

関西支所公開講演会記録

森の土の不思議な世界

日時：平成20年10月20日（月）

場所：京都市アバンティホール

はじめに：土が森を創り、森が土を創る

溝口 岳男（森林環境研究グループ長）

森林において、土は多くの物質の循環や貯留を司り、また多種多様な生物の住処として豊かな森林生態系を維持するために欠かせない要素である。しかし、土を含む地下の世界は直接見る事ができないため、一般にその作用や変化が着目されることは少なく、重要性が充分認識されているとはいいがたい。平成20年度森林総合研究所関西支所公開講演会では、森林を支える土の重要性を広く認識してもらうことを目的として、森林の土壌とそこに棲まう生物にまつわる発表（図1）を行った。

講演のオープニングとして、土壌が森林の成立と発達に深く関与していることを理解してもらうために、森林土壌が人災、天災で失われた場合の森林回復への影響を、足尾銅山跡地緑化事業、および御岳崩れ跡地の緑化事業の例で示した。煙害による森林消失と土壌流亡、地震に伴う土石流で表土が失われた場所では、精力的な緑化作業が行われているにも関わらず森林の回復が遅れており、森林の成立・発達に対する土壌の重要性が認識できる。その一方で、森林は豊かな土壌が発達する源になっている。森林の発達に伴い、樹木から供給される有機物は土壌の構造を発達させ、物質の貯留能の向上をもたらし、生物の活性を高める。こうした森林化に伴う土壌発達の過程は、御岳崩れ跡地（図2）および、京都府木津川市の山城試験地（図3）での土壌断面写真等から視認することができる。

しかし、一般に森林土壌を含む地下生態系の調査には手法上の制約が強く、未だに謎に包まれている部分も多い。そうした『土の世界』を解き明かす努力が当研究所でも行われており、その一部を次のような観点から紹介する。

1．土の中を動くモノ、留まるモノ

多様な森林土壌を土壌断面を用いて示し、物質の移動、貯留に影響する土壌の要素とその仕組みを示す。

2．森を支える根っこたち

森林樹木の支持と養分、水分の吸収に欠かせない根系の役割と、細根の環境指標としての適性を示す。

3．土と根をつなぐ生きもの

樹木の根と菌類の共生組織である菌根の成り立ちとその作用を示す。

4．あなたの足下に数千匹 - 小さな小さな動物たち -

森林土壌に生息する土壌動物の概要とその作用、森林の変化に対する土壌動物の多様性の変化を示す。



図1 公開講演会の演題一覧（発表スライドより）



図2 御岳崩れ跡の植生回復と土壌（発表スライドより）



図3 山城試験地の植生と土壌（発表スライドより）

土の中を動くモノ、留まるモノ

谷川 東子（森林環境研究グループ）

大気から森に入る物質、岩石が風化して遊離した物質は、森をかけめぐって外部（大気や河川）に放出されるものもある。土の中に留まるものもある。土は、動植物とは比較にならないほど、物質・栄養分などを多く長く蓄えておくことができる。この機能があるから、土は生命を育むことが可能なのだといえる。本講演では、土はどうやって物質を捕えるのか？物質を捕える能力が高い土はどんな土か？土が物質を吸収したり排出したりする機能は周囲環境にどのような影響を与えるのか？という点について解説した。

話題1.土と岩石の組成の違い

土は、岩石・空気・水・生物遺体の複合体である。ただし岩石は風化し、生物遺体は分解されなければ土壌にはならない。従って、土壌生成には膨大な時間がかかる。土と岩石では、炭素と窒素の含有率に大差がみられる。

話題2.土壌の炭素貯留機能

地球温暖化防止のため、大気中の炭素を森林が固定することが望まれている。日本の森林土壌中に貯えられている炭素量は54億トンであり、樹木が蓄える炭素の5倍にも相当する。我が国で1年間に排出される二酸化炭素は炭素として約3億2,000万トンなので、土壌中の炭素は16年以上の排出量に匹敵する。森林の土壌は樹木の生育を支えているだけでなく、膨大な量の二酸化炭素を貯留することで環境保全に貢献している。（研究の“森”からNo.96「二酸化炭素を封じ込める森林土壌のはたらき」より抜粋し紹介。）

話題3.土の中はどのような世界なのか

土壌調査法と土壌の色、土壌中の発色成分、土壌の物質貯留に関与する成分と、その化学的特徴、それらの成分が物質を貯留する仕組みを紹介した。

話題4.土がイオウ化合物を貯留する機能と意義

土壌が硫酸イオンを貯留することによって土の酸性化は抑制される。その能力は土の種類によって異なる（図1）。日本ではイオウ化合物を貯留する能力が高い土壌が広く分布する。

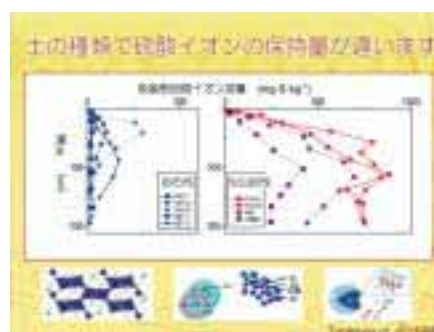


図1 土の種類による硫酸イオン保持量の差
（発表スライドより）

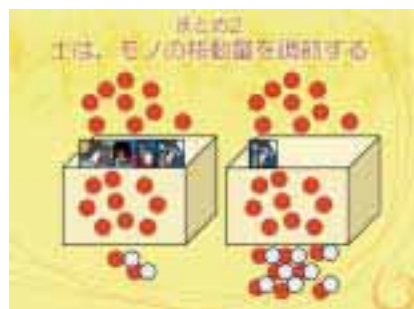


図2 土が物質の移動量を調節する能力
（発表スライドより）

総括

土は、外界から供給された物質を一時貯留し、時間をかけて放出するという、物質の移動量を調整する能力（図2）をもつと同時に、土そのものも、物質により質的な変化を受ける。従って、環境変動が森林生態系に与える影響を予測するためには、土が物質を貯留する能力を適正に評価する必要がある。

森を支える根っこたち

平野 恭弘（森林環境研究グループ）

１．根の広がり

森の土壤中に生育している根は、掘り起こさないとその姿を見ることができないため、その役割の重要性が広く認識されていない。本講演では、樹木の根の広がりとその役割を認識していただくことが目的である。

【温帯に生育する高さ20mくらいの樹木では、根の広がりはいくらぐらいだろうか？】

高さ20m程度の樹木根の最大深さは、3～4mくらいであると報告されている。この深さは樹高が20mであるのに比べてわずか1/5～1/7の程度であり、地上部に比べて地下部根系は、土壌の表層に生育していることがわかる。一方で水平的な広がり、樹幹から片側でおよそ7m程度との報告がある。これは大人4人が両手を広げて手をつないだ長さに相当する。

２．太い根の役割

太い根の役割としてまず挙げられるのが、木の体を支えること、すなわち樹体支持の役割である。また、同じ場所に生育する根と根が交わり、根系ネットワークを土壤中に張り巡らすことにより表層土壌の崩壊を防止する機能も注目されている。近年、太い根の役割で注目を集めていることは、太い根が、光合成で固定される炭素バイオマスの貯蔵庫として機能していることである。根のバイオマスは樹木個体の2～4割程度も存在するため、京都議定書の樹木成長変化量には、幹や葉など地上部バイオマスだけでなく、根の地下部バイオマスも報告することが義務付けられている。根のバイオマスを調べるためには、従来、破壊的な掘り取りによる方法が主で、それらから得られた根バイオマスと地際直径など地上部因子との相対成長関係を利用して林分レベルでの根バイオマス推定がされてきた。また近年では欧米で、地中探査用のレーダを用いて非破壊的に根のバイオマスを推定する方法が特定の土壌で導入され始めた。しかし、様々な森林への応用はまだ検討すべきことが多い。

３．細い根の役割

細い根は、一般的に直径2mm以下の根などと定義される。とくに、樹木の成長に必須な養水分の吸収はこの細い根の部分が担っている。細い根が肥大成長すると、こういった養水分吸収器官としてよりも養水分通導器官としての役割を担う。最近の研究では、細い根は、数週間から数年といった比較的短い間に成長して枯死することが明らかにされている。1年間で光合成により固定された炭素の半分以上を、この細根生産のために使っている例も報告されている。このような細根生産に使用される炭素量を明らかにすることは、森林生態系の炭素循環を明らかにする上で、未だに正確に評価できていない部分である。細い根は、呼吸速度が高いなど、代謝活性が高く、土壌中にその末端根を曝すため、土壌環境の変化に感受性高く反応する。例えば、土壌酸性化の樹木への影響を調べるためには、根の養分比（カルシウム／アルミニウム比）を指標としてその影響を評価できることが報告されている。

土と根をつなぐ生きもの

溝口 岳男（森林環境研究グループ長）

森林の土壌には多種多様な生物が住み着いているが、中でも糸状菌や細菌などの微生物は土壌を介した物質循環のプロセスに深く関与しており、森林の維持・発達に欠かせない働きをしている。しかし、肉眼ではほとんど見ることの出来ないそれら微生物の働きは、一般にはあまり知られていない。当講演では、そうした森林土壌に住む微生物の中から、植物の根に共生して菌根を形成することにより植物に利益をもたらす菌根菌に着目し、その機能と生態について概説するとともに、環境変化に対する菌根菌の反応について、比叡山における研究事例を紹介した。

当講演は大別して、4つの話題に集約される。

1. 微生物には、従属栄養生物としての栄養確保の方法の違いと、それに応じた微生物の種類の違いが存在する。微生物の中でも糸状菌類に着目すると、それらは腐生菌、寄生菌、共生菌の三種類に大別される。森林生態系においては、それぞれの糸状菌類は、リターの分解と養分循環、生物の個体数と相互作用の調整、植物の生存・定着に深く関与している。菌根菌は共生菌として位置づけられる。
2. 菌根菌は極地から熱帯まで、また乾燥地から湿地、農地、森林に至るまで各種生態系に広く分布する普遍的な存在である高等植物の大半がなんらかの菌根を形成する。また、3億年以上前から菌根の存在を示唆する化石が出土するなど、植物の進化の過程において菌根共生が古くから発達していたことが明らかになっている。菌根は、植物と菌根菌との組み合わせによって外生菌根、アーバスキュラー菌根、ラン菌根など、いくつかのタイプに区分される（図1）。それぞれの菌根において、菌根の形態や構造、植物と菌との組み合わせの特異性などに違いがある。しかし、そうした菌根タイプの差異はあっても、菌根菌が植物の養分吸収を補佐する仕組みについては驚くほど共通点が多い。菌根菌による植物の無機栄養促進には、高密度の菌糸による回収効率の向上、菌による有機態養分の分解・吸収などのメカニズムが作用していると考えられている。
3. 植物と菌根菌は、光合成産物と養分との交換によって相利共生を維持しており、そのコストと利益のバランスによって、菌根化による植物の利得は変化しうる。また、植物と菌根菌との間の相互認識は高度な分子生物学的メカニズムによって制御されていると考えられているが、まだその全てが明らかになっているわけではない。菌根の組織においては、その界面において炭水化物と無機養分の交換が行われており、それは植物と菌の双方によって高度に調整されたプロセスであることが明らかになっている。また、菌根化による植物の利益は無機栄養に留まらず、例えば耐病性、耐乾性の向上、重金属等のストレス耐性の向上等に効果があることが知られている。
4. 菌根菌の分布の普遍性に相反して、その生態についてはよく知られていない。同様に菌根菌が環境変化に対してどのように反応し、それが森林の生産力や健全性にどのように影響するかについては研究事例が乏しい（図2）。菌根菌は腐生菌や植物病原菌と比べて分離・培養の困難なものが多く、分布や動態に関する知見は極めて限られている。発表者らは、比叡山において森林の環境変化に対する菌根菌の反応を調査した。その結果、シカの食害で下層植生



図1 菌根の種類の解説（発表スライドより）



図2 森林環境の変化と菌根菌（発表スライドより）くことが重要である。

相が変化したヒノキ林では、ヒノキの細根自体は残っていてもその菌根形成状況に変化が生じており、また下層植生が完全に失われた部分では菌根菌胞子相が単純化し、胞子密度も低下していた。主林木が直接食害を受けなくても、菌根菌を共有する植生が失われて菌根菌相の変化が生じることは、ヒノキの菌根形成状況や菌根の維持コストを中・長期的に変化させ、今後当該林分の養分環境に影響が及ぶ恐れがある。

森林においては、菌根菌は植物と土壌をつないで植物の無機栄養に深く関与し、森林の養分動態に重要な役割を果たしている。従って、環境変化に対して樹木と菌根菌それぞれがどのように変化し、それが相互の関係にどのように影響するのかを今後解き明かしてい

あなたの足下に数千匹

- 森の小さな動物たち -

長谷川 元洋（企画部・木曽試験地）

この講演では、森林における土壌動物とはどのようなもので、生態系においてどのような働きをしているのか、また、様々な森林の攪乱に対し土壌動物はどのように反応しているのかについて、一般向けの解説を行った。

1. 土壌動物とは

土壌動物という呼称は分類学上の定義ではなく、土壌にいる動物を総称したものである。従って土壌との関わりによって、様々な定義が可能である。その中で、「大型動植物遺体をも含めた土壌環境に、永続的あるいは一時的に生息しそこで何らかの活動を行っている動物群」（青木、1973）といった定義が一般的であろう。

土壌動物は大きさによって大まかに、大型、中型、小型に区分されている。筆者は主に中型土壌動物について研究を進めている。例えば、日本の森林土壌では、1 m²あたり、ダニが5万個体、トビムシが2万個体棲息し、人間の片足の下に1,500個体もの、トビムシやダニがひしめいていることになる。



写真 小笠原父島の20cm²の土壌から抽出した全土壌動物

2. なぜ土壌動物を研究するのか

森林の土壌動物を研究する理由として、土壌動物が有機物の分解、養分無機化などを通した、生態系における機能を持つことがあげられる。有機物の分解過程の主役は基本的に微生物であるが、土壌動物と微生物の相互作用も重要であるとされている。土壌動物にとっては、たいいていの有機物は消化できず、養分も乏しいので、微生物によってより消化しやすい形に変化されることが必要である。一方、微生物にとっては、有機物を直接分解できる能力はあるが、土壌動物の助けを借りて有機物をより小さな形に変えたり、胞子などを分散させる必要がある。このような微生物との相互作用を通した土壌動物の機能は、土壌動物全体を大まかに分けたグループによって異なっており、土壌線虫、原生動物、トビムシ、ササラダニ等の微生物食者は、微生物を直接摂食し、ワラジムシ、ヤスデなどの落葉変換者は、落葉を粉々にしたり、微生物の定着を調整する作用をもち、ミミズ、シロアリなどの生態系改変者は、団粒や土壌構造を生み出したり、巨大な巣を作ることによって生態系全体に対する影響を持つとされている。

トビムシ、ササラダニなどは一林分で50～100種類ほど存在し大変多様な群集を形成することが知られている。また、土壌動物は個体数、種数、種組成の季節変化が少なく、地上性の多くの昆虫よりも採集が容易かつ安価であることに加えて、様々な攪乱に対して個体数や種数に変化があり、多様性の研究の材料として適切であると考えられる。

3. 森林攪乱と土壌動物群集の多様性

京都上賀茂の森林では非常に小さな面積において、トビムシやダニが多様な群集を維持していることに興味を持ち、アカマツ針葉の分解過程における菌類の定着と養分動態にともなう土壌動物の遷移を研究した。その結果、落葉分解初期では、菌糸の侵入にともない落葉の重量減少が生じ、菌食者のトビムシが優占する一方、分解後期では、表面の菌糸が崩壊し、土壌動物の糞などの腐植物質が蓄積していき、腐植食性のトビムシに変化していくことがわかった。一方、農地などの落葉層がほとんど無い生態系ではトビムシやダニの多様性は著しく低い。このように、落葉層の維持安定が土壌動物群集の鍵となることが推察される。従って、落葉層の攪乱を含む様々な森林の攪乱は土壌動物群集の多様性に大きな影響を与えることが予想される。

そこで、様々な森林攪乱が土壌動物群集に与える影響について調査を行ってきた結果、例えば、スギ人工林化や、ボルネオの従来型の択伐施業によって、土壌動物全体の個体数レベルは変化しないが、種数や種組成は変化することが分かった。つまり、施業のやり方によっては、自然の群集が失われるおそれがあることが明らかになった。森林における施業が、土壌動物の多様性に与える影響についての研究に加え、今後このような多様性の変化を通して、土壌動物の機能にどのような変化がもたらされるのかについて研究する必要があるだろう。

引用文献

青木淳一（1973）土壌動物学、東京、北隆館