



森林

科学

[特集]

森林土壌—国際土壌年2015を
記念して—

シリーズ

林業遺産紀行

全国緑化行事発祥の地の発見

森めぐり

最終氷期の生き残りの天然スギ 福井県高浜町—青葉山—

現場の要請を受けての研究

林業生産専門技術者養成プログラムの取り組み

No. **77**
June 2016



特集 森林土壌—国際土壌年 2015 を記念して—

土壌特集に向けて	2
橋本 昌司	
土壌とは何だろう？分類により土壌を理解する	3
今矢 明宏	
樹木の成長を支える土壌	7
稲垣 善之・舘野 隆之輔	
森林土壌と水土保全機能	10
五味 高志	
地上部と地下部の連携における土壌生物の役割について	14
—間接的な経路に着目して—	
長谷川 元洋	
森林の過去を記録する土壌	18
井上 弦・井上 淳	
まわる炭素、たまる炭素	23
—土壌圏におけるガス動態と炭素蓄積—	
森下 智陽	

森林科学 No.77

2016年6月1日発行

頒 価 1,000円(送料込み)

年間購読割引価格

2,500円(送料込み)

編集人 森林科学編集委員会

発行人 一般社団法人 日本森林学会

102-0085 東京都千代田区六番町7

日本森林技術協会館内

郵便振替口座：00140-5-300443

電話/FAX 03-3261-2766

印刷所 創文印刷工業株式会社

東京都荒川区西尾久7-12-16

表紙写真：森林土壌の一例（宮崎県宮崎市田野町、宮崎大学農学部附属フィールド科学教育研究センター田野フィールド（演習林）内のコナラ林試験地にて、2013年に撮影（撮影者：井上 弦）、特集「森林土壌—国際土壌年 2015 を記念して—」より（18ページ）

シリーズ 林業遺産紀行
全国緑化行事発祥の地の発見 28
小泉 章三

シリーズ 森めぐり
最終氷期の生き残りの天然スギ 福井県高浜町—青葉山— 30
津村 義彦

シリーズ うごく森
花の色は移りにけりな—変わりゆく野生のサクラ— 32
勝木 俊雄

シリーズ 森をはかる
きのこが生える森林土壌の水分をはかる 36
明間 民央

シリーズ 現場の要請を受けての研究
林業生産専門技術者養成プログラムの取り組み 38
奥山 洋一郎

コラム 森の休憩室Ⅱ 樹とともに
42 木挽き職人

二階堂 太郎

解説

43 森林環境の持つ保健休養機能の基礎的研究と応用研究
上原 巖

記録

47 スギ低コスト再生林の先進地九州における下刈り省略研究の動向
—第71回九州森林学会大会造林部門 下刈りセッションの記録—
山川 博美・伊藤 哲・平田 令子

50 日本森林学会大会 高校生ポスター発表の講評
中村 太士

55 Information

ボックス

北から南から

土壌特集に向けて

橋本 昌司 (はしもと しょうじ, 森林総合研究所)



2015
International
Year of Soils

図-1 国際土壌年のロゴ

2011年が国際森林年(International Year of Forests)だったことは皆さん何となく覚えているかもしれませんが、実は2015年は国際土壌年(International Year of Soils)でした(図-1)。“Healthy Soils for a Healthy Life(私なりに意識するなら、人類の健康な生活には、健康な土壌が必要です、でしょうか)”をテーマに掲げ、土壌の持つ食料安全保障上の重要性、また土壌が生態系の中で果たす役割(機能)の重要性について、理解を広めるために設定されました。

森林土壌は食料生産には直接的には関係がないかもしれませんが、様々な形で森を支え、地域・地球環境を、そして私たちの生活を支えています。日本の国土は約7割が森に覆われており、面積として日本の土壌は森林土壌が7割ということになります。そんな大きな面積を占める森林土壌ですが、森に入るとどうしても土壌よりも上(樹木)の部分に目がいきがちです。

国際土壌年を記念して企画された今回の森林科学の土壌特集では、あえて土壌学者以外の方に多く寄稿いただきました。土壌学に加え、生物地球化学、森林生態学、森林水文学、森林動物学、古植物学・古生態学、いろいろな分野からの記事を並べることで、森林土壌が多面的な機能を持ち、様々な研究分野に関わっていることがわかんと思います。それでも、例えば土壌の放射性セシウム保持など、この特集では取り上げられなかったトピックスもたくさんあります。執筆をお願いした著者の皆さんには無理をお願いして、限られた紙面にもかかわらずそれぞれの分野から森林土壌に関わる記事を、概略から最新の研究まで含めて執筆いただきました。皆さんがすでに知っていた土壌の役割や姿に加え、新しい見方やつながりも見つかるかもしれません。

今矢氏には、「土壌分類」について書いていただきました。分類はまさに土壌の定義そのものであり、土壌学者の世界観が見て取れます。稲垣氏・舘野氏には「樹木の成長を支える土壌の機能」について、五味氏には「森林土壌と水源涵養機能・侵食、さらにはそれらと生物と

の関わり」について、長谷川氏には「土壌における生き物の機能」について書いていただきました。井上弦氏・井上淳氏には「森林の過去を記録する土壌」として、驚くほど多様な形で森林土壌が森林の過去を記録していることを解説していただき、森下氏には「土壌に出入りしているガスや土壌にたまる炭素」について書いていただきました。

いつもは縁の下の力持ち、日陰の存在かもしれない土壌、ただただ通り過ぎてしまう土壌、この特集を読みながら改めてそんな土壌に思いをはせ、次に森に入ったときに、足下に広がる土壌にも少し目をやっていただければ幸いです。

参考

図書

有光一登(2006) 森をささえる土壌の世界. 全国林業改良普及協会

森林立地学会編(2012) 森のバランス. 東海大学出版会

藤井一至(2015) 大地の五億年. ヤマケイ新書

ウェブサイト

FAO 国際土壌年に関するページ

<http://www.fao.org/soils-2015/en/>

日本ペドロジー学会国際土壌年2015応援ポータル

<http://pedologyjp.sakura.ne.jp/iys2015/>

動画

アメリカ土壌科学会の国際土壌年を記念した土壌に関する動画サイト <https://www.soils.org/iys/monthly-videos>

コンサベーション・インターナショナル(CI)・ジャパンによる動画“エドワード・ノートン / Nature Is Speaking「土 / The Soil」”の動画

<http://pedologyjp.sakura.ne.jp/iys2015/archives/1675>

MicropolitanMuseumによる動画“Forest soil time lapse” <https://youtu.be/ECh52Nt8WXc>

土壌とは何だろうか？

分類により土壌を理解する

今矢 明宏 (いまや あきひろ、森林総合研究所 (現国際農林水産業研究センター))

はじめに

「土壌」という言葉は、様々な意味合いに捉えられ、人々が土壌に期待するものも、食糧の生産から、繊維、薬の原材料の供給、水のろ過や保持といった多岐にわたる。土壌の学術的定義も、国際的にみても漠とした記述に留まっている。これは、利用しようとする目的によって捉えられ方が変わることに加え、土壌が単純な記述では表せない複雑な要素から構成されていること、変化が連続的で明確な区分が難しいことが理由として挙げられる。例えば、土壌の深さ方向での範囲だけをみても、土壌の上端は大気や水、植生、新鮮な植物遺体との境界に定めることができる。しかし、土壌の下端については、基岩が風化したものと土壌の違いはどこにあるのか、生物活動が及ぶ範囲であるのか、どこまで及んでいるとみなせるのかといった具合に定めがたい。土壌の観察にあたっては、便宜的に土壌上端から深さ 1 ないし 2 m を対象とする場合が多い。ここでは、分類の観点から、土壌がどのように捉えられているのか紹介していく。

土壌を構成するもの

森林の土壌は、地表に堆積した落ち葉や落枝の層 (A₀ 層) があり、その下に腐植によって着色され暗い色をした表層土壌 (A 層) がある。A 層の下には茶褐色をした次表層 (B 層) があり、その下部には岩石が風化した C 層、基盤岩からなる R 層と続く。このほか、溶脱作用を受けてできた層 (E 層) や溶脱した物質が沈殿してできた集積層、停滞水による還元作用でできたグライ層 (G 層) などがある。

土壌は、そこにある岩石や地表に降り積もった火山灰、黄砂や裸地などから風で飛ばされてきた土ぼこりなどを材料として、物理的および化学的に風化してできた砂やシルト、粘土といった細かな粒子と、落ち葉など植物の遺体から溶け出した物質や、これらを食したり分解した

りする土壌動物や微生物の糞や遺骸など生物活動の影響を受けて蓄積した腐植と呼ばれる有機物を主な要素として形成されている。この有機物が蓄積して土壌の色味が暗さを増すことを、腐植集積作用と呼ぶ。湿原など水面下で植物遺体などの有機物が堆積すると分解が進みにくく、泥炭や黒泥といった有機質土壌が形成される泥炭集積作用がはたらく。この作用は泥炭土群の形成に関わるとともに、やはり水の影響を受けているグライ土や表層グライの有機物集積にも関係する。冷涼な気候条件下においても植物遺体の分解は進みにくく、厚く堆積した有機物層から溶け出した有機酸によって土壌粒子の表面を覆っている、あるいは土壌鉱物を構成している鉄やアルミニウムが溶脱してその下部へと移動し集積するポドゾル化作用が起こる。これにより特有の灰白色の溶脱層と鉄サビ色の集積層が形成される。土壌が水で飽和されて還元状態になるとグライ化作用が生じる。土壌粒子の表面を覆っている鉄は通常では酸化状態にあり不溶性であるが、還元状態では酸素を失った二価鉄となり水に溶けやすくなる。二価鉄は青色なので還元状態となっているグライ層は青色を呈する。排水によって水とともに鉄が抜けてしまうと土壌は、酸化状態になっても褐色にはならず灰色味を帯びる。季節的な滞水のように湛水期間が短い場合は、土色の変化は小さいが土壌中から溶出した鉄が湛水終了後に土壌構造の表面に沈殿して橙色の斑紋が形成される。還元と酸化の繰り返しが続くと鉄の沈着が進み斑紋はノジュールと呼ばれる塊へと発達する。このような環境下では黒紫色のマンガンの斑紋やノジュールを伴うことがしばしばみられる。

日本の土壌の B 層は一般に褐色であるが、この色は土壌粒子の表面を覆う酸化鉄によるものである。酸化鉄の色は暗褐～茶褐～赤褐～赤と、より強い風化を受けているほど赤味が強くなる傾向にある。ただし母材の鉄含量や生成時の水分状態により黄色味が強くなることも

ある。風化に伴って土壌からの塩基の溶脱が進み粘土鉱物の種類も変化するため、赤色や黄色が強い土壌は粘土含量が高く強酸性で養分保持量が低い特徴をもつ。

いろいろな土壌

日本の森林に分布している土壌は、ポドゾル、褐色森林土、赤・黄色土、黒色土、暗赤色土、グライ、泥炭土、未熟土の8つの土壌群に大きく分けられている。

ポドゾルは、寒冷で湿り気の多い気候下においてみられる、堆積有機物層が発達し、溶脱層とそこから移動した鉄分あるいは腐植の集積層をもつ土壌である。高山帯や亜高山帯の山頂、尾根筋、凸型斜面上部、台地の肩、あるいは温帯地域の山地帯では尖った尾根など、乾燥の影響を受けやすく、落葉の分解が悪い場所に発達する乾性ポドゾル（写真-1）、温帯上部から亜高山帯にかけての平坦面を形成する鈍頂尾根、準平原面、火山泥流台地などで重粘、ち密な土壌母材が分布する場所の天然林下に発達する湿性鉄型ポドゾル、温帯上部から亜高山帯の緩斜面の天然林下に発達する湿性腐植型ポドゾルに分けられる。

ポドゾルよりも温暖な気候条件にある温帯から暖帯にかけては、褐色森林土（写真-2）が広く分布している。褐色森林土は、我が国の森林の約7割を占める最も一般的な土壌である。その名のとおり次表層が褐色である以外は、溶脱や集積といった特徴をもたない。広く分布していることから典型的なもののほかに、他の土壌群との境界に現れる双方の特徴をもつ土壌が亜群として次のように分けられている。褐色森林土の分布域の上限、ポドゾルとの分布の境界には、寒冷多湿な気候条件により有機物の分解が遅れることで十分に分解されなかった有機物残渣が蓄積したH層が形成され、多量の腐植が蓄積された暗色系褐色森林土が発達している。一方、褐色森林土の分布域の下限では、次段で取り上げる赤・黄色土との境界土壌として、腐植の集積が少なく薄いA層をもつ赤色系褐色森林土および黄色系褐色森林土が分布している。また、日本海側の多雪地帯の水はけの悪い台地上では、積雪下や雪解け期の一時的な滞水によって表層に還元の影響を受けた表層グライ化褐色森林土がみられる。

褐色森林土の分布域よりも温暖な亜熱帯気候下では、赤色土（写真-3）および黄色土（写真-4）が分布している。赤色土は、亜熱帯以外にも各地の低海拔地域に点



写真-1 ポドゾル



写真-2 褐色森林土



写真-3 赤色土



写真-4 黄色土

在しているが、これらは過去の温暖期に生成したものが再び地表面に現れたものと考えられる。赤色土、黄色土とも、風化が進み、腐植があまり蓄積していない酸性の土壌であるが、次表層が赤褐色ないし明赤褐色あるいは黄褐色ないし明黄褐色であるかといった土色の違い以外には両土壌の性質の違いは少ない。両者の土色の違いは、母材の鉄含有量や生成時の水分環境を反映したものと考えられている。沖縄の山地では国頭マージといわれる黄色土が広く分布している。

ここまで述べたポドゾル、褐色森林土、赤・黄色土が気候条件に応じた分布域を示すものであるのに対して、母材や地形条件が特殊な場合において発達する土壌として、黒色土や暗赤色土、グライ、泥炭土が挙げられる。

黒色土（写真-5）は土壌群としては森林において2番目に多く、火山山麓や準平原といった傾斜が緩いまたは平坦な地形において草原あるいは草原であった場所に見られる。黒くて厚い表層を持つことが特徴で、火山灰を母材とすることが多い。温暖湿潤な気候下では、草原



写真-5 黒色土



写真-6 暗赤色土



写真-7 未熟土



写真-8 沖積土

は放っておくと木本類が侵入し森林へと遷移することから、草原が維持されるためには火入れなど人間活動が継続的に行われていたのではないかと考えられる。黒色土の黒い表層は二代目、三代目と造林を重ねていくと黒味が褪せていくことから、一様な黒さをもった厚い表層が形成されるためには、相当な長期間にわたって草原植生が維持されていた可能性がある。

暗赤色土（写真-6）は、赤色土と似ているものの、より鈍く暗い色味を示す土壌である。赤色土が酸性であるのに対し、暗赤色土の多くは石灰岩や蛇紋岩、超塩基性岩を母材とし、カルシウムやマグネシウムを多く含み弱酸性から中性を示す。これら塩基系暗赤色土と同じ土色を持つが、カルシウムやマグネシウムの少ない非塩基系暗赤色土ならびに火山性の熱水による風化を受けた母材から生成した火山系暗赤色土が同じ土壌群となっているが、土色以外の共通点はなく整理が必要である。

グライ土壌は、地下水や停滞水の影響により土層の一部が還元され灰白色となったグライ層をもつ土壌である。グライ土壌は、湖沼の周辺、地下水の高い台地、水はけが悪い平坦地あるいは水が集まりやすい斜面の下端に沿った平坦地などでみられる。沼沢地など、常に滞水するところでは、植物遺体の分解が進まず、これらが堆積した有機質の泥炭土が生成される。

ここまでに取り上げた土壌とは異なり明瞭な層位を持たない土壌は、未熟土として一括される。未熟土群は、比較的新しい火山放出、氾濫、土石流、泥流などによる堆積物や砂丘など、母材の堆積が比較的新しいため土壌生成の過程を経過した時間が短く、層位の分化が不明瞭または微弱な未熟土（写真-7）、および過度の利用により植生が失われ禿山となり表土が流亡するなど、受蝕に



写真-9 造成土

よって土層の一部が欠如している受蝕土に細分される。

一方、農耕地でも土壌の分け方の大枠はそれほど変わらず、最も大きなまとまりとしての土壌大群は前述の森林土壌における各土壌群とほぼ対応したものとなっている。森林土壌には位置づけがないものとして、現世の河成、海成、湖沼成の沖積低地の土壌で、主に水田や畑として利用されている沖積土大群（写真-8）、およびビニールやプラスチック、コンクリート瓦礫など人間が作った地球表面の自然界には元々無かった物質による埋め立て、または大規模な客土、造成に伴う異質な土壌物質の盛土などのため、自然状態の土壌と著しく異なる断面形態をもつに至った土壌である造成土大群（写真-9）の2つの大群が設定されている。

また、都市においても土壌は存在している。地面はコンクリートやアスファルトに覆われ、土壌の存在を直接目にする機会は減多にないが、工事現場などをのぞき込むとそこには土壌の存在が確認できる。そこでは、森林や農地とは異なる水の動きにより、特異な物質循環が生

じている。

森林土壌の約7割を占める褐色森林土を、農耕地土壌に対して用いられる分類体系に基づいて分類すると、そのうちの何割かは褐色森林土大群ではなく、火山灰を主たる母材とする土壌のまとまりである黒ボク土大群になる。このように分類体系によって異なる特徴をもつ土壌として分類されてしまうものがあるのは、これらの分類体系の目的がそれぞれに異なり重視する点が違うからである。林野土壌の分類で褐色森林土であったものが農耕地分類で黒ボク土と分類されるのは、林木の生長においては大きな影響を持たないような、火山灰土壌特有のコロイド的性質や土壌物理性の違いが、農耕地では施肥効果や耕しやすさにおいて重要となるからである。

一方、森林での土壌利用においては農耕地とは異なるユニークなアプローチがとられている。森林は尾根から斜面、谷部、平地と起伏に富んだ様々な地形に存在している。この複雑な地形によって土壌に水分環境の違いが生じ、それによって林木の生長は大きく影響を受ける。林野土壌の分類は、地形に対応した水分環境の違いを、それに応じて異なる土壌断面形態から7段階の土壌型として区分している。分布が最も広い褐色森林土群を例にとると、尾根から斜面上部にかけては乾性型の土壌(BA、BB、BC)、斜面中部には適潤性型の土壌(BD、BD(d))、斜面下部から谷部には湿性型の土壌(BE、BF)が分布する。ただし、谷部でも風の通り道で乾燥しやすいところでは乾性型の土壌が生成し、尾根でも幅広い鈍頂尾根では水はけが悪く湿性型の土壌が生成する。乾性型の土壌では、有機物の分解が遅いため落葉層は厚く発達するが、土壌への腐植の供給が少なくA層は薄い。乾湿の繰り返しにより土壌構造は細かく堅いものとなる。また、土壌表層に菌糸が発達し、乾燥が著しい場合には菌糸がマット状になる。一方、湿性型の土壌では、有機物の分解が速いため地表には新鮮な落葉のみ

が存在し落葉層が発達せず、有機物の分解によって供給された腐植が土壌の深くまで浸透して厚いA層を形成し、軟らかく比較的大きい土壌構造が発達する。湿性が強い場合には、土壌下層が還元状態になり灰色～青灰色の土色を呈する。土壌型は、林木の成長を左右するだけでなく、そこに生じる林床植生も異なるものとなるので、森林の環境を知る上で土壌のタイプを知ることは重要である。

おわりに

日本は南北に長く、起伏に富んだ地形で標高差も大きく、亜熱帯から亜寒帯まで幅広い気候条件をもち、また脊梁山脈を挟んで太平洋側と日本海側で降雨形態が異なり、地質条件が複雑で、火山活動も活発であり、大陸からの黄砂など風成塵(風で運ばれてきた土壌粒子)の影響があるなど土壌の母材も多様であり、狭い国土で人為影響が奥山まで及ぶなど、土壌を取り巻く環境が複雑で多様であることから、ここまで紹介したように様々な形態、理化学性をもった土壌が存在している。分類体系により土壌を分類することで、このような複雑な土壌を理解し、国土を効率よく活用することができる。

参 考 文 献

- 土じょう部(1976) 林野土壌の分類(1975). 林試研報 280:1-28
- 日本ペドロロジー学会第四次土壌分類・命名委員会(2003) 日本の統一的土壌分類体系一第二次案(2002). 博友社
- 小原 洋・大倉利明・高田裕介・神山和則・前島勇治・浜崎忠雄(2011) 包括的土壌分類第1次試案. 農技研報 29:1-73

樹木の成長を支える土壌

稲垣 善之 (いながき よしゆき、森林総合研究所四国支所)

舘野 隆之輔 (たての りゅうのすけ、京都大学フィールド科学教育研究センター)

樹木の成長に必要な資源

樹木の成長には、光、水、養分の3つの資源が必要である。樹木は、光資源を獲得するために葉をつけ、土壌中の水と養分を獲得するために根を張り巡らす。土壌に由来する資源には多くのものがあるが、水、岩石由来の養分、窒素の3つに区分すると理解しやすい(図-1)。

水については、雨の量とどれだけ土壌が水を保持できるかによって土壌水分が決まる。土壌水分は、砂が多ければ少なく、粘土や有機物が多ければ多くなる。また、水分条件は、地形によって異なり、尾根では少なく、斜面の下部では多くなる。

リン、カルシウム、マグネシウムなどは岩石に含まれており、土壌の材料となる岩石が風化することによって樹木が利用できるようになる。岩石に含まれるカルシウム、マグネシウムの量は、玄武岩などでは多く、花崗岩などでは少ない。また、風化によって岩石から供給される養分は、時間経過とともに少なくなる。熱帯では、岩石が長い時間かけて風化したためリン、カルシウムなどが極めて少ない土壌が多く分布する。

樹木の成長に必要な窒素は、岩石にはほとんど含まれてない。窒素は、大気中の窒素ガスが窒素固定微生物によって固定されることにより生物が利用できるよ

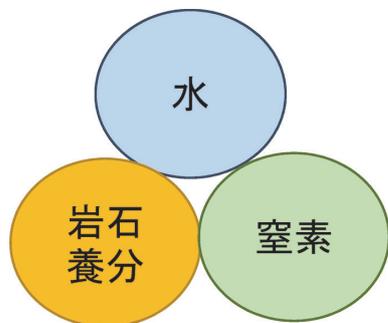


図-1 樹木の成長にかかわる土壌の要因
土壌中の水、岩石由来の養分、窒素が樹木の成長に必要な主要な資源である。

る。土壌には多くの窒素が有機物に結合した有機態で存在するが、これらを植物は利用することができない。有機物中の窒素は、土壌中の様々な微生物のはたらきによって植物が利用できるアンモニウム態や硝酸態の窒素に変換される。近年、自動車の排気ガスや農業などの人間活動によって、多くの窒素が生物に利用できるようになっている。森林生態系に、これらの余剰な窒素が雨や大気から供給されると、森林の窒素循環に悪影響を及ぼすことが懸念されている。

樹木の成長量を評価する

樹木の成長がよい場所とそうでない場所がある。どのようにしたら、土壌条件を判断できるだろうか。スギ、ヒノキなどでは、地域ごとに林齢に対する樹高などの変化が明らかにされ、林分収穫表として利用することができる(図-2)。樹高成長は若い林分では大きく、高齢林分では低下する。さらに高齢になると、樹高成長はほとんどゼロになる。林齢が40年生の時の樹高は地位指数

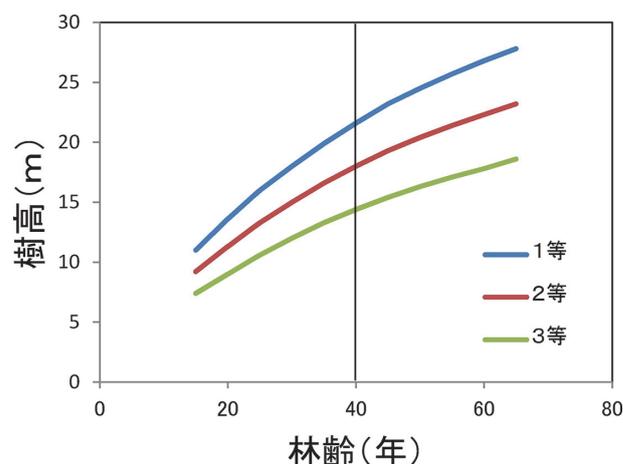


図-2 スギ人工林の樹高成長
地位1等、2等、3等は各地域における成長のよい林分、平均的な林分、成長の悪い林分の樹高成長を示す。40年生のときの樹高は地位指数とよばれる。

と呼ばれ、異なる林分の成長を比較する際に有益な指標として利用されている。

林分収穫表では、ある地域の樹高成長を3つの等級に区分する。地位二等であれば地域の中で平均的な成長の林分、地位一等であれば成長の良い林分であることを示す。したがって、ある林分において林齢と樹高がわかれば、その林分の成長がどの程度よいかを林分収穫表から判断することができる。林分収穫表は地域ごとに作成されているため、地位指数の違いは、対象とする林分の立地条件の違いを主に反映している。樹木が利用できる水や養分資源が樹高成長に影響を及ぼすが、どの資源が最も成長に影響しているかを明らかにするためには土壌の性質を調べることが必要である。

斜面位置による土壌の違いと樹木の成長

斜面位置によって土壌の性質が異なることが知られている。土壌は、植物の落葉や落枝からなる有機物層と、岩石由来の成分を多く含む鉱質土壌に区分することができる。尾根や斜面上部では、有機物層が厚く蓄積し、鉱質土壌への有機物の混入は少なくなる（図-3左）。例えば、京都府の斜面上部のヒノキ林では、毎年落下する落葉落枝の10年分以上が有機物層に蓄積する。土壌の酸性度が高いこと、水分条件が少ないこと、落葉落枝に含まれる窒素が少ないことによって有機物層における分解速度が低下する。樹木は養分を吸収するために有機物層に細根を多く張り巡らしている。尾根や斜面上部では樹木の養分獲得にとって有機物層の寄与が大きくなる。

斜面下部では、有機物層の蓄積量は小さい（図-3右）。例えば、高知の斜面下部のヒノキ林では、毎年落下する落葉落枝の2年分が蓄積しているだけである。土壌の酸性度が低いこと、水分が多いこと、落葉落枝に含まれる窒素が多いことによって、有機物層における分解が速やかである。また、鉱質土壌への有機物の浸透が多くなり、土壌における有機物の蓄積が多い。土壌中に多く含まれる有機態の窒素は、土壌微生物の働きによって、アンモニウム態や硝酸態の窒素に変換され、樹木が利用できるようになる。したがって、斜面下部では樹木の窒素獲得にとって鉱質土壌が重要な場所になっている。

このように、斜面位置によって、土壌の水分条件だけでなく、有機物の分解様式や窒素の供給様式が異なる。樹木の成長にとって水と窒素のどちらがより重要であるかを理解するためには、樹木によるこれらの資源の獲得



図-3 京都府のヒノキ林土壌（左）と高知県のヒノキ林土壌（右）
スケールの上端が有機物層と鉱質土壌の境界を示す。スケールの目盛は10 cmである。

様式や利用様式を明らかにすることが必要である。

光合成産物の配分

樹木は葉で生産した光合成産物を、葉や幹、根などの様々な器官に配分する。植物が持つ光合成産物には限りがあるので、光合成産物をどこにどれだけ配分するのが重要になる。樹木の葉は、生産にとって重要であるため、気候帯が同じなら林分レベルでいたいどこでも同じくらいの量の葉を生産する。葉を生産した余剰の光合成産物は、周囲の個体よりたくさん光を獲得するために幹に配分したり、土壌の水や養分を効率的に獲得したりするために根に配分する。ただし光合成産物には限りがあるため、植物は生育する場所の光や土壌資源の利用可能な量に応じて、配分を変化させている。

斜面上部などの貧栄養な林分では、光合成産物を地下部に配分する。特に細根生産は重要で、森林によっては光合成産物の半分以上を配分することが知られている。地下部へ多くの光合成産物を配分すると、地上部の幹の成長や葉の生産などへ回すことができなくなる。しかし貧栄養な環境では、地上部の成長を犠牲にしても、養分を獲得するために細根へ多くの光合成産物を配分する。さらに、樹木の根には、菌根菌と呼ばれる根と共生する菌類がたくさんついている。樹木は光合成産物を菌根菌に回す一方で、菌根菌から養分を得ており、貧栄養な環境ほど菌根菌への依存度が高くなることが知られている。植物は、細根や菌根菌などへ光合成産物を配分し、土壌養分の獲得を増大させている。

地位指数は、斜面の上部の貧栄養な土壌で低く、斜面

下部の肥沃な土壌で高くなる。地位指数は経験的な関係式であり、土壌タイプの違いや樹種、地域、地形、風の強さなど様々な要因が関係する。貧栄養な環境で細根に投資する一方で、幹に投資できなくなることも地位の低下に関係するのではないかと考えられている。

樹木の資源利用

貧栄養な環境において、樹木は、細根への配分を変化させ養分の獲得効率を上げるだけでなく、窒素など不足がちな養分の利用効率を上げることが知られている。例えば、貧栄養な環境では、樹木の生きた葉の窒素濃度は低くなる場合がある。これにより、光合成の能力は若干劣るが、少ない窒素でも、葉の生産量を維持することができる。また落葉する際に、せっかく土壌から吸収した窒素を樹体から損失させないように、樹体へと再転流を行う。また、常緑樹では、何年分もの葉をつけており、葉に窒素を長い期間保持している。このように樹木は貧栄養な環境で窒素の利用効率を高めている。

また、樹木は、水の利用効率も変化させる。根から吸収した水は、葉の気孔から蒸散で放出されるが、水分が不足すると気孔を閉じて水分の損失を防ぐ。日本の場合は、雨が比較的たくさん降るので、世界的にみると水のストレスは小さいが、それでも尾根など乾燥しやすい場所では、ストレスを受けることもある。このように樹木は、養分や水の利用効率を高めることで、環境に適応している。

資源利用と物質循環

これまでみてきたように、光合成産物の配分や資源の利用効率は、樹木にとっての貧栄養な環境への適応であるが、その結果として、自分自身の環境にも影響を及ぼす。例えば、生葉の窒素濃度の低下や落葉前の再転流の増加などによって窒素利用効率を高めることは、土壌に

供給される落葉の窒素濃度の低下を引き起こす。窒素濃度の低い落葉は、土壌動物や土壌微生物にとって魅力的な資源とは言えず、落葉の分解速度は遅くなる。落葉に含まれる窒素は、そのままでは植物が利用可能な窒素にはならず、微生物によってアンモニウム態や硝酸態の窒素に変換される必要があるが、これらの過程がうまく進まなくなる。

さらに貧栄養な環境で、細根をたくさん生産すると、細根はやがて死んで土壌にたくさんの有機物を毎年供給することになる。細根は葉などと同様に幹などに比べて短命であるため、幹に配分して、生きた木として森林を形づくっている間は、分解されることはないが、細根は落ち葉などと同じように土壌で分解される必要がある。葉の生産量は、貧栄養な環境でも富栄養な環境でも、同じような気候帯ならだいたい同じ量である。一方で、細根量は、貧栄養な環境と富栄養な環境では大きく異なり、細根へ配分すればするほど、多くの有機物を分解する必要が出てくるが、土壌の分解能力が追い付かない場合は、有機物のまま土壌に蓄積する。蓄積した有機物に窒素が取り込まれ、植物に利用可能な窒素が減少してしまう。

このような植物の貧栄養への適応が、巡り巡って自分に返って来て更なる貧栄養を生み出すような状況のことを、樹木と土壌の相互関係のフィードバック効果という。物質循環は、しばしば経済の流れにも例えられ、不景気で人々が財布の紐を締めると経済がまわらなくなってますます不景気になっていくのと同じように、植物が窒素を効率的に利用すればするほど、物質循環の速度が遅くなる。反対に富栄養な環境で窒素を無駄使いすればするほど、分解がどんどん進み、物質は森林内を速やかに循環することになる。このように窒素などの養分は、土壌と植物の間を循環するので、斜面に沿った土壌条件の変化や有機物堆積様式の違い、森林の高さや材積、植物の養分利用や獲得の様式は密接に関連する。

森林土壌と水土保全機能

五味 高志 (ごみ たかし、東京農工大学大学院農学研究院)

はじめに

森林の水や土壌の保全効果や調整機能の重要性は、水源涵養機能や土壌保全機能（以下、これらを合わせて水土保全機能と呼ぶ）として古くから議論されている。歴史的に見ても水土保全機能の維持はその時々重要な施策であり、例えば江戸時代には、水野目林（みずのめばやし）などを制定し保安林として管理していた事例もある（徳川林政史研究所、2012）。1970～80年代には、ハゲ山と森林地の比較や植林後の追跡調査によって森林の水土保全機能が評価された（鈴木、1991）。近年では、保育・管理が十分行われないスギやヒノキ林分の浸透能低下と土壌侵食（恩田、2008）、シカの採食による林床植生の衰退に伴う林床の裸地化と土壌侵食（石川、2015）といった問題が取り上げられている。また、人口減少化社会の中山間地域の資源管理という観点では、森林の水土保全機能はグリーンインフラの一部として重要であることも指摘されている（中村、2015）。

これまで「森林科学」では、太田（1991）、鈴木（1991）、塚本（1998）、北原（1998）、荒木・阿部（2005）、五味（2006）、佐藤（2006）、谷（2013）などが森林の水土保全を取り上げ、保安林整備や施業との関連や、流域という単位で水土保全機能を考えることの重要性などについて説明している。流域スケールで森林の水資源などを考える場合、樹冠遮断や樹木の蒸発散のような森林そのものの役割が重要であるが、その基盤である「森林土壌」も密接に関連している。特に、森林や林床の植生状態、根系の発達、それに伴う土壌構造の変化などの「森林土壌の状態」が水土保全機能には重要であると考えられる。本稿では、土壌・水・生物の相互作用（図-1）という観点から、森林土壌の水土保全機能（雨水の浸透、土壌侵食の抑制）における役割についてまとめている。

森林土壌と水の移動

森林の水源涵養機能は、降雨時の早い流出を抑制する洪水緩和機能と、降った雨をゆっくりと流す湧水緩和機能による水流出の平準化、この平準化によりもたらされ

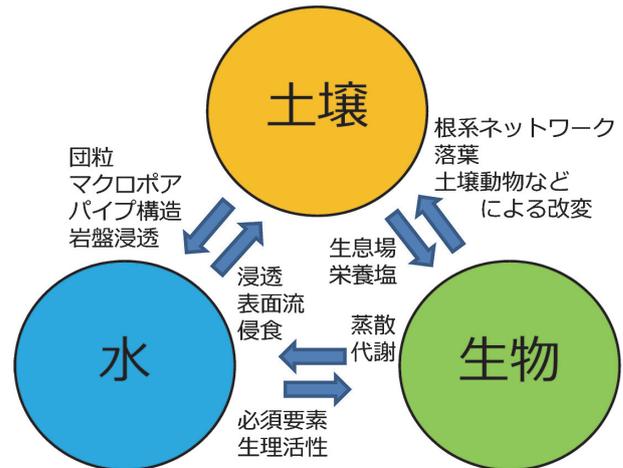


図-1 土壌・水・生物の相互作用

る水質浄化機能によって成り立っている。こうした機能は森林土壌および岩盤への雨水の浸透と貯留によって発揮されることから、土壌層の状態が重要となる。例えば、藤枝（2007）は土壌層の厚さの違いによる水流出特性の違いについて示している。

しかしながら、単に土壌があれば水源涵養機能が保持されるということでもない。雨水は、地表に植生や落ち葉がある場合は土壌中へ浸透するが、裸地化している場合は浸透しにくくなる。土壌は細かい粒子の集合体（団粒構造）で構成され、表土が露出すると雨滴が直接衝突して団粒構造が破壊される。そして細かい粒子によって土壌表面に目詰まりが生じ、水の浸透しにくい薄い層（クラスト層）が形成される。また、ヒノキ人工林斜面では、土壌が水をはじく撥水性を有し、そうした性質が浸透能に影響を及ぼすことも報告されている（五味ほか、2010）。三重県の森林斜面の調査から、土壌浸透能は裸地化した場所では 20 mm/h 程度であり、林床植生の繁茂した場所では 100～300 mm/h であることが示されている（平岡ほか、2010）。このように、土壌表面の状態が異なれば浸透能が大きく異なり、土壌へ浸透しきれない雨水は表面流となり斜面を流下することとなる。

土壌の物理的な構造も水源涵養機能においては重要で

ある。土壌中に水を蓄えるためには、土壌の隙間（孔隙）が重要になる。この隙間は団粒と団粒の間に存在し、水が貯留される「場」となる（図-2）。土壌中にはこのような小さな孔隙のみならず、大きな孔隙も存在する。大きな孔隙はマクロポアやパイプ構造と呼ばれ、主に植物根の枯死やミミズやモグラなどの動物によって形成されたものである。ただし、土壌が大きな隙間だけ、すなわち「スカスカ」な状態では水は保持されない。

土壌中の大小の孔隙は、降雨で供給された水に対して様々な役割を持つ。降雨初期には小さな隙間に水が貯まる。この状態は、土壌の一部に水が存在することから「不飽和」と呼ばれている（図-2）。不飽和状態での水は、団粒間の隙間に貯留され土壌中に保持されるが、ゆっくり流れる。降雨が継続して土壌中に十分な水が貯えられた場合、大きな隙間にも水が流れ出し、土壌層から水の排出が起こる。土壌中の孔隙が水でタップタプの「飽和」状態での水の移動速度は、不飽和状態の100～1000倍になる。このような状態では、降った雨と同量の水が河川へ流出することになる（谷、2016）。このように、水源涵養機能は複雑かつ多様な物理構造が土壌中に存在することで、発揮される。

土壌は、土壌層の下層にある基岩への水の浸透に対しても重要な役割を果たしている。土壌中に貯留された水の一部は岩盤へ浸透し、より長い期間、山へ貯留される。

すなわち、土壌層が存在することで土壌中を水がゆっくりと流れ、岩盤への浸透が促される（バッファ効果：小杉、2007）。ただし、岩盤への浸透（基岩透水性）は、割れや風化の程度などの岩盤の構造などによって異なる。近年では、山地での岩盤のボーリング調査によって、土壌と岩盤の相互作用や岩盤中の水の動きなどの詳細な観測が行われ、岩盤中の水の挙動が解明されつつある。

森林斜面の土壌侵食

アジアモンスーンの影響を受け、温帯多雨である我が国の森林斜面では、先に述べた浸透能が低い場合などに土壌が侵食されることがある。主な土壌侵食の営力は、降雨や表面流と凍結融解が挙げられる。降雨による雨滴は、その落下エネルギーにより土壌表面の構造を破壊し、土粒子や有機物の跳ね上げや移動を生じさせる（雨滴侵食：図-2）。表面流による侵食はシート侵食（面状もしくは布状侵食）、リル侵食、ガリー侵食に大別される。森林斜面では、ガリーが発達するほどの連続的な表面流水は起こりにくく、主にシート侵食が起こっている（石川、2015）。凍結融解による侵食は、夜間の冷え込みで土壌中の水分が凍結し、土壌が持ち上げられ（霜柱）、日中の気温の上昇や日射による融解で、土壌が不安定化することで起こる（北原、1998）。

一般的に林床植生や落葉が存在する森林斜面では、土

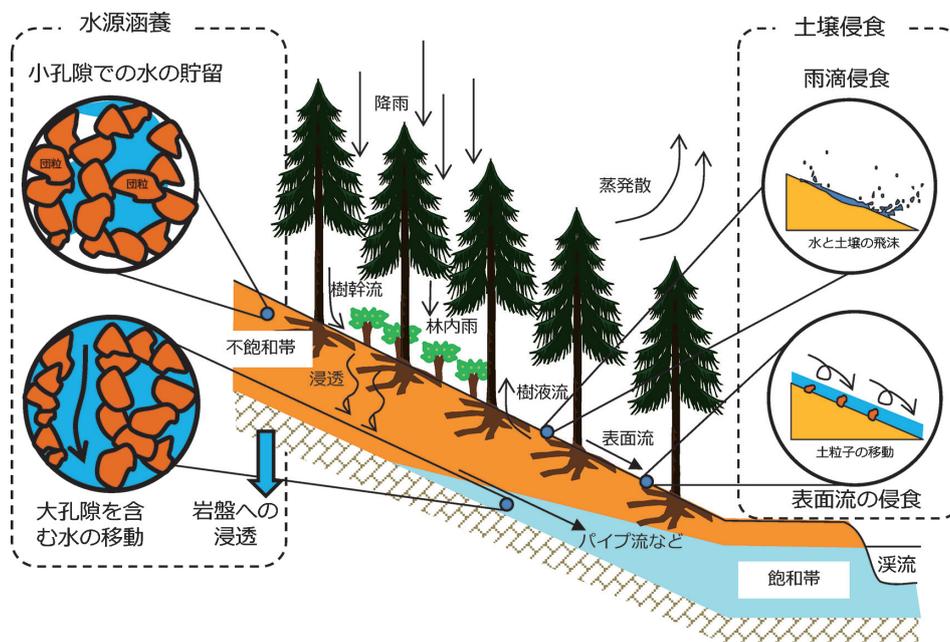


図-2 森林斜面での水源涵養機能と土壌侵食

壤侵食は発生しにくい、高密度化したヒノキ林では、林床植生衰退により土壌侵食が顕在化している（恩田、2008）。また、ヒノキの落葉は細片化しやすく、雨滴の衝撃や表面流で移動しやすいため、斜面に定着しづらい。このため雨滴や表面流による土壌侵食が発生しやすい。ヒノキ斜面の調査から、裸地化した斜面と林床植生のある斜面を比較すると、土壌侵食量が4.5倍違うことが報告されている（Miyata *et al.* 2009）。

また、日本各地でニホンジカやエゾシカの過採食による林床植生の衰退が報告されており（例えば、田村、2011）、土壌侵食の発生に影響することが報告されている。神奈川県丹沢山地の調査では、シカの採食を受けた斜面の土壌侵食量を降雨1mmあたりの侵食量とした場合、林床植生と落葉の合計被覆率と指数関数の関係があり、林床合計被覆率が50%から100%に増加した場合、侵食量が10分の1になることが示されている（石川、2015）。また、表面流による侵食量が全土壌侵食量の8～9割を占めていることも報告されている。

このような侵食現象は土壌中の炭素や窒素の流出も引き起こし、土壌劣化をもたらす（Pimentel *et al.* 1995）。炭素や窒素の土壌への蓄積は長い時間スケールでの物質循環の産物であり、土壌の生成速度より短い時間で土壌侵食が起こる場合、土壌中の炭素や窒素も失われる（Teramage *et al.* 2013）。これらの土壌劣化は地球温暖化対策などで重要となる土壌炭素蓄積量評価にも影響すると考えられる。しかし、森林斜面での土壌侵食による栄養塩流出の定量評価の研究例は少なく、今後の課題である。

以上のように、人工林の荒廃やシカ食害の問題に伴う森林斜面での土壌侵食が顕在化し、森林生態系における林床植生や落葉層の重要性が再認識されている。近年、荒廃人工林の林床植生衰退の問題を解決するため、間伐などの施業を行って植生回復を目指す取り組みも行われている。しかし、施業により増加した林床植生も新たなシカの餌となり、食害を受けるといった事態も起こっている。森林の水土保全機能の回復を目標にした林床植生回復の成否は、森林と野生動物の一体的な管理による土壌保全にかかっているとんでも過言ではない。

生物 - 土壌の相互作用と水土保全

ここまでに紹介してきた森林土壌の水土保全機能は、一朝一夕に形成されるものではなく、長時間スケールで

の生物と土壌の相互作用による産物である（図-1）。これまで生物と土壌の関係は、土壌の化学性については生態学の一領域として研究されてきたが（例えば、武田、1994）、水土保全の「要」となる土壌の物理性にも生物の寄与が重要である。

例えば、木本や草本の植生遷移や更新による変化は、地上部のみならず根系網の変化にも影響し、水土保全機能を発揮するための森林土壌の形成に寄与する。土壌表面に注目すると、林床植生の存在によりマット状の落葉層が保持され、雨滴衝撃抑制や土壌浸透向上のためには効果的である（竹下、1996）。植生は、地上部の器官（幹や葉など）のみならず、土壌中の根系が、土壌の保水性や浸透、さらには侵食や崩壊に対する土壌の緊縛力という点で重要である（佐藤、2006）。既往研究では、水土保全の観点から地上部バイオマスの効果を調べたものが多いが、直接的に土壌物理性を変えようという点では根系層の重要性も高い（Shinohara *et al.* 2015）。また、土壌の物理構造の改変は植生のみならず、ミミズやモグラなどによる生物活動によっても生じる。このような土壌を含めた環境の物理的な改変に寄与する生物はEcosystem engineers（生態系構築者）と呼ばれ、生態系における相互作用において重要な役割を果たすものとして位置付けられている（Cuddington *et al.* 2011）。

今後、森林の水土保全機能を考える上で、森林生態系での生物多様性や生態系サービスの視点から「森林土壌」を位置付ける研究が必要である。近年、様々な施業などが試みられているが、高木から林床植生までの地上部の複層構造は土壌中でも複層構造をもたらすと予想される。また、植生種の多様性は地上部バイオマスの増加をもたらすことが知られているが、この地上部の変化は地下部バイオマスにも影響すると考えられる（Liira and Zobel, 2000）。生態系サービスとして森林土壌を介した水土保全機能を最適化することができるような、林分構造の評価や森林施業手法を検討することも必要であろう。

おわりに

人工林が高齢級化する中で、間伐のみならず、効率的な施業や生物多様性保全を目指した施業といった多様な施業への取り組みも始まっている。一方で、人口減少による地域資源の利用や土地利用の変化、シカなどの野生

動物管理などの問題が顕在化している。2014年7月に「水循環基本法」が施行され、地域スケールで適切な水循環の維持が求められている中、「森林土壌」をグリーンインフラの一要素として、水土保持や山地災害対策を考えていくような、森林や流域管理の在り方を検討していく必要がある。そのためには、間伐などの施業効果の検証のみならず、植栽などの森林の成立から収穫までの森林管理や施業体系の中に、水土保持機能を位置付けるような技術的な取り組みも求められる。そして、森林土壌や岩盤層までを一つのシステムとした新たな枠組みでの、水土保持機能の評価が可能となるような研究および技術の体系化が必要ではないかと考えられる。

本稿の執筆にあたり、東京農工大学の平岡真合乃さん（現在、筑波大学）と神奈川県自然環境保全センターの大平充さんから貴重なご意見をいただいた。ここに記して謝意を表す。

引用文献

- 荒木 誠・阿部和時（2005）間伐は森林の土壌を守れるか？森林科学 44: 26-31
- Cuddington K *et al.* (2011) Ecosystem Engineers: Plants to Protists. Academic Press
- 藤枝基久（2007）森林流域の保水容量と流域貯留量. 森林総研研報 403: 101-110
- 五味高志（2006）土壌侵食と森林—森林斜面から流域の視点へ. 森林科学 47: 10-14
- 五味高志ほか（2010）ヒノキ人工林流域における表面流の発生と流域の降雨流出特性. 水利科学 311: 77-94
- 平岡真合乃ほか（2010）ヒノキ人工林における浸透能に対する下層植生の影響. 日林誌 92: 145-150
- 石川芳治（2015）シカ増加にともなう林床植生衰退による土壌侵食と地表流流出率の増加—丹沢堂平における長期間の現地観測より. 日本の科学者 50: 38-42
- 北原 曜（1998）森林が表面侵食を防ぐ. 森林科学 22: 16-22
- 小杉賢一郎（2007）森林の水源涵養機能に土層と透水性基岩が果たす役割の評価. 水水誌 20: 201-213
- Liira J, Zobel K (2000) The species richness-biomass relationship in herbaceous plant communities: what difference does the incorporation of root biomass data make?. Oikos 91: 109-114
- Miyata S *et al.* (2009) Effects of forest floor coverage on overland flow and soil erosion on hillslopes in Japanese cypress plantation forests. Water Resour Res 45: W06402
- 中村太士（2015）グレイインフラからグリーンインフラへ：自然資本を生かした適応戦略. 森林環境：89-98
- 恩田裕一編（2008）人工林の荒廃と水土砂流出の実態. 岩波書店
- 太田猛彦（1991）土保全のための森林管理モデル. 森林科学 3: 36-40
- Pimentel D *et al.* (1995) Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. Science 267: 1117-1123
- 佐藤 創（2006）表層崩壊と森林. 森林科学 47: 22-27
- Shinohara Y *et al.* (2015) Effects of plant roots on the soil erosion rate under simulated rainfall with high kinetic energy. Hydrol Sci J. doi: 10.1080/02626667.2015.1112904
- 鈴木雅一（1991）水に関わる森林機能とモデル化. 森林科学 3: 32-35
- 武田博清（1994）森林生態系において植物：土壌系の相互作用が作り出す生物多様性：生物多様性の生態学. 日生誌 44: 211-222
- 竹下敬司（1996）植生、土壌、水と地形変形プロセスの制御. (水文地形学—山地の水循環と地形変化の相互作用—. 恩田裕一ほか編、古今書院). 151-163
- 田村 淳（2011）植生保護柵の効果と影響の整理. 森林科学 61: 17-19
- 谷 誠（2013）森林の保水力はなぜ大規模降雨時にも発揮されるのか？—その2 森林の取り扱いから考える. 森林科学 67: 26-31
- 谷 誠（2016）水と土と森の科学. 京都大学出版会
- Teramage MT *et al.* (2013) The relationship of soil organic carbon to $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ and ^{137}Cs during surface soil erosion in a hillslope forested environment. Geoderma 192: 59-67
- 塚本良則（1998）森林は山地の侵食防止にどのように機能しているか. 森林科学 22: 2-9
- 徳川林政史研究所編（2012）森林の江戸学. 東京堂出版

地上部と地下部の連携における 土壌生物の役割について

—間接的な経路に着目して—

長谷川 元洋 (はせがわ もとひろ、森林総合研究所四国支所)

森林の地上部と地下部のつながり

土壌生物と地上部の生物群集の相互作用が、一次生産や物質循環等の陸上生態系の機能を制御していることが認識されつつある (Wardle *et al.* 2004) (図-1)。植物が生産した葉や枝などの有機物は土壌分解系に入り、土壌生物に分解されることによって、炭素が二酸化炭素として放出される。一方、有機物に含まれる、窒素、リンなどの養分やミネラルが土壌中に放出され、その養分やミネラルを植物が根から再度吸収して成長に利用している。土壌生物はこのリサイクル系を駆動させる主役と考えることができる (図-1 矢印 a)。土壌生物の植物に影響を与えるメカニズムは、土壌生物が植物体に直接アプローチする経路と (図-1 左側)、有機物分解を通して間接的に影響を与える経路に分けられる (図-1 右側)。地下部にある生きた植物体としては根が主なものとなるが、土壌生物の中にはこの根を利用する際、病原菌とし

て利用するものもいれば、菌根菌として植物と共生関係を持つものもいる。また根を直接的に摂食するようなコガネムシの幼虫などもこの直接的な経路に関与していると考えられる。ここでの病原菌や、根を食べる昆虫等は植物の成長に対してマイナスの影響を与える一方、菌根菌はしばしば、養分の利用効率を高めたりすることで、植物の成長を補助する働きを持つことがある。植物の側は、その菌根菌にエネルギー源となる炭水化物を与えることにより、菌と植物の共生が成り立つ。

間接的な系ではデトリタスと呼ばれる落葉落枝を、微生物や土壌動物が利用し、またそれらの食物網の中で分解途中の有機物が再度利用されるということが繰り返されることにより、有機物が次第に分解され、二酸化炭素が大気中に放出され、養分やミネラルが土壌中に放出される。放出された養分やミネラルは再度、植物に吸収されることになる (図-1 矢印 b)。また、逆に地上部での植物の生産する落葉、落枝の質や量は、土壌生物の組成やバイオマス、活性に影響を与えている (図-1 矢印 c)。さらに地上部の植食者が植物を摂食する事により、地下部へ供給される有機物の質や量に変化を生じさせ、根そのものや根からの浸出物の生産にも影響を及ぼしうる。以上のように、地上部と地下部の群集は、互いに相互作用をもつことによって、長期的視点で見れば、双方の群集構造の遷移にも影響を与えることになり、双方の連携の結果として生態系が形作られる。本稿では以下、間接的な系における土壌生物の作用の近年のトピックについて紹介する。

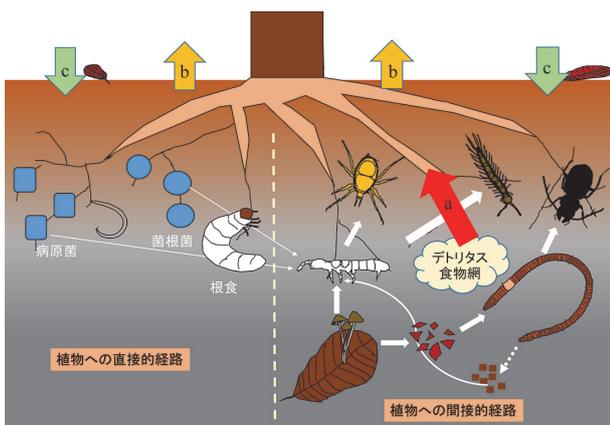


図-1 土壌生物と地上部の生物群集の相互作用を示す模式図 (Wardle *et al.* 2004 をもとに改変)。左側が植物への直接的経路、右側が植物への間接的経路を示す。

落葉分解における菌類の能力

落葉落枝を構成する有機物は、リグニン、ホロセルロース、ポリフェノール、可溶性糖類に大別される。このう

ち、リグニンとホロセルロースが割合の大半を占めるが、リグニンはホロセルロースと比較して分解しにくい物質と考えられている。森林の落葉層では、ホロセルロースの分解を行う褐色腐朽菌やリグニンとホロセルロースの双方を様々な割合で分解する白色腐朽菌などが存在し、林床における分解過程と養分循環において重要な役割を果たしている。難分解物質を分解する能力は菌のグループによって異なることが知られている。Osono (2015) は、亜熱帯、冷温帯、亜高山帯林の調査地において得られた落葉分解菌の 75 の分離株を用いて、難分解物質の分解能力を比較した。その結果、例えば担子菌のホウライタケ科 (Marasmiaceae) は、同じ担子菌のクヌギタケ科 (Mycenaceae) よりも難分解物質 (酸不溶性残渣として認識される) の分解能力が高いことがわかった。一方、子囊菌であるクロサイワイタケ科 (Xylariaceae) は担子菌類よりもリグニン分解能力が低いことがわかった。彼の実験では、菌の種類だけでなく分解させる基質も変化させているが、基質の性質の変化よりも菌の種類の変化の方が大きいこともわかった。このことにより、気候変動に対して、分解過程がどのような反応を示すかについて予測する場合、植物の反応による分解基質の質的变化を予測する事に加えて、菌群集の種組成と個々の菌の分解能力を研究することにより、菌による分解の反応を予測する事が重要であると示唆される。

土壌動物の機能

土壌動物を機能に基づいて大別すると、微生物食者、落葉変換者、生態系創出者の 3 つがあるとされている (Lavelle *et al.* 1997)。微生物食者の中では、主に細菌類を経由する系と、菌類を経由する系があり、前者はアメーバや繊毛虫などの原生生物が卓越し、後者はトビムシやダニ (図-2) 等の小型節足動物の働きがしばしば着目される。細菌の経路におけるアメーバや繊毛虫による細菌の摂食に植物の根の働きを介した相互作用とし



図-2 トビムシ (左) とササラダニ (右)

て、微生物ループ (Clarholm 1985)、ホルモンループ (Bonkowski and Brandt 2002) と呼ばれる機構が存在することがわかってきた。微生物ループでは植物根の先端部分の多糖類と剥離した細胞、それを利用する細菌、細菌を捕食するアメーバなどの原生生物で構成される。一方、ホルモンループは、同じ根系においてアメーバによる細菌の種選択的な摂食により、細菌のうち植物成長ホルモンを分泌する種が増加するというプロセスである。

また、菌類の経路では、小型節足動物であるトビムシやダニによる選択的な菌類の摂食が菌類の群集組成や機能に影響する例が報告されており (中森・長谷川 2011)、菌根菌などを含めた系ではさらに複雑な結果をもたらす。Klironomos と Kendrick (1996) は、サトウカエデの苗を植えた植木鉢の中で、リター層と植物の根の張った土壌層を作り、それぞれに腐生菌と、植物の根に侵入して共生するアーバスキュラー菌根菌 (arbuscular mycorrhizal fungus) を接種して、トビムシやダニの分布を調べた。その結果、土壌動物は菌根菌しか無い状態であれば、根の層に多く分布し、腐生菌がある場合は腐生菌の存在する層に、もし、リター層、土壌層双方にある場合はリター層により多く分布することがわかった。以上から土壌動物はリター層に腐生菌が存在すれば、菌根菌の成長をあまり阻害しない (植物に悪影響を与えない) と考えられた。さらに、カエデ苗の成長に与える影響をリターの有無、土壌動物の有無で調べたところ、リターがあるところで、動物の効果により、苗の生長が促進される事がわかった。このように、菌食の動物と菌の種類、植物の間で複雑な相互作用が見られることがわかる。

落葉変換者には、ワラジムシ、ダンゴムシなどの等脚類や、ヤスデなどが含まれる。海洋性の等脚類には、動物自身がセルラーゼを分泌する種が知られているが (King *et al.* 2010)、落葉変換者の多くは、落葉の分解に微生物の助けを借りている。すなわち、微生物によって分解され始めた落葉を微生物ごと摂食したり、体内の消化管内に生息する微生物により、消化を促進させる等の働きを持っていることが知られている (Zimmer 2002)。また、排出した糞を再度摂食する糞食も知られており、排出された糞の中で微生物が増加し、そこで分解された有機物や、微生物の酵素を利用して消化しにくい餌を利用している (Zimmer 2002)。

生態系創出者とされるのは、ミミズやシロアリなどの大型土壤動物である。ミミズやシロアリは、その生物の働きにより、自分の体以外の構造物が生態系に作られ、その構造物が生態系の機能に作用するようになる。シロアリなどは巨大な巣を作ることが知られているが、ミミズの場合は土中に坑道を作ったり、土壌を持ち上げたりすることにより、そうした生態系機能を持つことになる (Brown *et al.* 2000)。

土壤動物の生態系サービス

Lavelle ら (2006) は、土壤無脊椎動物が寄与する、生態系のプロセスおよびサービスを表-1のようにまとめている。落葉の分解や土壌の運搬、土壌構造、水分、空気の循環など実に多くの生態系プロセスに土壤動物の寄与があることがわかる。このうち、温暖化ガスへの寄与は、近年着目されるようになった機能である。これまで述べてきたように土壤動物が有機物を摂食することで、短期的には有機物が分解され二酸化炭素が放出される速度が速くなると考えることができる。この点について、ミミズなどを例にとれば、有機物がミミズの体内を通過し、糞として排出されるまでは微生物の活動を促進することにより、分解が早く進むことになる。一方、糞として排出された有機物は土壤団粒となり、鉱物質土壌の中に密閉されるなどの状態を保つことになり、微生物から遠ざけられる。その結果、土壤団粒では、単に土の中に混合している状態の有機物よりも分解が遅くなり、土壌中に有機物の炭素が貯留されることになる。土壌中の炭素の長期的な変動を考えると、このような作用を考慮に入れることが必要になるだろう。

攪乱や地球環境変動の土壤生物への影響をどう捉えるか？

これまで様々な森林に対する攪乱や地球環境の変動が土壤生物に与える影響について研究がなされてきた (Decaëns *et al.* 2006; Hasegawa *et al.* 2013)。環境の変化や攪乱に対する、土壤動物群集の構造や機能の変化を解釈あるいは予測するのに、土壤動物のある種の個体数、バイオマス、群集の構造や組成といったものが利用されてきた。近年これらに加えて、土壤動物の種(もしくは個体の)の形質にもとづくアプローチ (trait based approach) が有用ではないかとされ (Pey *et al.* 2014)、様々な国で取り組みがなされている。Trait とは、生物の形態、行動、生理、繁殖などの特性のことで、これを環境の変化に対する生物の反応を理解するための切り口として使用している。これを使用した場合、分類学的情報に基づく解析を補う、あるいは時には反する情報を与えることもある。また、様々な攪乱は生物相の均質化を招く例が知られており、地点間の種多様性の違いの指標である β 多様性を用いた解析によって、その様子を明らかにする手法が用いられるようになっている (Baselga 2010; 2012)。例えば、Mori ら (2015) は、カラマツ人工林に、落葉広葉樹が様々な割合で混交する森林にプロットを設定し、それぞれの森林内のササラダニ群集の β 多様性を計算した。この際、ササラダニ群集の種ごとの個体数に基づく (分類に基づく) β 多様性 (taxonomical beta diversity) と、ササラダニの trait (体長や食性などの情報) に基づく β 多様性 (functional beta diversity) を計算している。広葉樹の割合が減るにつれて、各サイト内の群集の β 多様性は、分類に基づく場合も、trait に基づくものも、双方

表-1 土壤と関連した生態系サービスの供与における土壤無脊椎動物の寄与 (Lavelle *et al.* 2006 より抜粋)

タイプ	サービス	生態系プロセス	土壤無脊椎動物の寄与
生産 支持	水の供給 養分循環	土壤孔隙系内の水の浸透、貯蔵 分解、腐植形成、養分損失の制限、(溶脱、 脱窒)、土壌生成	生物による攪拌、耕耘を通した安定的な孔隙の形成と維持 粉碎、選別、微生物活性化
		土壌形成 一次生産	生物による攪拌、表面への堆積、粒子の選別 微生物に対する選択的促進 生物間相互作用を通した病害の制御、植物の反応容量の増大
制御	洪水と崩壊の制御	土壌中の共生活性の促進 ホルモン様分子の土壌中での間接的な生産 病害と病気群集の防御	生物由来の構造による表面の起伏の生成 生物による攪拌、耕耘を通した安定的な孔隙の形成と維持
	気候制御	水流出の制御 土壌中の水の浸透と貯蔵 温室効果ガスの生産と消費 土壌とバイオマス内の有機物の貯蔵	安定な生物由来の粗大団粒内への有機物の隔離 抵抗性腐植物質の形成の促進

とも減少する傾向が見られた。すなわち森林が人工林化（カラマツ林化）されると、林床に供給される植物リターの供給が単純化され、リターに生息する土壌動物群集（ササラダニ）も単純化されることになる。つまり、集約化林業は、森林に住む生物の構成を単純化する可能性がある事を示している。一方、針葉樹人工林に広葉樹が侵入すると、森林の樹種組成が多様化し、結果として土壌動物群集も再異質化（多様化）できるということになる。また、植物の均質化に伴う β 多様性の減少は、trait に基づく β 多様性の方がより急激であり、機能的多様性においてより強い均質化が生じている事がわかった。

地球環境変動に対する影響については、実験的なアプローチも用いられている、Eisenhauer ら (2012) は、アメリカの草原生態系で、長期間、実験的に大気中 CO_2 濃度を上昇させるとともに、窒素肥料を添加したときに土壌食物網及びその多様性がどのような影響を受けるかを解析した。 CO_2 濃度の増加は、土壌食物網のそれぞれのバイオマスに対し、ほぼどの項目に対してもプラスの影響を与えるのに対し、窒素の添加については、線虫や小型節足動物の多様性に対してはマイナスに働くという結果が出た。著者らはこのような結果が出る要因として、根からの浸出物の影響をあげた。すなわち大気中 CO_2 濃度の上昇は根からの浸出物の増加を促し、それが土壌食物網のそれぞれのバイオマスを増加させる一方、窒素の添加は植物側の根系への炭素の配分を減少させたために生じたのではないかと推察している。このように、 CO_2 濃度と窒素降下物の増加は、土壌動物群集に対して、分類学的、機能的な変化を与え、群集構造をより単純なものに変えることが示された。

以上のように、土壌の生物は、土壌中の様々な生物間での相互作用を持つと共に、地上部の生物との連携の中で生態系を形作る基盤となっている。しかし、構成する種や環境条件によって、結果として生じる群集構造や機能は変化すると考えられ、その結果を解釈、予測することは簡単なものではない。しかし、分子生物学的技術、安定同位体等による化学的分析手法、多様性の中身の違いを解析する手法などの進歩により、困難であると考えられてきた土壌生物の役割が、少しずつ明らかになって

きている。2016年8月22日～26日には、奈良市において第17回 国際土壌動物学会議 (XVII International Colloquium on Soil Zoology, http://soilzoology.jp/icsz_ica2016/) が開催される。今回が東アジアで初の開催となり、土壌動物に関する最新の知見が報告される予定で、アジアを含む地域における土壌動物学のさらなる発展に寄与するものと期待されている。

引用文献

- Baselga A (2010) *Glob. Ecol. Biogeogr.* 19: 134-143
- Baselga A (2012) *Glob. Ecol. Biogeogr.* 21: 1223-1232
- Brown GG *et al.* (2000) *Eur. J. Soil Biol.* 36: 177-198
- Bonkowski M, Brandt F (2002) *Soil Biol. Biochem.* 34: 1709-1715
- Clarholm M (1985) *Soil Biol. Biochem.* 17: 181-187
- Decaëns T *et al.* (2006) *Eur. J. Soil Biol.* 42: S23-S38
- Eisenhauer N *et al.* (2012) *Glob. Change Biol.* 18:435-447
- Hasegawa M *et al.* (2013) *Co-benefits of Sustainable Forestry: Ecological Studies of a Certified Bornean Tropical Rain Forest.* Kitayama K (ed) Springer, 63-87
- King AJ *et al.* (2010) *PNAS* 107: 5345-5350
- Klironomos JN, Kendrick WB (1996) *Biol. Fertil. Soils* 21: 43-52
- Lavelle P *et al.* (1997) *Eur. J. Soil Biol.* 33: 159-193
- Lavelle P *et al.* (2006) *Eur. J. Soil Biol.* 42: S3-S15
- Pey B *et al.* (2014) *Basic Appl. Ecol.* 15: 194-206
- Mori AS *et al.* (2015) *Oecologia* 179: 527-535
- 中森泰三・長谷川元洋 (2011) *微生物の生態学.* 日本生態学会編. 共立出版. 149-165
- Osono T (2015) *J. For. Res.* 20: 272-280
- Wardle DA *et al.* (2004) *Science* 304: 1629-1633
- Zimmer M (2002) *Biol. Rev.* 77: 455-493

森林の過去を記録する土壌

井上 弦 (いのうえ ゆづる、埼玉大学大学院理工学研究科 (現 神奈川県農業技術センター生産環境部))

井上 淳 (いのうえ じゅん、大阪市立大学大学院理学研究科)

1. はじめに

土壌が森林の過去を記録するとはどういうことであろうか？ 土壌は有機物や鉱物などの多様な構成成分からなり、その一部の構成成分はあまり変化しない。このため、千年前に生成が始まった土壌であれば、土壌は、過去千年間に混入した成分を保存する。したがって、その土壌の構成成分を調べれば、森林の過去の記録を明らかにできる。過去を知る手がかりとなる土壌の構成成分には、土壌有機物、植物珪酸体（植物の細胞内に蓄積される非晶質含水ケイ酸）、花粉化石、炭（すみ）、火山灰、同位体成分などが考えられる。これらの構成成分から、森林の過去の記録として、それぞれ当時の植生、火事の有無や、火山噴火などを知ることができる。さらに、当時の気候などについても推定される。ただし、森林の過去を知るには、これら土壌構成成分を含む層の時代を特定することが条件になる。この層の時代を特定する方法として、移動、攪乱が少ない層では混入する炭や土壌有機物の放射性炭素（ ^{14}C ）年代を測定する方法と、土壌の直上に堆積するテフラを利用する方法（後述するテフロクロノロジー）などがある。しかしながら、森林土壌の多くは、A層（腐植（土壌有機物）に富む暗色の層位）、B層（腐植（土壌有機物）に乏しく明るい色調の層位）といった単純な層位配列を示し（写真-1；例えば、林

業試験場（1952、1968））、常に活発な物質循環の途中にある。このような土壌では、その時代を特定することは難しい。これは、森林土壌が、活発な生物活動によって攪乱や移動を受けやすく、時代を特定するには不安定な状態にあることや、炭素循環が継続しているため、土壌有機物の ^{14}C 年代測定値が実際の土壌の生成年代を示さないことが理由である。

一方、活発な噴火を繰り返す火山地域では、森林であっても、稀に写真-2のような縞模様をなす土壌が見出される。この縞模様は、テフラと土壌の互層からなり、テフラ—土壌シークエンスと呼ばれる。テフラとは、溶岩を除く火山灰や軽石、スコリア（スコリアとは、軽石と同様な火山砕屑物のうち黒っぽい色や赤っぽい色のもの）などの火山砕屑物の総称であり、日本の大規模噴火に伴い噴出されたテフラのほとんどは、その噴火年代が明らかにされている。したがって、ある時代に堆積したテフラとまた異なる時代に堆積したテフラに挟在する土壌、すなわち上位のテフラによって埋没した土壌（埋没土壌）を調べれば、土壌に記録されたある一定期間の過去の情報を知ることができる。言わば、テフラに挟在する埋没土壌は、埋められた時代が明らかなタイムカプセルである。日本は火山国であり、例えば、過去12万年間を見ても、土壌中には少なからずテフラが混入する。



写真-1 森林土壌の一例（宮崎県宮崎市田野町）



写真-2 テフラ土壌シークエンスの一例 (北海道川上郡標茶町)

テフラは、火山近郊地域に限らず、日本全国に分布する(図-1)。したがって、多くのテフラが分布する地域では、テフラが土壌の時代特定を容易にするとともに、森林の過去を知る上でも有用な地域になる。

それでは、具体的にどんな手法で、土壌に記録された森林の過去の情報を明らかにするのかを見ていきたい。

2. 時代の特定

2.1. 放射性炭素同位体 (^{14}C) 年代測定

炭素中の放射性炭素同位体 (^{14}C) を用いた年代測定は、現在、加速器質量分析計 (AMS; Accelerator Mass Spectrometry) を用いた手法が主流になっており、適用できる年代の範囲は約 6 万年前に遡る。土壌では、土壌そのものを使って、直接、 ^{14}C 年代測定ができるものの、土壌中を移動しやすい溶存炭素も含むので、その年代値は実際より新しいケースが多い。したがって、土壌そのものを使った ^{14}C 年代測定では、その年代値が正しい値かどうかの判断が難しい。一方、土壌中を移動しにくいヒューミン画分(酸およびアルカリに不溶な残渣画分)を利用すると、堆積状況には影響されるものの、その土壌の生成開始年代を特定できる。実際、ヒューミン画分による年代測定は、この画分に含まれる肉眼で

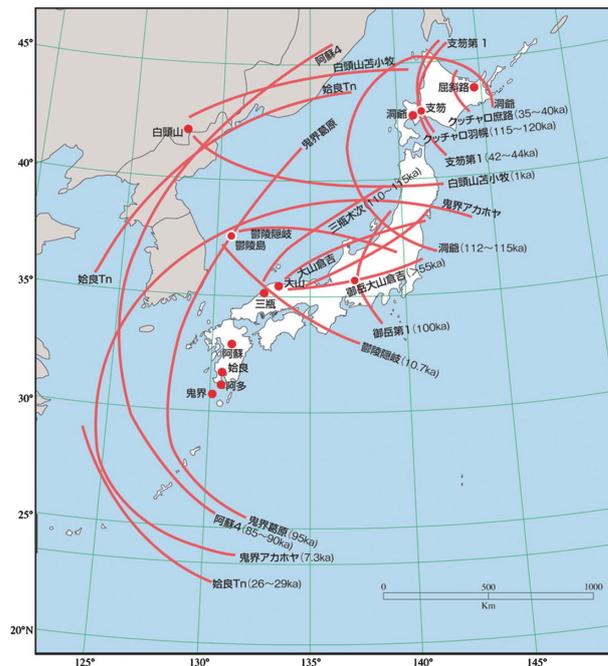


図-1 日本列島における最近 12 万年間における広域テフラの分布範囲。赤丸は噴出源。『本図は、理科年表を出典元に NHK が制作した JPEG 画像を、NHK の Web サイト (<http://www.nhk.or.jp/sonae/column/20130314.html>) から引用した図 (2013 年 3 月更新) である。』

は確認できない微小な炭などを利用しているので、より正確な年代測定に有効である。一方で、ヒューミン画分の前処理では、年代の新しい炭素をいかに除去するかがポイントになる。一般に、日本の土壌の ^{14}C 年代測定では AAA (Acid-Alkali-Acid) 処理と呼ばれる水酸化ナトリウムを使った酸-アルカリ-酸による前処理法が行われる。しかし、この前処理法は、黒ぼく土のような特殊な土壌から新しい炭素を除去するには不十分で、さらにピロリン酸ナトリウムも加え、繰り返しアルカリ処理を行うことで、新しい炭素の影響が少ない試料を得ることができる。Inoue *et al.* (2011) は、十和田火山周辺域の森林に発達する埋没腐植層から 5 cm 毎に採取した土壌試料を用い、水酸化ナトリウムとピロリン酸ナトリウムを使った前処理によってヒューミン画分を集め AMS ^{14}C 年代測定を行った。その結果、埋没腐植層における 5 cm 毎の年代値を特定するとともに、土壌が累積的に上方へ成長することを明らかにした。このように土壌の年代測定では、土壌中を移動しにくいヒューミン画分を利用することで、過去約 6 万年前以降に生成し

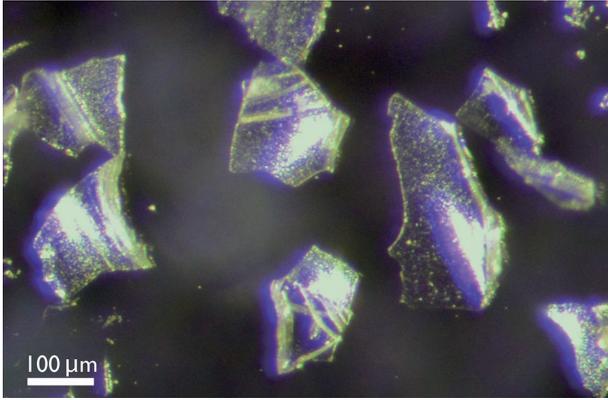


写真-3 土壤中の火山ガラスの一例

た土壌の生成年代を特定できる。

2.2. テフロクロロジー

テフラは、日本の土壌の主要な母材であるが、その構成成分の一つ火山ガラス(写真-3)は、風化されやすく、堆積条件や時間経過とともに、徐々に消失していく。一方で、土壌中であっても堆積条件によって、火山ガラスは数万年オーダーで残存する。土壌中で認められるテフラは、火山ガラスを含めた鉱物組成、火山ガラスや鉱物の屈折率、および化学組成、さらにはその層位関係を考慮した上で、既知のテフラに対比・同定される。多くの既知のテフラはその噴出年代が明らかでないため、結果、そのテフラが含まれる層の年代が特定される。土壌にテフラが含まれる地域では、テフラを既知のテフラに同定できれば、年代測定を行わなくても、層のおおまかな年代を特定できる。このようにテフラを時間指標にして、編年を行う方法はテフロクロロジーと呼ばれる。

3. 森林の過去を記録する土壌構成成分

ここでは森林の過去を記録する主要な土壌構成成分の事例として、特に、炭、花粉化石、植物珪酸体、炭素・窒素安定同位体成分について説明する。

3.1. 炭

土壌における多量の炭の存在は、その土壌が生成した時代において、近隣で何らかの火事があったことを意味する。阿蘇火山周辺域では、完新世初期に該当する土壌から、多量の微小な炭(微粒炭)が見出され、何らかの原因でこの時期に火事が多発したとされる(Kawano *et al.*, 2012)。また、新潟県から長野県の埋没土壌中には、肉眼で明らかな炭が混入する炭層準の存在が報告されている(吉川ほか, 2003; 写真-4)。そ



写真-4 新潟・長野県に広域に分布する後期更新世の炭層準の一例

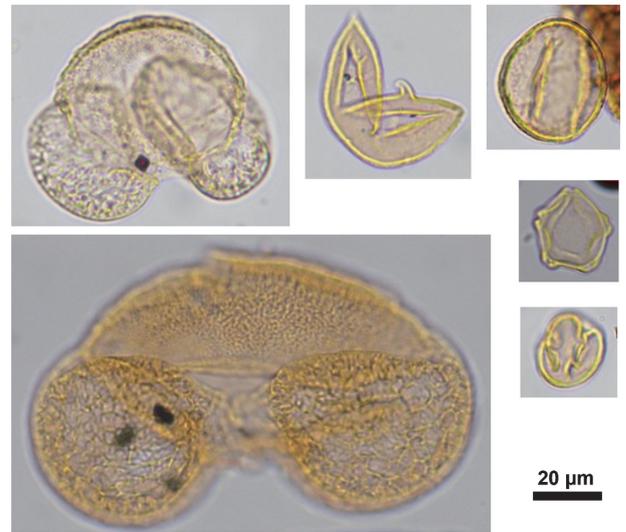


写真-5 樹木花粉の一例

の炭が見出される層準は、約11～12万年前、約9～10万年前、約3万年前の3層準があり、それぞれ津南-1炭層準、津南-2炭層準、津南-3炭層準と呼ばれ、広域に追跡可能とされる。その分布は、水平距離にして少なくともそれぞれ50km、30km、20kmにも及ぶ。これらの炭は、山火事によることが明らかにされており、森林土壌に限らず土壌が森林の過去を記録するわかりやすい事例の一つである。

3.2. 花粉化石

花粉(写真-5)は、20～50μm程度の大きさがあり、植物の分類群ごとに形態的な違いがあるため、堆積物や土壌中に残存する花粉の形態の違いを調べることによって、過去の植生の一部を復元できる。過去の植生復元を目的とした花粉分析は、一般に花粉が保存されやすい湿原などの堆積物を用いて行われ、国内における土壌の花

粉分析に関する研究事例は未だ多くない。これは、一般に土壌中の花粉が分解されやすいためである。しかしながら、土壌においても pH 5 未満の強酸性領域であれば、堆積物に匹敵する分析が可能とされる (Dimbley, 1957)。国内の数少ない研究事例の一つである池田ほか (2011) は、東北地方北上山地の亜高山帯域において土壌の花粉分析を行い、完新世中期以降の植生変遷を示した。その結果、北上山地では一貫してブナやカンバ類、ナラ類を主体とする落葉広葉樹が優勢であったことが明らかにされている。

3.3. 植物珪酸体 (プラント・オパール)

植物珪酸体についても植物の分類群ごとに形態的な違いがあるので、その形態の違いを調べることによって、花粉分析と同様に、当時の植生の一部を復元できる。樹木起源の植物珪酸体 (写真-6) は、イネ科起源の植物珪酸体に比べ $50\mu\text{m}$ 以上と大型であり (近藤, 2010)、豊富な植物珪酸体を生産するイネ科植物とは異なり、その生産量はかなり少ない。しかしながら、九州南部に成立する照葉樹林を対象として、植生調査と森林内の表層土壌中の植物珪酸体分析を行い、樹木起源の植物珪酸体と樹種構成との関係について検討した結果、照葉樹林の主要な群落型として、カシ林やシイ林の区別が可能であることが報告される (河野ほか, 2006)。同様にして、埋没土壌から検出した樹木起源の植物珪酸体の分析結果を基に、九州南部における最終氷期以降の照葉樹林の発達史について研究した事例では、シイ属やクスノキ科を主体とした照葉樹林の分布範囲の推移が明らかにされている (杉山, 1999)。一方で、樹木起源の植物珪酸体の

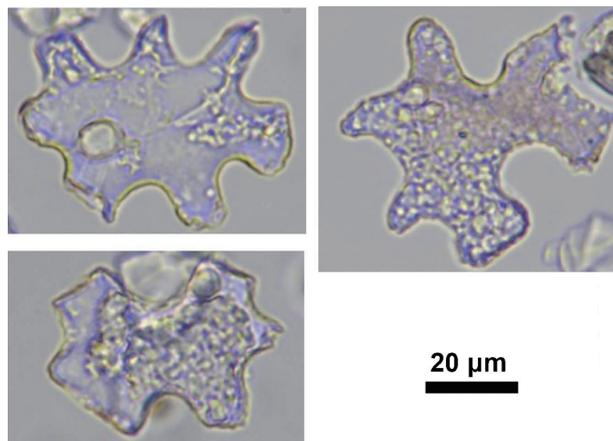


写真-6 樹木などから産出されるジグソーパズル型の植物珪酸体

分類は全ての植物種について網羅的に解明されたものではなく、その存在や形状が明らかにされていない植物種も多い。最近でもクワの一種から新たな植物珪酸体が確認されたことが報告されている (Tsutsui *et al.* 2016)。

3.4. 炭素・窒素安定同位体

土壌有機炭素の安定同位体自然存在比 ($\delta^{13}\text{C}$ 値) は、給源植物に含有される炭素の $\delta^{13}\text{C}$ 値を反映する。一般にササやイネなどの C_3 植物の $\delta^{13}\text{C}$ 値は $-30 \sim -26\%$ 、ススキやヒエなどの C_4 植物の $\delta^{13}\text{C}$ 値は $-13 \sim -10\%$ を示す (Yoneyama *et al.* 2001)。したがって、土壌の $\delta^{13}\text{C}$ 値から、土壌有機物の給源になった C_3 植物と C_4 植物の比率を明らかにすることができる。森林においては、樹木が C_3 植物であることから、 C_3 植物の比率が優勢な結果を得ることが多い。しかしながら、一見、一様に見える一つの土層であっても、 $\delta^{13}\text{C}$ 値の垂直分布を見ると、 $\delta^{13}\text{C}$ 値が変動しているケースがある。これは、火山活動を含め、火事などによって森林植生が破壊され、ススキやチガヤなどの C_4 植物が繁茂した時期があることを示す。

土壌窒素の安定同位体自然存在比 ($\delta^{15}\text{N}$ 値) は、降雨や窒素固定生物などによって土壌に付加された窒素が土壌中で代謝されることで決まり、 $+3 \sim +10\%$ を示す (Yoneyama, 1996)。土壌の $\delta^{15}\text{N}$ 値は、アンモニア揮散や脱窒作用があれば、大気窒素の 0% 付近よりわずかに高い値を示し、マメ科植物などの窒素固定生物が優勢であれば $-2 \sim 0\%$ を示す (米山・吉田, 2000)。したがって、埋没土壌の土壌窒素を調べれば、当時の窒素循環によって決定された $\delta^{15}\text{N}$ 値の情報が得られる。ただし、現代の窒素が溶脱などによって今も盛んに付加されるようなケースでは、現代の窒素によって、土壌の $\delta^{15}\text{N}$ 値に変動を与えることもあるので、土壌の $\delta^{15}\text{N}$ 値の解釈には、その地域の地理条件や土壌条件、環境条件を十分に考慮し、補完できる他の分析結果を行う必要がある。また、窒素含量の少ない土壌では、信頼できる窒素同位体の測定ができないケースも多い。

4. おわりに

土壌に含まれる様々な構成成分からは、多くの過去の情報を読み取ることができる。炭の存在からは過去の火事の有無を、花粉化石の分類からは過去の広域における植生を、植物珪酸体の分類からは過去の局地的な植生を、



写真-7 テフラ-土壌シークエンスにおけるテフラ（火山灰）層から見出された数百年前に堆積した落葉の痕

炭素・窒素安定同位体自然存在比からは、補完的に過去の植生情報や環境情報などを明らかにできる。そしてこれらを統合することにより、全般的な古環境や古気候が推定できる。その他にもテフラ-土壌シークエンスでは、テフラ（火山灰）の中から、数100年前に堆積した落葉の痕（写真-7）が見出されるケースもあり、このようなケースは森林の過去の記録としてわかりやすい事例の一つである。

森林の過去を記録する土壌の構成成分は、そのサイズの小ささから肉眼で識別することは難しい。また、森林の詳細な過去の復元は、余程の条件が揃わない限り難しい。しかしながら、一見、褐色や黒色のただの土壌でも、このミクロの世界を精密に調べれば、手探りながらも森林の過去を記録したいろいろな情報を得ることができる。すなわち、「土壌は森林の過去を記録する」のである。

引用文献

Dimbley GW (1957) Pollen analysis of terrestrial soils. *New Phytologist* 56: 12-28
 池田重人・志知幸治・岡本 透・大丸裕武 (2011) 北山山地中央部の亜高山帯域における完新世中期以降の植生変遷. *植生史研究* 20: 71-82
 Inoue Y, Hiradate S, Sase T, Hosono M, Morita S, Matsuzaki H (2011) Using ^{14}C dating of stable

humic fractions to assess upbuilding pedogenesis of a buried Holocene humic soil horizon, Towada volcano, Japan. *Geoderma* 167-168: 85-90

河野樹一郎・河野耕三・宇田津徹朗・藤原宏志 (2006) 宮崎県南部の照葉樹林における樹種構成と表層土壌中の樹木起源珪酸体との関係. *植生史研究* 14: 3-14

Kawano T, Sasaki N, Hayashi N, Takahara H (2012) Grassland and fire history since the late-glacial in northern part of Aso Caldera, central Kyusyu, Japan, inferred from phytolith and charcoal records. *Quaternary International* 254: 18-27

近藤錬三 (2010) プラント・オパール図譜—走査型電子顕微鏡による植物ケイ酸体学入門—. 北海道大学出版会

農林省林業試験場編 (1952) 林野土壌層断面図集 (1)

農林省林業試験場編 (1968) 林野土壌層断面図集 (2)

杉山真二 (1999) 植物珪酸体分析からみた最終氷期以降の九州南部における照葉樹林発達史. *第四紀研究* 38: 109-123

Tsutsui O, Sakamoto R, Obayashi M, Yamakawa S, Handa T (2016) Light and SEM observation of opal phytoliths in the mulberry leaf. *Flora* 218: 44-50

Yoneyama T (1996) Characterization of natural ^{15}N abundance of soils. In: *Mass Spectrometry of Soils*. Boutton TW, Yamasaki S (eds) Marcel Dekker, 205-223

Yoneyama T, Nakanishi Y, Morita A, Liyanage BC (2001) $\delta^{13}\text{C}$ values of organic carbon of cropland and forest soils in Japan. *Soil Science and Plant Nutrition* 47: 17-26

米山忠克・吉田 滯 (2000) 南九州テフラ断面土壌の $\delta^{13}\text{C}$ 値と $\delta^{15}\text{N}$ 値に基づく古植生推定の試み. *日本土壌肥科学雑誌* 71: 834-839

吉川周作・渡辺秀男・井上 淳 (2003) 新潟・長野県に広域に分布する後期更新世の炭層準の発見. *地質学雑誌* 106: 63-70

まわる炭素、たまる炭素

—土壌圏におけるガス動態と炭素蓄積—

森下 智陽 (もりした ともあき、森林総合研究所四国支所)

1. はじめに

「森林生態系による CO₂ 吸収」は、地球温暖化の観点からも、幅広い層から興味を持たれているテーマである。しかし、森林生態系—大気間を巡るガス態の炭素化合物は CO₂ だけではない。CO₂ 同様に温室効果ガスであるメタン (CH₄)、そして、間接的に温暖化に寄与する生物由来揮発性有機化合物 (BVOC: Biogenic Volatile Organic Compound) も、知見の集積・情報の整理の重要性が増している (IPCC 2013)。また、炭素の大きな動き (森林による吸収、土壌への蓄積) については、メディアによって様々な機会でもとりあげられ、ネットからもたくさんの情報を引き出せるがゆえに、常に冷静に基本に立ち返ることも大事である。

そこで、本特集前半では、CO₂ に比べるとまだまだ一般的な認知度が低い CH₄ と BVOC を中心に土壌を巡る炭素について紹介し、後半では土壌に蓄積する炭素量について概説する。

2. まわる炭素 —土壌圏におけるガス動態—

2.1 大気と土壌中では大きく異なるガス組成

私たちが日常的に触れる大気と土壌中の空気とでは、その組成は大きく異なる (表-1)。ここでは、大きく2つの違いについて紹介する。

2.1.1 大きく変化するガス濃度

大気は地表高さ 80km ほどまで、その組成はほぼ一定なのに対して、土壌中では、わずか深さ数十 cm で濃度が大きく変化する。CO₂ は、大気中では 0.03% 程度だが、土壌中ではしばしば、深さとともに濃度が 10 倍以上高くなる。CH₄ の濃度変化はもっと激しく、大気中では、0.0002% 程度であるが、森林土壌では、0.00001% 程度の土壌もあれば、逆に 1% を超える土壌もある。これは、土壌中では、有機物の分解による CO₂ 生成が圧倒的に卓越するが、CH₄ については、土

表-1 大気と土壌空気の成分組成 (陽 (1994) から改変)

	大気	土壌空気
		vol %
N ₂	78.09	75 ~ 90
O ₂	20.94	2 ~ 21
Ar	0.93	0.93 ~ 1.1
CO ₂	0.035	0.1 ~ 10
CH ₄	0.000	tr ~ 5
N ₂ O	0.000	tr ~ 0.1
		ppmv
Ne	18	
He	5.2	
Kr	1	
H ₂	0.5	
CO	0.1	
Xe	0.08	
		その他極微量成分
	O ₃ , NH ₃ , NO ₂ , SO ₂	炭化水素類, NH ₃ , NO, NO ₂ , H ₂ , H ₂ S, CS ₂ , COS, CH ₃ SH, DMS, DMDS, 揮発性アミン, 揮発性有機化合物

壤中で生成と消費のどちらも起こりうるためである。大別すれば、森林土壌と畑土壌は CH₄ の吸収源、水田と湿地土壌は CH₄ の放出源である。土壌における CH₄ の吸収と放出はそれぞれ別の微生物群がつかさどっており、土壌による CH₄ 吸収は CH₄ 酸化菌による CH₄ 消費、土壌からの CH₄ 放出は CH₄ 生成菌による CH₄ 生成が卓越することで生じる。古くから知られている硝化菌、脱窒菌、窒素固定菌の中にも CH₄ 酸化や CH₄ 生成の能力を持つ種がいることも確認されている。CH₄ 酸化菌は好気性、CH₄ 生成菌は絶対嫌気性であるため、大気から酸素を取り込みやすい森林土壌や畑土壌は CH₄ の吸収源になりやすいのに対し、高い水分率環境によって大気からの酸素の拡散が阻害されて酸素が不足する水田や湿地土壌は、CH₄ の放出源になりやすい。相反する環境を好む細菌群だが、酸素濃度の不均質な土壌では、

一見、土壌によるCH₄吸収もCH₄放出も見られないからといって、それはCH₄酸化菌もCH₄生成菌も活動していないとは限らず、両者の働き（活性）が拮抗している可能性もある。

2.1.2 検出される様々なガス種

土壌中では、大気中ではほとんど見られないような微量成分がたくさん検出されるのも特徴である（表-1）。例えば、森林生態系で生成されるBVOCの多くは、植物や菌類等さまざまな生物によって二次代謝産物として作られているが、大気中では、光とオゾン（O₃）の存在によって、数分から数時間で速やかに分解される。それに対し、土壌中では、光は届かず、O₃も存在しないので、大気中よりも分解を受けにくいいため、多くの微量成分が検出されると考えられる。

2.2 土壌を巡るガス態としての炭素

ここでは、CH₄とBVOCに関する最近の研究から、我が国に関係するもの、国際的な関心があるものに分けて、4つのトピックスを紹介する。

2.2.1 日本の森林土壌のCH₄吸収は大きい

日本の森林土壌のCH₄吸収の特徴を明らかにするために、全国規模の観測をおこなったところ、それまでに欧米を中心に世界各国で行われてきた観測値と比べて、日本のCH₄吸収量は倍程度大きいこと、特に黒色土でほかの褐色森林土などの土壌と比べてCH₄吸収量が大きかった（図-1）。これは黒色土がほかの土壌よりも容積重が小さく、大気中のCH₄や酸素が土壌中へ拡散しやすいためと考えられる。黒色土は主に火山放出物を起源とする土壌であり、火山国日本では、広く森林土壌は火山放出物の影響を受けているため、CH₄吸収量が大きいと考えられる。日本以外でも、容積重が小さい土壌ではCH₄吸収は大きい傾向が確認されている（Ishizuka *et al.* 2009）。

2.2.2 αピネンは葉だけでなく林床からも放出する

αピネンは、モノテルペン（C₁₀H₁₆）の一種であり、樹木が生成する主要なBVOCとして知られている。主に葉で生産されており、落葉（リター）からは、それまでに蓄積したαピネンが放出している可能性がある。深山ら（2016）は、森林総研構内（茨城県つくば市）のアカマツ林床からαピネンが放出しており、リター堆積量とαピネン放出量の間に相関関係が見られない（図-2）等の解析結果から、リター以外にも、樹脂成分、根系からの放出も空間変動の要因として注目する必要がある

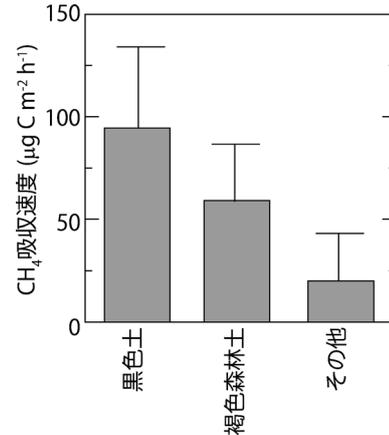


図-1 日本の森林土壌における土壌型別のCH₄吸収速度 (Morishita *et al.* (2007) を改変)

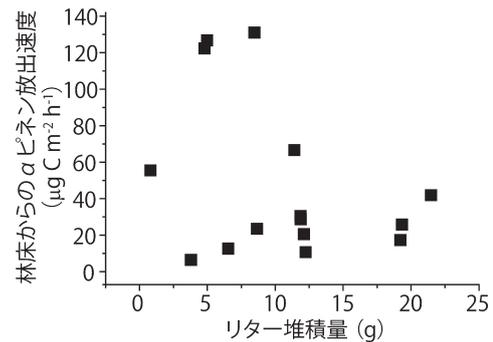


図-2 アカマツ林床からのαピネン放出速度とリター体積量の関係 (深山ら (2016) より作図)

あることを指摘している。また、αピネンとして放出される炭素量は、土壌によるCH₄吸収量に匹敵する可能性もある（図-1、2）。

2.2.3 森林土壌はCH₄の吸収源だが、樹木は放出源

従来、森林生態系は、系全体としてもCH₄吸収源として考えられてきた。しかし、植生から全球で62～236 TgものCH₄が放出している可能性が報告された（詳しくは、石塚・高橋（2006）を参照。原典はKeppler *et al.* (2006)）ことを皮切りに、植生からのCH₄放出が注目された。日本でも、実際に様々な樹種の葉からCH₄が放出することが確認されている（図-3）。また、樹幹表面からCH₄が放出することも報告されている。河畔域のハンノキ林では、土壌表面はCH₄を吸収している一方で、樹幹表面からはCH₄が放出していて、これは、土壌深層で生成されたCH₄が、樹体を通じて、大気へ放出しており、土壌温度、地下水位深、土壌水中CH₄濃度が重要な制御因子である可能性を指

摘している (Terazawa *et al.* 2015)。

2.2.4 降水量の増加は、シベリアの森林土壌の CH₄ 吸収を放出に転じさせる恐れ

永久凍土中には高濃度の CH₄ が閉じ込められており、温暖化を原因とする融解によって、CH₄ が大気に放出して、温暖化が助長される可能性があり、国際的な関心が高もっとも高いテーマの一つである (IPCC 2013)。近年の中央シベリア永久凍土地帯カラマツ林における研究から、降水量の増加によって土壌水分率が上昇し、CH₄ 吸収源だった森林土壌が CH₄ 放出源に転じる可能性が指摘された (図-4)。シベリア永久凍土地帯では、森林は平地や緩傾斜地に広く分布する。通常、林床に達した雨は、土壌下層へ浸透するか斜面下方向へ流れていくが、この地域では永久凍土によって、水が下層へ浸透できず、溜まりやすい環境であるため、CH₄ が生成しやすい環

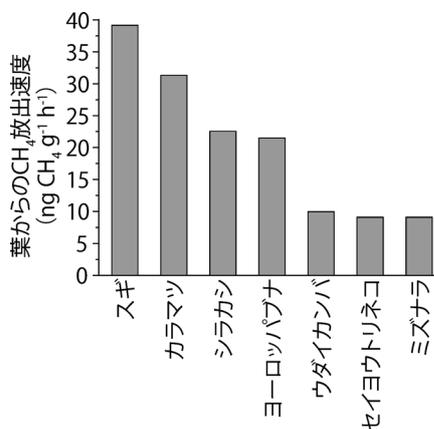


図-3 樹種別の葉からの CH₄ 放出速度 (Kitaoka *et al.* (2007) より作図)

境が生じたと考えられる。

3. たまる炭素—土壌による炭素蓄積—

“炭素の大きな動き”については、様々な情報が、異なる情報源に玉石混交となって氾濫しているため、知りたい情報に正しく、素早くたどり着くことが困難な場合がある。ここでは、その“糸口”にもなる森林土壌の炭素量の位置づけと、“掘り所”となる知見へのアクセスの仕方について紹介する。

3.1 森林土壌の炭素を“俯瞰”する —[IPCC 報告書]を覗く—

炭素蓄積・循環における森林土壌の位置づけを知るための誰もが入手可能で精度が高い資料は、やはり IPCC 報告書 (http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data_reports.shtml) である。

土壌に蓄積する炭素量はおおむね大気中の炭素量の 2 倍、植生の約 3 倍と大きい (表-2)。ただし全球的には、

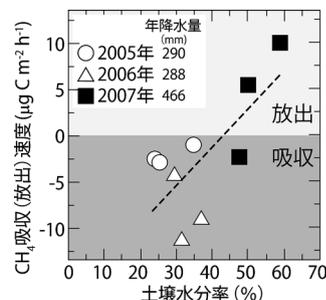


図-4 中央シベリア永久凍土地帯カラマツ林土壌における CH₄ 吸収 (放出) 速度と土壌水分率の関係 (Morishita *et al.* (2014) を改変)

表-2 これまでの全 IPCC 報告書における土壌炭素蓄積源とその推定蓄積量

IPCC 報告書 発行年		第 1 次 1990	第 2 次 1995	第 3 次 2001	第 4 次 2007	第 5 次 2013
大気		750	750	730	762	829
陸域	植生	550	610	500	2361	420-620
	土壌	1550	1580	1500		1500-2400
海洋	海洋表層	1000	1020	38000	918	1055
	海洋中層・深層	38000	38100		37200	37255
	海洋生物	3	3		3	3
	溶存有機炭素 表層堆積物		< 700		150	700 1750
化石燃料 永久凍土				3700	1002-1940 ~ 1700	

海洋の炭素蓄積量は、土壌の20倍以上もの量であり、地殻には、 6000×10^4 Pg Cもの炭素が蓄積している(Chapin *et al.* 2002)。全球規模の炭素循環図で、地殻に蓄積している炭素が書かれていないことが多い。これは、この層の炭素は、岩石や堆積物を構成する炭素であり、生物と相互作用がほとんどなく、「炭素循環に寄与しない」という考え方に基づくためである。また、最新の第5次IPCC報告書では、初めて永久凍土中の炭素量が、図中に示された。このように、全球規模の炭素循環図と謳っていても、目的や知見の集積度合によって、描かれ方が変わってくる。

生態系ごとに着目すると、植物については、熱帯の方が、亜寒帯や温帯よりはるかに大きな蓄積源であるのに

対して、土壌は亜寒帯が一番の蓄積源である(表-3)。気温が高い熱帯では、有機物の分解が進みやすいことが大きな理由としてあげられる。ちなみに我が国の森林土壌の炭素蓄積量は、4.57 Pg Cと見積もられている(Morisada *et al.* 2004)。余談になるが、一番身近な炭素蓄積源と言えば、我々人類そのものではないだろうか。そこでいくつかの荒い仮定を基に見積もったところ(下記コラム)、0.03 Pg C程度であり、各生態系が保持する炭素蓄積量に比べると極めて小さいようだ。

コラム：ヒトが貯めている炭素はどれくらい？

$$65 \text{ kg} \times (1-0.6) \times 186 \text{ g C/kg} \times 70 \text{ 億人} = 0.034 \text{ Pg C}$$

一人あたりの重さ × ヒトの水分率 × ヒトの炭素含量 × 世界人口

エレベーターの定員の計算(建築基準法)より | Carter & Tibbett (2007) の Table 2.1 より

表-3 生態系別の植生と土壌における炭素蓄積量 (IPCC (2001) から改変)

	面積 10 ⁹ ha	炭素蓄積量		計
		植物	土壌 Pg C	
ツンドラ	0.95	6	121	127
森林	亜寒帯	1.37	88	471
	温帯	1.04	59	100
	熱帯	1.76	212	216
疎林・草原	温帯	1.25	9	295
	熱帯	2.25	66	264
乾燥地	4.55	8	191	199
湿地	0.35	15	225	240
耕地	1.60	3	128	131

3.2 森林土壌の炭素を“理解”する —「森のバランス」を読み解く—

「森のバランス」(森林立地学会編 2012) は、その対象読者層が、「森林科学」の読者層とほぼ一致する“掘り所”となる最新の解説書であり、執筆者の多くが当学会員である。土壌炭素について知りたい場合、通して読むよりも図-5 で示す読み方が有効であると思われる。まず「第20章 炭素の循環」で、循環様式の概要を知り、続いて、「第二部 森林の有機物動態」で、有機物の「生産(第13、14章)」「分解(第15、16章)」「蓄

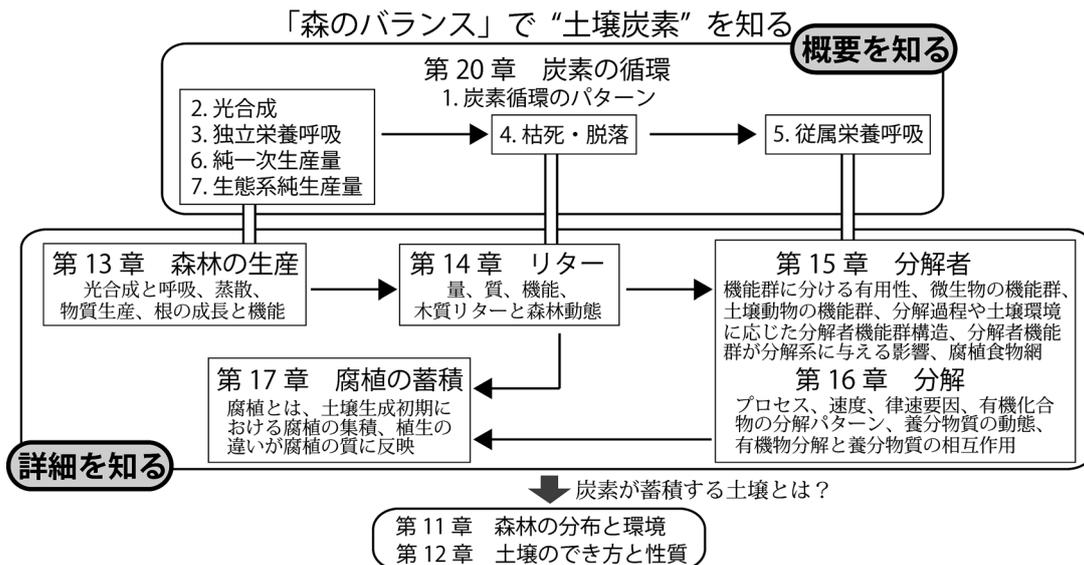


図-5 土壌に蓄積する炭素について理解するための「森のバランス」の読み方

積 (第 17 章)」について読むことで、“土壌炭素”についての理解をより深めることができる。土壌そのものに興味を持ったなら、土壌の分布 (第 11 章) や性質 (第 12 章) についても概説されている。

4. おわりに

土壌圏を巡る炭素については、冒頭でも触れたように、様々な研究分野で多くの研究者に取り組みられているテーマであり、集積する知見の量も多ければ、情報 (数値) の更新も速い。今回の特集では、 CH_4 と BVOC に注目したが、もちろん、一番大きな動きを示す炭素化合物は CO_2 であるし、森林生態系における窒素循環とも関連深い一酸化二窒素 (N_2O) も、また温室効果ガスである。さらに、これらガス同士の相互作用の可能性もあることから、多くの研究が取り組まれているとはいえ、まだまだ驚くような現象の発見や、にわかに信じられないようなメカニズムが解明される分野であると思う。

引用文献

- Chapin FS *et al.* (2002). Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology. Springer, 335-355
- Carter DO and Tibbett M. (2007) Soil analysis in forensic taphonomy. CRC Press, 29-51
- IPCC (2001) Climate Change 2001, Cambridge University Press
- IPCC (2013) Climate Change 2013, Cambridge University Press
- 石塚成宏・高橋正通 (2006) 森林科学 47: 67-69
- Ishizuka S *et al.* (2009) Biogeochemistry 92: 281-295
- Keppler F *et al.* (2006) Nature 439: 187-191
- Kitaoka S *et al.* (2007) J. Agric. Meteorol 63: 201-206
- 陽 捷行 (1994) 土壌圏と大気圏、朝倉書店
- Morisada, K *et al.* (2004) Geoderma 119: 21-32
- Morishita T *et al.* (2007) Soil Sci. Plant Nutr. 53: 678-691
- Morishita T *et al.* (2014) Polar Science 8: 156-165
- 深山貴文ら (2016) 日林誌, 98: 59-64
- 森林立地学会編 (2012) 森のバランス, 東海大学出版会
- Terazawa K *et al.* (2015) Biogeochemistry 123: 349-362

林業遺産紀行 第5回



全国緑化行事発祥の地の発見

小泉 章三 (こいずみ しょうぞう、元東京営林局沼津営林署長)

1933年(昭和8年)、大日本山林会を中心とする愛林日設定委員会は、毎年4月2日から4日までを「愛林日」と定め、全国一斉に愛林行事を催すことを提唱した。これを受けて、翌1934年の第一回の愛林日に、筑波山麓の鬼ヶ作国有林内(茨城県桜川市真壁町大字羽鳥:茨城森林管理署鬼ヶ作国有林208林班ぬ₂小班)において、当時の農林政務次官、農林次官、山林局長らの出席の下、初の全国規模の植樹行事が実施された。この背景には、世界恐慌の影響による農山村の疲弊と失業問題を解消し、森林の多面的機能を発揮させる上で、全国的に植樹活動の機運を盛り上げることが重要との認識が存在した(中尾、1934)。その後、愛林日を記念した植樹行事は、戦争の影響による2度の中断を経て、1950年から今日に至るまでの「全国植樹祭」へと引き継がれていくことになった。

私がこの記念植樹地の発見に携わるようになった契機は、戦前・戦後を通じて国土の緑化事業を先導し、多大な功績を残された徳川宗敬先生との会話であった。1984年の秋、林野庁退官と再就職の挨拶に千石の徳川邸を訪れた際、徳川先生は、身を乗り出すかのようにして、私に第一回愛林日の記念植樹地について次のような思いを語られた。「今日の全国的な緑化運動の原点は、昭和8年に提唱した愛林日にある。その第一回愛林日の記念植樹行事は、昭和9年に筑波山麓で行われ、私も参加した。しかし、今日、現地は埋もれてしまって世に知られておらず、当時の関係者も恐らく私だけではないかと思う。今、探しておかないと永久に埋もれてしまう恐れもある。私自ら動いて探したいのだが、調査の結果、現地を確認できないとか、その時の植樹木が伐られていたとなると、他に迷惑をかけるのでそうもいかない。ただ、緑化運動の歴史を明らかにするために、この地の存在を確かめたいと永らく思っていた。現存していれば

訪ねてみたいもの」と。当時、米寿をお迎えの先生は、50余年前の植樹の地に再び足を運び、緑化の原点を確かめたい、との緑化運動に対する熱い思いを抱かれていたのである。

帰り際、玄関先での「急がなくてもよいのだよ」という徳川先生の気遣いの言葉は、確答を避けた私の耳になぜか「しっかり頼んだからね」と聞こえたから不思議であった。以後、私はこの先生の情熱に応えるべく、自身の会社業務と並行して、各方面への働きかけと資料収集を開始した。まず、当時の国土緑化推進委員会(現:機構)に協力を求め、中央での情報収集に入ったところ、大日本山林会から、第一回愛林日を特集した『山林』618号(昭和9年5月号)が提供され、国立国会図書館では、第一回愛林日にNHKラジオで放送された特別番組「愛林の夕べ」の放送記事を発見するなど、この記念植樹行事の概要・背景は順調に把握できた。しかし、問題の植樹現場を裏付ける資料は全く見つけることができなかった。

やや落胆していた私の下に、筑波山麓を管内にもつ笠間営林署から「愛林日の記録と思われる資料を発見、ぜひご来署を!」との、小躍りするような情報が寄せられたのは、翌1985年1月のことだった。同年4月、国際森林年の中央会場(八王子市)にて、徳川先生に「見つかるかも知れません」と伝え、「期待しているからね」との励ましを受けた私は、笠間営林署を訪問し、職員の方々の協力を得ながら同署保存文書の読解を進めた。その結果、昭和10年代の筑波事業区の森林調査簿と国有林野事業造林台帳から、幸運にも、第一回愛林日の記念植樹地を特定することができた。昭和12年度の第3次検訂施業案編成時のものと推定される森林調査簿には、鬼ヶ作国有林内の現:208林班ぬ₂小班に含まれる小班的備考欄に、「第1回愛林日植栽地」との文字が確実に

記されていた。この施業案編成時の基本図が規定により廃止されていたため、昭和11年度の国有林野事業造林台帳にその所在を求めたところ、当該小班の造林基本図（トレーシングペーパー）を発見し、コピー機にかけたところ、「第1回記念植栽地」の文字が地図上に浮かび上がってきたのである。戦後、この地区の国有林は、売払いによる林野整備の対象ともなっていたが、国有林野境界図と照合させた結果、この植樹地は辛うじて国有林内に留まっていた。

早速、この成果を確かめるべく、私達は同年5月下旬に現地確認調査を実施することにした。それに際して、当時、青年団としてこの行事に参加していた地元の鈴木喜一郎氏に巡り合うことができ、同行をお願いしたところ、鈴木氏の指し示した場所と、書類調査で判明した場所が完全に一致した。ここに至って、疑いもなく同地が「第1回愛林日の記念植樹地」であることを確認することができたのである。そしてそこには、樹齢52年生のスギ・ヒノキが見事に成林していたのである（写真）。なお、記念植樹の際、農林大臣の参加が予定されていたため、地元では記念植樹地を「大臣窪」、植樹に向かった歩道を「大臣道」と呼んでいたことも、この確認の大きな一助となった。

こうして、緑化のロマンを求め、8ヶ月余にわたった発見調査は、緑化に対する徳川先生の情熱と関係各位の協力に支えられて成功裏に終了した。

翌1986年4月23日、徳川先生の主導による「全国緑化事業発祥之地」の記念碑除幕式は、春の陽光のなか、農林水産事務次官、林野庁長官、大日本山林会長、茨城



写真 第1回愛林日の記念植樹地

県副知事等の参加のもとに盛大に挙行された。雨上がりの山道を案内した私が、「ここが第1回愛林日記念植樹地です」と伝えると、黙って林内に入られた徳川先生は、半世紀ぶりに再び対面するスギ・ヒノキの幹に手を添え、私を振り返って「にっこり」と微笑まれた。いま一人記念碑を訪れるとき、「緑化運動の歴史として、これを顕彰し後世に伝えたい」とした徳川先生との思い出の扉が、心の中で開かれるとともに、その実現の力となれた喜びと誇りが湧きあがってくる。

引用・参考文献

- 中尾桂一郎（1934）愛林日の意義。山林：616, 5-9
 国土緑化推進機構（1990）緑化の父 徳川宗敬翁

最終氷期の生き残りの天然スギ

福井県高浜町—青葉山—

津村 義彦 (つむら よしひこ、筑波大学生命環境系)

はじめに

スギは我が国で最も重要な林業樹種である。成長がよく、材が通直で加工しやすいことと、生育適地が広いことなどがその理由としてあげられる。これまでに多くのスギ人工林が造成され、我が国の全人工林面積（1,029万 ha）の約44%がスギ林である。スギの天然分布は、北は青森県の鱒ヶ沢から南は鹿児島県の屋久島にまで広範囲である。スギ天然林は過去にかなり伐採され、現在では屋久島などの大面積の天然林を除くと小面積の保護林などとして全国各地に残っている。これらのスギ天然林は育種母材や遺伝子資源として将来にわたって保全していく必要がある。

地中に埋まった過去の花粉を分析すると当時どのような植物が生育していたかを調べることができる。この花粉分析結果によると今から約2万年前の最終氷期の頃にスギは温暖な伊豆半島周辺、紀伊半島南端、四国南端、屋久島、若狭湾周辺から隠岐島にかけての地域に逃避していたと考えられている (Tsukada 1982)。最終氷期の頃にかなり大面積のスギ天然林が存在した若狭湾に面した地域に、ここで紹介する青葉山が位置している。この青葉山に天然スギと見られるような複数の個体が発見されたため予備調査を行った。ここでは青葉山の紹介、スギ天然性個体の現地調査とその後の遺伝子解析を用いた予備調査の結果について報告したい。

青葉山

青葉山は福井県高浜町と京都府舞鶴市の境界に位置し、693mの標高があり、別名「若狭富士」とも呼ばれる美しい山である (写真-1)。登山道が整備され、初級者向けの山として親しまれている。しかし、登山道を外れると急峻な地形のところも多い。山頂付近にはブナ林も見られ、暖帯性及び冷温帯性の植物が混ざった多様な植生を見ることができる。山頂付近からは若狭湾や周辺の里山を望むことができ、見晴らしが非常によい。多



写真-1 青葉山 (松岡一久氏撮影)

年草のオオキンレイカなどの希少種も見られ、京都大学と地元が協力して積極的に保護活動が行われている。

貴重なスギ天然林

スギ天然林は本州北端から屋久島にかけて小面積ながら残っている (図-1)。このなかでも前述の最終氷期の逃避地となったスギ天然林 (伊豆半島、若狭湾周辺、隠岐島、屋久島) は他の天然林と比べ高い遺伝的多様性を保持していることが明らかとなっている (図-2, Takahashi *et al.* 2005)。とくに日本海側では若狭湾から隠岐島にかけての広域にスギの天然林が分布していたのではないかと考えられている。しかし、隠岐島にはスギ天然林が1箇所しか残っておらず、若狭湾周辺には天然スギと思われる森林の報告はほとんどない。もし、現在の若狭湾周辺にスギ天然林が存在すれば、最終氷期の日本海側天然スギの生き残りとして非常に貴重である。そこで、2015年9月に地元の方々と現地調査を行い、天然スギと思われる大きな複数の個体から材料を収集し、予備的な遺伝的解析を行った (写真-2)。その結果、このスギ集団は日本海側のスギ天然林集団とほぼ同じ遺伝的組成を持ち (Tsumura *et al.* 2014)、近隣の

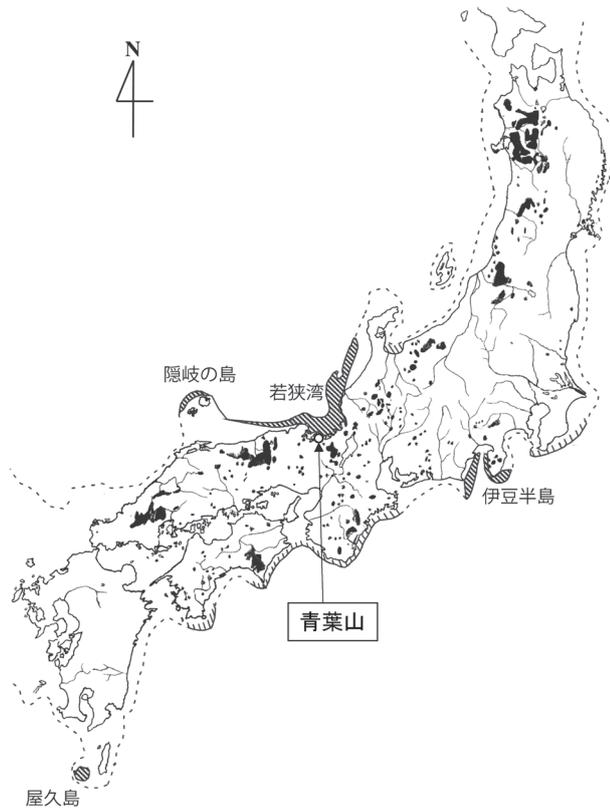


図-1 スギ天然林の分布と最終氷期のスギの逃避地
破線は最終氷期頃の海岸線を示す。地図上の黒い部分はスギ天然林の分布を示す（林 1960）。斜線の部分は最終氷期頃のスギの逃避地を示す（Tsukada 1982）。

天然スギの集団とも遺伝的に近縁であった。スギの生育している位置や個体サイズ及び遺伝的特徴から、これらのスギは若狭湾周辺のスギの天然林である可能性が非常に高い。今後の詳細な遺伝的な調査が必要であるが、現時点では天然林として保全を行っていくべきである。

引用文献

Takahashi T, Tani N, Taira H, Tsumura Y (2005) Microsatellite markers reveal high allelic variation in natural populations of *Cryptomeria japonica* near refugial areas of the last glacial period. *Journal of Plant Research* 118 : 83-90
Tsukada M (1982) *Cryptomeria japonica*: Glacial refugia and late-glacial and postglacial migration. *Ecology* 63: 1091-1105

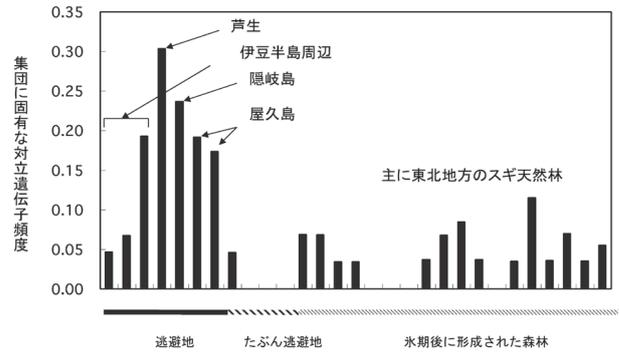


図-2 スギ天然林の遺伝的多様性
最終氷期頃に逃避地だったと考えられている地域の遺伝的多様性（集団に固有な対立遺伝子頻度）が現在の天然林でも高く維持されている（Takahashi *et al.* 2005）。



写真-2 青葉山の天然性個体と思われるスギ

Tsumura Y, Uchiyama K, Moriguchi Y, Kimura MK, Ueno S, Ihara-Ujino T (2014) Genetic differentiation and evolutionary adaptation in *Cryptomeria japonica*. *G3: Genes, Genomes, Genetics* 4: 2389-2402
林 弥栄 (1960) 日本産主要針葉樹の分類と分布. *林誌研報* 48:157

花の色は移りにけりな — 変わりゆく野生のサクラ —

勝木 俊雄 (かつき としお、森林総合研究所多摩森林科学園)

シリーズ
うごく森 29

はじめに

春になると、日本はサクラの国だと実感します。人が住んでいる集落には必ずと言っても良いほど‘染井吉野’ (*Cerasus x yedoensis* ‘Somei-yoshino’) が植えられており、美しい花を見ることができます。確かに‘染井吉野’は花が美しく、鑑賞用の樹木としてはたいへん優秀なので、学校や公園など身近な場所に植えたくくなります。しかし、‘染井吉野’は人が生み出した栽培品種であって、もともと自生していた樹木ではありません。日本列島に野生のサクラが分布していることは忘れられがちです。植物に詳しくない人の中には、日本のサクラの大部分は‘染井吉野’と信じ込んでいる場合もあるほどで、野生のサクラの現状は意外に知られていません。そして、この野生のサクラの分布や形態は、昔からまったく変わらないものではなく、現在も変化しつつあるのです。本稿ではそうした「うごく」サクラについて紹介します。

サクラの植栽

サクラはバラ科 (Rosaceae) サクラ属 (*Cerasus*) に分類され、世界におよそ 100 種、日本にはヤマザクラ (*C. jamasakura*) やエドヒガン (*C. itosakura*) など 10 種が分布しています (勝木 2015a)。種によって分布する環境や地域が異なりますが、南西諸島以外の日本の大部分の地域では、いずれかのサクラの種が分布していることとなります。サクラの花を鑑賞する風習は平安時代に始まったと考えられていますが (勝木 2015a)、江戸時代になると大規模な植栽がおこなわれるようになり、現在では全国各地でも桜の名所とよばれるような植栽地が見られます。

植栽されるサクラの種類は様々ですが、北海道南部から九州南部までは、圧倒的に数多く‘染井吉野’が植えられています。そして‘染井吉野’が生育できない北海道北部などの寒冷地ではオオヤマザクラ (*C.*

sargentii)、沖縄などの温暖地ではカンヒザクラ (*C. campanulata*) がよく植えられます。これら以外にも早咲きの‘寒桜’ (*C. x kanzakura* ‘Praecox’) や‘河津桜’ (*C. x kanzakura* ‘Kawazu-zakura’)、花色が濃い‘陽光’ (*C.* ‘Yoko’) や‘八重紅枝垂’ (*C. itosakura* ‘Plena-rosea’)、八重咲きの‘普賢象’ (*C. Sato-zakura* Group ‘Albo-rosea’) や‘関山’ (*C. Sato-zakura* Group ‘Sekiyama’) といった栽培品種など、環境や目的に応じて様々なサクラが植えられています。

都市部に植えられたサクラが自生のものに影響する懸念はほとんどありませんが、郊外や山間部など自然林に接した場所に植えられたサクラは逸出して野生化する可能性があります。例えば、沖縄本島のカンヒザクラはもともと自生しておらず人が持ち込んだ種ですが、沖縄本島北部では野生化している地域も見られます。自生するとされている石垣島のカンヒザクラも、逸出した疑いがあります。また、大規模に植栽されている‘染井吉野’は、単一のクローンなので‘染井吉野’同士では交配して種子を作ることはできませんが、他種のサクラと交雑して子孫を残せます。実際に‘染井吉野’が周囲のサクラと交雑している事例 (向井 2014) も報告されており、自生集団への遺伝的攪乱が懸念されています (図-1)。しかし、こうした野生化がもっとも危惧されているサクラはオオシマザクラ (*C. speciosa*) です。

オオシマザクラの野生化

オオシマザクラは伊豆大島に因んで命名されたサクラで、もともと関東南部の伊豆諸島と伊豆半島・房総半島だけに自生する種です (河津 2003)。しかし、成長が早いことに加え潮風が当たる厳しい環境にも耐性が高いことから、関東南部では古い時代から燃料材として利用されてきました。伊豆地方では「たきぎざくら」とも呼ばれていたほどです。また、亜硫酸ガスへの耐性が高い



図-1 東京都奥多摩町の奥多摩湖近くに植栽された‘染井吉野’てんぐ巣病の感染源となっているほか、周囲のヤマザクラなどとの交雑が懸念される



図-2 福島県いわき市の海岸林のオオシマザクラ 松くい虫被害後地にオオシマザクラが侵入し、自生のヤマザクラやカスミザクラと交雑している

ことに着目して、オオシマザクラを緑化樹として煙害跡地に植栽した茨城県日立市の日立鉱山のような例も見られます。さらには花が大きく美しいことから、鑑賞用に植栽されることも近年では増えています。こうしたことから、現在オオシマザクラは北海道から沖縄まで日本全国に植栽されているのです。

植栽されたオオシマザクラが繁殖しなければ問題はありますが、オオシマザクラの繁殖能力は高く、青森から鹿児島まで極めて広い範囲でオオシマザクラの野生化が確認されています（勝木 2014）。特に東北地方南部から中部地方にかけての海岸林に野生化したオオシマザクラが多く見られます。これらの地域の砂浜海岸には、江戸時代以降主に防砂・防風の目的からクロマツ (*Pinus thunbergii*) やアカマツ (*P. densiflora*) が植林され、いわゆる白砂青松といわれる日本を代表する景観を作ってきました。ところが、昭和時代から広がった松くい虫被害によって、マツ林は枯損が進みました。松食い虫被害跡地には、新しくまたマツ類が植林されることもありますが、放置されて野生の広葉樹が育ち二次林となった場所もあります。東北から中部にかけて放置された海岸の二次林でもっとも目立つ広葉樹が、外来種のハリエンジュ（ニセアカシア；*Robinia pseudoacacia*）とオオシマザクラではないでしょうか（図-2）。

この2種は、砂浜海岸という多くの樹木にとって過酷な環境下でも比較的早く成長することができます。したがって放置された二次林では、自生の広葉樹との競争に勝って増加していく侵略的外来種となります。どちら

の樹種も人が利用するものですから、きちんと管理された場所であれば問題ありません。しかし、放置された海岸林で増え続けている現状を考慮すると、海岸林という生態系に大きな影響を及ぼしていることは明らかです。本来その場所に生育することができたはずの自生の樹木にとって、この2種は大きな脅威となります。

また、オオシマザクラは本来この地域に自生しているサクラに深刻な遺伝子攪乱を引き起こしています。あまり意識されることはありませんが、サクラ類は山だけではなく海岸にも生育しています。特に東北地方南部ではヤマザクラとカスミザクラ (*C. leveilleana*) が沿岸部にもよく見られます。こうした場所でオオシマザクラが野生化すると、自生するサクラとの間で交雑した雑種が頻繁に生じます。筆者が観察した宮城県東松島市や福島県いわき市の海岸林では、純粋なオオシマザクラはほとんど見られない反面、ヤマザクラやカスミザクラと交雑したと思われる個体が数多く見られました（勝木 2014）。オオシマザクラの植栽が早くからおこなわれていた千葉県では、現在県内に広くオオシマザクラとヤマザクラの雑種が見られます（河津 2003）。将来何世代も繁殖を重ねていくと、こうした地域では本来自生していたサクラは残らず、オオシマザクラと雑種だけになってしまうのではと心配されます。

2011年の東日本大震災による津波被害も、このオオシマザクラの野生化を進めているようです。津波によって壊滅した海岸林は、復興事業によってクロマツなどの植林がおこなわれています。マツ類やその地域に自生す



図-3 埼玉県小鹿野町の二子山 プコウマメザクラは二子山のような急峻な石灰岩地に生育する

る広葉樹を植林するのであれば良いのですが、オオシマザクラを植えるケースも見られます。宮城県ではオオシマザクラの野生化が早かったためなのか、オオシマザクラは宮城県の自生種とする意見もあります（勝木2015b）。オオシマザクラは海岸林でも良く成長することに加え、花が観賞用とされること、さらにはこうした自生説が後押しして植栽候補の樹種にされています。また、被害程度が低かった海岸林がそのまま放置されると、オオシマザクラが侵入します。こうした結果、東北地方南部の海岸林ではさらにオオシマザクラの野生化が進みつつあるのです。

自生集団の保全

オオシマザクラは増加するケースですが、減少するサクラもあります。もっとも典型的な減少しているサクラは、ブコウマメザクラ (*C. incisa* var. *bukosanensis*) でしょう。ブコウマメザクラは関東西部の群馬・埼玉・東京の山地に分布するマメザクラの変種です。形態からは関西などに分布するキンキマメザクラ (*C. incisa* var. *kinkiensis*) に近縁と考えられていますが、まだ詳細は判っていません。ブコウマメザクラはその名前が示すように、埼玉県の武甲山などの石灰岩地に見られることが特徴です（図-3）。ところが、武甲山など石灰岩地はセメント用の石灰岩を採掘するために大規模に山体が削られます。このため、ブコウマメザクラの生育地は年々減少しています。もともと個体数が少なかったことに加え、開発行為によって個体数が減少した結果、ブコウマメザクラは国の絶滅危惧ⅠB類に指定されています。



図-4 東京都武蔵村山市の都立野山北・六道山公園のヤマザクラ 周囲に‘染井吉野’が植えられていることに加え、更新できる空間がないため、自生のヤマザクラ集団が消失することが心配される

ヤマザクラも分布が大きく変化している種です。ヤマザクラは東北地方南部から九州の暖温帯林を中心に分布しています。この地域は古くから多くの人が生活の場としていたため、常緑樹が優占する照葉樹林と呼ばれる本来の植生はほとんど残っていません。伐採後に成立した多くの二次林は落葉広葉樹が優占する林相に変化しており、ヤマザクラもこの二次林の主要な構成種のひとつとなっています。ヤマザクラは、原生的な照葉樹林よりも、人がつくった二次林に適応している樹木かもしれません。しかし明治時代以降、開発によって二次林は減少しつつあります。さらに昭和時代の燃料革命によって、二次林は薪炭材を提供する役割が失われ、放置されるようになりました。放置された二次林では、常緑樹が増加し、ヤマザクラは減少していきます。この結果、現在都市近郊における自生のヤマザクラは、繁殖できる場所が減少して、地域絶滅となるケースが少なからず生じています（図-4）。

また、ヤマザクラは木材を家具や内装材として利用するために、植林される造林樹種です。近年では花を観賞するために里山に植林されることもあります。しかし、こうした植林に用いられるヤマザクラの苗木は、どこで生産されるのでしょうか。多くの場合、他地域あるいは産地が明らかでないヤマザクラの苗木が植林されています。一見どれも同じように見えるヤマザクラですが、よく見ると個体毎に花や葉の形は異なり、開花する時期も違いがあります。特に南西日本のヤマザクラは形態的



図-5 宮崎県日南市のヤマザクラ 通常ヤマザクラよりも一ヶ月以上も早く開花する (撮影日 2013年2月28日)

な変異が見られ、遺伝的な変異も大きいことが示されています (Tsuda *et al.* 2009)。九州南西部のヤマザクラは変種のツクシヤマザクラ (*C. jamasakura* var. *chikusiensis*) として区別されていますし、紀伊半島や四国、九州東部にも、関東や関西のタイプとは異なる形態をもつヤマザクラが見られます (図-5)。こうした地域毎に違いがあるヤマザクラ集団の遺伝的多様性を保全する観点から考えると、他地域からの苗木の移動やオオシマザクラの野生化は、極めて危険です。病害虫の抵抗性や環境への適応性などが低下する恐れもあります。自生のヤマザクラを遺伝資源として保全するためには、植林する苗木は地域毎に生産していくことが必要です。

おわりに

野にある植物は、これまででも、そしてこれからも変わらないものと思われています。しかし紹介したように、日本の野生のサクラはその分布域が変化しつつあり、交雑や遺伝子攪乱によって種そのものも変わってきています。さらには、人による土地利用の変化や気候変動によって、生育する環境も変化しています。こうした短期間のきわめて急激な変化に、日本のサクラが適応して今後も健全に生き続けることができるのか、誰にも判りません。我々森林研究者には、こうした変化を的確に把握して、将来のリスクに対処していくことが求められているのではないのでしょうか。

引用文献

- 勝木俊雄 (2014) 津波跡地のオオシマザクラ—東北地方の海岸林で起きている侵略的外来種問題. 生物の科学 遺伝 68: 390-394
- 勝木俊雄 (2015a) 岩波新書 1534 桜. 岩波書店
- 勝木俊雄 (2015b) 仙台湾岸の海岸林におけるオオシマザクラの分布. 保全生態学研究 20: 101-103
- 河津英子 (2003) サクラ属. (千葉県自然誌. 千葉県史料研究財団編, 千葉県). 286-289
- 向井 譲 (2014) ソメイヨシノとサクラ野生種との交雑とその要因. 森林科学 70: 21-25
- Tsuda Y, Kimura M, Kato S, Katsuki T, Mukai Y, Tsumura Y. (2009) Genetic structure of *Cerasus jamasakura*, a Japanese flowering cherry, revealed by nuclear SSRs: implications for conservation. J Plant Res 122: 367-375

きのこが生える森林土壌の水分をはかる

明間 民央 (あけま たみお、森林総合研究所)

はじめに

植物の根に共生するきのこ(このような菌を「菌根菌」と呼びます¹⁾)が植物の水分生理に与える影響を知ろうとすると、土の湿り具合(土壌水分)について次のようなことを理解し、測れるようになる必要があります。

土壌から植物への水の移動

水分の状態や移動は、「ポテンシャル」という概念を用いて説明されます。その値は「質量あたりのエネルギー」(J/kg)で表現され²⁾、慣用的にkPaも用いられますが、ここではJ/kgに統一します。かつてはpFという対数表記も用いられました。日本の森林土壌では概ね毛細管現象によるマトリックポテンシャルですが、塩性土壌では浸透ポテンシャルも問題になり得ます。自由水面が0 J/kgで、-6.3 J/kgまでの水は重力水で重力で速やかに排水されます。-6.3 J/kgから-100 J/kgまでが正常生育有効水分範囲です。-620 J/kgまでは吸収が困難な難効性有効水分範囲となります。これを下回ると植物には吸収できなくなり、土壌水ポテンシャルが約-1500 J/kgより低くなると枯死します。これを永久萎凋点と呼びます。

植物体内の水もポテンシャルの概念で考えます³⁾。樹体内の水はポテンシャルが高い方から低い方へ移動します。土壌から植物への移動も統一的に考えることができます。土壌水ポテンシャルが-50 J/kgを下回ると土壌粒子の間の毛細管連絡が切断され(毛管連絡切断点)、水の移動が阻害されます。そのため土壌が乾燥すると根の近くにある水が枯渇することになります。菌根菌はこの状況を改善しているようです⁴⁾。

水ポテンシャルをはかる

樹木の生育条件下での土壌水分を連続測定するため、センサーとデータロガーを現場に設置して、データを自動採取することが広く行われています。センサーには多様なものがあり、条件に応じて使い分けられます。

1. テンシオメーター

水ポテンシャルは圧力でも表現され得るので、圧力計で測ります。水を満たした容器が多孔質板(通常はポー



写真-1 エアプール式テンシオメーター、設置状態の断面

ラスカップと呼ばれる一端が閉じた円筒状のセラミック)を介して土壌に接しており、土壌の吸引圧が伝わります(写真-1)。これを半導体圧力計で測定します。シンプルですが問題も多くあります。応答が遅いこと、精度が悪いこと、凍ると壊れること。特に写真にあるエアプール型は温度の影響を強く受けます。測定可能な範囲は湿潤側に限定されます。土壌の水ポテンシャルが下がって-100 J/kgに近づくと容器内が真空に近づいて「水抜け」が起き、以後測定不能になります。それでも使われるのは、水ポテンシャルを直読できるからでしょう。なお、日本の森林では水抜けはまず起こりません。

2. 誘電率センサー

一般的にTDR法とADR法が使われます。高周波をかけて水分量による誘電率の違いを測定します。TDRセンサーは安価で手軽に使い、ADRセンサーはTDRセンサーより価格と精度が高くノイズを受けにくいとされています。この方法で測るのは水ポテンシャルではなく誘電率なので、何らかの方法で誘電率と水ポテンシャルとの関係を求め、記録された測定値を水ポテンシャルに変換してやる必要があります。誘電率から含水比(土壌水/乾土)までは比較的簡単に求めることができます。

3. その他のセンサー

かつては中性子源とカウンターを用い、水分量と中性子遮蔽率との関係から土壌水分を求めることも行われました。家庭園芸用には、2種類の金属を使って土壌中に電池を形成して水分量による電池の内部抵抗の違いを測

るものがあります。フィジカルコンピューティングでは電気伝導度による測定を行う製品もあります。当然後二者に精度を求めることはできません。

水分特性曲線を求める

含水比の観測値から水ポテンシャルを求めるには、含水比と水ポテンシャルとの関係を示す水分特性曲線を作成する必要があります。土壌の性質により特性が異なるので、水分特性曲線は様々な形となります。

1. 砂柱法

飽和に近い領域について測定する場合には、砂柱法を用います。土壌試料を砂柱に密着させ、柱の特定の部分まで水浸しにすることで重力ポテンシャルをかけます。試料の水分が平衡に達したら重量を測定し、絶乾重と比較して水分量を求め、その水ポテンシャルのときの水分量を知ることができます。

2. 加圧板法

飽和から -100 J/kg 程度、装置によっては -1500 J/kg 程度まで測定できます。多孔質板の上に水で飽和させた土壌試料を入れた円筒を置き、密閉容器に入れて空気やガスで圧力をかけます。多孔質板の下には外部に開放された排水管があり、圧力で絞り出された水が排出されます。かけた圧力より低いポテンシャルの水は土中に残り、高い分は押し出されます。 -100 J/kg 程度まで専用の装置は制御ポンプで加圧します。所定の圧力をかけて排水が止まったら平衡したと見なし、減圧して試料の質量を測定します。低圧から始めて順次圧力を上げて繰り返し測定します。

より広い範囲の水ポテンシャルを測定する装置では、高圧の窒素ガスで加圧します。低ポテンシャル領域では平衡するまで非常に時間がかかります。 -1500 J/kg では数週間待つこともあります。

平衡・秤量・加圧のサイクルを終えたら、絶乾重を測定してそれぞれの土壌水ポテンシャルに相当する含水比

を求めます。加圧板法では時間さえかければほとんどの領域の水分特性曲線を求めることができます。

3. サイクロメーター法

乾燥領域に適しています。サイクロメーターと呼ばれる専用測定装置を用い、土壌水ポテンシャルと測定室内の水蒸気圧を平衡させ、水蒸気圧を測定します。かつては乾湿球式で測定したが、今では露点ミラー式が用いられます。加圧板法では乾燥領域の測定には非常に時間がかかりますが、サイクロメーター法では比較にならないほど短時間で測定できます。ただし不攪乱試料には向きません。

4. 遠心法

最近是用いられなくなりました。加圧板法で圧力をかける代わりに遠心分離機を用いました。土壌試料が自重で潰れて物理性が変化してしまうため精度が劣ります。

これらを組み合わせて、測定対象となる土壌の水分特性曲線を作成します。これが完成してはじめて、誘電率法などで得た含水比の観測データから土壌の水ポテンシャルを知ることができるようになります。土の湿り具合を正確に理解するのは、結構たいへんなのです。

引用文献

- 1) 奈良一秀 (2014) 木を育て、森を生み出す微生物「菌根菌」. 森林科学 70: 31-34
- 2) Campbell GS, Norman JM (2003) 生物環境物理学の基礎 第2版 (久米他訳). 森北出版
- 3) 丸山 温 (1996) 樹木の中の水ポテンシャル. 森林科学 17: 63
- 4) 明間民央 (2005) クロマツ苗の針葉木部圧ポテンシャルに及ぼす菌根菌接種の影響 九州森林研究 58: 162-163

林業生産専門技術者養成プログラムの取り組み

奥山 洋一郎 (おくやま よういちろう 鹿児島大学学術研究院 農学系)

1. はじめに

日本の森林管理の担い手を今後どうするのか、人材の確保、育成については政府も多額の予算をつぎ込んで様々な施策を推進しています。大学が貢献できることとして、人材確保という点では大学教育の中で森林管理技術者としての基本的な資質を持つ学生を育てて、現場に送り込むことがあります。もう一点、人材育成という点では大学の持つ教育・研究基盤を活用して、現場で実際に働いている技術者に対して必要な教育を提供することが考えられます。これまでも、大学教員が個人として国や県の研修に講師等で招かれる事例は多くありましたが、鹿児島大学では、その取り組みを一步進めて組織として実施する体制の構築を進めてきました。具体的には、農学部附属演習林の業務の一環として社会人林業技術者教育を位置づけて、地域の関係者と協力しながら取り組んできました。本稿では、2007年に始まり10年目を迎えた「林業生産専門技術者養成プログラム」の取り組みについて紹介します。

2. 実施の経緯

鹿児島大学でこのような取り組みが実施された背景には、林野庁の「新生産システム」事業の鹿児島圏域のコンサルタントを大学として引き受けた、と経験があります。新生産システム事業は2006年から2010年まで実施されましたが、同事業では「地域材の利用拡大を図るとともに、森林所有者の収益性を向上させる仕組みを構築するため、林業と木材産業が連携した」(林野庁2011)各種の取り組みを展開しました。鹿児島圏域においても地域の林業について多くの課題が浮かび上がり、その中で現場の作業を担う中核的人材への教育の必要性が強く認識されました。新規に雇用される労働者に

対しては、2003年から開始された「緑の雇用」事業等により手厚い研修が実施されるようになっていました。しかし、既に現場の中核を担う班長クラスについては、現場の中で技術を認められて登用されるのが一般的で、資格取得を除くと研修を受ける機会もない状況でした。この時、高性能林業機械の普及や合板工場の国産材回帰による需要変化等の大きな動きが起きていました。新生産システム事業でも新しい状況に対応できる事業体の育成に取り組んでいたものの、現場の班長、本学ではあえて「親方」とも呼んでいます。厳しい言い方をすると、彼らがこれまでに獲得してきた経験では対応できない局面が増えてきていました。大きな変化に対応できるだけの知識・技能を持たないと、需要を読み違えたり、高性能林業機械への過剰投資で経営危機に陥る事態になってきました。そこで、本学では「新しい親方」の育成を目指して、社会人向けの「林業生産専門技術者養成プログラム」を開始することとなりました。科目構成は図-1の通りですが、先に実施経緯について説明します。

実施にあたっては、2007年から2009年までは、文部科学省「社会人学び直しニーズ対応教育推進事業」、2010年度には林野庁「林業経営者育成確保事業(中堅林業技術者養成)」による支援を得て、プログラムコーディネーター(専任教員)の雇用、学外講師旅費・謝金、実施経費(教材費、バス費用)等を確保してきました。講師の派遣については、林野庁九州林管理局や鹿児島県庁とその関連団体に協力を得ることができました。実験的な試みに対して、関係官庁から異なる枠組みで支援を得られたことは大きな成果でしたが、問題は外部からの支援にいつまでも依存できないことでした。そこで内部で話し合った結果、2011年からは附属演習林が実施主体となり技術職員1名が事務局担当業務を担うことに

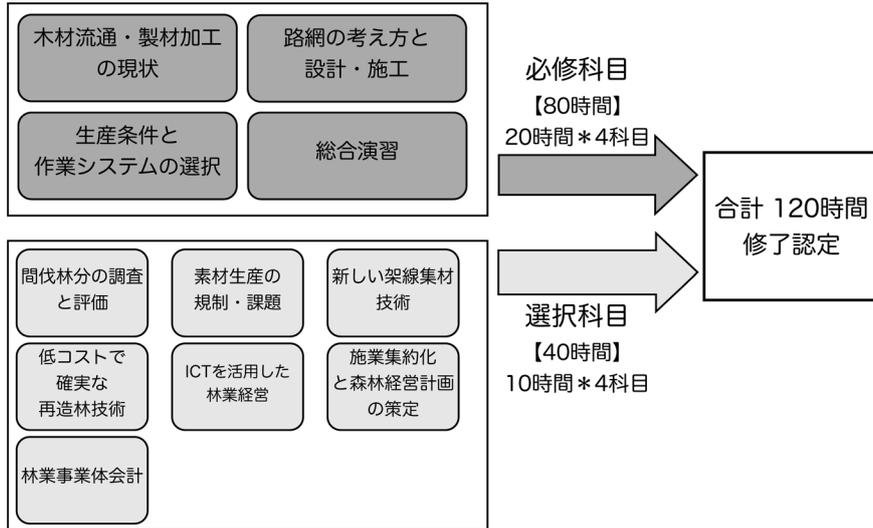


図-1 科目構成

なりました。これはプログラムの実施場所が演習林であり、技術職員全員に受講経験があること、外部から受講に来た技術者との交流によりこれまでの演習林施業の方法で見直すべき点に気がつき、その成果を組織として共有できたことが大きいと思います。

3. プログラムの内容

林業生産専門技術者養成プログラムは、実は2016年度から大幅にやり方を見直すことになっていますが、これまでの実施方法について初めに説明します。プログラムはのべ15日間で、演習林での合宿形式で2泊3日～3泊4日ずつの組み合わせで実施します。合計120時間の講義を全て受講することで、学長名で「履修証明書」を発行します。この履修証書は学校教育法に規定された公的な証明で、本プログラム修了者は林業技士の受験資格要件が短縮になる等のメリットがあります。これまでの9年間で139名が受講しました(表-1)。この人数は九州の林業界では一定の規模になりつつあり、別の研修等で受講経験者同士が顔を合わせたり、受講時の関係を活かしてビジネスにつなげるという事例も出てきています。プログラムの様子は写真-1～3のように、講義と演習、実習の組み合わせですが、注意している点として座学偏重にならないこと、そしてグループワークと発表の機会を設定することです。現場作業中心で働いている受講生に、あえて報告の機会を与えることは難しい課題なのですが、新しい時代の親方には「背中語る」だ

表-1 受講生の属性 (2007～15年)

業種	受講者数
森林組合	32
素材生産事業者	88
行政・大学職員	9
その他	10
小計	139

所在県内訳：鹿児島(67)、宮崎(22)、熊本(19)、大分(16)、福岡(7)、佐賀(3)、長崎(2)、九州外(3)

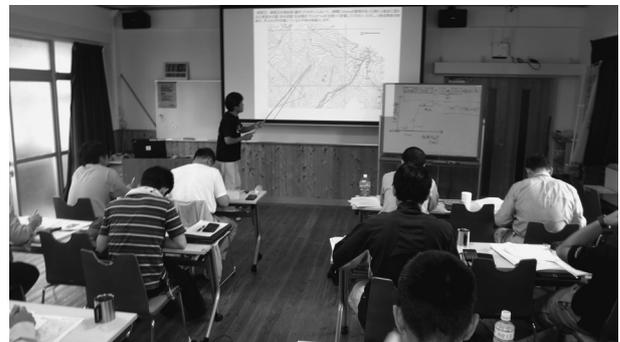


写真-1 講義風景 (地形と地質の基本)



写真-2 演習風景 (集約化の方法)



写真-3 実習風景 (作業システム)



写真-4 懇親会風景

養成する人材像

【1】 森林所有者等（フォレスター，森林施業プランナー，森林組合など）からの木材生産の依頼に対し，資源循環利用を考えた適正な生産システムによる現場管理ができるようになること

【2】 対象森林の状況を判断し，（1）適正な生産システム（高性能林業機械の運用，人員の配置等）の選択，（2）壊れにくく効率の良い作業路網の作設（地質，地形等から路網密度，幅員等を最適化），（3）安全・環境に配慮しながら，生産費用・収益の見積もりを正しく行うことができるようになること

【3】 木材生産に関わる諸規制，木材流通・利用の最新動向を考慮し，木材市場及び直送需要等の状況に応じた最適な選木・採材ができるようになること

図-2 養成する人材像

けではなく、別な知識や経験の伝達方法も身につけてほしいという思いがあります。実際、事業受注の際にプレゼンまでは行かなくても、説明を求められる機会は増えています。林業で働いている人は事務職等の前職をお持ちの方もいるので、その方々を核にして想像よりも案外スムーズに進行しています。コミュニケーションという点では演習林での合宿形式なので、懇親会を通じた関係づくりという点も好評です（写真-4）。

科目構成で本年度から大きく内容を見直した点として、これまでは120時間のプログラムが全て必修だったのを、必修科目（4科目：80時間）と選択科目（7科目から4科目選択：40時間）に区分して、受講者が自分の職務や関心を考えて自分でカリキュラムを編成できるようにしました（図-1参照）。これについては内部でも議論はありましたが、プログラムを開始してから10年近く経過して、現場では当初設定した課題を越え

た様々な動きも起きています。例えば、車両系で間伐をどう進めるかというのが10年前の主要課題だったのですが、現在は皆伐再造林や架線集材の技術というのも必要とされています。当初は多くの現場では「作業日報」を付ける習慣がなかったのですが、その点の改善も進んでいます。むしろ、日報で得られたデータを経営にどう活用するのか、という事が求められています。これらの新しい課題を積み増すと、業態と合わないという受講生も発生する可能性があります。そこで、共通した課題となる部分（必修科目）と新しく整理した課題（選択科目）の二部構成としました。選択科目については、定員に余裕がある場合には個別に募集する予定です。

プログラムで養成したい人材像は、図-2の通りです。基本的には森林所有者やフォレスターや施業プランナーからの依頼に応えて、適正な現場管理ができること、そのためには最新の調査技術や生産システム、路網作設方

法を理解しながら、木材販売や素材生産に関わる諸規制についても知識を持つ現場のリーダー、これが本プログラムの想定する「新しい親方」像です。そのために図-1に示した11科目を用意して、本年度も6月から11月までの予定でプログラムを実施する予定です。

4. おわりに

本プログラムは、今年度から文部科学省の職業実践力育成プログラム（BP）に認定されました（2016年4月16日取得、http://www.mext.go.jp/a_menu/koutou/bp/index.htm）。BPとは、Brush up Program for professionalの略ですが、社会人の職業に必要な能力の向上を図るために、大学や専門学校で開講される実践的・専門的なプログラムを普及させるための認定制度です。大学で林業者を主対象にした課程は、愛媛大学大学院森林環境管理特別コースと鹿児島大学林業生産専門技術者養成プログラムだけとなっています。同制度の認定は厚生労働省の教育訓練給付制度とも連携しており、プログラムの社会的な責任は高まっています。

今後の課題としては、社会人教育の取り組みを学生教

育とどう連動させるかという点があります。これまでも各教員の判断でプログラムの一部科目を学生が受講した事例はありましたが、業務の時間を削って勉強に来る社会人と共に学ぶことは、学部生・大学院生にとって目に見える以上の成果を上げていると思います。現在、演習林教員を中心に、林業生産専門技術者養成プログラムを本学や他大学の学生も受講できる枠組みとして「共同利用セミナー」の創設準備を進めています。具体的な募集方法等は、附属演習林ホームページで広報する予定です（<http://ace1.agri.kagoshima-u.ac.jp/~takakuma/>）。

今後も、鹿児島大学の森林科学関係教員は、木材生産が活発な南九州地域に所在する地方国立大学として、地域の各主体と共同しながら、環境に配慮した持続可能な資源利用、素材生産経営等に資する教育・研究の取り組みを進めていきたいと考えています。

引用文献

林野庁（2011）平成23年度 森林・林業白書．財団法人 農林統計協会：127

木挽き職人

二階堂 太郎

(にかいどう たろう、国立科学博物館 筑波実験植物園)



私の母方の祖父、佐々木寅一は新潟県新潟市にて名の知れた木挽き職人であったそうです。私が小学生の頃には仕事を引退していたので、実際の作業を見たことはありません。また、私が新潟弁を会得する前に他界しており、直接話を聞く機会もありませんでした。こんな理由から、祖父の業績を裏付けるものは母が繰り返して聞かせる仕事の断片だけであったのですが、大きい丸太を扱う職人として極めて優れていたと言う事柄に、私は今日まで強く惹きつけられ続けてきました。

そんな折りの3年前、祖父の長男の叔父から、昭和55年に新潟木材業界誌で掲載された記事と、昭和43年に祖父が丸太から板を挽き出すまでの一連を撮った白黒写真を5枚頂きました。記事には「現存される木挽職としてはただ一人最後まで情熱を持ち続け、未だに頼まれれば、止むなく銘木を挽いたりして居られる有名人として名を留められる人」とあります。写真はというと、野原で固定されている巨大丸太を背にして、自身の体と同じ高さと同幅がある巨大鋸を脇に持ち、眼光鋭くこちらを見据えながら立っている祖父が写っています。母から繰り返し聞いていた、作業は1人で行っていたと言うのは本当でした。ここからが写真の良い所になりますが、母が言葉で伝えきれなかった様々が写っています。まず特筆すべきは、祖父の背後に大きく写っている直径約2.5mの丸太の迫力と、その7割程度の身長で祖父が仁王立ちをしている姿の堂々たる貫禄です。そして、白い半そでシャツに白いステテコと、それらと相対するかのようには日焼けした黒い肌。白黒写真のコントラストが祖父の生真面目な表情をより一層引き立っています。この時の祖父の年齢は64歳ですが、とても老人には見えません。母が尊敬していた祖父の仕事内容が、私に伝えたかった祖父の実像が、四十半ばにとどく私の前によく現れたのでした。

2枚目の写真は、丸太だけが正面斜めから後方へ向かって写されています。長さが4mある事が推測され、計算すると、体積約20m³、重さ約10tのとんでもない大きさの代物であることが分かります。直径2.5mの丸太面には、地面と平行に2分割するべく作業を始めた1mほどの切れ込みが入っており、その隙間には木製の

クサビが10個打ち込まれていました。3枚目は2枚目同様に丸太を斜めに写した構図ですが、切断が4分の3進んだ箇所、祖父が両手で鋸を持ち、歯を食いしばって挽いている様子が写されています。写真が荒いながらも肩から下の腕と鋸だけがブレており、体を強固に固定して鋸を地面と平行に動かしているのが分かります。

4枚目の写真は、真つ二つに分断された半円丸太それぞれが、切断面を左にして地面と垂直に杭で固定されている状況です。その2つの切断面が完全に平面となっている事に目を見張ります。鋸の長さよりも大きい径の丸太を2分するには、左右から別々に鋸を入れなければなりません、祖父はそれをたった1人で寸分違わずに繋げたのでした。写真の裏にはスプルー材とのメモがあります。外国産なので、運送には大きな手間と金額が掛ったことでしょう。切断の失敗は大きな損失を生む事になるかなりリスクな仕事だったはずですが、5枚目の写真は場所が移って屋根のある作業場です。丸太は4分割された後に20cm厚の板となっており、それをさらに厚さ半分挽いている途中です。祖父の姿はなく、板には巨大な鋸が2本立て掛けてあります。母の話では新潟大学に一つが保管されているそうです。これで写真は全部です。

祖父は70過ぎまで現役を続け、私が18歳の時に84歳で亡くなりました。これだけの技量を持つ職人でありながら、別段それを表に出すこともなく、始終寡黙な人物であったそうです。おそらく生真面目な祖父にとってそれは話すに足りるものではなかったのでしょうか。しかし祖父は写真に撮られる事は拒否しませんでした。むしろ、一枚目の写真の表情からは、後世に残すべきものとして撮られたかのように思います。いつか誰かが写真を通じて自分の仕事を正しく理解してくれることを願っていたのかもしれませんが、黙して語らず、最後の最後まで職人であった人でした。

著者プロフィール

二階堂太郎：1970年生まれ。山形大学農学部林学科修士課程修了。新潟市のらう造景(旧後藤造園)に入社、後藤雄行氏に師事する。現在は筑波実験植物園の技能補佐員。屋外エリアの管理と教育普及に携わる。樹木医、森林インストラクター。

森林環境の持つ保健休養機能の基礎的研究と応用研究

上原 巖

(うえはら いわお、東京農業大学)

日本森林学会大会におけるテーマ別セッション

2005年(平成17年)の日本森林学会大会において、小生らは「森林環境の持つ保健休養機能の基礎的研究と応用研究」というテーマ別セッションを立ち上げ^{4,5)}、2016年3月の第127回大会で12回目を迎えた(写真-1)。

これまでの大会の同セッションでは、生理的および心理的なアプローチの基礎的研究と、研究手法、尺度開発、国内外の地域における事例・臨床研究など、多岐にわたる様々な応用研究が報告・発表されてきた。基礎的研究では、森林浴や森林景観がもたらすと思われる生理、心理的影響などが(写真-2)、また応用研究では、保健休養に供する森林環境の整備といったハードの課題や(写真-3)^{7,8)}、治療・保養プログラム作成等のソフトの課題など(写真-4)¹⁰⁾、いずれにしても多岐にわたったアプローチからの研究内容になっていることが特徴である。そのため、森林・林業関係者だけでなく、医療、社会福祉、心理、教育など、他領域&多領域の専門家とコラボレーションを行い、多面的、多角的なアプローチをとっていることもまた、本セッションの大きな特色であると言える。

森林の保健休養機能研究の特徴と現在危惧されること

森林浴、森林療法、森林の風致作用など、森林を活用した保健休養機能についての研究は、森林科学研究の中でも、一般市民からの関心が高い分野の1つである。特に昨今の「健康ブーム」の影響を強く受け、日常的な健康増進はもとより、職場における保健衛生や、医療、福祉、教育などの諸分野においても、森林利用のニーズとその可能性は大きい^{1,6)}。生活習慣病や心の健康づくりに供する森林、樹木の利用、活用手法などの調査研究は、社会的な要請を背負った代表例ともいえる。実際、



写真-1 本セッションの発表風景
(第127回日本森林学会 3月29日 於：日本大学)



写真-2 森林浴の調査・実験：血圧や唾液アミラーゼの測定(左)、風致評価(右)などがよく行われている。

一般むけの保健休養の場としての森林活用のパンフレット、ホームページなどでは、「森林では気持ちが悪く」「リフレッシュする」などの心理的な側面だけでなく、森林浴による高血圧の緩和やストレスの軽減、運動不足解消、生活習慣病の予防など、森林における身体・生理機能のスタビライザー的な側面が近年では特に強調されている。だがしかし、この点において、大きな注意も必



写真-3 関西の地域病院における森林での治療プログラムの様子（散策、樹木の芳香を楽しむ、薬用・食用樹木を見つけるなど）



写真-4 九州の地域病院における、森林治療空間づくりの様子（病院所有、病院隣接の放置人工林を整備して、リハビリテーション、作業療法の空間などに活用している）

要とされる⁹⁾。それはそうした森林の保健休養効果が定石化、定式化されてしまうことによって、いつの間にか肝心の科学性を失っていくことである。例えば、“森林に出かけると、ストレスが下がる”などの定石化、定式化が社会的な宣伝効果などを受けて一度進行してしまうと、いつのまにか科学本来の客観的な姿勢を見失い、都市環境（コントロール環境）よりも森林環境において被験者の血圧が上がったり、ストレス変化に有意差が認められなかったりした場合などは、「そんなはずはない」「悪いデータである」などと恣意的に一蹴されてしまうこともあるからだ。実際、森林環境においてストレスがあがる被験者のデータを見て、「そんな人がいるの？」と驚愕する学生や、コントロール環境に比べ、森林において有意なストレスホルモンの低下が見られなかった調査結果について、「すみません」と頭を下げている発表者を研究会などで見かけることがあった。また、“森林は癒される場、健康になれる場である”とした命題が金科玉条のように定着してしまうと、それがビジネスに応用され、“癒されることが前提条件、前提ノルマ”にも転じ、歪んだ営利、ビジネス活動を生じることにもなりかねな

い。

ユニークなアプローチの必要性

どんなに小さな森林であっても、その森林環境は一樣ではない。そもそも「常緑樹林」と「落葉樹林」ではその環境は大きく異なり、森林の整備状況によってもそれは異なる。同様に、われわれ人間も一樣ではなく、性差をはじめ、成育歴、体力、体調、生理・代謝機能、嗜好など、その個人差は大きく、さらに個人の中でも日較差や時期、季節較差などがある。ある森林は、ある人が、ある状況下において、その心身のストレスを軽減させる場となりうるかもしれないが、別のある人にとっては、ストレスをむしろ増加させる場となることも当然ながら考えられる。その森林とその人間の相性をはじめ、前記したような何通りもの組み合わせを背景に、論旨を考究することも大切である。それには、「都市環境 vs 森林」という単純な二対比較ではなく、個人宅、自室、職場、カフェ、図書館、緑の植物のある温室、海辺、草原、寺社の境内など、様々な環境との比較を通して、森林独自の効果、特徴を考察する方がより「科学的」であるとも考えられる。

また、調査・研究の手法、機器、テスターには、その時代の技術が反映されている。ウイルスがかつての光学顕微鏡ではとらえることができず、電子顕微鏡の時代になって、その姿をとらえられるようになったように、保健休養の分野においても、実は現在のテスターでは把握できない事象、物質、機構が機序している可能性もある。先に、本セッションにおける多面的、多角的なアプローチについて述べたが、意外な事象がむすびついて、ある現象を引き起こす場合もあり、そのために様々な専門性からアプローチを行う視点が必要なのである。一見かけ離れてみえる分野、事象からの捕捉でないと問題の本質に辿り着かないことは多々ある。「フェルマーの定理」という有名な数学の問題がある。小学生でも理解できる問題であるが、その証明は極めて困難な問題であり、実に350年以上にわたって未解決であった。しかし、それは何のつながりもないように思えた別の未解決問題をとくことが当の問題の解決につながることとなった¹²⁾。森林の保健休養の研究についても、いろいろな意味でユニークな切り口の異なるアプローチが必要とされる。

そして、森林において、ストレス上昇などの負の影響を表すことがあった場合、それはどんな要素からそのス

トレス値を高めるに至ったのかをそのまま素直に考察、考究する姿勢が何よりも肝要である。植物ホルモンなどでも一定量ではプラスの促進に作用するものが、一定濃度を超えると抑制のマイナス方向に作用することがある。森林においても、30分程度であれば、リフレッシュ感を感じても、数時間の継続滞在となると、閉塞感、疲労感、抑うつ感に転じることもあるだろう。あらためて言うまでもなく、「こうなるはずだ」という先入観にとられることなく、その時に得られたデータからありのままに素直に、謙虚に考察することが基本である。

最近の学説と保健休養に資する森林の意義

一般に、われわれヒトは森から生まれたとする説がある。森がサルを生み、ヒトを生んだとする説である。しかしながら、現在では、ヒトは森と平原との境（マージナル）で生まれ、発達したとする説もあり、サバンナのような環境こそがヒトにとって適切な場所（ライトプレイス）であったのでは、とする説もある¹¹⁾。たしかに森林がヒトの故郷であり、そこが過ごしやすく快適な場所であるならば、今日の森林公園などでも人々は芝地などよりも木々の繁る中の環境を最も好み、最も数多くそこで過ごしていそうなものだが、実際は、広々と見渡すことのできる緑地を選んで過ごす人が最も多いのではないだろうか。写真-5は、埼玉県のある森林公園の写真であるが、公園内の樹林内で過ごす人はほとんどおらず、木々と芝地の境界上で過ごす人が多い。これらの人々の選択行動の様子からは、森林の木々の中の空間は、本能的な畏怖感、警戒感、閉塞感をはじめ、陰影、虫類など、常に快適に過ごすことのできる場ではないこともうかがえる。

また、ホモ・サピエンスは、およそ20万年前にサハラ以南のアフリカで誕生し、6万年ほど前に世界に展開したことが明らかになった、との報告もなされている³⁾。第127回日本森林学会の本セッションでも、「人類の500万年の歴史のうち、99.99%は、森林の中での生活であった。そのため、森林浴は、その森林での生活の歴史の長い人類にとって、今なお効果がある」とする発表もあったが、その論拠を大きく変えることになるだろう。

しかしながら、森林にはたしかに保健休養の環境要素が多く、海浜、高原などの他の自然環境と同様に魅力的な場の一つである。

だが、さらにもう一步思考を進めていった場合、「森林」



写真-5 森林公園の大木の樹冠下で過ごす人々(埼玉県) 草地との境界で過ごす人が多く、森林の中で過ごす人は少数派である。

というよりも、その「空間」「空間構成」「生物集合」「色彩」「香り」「気温」「湿度」「風景認識」などの要素が保健休養の因子となり、機序していること、さらに抽象的な考察を深めると、高層ビルを代表とするような、縦横の直線が明確な都市環境ではなく、いわゆる「ゆらぎの構造」が森林環境の基盤として作用していることも考えられる²⁾。例えば、人工的空間の究極の形態の一つは、無味乾燥の牢獄、監獄である。その空間と森林空間との対比をしてみれば、その「ゆらぎ」のありがたみは、最もわかりやすい。四方を直線の壁に囲まれた単調な空間の住人にとって、あいまいで多様な自然要素やその風致作用、変化因子の多い森林は、まさに心身の感覚、感性に働きかける別世界である(写真-6)。

今後のセッションの方向性

私たちのセッションの現況で、もう一点気になることがある。それはここ数年、事例研究が少なくなったことである。一定の実験フォーマットによる調査をはじめ、室内での写真や映像を使った比較実験など、やはり一定の被験者数を確保でき、また閉じた環境でのデータ処理がしやすい研究手法に偏る傾向があるのだが、森林環境での実際の被験者、対象者を相手にした事例研究には大きな意義がある。

森林、人間ともに千差万別であると前述した。百花繚乱な事物を対象とするのであれば、はなから一般化することはひとまず置いておき、個々の事例をじっくりと考え、その要素、要因を考察することが重要ではないだろう



写真-6 いわゆる「癒し」的な森林の風景
多要素から成立する、「ゆらぎ」の構造を持つ
世界である

うか？そもそも、一般市民からの実際のニーズは個々のクライアントが抱える悩みの解消、軽減が中心である。

小生自身、国内外の複数の学会で幾つもの事例を発表してきた。障害者、療育、リハビリ、不登校、抑うつ傾向など、個々の事例はもとより、その活用した森林環境もそれぞれ独立しており、個別であった。しかし、ここで重要なことは、「このような環境条件、人的条件のもとで、このようなプログラム、過ごし方をした結果、今回の対象者にはこのような変容がみられた」という一連のストーリーである。そして、なぜそのような結果に至ったのか、その原因をじっくりと考え、プラスとなる結果であっても、マイナスの結果が得られた場合であっても、その結果を率直に考察する姿勢である。個々の事例における、それぞれのストーリーは特別なものであるが、その特別な事例の中には共通点、共通要素が見出される場合もあるし、あるいは逆にどうしても共通しないものも存在しよう。冒頭で述べたように、「森林に連れていけば、健康になるのだ」という一般的な定式化はできないのである。

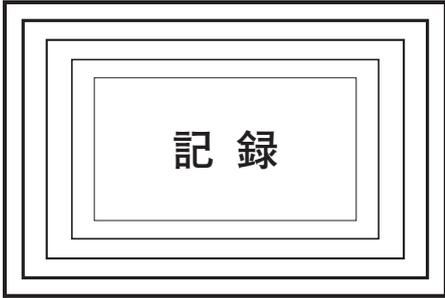
そのように曖昧な不確実的な答えしか出せない一つの理由として、人間は、自然環境と自らのつくる人工的環境の2つの世界の間を行き来しながら、そのバランスを個別に保ちながら生活する動物であることが考えられる。この考え方は従来からあり、目新しいものでもない。

けれども、その自然環境と人工環境との間のバランスはどの程度のもので、どれくらいの個人差があるものなのだろうか？また、その自然環境（森林環境）のニーズは、普段の人工環境のレベルによってどのくらいの差異や特徴があるのだろうか？それには、やはり個々の事例研究の積み重ねが重要な意義を持つことになる。

活発で自由な雰囲気のもと、定式化にとらわれず、硬直化しない、のびのびとした本セッションを今後も展開していきたい。

引用文献

- 1) ルーカス・フォグリア (2016) 自然に癒される. ナショナル ジオグラフィック日本版. 22(5): 28-49
- 2) 武者利光 (1998) ゆらぎの発想. NHK ライブラリー
- 3) 篠田謙一 (2016) 人類史とゲノムが示唆する相互理解への道. 科学. 86 (4): 295
- 4) 上原 巖 (2007) 森林環境の持つ保健休養の解明アプローチとその活用. 森林技術 782: 22-23
- 5) 上原 巖 (2010) 森林環境における保健休養および医療福祉利用. 森林技術 818: 20-21
- 6) 上原 巖 (2012) 森林を活用した保健休養 - 森林療法の事例と課題 -. 山林 1523: 2-11
- 7) 上原 巖、瀧澤紫織、菊池知子、草苺 健 (2012) 北海道の病院における広葉樹二次林を活用した森林療法の事例. 関東森林研究 63 (1): 127-130
- 8) 上原 巖、瀧澤紫織、前田 哲、岩崎善輝、山中 良介、現王園公臣、新谷久美子、田中祐介、出水 毅 (2012) 九州の病院におけるスギ・ヒノキ放置林を活用した森林療法の事例. 関東森林研究 63 (1): 123-125
- 9) 上原 巖 (2013) 森林の保健休養機能の1モデル. 山林 1552: 38-44
- 10) 上原 巖 (2015) 関西の地域病院における森林療法の導入. 第126回日本森林学会大会学術講演集: 175
- 11) E.O. ウィルソン (2008) バイオフィリア 人間と生物の絆. 筑摩書房. 168-194
- 12) サイモン・シン (2006) フェルマーの最終定理. 新潮社



スギ低コスト再造林の先進地九州における下刈り省略研究の動向 —第71回九州森林学会大会造林部門 下刈りセッションの記録—

山川 博美 (やまがわ ひろみ、国立研究開発法人 森林総合研究所九州支所)
伊藤 哲・平田 令子 (いとう さとし・ひらた りょうこ、宮崎大学農学部)

1. はじめに

温暖多雨の気候に恵まれた九州では林木の成長が概して速く、戦後に造成された人工林の多くが国内の他地域より早く主伐期を迎えている。このような背景の下、2000年代前半には再造林放棄問題が国内で最も早く顕在化した。これに対応して九州大学を中心とするグループが再造林放棄問題に関する研究プロジェクトを実施し、人工林伐採後の植生回復過程について詳細な知見を蓄積してきた。またその後、主伐・再造林の活性化に対応して、森林総合研究所を中心とするグループが低コスト再造林を目指したプロジェクトを全国に先駆けて実施してきている。

これら一連の研究は各プロジェクト期間終了後も継続されており、2015年10月6日に大分市で開催された第71回九州森林学会大会の造林部門においても、多くの関連課題の成果が発表された。とくに下刈り省略に関する研究については5件の研究成果が発表され、総合討論を含めて中身の濃い議論が行われた。

近年、主伐・再造林の動きは全国に展

開しつつあり、九州以外の地域でも低コスト再造林に関する全国的な情報発信・共有が重要となってきている。そこで本稿では、九州地域における最新の下刈り省略研究の動向のひとつとして、九州森林学会のセッションの内容を紹介したい。

2. 研究発表の概要

5件の発表の概要は以下のとおりである。なお、これらの成果の一部は当該発表者によって学術誌に投稿中または投稿準備中であり、以下の要約は本稿の著者の文責でまとめたものである。なお、図表は本稿の著者によりセッション内容に合わせて挿入した。

(1) 下刈りに対する木本植物の生残と成長

重永英年 (森林総研九州)・山川博美・野宮治人

刈り払いが木本植物の本数密度や樹高成長に及ぼす影響を明らかにするため、皆伐後2年目のアカメガシワが優占した林地にプロットを設置し、刈り払い前後の木本植物の種名、本数および樹高を調査した。刈り払い前の本数密度は10～

95本/m²とプロットによって大きくばらついていた。本数密度が高いプロットでは、刈り払い前の樹高が低い個体で枯死率が高く、刈り払い後の1年間で本数密度は約4割低下した。一方、本数密度が低いプロットでは個体数の変化は少なく、樹高と枯死率との関係も明瞭でなかった。アカメガシワでは、刈り払い前の樹高が高い個体ほど生育期末にかけての萌芽の伸長量が大きく、生育期末の樹高が高い個体は翌年の樹高も高くなる特徴があった。したがって、皆伐後に数年間放置せずに直ぐに植栽し、下刈り前の広葉樹の個体サイズを大きくしないこと



図-2 九州でよく見かけるアカメガシワが優占する林地

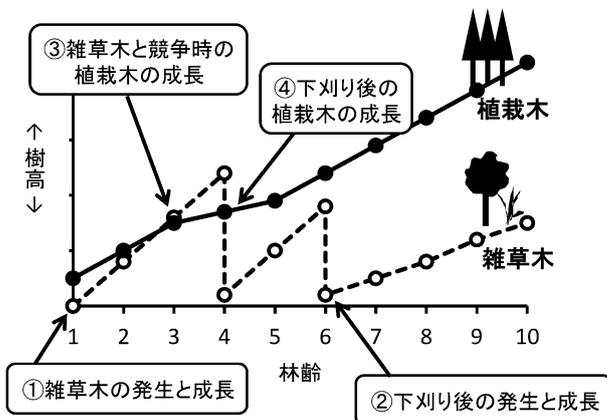


図-1 下刈り省力化研究のポイント

が、下刈り効果を高める肝であると考えられた。

(2) 下刈り前の根株のサイズが下刈り後の雑草木の萌芽再生力に与える影響
今岡成紹 (宮崎大学)・伊藤 哲・平田 令子

下刈り省略による雑木の個体サイズの増加が下刈り後の萌芽再生に与える影響を明らかにするため、8年間下刈りを実施していないヒノキ人工林において、下刈りを実施し雑木の萌芽成長量および発生本数を調査した。出現した樹種は、アカメガシワやカラスザンショウなどの落

葉樹およびタブノキやアラカシなどの常緑樹であった。萌芽枝の成長量は下刈り後1生育期のみ個体サイズに対する依存性が認められたが、その後の成長に明瞭な関係性はなく、根株の養分に依存した従属成長は下刈りから1年以内に限られると考えられた。一方、萌芽枝の発生本数については、下刈り前の個体サイズに対する明瞭な依存性が認められ、特に萌芽性の高い樹種でその傾向が大きかった。以上の結果から、下刈り前の個体サイズの増加が萌芽の樹高成長量に与える影響は限定的であるが、発生本数の増加を引き起こし、総萌芽量の増加による空間占有に影響していると考えられた。

(3) スギ幼齢木と雑草木との競合関係について

鶴崎 幸 (福岡県農林業総合試験場)・佐々木重行・重永英年

下刈り要否の判断基準を検討するため、福岡県八女市内の毎年下刈りが実施されたスギ幼齢林において、スギ植栽木および雑草木の成長量および競合関係について調査した。雑草木の高さは、植栽後3年目以降は種ごとに一定となり、先駆性樹木であるアカメガシワやヌルデはスギ植栽木の平均樹高が220 cmを超えると樹高成長が低下していた。これは、スギの成長によって雑草木が被圧を受け始め



図-3 雑草木と競合するスギ植栽木

たことを意味し、植栽木の平均樹高が220 cmを超えると雑草木の衰退が始まると考えられた。スギ植栽木と雑草木の競合関係は植栽木の樹高によって異なり、平均樹高が170 cmを超えるとプロット内で9割以上のスギの樹冠が雑草木から露出していた。したがって、樹高170 cmがその年の下刈り要否を検討するタイミングであると考えられた。さらに、優占する雑草木のタイプによって傾向が異なったため、雑草木のタイプ別に判断基準を検討することが重要であると考えられた。

(4) スギ幼齢木の樹高成長と雑草木の繁茂状況の関係解析

福本桂子 (九州大学)・溝上展也・太田徹志・吉田茂二郎・寺岡行雄・加治佐剛

最適な下刈りのスケジュールを検討するため、鹿児島大学高隈演習林内に設置した下刈り省力試験地の6年間データを用いて、スギ幼齢木の樹高成長モデルを構築した。樹高成長モデルでは、下刈り回数やタイミングの異なる10パターンのシナリオを作り、10年生までのスギ植栽木の樹高を推定した。その結果、下刈り回数を3回とした場合には、隔年下刈り(1、3、5年実施および2、4、6年実施)および連年下刈り(1、2、3年実施)では、6年間毎年下刈りをした場合と比較して2割程度樹高が低下していた。一方、連年下刈りでも4、5、6年目に下刈りをした場合では樹高成長の低下が大きかった。したがって、毎年下刈りと比較して2割程度成長が低下することを許容すれば下刈り回数の削減は可能であり、植栽後1および2年目の下刈りが重要であると示唆された。

(5) スギ人工林における下刈り要否の判断基準を考える

山川博美 (森林総研九州)・重永英年・荒木眞岳

下刈り要否の判断基準を検討するため、大分県日田市のアカメガシワなどの先駆性樹木が優占する4年生スギ人工林において、下刈り後のスギ植栽木の成長と雑草木との競合関係の変化を調査した。植栽木の樹高成長は、梢端部が雑草木から覆われなければ、顕著な低下はないことが報告されている。そこで、本研究では

下刈り後の1年間に植栽木が雑草木に覆われなければ良いということ判断基準とした。下刈り後は植栽木と雑草木の競合関係が緩和され、雑草木に覆われる植栽木の割合は減少した。これには、スギ植栽木の樹高が関係しており、下刈り時のスギ植栽木の樹高が150 cm以上になると、下刈り後の1年間で雑草木から植栽木の梢端部が完全に覆われることはなくなった。したがって、競合植生として先駆性樹木が優占する林地で植栽木の成長低下を最小限にするとすれば、植栽木の樹高が150 cmまでは下刈りを実施した方が良いと考えられた。

3. 討論

各発表への質疑および総合討論では様々な意見の交換があった。ここでは、意見交換の内容を総合考察の形で要約して紹介する。

(1) 雑草木の再生

雑木の萌芽再生の伐株サイズに対する依存性について、一部相反する結果が得られている。これには、雑木の種類だけでなく、下刈り前の雑木のサイズ範囲の違いが影響している可能性がある。したがって、樹種特性とともに雑木のサイズ(すなわち下刈り省略の期間)を考慮した更なるデータの収集が必要であろう。また、再造林地の再生植生は広葉樹林からの林種転換時とは異なり、常緑高木の萌芽が優占する場所が比較的少ないようである。したがって、再生植生のタイプの予測を通して下刈り省略の可能性を判断するための情報の収集・整理が望まれる。

(2) 下刈りの要否判断とタイミング

下刈り要否の判断基準として、植栽木の樹高に関する具体的な数値(150 cm、170 cm、220 cmなど)が提示された。このうち150~170 cmという数値は昔の研究でも示されており、下刈りの要否を検討する一つの基準になりうるかもしれない。ただしこれは「下刈りを終了する基準」ではなく、150 cmまでは下刈りをした方が成長低下が小さいという意味に理解すべきである。150 cmに達した以降は、雑草木との競合状態を見ながら下刈りの要否を判断することになるだ

表-1 想定される下刈りスケジュールの一例

	林齢										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
毎年下刈り	○	○	○	○	○	○					除伐
隔年下刈り 1	○		○		○						除伐
隔年下刈り 2		○		○		○					除伐
連年下刈り (前期)	○	○	○								除伐
連年下刈り (後期)				○	○	○					除伐
無下刈り											除伐

ろう。このような基準が見えてきたのはよいことであり、これを考慮した大苗の活用の方向も検討すべきかもしれない。

今回の発表では、常緑広葉樹の萌芽が優占しない場合、植栽木の樹高が220cmに達したら「下刈りを終了」できそうだというデータも得られている。これらの数値はおそらく競合植生の種類や地位によっても異なるであろう。数字だけが独り歩きするのは怖い、諸条件による違いも考慮したうえで、研究者が協力して判断基準となる数字を示してい

く必要がある。

4. おわりに

今回のセッションでの議論で、下刈り省略に関するいくつかの方向性が見えてきたように思える。一つは、最適下刈りスケジュールの研究であり、これまでの野外実験で得られてきたデータを活用したシミュレーションが試行されている。これは伐採前に保育計画を立てる上で非常に重要であり、今後は下刈り省略による雑草木の成長・巨大化が下刈り後の萌芽再生に与える影響を加味した分析・予測や、様々な再生植生への適用が期待さ

れる。もう一つは植栽木の樹高を指標とした下刈り要否の判断基準の研究である。実際の下刈りは地域性や局所的な変異の大きい再生植生を相手にするため、個々の林地での観察に基づくその年年の下刈りの判断や、下刈りを終了する判断の基準も現場では極めて重要となるだろう。今回のセッションで、これらの具体的な数値情報を共有できたことは大きな進展である。今後は、伐採前の施業計画の検討支援情報とともに、地域性を考慮しつつ、わかり易い現地判断基準をきめ細かく提示していくことが必要であろう。

本稿が少しでも今後の低コスト再造林の役に立てれば幸いである。

記録

日本森林学会大会 高校生ポスター発表の講評

中村 太士 (なかむら ふとし、中等教育連携推進委員会 委員長)

1. 講評

高校生ポスター発表も3度目の大会となりました。2014年に埼玉県大宮で開催された第125回大会では、29件の発表があり、翌年、北海道大学(札幌市)で行われた126回大会では25件の発表がありました。このたび藤沢市にある日本大学で行われた127回大会では、過去の2大会を超える38件の発表申請があり、このポスター発表会を企画した委員長として大変うれしく思います。まずは、参加して一生懸命発表してくださった高校生の皆さん、引率された先生方、そして残念ながら会場に足を運ぶことができなかったもののポスターを作成して送ってくださった高校生の皆さんと指導された先生方に、深く感謝の意を表します。

今回の参加高校も、北海道から熊本県まで全国にわたり、高校生の様々な地域研究活動を知ることができる大会となりました。ポスター会場には、コアタイムのみならず、その前後の時間帯も含めて、終始、多くの学会員が訪れてくださり、熱気あふれる大会となりました。発表される高校生も順番に交代しながら、もしくは解説を分担しながら発表していました。学会員がなげかけた難問に答えることができず、仲間や先生に相談したり、また留学生に英語で質問されて、いったんは戸惑うものの何とか英語で回答しようとしていた様子は微笑ましくもあり、また頼もしさも感じました。さらに、高校生同士でポスターを説明しながら、お互いの交流を深めていたのも印象的でした。

発表内容も多岐にわたりました。植物、土壌動物、トンボなど、様々な分類群をもとに生物多様性の保全について調査し

た研究、人口減少下の日本で注目される管理放棄された人工林問題と地域振興に取り組んだ研究、葉や種子、樹木個体の研究に加えて、森林や池の景観構造を解析した研究、クロマツ林・マングローブ林の生態に関する研究、枝葉・林地残材・ササ・キノコの利用研究、木材生産から林道を使った運搬、加工、製品化までを实践した研究、川虫による水質調査、さらに近年注目される遺伝子解析、花粉の飛散、ニホンシカの被害、森林に対する意識や木育に関する研究など、様々でした。高校生が、現在起こっている森林生態系の変化、そして社会的課題をいち早く感じとり、自らの研究テーマとしていることがよくわかりました。

審査員の評価もある程度絞られたのですが、発表件数も多い分、優秀な研究発表も多く、今年は学会長特別賞を2件授与し、最優秀賞2件、優秀賞2件を加えて、合計6件のポスターに賞を授与しました。審査にあたっては、これまで同様、最優秀賞・優秀賞ポスターは、森林科学の特徴である基礎と応用、実践を網羅するように選出することを指針に、森林を取り巻く様々な現象の因果関係を説明もしくは推論した研究から各賞1件、林業を中心に実践的な取り組みを報告した内容から各賞1件を、採択しました。

最優秀賞を受賞した東京都立大島高等学校の「ツバキを守って島おこしツバキを活用した地域振興の実践報告」は、2013年に土砂災害で被災し過疎化が進む伊豆大島を対象地として、椿油や緑化など、ツバキを通して地域振興を図る取り組みを生徒たちが具体的に実践した報告であり、審査員一同、感銘を受けました。もう一つの最優秀賞である新潟県立長岡高等学校の「ケヤキの上部にできる

種子の優位性」は、結果枝に付随して飛散するケヤキの種子散布に注目し、樹冠上部にある結果枝は遠距離まで運ばれるのではないかと、またその理由は葉の先端の反りが小さいからではないかと、という仮説を立てて実験を行い、検証した興味深い内容でした。

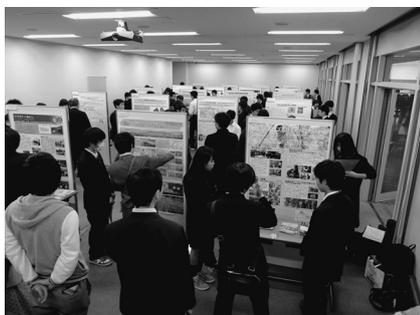
優秀賞を受賞した群馬県立中央中等教育学校の「赤城山南麓部のクロマツ林の研究―枯れたクロマツ林に注目して」は、群馬県の県木であるクロマツが、赤城山南麓部で立ち枯れている現状を心配し、マツノザイセンチュウとのつながりを中心に原因解明と今後の方策、地域社会の関わり方を論じた研究でした。もう一つの優秀賞は、岡山県立勝間田高等学校の「勝間田高校倉見演習林における林道作業道の開設と利用について」で、演習林において先輩が作成した施業計画を实践するために必要な林道作業道を開設し、木材収益や伐木造材経費、林道開設費等を算出したもので、採算の合う伐採搬出方法を林道作業道の開設から実践した点が高く評価されました。

さらに学会長特別賞は、トンボから見たランドスケープの構造に着目して、トンボ相の多様性が最も高くなる水辺環境について検討した北海道札幌旭丘高等学校の「水辺のランドスケープモデル」と、マングローブ林が林外土壌の形成に重要な役割を果たしていることを明らかにした東京都立科学技術高等学校の「土壌からみるマングローブ域の物質循環―マングローブ林土壌と林外土壌の比較研究」が選ばれました。どちらも一つの生態系のみならず周辺域とのつながりに焦点を当てた研究であり、新しい視座が評価されました。

今回で3度目になる高校生ポスター発

表は、発表件数も森林学会会員の認知度も高くなり、活性化していると思われます。こうした機会を通じて、高校生が森林や森林を取り巻く環境に興味を持ってきて、森林科学の道を目指してくれば、望外の喜びです。また、このたびは、国土緑化推進機構の「緑と水の森林ファンド」助成を受け、遠方から来られた生徒や引率の先生方に旅費の補助をすることができました。これによって全国の高校生や先生が森林学会に参加でき、お互いの研究、そして森林学会の研究活動を知ることができました。この場を借りて、国土緑化推進機構の関係各位に心より御礼申し上げます。

最後に、長時間にわたり、ポスターの前で汗をかきながら一生懸命、わかりやすく発表してくれた高校生の皆さん、そして旅費や日程の都合で会場発表はできなかったものの、ポスターを作成し、大会会場に郵送してくれた高校生・教員の皆さん、さらにポスター印刷や会場設営にご尽力いただいた大会実行委員会の皆さんに、心から感謝申し上げます。また、一般会員の皆様におかれましては、さらなる飛躍をとげる高校生ポスター発表の開催に、今後ともご支援賜りますようお願い申し上げます。



2. 受賞校の感想

1) 東京都立大島高等学校

主任教諭 金子 雄

ポスター発表への参加は2年ぶり、事務局のみなさまに助けていただき何とか発表し、最優秀賞に選ばれるとは全く想定していませんでした。森林学会で評価して頂いたことは、参加メンバーのみならず、学校、さらには伊豆大島にとって大きな自信になります。

本校の発表は、今年2月に国際優秀つばき園に認定された学校椿園を軸に、椿油づくりと、ツバキを普及啓発する椿学の3本柱です。いずれも地域社会と島外を視野に入れています。椿園は国内外からの観光振興。椿油づくりは地域産業の振興。そして椿学は地域の資源の再発見です。生徒も地元でツバキという日本一、世界一の宝がある、ということに誇りをもてるようになりました。若者による地域資源の活用が、地方創生の一助になるモデルとして認知していただければ幸いです。伊豆大島の振興と、また2013年の土砂災害からの復興の光になれるよう、今後も努力していきます。以下は参加生徒の感想です。

最優秀賞を頂き本当に驚いています。伊豆大島の宝であるツバキを通じた活動を評価して頂きとても嬉しいです。これからも大島のツバキを守っていきます。

(3年中村歩夢)

とても緊張しましたが、他校の発表も聞けて楽しかったです。受賞はびっくりしましたが伝統ある学会での受賞を誇りに思います。大島の椿を多くの人に広めることができたのがうれしいです。

(3年池谷芹菜)

受賞も嬉しいですが、他校の発表をたくさん聴けて勉強になりました。今後がんばって自分の研究を高めていきたいと思えます。

(2年今江一詩)

最後になりますが、この活動に御支援ご協力いただいた皆さまに心より感謝申し上げます。そして、ぜひ椿の島伊豆大島に足をお運びくださいませ。



2) 新潟県立長岡高等学校

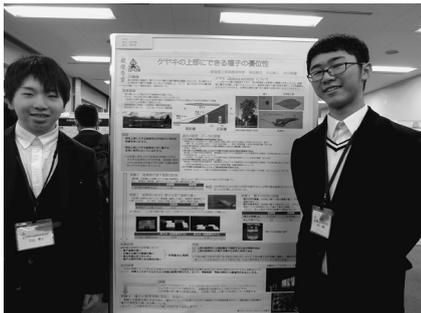
生物部 1年

小山隼人・布川泰慶・神成朝日

私たちは、第127回森林学会大会高校生ポスター発表において、「ケヤキの上部にできる種子の優位性」という題でポスター発表を行いました。そして、最優秀賞という大変素晴らしい賞を頂くことができ、とても嬉しく思っています。

私たちの研究は2015年10月、広範囲に散布されたケヤキの結果枝という種子のついた枝に興味を持ったことから始まり、試行錯誤のうえ、いろいろな実験を行いました。特に難しかったと感じることは、直接採取するのが難しい高さのケヤキの結果枝を選別する方法です。幸いなことに、本校校舎はケヤキの結果枝の散布をある程度遮蔽することのできる位置にあり、校舎の高さや風速の状況、ケヤキからの距離をもとに、結果枝の散布前の高さを割り出し、分析することができました。また、追加調査として樹高の低い個体から直接結果枝を採取して、分析する回数を増やしました。このことにより、結果枝の高さとその性質の関係についての考察の信頼性を高めました。さらにt検定を行い、比較対象の結果枝の差が有意なものであることを確かめました。

本番の発表では、周りにたくさん的高校生や大学関係者の方などがいらっしやっただけで、とても緊張しました。しかし、説明を工夫したり、視覚的に見ていただける資料を用意して、しっかりと自分たちの研究の内容を伝えることができました。多くの質問や意見を頂き、これから解決すべき課題や新たな視点に気づくことができました。また、他的高校生の発表を聴き、科学に対する興味・関心がさらに高まりました。今回の発表で得たものをこれからの研究に生かしていきたいです。



3) 群馬県立中央中等教育学校

小林勇太・杉山 拓・中澤 颯・間仁田和樹

私たちは、2012年の後半から中等教育学校の強み(中高一貫)を活かし、4年間研究を継続的にを行っています。

2012年の学校行事にて、「赤城山でクロマツが枯れている。その原因は酸性雨だ。」ということを知り、「本当にクロマツが酸性雨で枯れているのだろうか」と疑問に思い研究を始めました。

2013年度はクロマツ林が被害を受けた理由を見極めるため、様々な文献調べ、聞き込み調査を行いました。その結果、酸性雨とマツ材線虫病という有力な2つの説があることがわかり、さらに、マツ材線虫病がより有力そうであるということがわかりました。

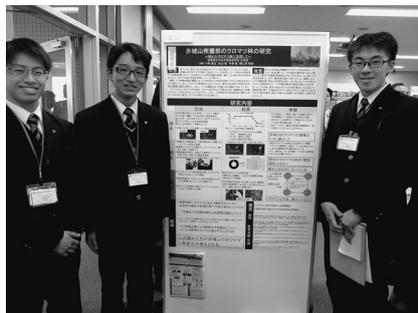
その後、「赤城山のクロマツ林は今後どのようにしていくのか考察する」という目的を設定し、2014・2015年度はその目的のために様々な調査を行いました。植生図のGISデータを解析・編集し、かつてのクロマツ林面積の推移を調査したり、クロマツ林被害地への植林活動を行っている企業・団体を調べてまとめ、メールや電話を用いて聞きこみをしたりしたほか、現在の植生の調査、クロマツ林の面積変遷の調査などもしました。結果、約30の企業・団体へ聞き込みを行い、20社から回答をいただきました。また、調査の過程で植生図に載らない点位的なクロマツを調査するなどの現地調査も30回ほど行いました。これらの成果から、人との関わり方がクロマツ林の今後を左右するという結論を出すことができました。

2016年度は、クロマツ枯れの原因を確認するために衝突板トラップを用いて

マツノマダラカミキリの調査を行いたいと考えています。

この活動の中で、私たちは数々の貴重な体験をすることができました。また、今回の発表会でも、私達の研究を多くの人に知ってもらい、全国各地の研究も知ることができました。

今回の経験を大切に、今後活かしていきます。



4) 岡山県立勝間田高等学校

グリーン環境科3年 谷村朋哉

このたび、優秀賞をいただき誠にありがとうございます。先輩方から引き継いできた実践が評価されたことを何よりうれしく思っています。

今回は、「学校演習林における林道・作業道の開設と利用について」という題目で、授業や実習で取り組んだ、作業道開設のための測量と設計、土積計算、その区間の作業道開設にかかる経費やその時の木材市場での価格などを参考にして収支の試算を行いました。

実は、授業でみんなと取り組めたのは、縦断測量設計図の途中まででした。授業の進度が遅く、なかなか前に進むことができないので、休日や放課後など冬期休業日から本格的に製図や計算、市場調査などを行い、少しずつ、データを蓄積していきました。

最終的には、卒業考査終了後、2月の家庭学習日にほぼ毎日登校し、仕上げていきました。

わかりにくいところもあり、先生に教えていただいたり、助けていただきながら仕上げることができました。コンピュータの画面内にポスターができあがったときには本当にうれしかったです。

今冬、暖冬のせいか木材市場には丸太

があふれ、価格の下降が見られますが、今後、早期枝打ちによる良質材を生産し、少しでも付加価値の高い木材生産ができるよう、後輩たちが工夫して取り組んでくれば、と願っています。

私は、「株式会社森林環境企画」という木材生産を行う会社に就職しました。自分の好きな仕事に就けたことをうれしく思っています。後輩たちが林業の道を選び、後に続いてくれば、岡山県の林業力向上に貢献できると思います。

このたびは、ご選考いただき大変ありがとうございました。



5) 北海道札幌旭丘高等学校

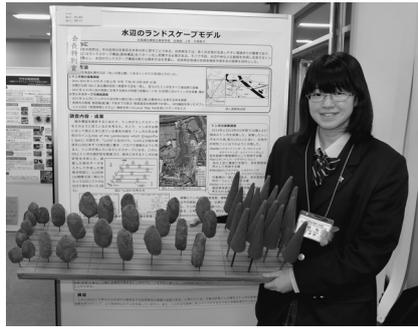
生物部 片桐有乃

昨年に引き続き発表会に参加させていただき、今回は、「水辺のランドスケープモデル」というテーマで発表させていただきました。昨年までの研究結果から得た「水辺環境における樹木の重要性」をヒントに研究を行いました。本研究では、2014年と2015年にはトンボ相の採集調査、2015年には樹木の調査を行いました。この調査で集めた多くのデータを分析し、トンボの多様性が最も高まるランドスケープをモデル化しました。

今大会で最も力を入れたのが、プレゼンの仕方です。ポスター作成では、イラストなどを使い、少しでもわかりやすくなるよう意識しました。しかし、本研究の1番の成果であるランドスケープモデルについては図だけの説明では理解しにくいのではないかと悩みました。そこで、そのモデルを2Dのイラストではなく、3Dの模型にすることにしました。

思いついたのはいいものの、縮尺を考えるだけでも一苦労でした。そこから木の配置を考え、ジオラマの木の作り方を調べ、スポンジを切り、色を塗り…。発表当日、模型を見せて説明した後に「わかりやすい」という感想をいただいた時は、本当に嬉しかったです。今回の高校生ポスター発表では、緊張しつつも楽しみながら自分たちの研究を伝えられたと思います。また、森林専門の方や日本大学の学生の方などから様々な視点からの質問やアドバイスをいただき、とても勉強になりました。それに、他の地域の高校生とこの大会を通して交流できたことは、自分にとってとても良い刺激になりました。

この度、会長特別賞という素晴らしい賞をいただき、大変光栄に思います。先輩から受け継いだこの研究が、このように評価されたことが何より嬉しいです。この研究に協力してくださった生物部の卒業生・NPO法人カラカネイトンポを守る会の皆様、ご指導して下さった顧問の先生に心より感謝申し上げます。



6) 東京都立科学技術高等学校
阿部隼人・野末綾斗・福村龍星・三上詩帆

本校のスーパープロジェクトIRIOMOTEでは、毎年西表島でフィールドワークを行い、マングローブに関する様々な研究をしています。

西表島のマングローブ域には非常にたくさんの生物が生育しています。このことから私たちは、生態系の基盤となっている土壌に何か秘密があるのではないかと考えました。そこで、有機物に注目し、土壌を中心とした物質循環を探っています。具体的には、西表島の船浦湾で、マングローブ域を林内、林縁、林外に区分けて土壌を採取し、様々な分析を行っています。この研究は始まって今年で4年目になります。土壌の分析はサンプル

の数が多く、とても大変ですが、これからさらに測定を続け、マングローブ域における物質循環のより詳しい部分を明らかにしていきたいと考えています。

高校生ポスター発表では、会長特別賞という大変素晴らしい賞をいただき、嬉しく思っています。主な発表は先輩が行っていましたが、私も発表を行うことができ、とても良い経験になりました。また、他校の高校生や、研究者の方々のポスターを拝見することができました。研究の内容も面白く、初めて知ることばかりで楽しかったです。ポスターのレイアウトなども様々な工夫がされていて、今後ポスターを作るときに参考にしたいと思いました。土壌についての研究がいくつかありましたが、私たちが土壌の研究を行っているので、他の研究よりも内容が理解でき、勉強になりました。今回、このような機会をいただき、ありがとうございました。今回学んだことや発表の際にいただいたご質問やアドバイスを今後の研究に活かしていきたいと思います。



「森林科学」への投稿について

「森林科学」投稿要領

(2015年3月26日改訂)

1. 投稿できるのは日本森林学会会員および「森林科学」購読者のみとする。ただし筆頭者以外の共同執筆者および依頼による記事の執筆者についてはこの限りではない。
2. 原稿は、解説、記録、研究トピックス、読者の声、その他とし、和文とする。
3. 原稿の採否は編集委員会が決定する。
4. 原稿の長さは原則として、すべてを含む刷り上がりが解説、記録は4頁以内、研究トピックス、読者の声、その他は2頁以内とする(1,500字/頁を目安とする)。
5. 投稿原稿は執筆要領にしたがって作成し、電子メールで提出する。
6. 著者校正は原則として初校に限り、誤植の訂正にとどめる。
7. 解説・記録・研究トピックスの著者は別刷50部を希望により無料で受け取ることができる。無料分以上(50部単位)およびpdf別刷りを希望する場合は、著者の負担とする。
8. 原稿の送付および編集についての問い合わせは森林科学編集主事あてとする。
9. 著者は最終原稿を提出する際に、著作権譲渡承諾書を提出しなければならない。

著作権規定

(2009年3月26日改定)

1. 本会の刊行物への掲載が受理された記事、論文等の著作権は、本会単独であるいは本会の定める出版社と共同で、本会に帰属するものとする。
2. 著者に許容される権利については、刊行物ごとに別に定める。

「森林科学」執筆要領

(2015年3月26日改訂)

1. 原稿の書き方

専門分野以外の読者が理解しやすいように、図表や写真を多くし、わかりやすく、簡潔な表現を用いる。図にできる場合はなるべく表を使わない。目安として、少なくとも1頁に1つの図や写真を入れるようにする。

2. 投稿原稿の種類

解説：特定の研究テーマや話題に関する解説

記録：シンポジウムや研究会の記録

研究トピックス：プロジェクトや国際共同研究、特徴ある研究の紹介

読者の声：読者の意見や主張

ブックス：書評、出版物の紹介

その他：上記以外の内容についての投稿。編集主事まで問い合わせること。

3. 原稿の形式

原稿の種類に合わせて、以下の内容をそれぞれページを分けて記載すること。

①投稿連絡票(表題、著者名、所属先、原稿種類名、連絡先(住所、電話番号、電子メールアドレス))、②本文、③引用文献(「解説」・「記録」・「研究トピックス」で必要な場合のみ。最大10点を目安に。)、④図表、⑤図表の説明、⑥紹介する印刷物の書誌情報(ブックスのみ。著者・出版社・出版年・頁数・価格・ISBN。)

4. 原稿の体裁

原稿は電子メールに添付しての提出を基本とする。ファイル形式などの詳細については編集委員会が定める「原稿執筆ガイドライン」を参照のこと。

図表の表題にはそれぞれ通し番号をつけ、1点ごとに別ファイルとする。各ファイルには筆頭著者名と通し番号を含むわかりやすい名前を付ける。

5. 引用文献

引用文献は必要最小限とする。本文中での引用は、①引用順に(1)、(2)、(3)のように上付きの通し番号を振る、②該当人名に(年号)あるいは事項に(人名 年)をつけて引用する。混用はしないこと。引用文献の記載は、①では通し番号順、②ではアルファベット順に行う。誌名の略記法は和文の場合は慣例により、欧文の場合はForestry Abstractsにならう。巻通しページがある場合は巻のみとし、ないときは巻(号)を併記する。

<引用文献記載例>

a. 雑誌の場合

笠井美青・丸谷知己(1994)山地河川における立木群による土砂の滞留機構. 日林誌 76: 560-568

Ochiai Y, Okuda S, Sato A (1994) The influence of canopy gap size in soil water conditions in a deciduous broad-leaved secondary forest in Japan[†]. J Jpn For Soc 76: 308-314

b. 書籍の場合

Levitt J (1972) Responses of plant to environmental stresses. Academic Press

渡邊定元(1994)樹木社会学. 東大出版会

c. 書籍中の場合

小林繁男(1993)熱帯土壌の瘦悪化。(熱帯林土壌・真下育久編, 勝美堂). 280-333

Wells JF, Lund HG (1991) Integrating timber information in the USDA Forest Service[†]. In: Proceedings of the Symposium on Integrated Forest Management Information Systems. Minowa M, Tsuyuki S (eds) Japan Society of Forest Planning Press, 102-111

[†] 紙幅が足りない場合は、タイトルの省略を認める。

原稿の送付および編集についての問い合わせ先は下記あてとする。

森林科学編集主事 松浦 俊也

〒305-8687 茨城県つくば市松の里1

森林総合研究所

森林管理研究領域環境計画研究室

Tel 029-829-8315

e-mail matsuu50@affrc.go.jp

学会事務についての問い合わせ先

一般社団法人 日本森林学会

〒102-0085 東京都千代田区六番町7

日本森林技術協会館内

Tel/Fax 03-3261-2766

http://www.forestry.jp/

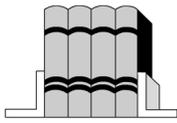
(日本森林学会)

http://www.forestry.jp/publish/ForSci/

(森林科学)

複写をされる方に：☒ 学協会著作権協議会へ複写権委託済み

許諾・連絡は、〒107-0052 東京都港区赤坂 9-6-41 乃木坂ビル 3F 学協会著作権協議会 (Tel./Fax 03-3475-5618)



ブックス

大地の五億年 せめぎあう土と生き物たち

藤井一至著 山と溪谷社 2015年11月、
232ページ、972円(税込)、
ISBN 978-4-63-551022-6

夢中で読んだ。

この一言で書評を終わらせていいかと思う名著です。下手に内容を紹介するよりも、それだけ記してあるほうが、圧倒的に面白いこの本を多くの人に手に取ってもらえるかと思ったからです。

本書は若手森林土壌学者の目から見た、地球の歴史の本です。ふだん、あまりにも身近で、あって当たり前と感じている土が、実は地球上にはずっと長い間現れなかったのだと聞くと、「ほんと?」と驚く人も多いのではないのでしょうか。本書の1章と2章で、地上のいろいろな場所に今ある土は、その場所の歴史を背負い、棲まう生き物とのかかわりあいの中で作られてきたことを、著者は豊富な知識とフィールドの経験から紹介します。北極近くのカナダ、熱帯の山の中、著者のフィールドは世界中にあり、筆者は自由に飛び回っては新たな発見に驚いたり、仮説を根気よく検証したりします。まさにその姿は土壌学のプリンスと言えましょう。

3章以降は土と人のかかわりに焦点が向けられます。実際のフィールドで体験した地球環境の問題と私たちの生活を、土を媒介として見事に結び付けてくれます。その上、歴史を読み直したり、現代社会の抱える難しさを論じたりと、古今東西の事象を土という視点から再構築します。専門書ではないので、その議論は綿密な資料調査に基づく検証というわけではありません。でも、きっと確かだろうなと考えられるような推論がたくさんあって、この感覚どこかで出会ったようななど、思いを巡らせました。そうかと思いきや、思い当たったのは、林学を学び始めて最初のころ、薫陶を得た大御所の先生方が、実習の夜に語った話に感心しきりだった

時の感覚です。その頃の先生は、あらゆる物事を森の切り口から解きほぐし、語らっていたように思います。研究者たちが専門を狭め、そこから少しでも外れることに触れない傾向のある昨今、まさに筆者は林学の直系と言えましょう。

また、筆者の軽やかな筆致も一般向けの研究の本として、この本の魅力を高めています。少し長いですが、引用します。『海外から来た研究者に「これが日本の土だ」と紹介すると、とりわけ黒い土(黒ぼく土)への反応は大きい。ドイツ人は「Not a soil (これは土ではない)」と反応し、フランス人は「トレビアーン!」と感動した。それだけ珍しい土なのだ。(P.89)』このように、著者が研究の過程に出会った心の動きを、そのままに読者に伝えられる文章なのです。研究することの喜びや楽しみがたくさん味わえる本でもあります。

余談ですが、この本をドイツ文学者の池内紀さんが、さまざまな書評で大絶賛していました。尻馬に乗るようですが、私も心からお勧めします。

加賀谷悦子(森林総合研究所)

木質昆虫学序説

岩田隆太郎著、九州大学出版会、2015年
12月、496ページ、8,640円(税込)、
ISBN978-4-7985-0170-3

キーワードは「食性昆虫」

陸上生態系で最大のバイオマスを誇る樹木と、やはり陸域で種の多様性、個体数いずれの点からも際立った繁栄を誇る昆虫類との多様な関わりを「昆虫による木質利用」という視点から詳述した大著である。“木質”とは本来“木部”に相当する用語だが、著者も断っているように、この本では師部(内樹皮と外樹皮)まで含めた用語として使われている。それは、材に穿入する昆虫にとって、樹皮部と木部は一連のものであり、また、生きた組織と枯死した組織も連続的なものとして彼らの前に立ちほだかるからである。著者の学問的背景には林産工学があるが、林産工学者ならではの樹木の成分

や組織、細胞構造に関する豊富な知識に基づき木質に関わる様々な昆虫の生態が説明されている。例えば、木質を栄養源とする昆虫には、木質そのものを食餌源とするもの、木質と菌を合せて摂食するグループ、さらには木質上に繁殖する菌類だけを餌としているグループなどに分けられるが、そこには木質がリグノセロースという難分解性の高分子から構成されているという特性により、これをどのように分解するかという難問が潜んでいる。また、木質は窒素含有量が極端に少ない資源であるため、これを克服するために昆虫側にさまざまな適応が見られる。たとえば、窒素不足を補うための窒素固定細菌との共生や樹木の枯死後繁殖する腐朽菌の菌体窒素の利用のような例が詳述されている。前者の例としてシロアリについてかなりのページが割かれているのは、食性という本書の基本テーマを考えると当然だが、その他の項目についても数多くの昆虫種が取り上げられている点は、さすがに膨大な数の参考文献を渉猟しまとめあげた書物の成果と言える。全体は4部の構成で、その一部として食性昆虫と微生物、線虫類との関わりが取り上げられているのは喜ばしい。微生物も線虫も樹木との、従って木質との、関係が深い生物であり、当然のことながら樹木に、そして木質に依存する昆虫とも関わりが大きい。そのことは、評者が研究材料としてきた、そして著者もしばしば本書で取り上げている“マツ枯れ”一つをとりあげても自明のことであろう。

森林昆虫を研究対象にする研究者の数は多いが、その多くは生物学を基礎とする人たちで、意外なほど樹木の木質、あるいは木部についての知識は希薄ではなからうか。その意味で本書は森林昆虫の研究者、特に若い昆虫学徒に多くの新しい視点を提供するであろう。そして、巻末にリストアップされた約3000の文献情報はそれら研究者や学徒がさらに研究を進める上で、問題を探るまたとない手がかりとなるであろう。

二井一禎(京都大学名誉教授)

林政学講義

永田 信著、東京大学出版会、2015年11月、176ページ、3,132円（税込）、ISBN978-4-13-072065-6

本書は著者である東京大学林政学研究室の永田信教授による東京大学農学部の3年生を対象にした森林政策学の講義の録音テープを元にした講義録である。第1講から第11講までに分けられていて、現在の東大林政学の入門講義の雰囲気を楽しむことができる。わかりやすさと親しみやすさに配慮した書きぶり、全11回分の講義が136ページにコンパクトにまとめられており、林政学の初学者や、林政は専門外だが森林・林業に関心のある方が林政学の考え方の要点を学ぶのに勧めである。

全11回の講義は、世界の森林の現状、熱帯林減少のメカニズムに関する解説から始まり、近世から現在に至る日本の森林所有の形成といった歴史的・制度的条件の解説、そして最近半世紀あまりの日本における木材の需要と供給の動きを対象にした経済学的理解のための話へと至る。林産物需要に関しては、所得水準の変化に対して、薪炭材や製材品やパルプの需要がそれぞれ異なる変化をしてきたことについて、経済学的な解釈が与えられる。木材供給に関しては、日本国内の半世紀にわたる需要の増減に対して、国産材ではなく外材が調整役を果たしてきたことを、それぞれの材の価格に対する供給弾力性の違いという形でわかりやすく図示している。読者は価格に対する需要曲線と供給曲線という経済学の考え方と、日本の木材市場における国産材と外材との関係について、理解を深めることができるだろう。私の周囲でも本書を読んで初めて日本の木材貿易の構造がよくわかるようになったという評判を聞いている。

後半では市場経済システムと取引の効率性、市場と社会厚生などの講義の中で、パレート最適、効用、限界効用、生産者余剰と消費者余剰といった厚生経済学の基本的な考え方が、木材やお酒を例にして説明されている。続いて、森林の多面

的機能に関する代表的な経済評価手法の解説、「公共財」「外部（不）経済」の概念の提示と、費用・便益分析の基本的な考え方の解説のあと、政府公共事業を想定した公共財供給に過不足がなくなるときの条件が示される。最後に、外部不経済、権利の所在、損害賠償および取引費用の関係が取り上げられ、法の役割と日本の森林法制の現状が示される。代表的な林野公共事業の具体的な評価手法にまでは至らないが、そうした問題に取り組むための社会科学の基本的な概念がやさしく紹介されている。

著者は、林学を学んだ後、米国イェール大学の経済学分野で博士号を取得し、北大経済学部の助教授を務められた。このような経歴からも推察されるように、経済学の基本をしっかりふまえた林政学の教科書となっているところが本書の特徴であり、強みである。日本森林学会と林業経済学会の会長を歴任された永田教授による、これまでの日本の森林政策学の教科書とはちょっと趣向の違う待望の教科書である。

岡 裕泰（森林総合研究所）

まると発見！ 校庭の木・野山の木

サクラの絵本

（勝木俊雄編、農文協、2016年1月、40ページ、2,916円（税込）、ISBN 978-4-540-15194-1）

イチョウの絵本

（濱野周泰編、農文協、2016年2月、40ページ、2,916円（税込）、ISBN 978-4-540-15195-8）

マツの絵本

（福田健二編、農文協、2016年3月、40ページ、2,916円（税込）、ISBN 978-4-540-15196-5）

カエデ（モミジ）の絵本

（田中 浩編、農文協、2016年3月、40ページ、2,916円（税込）、ISBN 978-4-540-15197-2）

入学式のサクラ、運動会のイチョウ、遠足のカエデ、正月のマツ、子供たちは木々の思い出とともに育ちます。私たちの暮らしに深くかかわるこれらの木のことを、知らないという人はほとんどいないですが、良く知っているという人も少

ないです。なじみがあるのに理解はされていない木々にフォーカスし、樹木の生物学的な面と人とのかかわりをテーマにした絵本シリーズが刊行されました。まるとと発見！校庭の木・野山の木 ××の本というシリーズで、全頁カラーの柔らかな丁寧なイラストと鮮やかな写真が特徴的な、見ているだけで楽しい絵本です。

シリーズ1冊目のサクラの絵本は、日本神話の木花之佐久夜毘売がサクラの舞い散る中、手で花を受けているイラストから始まります。そこからサクラの分類・生態の話が展開され、最後には文化の中のサクラのあり方も読み取れるよう繋がっていきます。2冊目のイチョウの絵本のはじまりでは、その原始的な特性を、恐竜がイチョウの前を闊歩する絵から紹介しています。もともと非常に限られた分布で生息していたこと、繁殖が特殊なことなど、この本だけで夏休みの自由研究がまとめられてしまいそうな興味深いトピックスがあふれています。3冊目のマツの絵本では、樹木だけではなく共生する菌根菌やマツ枯れ現象についても詳しく触れられており、木から森へと興味をいざないます。最後に書かれていた「マツに思うこと」にあった、マツ林へ地域の人たちがどれだけ愛情や思い入れを持てるのかがマツ枯れを防ぐことに繋がるという编者からのメッセージに、深くうなずかされました。4冊目のカエデ（モミジ）の絵本は、さまざまな樹種による葉の形態や生態の違いが楽しめる本です。森林における光の利用戦略の違いなど、知っている人に話したくなる話題が満載です。そして最後のページでは、木々を黄や紅に色づかせるといわれた竜田姫がカエデの木の上で微笑んでいて、1冊目の最初と対になるラストがとても粋です。

どの本も编者のその樹種への愛情にあふれ、学術と文化、そして抒情がバランスよく本の中に納まっています。小学校中級以上向けとありますが、校庭とは縁がなくなってしまった大人でも深く楽しめる本です。

最後に、全くの個人的な話ですみませんが、子供が保育園に通っていた時に、「くぬぎとなかよし」という手作りの木

の解説絵本を差し入れたことがありました。このシリーズと本の巧拙、知識の深さの彼我の差は大きいですが、調べ、愛着を持ったものを次の世代に伝えたいと湧き出る気持ちは同じと申させてください。その子たちがあと1、2年したら、このシリーズを目を輝かせて読む姿が目には浮かびます。子供たちは木が大好きでしたから。

加賀谷悦子（森林総合研究所）

シカ問題を考える バランスを崩した自然の行方

高槻成紀著、ヤマケイ新書、2015年12月、214ページ、864円（税込）、ISBN978-4-635-51009-7

本書は、長年シカの研究に取り組んできた高槻氏による一般向けの書籍である。著者は約40年前から宮城県沖の金華山島でシカと植物の関係について調査を行ってきた。この島は神の住む霊島としてその自然が大切に守られてきた島である。そのため、捕獲されることなく増え続けたシカの密度は40頭/km²に達し、シバ群落が広がる特異な景観を作り出している。この島と同じような状況が、ここ20年ほどの間に全国各地で生じつつあるのだ。シカによる強い影響を「自然

の変動のひとつ」として放置してはならない。本書はこの危機感から執筆されたと言ってよいだろう。

本書は7つの章で構成されているが、内容は大きく3つに分けることができる。1つめは急増するシカの現状と被害の実態についての解説、2つめはシカの生態の紹介とシカが増加した背景についての考察、そして最後が解決に向けた取組と今後のシカ問題についての展望である。特に、シカによる被害の実態について、三章まで紙面の多くが割かれている。これは一般向けという本書の性格もあるだろう。都市部に住む人だけでなく都市近郊の住人であっても、身近にシカがいることに気がついていない場合も多い。ましてや、近年ではシカが激増していること、そのために植物に対してだけでなく他にも様々な影響を及ぼしていることは想像もつかないのではないか。まずは現状を知ってもらうこと、これが問題を解決するための第一歩である。長年蓄積してきたシカと植物との関係を軸にした詳しい解説から、現状を知ってほしいという著者の強い気持ちを感じた。

四章では、改めてシカはどんな動物なのかについて紹介されている。植物を消化できる反芻動物であること、シカに特

徴的な角の形態と意義、そして繁殖特性などの基礎知識が盛り込まれていて、一般人には新鮮な情報であろう。続く五章では、シカが増加した背景について考察されている。原因は複数あげられているが、餌資源量の増加、死亡率（捕獲圧を含む）の低下、シカと人との関わり方の希薄化、に整理することができる。前の2つは以前から個体数増加の原因として指摘されており、それぞれが生じた要因はさておき個体群動態の観点から考えると理解しやすい。一方、最後の1つであるが、このことに関して著者は狩猟者人口の減少をあげつつ、これを含めた農山村の変化、つまり人口減少と高齢化が大きく影響していると指摘する。人間活動の減った農山村はシカにとって住みやすい場所となったのである。このような農山村の過疎化、そして都市部への人口集中は今後も続くだろう。最終章で、著者は「自然とどう向き合うか」と問いかける。身近に自然の少ない都市部やその近郊に住む人にとって、この問いに答えることは難しいかもしれない。シカ問題を考える、それは人と自然との関わり方を考えることでもある。まずは本書を手にとって、一緒に考えてみてほしい。

八代田千鶴（森林総合研究所関西支所）

北から

今日もリスが走る

八木橋 勉 (やぎはし つとむ、森林総合研究所東北支所)



私は現在岩手県の盛岡市と滝沢市にまたがる場所で勤務している。ここは、近くに森林だけでなく、牧場の草地や小さな川があり、少し離れた裏手にはダム湖がある環境である。いわゆる、「生態系の多様性」が高い環境と言えるだろう。そのためか、職場では、ごく低空で飛ぶオオハクチョウの群れ、上空を舞うオオタカやノスリなどの猛禽類、多くの小鳥たち、走り回るニホンリスなど、多くの動物たちを見ることができる。夜にバス停で待っていた時に、頭上をムササビが飛んだこともあるし、近隣にツキノワグマが出没し、注意喚起されることもある。そんな中でも特に、研究室のすぐ外に時々現れる、リスの行動を観察するのが面白い。職場にはオニグルミが生えており、リスは秋にあちこちにクルミを貯食しておき、冬から6月くらいまでの間、それを掘って食べている。木の根元などに貯食することが多く、それを掘りに地面に降りてくることも多い。そうした時に、何かがあると警戒して二本足で立ち上がる(右下写真)。これが、たまたま可愛。特に冬毛の場合は、見る角度や姿勢によって、となりのトトロのような姿に見えたり、まるで着ぐるみのように見えたりする。リスのクルミの食べ方がまた面白い。くるみ割り器で割った時に、クルミが「ぱかっ」と割れるつなぎ目の部分を縫合線と言うらしいが、リスはこの縫合線のてっぺんから、前歯で少しずつ削って行き、1/4周から半周程度、時にはぐるっと一周近くかじってから、ぱかっと二つに割っている。そして、割った後は、半球状になった二つを、それぞれ丸い面を下向きにして重ねて、上のひとつの中身を食べ、食べ終わるとそれを捨て、二つ目の中身を食べるというお作法があるようだ。可愛いリスの仕草を見ると心が和む。しかし、こんなこともあった。ある日、天気も良かったので、休憩時間に窓を開け放って、外を見ながらお茶を飲んでいたら、リスが現れ、ブタクサの葉を両前脚で持って、はむはむと食べていた。可愛かったので、カメラを取り出して、数枚の写真を撮った。そして、またパソコンに向かって仕事を始めたが、数分後に突然、軽めの落下音とともに、シジュウカラとヒヨドリが一斉に警戒声

を上げた。何だろう?と見てみると、地面にリスを捕らえたオオタカがいた。シジュウカラやヒヨドリは、やや距離をとってはいたが、モビングのような行動を始めた。すぐにハシブトガラスもやってきて、ものすごい騒ぎながら、オオタカを襲うような行動を始めた。カラスの場合、モビングなのか、獲物を横取りしようとしているのかはわからないが、カラスが攻撃のそぶりを見せると、オオタカは鳴き声をあげながら、伏せたり軽く飛び跳ねたりしていた。私は、オオタカがすぐ目の前にいることに興奮し、夢中で写真を撮った。リスが重くてバランスが悪いのか、カラスとの位置関係が悪いのか、オオタカは、何度かリスを抱えたまま飛び上がっては再び着地していたが、数分後にはリスを抱えて飛び去った。しばらく呆然としてから、冷静さを取り戻すと、何とも複雑な気持ちになった。オオタカにとってはリスも大事な餌であろうし、そうは言ってもリスにはかわいそうな気もした。また、しばらくは、ひょっこり現れて和ませてくれることもなくなると思うと寂しい気持ちもした。リスは、毎年職場内で繁殖しているが、増えていく様子はない。きっちりと食物網に組み込まれているということなのだろう。厳しいけれど、これも自然が豊かだからこそだろう。後日談としては、予想よりも早く、数日後には、別のリスが現れるようになった。そして、今日、この瞬間にも窓の外をリスが走っている。



コウゾと野生獣類（と和紙）の話

岡本 卓也（おかもと たくや、岐阜県森林研究所）



現在、私が勤務している岐阜県森林研究所は、岐阜県のほぼ真ん中に位置する美濃市にあります。美濃市は、和紙（美濃和紙）の産地として有名です。奈良県奈良市の正倉院には、大宝2年（西暦702年）頃に美濃国、筑前国、豊前国の三国で漉かれた戸籍用紙が所蔵されており、美濃の和紙製造は少なくとも1300年以上の歴史を有しているといわれています。美濃和紙の中でも楮（コウゾ）のみを原料とし、一定の要件を満たした製法により生産される和紙を本美濃紙と呼びます。本美濃紙は2014年に「日本の手漉き和紙技術」としてユネスコ（国連教育科学文化機関）の無形文化遺産として認定されました。

コウゾ (*Broussonetia kazinoki* × *B. papyrifera*) はウツ科の落葉低木で、ヒメコウゾ (*B. kazinoki*) とカジノキ (*B. papyrifera*) の雑種とされ、昔から和紙の原料の一つとして用いられてきました。原材料として用いられるのは、コウゾの株元から成長した一年枝です。和紙を漉くためにはこの一年枝から、以下のような工程により「白皮」を得る必要があります。

①コウゾの成長休止期に、一定の長さに成長した傷のない一年枝を収穫する。

②収穫した一年枝を蒸して柔らかくし、樹皮を剥いで乾燥させる（これは「黒皮」と呼ばれる）。

③乾燥した黒皮を水にさらし柔らかくした後、白い部分を残し表面の黒い部分を削る。

収穫した一年枝から得られる白皮は重量比で4%程度といわれています。これらの作業はほとんど機械化されておらず、その大部分が手作業で行われています。

現在、美濃市内にあるコウゾ栽培地では、20年ほど

前からコウゾの栽培がおこなわれています。2014年にここの栽培者の記憶にある限り初めて、コウゾの枝葉がちぎられたり折られたりする事態が発生しました。コウゾの枝が傷ついたり折れたりすると、求められる条件（傷がない、十分な長さであるなど）が満たせないため、収穫をすることができません。そこで原因を明らかにするため、食痕などの痕跡調査とセンサーカメラ（動物が発する熱を赤外線で感知すると自動的に撮影を行う撮影装置）による調査を行いました。調査の結果、コウゾの成長期である6月頃にはニホンジカが複数回にわたってコウゾを採食しており、成長休止期に近い9月末にはイノシシが一年枝を折って採食していることがわかりました（図-1）。今回の調査では、ニホンジカとイノシシがコウゾを採食することはわかりましたが、どのくらいの期間、どのくらいの頻度で採食するかまでは、明らかにできませんでした。これらの点を含め、どのようにコウゾを採食から守っていくのが明らかにすることが、今後の課題と考えています。

ニホンジカやイノシシは、直接和紙を食べたわけではありません。しかし、美濃和紙の原料であるコウゾを採食し、その減収を招きかねない事態を発生させました。コウゾの減収は、美濃和紙の原料となる白皮の減収を招く恐れがあり、ひいては美濃和紙の生産にも影響を及ぼしかねません。何らかの問題が発生した場合、その影響は問題が発生した現場だけでなく、その先の例えば製品生産者や販売者など、いわゆる川上から川下までに及びかねないこと、そのことを踏まえた広い視野を持って事態に対処する必要があることを、今回の調査を通じて改めて認識させられた次第です。



図-1 センサーカメラ撮影結果

左：ニホンジカ、右：イノシシ

※調査により撮影された写真は、岐阜県森林研究所のホームページ (<http://www.forest.rd.pref.gifu.lg.jp/>) でもご覧いただけます。

森林科学 78

予告

特集

林業労働者のいま (仮)

森林科学 78 は 2016 年 10 月発行予定です。ご期待ください。

本会は、複写権の行使について、下記の一般社団法人学術著作権協会に委託しています。本誌に掲載された論文の複写をご希望の方は、公益社団法人日本複写権センター（一般社団法人学術著作権協会が社内利用目的複写に関する権利を再委託している団体）と包括的許諾契約を締結されている企業等法人の社員による社内利用目的の場合を除き、日本森林学会が複写に関する権利を委託している下記の団体から許諾を受けて下さい（社外頒布用の複写は許諾が必要です）。電子的複製についても同様です。

一般社団法人学術著作権協会
107-0052 東京都港区赤坂 9-6-41 乃木坂ビル 3F
info@jaacc.jp <https://www.jaacc.jp/>

お知らせ

- ・「森林科学」では読者の皆様からの「森林科学誌に関する」ご意見やご質問をお受けし、双方方向情報交換を実践したいと考えております。手紙、fax、e-mailで編集主事までお寄せ下さい。
- ・日本森林学会サイト内の森林科学のページでは、創刊号からの目次がご覧いただけます。また、バックナンバー（完売の号あり）の購入申し込みもできます。
- ・56号以降については、森林学会会員の方は別途お送りするパスワードでオンライン版をご利用になれます。パスワードに関するお問い合わせは編集主事へどうぞ。

森林科学編集委員会

委員長	太田 祐子 (日本大)
委員	松浦 俊也* (経営/森林総研)
	小長谷啓介* (保護/森林総研)
	山浦 悠一 (動物/森林総研)
	小川 泰浩 (防災/森林総研)
	江口 則和 (保護/愛知県森林・林業技術セ)
	田中 一生 (経営/日本森林技術協会)
	橋本 昌司 (土壌/森林総研)
	平野悠一郎 (林政/森林総研)
	磯田 圭哉 (育種/森林総研)
	田中 恵 (土壌・造林/東京農大)
	斎藤 仁志 (利用/信州大)
	田中 憲蔵 (造林/森林総研)
	宮本 敏澄 (北海道支部/北海道大)
	松木佐和子 (東北支部/岩手大)
	逢沢 峰昭 (関東支部/宇都宮大)
	松浦 崇遠 (中部支部/富山県森林研)
	上谷 浩一 (関西支部/愛媛大)
	川崎 章恵 (九州支部/九州大)

(*は主事兼務)

編集後記

森林科学の理事や主事の勧めもあり、国際土壌年を記念して土壌特集を組むことができました。国際土壌年には間に合わず国際土壌年ブームには乗り遅れましたが、森林分野でも改めて土壌について考える特集ができて良かったです。ほっとしています。2015年は国際土壌年（さらに12月5日は国際土壌デー！）ということで、昨年はシンポジウムを始め多くのイベントがありました。

今回は編集委員の私がコーディネータも兼ねました。私が特集の案を組むのに時間がかかったせいで、執筆をお願いした皆さんには、かなり短い期限でそれも年度末に執筆をお願いすることになってしまいました。この場を借りてお詫び申し上げますと同時に、おもしろい記事を本当にありがとうございました。

これまであまり考えたことがありませんでしたし完全に認めたわけではありませんが、ここ数年、「土壌は地味なんだ」と考えるようになりました。田舎育ちで自然とふれあいながら育ってきたこともあり、どことなく土には親近感があったのか、気がつくとも大学でも水の研究室なのに土から出てくる二酸化炭素ガスに関わる研究テーマを選び、オーソドックスな土壌学のメインストリームを歩んできたわけではまったく

ありませんが、ご縁があって現在森林総合研究所の土壌の部署に勤めています。ここには土壌のこと（特に森林土壌）を愛してやまないと思われる人がたくさんいます。そんな土壌に熱いと思っていた先輩の何人かから最近「土壌は地味だ」と言う言葉を聞くことができました。もしかすると国際土壌年だからと、いつも以上に外の世界に売り込んだせいで少し疲れていたのかもしれませんが。しかし、国内外の土壌関係の人々の広報活動の活発さを見ると、そのような気持ちに突き動かされている部分は以前からあったのかもしれませんが。そう言われてみたら、自分自身の体験を振り返ると、人に研究を伝える時の難しさなど、そう言えばそう考えるとなるほどと思える出来事が過去にあったような気がします。

いやいや、せっかくの土壌特集の編集後記を「土壌は地味」で終わらせるわけにはいきません。そもそも研究に派手とか地味とかいう評価は重要ではないはず。地味だからと言って、大切でないわけではなく、今回の特集記事からもわかるように、それこそ「No soil, No life」です。今回の特集記事が、様々な形で森を支えている、そして地球環境を支えている土壌に思いをはせるきっかけになれば幸いです。

(編集委員 橋本昌司)



信頼と実績のKNインターナショナルの 英文校正サービスのご案内

KNインターナショナルは1995年公司設立以来、科学英語論文の校正で数多くの日本の研究者の方々の論文を欧米一流ジャーナルに掲載されるお手伝いをしてきました。

高品質で丁寧な校正、迅速な対応、リーズナブルで明快な価格設定のエディティングサービスで国公立大学、研究機関、病院で高く評価されています。論文をより高度な英文に仕上げ、論文へのアクセプト率を高める校正サービスを長年にわたって提供しております。

高品質・丁寧・迅速

科学技術分野に於いて経験及び知識豊富なネイティブのエディター（すべてアメリカ人）が皆様の論文を国内及び海外のジャーナルにアクセプトされるのをサポートいたします。高い教育（Ph.D.等）と経験（アメリカの科学ジャーナルの元スタッフ等）を積んだ英語のスペシャリストのエディターが基本的な文法やスペリングのチェックだけでなく、文章表現や全体の構成をより精度の高いものにするように、文章の書き換え、提案等をさせていただきます。

ジャーナルのインストラクションへの対応や校正証明書の発行、校正に対するご質問などのアフターフォローにも対応いたします。

信頼と実績

1995年以来、50,000以上の原稿の校正で、数多くの研究者・医師・エンジニアの方々のサポートをしてきました。89%以上のお客様は、当社のサービスをご信頼いただき、繰り返しご利用していただいております。

当社の校正によりジャーナルへのアクセプト率が高まったとの感謝のメールを多数いただいております。

リーズナブルで明快な価格設定

1ページ（200words） 1,700円（税抜）

* 原稿内容や納期による追加・割増料金の請求はいたしません。

フレキシブルな納期

通常10-30ページ程度の場合で5-7日で校正をいたします。特に急ぎの場合はご相談ください。ご指定の期日に間に合うようにスケジュールを調整いたします。

秘密保持

当社のエディターとは、契約時に原稿の一切の内容を外部に漏らさぬように契約を交わしておりますので、安心してご利用いただけます。

ご注文方法

原稿のWordファイルを添付していただき **order@kninter.com** までお送りください。ファイル上で校正したものをe-mailにて返送いたします。原稿依頼等のお問い合わせは、すべて日本語で対応いたします。

お支払い方法

お支払いは、公費、自費のいずれでも対応いたします。当社は数多くの大学、研究機関にて業者登録済みです。お支払の相談にも対応させていただきます。

KN INTERNATIONAL INC

KNインターナショナル 東京オフィス
東京都目黒区目黒本町4-16-7 SWビル
TEL : 03-5704-7887 FAX : 03-4496-4307

お問合せは info@kninter.com
ご注文は order@kninter.com
ホームページ : www.kninter.com