように植生と土壌とは、気候帯の違いに応じて垂直帯別にきれいに配列しておりますが、それぞれの垂直帯のなかには、必ず地形の凹凸があります。この凹凸を起伏といっておりますが、この起伏によって環境条件が非常に違ってきます。水の動きが違ふし、風のあたり方も違ふ。日射や温度の状態も違ってきます。なかでも水の動きというのは大変重要で、水分環境の違いによって植生なり、土壌の発達違ってきます。こうして地形の凹凸、起伏に応じて、さまざまな植生と土壌があらわれます。

しかし、一口に起伏といいましても、丘陵帯から高山帯まで起伏の様相は一様ではなく、それぞれの垂直帯には特徴的な起伏があります。まず丘陵帯を考えてみますと、ここは海拔高の比較的低い地域なので、起伏量 最高と最低の差も比較的小さく、なだらかな波状地形が発達しています。それが山地帯になると、峰や谷が多くなって、高低の差が非常にはっきりしてきます。いわゆる開析された地形になってくる。

したがって、起伏も大きくなるし傾斜も急になり、尾根・斜面・谷というものがはっきりと分かれてきます。さらに亜高山帯になると、こんどは、日本全体が火山国といわれるように火山地形がよく発達しています。これはおそらく一般の人が想像する以上のもので、とくに東北地方ではそれがいちじるしい。したがって、山地帯とは逆に、こんどは尾根面がフラットになります。このように単に起伏といっても、各垂直帯によって必ずしも一律ではなく、内容がそれぞれ違います。ですから、そういう内容の違いと、垂直帯による気候の違いと、そういったものを反映して、そこにさまざまな植生なり土壌があらわれてくるのです。こうした関係を示したものが図1-2です。

図にみるように丘陵帯の凹地では、東北日本ではオニグルミ林が優先し、そこには赤味をおびた適潤性ないし弱湿性の土壌があらわれます。尾根面はアカマツ林で占領され、そこには弱乾性の赤褐色森林土があらわれ、一般斜面はクリ・コナラ林が広く占領し、そこにはノルマルな赤褐色森林土があらわれてきます。山地帯になりますと、一般斜面はブナ林になり、

そこには代表的な褐色森林土があらわれますが、谷面にはサワグルミヤトチの森林、尾根面はブナ・ミズナラの森林になり、土壌は乾性の土壌があらわれます。それから山地帯の上部では、谷面の傾斜が急になりますが、斜面はブナ林、上部の台地がブナ・ダケカンパ林で、ここに暗褐色森林土があらわれます。谷面は開析されてくるので、ここには岩屑土 石礫の多い未熟な土壌がでてきます。

亜高山帯ではこの傾向はさらに進んで、谷面ははっきりとした峡谷をなして岩石地が出てくる。ここでもアオモリトドマツとかダケカンパの森林があらわれますが、上部の安定した地形面ではアオモリトドマツが帯に分布し、そこに湿性の腐植型ポドゾルがあらわれる。このように局所的にみると、植生と土壌とは起伏に関連して分布の様相がきまってきます。こうした関係を、土壌のほうではカテナといっております。起伏によって土壌の性質が異なっている。ではどういうわけで、植生が起伏によってこのような住み分けをするのか、この点をもう少し詳しく述べますと、それはやはり、起伏に応じて土壌条件、とくに肥沃度が違うためにこう

図1-3 - 表層土の水分量と地形・土壌・土壌性質の対応関係

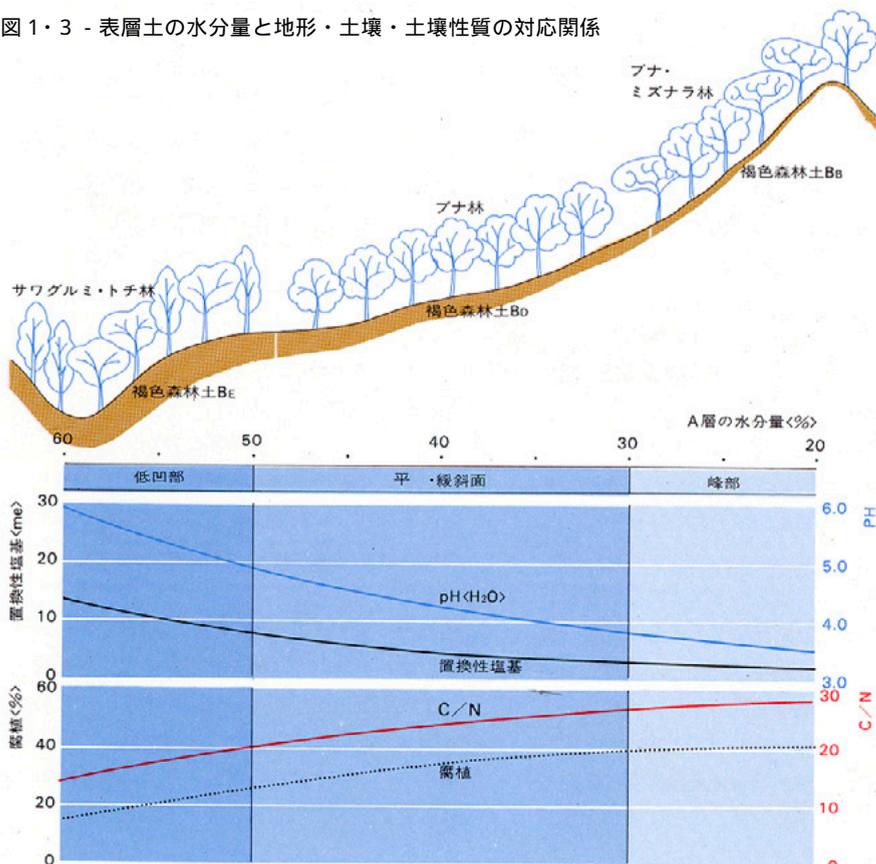


図1-4 - 局所地形による落葉分解状況とA層の性質

土層	水分環境	落葉分解	A層の発達	A層		
				C/N	酸性	置換性石灰
O <sub>1</sub>						
A <sub>1</sub>	ムル型 湿性	良好	良好	小	弱	多
A <sub>2</sub>						
B						
L						
F	モル型 乾性	不良	不良	大	強	少
H						
O <sub>2</sub>						

表1-1 - ヒバ林地帯の指標植物

土壌	指標植物
乾性	ミヤマガマズミ、アキシバ、ムラサキヤシオツツジ、ヤマウルシ、アキノキリンソウ、アズキナシ、マンサク
過潤性	アオダモ、チシマササ、ツルリンドウ、ハウチハカエデ
湿性	ウリノキ、ハナイカダ、イラクサ、ウワバミソウ、ミゾシダ、オング、リヨウメンシダ、サワグルミ、トチ
過湿性	オクノカンスゲ、アキタブキ、ミズバシヨウ、ヤマドリゼンマイ、クルマバソウ、スギナ、コウヤワラビ、ヤチダモ、ヤチハンノキ

いった住み分けがあらわれてくるのです。事実オニグルミでもサワグルミでも、そういう植生が分布していれば、われわれ森林関係者は、そこは土地条件がよいというように判断しております。たとえばスギを植えるという場合でも、そういった植生が分布しているところを目標にしてスギを植えれば、非常に成長のよいスギの人工林をつくり得るわけです。

図1-3は、こうした起伏に応じて土壌の性質がどう違って来るかを、山地帯を例にして調べたものです。図では、峰から斜面そして谷面の低凹地に移るにつれて、土壌断面A層の水分量が乾から湿にむかう状況をヨコ軸に青色の濃度であらわし、それに対応して土壌の性質がどのように変わるかを上に示しています。下には、水分量に対応して、土壌型が乾性の褐色森林土から適潤性・湿性の褐色森林土に変化してゆくことを示しております。

まず酸性についてみますと、乾性から湿性に移るにしたがってpHは増加し、強酸性から弱酸性に変化していきますが、置換性塩基の類は、逆に多くなっていきます。それから腐植の量は、ある程度減っていきませんが、同時にC/Nも下がっていきます。このC/N、炭素と窒素の割合というのは、腐植中の有機物の分解をあらわす一つの目安で、これが下がってゆくというのは、有機物の分解の割合が高くなって、いい形の有機物に変わっているということです。ですから、乾性から湿性に移るにしたがって、酸性が弱くなり、養分条件がよくなり、そこに供給された腐植もよく分解されていく。大ざっぱにいえば、このように理解してよろしいのです。つまり、乾性から湿性に移るにつれて土壌は肥沃度をましているわけで、そういった土壌の性質の変化に応じて植物が住み分けしているのです。

#### 植生による土壌の識別

ですから今度は逆に、植物の分布の状況をみてその場所の土壌の性質を判定することができるわけで、こうした植物をわれわれは指標植物といっております。

表1-1はヒバ林地帯のもので、土壌の乾性、適潤性、湿性、過湿性におけるそれぞれの指標植物を示したものです。尾根面の乾性のところには、アクシバやムラサキヤシオツツジなどのツツジの類、それからアキノキリンソウとかマンサクなど、それに対して湿性になってくると、

シダでも非常に大きいもの、リョウメンシダとかミゾシダ、オシダというような類、それからウワバミソウ、これはよく山菜料理にでてくるもので、東北地方ではミズナといっています。またサワグルミやトチなども出てきます。さらに過湿性になるとこれは湿り過ぎでグライ土壌になりますが、誰でもご存じのミズバショウ、ヤマドリゼンマイ、あるいはコウヤワラビ、それからヤチグモ、ヤチハンノキなどがでてきます。

このように、植物群落のあらわれ方によってその場所の土壌の性質を知ることができるわけで、林業ではこうした方法によって立地条件を判定することもよく行なっております。自然環境の側面からとらえた自然物としての植生と土壌との関係は、東北日本についていいますと、だいたい以上のようなことになるかと思えます。

#### 落葉分解が土壌に及ぼす作用・その1

丘陵地と上部山地・気候帯による違い  
ところで最初に申し上げたように、森林植生と土壌とは一つの生態系を構成している生物的世界でもあります。それは、生きものとして、休みなく生活を営んでおり、植生は土壌に、土壌は植生にそれぞれ深く作用しあって生きています。それで、こんどはこういった営みの中で、植生がどのような影響を土壌に及ぼしているかについてお話しします。

植生が土壌に及ぼす作用ということになりますと、生態系の中で一番大きく作用するのは、何といっても落葉分解を通しての作用です。安定した森林では、それぞれの環境条件や生物条件に応じて、年ごとに一定の落葉を落とします。その落葉が森林内で分解し、分解した養分は、あるものは土壌の中に入って行って再び樹木に吸収され、あるものは土壌圏外へ逃げたり、あるいは蒸発散したりして、それぞれの森林に応じているんな形で養分収支が行なわれます。ここでは、この一番大切な落葉分解が、土壌の性質にどのような影響を及ぼしているかについて述べたいと思います。

まず丘陵地と上部山地という二つの気候帯における土壌を例にとりあげます。一般に温暖な気候条件のもとでは、落葉はどんどん分解し、無機化したものが土壌中に供給され、腐植という形ではなかなか残らない。一方、寒冷で多湿な気候条件下では、有機物の分解は非常に緩慢で、そのために分解途中の腐植がそこに蓄積すると

いわれています。こうしたことをみるために、丘陵地と上部山地の二つの土壌について、これまで私どもが調査したデータを整理してみたのですが、それが図1-5 A・Bです。図にみるようにアカマツ林やクリ・コナラ林の植生をもつ丘陵地の土壌では、A<sub>0</sub>層にL層、F層はあらわれませんが、H層はあらわれません。一方、ブナ林やその他の広葉樹林の植生をもつ上部山地の土壌では、A<sub>0</sub>層にL層、F層だけでなく、さらにその下にH層が発達してきます。L層というのは、落葉そのものの層です。それが分解して砕けたのがF層で、さらに堆肥みたいに何の葉っぱかわからないくらいにまでに分解しているのがH層です。二つの土壌において、A<sub>0</sub>層の形態がこのように違うのは、これは主として気候条件に対応した分解形式のちがいによっていると考えられます。

この点をもう少しくわしくみるために、図Aでは丘陵地のF層と上部山地のF層の性質を比較してあります。F層というのは、これはほとんど有機物で構成されていますから、有機物の性質そのものについては、図にみるように、炭素の量その他を比較してもそんなに違いはないのです。しかし、ごらんのように、酸性の状態と石灰の量が非常に違います。丘陵地では置換酸度は104.9ですが、上部山地になると140.8にも増え、石灰については丘陵地26に対して上部山地は14と約半分しかありません。このように形は同じF層であっても、その内容が非常に違います。丘陵地の方は、無機化して塩基類、とくに石灰類をそこに蓄積し酸性も弱い。これに対し上部山地の方では、酸性が強くて石灰も余り含まれていない。このように丘陵地と上部山地とでは、一見すると同じような落葉の分解過程をたどっているかにみえても、その内容に非常に違いがあるのです。

では、こういった分解過程の違いがその下の土壌に対してどのような影響を及ぼしているのか、これを調べたのが図1-5 Bです。落葉分解が土壌に及ぼす影響はA層が主ですから、それぞれの土壌の15センチ、30センチの深さで調べてみました。まず炭素の量。これは腐植の量と考えてよろしいのですが、ごらんのように丘陵地と上部山地とでは倍くらい違います。すなわち丘陵地では、無機化が旺盛で腐植はどんどん分解され、腐植という形では土壌には余り供給されません。ところが置換性カルシウム、つまり

塩基の状態を見ますと、丘陵地の4.9, 3.4に対して、上部山地は0.4, 0.4で非常に少ない。その上、上部山地のほうはpHが低く、強酸性です。また加水酸度でも、その値が全く違います。値が大きいほど酸性が強いわけです。酸性が強いためにさらに塩基類が流亡していくことになります。このようにF層の分解内容の違いは、土壌の性質にもはっきりとした違いとなってあらわれています。丘陵地では塩基を供給し、腐植というものを余り供給していかないのでからA層が余り発達しないで明るい土壌ができる。それに対して上部山地では、酸性の強い大量の腐植をA層に供給し、逆に塩基類は余り供給されません。しかも、酸性が強いために、ただでさえ少ない塩基類がさらに流亡していく。こうして腐植で汚された暗いA層をもつ土壌ができてきます。

このように、丘陵地と上部山地という二つの異なる気候帯を代表する土壌では、落葉分解を通して全く正反対な土壌生成作用がふだんに行なわれているのです。落葉の性質からみれば、丘陵地のほうは硬い針葉のアカマツが主で、上部山地では軟かい広葉のブナが主になっていますから、丘陵地のほうが上部山地よりもはるかに分解しにくいのです。そういう分解しにくい落葉をもっておりながら、丘陵地帯では分解が非常に盛んで、無機化して余り腐植をとどめて

いかない。自然界ではこういうことが事実として行なわれているわけです。このように、温暖な丘陵地と冷湿な上部山地では、落葉分解をおして、全く正反対な土壌生成作用がふだんに行なわれているのです。

落葉分解が土壌に及ぼす作用・その2

ムル型とモル型・起伏による違い

では次に、局所的な地形の凹凸、起伏によって落葉分解がどう異なるのか、という話に移ります。これは、いわゆるムル型、モル型に該当するわけで、モル型のほうは地形的には尾根面、ムル型のほうは沢のほうの地形にあたります。両者の違いは図1-4に示すとおりで、凸部のモル型のほうは乾性で水分条件が余りよくない。したがって、そこにあらわれる植物そのものが違うし、分解も悪い。分解が悪いために有機物が地表面に堆積し、腐植としては土壌中にあまり入っていかない。それでA<sub>0</sub>層の形態は、L層、F層、H層という構成をとり、A層はうすくわずしか発達せず、その下にはすぐB層ができてきます。

それに対して凹部のムル型の場合には、水分環境に恵まれているので、落葉の分解がいい。落葉の分解がいいと、そこに石灰も供給され、酸性も和らげられます。そのことがまた分解条件をよくしていくわけです。その結果、A<sub>0</sub>層の形態はL層のみがあって 場所によってはF

層も若干ありますが すぐにA層がくる。そしてA層にはよく分解した腐植が入っていき、そこでは微生物や土壌動物も多くなって、土壌をよく混和していったり団粒構造をつくっていきます。こうして厚く深くA層が発達します。このようにモル型とムル型というのは、断面形態が非常に違います。もちろん断面形態だけでなくA層の性質も違います。C/Nはムル型は小さいし、モル型では大きい。酸性はムル型は弱いしモル型は強い。置換性石灰についても、ムル型は多くてモル型は少ない。このように土壌の化学的性質も全く対照的な傾向を示します。局所的な地形に応じては、こうした対照的傾向をもつモル型、ムル型の土壌があらわれます。ただ誤解のないようにつけ加えますと、局所的な地形による落葉分解の相違というのを、先ほどの成帯的な気候帯に対応した分解形式と混同しては困るのです。さきほどの例でいいますと、丘陵地のA<sub>0</sub>層の形はムル型に似ているし、上部山地のA<sub>0</sub>層の型はモル型に似ています。しかし、A層はまったく違うことからわかるように、この二つを同一レベルで比較することはできません。いまお話ししたモル型、ムル型という局所的な地形による違いというのは、さきほどの気候帯の分画の上からいえば、ちょうど山地帯を対象にしているような場合にあってはまります。おそらく丘陵地であれば、凹凸の若干の

図1・5 A - 丘陵地及び上部山地のA<sub>0</sub>層の形態とF層の化学性平均値

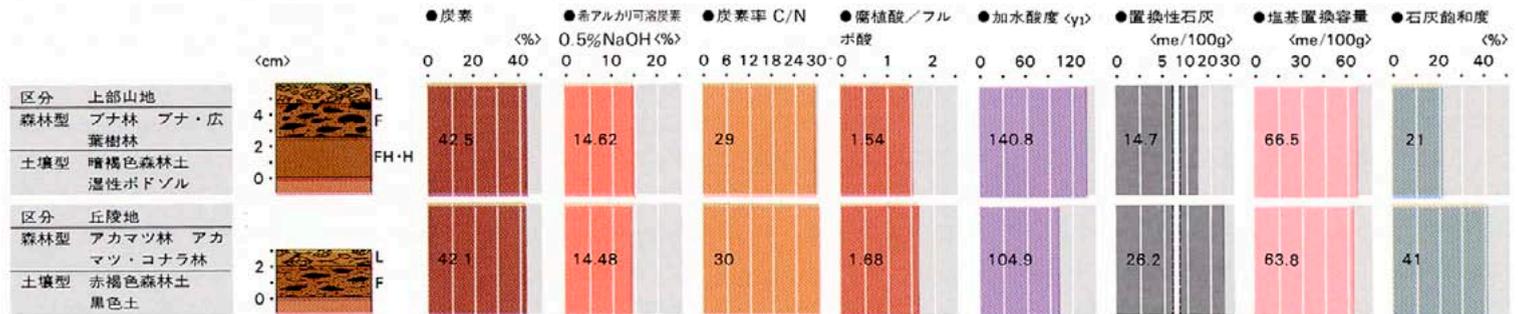
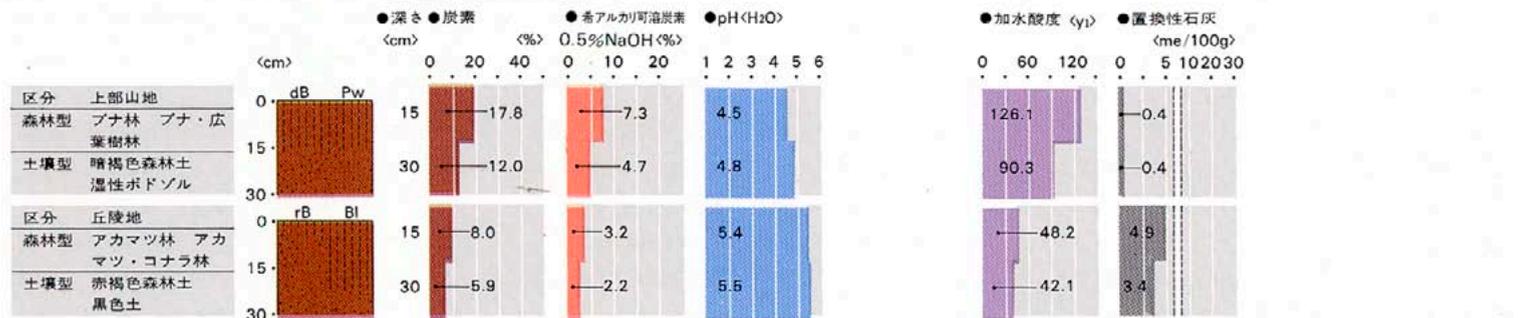


図1・5 B - 丘陵地及び上部山地の深さ別土壌性質の平均値



変動に応じて、また違った形があらわれてくると思います。

森林の伐採が土壌に及ぼす作用

ではその次に、こういう安定した森林を伐採した場合には、どういふ変動があらわれるのか。森林を伐採すると、まず地表気候が急激に変わります。とにかくものすごい日射を直接に受けて地温が上がってきます。したがって、そこに住んでいる土壌動物をはじめ、生物相にもものすごい変化が起こるはずで、そうしたことが土壌の性質にどうあらわれるのか。じつはそういうことをひとつ知りたいと思ひまして、青森県の津軽半島のヒバ林を対象に調べたわけです。図1-6は、A<sub>0</sub>層とA層の変化の様相です。図のムル型というのは沢沿い、モダ型は中腹、モル型は尾根筋と考えていただければよろしいのです。それぞれの場所で伐採してその後の性質を1年ごとに調べ、10年間の変化を見てみたものです。図では伐採前、5年後、10年後の三つに分けてまとめてあります。

まず伐採前をみてみますと、ムル型では、A<sub>0</sub>層はF層がちょっと堆積している程度で、A層はほかの型にくらべてぐんと厚く、腐植も下の方まで入っています。モダ型は、A<sub>0</sub>層はF層、H層が5cmくらいたまってますが、A層はわずかしか発達していません。それからモル型のところは、モダ型と同じように5cmくらいF層、H層がたまってますが、A層は溶脱層をもつポドゾル化土壌です。ヒバ林を伐採する前はそれぞれそういう形の土壌でした。それが伐採して5年たった状況を見てみますと、ムル型の場合にはA層の腐植がだんだん少なくなってAB層の形になってしまい、B層にかなり近い状態に変わっています。つまりムル型では、伐採すると、まずA<sub>0</sub>層が変化しますが、A<sub>0</sub>層が薄いので下のA層に蓄積されている有機物や無機物がどんどん消費していき、A層としての性質を失っていくわけです。しかしムル型というのは、水分環境がよいですから、伐採してもすぐに地表植生がでてくる。草とか灌木などが入り込み、そこから供給される落葉により新しいL層が出てくる。そして新しいFH層ができてきます。下の方のA層の悪化する状態はまだ続いているのですが、表層ではすでに回復が始まってきます。

ところがモダ型になりますと、モル型も似たような傾向をたどりますが、伐採5年後で

は、F層、H層という表層の厚くたまった有機物がどんどん分解して、分解したものがA層の表層に影響してきます。そのためにA<sub>0</sub>層がH/A層という形に変わり、ここでは、かえって置換性塩基が多くなる。という傾向がでてきます。それからA層の変化のしかたは、ムル型よりはややおくれてあらわれます。この変化は、モダ型からモル型になるに従ってだんだんおかれてあらわれます。ただA<sub>0</sub>層のほうでは、伐採前にあったF層、H層が、5年後のところではF層、HA層となって残り、10年後では、これがさらに縮小されてHA層の形でまだ残っているわけです。この過程では、表層の色がだんだん薄れてきて、形も色も変わるので非常にはっきりしております。ところが回復ということになると10年目にして初めて新しいL層が出てくるのです。ムル型では5年たてば、表層の回復が始まりますが、モダ型、モル型では10年目でやっとL層がでてくるという状態です。5年後、10年後のところにもHA層というのがありますが、これはいま申したように伐採前のA<sub>0</sub>層の残骸です。断面形態の上から見ますとムル型とモダ型とはこのような異なった変化過程をたどります。

では、土壌の性質ではどうなるか、それを示したのが図1-7です。図の加水酸度というのは、腐植などに原因する土壌の酸性ですが、ムル型では、5年、10年と経つごとにそれがだんだんに小さくなってきています。つまり、酸性腐植の供給量は、だんだんに減ってきているわけです。ところがモダ型、モル型では、むしろ大きくなって酸性化してきています。これは、A<sub>0</sub>層が分解して、それが酸性の腐植として供給されていることのアラわれです。それから置換性石灰を見ますと、ムル型は、伐採後5年たつとぐんと減り、10年もたつともとにもどっています。これは、5年後にはさきほどの新しいL層が回復しつつあるために、新しい地表植生からの有機物の供給とその分解によって、10年たてばもとどおりに回復してきていると見ていいと思います。

ところがモル型などの場合には、最初はちょっとしかないものが5年、10年とたつと非常に多くなっています。これは、伐採前のA<sub>0</sub>層が分解して、分解したものがこの中に供給されているという過程をあらわしているわけです。ですから、ほんとうに悪化する時期は、まだこれか

らさきのほうにかなりズレていると考えてよいかと思ひます。

こういった関係を模式的にあらわしたのが図1-8です。図では0.5%の苛性ソーダ可溶腐植、これが一番動きやすいので、それをインデックスにしてあらわしています。ムル型では、伐採前を0とした場合に、波状的に変化しながら5年後ぐらいいまで下がっていきませんが、地表植生が入り込んで、そこから有機物が供給されてくるとだんだんに上昇カーブを描いてきます。それに対して、ポドゾル化しているモル型では、伐採後1年ないし2年というのは伐採前にそこに蓄積されていた有機物が土壌に供給されて急激に上昇し、そのあとまた急に下がり始めていきます。モダ型では余り変化があらわれない。これは供給もするけれども、分解もして消費していくということです。このようにモル型とムル型とは非常な違いがあらわれます。

いずれにしてもA<sub>0</sub>層があるうちは、A<sub>0</sub>層が伐採に対して緩衝の役目を果たし、その土壌を守っていく。A<sub>0</sub>層のほとんどないムル型のような場合には、伐採は土壌そのものをダイレクトに変化させていきますが、そのかわりに、ここは水分条件がよいので回復も早い。A<sub>0</sub>層の多いモル型の場合には、最初は土壌悪化の程度はそれほどではなく、むしろ好転するような形を示すのですが、やがて悪化の過程に入っていくというように考えられるのです。ですからモル型では10年や15年では、まだ伐採の影響というのは強く残っていて、これは、相当長くまで響くだろうと考えられるわけです。このように、伐採が土壌の地力にどう影響しているかを見る場合にも、その土壌の性質によって変化の過程が全く違ってきます。林業というのは、人工的に植栽したり、あるいは天然更新によって森林をつくってゆくので、どうしても伐採という過程は逃れるわけにいかない。そのときに、土壌の中で起こるさまざまな変化を、各環境ごとに把握して、そして正しく応用してゆかなければならないと思うのです。

根による作用

いままでは落葉分解を通して植生が土壌の性質にどう影響するかということをお話したのですが、もう一つ、重要な問題があります。それは根による作用です。一般に生物の根というのは、土壌中から養分を吸収する細根(吸収根)と樹体を支える支持根があり、それぞれ土壌中での分

布状態もちがい、また組織も違うわけですが、ここで問題になるのは、土壌に対する根の作用です。落葉分解の方は、地表面にあるのでまだサンプルをとりやすく研究もしやすいのですが、根のほうは土壌の中にあるので調査がむずかしく研究が非常におくれているのが実状です。現存量の調査なども行なわれていますが、それとても研究例が少ない。まして、各樹種についてのいろんな環境条件の中での調査というのは、まだほとんどないという状態なのです。こういう状態なので、ここではごく一般的な問題しかお話しできません。

それで根の作用として問題になるのは、二つの側面があります。一つは、生物的に土壌にどう作用するかという問題です。もう一つは物理的にどのような作用をしているかということです。生物的な作用として考えられるのは、これは落葉と同じように、根というのは土壌に対して有機物、あるいは塩基類の供給源であるということです。森林にも老令の森林と若令の森林とがあるので、それによって供給量も違いますが、ソ連の例を見ますと、若令の林では年々、枯死する細根の量は、毎年の落葉量に匹敵する有機物量を土壌に供給しているという報告があります。たとえば50年生のトウヒの林では、深さ2mの土層の中に0.5mm以下の生の根がヘクタールあたり1.7トン、死んだ根が1.9トンあり、28年生のトウヒの林では、1.6mの土層の中に0.5mm以下の生の根が5.5トン、死んだ根が7.2トンもあるといわれています。こういう報告からみますと、根というのは有機物の供給源としては非常に大きい役割をもっているとみられます。しかも、土壌の内部から供給されるので、そういう有機物材料というのは、地表からの供給とはちがって無機化しにくく、腐植として供給されてきます。したがって、根のはたらきというのはかなり大きく評価しなければならない。ですから、こういう方面は、今後、積極的に研究していく必要があろうかと思っています。

また、もう一つの生物的作用としては、根がいろんな微生物と関連してはたらく生化学的な作用です。このことは、根が岩石母材の風化作用や土壌にたいする機械的作用など、一般土壌学の教科書にもいろいろのことが指摘されているわけですが、ここでは、ちょっと別の側面のことを申し上げます。もともとブナ科、シャクナ

図1・6 - ヒバ林下の代表土壌における伐採後のA<sub>0</sub>, A層の変化

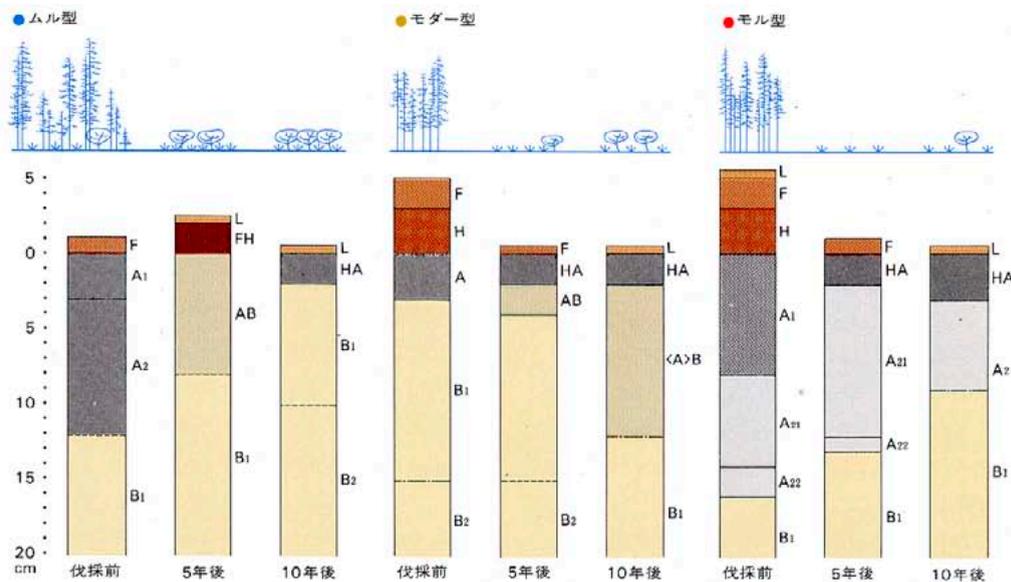


図1・7 - ヒバ林伐採による表層15 cmの土壌性質の変化

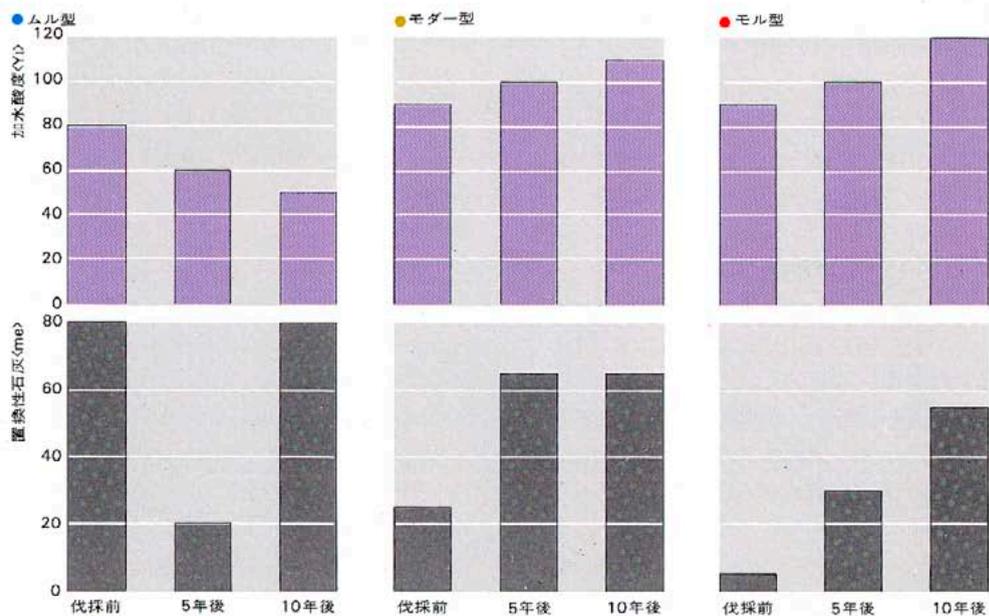
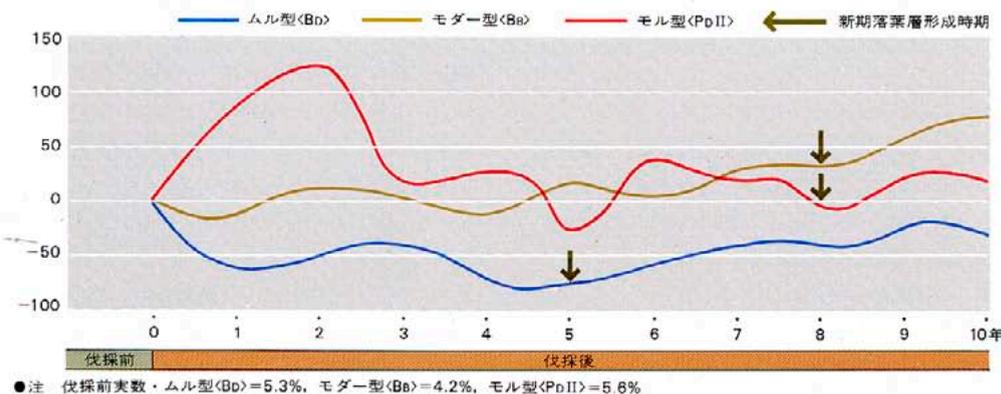


図1・8 - 0.5% NaOH可溶腐植<C含量>の経年変化<15 cm深度平均値>



ゲ科あるいはマツ科などの樹種では、外生菌根をつけるものが多いのですが、こういう外生菌根をつける植物が林をなしている場合に、年々その菌糸がそこで枯死して、そこに累積されて菌糸層ができてくる。あるいは菌糸層ができないまでも、そういう菌糸が土壌の中に入っていく。ところが、こういった菌糸には水をはじく性質があるので、尾根のようなもともと乾燥する場所では、土壌がますます乾燥してせきあく化していく。もちろん、一般的には根の菌糸とか菌根というのは、土壌の細粒状構造の形成と密接な関係をもっているといわれています。こうしたことも含めこの分野の根の作用というものについてこれからは研究をすすめていく必要があると思います。

それからもう一つの物理的な作用ですが、これには土壌の緊縛力という問題、崩壊など土地保全に関連する作用です。森林を伐採していけば当然、根は枯死します。枯死すると、いままで土壌を緊縛していた根が枯れてしまうので、土壌が非常に緩みます。そして崩壊が始まるということになるわけです。伐採した場合、林地面はそのままほったらかすわけではなくて、造林していきますが、その造林部分の根がまだ十分な緊縛力をもたない場合には、そういった崩壊をはじめいろんな問題がでてくるのです。

以上、土壌と植生との相互作用ということで現在私が考えていることをお話ししました。

北山杉の場合

編集 森林伐採後の土壌調査はヒバ林を対象にされていますが、これはブナ林などでもやはり同じ傾向と考えてよいのでしょうか。

山谷 同じですね。現在、ブナ林でも調べておりますが、やはり同じ傾向をたどっていますね。

編集 そうした調査の場合、土壌侵食などのエロージョンの要素はどのように扱われるのですか。

山谷 この調査は、地形的・植生的に安定したところで実施しており、エロージョンのおこりやすい斜面地形の不安定なところははずして、そういう要素の入らない安定したところで調べているのです。落葉層、A<sub>0</sub>層だけでなく、土粒なども流亡してゆくような場合には、むしろ物理的な移動になってしましまして、植生と土壌との本来の関係がわかりにくいものですから、そういうところははずして調べるわけです。

編集 ただ実際には、日本の山地は傾斜が急で、

たとえば京都の北山などでも相当の傾斜面を利用してあれだけのものをやっているわけでしょう。そうした場合、当然エロージョンの要素は入ってくるでしょうし、もちろん木も伐っているわけですから、そうしたことがやがては土壌に影響してくるのではないのですか。

山谷 北山林業をみると、土壌に対しては非常に収奪をやっています。ご存知のようにあそこでは非常に密に仕立てているものですから、土壌の中の養分をものすごく奪っていくわけですね。だから、地力の維持という問題がどうしてもできます。それで、あそこでは林地肥培をとりあげているところがありますが、それが非常によい効果をあげているのです。

というのは、肥料をやると木にきくという問題もさることながら、実際には林床の雑草や灌木によくきくんです。だから草が青々としている。そしてこれが枯れて土壌にたくさんの有機物を供給している。つまり、肥料をやることが一つの導火線になって、どんどんいい方向に連鎖的に反応していつている。これが本当の肥培の効果なんです。実際に、私も現場をみせてもらいましたが、非常にチッ素分に富んだようなやわらかい草が青々としております。あれが黙っていても枯れて土壌の中に有機物を供給しているわけですから(笑)。また、ああいう草灌木でも、それが地表面をカバーしてしまえばA<sub>0</sub>層も安定し、あのような急斜面でもそれほどの移動はないと私はみています。

ところがこれが、たとえばヒノキの密林などになりますと、ヒノキとかヒバなどは林内はたいへん暗く、下草が何にも生えませんが、これはもう必ず流れます。北山の例では、そういうところではちょっとした階段造林をしております。傾斜が急ですから、少しだけ斜面を削り込んで階段状の斜面にしてしまうわけです。そして水平に植えるんです。こうして流亡というものを防いでいます。

編集 そうすると林業には、いわゆる農業でいうような雑草という感覚はあてはまらないわけですか(笑)。

山谷 まあ当てはまらないですね(笑)。もっとも人工造林の最初の時期には、雑草や灌木などを下刈りして幼木を保護してやらないと成長しませんから、その段階では農業と同じですが、一たん成長してしまえば、農業とは全く異なってきます。

## 森林における水のはたらき 土壌と植生を中心に

有光 私のテーマは、森林における水のはたらきというのですが、ここでは、水が森林の土壌と植生に対してどのような働きをしているか、そのへんの問題を中心に話したいと思います。ご存知のように地表上の植生分布は、ほとんどが気候条件に左右されて決まってくる。気候が乾燥から湿潤へむかうにつれて、砂漠、草原、森林ステップ、森林というように植生が変化して、森林というのは湿潤な地域で初めて成立します。そして、その森林の成立する湿潤な地域では、こんどは主として気温の違いによって熱帯の降雨林から寒帯の針葉樹林にいたるまでが出現します。日本についていいますと、日本列島は東アジアのモンスーン気候下にあつて、湿潤度からいえば全体が森林帯に属します。それからまた日本列島は、南北に長く伸びているので、それによる温度較差がかなりはげしい。そして日本の殆んど部分山地で、海面から高山帯までの垂直高度差が非常に大きい。そのために、温度条件は場所によって大きな違いがあります。こうして、日本列島には、本誌前号の日本植生図に紹介されていますように、亜熱帯から亜寒帯あるいは亜高山帯までの多様な森林が存在しているのです。ところが、さきほどの山谷さんのお話にありましたように、同じ冷温帯をとりましても、地形の凹凸により土壌の水分環境が違い、また森林の様相もだいぶ違ってきます。こうしたことをみるためには、降水として降ってきた雨が、じっさいの地形の違いによって、どのように挙動するのかを調べてみる必要があります。

### 森林における水の動き

まず、図2-1は降水としてある狭い地域にもたらされた水が、森林の中をどのように挙動するかを示した模式図です。まず大気中の水蒸気が降水として森林にもたらされると、その一部分は林内雨として直接地表に落ちてゆきませんが、他の部分は林冠に一時つかまえられる。樹木のたくさんの葉にいったんはとらまえられるわけです。そして、そこから一部のものは大気中に水蒸気となって返っていき、一部のものは樹幹流となって木の幹を伝わってやはり地上に落ちてきます。また、いったん樹木の葉にとらまえられた後、直接地表に滴下するものもあり、こ

れも林内雨といっております。地表に到達した水は、地表が斜面であればその斜面にそって流下しますが、残りの水は土壤中に浸透します。そして土壤中に浸透した水の一部は、土壤中の毛管孔隙に保持されますが、他は非毛管孔隙を重力水として流れて地下水面に達し、やがて河川に流出します。比較的大きな毛管孔隙に保持された水は、重力にしたがって徐々に流下して地下水面に達し、やがて河川に流出してしまいます。土壤中に保持された水は、一部は樹木や下草の根に吸われて蒸散し、一部は地表から蒸発してしまいます。

一般に森林においては水は、以上のような動き方をするわけですが、しかし実際の森林では、こうした水の動きは、その森林の構成、地形、土壌、気象条件などに左右されており、個々の森林ではそれぞれ異なった様相を示します。

#### 局地地形による土壌の水湿状態のちがい

とくに日本の森林の場合には、平地林が殆どなく山地や丘陵地の森林が大部分ですから、地形によって水の動きが甚しく変り、比較的狭い地域でも、相対的に湿った土と乾いた土とが隣り合わせで分布します。図2-2は、このような局所的な地形の凹凸によって土壌の水湿状態が異なる様子を模式的に示したものです。斜面の上の方に降った水は、土壌中を斜面の下部に向かって流下し、最後には青色で描いてある地下水帯に到達します。ですから斜面のある1点、たとえば斜面のまん中あたりで考えてみますと、そこでの土壌の水湿状態を支配するものは、その場に直接降ってくる降水量だけではないわけです。図2-2Bにみるように、その地点の水湿状態は、そこに供給される水の量と、そこから失われてゆく水の量とのバランスに支配されます。そこには、降水のほかに斜面の上方からは表面流去水・土壌水・地下水の流入、深層からの上昇水などさまざまな水が供給されるだろうし、失われる水としては表面流去水・土壌水・地下水、深層部への降下流去水、地面からの蒸発、植物の蒸散水など、いろいろな因子が考えられるわけです。

このように、その地点に入ってくる水とそこから出てゆく水との収支によって、その場所の水分環境が決まってきます。そしてこの収支のバランスは、地形上の位置によって大きな違いがあるので、乾いた土と湿った土とがごく近くに隣り合わせで分布するわけです。さらにまた山

図2・1 - 森林における水の動き

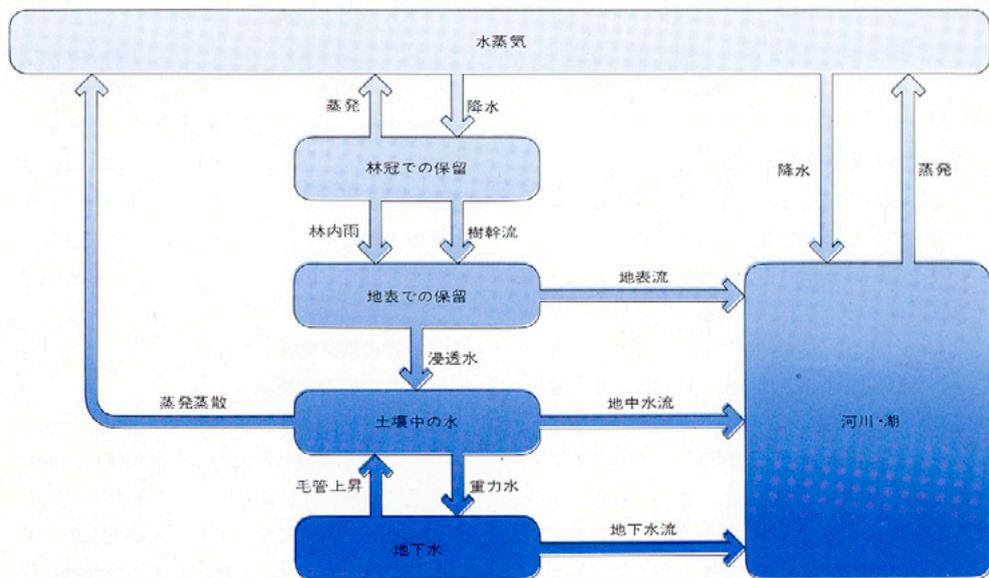


図2・2 A - 山地での水の動き

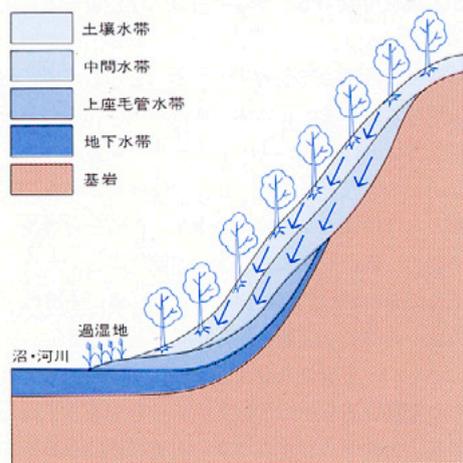


図2・2 B - ある地点における水の流入と流出

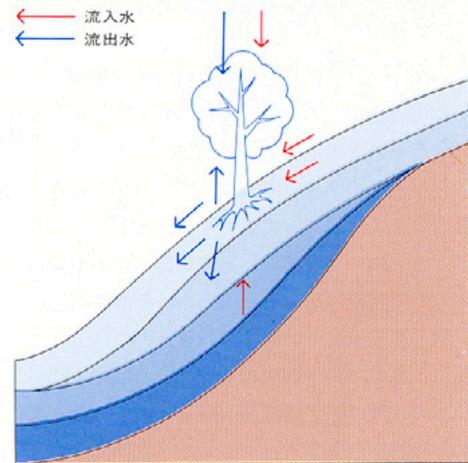
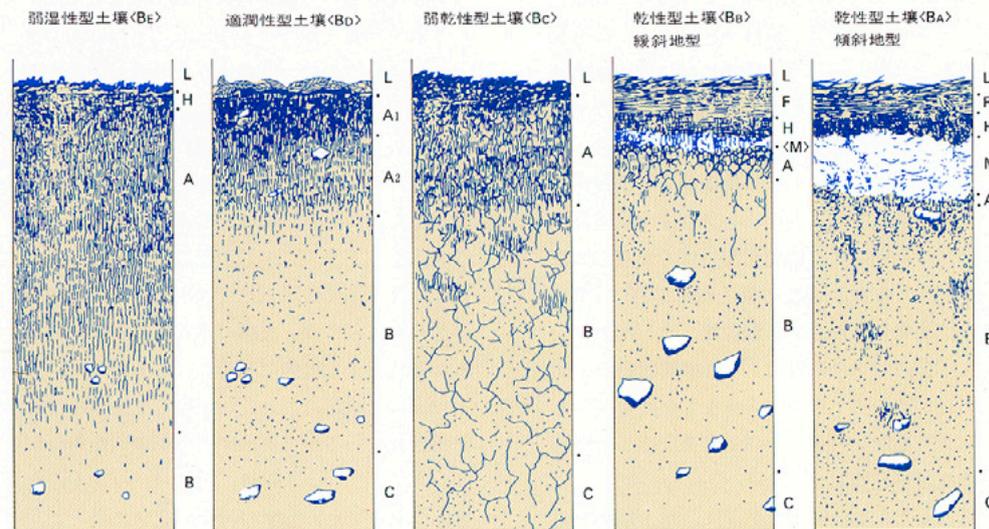


図2・3 - 褐色森林土壌の模式図



<林野弘済会「林野土壌のしらべ方」より>

谷風に常にさらされる尾根筋では、風のために地表からの蒸発や植物による蒸散によって失われる水の量が多くなり、より一層土壌は乾燥するといわれます。土壌の水分環境は、このように地形によってさまざまに変わります。

#### 土壌の構造と平均的な水湿状態

ところで、ある地点での土壌の水湿状態は、常時一定しているわけではなく、降水の程度や降水のあとの時間経過あるいは温度や風の変化など気象の影響により、湿りに寄りたり乾きに寄りたりして、つねに変化しております。しかもこうした気象変化は、だいたい年ごとの季節変化としてくり返されるので、どの地点の土壌でも、それぞれ平均した水湿状態というものがきまってきます。それと同時に、常時くり返されるこうした気象変化 乾湿や寒暖の変化のくり返しは、植物の根の作用ともからんで、その土壌に膨張と収縮をくり返させ、土壌の構造を発達させてゆくものと考えられます。さらにまた土壌は、カビやバクテリアなどの微生物、ミミズやダニといった土壌動物の生息場所で、それらの生物たちのふだんの活動の違いが土壌の構造をさまざまに発達させていきます。そのさい、土壌の水湿状態が違えば、植生や堆積腐植層のタイプが違ってきますし、当然そこに生息する土壌生物も違い、その活動の仕方も違ってくるはずで、それらのことが、土壌の構造に反映してくるものと考えられます。こうしたことのために、局所地形にもとづく土壌の平均した水湿状態は、土壌断面の構造の違いとなってあらわれてきます。

日本の褐色森林土を例にとっていいますと、図2-3に示すように、始終ほどよく湿っている土壌 図の適潤性褐色森林土(BD)とか湿性褐色森林土(BE)の土壌の表層には、団粒状構造とよばれる比較的丸味のある、やわらかな感じの微小な土粒の集まりができます。弱乾性の褐色森林土(BC)では、<sup>ひんか</sup>堅果状構造という稜角も面もはっきりした1~3センチ程度の立方体のいわば氷砂糖のように堅密な角ばった感じの構造が発達します。乾性の褐色森林土(BA・BB)では、表層にさらさらした粒状、または微細な土粒が菌糸でつづられたような細粒状構造、あるいは、比較的小形の立方体をした面も稜角もはっきりしない円味をおびた堅密な感じの粒状構造などが発達します。

もちろんこうした構造の発達には、粘土鉱物の違

いとかその他のいろいろの因子も複雑に作用して生成されるので単純にはいえないのですが、日本の森林土壌の場合には、土壌の平均的な水湿状態というのは、かなり明確に土壌断面の構造の違いとなってあらわれております。こうした事情のために、日本の森林土壌の分類では、褐色森林土、黒色土、ポドゾル、赤色土などのそれぞれを、こうした土壌の乾湿によってさらに細分しております。それはまた、林木の成長の良否とも非常によく対応しております。

#### 水湿状態の経時的変動を求めて

##### 土壌の乾湿と植物

このように日本の森林土壌では、局地的な地形の変化による土壌の平均的な水湿状態が、土壌の構造の形態的な特徴として、いわば静的にとらえられうるわけですが、しかし現実の森林生態系にあっては、生きものにしても無機質な自然にしても、つねに動いているわけです。ですから森林生態系でおこるいろいろな現象をとらえようとするときは、こうした平均的な乾湿の特徴だけでは不十分なのです。どうしても、土壌の水分環境の日常の変動の実態を明らかにしていかないと、そうした現象と関連づけることができない。さしせまった問題としても、たとえば伐採による土壌の変化、水源<sup>かん</sup>涵養機能の変化、稚樹の更新、病虫害の発生など、こうした問題の因果関係の解明のためにも、土壌の乾湿の経時的な変動を知る必要があります。

ところが、土壌の水湿状態を経時的に計測してその変動を明らかにするといいたしても、これが実に大変なことなのです。土壌の乾湿を測るために、現在までに、たとえば表2-1に示すように多種多様な方法が考案されてきましたが、いずれも一長一短でキメ手になるものはありません。というのは、このような各種の手段で測定された土壌の水湿状態を、どのように表示するかということが一つの問題になるからです。一般に、ある物質の中に水がどれくらい含まれているかを表示するには、含水率が何%かという表示をします。しかし土壌の場合には、そういった含水率の表示だけでは不十分です。植物の生長にとっては、土壌の水というのは植物の根が吸収できる状態にあることが大切なので、したがって水が、どれくらいの力で土壌の中に保持されているかで表示の方が適切な場合が多いのです。というのは、同じパーセントの含水率であっても、土壌の粒径の粗さによって、

水が土壌中に保持されている力(pF値)が違ってくるのです。その関係は、図2-4に示してありますが、ごらんのように土壌が粘土質であるか砂質であるかの違いによって、pFの値が違います。たとえば含水率が同じ25%であっても、粘土の場合にはpFが4ぐらいになって植物はこの水をほとんど利用できませんが、細砂や微砂質壤土の場合にはpFの値も低く植物が十分に利用できる水がたくわえられているのです。だいたい植物が利用できる水の範囲というのは、圃場容水量から永久シオレ点の範囲で、実際には、pFが4.2ぐらいまでといわれています。pFが4.2以上の結合水は土壌中に保持されている力が強すぎるために、またpF1.6以下の重力水は土壌中に保持されている力が弱すぎて重力にしたがって下方に流れてしまうので、植物にとっては吸収されない水なのです。このように植物との対応を考えた場合には、土壌の水湿状態をpF値のような水分張力、水分ポテンシャルで表示するのがよいわけです。

表2-1に示したいろいろな測定法のなかでも、pF値を直接に測る方法はありますが、pF3以上に乾燥した土壌では測定が不可能ですし、その他の方法では逆に湿った土壌での測定ができないものもあるというように、湿潤から乾燥までの広い領域の水分張力を直接に測定する計器は、いまのところないといってよいのです。

##### 褐色森林土の水湿変動の1例

それともう一つ、土壌の水湿状態の変動を、かりに何らかの方法で経時的に計測したとしても、それが土壌をとりまく生きものたち、植物や土壌生物、あるいは無機質な環境諸要素とどのように関連しているのか こうした一番かんじんの問題を知るためには、こうした変動が何に起因しているかを知る必要があります。そのためには、さきに図2-2に示したような、斜面のある地点での土壌の水湿状態をきめる諸因子、つまり収入の方では、降水量をはじめ表面流・土壌水・地下水の流入量、支出の方では、地表面からの蒸発量、植物の蒸散量、表面流・土壌水・地下水などの流去水量、こうしたさまざまな水の動きをそれぞれ計測する必要があるわけです。ところが、降水量の観測だけは比較的容易ですが、そのほかの水量を経時的に計測するのは、どれ一つとりあげてもむずかしいことばかりです。

さきにお話したように、土壌の水湿状態の経

時的変動を計測することでさえ普遍的に使用できる適切な方法がないのが現状です。日観測、長期日記した事例もなくはないのですが、実際には、山の中の人里離れた場所で測定を続けるというのは至難のわざなのです。

こうした事情のため私は、簡便なテンションライシメーターを使って水の増減を計測し、それによって土壌の乾湿の変動を調べてみたわけです。この方法の場合には、土壌の水湿状態を含水率や水分張力という数値では直接知ることができませんが、あるpF値、この場合は2.0を基準にして乾湿の変動量をとらえることができます。ですから異なった場所で観測しても手法が同一ですから、その変動量を互いに比較することができます。

図2-5は、この方法でスギ林下の褐色森林土を斜面の上部、中腹部、下部の3つの地点について調べた1例です。それぞれの土壌は、上部は乾性(B<sub>B</sub>)、中腹部と下部は適潤性(B<sub>D</sub>)で、色分けされた3本の折れ線グラフがそれぞれの土壌の乾湿の経時的変動です。上段が深さ10cm、下段が深さ30cmでの土壌の測定値です。下の棒グラフは降水量を示します。図にみるように

乾湿の変動は、降水量の変動におおむね対応しておりますが、斜面上部のB<sub>B</sub>型土壌では乾燥傾向が強く、とくに土壌表層部での乾燥のはげしさが目立ちます。ここでは土壌が浅く樹木の根系が土壌最表層に集中して分布するので、この部分からの蒸発散によって失われる水量が多いためだと思われます。また、斜面中腹部が最も湿潤で、斜面下部では降雨量の少ない時期にはその影響を受けやすく、中腹部にくらべ乾燥しやすいことがわかります。この傾向は、土壌の表層、下層にともみられますが、とくに下層の方が乾燥度が強く、ときには乾性型土壌と同じくらいに乾きます。これは、斜面下部の方が中腹部よりも樹木の根系が土壌下層まで発達しているため、乾期には植物の蒸散による土壌水分の収奪が他にくらべて非常にはげしく行なわれているためと考えられます。

こうした調査は、褐色森林土以外の土壌についても行なっておりますが、いずれにしてもある地点での土壌の湿潤度やその経時的変動は、さきほど申しあげたようなさまざまな要因に支配されていて、単純に降水量の多少によって土壌の乾湿の度合いがきまるというようなしるもの

ではありません。ある地点では、地形や地質の状態が、別の地点では、気温や風や降水の状態が大きく効いてきたりします。またある場合には、植物の蒸散量が主要な役割を果たす場合もあってきわめて複雑です。

#### 水による養分物質の移動量

ところで今度は、再び図2-1にもどり、水の動きに伴って水と一緒に森林にもたらされ、あるいは森林から流れ去っていく物質の量についてみてみます。いわば物質の移動の担い手としての水のはたらきです。雨の中には大気中の浮遊物質やガスが溶けこんでいますから、まず雨と一緒にこれらの物質が森林にもたらされます。また森林に降った雨は、林内雨、樹幹流として地表に到達するまでに、葉や枝、幹の成分物質を溶脱したり、それらに付着しているものを洗い流したりしますから、これらの物質が、林内雨・樹幹流と一緒に地表に到達します。地表に到着した水は、表面流去水として流出したり、あるいはまた土壌中を流動する中間流として動きますが、その間に、地表の堆積腐植層や土壌中の物質を溶出します。それからまた、土壌水分として土壌中に保持されている水の中にも、

図2-4 - 粒径組成<土性>の異なる土壌のpF曲線

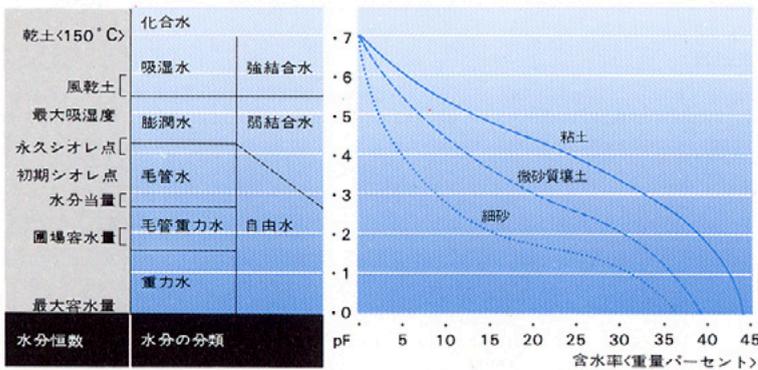
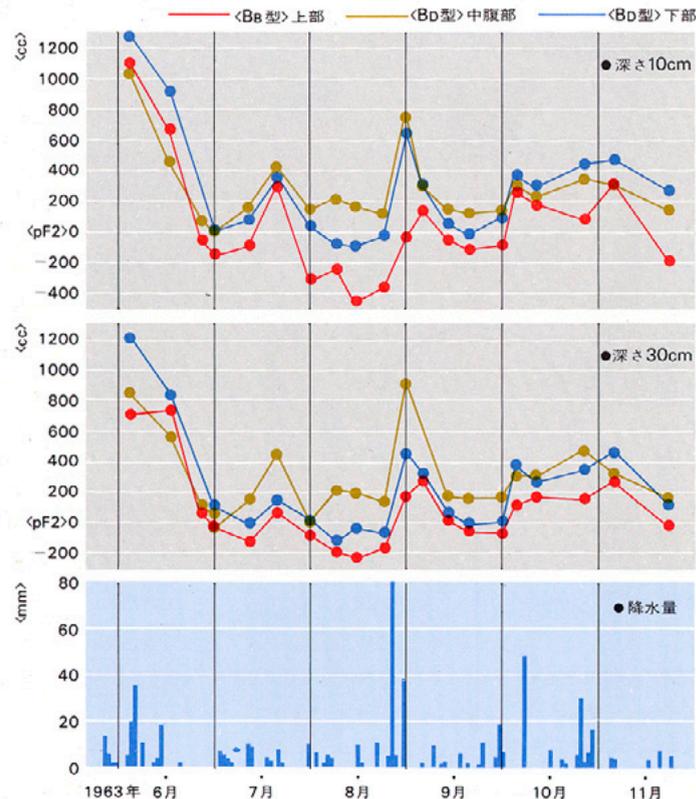


表2-1 - 土壌水分測定法一覧表

測定範囲	測定方法	表示法	
乾熱法	土壌水分の全領域	乾熱による含水率測定	含水率
電気抵抗法	pF3以上の乾燥領域	電気伝導度の測定	伝導度を水分に換算*
誘電率法	理論的には全領域	誘電率の測定	誘電率を換算
テンションメーター法	pF3以下の湿潤領域	水分張力の測定	水分張力を直接表示
熱伝導度法	理論的には全領域	熱伝導度の測定	熱伝導度を換算
中性子法	全領域	中性子の減速を測定	換算必要
ガンマ線減衰法	全領域	密度の差によるγ線減衰の測定	換算必要
サイクロメーター法	pF3以上の乾燥領域	水蒸気の露点の測定	換算必要

\* 換算は計器の測定値が測定する土壌の含水率、あるいは水分張力の数値とどのような対応関係にあるかをあらかじめ調べて換算図表を作って行う、これをキャリブレーションという。

図2-5 - 褐色森林土における<ライシメーターによる>経時的水湿変動  
<Arimitsu, Matsui, 1964>

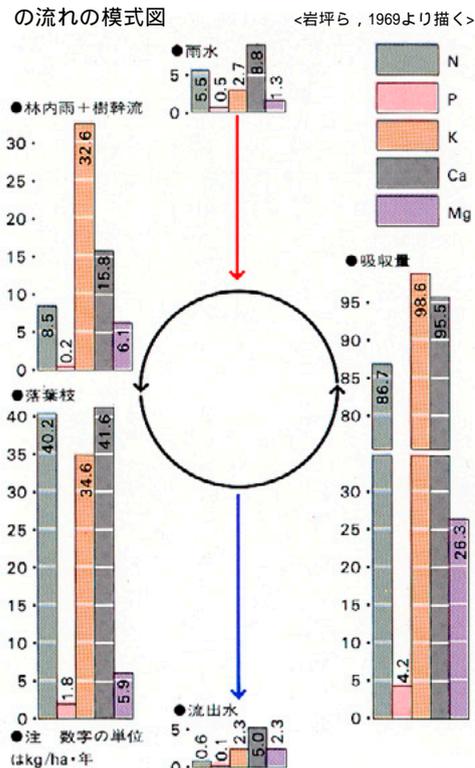


いろいろな物質が溶けていて、水と共に植物体に吸収されます。

このように水は、森林の中をさまざまに動くわけですが、ではその間に水とともに流動する物質の量が一体どれくらいなのか。こうした調査の例は、まだ非常に少ないのですが、図2-6がその数少ない調査の一つで、これは岩坪さんが京都上賀茂の広葉樹林で行なった試験結果です。これは養分物質が森林の中でどのように流動し、どこにどれだけ蓄えられるか、そしてどれだけ森林の外に出ていくかを示したものです。雨水、林内雨+樹幹流、流出水に含まれるものが年間に水と共に動く養分物質の量です。また吸収量の大部分も水を媒体にして樹木に吸収されるものとみられます。吸収量と林内雨+樹幹流に含まれる量をみますと、水と共に流動する養分物質の量がたいへんに大きいことがわかります。また流出水として森林の外に流亡する量が意外と少ないこともわかります。林内雨、樹幹流と一緒に林地に到着した物質のごく一部しか森林の外へ流出しておりません。

ところで今度は、観点をえて土壌の各垂直断面では、水とともにどのくらいの物質が動いているかをみてみます。これは、私どもが小型の集水装置を実際に森林の土壌中に埋めて調べた

図2-6 広葉樹林<京都上賀茂>における養分の流れの模式図



ものですが、それを図2-7にします。こちらの方は、6月よりの6カ月間の量ですが、殆どどの森林で、土壌の表層より下層での物質の移動が少ないことがわかります。これは、地表から土壌中に浸透した水が深部に流下する間に、溶けている物質が植物に吸収されたり、あるいは土壌にとりこまれたりしていることの結果だといえます。ただ土壌中での物質の移動は、いろいろな要因に左右されていてたいへん複雑で、単純に植物の根に吸収されたり、土壌中にとりこまれるという経路だけではありません。たとえば志賀山のポドゾル土壌の場合には、土壌のある層位(A<sub>2</sub>層)から溶出した物質が下層のある特定の層に集積する現象もみられます。それからまた下層における水の移動量が少ないために、下層での物質の移動量が少ないとみられる場合もあります。いずれにしても、土壌中での物質の溶脱や集積、養分の植物体への吸収などが、土壌中の水を媒体として行なわれていることが、はっきりとわかります。このような水のはたらきによって、森林の土壌と植生とが支えられているのです。

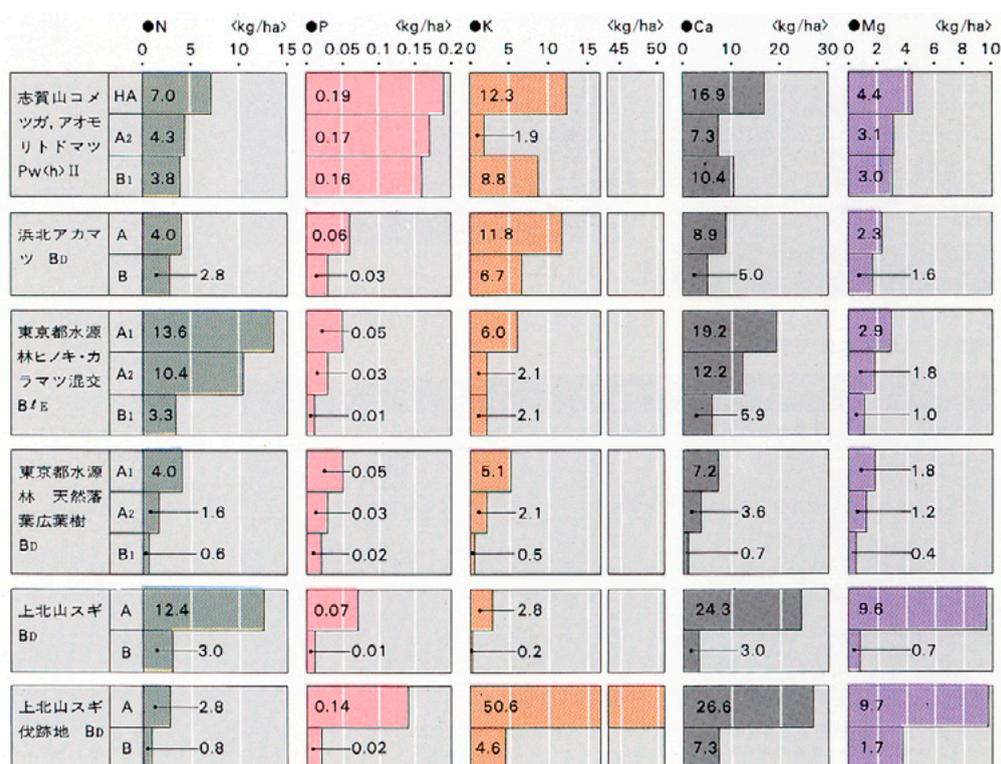
森林伐採の影響

編集 さきほどの図2-7で上北山のスギの伐跡地では、チッ素の量がぐんと少なくなっていま

すが、これは伐採の影響なんでしょうか。有光 そう考えていただいてよいと思います。ただこれは、伐採後約2年半たった時点での状態です。このときは、伐採直後からの調査はしていないのです。森林伐採による水の動態や水による養分収支の研究では、アメリカのライケンズが行なった非常に貴重な実験があります。それは、北米東部の広葉樹林で16ヘクタールぐらいの小さな山地ですが、流域の植物をすべて皆伐し、その後2年間、一切の植物が生育できない措置を施して、流域からの水の流出や養分物質の流亡を調べたものです。そうしますと、植物の蒸散量がなくなってしまいますから、年間の流出量は1年目で40%、2年目で28%も増加しています。

また、流出水の水質の変化を図2-8に示しますが、皆伐流域では約5カ月後からすべての物質の濃度が急速に高くなっています。なかでも硝酸態窒素の濃度が著しく高まっていて、ライケンズはとくにこの点に注目し、伐採により地表の温度があがったので、バクテリア 硝酸化成菌が爆発的に増殖し、有機物の分解が促進されて有機態チッ素が硝酸態チッ素に変わったためだとしています。そして、こうした有機物が分解しつくされた後の約2年後ぐらいから、そ

図2-7 土壌中の溶分流出量



の濃度が急速に低下していくと述べています。図2-9は、皆伐流域と非皆伐流域で、降水による養分物質の収入と、流出による養分物質の支出とが、どのように違うかをみたものです。この図にあらわれた二つの流域における支出の差はおどろく程で、森林生態系が年間に蓄える物質の量がいかに大きいかわかります。さきほどの上北山の場合には、調査を行なった時期はスギ伐採後2カ年半ぐらいの時点なので、それで硝酸態チッ素について計測したデータをみますと、この頃から急速に濃度が下がっているのです。ですから、易分解性有機物が消耗つくされた後にあたるので、図のように濃度が非常に低くなっているのだと思います。こうした傾向は、さきほどの山谷さんのお話にありましたヒバ林伐採後の状態ともよく符合しております。

### 土壌生物のはたらき

はじめに

小川 私のテーマは、森林における土壌生物のはたらきというたいへんな難題で、じつところどのようにお話ししたらよいか弱っています。もともと土の中の小さな生きものの世界というのは、人間の目からみればいわばミクロの世界で、その内容も限りなく広く豊かなものですから、現在では、まだ判らないこと、推測の域をでないことの方がはるかに多いのです。ですから、これを手短かに説明するというはまず不可能なことなのです。ここでは、本日のテーマにあわせてごく簡単にお話しいたします。まず土壌生物というものをグループ別に大きく分けてみますと、ウイルス、バクテリア、カビ、カビの仲間でも少し特殊なキノコ、それから藻類、そして土壌動物というようになります。バクテリアの大きさは、だいたい1ミクロンから数ミクロンぐらいのものまであって、その種類も数万といわれており、それぞれ異なった生活をし、異なった機能をもっています。カビの仲間も、その孢子や菌糸の大きさは1ミクロンぐらいからその数10倍ぐらいの大きさまでいろいろあって、その種類もきわめて多く、それぞれ

にちがった生活をしています。ですから、こうした微生物を全部集めれば、地球上の現象でできないものはないといわれているくらいで、ほとんどの化学反応は、すべて微生物で間にあってしまいます。土壌動物になりますと、人間の肉眼でみえる大きさに近づいてきますが、これも小型のものから中型、大型のものまでたくさんの種類がいます。

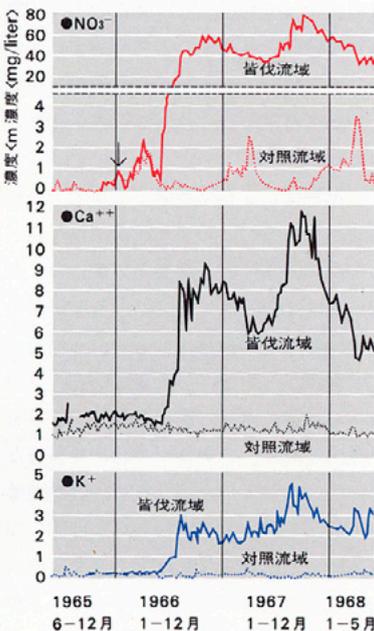
土の中には、こういったたくさんの生物がギッシリと詰まり、互いに関連しあいながらも全く異なった生活をしている。まず初めに、このようにお考えいただいたらいいかと思います。その生息範囲は、土の中でも、いわゆる有機物がたまっている表層に限られ、深さ10センチから15センチくらいまでに集中して生息しています。深くなるにつれて、生きものはだんだんに少なくなります。ですから、土壌生物の活動が最も高いと思われる層は、地球上のほんの表面に限られているということになります。

土壌生物の生活のしかた

どんな生物でも、生きてゆくためにはエサが必要でエサの中に潜むエネルギーを摂取することによって生活しています。土壌生物でもこの点は変わりません。このエサのとり方の違いから土壌生物を大別しますと、自養性と他養性に分

図2-8 - 皆伐流域と対照流域<非皆伐流域>からの流出水の濃度の変化

<Likensら 1970より>



●注 矢印は皆伐の完了したときを示す。硝酸態チッ素(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)の縦軸の濃度のスケールが変わっているのに注意

図2-9 - 皆伐流域および非皆伐流域における降水による養分の収入と流出による支出 <Likensら、1970より描く>

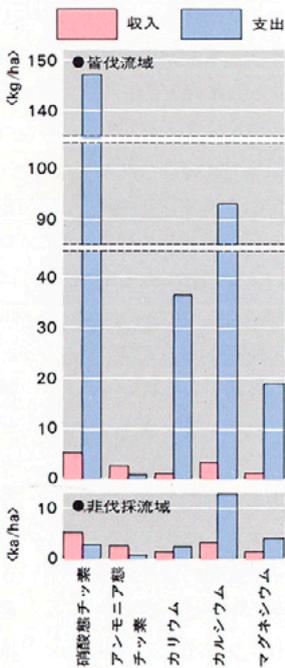


図3-1 - エネルギー獲得手段および栄養要求性による細菌の分類

有機物の必要性	エネルギー獲得手段	酸素要求	窒素源	微生物
必要としない Autotroph	光化学反応による Photo-autotroph	好気性	N <sub>2</sub> を利用できる <窒素固定>	藍藻のあるもの*
		嫌気性	N <sub>2</sub> を利用できる 化合態の窒素	緑藻、珪藻など*
	化学的暗反応による Chemo-autotroph	好気性	N <sub>2</sub> を利用できる 化合態の窒素	緑色硫黄細菌** <硫化物酸化> <i>Chromatium</i> 紅色硫黄細菌** <硫化物酸化> <i>Chlorobium</i>
		嫌気性	化合態の窒素	亜硝酸菌<NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> 酸化> <i>Nitrosomonas</i> 硝酸菌<NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> 酸化> <i>Nitrobacter</i> 水素細菌<H <sub>2</sub> 酸化> チオ硫酸菌<S, S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>2-</sup> 酸化> <i>Thiobacillus</i>
必要 Heterotroph	化学的暗反応による	好気性	N <sub>2</sub> を利用できる	Azotobacter, Beijerinckia 根粒菌<マメ科植物と共生> <i>Rhizobium</i>
		嫌気性	N <sub>2</sub> を利用できる 化合態の窒素	Arthrobacter Pseudomonas など
		嫌気性	N <sub>2</sub> を利用できる 化合態の窒素	Clostridiumのあるもの 多くの発酵性細菌 ある種の Clostridium

\*細菌ではないが、比較のために入れてある  
\*\*緑色硫黄細菌、紅色硫黄細菌は硫黄を含めぬ紅色細菌とともに光合成細菌といわれる。無硫黄紅色細菌は、有機物を利用し暗所で生育できる点が他の二つと違っている

けられます。自養性というのは、光のエネルギーないしは化学的暗反応によってエネルギーを獲得し、自分の体を合成し生活していくもので、いわゆる無機物だけで生活しているものです。森林についてみれば自養性生物の主役は、もちろん葉緑素をもつ植物ですが、藻類やバクテリアの間にこのタイプのものがあります。図3-1に示すのがそれで、藻類は光合成をやり、光合成細菌のようなものもありますし、また、化学的な反応をやるものには、チオ硫酸菌、硝酸菌、亜硝酸菌などがあります。他養性というのは、有機物をエサにしてはじめて生活できるもので、動物はすべて他養性です。カビの仲間もすべて他養性で、ほかの生物がつくった有機物をエサにして生活します。土壌動物は口をもっていますから物を食べるわけですが、微生物には口というものがありません。ですから主にエンザイムを出して分解します。体外酵素のようなものを出したり、体内に物を取り込んで消化したり合成したりいたします。それからとくに微生物について、その生活のしかたをみてみますと、三つに大別されます。一つは腐生生活者で、これは死んだものについて生活するタイプです。次に共生生活者のタイプで、これは相手を殺さないで共生して生きています。もう一つは寄生生活で、これはいわゆる病気や病気に近い状態のものをいいます。植物や動物の病気だけではなくて、微生物どうしの病気もあります。この三つのタイプの中にも、

図3・2 - ササラダニの消化管から見いだされる食物細片 <Kühnelt, 1961>



●注 名称は欄外を参照

それぞれバラエティに富んだ生活型があります。動物のほうは、肉食性、草食性、それから落葉食性などに分けられますが、これにもさまざまなタイプがあり、生態的にきわめて多様な世界をくり広げております。

#### 土壌生物にとっての森林

ところで微生物というのは、地上から地下まで地球上に存在するあらゆる生物に、ときには無機物にもくらいついていて、空気と同じくらいどこにでもいます。空気中にもたくさんの胞子が浮遊しており、われわれの身体にも無数の微生物がとりついていきます。

とくに森林では、植物の葉面から土の中にいたるまで、たくさんの種類と数が生息しております。森林は、微生物や動物にとっては、他の環境とは異なった幾つかの特徴を持っており、生息に都合の良い環境を提供しています。

一つは、非常に安定したエサの供給があることです。落葉や枯枝・枯木などが毎年コンスタントに一定量のエサとして地表に与えられます。また人間による攪拌が非常に少ないものですから、物理的な条件も安定しています。伐採や風水害でも起らない限り、長年にわたって安定した状態が保たれます。農耕地とか人為的な緑地とはちがって、森林は、土壌生物のすみかとして非常に安定度の高い状態ができ上がっています。そのために微生物のほうでも、とくに長期間生息することができるような、いわゆるきのこ類が非常に豊富になります。いつも土がかき回されていると、こういうきのこ類は安心して生活ができなくなり、いなくなってしまうのですが、土が安定していると、きのこ類はどんどん増えてたくさんの種類と数が生息するようになります。動物のほうも、長期間ではかなり変わりますが、ある一定期間、たとえば2～3年に限ると、数や種類の変化はほとんどありません。森林の生物相自体が全体として安定しているといえます。

森林は、このように安定した条件をもってはいませんが、森林の中の状態は、耕地のように均一ではなく物が非常に不均一に分布しています。微生物や動物が食べるエサは、必ずしも均一に分布していません。また生物のすみかに適当な条件も不均一に分布しています。したがって、生物の分布そのものも不均一で変化に富んでいます。このような不均一な条件下では、微生物間の相互作用もまた盛んにおこります。

#### 森林における土壌生物のはたらき

##### 有機物の分解

よく知られているように、森林における土壌生物の最も大きなはたらきは、有機物の分解です。これには、落葉分解、材の分解、根の分解といった植物体の分解、動物遺体や動物の排泄物など動物に由来するものの分解、それともう一つは、微生物遺体の分解があります。いわゆる森林生態系の中でできてくる生物の死骸のすべては、微生物と動物によってきれいに掃除されます。掃除するだけではなくて、それを植物が養分として吸収できる形にして森林生態系を支える働きをしています。ですからこれがストップしますと、風化過程と自己消化以外には分解がなくなり、落葉・落枝や動物の死骸は、どんどん積もってしまうでしょう。森林としては、土壌生物がいつもコンスタントに働いていてくれないと困るわけです。

こうした有機物の分解過程を、物のほうからみてみますと、森林の中で豊富に供給される炭水化物 いわゆるセルロース、リグニンあるいはヘムセルロースなどの高分子の炭水化物は、主としてカビ、菌類、きのこ類によって分解され、糖類になって微生物体に吸収されたり、簡単なアルコールなどの炭素化合物として排出され、さらに細菌などによって分解されて無機化し、ガスになります。

動物や植物体の蛋白などのチッ素化合物は、主として細菌によって利用され、無機態のチッ素となり植物に吸収されます。もちろんすべての微生物も、炭水化物、チッ素その他の物質を必要とし、体内に蓄積し、これがまた微生物によって分解されます。

一方、土壌動物はこうした分解のなかでどのような働きをしているかといいますと、口で食べるという作用が非常に大きく見えます。たとえば図3-2にあげたのはササラダニの腹の中ら出てきた植物細片を顕微鏡でのぞいたものですが、カビの断片から胞子、らん藻の細胞、高等植物の細胞、木質の残物、花粉粒などさまざまなものが見出され、土壌動物がきわめて多様なものを食べていることがわかります。動物の働きというのは、もちろん動物のおなかの中でのエンザイムによる化学的な分解もありますが、さらに動物に特徴的なのは、破砕するという作用です。破砕されて細片になるとその表面積が増大しますので、このあとそれがカビやバクテ

図3・2の注 1 = 節足動物の表皮 2 = カビの分生胞子 3 = カビの菌糸 4 = 藻類の維糸 5 = 菌糸のたば 6 = カビ菌類の冬胞子 7 = 単細胞胞子 8・9・10 = 種々の多細胞胞子 11 = らん藻の細胞 12・

13・14 = 葉状体の残物 15 = 花粉粒 16 = コケの残物 17 = 緑藻 18・19 = 高等植物の細胞 20 = 葉の毛 21 = 木質の残物 22 = 不明 23 = カビの細胞?

リアによって分解される率が高くなります。このように物質の分解というのは、微生物が主として行なう化学的分解と動物が主として行なう機械的な破碎、それに風化作用などが相互に加わって進行しているといえます。

#### 落葉分解とカビ類

とくに森林においては、こうしたさまざまな分解のなかでも落葉分解というのがきわめて重要と思われまゝ。それで、ここでは少しくわしくその様相を述べておきます。だいたい枝や幹でもそうなのですが、葉というものは、つねに生きていうちから腐る過程が始まっています。落葉前の葉には、その樹種に特異な菌がついていて樹上ですでに分解を始めます。葉につく菌、枝につく菌、実につく菌など、それぞれの器官に特異的な種類が分解の初期に現れます。通常は秋、常緑樹では5～6月頃に、葉や実は地表におちますが、20℃～15℃ぐらいの低い温度で雨が降れば、もともとその地表にあった古い落ち葉から一せいに菌糸の束が立ち上り、新しく落ちてきた葉やその他のものをとらえてしまいます。これが地表での最初の分解です。

落葉広葉樹林では、斎藤さんの図(図3-3)にもあるように、落葉は黄白色にかかります。カンバ、ブナ、コナラ、ミズナラ、シイ、クリなどほとんどの落葉で同じことがみられます。針葉樹の葉でも地中からでた菌が分解を始めます。そして落葉広葉樹林では、冬を通りこして雪どけの春になると、また下から菌糸の束が上がってきて、次の分解を始めます。このときには、土壤動物、とくにオカダングムシやヤスデの仲間などによる分解もはじまり、これらの動物のふんがくさりかかった葉にたくさんついていることがあります。

この段階での落葉は、白ぐされと褐色ぐされに分かれます。白ぐされのものは、リグニンの分解、褐色ぐされのものは、セルロースの分解がそれぞれ進んだためといわれていますが、白ぐされは完全にきのこ類によって、褐色ぐされはカビや細菌によって分解が進められています。この分解が終わるころには、ミミズやダニ、ヤスデなどによる破碎がはげしく、落葉は葉脈だけを残して他の部分は消えてしまいます。菌がついて発酵した葉、いわば漬物のようなものを虫がたべていることとなります。このほうがやわらかくて、栄養にも富んでいるはずですが、材の場合でも、しん枯れなどのように、菌とく

にきのこが立木をたつたままでくささせます。そのやわらかくなったところを虫が食べるといのが普通です。動物の方でも落葉の種類によって好ききらいがあり、落葉の腐り方の段階でもいろいろの好みがあります。普通は、黒褐色に腐ったものを食べるのが多いようです。こうしたさまざまな分解過程を経て、落葉は結局は、動物の排せつ物やあるいは一次的な微生物分解の残渣となって表層土壌を形成していくわけですが、それも次第に単純な組成となり腐植化していきます。こうした不定形の粉状になるのに要する時間は、場所によって違いますがだいたい落葉広葉樹のコナラで約1年半、マツで2年半ぐらいといわれています。こうした表層土壌では、材料が新しいほど、すなわちL層、F層ほど微生物の種類は多く、H層からA層へゆくにしたがって単純化し、微生物の量も減ります。

一般的な傾向としては以上のようなことがいえませんが、しかしさきほどの山谷さんのお話にありましたような気候帯や起伏のちがいによる落葉分解の性質のちがい。こういった面を土壤生物の側から追及してゆくという大切な問題、換言すれば、有機物の分解過程と微生物や動物の変化、あるいは有機物の生化学的組成の変化などというような大切な問題は、まだ解決をみないまま残されているのが現状です。

炭酸ガスの放出と二次産物の生成と蓄積  
一般に生態学の中では、微生物とか土壤動物と

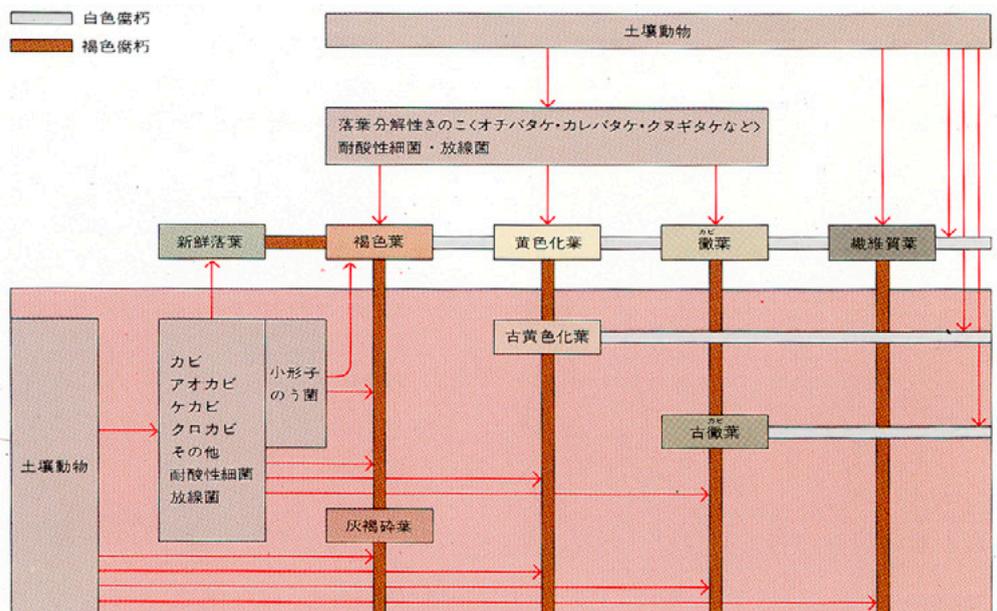
いうのを、一括して分解者もしくは消費者として扱いますが、分解という表現をしますと私もには、土壤生物の働きが非常に簡単に聞こえます。もちろんいまお話ししたように、土壤生物にとっては有機物を無機化してゆく分解者としての働きが一番大きなものといえますが、その分解を進める過程での別の働きもまた大きいのです。最も大きいのは呼吸にともなう炭酸ガスの発生で、これが非常に大きな量を占め、植物の光合成に必要な炭素を供給します。それから二次産物の生成が起こります。二次産物、たとえばビタミン、抗生物質、アミノ酸、糖類、その他さまざまな有機物のたぐいが微生物によって生産され、その生産物が植物はもちろんほかの微生物によっても使われます。それからもう一つは生物体内への物質の蓄積です。物を分解して自分の体を合成しますから、それによって逐次体内に物質を蓄積したり、蓄積した余剰を今度はまた直接植物に取りつけて与える作用もしています。このように土壤生物は、分解を進める過程で、他のさまざまな重要な役割を演じております。

#### チッ素の固定と循環

微生物のもう一つの大きな働きは、細菌によって行なわれる窒素固定です。こうした細菌のなかでは、マメ科植物の根に共生する根粒菌、アゾトバクターなどがよく知られています。そのほかチッ素ガスを同化する数種類の細菌が土の中にいます。また有機態チッ素をエサにして硝

図3・3 - ブナ落葉の分解型とその過程における主要微生物群集

<斎藤, 1966>



化作用を営み、無機のチッ素をつくりだすバクテリアが土の中に生息しています。植生が成立してゆくときの初期段階に土壤中にチッ素を蓄積するのは、もっぱらこうしたバクテリアの働きによっており、チッ素の循環でもバクテリアが大きな役割を果たしています。

#### 光合成作用

それからまた土壌生物による光合成作用も見のがせません。これは、ごく最近いわれ始めたことですが、林地の表層土壌や石の上、樹木の表面などには、藻類が相当数おり、これが光合成作用を行なっています。これらの働きによる炭素の供給量は、想像以上に大きいといわれ始めております。湿潤な森林や亜高山の森林では、地衣類が樹上や岩の表面についており、葉面にまで藻類がついています。これが光合成をするわけですから、実際に測ってみれば炭酸同化量は、かなりのものになるでしょう。一般に土壌中には、光合成細菌もかなり生息していて炭酸同化作用をしていますから、森林の中にもいはいえませんが。

#### 樹木との共生

次に森林に特徴的なものとして、樹木との共生生活を営む菌根や根粒があります。これは樹木の根に微生物がついて根を変形させてしまうのですが、病気とちがって菌がついても根が死にません。両方が生きていて互いに物のやりとりをしながら助けあって生きているという状態です。菌のほうは他養性ですから、樹木の根から炭水化物などをもらって生活し、そのかわりに

チッ素、燐、カリウム、マグネシウムなどのミネラルを、土の中から水とともに吸収して根のほうに与えます。このほかに凍害が菌根によって防がれたり、病原菌が除かれたりする効果もあります。根粒ではさきほど触れましたように、根の細胞に入った細菌が空中チッ素を固定して植物に与えるという働きもしています。

菌根の中には、内生菌根と外生菌根というのがあり、菌が樹木の細根の外側につくのが外生菌根で、菌が根の中側につくのが内生菌根です。内生菌根の場合は、根の細胞の中まで菌糸が入ってしまい、細胞の中で菌体が植物に消化されます。ですからこの場合は、樹木のほうが菌に寄生しているような形になります。

外生菌根のほうは、根の外側にしかつきません。菌糸は細胞の中へ入らず、どちらかという菌のほうに寄生に近い形になります。ついでに申しますと、日本のスギ、ヒノキは内生菌根をつけています。それからツツジ、ツバキ、チャ、ランなどの根にも菌が内生します。外生菌根をつける樹種はたいへん数が多く、マツ科、針葉樹の大部分と、広葉樹のブナ、カンバ、ナラ、クリ、シイなど、落葉と常緑をとわず木本植物の90%程度は菌根をつくり、菌と共生生活をしています。何らかの形ですべての植物が、直接に微生物とつながっているとお考えいただいてもいいくらいです。

共生生活をするもう一つのグループには、根粒があります。これはご存知のようにマメ科の植物にたくさんついていて、非マメ科の樹木

としてはハンノキやヤマモモなどに根粒菌がつきます。

#### 土壌生物の活性とそれにかかわる諸要因

##### 水分条件と温度条件

微生物や動物の活性は、エサ以外に、水の状態、温度の状態、それからガスやpHのあり方でまわってきます。生活の活性は、まず季節によって著しく変わります。図3-4は、バクテリア、放線菌、カビのコロニー数の動きで、この調査はいろいろな森林の例ですが、特定の季節にピークが現われているのがよくわかります。日本の場合には、だいたい梅雨季と秋に多くなり、微生物の活動が雨量、つまり水分条件に大きく支配されることをあらわしています。

図3-5は、バクテリアの数の日変化で、バクテリアのようにライフサイクルが非常に短いもの、24時間ぐらいのサイクルで一つの細胞から次々に増えていくものでは、1日のうちでも土の中のバクテリア数が増えたり減ったりします。動物のほうになりますと、1シーズン型とか2シーズン型とかいろいろありますが、いずれにしても季節にもとづく規則的な変動を示します。このように季節によってその活性は変化しますが、動き方は、全体が一様に動くのではなく、種類によってその反応が異なります。高い温度で動くもの、低い温度でしか動かないもの、水が少ないときに動くもの、水が豊富なときに活性が高まるもの、といったように、種によって活性の現れ方が異なっており、この違いによって全体のバランスが保たれています。このよう

図3・4 - 表層土壌に生息する微生物の季節的変動

<平板希釈法による>

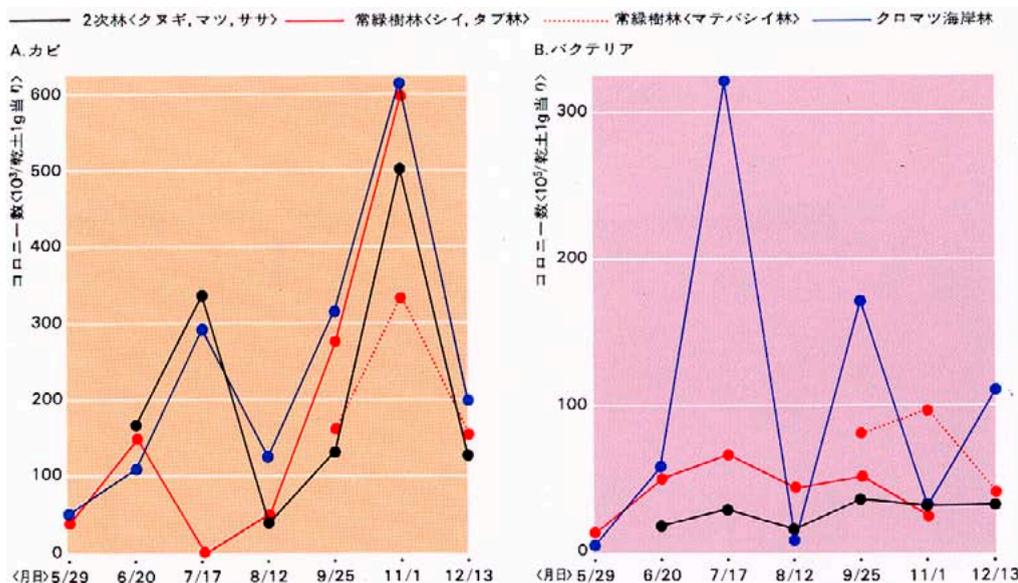
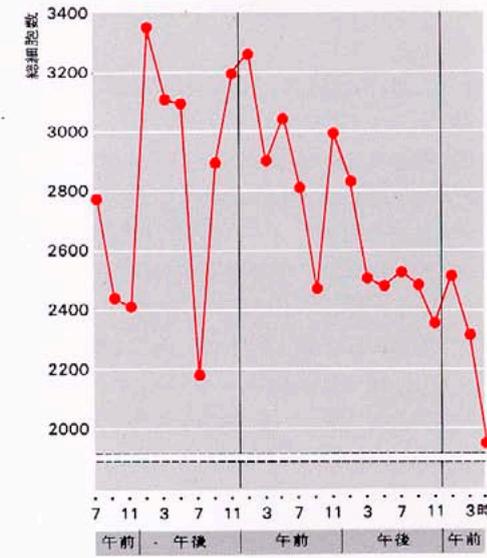


図3・5 - 土壌中の細菌数の日変化 <顕微鏡によって計測された細菌細胞数>

<Taylor, 1940>



な現象は、実験によってわしく知ることができます。水分条件や温度を変えたりしますと、種によって活動する点が変わってきます。図3-6と図3-7は、11種類ぐらいのカビを使って、水に対する反応と温度の影響をみたものです。ごらんのように、菌糸の伸びが水や温度によって非常に変わります。種類によって活動のピークにズレが生じています。このズレが生じていることによって、全体としては、いろんな条件下でも働きが片寄らないで、多くの微生物の種が交代しながら物質分解などに休みなく働いているわけです。

#### 炭酸ガスと酸素の状態

土壌生物の土壌中での分布についてみますと、微生物の分布はガス状態にかなり支配されます。嫌気的な菌や好気的な菌、炭酸ガス濃度に支配される菌、過湿状態で生育するものなど、生活条件の異なる種が土の深さに応じて分布しています。動物も同じように表層から下層へかけて少なくなります。季節によってそのすみかを変えることがあります。ただ全体としてみれば、好気性のものが多く、酸素の分圧が高い条件下で種類も数も多くなっています。このようにガス条件に依存する割合が非常に多く、ガスが土の中の垂直分布をきめる一因になります。要するに、微生物活動に限って大まかに申しますと、水が多すぎても少なすぎてもその活動は下がります。温度は、高すぎても低すぎてもその活動はにびります。最も活性の高いのは、20°から30°ぐらいの間で、それをはずれますと特

殊な種だけが動くようになります。酸素についても同じことがいえ、酸素の供給がかなりあれば、好気的なものの活性が高まってきますが、酸素の分圧が低くなって微生物活動が全般的に抑えられると、こんどは特殊な種だけが増えることになります。

それから有機物量に依存する割合は、これはエサですから決定的に高く、とくに未分解の有機物が多いと、それに応じて微生物の活性も高まります。このために、土の表層、いわゆるA<sub>0</sub>層からA層のところに微生物のほとんどが集中することになります。

#### 酸性の強弱

それからもう一つ、とくに微生物の分布や働きを規制するのに土壌の酸性があります。低温、湿潤状態では落葉・落枝の分解がおそく、酸性が強くなり、ポドゾルなどではpH3代にまで下がり、A<sub>0</sub>層の厚さも20cmにもなります。水ゴケ湿原の場合もピートが形成され、酸がつよくなります。このような場所では一般にバクテリアの働きはにぶく、きのこ類が数・量とも多くなります。微生物の活動期間は短く、夏のわずかな期間に生物活動が集中します。したがってきのこや昆虫が大発生するのが普通です。温暖になるにしたがって強酸性のA<sub>0</sub>層はみられなくなります。適潤温暖な条件下では中性に近く、バクテリアやカビが繁殖し、分解をスムーズに進めます。石灰岩地帯のようなアルカリ性のつよい所ではさらにバクテリアが多く、面白いのはミミズとカタツムリとがやたらに繁殖し

ています。その原因が酸度だけかどうかはわかりませんが、生物の反応というのは、人間の思い及ばないところに現れてくるのがよくあります。

#### 土壌の構造と土壌生物

土の表層で生活する微生物や動物の土そのものに対する働きは、有機物を無機化して土壌を肥沃化させていくことですが、もう一つ重要な作用として土の構造をつくっていく働きがあります。たとえばミミズの話は有名です。ミミズはどろと一緒にエサを食べ、そのふんが団粒構造をつくるというのは、昔ダーウィンが報告しています。動物のふんは、いちどおなかを通ってきますから、粘質物でかなりコーティングされてかたくなり、コロコロとした粒になります。これが堆積すると土壌表面の物理性が非常によくなります。

微生物の方では、カビが土の小さな粒子をくっつける作用をもっていますから、カビや菌糸のかたいきのこが土の表層にはびこりますと、土はかたい塊になります。菌が死ぬとバラバラにくずれ、土は極度に細粒化された状態に変わります。それから、さきほど山谷さんのお話にありましたように、カビが土壌の構造を悪化させる場合もあります。たとえばマツタケでは、いわゆる忌地というのをつくります。マツタケのシロの中では、土が粉状になって乾燥し、水をはじいて通さなくなります。はげ山地帯の尾根筋で、表層土が白っぽくなって乾燥していることがよくありますが、そういうものの殆んどが

図3-6 - 10種のカビの生長率と水分条件との関係 <Griffin, 1972>

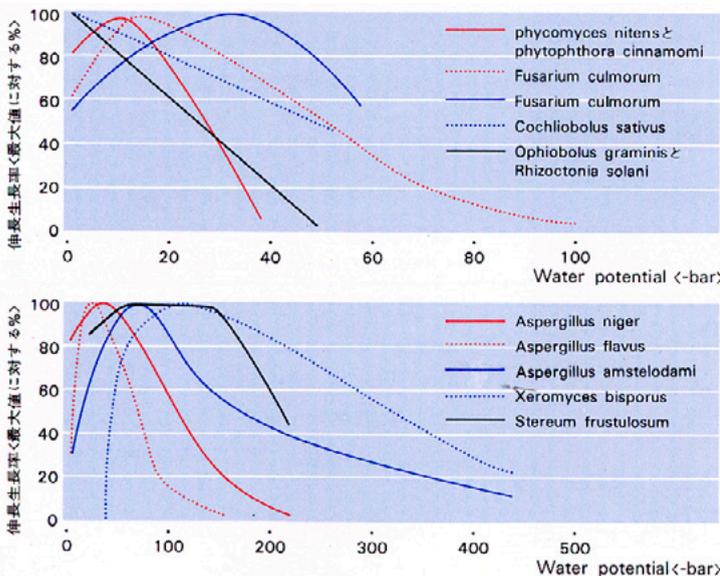


図3-7 - 4種のカビの生長率と温度との関係 <Griffin, 1972>

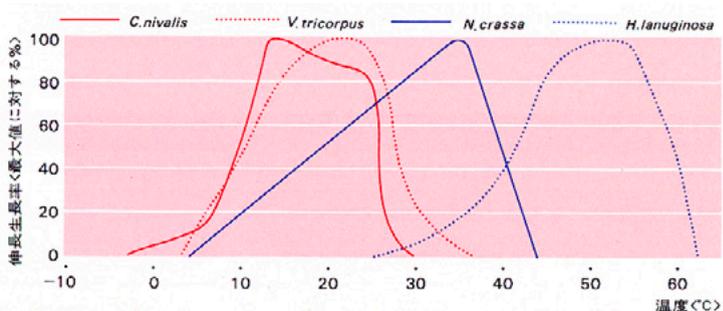
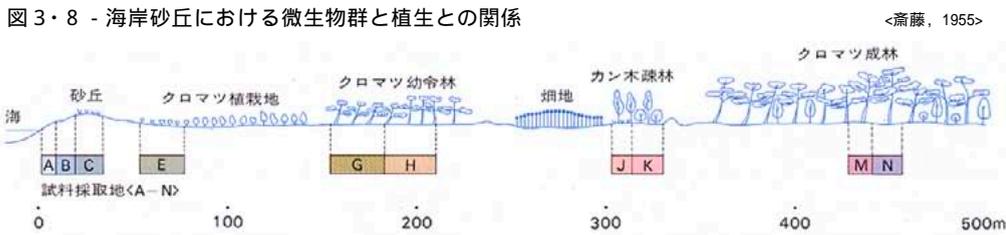


図3・8 - 海岸砂丘における微生物群と植生との関係



●細菌数 <単位=乾土1g当り×10<sup>3</sup>>

場所	1954年5月11日	1954年7月22日	1954年10月25日	1955年2月13日
A	27	142	39	67
B	250	520	465	195
C	270	690	810	380
E	440	1,050	500	780
G	880	1,950	490	900
H	715	1,240	580	1,790
J	5,800	16,000	12,500	5,650
K	5,900	11,770	7,850	5,350
M	5,180	4,110	7,300	6,150
N	2,600	5,100	3,750	5,720

●放線菌数 <単位=乾土1g当り×10<sup>3</sup>>

場所	1954年5月11日	1954年7月22日	1954年10月25日	1955年2月13日
A	8	9	11	8
B	20	50	13	44
C	90	68	81	57
E	200	261	168	145
G	61	156	87	72
H	42	190	67	130
J	260	760	670	165
K	152	190	167	95
M	125	164	250	77
N	110	228	210	68

●糸状菌数 <単位=乾土1g当り×10<sup>3</sup>>

場所	1954年5月11日	1954年7月22日	1954年10月25日	1955年2月13日
A	0.06	0.06	0.05	0.07
B	0.09	0.09	0.06	0.22
C	0.35	0.12	0.7	0.25
E	10	12	16	9
G	91	110	150	105
H	54	82	100	80
J	21	17	40	25
K	68	81	76	43
M	155	118	230	103
N	108	175	110	98

菌のシロの跡です。時によると、かなり広い範囲にわたることがあります。

また、微生物の働きとしては、未熟な岩石を風化させる作用もあります。たとえばアラスカや北欧のツンドラ地帯では、地衣や菌が岩石の表面にはりついて風化を進めています。

植生や環境条件とのかかわり

植生との対応

微生物は、植生と密接に対応して分布しています。図3-8は、20年ほど前に斎藤さんがおやりになったものですが、砂浜から林になるところまでの間の、約500mぐらいの地域で、連続的な植生の変化に対応して、バクテリア、放線菌、カビがそれぞれどれくらいいるかを調べたものです。図にみるように、植生については、何も無い海岸の砂から次第に植物が入ってきて、やがて草本性の植物から松の小さいもの、成林した松林に変わります。

砂浜の有機物がないところでは水がありますから、そこではまず藻類が増えます。次いで藻類を腐らせるバクテリアやカビが増え、次第に土が肥えてきてやがて草本性の植物が入ってきて、植物の根につく微生物が増え、種類も増加してきます。もちろんここでは、特定の植生に対応して特定の微生物種だけが増えていく場合が生じますが、全体の傾向としては、やせ地から森林化していく過程に応じて、微生物の種類も豊富になり、密度も高くなります。森林という環境が他の環境にくらべ、土壌生物にとって安定したものになっていることが、この図からもうかがえます。

森林の伐採と土壌生物

では、このような安定した森林の表層土をきれいにかけ取った場合にはどうなるかといいますと、表層土の微生物は、ほとんどいなくなってしまいます。また、ある森林の表土を削ってしまい、その削ったところに落ち葉をもってきても、それを腐らせる菌がいなくなっているので落ち葉は腐りません。さきほどお話ししたように、森林では地表に落ちた落葉は、すぐ下からあがってきた菌によって捕捉され、分解されます。いったん土の表層に微生物の層ができれば、新しく上から供給される落葉は、規則的に分解されます。腐らせる種菌が森林の表層土にはつねに生息していて、たえまなく分解が進んでいるわけです。

したがって表層土を全部はぎとってしまうと、

全く一から始めなければならず、回復するのに長年月を要するのが普通です。林床の植物をかりとつても、微生物相は大きく変化します。

また、森林を伐ってそのあとに植栽する場合、以前と樹種がちがえば生物相もまた変わってきます。たとえばブナ林を伐って、一方は落葉樹の2次林になり、他方はヒノキを植えたとしみますと、ヒノキを植えた方ではA<sub>0</sub>層の中の微生物の組成が違ってきます。もちろんA層も違います。ところがB層になりますと、以前のものと非常によく似ていてそれほど変わりません。B層の生物相は植生の影響をさほど受けず、安定した状態にあります。

#### 植生への規制

このように土壤生物相は植生に対応して変化しますが、逆に土壤生物が植生を規制するケースもあります。研究例は少ないのですが、裸地に植物が入る前には、微生物が先駆的に土壤の性質をきめていることがあります。温度、水分、ガスなどの条件がよければ、自養性のバクテリアや藻類が増えしていきます。その増え方によって入ってくる植物の方がきめられることもあります。とくに菌根植物のように特定の菌を必要とする植物の分布には、菌の存在が影響します。もう一つ、植物の分布ないしは植物社会を規制しているものとしては、微生物による病気や虫害があります。病気や虫害は、生態学の中へほとんど取り入れられていませんが、これらの生物がポピュレーションの調節に大きな役割を果たしています。たとえば過熟になった材に木材腐朽菌がどんどん増え、木を倒してしまう例があります。虫の方では、天敵の働きも無視できません。今後は、森林の土壤生物の生態学の中へも、病中害の研究をもっととりこんでゆく努力をする必要があります。

#### 土壤の乾湿と土壤生物の分布 菌根を中心に

編集 土壤の乾湿に応じて、微生物が変わってくるという例は何かあるんですか。

小川 だいたい菌糸がどれくらいの水分条件で生活しているのか それを、さきほどの有光さんのお話にあったデータでみますと、弱結合水といった乾いた状態で水を吸っておりますね。普通の植物が吸うのよりかなり低い。ですから乾燥する尾根筋でも、菌根をもつ樹木なら菌の助けをかりて、水にとけた養分を吸収して生長できるだろうと思います。一般的にいつて放線菌は乾いているところに多く、細菌は湿ったと

ころで増えます。カビも湿ったところを好みますが、きのこ、カビともに乾いた所と湿った所とでは種類組成がまったく異なります。

編集 菌根や細根などの分布も尾根筋と谷では、様子が大きく違うのですか。

小川 それはかなり違います。以前、松林で尾根から谷へかけて菌根の量を粋でとる方法ではあったことがあります。そうしますと、尾根ではA<sub>0</sub>の部分に細根が集中し、その若い根のすべてに菌がついていました。ところが谷では、細根の分布状況がちがって、A<sub>0</sub>から下のA層の方に多くなり、菌根の量もへっていました。微生物社会 混沌とした不可知な世界

編集 さきほどの図3-7で、Jというのはどういう場所ですか。

小川 Jというの、耕地とその周辺のはずです。こういう場所では、カビは少なくなってバクテリアが増えます。カビの場合は、未分解の有機物が多いとたくさんできます。耕地の場合には化学肥料などをやりますからバクテリア優占型になります。耕地であれば、バクテリアやカビがたくさんいて、物をくさらせ循環を速めてくれればいいわけです。ところが森林では、バクテリアだけだと働きが片寄ってしまい、落葉が落ちてきても分解しにくくなります。カビやきのこも豊富にいてバランスをとりながら働いてくれなければいけない。耕地と林地の生物相はかなり大きく違ってきますので、Jの値が異様に見えると思います。

編集 そうするとこの図では、微生物のだいたいの数の傾向をみるだけで、それ以上のことはたとえばそれぞれの環境に応じて、微生物相がどのような仕組みでどのような働きをしているかというような話には直接つながっていかないわけですね。

小川 その通りです。これは、コロニー数と称して一定の培養基で分離した微生物の数だけを表しています。ですから、どんな働きをしているかということはまるでわかりません。そこで現在、私達の研究室では、微生物をいろいろな働きをするグループ、たとえば硝化作用をするもの、セルロースを分解するもの、アミノ酸を利用するものなどに分けて分離培養し、測定する方法をとり入れていますが、手間がかかって大変です。

じつは重要なことを話し忘れていましたが、微生物はいつも同じ形をしたり、同じ性質をもつ

ているとは限らないのです。性質の変わる幅は、種によって一定の範囲にあります。条件次第によって形を変えたり、性質を変えることができるのです。たとえば、イーストは条件がよければ糸状に伸びますが、条件が悪くなると球体になって増殖します。またバクテリアでも、通常は球状で、条件が悪くなると糸状になって土の中へ広がるものがあります。これを多形現象といっています。また、胞子の作り方にもいろいろの方法があり、適応変異と高頻度に示するのが微生物の大きな特徴の一つだといえます。こういうことになると、コロニー数で微生物の実態にせまろうとするのは、ちょっと不可能なものです。これは、土壤微生物学の研究方法と方法論上の問題として、古くから論議されていますが、いまだにすべての微生物を正確にとらえる方法はありません。間接的に調べて、あてもないこうでもないと推測している段階にあります。

編集 微生物というのは、話を聞いているうちにだんだんわからなくなりますが(笑)。

小川 微生物というのは、総ぐるみしようとすると、話がこんがらがってきて何が何だかわからなくなるのです。バクテリアの中のある一つの種、カビの中の特定の種というような話であれば、まだわかります。植物でしたら、みんな緑色をして生活のベースが一緒ですからわかりやすいのですが、微生物の場合には、サイズだけでもずいぶん違う上に、種類数にいたっては天文学的な数です。たとえば、日本のきのここと称されるものだけでも4,000種をくだらない。カビになりますと、はるかに多くて万をこえます。ですから微生物の働きを最終的に捉えようと思えば、結局、生化学的な変化とか、あるいは落葉の分解の仕方とかによって追及していかないと、とても捉えられるものではないでしょう。ある環境系における土壤生物の総体としての活動の結果は、たとえば、土壤中における物質の動きやその量に反映されてくるはずですから、そちらからの追跡の方が早道だといえます。土壤生物の研究は、物質変化の過程がどのように起こっているかというような、部分的またはミクロ的な解説を要する場面で、その存在価値を発揮するといえるかもしれません。微生物や動物だけからマクロ的な生態系を論じることは、いまのところ不可能でしょう。

## 森林における物質循環

植生と土壌は物質の環境で結ばれている

堤 私は、これまでの話とはちょっと視点を変えて、物質循環という側面から森林というものについてお話ししたいと思います。

本来、生物というものは、それが生きている限り、必ず外からエネルギーと物質とを自分の身体の中に取り入れる必要があります。そして、それを一時自分の身体の中に蓄えた後、必ずまた外へ放出します。したがって、生きものとそれを取り巻いている環境との間には、必ずエネルギーと物質の出入りが生じます。もちろん、森林とてその例外ではなく、たとえばこれまでのお話のように、植生と土壌ということで考えてみた場合でも、植物と土壌との間、そしてそれらを取り巻いている環境との間には、必ず物の出入りというのことができ、それによって初めて森林が成立しているわけです。

ところで、この物の出入りと一般的にいいましても、物質によってその流れは違い、それぞれにあるきまった流れがあります。そうした物質の流れをみるために、いま、森林を幾つかのコンパートメントに分けて考えてみます。この分け方というのは幾つにでも分けることができるのですが、本日の話のテーマは、植生と土壌の相互作用ですから、さしあたっては、森林を樹木の部分と土壌の部分に大別し、樹木の方は同化器官である葉の部分<F>と、幹・枝・根という非同化部分<C>に、土壌の方は地表に堆積したA<sub>0</sub>層の部分<A<sub>0</sub>>と、土の中で無機化したいわば土壌中にある可給態の各物質<M>に分け、最後に未風化の岩石<R>という、この5つぐらいのコンパートメントに分けて考えてみます。図4-1がこうした分け方でみた物質の流れで、図Aが炭素、図Bがチッ素、図Cがミネラルの流れです。

### 炭素の循環

まず炭素について考えてみます。よく知られているように、炭素というのは、植物体を構成している物質の中では、大変に大きな部分を占めております。この炭素は、系外からは、大気中の二酸化炭素が植物の光合成によって植物体の中に取り入れられます。取り入れられた炭素の一部は、葉とか幹・枝で行なわれる呼吸を通じてもう一度大気中に返っていきます。しかし、取り入れられた炭素のかなりの部分は植物体

蓄積し、そして落葉・落枝というような植物体の部分的な死やあるいは樹木の枯死というような植物の死にもなると、いわゆる植物遺体(リターフォール)として土壌表面に落ちます。土の中には、さきほど小川さんのお話にありましたように、そういう動植物遺体をエネルギー源にするいろんな生きものがいて、それらを直接ないし間接にエサにしてそこで生活をする。その結果、動植物遺体は分解され、腐植として土の中に集積されます。このうち地表面にたまったものをA<sub>0</sub>層といい、分解の段階によってそれをL、F、Hの3層に区分することは、さきほどの山谷さんのお話にあつたとおりです。鉱質土壌へ移行した腐植は、A層を発達させ、土層の層状構造をはじめさまざまな土壌の性質をつくるのに大きな役割をもっています。動植物遺体中の炭素は、最終的には二酸化炭素として土壌から大気中にかえります。土壌面から二酸化炭素が放出される現象を土壌呼吸といいますが、これには根の呼吸も含まれます。それからまた土壌中に蓄積された炭素の一部は、水に溶けて流れ出すとか、あるいは物理的に移動したりなどして系外に流出してしまいます。

### 森林の極盛相 物質循環の動的平衡

炭素の場合には、大ざっぱに言ってこういう動き方をしているわけですが、こんどはこの動きを、それぞれのコンパートメントについて考えます。それぞれのコンパートメントでは、物質の収入と支出があるわけですから、各コンパートメントの大きさというのは、そこでの収支のバランスに左右されていることになります。植物が成長するというこれは、この図においては、たとえば<F>とか<C>というコンパートメントの大きさが増大することです。ところが実際には、森林が限りなく成長するということはあり得ません。たとえば炭素の収支ということだけに限ってみると、幹・枝・根といったいわゆる非同化部分が増えていき、その結果、そこでの呼吸消費が大きくなって、葉での炭素の収入と量的にバランスしてしまうことが考えられます。閉鎖した森林では、他の条件が著しく変らない限り、あるあたえられた条件の下で葉量がほぼ一定になりますから、森林は無限に大きくなれないわけです。また、このような条件下ではリターフォールの量、つまり土壌への炭素の収入はほぼ一定になります。したがって土壌生物による有機物の無機化の量も、土壌中の有機物

の集積量の増大とともに増えてゆき、どこかでリターフォールによる収入とバランスして、コンパートメントの大きさはほぼ一定になると考えられます。

裸地に森林が成立し、それが次第に大きくなっていくにつれて、リターの生産量も増えていき、それにつれて土の中にも次第に物質がたまり込んで<A<sub>0</sub>>や<M>は大きくなっていきます。こうして、総支出も増えていく。そして、やがてどこかで、収入と支出とがきれいにバランスしてしまうだろう。こうしてある時間の経過の後には、それぞれのコンパートメントの大きさがきまってしまって、そして物は動くけれども、コンパートメントのそれぞれの大きさは変動しなくなる。いわゆる森林の極盛相というのがこういう状態です。こうした過程を別の言葉でいいますと、これはつまり、土の中に腐植がたまっていけば当然土の性質が変わってきます。それに対応して植物の種類も変わってくるし、植物の種類が変わればそれに対応して土壌生物も変わってくる。そうすると、土の性質もまた変わってくるということで、結局、植生遷移が進む、土壌の層状構造も発達してくる。こうした変遷過程を経て、やがて植生も土壌もいわゆる極盛相の状態に近づき、先ほど申しましたように、それぞれの各コンパートメントが量的な意味での動的平衡に達して、それぞれの与えられた条件のもとで物の収支がほぼ一定になるだろう。このように考えられるわけです。

### チッ素の循環

次にチッ素ですが、一般に植物は、土の中のチッ素を根から吸収して成長するわけですが、生態系に含まれるチッ素の供給源というのは、多分大気中のチッ素であろう。それが、生物を通じて土の中に固定され、蓄積されてきます。そして植物は、このチッ素を根から吸収して樹体に集積しますが、同時に植物は、この集積したチッ素を落葉・落枝を通じて土へ返すわけです。ですから、チッ素の循環径路というのは炭素の場合と違って、土から植物へ、植物から土へという、森林の中での再循環過程をもってあります。同時に土の中でのさまざまな変化の過程で森林の中を通り抜けて、水に溶けた形で森林の外に流出します。あるいはまたガス状の形で脱窒する場合もありましょう。もちろん雨水の中にもかなりのチッ素が入っておりますから、そういう形での系外からの供給も当然あるわけで

す。およそチッ素の場合には、外界との出入りというの以上のような関係になっております。そしてこのチッ素の場合にも、さきほどの炭素で申し上げましたと同じような過程を経て、各コンパートメントが次第に大きくなりますが、それにも限度があって、収支のつりあった動的平衡が達成されるだろう。理論的にはこのように考えられるわけです。

#### 治山造林における物質の集積過程

では実際に植生が成立し発展する過程の中でみられる、森林の物質集積の量的変化をみてみます。図4-2がその1例です。これは瀬戸内一帯に分布する花こう岩のはげ山での変化過程です。はげ山に治山造林するために樹木を植え込んで、そこに森林をつくっていく。その森林の成立につれて炭素やチッ素の量がどういふふうになるかということ、A<sub>0</sub>層と土壌中と、それから樹木の部分とに分けて示したものです。ごらんのように、それぞれコンパートメントの大きさはだんだん大きくなりますが、その大きくなり方は、最初の20年ぐらいまでは各コンパートメントとも非常に急激です。そして次第にゆるやかになり、最後にはほとんど一定の状態

になってしまいます。もちろん物質によって、各コンパートメントの大きさは違ってありますが、それらの発展過程というものは、大体同じような傾向を示しております。

#### ミネラルの循環

次に、カルシウム、マグネシウム、燐という、いわゆるミネラルの仲間ではありますが、これは炭素やチッ素とは給源が全く違っていて、もともとは岩石に含まれていたものが風化して、土壌の中にもたらされているわけです。岩石の中にあるものがさまざまな変遷を経て無機化され、それが根から吸われて樹体に集積される。そしてチッ素と同じようにリターとしてまた土へ返ってくる、それがまた土の中で微生物などを通じて無機化され、再び植物によって利用される。この場合もやはり土から植物へ、植物から土へという、いわゆる再循環過程をもっています。こういう循環過程の中でチッ素と同じようにやはり流出が起こりますし、また雨水からの収入というの、もちろんあるわけです。ですから、ミネラルとチッ素というのは、森林の中の再循環過程と外界との収支、この二つの回路をもつことでよく似ております。しかし系外からの

獲得方法についていえば、炭素は、植物の働きによって系の中に蓄積され、チッ素は、土壌微生物の働きで系の中へ持ち込まれる。ミネラルの場合は、母岩からの風化によるものが主流であるというように、それぞれの物質によってはっきりとした違いがあります。炭素、チッ素の給源としての大気の組成は、陸上の生態系にとってはほぼ均一とみられますから、生態系への収支は、もっぱらそれにかかわる生物活動によってきまると考えられます。一方、ミネラルは、母材の性質やその風化・集積にかかわる気候、地形、植生などの影響によってきまるので、地域的にかなり異なります。

そして植物が生活してゆくためには、炭素、チッ素、ミネラルのそれぞれを、ある一定のバランスのとれた量を必要としますから、物質循環の過程でこれらのものが統一されることになると考えられます。土壌中の物質の集積は、植物生産物であるリターフォールによって影響をうけますが、同時にまた植物生産は、土壌中のチッ素やミネラルの無機化によって支配される。つまり、土壌は植物の生産を支配するが、植物もまた土壌を支配していることになり、図4-1

図4-1 - 森林における物質循環の模式図

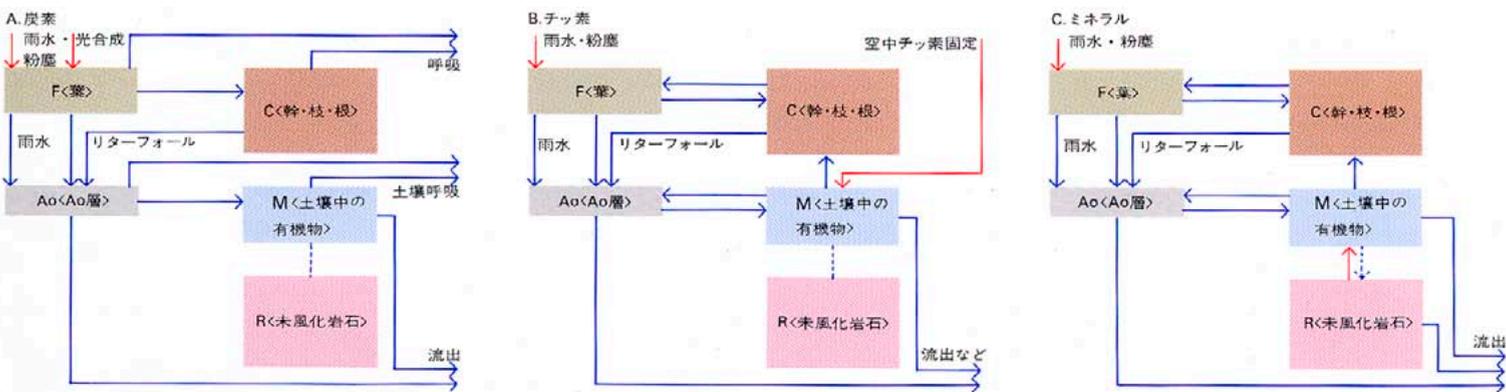
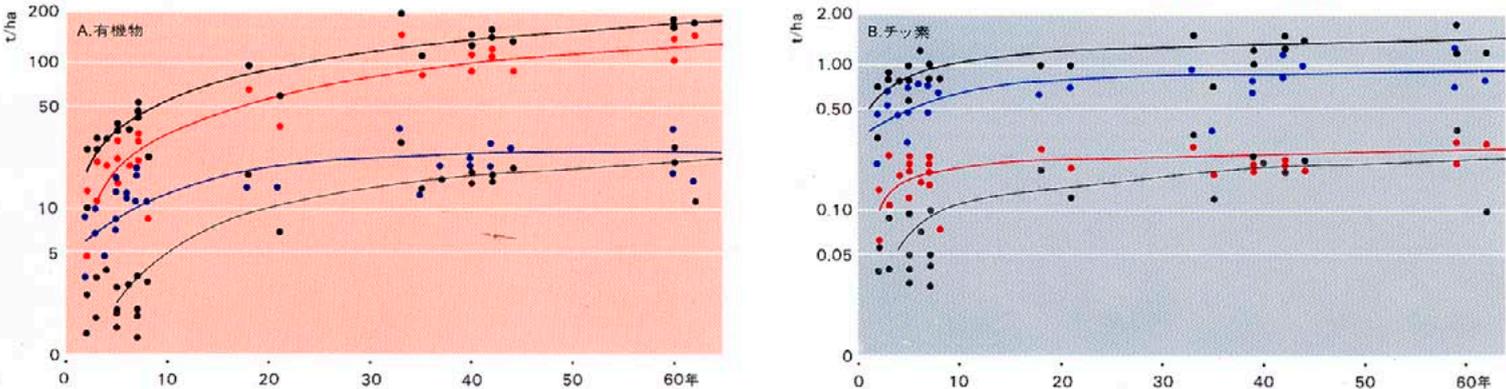


図4-2 - アカマツ天然林の成立にともなう有機物とチッ素の量的変化



に示した各コンパートメントは、相互に関連しあっているわけです。しかも、相互にバランスしてある一定の動的平衡を保っている。それが自然の生態系なのです。

地球上にはさまざまな環境があり、炭素、チッ素、ミネラルの収支にかかわる要因がそれぞれ違います。その結果、各コンパートメント間のバランスのとり方が違い、その違いが、植生・土壌の違いとしてあらわれている。このように考えられるわけです。

#### 落葉の分解にかかわる諸要因

A<sub>0</sub>層の場合についてみますと、そこへ供給される動植物遺体は、主に植物生産の結果です。ところが、A<sub>0</sub>層からの支出にかかわるものは、植物ではなくて土壌生物です。ですから環境の変化、たとえば温度の変化に対する反応は、収入側と支出側とでは、当然違ってくるものと考えられます。A<sub>0</sub>層での落葉の分解は、いろいろな意味で土壌の生成に重要ですから、ここで落葉の分解について考えてみたいと思います。落葉の分解にかかわる要因は数多くありますが、主なものとして、温度、水分、落葉の性質、土壌生物の種類などをあげることができます。温度条件と落葉の分解についての研究は古くからあって、他の条件が変らない限り、温度が高くなるほど分解速度は指数関数的に速くなることが知られています。たとえば図4-3は、A<sub>0</sub>層の有機物をいろいろの温度条件下で分解させ

たものです。落葉などの有機物中の炭素は、分解すると最終的には二酸化炭素として放出されますから、その二酸化炭素の量によって、落葉の分解速度を比較したものです。また図4-4は、森林での土壌呼吸をいろいろな温度条件のもとで測定したものです。これらのことから、温度というのは、落葉の分解速度をきめるのに大変重要な因子になっていることがわかります。また、水分条件もきわめて重要です。乾燥した落葉はなかなか腐りませんし、逆に過湿状態でも落葉の分解はおくれます。図4-5は、土壌をいろいろな含水率にして、その呼吸量を調べた結果です。

次に落葉の性質と分解速度との関係ですが、だいたい落葉の形態やその有機・無機的性質はきわめて多様で、それらの分解速度もかなり違います。かつてヨーロッパでは、広葉樹にかえてトウヒを主とする針葉樹の一斉林をつくったことがあります。その結果、その土壌がゴドゾル化して土壌が悪くなり、広葉樹を混交すべきであるという議論が行なわれたことがあります。これは主に、トウヒのような針葉樹の落葉が分解しにくく、厚いA<sub>0</sub>層を発達させる。A<sub>0</sub>層が厚く発達するために、その過程で生成される酸性物質が土壌中の塩基を溶脱させてしまうというものでした。

図4-6は、身近な樹木の葉の分解速度を比較したものです。ごらんのように、樹種によって

かなりの相異があります。また同じ樹種でも、条件によって分解速度が違います。そこで、落葉の分解速度を、落葉の有機・無機組成との関係で明らかにしようとする研究が数多く行なわれてきました。この関係はなかなか複雑で、一口に説明することはむずかしいのですが、一般に草にくらべて樹木の葉は分解がおそい。また、樹木では広葉樹落葉のほうが、針葉樹落葉よりも分解が速い場合が多い、というような傾向があります。草にくらべて樹木の葉はリグニンが多く、広葉樹にくらべて針葉樹には樹脂や蠟質物が多いことなどが分解速度の違いに関係していると考えられます。またナラ類のように、タンニン物質を多く含む種は分解しにくいともいわれています。

そのうえに、チッ素やリン、カルシウムなどのいわゆる養分物質の量的違いがあります。落葉や落枝の養分物質の含有率は、かなり低いものです。その1例を図4-7に示します。チッ素についてみますと、落葉のC/Nは、ヒノキ・スギ・アカマツなどで90~110、クリ・コナラ・ケヤキなどで45~50という測定例があります。図4-8にみるように、C/Nが小さい、いいかえるとチッ素含有率が高いほど分解は速くなる傾向がありますが、樹木の落葉は明らかにC/Nが大きすぎ、チッ素含有率が低く、そのことが草にくらべて分解のおそい原因の一つになっています。

図4・3 - A<sub>0</sub>層有機物の分解と温度との関係 <千葉, 1975>

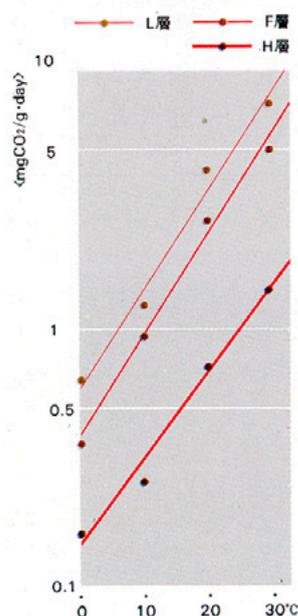


図4・4 - 土壌呼吸と気温との関係

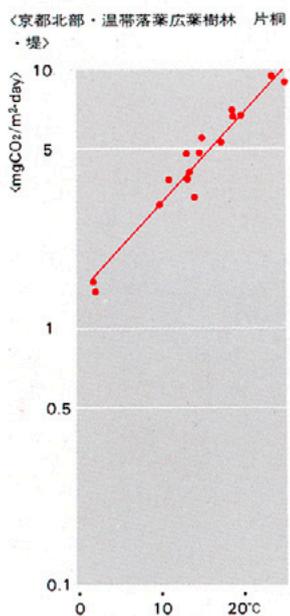


図4・5 - 土壌の含水率と土壌有機物の分解

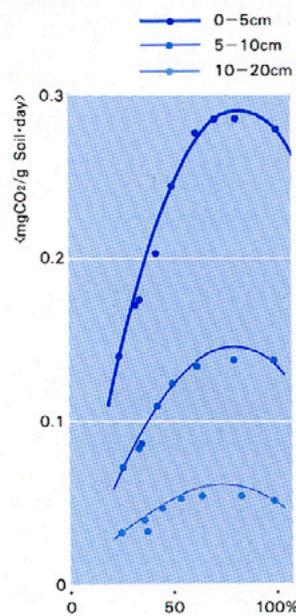
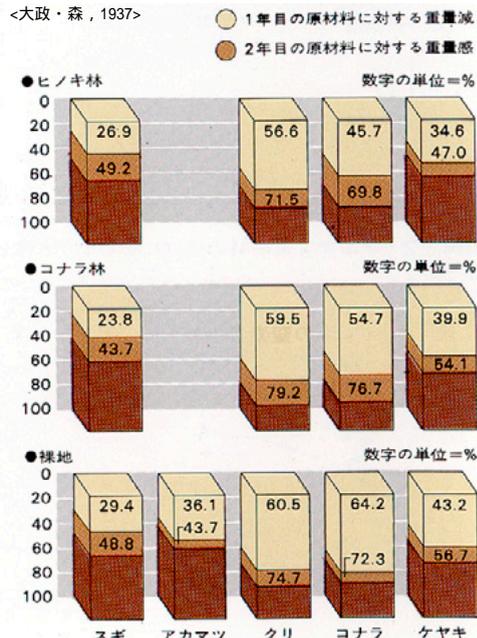


図4・6 - 各種落葉の分解速度の比較



このほか、かたく分解しにくいクチクラでおおわれた葉の表皮の発達の違いなど、葉の形態的な違いも考慮しなければなりません。いずれにしても、針葉樹落葉のように葉がかたく、分解しにくい物質を多く含み、チッ素やミネラルの含有率が低くなると、一般に分解はおそくなると考えてよいでしょう。

それから最後に土壌生物ですが、これら生物の数や組成というものが、さきほどの小川さんの話のように、きわめて重要なかわりをもってはいるわけですが、たいへんに複雑です。それでここでは、土壌動物はもっぱら落葉を細かく砕く作用をもち、そのことによって微生物による落葉の分解、無機化が大いに促進されているというにとどめます。土壌生物は、乾燥したり、土壌が堅密であったりすると、その活動が衰えますから、乾燥は土壌生物の組成を通じて分解に影響することになります。

#### 落葉の分解 野外での実例から

ところで野外の実際の林地では、落葉分解は、上述したさまざまな諸要因の複合的な作用のもとで進行します。図4-9に、野外での落葉分解の実験例を示します。実験した場所は、温帯落葉広葉樹林帯の天然生林です。ゆるやかな尾根部には天然生スギ林、斜面部はブナを主とする林分、斜面下部はトチ・ミズキ・イヌシデ・ブナ・カエデ類のほかミズナラの大径木を含む林分があります。これらの林分で、それぞれ新鮮

な落葉を集め、相互に交換しておき、分解速度を調べたわけです。

図でみるように、落葉の種類による分解速度の違いはどの林分でも共通していますが、なかでも斜面下部の広葉樹落葉の分解が最も遅く、ついでブナ落葉、スギ落葉の分解は最もおそくなっています。また、環境の違いも明らかで、斜面下部の広葉樹林で最も遅く、他の二つはおくられています。このように環境と樹種とが組合わせた自然の状態では、分解速度の違いが大きくなります。18ヵ月(2生育期)を経た後では、斜面下部の林分では、その林分の落葉は殆んどなくなっていますが、ブナ林ではブナ落葉は61%、尾根のスギ林ではスギ落葉が25%分解されたにすぎず、その比率は、10:6:3ということになります。このように地形にもとづく水分や土壌条件の違いに樹種組成の違いが加わって、野外での実際の落葉分解速度には大きな違いがあることがわかります。

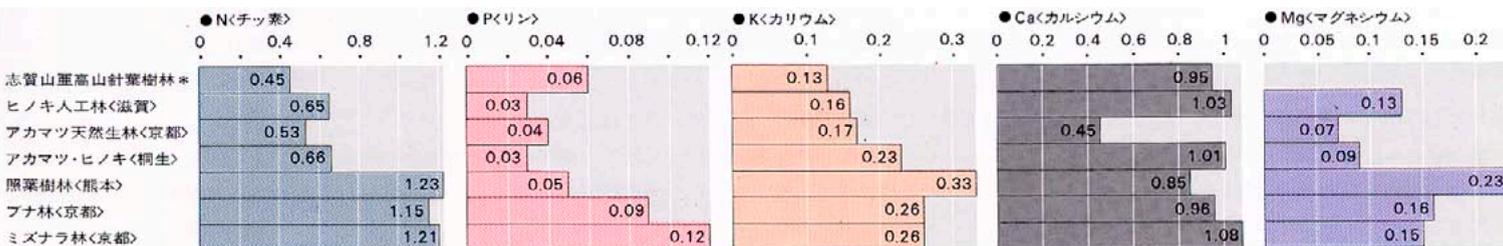
#### 落葉の分解と物質循環

熱帯降雨林と亜寒帯針葉樹林を例にして以上のように落葉の分解というのは、単一の要因では整理できないのですが、この事情を、熱帯降雨林と亜寒帯針葉樹林を例として考えてみます。まず土壌に加えらるる量 リターフォールの量は、熱帯降雨林ではヘクタールあたり年20トンという測定値が報告されていますが、亜高山ないし亜寒帯の針葉樹林では年3.5~4.9

トンという値です。このように熱帯降雨林では、亜寒帯針葉樹林のおよそ4~7倍ものリターフォールを供給しています。しかし一方で気温の違いが大きく効いてきて、分解速度はさきほど申しましたように温度とともに指数関数的に変るので、分解速度の違いはぐんと大きくなります。そのうえ落葉の性質は、広葉と針葉という違いがありますから、リターの分解速度には大きな違いが予想できます。おおまかな推定では、熱帯降雨林では落葉は数ヵ月で分解してしまうのに対し、亜寒帯針葉樹林では落葉の分解に数年はかかるといわれています。鉱質土壌に含まれている有機物も加えて、土壌での全有機物の平均の分解率を推定しますと、亜寒帯針葉樹林が1~3%、熱帯降雨林が約25%というぐらいの違いがあります。

このために、亜寒帯針葉樹林では、熱帯降雨林にくらべてリターフォールの量ははるかに少ないのですが、図4-10および図4-11にみるように、A<sub>0</sub>層や鉱質土壌での炭素の集積量は、熱帯降雨林にくらべて非常に大きくなっています。つまり、熱帯降雨林では、多量のリターフォールが活発に分解され、物質の回転率が高い物質がどんどん回転しているのでA<sub>0</sub>層や土壌での物質の集積量が少なくてもよいわけです。しかし亜寒帯の針葉樹林では、物質の回転率が低い物質の流れ方がおそいのでA<sub>0</sub>層や土壌に多くの物質を集積していないと、リターフォ

図4-7 - 落葉の年間平均養分濃度



\* コメツガ・オオシラビン, IBP志賀山1973, 他は河原1971より図化

図4-8 - 落葉の窒素含有率と分解速度

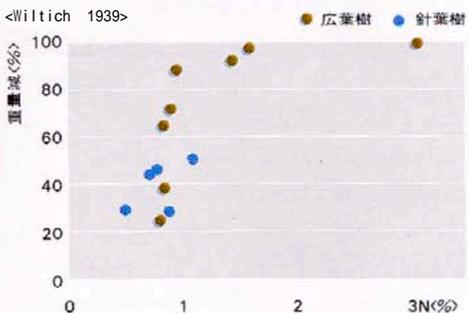
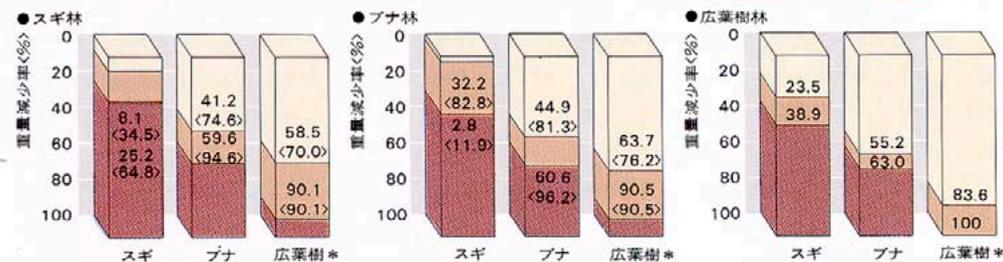


図4-9 - 落葉の分解速度<京都・芦生> <堤ら, 1961>



\* 山脚部落葉広葉樹林でトチ, ミズキ, ブナ, オオモジ, ミズナラなど  
●注く>内の数字は広葉樹林帯のそれぞれの樹種を100とした場合の減少率比

ール量に見合う土壌有機物の無機化がおこりえないことになっているわけです。一方、チッ素の方は、両者の違いは炭素ほど大きくはありません。このことは、チッ素の収支にかかわる諸要因が、熱帯と亜寒帯とではかなり違うことを示唆しているものと思われます。

ところでミネラルについてはどうかといいますと、土壌中の有機物の分解がおそいと、落葉・落枝に含まれて土壌に入ったミネラルの無機化も、それだけおそくなると推定されます。したがって、亜寒帯林ではより多くのミネラルを土壌に集積していなければ具合が悪いことになるはずですが、ところが実際には、寒冷な針葉樹林帯は、低温のためポドゾル化作用によって土壌中からミネラルが溶脱してしまっていて、土壌中でのミネラルの集積は少なくなっていることがあると推定されます。では一体、このような条件下での植生と土壌との関係は、どのように調整されているのであろうか。この辺の問題を解くためには、図1-1に示した各コンパートメントの大きさと、その間を流れる物質の循環速度を測定しなければなりません。

起伏における物質循環の違い

それでつぎに、このような測定の一例を中心にして話をすすめます。調べたところは、京都府北部の海拔600mほどの山地にある温帯の天然生の落葉広葉樹林で、ここは斜面になっているので、地形の起伏に応じて水分環境が変わり、さきほどの山谷さんや有光さんの話にありましたように、土壌の性質や植生が変化します。図4-12は、こうした水分環境と植生の変化する様子を示したもので、図のヨコ軸は乾湿度指数であらわしており、数字が大きくなるほど乾燥の度合が高まることをあらわしています。タテ軸は、そうした水分環境の変化に対応して出現する樹種の様相で、だいたい直径5 cm以上の本数の出現頻度をパーセントであらわしています。そうしますと、湿った方にはトチノキ、サウグルミ、あるいはミズキという種類が多くあらわれ、乾いた方向に向かうにつれてそれらの樹種が減ってきて、それにかわって今度はブナなどの種類が増え、やがてスギに代わります。そして最も乾性なやせた尾根の上などにゆきますと、クロソヨゴ、ネジキ、あるいはリョウブとかタムシバとかいうものが多くなってきます。

では土の中の物質の集積のほうは、こうした乾湿に対応してどう変わってくるのか、といいま

すと、これについては、まだデータが少ないので一つの例ということで申しあげるわけですが、適潤性ないしは弱湿性の土壌から乾性の土壌に向かうにつれて、A<sub>0</sub>層の量およびそれに含まれるさまざまな物質の量が増えるといえます。土の中の量というのは、かなりバラツキがあってよくわからない。総量でみてもそれほどはっきりした変化はないのですが、チッ素と置換性のカルシウムについては適潤性から乾性土壌にむかうにつれてかなり急激に減ってきています。炭素とチッ素の割合、C/N比は、適潤性から乾性にむかうにつれて大きくなります。土の中の物質の集積については、だいたい以上のような変化がありまして、さきほどの山谷さんの説明とよく一致した傾向を示しております。ではこういった条件の違いに応じて、森林の物質循環はどう変わるのか、あるいは図1-1の各コンパートメント間のバランスはどう変わるのかということが問題になります。このかんじんの問題になりますと、じつはまだよくわからないというのが実情であります。ただ、乾性土壌でA<sub>0</sub>層が発達するという事は、これは当然乾燥することが一つの原因ではありますが、同時にまたチッ素の集積が少ないとか、あるいは置換性カルシウム。これは置換性塩基全般といってもいいかも知れませんが、そういうものが少なくなっている。つまり貧栄養化しているわけで、このために土壌生物の活動が抑制される。その結果、落葉などの有機物の分解がおくれ、そしてA<sub>0</sub>層が発達するが鉱質土壌での物質の集積は進みにくい。土壌での物質集積については、このように説明できるでしょう。

土壌での物質の回転については、さきほどもお話ししましたように、斜面部分で地形的な乾湿のある条件の下で、植生の変化を考慮に入れると、落葉の分解にはかなりはっきりした違いがありました。ですから、斜面で適潤から乾燥にむかうにつれて、土壌における物質の回転はおそくなっているといえます。そのうえさらに、土壌中の集積量というの、いま申しましたように、チッ素やカルシウムのように乾燥にむかうにつれて少なくなっている。そうしますと、循環する物質の量はきわめて少なくなってしまうはずで、植物生産に大きな影響を及ぼさず。<F>や<C>というコンパートメントの大きさは、適潤から乾燥にむかうにつれて小さくなるを得ない。こういうことになってしま

うわけです。

リーピヒの最小量の法則という有名な法則がありまして、それは、ある植物の生長は、その植物が利用できる栄養物質の中の最小量のものに依存している。というものです。土の中にある栄養物質の循環量が小さければ、それに合わせて<F>や<C>の大きさが制限される、ということになります。ごく常識的には、土の中の養分の多少ということが、土のいわば生産力の一つの目安のように考えられていまして、肥料をたくさんやればそれだけ植物がよく育つというのが一般的な考えです。農業の場合には、作物を常に人間が収穫していますから、その分だけ人間が肥料というかたちで必ず補給してやらなければならない。その上、だいたい一年生の作物ですから、可給態のものを植物が必要とするときにたくさん与えてやれば、それだけ生産力が高まるわけです。ですから植物の物質生産量と養分との関係は、森林などとくらべてずっと単純なものではないかと思えます。

植物の成長にとっては、チッ素とかミネラルは基本的に必要なものであって、これが潤沢に供給されているかどうかということは、森林にとってもその生長を支配しているはずなのですが、しかし、これまでのところでは、樹木の成長速度と土壌中の養分濃度との関係は、少なくとも人工林に関していえばわりあいあいまいで、はっきりしてはおりません。これまではむしろ、土壌の物理性の方が、森林の成長にとってとくに人工林の成長にとって、ずっと重要であるというように理解されてきたわけです。それは森林では、土壌と植物との間を養分物質がたえず循環していますから、土壌中での養分の集積量が少ない場合でも、物質の動いている割合が大きい。つまり回転率が高ければ、結構それで間にあうという事情があるわけで、この点をいままでも余り考慮していなかったからだと思います。

モル型土壌におけるA<sub>0</sub>層の役割

この辺の関係をみるためには、森林における物質の流れをもう少し具体的にみていかなければなりません。物質循環の各コンパートメントごとに、物質がどれくらい動いているかということを実際に調べてみる必要があるのです。しかし、いまのところこうしたデータは余りありませんので、これは一般化した形では言えないのですが、一例として、私どもでやりましたもの

をお目にかけておきます。

この調査は、さきほど述べました京都府北部の天然生の落葉広葉樹林の一つの斜面で、斜面下部と尾根部と、いわゆるムル型の土壌とモル型の土壌とで、それも、植生や土の中の物質の集積量にかなりはっきりとした違いが認められる二つの土壌を選びまして、相互に比較をしてみたわけです。図4-13に示すように、それぞれの物質について各コンパートメントの大きさと、そこへの物の出入りのうちで実測できたものだけを図にあらわしています。上の方がムル型の土壌で下の方がモル型の土壌です。植生は、ムル型がトチ、ミズキ、サワグルミ、それにブナなども少し入っております。モル型の方は、ミズナラ、コナラ、マルバマンサク、クリ、それとタムシバのようなものが入っております。

まず、土壌での物質の集積<M>についてみますと、モル型のほうが、各物質ともムル型にくらべて非常に少ないことがわかります。とりわけカルシウムが非常に少ないのが目立ちます。ムル型のほうを1にした比率で比較した場合、<Ao>と<M>との合計でみますと、モル型のほうは、炭素で0.6、チッ素で0.34、リンで0.9、カリウムで0.35、カルシウムで0.12、マグネシウムで0.15というように非常に少ない。

それに対して樹体のほうはどうかといいますと、物質によって多少の違いはありますが、<F>と<C>との合計でムル型を1とした場合、モル型のほうはだいたい0.28から0.30くらいのところで安定しております。

それから土への収入、つまりリターフォールと雨水で供給されるものとの合計量をそれぞれ比較してみますと、ムル型を1とした場合、モル型は炭素で0.61、チッ素で0.43、リンで0.27、カリウムで0.44、カルシウムで0.38、マグネシウムで0.41となっています。カルシウムなどでは、モル型では集積の量は少ないのに収入の量はその割合に少なくない。動いている量はかなり多いという結果になっています。土の中での集積が非常に少ないのにこれだけの量のものが動いている。このことは、そこでは物質の回転が速くなっているとか考えられないわけです。ところが、こういうモル型の土壌での落葉の分解というのは、さきほどもいいましたように、一般には速度はおそく、回転率は低いのです。この場所でも、一応有機物の平均の回転率を計算しますと、かなり低くなる、とくに

図4-10 - 亜寒帯の森林における炭素と窒素の集積量<北海道トドマツ天然生林>

<堤, 1973>

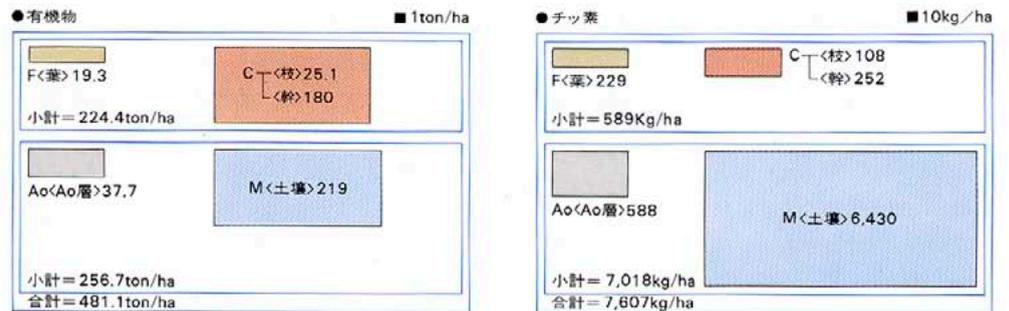


図4-11 - 熱帯の森林における炭素と窒素の集積量<タイ国南部熱帯降雨林>

<堤, 1973>

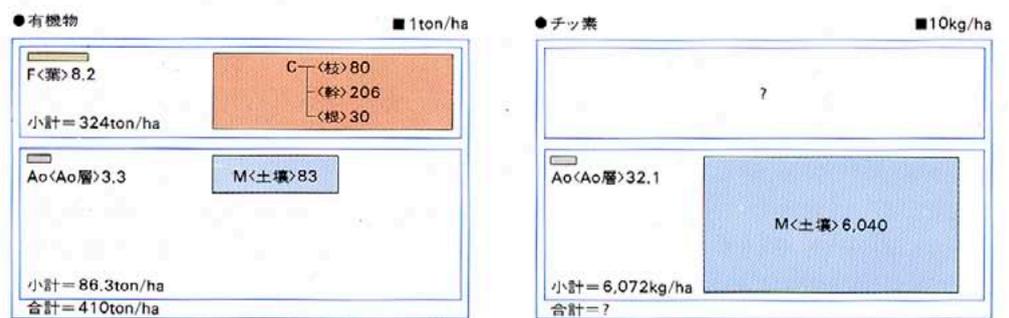
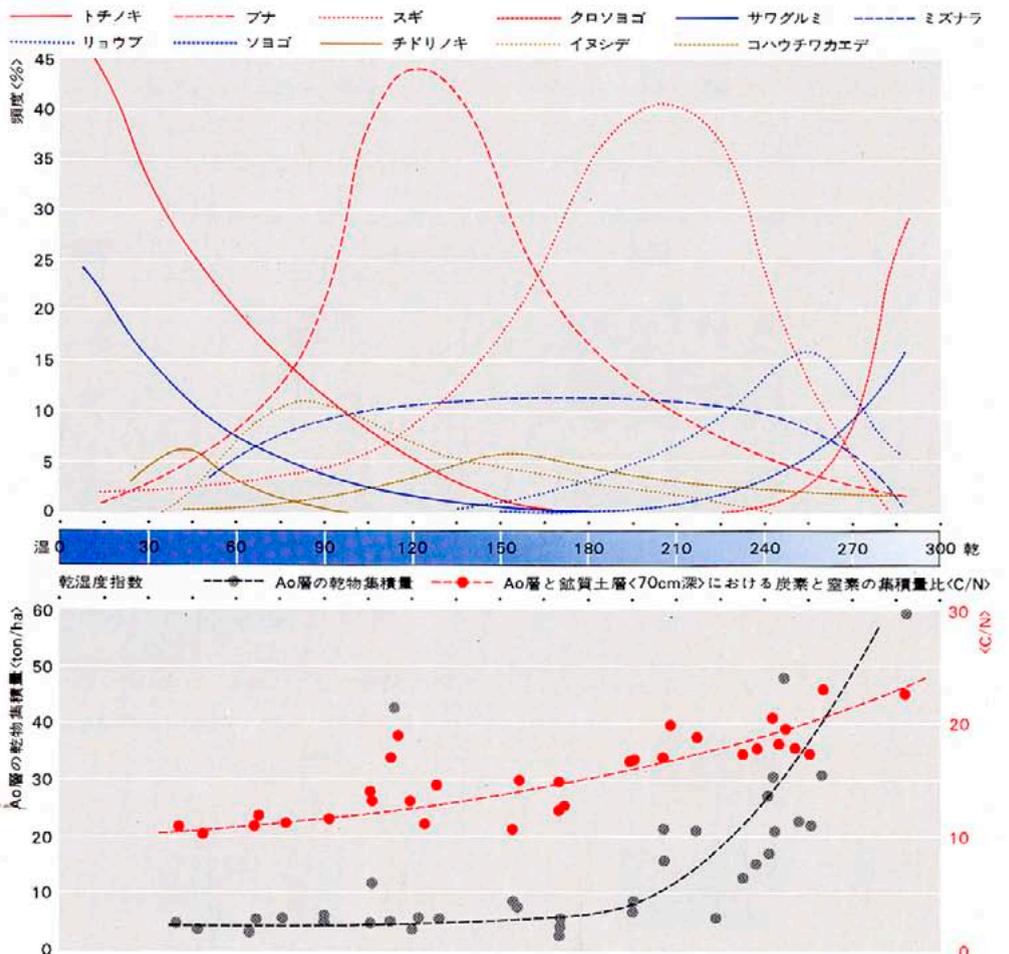


図4-12 - 京都北部の温帯落葉樹林における乾湿度勾配と種の分布及び土壌中の物生の集積



A<sub>0</sub>層での物質の回転というのは、非常に遅くなっています。

では一体何故に、こういう条件の下で土の中の物質の回転が高まるのか、という問題が生じます。この辺が大変問題で、実はこういう計算の仕方自体が間違っているという考慮もしておかないといけないのですけれども、ここではあえてこういう事態が起こり得るとして、幾つかの解釈をしてみようと思います。その一つとして、乾性土壌の場合ですと、落葉の分解が遅いから、地表面にA<sub>0</sub>層が発達する。とりわけてL層だけではなくて、F層とかFH層みたいなものが林地表面に厚く発達してきます。そして一般に土層の発達が悪いですから、樹木の細根は、地表面に集中して分布いたします。とくに乾性土壌では、A<sub>0</sub>層の中のL層以外の部分、F層やH層の部分には樹木の細根がかなり密に分布しております。そうしますと、細根が非常に密に分布して網目状に入っていれば、そういう密ないわば根網というか、根の網みたいなものによって、A<sub>0</sub>層の有機物が多少とも分解して水で養分が溶脱してくるというような場合に、その養分をその面で受けとめてしまうというような形が考えられます。それからまた、外生菌根が発達しますと、それがA<sub>0</sub>層や表層土に密に発達し、菌が未分解有機物から養分をとりだ

し、根がそれをうけとる。つまり菌は、根の一部として機能し、その能力を発揮する。そうすると、A<sub>0</sub>層にある物質は、普通の土壌生物による有機物の無機化をまたないでも、根から吸収されることになる。このような外生菌との共同作用みたいなものを考えれば、大変能率的に物質は動くはずですよ。

この辺のところは、先ほどから何べんもお話に出ておりますように、土の中での微生物とか土壌動物のはたらき、あるいはそういうものと植物との相互作用といったところがもう少し具体的に明らかになってこないとしっかりしたことは言えないのですが、しかし、いずれにしても一般的な図式としては、リターが土に落ちて、それがA<sub>0</sub>層にたまって、そこで分解してA層に移行する。そして、土の中でそれがゆっくりと無機化して、植物が再びそれを吸収する、一般的にはこのようにいわれているのですが、しかし、どんな森林でも、必ずこういう形で物が動いているとは考えなくてもよいと思うのです。環境条件が厳しくなれば、それに対応した生活の仕方を植物はするはずですよ。そのために、それぞれのコンパートメントの重要性が、そういう環境の変化に対応して違ってくる。こうしたモル型の乾性土壌では、土の中の物質に余り依存せずに、A<sub>0</sub>層ないし表層土の非常に

薄いところだけで、うまいこと物を動かしている、というように考えられるのです。つまり、最初の物質循環のモデルでいえば、<M>のもっている意味合いというのがぐんと少なくなって、<A<sub>0</sub>>のもっている意味合いがかなり大きくなってくる。そうすれば、物質の回転そのものはかなり能率的にいくであろう、このように考えられるわけです。

乾性土壌でA<sub>0</sub>層が厚く発達するということの生態的な意味合いというものは、たぶんそんなところにありはしないかと、私はいまのところこのように考えております。

樹木の根の形やその生理的性質は、樹種によってちがいます。ですから大たんな推測ですが、こういう生活、つまり地表面とくに未分解の有機物のたまったA<sub>0</sub>層に細根を張り、菌根菌との共生の下で物質収支を行なうというような機能をもった樹種が、モル型に適応した種であるとすれば、条件の変化に対応して植生と土壌とは、その相互の関係をうまくとれるようにお互いが変化しているといえると思います。

森林の伐採と物質循環  
もう一つ、観点をえてつけ加えますと、このようなA<sub>0</sub>層とか表層土というのは、環境の変化に敏感で大変に動きやすい。またこうした場所では、水の動きにしてもかなり変動が激しいと

いうことは十分予測できます。ですから、このような場所で、A<sub>0</sub>層に大きな比重がかかるという生活の仕方というのは、かなり安定性は少ないだろう。気候の変化といいますが、雨がよく降るとか降らないとかいうような、そういう年ごとの変動に対しても、かなり不安定な生き方をしているかもしれない。森林として望ましいのは、やはり土の中にたくさんのものを蓄え込んでいて、着実に回転をさせているほうであって、その方がずっと安定性が高いだろうと思います。

編集 森林を伐るといことは、物質循環の立場からとらえると、どういうことになるのでしょうか。

堤 森林を伐採すれば樹木による養分の吸収がなくなり、リターの生産も停止しますから、植生と土壌を結ぶ物質の再循環が一時的にせよ停止してしまいます。一方、皆伐された林地表面は、日光の直射をうけて環境条件が変わり、土壌生物の活動は変化するでしょうが、停止することはないと推定できます。だから、土壌中の有機物の無機化が依然として進行するのは、それを吸収する樹木がないわけで、それらは、土がひきとめておかない限り、流出してしまうと考えられます。さきほどの有光さんのお話にありましたように、伐採後流出水の養分濃度

が高まるのは、このことが関係しているとみられるように思います。このような養分の損失に加えて、伐採した樹木に含まれていたものも持ち出されますし、それに地表面の浸食による損失を加えると、森林伐採によって一時的に養分の損失が大きくなり、地力が低下することになると考えています。

また見方をかえて、土壌中での物質の動きについてみると、リターによる物質の供給のない状態で分解が進行しますから、山谷さんのお話にありましたように、伐採の影響は、土壌における物質の垂直的な配分にも変化を与えることになりす。

編集 そのような森林伐採の影響は、どのような森林でも同じようにおこるわけでは...

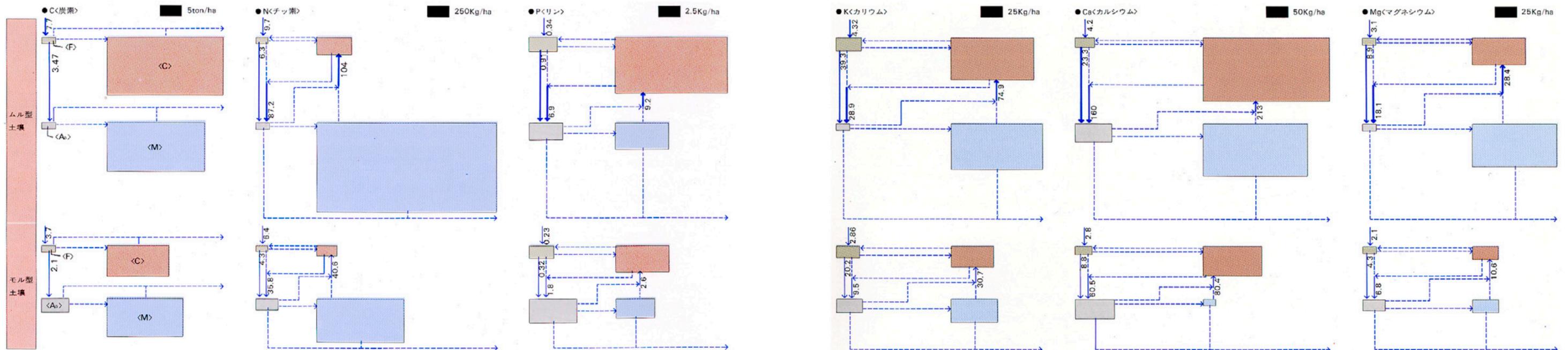
堤 どこでも同じというわけではないと思います。たとえば、熱帯降雨林では、高温多雨で物質の回転がはやい。そのうえ、土壌の腐植量が少なく土が養分をひきとめておく力は小さいので、土壌からの流出がおこりやすいでしょう。樹木も巨大で、それに含まれて持ち出される物質も決して少ないものではありません。だから、森林伐採の影響は大きいと考えられます。また、モル型の場合はムル型に比べて土壌での物質集積がA<sub>0</sub>層や表層土に集中し、A<sub>0</sub>層への依存度が高いとみられます。とくに傾斜地で

は、これらの層は、裸地化すると流亡の危険が大きいと思いますので、モル型土壌での伐採の影響は、ムル型よりもずっと大きいのではないかと考えています。

植生と土壌とは、相互に結びあった一つの系ですから、一方におこった変化は、必ず他方に伝わります。この関係は、条件によって変化するはずですから、それぞれの系における土壌と植生の相互作用のしくみを知り、それに合わせた山地の取扱いが必要ですが、少なくとも森林をみると、その土壌をもあわせて一つの系としてみていただきたいと思います。

編集 時間もなくなりましたので、この辺で終わりたいと思います。本日はどうも有難うございました。

図4・13 - 京都府北部の温帯落葉樹林におけるモル型土壌とムル型土壌の物質環境



<提・1976>



## 事業概要

計画供給量 = 53万200m<sup>3</sup>  
 管路総延長 = 101.5km<内2,000 15km>  
 工事場所 = 松戸市栗ヶ沢785  
 工期 = 昭和51年1月 - 昭和51年6月  
 <2,000 推進工事>

推進長174m，口径2,000mm中間スリーブ管による長スパン推進工事

千葉県の西北に仕置する東葛飾地域および東京湾岸沿いのいわゆる京葉臨海地域に，1日最大53万4,200m<sup>3</sup>の水を供給する事業が，昭和55年8月完成を目標に，北千葉広域企業団で急ピッチに行なわれています。

管路の総延長は101.5kmを有しますが，延長約15kmの2,000mm送水本管も本事業の一環としてすすめられています。

これまでに約8kmを着手し，そのなかで一部家屋が密集し，道路巾が4mとせまく，朝夕の交通量の多い個所（ワンスパンの最大推進長が174m，推進工事の総延長が1,142m）に，中間スリーブ管を使用して，ダクタイル鋳鉄管による長スパン推進工事を完了させました。推進用中間スリーブ管

U形推進工法用ダクタイル管を使用した推進工事は，各都市ですでに数多く行なわれており実績も多数報告されております。

しかしU形推進工法管での推進距離は，一般的には，100m程度が限度といわれております。本工事の場合，最大推進長が174mと非常に長いため，中間スリーブ管を使用した長スパン工法が採用されました。

中間スリーブ管は，ダクタイル鋳鉄でできており，推力に対し必要な強度を有し又推進工事が完了したら管路の一部として使用できる構造となっております。施工面でも，U形推進工法管と同様接合部の施工も短時間で行なえ，スムーズに工事が進められます。

構造は，挿口管と受口管とからなり，これらを接合して使用します。中間ジャッキは，受口管の内側にセットします。

## 中間スリーブ管の施工

中間スリーブ管の施工は，まず中間ジャッキを操作させ，中間スリーブ受口管より先に接合されている管路を推進させます。続いて中間ジャッキをもとにもどし，中間スリーブ挿口管よりあとに続く管路を推進坑内の元押ジャッキで推進させます。この操作をくり返し行ない，所定の推進を行なうものです。中間スリーブ管の挿口管と受口管は推進工事が終わってから接合します。

都市化が進み年々給水量も多くなる反面，それを供給する配管工事は道路事情などの関係で，従来工法が大巾に制限されている現在，中間スリーブ管によるダクタイル管の長スパン推進工法は，これらの問題を解決したものと いえます。

図1 - 流山 柏線 2,000mm布設工事現場平面図<推進工事部分>

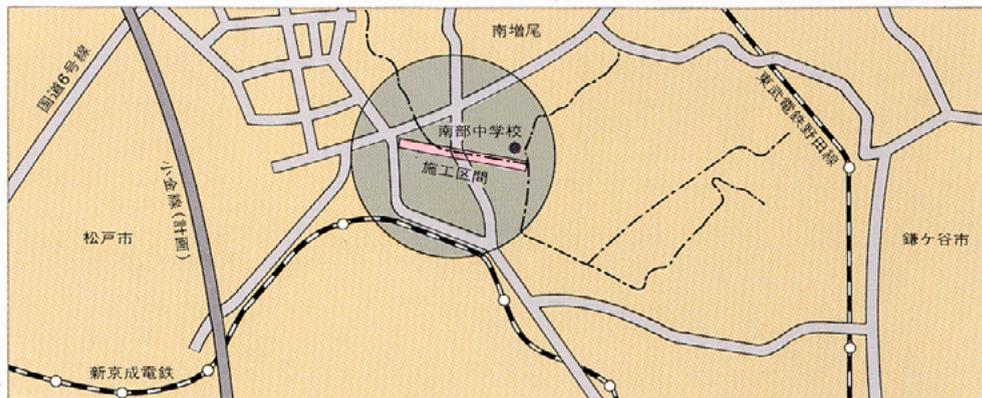


図2 - 北千葉送水管 2,000mm推進工区割り

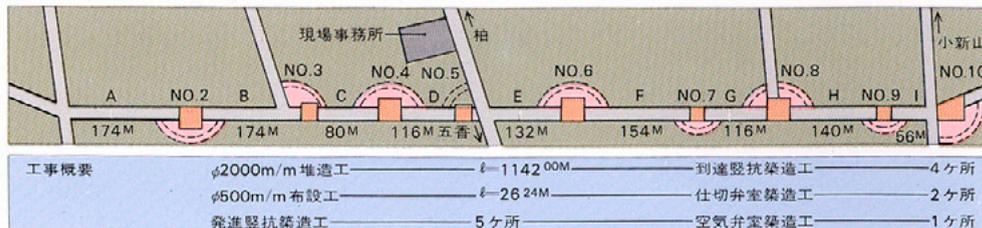


図2 - 中間スリーブ管の構造

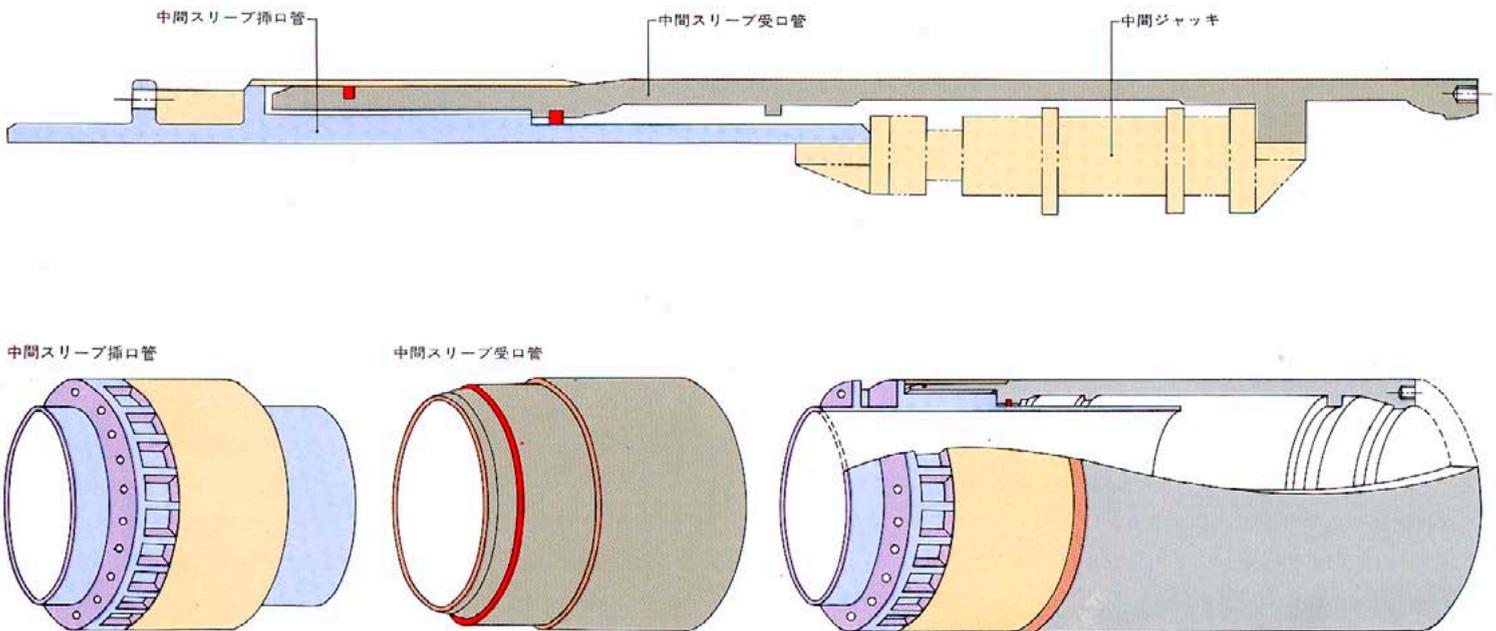
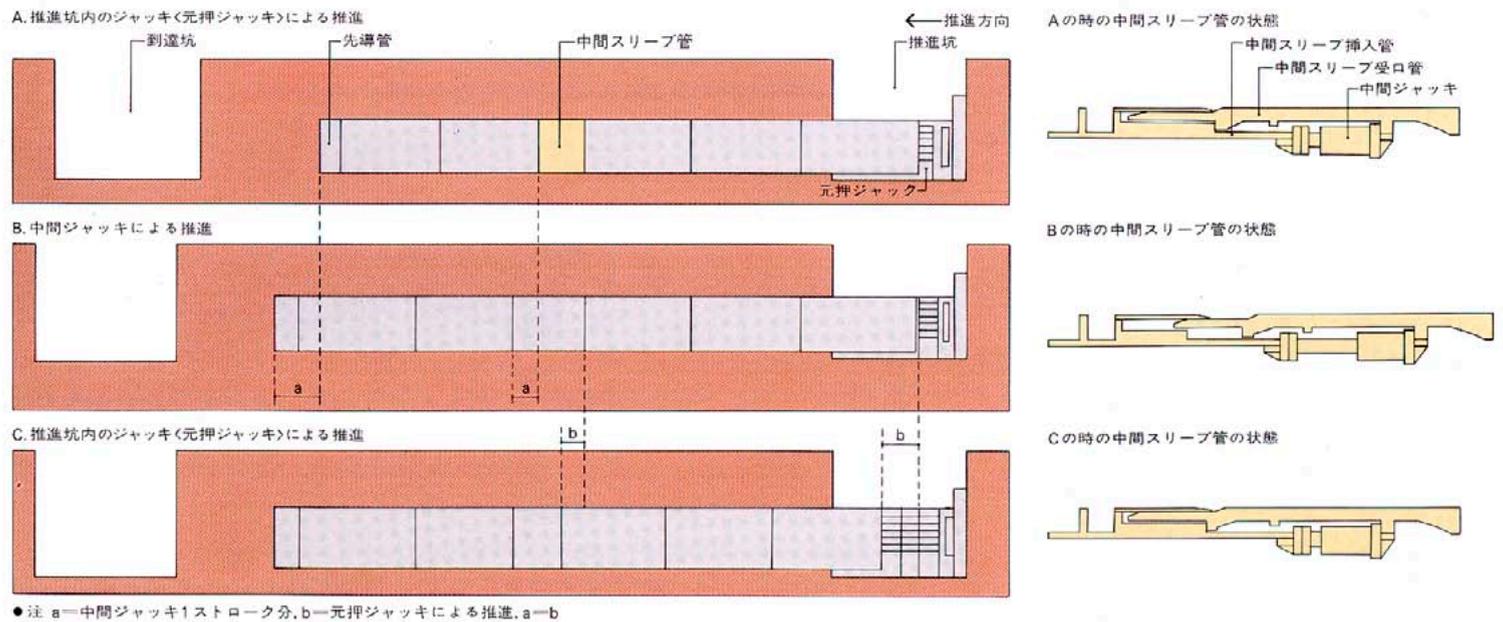


図3 中間スリーブ管の作動





## 1. ムービーフィルター

### (移動床ろ過装置)の概要

ろ過の目的は多孔状物質を通して液体を通し、その中に浮遊、あるいは懸濁している固体粒子を液体から分離し、清澄化することであり、このところ都市下水、し尿、小規模下水処理施設、各種産業廃水などの高次処理にも欠かせない単位操作として広く使用される傾向にあります。

しかしながら、従来のろ過装置では、ろ層への浮遊性固形物の捕捉のために損失水頭が一定値以上に達すると、逆洗操作が必要で、ろ過機能の一時的な中断が避けられず、連続運転ができない。マッドボールが発生しやすく、それによりろ過が不能となった場合、ろ材の交換が必要である。ろ過速度に一定限度があり、固形物負荷が大きくとれない。

浮遊性固形物の負荷変動の激しい原水の場合、ろ過水質が不安定である等の問題点があります。これらのことに鑑みて、先に述べた

～)の問題点を解決するとともに、さらに用地取得難、建設費の高騰等の社会情勢を適確に捉え、合理的なコンパクト設計により設置面積が小さい。維持管理が容易である。

処理能力が大きい。安定した処理水質が得られる等の利点を有するろ過装置ということで開発したのが、クボタムービーフィルター(移動床ろ過装置)です。

## 2. クボタムービーフィルターの構成と特徴

### (1)構成

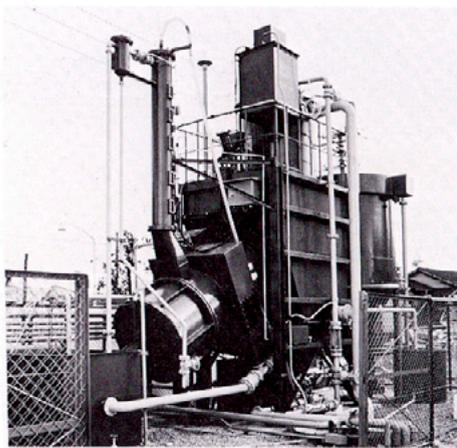
従来の固定床のろ過装置においては、ろ過機能を継続していくと、ろ層の表面に目詰まりを起こし、逆洗工程を行なうために、ろ過操作の一時的な中断は避けられない。しかし、移動床ろ過装置、クボタムービーフィルターは、前述のろ材逆洗によるろ過操作の中断なくして、ろ層表面の閉塞の著しいろ材部分を間断なく、機械的に取り除き、除去した分だけ清浄なるろ材を連続して供給しながらろ過を行なうことを基本的概念としている。従って、

1項にて述べたように、従来のろ過装置に比べて大きいろ過速度と非常に高い固形物負荷での効率的運転が行えるという利点を有している。クボタムービーフィルターは、ろ過機本体、圧力水ポンプ、薬注ポンプ、計装用コンプレッサー等から構成されている。

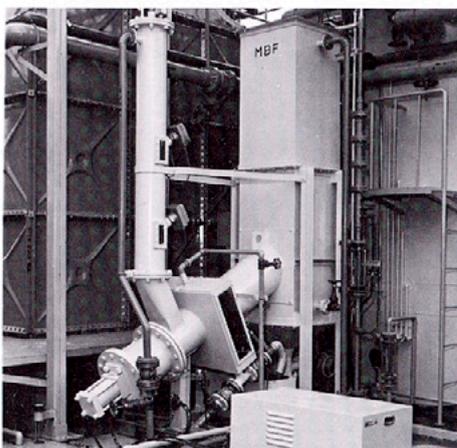
### (2)ろ過のメカニズムとフロー

クボタムービーフィルターのろ過のメカニズムは、第1図の構造概略図にそって説明すると、その作用は大きく分けて凝集、ろ過、ろ材の押し出し及びカット、汚染ろ材の洗浄と移送及び洗浄廃水の排出、清浄ろ材の再充填と5工程より成っている。

流入管中で凝集剤(硫酸バンド、塩化第2鉄、消石灰等)が添加された原水は、管内での水の適度の乱流により凝集混和された後、ヘッドタンクに流入し、ろ過工程に移るわけであるが、もし必要ならばヘッドタンク流入直前に高分子凝集剤を添加してヘッドタンクにてフロックの粗大化を図る。先の凝集混和水は



下水処理場内におけるテストプラント



中水道プラント

図1 - 構造概略図

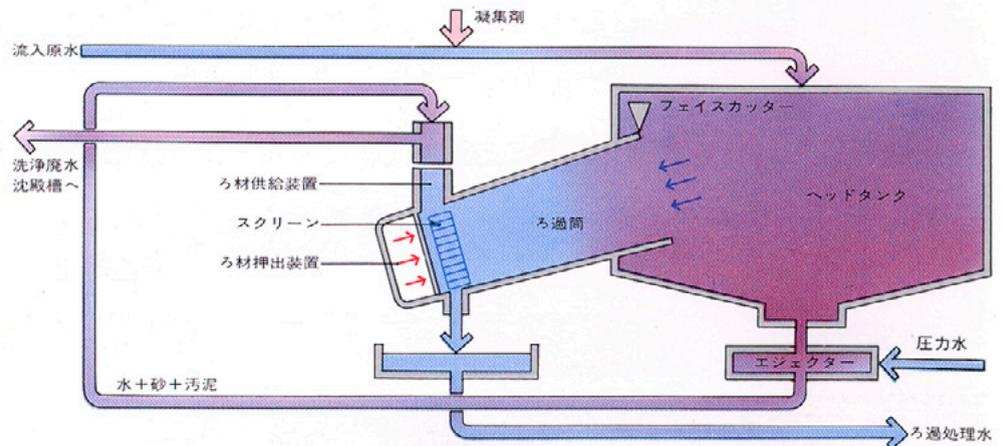
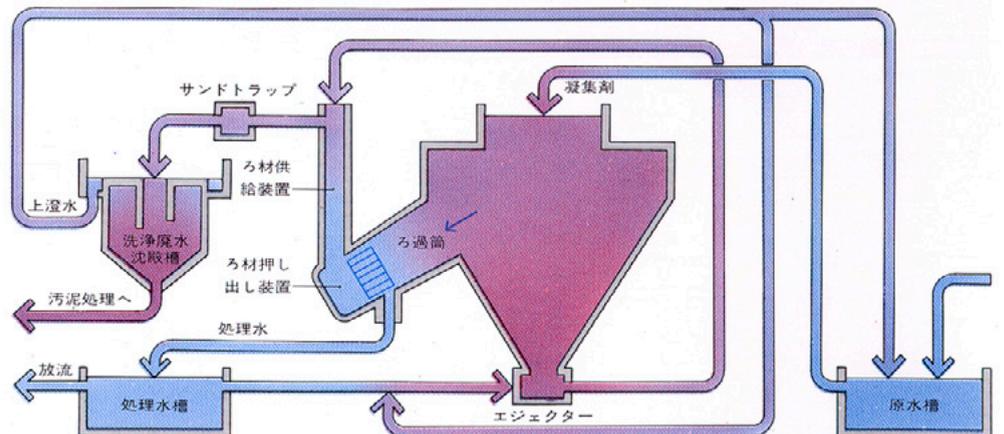


図2 - クボタムービーフィルターシステムのフローシート



ろ層内を通水され懸濁物質のほとんどはろ層表面で捕捉され、ろ過処理水はスクリーンより取り出される。ろ過を継続していくと、ろ層の前面に浮遊性固形物のろ過膜を生じ、ろ層が閉塞して処理水量が減少し、損失水頭が上昇する。ろ過筒の損失水頭が一定値に達すると、ろ材押し出し装置が加圧され、ろ層全体をヘッドタンク側に押し出し、ろ層表面の汚染ろ材をフェイスカッターで削り落としヘッドタンク下部のホッパーに集める。この汚染ろ材及び汚泥の混合物はろ過処理水又は洗浄廃水沈殿槽の上澄液を用いたエジェクターにより、ホッパー部から取り出され、ろ材供給装置への配管内でその汚染ろ材は洗浄されながら移送され、ろ材供給装置上部で比重差により清浄ろ材と廃水とに分離する。洗浄したろ材はろ材供給装置に貯留され、ろ材押し出し装置作動時にろ過筒へ再充填され、ろ過に供される。一方分離した廃水は洗浄廃水沈殿槽にて固形物を濃縮し、上澄液はエジェクター

に導くか又は原水といっしょにして再度ろ過処理する。濃縮汚泥は別途処理処分する。尚以上の操作はすべて自動連続運転である。

クボタムービーフィルターシステムのフローシートを第2図に示す。

(3)クボタムービーフィルターの特徴  
ムービーフィルターの特徴は前述したが、従来のろ過との機能比較を第3図に示す。これは従来のろ過が逆洗工程のために運転が間欠であるのに対して、ムービーフィルターの場合は、ろ過工程が連続運転であることを表わしている。

(4)クボタムービーフィルターの仕様  
クボタムービーフィルターの標準仕様を第1表に示す。

3.クボタムービーフィルターによるろ過処理成績例  
クボタムービーフィルターを用い、し尿2次処理水、小規模下水2次処理水を対象として、高次処理した時の成績例及びビル用中水道シ

ステムにおけるムービーフィルターの処理成績を合わせて第2表に示す。

表よりわかるように、いずれの場合においても良好な成績を得ている。

4.おわりに

以上、クボタムービーフィルターの構造、特徴、ろ過のしくみ、処理成績例等について述べてきたが、当ムービーフィルターは従来型の凝集沈殿+ろ過の欠点を補い、合理的なコンパクト設計により設置面積が小さい、維持管理が容易である、処理能力が大きい、安定した処理水質が得られる等の利点を有するろ過装置である。

凝集作用も併せもつムービーフィルターは、各種廃水、すなわち下水、し尿、小規模下水、各種産業廃水などの高次処理のみならず、直接物理化学処理においても有効で、総合廃水処理に適した装置といえる。

図3 - 従来のろ過との機能比較図

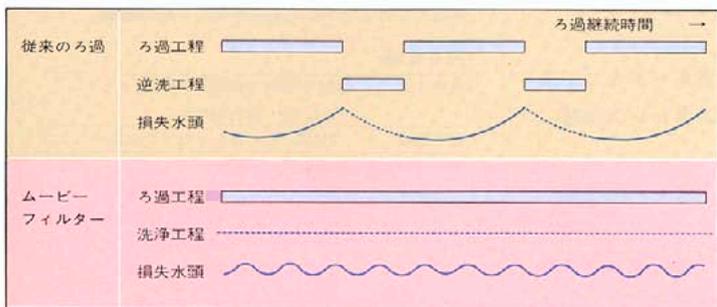


表1 - クボタムービーフィルターの標準仕様表

項目	型式	MV300シリーズ		MV480シリーズ	
		MV-302	MV-304	MV-482	MV-484
ろ過筒口径<mm>		0.76	0.76	1.20	1.20
ろ過筒数		2	4	2	4
ろ過面積<㎡>		0.90	1.80	2.24	4.48
ろ層深さ<mm>		1.5	1.5	1.5	1.5
ろ材充填量<㎥>		1.5	3.0	3.5	7.0
空重量<ton>		4.0	7.0	9.0	16.0
処理水量<㎥/日>*		200	400	800	1600
電気容量<kw>		15	20	20	25
高さ<H><mm>		6.0	6.0	6.0	6.0
長さ<L><mm>		6.0	6.0	7.5	7.5
幅<B><mm>		2.0	3.5	3.0	5.0

\*処理水量は、流入原水の浮遊性固形物の濃度により変化する

表2 - クボタムービーフィルターによるろ過処理成績例

ろ過速度<㎥/日>	凝集条件	ろ材押し出間隔	PH	SS<PPM>	濁度<PPM>	BOD<PPM>	COD<PPM>	PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> <PPM>
●し尿高次処理								
200	硫酸バンド<30PPM> 高分子凝集剤<1PPM>	10分	7.3	33.3	34	30	60	22.5
		ろ過処理水	7.3	7.4	5	4	46	3.1
		除去率<%>	77.8	85.3	87	23	86.2	
●小規模下水高次処理								
200	硫酸バンド<10PPM> 高分子凝集剤<0.5PPM>	10分	7.8	19	17	25	16	13.7
		ろ過処理水	7.6	4.5	2.5	5	10	0.94
		除去率<%>	76.3	85.3	80	37.5	93.1	
●ビル用中水道システム								
190	硫酸バンド<30PPM> 高分子凝集剤<0.5PPM> NaOH<50PPM>	7分	6.9	26	14	22	29	4
		ろ過処理水	6.8	4	1	3	10	0.2
		除去率<%>	84.6	92.9	86.4	65.5	95	