



# 森林の

100

不思議

# 環境

社団法人  
日本林業  
技術協会

# 森林の環境 100不思議



社団法人  
日本林業技術協会

## はじめに

『年歳歳花相似』いつも変わらず私たちをやさしく包み込んでくれているものと考えてきた自然に異変が生じ、私たちにとって不都合な方向に変化しつつあるといわれています。たとえば、大気中の二酸化炭素の増加によって起きる地球の温暖化現象などはその最たるものでしょう。二酸化炭素濃度はハワイ・マウナロアでの観測開始以来一貫して右肩上がりで推移しており、この状態が続けば五〇年後にはアマゾンの熱帯雨林は消滅して草原やサバンナに変わってしまうだろうという説さえあります。

温暖化現象の元凶二酸化炭素の大部分は、ご承知のように化石燃料の大量消費によってもたらされます。石油と並んで大量に使われている石炭は三億年前ごろ栄えた植物の遺体が化石化したもので、大森林をなしていたと思われるこれらの植物は、現在地球を取り巻いている大気、特に酸素を生成するのに大いにあずかっていたと考えられています。皮肉なことに今私たちは、かつての大森林の跡を掘り返して利用することによって大気を汚染し、それを緩和してくれるものとして、歴史時代に入ってから多分に酷使してきた森林に大きな期待を寄せています。さて、果

たして森林は人間の虫のよい願いにこたえてくれるでしょうか。

環境と森林との関わりは多岐にわたりますが、ここでは主に現今の環境問題に森林がどのように関わっているのか、周辺環境の変化に伴って森林はどのように変わってきたのか、あるいは生活環境を守る森林の働きとはどんなものかといったことについて触れることにしました。

執筆は森林総合研究所をはじめとする研究機関、大学などの主に中堅、若手の研究者にお願いいたしました。本務ご多端な折りにもかかわらず、限られた字数で読者にわかりやすく書くことに蘊蓄を傾けてくださった筆者の皆さん並びにテーマ選びに苦心された編集委員の皆さんに厚くお礼を申し上げます。

一九九九年二月

編者

森林の環境一〇〇不思議

目次



## II 気候変動と森林

4 3	4 2	4 1	4 0	3 9	3 8	3 7	3 6	3 5	3 4	3 3	3 2	3 1	3 0	2 9	2 8	2 7	2 6	2 5	2 4	2 3	
異常でない？ 異常気象	いつから地球は変わりはじめたか	洗濯物の乾きやすさ	ガイアの掟	煙で木が育たない	ペルー沖から飛び火	花粉はかたりべ	樹木温度計	火事でよみがえる森	成長する土	持ちつ持たれつ森林と永久凍土	変わりゆく上高地	田んぼの下にスギの大木	化石になった土	日本列島に広がっていたスギ林	氷期に森林が発達しなかったワケ	森林と砂漠交代の地球史	森を伐つてなぜ悪い	よそ者に滅ぼされる！	紫外線が増加すると……	食べちゃった熱帯林	森を伐つてなぜ悪い
9 6	9 4	9 2	9 0	8 8	8 6	8 4	8 2	8 0	7 8	7 6	7 4	7 2	7 0	6 8	6 6	6 4	6 0	5 8	5 6	5 4	

## III

日本の  
森林の変遷と現状

4 9	ブナ林のルーツを探る	1 1 0
5 0	木曾ヒノキ林成立の秘密	1 1 2
5 1	屋久杉の不思議	1 1 4
5 2	植物たちも富士登山	1 1 6
5 3	ふるさとをはるか北の凍てつく大地	1 1 8
5 4	美人薄命	1 2 0
5 5	南の島に	1 2 2
5 6	類は友を呼ぶ	1 2 4
5 7	似て非なるもの	1 2 6
5 8	チヨ―塩基性岩地帯の特異な植生	1 2 8
5 9	縄文人の豊かな食生活	1 3 0
6 0	クリからカシへ	1 3 2
6 1	究極の？ 人工林	1 3 4
6 2	歴史を語る鎮守の森	1 3 6
6 3	街道の並木に隠された役割	1 3 8
6 4	育ての親がいた	1 4 0
4 4	ひとことで森林環境というけれど	9 8
4 5	水源を見つめて六〇年	1 0 0
4 6	一八年ごとにやってくる？ ドカ雪	1 0 2
4 7	乱高下して高値基調	1 0 4
4 8	雨がスツバイ？	1 0 6



86	地下にあるダム	186
87	森は飲んで汗かき?	188
88	緑は人類を救う	190
89	森は山崩れを防いだ	192
90	防風効果と通風の妙	194
91	世界遺産を守る「雪持ち林」	196
92	「白い闇」地吹雪を防ぐ	198
93	雪山は森林とともに	200
94	静かさを演出する森の音	202
95	落石注意!	204
96	雪は自然の貯水ダム	206
97	森はワシを守る	208
98	環境との調和を目指して	210
99	急がばまわれ	212
100	緑の防火壁	214

I

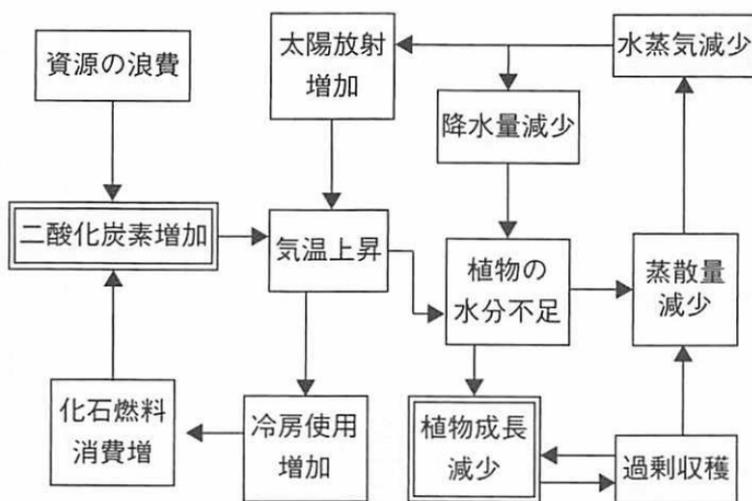
環境問題と森林

# I 時を越えた風

石炭や石油を使うようになって私たちの暮らしはすいぶん便利になりました。ただたんに熱や灯火として用いるだけでなく、機械のエネルギー源、各種の化学製品の原料としても重宝されています。四〇年ほど前までは、日本中の家庭の台所では炭や薪が使われていました。薪炭材が不要となり、マツ林や広葉樹林が減少し、建築材を得るためのスギ林やヒノキ林が増え、農村の景観も変わりました。このことが巡りめぐって地球の将来を危うくするのではないかと心配されてきました。そして、現実となりつつあるのです。

石炭は大昔の植物が地中や水底で炭化したものです。石油や天然ガスも生物の遺骸からできたことから、これらを合わせて化石燃料と呼んでいます。もともと、植物が光合成によってつくり出した炭素化合物という点では薪や炭と同じといえるでしょう。しかし、地球環境への影響という点では大きな違いがあります。

数億年から数百万年の時間をかけて、少しずつ、石炭や石油として蓄えられた炭素の量は地上の森林資源に含まれるよりずっと多いのですが、私たちは、数千年分の遺産をわずか一日で使い果たすほどの速さで化石燃料を消費しています。しかも、その影響は浪費している国だけでなく、ほかの国々へも及ぶのです。化石燃料を消費すると、最終的には、炭素が二酸化炭素として大気中に放出されます。地球上に植物が出現して以来、減少を続けた二酸化炭素の濃度は、石炭の大量消費を始めた産業革命以後、急激に上昇を続けてい



二酸化炭素濃度が上昇すると

ます。二酸化炭素は太陽からの光をよく通し、地面から反射する熱を通しにくい性質があるので地球全体を暖める効果があります。この影響によって、これまででない速度で気候変動が生じているとの指摘があります。ゆるやかな気候変動であれば、植物の光合成が活発になり、二酸化炭素を減らし、気候を調整する森林の機能が發揮できます。しかし、わずかでも急激な変化が次の変化を誘発し、連鎖反应的に悪い方向に向かうかもしれません。

上の図に示したのは、ごく簡単な森林と環境の相互作用の模式図です。もちろん、この図は極端な想定であり、すべてが悪い方向に向かうとはかぎりません。しかし、そうならない保証はありません。化石燃料の消費を控え、十分な面積の森林を健全な状態で維持すれば回避することが可能です。それが現在の私たちに課せられた義務であることは間違いないでしょう。

(埴田 宏)

# 2 さまよう森林

二酸化炭素などの温室効果ガスの濃度が十八世紀の産業革命以来上昇しつづけ、地球の温暖化が進行しています。地球の温度は過去に一定であったわけではなく、第四紀（二〇〇万年前以降）には四回の寒冷期と温暖期の繰り返しがありました。最近では、七万〜一万年前が最終氷期（ウルム氷期）でその最盛期は現在の温度より約七℃低く、その後急激に温暖になり、九〇〇〇〜三〇〇〇年前が温暖期（ヒブシサーマル期）で現在より最大約二℃高かったといわれています。気候変化に対応して植物も移動し、各地の森林も変化しました。現在照葉樹林帯に含まれる関東低地においては、最終氷期には寒冷乾燥な気候に適応したゴヨウマツ類・トウヒ類が多く、温暖期にはカシ・シイが多くなりました（表）。

現状で温室効果ガスが増加しつづけると、二一〇〇年には平均気温が現在より三〜四℃も上昇すると予想されています。このような地球環境の変化に、すべての生物が適応しなければなりません。いったい、どういふことが起こるのでしょうか。

日本の場合、温度上昇に伴い森林帯が水平的には四〇〇〜五〇〇\*。北方へ、垂直的には五〇〇〜六六〇\*。高標高へ移動すると予想されます。これは、これまでにない急激な変化で、森林帯が毎年四〜五\*。北上することを意味し、多くの植物の移動能力を超えています。しかも、長い人間活動の結果、天然林は少なくなり、

1万5000年前からの植生変遷（塚田，1974による）

花粉帯	絶対年代 (西暦)	照葉樹林帯	中部日本の温帯	時代の 特徴	地質時代 区分
R III b	1500年前 (AD450)	アカマツ林, 草本低木類	アカマツ林, 草本低木類	歴史時代	後 氷 期
R III a	4250±250年前 (2300±250BC)	人類による森林破壊はじまる（草本類の増加開始） カシ亜属, シイノキ, ヤマモ モ林, 冷温帯針葉樹進出	ブナ, ナラ属林(コウヤマキ・ スギ共存) 亜寒帯林の進出	減暖期	
R II	9500年前 (7550BC)	カシ・シイ林	ナラ, ブナ属林 (温帯・暖温帯林の進出)	温暖期	
R I	1万500±500年前 (8550±550BC)	冷温帯林, ヨモギ属, 草本類	針広葉樹混交林 (ブナ・ナラ属増加, トウヒ・ シラビソ・コメツガ減少傾向)	漸暖期	
L	約1万5000年前 (1万3000BC)	ハリモミを含む冷温帯林, ヨモギ属, その他草本類	マツ属を優占する亜寒帯林 (トウヒ, シラビソ, コメツガ, カラマツ, ダケカンバを含む)	寒冷期	

都市・人工構造物・農地・人工林などによって分断されています。移動経路の断たれている現在、天然林が連続していません。有史以前に比べ、植物の移動はたいへん困難になっています。温暖化による植生の変化が最も著しいのは、より温暖域の植物の侵入を受ける移行帯の森林です。すなわち、高山帯、亜高山帯、冷温帯、暖温帯の境界領域です。そして、移行帯が山頂部に位置する場合、山頂部の植物は温暖化により逃げ場を失い消滅する危険性があります。たとえば、冷温帯林の代表種ブナの場合、垂直分布域下限に当たる低山に残存するブナ林は温暖化によりカシ、ナラ、モミなどの侵入を受け消滅の可能性が高いので、脆弱な森林といえます。消滅するのはブナだけでなく、その森林内に共存するさまざまな動植物も含まれるでしょう。

温暖化の影響でさまようことになった森林には、もえ逃げ場があまり残されていないのです。

（田中信行）

# 3 森が溺れる？

熱帯・亜熱帯地域では、海と陸のまさに境目、潮間帯にマングローブと呼ばれる森林が形成されています。マングローブは、潮間帯のなかでも特に中等潮位以上の高位干潟に成立します。潮間帯の幅、すなわち干満の差は地形条件により大きく異なりますが、通常は一〜二層程度とそれほど大きくありません。すなわちマングローブの多くは、わずか数十センチの高度差のなかに成立していることとなります。IPCC（気候変動に関する政府間パネル）の最新の予測では、来世紀末までに海面は現在より五〇センチほど上昇するであろうと予測されています。マングローブの成立する潮位条件からみて、予測される海面上昇がマングローブ生態系に多大な影響を与えるであろうことは容易に想像できます。

地球上は、過去に何度も急激な海面上昇を経験してきました。一万〜八〇〇〇年前の間には、海面は年約一〇センチの速さで急上昇しました。この間にマングローブは内陸側へ一気に後退していきました。海面がほぼ現在のレベルに安定していたその後の数千年間にも、振幅二〜三層程度の小規模な海面変化が数回繰り返されました。この時期の緩やかな海面上昇に対しては、その根系や落葉・落枝を材料とする泥炭層をマングローブ自らがつくり出すことによって、海面上昇と拮抗するかたちで地盤高を高め、その成立場所を維持することができました。熱帯湿潤地域のマングローブ泥炭の堆積可能速度は年五センチ程度と見積もられており、集



マングロブのなかで最も泥炭生産力が高い *Rhizophora apiculata* の林

水域からの土砂流入がほとんど期待できない立地条件にあるマングロブでは、これを上回る速度で海面上昇が進行した場合、海側からしだいに後退していくと考えられます。干満の差が数メートル以上もあるような地域では、一般に地盤高はすでに高潮位付近にまで達しているため、その影響が現れるまでまだ多少の時間的余裕がありますが、数十センチしかないような地域では直ちに影響が現れてくるでしょう。また、人為的攪乱によって立木密度の低下した劣化林では、泥炭生産力も低下していることからその影響はより顕著に現れると考えられます。

温暖化に伴う海面上昇は、熱帯湿潤地域におけるマングロブ泥炭堆積速度の上限値とほぼ一致する速度で進行すると予想されます。マングロブ林の消滅は、その地域での防潮・防波機能を低下させるとともに、沿岸生態系の破壊をもたらし、水産資源の減少をも引き起こすこととなります。また、泥炭堆積の場、すなわち炭素蓄積の場としての重要な役割を担う生態系を失うことにもなるのです。海面上昇の影響を最小限に食い止めるためにも、できるだけ良好な森林環境を維持することが必要とされています。(藤本 潔)

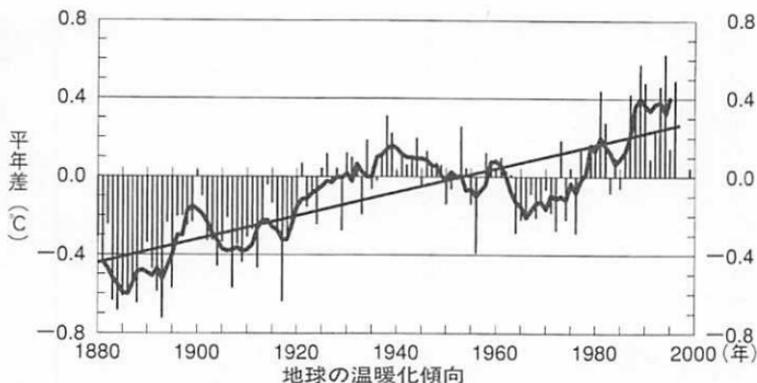
# 4 温暖化は本当？

図は、世界のおもな気象観測点の過去一二〇年間の地上気温の年平均値を示すもので、一九六一〜一九〇年の三〇年平均値からの偏差で表されています。大小の波はありますが、平均して一〇〇年に〇・六度の割合で上昇しています。世界の専門家が集まるIPCC（気候変動に関する政府間パネル）は、炭酸ガスなど温室効果ガスの増加（九四ページ）がこの温度上昇のおもな原因だと判定し、現状を放置すれば今後一〇〇年で地球の気温はさらに一〜三・五度上昇し、海面水位も一五〜九五センチ上昇するだろうと警告しています。

これに対して、次のような疑問があるかもしれません。

- ① 地球は過去にも氷期や温暖期を繰り返したではないか。この程度の上昇はたいしたことはない。
- ② 温暖化が地球をどう変えるか、まだ確かなことはわからないのではないか。

しかし、これに関しては次のことを考えなくてはなりません。つまり、①の過去の気候変動は、火山噴火など一時的なものを除けば、地球の自転軸や公転軌道の変動などのためと考えられ、何千、何万年という時間尺度のものだったのに対し、今の変化は人間活動に起因する急激なものであることです。IPCCの予想する前記の数値は過去二万年の気候変化のなかで最大の上昇率と考えられています。またそれは全地球の平均値であり、北半球の高緯度地域などではもっと大きく上昇するため、地球を取り巻く大気や海洋の循環シ



世界の地上気温の変化(1880~1997年), および年ごとの値と5年移動平均(気象庁による)

システムに異変を引き起こすおそれがあります。さらに、②それら変化の具体像は確かにまだ明確ではありませんが、地球は巨大なシステムですから、不都合が実際に見えてきてからでは、急ブレーキをかけても間に合わないことです。たとえば炭酸ガス濃度を一〇〇年後に頭打ちまで抑えたとしても、海面水位は今後、何世紀にもわたって上昇を続けると計算されています。それは大気に比べて水は熱容量が圧倒的に大きいため、暖まるにも冷えるにも桁違いに時間がかかり、また、南極大陸などの雪氷が融け出すのも遅い一方、それらの動きは始まったら止まらないからです。

そのほか、気温や水文の変化に伴い、生物の生態系に急激な変化が起こるおそれもあります。なお、大気中にはエアロゾルと呼ばれる細かな塵があつて、これは日光を反射して地上気温を下げるとも働きをします。人間活動によるエアロゾル(たとえば硫酸塩)も着実に増えているのですが、それらによる降温効果を差し引いた正味の昇温が前記の数字なのです。

(檀間道夫)

# 5 関西商人？並み、シベリアの森林

一年を通じて月別の平均気温が三〇℃前後でまったく季節変化が見られない熱帯降雨林。最低気温がマイナス六〇℃、年平均気温がマイナス一〇℃以下で緑の葉が見られるのが三〜四か月しかないシベリアのカラマツ林とでは、同じ森林でも生育環境には大きな違いがあります。こんなに生育環境が違えば森林の二酸化炭素収支もまったく違ったものになります。樹木は、光のエネルギーを利用して行う光合成で二酸化炭素を吸収し、呼吸で外に出します。両者の差が樹木の成長量として長年蓄えられ、巨大なバイオマスを持った森林を形づくるのです。

季節変化がほとんどなく一年じゅう暖かい熱帯では、樹木の成長は速く、巨大な幹には年輪がないのが普通です。一方、シベリア北部のカラマツは直径一〇センチの幹になるのに二〇〇年以上かかり、年輪はピツシリ詰まっています。樹木が光合成を行うのは昼間だけです。呼吸は夜も昼も休まずに行われています。呼吸量は気温によって決まるため、熱帯の夜は二酸化炭素収支を支配しているといっても過言ではなく、呼吸量は光合成量の八〇割にも上る場合があるといわれています。つまり、二酸化炭素収支に関していえば熱帯降雨林は宵越しの金は持たない「江戸っ子」森林といえるのです。一方、北方林、特に永久凍土の上に成立している地球上最大の森林生態系であるシベリアカラマツ林はどうでしょうか。



カラマツの呼吸測定装置

森林全体の二酸化炭素収支をできるだけ正確に推定するために、樹齢二〇〇年以上のカラマツを覆うことができる大型の呼吸測定装置（大型暗チャンバー）を開発しました（写真）。チャンバーの温度は、地下三〇〜四〇センチから下に無限にある永久凍土に埋めた冷水タンクとたき火で沸かした熱湯を利用して、パソコンで微調節制御する方式です。この装置で数十個体の呼吸量を測定し、さらに地下部にある根の呼吸量も小型チャンバー多数を用いて測定しました。稼ぎに当たる光合成量は「積み上げ方式」と呼ばれる方法で推定します。これは一年間の根、幹、枝の容積の増加分から計算します。さらに葉もすべて落として計量し、これも一年間の稼ぎに入れます。これに根の枯死脱落量も考慮する必要があります。

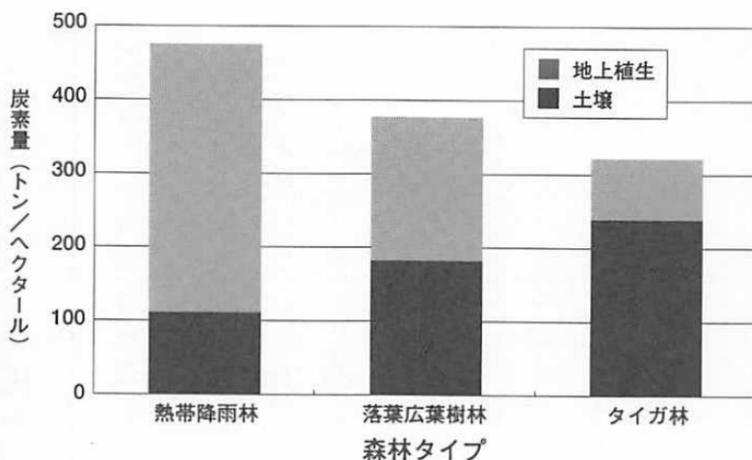
こんな手間と時間のかかる方法を経てようやく一つの森林の二酸化炭素収支が推定できました。その結果、カラマツ林の年間総光合成量に対する呼吸消費量は二〇〜二五％でした。おそらく森林生態系で最も低い値になるでしょう。つまり、地球上最大の森林生態系は、二酸化炭素収支が最高効率の森林だったのです。シベリアの森林は稼ぎのほんのわずかしか消費しない、いわば二酸化炭素収支の「関西商人」なのです。（森 茂太）

# 6 炭素の家計簿は土壌のへそくり

外見はみすほらしい家に住んでいても、じつはたんまり貯蓄や宝石を持っているかもしれません。反対に、りっぱな邸宅に住んでいても、借金で首が回らないかもしれません。なかなか見かけでは判断できないものです。森林生態系の炭素量の分布も同じことがいえます。陸上では森林に最も炭素が多く貯蔵されています。その量を推定するには、木の大きさや刈り取った草の重さと炭素量との関係を調べて求めますが、それだけでは片手落ちです。土壌中の炭素量も調べる必要があります。土壌の炭素量は外から見えない「へそくり」のようなものです。

東南アジアの熱帯雨林には背の高い樹木が多く、一ヘクタール当たりの森林に含まれる炭素量は三五〇ト以上になることがあります(図)。日本の落葉広葉樹林では約二〇〇ト、亜寒帯のシベリアの針葉樹林(タイガ)では約八〇トの炭素が地上の植生に貯蔵されています。

土壌のへそくりを見てみましょう。地下一メートルまでの土壌に含まれる炭素量を比較すると、一ヘクタール当たり熱帯では約一〇〇ト、温帯である日本の土壌では約一八〇ト、シベリアの土壌には約三二〇ト含まれています。植物中の炭素量に比べると、熱帯では三分の一、温帯ではほぼ同量、タイガでは約三倍の炭素が土壌に貯蔵されています。森林生態系の炭素量を見かけの植生で判断するのは禁物です。



森林タイプ別の植生と土壌中の炭素量

土壌中の炭素は、落ち葉や腐った根に由来します。植物が死ぬと有機物は腐って二酸化炭素などに分解しますが、腐りにくい部分は腐植となって土壌に蓄積します。腐植の約半分は炭素です。熱帯林のように植生の量が大きいほど落ち葉などで土壌に入る有機物量も多いのですが、暖かい地域では落ち葉が速く腐り、土壌にあまりたまりません。稼ぎはよいけれど生活も派手な家計です。反対に、冷温帯では毎年の落ち葉は少ないけれども、寒いので落ち葉は腐りにくく厚くたまって土壌中の腐植も多くなります。爪に灯をともしようにして、蓄財をなす家計です。さて、あなたはどちらのタイプでしょう。

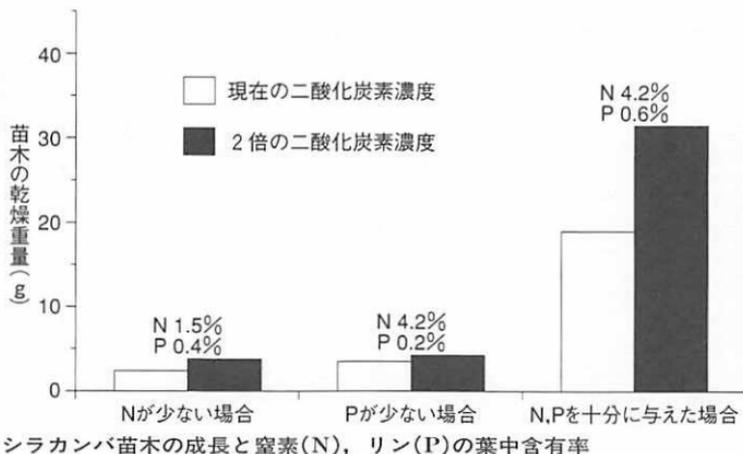
ところでダイヤモンドも炭素です。土壌の炭素量はどのぐらいの大きさに匹敵するでしょう。日本の場合、縦横深さ一辺の土壌の炭素量は九万カラット、これは一辺の牛乳パック五個分です。どうです。価値あるでしょう。(高橋正通)

# 7 二酸化炭素が増えればよく育つ？

水分を除くと植物体の四〇〜五〇％は炭素(C)からできています。この炭素は大気中の二酸化炭素に由来し、緑葉の光合成作用によって植物体に取り込まれたものです。植物にとって大気中の二酸化炭素は、ある意味では私たち人間にとっての食糧のようなものといえるでしょう。現在、大気中の二酸化炭素濃度はおよそ三六〇ppmなのですが、石油などの化石燃料の燃焼をおもな原因として上昇を続け、一〇〇年後には五〇〇ppmを超えることが予測されています。それでは、二酸化炭素濃度の上昇は、樹木の成長にどのような影響を及ぼすのでしょうか。

いろいろな樹種について、空気中の二酸化炭素濃度を増加させて苗木を育ててみるという実験が行われています。二酸化炭素濃度が現在の二倍の環境では、平均的には、光合成速度が五割程度、乾物生産量が三〜四割程度増大するという結果が得られています。高い二酸化炭素濃度は、光合成による二酸化炭素の吸収を活発にし、樹木の成長にプラスの効果を及ぼすと考えられます。

ただし、このような効果については「養分条件が比較的良好である場合には……」という前置きが必要なようです。たとえば、窒素(N)とリン(P)は土壌から根で吸収される生育に必須な元素の一つで、植物体にそれぞれ数パーセント、零点数パーセント含まれているのですが、与える量が少ないと養分不足となり、



葉の養分含有率、成長の低下が見られます(図)。二酸化炭素濃度の増加は光合成速度、そして成長を大きく促進しました。しかし、養分不足の状況では、高二酸化炭素濃度のプラスの効果がありません。みられなくなり、たくさんある二酸化炭素を利用できていないことがわかります。体調がすぐれないときには、ごちそうを並べられても食が進まない様子と似ているのかもしれない。

さて、野外に目を向けてみると、施肥等の栽培管理が普通に行われ、養分条件が良好な田畑では、二酸化炭素濃度の上昇は農作物の成長にプラスの効果を与えそうです。一方、森林においては、乏しい養分条件の下で生育している樹木が少なくありません。それゆえ、二酸化炭素濃度が上昇しても、山の本々の成長は大きくは促進されないと考えられます。

大気からの二酸化炭素の獲得、そして土壌からの養分の獲得。植物の成長にとって、両者のバランスが重要なのではないでしょうか。

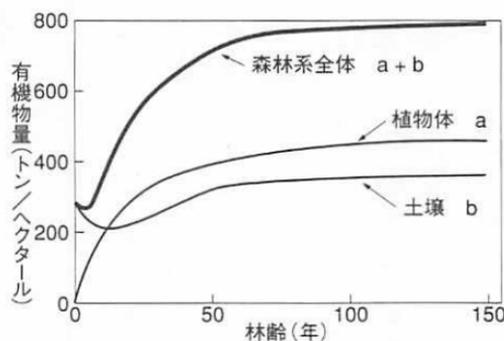
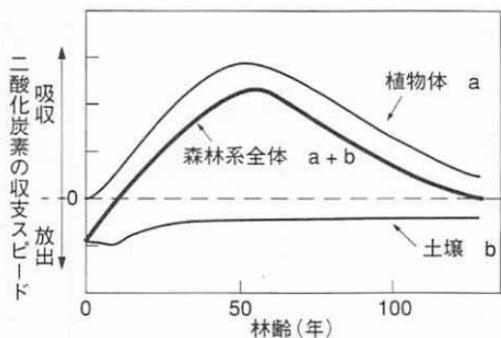
(重永英年)

# 8 青年VS熟年、どっちが役に立つ？

森林を構成する植物つまり樹木は光合成によって二酸化炭素を吸収し、炭素として体内に蓄え、他方では呼吸によってそれを放出しています。それでは、森林はどのような状態のときに二酸化炭素を最も多く吸収するのでしょうか。上の図は伐採された森林が再び発達する過程で変化する二酸化炭素の収支速度を示しています。図中の「植物体」とは、一年間に樹木たちが自分の体を成長させた量（二酸化炭素の吸収量）です。その成長量は、樹木が成長を始めてから五〇歳前後（青年期）まで増加し、その後減少することがわかります。一方、土壌の中には倒木や落ち葉など植物の遺骸由来の有機物（炭素が含まれる物質）が存在します。これは、小型動物や菌類の餌となり、分解され、やがて二酸化炭素となって大気に放出されていきます。「土壌」とは、その有機物が一年間に分解される量（二酸化炭素の放出量）で、森林が幼年期（二〇年生まで）に最も放出量が大きくなり、青年期以降は一定になることがわかります。そして「森林系全体」とは、「植物体」から「土壌」を差し引いた値で、その量は幼年期には引き出し（二酸化炭素の放出）となりますが、その後は預け入れ（二酸化炭素の吸収）に転じ、青年期には年々の預け入れが増加し、熟年期になると減少していきます。これまでに紹介したのは毎年の稼ぎ高（二酸化炭素収支）です。

それでは、蓄え（貯蓄高）はどうなっているのでしょうか。下の図は有機物量の変化を示したものです。

ここでの「植物体」とは生きている樹木の量、「土壌」とは土壌中に含まれる有機物の量です。「森林系全体」とは、森林全体に存在する有機物量つまり貯蓄高です。これを見ると、若い時期に土壌の有機物量が減り、一時は森林系全体の蓄えもマイナス方向に向かいますが、その後、青年期に蓄えを増やし、熟年期になると安定した大量の有機物を蓄えるようになります。



森林系における炭素の動き (Barnes ら, 1997を改変)

成長が衰えた熟年期の森林は二酸化炭素を盛んに吸収し、蓄えへと回し、成長が衰えた熟年期の森林も過去の蓄え(貯蓄高)を増やすことはあっても減らすことはないということです。森林は長い年月をかけて大量の二酸化炭素を吸収し、蓄えていることがわかります。

つまり、年寄りといっても決して役に立たないのではなく、炭素のダムとして大気中の二酸化炭素増加に歯止めをかけているのです。(田内裕之)

# 9 ハゲは進行する

アフリカのサハラ砂漠の南縁に連なるサヘル地方では、一九六〇年代の後半から二〇年近く続いた長期の干ばつが引き金になって、農地や放牧地が荒廃して深刻な飢餓に見舞われました。

このことが契機になって、一九七七年、ケニアの首都ナイロビで国連砂漠化防止会議が開催されました。会議の席上で事態の深刻さが具体的に報告され、しかも荒廃地域はアフリカ北部だけでなく、世界各地で起こっていることが明らかにされました。当時、一般には耳新しい砂漠化 (desertification) という用語がここで初めて公式に用いられ、「土地の荒廃によって最終的には砂漠のような状態になる現象」であると定義されました。しかし、これではあまりにも抽象的すぎるということで見直しが行われ、「おもに人間の活動によって半乾燥地帯を中心に起こっている土地の荒廃現象」と再定義されて現在に至っています。いずれにしても、最終的には砂漠のような、植物の生育しない荒漠不毛の状態になることを示したものです。

国連による一九九一年の調査によれば、世界陸地の約四分の一、すなわち乾燥地域の約七〇%が砂漠化の危険にさらされ、世界人口の約六分の一が影響を受けているとされています。

降水量が少なく、植生の乏しい乾燥地の生態系は、人為的な過度の干渉によって容易に破壊されてしまいます。そのうえ干ばつなどの異常気象が発生するといっそう加速されます。たとえば、放牧地で家畜による



幼い子供も働く遊牧の暮らし、ゴビ砂漠(モンゴル)にて

消費量が植物の生産量を上回る(過放牧)と、裸地化が進んで土地が荒廃します。また、自然の降雨に依存する農業(降雨依存型農業)では過度の耕作によって地力が消耗し、特に干ばつの発現時には激しい風食にさらされます。さらに、灌漑農業(オアシス農業)では灌漑によって地表近くには塩類の集積が起こりやすくなります。大量の水が灌漑されると地下水位が上昇し、塩分を含んだ毛管水が地表面に達するためです。

アフリカ北部からアラビア半島を経て、中国、モンゴルに至る中央アジアの乾燥地帯は数千年の歴史を持つ伝統的な遊牧ベルト地帯です。近年になってモンゴルなどごく一部の地域を除いて定住化が進み、さらに不合理な開発によって深刻な砂漠化が発生しています。水の枯渇・塩類集積・土壌浸食などによるものです。乾燥地では水が最も基本的な制限因子であることはいうまでもありません。それぞれの地域の水資源量を明らかにして、許容量の範囲内で開発と保全のための利用法を確立することが必要です。

植生の乏しいハゲ上がった不毛の荒野は、今もいつそう拡大を続けていますが、そのおもな原因は人間活動によるものです。周到な管理によってその進行を食い止めることができます。さらに、元の緑の大地に戻すことも決して不可能なことではありません。

(松田昭美)

# 百年河清を待つよりも

中国第二位の大河黄河はその源を黄土高原に発する、日本の清澄な河川とは対照的な茶褐色の濁水の河川です。黄河の河川水の含砂泥量は世界一といわれ、これは黄土高原における土壤侵食に起因していると指摘されています。黄土高原は、まさに「耕して天に昇る」の表現がぴったりで、太古から農耕用に開発し尽くした結果、荒廃景観が広がる、土壤流失の最も激しい典型区域です。

黄土高原は年降水量が三〇〇〜六〇〇<sup>mm</sup>と小雨乾燥地に属し、夏期六〜九月に集中し、かつ降雨強度も大きい降雨パターンを示し、地質も第四紀風成層の黄土が厚さ数〜百メートルで表層を覆い、きわめて微細膨軟で、吸水すると分散しやすく、侵食に弱い性質を持っています。黄土高原はおもに傾斜畑と放牧に利用されており、ここに強い雨が降ると地表流の発生によって表面侵食が起り、リルとなり、それらがまた集まってガリーに進展します。それが深い溝谷に落下して谷壁面を侵食し、その侵食谷が農地上部へと開析・成長していくという黄土高原特有の侵食過程をとります。この過程が進むにつれて、侵食による土砂生産が急増します。黄土高原では、こうした自然的条件に加えて、粗放な営農方式がまた土壤侵食を加速するという悪循環を形成しているようです。食糧の確保・生活基盤の安定・貧困からの脱出のために水土保持技術の向上とそれに伴う農民の経済的自立の確立が中国国家の目標になっています。したがって、農民の生活向上を



傾斜畑などの農地利用によって荒廃した黄土高原の景観



森林造成によって荒廃地の復旧が進みつつある黄土高原

図りながら、黄土高原の侵食防止、荒廃地の復旧などの治山対策は焦眉の急であり、「流域総合治理」事業として取り組まれています。その主要なものが、荒廃流域での緑化事業を含めた治山事業です。

しかし、それらの技術者が不足しており、日本の協力でこれまで治山技術者の養成訓練が行われ、多くの技術者が輩出され活躍しています。緑化事業においては、小雨乾燥地の森林造成技術ということで、少ない雨を有効に利用し、侵食の元凶となる地表流水を抑制するために水平や逆勾配のテラス方式の階段植栽法や急斜面では魚の鱗状に植栽地ごしらえした魚鱗坑などが考案され、アブラマツ、コノテガシワ、ニセアカシア、ポプラ類などが植栽されているほか、高収入が期待できるリンゴ、ナシ、アンズ、クルミなどの果樹類が経済林として導入植栽されています。

こうした緑化事業には、政府間協力のほかに、日本を初めとしたNGOのボランティア協力も盛んに行われ、河清に向け、荒廃した黄土高原の緑の復元に果敢な挑戦が続いています。

(真島征夫)

# 森を潰した人口圧と過放牧

一般に赤道付近では熱帯降雨林が発達しますが、東アフリカのケニアは赤道直下にありながら、大地溝帯沿いにそびえる高山の影響を受けて降水量が少なく、砂漠や半乾燥地が国土の八割を占めています。このためサバンナが発達し、キリンやライオンなど野生動物の王国として有名で、サファリーパークが各地に点在しています。半乾燥地とは年降水量が四五〇〜九〇〇<sup>ミ</sup>の地域を指し、そこには六〇種にも及ぶアカシア類など乾燥に耐える低木の疎林 (woodland) が分布しています。十一月からと三月からの二回の雨季の始まりには、若葉が芽吹き、日本の春の雰囲気でも乾燥地とは思えないのに、五月から十月にかけての長い乾季には、わずかの常緑樹を除けば樹木は落葉し、草も枯れ、土煙が立ち上がる茶色の風景に一変します。

アフリカの国々の人口増加はよく知られていますが、ケニアにおいても人口増加率は年三・四%ですから、人口は二〇年で約二倍になる勢いです。このため、それまで農業には不適地であった半乾燥地にも、農地を求めざるをえません。標高一七〇〇<sup>ミ</sup>の首都ナイロビから東に下ると半乾燥地の樹林が広がりますが、ここでは、入植した人々が開墾して次々に森林が虫食い状態になりつつあります。農地がいよいよ不足すると違法な焼き畑によって山地の急斜面にまでトウモロコシ畑を広げることになり、このために森林の消失によって水源かん養機能が失われ、村の大切な水源がかれて大きな生活問題になっていました (写真上)。



山頂まで広がる焼き畑



過放牧による地表植生の喪失とガリ浸食

一方、ナイロビから北西のリフトバレーへ向かうとフラミンゴの生息するナクル湖など風光明媚な一帯があり、この周辺の高地では雨が多く、豊かな土地ではシャンバシテムというアグロフォレストリーにより植林も盛んです。しかし、さらに北に向かうと再び乾燥地が隣国スーダンに広がります。バリンゴ湖の周辺には、農耕民族より狩猟民族が多く、ヤギや牛の放牧が盛んです。彼らにとつて家畜の保有数が社会的地位を決めるとみる伝統があり、また干ばつ時の保険とみて盛んに家畜を増やし、飼料植物の成長が追いつかなくなります。これに干ばつ傾向の気象状態が加わると一気に地表植生が過放牧により失われ、ほぼ平坦で広大な土地にもかかわらず、雨水で大きなガリ浸食が至るところで発生し（写真下）、その土砂がバリンゴ湖に流れ込み、湖は茶褐色に濁り、漁獲量も大幅に低下したといわれています。

降水量がいかに植物資源やひいては人々の生活に影響しているかを実感させられます。

(矢幡 久)

# 海水で砂漠に緑を！

アラブ首長国連邦（UAE）を初めて訪れたとき、予想に反して道路や都市公園の緑の多さに驚き、対照的に海岸に沿って広がる一木一草もない不毛の塩性地、さらにはルブアルハリ砂漠へ連なる真っ赤な砂丘を見ていっそう驚いたことを覚えています。UAEは年平均降水量一〇〇<sup>リ</sup>程度、夏季の最高気温は五〇℃近くには達する亜熱帯の乾燥地です。この国では、海水はもちろん地下水の塩分濃度も高く、また暑くて降水量も少ないために、みどり<sup>、</sup>を育てるためのいろいろな方法が試みられています。

沿岸帯には、ヒルギタマシというマングロープが生育していて、古くからラクダやヒツジの飼料、薪などに利用されてきましたが、近年では乱伐と生育地の埋め立てなどにより激減してきました。そこで、潮間帯や海岸塩性地の緑化は漁業資源の確保にもつながるとの考えのもとで、水産養殖場の排水を微肥料としたマングロープ植林が日本の協力により試みられています。一方、アリゾナ大学では一五年ほど前、塩分に富む場所でも生育できるハロファイト植物を利用して、海水灌漑栽培試験を行いました。このような試みが成功すれば、沿岸帯や今まで不毛と呼ばれてきた海岸サブカ（沿岸域の塩性湿地）での緑化が可能となり、土地の有効利用、環境改善に大きく寄与できるものと期待されます。

首都のアブ Dhabi やドバイなど海辺に近い都市公園や街路樹の緑化には、海水から塩分を除いた水（海水の

淡水化)が使われています。巨大なプラントを建設し、蒸発法や膜法と呼ばれる方法で脱塩水を得ています。もちろんこのようにしてつくられた水は高価なので、その多くは生活用水として使用されています。

この国では、内陸の砂丘地や砂丘間地を含めて、過去三〇年間に六万四〇〇〇畝、およそ一〇〇〇万本の



海岸の広大な塩性地



首都アブダビのあざやかな緑

苗木が植えられました。灌漑水のはほとんどは地下水に依存していますが、塩分濃度は高い場所で一五五〇〇ppm以上あり、耐塩性の高い植物以外では生育障害を起こしてしまいます。また、すべての木に一日四〇リットルの水をやっています。そのため、防風・防砂用には、アラーク(サルバドーラ属)、ガフ(プロソピス属)、サマー(アカシア属)、シダー(ジジファス属)などの耐塩性が高く水分要求量も少ない自生種を中心に緑化が進められています。

(吉崎真司)

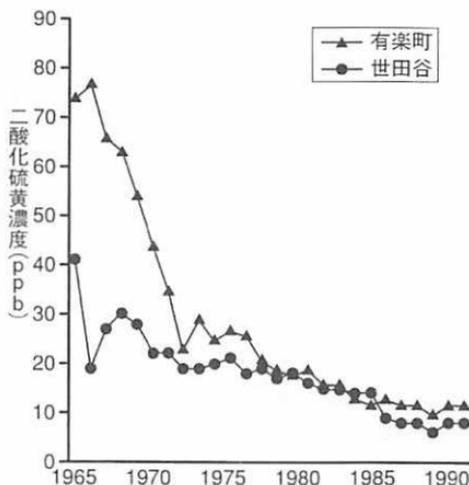
# 高い煙突から

明治以降の工業化に伴い、大きな精練所や工場がつくられ、その煙突から出る煙によって植物が被害を受ける現象（煙害）が地域社会に大きな迷惑を及ぼすようになりました。公益に対する害、公害です。

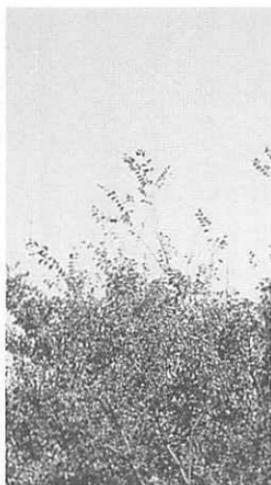
煙害問題を解決するための手っ取り早い方法は、煙突を高くして排煙を遠くに飛ばし、薄めてしまおうとするものです。二酸化硫黄がそうであるように、多くの有害ガスは空気より重いため、煙突から出た有害ガスは低い場所に高濃度のままたまる傾向があります。風のある上空にばらまき、薄めれば、被害が少なくなるのは事実ですが、排出の総量を減らさないと、被害の出る面積を拡大するだけになります。ときには、煙突の近くよりも、遠く離れた場所の着地濃度が最も高くなるドーナツ化現象も見られます。

昭和四五年に大気汚染防止法が強化されるまで、工業地帯では煤塵ばいじんと二酸化硫黄などの有害ガスによって、人体や植物の被害が多発しました。主要な汚染物質に限れば、次ページのグラフに見られるように著しく減少しました。ところが、もともと濃度が低かった周辺地域では改善の効果が見られません。都心部と近郊の差が縮まり、逆転現象が見られた年もあります。このことが、新しいタイプの大気汚染の発生に関係しています。昭和四五年の立正高校事件として知られる光化学オキシダントによる被害です。

かつては空を覆った煤塵が太陽の光をさえぎり、一年じゅう青空を見ることのなかった都会の空に青空が



東京の都心部の大気汚染の改善状況



土用芽を伸ばしたケヤキ

よみがえり、紫外線が届くようになりました。でも、空気は完全にきれいにはなっていません。自動車の排気ガスはむしろ増えています。適度に汚れた空気と紫外線、この組み合わせによって、大気中にオゾンなどの酸化性の物質が生まれ、光化学オキシダントとなります。最近ではその被害が報道されることは少なくなりましたが、気象条件によつては高濃度汚染が発生しても不思議ではありません。影響する範囲はむしろ広がっています。植物被害が少なくなったのは、二酸化硫黄の減少により、相乗作用が低下しているからでしょう。

平成一〇年の初夏、東京に隣接するいくつかの地域でオキシダント警報が発せられ、数日後にケヤキに異常落葉が見られました。最近では珍しい現象といえるでしょう。しかし、アサガオなどの葉に白い斑点ができる被害症状は普通に見られます。

(埴田 宏)

## 土の余命

土壌はさまざまな生物の生活の場としての役割を果たしています。その一つは栄養分を貯蔵し生物の必要に応じて供給することであり、この栄養分は土壌ができてくる過程で生まれてきます。土壌は、土壌のもとになる岩石や火山灰など（母材と呼ばれます）が温度の変化や雨などの水の移動や生物の働きによって細くなり、さらに化学的な性質が変えられ、長い時間かかってできます（これらの作用は土壌生成とか風化と呼ばれます）。また、その作用は現在も進行中です。

大気中の二酸化炭素やその他のさまざまな物質を溶かし込んだ雨が地面に降り、浸透し、岩石や土の粒子と接触・反応し、さまざまな物質を溶かし出します。そして、それらの物質は植物によってつくり出された有機物と混ざりあい、さらに微生物などの働きによってさまざまな物質が生まれます。こうして母材や気象生物の影響を強く受けて、溶け出たマグネシウムやカリウムなどの栄養分の一部が植物の利用できる形で土の粒子に吸着されています。

日本には火山が多く、火山灰の影響を強く受けた土壌が全国各地で見られます。火山灰は細かく、化学的にも変化しやすいものが多いため、水と接触して多くの元素が速やかに溶け出していきます。また、前述の栄養分以外にもアルミニウムなどの元素も溶け出しやすい性質を持っています。溶け出したアルミニウムは溶

液中で酸としての挙動を示し、このため日本の土壤は欧米と比べて酸性を示すものが多く、潜在的に酸性になりやすい性質を持っています。ただ、日本の多くのところで新しい火山灰などの新鮮な母材が供給されたり、傾斜地での地表の土壤が移動しやすいため、土壤生成に費やした時間が短く、欧米と比べて若く未熟な土壤が多いともいえます。

近年、化石燃料の消費に伴い大気中の酸性物質が増加し、酸性雨に代表される酸性降水物による土壤の酸性化が危惧されています。酸性の水は土壤粒子の化学的变化を促進し、多くの栄養分を洗い出し、さらに多くの植物にとって毒性のあるアルミニウムをより速く溶かし出します。つまり風化が促進され、通常より早く老けた（成熟した）土壤になっていくといえるかもしれません。なお、植物に対してのアルミニウムの毒性は量だけでなく性質（存在形態）によって大きく異なり、多くの森林土壤では毒性の低い有機物との複合体になっているのではないかと考えられています。ただし、この有機物複合体もさらなる酸により毒性の高い形態のアルミニウムを生成します。

日本全体としては現状の酸性降水物が土壤の酸性化をどのくらい速度で起こすのかはまだはっきりとわかっていませんが、酸性降水物に対する抵抗性の低い土壤（砂質のところや有機物の少ないところなど）や土壤の厚さが薄いところは、酸性化しやすく、栄養分が洗い出され、有害な物質が出てくることが予想されるので、今後も特に注意して監視していく必要があります。

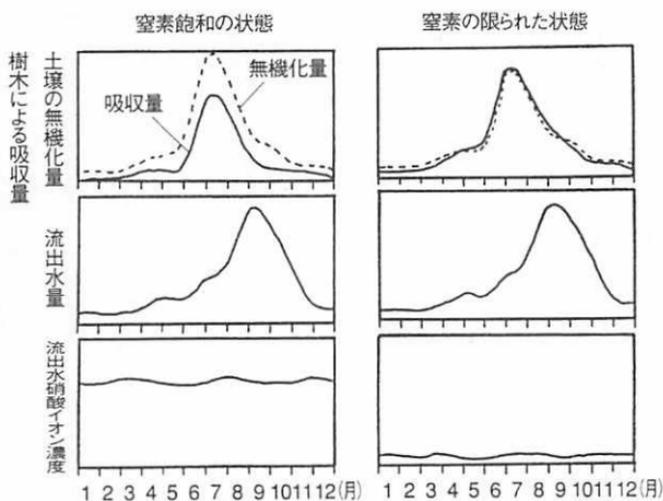
（阪田匡司）

## 満腹の森

私たちのご飯のように植物も窒素やリン、カルシウムなどの養分をとって生きています。養分は雨や落ち葉、土壌や岩石から絶えず供給され、植物の成長を助け、植物はまた土壌に落ち葉として養分を戻します。

特に窒素は土壌中の量が少なく、成長を制限するとされています。ですから農作物のように速い成長と多量の収穫が必要なときは肥料で窒素を補給します。樹木はそれほど急激に成長しないので肥料を補給する必要はほとんどありませんが、人間と同じように年齢によって必要量が変わります。成長が活発な若い森林ではたくさん必要で、一〇〇年も経ち成熟した森林では成長が小さいので少なくてすみます。

窒素にはタンパク質のような有機態の化合物とアンモニアや硝酸のような無機態の化合物があります。有機態窒素は落ち葉や土壌中の生物に蓄えられ、微生物がそれを分解して無機態窒素をつくり出します。保持できる量は土の種類で変わりますが、つくられた無機態窒素は土壌中の腐植や粘土鉱物に保持され、樹木や作物に吸収されます。粘土鉱物や腐植はその表面が電氣的にマイナスになっていることが多く、プラスのアンモニアは保持しやすく、マイナスの硝酸は保持しにくくなります。土壌中でアンモニアは硝酸化成菌という微生物の働きで硝酸になります。硝酸は水に溶けやすく過剰にあると流れていきます。農地では過剰の窒素肥料のため、このようなメカニズムで起こる地下水の硝酸汚染が問題になっています。しかし一部の成熟した



日本の森林流域での窒素飽和と窒素が限られた状態を示す季節的変化の概念図 (大類, 森林立地 39 (1), 1997 から作図)

森林でも渓流水の硝酸が増えてくる現象が見つかっています。

肥料を与えていない森林では窒素はどこからくるのでしょうか。最近、雨に含まれる無機態窒素量がここ

数十年で増えていることが明らかになってきました。

たとえば京都滋賀地域では一九六〇年代にはヘクター当たり年間約四・三窒でしたが、一九九〇年代には約六・五窒に増え、なかでも硝酸が増えています。経済発展に伴って工場や自動車などから排出される窒素化合物の量が増えたことが原因と考えられます。

これからは、日本の森林も成熟化が進みます。窒素の流入が今の状態で続くと、渓流水に流出する硝酸の量が増えるような森林が多くなることが心配です。このような現象が起こるのを防ぐためにも酸性雨の原因になる窒素化合物などの排出を抑制して、次の世代へすばらしい環境を伝えていきたいものです。

(平井敬三)

## 牛のゲップの後始末

牛がゲップをすると地球が温暖化する……。そんなばかなと思うでしょうが、牛のゲップの中には重要な温暖化ガスであるメタン(CH<sub>4</sub>)が多く含まれているからなのです。メタンは二酸化炭素よりも熱を吸収する効率が三〇倍も高く、わずかな増加でも地球温暖化を引き起こします。産業革命前は〇・八ppmだった大気中のメタン濃度が現在では一・八ppmにまで増加してしまいました。この一因として牛の増加があげられるのです。さて、メタンに対して森林はどのような役割を果たしてきたのでしょうか？

最近の研究で、森林はメタンを吸っているということがわかってきました。その量はまだ不正確ですが、三〜六五Tgと見積もられています。もしその働きがなくなってしまうと、大気中のメタン濃度は今の倍以上の速度で増えてしまう計算です。では、メタンを吸っているのはいったい何者でしょう？ 植物はメタンを出すことも吸うこともできません。

じつは、森の土の中に住んでいるメタン酸化菌がメタンを分解しているのです。この細菌は大きくても数マイクロメートルと体は小さいのですが、その働きは意外にも牛と勝負ができるほどです。森の土はなぜか草原や畑の土よりもメタンを効率よく吸っているようですが、その原因は明らかではありません。森の土はふかふかで酸素を多く含むため、このメタン酸化菌が活躍しやすい条件が整っているのも一つの要因かもし

メタン発生源  
ワースト3

1. 自然湿地 115
2. 石炭採掘・天然ガス 100
3. 牛など反すう動物 80

(IPCC, 1990より)

森林によるメタン吸収量

3~65

年間増加量  
28~37

(八木, 1994より)

[単位はTg(=10<sup>12</sup>g)]

れません。

今までは森林について見てきましたが、これが尾瀬などの自然湿地となると話はまったく違ってきます。自然湿地ではメタン生成菌という細菌が大活躍するため、地球上で最大のメタン発生源だと考えられています。

メタンのほかにも亜酸化窒素(N<sub>2</sub>O)正式には一酸化二窒素と呼ばれます)が温暖化ガスとして重要です。亜酸化窒素はメタンよりもさらに少なく、大気中にわずか0・三PPmしか含まれていません。しかし、二酸化炭素よりも一五〇倍も熱の吸収率が高く、無視できない温暖化ガスです。森の土の中では、細菌などの微生物がこのガスをつくり出していきます。その量はわずかなのですが、森林は面積が大きいために最も重要な発生源の一つだと考えられています。

このガスに関してはまだまだ謎の部分が多く、今後の研究成果を待たなければなりません。

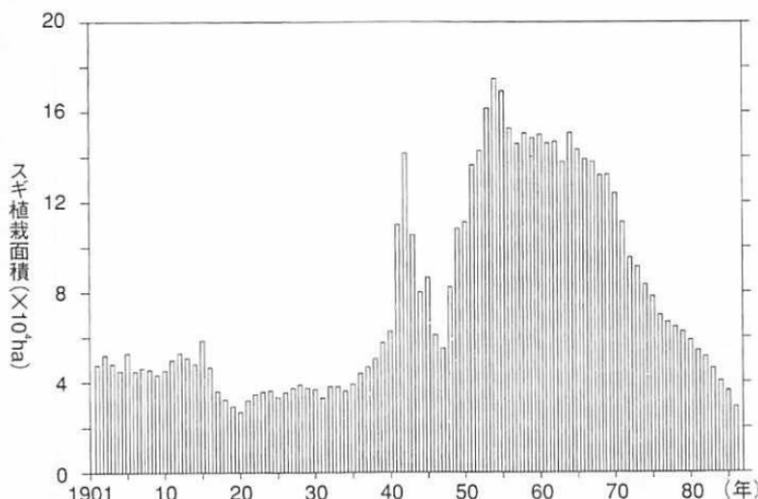
(石塚成宏)

## 迷惑かけてすみません？

春先は花粉症患者にとってつらい季節です。東京都区部では一九九六年現在、じつに五人に一人がスギ花粉症に苦しんでいるそうです。こうした人々にとってはありがたい話ですが、春先に飛んでくる花粉の量は以前に比べて増加しているようです。たとえば、国立相模原病院での観測例（豊凶の影響を除くために五年間の平均値）では、一九九一～九五年には二〇年前の二倍以上になっています。これは、一九五〇年代から七〇年ごろにかけてせっせと植えてきたスギが次々と着花齢に達したためです（図）。花粉発生源の面積が増加するペースは今後鈍りそうですが、現在「高値安定期」に入ったといったところでしょうか。

「なんでそんなにスギばかり植えたんだよ」と広大なスギ林を恨む人も多いでしょう。しかし、せっせとスギを植えてきたのには、その当時、それなりの事情があったのです。

一九四五年に終戦を迎えましたが、戦時中の過伐で山林は荒廃しました。それに続く「高度成長期」にも多くの森林資源が消費されました。この回復と資源量の増大は時代の要請だったのです。その材料として最適だったのがスギでした。良質の材が得られ、成長がよく、植栽適地も広い。しかも四〇〇年に及ぶ造林の歴史があり技術が確立されていたからです。また、当時はスギ花粉症はきわめて少なく、まったく問題視されていませんでした。たしかに行き過ぎたスギの「拡大造林」はいろいろの問題を含んでいます。将来



スギ植栽面積の推移 (林野庁の統計資料より)

なお、1940～45年の数値は信憑性が低いとされる。

の森林資源拡充を目指した結果である広大なスギ林が、花粉症との関係で悪者扱いされるのは残念なことです。

ところで、花粉症はアトピー性疾患の一種で、こうした病気にかかるには①抗原(花粉)の存在はもちろんですがこれに加えて、②抗体産生を助ける修飾因子(大気汚染等の環境条件)、③生体側の要因(体質)が必須です。スギ花粉症が急増した原因は、これらにかかわる多くの要因が複合した結果で、なにもスギ花粉の増加だけが原因とはかぎらないのです。スギ花粉を減らす究極の方法はスギ林の他樹種への転換でしょう。しかし、仮にそうできたとしても、必ずしも①の要因を解消できるとはかぎりません。スギに代わる多くの樹種の花粉が抗原となることもすでに知られているのです。

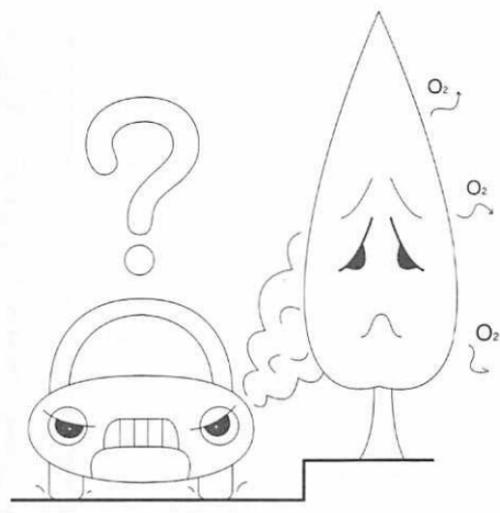
つらい花粉症の症状は、私たちの生活のあり方を見直す必要性を訴えているのかもしれない。(金指達郎)

## 緑の効用

樹木は大気汚染物質を吸着・吸収し、また光合成によって二酸化炭素を吸収して酸素を放出します。では、車両が多く人口密度が高い都会の街路樹や森林には、どのくらい大気を浄化し、酸素を供給する働きがあるのでしょうか。ここでは、樹木のこうした機能を定量的に評価してみます。

まず大気浄化機能です。樹木は光合成の過程で気孔を開いて二酸化炭素を取り込みますが、同時に大気汚染物質も吸収します。気孔によるこの吸収をモデル化して街路樹の大気浄化機能を評価した例では、通過する車両から放出される二酸化窒素のうち、吸収されるのは2%程度にすぎないことがわかりました。ヒノキ林でオゾンの相対濃度分布を調べた例では、林縁部から林内に入るにしたがい、また林冠上部から林床に近づくにつれて、オゾン濃度は減衰していました。明治神宮の森で二酸化硫黄濃度の経時変化を測定した例によると、林床の平均濃度は林外のおよそ五分の一程度でした。しかし、大気が浄化されるのは一定の拡がりを持った密な森林の林内だけで、林外の大気はほとんど影響を受けないし、まばらで小さい森では浄化機能はあまり期待できません。また大気汚染物質は樹木にも有害で、吸収しすぎると異常落葉や枝枯れなどの障害を引き起こす場合があります。

次に光合成による酸素の放出機能を考えてみます。光合成によって生産される酸素と炭水化物の重さの比



は一六／一五で、炭水化物が一トシ生産されるときに約一・〇七トシの酸素を放出します。総光合成生産量から呼吸・分解などによる消費量を差し引いた純増分は、成長期の森林でヘクタール当たり年間数トン程度です。ここで仮に一〇トシ／年とすると、その森林から放出される酸素量は一〇・七トシ／年となります。一方、人間の消費する酸素量はおよそ二四〇トシ／人／年なので、一トシの森林が生産する酸素量はおよそ四五人分になります。この見積もりを明治神宮の森（広さ約七〇ヘクタール）に当てはめてみると、すべて成長の盛んな森林としても供給できる酸素は三一五〇人分にすぎません。

以上から、街路樹や都市林に大気を浄化し酸素を生産する効用を求めるのは、ちょっと酷だといえそうです。それよりも、アスファルト道路の照り返しやコンクリートジャングルのなかにあつて、涼しい木陰や憩いの場、目にやさしい緑を提供してくれるという。市民の精神的な面への効用が、高く評価されるべきでしょう。大切な緑を守り育てるためには、臭いもの（大気汚染）に樹木で蓋をするのではなく、元から絶つことが必要です。

（丸山 温）

## 気づいてみればひとりぼっち

森の中にはじつにさまざまな生き物がすんでいます。各種の小鳥がさえずり、いろいろなハチやチョウの仲間が花に集まっています。キノコ狩りをすれば、毒キノコも含めて多くの種類のキノコを見つけることができますでしょう。夜になると、昼とは一変した世界が広がります。フクロウが鳴き、ムササビが飛び、カエルやネズミが林床を歩き回ります。カブトムシやクワガタが樹液に集まっているでしょう。森にすむ生き物に見えるものばかりとはかぎりません。ひと握りの土の中には、微生物からミミズまで多くの生き物が落ち葉に依存して暮らしています。これらの生き物たちは森林に大きな影響を与えています。ナラ類やカシ類の種子であるドングリは、落ちる前にシギゾウムシ類などの昆虫が入り込み、食べられてしまいます。昆虫の被害を免れたドングリも、地上に落ちるとアカネズミやヒメネズミに持ち去られてしまいます。一方、植物を助けている生き物もいます。ハチやチョウは花粉を媒介します。植物の種類によっては特定の昆虫だけが花粉を媒介できます。鳥は木の実を食べますが、糞として排出された種子は、鳥のおかげで遠くまで分散することができます。土壌動物や土壌微生物は落ち葉や倒木を分解し、植物が養分を吸収できるようにします。動物どうしも深いつながりがあります。昆虫の幼虫は寄生バチや寄生バエによって多くが死んでしまいます。もちろん、鳥にも食べられます。そのため、一種類の昆虫が爆発的に増えないように抑えられています。こ

のように、森林にすむ動物は相互に関係していて、複雑な生態系を構成しています。

さて、このような森林を伐採するとどうなるでしょうか？ 餌や隠れ家を提供していた木がなくなると、そこにすんでいた生物の多くは生きながらえることができません。では減びてしまうのでしょうか？ 普通はそのようなことはありません。伐採跡地に芽生えた木が徐々に大きくなってくると、まわりの森林から生物たちが移りすんできて、再び元の森林の生態系がゆっくりと回復します。原生林でも、台風や大雪などで木が倒れ、森林が開けてしまうことがあります。そのような場所をギャップと呼びますが、そこも森林の回復とともに元の生物相に戻ります。生態系には自らを修復する能力があるのです。

ところで、伐採した場所にスギを造林したらどうなるでしょうか？ 多くの植物食性の昆虫は食べる植物が決まっています。さまざまな樹種からなる広葉樹の森林がスギの単一樹種造林地になるとこれらの昆虫はすむことができません。それを餌としていた寄生バチもすめません。その結果、りっぱなスギ林になっても生物相は回復しません。単一樹種の造林地、生産力を上回る過度な伐採、牧場や農地のための開拓などが生物相をどんどん単純にしています。元の生態系は小さな保護区でしか見られなくなるでしょう。しかし、そこも安住の地ではありません。小さな保護区では多くの種類数を支えることができないのです。こうして世界じゅうで生物の多様性がどんどん失われています。死んだ人を生き返らせられないのと同様に、失われた多様性はもう二度と取り戻すことができないのに、私たちは失い続けているのです。

(大河内 勇)

## 父親は遠くにいて思うもの

熱帯林では面積当たりの生物種の数が最も多いといわれています。樹木だけでみると温帯林ではヘクター当たり一五〇種程度ですが、熱帯林ではなんと温帯林の約二倍の種数が存在しています。このように狭い地域に多種多様な植物を維持するためにはどのようなメカニズムが働いているのでしょうか？

種を維持するには繁殖をして子孫を残さなければなりません。そのためには繁殖の相手となる同種の仲間を捜す必要があります。相手がいない場合は自分自身の雄花と雌花（雄しべと雌しべ）で自殖を行って種子をつくり出し子孫を残すしか道がありませんが、自殖では種子が十分に成熟しない植物も多くあります。この場合には父親となる花粉がどこからか飛んでくれば、自殖による弱性も少なくめでたく種子をつくることができます。植物の花粉はおもに風、昆虫、鳥などによって運ばれます。そのため、父親となる木は、これら花粉媒介者の行動様式によって、非常に近接した個体であったり、かなり遠くの個体だったりします。

中米の熱帯林でマメ科の植物でDNAマーカーを用いて父親探しをした例があります。この植物はかなり大きくなるもので林冠を形成する樹種ですが、森林内では非常にまれでヘクター当たり数本しか存在していません。そのため遠くから花粉が運ばれてくる必要があります。この花粉の動きの調査には最近流行になっているDNAが使われました。このDNAマーカーはゲノム内に存在する単純な塩基の繰り返し配列（た



マレーシアのパソ保護林

たとえばCTCTCTCTCT……、GTGTGTGTGT  
……などのような繰り返し)を取り出し、マーカーとして  
利用したものでした。一般には、マイクロサテライトDNA  
マーカーと呼ばれています。このようなDNA領域はどの生  
物でも持っているものでたいへん高い変異性を示し、野生生  
物の血縁関係を調査するには現在のところ最適のマーカー  
だといわれています。これを用いて実際に測定すると二〇〇  
μmから五〇〇μmの広範囲から花粉が運ばれてきたことがわか  
りました。これはきわめて驚くべきことで、花粉媒介者は正  
確に同じ種類の木を見つけて種子を实らせていたのです。こ  
のようにして花粉媒介者の力を利用して自殖による弱性を避  
け、他殖によりその個体の遺伝的な多様性を保持していると  
考えられます。このように昆虫をうまく引きつけて、彼らの  
力をうまく借りて種を維持してきていることがわかってきま  
した。

(津村義彦)

## 遺伝子の多様性をはかる

森林は多くの種類の動植物で成り立っていますが、それぞれの種を詳細に調べると、個体ごとに持っている遺伝子にもまた多様性があることがわかります。

遺伝子の多様性を検出する比較的簡便な手段としては、酵素タンパク質やDNAなどの変異を見る方法があります。簡便とはいってもそれなりの実験室設備は必要ですが、私たち人間の血液型検査と同じようなもので、どんな環境で育っても一生変化しないのでいつ調べてもわかるといふ点が簡便なのです。しかし、このような変異の多くは生きていくうえでほしいと違いいはならないようです。むしろ、生存に直接関係ありそうな変異、たとえばいろいろな温度、湿度、日長、ガス、養分、土壌等々の環境条件の変化にいかにかましく対応できるかといったような個体差が重要であるかもしれません。しかし、これらを測定するには時間と手間が膨大にかかり、非常にたいへんな作業です。そこで、第一段階の簡便な方法として酵素タンパク質などの変異を調べることとなりますが、それでも得られる情報は貴重なものがあります。

次ページの表はわが国のいくつかの樹種について、各地の地域集団の持っている酵素タンパク質の変異を調査して公表された報告を概観してみました。結果は数量で表されていますが、「遺伝子多様度」というのはそれぞれの樹種が持っている酵素タンパク質の変異量を表す指標の一つであり、大きい値ほど変異量が

樹種	調査集団	遺伝子多様度( $H_T$ )	遺伝子分化係数( $G_{ST}$ )	出典
スギ	東北から九州まで17地点	0.196	0.034	Tomaruら(1994)
ヒノキ	東北南部から四国まで8地点	0.201	0.030	Uchida(1995)
ブナ	北海道から九州まで23地点	0.194	0.038	Tomaruら(1997)
ミズナラ	北海道から九州まで12地点	0.183	0.047	Kanazashiら(1997)
コブシ	茨城と山梨の2地点	0.094	0.058	Kawaharaら(1995)
シデコブシ	愛知、岐阜、三重の9地点	0.092	0.254	Kawaharaら(1995)
ヒトツバタゴ	岐阜32地点と対馬2地点	0.164	0.280	Soejimaら(1998)

多いことを意味します。また、「遺伝子分化係数」は地域集団の間での変異の違いを示す指標の一つで、大きい値ほど地域ごとに特徴ある変異が多いことを意味します。スギ、ヒノキ、ブナ、ミズナラ、コブシなど、比較的メジャーで分布域も広い範囲にわたっている種では、遺伝子分化係数は三〜六％の範囲に入っていて、地域間の違いはあまり大きくなさそうです。これに対して、シデコブシ、ヒトツバタゴのような分布域が限られ、またそれぞれその生育地の間も距離が長いような樹種では二五％前後とかなり大きな値になっていて、地域間での遺伝的な違いが比較的大きいことが見てとれます。

このような結果は遺伝子の多様性を示すほんの一例です。また、生存に直接関係するような変異の様子がどうなっているのかも非常に興味のある点ですが、そのような研究にはさらに長い時間が必要です。(吉丸博志)

## フラグシップ・スピーシスは代表選手

森林には多くの生き物が暮らしています。そのなかには珍しいものもたくさんいます。限りある地球上で、人間とほかの生き物との共存を図るためには、生物の生態や自然の仕組みをよく調べ、その結果に基づいて人間活動を微調整することがますます必要になっていきます。

生態学者は、ある生態系（環境）を代表するような、そして社会的にその環境の保全について議論するための基準や象徴となるような生物種のことを「フラグシップ・スピーシス」と呼ぶことがあります。フラグシップとは船団の旗艦のことで、フラグシップ・スピーシスすなわち旗艦種は、環境保全の旗印、錦の御旗となる生物です。沖縄島の北部、山原やんばると呼ばれる亜熱帯の照葉樹林だけに生息するキツツキの一種ノグチケラなども、旗艦種といえる生物の一つでしょう。環境庁や国際自然保護連合が絶滅危惧種に、文化庁が特別天然記念物に指定しています。ノグチケラは、野生では大部分が翌年まで生き残れない巣立ちびなを加えても、おそらく一〇〇〇羽を超えることはないかと推定されるほど少なく、分布が局限されています。森林開発によって生息地がさらに狭められ、伝染病や大きな嵐があったらひとたまりもないと心配されます。

山原の森林では、ヤンバルテナカコガネ（甲虫）やヤンバルクイナ（鳥）という新種が近年に発見されました。世界では、この半世紀ほどの間に、よく目立ちそうな鳥類でさえ、ヤンバルクイナを含めて一五六種



ノグチゲラ

もの新種が発見されつづけています。世のなかには、人間がその存在すら知らずに絶滅の危機に瀕している生物が無数にいます。生物が進化し、新種が生まれ、一部の種が絶滅していくのは自然の姿とはいえ、近世以来、人間の影響によって生物の絶滅速度が異常に高くなっているといわれています。日本で記録されたことのある鳥の五分の一を超える一二〇種あまり（亜種を含む）が心配の程度こそ異なれ、環境庁の絶滅危惧種にあげられています。植物では一七二六種もが絶滅危惧種のリストに記載されています。あまりの多さゆえに、全部の絶滅危惧種についてきちんと調べて、個別に適切な対策をたてることは不可能です。

しかし、ノグチゲラのような絶滅危惧種を守るいちばんよい方法は、ノグチゲラの生息に適した森林環境を丸ごと保全することです。同じ場所に生息する生物たちは、食ったり食われたり、利益を与えあったり、巣穴や隠れ場所として利用したりと、直接・間接にいろいろな関係を持って生きています。旗艦種ノグチゲラをよく調べることで、そういった生態系の仕組みも理解できます。人々の関心と呼び人間社会の環境保全の動機を生む旗艦種は、同じ場所に生息するほかの生物にとっても、だいじな代表選手なのです。

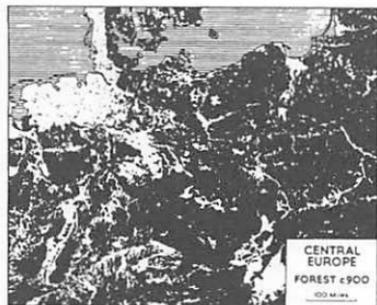
（石田 健）

## 森を伐つてなぜ悪い

世界の森林面積は、八〇〇〇万年前には陸地面積の約六〇%に当たる八一億<sup>ハチ</sup>あったとされています。現在は、陸地面積の約四分の一の三四億五四〇〇万<sup>マン</sup>にまで減ってしまいました。こうした森林の減少要因としては、恒久的なあるいは一時的な農地や放牧地などへの転用のほか、商業的伐採や森林火災、ダム開発などがあげられます。

森林、特に有用樹の大径木が生立している原生的な森林は貨幣経済上きわめて魅力的な存在で、外貨の欲しい開発途上国の指導者にとってはまさに宝の山といってよく、黙って見逃す手はないのです。「有用な小径木は残す択伐方式で、場合によっては有用樹を植え込むといった方式であれば森林資源の持続性は保たれる。文句を言われる筋合いではない」と温帯林でも北方林でも、そして熱帯林でも多くの森林が伐採されました。「森を伐つてなぜ悪い」と。しかし、それらのすべてが森林に再生されたわけではありません。

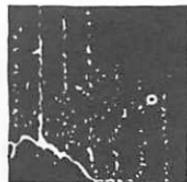
左の図は、中央ヨーロッパの紀元九〇〇年ごろと一九〇〇年前後の森林被覆状態（黒）を示したものです。一〇〇〇年もの間に多くの森林が失われたことは見てのとおりです。一方、中央の図はアメリカ合衆国の原生林の減少経過です。入植当時の人々は森林資源は無尽蔵と考え、開拓の進展と鉄道の発達につれ、伐採業者らは森林を買収し開発に努めた結果、三百年後には原生林はきわめて限られたものになってしまいま



中央ヨーロッパ  
森林の減少経過



アメリカ合衆国



1973



1976



1980

ブラジル

した。先進国といわれる国々でも、かつては森林をつぶして今日の繁栄を築き上げたのではとの問いかけがあります。一連の図はそれを端的に物語っています。

右の図はブラジル（ Rondônia ）での森林消失の様子で、一九七三年から一〇年たらずの短期間に四〇％もの熱帯林が消えました。先の二例に比べると消失のスピードは著しく、このため乱開発だとして先進国側は非難しました。自分たちは森を伐って経済発展を遂げたのに、途上国には伐採するな、森を守れとは身勝手だ、「森を伐ってなぜ悪い」という開き直りに対し、先進国には、森林に生息する多様な生物種を守る、次世代にそれを譲り渡していくといった台詞くらいしか出てきませんが、歴史を振り返るとあまりにも説得力がありません。その問題の難しさが南北問題というこ

とでしようか。

（佐藤 明）

## 食べちやつた熱帯林

熱帯の森は木材を提供してくれるだけでなく、さまざまな食料をもたらしてくれる恵みの場所でした。たとえば東北タイのモンスーン林では、鳥やマングース、蛇、スナトカゲなど狩りの獲物、コオロギ、セミやアリの卵などはだいたいなタンパク源ですし、蜂蜜や木々の若葉、その果実は食事に彩りを添えてくれました。欲張らないかぎり森は日々ごちそうを提供してくれたのです。このおいしい森は、残念ながらどんどん減りつづけていることはご承知の事実です。

一九八〇年から九〇年までのわずか一〇年間で世界じゅうでじつに一億五〇〇〇万羽以上の熱帯林がなくなってしまう(表)。もちろん商業的木材伐採も大きな要因ですが、ほかにも大きな原因の一つとして農耕地や放牧地への転換があります。

よく樁玉にあげられるのが焼畑です。伝統的な焼畑耕作は本来小規模で、林を再生させるだけの地力を残す高い技術を持っていました。しかしコーヒーやバナナ、トウモロコシやサトウキビ、キャッサバなどの商品作物栽培が入ってくるとこのバランスも崩れ、また伐採などで森に道が開かれてからやってきた、技術を持たない人たちによる乱暴な焼畑が森林の本格的な破壊をもたらしました。アジア、アフリカではこのパターンが多いようです。さらに地域によって作物や規模は異なりますが、プランテーションで輸食用農作物を

近年の熱帯林減少

地域	国数	国土面積 (100万 $\text{km}^2$ )	森林面積 (100万 $\text{km}^2$ )	
			1980年	1990年
アフリカ	40	2236.1	568.6	527.6
アジア・太平洋	17	892.1	349.6	310.6
中南米・カリブ海	33	1650.1	992.2	918.1
合計	90	4478.3	1910.4	1756.3

FAO フォレストリーペーパー112「森林資源アセスメント1990」熱帯林編(1993)より

栽培するため多くの森がなくなりました。東南アジアでは多くの低湿地林がココヤシやアラヤシの広大なプランテーションに変えられました。

牛肉消費量世界一位の米国と二位のブラジルが控えているせいでしょうか、南米では森林がおもに畑ではなく放牧地にされています。一九七〇年から始まった横断道路建設後、アマゾンには放牧地が広がり、一九九〇年までに五億 $\text{km}^2$ (日本の総面積の一三倍)といわれる森林面積のじつに一五〜二〇%が失われたのです。なんともすごい食欲ではありませんか。

東南アジアとアフリカでは熱帯林の断片化や劣化が起こり、徐々に林がなくなっていくのですが、ブラジルの森は一気に牧場に変わっていききました。熱帯林をハンバーガーにして食べてしまったといわれるのも無理からぬことです。東南アジアではエビ養殖のためにたくさんマンクローブ林をつぶしていったのですが、なるほど森の食べ方にもお困りがあるようですね。

放牧地も多くは定着に失敗して荒地が残りました。ごちそうをむさぼりすぎて、皿やテーブルまで食べてしまったようです。もう残り少ししかありません。

(田淵隆一)

## 紫外線が増加すると……

太陽光は生物にとって重要なエネルギー源ですが、じつは有害な成分も含有しています。人間の目に見えない紫外線は太陽光に含まれる量としてはわずかですが、生物への影響が大きいたことが知られています。有害な紫外線は大気によって大部分が吸収され、地上に到達するまでに減衰されます。しかし、地上の生物を守るように地球を覆い、紫外線から生物圏を保護してきたオゾン層が人間活動によって放出されるフロンガスなどによって破壊され、降り注ぐ有害な紫外線が増加してきていることが明らかになってきました。オゾン層破壊による二八〇 $\mu$ mから三三〇 $\mu$ mの波長領域のB領域紫外線(UV-B)の増加は、地球環境の抱える大きな問題になっています。オゾン層破壊を防止する各種の方策がとられていますが、気象庁の最近の発表によるとオゾン量の減少は今後少なくとも二〇〇年は継続すると予想されています。

森林を含む地上の生態系がこのような速い環境の変化に耐えうるのか、関心が集まっています。生態系を構成する植物は、増加するUV-Bに耐えることができるのでしょうか。UV-Bを樹木の幼苗に照射する曝露試験では、いくつかの樹種でUV-B照射量の増加が生育に変化を及ぼすことがわかってきました。UV-Bの感受性の高いブナ(写真)やアカエゾマツでは樹形の異常を伴う生育不良が観察されています。しかし、樹種によっては強いUV-Bの照射にも異常なく育つものや、適量のUV-Bがあつてこそ生育が良好になる



ブナの実生幼苗に UV-B を照射した曝露試験の結果。照射強度に伴って葉の萎縮等の形態形成の異常が発生し、生育が不良となる。

ものもあり、植物にとって紫外線の影響が有害であると一概には断定できません。現在研究が進められており、今後の紫外線増加シナリオと照合しながら、森林に及ぼす紫外線増加の影響が明らかになっていくでしょう。

また近年、登山をはじめとする野外活動が盛んになっています。山に登ったり森林に入ったりして自然と触れ合っるのは、なんともすがすがしいものです。ただし、強い紫外線にはくれぐれもご用心を。

森林地帯のように大気の澄んでいる場所では地上に降り注ぐUV-Bの量が多く、さらに標高の高い高山・亜高山帯ではその影響はいつそう大きくなります。植物と異なって防護の体制をとることのできるわれわれ人間は、帽子などで日除けをしたり、サンスクリーンを塗るなどして山の強い紫外線を避け、野外活動を楽しむべきでしょう。

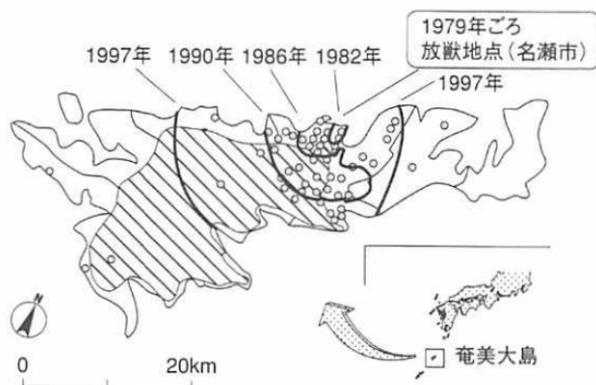
(岡野通明)

## よそ者に滅ぼされる！

自然分布範囲外の地域または生態系に、人為の結果持ち込まれた種を「移入種」といいます。わが国では哺乳類で少なくとも三四種、鳥類で七種、両生類で三種、魚類で二〇種、昆虫類で二三〇種、および植物で五四九種以上の移入種が確認され、今日も増えつづけています。このような移入種による生物多様性に与える影響は、長期的にみるとハビタット消失よりも大きいといわれ、生物多様性に富むわが国の自然は急激にむしばまれつつあります。

移入哺乳類の影響を具体的にみると、農林水産業への加害、病気の伝播、生態系攪乱、遺伝子汚染などがあげられます。アライグマはトウモロコシやスイカなどを食害し家禽を襲い、また人獣共通感染症の寄生虫を保有します。野ネズミやノウサギによる造林木被害防止のために一九七〇年代に天敵として導入されたイタチ、テンなどは在来動物を食べてしまっています。また野生化した家畜やギやウサギは植物を食べ尽くします。外来のタイワンサルやアカシカは在来種と交雑種をつくり、また家畜のブタも在来のイノシシと交雑種をつくり、遺伝子汚染を起こします。

現在、生物多様性喪失を起こす移入動物の一つとして、奄美大島における移入マングースの問題があります。数頭のマングースが毒蛇ハブやネズミ駆除を目的に、一九七九ごろに名瀬市で放獣されました。その



奄美大島における移入マングースの分布拡大経過とアマミノクロウサギの生息地(斜線部)  
マングースは名瀬市から南西部の森林地帯に分布を拡大している。丸印はマングースの目撃・捕獲情報を示す。

一〇年後に放獣地点から約一〇歳、一八年後に二〇歳以上のほぼ全島に拡大し、数万頭に増えました(図)。分布を広げたマングースは希少種アマミノクロウサギやルリカケスなど外来種を捕食しはじめています。かつて、イギリスの生態学者C・S・エルトンが移入動物対策の一つとして、外来種個体群の安定性の増加と

多様な生物群集の回復のための多様性の保護を提言しました。しかし、奄美大島の大部分の森林は一九七〇年代に伐採が進み、林道は森林の奥深くまで網の目のように張りめぐらされ、マングースが侵入しやすい単純な森林となつてしまいました。これに加えて、もともと捕食性哺乳類を欠いた環境に適応できなかった奄美大島の外来種は、対捕食戦略を持てないために、マングースに容易に捕食され、簡単に絶滅に追いやられると危惧されます。

移入哺乳類の実態把握や対策は緒についたばかりで、具体的駆除対策はほとんど未整理です。またその影響、駆除法および予防法に関する研究もほとんど行われていないのが現状です。

(山田文雄)



## II 気候変動と森林

# 森林と砂漠交代の地球史

近年、約二万二〇〇〇前のヤンガードリアス期にかけて、地球環境激変の歴史が暦年に近い精度で明らかにされつつあります。一説によれば、五〇年間で年平均気温が七℃上がり、海面が六〇m上昇したともいわれています。このような地球環境激変を陸域の動植物はどのように耐えしのいで生きながらえてきたのでしょうか。たいへん興味深い話です。地球環境の変化に応答して森林が縮小したり拡大したりする植生変遷の復元は、海や湖沼の堆積物の花粉分析によって明らかにされています。現在、古生物学の研究者たちは、世界各地でヤンガードリアス期の生物相変化をきそって追究しています。

ところで、第四紀（一八〇万年前以降）の地球上では、ヤンガードリアス期に限らず、地球規模の寒冷化（氷期）、温暖化（間氷期）が約一〇万年の周期で繰り返されました。その変化に対応した陸域および森林の拡大・縮小の様子は部分的には知られていませんでしたが、私たち、バイカル古生物研究グループ（森林総研、京都府立大、岡山理科大、熊本大、東北大）のバイカル湖底泥の花粉分析結果から、過去五〇〇万年間の連続した森林（タイガ）の消長が明らかになりました。

一九九六年冬季にバイカル湖のほぼ中央部で掘削した深さ二〇〇mの堆積泥柱状試料「BDP九六コア」は古地磁気の測定結果から過去五〇〇万年間の連続した堆積物であること、重大な試料欠層がないこと、ま

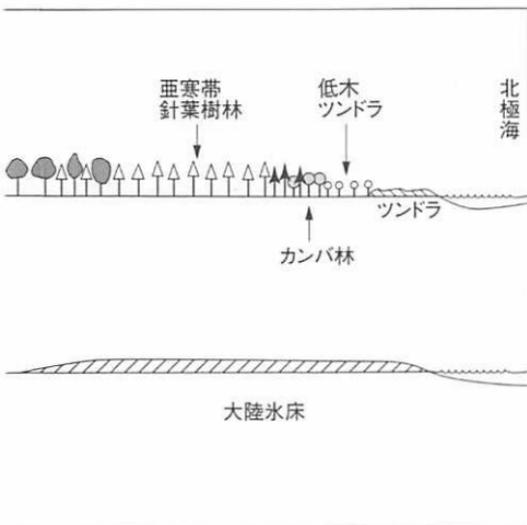
た堆積速度がほぼ一定で四<sup>セシ</sup>／一〇〇〇年であることなど古環境解析にはたいへんすぐれた試料であることが判明しました。このBDP九六コアを二<sup>リ</sup>に四試料の頻度で最深部まで合計五六〇に及ぶ試料の花粉分析を行ったところ、一立方<sup>セシ</sup>の泥試料に含まれる花粉総量は最低が〇個、最高が二〇万個を示し、その増減には規則的な周期性が見られました。湖底表層泥の花粉分析結果によると、寒冷砂漠時代（二二三〇〇〇〜一万五〇〇〇年前）の湖底泥中の花粉堆積速度は二四個／平方<sup>セシ</sup>／年以下であり、森林時代（九〇〇〇〜四〇〇〇年前）では八〇個／平方<sup>セシ</sup>／年以上でした。これをBDP九六コアに適用すると、花粉総量が六〇〇〇個／立方<sup>セシ</sup>以下では流域が寒冷砂漠であったことを示し、二万個／立方<sup>セシ</sup>以上では森林であったことを示すこととなります。BDP九六コアの花粉総量の変動を六〇〇〇個／立方<sup>セシ</sup>以下（砂漠）、六〇〇〇〜二万個（ステップ）、二万個／立方<sup>セシ</sup>以上（森林）と区分し、その変動を時間軸に表すと、コア上端の七万六〇〇〇年前から下端の五〇五万年前まで、砂漠―ステップ―森林のサイクルが規則的に繰り返され、バイカル湖流域では過去五〇〇万年間で五七回もの砂漠と森林の交代が繰り返されたことが明らかになりました。

バイカル湖流域を中心としたタイガの拡大・縮小は、地球規模の気候変動に直接的な影響を及ぼすと考えられており、今後、分析試料を増やし、数百年オーダーの植生変遷を明らかにすることによって、植生変遷と気候変動の詳細な相互影響の地球史構築に寄与できると考えています。

（河室公康）

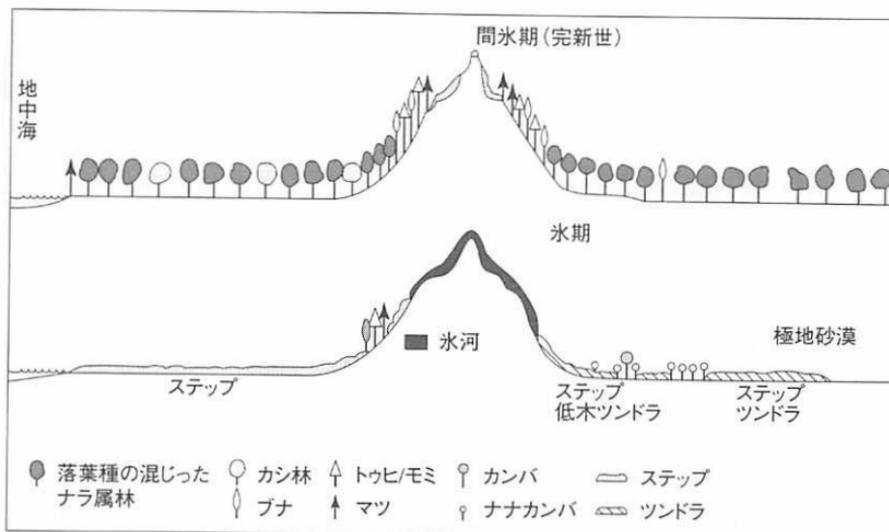
# 氷期に森林が発達しなかつたワケ

第四紀は地球史のなかで現在を含む約一八〇万年間であり、大氷河の時代または人類の時代とも呼ばれています。氷河時代は、間に温暖期を挟んで約一〇万年周期で繰り返されてきました。現在は温暖な間氷期ですが、約六万五〇〇〇〜一万年前の寒冷な時代を最終氷期と呼び、特に二万三〇〇〇〜一万五〇〇〇前は最も寒冷化した時代として最終氷期最盛期と呼ばれています。年平均気温は現在より五〜一五℃低く、海面は九〇〜一三〇m低下していました。この時代、ヨーロッパ大陸にはスカンジナビア氷床が、北アメリカ大陸



(Hammen *et al.*, 1971による)

陸にはコルディレラ・ローレンタイド氷床が発達していました。これらの氷床の周辺にはドリラス（チヨウノウスケツウ）のようなツンドラ植物、その外縁にイネ科のステップが分布し、森林は発達しませんでした（図）。最終氷期最盛期にヨーロッパ大陸、北アメリカ大陸の氷床辺縁で森林が発達しなかつた理由として、これまで気温、降水量の低下がいわれてきましたが、近年、別な理由の存在を示唆する研究成果も発表され



ヨーロッパの南北断面に現れた氷期・間氷期の植生変化を示す模式図

上図：間氷期および完新世，下図：氷期。（成瀬 洋（1982）第四期，岩波書店より抜粋）

ています。それは最終氷期の大気中の二酸化炭素分圧の低下（一八〇ppmあったとされる）が森林限界周辺における $C_3$ 植物である森林の成立を阻害し、 $C_4$ 植物からなる草原が優占したとする新説です。

草原を構成したイネ科などの植物には $C_4$ 型光合成回路を持つものが多く、低い二酸化炭素分圧の下、乾燥が激しいなどの悪条件下でも二酸化炭素の固定効率がよく、よく生育します。逆に、 $C_3$ 植物からなる森林は、低い二酸化炭素分圧の下では生育が悪く、 $C_4$ 植物との競争に負けてしまいます。

最終氷期最盛期の低い二酸化炭素分圧下では、 $C_4$ 植物である草本類が $C_3$ 植物である樹木より強い競争力を発揮し、現在ほどの二酸化炭素分圧下では森林化される地域にも広く草原が分布したと考えられるのです。

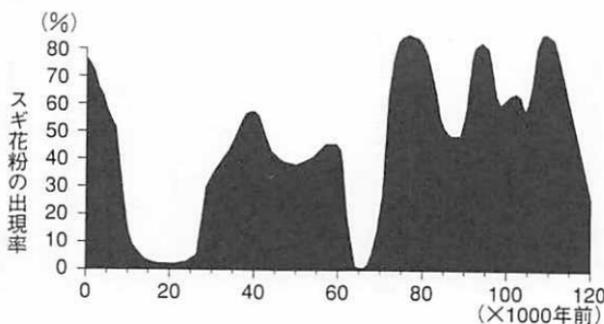
（河室公康）

# 日本列島に広がっていたスギ林

スギの天然林は、屋久島、四国の魚梁瀬、中国山地、富山の立山、秋田などがその分布地として有名ですが、かつて、日本列島には、さらに、スギ林が広がっていた時代が、かなり長い期間にわたって認められています。

さて、気候変動についてみると、少なくともここ数十万年間は十数万年の周期で、温暖な間氷期と冷涼なあるいは寒冷な氷期が繰り返し訪れてきました。現在は、温暖な間氷期に当たりますが、今から約一二万年前ごろにも、今と同じような温暖期がありました。これを最終間氷期と呼んでいます。それ以後、気候は寒冷化して、一万年前まで続いた最終氷期と呼ばれる時代となりました。この間、寒暖の周期的な変化はありましたが、現在よりも気温の低い期間でした。そして、一万五〇〇〇年前以降、気候は温暖化し、現在に至っています。このように、この過去一二万年間は、温暖・寒冷の気候の一つのサイクルとして、地球の気候変化を考えるうえで重要な期間といえます。

このような気候の変化に対応して、植生も大きく変わってきました。この長い期間でとりわけ重要な位置を占めるのがスギ林です。堆積物中の化石花粉の種類や量によって、植生変遷を解明する花粉分析法を用いた資料によると、最終間氷期には、現在と同じように照葉樹林を形成するカシ類などが認められますが、そ



福岡県黒田盆地における過去12万年間のスギ花粉出現率を示す模式図

の後、スギが増加してきます。一二万年前から二万年前まで続いた最終氷期には、七万～六万年前と二万～一万五〇〇〇年前の非常に寒冷な、マツ科針葉樹が卓越する時期がありました。この寒冷な時期を除いて、次のようにスギが優勢となる地域が各地で認められています。

今から一二万年前以降の最終氷期初期には少なくとも数万年間、日本列島各地でスギの優勢な森林が続いていました。また、六万～三万年前の期間にも、近畿地方や東北地方でスギの優勢な森林が広く認められています。また、特に、気候が温暖化した一万年前から、日本海側地域や太平洋側の伊豆半島周辺などでスギ林が分布を広げていきました。さらに、今から少なくとも二〇〇〇～一五〇〇年前までは、特に、日本海側の低地でスギ林が繁茂していました。このようなスギ林は、水田の下などから埋没林として見つけられています。

現在では、スギの天然林は限られた地域にしか見ることはできませんが、これまで述べたように、大きな気候の一サイクルである過去一二万年間をみると、スギ林は長期間にわたって日本列島に広がっていたようです。

(高原 光)

# 化石になった土

熱帯には赤色土という真っ赤な土が多く見られます。この赤い色は大量に濃縮し、酸素と固く結合した鉄によるものです。岩石には多量のケイ素が含まれていて、鉄の濃縮にはケイ素が流れ出る必要があるため、高温多湿な環境が適しています。熱帯に赤色土が多く見られる理由はそこにあります。

赤色土は日本全国の平地や丘陵地、内陸盆地の周縁にも点々と見られます。現在の日本は南西諸島を除けば、冷涼で鉄の濃縮が起こるような高温多湿な環境ではありません。ですから、各地に点在している赤色土はかつて日本が高温多湿であったところにつくられたことを示しています。しかも古い火山灰が赤色土の上を覆っている場合もあり、赤色土が古代の産物であることを雄弁に物語っています。このため、これらの赤色土を古赤色土、化石土ないしは古土壌ともいいます。では、日本にいつごろ高温多湿な時代があったのでしょうか。

約一八〇万〜一万年前の第四紀更新世と呼ばれる時代には寒冷な氷期と温暖な間氷期が交互に出現しました。間氷期のなかには日本が非常に高温多湿になった時期があり、化石土と呼ばれる赤色土は一二万〜一三万年前と約六〇万年前の間氷期につくられたと考えられています。この時期にはヨーロッパ、中国、北米などでも赤色土がつくられていて、赤色土は地球規模の環境変動を示す指標にもなっています。

- 古赤色土と確認されたもの
- 古赤色土の可能性のあるもの



赤色土の産地 (松井 健, 1967)

現在赤色土がある場所は、大昔、海、潟または湖の周辺であったとみられることが多く、水中または水辺で激しい風化が進んだのではないかと想定されます。また、このようにしてできた赤い土が洗い流されて再びたまった形跡も見つかっています。

赤色土がある平野や丘陵は、早くから人間に利用されており、多くの場所で開発が進んでいます。人間生

活のための開発とはいえ、

赤色土が太古の地球環境を示す貴重な遺産であるという認識は必ずしも十分ではありません。日本には、赤色土のほかにも地球環境の変動を示す貴重な土壌があります。これらの貴重な土壌のありのままの姿を将来に残していきたいものです。

(森貞和仁)

## 田んぼの下にスギの大木

「スギの埋没林が出てるので見に行かないか」。一九八八年の初夏、植生史の研究をしていた友人に誘われて私は福井県の三方町に向かいました。そこで見たものは、当時、屋久島のスギの研究をしていた私にとって、いくつもの点で驚きでした。まず、掘り上げられていたスギの大きさとその量の膨大さで、直径一級級の根株や倒木が道路脇に山のように積まれていたことです。次に木材の保存状態がきわめてよいことで、ものによっては去年伐採された木であると聞かされても信じてしまうほどのものでした。そして非常に不思議なことは、材が埋まっていたのは低地の水田下の厚い泥炭層で、根張りの形や堆積物の状態からみて明らかに泥炭が形成されるような湿地環境にスギが生育していたとしか考えられなかったことです。

スギは日本人なら誰でも知っている樹木ですが、その生態は意外に知られていません。それは、古代から人々によって利用され、さらに日本じゅうの北から南まで植林がなされてきたために原生状態の森林が失われてしまったからです。それでは、スギはもともとどのようなところに生えていたのでしょうか？

スギは一般に土壌の厚い肥沃な緩斜面、すなわち林業的に最も成績のよいところが自然の分布域であると考えられていました。これに対して生態学者は自然林での観察をもとに、このような場所ではむしろブナなどが優占し、スギ本来の生育地は雨が多く湿潤ではあるが土壌の薄いやせ尾根のような限られた地域である

と考えるようになりました。ところが、花粉分析などの化石の研究によれば、最後の氷期が終わった一万年  
前以降の完新世と呼ばれる時代には温暖化に伴ってスギが拡大し、日本各地で最近まで最も優勢な樹種の  
一つであったことが知られています。また、昔から大量に掘り出され、装飾品に利用されてきた神代杉はおそ  
らくほとんどが完新世のものですし、静岡県弥生時代の登呂遺跡からは膨大な量のスギの加工材が出土し  
ています。つまり、スギは決して限られたところに細々と生育しつづけていたわけではないのです。そして、  
そのうちの少なからぬ部分はどうやら前記の「スギ本来の生育地」とは大きく異なる泥炭地上に生えていた  
らしいのです。



掘り出されたスギの大木

ところで福井県の埋没林はいつごろのものだったのでしょうか？ 年輪解析と放射性炭素年代測定の結果  
少なくともこのスギ林が四五〇〇年前から一五〇〇年前  
のじつに三〇〇〇年間にもわたって、ハンノキやヤチダ  
モなどの湿地性の樹木を伴ってこの場所に存続していた  
ことがわかりました。

弥生時代以降の水田耕作の拡大に伴い、このような低  
地のスギは生育場所を失って絶滅したのですが、詳  
しいことはまだわかっていません。

(木村勝彦)

## 変わりゆく上高地

上高地の自然の美しさに感動した経験を持つ方も多いと思います。では、上高地の美しさとはどこにあるのでしょうか？ 人それぞれと思いますが、「三〇〇〇級の穂高連峰などの裾野を深緑色の森林がぐるみ、白く輝く雪渓あるいは灰色の岩肌が山頂にそびえ立つ荒々しい山岳景観が、清らかな溪流沿いの柔らかな淡緑色の葉ごしに見える」ところにあるのではないかと筆者は思います。

山裾の深緑色の森林はおもにシラベ、コメツガなどで構成される亜高山帯性針葉樹林と呼ばれる林です。梓川周辺の柔らかな緑はケシウヤナギ、シラカンバ、ハルニレ、カラマツ（河童橋周辺のもの人工林）などで、春の新緑、秋の紅葉の時期には特に明るくさわやかな印象をもたらしていると思います。

このような印象を与えてくれるこれらの落葉樹は、その多くが未熟土の上に生えています。未熟土とは石や石や砂などでできているもので、植物の生育に適した粘土成分が少なく養分や保水力も少ない土です。この未熟土は上高地地域では大別して以下の三種に分類できます。おもに焼岳斜面に分布し噴火堆積物でできている「火山性未熟土」、梓川沿いの山腹斜面から流れ落ちてきた土砂でできている「扇状地型未熟土」、より上流から運ばれ梓川の流れに沿って分布する円レキや砂でできた「洪かん地型未熟土」です。これらの未熟土は、それぞれ性質も違いため、生育できる樹種が限定され特徴的な森林が形成されます。



大正池畔から見た焼岳

「火山性未熟土」にはシラカンバやカラマツの林、「扇状地未熟土」にはシラベ・タケカンバ混交林が生育しています。「洪かん地未熟土」ではケシヨウヤナギやその他のヤナギ類あるいはハルニレの林が生育して

いますが、多くは二〇年生以下の若齢林で度重なる梓川の氾濫の影響を強く受けていると思われます。

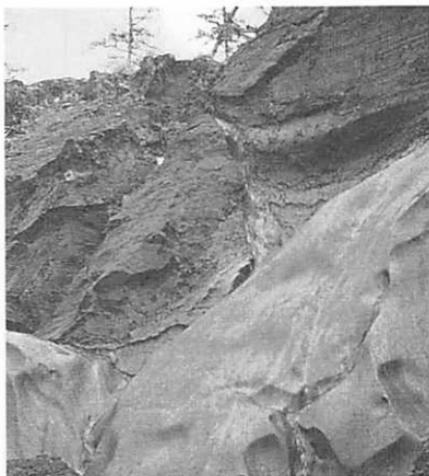
ちなみに、明神池対岸の天然記念物に指定されているケシヨウヤナギ純林は、典型的な「洪かん地」といえる砂州が壊されずに約八〇年間存続したためりっぱな林になったと思われます。さながら梓川による無菌砂耕栽培が行われつづけたと考えられますが、いつまでも残る林ではありません。

このように、上高地の自然の美しさは、じつは自然災害がもたらす未熟な土地基盤による「未熟な美しさ」であり、定期的な攪乱がなくなれば、気候の極相である亜高山帯性常緑針葉樹林に移行し、現在の上高地の美しさは大きく損なわれることになるでしょう。（松本陽介）

## 持ちつ持たれつ森林と永久凍土

地球上で森林が成立するギリギリの条件は、年降水量およそ五〇〇<sup>リ</sup>、年平均気温は氷点下五℃とされ、これより乾燥条件では草原か砂漠に、寒ければツンドラや極沙漠となります。たいていの教科書では北半球の高緯度地域はタイガとして色分けされ、ポドゾルと呼ばれる土壌の分布域にされています。このような環境条件と生態系の対応関係は、北米大陸とユーラシア大陸の半分までは当てはまりますが、およそ北緯六〇度以北、エニセイ川以東（東経九〇度以東）のユーラシア北東部ではこの関係がくずれます。なんと年降水量は二〇〇〜三〇〇<sup>リ</sup>で年平均気温が氷点下一〇℃を下回る極端な大陸性気候の環境に、広大なカラマツ林が存在しています。なぜそんなことが可能なのでしょう。その鍵を握るのが森林の下に厚く横たわる永久凍土です。永久凍土が連続して分布する地域の森林は、地球上で唯一ここだけです(図)。夏でもせいぜい一二<sup>リ</sup>解けるだけの永久凍土の表層に降水が保持され、森林の成立を可能にしているのです。

東シベリアの永久凍土の形成要因は過去の気候によつています。氷期と呼ばれる過去の地球の寒冷期に氷床がなかったために地表面が強烈に冷やされ、厚さ数百メートルの永久凍土が形成されたのです。他の周極域は氷河に覆われたので永久凍土は形成されず、氷河後退・消失後に氷河の残した岩層などから土壤発達が始まりました。氷河に覆われなかった東シベリアでは二万〜三万年前に永久凍土が形成され、それが現在ま



カラマツ林の下に現れた巨大な地下水（コリマ川低地帯：北緯69度付近）



（町田 他,1981より描く）

- 連続永久凍土
- ▨ 不連続永久凍土
- ▩ 沿岸海洋底永久凍土

北半球の永久凍土分布（北東ユーラシアでは森林地帯と重なる）

で寒冷気候下で残っているのです。特に東シベリアでは大河川の細粒質の堆積物が厚く堆積し、その間隙に巨大な楔状の地下水が発達しています（写真）。

地表面を覆う森林が火災などでなくなると永久凍土が解け、アラスというフライパン状の池沼が形成されます。極端な大陸性気候下にある東シベリアでは、池沼が干上がるとPHが一〇に達する塩類土壌が生成され、カラマツ林の再生は困難になります。地球温暖化で凍土融解の加速が懸念されるのはこのためです。森林が凍土を守り、凍土が森林を支えているのです。

これまで北方林生態系の研究は、連続する永久凍土上に森林が存在しない北米大陸中心だったので、ユーラシア北東部のカラマツ林生態系についてはほとんどわかっていません。微妙なバランスの上に成り立つ永久凍土の生態系研究は始まったばかりなのです。（松浦陽次郎）

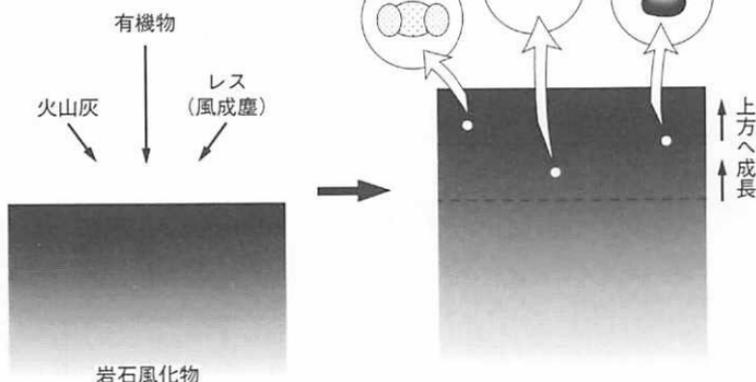
## 成長する土

「土の色」というと、どんな色を連想しますか？ あるアンケートによると、関東では黒や褐色、関西では黄土色、沖縄では赤色という回答が多いそうです。これは、各地でどんな色の土が多く分布しているかを端的に反映しているといえるでしょう。ところで、赤土や黄土色の土といっても、植物が生育している場所では、土の表面は多少とも黒みがかっています。これは、落ち葉などが分解した「腐植」と呼ばれる有機物が黒っぽいためで、一般に腐植の量が多いほど土の色は黒くなります。

黒い土の代表として、厚い真つ黒な土層を持つ黒色土（「くろほく土」などとも呼ばれる）があります。黒色土は、世界的にみても最も腐植が多い土の一つですが、九州や関東、東北など火山の多い地域の草原に多く分布しています。花粉分析法（八四ページ「花粉はかたりべ」参照）や植物ケイ酸体分析法（土の中に残存しているケイ酸質の植物微化石を用いて過去の植生を調べる方法）によって過去の植生を調べてみるところ、やはり黒色土はススキなどのイネ科植物の草原でできたことがわかりました。

黒色土のでき方の特徴はそれだけではありません。ふつう、土壌学の教科書には「岩石が風化して細くなった無機物に腐植が浸透して暗色の腐植土層ができる」という意味の説明がなされています。もちろん、これは間違いではないのですが、黒色土の場合には、それに加えて「土層が上方に成長する」という特徴が

無機物と有機物が並行して供給され累積する



いろいろな材料が徐々に降り積もって、上方へ成長をする黒色土

あります(図)。

黒色土を構成する鉱物粒子を顕微鏡で観察すると、多くの場合は火山灰に由来する粒子が主体なのですが、そのほかに基岩の風化物や中国大陸から飛んできたレス(風成塵)が混ざっており、また植物微化石や植物の炭化片などいろいろなものが含まれています。その組成を深さごとに詳細に調べていくと、植物微化石の風化の程度から「深いほど微化石の堆積年代が古い」が、どの深さでもいろいろな起源の粒子が混在していることがわかりました。

つまり黒色土の土層は、火山灰やレスや微化石が少しずつ降り積もって累積し、それと並行して腐植がたまって成長してきたと考えられるのです。累積・成長した黒色土の下から、縄文・弥生の遺跡が見つかることも少なくありません。考古学や古植物学などの分野では興味を持たれる土です。

(鳥居厚志)

## 火事によみがえる森

人間の手で災害から森林を守ったつもりが、かえって森林を衰退させ、枯らしてしまうことがあります。タスマニアの高地に生育するユーカリの森林で生じている梢端枯れについて研究したフェルトンやエリスらによると、人間が数十年にわたって山火事の発生を予防したことがユーカリ林の衰退を招いている原因であり、火災や森林の伐採によって攪乱が生じると衰退からの回復が見られるそうです。ポット試験によると、土壌中の菌根菌の変化が上木のユーカリの衰退と新たな芽生えの枯死をひき起こしています。

芽生えの段階で日向を好む陽樹の森林から、日陰を必要とする陰樹の森林へと変化する現象は遷移と呼ばれ、広く認められています。ところが、陰樹で構成される森林（極相）だけが自然林ではなく、ユーカリ林やマツ林のような二次林が古くから見られる地域もあります。落雷による火災や火山の噴火などが頻繁に発生している場所では、定期的な火災の発生を前提とした生態系ができてきているからです。

アメリカのイエローストーン国立公園などでは自然発火による山火事は原則として放置されます。この地域のマツ林を健全に更新させるためです。ロッジポールマツやジャックパインは火事による高熱を受けてはじめて球果が開き、種子を外に出すので、火災に遭遇するまでは何年でも種子を閉じ込め、林内に貯蔵しています。山火事が完全に防止されるとマツ林はしだいに広葉樹林に置きかわり、マツ林はなくなります。



開葉季のカシワ林

人為的な火入れや失火によって発生する山火事を防ぐ必要性はいうまでもありません。しかし、「過ぎたるは及ばざるがごとし」といわれるように、管理がいきとどきすぎると、更新に山火事を必要とする森林がなくなり、多くの動植物や微生物の住みかが奪われる結果を招きます。しかし、日本では、火山活動を除いて自然発火による山火事はほとんどないので、火災防止を手加減する必要はありません。しいて例外をあげるとすれば、九州の阿蘇・久住高原のカシワ林があります。

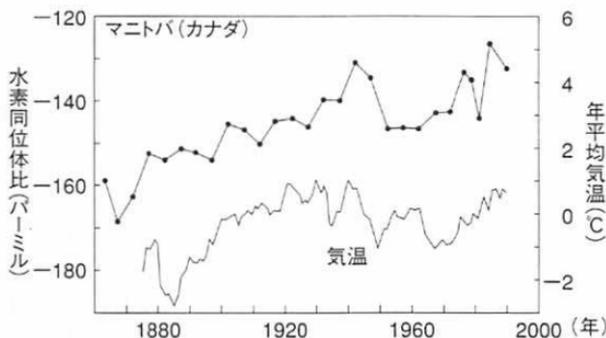
草原に面したあたりはカシワが純林をつくり、林縁から離れるにつれてミズナラの割合が多くなり、火入れの影響をまったく受けない場所ではミズナラだけになります。樹皮の厚いカシワは、火入れの熱には強くても、普通の条件下での成長速度はミズナラに負けてしまつたためです。この地方の草原には、ヒゴタイやキスミレなど大陸の草原と共通の植物が多いことでも有名です。もともと火山活動によって森林の発達が阻止され、現在では火入れによって草原とカシワ林が維持されています。このため、雨量が少なくて森林が発達できない大陸の草原地帯と同じような環境が今日まで残されているといえるでしょう。

(埤田 宏)

## 樹木温度計

樹木はおもに炭素、酸素、水素の三つの元素からできています。このなかの水素にはじつは重さの異なる三種類が自然界にあり、水素（存在比九九・九八五%）、重水素（存在比〇・〇一五%）、三重水素（極微量）という名で区別しています。この重水素と水素の比（水素同位体比）は自然界でさまざまに変化することが以前から知られていました。たとえば同じ水であっても、蒸発するときの温度が二〇℃と三〇℃のときでは生成した水蒸気の水素同位体比に違いがあります。蒸発するときの温度が高いほど、生成する水蒸気の水素同位体比は大きくなることがわかっています。したがって、大気中の水蒸気やそれからできる雲の水素同位体比は、水蒸気ができるときに温度条件を反映しているはずで

さて、樹木が利用している水はもともと雨からきているので、年輪の成分の水素同位体比を調べれば雨の水素同位体比が推定できるのではないか。雨の水素同位体比がわかれば水が蒸発したときの温度が、そして気温が推定できるのではないかと考えた人がいました。「風が吹けば桶屋が儲かる」ではありませんが、この予測は当たっていたのです。カナダのマニトバに生育する樹木の年輪の水素同位体比と、その周辺の気象観測所で観測した気温の平均値とが図に比較してあります。両者は同じように変化しており、十九世紀後半から最近にかけて上昇傾向にあることがわかります。たんなる思いつきやこじつけとは違って、しっかりとし



年輪中の水素同位体比と気温の比較  
(Feng and Epstein, 1996より)

た科学的根拠に基づく推論は確かな結果を生むという例をここに見ることができます。

年輪から推定した世界各地の気温は、十九世紀後半からおよそ一九二〇年代にかけて上昇しつづけていること、上昇の程度は地域によって同じではなく、寒いところほど著しいことを示していました。地球温暖化によって地球全体の気温は一樣に上昇しているのではなく、温暖化の進行のしかたは地域によっても時代によっても違いがあるといえるでしょう。

さて、年輪から推定した一九二〇年代以降の気温の変化は、温暖化の進行のしかたがさらに複雑になっていることを示しています。全体の傾向は上昇に違いありませんが、年ごとの寒暖の幅と地域的な違いがそれ以前よりいっそう大きくなっているのです。

人間活動の影響がどの程度このことに関係しているかは評価が難しいところですが、東南アジアに大規模な森林火災を引き起こした、今世紀最大といわれる一九九七年のエルニーニョや、一九九八年の長江の大洪水など、「めったに起こらない自然災害」があちこちで起きていることは何を示唆しているのでしょうか。

(岡田直紀)

# 花粉はかたりべ

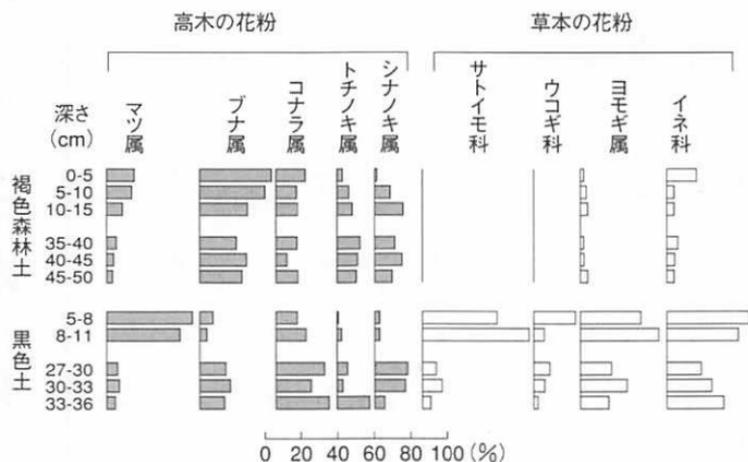
「花粉」という言葉から何を連想されますか？ 従来は、植物や昆虫にかかわりのある人以外はあまり興味を示さなかったのですが、昨今では「花粉症」のおかげですっかり悪名高い存在になってしまいました。

しかし、花粉を調べて大昔の森林の状態や気候を推定したり、農耕伝播の歴史をひも解いたり、地質学や生態学、考古学の分野では花粉は大いに役に立つ存在なのです。

花粉の外壁は、スポロポレーニンという化学的に丈夫な物質でできているので、条件さえよければ何万年も保存されていることがあります。もともと、残っているのは外側の殻だけで、生殖能力のない一種の化石といえます。顕微鏡で観察すると、花粉の外観は植物の種類ごとに特徴があるので、地層の中の花粉を調べることによって、その時代にどんな植物が生えていたのかを推しはかることができます。

たとえば、次のページの図は青森県の八甲田山の土の中の花粉を分析した結果です。図の下半分は黒色土（七八ページ「成長する土」参照）と呼ばれる真っ黒な土、上半分は褐色森林土というやや黒みの弱い土に含まれる花粉の種類を示しています。図の縦軸は土の深さ、横軸は含まれているおもな花粉の種類で、たくさん並んだ「帯」は、それぞれの深さでそれぞれの種類の花粉がどの程度含まれているかを表しています。

また、これらの土は火山灰が累積してきた土なので、深いほど時代が古いわけで、結局この図は、長年の



森林土壌中の花粉の分析例 土壌の種類によって花粉の組成も大きく異なっている。

植生の履歴を表していることになります。

図を見てわかるとおり褐色森林土のほうはブナ属を主体に、コナラ属などの高木の花粉が多く含まれています。この花粉の組成は現在の付近の植生とほぼ似通っており、現在と同じような落葉広葉樹林が長期間続いていたと考えられます。一方、黒色土ではイネ科やサトイモ科、ヨモギ属などの草本の花粉が非常に多くなっています。また樹木のなかでは陽樹であるマツ属の花粉が主体です。

つまり、黒色土は閉鎖した森林の下ではなく、草原か疎林のような植生の下でできた土であると考えられるわけです。

これは花粉の利用法のほんの一例ですが、このように肉眼では見えない小さな花粉が、過去の植生を推定するのに威力を発揮するわけです。「花粉症の元凶」と敵視せずに、温かい目で見てやってください。

(鳥居厚志)

# ペルー沖から飛び火

一九九七年から九八年にかけて、インドネシア共和国では各地で大規模な森林火災が発生しました。インドネシア林業省の発表によると、一九九七年二月末までに発生した森林火災は二六万畝に達しています。

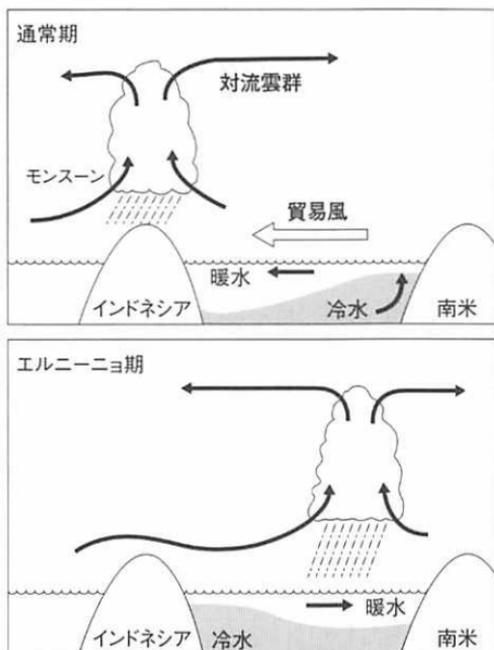
このような大規模な森林火災に伴って多量のばい煙が国境を越え、近隣のマレーシアやシンガポール、フィリピン南部にまで及び、人々の健康被害や産業活動への影響等国际的な問題となりました。インドネシアでこのような大規模森林火災が発生したのは一九九七年だけに限ったことではありません。すでに一九八二～八三年にはカリマンタン島だけで三〇〇万畝以上の森林が消失しており、その後もほぼ三～四年おきに大規模な森林火災が発生しています。その原因の一つとしてエルニーニョが考えられています。

エルニーニョとはもともと南米のエクアドルからペルーにかけての沿岸でアンチヨピの漁獲量が激減するなどの現象が起こることを指しており、二十世紀の初めには海水温の上昇に伴うプランクトンの減少がその直接の原因であることが明らかにされています。そしてこの異常高温の影響は局地的なものではなく、太平洋の赤道海域全体に、さらには全地球的に影響を及ぼす大規模な現象であることがわかってきました。

現在ではエルニーニョという言葉は、本来の意味に用いられるよりも数年あるいは数十年に一度現れる大規模な異常高温現象を指すことのほうが多くなっています。それではなぜエルニーニョが起こるとインドネ

シアで森林火災が多発するのでしょうか。

通常ですとペルー沖では、湧昇流によって栄養分に富む冷たい海水が表面に運ばれてきます。この海水は赤道太平洋上を東から吹く貿易風によって西へ運ばれ、赤道上で日射によって暖められ、世界で最も暖かい海水となってインドネシア沖に達します。このためインドネシア付近の上空では活発な対流活動が起こり、対流雲が発達して多くの雨を降らせます。逆に中部太平洋やペルー沖などではほとんど雨が降りません。



通常期とエルニーニョ期における赤道太平洋域での大気と海洋の模式図

エルニーニョ期には事態が一変します。貿易風が弱まることで、インドネシア沖にあった暖かい海水はペルー沖に向けて逆流します。これに伴って大気中の対流活動の中心域も東へ移動します。中部太平洋や南米では異常な多雨に見舞われ、逆にインドネシアでは雨量が減少し、ときには干ばつになることもあります。雨季になっても雨が降らず森林火災が多発することになります。(後藤義明)

## 煙で木が育たない

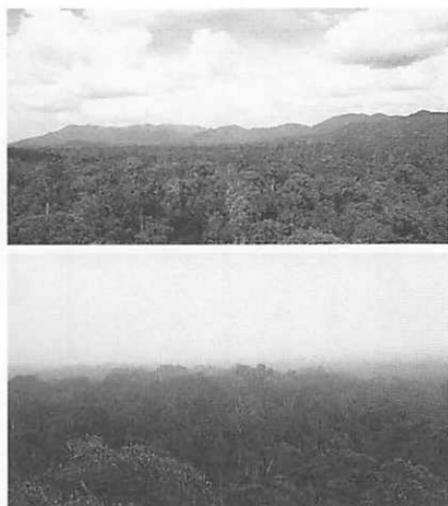
一九九七年のインドネシアの森林火災は、これまでのものとしては最大規模で、焼畑や原野開発のための野火が発端となり、それにエルニーニョ現象に伴う森林の乾燥が拍車をかけたためといわれています。焼けた地域の生態系の崩壊だけでなく、火災に伴う煙がマレーシア半島部まで広がり長期間滞留したため、生態系や人々の健康への影響が危惧されています。

ところで、インドネシアやマレーシアの低地や丘陵地は雨期と乾期があまりはっきりしない熱帯雨林と呼ばれる森林によって覆われています。こうした森林は通常、常緑で厚い葉を持つ樹木で構成されています。森の中（林床）は年じゅう薄暗く、林冠に降り注ぐ光の量の約二―五%ぐらいしか届きません。林床で暮らす稚樹のなかには暗い環境下でも一定の割合で成長を続ける樹種もありますが、ほとんどの種はこうした光の届かない環境で、付近の大き木が倒れ林冠に大きな穴（ギャップ）ができるまで、じっと耐えて生きているのです。その間、ほとんど成長もせず、同じ葉を長い間だいに使いますが、待ちきれずに死んでしまう稚樹も少なくありません。

さて、これまでの研究でこうした林野火災に伴う煙の影響で林床に降り注ぐ光の量が約半分に減少するところがわかりました。その結果、林床下の稚樹などの葉が固定できる炭素の量は負の値になることがわかりま

した (Tang et al., 1996)。これは植物にとって今までのストックの持ち出しを意味し、暗い林床下で育っている稚樹などの寿命を縮め、死亡率を高めることにつながります。こうした煙霧が長く続けばそれだけ、林床の植生ひいては森全体の多様性への影響が出る可能性があります。

マレーシアで煙霧が数か月にわたり続いた前年（一九九六年）には森の構成種の多くが開花し、結実する一斉開花現象が見られました。こうした種は、一斉開花のとき以外はほとんど実をつけません。その年、林床には一斉開花のときに発芽した多くの実生がカーペット状に群生していました。これまで、一斉開花はエ



マレーシアパソの森  
煙霧のない日(上), 煙霧の滞留した日(下)

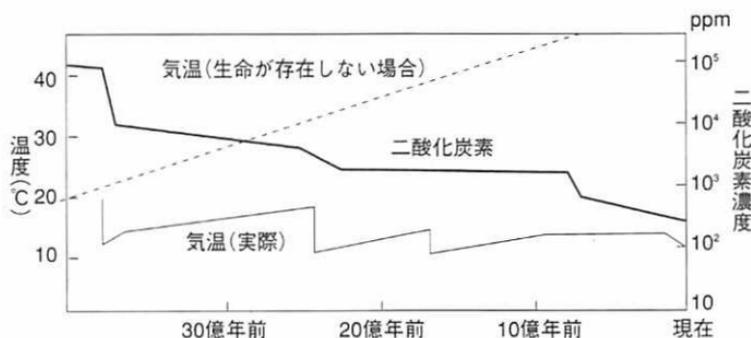
ルニーニョによる気候の変動が引き金になって起こるといわれてきました (Ashon et al., 1988)。もしこれが本当であるならば、エルニーニョによって引き起こされる二つの現象は皮肉な関係といわざるをえません。ただし、林野火災の直接の原因は人為的なものであり、その社会および経済的な背景に対してなんらかの策が講じられなければ、森林面積が激減するだけでなく、残っている森の質的な劣化も起こり得るのです。

(奥田敏統)

## ガイアの掟

私たちの住む地球では、大気の組成や気候条件が生き物たちにとって好都合なように絶えず保たれていきます。およそ三五億年前に生命が誕生して以来、バクテリアから高等動植物にいたる全生物が地球の無機的な環境と一体となってこうした環境をつくり出してきたのです。かりに生物が存在しなかったとしたら、大気には二酸化炭素が充満して酸素がほとんどなく、おそらくは極寒の火星や灼熱の金星と似たり寄ったりの星になっていたでしょう。イギリスの科学者、ジェームズ・ラブロックは、地球が一つの生命体として機能し、進化してきたことに注目して「ガイア仮説」を提唱しました。ガイアというのはギリシャ神話の大地の女神のことです。

地球の誕生以来、太陽の輝きは二五〜三〇%強まってきました。太陽が熱くなれば地球の平均気温も上昇するはずですが、ところが、実際にはそうならず、一五°C前後の気温が保たれてきました(図)。それは、温室効果ガスである二酸化炭素の濃度が大幅に下がったからです。気温が上がると生物活動が全般的に活発になり、大気中の二酸化炭素が吸収されます。また海面や地上からの蒸発量も増えて雨が多くなります。これによって岩石の酸化(風化や浸食)が盛んになり、窒素やリンなどの養分が海に流れて海洋での一次生産が促進されるからです。このいずれもが二酸化炭素の大量消費を誘発して気温を引き下げます。



地球生理学的に見た気温と大気中の二酸化炭素濃度の推移

J. ラブロック『ガイアの時代』（スワミ・ブレム・ブラブッタ訳，工作舎，1989），

図6.3をもとに作成。

この簡単な例が示しているように、ガイア仮説のポイントは、気温や大気濃度に変化が生じると、生物相がその調整に向けて強力に働きはじめるということです。このようなシステムでは、たとえ外部からの攪乱があっても、調整可能な範囲内であれば大事にいたることはありません。しかし私たちは今や大きなストレスをガイアに与えています。ラブロックが特に気づかっているのは自然の改変、なかでも熱帯雨林や水生生態系の大規模な破壊です。

地球上の生き物たちが協力して住みよい地球づくりにいそしんでいるのに、人間という生き物だけが、原生林を壊したり、化石燃料を掘り出したりして、何千万年にもわたる生物相の努力を台なしにしています。やがて地球の平均気温が急速に上昇し、人類が多くの動植物を道連れにしてこの地上から消えていくかもしれません。しかしそれは地球にとってそれほど的事件ではなく、高い温度に適應できる生命体がほどなく地球を覆い尽くすことになるでしょう。これがガイアの掟なのです。

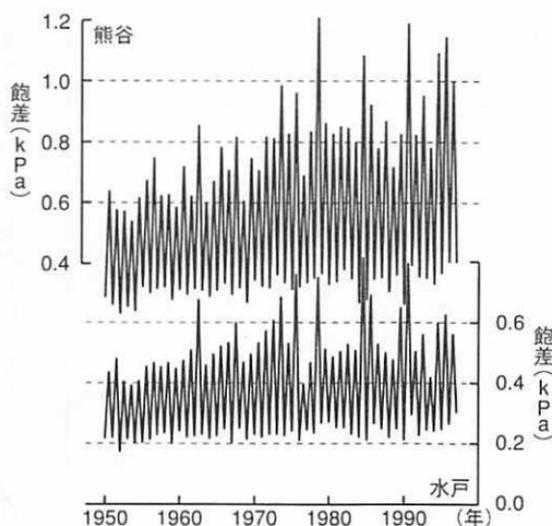
（熊崎 実）

# 洗濯物の乾きやすさ

濡れた物は、空気が乾燥しているほど速く乾きます。そして、私たちが「空気の乾燥」と聞いてまず頭に浮かべる指標は、パーセントで表される相対湿度でしょう。それでは、相対湿度が低いと洗濯物は速く乾くのでしょうか。

一定体積の空気を含むことのできる最大の水蒸気量、すなわち飽和水蒸気圧は気温によって決まります。気温が高くなるほど多くの水蒸気を含むことができます。この飽和水蒸気圧に対し、そのとき実際に含んでいる水蒸気圧の割合が相対湿度です。このことは、同じ相対湿度でも、気温が変われば、飽和水蒸気圧と実際の水蒸気圧との差すなわち「飽差」が異なることを意味します。飽差は、その空気にあとどれだけの水蒸気が入ることができるかを表し、空気の乾燥度を示します。たとえば、一立方メートルの空気を考えた場合、同じ相対湿度八〇%でも気温二〇℃と三〇℃では、三〇℃のほうが約二・六二倍多く水蒸気を含むことができます。すなわち、この場合、洗濯物は三〇℃のほうが速く乾きます。

物が乾くということは、その物から大気へ水が移動することによります。このことを「蒸発」と呼びます。水の蒸発には飽差が重要であり、相対湿度が低いからといって、洗濯物が速く乾くとはかぎらないのです。実際には、洗濯物の乾きやすさは大気の飽差以外に、風や日射などほかの環境条件もかかわっています。



熊谷（左軸）と水戸（右軸）の月平均飽差の年変動データは気象庁年報（全国気象表）を用いた。

さて、植物の葉も洗濯物が乾くのと同様に飽差の影響を受けます。しかし、葉の表面はクチクラと呼ばれる層に覆われ、大気への水の移動である「蒸散」はおもに葉の気孔を介して行われます。気孔の開閉により蒸散量を調節できることが、蒸発との大きな違いです。大きすぎる飽差は気孔の閉鎖を導き、蒸散量を抑える反面、同時に葉内への二酸化炭素の供給も制限し、光合成量を低下させます。飽差は植物の成長にとって

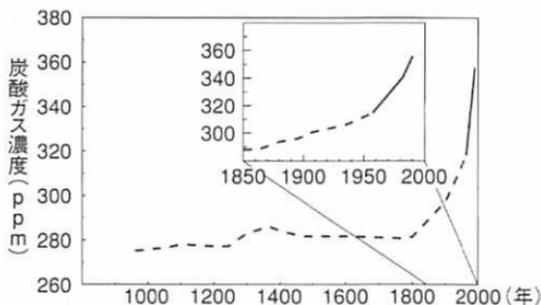
も重要な環境要因なのです。

近年、地球温暖化や都市化の影響による気温の上昇が懸念されています。気温の上昇が植物に与える影響は、前述のように、その直接的影響だけでなく飽差増大の影響も含めて考える必要があります。すでに全国各地での飽差は図に例示したように増大しています。さらに、植物に対する環境変動の影響を考える場合は、植物のライフサイクルに合わせ、一年のうちでいつ、一日のうちでいつ、その変動が大きく現れるのかを予測することも重要です。

（上村 章）

## いつから地球は変わりはじめたか

今から四〇年前、国際地球観測年を契機として、ハワイのマウナロア観測所で大気中の炭酸ガス濃度の観測が始められました。この場所が選ばれたのは、人間活動や火山などの直接の影響を避けるためです。それ以前の大气については、南極大陸に積もっている雪氷をボーリングして、中にタイムカプセルとして残っている気泡から各時代の濃度が測定されています(図)。過去何百年来二八〇ppm前後で安定していた濃度が一八〇〇年ごろから増えはじめ、その勢いは近年さらに加速しています。一八〇〇年前後とはヨーロッパでの産業革命の時期であり、以来、石炭・石油の消費が激増したことがこの変化の原因です。炭酸ガスのほかにメタン、フロンなども太陽からの可視光線を素通しする一方で、地球から宇宙空間への放熱形態である赤外線は吸収するため「温室効果ガス」と呼ばれます。その増加のために地球の放熱が抑えられ、温暖化が始まりました(二六ページ)。メタンは自然にも発生しますが、化石燃料や農業など人間活動によるものが全体排出量の約七〇%を占めると見積もられています。フロンは、もちろん一〇〇%が人間が出したものです。人類の排出物が地球に問題を引き起こしているほかの事例にオゾン層破壊があります。地上高二〇〜三五メートルにあるオゾンが異常に減っていることに日本とイギリスの南極観測隊が気づいたのは一九八二年でした。その後の調べで、この異常は一九七〇年代末に始まったこと、オゾン層破壊の犯人はフロンガスらしいこと



大気中の炭酸ガス濃度の経年変化  
(IPCC 第2次報告書, 気象庁訳による)

がわかりました(五八ページ)。フロンガスの大量排出が始まったのは数十年も前ですから、大気中できわめて安定と考えられていたこの化学物質が成層圏まで拡散して悪さを始めるまでに何十年もかかったわけですから、そのことはまた、今後の状況をも示唆し、事実、特定フロンの排出が一九九〇年前後に世界的に規制されたのに、今も南極上空のオゾンホールは年々拡大を続けています。

というわけで、地球環境の監視には細心の注意と堅実な持続が必要で、四〇年前にマウナロアで始められた炭酸ガス測定の先見の明が今にして痛感されますが、日本の気象庁も世界気象機関の総合計画のもと、綾里(岩手県)、南島島(東京の南東一八〇〇島)、与那国島(沖縄県)で炭酸ガスほかの測定をしています。また気象庁は世界気象機関からこれらの温室効果ガスのデータセンターに指定され、各国のデータの収集・品質管理・還元を一手に引き受けています。同様にエエロゾルについてはヨーロッパ連合、放射ではロシア、大気汚染ではアメリカ、オゾンと紫外線ではカナダ、降水の化学成分ではアメリカの各機関がデータセンターになっています。いずれも微量成分の検出・測定なので、高い技術と統一的手法が必要です。

(檀間道夫)

## 異常でない？ 異常気象

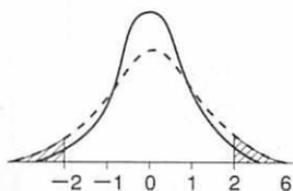
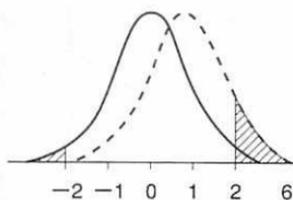
一七ページの気温の例で見るとおり、気象は常に変動しているので、何をもって正常・異常とするかは、立場によって異なります。マスコミはとかく「異常」の語を使いたがりますが、世界気象機関では「三〇年に一度程度出現する現象」を異常気象と定義しています。三〇年とは一人の人間の社会的活動の期間であり、つまり「それぐらいの頻度で起きる現象を社会が一つの目安にしておこう」という趣旨なのでしょう。

同じく世界気象機関では「平年値」についても「三〇年間の平均値」と定義しています。ただし便宜上、毎年の過去三〇年ではなく、一〇年ごとに区切るので、現在の平年値は一九六一〜九〇年の値です。

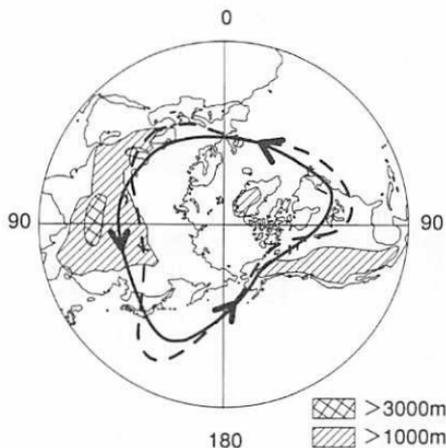
実際の気温を長期間にわたって調べると、おおむね正規分布をしており、したがって標準偏差の二倍以上のずれの出現率は高低両側に、おのおの三〇分の一程度となります。また、降水量については観測値自体のバラツキが大きいのですが、観測値の三乗根をとるとほぼ正規分布することが経験的に知られています。

では、異常気象が頻発するのはどういう場合でしょうか。典型的に二つの型があります(左図)。温暖化などのように高低どちらかに変位する場合(左上)は自明ですが、左下はどういうことでしょうか。特定地点での変動幅が増えるケースもありますが、わかりやすい例として右図をご覧ください。

実線は北極を中心にした北半球での西風の流れの平均的な状態を示します。偏西風は北極の寒気を取り巻



異常気象（標準偏差の2倍を超える部分）の増加。



北半球の偏西風の流の平均的な形(太実線)と乱れの一例(破線)。図の中央が北極、外円が赤道。

この偏西風の蛇行の振幅が南北に大きくなると(右図で破線)、北半球全体として異常気象が頻発することになります。

一六ページで述べたように、地球が温暖化するとき、全体が平均的に暖まるのではなく緯度や地域で差があるために、地球を取り巻く大気や海洋の大規模な循環が変調することが懸念されています。

(樋間道夫)

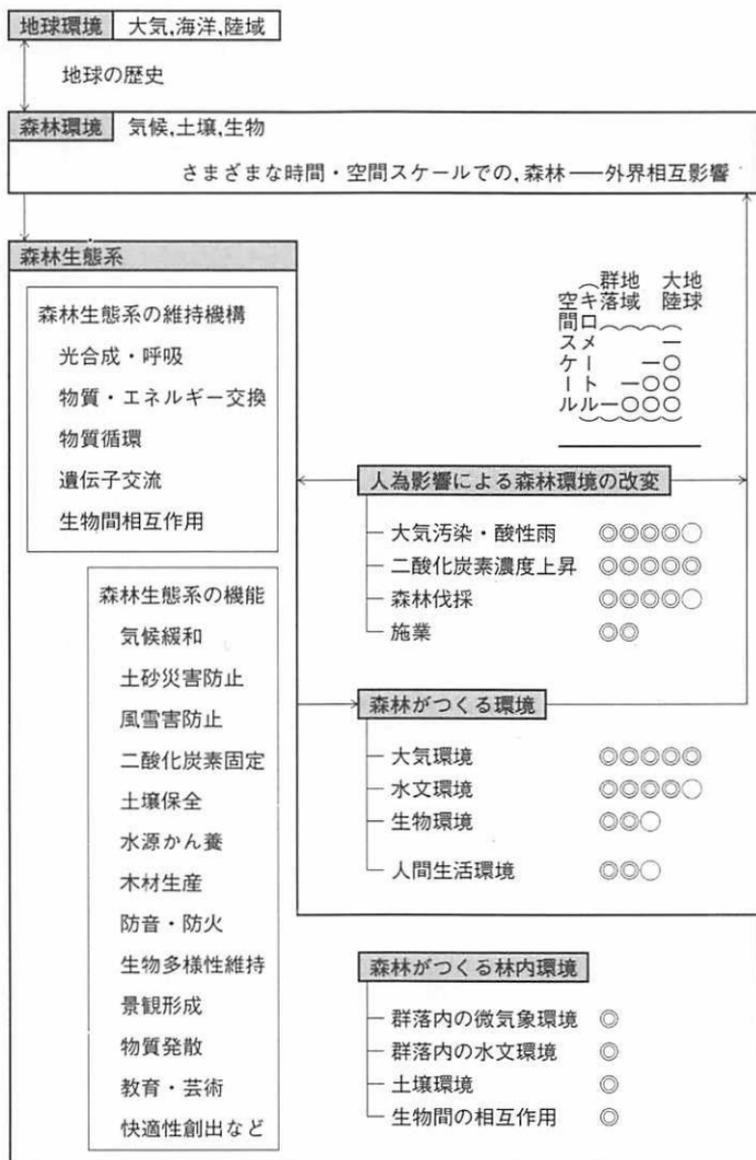
いて流れますが、一般に円ではなく蛇行しており、平均的に見ると少しいびつな三角形になります。それはヒマラヤ山脈・ロッキー山脈や太平洋・大西洋の配置などのためなのですが、その理屈はさておきとして、アメリカ随一の林業地帯であるオレゴン州が、緯度では北海道よりも北にあるのに冬でも暖かく、雪ではなくて雨が降るのも、このような偏西風や、関連する暖かい海流のためなのです。

## ひとことでも森林環境というけれど

森林は、外部との物質・エネルギーの交換、森林内部の物質循環、生物の生命活動と生物間の相互作用などによって成り立っています。このような系を森林生態系といいます。そして、森林を取り巻いて森林生態系と相互に影響し合う外界のことを森林環境といい、図のような関係に表すことができます。

森林を構成する樹木の葉によって、森林は太陽エネルギーを選択的に吸収して光合成を行います。同時に太陽の放射エネルギーを熱エネルギーに変換し、気候を調節します。森林群落はほかの植生に比べて背が高く、しかも陸上の広い面積を占めていることによって、森林のすぐ近く、ときには樹木の葉一枚の周辺の大気から、地球全体の気候に至るさまざまな規模で、環境と密接に関係します。たとえば人類による化石燃料の消費と大気中の二酸化炭素濃度上昇、それを抑制する森林といった関係に見られるように、森林は常に環境と相互に影響し合っています。森林は光合成によって大気中の二酸化炭素を固定し酸素を放出して、地球の大気組成を少しずつ変化させるとともに、寒暖などの気候変動の影響を受けながら、長い時間をかけて森林自身も徐々にその姿を変えてきたのです。このような森林生態系と森林環境の相互影響のもと、私たちの生活に必要な不可欠な領域で、森林生態系はいろいろな機能を提供してくれれます。このような森林の機能を明らかにするために、森林と森林環境のモニタリングはさまざまな視点から行われています。

(大谷義一)

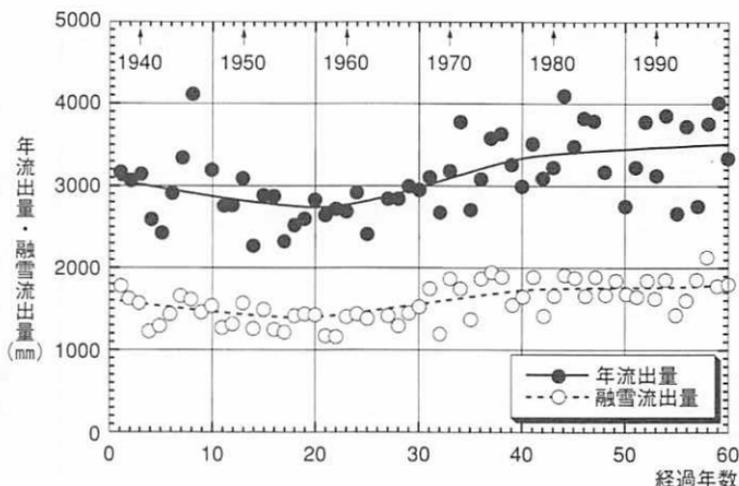


森林生態系と森林環境

## 水源を見つめて六〇年

明治末期から大正時代にかけて、森林の気象や気象・気候に及ぼす森林の影響を把握するため、全国三九か所に森林測候所が開設されました。山地の気象観測とともに、一部の地域では河川の洪水予報を目的とした水位観測も行われましたが、一九三七年に廃止されました。森林測候所時代の貴重な経験と成果を引き継いだ宝川森林理水試験地は、同年一月に天然林の開発が水の流出にどのような影響を与えるかを解明するため、群馬県水上町内の大利根国有林に設置されました。試験地は本流域（一九〇五・七〇）と初沢流域（一一七・九〇）からなり、太平洋戦争中でも中断されることなく、開設以来六〇年以上にわたり水文観測が継続されています。この地域は、首都圏の主要な水瓶に当たるため、観測結果は「森林と水」のみならず「水資源開発」に関する基礎資料として多方面に広く活用されています。

さて、近年における異常気象や気候変動という環境問題に対し、宝川試験地は長期モニタリングという視点から新たな評価を受けています。図は、本流域における一九三八年から一九九七年までの年流出量と融雪流出量の経年変化を示したものです。年流出量は、最小の二二九六・六リから最大の四二二〇・三リまで変化し、その平均は三二二七・九リです。これにより、本流域は年間約六〇〇万リの水資源を下流域に供給しているということができます。融雪流出量とは、融雪の最盛期に当たる四月と五月の全流出量で、年



宝川試験地における年流出量と融雪流出量の経年変化

流出量の約五二％に相当します。これは、雪の影響を強く受けた結果で、積雪地帯に共通した特徴です。融雪流出量の経年変化(点線)は、年流出量とほぼ並行に推移し、その変動は小さいことがわかります。一方、年流出量の経年変化(実線)は、観測開始年から一九五八ころまでは減少傾向を示しますが、それ以後はわずかながら増加傾向を示し、今日に至っています。しかしながら、最近一五年間に注目すると、この期間の年流出量は他の期間と比較して変動がより大きいことがわかります。この期間の融雪流出量は比較的安定して推移していることから、年流出量の変動はおもに年降雨量の変動に起因し、これは集中豪雨や干ばつという異常気象を反映した結果と考えられます。

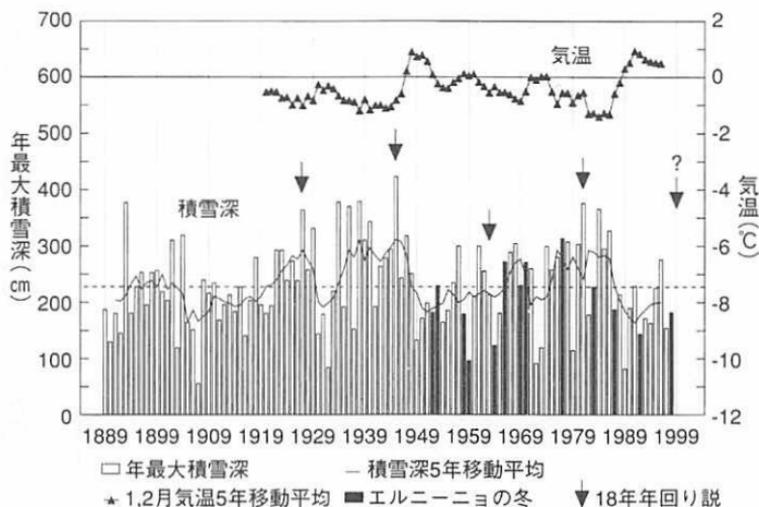
水文環境の長期モニタリングは「森林と水」という流域規模の水問題ばかりでなく、より広域規模の環境問題を理解するうえからも重要です。

(藤枝基久)

# 一八年ごとによつてくる？ ドカ雪

新潟県十日町市は日本一雪の多い都市として知られています。森林総合研究所十日町試験地の過去八〇年間の雪の記録によると、十日町市の年最大積雪深の平均は二四〇<sup>センチ</sup>、最大は一九四五年の四二五<sup>センチ</sup>、最小は一九八九年の八一<sup>センチ</sup>で、この地に四万五〇〇〇の人々が生活しています。十日町市には上記のデータのほか、それ以前のものを集めると一八八八年から現在までの一一〇年間の年最大積雪深の長期変動の記録が残されています。図によると、一九二〇年代後半〜四〇年代後半にかけてと七〇年代中ごろ〜八〇年代中ごろにかけては、三層以上の豪雪が頻繁に起こっています。一方、一九〇〇年後半〜一〇年代末と一九五〇年代およびここ十数年は少雪の年が続いています。このような変動がどうして起こるかは明らかではありませんが、近年の少雪傾向が「地球温暖化」に即結びつくものではないようです。

少雪といえは、近年エルニーニョ現象との関係が新聞などでよく取り上げられます。図によるとエルニーニョの冬(黒い棒)は一般に少雪のことが多いようですが、一九七七年の豪雪の例もあり、この現象だけで積雪の寡多を予測するのは難しいようです。ところで過去の豪雪年を振り返ってみると、一九二七年(昭二)、四五年(昭二〇)、六三年(三八豪雪)、この年は里雪利豪雪のため十日町の雪は平年並)、八一年(五六豪雪)と、奇妙に一八年ごとに豪雪になっていることに気づくでしょう。この年回りからすると次の豪雪は



#### 十日町市の過去110年間の積雪の記録

一九九九年ですが、果たして「世紀末豪雪」はやってくるでしょうか。

地球温暖化のシナリオによると、将来の日本の冬の気温は二〇八〇年には二〜三℃上昇すると考えられます。

図によると、年最大積雪深と冬の気温の間には明瞭な逆の相関(寒い冬は雪が多く、暖かい冬は雪が少ない)があります。これは雪は〇℃以上で解けるためであり、地上気温がプラス二℃前後より低い場合に降水は雪として降り、高い場合は雨として降ることが多いためです。このため冬の気温が〇℃近くの各地では、気温のわずかの変化により積雪深が大きく変動することになります。

したがって、地球温暖化により気温が二〜三℃上昇すると、新潟県以南の日本海側の積雪は劇的に減少し、これらの平野部の多くが無雪地域になることが予想されています。

(遠藤八十二)

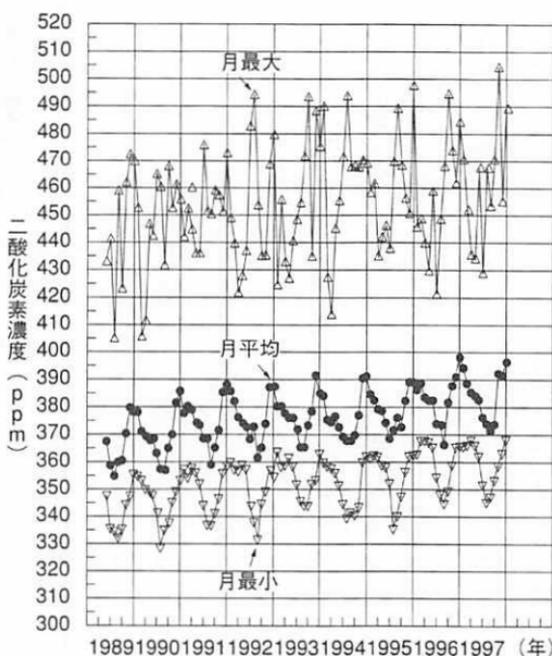
## 乱高下して高値基調

ハワイのマウナロア山で一九五八年以来、標高四〇〇〇フィートの大気中の二酸化炭素濃度を測定しています。世界じゅうでいくつもの観測点も追加されています。一九五八年の二酸化炭素濃度は三一五ppmでしたが一九八八年には三五〇ppmに上昇していることが明らかになりました。また、南極の氷に閉じこめられた空気の分析から一八〇〇年以前には二八〇～二九〇ppm程度であったことがわかりました。

濃度増加の原因は化石燃料の燃焼です。世界じゅうで化石燃料が燃やされ排出された二酸化炭素の量は、一九七〇年で約一五〇億トン、一九九〇年には二二〇億トンでした。大気中の二酸化炭素量は二・八兆トンという莫大な量ですが、このままでいけば一〇〇年後には現在の倍の濃度になっているだろうと予想されます。

森林総合研究所では、二酸化炭素濃度上昇の実体を明らかにするために、私たち人間や樹木・森林が生活している高さで空気中の二酸化炭素濃度の長期連続観測を一九八九年以来行っています(図)。その観測から、年平均値では一九九〇年に三六九ppm、一九九七年では三八四ppmになり、この七年間で一五ppm上昇していました。この期間では年間二・一ppmの割合で上昇していた計算になります。

また、二酸化炭素濃度は夏に低く、秋から冬に高くなる傾向がありました。これは観測地のつくば周辺では秋から翌春にかけて植物の光合成活動が低下するためです。たとえば一九九七年では約三五〇ppmから



つくばでも二酸化炭素濃度が上昇を続けている

約五〇〇ppmまで大きく変動していました。二酸化炭素濃度は昼と夜とでも変化します。午後二時ごろに低く、夜中に高いという傾向があります。日中の植物の光合成による吸収と夜間の呼吸による放出のためと考えられます。二酸化炭素濃度は風の強いときには上層大気とよく攪拌かくはんされるために、低い値で一定の濃度が続くこともわかりました。さらに、曜日ごとに比較すると土・日曜日はおよそ三ppmほどウィークデー

より低いことがわかりました。

なお、森林総合研究所ではハワイのマウナロアでの観測値よりもおよそ一五ppm程度高い値が観測されています。この違いは、マウナロアでは海拔四〇〇〇mと上空の大気の観測をしているのですが、森林総合研究所の観測では地上高一五m(海拔高約四〇m)と低く、私たち人間の生活(発生源)や樹木などの植物の生活(吸収源)の影響を強く受けているためと考えられます。

(松本陽介)

## 雨がスツパイ？

人々のさまざまな活動によって、スツパイ雨が日本でも降りつづいていることが知られてから二〇年近くが過ぎました。工場地帯で起こる大気汚染公害から、風に乗って遠い距離でも森林被害が起こるという環境汚染が明らかになり、さまざまな研究調査が行われています。日光や乗鞍岳などの奥山から関東平野まで樹木の衰退や枯れが報告されてきましたが、因果関係が複雑でまだ単一の原因で説明はできていません。

そこで、酸性雨が森林や樹木にどう影響するか、森林を長期にわたって観測することで影響を予測していく試みが全国的なモニタリングとして進められています。林野庁の森林衰退モニタリングは全国一〇〇〇以上の調査地を五年おきに調査しており、今年で八年目となりました。ここでは、雨の観測はもちろん、樹木の生育や土壌の理化学的な変化が定期的に追跡調査されています。今までのところ、酸性の雨が降りつづいていることは確かめられるのですが、どうも樹木の衰退が進んでいるとはいえないようです。土壌の変化も予測されたよりも遅く、日本の土壌は酸性化に抵抗しています。

ひるがえって他のアジア諸国に目を向けてみると、中国では四川省から湖南省、福建省など長江より南の地域で、日本よりはるかに強い酸性雨が確認されています。偏西風に乗って硫黄酸化物が日本にやってくることも確認されています。しかし、中国では硫黄を含んだ石炭を燃やすことで起こる大気汚染のほうがより

深刻な社会問題です。韓国の調査では、酸性の雨は工業地帯のまわりに限られており、大気汚染の影響もあるようです。



重慶の工場群から吐き出される煙

熱帯アジアのマレーシアでは、日本と同じ程度の酸性雨が認められています。一九九七年にインドネシアで起こった森林火災により、この地域が風のたまり場になる様子がはっきりしてきました。しかし、乾燥によって起こる火災では酸性雨にはならないし、森林被害にまでなっていません。熱帯・亜熱帯の広葉樹は酸性雨に対して強いのか、あの大気汚染の激しい重慶でも著しい枯れは見あたらず、けなげにも成長しています。

スッパイ雨は硫黄分の多い石炭をどんどん燃やしたり、工業化がかなり進まないとき起きないようです。酸性雨を発生させない努力もますます進んできています。環境庁が主体となって東アジア地域のモニタリングネットワークが今年スタートしました。樹木を地球環境のセンサーとして使うのも、森林の有効な利用の一つです。

(石塚和裕)



III  
日本の森林の変遷と現状

## ブナ林のルーツを探る

世界遺産に指定された白神山地のブナ林はあまりにも有名ですが、日本には多くのブナ林があります。おおよそは東北地方の日本海側に残されており、このような多雪地帯が本来の生育場所だと考えられています。しかし、ブナは九州から北海道の渡島半島まで、日本に広く分布し、多くの地域で森林の主要構成種になっています（写真）。

これらのブナ林はいつごろから日本にあったのでしょうか。その場所にブナ林がいつからあったかを調べするには、花粉分析あるいは埋もれ木、化石などによって推定します。これらの研究は根気のいる仕事です。植物の遺体も保存状態のよい場所でない限りません。日本の各調査地点における森林の変遷をつないで推理すると、現在のブナが現れたのは約二〇〇万年前で、今は絶滅してしまったムカシブナやヒメブナなどとともに東北日本の森林を形成していました。その後、寒冷な氷期には南に、温暖期には北へ分布域を移動しながらも日本列島に生き残ってきたのです。

最後の氷期（約三万〜一万五〇〇〇年前）から現在までの資料は多く、比較的よくわかっています。最終氷期の最も寒いころのブナ林の北限は新潟県付近にあり、それより南でもごく限られた地域にしか分布していませんでした。湿润・温暖な地域に避難していたブナは晩氷期の約一万二〇〇〇年前から分布を拡大しは



北限に位置する歌才のブナ林

(森林総研北海道支所造林研究室提供)

はじめます。このころから、日本列島の日本海側が湿潤で多雪になったことが影響したと考えられています。

八五〇〇年前から尾瀬ヶ原、八甲田山などでブナの花粉が急増し、北海道の渡島半島南部でもブナが増加しています。逆に、西日本では温暖化と乾燥によってブナはしだいに減り、九州や四国のブナは孤立化していきます。ヒブシサーマル期と呼ばれる高温・乾燥期にやや後退したブナ林は三〇〇〇年前ころから再び拡大をはじめ、仙台湾周辺や鳥取県、四国の山地などで分布域を広げました。約二五〇〇年前にはほぼ現在の分布域を確保したと推測されています。ブナ林の北限である渡島半島北部の歌才でも、このころからブナの花

粉が急が増えはじめ、約二〇〇〇年から一五〇〇年前には現在とそれほど変わらない程度になっています。

ブナ林は北日本の代表的な森林の一つで、縄文時代以降、日本人はさまざまな利用をしてきましたが、現代に至って曲木、合板の原料にするなど大量に消費したため、さすがに広い分布域を誇るブナ林も近年急速に減ってしまいました。最後に残された白神山地の広大なブナ原生林は、日本の自然史を示す遺産でもあります。

(斉藤昌宏)

# 木曾ヒノキ林成立の秘密

木曾の国有林には、わが国最大の約四万畝の貴重なヒノキ天然林が残されています。酒井潤一信州大学教授の花粉分析の結果によると、約一万年前の最終氷期が終わってからヒノキが広く木曾地方に進出しましたが、現在と違ってヒノキは他種の樹木のなかに混交していました。現存する純林状のヒノキ林の成立は、ここ一〇〇〜三〇〇年間のことで、江戸期以降のヒノキの保護政策と人為的淘汰の結果であるといえます。

木曾のヒノキは、標高一六〇〇〜一七〇〇以下に広く群落をつくり、その大半が温度指数四五度以上の温帯落葉樹林帯に位置しています。それではこの木曾の山になぜ木曾ヒノキ林という常緑針葉樹の一大群落が成立したのでしょうか？そこで木曾の自然環境の特徴に注目してみると次のとおりです。

- ① 気候は冷涼多雨な湿潤気候です。木曾の大半が年降水量二〇〇〇〜三〇〇〇で、南西の阿寺山地では三五〇〇〜四〇〇〇に達し、冷涼な気温とあいまって土壤のポドゾル化を促す湿潤な気候です。
- ② ポドゾル化土壤が多く、厳しい土壤条件です。気候の影響で強酸性のポドゾル化土壤が約四〇%を占めます。これは樹木の生育にとってマイナス要因の一つです。特に阿寺山地の隆起準平原では、湿性鉄型ポドゾルという最悪の土壤が約四〇〇%を占め、ササ類の密生もあって育林上の障害となっています。
- ③ 地質の違いが植生・土壤に影響しています。花崗岩・流紋岩などの酸性岩地帯が木曾国有林の約六〇%

を占めています。ここではポドゾル化土壤が多くヒノキの優占度が最も高いのに対して、安山岩・玄武岩など中性岩・塩基性岩からなる火山岩地帯では、ポドゾル化土壤は少なく、サワラの優占度が高くなり、広葉樹が混交します。古生層を主体とする堆積岩地帯は両者の中間的な植生・土壤を示します。

④ ヒノキは土壤の良否を問わず幅広く優占しています。尾根すじのポドゾル化土壤や乾性・乾性傾向の不利な土壤でも、良好な中腹の適潤性土壤でもヒノキが優占し、最悪の湿性鉄型ポドゾルの領域ですら高い優占度を示します。一方、沢沿いの弱湿性土壤にはサワラが優占しますが、広葉樹は多少混交するだけです。



灰白色の溶脱層をもつ湿性鉄型ポドゾル化土壤

総合的にみて、ヒノキは環境への幅広い適応能力において抜群の樹種だといえます。木曾ヒノキ林成立の

秘密の一つはこの辺にありそうです。適応力に勝るヒノキは、旧藩の保護政策などもありてしだいに勢力を広げ、ついには木曾山の覇者として君臨したものと思われま

す。酸性雨は地球規模の問題ですが、ポドゾルの上に育った木曾ヒノキへの影響は軽微なはず。森林浴で有名な赤沢ヒノキ林をはじめ、保健休養の場として重要度は増すでしょう。また、ヒノキ林が養う木曾川は下流の名古屋市民に「うまい水」を送りつづけるでしょう。(林 信一)

## 屋久杉の不思議

スギは長い間日本人の生活に深くかわってきました。有名な登呂遺跡から多くのスギ材が出土しており、二〇〇〇年前ごろからスギが土工用、建築用に使われていたことがわかっています。また大木になったスギは神社の御神木として奉られ、庶民に最も親しまれ利用されてきた樹木の一つです。しかしながら、現在ではスギ花粉症などでかなりやかいかいな存在としてみられることもあるようです。

スギは植物分類上はスギ科スギ属に属し、スギ属にはほかの種はないと考えられています。またその天然分布は日本だけに限られ、北は青森県から南は屋久島まで続いています。屋久島では有名な縄文杉をはじめ多くの巨木が今でも存在しています。ここで屋久杉と呼ばれるものは樹齢が一〇〇〇年を超えるものだけで、それ以下の樹齢のものは小杉と呼ばれます。屋久島はスギの天然分布の南限ですが、その生育状況は非常によく、スギの生育にとっては環境のよいところだといえそうです。現在ではその天然分布は標高が六〇〇メートル以上に多く見られ、最も標高が高い宮之浦岳の山頂近くまで分布しています。さすがに、標高の高い地域のスギは強風のためそれほど生育はよくないようです。しかし、一般的にスギの生育がよい理由は温暖な気候と豊富な降水量（年降水量三〇〇〇ミリ以上）によると考えられます。また約一万五〇〇〇年ほど前の最終氷期にも屋久島は温暖であったためスギの避寒地の一つであったと考えられています。このように、過去から



屋久島の花之江河のスギの天然林（標高1600m 付近）

現在まで屋久島は天然分布の端にあるにもかかわらずスギは快適な環境で生育しているようです。

一般的には天然分布の端の集団はその遺伝的多様性が低いといわれています。また、バビロフというロシアの学者は遺伝的に多様な性質を多く持つ集団はその植物種の分布の中心である可能性がきわめて高いという説を提唱しています。スギの場合、遺伝的に最も多様な集団が明確ではありません。酵素の複数の遺伝子を調べた結果から、ほとんどの集団がスギの持つ遺伝的変異の九五％程度をその集団内に保有しているからです。

屋久杉の場合、離島であるため他集団との隔離があってもよいと思われませんが、本州のスギと比べても類似した遺伝的多様性を保持しています。すなわち分布的には端の集団ですが、遺伝的多様性の側から見ると端の集団ではなかったのです。スギは分布可能域からすると端の集団ではなく、たまたま適当な陸地がないために分布拡大ができなかったことが考えられます。もし、沖縄、台湾および東南アジアが陸続きだったとしたら、スギは快適な環境を探しながら分布拡大を図ったことが予想されます。

（津村義彦）

## 植物たちも富士登山

富士山は、ユーラシア、フィリピン、北米、相模トラフを伴った太平洋の四つのプレートが重なり合った場所に位置し、これらのプレートのエネルギーによって地下深く存在するたいへん重い岩石である玄武岩が押し上げられたコニーテ型の美しい火山です。富士山は地史的に見れば若い山で、現在のような山型になったのは最後の氷期が終わる約二万年から五〇〇〇年前ごろです。

富士山の南東斜面は、宝永噴火（一七〇七）によって一時まったく植物のない世界となりましたが、およそ三〇〇年が経過した現在、植物の遷移を勉強するのにたいへんよい場所となりました。火山砂礫地に最初に進入するのは、スナゴケやミヤマハナゴケなどのコケ類・地衣類です。無機物の世界に植物の遺骸が堆積し、徐々に土壌がつくられていくとコケ類に代わってオンタデ、イタドリ、フシアザミなどの多年生草本がパッチ状に分布し、火山荒原特有の景観を示します。移動性の火山砂礫が堆積したり、風が弱まるような窪みなどにはミヤマナギ、ミヤマハンノキ、カラマツ、タケカンバなどの陽性の低木がしだいに増え、カラマツなどの優占する森林となります。最終的にはシラベ、アオモリトドマツ、トウヒなどの陰樹と呼ばれる針葉樹を中心とする林に移行します。富士登山口の一つである富士宮口の五合目から宝永火口にかけて、樹木限界付近を周遊するところとした植物の遷移を観察することができます。



富士山樹木限界付近のカラマツ

北アルプス、南アルプス、中央アルプスなど海拔二五〇〇mを超える高山には通常ハイマツ群落が見られますが、富士山の場合は匍匐状になったカラマツを樹木限界付近に見ることができません。樹木限界付近の樹木の形状は、そこでの物理的環境が植物の生活にいかの影響しているかを具体的に示すもので、カラマツの幹や枝の折れ曲がった樹皮表面には小さな穴が多数空いているのが観察できます。それは冬の強烈な季節風によって吹きつけられた火山砂礫がつけた傷跡です。

植物たちは、絶えず移動する不安定な火山砂礫、短い生育期間、紫外線の照射、貧栄養といった劣悪な条件下での生活を強いられ、ときには雪崩に根こそぎ持ち去られ、樹木の存在すら危うくなる場合もあります。

それでも富士山の高山植物が維持されている理由は、増沢の研究によると、マメ科植物（ムラサキモメンズル）の根粒菌が窒素を固定するほか、ミヤマハノキのように十分栄養を含んだままの葉を落とす樹木もあるため、栄養塩類が還元されやすいからだそうです。自己施肥系を持ち、より困難な生存環境における有利な条件を求めて、植物は登山を続けるものと思われまます。

ちなみに、私の登山メモによると富士宮口における最高登山高度保持者はオンタデで三〇〇〇m、次いでタケカンバとミヤマナギが二八五〇m、カラマツは二八三〇mでした。

（角張嘉孝）

## ふるまひとははるか北の凍てつく大地

日本の中部以北の高山植生を特徴づけるもの一つに、ハイマツ（這い松）群落があります。このマツは五葉松の一種で、その名のとおり幹は地面を這い、葉はびっしりと密生しているため、高山で見られる群落の様子は「緑のカーペット」と呼ぶにふさわしいものです。日本の高山は、夏でも $0^{\circ}\text{C}$ 近くまで下がる低温や北西の強風に常時さらされるだけでなく、冬には多量の降雪に見舞われ、世界でもまれな多雪山岳地帯として知られています。このような環境下では、たとえば強風による枝や葉の乾燥枯死、また積雪の沈降圧（雪の縮みによる圧力）に伴う幹や枝の破損などが頻発し、樹木が正常に生育し高木になることは難しく、森林が成立できません。ハイマツがこのような環境でも生きていける理由の一つには、冬の間積雪にすっぽり覆われていることがあげられます。幹や枝は柔軟で、積もった雪とともに背丈をうんと縮めて雪の中で過ごすため、幹や枝が折れて枯死することがありません。また外気が氷点下に下がっても、雪の中の温度はほぼ $0^{\circ}\text{C}$ に保たれるため、極端な低温や乾燥から保護されています。ハイマツはその名の由来どおり、這うことのできる柔軟な樹形を獲得することで、高山の冬の厳しい環境をうまくやり過ごしているようです。

一方、雪の保護が欠かせないとはいえず、雪田のように雪が吹きだまって夏遅くまで残るようなところでも生育できません。夏が短い高山では、遅くとも五、六月ごろには雪面に顔を出し、いち早く光合成を開始す



東シベリア、オイミヤコン近くのカラマツ林に生育するハイマツ（北緯64度，東経142度）

る必要があるからです。このようにハイマツの生育適地は、積雪条件からみると多雪でも寡雪でもないような場所に限られています。またハイマツの生育場所では、冬の間だけ土壌が凍結する（季節的凍土）ことが知られています。一般に五〇センチ雪が積ると地面は凍りませんが、不思議なことにハイマツ群落の下では、

たとえば一〇センチの積雪があつても土壌凍結が起こつていきます。東北地方の高山で測定された例では、地表から最大二〇〜三〇センチの深さまで土壌が凍結しています。春先、地表から徐々に土が溶けはじめると、地中に残った凍土は不透水層として降水や融水を保持し、乾燥しやすいこの時期に根からの吸水を助けると考えられます。

さて世界的にハイマツの分布域をみると、その中心は永久凍土が存在する東シベリアにあります。現在、日本の高山には一部の場所を除き永久凍土は存在しませんが、今なおハイマツが季節的とはいえ土壌が凍る場所で生きている事実は、そのふるさとがはるか北の凍てつく大地であったことを物語っているのかもしれない。

（梶本卓也）

## 美人薄命

長野県の高原などでは、樹皮の白さが美しいシラカバの純林を見ることができず(写真)。このような場所がかつて山火事や台風によって元の森林が破壊され裸地化したところであるといえます。森林が破壊され裸地化した場所の植生は時間の経過とともに元の状態へ戻りますが、これを遷移といい、遷移初期に出現する樹種を先駆(パイオニア)樹種と呼んでいます。

先駆樹種はときとして広大な純林をつくることもあり、シラカバはその代表例です。シラカバの種子(果実)は軽く、翼があり、風による散布に適していますが、多くの先駆樹種にもこのようなシラカバと共通する生態的特徴が見られるのです。たとえば、成長が速く、早くから種子生産を開始し、軽い種子を大量に散布すること、種子生産量の年変動も小さいといったことです。こういった特徴が、森林が破壊され裸地化した場所を先駆樹種が急速に占有する理由と考えられています。では、寿命はどうでしょうか？ シラカバはおおよそ高さで二五メートル、太さで九〇センチくらいになるとされていますが、このような大木はめったに見ることはありません。シラカバの寿命はそれほど長くなく、せいぜい一五〇年くらいで、高木のなかでは短いほうといえましょう。

同じカバノキ属でもシラカバよりもより寒い場所(本州中部では亜高山帯)の先駆樹種であるダケカンバ



長野県志賀高原のシラカバ林

は老齢林でも点々と大木が存在するのを見ると、シラカバよりも寿命ははるかに長いようです。西日本のブナ林の先駆樹種としてシラカバと同じカバノキ属のミズメがありますが、やはりシラカバよりは寿命が長い

ようです。暖温帯の照葉樹林の先駆樹種には多くの種が知られていますが、広葉樹種としては高木のカラスザンショウと小高木のアカメガシワが代表的です。老齢林でも点々と大木が存在することからカラスザンショウ（若木に刺がある）の寿命はそれほど短くないと考えられますが、新葉の赤さが美しいアカメガシワは高齢個体の幹が虫害に犯されやすくあまり大きくなれず寿命は短いほうです。アカメガシワの種子は土壌中で休眠しますが、発芽のために巧妙な裸地検出機構を持つているようです。

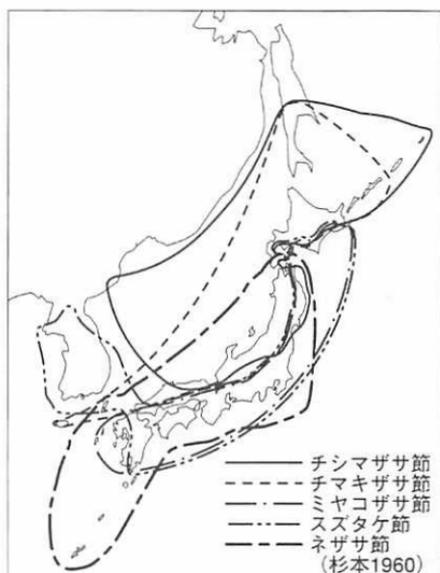
先駆樹種の寿命は一般に短いものと考えられがちですが必ずしもそうではなく、ひよっとしたら、白や赤といった見た目に美しい（？）幹や葉を持つ先駆樹種が短命なのかもしれません。

（山本進一）

## 南の島に

ササ類は矮性化したタケの仲間、わが国の森林の林床植物としてなじみ深く、その繁茂は芽生えや稚幼樹の成長を阻害するために林業では強害草として知られています。また、ササ類は図に示すように日本海側と太平洋側でそれぞれの分布域がきれいに分かれることでも有名です。日本はアジア大陸の東縁に位置し、大陸の高気圧と南北に長い国土と三〇〇〇mを超す脊梁山脈の影響などで、冬季には日本海側に多量の冬雨(雪)を降らせません。このため、日本海側は豪雪地帯となりますが、積雪の中は比較的暖かく、本来寒い冬に落葉する高木性樹種で構成された森林が優占する地帯なのに、低木類のなかには、多雪環境に適応したササ類やユキツバキなど常緑性の特殊な植物が分布しています。

チシマササは積雪の多い日本海側とそれに接する積雪の見られる気候区のみで生育し、太平洋側では生育できないとされてきました。ところが、鳥も通わぬ伊豆七島の「流人の島」、八丈島と御蔵島にチシマササの地方品種が発見されたのです。ササ類の実は民謡「会津磐梯山」に歌われているように、飢饉のときの食料になり、開花の周期が長く、結実してもコメに似て核果など鳥に運ばれるような種子の部分がありません。このためすぐに消化され、種子が海を渡る可能性は少なく、鳥による散布で繁殖地を広げることが難しいのです。



ササ類の分布域 (鈴木, 1978)

一般にササ類の繁殖は地下茎で行われるので、八丈島と本州は地球の歴史のなかで地続きであった可能性が高く、地球環境の形成との関連において、チシマザサがいつころどうやって島に渡ったのか、本州の太平洋側に分布しない理由など新たな課題を提供しています。

チシマザサは、積雪による冬の寒さと乾燥からの保護が可能ないように、しなやかな稈を持っています。多雪環境にのみ生育地のあるチシマザサがなぜ太平洋側の孤島に生育できるのでしょうか。八丈島の冬季三か月の雨量は五〇〇<sup>ミリ</sup>もあり、東京の三・四倍以上を示し、チシマザサの分布の見られない本州の太平洋側より湿潤で、黒潮に洗われ温暖です。チシマザサの生育を可能にしている積雪中の温度は五〇<sup>℃</sup>以上になると〇<sup>℃</sup>程度となり比較的暖かで適度な湿度になっていきます。何かの機会に八丈島に渡ったチシマザサは遠く雪国を離れ、雪の中と似た生育環境を持つ八丈島や御蔵島において生育を続けることができたでしょう。南の島におけるチシマザサの分布には壮大な地球形成の歴史とロマンが感じられるのです。

(谷本丈夫)

## 類は友を呼ぶ

わが国の山地に広く分布するブナ林は、春の雪解けとともに新緑に映え、秋には紅葉に彩られて折々にその美しさを見せ、林内の山菜やキノコは季節の味覚を楽しませてくれます。森林の分布は気候や土壌などの環境条件に対応していますが、ブナ林は冬に落葉し、休眠する湿润気候温帯に適応した森林です。

山を一面に覆うブナ林も細かく観察すると、斜面の位置や形によって様子が違ってきます。これは地形の違いによって異なる土壌が分布しているからです。山に降った雨は地表や地中を通り、尾根では速やかに流れ、沢に集まるので、斜面に沿って水分条件に違いが生じ、ここに水分状態を違えた土壌が生成されます。

水に溶けた養分やときに地表物質も水と一緒に移動するため、土壌の深さや理化学性も違ってきます。凸形、平衡、凹形といった斜面形の間にも異なる土壌が見られます。このように地形に応じて異なる土壌が規則的に出現することをカテナといいます。ブナ林に広く分布する褐色森林土には、おもに土壌水分の違いに基づいて乾性(BA型・BB型)、適潤性(BD型)、弱湿性(BE型)など六つの土壌型があります。

地形・土壌の違いに応じてブナ林がどのように変わっているか、上越国境の宝川山地の例を見てみましょう。ここには多雪地帯特有のタムシバやヒメモチなどを林床に伴うブナ林が広く分布しますが、やせ尾根には乾燥に強いヒバやヒメコマツが、沢には水分を好むサワグルミが小斑状に混交し、林床植物のいくつかは、

林床型の地形・土壌と組成種の出現状態（優占度）

林床型	地形	ヒバツツジ型	ヒバ型	チマキザサ型	リョウメンシダ型
	斜面位置	尾根	斜面上部	斜面中部	斜面下部
	斜面形	凸形・緩斜面	平衡	平衡・微凹形	平衡・凹形
土壌型		Pd・PdH・BA	PdH・Bd(d)	Bd(d)・Bd	Bd(崩)・BE
低木類	ハナヒリノキ	2 + . 2	. + .	. . .	. . .
	オオバスノキ	1 + 2 +	. + .	+ . .	. . .
	ムラサキヤシオ	. 1 + 2	. . .	+ . .	. . .
	ハクサンシャクナゲ	2 + . +	. . .	. . .	. . .
	ヒバ	5 5 5 4	4 4 3	. 1 .	. . .
草本類	リョウブ	2 1 + +	+ 4 1	+ . +	. . .
	マルバマンサク	. . 1 +	1 3 +	+ 1 .	+ . .
	チマキザサ	+ 1 + .	2 . 2	3 3 3	+ 2 1
	ミヤマカンスゲ	. . + .	1 . +	3 1 3	1 1 2
	ミゾシダ	. . . .	. + .	+ 2 .	2 3 2
草本類	イノデ	. . . .	. . . .	+ + 1	1 . 1
	ミヤマイラクサ	. . . .	. . . .	. . . .	1 1 +
	ウワバミソウ	. . . .	. . . .	. . + .	+ 2 +
	ジュウモンジシダ	. . . .	. . . .	+ . . .	3 1 2
	リョウメンシダ	. . . .	. . . .	. . . .	5 2 4

Pd はポドゾル，乾性立地の強酸性土壌で鉄の溶脱，集積層をもつ。  
Bd(d)は Bd 型土壌の偏乾亜型。Bd(崩)は同崩積型。

斜面位置や形、土壌の違いによく対応して出現しています(表)。このような違いはなぜ起こるのか。尾根のツツジ類から斜面下部のリョウメンシダまで、それぞれの植物が乾燥に強いとか、水分的に幅広く適応でき

る、あるいは十分な水分を必要とするなど、土壌に対して固有の要求度を持つており、互いに競争しながらその要求度に応じ、似た者同士が地形・土壌を住み分けているのです。類は友を呼ぶ——土壌の違いをめぐって集まる仲よしグループといえます。

このように地形・土壌とよく対応する林床植物群を林床型に区分し、指標群落とすることもあります。植物が環境条件を指標する、いわゆる指標植物の考え方は古くからあり、宝川山地で区分した林床型はブナ林の土壌を示すよい指標群落です。なお表中のウワバミソウやミヤマイラクサ、またゼンマイ、クサソテツなど多くの山菜は土壌水分を好むので、しばしば湿性立地の林床型に仲間入りしてきます。

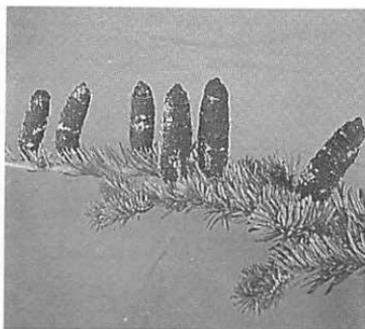
(宮川 清)

## 似て非なるもの

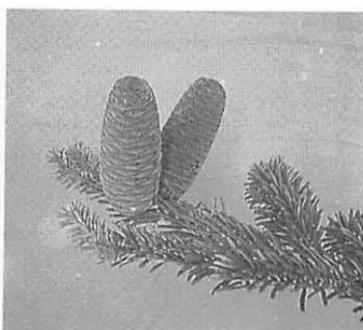
オオシラビソ（アオモリトドマツ）とシラビソ（シラベ）は、ともに本州の亜高山帯針葉樹林を代表するモミ属の樹木です。オオシラビソと呼ばれるゆえんは、前者の球果が後者より大きいからです。そのほか、若枝につく毛の色や葉の着き方に両者で多少の違いはありますが、両者が混生する林分では、樹皮の形質だけではしばしば判別に戸惑うこともあります。もとより同属の樹種ですから形態的に似ていて当然かもしれませんが、両者の分布と形質を詳しく調べてみると以下のようなことがわかります。

オオシラビソの分布北限は八甲田山系の前岳で、南限は南アルプスの大無間山です。一方、シラビソの北限は福島県吾妻山系の鳥子平で、南限は紀伊半島の仏教ヶ岳です。したがって、両者は中部・関東地方の山岳では分布域が重なりますが、福島県以北の東北地方の山岳ではオオシラビソだけが、紀伊半島ではシラビソだけが分布することになります。

一般に、北限が北にある樹種ほど寒さに対する耐性が高いといわれていますが、はたしてこの関係がそのまま両者の分布様式を決める要因になっているのでしょうか？　そこで、既往の研究成果から両者の耐凍性、寒害に対する耐性を比較すると、一般的な傾向に反して、寒さに対する耐性ではシラビソに軍配が上がりそうです。



シラビソ



オオシラビソ

一方、雪に対する耐性を両者で比べると、オオシラビソは最大積雪深〇〜六層の山岳に分布し、なかでも最大積雪深一〜三層の範囲に分布する山の数が最も多いのに対して、シラビソの分布する山岳のそれは〇〜四層の範囲にとどまり、しかも最大積雪深が増加するにつれて分布する山の数が急激に減る傾向を示します。このことから、雪に対する耐性ではオオシラビソに軍配が上がりそうです。

これらのことから、オオシラビソは雪に対して、シラビソは寒さに対して耐性を高める方向にそれぞれ適応進化してきたものと解釈されます。また、シラビソは寒冷で現在より寡雪であった氷期には北海道まで分布を広げていたであろうことが植物遺体の研究から推定されています。その後の温暖期に多雪化したことでシラビソは福島県以北で消滅し、両者の間に現在見るような分布の差が生じたものと考えられます。

最近のDNA分析による遺伝学的研究から、両者はモミ属のなかでかなり系統が異なることもわかってきており、その点でも「似て非なるもの」といえるかもしれません。

(梶 幹男)

## チヨール塩基性岩地帯の特異な植生

岩石は、それに含まれるケイ酸の比率によって酸性岩、中性岩、塩基性岩などに分けられます。ケイ酸の比率が特に低い岩石（四五%以下）は超塩基性岩といって、マグネシウムや鉄に富み緑色を帯びた蛇紋岩やカルシウムに富み灰色ないし白色を帯びた石灰岩などがあります。森林の土壌はPHが四―六の場合がほとんどで、森林に生育する植物は、多くがこのような酸性ないし弱酸性の土壌に適応しています。ところが超塩基性岩を母材とする土壌は中性―弱アルカリ性になる場合があり、土壌が乾燥しやすく、特に蛇紋岩土壌では植物に有害な重金属を含んだり、生育に必要な各種養分が不足したりしています。そのために超塩基性岩地帯では、通常の植物の生育が制限され、特異な植生が成立します。

わが国の蛇紋岩地帯では、本州・四国・九州の低山帯でアカマツやクロマツの疎林、山地帯から上部でヒノキ・ネズコ・アスナロなどのヒノキ科や、コメツガ・ゴウマツなどのマツ科の樹木からなる針葉樹林が分布しています。北海道の蛇紋岩地帯ではアカエゾマツ林が分布し、岩手県早池峰山にもアカエゾマツの隔離分布が見られます。一方、高山や北海道の寒冷地には蛇紋岩地帯の固有種が多く分布し、代表的なものにテシオコザクラ（北海道天塩）、アポイカンバ（北海道アポイ岳）、ハヤチネウスユキソウ（岩手県早池峰山）、オゼソウ（尾瀬至仏山・谷川岳、北海道天塩）などがあります。また北海道のアポイ岳や夕張岳には、



蛇紋岩地帯のアカエゾマツ林

写真中央を蛇紋岩地帯が横切っている (北大中川演習林)

蛇紋岩変型植物 (小型化したものが多く、変種として分類されている) が多く分布しています。そのほかに、蛇紋岩地帯では森林限界高度が低下し、かなり低い標高でハイマツが分布する場合があります。

一方、石灰岩地帯では蛇紋岩地帯ほどの特異な植生は認められませんが、暖温帯ではアラカシ林が多く、冷温帯ではブナ林が水平分布の北・南限付近で石灰岩地帯に好んで分布すると報告されています。石灰岩地帯でも、露岩の多い乾燥した場所ではかなり特徴的な植物分布が見られ、石灰岩地帯の固有種として、チチブミネバリ (関東西部、岩手県)、ブコウマメザクラ (関東西部)、イワツクバネウツギ (関東以西、まれに蛇紋岩地帯にも分布) などがあります。また、コウグイスカグラ (本州、四国) やシモツケ類 (西日本のイワガサ・イブキシモツケ、東日本のイワシモツケ) が特徴的に現れる低木群落や亜高木林もよく見られます。

超塩基性岩、特に蛇紋岩地帯の植生は、世界的に見ると草原や低木群落になる場合が多く、樹木があっても成長の悪い疎林にしかありません。ところが日本では、森林 (針葉樹林) の成立している場所が多く見られますが、これは降水量が多いために土壤中からマグネシウムなどが溶脱され、その影響が弱められた結果と考えられます。

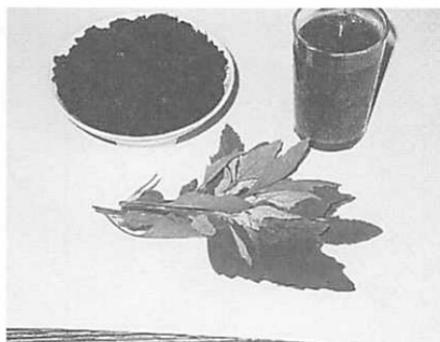
(中田 誠)

## 縄文人の豊かな食生活

北上山地北部で開田が本格化したのは昭和三〇年代になってからです。このとき各地から縄文土器が掘り出されましたが、その大部分は造成工事のトラクターで粉々に踏みつぶされておりました。木の実食を調べていた私は、この縄文人も北上山地農民と同じように木の実をおもな食料源とし、これに川魚、サケ・マス、山野に生息する大小の動物を捕獲してタンパク源にしていたと考えるようになりました。

彼らの住居のすぐ裏手の日向山にはコナラとクリの混合林、少し登ればミズナラの巨木、沢筋にはクルミやトチが自生しており、平年作以上の年であれば木の実資源は無尽蔵でした。秋になれば、まずミズナラの巨木を目指します。その理由の一つは、トチはアク抜きが難しい、クリは甘いので継続摂取に難がありそのうえ保存性に劣り主食料には不向き、クルミは脂質が多くて主食料にはならなかったからです。二つはミズナラの粒はコナラよりひと回り大きいので拾い蓄めやすかったからです。木の実の豊年はほぼ三年に一度、だから豊年に拾えるだけ拾っておく、これが飢饉から逃れるただ一つの道だったのです。

竪穴住居の屋根裏などに保存されていたミズナラは、毎日アク抜きされて主食として食べられました。食べ方は、ウロがある木の幹を利用した白に乾燥粒を入れ、棒（杵）でついて渋皮をむき、それを木の皮でつくった箕みで飛ばします。これをウロがある木でつくった深鉢・幹をくり抜いた舟などに入れてうるかし、そ



上はミズナラの飯と甘酒(米こうじを使用。縄文時代には口かみ酒か?)



左からトチ、ミズナラ、コナラ

れを①水煮して煮汁を捨てる。②木灰からつくった灰汁を入れて煮沸し煮汁を捨てる。③水を入れて煮沸し煮汁を捨てる。④③の操作を灰味が消えるまで一〇回近く繰り返し返すといったもので、約二日間を要しました。この煮沸には深鉢土器が用いられ、底部を灰に埋め込んで安定させ側面から火を燃やしました。

献立は、このミズナラと魚・肉にアザミ・ミツバ・アカザ・ヨモギ・オオバギボウシなどの山菜、キノコ類を煮込んだスープ。それにフキノトウ・コゴミ・モミジガサ・ウドなどの旬の山菜のなま物でした。冬の間にはくん製保存した魚・肉、乾燥保存した山菜が用いられました。ときにはクリを混ぜて甘みをつける、

クルミのたれ・みじん切りをかける、香辛料としてサンショウ・ワサビ・ギョウジャニンニクも用いられました。フルーツはヤマグワ・ヤマイチゴ・ヤマナシ・サルナシなどの果実です。ヤマブドウでつくったブドウ酒、ミツバチの巣から採取した蜂蜜は最高のごちそうでした。

質素ですが、豊かな自然を食料資源としてみごとに活用したバランスよい食事だったのです。

(畠山 剛)

## クリからカシへ

縄文時代はクリの時代でもあります。ここ数年、話題となっている青森市の三内丸山遺跡では、縄文人が居住を始める前にはブナやミズナラからなる森林が広い面積を占めていました。それが、縄文人の居住が始まるとともにクリの純林が集落周辺に成立し、一〇〇〇年近くの間維持されていました。縄文人は、クリの実を食料とするだけでなく、木材を建築材あるいは燃料材としても使用しており、直径八〇センチに及ぶ大型掘立柱もクリでした。縄文人とクリの結びつきは関東地方でも確かめられています。埼玉県大宮市の寿能泥炭層遺跡は、杭列や木道に使われていた木材の五〇〜七〇%ほど、本数にして数百本のクリが使われており、さらに丸木舟や容器、櫛などにも利用されていました。また、同県川口市の赤山陣屋跡遺跡でもトチの実加工場や板囲いを初めとする建築材の三分の一、およそ五〇〇点をクリが占めていました。クリは用材として用いられる一方、当時の重要な食料源であって、縄文時代を通じて大型の果実をつけるものが選抜され、縄文時代の後・晩期には現在の栽培品種に匹敵する大きさの果実をつける品種ができていました。

縄文人はこうして果実を育てて収穫する一方で、大量に伐採して木材も活用しており、縄文人はクリ林を積極的に管理育成して、果実も木材も最大限に活用していたことが明らかになっています。

弥生時代になると、クリという単一樹種への依存は見られなくなり、弥生時代の特徴的な樹種の一つ



三内丸山遺跡から出土したクリの巨大掘立柱  
(国立歴史民俗博物館 辻誠一郎氏 提供)

は鋤鋏すきくわの刃に使われるカシ類です。当時の鋤鋏の刃は大木を柁目しらめに割ったものを整形してつくられており、大材が得られ、柁目に割りやすく、材が強靱きょうじんな樹種きゆうしゆが選ばれました。その結果、九州から関東地方南部では鋤鋏の九五%ほどはカシ類でつくられ、中部地方や東北地方などカシ類の生育しない地域ではクヌギがカシ

類の代用として使われました。刃の樹種を厳しく選択したのに対して柄の樹種ていしゆの選択はかなり恣意的で、カシ類とクヌギのほか、サカキやイヌガヤ、ムクロジなどを初め、周辺の森林で得やすい樹種が多く、ヤナギ類やハンノキを使った例もあります。また建築材は地域によって使用樹種に偏りが見られ、東北・関東地方ではクヌギが、北陸・東海地方ではスギが、西日本ではスギ、ヒノキ、二葉松、カシ類などが多用されました。クリは耐朽性が高く、用材としてすぐれているにもかかわらず、杭などにもあまり使われていません。

これは、縄文人の確立したクリ林の維持・管理技術が弥生人に引き継がれなかったことを示しており、縄文時代と弥生時代の断絶を象徴的に表すものでしょう。

(能城修一)

## 究極の？ 人工林

万葉集の中で「古の人の植えけむ杉が枝に霞たなびく春は来ぬらし」と歌われているように、スギはすでに奈良時代以前に所どころで植えられていたようです。これには、スギの、育てやすく虫害にかかりにくい性質、速い成長、加工しやすいすぐれた材があずかっていたのでしょう。スギの本格的な植林は、三五〇―四〇〇年前の室町時代末期に吉野地方で始まったと考えられています。現在、吉野林業は吉野川の源流川上村を中心に、奈良県南部約二〇万坪の地域に広がっています。吉野でこのような大規模なスギ林業が興ったのは山林を活かすしか生活の糧がなかったこと、吉野の自然環境がスギの生育に適していたこと、木材の消費地の大阪に近く、輸送手段が発達していなかった時代でも吉野川と海路を利用すれば、大阪へ比較的容易に木材を輸送することができたこと、そして借地林制度や山守制度で象徴される畿内の商人資本の流入があったことが深くかかわっています。

ヘクター当たり一万本を超す密植と頻繁に繰り返される弱度の抜き切り、八〇―一〇〇年の長伐期が吉野林業を特徴づけています。このことが年輪幅が密でそろった元末の差の少ない通直な大径材の生産を可能にしたのです。これらの材は酒造地で酒樽用材として大量に消費されました。酒樽の需要が減少した後は、高品質の建築材として利用されてきました。



吉野スギの造林地

吉野ではおよそスギの植林が可能な所には残さずスギが植えられ、斜面の下から尾根筋までびっしりスギの植栽木で覆われた大面積造林地（写真）を数多く見かけます。このような林では、過去に何回も伐採と植林が繰り返されてきました。古い林業地で、伐採と収穫が繰り返されると森林の生産力がしだいに低下してくるといわれています。森林が皆伐されると森林の物質循環系（自己施肥系）が破壊され、その回復に長い

時間がかかることと、傾斜面では有機物に富んだ土壌が流亡し、地力の低下が起りやすいためです。しかし、吉野では地力の低下が目立ってきたという話は聞きません。伐採の繰り返しによる地力の低下が著しいといわれる隣の尾鷲林業とは対照的です。これは尾鷲林業がヒノキの密植短伐期林業であるのに対し、吉野林業は長伐期で、皆伐面積が狭く、小林分施業が行われているためだと考えられます。スギという良質の素材と地力の高い土地に長年にわたり人間が注意深く働きかけて出来上がったのが吉野林業といえるでしょう。このように高齢の高い蓄積を持った人工林は、木材生産力ばかりでなく水土保持機能も高く、また炭酸ガス問題に対しても有効に働き、私たちに幾多の恩恵を与えてくれます。

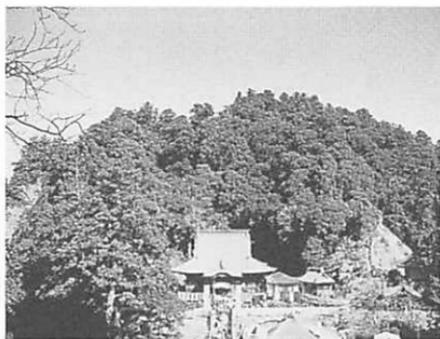
（加茂皓一）

## 歴史を語る鎮守の森

清澄山は標高わずか三八〇メートルですが房総半島では最も高い山の一つであり、はるかに太平洋を見渡すことができます。山頂には西暦七七一一年に開かれた千光山清澄寺があり、日蓮上人ゆかりの地として広く知られています。清澄寺の背後には三〇〇〜五〇〇年生の高齢のスギ林があります。

わが国林学の創設者の一人である本多静六は一九二六年の造林実習日誌にこの風致・景観について「この社は南に向き後ろに山を負い、社殿の位置として理想的である。尚右に小丘あり左方は土地が低い、右の小丘上には刈り込み式の低き庭木を置き、左の低地には背高き杉を植えて均衡を保たしめている」として、さらに「明治神宮造営に関係して全国の社寺の風致林を見て歩いたが、そのうえでも特に清澄寺の風致林は模範的なものであった」と書いています。

この清澄寺を背後から支えている高齢のスギ林は房総の温暖多雨な気象条件下で、これまでさまざまな菌類、病害虫に遭遇しながらも風雪に耐え、お寺の栄枯盛衰とともに五〇〇年を歩み現在なお威厳を保ち清澄寺を守っています。あるときは、寺の改修用材に一部が伐られ、また、幾度もの暴風雨に身を挺して寺を守り、その都度生じたギャップには後継樹が植栽され森が修復されてきました。したがって、この森を構成している木の樹齢はいったいどのくらいなのか非常に興味深いところでありました。



清澄山の風致林

そんな折り、一九九六年九月二日に当地方を襲った台風一七号によって、三〇〇年以上と思われる高齢大径木二〇本、そのほか三〇本ほどが被害を受けて伐られました。さっそく伐り株の年輪数を調べ植栽年を推定したところ、最も古いものは一四九三年(五〇三年生)、新しいものは一九六一年(三五年生)、そのほか一五六一年(四三五年生)、一六〇四年(三九二年生)、一六〇八年(三八八年生)、一六八四年(三二二年生)、一七三九年(二五七年生)一九二三年(七三年生)、一九五二年(四五年生)と約四七〇年間にわたり植え継がれてきたことが確認できました。まだ調査漏れの年代もあると思いますが、なんといってもこの森は複層林として四〇〇年もの間、維持管理されてきた貴重な森です。しかし、この森を調査して驚いたことには健全な木が比較的少ないこと、特に高齢大径木ほど根元や胸高付近に空洞が見られたことです。この森の面積は約三畝、高齢大径木の総本数は二五五本ですが、材質に著しい影響のある腐朽木が三八%、先端の枯れや折れが三五%ありました。一方被害を受けていない健全木は七〇本、すなわち、二七%ほどでした。

台風が頻繁に通過する地域に、長い年月にわたって生育している高齢の森では、被害を受けてない木のほうがむしろまれであるということをこの森は物語っています。

(鈴木 誠)

## 街道の並木に隠された役割

江戸時代末期、日本を旅行したシーボルトは紀行文の中で街道の様子を次のように記しています。「一般に道幅の広い街道には地形の許すかぎり両側にモミ・イトスギ・コノテガシワなど陰の多い樹木を植え、また必要に応じて堀・堤防・水路を設けている。街道はその領地の大名たちの費用で維持され、大代官や庄屋の監督下にある(斉藤信訳『江戸参府紀行』平凡社)」。イトスギ・コノテガシワが並木として用いられたかとはなく、当時の街道がたいへんよく整備されていたことがわかります。当ても並木は街道を行く旅人の行く手を示す目印となり、日陰を与えて喜ばれていました。この役割は今でも同じです。

ところで、古い時代の並木には別の役割もありました。奈良時代には大きな街道の並木として、食用となる果樹を植えることが奨励されたそうです。ブラジルの開拓時代にも同じ目的で、カシューナットの木を道に沿って植えました。種子はナッツとして日本にも輸入されているのでなじみ深いと思いますが、果実もカシューアップルと呼ばれ、みずみずしい甘さがあります。奥地へ向かう開拓者たちは道しるべや日陰として利用するとともに、のどの渇きと飢えもいやせたわけです。

全国的に有名な並木として、箱根や日光の杉並木があります。これらは江戸時代の初期に植えられたもので、大きなものは樹高五〇m、樹齢四〇〇年になっています。江戸時代の初めは、長かった戦乱がやっと収



直径1mを超す戸隠神社のスギ並木

まり、多くの都市で復興に大量の木材が消費されました。このため、都市周辺の山野には伐採可能な森林が少なくなってしまう。山野への植林が奨励され、また並木の植栽も奨励されたのです。もちろん、並木は街道を保護し、道行く旅人を庇護しましたが、戦乱が起きたときには敵を防ぐ柵材、船材、燃料材などに利用する目的もあったと推測されています。並木は特殊な場合に限りられるとはいえ、人々の生活環境を保護し、生活物資を生産する人工的な細長い森林であったのです。このため、並木は大切に保護され、枯れたときには植え替えられました。

並木が街路樹と呼ばれ、どちらかといえば街中での役割が大きくなった現在では、電線や電話線に支障が出るため梢端を伐られたり、道路の拡張で伐採されたりと受難の時代ではありますが、一方で街の景観の一部となっている街路樹を維持するために多くの人々の努力が傾けられています。古くから利用されたスギ・マツ・エノキ・ケヤキ・イチヨウ・サクラ・ソテツなど、また新しい樹種ではニセアカシア・マロニエ・ユリノキなど、各地の都市には特色のある並木道があり、それぞれの気候・風土を反映するとともに多くの言い伝えや歴史を持っています。

(齊藤昌宏)

## 育ての親がいた

木曾ヒノキ、青森ヒバとともに日本三大美林に数えられる秋田スギ。今では残り少なくなりましたが、かつては秋田県北部の米代川周辺にうつそうとした姿で立ち並んでいました。これらの巨木は「天然林」と呼ばれていますが、天然に、つまり、まったく手つかずにすくすくと育ったわけではありません。じつは、長い年月にわたる「育ての親」がいたのです。

今からさかのぼることおよそ四〇〇年前の話。関ヶ原の合戦で豊臣方につき、常陸国（現在の茨城県）から秋田の地に国替えを命じられた佐竹藩は、移転の費用などで藩財政がたいへん逼迫していました。そこで眼をつけたのが、当時秋田の山々に豊富にあった森林資源でした。

藩は、豊富な巨木を藩内の建築資材に使ったり、藩外に販売したりして藩財政を立て直しました。しかし、その後の増伐がたたり、やがて、山はすっかり荒れ放題になってしまったのです。

以後、この反省から、藩では留山制度とめやまをつくって、森林保護に努めるようになりました。まず、青木あおきと呼ばれたスギ、ヒバなどの針葉樹はすべて官用に供することとし、一般農民の伐採をかたく禁止し、薪を採取する場合でも針葉樹の損傷を防ぐことを義務づけました。一方、地元農民は自家用燃料や商売用薪炭など青木以外の広葉樹の無償伐採などの特典が与えられました。



秋田スギの美林

また、岩崎直人博士らの研究によると、長年の広葉樹伐採とともにこの地方のスギが伏条性（親木の枝が地面に触れて根をつけ、別の独立した木になる性質）を持っていたことで、スギの優勢な山になったということです。つまり、現在のように苗木で植林するよりも、林内に自然に生育する天然性の稚樹を育てていくほうが、費用や労力の点から楽で、地元農民に受け入れられやすかったということでしょう。

このような藩の長年の森林保護政策の結果、山の姿は大きく変わっていったのです。佐竹藩が入封した当時は、広葉樹林（おもにブナ）の中にスギの巨木が点在している状況でしたが、青木を残し、周辺広葉樹の伐採を繰り返し続けた結果、広葉樹の勢力は著しく減少し、スギが密生し純林状になったのです。

佐竹藩の家老洪江政光は「国の宝は山なり然れども伐り尽くす時は用に立たず、尽きざる以前に備を立つべし。山の衰えは即ち国の衰えなり」という名言を残しました。藩では今にいう「持続可能な森林経営」の趣旨を早くから取り入れていたというわけです。

日本三大美林とうたわれた天然スギ林成立の陰には、このような藩の手厚い森林保護思想と、黙々と従事した地元農民の長年の努力が隠されていたのです。（小川 正）

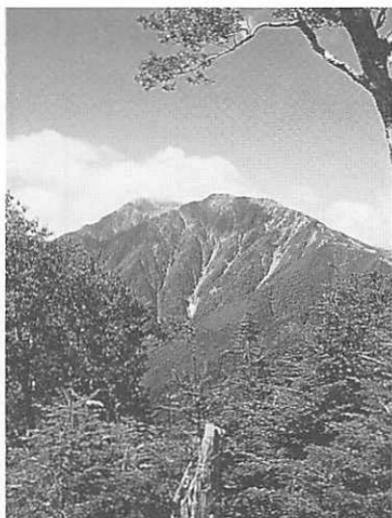
# 原生林の奥に文左衛門の踏み跡

南アルプスにはわが国で最も南に位置する高山帯で、本州の中央部、長野・山梨・静岡の三県にまたがる南北二〇〇メートル以上のわが国最大規模の山岳地帯として知られています。楔状に突き出た静岡県側は、西に赤石山脈、東に白根山脈が南走し、いずれも雲表に聳立する三〇〇〇メートル級の高山を抱えています。山腹の亜高山帯には「黒木」と呼ばれるシラベなどの原生林が広がり、所どころに樹齢一五〇―二〇〇年以上のトウヒやカラマツの巨木がそびえ、太古からの悠久の流れを感じさせます。両山脈に挟まれた大井川は白根三山の一峰間ノ岳（二一八九メートル）に源を發し、幾多の支流を集め、蛇行を重ねながら駿河湾に注いでいます。

上流部の山岳地帯は険峻で、江戸時代には駿府の背後を守る天然の要害地として幕府の天領とされ、村人による伐採はおろか御山への立ち入りも厳しく制限され、実質的には「留山」でした。その禁を破った者には「木一本首一つ」という厳しい罰が科せられました。しかし、古い記録によれば、ときには代官の許しを得て、雪折れ・風倒木などを垂木や板にして峠を越えて運び出し、駿府で売ったと記されています。

万古不斧の原生林に、大規模な斧が入られたのは、幕府が上野寛永寺の根本中堂造営のための用材として六万尺締を納材するよう御用問屋に御達示を出した一六九一年（元禄四年）のことでした。

これに応じたのが、江戸の紀伊国屋文左衛門でありました。蜜柑船で名を挙げたのが元禄元年、彼が二四



針葉樹林帯と赤石岳(3120m)主盟

歳のころ。その後、材木商へと転身し、幕府の御用商人として活躍、富と名声を築き上げていた時期でありました。達示の前年に現地の下調べをすませていた文左衛門らが元締となつて伐採事業が開始され、翌年には一〇〇〇名を超える伐採夫が山に踏み入り、明神谷・信濃俣からさらに奥地の東俣・西俣へと進められていきました。当時千枚の修羅で出材した千枚沢、千石の米を蓄えた千石平、玄米をついた車屋沢など由来の地名が今でも残っています。伐採された木材は大井川を流され、駿河湾から海路で江戸に運ばれました。

当時、山で伐られた木材は、川に流して運び出す川狩り方法がとられたため、流れの勢いで折れる小径木や曲がり・腐れのある木は伐採の対象から外され、素性のよい大径木のみが抜き切りされる択伐が行われました。林床の稚樹は残された木々に守られ、やがて大きく育っていきました。昔の人は環境や天然更新の仕組みを知っていたのでしょうか。

よみがえった林は昔の歴史を秘めながら、あたかも原生林のように静かな空間を形づくっています。かつてその地に立った紀伊国屋文左衛門の足跡を覆い隠すように……。大井川上流の原生林のなかにはそんな森もあるのです。

(河原義彦)

# 手塩にかける雑木林

ぞうきばやし

国木田独歩が武蔵野を紹介して一〇〇年。当時の畑と雑木林の入りまじる景観は、現在ではニュータウンと放置された雑木林となり、景観はずいぶんと異なってきました。雑木林はクヌギやコナラといった萌芽力を持った樹種を中心に仕立てられた森林で、関東地方ではおよそ二〇年で伐採、再び萌芽させていました。

今のようにエネルギー源を電力（火力発電が主）や、石油、重油といった化石燃料に負う前は、たいへん重要なエネルギー源でした。雑木林の別名を薪炭林というのはこうした理由からです。しかし、昭和三〇年代に燃料源に化石燃料を使うようになってから急速に雑木林はなれが起きてしまいました。

神奈川県の民有林の資源構成表から算定すると、その雑木林はなれの期間はわずかに一〇年。あつという間に燃料源としての雑木林は放置されてしまいました。そうすると森林の新陳代謝が起きませんから、林床に生えていたミツバツチグリ、アキノキリンソウといった、春に秋に雑木林を彩っていた陽性の多年生植物は急速に姿を消していきました。

昔の雑木林は年間を通じて管理が行われていました。夏から秋に草刈りを行い、家畜の餌や敷料に、冬に落ち葉をかいて堆肥や燃料に、モヤカキという萌芽した株の本数整理をし、これを燃料にしたり、作物の支柱、民具などに使いました。さらには枯れた枝もたたいて落とす、徹底して利用していました。



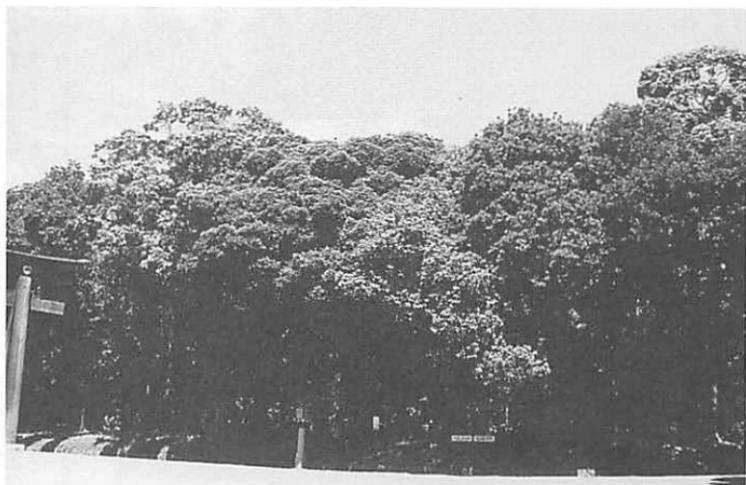
市民参加で手塩にかけて育ててよみがえってきている雑木林

こうした徹底した収奪ということも、考えてみれば、林に余分な贅肉ぜいにくをつけさせない効果的な方法だったのでしよう。こうした環境下に前記の植物が生育していたのです。雑木林を生活のために利用することで、一種の研ぎすました緊張感のあるバランスが雑木林と農民の間に見られたといってもよいのではないでしょうか。ひるがえって現在の雑木林を見ると、林床の落ち葉は堆積し、モヤカキをしないので大きな株立ち状態となっています。そのため、林床植物は少なく、アズマネザサといった色気のない植物の寡占状態になっています。経済的に価値のない森林だから放置せざるをえないのは一面ではよくわかるものの、「出来の悪い子」が冷や飯を食う人間の世界と似た状態になっているようです。今は放置森林に対して、都市住民は大きな期待を持ってきています。近年急激に盛んになってきている「市民参加の森づくり」はこうした林を手入れして、昔の華やかな衣装を着させようというものです。昔は薪炭や落ち葉といったモノを手塩にかけて育ててきたわけですが、これからの雑木林はレクリエーションやほかの生き物のための空間デザインを考えてつくられるようになっていきますし、その主体のかなりの部分は一般市民と思えます。市民によって再び手塩にかけて育てられはじめています。(中川重年)

## 木の博物館

明治神宮の森は、一般の人々には太古から連綿として続いている鎮守の森と思われています。しかし、森の中やそれぞれの樹木をよく観察すると、樹種構成や生育地が自然林とだいぶ異なっていることがわかります。この森は、全国の篤志家から献木を受けて、大正四年から六年間かけてつくられた人工の森なのです。神社境内にふさわしい森林として花木、外国樹種を除いた高木性樹木四五種、低木性樹木四五種の合計九〇種、九万五五九本もの多様な樹木が七〇分の境内に植えられ、その造営の歴史の残る貴重な森なのです。完成後の森林は荘厳な風致と参拝者には敬虔な気持ちを起こさせる常緑樹林を想定し、森林遷移の法則に従って、初期の林相をアカマツ、クロマツを主体にスギ、ヒノキの針葉樹、イチヨウ、ケヤキなどで神社林としての風致を整え、下層には将来の主要木になるクスノキ、カシ・シイ類を植栽したと記録され、造成計画は一五〇年間を想定した壮大なものです。

境内林は武蔵野台地にあります。よく見ると内苑のショウブ田になっている谷戸や小規模な谷地形があり、ここには自然林において湿潤な谷地形に多いカツラなど、小高い地形には乾燥地に多いツガ、そして当時蒸気機関車が行き来した現在の原宿駅側には煙害に強い常緑樹が植えられ、樹木の生育地の環境や煙害耐性など樹木の生育特性をよく理解した植栽になっています。最も荘厳な森林は本殿裏にあり、クスノキ、シ



明治神宮を代表する常緑広葉樹

イ・カシ類が植えられ、四季変わらぬ緑で覆われています。宝物殿前には開放的な芝生を配し、参拝後の解放感を誘い、筑波石にイロハモミジを配した庭園的な設計の場所も見られ、開葉、紅葉期にはひととき彩りを添えています。

南参道が大鳥居に接するT字路の一角では、大鳥居から写真のようにクスノキ、スタジイ、アラカシ、アカガシ、シラカシの大木がそれぞれの特色を誇示しながら寄り添って樹群を形成しています。これらの五種は常緑樹林帯の主要樹種ですが、自然条件では地形的に少しずつ生育地が異なり、決して同じ場所で樹群を構成しません。造成後八〇年近く経過した神宮の森は、全国から献木された多様な樹種が固有の樹形や樹肌を持つ老・壮齢木で構成された樹林となり、樹木とその生育環境に関する貴重な観察の場所として、荘厳な境内林の役割だけでなく木の博物館にもなっているのです。

(谷本丈夫)

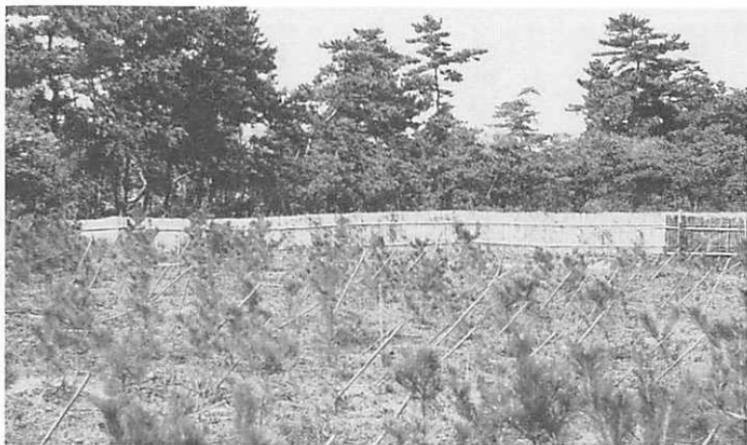
## 消えてゆく白砂青松

海が穏やかな日の白い砂浜は美しい風景です。でも、ひとたび海が荒れ強い風が吹けば、砂は空を舞い、畑や人家を埋めつくす恐ろしい存在に変わります。江戸時代に、芭蕉が「この世のものとは思えない」と表現した庄内地方も、幾世代もの人々の努力によってクロマツが植えられ、豊かな米どころになりました。

日本の風景の代表とされる白砂青松の風景は、けっして自然のものではありません。本来のクロマツ林は、トベラやマサキなどの低木といっしょに海岸の岩場に見られるものです。ハマゴウやコウボウムギしか生えていない砂浜に、何度も何度も苗木を植え、育て上げたものが今日のクロマツ林です。

このクロマツ林と白い砂浜の風景が、日本各地で失われようとしています。その理由はさまざまです。まず、海岸の砂浜そのものが少なくなりました。洪水を防ぐためにつくられたダムのおかげで、大量の砂が海に流れ出ることがなくなり、海流の条件によっては、砂の堆積より流出が多く、砂浜がだんだん小さくなっています。陸地側の土地利用も、砂浜が小さくなる方向に進みがちです。そうになると、護岸を築いて陸地を守る必要が生じ、自然の海岸はますます少なくなりました。飛砂の害に悩まされた長い歴史から見れば、喜ばしいことかも知れません。でも、それでよいのでしょうか。

海岸林にとってのもう一つの危機は、外国から侵入したマツノサイセンチュウを病原とする松くい虫被害



海岸防風林の補修のため植えられたクロマツ

です。松くい虫被害の伝染を防ぐためには、被害木の徹底的な処理が最も効果的です。保安林となっている海岸防風林では、病原を運ぶマツノマダラカミキリのふ化に照準を合わせて、殺虫剤の空中散布も行われていますが、住民の理解が得られないと、散布の時期や範囲についての制約が多く、効果的な防除を難しくしています。

海岸にマツ林が維持できないときにはどうすればよいでしょう。広葉樹林にすればよい、との意見もありますが、クロマツほど砂浜に適した樹種はありません。マツ林もいずれば、自然の遷移によって、常緑広葉樹のタブ林になることが知られています。しかし、タブ林が成立するためには粘土や腐植を含んだ土壌が必要です。少なくとも一〇〇年以上にわたってマツ林が維持されなければ土壌はできません。また、防風・防砂の機能ではタブ林はクロマツ林にかないません。というわけで、白砂青松の風景を守る努力は今後も大切です。

(埴田 宏)

## 誰が育ててるの？

今から三五年ほど前までは、山村に住む人にとって「山」はとても大切な場所でした。早春には冬の暖房や煮炊き用の薪を伐ります。春になるとワラビ、フキ、ゼンマイなどの山菜を採り、晩夏から秋にかけては牛馬の冬の餌となるカヤを刈り、キノコも採りました。そして晩秋になると、春早く伐って乾燥させておいた薪と秋に刈り取ったカヤを一緒に運び出し、冬ごもりの準備をします。炭も原木を求めて山をめぐり、焼いて出荷しました。子供たちも教室のストーブのたきつけに使う杉葉を学校の行事として集めていました。山村の人々が生活のために「山」を利用していたところは、自然に森林の管理ができていたのです。

そのころ都会では高度成長期を迎えており、テレビ、マイカーの普及とともに燃料革命が始まり、電気釜や電熱器、ガス、石油コンロなどが薪炭に代わって使用されるようになりました。こうした動きが山村に入り、便利で快適な生活を求めた若い人たちがどんどん都市へ流出し、山村の労働力と山の恵みを利用するところが減少していききました。採草地や薪炭林を必要としなくなった山林は国や県の指導により、木材生産のための森林へと姿を変えていきました。木材生産のための造林事業は木材資源の造成だけでなく、国土の緑化や観光資源としての効果も強く要求されるようになり、自営造林が停滞した後も公営造林が増加し、国産材時代に向けた資源造成が進められました。それを支えてきたのが森林組合の作業班です。その作業班も年々



森林浴を楽しむ人々



親子で間伐を体験

減少し、一時期八万人を数えた作業班員も現在では三万五〇〇〇人ほどになっています。しかも高齢化が進んでいます。また、外材の輸入増加により国内の木材価格は低迷を続け、森林所有者は経営意欲をなくし、手入れしなければならぬ森林の管理を放棄し、せっかく植えた木が木材となり緑豊かな水源となるどころか、かえって山の崩壊の原因となっています。緑を守るためには、山林からの収益が不可欠です。

私たち森林組合は、若い有能な担い手を確保するため公務員並の身分保障や完全月給制など雇用条件を整備するとともに、高性能な林業機械を導入するなど作業の安全性や快適性を備えた職場づくりを断行し、地域林業の中心となって緑と水を育む健全な森林を守っていきます。しかし、山村の人々だけの力では限界があります。森林は所有者だけの財産ではありません。都市住民の協力が必要なのです。また子供たちにも森林の公益性を教え、地域ぐるみで取り組みたいものです。

(内木篤志)

## 小さな原風景

晩春のころ、京都を囲む山々では、新緑の中にシイの淡黄色の花やハイノキ類の白い花が景観に彩りをそえています。これらは、ドングリをつけるブナ科あるいはクスノキ科など多くの樹種を含めて、照葉樹と呼ばれる常緑広葉樹で、クチクラ層の発達した光沢のある深緑色の葉を持ち、芽が冬の寒さから保護されているのが特徴です。同じ常緑広葉樹でも、熱帯の常緑広葉樹は葉が薄く大型で芽は保護されていませんし、地中海沿岸のように夏に乾燥する大陸西岸の常緑広葉樹は乾燥に耐えるため葉が革質で厚く小型です。

照葉樹林は、東アジア、北アメリカのフロリダ半島、ブラジル南部の大西洋岸、オーストラリア東部など大陸の東側の、雨が多く冬が寒すぎない地域に見られます。そのなかで最大の照葉樹林が発達しているのが西南日本から中国西南部、東南アジアの山地、ヒマラヤにかけての東アジアです。この地域では食文化や儀礼、慣行あるいは神話や説話などに共通した文化要素があり、これらの文化要素で特徴づけられる文化を照葉樹林文化と呼んでいます。

照葉樹林はたんに植生だけでなく、伝統文化的にもわが国からはるかヒマラヤまでつながっているといえるでしょう。しかしながら東アジアの照葉樹林は、その大部分が農地や二次林、植林地に変わってしまいました。わが国も例外ではありません。照葉樹林帯は有史以前から日本人のおもな生活域であったため、平地



京都松尾大社の照葉樹林

ではほとんど姿を消し、宮の森といわれる聖域の森林に断片的にその面影が残されているだけです。宮の森は神の宿る場とされ、もし手をつければたたりがあると考えられてきたからです。わが国では自然崇拜の信仰が、人口密度の高い平地で人間による徹底的な破壊からかううじて照葉樹林を守ってきたのです。

京都松尾大社の照葉樹林（写真）は、近畿地方では比較的保存状態の良い宮の森で、林内は昏々とお暗く、森厳とした雰囲気を保っています。以前にこの林を含めた近畿地方の照葉樹林とアカマツやコナラの二次林の植生調査をしたことがあります。林の大きさは照葉樹林のほうが二次林より大きいのですが、種の豊かさは照葉樹林のほうが二次林より小さいという結果になりました。照葉樹林は樹冠が発達しているため林内の低木や草本が貧弱だったことが一つの原因と考えられますが、森林が断片化し面積が狭くなっていること、また森林によっては原生照葉樹林が破壊された後、樹種構成が偏った森林から再生しつつある森林である可能性があることも影響していると考えられます。宮の森の照葉樹林を見たら、これらの森林は過去に幾多の人為の影響を受けながらも古代の自然の面影をとどめた、また私たちの伝統的文化を育んできた森林であることを思い起こしてください。

（加茂皓一）

## “ムニン”の島で

東京から南に約一〇〇〇哩の太平洋上に、三〇あまりの島々からなる小笠原諸島があります。亜熱帯の島という、うっそうとしたジャングルのような林を連想してしまいがちですが、この島々の大部分を占める森林植生は、父島や兄島に広く分布する土層の薄い乾燥した立地に成立する乾性低木林で、シマイスノキ、アデク、シマシャリンバイなど硬い小型の葉を持った常緑樹から構成されています。

小笠原のもう一つの代表的な植生タイプは、おもに母島に分布する土層の厚い湿潤な立地に成立する湿性高木林で、ウドノキ、シマホルトノキ、モクタチバナなどが生い茂り、シタやランなどの着生植物やヘゴ、マルハチといった木性シダが豊富に見られます。

小笠原諸島は過去に一度も大陸とつながったことのない海洋島で、植物は長い距離をはるばる海を渡ってこなければならなかったために、幸運にめぐまれたものだけがたどり着き、さらにそのなから島の環境に適応できたものだけが生き残りました。そのため森林を構成する植物の数が少なく、また隔離された環境のなかで独自の進化をとげた固有種の割合が高いという特徴を持っています。

しかし海洋島の植物は、人為による攪乱や外来種による影響を受けやすいという性質を持っています。小笠原は人が移り住むようになったわずか一〇〇年あまりの間に、島の自然が著しく様変わりしました。乾燥



アカギの純林

した場所や畑跡地にはギンネムやリュウキュウマツなどが入り込み、谷筋などの適潤地ではアカギが侵入しました。アカギは天然分布域の沖縄では街路樹に用いられ、大木は神木として崇められています。森林の優占種になることはありません。しかし小笠原では、芽生えから成木まで林内至る所にさまざまな生活史段階のアカギが生育し、猛烈な勢いで増えつづけ純林を形成しつつあります(写真)。アカギは甘い果実を大量に実らせ、鳥がその種子を散布します。落下した種子は発芽率が高くその年に発芽してしまいますが、一部の種子は林内土壌中で発芽せずに生き残ることがあります。そのため種子が実らない年にも、子孫を残すチャンスがあるのです。このままでは相対的に有利な立場にあるアカギが在来種を駆逐するおそれがあり、在来種の保護とアカギの繁殖抑制対策の確立が急がれています。

小笠原の植物の名前には、ムニンノボタン、ムニンエノキ、ムニンヒメツバキなど名前の初めにムニンとつくものが数多くあります。ムニンとは、かつて小笠原が無人島だったことに由来し、小笠原の固有であることを意味する言葉です。素朴でのどかなこの島で、これらの植物が将来幻のものとならないよう保護するためには、人々と島の自然が歩んできた歴史に対して深い理解と愛情を持つことが必要です。

(山下直子)

## 富士の高嶺に登った自動車道

平和とスポーツの祭典オリンピック競技大会。日本で初めての、一九六四年一〇月の第一八回東京大会の成功を目指して、東海道新幹線や高架式の首都高速道路がつくられました。このとき、秀麗な山容と日本一高い山として古くから信仰と観光の対象となっている天下の名勝富士山にも観光用の自動車道が計画され、一九六〇年から四年をかけてオリンピックに間に合わせて開設されました。当時は工業化社会の急速な発展や開発に伴う自然破壊の問題が各地であらわになりつつあり、この山岳観光道路「富士スバルライン」は、荒々しい工法と切り裂かれた亜高山帯針葉樹林の道路周辺での立ち枯れの拡大で厳しく批判されました。スバルライン開設は自然破壊の代表的な例とされ、沿線の森林破壊は大規模に進み容易に復元しないともいわれました。問題の森林破壊はおもに亜高山帯に集中していました。

現在の富士山は氷期の後にできたまだ若い火山で、植生の完成が遅れているとされ、ほかの高山に比べて森林限界付近にハイマツを欠いてカラマツ林が見られるなど、独特のものがあります。コメツガ、シラベ、一部にアオモリトドマツからなる亜高山帯針葉樹林はおおよそ海拔一六〇〇―二四〇〇メートルの間を占め、地表はコケ類がカーペット状に覆っていてりっぱな森林ですが、森林土壌の形成は未発達で表土が薄いのです。この厳しい立地条件下の森林を伐り開き自動車道を通したため土砂が流され、森林破壊が起こり、開設後一〇

年経っても沿道の樹木が多量に枯れつづけていたことが強調されました。

しかし、道路開設後の森林破壊の現状と回復の過程についての具体的な情報は、当時ほとんどなかったのです。そこで、問題箇所海拔二一〇〇m付近に固定試験地を設け、開設の約一〇年後および三〇年後に森林植生の破壊と復元がどのように進行しているかを調べました。上木の枯死は拡大したのか？ 法面の植生は回復したか？ 後継樹は育ってきているか？ を検討した結果、森林植生が確実に回復の途上にあることがわかりました。以前に「道路開設に伴って森林植生の破壊が止めどもなく進む」といわれたことは、ヘアピン道路に挟まれたごく狭い樹林帯を除いては見られず、幸い杞憂だったのです。

けれども道路周辺の亜高山帯森林を保全するためには、今後の問題点も少なくありません。道路下方の林内ではコンクリート張りの路面を伝わって流下した雨水が局所的に収れんして生じるガリ（雨裂）が進行して斜面が浸食され上木の根倒れが起こっていること、おびただしい数の通行車両（一九六四〜九五年度の三二年間の年平均台数五二万六〇〇余）による大気汚染、無制限な林内への立ち入りによる林床の荒廃、年間三〇万人の登山者が夏期の七、八月に集中することなど、森林の健全性と生態系を脅かす人為の影響はむしろ増えてきています。夏の一時期のマイカー規制だけでなく、車両数の総量制限、五合目付近の大型の建物施設の縮小や撤去、林内への立ち入りを制限するゾーニング等々、世界に誇れる富士山の未来のために、いま真剣な検討が必要です。

（浅沼晟吾）

## 君の名は

帰化植物といえは、市街地の空き地に多いものと相場が決まっています。外国からきた植物にとって自然林は住みにくい場所だからです。その点、都会には植物が生えていない隙間がたくさんあります。また、市街地の土壌は中性からアルカリ性になりやすく、酸性を好む日本の植物より、アルカリ土壌の多い大陸から渡来してきた植物にとって好ましいことも、市街地に帰化植物が多い理由の一つです。

安定した森林では、大きな樹木や低木、地面を覆う草本植物まで、がっちりスクラムを組んでおり、外来植物に場所を明け渡すことはありません。それでも、森林の伐採跡地にベニバナボロギクが一面に生えているのを見ることがあります。伐採によって地面の温度が上昇し、一時的に有機物の分解が進むことで帰化植物にとって住みやすい環境ができるからです。雨が多い日本では、やがて土壌が元のように酸性化し、スキなどの本来の草本植物が多くなり、森林へと遷移が進みます。

動植物の種類が少ない自然は弱いといわれています。その典型的な事例が、大陸から遠く離れた孤島の小笠原諸島に見られます。ここでは外来の樹木が自然林に侵入し、生態系そのものを破壊するおそれが生じています。小笠原島では、十九世紀末のわずか二〇年の間に森林のほとんどが伐採されました。そのため、建築材や薪炭材を自給するため熱帯・亜熱帯の各地から樹木が集められ、植栽が行われています。



アカギの果実

一九四五―六八年の間、アメリカの占領統治下にあつて、小笠原の森林は人手が加わることなく放置されました。これだけの年数があれば、自然林はかなり回復するはずですが、リュウキユウマツ、ギンネム、アカギの三種は自力で分布を拡大しました。その後、リュウキユウマツは不用意に持ち込まれたマツ材に潜んでいたマツノマダラカミキリとマツノサイセンチュウによって、あつという間に、ほとんどが枯れてしまいました。またギンネムも、ギンネムキジラミの影響によってかつての勢いはなくなりました。アカギだけが旺盛に繁殖を続け、自然林の中にまで侵入し、在来種に置き換わろうとしています。

小笠原とよく似た温度条件の沖縄にもアカギは生育していますが、シイ林の中には侵入しませんし、アカギの郷土である東南アジアの国々でもこれほどの勢いはありません。小笠原の気候条件がアカギに適していた、というより、生物多様性が低く、弱い自然であるがために、侵入者の横暴を可能にしたということでしょう。このような事例は、同じように生物の種類数が少ない市街地でも見られます。

あなたの家の庭や近所の緑地に、名前のわからない植物の芽生えはありませんか。

(埴田 宏)

# 巨大なインベードー

モウソウチクは、日本で最も分布面積が広い竹です。竹林としての風情や、食用となるタケノコなど、モウソウチクは私たちになじみの深い竹ですが、元をたざせば中国からもたらされた帰化植物で、日本ではここ数百年の間に生育を始めたものです。モウソウチクが渡来する前に日本で食用に利用されていたマダケやハチクに比べると、モウソウチクのタケノコは大きくて日持ちがよいため珍重されました。江戸時代に中国からモウソウチクを持ち込んだ島津藩では、藩外持ち出しを禁止するほど大切にしていました。明治時代になり国内で鉄道網など交通機関が発達するにつれて、モウソウチクの分布域は著しく広がり、人家の裏山に植えられ、広くタケノコなどが利用されるようになりました。

第二次世界大戦後、燃料革命が起こり、人々が里山に定常的に入り、手を加えることが少なくなりましたが、そのような場所で最近目にするのがモウソウチクの活発な分布拡大です。都市近郊の低山の斜面が一面モウソウチクで覆われているのを特に西日本ではよく見かけますが、たいていの場合が最近数十年のうちに急速に斜面を駆け登るように拡大したものです。また、京都府南部の都市近郊林で詳しく調査した例では、モウソウチクの分布のフロントは、一年間で平均して約二メートルの速さで隣接する森林へと拡大していました。森林の更新過程では光をめぐる競争、つまり、いかに光条件のよい場所に葉を展開させるかということが

重要です。モウソウチクはタケノコの成長によって新しい稈を一月以内に一五〜二〇cmの高さまで伸長させ、そこに新たな葉を開くことができます。普通の樹木が種子から林冠にまで成長するのに数十年以上という長い年月を要するのは対照的で、周辺の樹木の高さが伸張したタケノコより低ければ、すぐに侵入が可能です。

環境問題という言葉からは、一般に気温の上昇や汚染物質の蓄積といった、どちらかという生物に対する物理・化学的な条件を考えがちですが、生態系の中で居場所を見いだして生存していかなければならない生物にとっては、その生物を取り囲み、競合しているほかの生物そのものも「環境」にほかなりません。これまで日本にやってきて帰化植物として成功した植物は、人為による攪乱に耐えうる、小回りの利く草本が多くなっています。これに対してモウソウチクという生物は、巨大な稈をタケノコという形で素早く確実に更新するというユニークな方法で、これまで日本にやってきた帰化植物が入り込めなかつた森林へと進出してきました。現在のところ、都市近郊の分布拡大域では向かうところ敵なしといった状態です。結果として林分を優占し、ほかのさまざまな植物を追い出してしまうため、そのような場所では構成種の多様性が著しく低下しています。

モウソウチクという強力で巨大なインベーターが在来の植物群集に及ぼす影響については、環境問題という観点からむしろ監視を続ける必要があります。

(井鷲裕司)

## ヒノキ林の陰で

収益性の悪化や人手不足の話題が林業関係者の間であいさつ代わりとなって久しい今日、戦後、人工造林が進められた多くの地域では、手入れ不足のために下草や低木がまったく生育できないくらいに林の中が真っ暗になってしまったスギ林やヒノキ林が、ありふれた光景になろうとしています。

このような林に入ると、つるに巻かれて幹がねじ曲がってしまった木があったり、競争に負けて立ち枯れた木の幹に無数に開けられた小さな孔から、ゾウムシ類やキクイムシ類の幼虫の糞がこぼれ出していたりします。その点ではスギ林とヒノキ林の間に大きな違いはありません。ところが、傾斜地の林の中で林床に目をやると、スギ林とヒノキ林では違いのあることに気がつきます。スギ林の地表は一面、ややかさばった落葉・落枝で覆われていることが多いのに対し、ヒノキ林の地表では、しばしば地肌がむき出しになっています。このようなところをもう少し気をつけて見ると、小石やヒノキの球果を頭に載せた土の柱ができていたり、網の目のように張りめぐらされたヒノキの細根が地表に露出していたりするのが目につきます。さらに注意深く観察すると、これらの特徴は傾斜が急なところほど目立つことに気づかれるでしょう。

林に降る雨のうち、いったん樹冠に受け止められて枝葉の先からしたり落ちる雨は、元の雨に比べてずっと大粒になること、また、樹木が成長し、このような雨滴の落下する高さが三〜四メートルを超えるようになる

と、地面が雨滴から受ける衝撃は林外より林内のほうで大きくなることが実験により確かめられています。ヒノキの葉は、大きさ数ミリ程度の水をはじきやすい性質を帯びた鱗状の小葉がじゅずつなぎになってています。これが落葉となって地面に落ちると間もなく小葉に分離します。下草や低木の消えたヒノキ林内で、大きな衝撃力を持った雨滴が直接地面をたたくと、バラバラになった水をはじきやすいヒノキの小葉はたやすく跳ね飛ばされ、雨水に洗い流されてしまいます。こうして被覆物を失った林地では、続いて表層土壌が雨の作用にさらされることとなります。前述の土の柱は小石や球果の周囲の土壌が雨滴に跳ね飛ばされてきたものです。そして、細根の露出は浸食により表層土壌が失われたことの何よりの証拠です。

ヒノキ人工林における土壌浸食研究の歴史は三〇年以上も昔にさかのぼります。これまでに、次のようなことが報告されてきました。①ヒノキ林では隣接するスギ林や広葉樹林に比べて浸食土砂量が多い。②浸食された土は残った土に比べて多くの養分を含んでいる。③隣り合うスギ林とヒノキ林の表層土壌を比べるとスギ林土壌のほうが養分含有率が高い。④ヒノキ林では地面が直接雨でたたかれる結果、表層土壌の透水性が悪くなる傾向にある。⑤一方、林床植生、特に草本層の発達は浸食防止に大きな効果がある。

土壌浸食の悪影響は森林内にとどまりません。浸食された土砂が流れ込む溪流では、浮き石を泥で埋め、カゲロウやトビゲラの幼虫などの水生昆虫や、アユの餌となる藻類の生活の場を奪うおそれもあります。

地道な研究成果が実際の森づくりに活かされる、ゆとりある社会への移行が望まれます。(塚本次郎)

## 変わりゆく名勝の森林

嵐山は京都を代表する名勝地であり、一年を通して多くの観光客が訪れます。嵐山の風景を特徴づけるのは、渡月橋、大堰川、そしてその周辺にある森林です。嵐山の森林にはアカマツやサクラ、モミジなどの樹木があつて四季折々に美しい風景を織りなしています。このように風景上価値の高い嵐山の風致林は自然植生としてもともと存在したのではなく、人と森林との密接なかわり合いを通して維持されてきました。

嵐山では、すでに十三世紀末に吉野山からサクラ数百株が移植され、その後も長年にわたりサクラやアカマツなどが植えられてきました。また、病虫害や獣害を防いだり、光不足で衰弱したサクラのために周囲の樹木を伐採するなどの風致施業も行われました。このような風致林の管理によって名勝嵐山の風景が形づくられたといえます。

ところが、景観を保護することに重点が置かれ、自然の遷移にまかせる管理指針がとられた結果、嵐山の森林景観が変化してきました。一九四〇年にはアカマツが嵐山の森林全体に、サクラは山麓や中腹、特に対岸に別荘や展望地点があつた大悲閣周辺、あるいは渡月橋周辺に集中して分布していました(写真上)。その後さらに被圧されたサクラが枯れたり、マツ枯れの被害によりアカマツが減少して、アラカシなどの常緑広葉樹が目立つようになりました。最近では山麓から中腹にかけて分布していたアカマツの大木がほとんどな

くなり、車道沿いを除く山麓から中腹にあったサクラがさらに減少しました。山頂部などには更新した若いアカマツ林が見られるようになったものの、山腹の大部分はケヤキやモミジ、アラカシなどの広葉樹が優占する森林に変化したのです（写真下）。

四季折々に変化する美しい森林景観を維持するためには、禁伐などの保護だけでは困難です。常緑広葉樹などを伐採してアカマツやサクラなどを植え継いだり、これらの生育を助けるよう下刈りをするなど、風致

形成に重点をおいた森林の管理が必要となります。

一九八二年からは京都営林署と地元  
の嵐山保勝会が協力して植樹祭を続けて  
います。歴史的な植生遷移を考慮し  
つつ、名勝としての嵐山の景観を維持  
し、創造することに多くの人が関心を  
持つこと、そして、きめ細かい植生の  
管理が今後さらに求められるといえま  
しょう。

（深町加津枝）



1940年の嵐山



今日の嵐山（京都営林署提供）

# 河畔林とサクラマス

河川に沿って生える林は河畔林と呼ばれ、ヤナギ類、ケヤマハンノキ類を主とする落葉広葉樹から構成されています。木材としての経済的な価値が低いこともあって、これまでその存在が省みられたことはありませんでしたが、最近溪流魚の生息環境、ひいては水産資源にとってきわめて重要な意味を持っていることがわかってきました。ここでは、北国にすむ代表的な溪流魚であるサクラマスを例に、四季を通じて河畔林がサクラマスに及ぼす影響について紹介します。

北国の春は雪解けとともに始まります。卯からかえったサクラマスの稚魚は雪解け水に乗って下流に流されていきます。稚魚は泳ぐ能力が低いため、増水した河川の中でとどまる場所がなければそのまま海に流されていきますが、流速が緩い場所があればとどまることができます。この時期の生息場所は水面に張り出した植生が繁茂する川岸に集中し、特に水中に倒伏したツルヨシとケヤマハンノキやヤナギの枝周辺に高密度の稚魚が観察されました。そして、増水が終わり、河川全体の流れが安定期に入る六月以降は稚魚の平均体長も急速に増加し、餌が豊富で速い流れのある河川の中央部へと生活空間を拡大します。水中に伸びた樹木の枝は、稚魚に安定した生息場所をつくる、ゆりかごの役割をしているのです。

日光が照りつける夏に河畔林が溪流の水面を覆うと日光が遮断され、樹冠により河川水面が鬱閉うつぱいされてい



北日本の溪流に生息するサクラマスの幼魚。  
体側の斑点(バーマーク)が美しい。

溪流を覆う河畔林により、水温上昇が抑えられ安定的に保たれる。(長坂有氏 撮影)

る落葉広葉樹林では、日射総量が七分の一程度まで低下します(写真左)。河畔林を伐採した場合、夏期水温が上昇し、サクラマスの分布や成長に悪影響を与えます。冷水を好むサクラマスは夏期の高水温にきわめて弱く、水温が $20^{\circ}\text{C}$ を超えると成長に影響が出はじめ、さらに $25^{\circ}\text{C}$ を超えると死んでしまうこともあります。水面を覆う木陰は夏場の水温を低く保つクーラーの役割を果たします。

冬はサクラマスの幼魚にとっても過酷であり、適当な越冬場所がない場合はかなりの割合で死ぬといわれます。幼魚は流速が遅い川岸寄りの植生下に潜み、エネルギーの消費を最小にしてじっと春の雪解けを待ちます。特に水中に張り出したヤナギの枝は越冬場所として好まれ、雪に押しつぶされた枝の下で、高い密度で越冬しているのが観察されました。このように、幼魚の多くは河畔林の植生がつくる微環境のなかで冬を越しているのです。

(柳井清治)

## シカが森を食いつぶす

奥日光の自然がシカによって大きく変わろうとしています。日光国立公園とその周辺の地域では、近年、シカの増加が著しく、農林業被害や自然植生への被害が目立ち始めています。シカによる自然植生の被害は、もともとの生息地であった表日光だけでなく、一九八〇年以前にはシカが生息していなかった奥日光の戦場ヶ原やそれらを取り巻く森林、さらには白根山の高山植物群落にまで及んでいます。湿原や草原ではヤナギランやアザミ類など美しい花を咲かせる植物が姿を消し、高山帯ではシラネアオイをはじめとする高山植物のほとんどが姿を消してしまいました。代わってシカが食べないハンゴンソウやマルバダケブキなどが繁茂しています。また、ウラジロモミ林では、林床のスズタケが一斉に全面枯死し、代わってイケマやカリガネソウ、シロヨメナなどが繁茂しています。さらには稚樹から胸高直径二寸を超えるウラジロモミまでもがその樹皮を剥がされ、次々と葉を赤く変えて枯死しています。樹皮剥ぎはウラジロモミに限らず、マユミ、ミズキ、キハダなどの広葉樹からシラビソ、ナナカマド、ダケカンバ、ミネヤナギなど亜高山帯・高山帯の植物にまで及んでいます。このように、日光では景観を決める森林植生にまでシカの被害が現れてきていますが、その影響はシカに食べられる植物だけでなく、その植物を食べていた昆虫類にまで及び、その減少や地域的絶滅が指摘されています。その一方では、シカが食べないために大繁茂した植物を食べる昆虫類が大

発生するなど、生物群集全体に影響が及びはじめています。

シカが増加した原因としては、暖冬による積雪量の減少、隣接する足尾の旧煙害地の緑化による食物の増加、鳥獣保護区内での狩猟の禁止、森林生態系での捕食者であるオオカミの絶滅があげられています。これらは相互に関係しあっていて、暖冬による積雪量の減少はそれまでの越冬地を拡大させただけでなく、新しい越冬地の形成を促し、そこを足掛かりに新しい夏の生息地に分布を広げたシカたちは、まったく手をつけられていなかった食物の供給に支えられて、捕食者や狩猟圧、そして冬の寒さから解放されて爆発的に増加したと考えられています。

現在、栃木県では、シカによる農林業被害と自然植生への影響を軽減するために、一九九六年に策定した栃木県シカ保護管理計画に基づいてこの地域でシカの駆除を進めています。しかし、四年を経過して、また新たな問題が出てきています。それは、駆除を行うハンターの高齢化と減少、そしてイヌワシやクマタカなどの希少猛禽類の繁殖地と駆除予定地が重なるために、駆除が制限されることなどです。これらは、人間がすべてのシカを永続的にコントロールしようとすることから生じる問題です。そこで、私たちは、今回のシカ問題を解決するために、次の二つの方策を提案しています。一つは当面の計画的かつ有効な駆除の促進であり、もう一つは絶滅したオオカミの再導入です。これは、基本的に豊かな森林生態系の持続的な保全はフランスのとれた健全な森林生態系のなかから生まれなくてはならないと考えるからです。

(小金澤正昭)



## IV

# 森林が守る私たちの生活環境

## はげ山の教訓

「勘当だ！……明治二四年のある日、宮城県古川町の呉服商の長男佐々木保吉は、父親の厳しい叱責に黙って家を出ていきました。保吉は若いころから父親の仕事を助けて上流の集落へ呉服の行商に行っていました。そこで保吉は売上金のすべてをほたいはげ山を買ってしまったのでした。……その後、保吉は東京へ出て時計屋の奉公をしながら植林の勉強を始めました。というのも保吉は幼いころから近くの江合川の氾濫に心を痛め、この氾濫を防ぐことを一生の仕事と決心していたからでした。奉公から戻り時計屋を始めたところ繁盛し、それで得たお金で例のはげ山に彼は植林を始めました。資金難で家財を差し押さえられたこともありましたが、一生をかけて植林した結果、荒れ狂っていた江合川はすっかりおとなしくなりました。今ではその山は勘当山と呼ばれ、人々に大切にされています。(倉澤 博編『保安林物語』より)。

半世紀前の日本、それははげ山の連続でした。今日ではとうてい信じられないことですが、江戸時代中期から明治、大正、昭和三〇年代まで、日本じゅう、とりわけ東海から近畿、中国地方にかけての花崗岩地帯では広い範囲の里山がはげ山でした。そのおもな原因は、農民が里山のすべてを過度に利用したためです。落ち葉は肥料として、草などは飼料として、柴や材は燃料として、そしてアカマツの根株まで燃料や灯火として使ったのです。加えて、製陶業、製塩業による燃料消費や、山火事もはげ山に拍車をかけました。



昭和25年ごろのはげ山（岡山県玉野市臥竜山）

（岡山県治山課 提供）

はげ山からは大量の土砂が流出し、さまざまな弊害を生みました。一つは土砂の流出堆積による天井川の発生であり、このため土砂災害のみならず堤防決壊による洪水が頻発しました。土砂および洪水災害は、人命財産の損失や交通の寸断はもとより農地の生産力を低下させました。また、下流域での土砂堆積は、舟運を困難にさせ経済活動を阻害しました。さらに、恒常的な濁りによる飲料水の水質悪化のほか、湿地の増加によるマラリアの多発など思わぬ弊害も起こしました。

今日、わが国にははげ山はほとんどありません。それは、治山技術者の緑化に対するたゆまない努力の賜物なのですが、燃料革命など社会経済的な背景があったこともあげられます。一度はげ山化した場所を復旧させるには、たいへんな労力とお金、そして時間がかかることを忘れてはなりません。

（北原 曜）

## 一〇〇〇年でやっと一〇センチ

「私は瀬戸内海の海上から六甲山のはげ山を見てびっくりした。初めは雪が積もっているのかと思った」。

これは、かの有名な植物学者牧野富太郎博士が明治一四年四月、故郷の高知から上京の途中、蒸気船が神戸に着いたときの感想を『東京への初旅』で記した一節です。六甲山はかなりひどいはげ山だったのでしょう。

瀬戸内地方は、かつて大陸文化の導入基地であった北九州と、政治、経済、文化の中心であった畿内とを結ぶ要路に当たり、温暖な気候条件や丘陵、低地の発達した地形条件は早くから人々を定住させ、特に近世以降、急激な産業の発達と人口の増加をもたらしました。しかし、こうした人間活動は必然的に森林の破壊を招きます。自家用・工業用燃料のほか、農畜産用の肥料・飼料までもすべて入会林を中心に賄い、たび重なる伐採が行われたうえ、明かりとりの油用にマツの根まで掘り尽くしてしまつたのです。さらに瀬戸内の乾燥気候は山火事を誘発して裸地化に拍車をかけます。六甲山もそんな苦難の道をたどってきたのです。

六甲山の緑化事業は、およそ一〇〇年前の明治三五年（一九〇二）にさかのぼります。神戸市は本多静六博士の指導のもと、山腹工事を行いました。写真上は明治三五年度にマツなどを植えたところで、写真下はその九〇年後みごとに緑がよみがえつたところです。一〇〇年を経た林地土壌の素顔を見てみましょう。

山腹工事の行われた当時のはげ山の土壌はおそらく鉱質土壌そのもので、土壌孔隙に欠け容積重は一〇〇



明治36年（1903）の治山施工直後の状況



施工から約90年を経た林況(兵庫県六甲治山事務所 提供)

以上を示し、養分も含まれていなかったことでしょう。その植林地は今、アカマツ（人工）——モチツツジ群集となり、暗褐色で粒状のA層が五〜八センチ発達して、容積重は九〇前後に改善され腐植の量は三・五％で、植物が利用可能な置換性塩基やそれを吸着保持する能力も増加していて、土壌が成熟の途上にあることがうかがわれます。しかし、B層以下はあまり変わっていません。六甲山にあまり人手の入らないころの植生は、

中腹から山麓にかけてシイ、カシ類の照葉樹林で覆われていました。今でもごく限られた場所にその林が見られます。ここでは土壌層位や腐植、塩基類はアカマツ林の二倍ぐらいを示し、土壌層も深いのです。このことは土壌の熟成化に時間と生物（植物）の働きかけがどれほど大切であるかを示しています。

人々が多大の努力を重ねても、土壌の熟成は「一〇〇年でやっと一〇センチ」なのです。

（古池末之）

# アカシアは郷土の花？

その昔、西田佐知子の「アカシアの雨が止むとき」、三田明の「アカシアは咲いた」などアカシアを題材とした歌謡曲が連続ヒットしました。また、秋田県北東部に位置する小坂町では、昭和五九年以降毎年アカシアの花の咲きほこる六月、「アカシア祭り」が実施され、町民はもとより全国から観光客が訪れるようになりました。さらに、アカシアの花からとる蜂蜜はその品質のよさで知られています。

ここでいうアカシアは、マメ科ニセアカシア属のニセアカシアのことです。アカシア属の種とは別種です。植物学者はハリエンジュという名を用い、林学者はニセアカシアという名を用いているようです。しかし、一般にはアカシアと呼ぶほうが親しみやすいようです。

ニセアカシアは、街路樹とか治山用樹種として広く植えられ、あるいは二次的に自然繁殖して分布域が広がっています。しかし、ニセアカシアは北米原産の樹木で、わが国には明治時代の初めに入ってきたものです。したがって、人手の加わっていない奥山で見かけることはありません。

小坂町でアカシア祭りができるくらいニセアカシアがたくさんあるのには理由があります。小坂町には、小坂鉱山があり、銅精錬のときに排出される煙の中に含まれた亜硫酸ガスによって煙害が発生し、激害地では裸地状になりました。この煙害は、明治三五年から昭和四二年までの六五年間続いています。煙害区域は、



小坂町のアカシア祭り



ニセアカシアの花

一時期、国有林だけでも五万本に及んでいます。煙害地の復旧のために小坂鉦山では、明治四二年に初めてニセアカシアを植えました。翌四三年からは、国有林でも耐煙性樹種として、無立木地化した地域にニセアカシアの植栽を始めています。以来、戦争などによる中断はありましたが昭和三九年までニセアカシアが植えつづけられ、その総面積は五七〇本に及んでいます。このほかに、秋田県が行った治山事業施工地にも相当面積のニセアカシアが植えられ、アカシア祭りをするほどのニセアカシア林が育ったわけです。

この例からもわかるように、ニセアカシアは治山用樹種としてもたいへん貴重な樹木で、わが国の環境を守るために、なくてはならない樹木になっています。

ニセアカシアは、現在ではどこにでも見られ、また、それぞれの土地に適合して旺盛な成長を続け、人々にも親しまれています。ニセアカシアが外来種であることは明らかですが、学術的定義とは別に、ニセアカシアは今や郷土の花になっているといってもよいのではないでしょうか。  
(橋岡伸守)

# 煙が先か、火が先か

広大な関東平野をつくり上げた利根川、この利根川の支流である渡良瀬川をさかのぼると栃木県足尾町にたどりつき源流部となります。ここ足尾町は、皇海山、庚申山などの山々に囲まれています。

これまで私たちが親しんできた（イメージしている）山々の風景は、清流があり、谷があり、その山は緑に覆われ、私たちの心に潤いを与えてくれるものでした。ところが、この足尾町の山は谷底から尾根まで木がないどころか土もないゴツゴツした黒っぽい岩がむき出しとなった山です。垂直に切り立った岩盤には無数の亀裂が入り、落石が激しく「日本のグランドキャニオン」と呼ばれる荒廃地となっています。

なぜ、これほどまでに荒れ果ててしまったのか。足尾町の過去の歴史をひも解いてみると、必ず足尾銅山にたどり着きます。足尾銅山は一六一〇（慶長一五）年に発見され幕府直轄の銅山として経営されました。一六七六（延宝四）年ごろの一時期には「足尾千軒」と伝えられるほど賑わい、精錬用薪炭、坑木などとして周辺の森林が盛んに伐採されました。その後銅山は急速に衰退し、一八六八（明治元）年ごろはうっそうとした森林に戻っていたようです。

しかし、一八八一（明治一四）年からあい次いで良鉱脈が発見され、産銅量が増加すると精錬用薪炭、蒸気機関用燃料、坑木などに膨大な木材を使うようになり、再び周辺の森林伐採が盛んに行われるようになり

ました。

精錬量の増加は、有害ガス量を増加させ、森林の被害も目立つようになりました。当時の様子を『足尾銅山記事』は「連山ノ樹木、或ハ切り、或ハ枯レテ禿然ソノ岩骨ヲ暴露ス」と伝えています。

また、一八八七（明治二〇）年には、大きな山火事が起きて一一〇〇（む）あまりの森林が焼失してしまいました。さらに一八九四（明治二六）年に導入された最新式の精錬法は、精錬量を飛躍的に増加させましたが有害ガスも激増させ、山火事跡地に芽生えた草木をことごとく枯死させてしまいました。

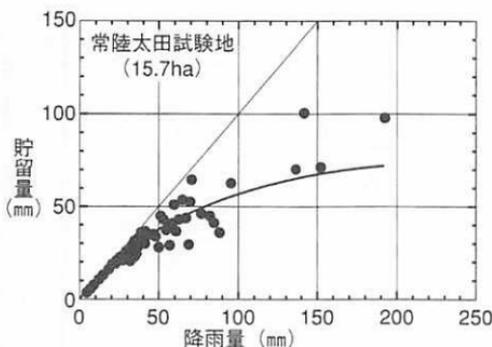
地表の草木を失った山々は、足尾特有の地形・地質・気象などによって加速度的に荒廃していききました。一八九七（明治三〇）年以降、政府の命令で銅山側も有害ガスの防止に努めましたと思うような成果を上げることができず、一九五六（昭和三一）年、有害ガスから硫酸を取り出す施設が完成するまでの長い期間にわたって広大な足尾の山地をむしばみつづけ、その被害を受けた面積は約二五九〇（む）（国有林約一六七〇（む）、民有林約九二〇（む））にも達しました。以上のことから荒廃の原因は、①銅の精錬により排出された亜硫酸ガス、②銅生産の増大に伴う大量の森林伐採、③村祭りの祭り火からの大山火事、④厳しい気象環境と脆弱は地質のため、などのさまざまな出来事が不幸にも同時代に重なったことです。

森林を失い土壌まで失った荒廃地の復旧は困難を極めるものでしたが、一九五六（昭和三一）年から本格的に開始された治山事業により、草も木もなかった山々に緑がよみがえりつつあります。（佐藤和久）

# 多からず少なからず

「森林の洪水軽減機能」は、古くから最もよく知られた生活基盤を守る森林の働きです。江戸時代の岡山藩士で陽明学者であり林政に功績のあつた熊沢蕃山は、著書の中で「草木の繁つた山では、これが水を含むから大雨による水も長い期間に繰り延べて流出されるようになり、洪水の発生は少なくなる」ということを述べています。このような先覚者たちの認識により、水林みずばやし、水野目林みずのめばやしなどの禁伐林が各地に設定され、それが現在の保安林に引き継がれています。

さて、この機能はどのような仕組みにより発揮されるのでしょうか。森林流域に降った雨は、ただちに河川に流出する成分（直接流出量）とひとまず流域に蓄えられる成分（貯留量）とに分けることができます。貯留量は、森林の樹冠層に蓄えられる遮断貯留量、浸透して土壌層に蓄えられる土壌水分貯留量、浸透せず地表面の凹地部分に蓄えられる窪地貯留量に分けられます。一般に山地流域では、大部分が傾斜地であるため窪地貯留量はきわめて少なく、そのうえ降雨量一〇〇<sup>mm</sup>以上の樹冠遮断率は五〜一〇％程度ですから、豪雨時の貯留量の多くは土壌水分貯留量ということになります。したがって、土壌層が厚くその上を堆積有機物層が被覆し、健全な森林生態系が維持されている流域では貯留量が多くなり、その結果として直接流出量（洪水量）が少なくなりります。



常陸太田森林水文試験地における貯留量の推定

それでは、森林流域は雨水をどれだけ貯留することができるのでしょうか。流域の最大貯留量は、さまざまな規模の降雨について横軸に降雨量、縦軸に貯留量をプロットして推定することができます。図は森林総合研究所の常陸太田森林水文試験地における解析結果で、この流域の最大貯留量は約 $100\text{mm}$ と推定されます。点のバラツキは、各降雨時における流域の乾湿状態を反映したもので、実線は流域の平均的な貯留量を示します。全国各地にある森林水文試験地の成果を整理すると、森林流域の最大貯留量は $100\sim 200\text{mm}$

(平均 $150\text{mm}$ 程度)の範囲に多く分布し、その値は流域の地形、土壌厚、森林植生により異なります。同様な方法により推定された土地利用別の平均貯留量は、市街地 $25\text{mm}$ 、水田 $50\text{mm}$ 、畑地 $75\text{mm}$ 程度です。森林の貯留量の大きさがよくわかります。山地流域では流域の大部分が森林であるため、貯留量 $100\text{mm}$ ということは、流域全体としては何千トンまたは何万トンもの雨水を土層中に一時的に貯留し、河川の急激な増水を防いでいるとことができます。

水源地帯の森林生態系を健全に維持管理することは、森林の洪水軽減機能の維持のみならず貯水池に流入する土砂量を軽減し、既設ダムの貯水量を確保するうえからも重要です。

(藤枝基久)

## 森林は大きなスポンジ？

何日も雨が降らないのに、森林のあるところでは川の水がなくならずに流れているのはなぜでしょう。その秘密は森林の土にあるのです。

この森林土壌の構造を詳しく見てみましょう。表面には落ち葉とそれが分解してできた腐葉や腐植の層があり、この層をA層といいます。その下で有機物を多く含む土の部分もA層、その下で有機物が少なくやや硬い部分をB層、さらにその下で岩石が風化しただけの部分をC層といい、それ以下を基岩といいます。

これらの土壌層の中は、落ち葉の隙間や小さな生き物があけた穴、根の腐ったあとなどがいっぱいあります。特にA層ではその体積の七〇％程度が隙間です。また、基岩は地表下数メートルの範囲にある、土壌の形成に密接な関係を持つ岩石（表層地質）のことですが、ここは長い間の造山運動の結果、亀裂が多く、火山が噴出したものが堆積したりして、隙間を持っていることが多いのです。この森林土壌と表層地質はまるで大きなスポンジのような状態になっています。

ですから、森林の土壌層は雨をたくさん吸い込んで蓄えておくことができるのです。蓄えられた水はゆっくりと時間をかけて少しずつ川に流れ出ます。川の水がなくならないのはこのためです。反対に、大雨のときに森林のある川の水量が急に増えることは少ないのですが、これも、森林のスポンジが雨を吸い込んで、



表層土壌の不均質性 (Sidle, 1980より)



森林は大きなスポンジだ

一時的にためて雨水がいつべんに川へ集まることを防いでいるからです。このように、一般にいわれている森林の水源かん養機能（川の流れを平準化する働き）の主役は土壤であって、森林はその土壤を生成している脇役であるといえましょう。したがって、森林の地上部分の植物だけを見て、流出量との因果関係を求めても的確な結論は導けません。森林は土壤を生成し、斜面に保持することによって、大きなスポンジとしての機能を保ちつづけているのです。

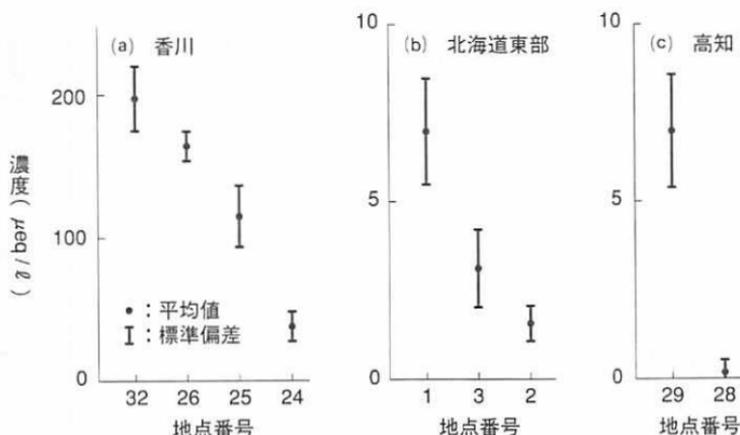
土壤が生成されるには、条件にもよりますがA層が一定発達するのに一〇年以上かかるといわれるほどの長期間を必要としています。ですから、現在ある森林の土壤が失われなようにすることが、森林の水源かん養機能を維持するうえで不可欠なことです。すなわち、森林土壤を保全するような森林の取扱いが重要なのです。

(志水俊夫)

## 清き流れに

これまで、日本の一般的な森林流域では、渓流水質が大きな社会的問題になることは少なく、その実態が必ずしも明確ではありませんでした。しかし近年、酸性雨や温暖化などの地球的規模の環境問題、ならびに森林伐採などの人為インパクトが渓流水質にも影響を与える可能性が指摘されていることから、日本各地の森林流域で渓流水質が調べられつつあります。その結果、いくつかの傾向が認められるようになってきました。おもな傾向としては、カルシウムやマグネシウムなどミネラル類の濃度はそれぞれの流域の地質条件に左右されること。海岸沿いや季節風の影響を強く受ける地域では、塩素やナトリウムなどの海塩由来成分の濃度が高いこと。pHは七を中心にプラス・マイナス一程度であること。さらに、植物の生育に不可欠ですが湖沼や河川の富栄養化物質の一つでもある窒素成分のうち硝酸態窒素は、気候や地質条件が同じであれば、天然林や老齢林より若齢林で濃度の低い傾向が見られることなどです。

図に香川県、北海道東部、高知県において、それぞれ隣接した森林流域で二年間にわたって渓流水の硝酸態窒素濃度を調べた結果を示しました。香川県の地点番号三二はアラカシ天然林、二六と二五は六〇年生スギ・ヒノキ林、二四は若いコナラ林です。北海道の地点番号一はミズナラ天然林、三はトドマツ天然林、二は一七年生カラマツ・トドマツ人工林です。高知県の地点番号二九は六一年生ヒノキ林、二八はヒノキ新植



隣接する森林流域における渓流水の硝酸態窒素濃度 (岩坪, 1996)  
 岩坪五郎編「森林生態学」(121ページ, 文永堂出版, 1996)

地です。ブナなどの天然林では渓流水質がよく、スギやヒノキの人工林では悪いのではないかと質問を受けることがあります。しかし、図から明らかのように、渓流水の硝酸態窒素濃度は、天然林や老齢林の流域より若く成長の旺盛な段階にある森林流域で低い傾向が認められます。これは、成長の旺盛な若い森林では、植物が吸収して固定する窒素量が老齢林や天然林より多く、流出する硝酸態窒素量が少ないためとみられています。

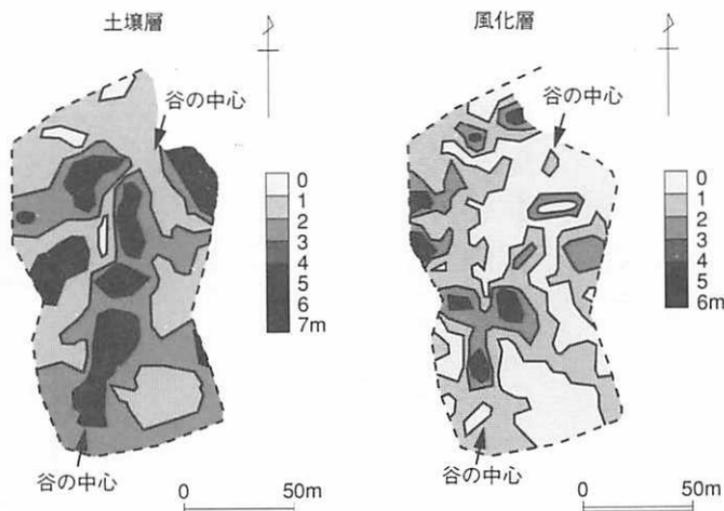
渓流水質は、森林生態系における水や各種物質の流入・移動循環・流出にかかわる物理的・化学的および生物的作用の総決算と位置づけられており、森林や森林を取り巻く環境の総合的な指標でもあります。安定した流量で清澄な水質の溪流を保全するためには、どのような森林管理が必要であるのか、各地で行われている調査結果の解析が待たれています。

(加藤止樹)

## 地下にあるダム

「緑のダム」という言葉を聞いたことのある人は多いと思います。森林は水をためる天然のダムのよう働きをする、という意味ですが、さて森林のどの部分に水がたまるのでしょうか。「緑のダム」ということで、樹木そのもの（幹や根）とか、落葉層に水がたまると考えられがちですが、樹木は水を消費することはあつてもためて出すことはなく、落葉層にもそれほど水はたまりません。水をたくさんためることができなのは地下の土壌層やその下の風化層（岩盤が長い年月の間にぼろぼろになったところ）なのです。

それでは森林の地下はどのくらい水をためることができるのでしょうか。これを計算するには、土壌層と風化層の厚さと、それぞれの水をためることができる隙間の量を測定する必要があります。森林総合研究所筑波森林水文試験地において、土壌層と風化層の厚さを測定した例を図に示します。土壌層は、谷の中心部付近で非常に厚く、六寸以上に達するところもあります。その地点の土壌を全部取り去ってしまった場合、二階建ての家がすっぽりと埋まってしまふくらいの厚さです。このふ厚い土壌層は、深い谷を埋める形で、現在みられる緩やかな谷を形成しています。斜面に降った雨は尾根から谷に向かって集まってくるので、ちよつどふ厚いスポンジの中に雨水が蓄えられるようなものです。谷の中心部付近は土壌層ばかりでなく風化層も厚いところが多くみられ、非常に水をためやすくなっていることがわかります。



筑波森林水文試験地における土壤層・風化層の厚さの分布

では、土壤層・風化層の中にはどのくらい水をためられる隙間が空いているのでしょうか。土壤中に空いている隙間は、全容積中六〜八割のことが多いのですが、そのうちの大部分は隙間が大きすぎてすぐに水が抜けてしまったり、逆に小さすぎていったん入った水が出てこれなくなったりするので、実際に一時的に水をためておくことができるのは、全容積の一割程度です。つまり、一割の土壤層があった場合には一〇分の水、言い換えれば一〇〇分の雨水をためることができます。

これに対し風化層は、容積の一割以上の水をためることができるところもあり、その保水機能は土壤層に匹敵することがわかりました。

このように森林の下には土壤層・風化層があり、「地下にあるダム」をつくっているのです。(大貫靖浩)

## 森は飲んでで汗かき？

森林からの水蒸気の流れ、すなわち蒸発散には三つのルートがあります。一つめは蒸散で、樹木が根から吸収した水分を幹を通して、葉面に無数に開いている気孔という微小な穴から大気中に放出するものです。

二つめは、雨の日に葉・幹・枝を濡らした雨水がそのまま蒸発するもので、この現象は遮断蒸発と呼ばれます。三つめは、林床の土壌や落葉層からの蒸発です。これらを合わせたものが森林の蒸発散で、わが国における蒸発散量の地理的分布は、図のように北海道から沖縄に向かって増加します。森林からの年蒸発散量はおおむね五〇〇〜一〇〇〇<sup>リ</sup>の範囲にあり、この量は、いつも水をたたえている湖面からの蒸発量に近似しています。また、年蒸発散量の年降水量に対する割合は平均的に見て四〇〜五〇%に相当するので、降水量のおよそ半分が蒸発散量として森林から大気中に再び戻ることになります。この割合は一般に高緯度地域や高標高地域では小さいのですが、瀬戸内沿岸のような温暖少雨地域ではその割合が七〇%にも達します。

林冠が閉鎖した森林では、夏期の晴天日に二〜三<sup>リ</sup>程度の蒸散量が観測されます。これを一ヘクタール当たりの水量に換算すると二〇〜三〇<sup>リ</sup>に相当し、一日にこれだけの水量が土壌から樹体を通して大気中に輸送されます。ただし、この量はほかの植物群落と大差がないようです。一方、遮断蒸発の割合は年間ベースで降水量の約二〇%にも及び、たとえば年降水量が一五〇〇<sup>リ</sup>の森林では年遮断蒸発量は三〇〇<sup>リ</sup>にもなり

ます。このように遮断蒸発が大きいのは、降水量と降水回数が多いこと、林冠の粗度すなわち凹凸が大きいこと、葉・幹・枝の表面積が大きいことなどに起因し、森林の蒸発散量がほかの植物群落より大きい主因となっています。



森林流域における年蒸発散量 (mm)  
近藤 (1994) に加筆

このように、森林からの蒸発散は蒸発面である葉・幹・枝の量とその空間配置に依存するので、近年、流域における水資源確保や渇水流量緩和のため、間伐や枝打ちなどの森林施業による蒸発量の抑制が検討されています。さらに、蒸発散は潜熱と呼ばれることからわかるように、水輸送と同時に熱輸送も担っているため、地域、地球規模での熱環境の形成とも密接に関係しています。

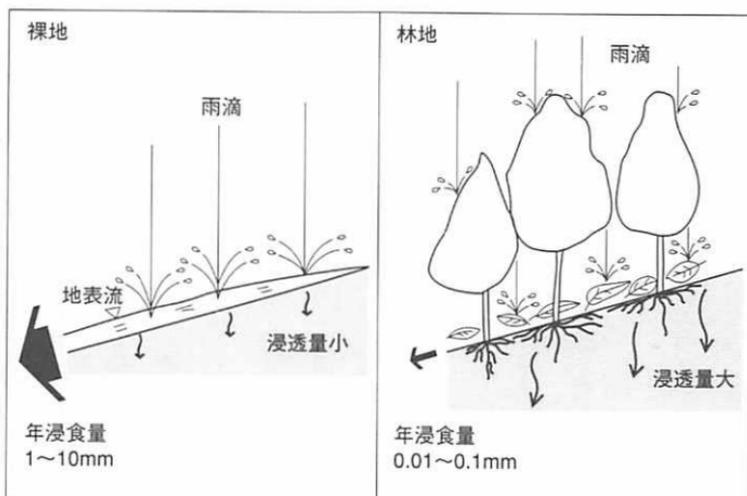
森林蒸発散は、木材生産、水循環、気象環境形成などさまざまな場面で主役クラスの役割を休むことなく演じつづけているのです。

(服部重昭)

## 緑は人類を救う

平成九年はわが国の保安林制度百周年でした。明治以来、たゆまない治山緑化の努力によって、かつてのはげ山には緑がよみがえり、今日では浸食はそれほど深刻な問題とはなっていないません。しかし、ひとたび世界に目を転じてみると、浸食問題は半乾燥地など多くの国々できわめて深刻な状況となっています。浸食による荒廃地化が、その国の住民の生活と経済の盛衰、ひいては世界的な食料問題にまで波及する状況となっているのです。このような浸食を防止するのに最も安価で永続的かつ効果的なのは、昔も今も植生回復です。では、植物はどのように浸食を防止しているのでしょうか。

植生の浸食防止機能は細かく見るとたくさんありますが、大きく分けると次の五つです。まず降雨浸食に対しては、①地上部や落葉層による雨滴エネルギー減殺、②茎や落葉層による地表流の流速減殺、③土壌の浸透性改善による地表流の流量減少、④根系の土粒子緊縛による掃流力減殺があげられます。また凍上融解浸食に対しては、⑤落葉層による保温があげられます。ただし、注意すべきいくつかの点があります。それは、①に関連して、樹高が高くなると葉に遮断された雨水は雨滴を大きくし再落下するので、林外の降雨より雨滴エネルギーが増加してしまうことです。この雨滴エネルギーを防止するのは下草と落ち葉です。下草や落ち葉は浸食防止のために重要な役割を果たしているのです。②についても、雨水による地表流の流速を



裸地と林地の浸食量の比較

弱めているのは落葉層ですから、伐採や林内放牧時などに地表をなるべく攪乱しないようにすることが大切です。③は②に比べて緑化してもなかなか急速には改善されません。このような土壌物理性の改善は一〇〇年のオーダーが必要です。いったん破壊された土壌を回復するのに、なんとたいへんな年月がかかることでしょう。

浸食に対して以上の①～⑤の機能が総合的に働くため、植生に覆われた斜面の浸食量は、裸地の一〇〇分の一から一〇〇〇分の一に抑えられます。木本緑化を行うと、活着し成長するまでの植栽当初はなかなか浸食量が減りませんが、ひとたび順調に成長を始めると、被度の回復と落葉・落枝の供給および土壌物理性の改善によって急速に浸食量が減少します。一応の目安として、一平方メートル当たり二〇〇gの落葉・落枝があると浸食はほとんどなくなりま

す。  
(北原 曜)

## 森は山崩れを防いだ

平成七年一月一七日午前五時四六分、三五〇万の人々が密集し、多様な都市機能の集中した阪神地域の直下でマグニチュード七・二の地震が発生しました。ビル・家屋・高速道路・鉄道などの倒壊、そして火災などで六〇〇〇人を超す死者を出し、都市直下型地震の恐ろしさを思い知らされたのです。しかし、地震災害の恐ろしさは都市にだけ存在するわけではなく、山間地域においては崩壊・地すべり・土石流などによる土砂災害が地域住民の生命、生活を脅かします。長野県西部地震の際には御獄山の山腹で崩壊が起こり、土石流となって下流の王滝村を襲いました。北海道南西地震では奥尻島で崩壊が起こり多数の人が亡くなりました。さらに時間をさかのほれば、伊豆大島近海地震・新潟地震・今市地震そして関東大震災でも土砂災害で大きな被害を出しています。

地震で発生する山崩れは表層型崩壊が多く、本震後の余震や降雨によって発生する場合が多いなどの特徴があるため、りっぱな森林が生育していれば、森林の崩壊防止機能によって山崩れの発生を防ぐことができるとはなりません。

関東大震災時の森林と山崩れの関係を丹沢山地を対象に調べてみると、「大正二年から一二年までの間にヒノキ・マツを植林した四六〇㍻のうち三〇〇㍻が崩壊、明治二〇年から大正六年までにスギ・ヒノキを植栽



関東大震災で荒廃した丹沢山塊

した六八九分のうち一五〇分が崩壊、モミ林が大半を占める大山町では崩壊地は散在している程度であるが隣接する浅間山の植栽地は被害甚大」などと記録されています。これらは地震による表層崩壊に対して、壮齢以上の森林があれば山崩れを防ぐ力があることを物語っています。また、関東大震災時の崩壊面積率を求

めると約一五%と異常に高い値が示されています。原因の一つは、御料林として厳しく管理されてきた丹沢の森林が明治後期からの民間への払い下げで、伐採が盛んに行われたことにあります。

これに対し、阪神・淡路大震災では六甲山地の南部地区で崩壊が多く、五一八か所で発生しましたが、崩壊面積率は〇・六五%でした。六甲山塊は昭和四〇年代まで度重なる豪雨により土砂災害が頻発し、山地は荒廃して直下の神戸・芦屋・西宮市では甚大な被害を受けてきました。このため、その後は精力的な治山事業が実行され、現在ではほぼ六甲山塊全域で荒廃地の復旧と森林整備が進んでおり、今回の直下型の地震でも崩壊面積率が低く抑えられた原因の一つとして、これらの整備された森林による崩壊防止機能の働きがあったと考えられています。

(阿部和時)

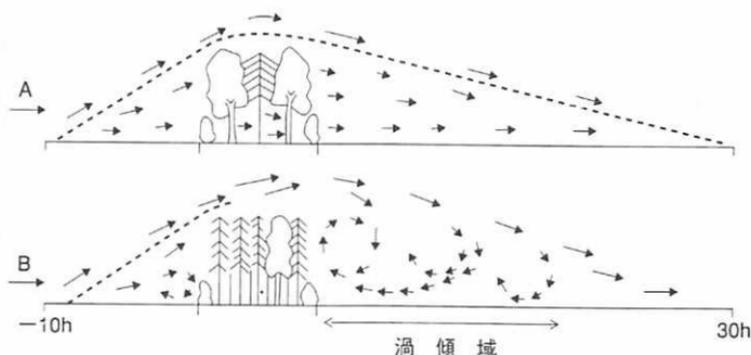
## 防風効果と通風の妙

農村地帯で畑を囲むように植栽されている樹林帯の風景を見ることがあります。これは、強い季節風から農作物を守ることを目的に仕立てられた防風林です。

風が林帯を通過するとき、ある部分は林内を通り抜けますが、ほかは上方にそらされ、林の上を越えることとなります。林帯の上を越えた風は、しだいに風下側に下降し、林内を通り抜けた風の渦と混合していきます。そのため、林帯の風下側を離れるにつれて、風は元の風速に戻ります。

林帯が風を弱める働きは、林帯の幹、枝、葉が林帯全体の空間の中でどれだけの割合を占めているかによって左右されます。その割合の表し方の一つが密閉度で、隙間のないコンクリート塀は密閉度が一〇〇%です。林帯の密閉度が高く、過密になると風下側の最低風速は小さくなりますが、風下側の乱流域に大きな渦領域ができ、元の風速に戻るのも早くなり、減風領域が狭くなります。比較的弱い風の領域を広くとりたい場合には密閉度を六〇%程度にすると最適になり、おおむね風上側で樹高の五倍、風下側では樹高の二〇〜三五倍にまで減風域が及びます。また、林帯幅がある限度を超えて広くなると、通風性が低下し、減風領域は狭くなります。

このように林帯が風を通過させる割合によって減風領域は微妙に変化します。



最適密度の林帯(A)と過密な林帯(B)付近の風の流れ (樫山, 1967)

防風林は風速を弱めることにより、農作物や果樹などの機械的損傷や生理的生育障害を軽減します。また、養分の多い表層土壌の飛散を防いで、地力の低下を抑えます。防風林は風を弱めることに関連して温度や蒸発量などにも影響を及ぼします。

防風林による風速の減少は、地表近くの空気層の熱の交換を少なくするので、気温や地温を高めます。しかし、日陰になるところでは、地温がかえって低くなります。また、地面からの水分の蒸発量に対して、防風林は、一般に風の強いときには風速の低下が蒸発量の減少につながりますが、風が弱く気温、地温が非常に高い場合は林帯付近の蒸発量が増加することがあります。

防風林はプラスの効果ばかりでなく、守るべき耕作地の一部が日陰になること、風通しが悪くなり虫害が多いこと、根張りがして作物に害を与えるなどのマイナスの意見もあります。しかし、一九九三年の冷害年に防風林が水稲の稔実歩合に効果を発揮した事例が報告されています。今後、大事に維持管理していきたいものです。(河合英二)

# 世界遺産を守る “雪持ち林”

合掌造りの里として、また平家落人の里として有名な岐阜県白川郷と富山県五箇山は、わが国有数の豪雪地帯として知られています。庄川上流の急峻な谷間にあり、両側を一五〇〇メートル級の山々に挟まれたこれらの集落は、冬ともなれば平年でも二メートル、多い年には四メートルを超す雪に埋もれます。美しい急勾配の茅葺き屋根と多層構造の壮大な合掌造りの民家は、このような雪国に適応し発達してきたもので、一九九五年に世界遺産に指定されています。

ところで、これらの民家と集落が、雪持ち林と呼ばれるなだれ防止林によって守られ、雪持ち林も含めて世界遺産に指定されていることはあまり知られていないようです。豪雪地の急峻な谷間で生活する人々にとって、突発的な災害をもたらすなだれはこのうえもない脅威です。このため、少なくとも江戸中期から、集落後の森林を雪持ち林として、その伐採をかたく禁じてきたのです。

枯木や風倒木が発生し、林内に空き地ができた場合には「ほり」と呼ばれる階段工が施されました。どうしても伐採が必要な場合には根元からかなり高いところで樹木を伐る頭坊木という技法がとられることもありましたが。森林のなだれ防止機能をできるだけ損なわない取り扱いがなされてきたのです。集落を守るためとはいえ、長い年月の間、雪持ち林として維持するためには並々ならぬ努力が必要であったと考えられます。



雪持ち林の分布 (新藤正夫, 1987より)

現在、これらの林はブナ、トチ、ミズナラ、ケヤキ、カツラなどの大木が茂るりっぱな林となり、雪持ち林としての役割にとどまらず、村の貴重な景観として、また自然観察の場として利用されています。

森林はその幹や枝によって滑り落ちようとする雪を支え、なだれの発生を防止するだけでなく、林内の気象を緩和し、表層なだれの発生要因となる弱い雪の層の形成を防ぐ効果を持っています。また、降ってきた雪は枝や葉にいったん積もってから落下するため、林内の雪は比較的丈夫で安定したものとなります。森林がこのようななだれ防止効果を発揮するためには、傾斜四〇度の斜面の場合、直径一〇センチの樹木が一ヘクタール当たり約四〇〇本(立木間隔に換算すると約五畝)必要であるといわれています。

(遠藤八十二)

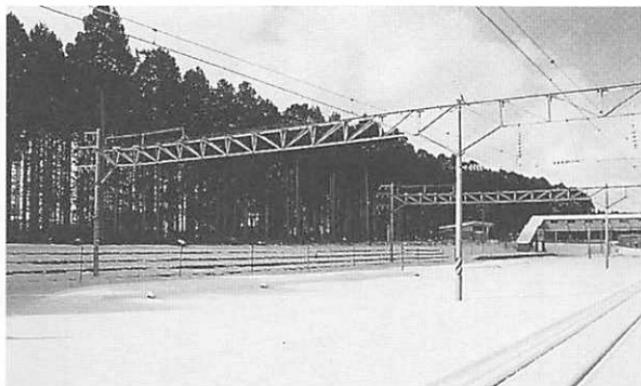
## “白い闇” 地吹雪を防ぐ

地吹雪の荒れ狂うなかを、自動車を運転したことがあるでしょうか。車の直前からまったくの白一色で視界はきかず、徐行しながらも何かが不意に現れて衝突するのではないか、という緊張と恐怖は暗闇の場合とは異なる独特のものがあります。やがて地吹雪が薄れて、やれやれ助かったと思った道路脇には黒々とした林が。防雪林のありがたさをしみじみと感じるときです。

地表に降った雪が、風によって移動する現象を地吹雪といいます。降雪中には地吹雪の雪粒とともに、降ってくる雪粒も一緒に風に飛ばされ、このような場合を吹雪といいます。風が強いと地吹雪の雪粒も、降ってくる雪粒も区別がつかなくなりませんが、地吹雪として運ばれる雪の量は、降ってくる雪の量の一〇〇倍にもなるのです。だから、吹雪と呼ばれる現象の主体は、地吹雪であると見なすことができます。

地吹雪は、マイナス五℃以下の気温で、かつ降雪直後の雪面で雪粒相互の結合がごく弱い場合には、一割の高さで四〜五割/秒以上の風速のとき発生します。風速一五割/秒程度の猛吹雪の場合には、飛ぶ雪粒の九割以上が雪面から二〇〜三〇センチの範囲を移動します。このようなわけで高さ三割ほどの針葉樹林でも、その周辺に吹きだまりをつくるので堆雪効果は大きいのです。

吹雪や地吹雪は、冬には強い季節風が吹き荒れる雪国に住む人々にとって、古くから自然の災厄の一つで



JR 東北本線野辺地駅構内にある日本最初の防雪林

した。日本で防雪林が初めてつくられたのは、東北本線水沢―小湊間の三八か所で、明治二六年のことでした。植栽された林帯は、一〇年も経たないうちに防雪効果を発揮しはじめたことから高く評価され、地吹雪

に悩まされているほかの地方に、防雪柵や雪覆いに代わり普及していったのです。防雪林用の樹種は、北海道ではトドマツ・ドイツウヒ・カラマツ、本州ではスギ・カラマツ・ドイツトウヒ・ヒノキ・アカマツ・ケヤキが多く用いられました。

JR 東北本線野辺地駅西側にあるスギ林は日本最初の、今に残る代表的な防雪林で、延長四〇〇㍎、幅五〇㍎、およそ一㍎の面積に生立する樹高二〇㍎の美林は鉄道記念物に指定されております。ここでは、東京の音楽家によるジャズコンサートが毎年三月に開催され、地域振興にひと役かっていたり、札幌の隣接都市、江別にある鉄道防雪林は環境緑地保護地区として指定されております。

このように、防雪林はこれからも各地で防災機能を果たすだけでなく、環境保全やレクリエーションの場としても活用されていくことでしよう。

(工藤哲也)

## 雪山は森林とともに

北海道から東北・北陸地方にかけての多雪山地では、積雪の移動に伴って発生した表層崩壊地が各所に見られます。このように積雪の移動によって崩壊や浸食が発生する現象は雪食せしよくと呼ばれ、それらの多くは、森林の伐採や山火事などを誘因としています。

では、こうした崩壊はどのようにして起こるのでしょうか。多雪山地の森林が失われると、斜面に積もった雪はとても不安定となり、なだれの常習地となる場合もあります。この不安定になった積雪が土壌とともに滑ったり、切り株を押しひっくり返したり、生えてきた低木や植栽された木々を引き抜いたりして、その跡が小さな崩壊地となるのです。このようなことが毎年繰り返されると、崩壊地の数が増え規模も拡大して、写真上のように元のような森林への回復がとて望めない状況になってしまいます。

それでは、ひとたび森林が失われ崩壊地となってしまった斜面に、森林を復活させるにはどうしたらよいのでしょうか。今のところ、斜面に大きな階段をつくって積雪の移動を食い止め、土壌を安定させて場合によっては客土をし、苗木を植えたり種をまいたりして、それらが成長してくれるのを待つほかありません(写真下)。それでも、順調にいつて一〇〇年以上の期間がかかるかと思つと、ついつい「最初から木を伐らなければよかつたんじゃないか」と考えてしまいます。



雪食によって、斜面全体に拡大した表層崩壊地



山腹緑化工事が行われたあとの上の写真と同じ斜面

低温多雪といった厳しい環境の下で成立した森林は、地形や土壌・気象などの条件と微妙なバランスを保ちつつ、長い年月の間維持されてきたものです。そのため、皆伐や一斉造林といった大きな植生条件（地表条件）の改変が、そのバランスを壊す結果となったのでしよう。つまり、雪食が起こってしまったような多雪山地では、木材を収穫するための森林の伐採は、それとともに積雪や土壌の安定を保ち、次世代の森林が育つ環境を維持するという、森林が持つ重要な機能をも切り取ってしまったことになります。

こうしたことから、私たちがもう少し賢くなって、森林が雪山の環境を守るために果たしている役割を十分理解し、私たち人間を含めた生物の生存環境に最も大きな恩恵がもたらされるような、共存の道を切り開いていく必要があるようです。

（相浦英春）

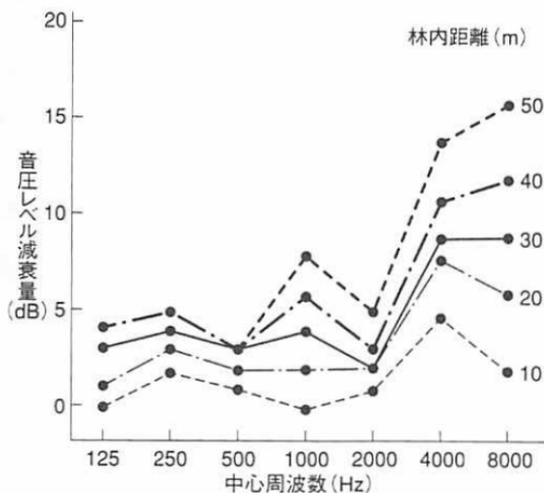
## 静かさを演出する森の音

都会の喧噪の中で生活している人々は、騒がしい市街地から大きな樹林帯に入るにしたがって静かになることを、経験的に知っています。これは、音源から遠ざかるにしたがって音が自然に減衰していくことと、樹林による音の屈折や吸音効果により、音が小さくなっていくことの二つの効果によるものです。森林は騒音のレベルを小さくする効果のほかに、気象緩和効果や心理的效果によって情緒を安定させたり、森林内に発生する虫や鳥の声、小川のせせらぎや葉音などの自然界の音で、騒音を覆い隠して不快感を和らげる効果もあります。仕事場の騒音を「B・G・M」によって覆い、作業能率を上げる試みに似ています。

騒音は、「望ましくない音」「なければよいなと思う音」と定義されますが、私たちの生活の周辺にある騒音はさまざまです。ある統計によると日本人の三分の一は騒音に悩まされていますが、私たちの生活の周辺にある騒音は、一般に外部からの刺激量の対数値に比例することから、音の強さの単位として音圧の対数値で表すデシベル(dB)が用いられます。乗用車の音は七〇〜八〇dBで、話し声は六〇dB前後です。

林分構造は森林の防音効果に影響を及ぼす大きな因子です。本数密度が高く、枝下高が低い林分ほど幹・枝・葉による音の散乱効果が大きくなり、林床の柔らかい表土も吸音効果が大きいと認められています。

森林による減衰量は一般に低周波では小さく、一〇〇〇〜三〇〇〇Hz以上では周波数が高くなるほど減衰



森林による音圧レベル減衰量

量が高くなる傾向があります。森林による騒音減衰量は幅二〇メートル当たり四〜一〇dB程度です。防音のために林帯を造成するには防音壁などの工物物に比べ、はるかに広い土地が必要です。しかし、樹林帯は多くの公益的機能をあわせ持ち、防災緑地として活用できる効果もあります。

音にはいろいろな周波数の音が含まれていますが、各周波数ごとの音のエネルギーが周波数の逆数に比例している雑音を「 $1/f$ 雑音」と呼んでいます。「 $1/f$ 雑音のゆらぎ」はかなり心地よい感じがすることがわかっています。森林内では小川のせせらぎをはじめ、いろいろな音が「 $1/f$ ゆらぎ」の性質を持つていることが知られてきました。人間の感情を制御する脳電流が絶えず「 $1/f$ 雑音」を発生していることが、「 $1/f$ ゆらぎ」を持つ音楽を、快いと感じる要因の一つと考えられています。森林の騒音防止機能は、音源から距離をおいて人工的な不快な音をある程度小さくし、森林内の環境が気分を落ちつかせ、さらに心地よい自然音でリラックスさせる効果をあわせ持っているといえます。

(河合英二)

## 落石注意！

斜面に静止していた岩石が豪雨や地震など、なんらかの誘因で移動落下する落石現象は、道路・鉄道などの交通機関関係者にとって安全確保上重要な課題で、これまでいろいろな保全対策が立てられ実施されてきています。

傾斜が急な林地を所管する林業関係機関にとっても、落石対策は国土保全上重要な課題に変わりありません。落石は、山地崩壊や土石流などに比較してその分量が小規模といわれますが、破壊力が大きく、再発することも多く、危険な現象といえます。これまで林業関係分野では森林法に基づき、落石防止保安林の指定制度を活用して、防災空間の確保など、ソフトな手法と構造物などによるハードな防止工法を組み合わせた保全対策を実施しています。平成八年三月現在、落石防止保安林は全国で一七七一ヶ所が専用指定され、このほか、他の保安林と兼ねて指定されているものもあわせて維持管理されています。

森林が落石防止に有効に作用していると考えられる点は以下のとおりです。①樹冠や根系、落葉・落枝などの林床堆積物によって雨水による表面侵食を抑制し、侵食による落石発生を防ぐ。②樹木根系網が風化土層、岩礫層を緊縛し、落石発生を抑制する。③発生した落石を樹幹衝突の繰り返しや折損によって衝撃を吸収し、落下エネルギーを減殺して方向を変換させたり停止させたりする。



樹木による落石の落下抑止例

現地斜面での落石実験により、植生斜面は摩擦抵抗が大きく、植生の形態が大きいものほど落下速度の減速効果が大きいこと、落石は発生急斜面から下部の緩斜面に入るとスピードを減じますが、その程度は下部斜面の傾斜角、土質、植被状態によって異なることなどがわかりました。なお、斜面を落下する落石の飛跳垂直高さは、現地実験や落石斜面の生育樹木の落石擦過痕高きの測定結果により、ほぼ二倍以下といえることから、落石防止林の造成や対策工などの設計の目安となる数値と考えてもよさそうです。

落石による衝撃力はきわめて大きいこと、また、斜面の地被状態によって衝撃力の減殺効果に差があること、そして立木の衝撃吸収能力に樹種間差があり、それはヤング係数に比例する傾向を示すことが実験的に明らかにされ、落石防止林の樹種選択の参考になると思われます。したがって、森林を落石防止対策に活用することは合理的で、人為的にコントロール可能なうえに、長期間効果が期待されることから積極的に保全空間として配備し、補完対策としての土木的施設と合わせて総合的に管理することが望まれます。

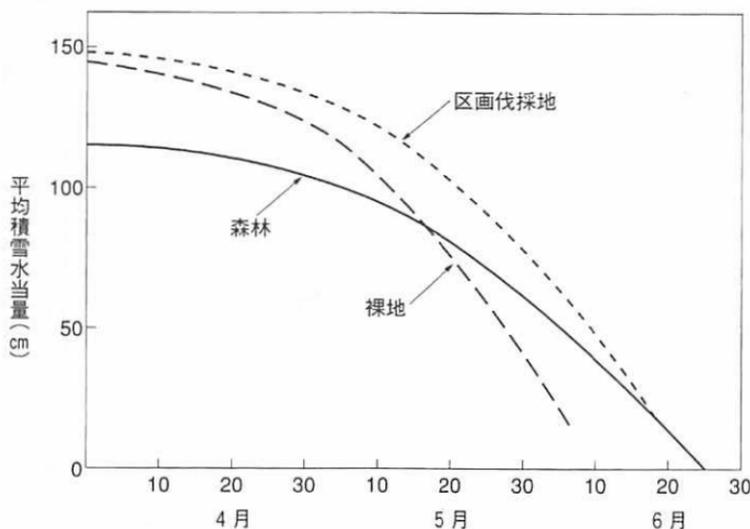
(真島征夫)

## 雪は自然の貯水ダム

わが国の年降水量はおおよそ一七五〇<sup>ミ</sup>と比較的多いのですが、降水には季節的な偏りがあり、空梅雨のときにはしばしば渇水問題が起こります。このため、集水地における水資源として、春先から初夏にかけての雪解けの水をできるだけ長く利用しようとする考え方は以前からありましたが、最近の水資源問題に関連していつそう重視されるようになりました。特に水源山地の森林地帯では、森林の取扱いにより積雪・融雪を変化させて融雪期の流出水を調節し、雪を水資源としてより有効に利用する方法が検討されています。

樹木が積雪・融雪に及ぼす影響のうち、水の利用に好都合な影響としては、雪を太陽と風から保護し雪が解けるのを遅らせることであり、不都合な影響としては、枝葉が雪を受け止めるため、樹冠に積もった雪が地表に達することなくほとんど蒸発してしまふことです。

森林内外の雪の積もり方を見ると、樹冠の密なスギ壮齡林では林外より一〇〜五〇%積雪深が少なく、落葉広葉樹では約一〇%程度多くなることがあり、林孔（林内の伐開地）のある森林では約二〇%増加するところが知られています。その場合、多くの雪を堆積させるのに最も効果的な林孔あるいは帯状伐採地の大きさは、周囲の林木の高さ（樹高）の二〜五倍程度の広さ（幅）が必要であるといわれています。すなわち、林内の積雪は林型、樹種、密度などの林分構造によって左右され、林外とは違った積もり方をするのです。



平均積雪水当量の経時変化 (Anderson, 1956)

また、林内は林外に比べて日射量が少なく、気温は極端に上下せず、温度較差が小さいので、林内の積雪の密度などに影響し、林外と比べて融雪が遅くなる傾向があります。融雪期における積雪深の変化を水量に換算した値として示した結果から、森林の取扱いによる融雪の違いをしてみると、伐採した林内の細長い土地と日陰のない裸地における当初の積雪水当量はほぼ同じですが、森林内はそれと比較して二八<sup>mm</sup>程度水量が少ないことがわかります。さらに裸地で雪が全部消えたとき、森林内ではまだ四〇<sup>mm</sup>の水量が、区画伐採地では五〇<sup>mm</sup>の水量が残っていて融雪が遅延しています。

これらのことは、森林施業により積雪・融雪を変化させて、雪を水資源として有効に利用できることを示しているといえます。すなわち「雪は自然の貯水ダム」となるのです。

(志水俊夫)

## 森はワシが守る

人間では「健全なる精神は健全なる肉体に宿る」といわれます。これを森林についていえば「森林の健全なる機能は健全なる森林に宿る」と置き換えることができます。

森林の持続的生産力や水土保全能力を高く維持するには、生物や無機物をあわせた森林生態系の循環が健全でなければなりません。生物で見れば、多種多様な種類がいくつもの食物連鎖を構成し、病虫獣害が発生しにくい森林を形成している姿が望ましいのです。

きれいな声でさえずる野鳥や、勇猛なワシタカ類、あるいは美しい昆虫が多くすむ林は、人間の保健休養にとっても大きな価値があります。植物がたんに存在するだけでなく、そこに無数の動物、菌類などが共生して生息することが、人間の生活にとっても有形、無形の価値を生ずることになります。つまり、生物多様性の豊かな森林に価値があるのです。多くの昆虫は花粉を媒介し、また鳥獣は種子を遠くに散布することで、森林の遷移、成立に役立っています。ワシタカ類やフクロウ類などの猛禽類は、農林業に有害な野ネズミ、ノウサギなどを大量に捕食し、被害を防いでくれます。一つがいのイヌワシが生息することで一二〇〇畝もの造林地の被害を防ぐという試算もあります。

ワシタカ類は、近年自然保護の象徴として各種の開発事業地で話題となっており、希少なワシやタカがい



空の王者イヌワシ

ることで開発を中止した例も多いのです。ワシタカ類は捕食者として生態系の頂点に立つ鳥類であり、その種を保護することが生態系の健全性の維持に貢献するものと見なされています。

まさしくワシが森林を守っているのです。特に、都市近郊林ではオオタカが生息することで、残り少ない森林緑地が守られた例が多くなっています。

しかし、ワシタカ類を守るといことは、自然林だけを守っていればよいということではありません。マツ林に多く営巣するオオタカやクマタカでは、近年マツクイムシ被害の進展でマツが枯れたため、スギ人工林に営巣する例が多くなっています。天然記念物のイヌワシがカラマツ人工林に営巣する例も最近、東北で見られました。そして、彼らは、自然林内に限らず伐採地や若い造林地、あるいは林道沿いなどでよく餌を捕まえます。うっぺいした暗い林では餌動物も少なく、大きなワシタカ類が林に飛び込むこともできませんが、手入れがゆきとどき混入植生が豊富な林では、餌動物も多いためワシタカ類が利用できます。つまり、健全な森林づくりとその持続的活用が生物多様性を高め、ひいてはワシタカ類との共存を可能にするのです。

(由井止敏)

## 環境との調和を目指して

森林にめぐまれた日本では、健全な森林をつくり育てることによって、森林の持つ国土を保全する機能や水資源をかん養する機能を活かそうとする治山事業が行われています。森林は、こうした多様な機能を持ちますが、豪雨により森林の中に崩壊地が発生することを覚えてもらうように、その機能には限界があることも事実です。治山事業においては、それを補完するために、斜面の崩壊を防ぐよう、壁や溪流の土砂移動を防ぐダムなどの土木構造物を組み合わせて用いられています。

このように、治山事業は、その使命からすると森林環境の保全事業そのものであるといえます。そのため、土木構造物の工事における森林環境への影響は一時的なものであるとの認識もあって、かつては環境保全への意識的な取り組みはなされていませんでした。しかし、経済の発展とともに、より豊かでより美しい環境への要望が高まっており、森林生態系・森林景観の保全への努力が払われつつあります。

森林生態系の保全においては、その影響を回避・軽減するために、従来は伐採されていた樹木を保護したり、魚の遡上を可能にする魚道をつくらせたりしています。また、失われた環境の復元や創出を行うために、生息していた動植物の生育環境をつくったり、移植による植生の再生などが行われています。

森林景観の保全においては、周囲の森林に対して土木構造物を目立たなくさせるために、構造物を植生に



見せる構造物として設計されたダム 樹木の保護を考えた流路

よって隠したり、石材などの自然材料を使ったりすることが行われています。特に、コンクリート構造物の白く平滑な壁面は、周囲の森林から浮き上がって見えやすく違和感を与えるので、着色料を入れて暗い色にしたり、表面の模様によって表情をつけたりしていますが、逆に、構造物を隠すのではなく、構造物の美しさを見せようとする試みも始められました。

近年は、リオデジャネイロで開催された地球サミットを契機として、地球規模の環境問題に対する関心が高まってきています。これからは、治山事業を行っている地域の環境を保全するだけでなく、工事における産業廃棄物の削減・省エネルギー・省資源による環境負荷の軽減や、地球温暖化防止の観点から二酸化炭素の吸収源となる森林の整備などを進めて、地球環境にも配慮した治山事業を展開していくことが求められています。

(櫻井正明)

# 急がばまわれ

法面は、緑豊かな自然の山腹を切り取るによりつくり出される人工的な斜面です。これにより森林の中に直線的・幾何学的に断続した空間が造成されることとなり、自然景観・森林の連続性が傷つけられ、失われることとなり、視覚的な違和感を生じさせることとなります。

近ごろはこのような景観・環境面の問題が指摘され、法面保護は浸食・風化防止という機能のみならず、元の自然植生を早急に回復するという質的向上が求められています。景観面だけではなく、そこにもともと住んでいた動植物の生息空間を復元し生物多様性を保つ、といった自然保護的な観点からも自然植生の回復が求められているものです。

このような法面に対する自然回復の試みとして硬質切土法面へ樹林化を行う法面緑化工法的一端を紹介しましょう。

法面に対する木本類の導入技術は、播種によるものと苗木の導入によるものに大別されます。

木本類の種子は、発芽が不均一で初期成長が遅いという性質があり、施工初期に草本類に被圧されやすいものです。したがって、播種により木本類の導入を図るためには、草本類の播種量を控えめとし、木本類の種子が発芽・定着し草本類の被圧を免れるまで成長する間の数年間、急勾配の法面上に植物生育基盤を安定

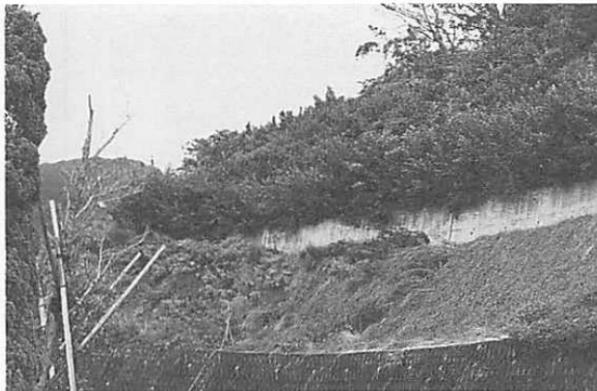
状態に保つことが重要となります。このため、木本類の導入には、耐浸食性にすぐれる有機質系厚層基材吹付工を用いることが一般です。

現在、種子から導入可能な木本類の種類は少ないのですが、根系の発達した木本群落を造成できることがその特徴といえます。

苗木による法面の樹林化は「置苗吹付工」によることが一般です。置苗吹付工とは、地山に根鉢を直接置き、厚層基材吹付工により根鉢を締固めるように植物生育基盤を造成し苗木を固定・導入する方法です。一般の植栽で行われるように植穴を掘って植栽することは硬質法面では困難なためにこのような方法を用います。播種による場合に比較して、多様な種類を導入できることが特徴です。

法面の樹林化は、草本類の導入による「急速緑化工法」に比較し、法面を緑化・被覆するまでに数年間を要するために「遅速緑化工法」と称されますが、樹林状の景観造成は植生の遷移に頼る急速緑化に比べて早期に行うことができ、自然の回復をより速やかに行うことができます。

(中野裕司)



苗木による樹林化

## 緑の防火壁

樹木や樹林の持つ重要な効用の一つに防火機能があります。春先や真夏の異常乾燥時には山火事がときどき報道されますが、これはあくまで特殊な条件下での現象です。

水分を含む生の樹木は、通常、防火におおいに役立つのです。一般的に、樹木の葉の耐火限界放射熱量は一万二〇〇 $\frac{\text{cal}}{\text{cm}^2}$  /  $\text{m}^2 \cdot \text{h}$  (一平方メートル当たり一時間に受ける熱量) と考えておけば安全であるとされています。この放射熱量よりも弱い放射熱の場合、いくら継続して放射熱を加えても発火しません。

これに対して、製材した木片の平均的な耐火限界放射熱量は、およそ四〇〇 $\frac{\text{cal}}{\text{cm}^2}$  /  $\text{m}^2 \cdot \text{h}$  とされています。生の葉の耐火限界放射熱量よりはるかに小さいのです。

また、人間が耐えられる放射熱量はさらに小さく、二〇五 $\frac{\text{cal}}{\text{cm}^2}$  /  $\text{m}^2 \cdot \text{h}$  とされています。ちなみに、真夏の快晴日の日中の最大日射熱量がおよそ七五〇 $\frac{\text{cal}}{\text{cm}^2}$  /  $\text{m}^2 \cdot \text{h}$  です。

実際の樹木の場合、表面の葉が放射熱や炎にさらされても、表面の葉が放射熱をさえぎり、その奥の葉には放射熱がすべては届きません。表面の葉や枝が耐火限界放射熱量を超える放射熱にさらされた場合でも、最終的には燃えて灰になるとしても、それまで時間稼ぎをしてくれ、うまくいけば燃え落ちないで焦げた状態で残り、後ろの葉にかかる放射熱を軽減してくれます。



神戸市須磨区の大国公園 (0.17 ha)



神戸市灘区篠原南町2丁目の木造家屋

樹木と火災面との距離が短い場合には、樹木が強い輻射熱を受け、早く燃えて防火の役に立たないことが十分に考えられます。しかし、このような場合でも、樹木に水をかけつづければ、葉や枝や幹が輻射熱を遮蔽しつづけてくれます。もともと、宅地規模が小さいと、庭の樹木を大きく育てて防火に役立てるのはなかなか容易なことではありませんが。

平成七年一月一七日の阪神・淡路大震災は、甚大な災害をもたらしました。約九万二〇〇〇棟の家屋が全壊して尊い人命が失われ鉄道や道路も寸断し、さらに、六六鈴に及ぶ市街地が火災で焼け、人命被害が増大しました。このなかで、クスノキの高木が周囲に配置された大国公園が焼け止まり線となり(写真上)、また、北側の道路以外の三方が焼け落ちたなかで庭に高木が植えられた木造家屋が樹木に守られたかのように燃えずに残っていました(写真下)。

(野島義照)

編集委員・執筆者一覽（五十音順）

編集委員

- 阿部 和時 森林總研森林環境部山地防災研究室長  
加藤 正樹 森林總研森林環境部土壤物理研究室長  
藤枝 基久 森林總研森林環境部水流出管理研究室長  
松本 陽介 森林總研森林環境部環境生理研究室長

執筆者

- 相浦 英春 富山県林業技術センター・林業試験場主任研究員  
浅沼 晟吾 森林總研東北支所育林部長  
阿部 和時 森林總研森林環境部山地防災研究室長  
井鷲 裕司 森林總研関西支所造林研究室主任研究員  
石塚 和裕 森林總研企画調整部企画科長  
石塚 成宏 森林總研北海道支所土壤研究室  
石田 健 東京大学農学部附屬演習林講師  
上村 章 森林總研森林環境部環境生理研究室  
遠藤 八十一 森林總研十日町試験地主任研究員  
大河内 勇 森林總研森林生物部昆虫管理研究室長  
大谷 義一 森林總研森林環境部氣象研究室主任研究員  
大貫 靖浩 森林總研九州支所土壤研究室主任研究員  
岡田 直紀 森林總研木材利用部材質研究室主任研究員  
岡野 通明 森林總研森林環境部森林災害研究室主任研究員  
小川 正 秋田県林務部林政課課長補佐  
奥田 敏統 国立環境研究所地球環境研究グループ総合研究員

角張	嘉孝	靜岡大学農学部森林資源科学科教授
梶	幹男	東京大学農学部附属北海道演習林教授
梶本	卓也	森林総研東北支所多雪地帯林業研究室主任研究官
加藤	正樹	森林総研森林環境部土壌物理研究室長
金指	達郎	森林総研森林環境部種生生態研究室主任研究官
加茂	皓一	森林総研森林環境部種生生態研究室長
河合	英二	森林総研森林環境部防災林研究室長
河原	義彦	東海ハルフ株式会社総務人事情部部長代理
河室	公康	森林総研森林環境部地質研究室長
北原	曜	森林総研森林環境部治山研究室長
木村	勝彦	福島大学教育学部理科教育講座助教授
工藤	哲也	森林総研森林環境部防災科長
熊崎	実	筑波大学農林学系教授
小金澤	正昭	宇部宮大学農学部附属演習林助教授
後藤	義明	森林総研関西支所防災研究室長
斉藤	昌宏	森林総研北海道支所育林部長
阪田	匡司	森林総研森林環境部土壌化学研究室
櫻井	正明	林業土木コンサルタンツ前橋支所治山課課長補佐
佐藤	和久	森林総研企画調整部海外研究情報調査科長
佐藤	明	前橋営林局大間々営林署治山課長
重永	英年	森林総研森林環境部養分動態研究室
志水	俊夫	森林総研森林環境部水資源保全研究室長
鈴木	誠	東京大学農学部附属千葉演習林文部教官
埜田	宏	森林総研森林環境部植物生態科長
高橋	正通	森林総研森林環境部土壌化学研究室長
高原	光	京部府立大学農学部附属演習林助教授
田中	信行	森林総研生産技術部更新機構研究室長
谷本	丈夫	宇部宮大学農学部森林科学科教授
田内	裕之	森林総研北海道支所造林研究室長
田淵	隆一	森林総研四国支所造林研究室長
塚本	次郎	高知大学農学部附属演習林助教授
津村	義彦	森林総研生物機能開発部遺伝子分析研究室長
鳥居	厚志	森林総研関西支所土壌研究室主任研究官
内木	篤志	岐阜県加子母村森林組合参事
中川	重年	神奈川県森林研究所専門研究員
中田	誠	新潟大学農学部生産環境科学科助教授
中野	裕司	ライト工業株式会社技術開発部環境緑化部課長
野島	義照	財団法人都市緑化技術開発機構企画部長
能城	修一	森林総研木材利用部組織研究室長
橋岡	伸守	林業土木コンサルタンツ青森支所長
島山	剛	山村研究室
服部	重昭	名古屋大学農学部資源生物環境学助教授
林	信一	社団法人日本林業技術協会主任研究員
檀間	道夫	前気象庁観測部長
平井	敬三	森林総研森林環境部土壌化学研究室主任研究官
深町	加津枝	森林総研関西支所風致林管理研究室
藤本	基久	森林総研森林環境部水流出管理研究室長
藤本	潔	森林総研森林環境部立地評価研究室主任研究官

古池 末之  
真島 征夫  
松浦陽次郎  
松田 昭美  
松本 陽介  
丸山 温  
宮川 清  
森 茂太  
森貞 和仁

兵庫県林業種苗協同組合専務理事  
森林総研森林環境部水上保全科長  
森林総研北海道支所土壌研究室主任研究官  
鳥取女子短期大学学長  
森林総研森林環境部環境生理研究室長  
森林総研北海道支所樹木生理研究室長  
元森林総研森林環境部主任研究官  
森林総研東北支所育林技術研究室長  
森林総研森林環境部立地評価研究室長

柳井 清治  
矢幡 久  
山下 直子  
山田 文雄  
山本 進一  
由井 正敏  
吉崎 真司  
吉丸 博志

北海道立林業試験場流域保全科長  
九州大学熱帯農林業センタール長・教授  
森林総研生産技術部更新機構研究室  
森林総研森林生物部鳥獣生態研究室長  
名古屋大学農学部資源生物環境学科教授  
岩手県立大学総合政策学部教授  
株環境アセスメントセンター環境調査部長  
森林総研生物機能開発部集団遺伝研究室長

森林総研―農林水産省森林総合研究所

# 森林の環境一〇〇不思議

一九九九年二月十五日 初版発行

---

編集・発行 社団法人 日本林業技術協会

〒一〇二一〇〇八五 東京都千代田区六番町七

電話 〇三二三六一五二八一(代)

振替 〇〇三〇八六〇四四八

印刷・製本 東京書籍印刷株式会社

---

会員用

