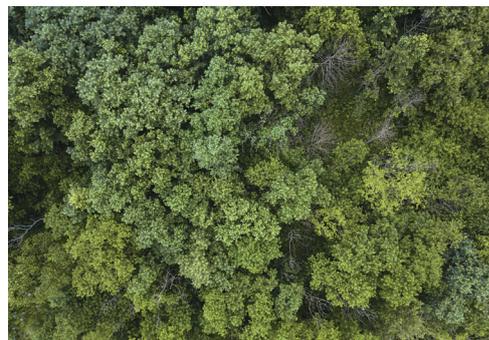


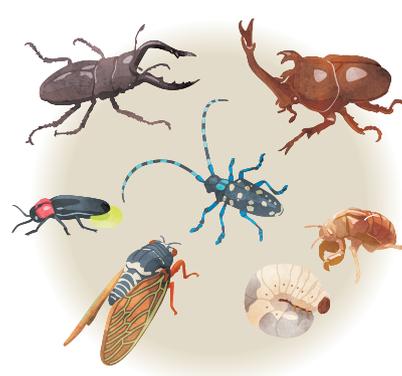
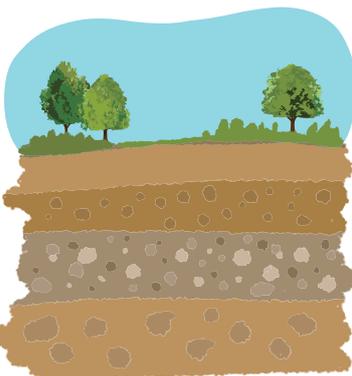
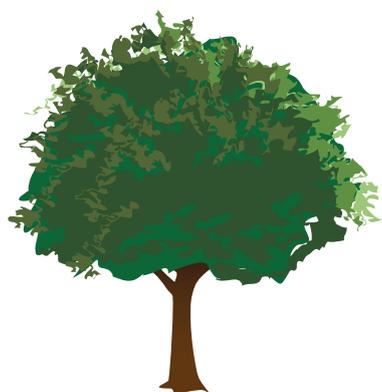
ISBN 978-4-909941-04-6

森林総合研究所東北支所創立60周年記念誌
『六十年のあゆみ』—この10年を振り返って—
別冊



フォレスト ウィンズ
Forest Winds もいからのかぜ・東北

—2009～2018年度 総集編—



まえがき

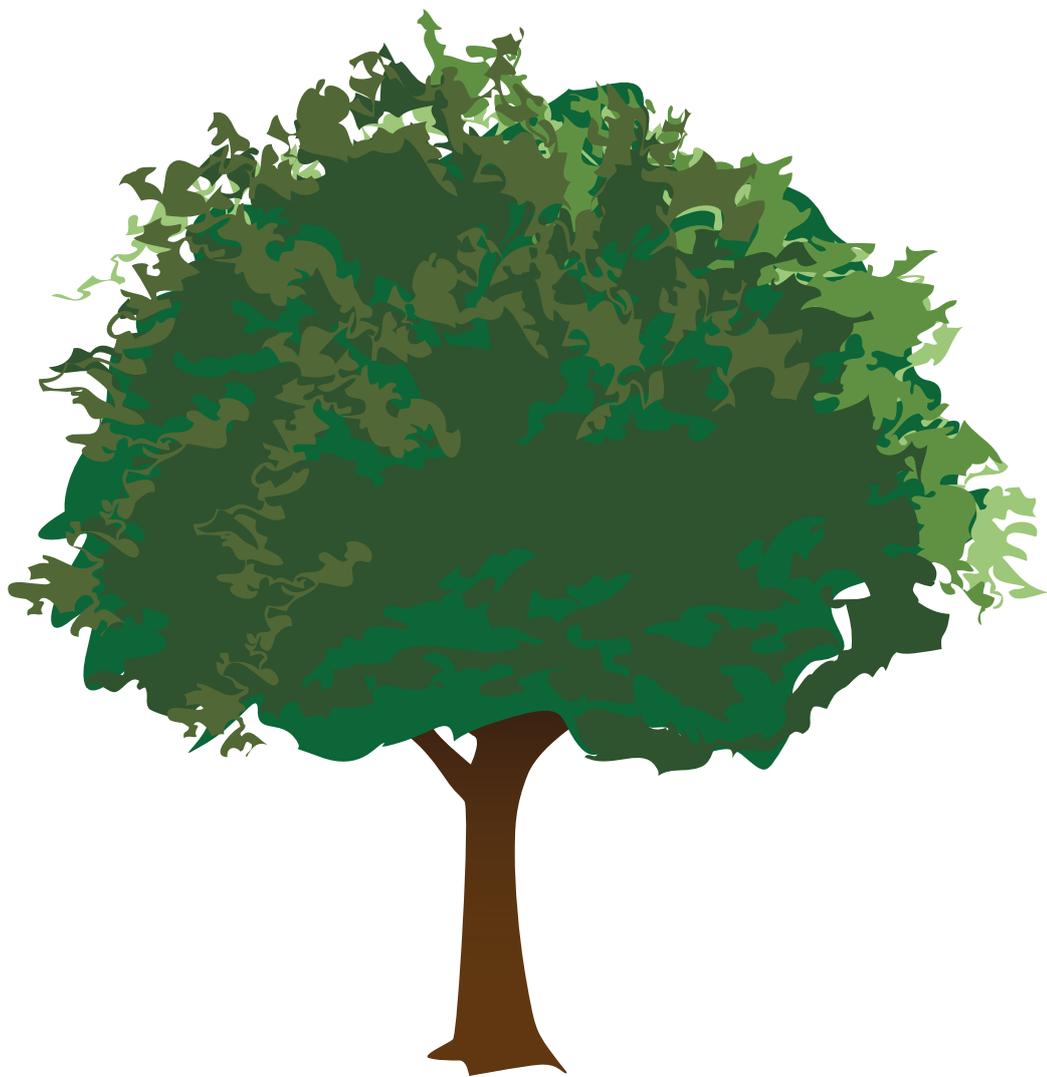
森林総合研究所東北支所創立60周年記念誌『六十年のあゆみ』—この10年を振り返って—の別冊として、2009年度から2018年度に発行された「Forest Winds もりからのかぜ・東北」を、研究分野ごとに新⇒旧の順に並べました。当時の最新の研究成果を、一般向けにわかりやすく解説していますので、肩の力を抜いてページをめくっていただければと思います。

東北支所創立60周年記念誌出版実行委員会

目次

- ・森林の生態と動態に関する研究分野 (P 3 ~ P11)
- ・森林の育成技術に関する研究分野 (P13 ~ P25)
- ・森林の防災と水土保持に関する研究分野 (P27 ~ P39)
- ・森林の立地環境に関する研究分野 (P41 ~ P51)
- ・森林の鳥獣管理に関する研究分野 (P53 ~ P67)
- ・森林の昆虫と微生物に関する研究分野 (P69 ~ P83)
- ・森林の経営と資源管理に関する研究分野 (P85 ~ P95)

森林の生態と動態に 関する研究分野



フォレスト ウィンズ Forest Winds



もりからのかせ・東北



No.75 December 2018

森の果実の豊凶が 鳥の種子散布を変化させる



動物による種まき、周食散布

自分で動けない植物は、種まき（種子散布）によって移動することができます。植物は種子散布によって、新天地へ分布を広げ、ネズミなどの捕食者が集まってくる親木の周辺から離れ、温暖化などで生育しづらくなった場所から逃れられるため、さまざまな工夫をして種子散布を行っています。風散布では、翼や綿毛を作って風に乗ることで種子（カエデやタンポポ）が散布されます。動物散布で代表的な周食散布では、植物が動物に果実をエサとして差し出し、動物が種子の“周り”の果肉を食べるために果実を飲み込み、種子をフンで排出することで散布されます。

この周食散布は、私たちの住む温帯の森では35～71%、熱帯の森では75～90%の樹木で見られます。私たちが口にするリンゴやブドウ、バナナなどのフルーツも周食散布のために進化した果実を品種改良したものです。周食散布を行う主な動物は鳥類と哺乳類で、メジロ、カラス、サイチョウ、タヌキ、クマ、ゴリラ、ゾウ…など実にさまざまなものが該当します。



鳥による周食散布を調べる

周食散布は動物の行動によって変化するため、どのような仕組みで決定されるのかまだよく分かっていません。例えば、同じような動物に種子散布される場合でも、植物の種類や年によって種子の運ばれる距離が異なることが知られています。どのような理由で種子散布は変化するのでしょうか？私たちは世界でも前例のない数の種子トラップを設置することで鳥が運んだ種子を採取し、どのような要因が鳥による種子散布に影響しているかを調べました。茨城県北部に



写真1 森に設置した種子トラップ(上)と1年分の回収物(下)



国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所 東北支所

Tohoku Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute,
Forest Research Management Organization, National Research and Development Agency

あるブナを主体とした広葉樹天然林に設けた「小川試験地 (6ha)」に326個の種子トラップを等間隔で設置し、3年間定期的に鳥のフンに含まれる種子や食べられずに落ちた果実を採取しました (写真1)。また、試験地内で結実した周食散布樹木の位置を毎年記録しました。これらの情報を解析して、植物の種類と年ごとに、生産した種子が鳥に運ばれた割合、また親木から運ばれた距離を求めました。

森の果実の豊凶が鳥による種子散布を変化させていた

解析の結果、周食散布樹木の森全体の果実量の増減が鳥の種子散布を変化させていることが分かりました (図1)。鳥の種子散布率は、森全体の果実量が多い時ほど低くなっていました (図2左)。例えば、ウワミズザクラの散布率は凶作年では57%でしたが、豊作年では2%でした。この理由としては、森全体の果実量は時期によって大きく変化するものの、鳥の数はあまり変化しなかったため、果実量が多い時には鳥が果実を食べきれなかったことが原因と考えられます。一方で、鳥が昆虫をよく食べる初夏に結実するカスミザクラでは森の果実の豊凶に関係なく、3年間とも散布率が10%程度でし

た。これは、この時期の昆虫の量が鳥が食べきれないほど多いことが原因と考えられます。

鳥の種子散布距離は、森全体の果実量が多い時ほど短くなっていました (図2右)。例えばツタウルシの散布距離は凶作年では平均で203mでしたが、豊作年では81mでした。森に果実がたくさんある状況では、鳥が果実を探して移動しないためと考えられます。また森全体の果実量が同じ場合では、定住性の鳥しかいない時期に比べ、渡り鳥がいる時期の方が遠くに種子が運ばれていました。これについては渡り鳥が定住性の鳥に比べ自由に移動することが原因と考えられました。

今回の調査結果から、森の果実の豊凶と鳥の活動する季節の違いによって、種子散布される距離や量には樹種や年によって違いが生じることがわかりました。周食散布は森林で最も一般的な種子散布です。今後は、その仕組みをさらに理解することで、種子散布がどのように樹木の多様性の維持に役立ち、また樹木が温暖化から逃れて生き延びる術などを明らかにしていく予定です。

本文で紹介した研究成果は、American Journal of Botany誌105巻11号 (2018年) に掲載されています。

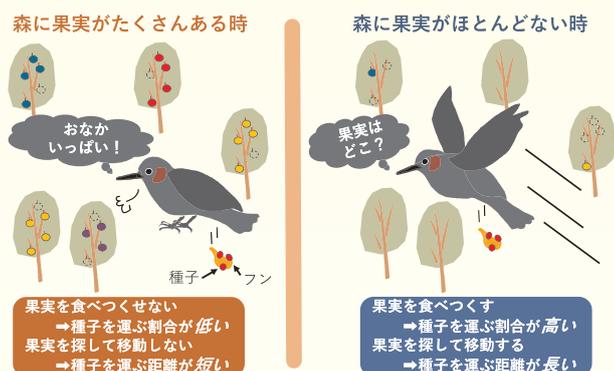


図1 鳥類の種子散布の仕組み

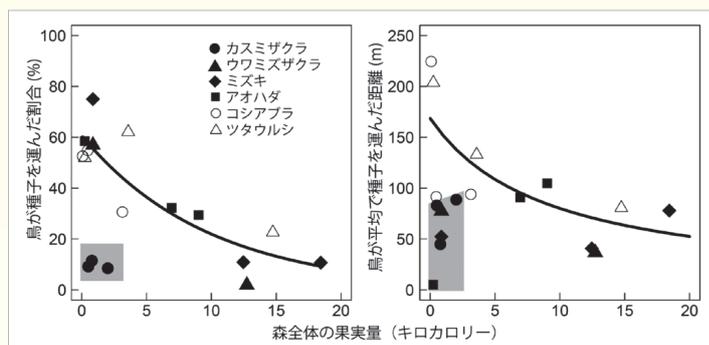


図2 森全体の果実量が多いほど、種子散布率が低下する (左) 網伏せ部分は鳥が昆虫を主に食べる時期。果実量は1日、1平方メートル当たり。森全体の果実量が多いほど、種子散布距離が短くなる (右) 網伏せ部分は渡り鳥がいない時期。Naoe et al. 2018 American Journal of Botanyを改変して引用。

● 森林生態研究グループ

直江 将司



この印刷物は、印刷用の紙へリサイクルできます。



Forest Winds No.75

平成30年12月15日発行

国立研究開発法人 森林研究・整備機構

森林総合研究所 東北支所

〒020-0123 岩手県盛岡市下厨川字鍋屋敷92-25

Te l.019(641)2150(代)

Fax.019(641)6747

ホームページ <https://www.ffpri.affrc.go.jp/thk/>



No.74 September 2018

年輪の情報から 秋田スギ天然林の成り立ちを探る

年輪の調査からわかること

日本のように四季のある国に生育する樹木には、年輪ができることはよく知られています。年輪を調べることでわかることが二つあります。ひとつは、年輪の数からその木の樹齢がわかります。もうひとつは年輪幅の変化から過去の成長のよし悪しも読み取れるのです。

日本三大美林の一つで知られる秋田スギ天然林では、昭和初期に盛んに伐採されましたが、その際に各地の森林で切り株の年輪が調べられました。それらの年輪数を比較したところ、1750～1780年くらいに成立したスギ林が多いことがわかりました。しかし、これらの事例では年輪幅が測定されていないため、それぞれの森林でスギがどのように成長してきたのかまではわかっていませんでした。

大量の天然スギの年輪を調査

秋田の天然スギは、戦後その蓄積が大いに減少したこともあり、現在、伐採が行われていません。そんな中、多くの天然スギの年輪を調査する機会がありました。

秋田県北秋田市の佐渡スギ群落保護林(以下、

秋田佐渡スギ林)は標高950mに隔離分布するスギ天然林です。胸高直径1m以上のスギの大木が生育するスギ天然林としては最も標高が高い地域に分布しています。1991年秋の19号台風でこの林は大きな被害を受け、そのとき倒れた天然スギの多くは翌年に根元で伐採され、ヘリ集材によって林外に搬出されました。数年後、そのときの43個体の切り株から年輪を調べるために、円板(厚さ5～10cm程度)を平均95cm(最低25cm～最高310cm)の高さで採取しました(写真1、写真2)。そのうち5個体について

はさらに根元近くでも円板を採取し、一つの株から2枚の円板試料を採取しました。これほど多くの秋田天然スギについて年輪数



写真1 台風被害翌年の林内、多くの切り株が見られます



写真2 年輪幅を測定した円板試料

と年輪幅が調査されたのは初めてのことで。

秋田佐渡スギ林の樹齢の推定

43本の円板の年輪数(2枚とった木は根元のほうの年輪数)の平均は235年で、最も少ない年輪数は170年、最も多かった円板では307年でした。300年を越えたのは1本だけで、240~260年のものが多くみられました(図1)。

次に地際から伐採高までかかった年数を推定することにしました。これを伐採面の年輪数に加えると樹齢が算出できます。推定方法は2枚の円板をとった木で円板の高さの差とそれぞれの年輪数の差を調べます。5本分の数値を平均すると樹高0~2mの樹高成長は年間7cmとなりました。この数値をもとに伐採された高さまでかかった年数を補正した

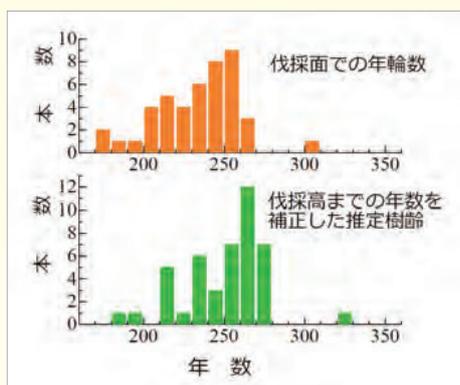


図1 スギの伐採面での年輪数と推定樹齢の分布

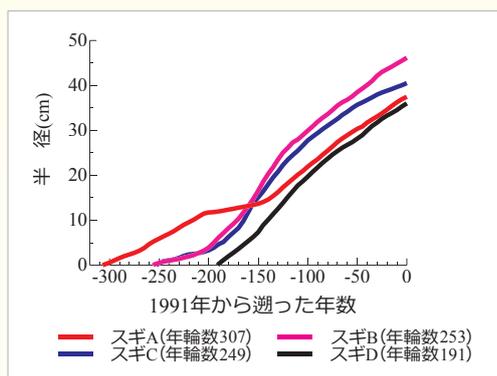


図2 異なる樹齢のスギの肥大成長

ものが図1の下になります。平均樹齢は249年と推定され、樹齢のピークは260~270年になりました。

年輪幅の測定で過去の成長を推測する

図2は4本のスギについて年輪幅の測定結果から推定された直径の成長経過を比較したものです。スギBとスギC(年輪数253と249)は最初成長が悪かったものの、ともに約200年前(1991年からさかのぼった年数。以下同様)から成長が急に良くなっていました。スギD(年輪数191)では成長の悪い時期は見られませんでした。一方、興味深いのはスギA(年輪数307)です。順調に成長していた200年前に成長が一度低下し、約140年前から再び成長が改善しています。

この200年前頃は調査した43本のうち、約半数でスギBやCのように成長が良くなる変化が確認された時期にあたります。当時はこれらのスギのほとんどが直径10cm未満の小径木だったので、その当時の攪乱をきっかけに林内の光環境が改善されてその結果成長が良くなったことが考えられます。一方で、当時すでに樹齢100年を超えていたスギAのような個体はこうした攪乱で枝折れなどの成長が減退するような損傷を受け、その後回復するまでに60年を要したと考えられます。

今回の調査により、スギは天然更新が難しい樹種であるにもかかわらず、何らかの攪乱をきっかけに世代交代を繰り返してきたことがわかってきました。この調査地では1991年の台風被害直後から調査を開始し、攪乱後にスギ林がどう発達していくのか、実証データを積み重ねています。

本文で紹介した研究成果の一部は、日本森林学会誌89号(2007年)に掲載されています。

●森林生態研究グループ

太田 敬之

リサイクル適性(A)

この印刷物は、印刷用の紙へリサイクルできます。

R80
この印刷物は再生紙を使用しています。

VEGETABLE
OIL INK

Forest Winds No.74

平成30年9月15日発行

国立研究開発法人 森林研究・整備機構

森林総合研究所 東北支所

〒020-0123 岩手県盛岡市下厨川字鍋屋敷92-25

Tel.019(641)2150(代)

Fax.019(641)6747

ホームページ <https://www.ffpri.affrc.go.jp/thk/>

フォレスト ウィンズ Forest Winds



もりからのがせ・東北



No.55 November 2013

樹形から読み解くブナ稚樹の“知恵” 成長にあわせて生き方を変える

ブナは雪深い奥州の山々でもっとも普通の高木です。これはブナが雪圧に強い樹種だからです。雪深い地方の林床には同じく雪圧に強いササ類を中心とした下層植生（背の低い藪）が繁茂します（写真1）。

雪によって結びつけられたブナと下層藪。ブナにとって、このような下層藪との光や水、養分を巡る競争は宿命的なものなので、この競争を生き抜く“知恵”（戦略）がとても大切になります。このようなブナの戦略を、秋田駒ヶ岳のブナ林（岩手県）で、ブナの若木が持つ木の形（樹形）から読み解きました。

樹形から読み解くブナの戦略

樹形からなぜブナの戦略が読み解けるのでしょうか。樹木を含め植物は、動物と違って動き回ることができません。そこで植物は形を変えます。例えば、光は植物の食べ物ですが、光を食べる口である葉を陽当たりの良い場所に出せるように茎を伸ばします。動物は食物を探して動き回り、そこにその動物の戦略があらわれます。植物は食べ物を探して形を変え、そこにその植物の戦略があらわれます。昔話の「聞き耳頭巾」とまではいきませんが、樹形をうまく読み解けば、その樹木の戦略、“今何をしようとしているのか”などを知ることができるはずです。

下層藪との競争は悩ましい

ブナの若木に話を戻しましょう。地表で発芽したブナが下層藪の層を抜け、高木層に達し、実を



写真1：ブナ林の下層植生に生きるブナの若木
下層植生の藪の底で耐える小サイズの個体（上の写真）と、成長して下層植生の高さに近づいた個体（下の写真、右側手前；左はコシアブラ）。下層植生は高さ1～2mにまで繁茂するチシマザサを中心とし、そこに他の木本類が散在。



独立行政法人 森林総合研究所 東北支所

Tohoku Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute

つける成熟個体になるまでには数々の試練があります。最初に述べた周囲の下層植物との光を巡る競争はもっとも厳しい試練の一つです。これは人工林管理での下刈りの重要性からも想像できます。この競争は厳しいだけではありません。林の中は暗いので、上層の木がなくなり下の方まで光が届くようになるのはブナの若木にとって好機ですが、他方で競争相手の下層藪もますます繁茂します。この競争はなかなか悩ましいのです。

伸び方を変えて競争を生きる

ブナの若木はこの競争をどのように生きているのでしょうか。太陽の光は上からくるので、光を巡る競争上の優劣は樹木個体の背丈によって決まります。そのため樹木が成長し背丈が高くなるにつれ周囲の下層植物との相互関係は大きく変化します。つまり、下層植物は絶対的な庇圧者から対等な競争相手になります。背が低いブナの若木は、下層藪の底で競争に勝ち目がない間は、平べったい樹形をとっていました(図1、写真1)。それがじわじわと背が伸びて下層藪の高さに近づき競争に勝ち目が出てくるにつれ、すらりとした樹形を持つようになっていました。平べったい樹形は葉同士が重ならず互いに影にならないようにできるので暗闇に耐えるのに適しています(図2)。すらりとした樹形は背丈を稼げるので、“攻め”に転じて周囲の藪から抜け出すのに有利です。葉の重なりは増えますが、背が高くなって明るい場所に出た個体なら、多少影になった葉にも十分に光が当たります。葉は無駄にならず、個体が“食べる”光の量を大きくするのに役立ちます。耐えるばかりでもなければ攻めるばかりでもない。“人生”のステージに合わせて戦略を変えていくことで、彼らは下層藪との競争を生き抜いていました。

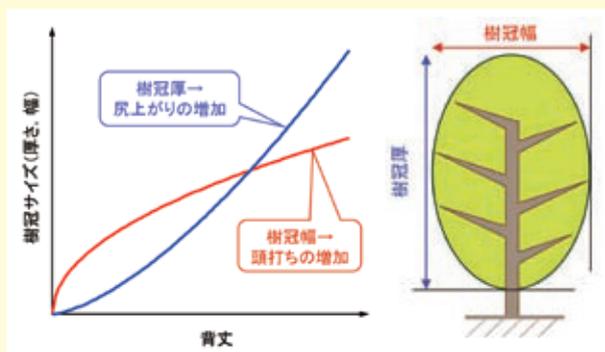
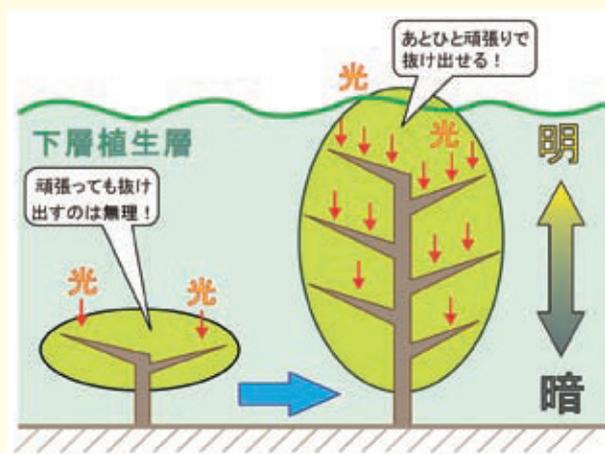


図1：成長ともなうブナ若木の樹形変化
ブナ若木の背丈と樹冠形状の関係(左図)。背が高くなるにつれて樹冠部分は大きくなるが、樹冠の厚さ(青)と幅(赤)とはそのパターンが異なる。その結果、樹冠形状は平たい形から縦に伸びたほっそりした形へと変化する。ここで、樹冠とは樹体の葉の着いた部分をさす。樹冠厚とは一番上の葉から一番下の葉までの垂直距離、樹冠幅とは樹冠の水平方向の長さをさす(右図)。



成長ともなう戦略の変化

暗い環境に耐える平べったい樹形⇒暗い環境から抜け出すほっそりした樹形

- 平たい樹形→葉の重なりを小さくできて暗いところで有利
- ほっそり樹形→背丈を稼げ、葉を何層にも着けられるので明るいところで有利

図2：ブナ若木の樹形変化が持つ生存戦略上の意義

戦略の使い分け方は、成長ステージによって、また樹種によって異なるに違はなく、これは樹木の“生き方”といってよいものでしょう。樹形を読み解くことは生態学的「聞き耳頭巾」です。この頭巾は、色々な樹種の“生き方”を理解する上で大いに役立つ道具と言えるでしょう。

●森林生態研究グループ | 八木 貴信

リサイクル適性(A)
この印刷物は、印刷用の紙へリサイクルできます。

R100
この印刷物は再生紙を使用しています。

VEGETABLE OIL INK

Forest Winds No.55

平成25年11月30日発行

独立行政法人 森林総合研究所 東北支所
〒020-0123 岩手県盛岡市下厨川字鍋屋敷92-25

TEL.019(641)2150(代)

Fax.019(641)6747

ホームページ <http://www.ffpri.affrc.go.jp/thk>



独立行政法人・森林総合研究所・東北支所

東北が北限! 絶滅危惧種

ユビソヤナギ、*Salix hukaoana*



ユビソヤナギは、1972年に群馬県水上町（現みなかみ町）を流れる利根川上流域の支流・湯檜曾川の岸辺で深尾重光氏に発見され、ユビソヤナギ、*Salix hukaoana*と命名されました。日本のような科学研究の進んだ国で、高等植物の新種が見つかることは大変珍しいことです。ヤナギ科植物は雌雄異株で、雄花と雌花は別々の個体に咲きます。しかも花の時期と葉が展開する時期がずれているので、花と葉を同時に見ることが難しい植物です。また葉や花は近縁種の間でよく似ているため、分類・同定が難しい植物といわれてきました。ユビソヤナギは、一



図1 ユビソヤナギの葉

緒に生えているオノエヤナギと似ているので発見が遅れたともいわれています（図1）。しかし、最近の研究では、オノエヤナギではなく、北海道に分布するエゾヤナギに近縁であることが判ってきました。他のヤ



図2 ユビソヤナギの雄花

ナギより早く早春に開花すること、雄花の花糸が合着して一本に見えること（図2）、樹皮をむくと内樹皮が黄色を帯びていること（図3）、葉の基部に托葉が見られることなどがユビソヤナギの特徴です。一方、ここ20年ほどの間にユビソヤナギが東北各地で発見されています。例えば1983年に宮城県の鳴瀬川流域、1985年に同県江合川流域（竹原・内藤1986）、さらに1993年に岩手県の北上川水系和賀川流域（竹原1995）、福島県の只見川流域（鈴木・菊地2006）、秋田県の雄物川水系玉川流域、山形



図3 黄色い内樹皮

県では最上川水系立谷沢川流域および銅山川流域、赤川水系大鳥川流域、荒川水系荒川流域などです。ユビソヤナギは川の下流部ではなく、上流部の山間地や少し広い盆地に流れ出た河川のやや礫質の河原に分布しているようです（図4）。このような川の上流部はシロヤナギやオノエヤナギが優占する生育環境で、これら2種と混じって生えていることが多いようです。みなさんの住む町の近くの川にユビソヤナギはありますか？ぜひ一度、川辺のヤナギも観察してみてください。新しい北限が見つかるかもしれません。（写真撮影はすべて菊地 賢）

【参考文献】

- 指村菜穂子 & 井出雄二 (2009) 絶滅危惧種ユビソヤナギ (*Salix hukaoana*) の生育環境と分布. 林木の育種 230: 17-23.
- 指村菜穂子, 鈴木和次郎 & 井出雄二 (2008) 湯檜曾川における水辺林のモザイク構造とユビソヤナギ林の成立. 日本森林学会誌 90: 17-25
- 大橋広好, 菊地賢 & 指村菜穂子 (2007) ユビソヤナギの分布. 植物研究雑誌 82: 242-244
- 竹原明秀 (1995) 和賀川上流域のヤナギ林およびユビソヤナギの分布. 自然誌研究年報 1: 11-21.
- 竹原明秀 & 内藤俊彦 (1986) 宮城県内のユビソヤナギ. 植物研究雑誌 61: 127-128.
- 木村有香 (1974) ユビソヤナギの分類場の位置について. 植物研究雑誌 49: 46.
- 鈴木和次郎 & 菊地賢 (2006a) ユビソヤナギの生態と遺伝. 福島県只見町教育委員会, 只見町.
- 鈴木和次郎 & 菊地賢 (2006b) 只見川水系における絶滅危惧種ユビソヤナギの分布と河畔林の組成・構造. 保全生態学研究 11: 85-93.



図4 ユビソヤナギの生育地（只見川流域）

森林総合研究所東北支所

〒020-0123 盛岡市下厨川字鍋屋敷92-25
TEL 019-641-2150 FAX 019-641-6747
ホームページ <http://www.ffpri-thk.affrc.go.jp/>

- 森林総合研究所 東北支所 地域研究監
 - 森林総合研究所 生態遺伝研究室
- 新 山 馨
菊 地 賢

リサイクル適性 (A)

この印刷物は、印刷用の紙へリサイクルできます。

森林の育成技術に 関する研究分野



フォレスト ウィンズ Forest Winds

もりからのかせ・東北



No.76 February 2019

土砂崩れの跡地に子孫を残す樹木



大雨がもたらした土砂崩れ

2013年8月に、記録的な大雨により岩手県と秋田県で土砂災害や浸水被害が頻発しました。このとき、人家から離れた森林の中でも、たくさんの土砂崩れが起きていました。私たちが岩手大学と共同で調査を行っている、岩手大学御明神演習林（岩手県雫石町）内の天然林でも、土砂崩れ（斜面崩壊）が、小規模ながら数か所にわたって発生し、数本の樹木が流され、崩れた土砂が数十メートルの範囲にわたって堆積しました。



3年後には

土砂崩れ直後の跡地には、植物の生えていない地面が広がっていますが（写真1）、ここに再び植物が生えてくるか観察することにしました。写真2は、土砂崩れの発生から3年たった2016年に撮影したものです。跡地に植物が生育し、見た目も緑色になってきています。これらの植物には、シダや草に加えて樹木の若木もたくさん含まれていました。



写真1 土砂崩れ発生直後の様子（2013年9月）



写真2 土砂崩れから約3年後の様子（2016年7月）



どんな若木が生えている？

土砂崩れの起こった翌年の2014年春には、土砂崩れの跡地に、たくさんのサワグルミが芽生えました



国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所 東北支所

Tohoku Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute,
Forest Research and Management Organization, National Research and Development Agency

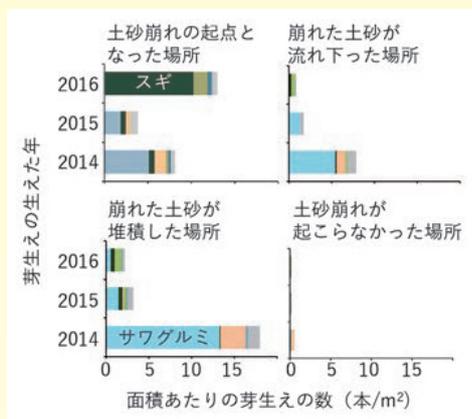


図1 2016年秋の時点で生き残っていた芽生え・若木の数（芽生えが発生した年ごと、樹木の種類ごとに示した。水色がサワグルミ、濃緑がスギ、他の色はその他の樹種。）

(図1)。崩れた土砂が堆積した場所では特によく成長し、大きなものは芽生えてから3度目の夏で、高さ1m近くに達していました(写真3)。一方、土砂崩れの起点となった場所では、サワグルミに加えて、2016年春にたくさんのスギの芽生え(写真4)が生えてきました。

これらの芽生えは、いずれも、周囲の親木が実らせたタネが土砂崩れの跡地に落ち、芽を出したものです。サワグルミはちょうど2013年秋にタネが豊作になり、翌2014年春にたくさんの芽生えが育ちました。スギは、2013年秋に実ったタネが少なく、2015年秋に多くのタネが実りましたが、そのころには、崩れた土砂が堆積したところはサワグルミなどに覆われてスギの生える余地がなくなっていました。しかし、土砂崩れの起点となった場所は、地面がえぐれてしまったことにより土が堅く、水分をあまり含んでいないので、植物がそれほど大きくなることができず、隙間にたくさんのスギが芽生えたと考えられます。

次世代の木が育つチャンス

図1の右下には、土砂崩れが起こっていない地面の芽生えの数を示しました。土砂崩れの跡地と比



写真3 崩れた土砂が堆積した場所に芽生えて3度目の夏に差しかかったサワグルミの若木たち。黄色の物差しの高さは約1m (2016年7月)



写真4 芽を出してから約1年経ったスギの芽生え。オレンジ色の番号札のサイズは約5cm (2017年5月)

べると、芽生えが無いも同然なことにお気づきになったでしょうか。実は、樹木のタネは、森林の地面を覆っている落ち葉の上では、その下の土まで根が届かなかったり、落ち葉に住み着いている病原菌に侵されてしまいます。そのため、芽生えても生き残ることができない場合が多いのです。サワグルミやスギは、東北地方に育つ樹木の中でも、特に落ち葉の上で芽生えが育ちにくい種類として知られています。これらの樹木にとって土砂崩れは、付近に親木が残ってさえいれば、むしろ、次世代の木が育つための絶好のチャンスとなるのです。

● 育林技術研究グループ 野口 麻穂子



この印刷物は、印刷用の紙へリサイクルできます。



この印刷物は再生紙を使用しています。



Forest Winds No.76

平成31年2月15日発行

国立研究開発法人 森林研究・整備機構

森林総合研究所 東北支所

〒020-0123 岩手県盛岡市下厨川字鍋屋敷92-25

Tel.019(641)2150(代)

Fax.019(641)6747

ホームページ <https://www.ffpri.affrc.go.jp/thk/>

フォレスト ウィンズ Forest Winds

もりからのかせ・東北



No.68 February 2017

タケノコの出荷制限解除に向けた 竹林のセシウム除去方法の提案

背景

2011年3月に起こった東京電力福島第一原子力発電所の事故により大気中に放出された放射性物質は東日本の竹林を含む森林地帯にも降下しました。このため、各地域で重要な特用林産物は、国が定める食品の基準に沿って現在でも多くの地域で出荷が制限されています。

日本人は森林から山菜やきのこなどの多くの食の恵を得てきました。その中でも原木栽培きのこことタケノコは、畑作のような土壌環境の管理はできませんが、自然を利用しながら栽培を行う作物です。タケノコの栽培では、タケが地下茎を広く張りめぐらせる多年生の植物であることから、植え替えを行うことは容易ではなく、表土を入れ替えることも困難です。したがって、竹林を管理しながら放射性物質の蓄積量を減らし、タケノコ栽培を進める必要があります。そのためには、タケ植物体内の放射性物質の蓄積状況の把握やセシウム除去効果の有無をみる試験が必要です。そこで、福島第一原発から約70キロメートル離れた宮城県丸森町および白石市のモウソウチク林で調査を行いました。

竹林における セシウム蓄積量の実態

タケ・ササ類はクローナル植物と呼ばれる、地上部の複数の稈が横に走る地下茎で繋がって一個体を形成する分類群です。この一個体の中では稈から地下茎へ、地下茎から稈へと季節ごとに栄養塩や同化産物を転流させます。カリウムもこの転流される物質の中のひとつで、特に成長途上の部位に集まる性質があるため、カリウムに類似した性質を持つセシウムはタケノコ内に転流して濃度が高まり、成長すると1稈あたりの蓄積量もさらに増加します。

福島第一原発の事故当時タケ類は着葉していたため、降下した放射性物質の多くが植物体表面に沈着し、その後は葉面吸収により植物体内に入ったと考えられます。2013年5月に竹林の放射性セシウムの蓄積量を調べてみると、タケ1稈あたりでは1~8キロベクレル含まれていました。これは、竹林100平方メートルに換算すると約30万ベクレルになりました。例えば、この面積の竹林をクローナル植物のタケ一個体とすると、この30万ベクレルと



いう値はタケノコに転流してくる可能性のある蓄積量ということになります。同程度の汚染地域のスギやヒノキ5～6本(個体)分に匹敵する蓄積量です。

竹林のセシウム除去試験の効果

タケの体内に取り込まれたセシウムを除去する目的で、2014年から試験を行っています。タケの除染作業には、①落葉除去、②栄養塩カリウムの散布、③タケ稈の密度を調整する伐竹(間伐)、の3つの処理を行いました。この3つの処理は2つの効果に分類されます。一つ目は根からセシウムを吸収してタケ個体内の蓄積量がさらに増えるのを防ぐ効果です。①と②がこれにあたります。これらの処理は新たに吸収するのを防ぐもので、既にタケ個体内に蓄積されているセシウムを減らすことはできません。そこで二つ目の効果を狙った、タケ個体内のセシウムを直接取り除くための処理が必要になります。それが③の作業です。試験の計画では、伐竹によって密度調整することによって、面積あたりの稈数の減少した分だけ個体全体のセシウム蓄積量

が減ります。その後時間の経過と共に各稈の濃度が減少すると予想しました。現在も試験を継続中ですが、タケ1稈あたりのセシウム濃度の測定値には明らかな減少傾向は現れていません。さらに、タケノコのセシウム濃度も大幅に減少していないなど、思うような効果が挙がっていません。実際には、濃度が減少し、試験の効果が現れるまでに予想外の時間を要するのかもしれませんが、今後はセシウムがより高濃度に蓄積されている齢の稈を対象にし、連年で繰り返し伐竹を行うなど、伐竹の実施方法を再検討する予定です。

竹林に関する明確な除染の方法が提示できていませんが、実態としてタケの個体内に多くのセシウムが蓄積されていることが分かっている現状では、1年でも早くタケノコ生産を再開させるために、セシウム除去を行うことが必要です。本来、伐竹はタケノコの生産量を上げるために必要な通常の密度管理ですから、年に一度毎年繰り返し伐竹が必要です。密度管理としての伐竹はそのまま竹林のセシウム低減につながると考えられます。



伐竹を行っていない竹林



セシウム除去試験で伐竹を行った竹林

● 育林技術研究グループ

齋藤 智之



この印刷物は、印刷用の紙へリサイクルできます。



この印刷物は再生紙を使用しています。



Forest Winds No.68

平成29年2月16日発行

国立研究開発法人 森林総合研究所 東北支所
〒020-0123 岩手県盛岡市下厨川字鍋屋敷92-25

TeI.019(641)2150(代)

Fax.019(641)6747

ホームページ <http://www.ffpri.affrc.go.jp/thk>



No.60 March 2015

針葉樹人工林をもっと複雑な林に

はじめに

人工林はわが国の森林面積の約40%を占めており、その多くがスギやヒノキなどの針葉樹林から成っています。これらの森林は、もともと、おもに建築用の木材を生産するために植栽されました。しかし近年では、木材生産だけでなく、人々の生活を支えるさまざまな森林生態系の働きを十分に発揮できるように、森林を管理することが求められています。現在、日本でみられる人工林の多くは、単一の樹種、同じ年齢の樹木から成る、比較的単純な林です。しかし、生態系の働きを健全に保つ上では、林を構成する樹木の種類が多いことや、林の構造が複雑であることが重要とされています。そこで、スギ・ヒノキ人工林の一部を、人工林が作られる前に生育していた樹種から構成される林に戻したり、それらの樹種を人工林に混交させたりすることが試みられるようになってきました。

針葉樹人工林内に天然林の樹種が育つ仕組み

針葉樹人工林の中に天然林の樹種が育つには、どのような仕組みが考えられるでしょうか。これは、大きく分けて3つあります(図1)。ひとつは、人工林内にすでに若木などが存在するケースです(「前生稚樹」、大きなものは「前生樹」と呼ばれます)。二つめは、周辺の天然林や親木から、風や鳥などによって種子が運ばれてくる場合です(ここでは「落下種子」と呼びます)。そして、三つめは、人工林の表土の中で休眠している種子(「埋土種子」)です。人工林の全体または一部の木の伐採は、前生稚樹が成長したり、種子が芽を出すきっかけになります。

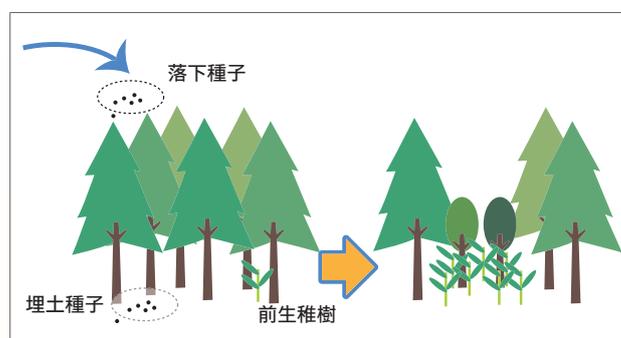


図1：天然林の樹種が人工林の中に育つ仕組み

高知県の森林で起こったこと

では、筆者が以前研究を行っていた高知県の森林で実際に起こったことを見ていきましょう。写真1は、スギ人工林を皆伐後、植栽を行わず、前生稚樹や天然の芽生えに頼って世代交代させた林の様子です。皆伐から12年で、シイ類などの常緑広葉樹が立派に成長しています。これらの広葉樹は、株立ちになっているものが多かったことから、前生稚樹もしくは前生樹が皆伐時に一旦伐採された後、切り株から芽を出したものだとは推測できました。



写真1：スギ人工林皆伐後12年目の様子(高知県室戸市)

人工林内に前生稚樹が多い場合、特に、萌芽(切り株から芽を出す)できる樹種が多い場合は、皆伐によって、天然林に近い森林に変えられる可能性が高いと言えます。

一方、前生稚樹や前生樹が少ない場合は、この方法は使えません。人工林の間伐をきっかけに落下種子や埋土種子が芽を出し、生き残って、将来の前生稚樹に育つことはできないでしょうか。そこで、約30年生のヒノキ人工林で、間伐後の落下種子、埋土種子の量と、芽生えの発生・生存を調べました(写真2)。しかし、調査の結果、天然林を構成する樹種の落下種子はわずかしかみられず、それに由来すると考えられる芽生えもほとんど発生しませんでした。今回の調査地は、周囲を人工林に囲まれ、種子を供給できる天然林などがわずかだったために、落下種子が少なかつ



写真2：落下種子と埋土種子の調査方法
 左：落下種子の調査。林内にシートトラップを設置し、落ちてくる種子や果実を集める。
 右：埋土種子の調査。プランターに、林内から採取してきた表土を広げ、埋土種子を発芽させて樹種や数を調べる。右上枠内はプランター内で発芽したカラズサンショウの芽生え。

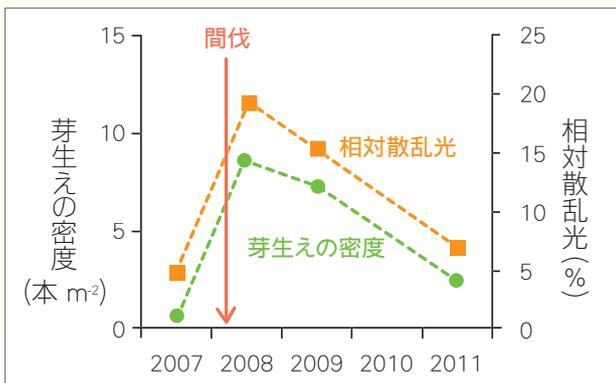


図2：間伐後4生育期間の光の強さ(相対散乱光)と芽生えの密度の変化
 材積の50%を間伐したヒノキ林の例(高知県土佐清水市)

たと考えられます。一方、埋土種子は落下種子に比べると数が多く、間伐直後の芽生えの多くは埋土種子から発生したものだと考えられました。しかし、その多くはアカメガシワなど、強い光がないと育たない樹種でした。そのため、間伐からの年数の経過とともに、残ったヒノキが枝葉を増やして林内が暗くなってくると、一旦増えた芽生えは急速に減少してしまいました(図2)。このように、前生稚樹が少なく、種子も供給されにくい人工林では、天然林を構成する樹種を増やすのは簡単ではありません。

地域に合った管理が必要

スギ・ヒノキの人工林はわが国の広い範囲に分布していますが、その状況はさまざまです。四国地方には、人工林が作られる前は広葉樹林ではなく、モミ、ツガなどの針葉樹林だったと考えられる地域もあります。しかし、これらの樹種の前生稚樹は、皆伐後の急激な環境変化に比較的弱く、常緑広葉樹のように活発に更新することは難しいと考えられています。また、人工林として繰り返し利用されてきた林や、草地や田畑の跡地につくられた人工林では、前生稚樹自体が少ないことが予想されます。

一方、東北地方には、天然林が近くにある人工林、特に、積雪の多い地域では広葉樹が混交したまま育った人工林がしばしばみられます。これらの人工林では、天然林を構成する樹種が林内に育つのは比較的容易だと予想されます。実際に、東北地方の皆伐後や間伐後のスギ林内で、広葉樹の若木が豊富にみられる例も報告されています。

人工林の取り扱い、それぞれの地域の自然植生の特徴や、森林がたどってきた歴史を考慮して決めていくことが重要です。また、天然林の樹種を増やすことができた人工林で、森林生態系の働きに実際にどのような変化が起きるのか、長い目で観測していくことも欠かせません。

なお、本文に紹介した研究成果の一部は、Forestry (2011) 84: 493-504および日本森林学会誌(2012) 94: 192-195に掲載されています。

● 育林技術研究グループ 野口 麻穂子

Forest Winds No.60

平成27年3月16日発行

独立行政法人 森林総合研究所 東北支所
 〒020-0123 岩手県盛岡市下厨川字鍋屋敷92-25

TEL.019(641)2150(代)

Fax.019(641)6747

ホームページ <http://www.ffpri.affrc.go.jp/thk>



この印刷物は、印刷用の紙へリサイクルできます。



この印刷物は再生紙を使用しています。



フォレスト ウィンズ Forest Winds

もりからのがせ・東北



No.49 August 2012

落葉広葉樹の下で育つヒバの稚樹



ヒバの天然更新のために

日本三大美林の一つである青森のヒバ天然林では、減少した資源量を回復させるため、稚樹や若い木の成長を促進する森林管理の手法が求められています。これまで、ヒバ天然林は林内の一部の木を抜き伐りする「択伐」で利用・管理されてきました。抜き伐りした場所にはヒバ以外にも落葉性広葉樹が育ち、ヒバと広葉樹が混交する林（針広混交林）となります（写真1）。こうした林内では、親であるヒバの下より広葉樹の下でヒバの稚樹がよく育つことが、経験的には知られていました。その理由は、広葉樹下の方がヒバ樹下よりも明るいことと推測されます。

しかし、混交林のように光環境が複雑に季節変化する場所でのヒバ稚樹の成長は、従来ははっきりとは分かっていませんでした。ヒバと混交する広葉樹はブナ、ミズナラ、ホオノキ、コシアブラなど多数あり、樹種によって芽吹き時期や葉が茂る期間の長さが異なります。また、広葉樹下でも葉が茂ればヒバ樹下と同様に真っ暗になりますが、ヒバの稚樹は枯れません。そこで、混交林の光環境の違いによるヒバ稚樹の成



写真1：針広混交林の様子

長を調べるため、葉をつける期間の長さが異なる様々な種類の木の下にヒバの稚樹を実験的に植えて、光環境、稚樹の光合成量と成長量を調べました。ヒバ稚樹を植えたのは、下記の4箇所です。

- 全 天 区：稚樹を被陰する上木のない苗畑。
混交林内のギャップと同等の光環境。
- ヤチダモ区：春の展葉が遅く秋の落葉も速いヤチダモの下。
混交林内のホオノキやコシアブラの下と同等の光環境。
- ブ ナ 区：春先の芽吹きが早く晩秋まで葉が落ちないブナの下。
混交林内のブナやミズナラの下と同等の光環境。
- ヒ ノ キ 区：通年で葉を着けているヒノキの下。
混交林内のヒバの下と同等の光環境。



ちがう樹種の下にヒバを植えると

ヒバ稚樹が各月に示した光合成量は、4月を除く通年で全天区が最大でした（図1）。陰樹といわれるヒバでも、この4箇所間の比較では光が多いほど光合成量や成長量が多いことが明瞭です（図1、2）。ヤチダモやブナの下での月ごとの光合成量は、春に上木が葉を開く前に大きく、その後は日射量の低下によって減少しました。特に、ブナ区の光合成量は、上木展葉前の4月に年間総量のほぼ全てが含まれ、展葉後は多くの月で負の値を示しました。測定値は植物の光合成と呼吸の合計であり（純光合成）、これが負であれば光合成より呼吸が多く炭素収支がマイナスで、いわば家計が赤字であることを意味します。このように、落葉広葉樹の下では、ヒバ稚樹の光合成量の季節による偏りが著しいことが分かりました。つまり、ヒバ稚樹の光合成量と成長は日射量の影響を受け、その日射量は上木の展葉期間の違いに大きく左右されているのです。



ヒバ天然林の管理に向けて

以上をまとめると、

- ヒバ稚樹の成長には上木の落葉広葉樹の展葉期間が大きく影響すること
- 上木が葉を落としているわずかな期間に得られる光がヒバ稚樹の耐陰性に重要な役割を持つこと

が明らかになりました。混交林に生える主な広葉樹のうち、ホオノキ・コシアブラは短期展葉の樹種、ブナ・ミズナラは長期展葉の樹種であり、ヒバの成長を促すのに適した樹種は前者です（写真2）。ただし、ブナ・ミズナラの下にはわずかな期間しか光が当たらないため、ヒバ稚樹の成長も遅いですが他に競争相手もなく、むしろヒバが優占する場合があります。択伐によるヒバと落葉広葉樹の混交は、多様な光環境が保証され、ヒバの天然更新にとって好都合なのです。ヒバ天然林の持続的な利用・管理には、林を構成する多様な樹種の特性を活かしたきめ細かな施業が大切です。この内容について詳しくは、下記をご覧ください。

Photosynthesis and growth of *Thujopsis dolabrata* var. *hondai* seedlings in the understory of trees with various phenologies (異なるフェノロジーの上木の被陰下にあるヒバ稚樹の光合成と成長)。Journal of Forest Research (2012) 17:156-163 DOI: 10.1007/s10310-011-0281-6

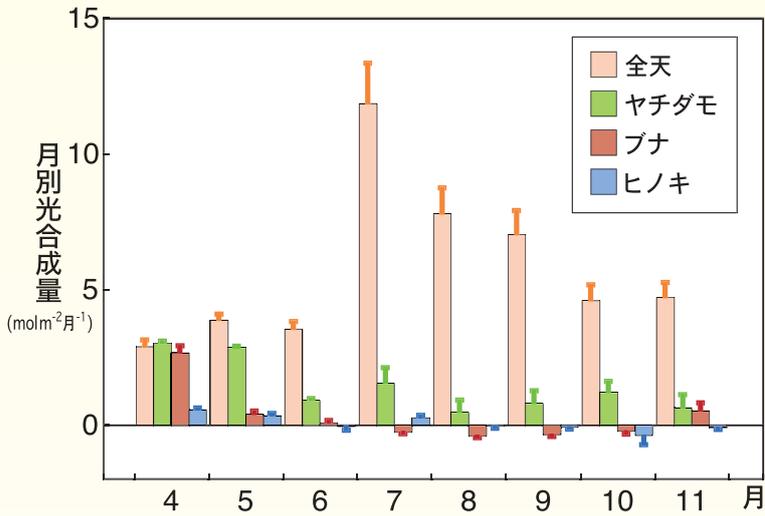


図1：月ごとのヒバ稚樹の光合成量

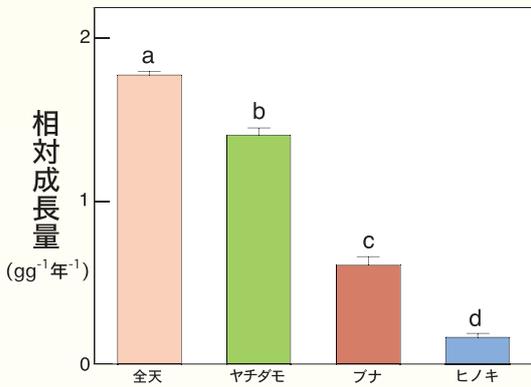


図2：各区の相対成長量(試験開始時の稚樹の大きさを基準とした重量増加量)。異なるアルファベットは統計的な有意差があることを示します

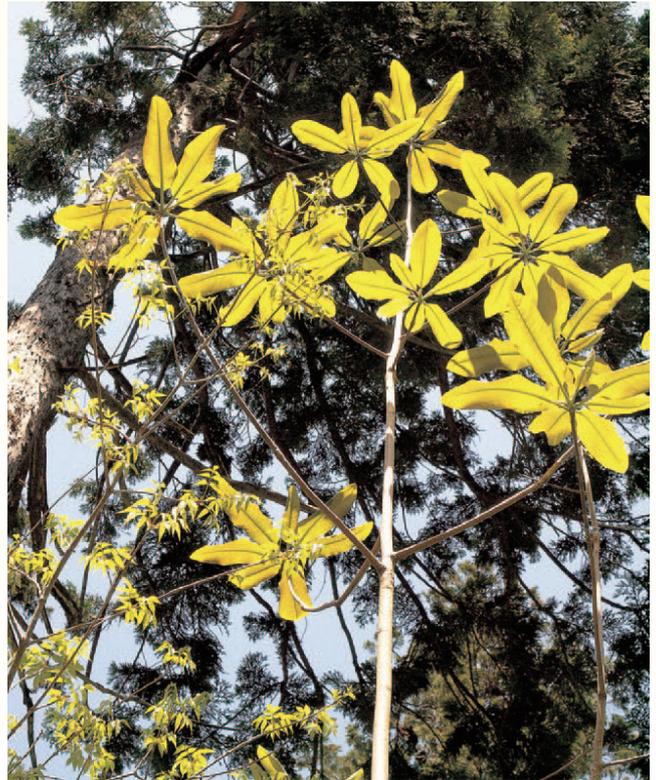


写真2：ヒバ林に生えるホオノキ



春先に明るければ、あとは暗くても耐えられる

ヒノキ区では、全天の明るさを100とした時の林内の日射量(相対日射量)は通年で7%以下であり、植栽した苗の75%(6個体)が枯死しました。この明るさは、ヒバ稚樹が生きていくことのできる下限に近いと考えられます。一方、ブナ区では上木の展葉後の相対日射量は被陰区と差がなかったのに、この区のヒバ稚樹は枯死せずに成長しました。つまりヒバ稚樹は、上木が芽吹く前の僅かな期間に光合成ができれば、その後のほとんどの期間の炭素収支がマイナスになるほどの暗い環境下にも耐えて、ゆっくりですが育つことができるのです。

独立行政法人 森林総合研究所
東北支所 育林技術研究グループ

みつま かく
櫃間 岳



Forest Winds No.49

平成24年8月31日発行

独立行政法人 森林総合研究所 東北支所
岩手県盛岡市下厨川字鍋屋敷92-25
〒020-0123 Tel.019(641)2150(代)
Fax.019(641)6747

ホームページ <http://www.ffpri-thk.affrc.go.jp>

フォレスト ウィンズ Forest Winds

もりからのかせ・東北



No.48 February 2012

自分で動けない樹木の工夫



樹木は動くことができませんし、森林はいつも変わらず、そこにあるように思われるかもしれません。人工林は木材を収穫・利用することを目的としているので、時間が経てば伐採・収穫され、林は一時的になくなります。しかし天然林は、何か大きな自然災害でもない限りなくなることはありません。ですから、原生林には変化しない静的なイメージがあると思います。しかし、実際には大きな樹木が寿命で枯死したり、嵐などで樹木が倒れ、あちこちに隙間ができてしまいます。樹木は歩いたりできないので、そうした隙間を埋めて成長するには、そこにタネ（種子）をまくか、そこにあらかじめ種子から育っためばえ（実生）や小さな苗（稚樹）が待っている必要があります。いずれにしても、種子を散布しなければ樹木は次世代を残せません。樹木は、どのようにして種子を飛ばすのでしょうか？



写真1 イロハモミジの種子

風の強い日などに、樹木からひらひらと種子が飛ばされて行くのを見たことがないでしょうか？このように風で種子が分散するものを風散布種子と呼んでいます。風散布種子では、種子が遠くまで飛び易いように、羽のような構造があります（写真1）。このイロハモミジの種子は風に飛ばされ、くるくと回りながら地面に落下していきます。

では、羽が無い種子はどうしたら良いのでしょうか？羽が無いのなら、羽のある鳥に運んでもらおう、というのが鳥散布種子です。鳥散布は動物散布の中の一つです。ほ乳類などの動物が種子を運ぶ所はなかなか目にする機会がありませんが、鳥が果実をついばんでいる姿なら、時々見かけるのではないのでしょうか？（写真2）樹木にとって果実の中にある種子まで消化されてしまうと困りますが、果実を好む鳥達の多くは、おいしい果肉の部分だけを消化して、種子の部分は糞として排出したり、口からはき戻して種子を散布してくれます。こうした果実をつける樹木の種子は果肉が付いたままだと発芽できないものが多いのですが、鳥に食べられることで、果肉が取り除かれて発芽できる状態になったり、消化管を通ることで、種子の表面（種皮）の水の浸透性が高くなって発芽率が上がるものもあります。こうして、樹木の種子は遠くに運ばれ、発芽できるのです。



写真2 ナナカマドの果実を食べにきたキレンジャク

さて、羽も無く、おいしい果肉もない、どんぐりのような種子はどうでしょうか？「どんぐりころころ」と歌われるように転がって行くだけでしょか？どんぐりやクルミのような堅果と呼ばれる木の実は、果肉ではなく種子のおいしさで動物達を引き寄せます。当然たくさん食べられることにはなりますが（写真3、4）、タネの周りが硬かったり、少し苦い成分が入っていたりして、一度にたくさんは食べられません。たくさん実がなった豊作年なら、すべての種子が食べられてしまうことはないのです。また、リスやネズミなどの動物達は、こうした種子を冬の間のエサとして、分散して貯めておきます（写真5）。これらの一部が残り、翌年芽を出すことができます。こうした種子の分散の仕方を、貯食型動物散布または食べ残し型動物散布と言います。



写真3 クルミを食べるニホンリス



写真4 リスに食べられたチョウセンゴヨウの球果（松ぼっくり）

種子の分散の仕方には他にも水によるもの、動物などにくっついていくもの、ハウセンカのように、はじけ飛ぶ物など、いろいろありますが、私たちの身近な樹木では、先に紹介した風散布、鳥散布、貯食型動物散布のものを目にする機会が多いと思います。動けない樹木の動く工夫を紹介しました。今度、森に行く機会があったら、その樹木はどうやって種子を散布するのか注目してみてください。



写真5 雪が積もりにくい木の根元に埋めておいた種子を掘り出すニホンリス

●育林技術研究グループ

八木橋 勉

リサイクル適性 (A)
この印刷物は、印刷用の紙へ
リサイクルできます。

R100
この印刷物は再生紙を使用しています。

VEGETABLE
OIL INK

Forest Winds No.48

平成24年2月20日発行

独立行政法人 森林総合研究所 東北支所
岩手県盛岡市下厨川字鍋屋敷92-25
〒020-0123 Tel.019(641)2150(代)
Fax.019(641)6747

ホームページ <http://www.ffpri-thk.affrc.go.jp>

● 択伐で林は変化している

それでは、この方法で今後もヒバ材を持続的に収穫できるでしょうか？林を構成する木を太さごとに3区分して（小径木：6～20cm、中径木22～50cm、大径木：52cm以上）見ると、中径木が減り続けているのです（図3）。つまり、全体量は維持していても、林の構造（質）は変化しているのです。

抜き伐りする木は大径木なのに、なぜ中径木の量が減るのでしょうか？ その理由は、択伐後に林内に光が入る効果で、中径木はよく育ち大径木となりますが、小径木にはその恩恵が少なく中径木に成長しないためと考えられます（図4）。小径木の成長を促進できれば、冷水沢試験地での次世代の更新はうまくいきそうです。

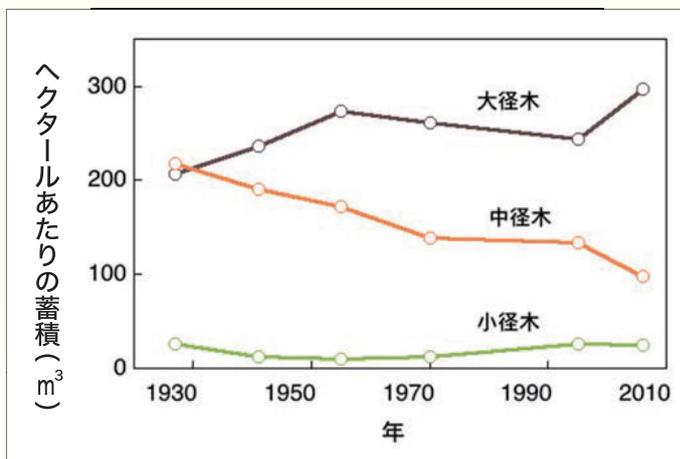


図3 ヒバ林を構成する木の太さの割合は変わってきた

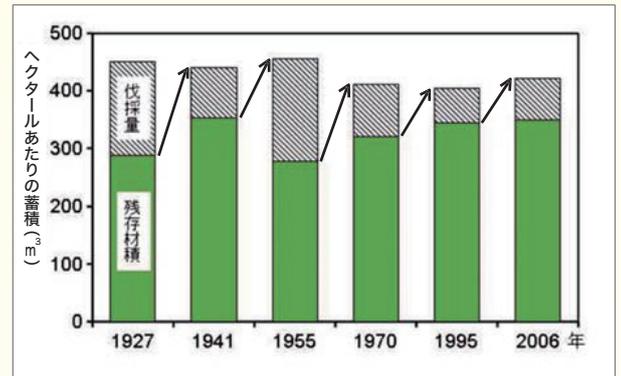


図2 伐採しても次の択伐までに矢印のように資源が回復する

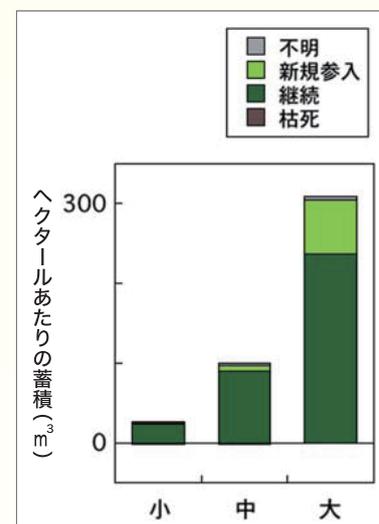


図4 1995年から2005年の成長量

● 森を使い続けるために

冷水沢での長期試験により「森を維持しつつ使い続ける（木材を得る）」という択伐施業の利点を実証されました。しかし、この施業が真に持続可能かどうかの判定は、試験をさらに継続しないとできません。今後は、収穫より小径木の成長促進を重視した抜き伐りが強く求められるでしょう（図5）。更新する木を傷つけない高度な伐採・搬出の技術も必要です。また、既にヒバを伐りすぎた林において、その資源を回復させる技術も求められています。これらの課題を解決するため、択伐に関する研究を続けていきます。

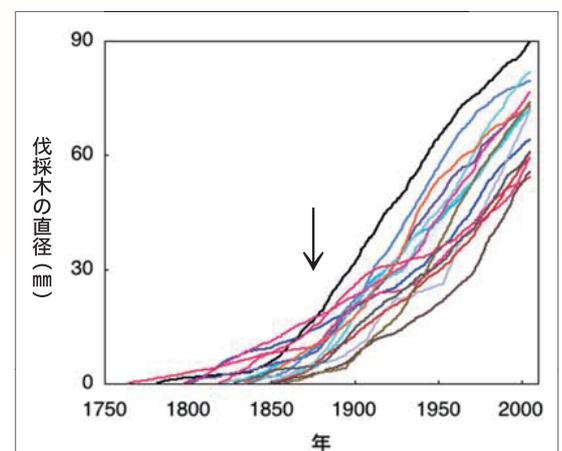


図5 2006年に択伐したヒバの成長経過。太り始めた時期(矢印)は同調しています。

森林の防災と水土保全 に関する研究分野



Forest Winds

もりからのがせ・東北



No.70 September 2017

防風林を通過する 風の流れを予測する

林の構造で変わる防風効果

海岸沿いのマツ林や、農地や道路脇に帯状に植栽された防風林は、風の勢いを弱めて風下側の風速を低下させます。風速が低下することで潮風、飛砂、地吹雪等の影響を小さくしてくれます。こういった防風林の防風効果は、その立木密度や林の幅、樹高等構造の違いによって変わることが知られています。

例えば、林の立木密度と防風効果の間には、図1のような関係があります。樹冠が重なった過密な構造では、風が林内を通過せずに上空へ流れるために、林の風下側の風速は一度大きく低下します

が、上空の強風がやがて地表面に向けて流れて、風速はすぐに戻ってしまいます(図1青色線)。そのため防風効果の範囲が狭くなる傾向にあります。逆に疎で樹木がまばらだと風速はあまり低下しません(図1黄色線)。中程度の林の防風範囲が最も広がっていますが(図1灰色線)これは、適度に風が林内を通過して渦巻く風と林の上方を乗り越えてきた風が合流して防風範囲が広がったためです。しかしながら、個々の防風林について、その防風効果を正確に予測するのは難しいのが現状です。

林を通過する風の 数値シミュレーションモデル

風の流れは流体の基礎式を数値的に解くことで予測でき、単純な地形上の風の流れは比較的容易に再現できます。しかし上述のような複雑な構造をもつ林に風が通過する場合は予測が困難で、現在も風洞実験を含めて防風林の防風効果を明らかにするための研究が行われています。

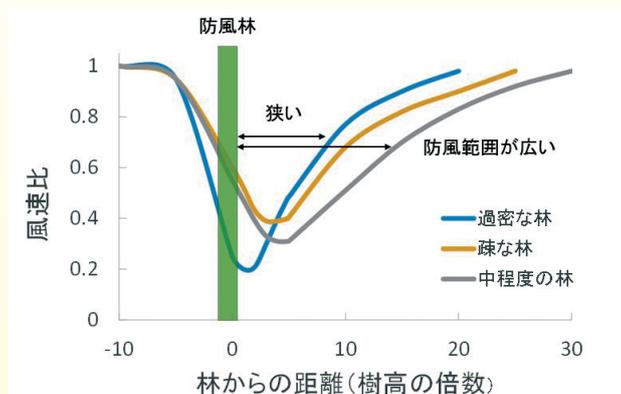


図1. 防風林の立木密度と防風効果の関係



国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所 東北支所

Tohoku Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute,
Forest Research Management Organization, National Research and Development Agency

今回紹介する風の数値シミュレーションモデルは、林の構造をこれまで区別することがなかった樹冠部と枝下以下の樹幹部に分け、それぞれの枝葉と幹が占める空間割合を数値化して、風の流れの基礎式に反映させるものです(図2、式1-1、1-2)。計算の過程が複雑にはなりますが、林の構造をより詳細に取り入れることができます。

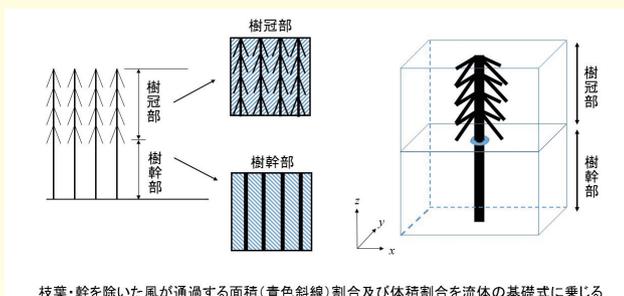


図2. 防風林の樹冠部と樹幹部において風が通過可能な空間割合の捉え方(樹冠長・枝下高に応じた一定の断面積、体積中における枝葉・幹以外の割合を求める)

$G_{x,y,z}$ は樹冠長・枝下高に応じた樹冠部、樹幹部の各方向断面積のうち風が通過できる割合

$$G_{x,y,z} = \frac{\text{各方向の風が通過できる断面積}}{\text{樹冠・樹幹部各方向の表面積}} \quad (1-1)$$

G_v は樹冠部、樹幹部のうち気体体積の割合

$$G_v = \frac{\text{気体体積}}{\text{樹冠・樹幹部を含む全体積}} \quad (1-2)$$

モデルの性能を検討するため、空間的な風速分布が実際に細かく把握された既報の風洞実験を用いて、その実験を再現する数値シミュレーションを実施しました(図3、萩野 未発表)。風洞実験では防風林の模型として洗浄用ブラシを用いて約5 m/sの風を吹かせたときの風速分布を測定しています。数値シミュレーションもブラシ構造から枝葉部分と幹部分の面積と体積を求めて、同程度の風速を設定しました。

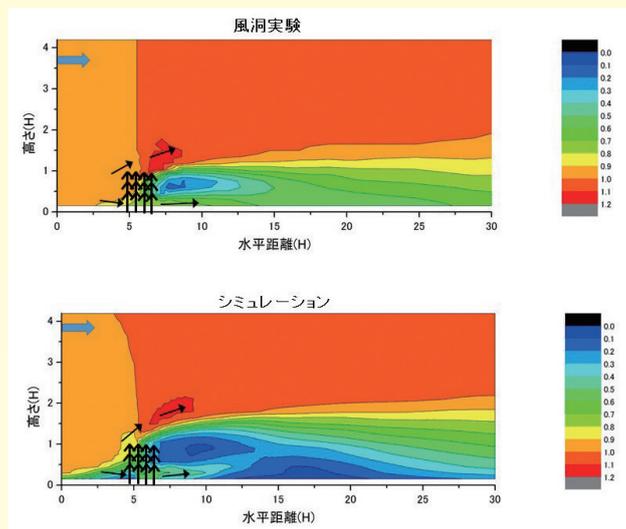


図3. 模型防風林周囲の風速分布比較 上図：風洞実験 下図：数値シミュレーション結果(Hは樹高を表し、矢印は風の流れ方向を示す)

その結果、風洞実験(図3上)も数値シミュレーションの結果(図3下)においても、樹冠部の風下側に風速比0.2(林の風上側風速に対して2割の風速値=約1.0 m/s)の減風領域が現れ、林の上空には風速比1.1~1.2の加速域が生じました。これは樹冠部が風速を大きく抑えて、風の一部が樹冠上に流れたためといえます。また枝下部では風速の低下は比較的小さく、風がある程度通過したことを表しています。しかし、数値シミュレーションの結果は、全体的に林の風下側の風速低下が風洞実験より大きくなるなどの違いも認められました。この原因については検討する必要がありますが、今回紹介した数値シミュレーションモデルによって防風林周囲の風の流れ方向や強弱の分布がある程度予測可能であることがわかりました。今後は野外的な林を対象にした数値シミュレーションに取り組む予定です。

●森林環境研究グループ

萩野 裕章



この印刷物は、印刷用の紙へリサイクルできます。



この印刷物は再生紙を使用しています。



Forest Winds No.70

平成29年9月15日発行

国立研究開発法人 森林研究・整備機構

森林総合研究所 東北支所

〒020-0123 岩手県盛岡市下厨川字鍋屋敷92-25

Tel.019(641)2150(代)

Fax.019(641)6747

ホームページ <http://www.ffpri.affrc.go.jp/thk>

フォレスト Forest Winds ウィンズ



もりからのかせ・東北



No.58 September 2014

落葉の移動距離をはかる ～川への落葉供給源を明らかにするために～

はじめに

溪流の周りがある森から供給される落葉は、川に生息する水生昆虫やヨコエビなどの食料になっています。そのため、これら小動物を食べる魚類も間接的に森からの恩恵を受けていることになります。このように落葉は川の生態系を支える大切な食料の一つであるため、落葉の供給源となる溪畔林や河畔林を保全することが必要です。また、海と陸とのつながりを解明するため、落葉のように陸から川を通じて海へ流入する物質の流れを調べることも重要です。

落葉の供給源の範囲はその移動距離で決まる

川に落葉が到達するためには、樹木が川からどの程度の範囲内であればいいのでしょうか？これは落葉の移動する距離で決まるため、落葉の移動状況を調べなくてはなりません。落葉の移動には2種類あり、一つは葉が樹木から落ちる際の移動、もう一つは地面に落ちてからの移動です(図1)。どちらも風が移動の大きな要因です。移動距離を調べると言っても、普通は川や地面にある葉がどの木から落ちたものか分かりません。そこで二つの方法で落

葉の移動する距離を調査しました。一つは周囲に同種の樹木がない“希な種”を探して調査対象とする方法、もう一つは落葉前の葉にスプレー塗料を使ってマーキングを施す方法です。

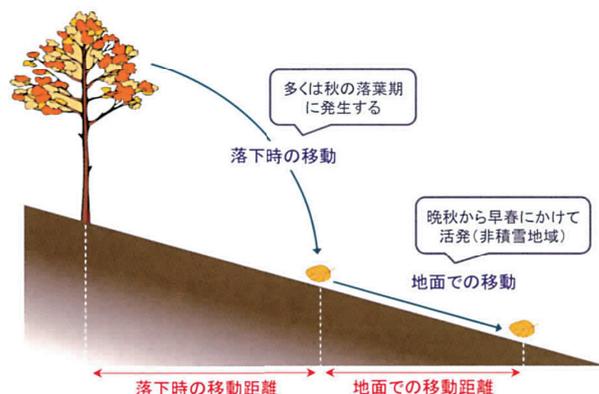


図1：落葉移動の2つのプロセス

傾斜地では落下時の移動距離が延びる

まず、秋に葉が落ちる際の移動について説明します。図2は約20°の斜面に生育する樹高15mのクリの落葉移動距離を示した図です。斜面下方へ向かう3方向を調査しましたが、どの方向も根元から20～30mの距離まで落葉が移動していました(図2)。一方、平坦な河畔林で樹高13.5mのエゾノキヌヤナギの葉にマーキングして調べたところ、散布は15



独立行政法人 森林総合研究所 東北支所

Tohoku Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute

～25mまでで方位によって異なっており(図3)、落葉期に強い風の吹く方位(北方向)ほど移動距離が長い傾向がありました。

二つの研究は場所や樹高が異なっており厳密な比較はできませんが、傾斜地の方が落葉の移動距離は長そうです。斜面では根元から離れるほど落下高が大きくなるため、葉の滞空時間が長く、風により遠くへ移動しやすいと考えられます。なお、樹種の違いも葉の落下速度を通じて移動距離に影響しますが、計測してみるとクリとヤナギはほぼ同じ落下速度でした。

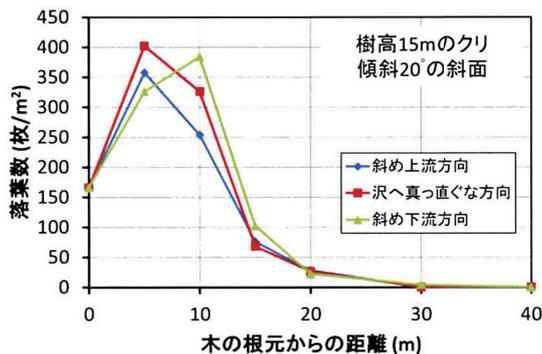


図2：傾斜地における落下時の落葉移動距離（茨城県北部の広葉樹林）

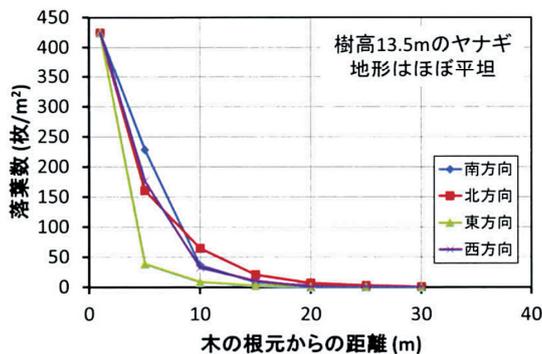


図3：平坦な河畔林における落下時の落葉移動距離（北海道の河畔林）

ササや積雪が地面での再移動を妨げる

地面に落ちた落葉の移動は、雪の少ない地域の場合、特に林内の風が強まる冬に活発です。落葉

の模型を使った別の実験から、斜面傾斜が急、傾斜方向に強い風が吹く、ササや低木などの林床植生が少ないという3条件が移動距離を長くすることが分かっています。図4は前述のクリ落葉について地面での分布変化を調べた結果ですが、時間経過につれ分布のピークが徐々に遠くへ(下方へ)移動しています。しかし、ピークの移動はササが密になる木の根元から15m付近で止まり、落下時の散布範囲を超える落葉移動はありませんでした。一方、北海道の平坦な河畔林では傾斜がなく積雪期間も長いため、地面での落葉移動はあまり起こりませんでした。このように密生したササや積雪があると落葉は非常に移動しにくくなります。

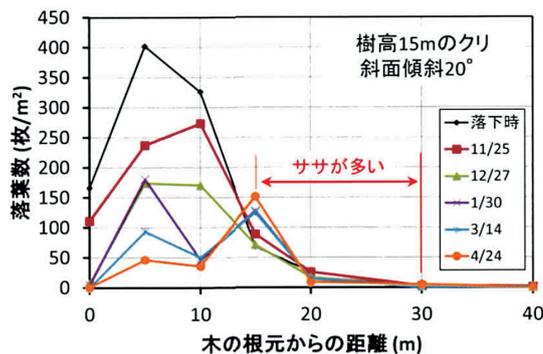


図4：地面での落葉分布の時間変化（図2と同じクリ、沢へ真っ直ぐな方向について）

おわりに

落葉の移動距離は落下時の移動と地面での移動を合わせても15～30mでした。一般的には平坦地より傾斜地の方が遠くまで移動するため、川への落葉供給源の範囲も河畔が傾斜しているほど広くなると言えます。これらは一本の木についての研究なので、今後は樹木集団である林帯の場合はどうなるかについて明らかにする必要があります。なお、本研究の詳細は森林総合研究所研究報告(2014)13:1-11と日本森林学会誌(2014)96:132-140に掲載されています。

●森林環境研究グループ

阿部 俊夫

リサイクル適性 (A)
この印刷物は、印刷用の紙へリサイクルできます。

r100
この印刷物は再生紙を使用しています。

VEGETABLE OIL INK

Forest Winds No.58

平成26年9月16日発行

独立行政法人 森林総合研究所 東北支所
〒020-0123 岩手県盛岡市下厨川字鍋屋敷92-25
Tel.019(641)2150(代)
Fax.019(641)6747
ホームページ <http://www.ffpri.affrc.go.jp/thk>

Forest Winds

フォレスト

ウインズ



もりからのかせ・東北



No.57 July 2014

Googleストリートビューを用いて 津波被災直後の海岸林を調査する



大津波に耐えて生き残った木々は、その後どうなったのでしょうか？

平成23年3月11日の東北地方太平洋沖地震による大津波は、三陸地方の海岸防災林に壊滅的な被害をもたらしました。しかし、被災林分の状況は様々であり、中には大津波に耐えて生き残った木も数多く見られました。これらの木々は、その後どうなったのでしょうか？現在各地で震災復興事業が進められ、被災地に広範囲に分布する生残木の取り扱いについては、伐採するのか保全するのか等、配慮を要する場面が増えて来ました。数百年に一度ともいわれる希有な大津波に耐えた貴重な生き証人とも言うべきこれらの木が、そこに生き残った理由や、被災によるダメージから回復するのかどうか等については、被災後の推移を調査して明らかにしていく必要があります。



Googleストリートビューの画像から被災直後の林分状況を知る

被災後の生残木の推移を知るためには、それぞれの木の被災直後の状況を知ることが重要です。しかし、今回は被災した面積が広がったために、被災直後に現地調査が行われた海岸林は、被災林の一部に限られました。そのような中で、Google社



衰退度2 (健全な緑葉が正常に着生している)



衰退度4 (針葉の褐変、脱落が進み、瀕死の状態)

図1 : Googleストリートビューの画像による衰退度の判定



独立行政法人 森林総合研究所 東北支所

Tohoku Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute

では「デジタルアーカイブプロジェクト」の一環として、同社のストリートビューの技術を活用して、震災後数ヶ月以内の被災地の撮影を精力的に実施し、その画像をウェブサイト「未来へのキオク」(<http://www.miraikioku.com/?m=guide>)の中で一般に公開しました。公開されたストリートビューの画像は大変精細で、パソコンの画面で拡大すると、被災直後の個々の樹木の着葉状態、葉色の様子などが判読できます(図1)。また、視点を移動し、見たい部分を拡大することができるストリートビューの特性を利用すると、固定した視点からでは観察することができない陰の位置の樹冠(樹木の枝や葉が茂っている部分)をも観察することができるので、撮影地点の近傍の樹木については、震災直後にまで遡って樹勢の衰退状況(衰退度)を個別に調査することが可能です。そこで、震災直後には調査が行われなかった大船渡市三陸町越喜来泊地区のクロマツ海岸林について、Googleのストリートビューの画像(2011年9月撮影)と2013年6月18日に筆者らが現地で測量して作成した立木及び伐根の位置図及び根元直径の計測結果とを照合して、津波被災半年後の当該林分の生残木の衰退度を調査し、被災後の樹勢の推移を明らかにしました。



調査してわかったこと

このクロマツ林の場合には、津波被災半年後における衰退木は林分全体にランダムに分布し(図2の上側)、根元直径の小さい樹木が衰退し易いなどの傾向は見られませんでした。しかしその後は生残木の衰退枯死が進み、枯死木や道路周辺の工事の支障木等の伐採除去が行われた結果、2013年6月には下側の図に示した20本のみを残す状態になりました。2013年6月に目視調査をした生残木20本については、2011年9月以降に樹勢が衰退した個体が5本(25%)、回復した個体が1本(5%)、変化していない個体が14本(70%)で、この林では

被災後2年以上を経過してもなお多くの個体では樹勢の衰退が続いていることがわかりました。

このように、Googleストリートビューの画像を判読すると、個々の生残木の樹勢の推移を被災直後に遡って調査することができます。今後は、津波被災の直後には調査をすることができなかった海岸防災林の生残木を対象に、樹勢の推移を個別に追跡して調査することにより、被災によるダメージから回復することができた樹木の条件(樹種、樹形、土壌、地形、病虫害の影響など)を解明するための新たな調査木の選定等へと活用していきたいと考えています。

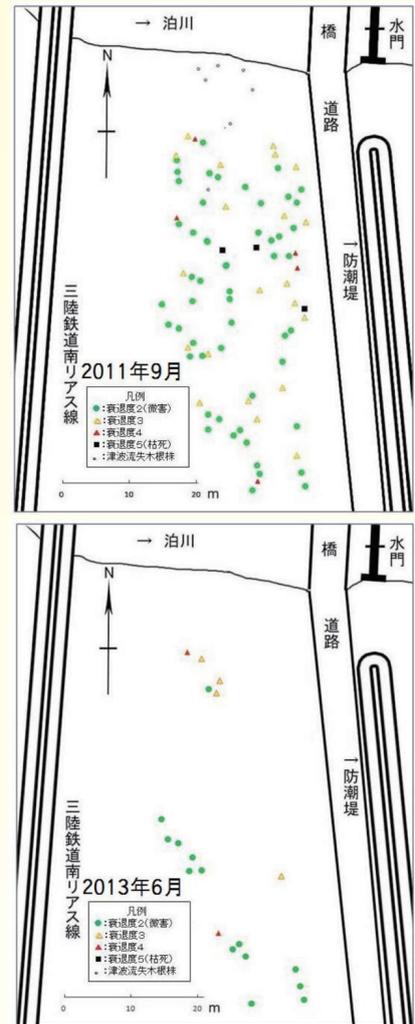


図2：津波で被災した大船渡市内のクロマツ林における生残木の衰退度の推移(この林では、2011年9月以降に枯死した木が順次伐採除去された)

●チーム長(光環境変動担当) 齋藤 武史
●森と緑の研究所 村井 宏



Forest Winds No.57

平成26年7月30日発行

独立行政法人 森林総合研究所 東北支所
〒020-0123 岩手県盛岡市下厨川字鍋屋敷92-25
Tel.019(641)2150(代)
Fax.019(641)6747
ホームページ <http://www.ffpri.affrc.go.jp/thk>

フォレスト ウィンズ Forest Winds

もりからのかぜ・東北



No.54 September 2013

森林は二酸化炭素を吸っている? 吐いている?

～ブナ林における正味のCO₂吸収量について～

正味の二酸化炭素吸収量が大切

「森林は二酸化炭素 (CO₂) を吸っている」といわれていますが、これは正しいでしょうか? 答えは、“森林はCO₂ を吸ってもいるし、吐いてもいる”です。ここでは、森林とはそれを構成する樹木などの植物と、それらを取り巻く自然環境を含めたもの(森林生態系)として考えます。大気中のCO₂は葉の光合成によって森林に吸収されますが、同時に葉・枝・幹・根の呼吸や土壌微生物による(落葉などの)有機物分解によってCO₂は大気中に放出されます。このCO₂吸収量と放出量の差が、森林の“正味のCO₂吸収量”となります。

近年、地球温暖化が懸念されており、森林のCO₂吸収機能が注目されています。「森林がどれくらいCO₂を吸収しているか?」を考えるためには、正味のCO₂吸収量を求めなくてはなりません。これは貯金に例えることができます。吸収量が収入だとすると、放出量は支出です。森林のCO₂吸収は、まさに収入と支出のバランスです。収入つまり吸収量が支出(放出量)より多ければ、貯金が生まれるわけです。この貯金が、森林の正味のCO₂吸収量となります。

森林の正味CO₂吸収量の長期観測

森林総合研究所東北支所では、東北森林管理局と共同して、岩手県安比高原にある冷温帯落葉広葉樹林(70～80年生のブナ二次林)において、正味CO₂吸収量の長期観測を2000年より実施しています(写真

1)。安比ブナ林は冬期の積雪深が2mを越すような多雪地帯に位置していますが、本研究の目的は、このような森林における年間の正味CO₂吸収量を明らかにし、その年々変動(年ごとの変動)の実態を把握することです。観測では、微気象学的方法の一つである渦相関法(うずそうかんほう)という方法を用いています。これは、森林上の空気の流れとCO₂濃度の変動をとらえ、森林と大気との間を出入りするCO₂量を直接測定する方法です。



写真1: 安比ブナ林における正味CO₂吸収量の観測の様子

長期観測でわかったこと

これまでの観測結果から明らかになってきた主な点を2つ挙げたいと思います。なお、この結果は観測期間前半(2000年～2006年)の解析によります。

1) 年間の正味CO₂吸収量とその年々変動

図1は、安比ブナ林による年間のCO₂吸収量、放出量および正味吸収量(吸収量-放出量)を年毎に示した



独立行政法人 森林総合研究所 東北支所

Tohoku Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute

ものです。単位は、一平方メートル当たりのCO₂吸収量（または放出量）を炭素量（gC/m²/year）で表しています。このブナ林では、毎年、CO₂吸収量が放出量を上回っていました。つまり、毎年貯金が生まれていたことから、この森林がCO₂の吸収源として機能していたことがわかります。ここでまず注目していただきたいのは、CO₂吸収量と放出量の大きさです。吸収量と放出量は正味吸収量よりもずっと大きく、吸収量は平均で4倍、放出量は3倍の大きさでした。また放出量の大きさは、平均で吸収量の75%に達していました。このように、森林は多量のCO₂を吸収しながら多量のCO₂を放出しており、森林の正味のCO₂吸収はこの吸収と放出のバランスの上に成り立っています。

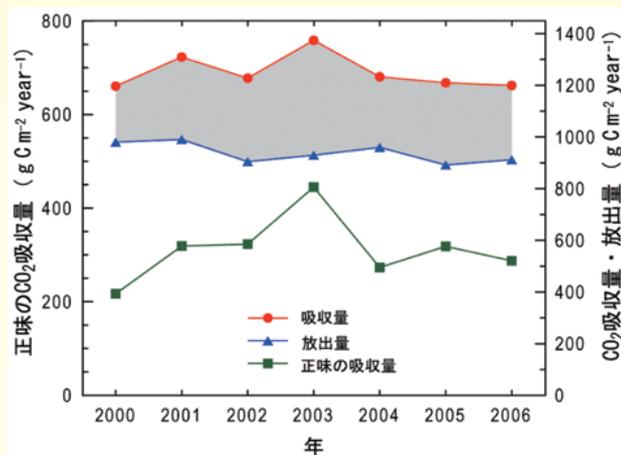


図1：年間のCO₂吸収量、放出量および正味の吸収量：
正味CO₂吸収量は吸収量－放出量（灰色の部分）に等しい

2) 正味吸収量の年々変動はなぜ起こる？

つぎに、安比ブナ林の正味CO₂吸収量が年々で変動している点に注目してください。はっきりと分かるのは、2003年の吸収量が多く、2000年は少ないことです。ここで、ブナが葉を着けている期間（成長期）と、葉を落としている期間（落葉期）に分けて考えてみると、正味吸収量の変動は、成長期の気温と落葉期の積雪環境に影響を受けていることがわかりました。つまり、成長期（光合成を行っている時期）の正味吸収量は期間の積算温度（ここでは日平均気温の期間合計値）の減少とともに増加し（図2）、落葉期（光合成を行っていない時

期）では積雪に覆われていない期間（無積雪日数）が長いほどCO₂放出量が増えていました（図3）。

これらの結果は、わずかな環境変化の中で得られたものです（成長期の平均気温の差は最大で約2℃でした）。将来予想される気候変動によって、CO₂吸収と放出のバランスが変化していくことが考えられます。地球温暖化問題などに対する森林の役割を評価していくためには、今後も観測を継続していく必要があります。

なお、本観測結果に関する詳細は、Journal of Forest Research (2012) 17:253-267, DOI 10.1007/s10310-011-0298-x に掲載されています。

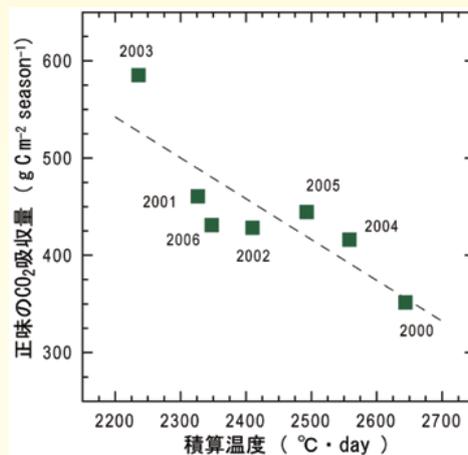


図2：成長期における積算温度と正味CO₂吸収量との関係（図中の数字は観測年）

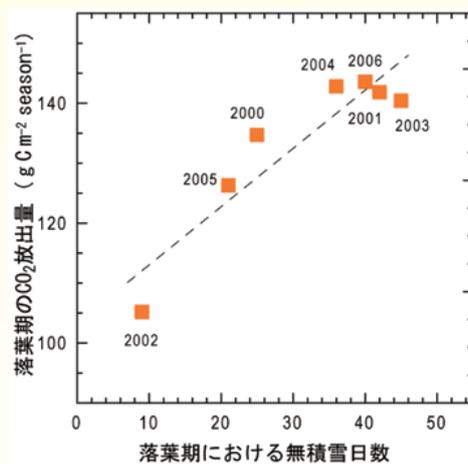


図3：落葉期における無積雪（積雪のない）日数とCO₂放出量との関係（図中の数字は観測年）

●森林環境研究グループ | 安田 幸生



この印刷物は、印刷用の紙へリサイクルできます。



この印刷物は再生紙を使用しています。



Forest Winds No.54

平成25年9月30日発行

独立行政法人 森林総合研究所 東北支所
〒020-0123 岩手県盛岡市下厨川字鍋屋敷92-25
Tel.019(641)2150(代)
Fax.019(641)6747
ホームページ <http://www.ffpri.affrc.go.jp/thk>

Forest Winds

フォレスト ウィンズ

もりからのがせ・東北



No.53 July 2013

雪の深さを空から測る

❄️ 山に積もる雪

みなさんは遠くに霞む雪山を見て、あそこではどのぐらいの雪が積もっているのだろうと思いを巡らせたことはありませんか。1m?、5m?、はたまた10m?。この素朴な疑問は、実は我々の豊かで安全な暮らしにも深く結びついています。山に積もった雪は春になるとゆっくり融けて河川に流れ込み、飲料用水や農業用水といった貴重な水資源になります。一方で気温の上昇などで急激な融雪が起これば洪水や土砂災害が起きることもあります。山に積もる雪の量を明らかにすることは水資源管理や防災の点から見てもたいへん重要なのです。

❄️ 空からレーザで積雪深を測る

山の積雪深を知ろうという試みは昔からありました。1990年代までは人が直接雪山に登り、雪を掘って断面の深さを測ったり測深棒を雪中に差し込んで積雪深を測ったりしていました（写真1）。人力に頼るこれらの方法は大変な労力を要するため、測定できるのは数十点程度の積雪深のみで、その面的な広がり

までは捉えられませんでした。こうした中、2000年代になると航空レーザ測量が実用段階に入りました。航空レーザ測量とは、セスナやヘリコプターなどで空から地形を測量する方法です。航空機にはレーザスキャナが搭載されており、空から地



写真1：雪の掘削風景
（このときの積雪深は480cm。人力に頼る従来の積雪深調査は多大な労力を要する。）

上に向けてレーザを発射するとその反射情報によって地表面の面的形状（地形）を知ることができます。最近では森林や自然災害の発生現場、都市域など様々なシーンで航空レーザ測量が使われるようになりました。ところで雪の積もった場所で航空レーザ測量をするとどうなるのでしょうか。レーザは雪面で反射するので積雪面の形状を知ることができます。同



独立行政法人 森林総合研究所 東北支所

Tohoku Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute

じ場所で夏に地形、冬に雪面の形状を航空レーザ測量で測り、それぞれの形状図を重ね合わせて標高を引き算すると積雪深の分布が分かるはず（図1）。このような考えに基づいて、私たちは長野・新潟県境にある山間地（蒲原沢流域）で夏冬2回の航空レーザ測量を実施し、積雪深分布図を作成しました。

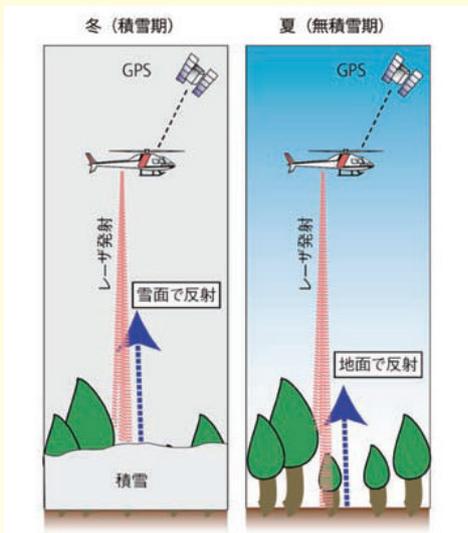


図1：航空レーザ測量による積雪深計測のイメージ

❄️ 山地の積雪深分布図

図2に航空レーザ測量の差から求められた積雪深分布図を示します。積雪深の誤差は実測値と照らし合わせて30cmの範囲に収まり、分布図としては十分な精度を持っていることが分かりました。この図から山の積雪状態についていくつかの特徴がわかります。

1) 標高が上がると積雪深は増える

標高が高くなれば気温が下がり融雪も減るので積雪深は増えます。ただし、標高が高くても平坦な台地状の地形では強い風によって積雪が吹き飛ばされるため、逆に積雪深が減る

場合もあります。

2) 谷沿いでは積雪深が増え、尾根沿いでは減る

図を見ても一目瞭然かと思いますが、谷は風が弱く周囲の雪が集まってくるため積雪深が大きく増えます。調査した流域では積雪深が8mに達する場所もありました。反対に尾根では雪が風で吹き飛ばされるため積雪深が減る傾向にありました。これらの点は従来の局所的な積雪深計測でも指摘されていたのですが、航空レーザ測量による面的なデータはこの指摘が広域的に当てはまることを証明しました。このほかにも、斜面の勾配が50度以上になると積雪深が急に減ることや、地形起伏を数値指標化することで積雪深の分布を上手く再現できることが新たに分かりました。

この積雪深分布図は山地に積もっている雪、言い換えれば「水」の量を正確に把握できますので、私たちの飲み水や産業用水となる水資源量の評価や、洪水や雪崩などの災害危険度の予測に役立つものと期待されています。

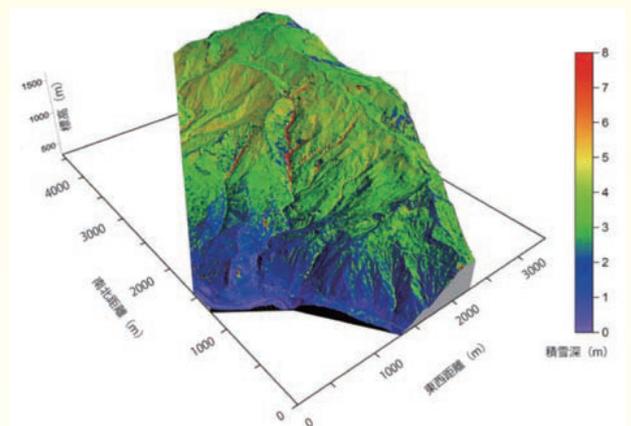


図2：積雪深分布図（長野・新潟県境蒲原沢流域、2003年2月26日）

●チーム長（山地保全担当） 岡本 隆



この印刷物は、印刷用の紙へリサイクルできます。



この印刷物は再生紙を使用しています。



Forest Winds No.53

平成25年7月25日発行

独立行政法人 森林総合研究所 東北支所
岩手県盛岡市下厨川字鍋屋敷92-25
〒020-0123 Tel.019(641)2150(代)
Fax.019(641)6747

ホームページ <http://www.ffpri.affrc.go.jp/thk>

フォレスト ウィンズ Forest Winds



もりからのがせ・東北



No.52 February 2013

安定同位体で探る雨のゆくえ

雨や雪はどこへ？

森林への降水（雨や雪）は一部が樹冠で遮断されて大気に戻り、地表面へ到達した降水の一部は河川へ流出し、一部は地下水となって森林の外へ出て行きます。地表面へ到達した降水の大部分は地中へ浸透します。地中へ浸透した降水はどのくらいの時間をかけて河川まで出てくるのでしょうか。

水の安定同位体

化学の教科書にあるように、原子は原子核と電子から構成されています（図1）。原子核はさらに陽子と中性子とから成ります。同位体とは陽子の個数が同じでも、中性子の個数が異なる原子のことです。同位体には原子核が別の原子核へ変化する放射性同位体と安定に存在する安定同位体があります。水素原子の同位体には質量数（陽子と中性子を合わせた個数のこと）が1の水素（H）、質量数が2の重水素（D）そして質量数が3のトリチウム（T）があります。HとDは安定同位体でTは放射性同位体です。酸素原子には質量数が16と

18の安定同位体（ ^{16}O と ^{18}O ）があります。これらは水分子となって自然界を循環しています。Dや ^{18}O を含んでいる水は、含まない水に比べて重くなります。この重さは同位体比といって、水の中のHや ^{16}O の個数に対するDや ^{18}O の個数の割合（D/Hや $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ）として表します。日本の降水の同位体比は季節によって変化しますが、降水が河川へ出るまでにこの季節変化が小さくなります。季節変化が小さくなるのは降水が地中水と混ざりながらゆっくりと河川まで流れてきたからです。この降水と河川水の同位体比の違いを利用して、降水がどのくらいの時間をかけて河川へ流出するのか推定することができます。

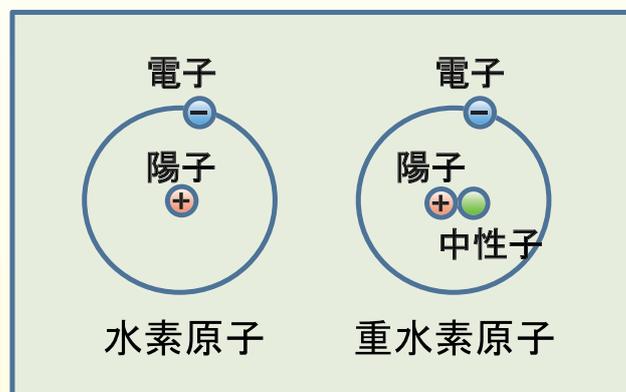


図1：水素原子の同位体



降水はどのくらいかけて 河川へ出てくるのでしょうか？

群馬県にある森林総合研究所の宝川森林理水試験地（写真1）で降水と河川水を定期的に採取し、酸素の同位体比を調べました。宝川森林理水試験地は12月以降降雪があり、融雪の流出は6月末まで続きます。降水の酸素同位体比は雪で小さく雨で大きいという季節変化をしています（図2）。これに対して河川水の酸素同位体比は降水よりも季節変化が小さくなっています（図3）。この季節変化の振幅の比から降水が河川まで流出するのにかかる平均的な時間（平均滞留時間といいます）を計算することができます。宝川森林理水試験地に降った雨や雪の平均滞留時間は約9.3ヶ月でした。森林からゆっくりと水が流れ出すことがわかりました。



写真1：宝川森林理水試験地（群馬県みなかみ町）
森林総合研究所では1937年より気象・流量観測を継続しています

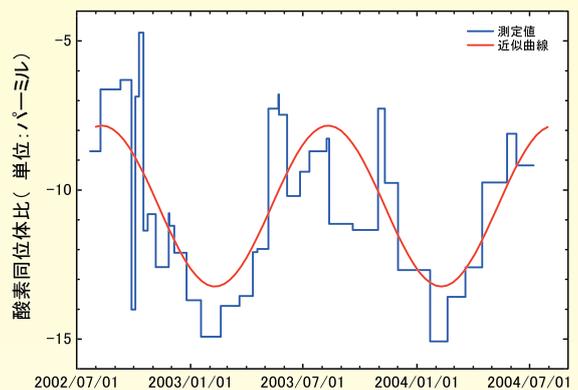


図2：降水の酸素同位体比の季節変化

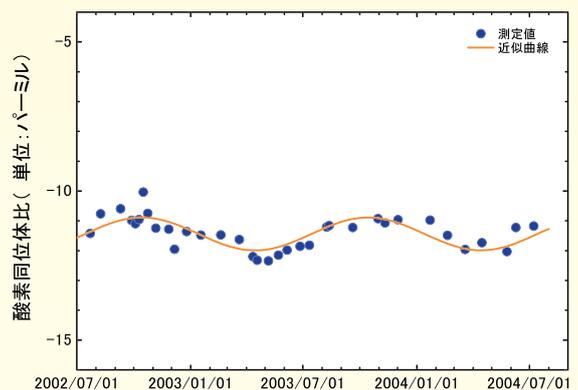


図3：河川水の酸素同位体比の季節変化

研究の必要性

安定同位体を使った積雪地域における降水の流出に関する研究は、積雪の無い地域に比べて十分ではありません。特に融雪流出はときに自然災害を引き起こし、治水上の大きな問題となる一方で、発電・灌漑・生活用水などの公共用水の主要な供給源になっています。積雪地域の山地河川において融雪が河川へ流出するまでの時間を明らかにすることは、地すべりの防止や森林が貯めてくれた水の有効利用のためにとっても重要です。

●森林環境研究グループ 久保田 多余子



この印刷物は、印刷用の紙へリサイクルできます。



この印刷物は再生紙を使用しています。



Forest Winds No.52

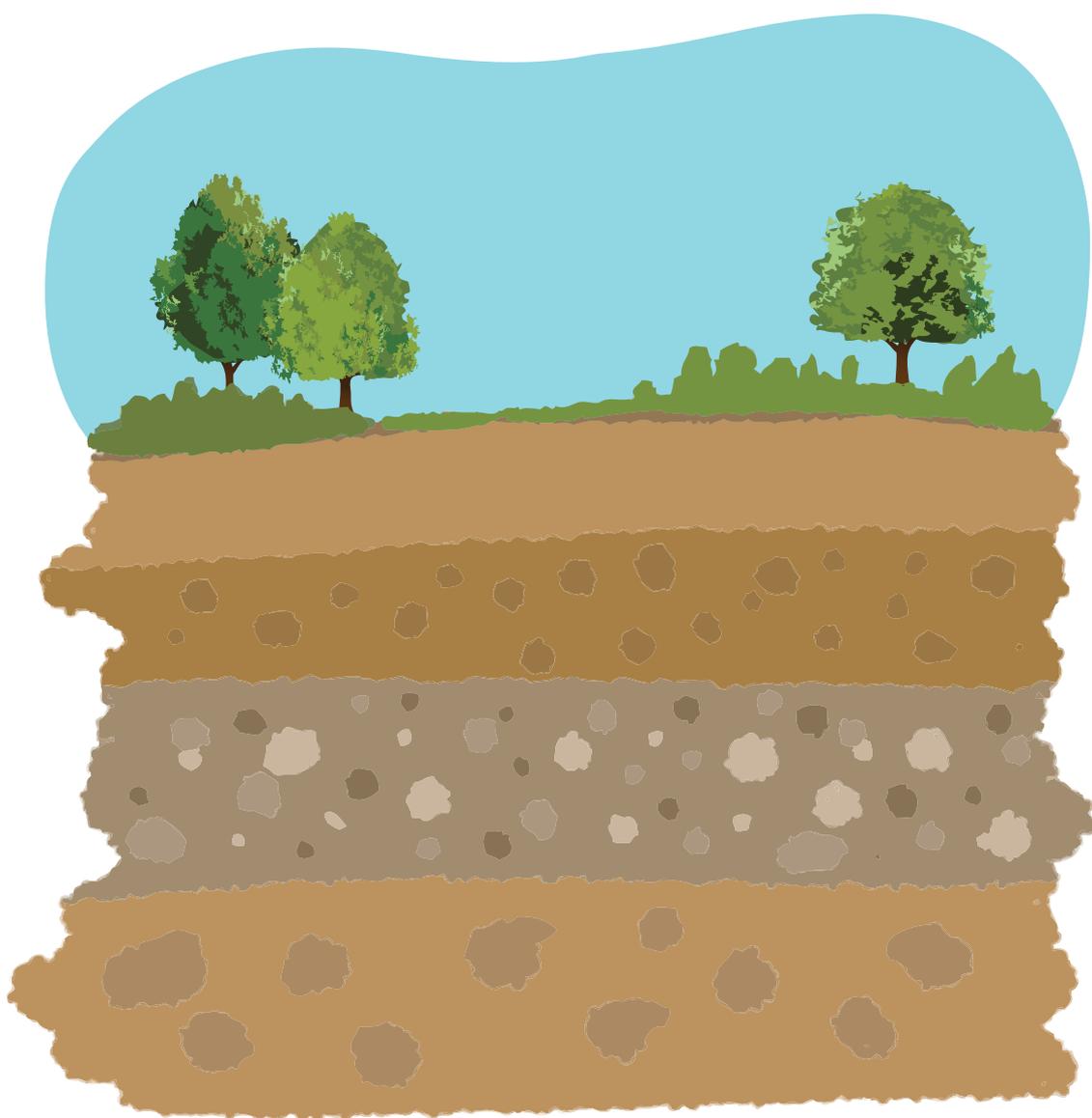
平成25年2月28日発行

独立行政法人 森林総合研究所 東北支所
岩手県盛岡市下厨川字鍋屋敷92-25
〒020-0123 Tel.019(641)2150(代)

Fax.019(641)6747

ホームページ <http://www.ffpri.affrc.go.jp/thk>

森林の立地環境 に関する研究分野



フォレスト ウィンズ Forest Winds



もりからのかぜ・東北



No.73 June 2018

土の中と外では空気組成も別世界

土の中の空気に 思いを馳せる

私たちが普段あまり意識することなく吸っている空気。この空気は、窒素や酸素、そして呼吸として吐き出される二酸化炭素など、さまざまな気体で構成されていることをご存知かと思います。身の周りに大気があるように、土壌中の隙間にも空気が含まれていて、その組成は、私たちが知る大気とは大きく異なっています。この違いについて、森林土壌を例に、最近の研究からわかってきた成果を交えて紹介します。

土の中では大気よりも 濃度が高い二酸化炭素

地球温暖化の原因の一つともいわれている二酸化炭素。30年ほど前は、350ppm程度でしたが、近年は400ppmを超えるまで上昇を続けています。この上昇を抑えることが地球温暖化の緩和につながると考えられ、国際的な取り組みが進められています。二酸化炭素は、土をスコップでひと掘りした深さでは、大気の10倍以上も高い数千ppmに達します。この濃度は、人が長時間さらされると健康を害

する可能性があるレベルです。土壌中では、土壌動物、昆虫、微生物、そして植物の根の呼吸によって二酸化炭素が発生していますが、土壌中の気体の通り道は、土の粒子や水によって複雑に入りこんでおり、移動しづらいため、このように二酸化炭素濃度が高くなってしまいます。



(a)



(b)

写真1 モノテルペン濃度の季節変化の観測をおこなった安比高原の (a) ブナ林と (b) カラマツ林



国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所 東北支所

Tohoku Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute,
Forest Research Management Organization, National Research and Development Agency

土の中では大気よりも濃度が低いメタン

二酸化炭素とは反対に、大気中よりも土壌中で低い濃度を示す気体もあります。二酸化炭素と同様に温室効果ガスとして知られているメタンです。大気中では約2ppmとごくわずかですが、土壌中では、さらにその半分から1/10程度に低下します。これは、土壌中ではメタンを栄養源とする微生物群が活動しているためです。このため、メタンは大気から土壌に吸収されて温暖化を緩和する役割を持っており、日本の森林土壌はその能力が高いことが、私達の研究から明らかになっています。

大気と土壌中では劇的に濃度が違う気体の存在が明らかに

以上紹介した気体は、大気中と土壌中では、十倍程度の濃度の違いでした。しかし、近年の研究から、もっと大きな濃度の違いがある気体の存在が明らかになってきました。フィトンチッドとも総称される森の香りの成分でもあるモノテルペンです。モノテルペンは単独の化合物でなく、現在のところ、1000種類ほど知られている化合物群です。

私たちが安比高原（岩手北部森林管理署管内）で観測したところ、大気中の主要なモノテルペンが7種類確認されました。これらのモノテルペン濃度について、ブナ林（写真1a）とカラマツ林（写真1b）で、それぞれ林内の大気と土壌空気の季節変化を比べました（写真2）。その結果、土壌中のモノテルペン濃度は夏季に高く、冬季に低い季節変化を示し、濃度が高い時期（8月）は、大気の1000倍近くにもなることが明らかになりました（図1）。



写真2 土壌中のモノテルペン濃度を測定するための土壌空気採取の様子。注射器と土壌の間に見える金属チューブ（黄色く囲んだ部分）にモノテルペンの吸着剤が詰められている。

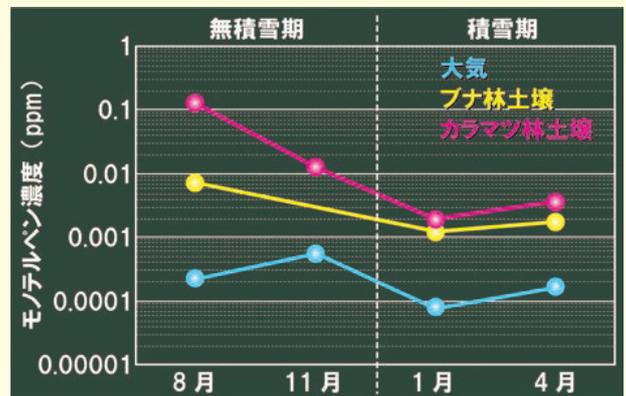


図1 安比高原の大気、ブナ林土壌、カラマツ林土壌における総モノテルペン濃度の季節変化。

なぜ土の中でモノテルペンの濃度が高いのか？

この大きな濃度の違いの原因として、大気中のモノテルペンは、短いものは数十分から数時間で分解してしまうことがあります。また一方で、土壌中に強いモノテルペンの発生源があることも考えられます。これは、ブナ林よりもカラマツ林の土の中で明らかに高い濃度を示し、樹種による違いが見られることから、樹木根が発生源の一つと考えています。このような樹種による濃度の大きな違いが見られるのも、二酸化炭素やメタンとの大きな違いです。モノテルペンの中には抗菌活性を示すものも知られており、今後、その発生源の特定とともに、土壌中の物質の生成や消失にどのような影響をおよぼすかについて研究を進めていきます。

●森林環境研究グループ 森下 智陽



この印刷物は、印刷用の紙へリサイクルできます。



この印刷物は再生紙を使用しています。



Forest Winds No.73

平成30年6月15日発行

国立研究開発法人 森林研究・整備機構

森林総合研究所 東北支所

〒020-0123 岩手県盛岡市下厨川字鍋屋敷92-25

TEL.019(641)2150(代)

Fax.019(641)6747

ホームページ <https://www.ffpri.affrc.go.jp/thk/>

フォレスト ウィンズ Forest Winds



もりからのかせ・東北



No.63 December 2015

東北地方に多く見られる森林土壌の いろいろ ~「土壌モノリス」の紹介~

みなさんは、地面の下に広がる土の世界について想いを馳せたことがありますか？ 植物の生育の場である「土」はどこでも同じように思われがちですが、野外に出掛けて地面を掘り、現れた土の断面をいろいろと見比べてみると、実は環境によって土はいろいろな顔つきをしていることが分かります。しかし、日常生活の中で、私たちが地面の中の様子について考える機会はあまり多くなく、実際に野外でさまざまな土の断面に直接触れる機会も限られています。森林総合研究所東北支所では「土壌モノリス」と呼ばれる土壌標本を展示しています(写真1)。ここでは、東北支所に展示されている土壌モノリスからいくつかピックアップして、東北地方に分布する代表的な土についてご紹介いたします。



「土壌モノリス」ってなに？

「土壌モノリス」は野外にある自然の土を接着剤等で固めて、地面の中のそのままの状態です。土壌モノリスを作ってそれらを展示すれば、わざわざ野外に出掛けて地面を掘らなくても、地中に広がる土の世界を実感できるのです。土壌モノリスを観察すれば、土の色や構造、土や石の堆積状態を見たり触れたりできますし、岩石の種類、形、大きさ、根の分布状態も調べることが可能です。もちろん、写真や絵による土壌観察も可能ではありますが、実物標本の臨場感に勝るものではありません。



東北地方に多く見られる 森林土壌

〈黒色土〉(写真2a)

十和田湖、八甲田山、八幡平、岩手山、秋田駒ヶ岳、鳥海山、蔵王山、吾妻山等数多くの火山を有する東北地方では、過去の噴火によって噴出、降下した火山灰の影響を強く受けた土壌(このような土を「火山灰土」と言います)が広く分布しています。黒色土は火山灰を起源とする土壌であることが多く、黒色土は東北地方に分布する最も典型的な土壌の一つと言えます。表層には、腐植に富み、黒味の強い、非常に厚いA層(30cm以上)が観察されるのが特徴です。また、A層と粘土に富む次層(B層)との境界はとても明瞭であることも特徴の一つです。



写真1：森林総合研究所東北支所展示室の土壌モノリス



〈ポドゾル〉(写真2b)

寒冷湿潤気候下の森林で見られる土壌です。中部地方以北の高海拔山地に分布します。寒冷な気候下では落葉落枝の分解速度が極めて遅いため、地表には厚い腐植層が形成されます。そこから供給される水溶性有機酸によって土壌は強い酸性条件となるため、鉍質土層に含まれる鉄・アルミニウム成分が溶脱して漂白された土層を、厚い腐植層の下に持つことがポドゾルという土壌の特徴です。溶脱層の下には、鉄や腐植が移動してたまった赤褐色や黒褐色を示す集積層がみられることもあります。東北地方では、奥羽山脈に属する八甲田山、八幡平、栗駒山、蔵王山、北上山地の早池峰山、月山-朝日山地等の諸山塊によく見られます。局所的には秋田県森吉山-太平山周辺や、月山-湯殿山周辺、青森県北部のヒバ林地帯にも分布します。

〈褐色森林土〉(写真2c)

東北地方に限らず日本の森林土壌の多くは、褐色森林土に分類されます。暖温帯から冷温帯にかけての湿潤気候下においては落葉落枝等のリター分解が全般に良好なため、地表面には分解途上の落ち葉や落枝で構成されるリター層が堆積し、その下には多孔質で黒褐色の腐植を含んだ表層土壌(A層)が発達し、次いで粘土に富む下層土(B層)へと徐々に変化していくのが特徴です。

〈その他〉

その他、森林土壌の分類の中には、赤黄色土やグライ(写真2d, e)、未熟土等もあります。グライは地下水面が高く排水の悪い環境下で生成される土壌です。赤黄色土は高温かつ乾湿を繰り返す気候条件下に分布する土壌です。未熟土は、土壌生成を始めて間もない、未熟な土壌です。東北支所の展示室にはこれらの土壌モリスを展示してあります。また、過去に繰り返された火山噴火の履歴が累積的に記録されている火山灰土や、津波被災海岸林の再生事業で造成された盛土由来の



写真2：土壌モリス：a 黒色土、b ポドゾル、c 褐色森林土、d 赤色土、e グライ

未熟土等、新たな土壌モリスを作成し、現在展示の準備を進めています(写真3)。東北支所に訪問された際には、是非、ご覧になってください。



写真3：作成中の土壌モリス：

- 左 十和田湖の過去の火山噴火の履歴が保存された累積性火山灰土、
- 右 津波被災海岸林の再生のために、盛土工事によって造成された未熟土

「土壌モリス」は研究にどのように役立つの？

土壌モリスは、地面の下の土の様子を広く一般に知って頂く上で、動物や植物、岩石や鉍物等の標本同様に、優れた教材となります。また、土壌学的な研究を行う上でも重要な意味を持っています。一般に、土壌調査を行う際には、調査、観察、試料採取のために大きな穴を掘って土壌断面を作ります。この調査自体が大きな攪乱を伴う作業であるとともに、調査終了後には元の状態に戻すため、穴を埋め戻します。同じ箇所を連続して調査を行った場合、厳密には元の場所、元の状態とは違った土壌をみることとなってしまいます。なにより、地面の中の様子を再度確認するためには、時間と労力をかけて、土壌断面を作る必要があります。その点、土壌モリスを採取しておけば、永久的にその土壌が保存され、いつでもその状態を観察することが可能です。しばしば、道路・施設建設等の土木工事によって土壌そのものが消失してしまう事態が生じています。土壌モリスとして土壌を保存していれば、例え、土壌が消失しても、その土壌の存在は標本として残ることとなり、永続的に土壌学の普及、教育、研究資料としての役割を果たすことが可能です。

●森林環境研究グループ

●チーム長(山地保全担当)

小野 賢二
岡本 隆

リサイクル適性(A)

この印刷物は、印刷用の紙へリサイクルできます。

R100
この印刷物は再生紙を使用しています。

VEGETABLE OIL INK

Forest Winds No.63

平成27年12月16日発行

国立研究開発法人 森林総合研究所 東北支所
〒020-0123 岩手県盛岡市下厨川字鍋屋敷92-25

Te l.019(641)2150(代)

Fax.019(641)6747

ホームページ <http://www.ffpri.affrc.go.jp/thk>

フォレスト ウィンズ Forest Winds

もりからのかせ・東北



No.59 December 2014

台風による大雨増水時でも森林から流出する放射性セシウムはわずかでした

原発事故による放射性セシウムの放出

東京電力福島第一原子力発電所の事故により、森林に放射性セシウムが降下しました。一方で、我が国では水源となる森林の多くは傾斜が急な山地にあり、毎年台風がやってきては多量の水と土砂が下流に流れていきます。そのため、福島第一原発の事故で森林に降下した放射性セシウムが台風の際に下流に大量に流れ出すのではないかと、という不安がありました。そこで、福島県の森林に試験地を設け、台風が来た時に集中して渓流水を採集し、森林から流出する放射性セシウムを調べました。

調査は、福島第一原発から西に約70キロメートル離れた、郡山市のスギ、アカマツなどの針葉樹とコナラなどの落葉広葉樹から構成された森林で行いました。2012年6月19日から20日にかけて台風4号が通過した際、総雨量168ミリ、1時間あたり最大で34ミリの大雨が降りました。この雨の総雨量は2012年で最大でした。雨の降り始めから雨が止んだ後まで1時間ごとに連続して、その後は少し間隔をあけて合計20回以上渓流水を採集し、セシウム137濃度を測定しました。なお、渓流水の流出水量

については10分ごとに自動計測し、図1では1時間ごとに表示してあります。

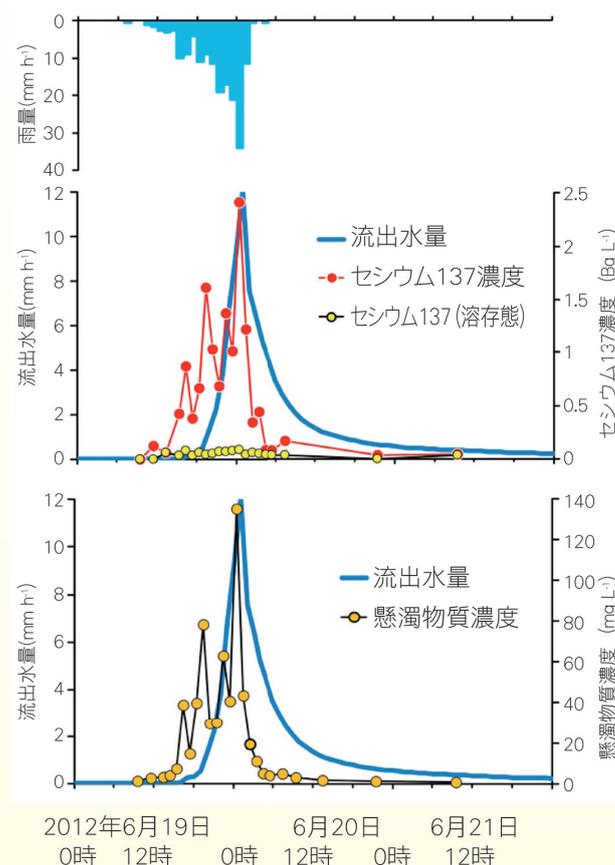


図1：台風に伴う増水時の流出水量、渓流水中のセシウム137濃度、懸濁物質濃度の経時変化

渓流水のセシウム137濃度と懸濁物質濃度は、流出水量が増えると急激に上昇し、雨が止んで流出水量が減り始めると、今度は一転して急激に低下しました。



独立行政法人 森林総合研究所 東北支所

Tohoku Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute

渓流水中の放射性セシウム濃度の変動

渓流水のセシウム137濃度と懸濁物質濃度(水の濁り具合の指標)は流出水量が増えると、急激に上昇しました(図1)。1時間あたりの雨量が最大になった時、流出水量も最大になり、セシウム137濃度、懸濁物質濃度も最大になりました。このときセシウム137濃度は、晴天時の濃度のおよそ30倍になっていました。台風が過ぎ去り雨が止んで、流出水量が減り始めると、セシウム137濃度、懸濁物質濃度は一転して急激に低下しました(写真1)。ガラス繊維ろ紙(捕留粒子径0.7マイクロメートル)で濾過して濁り成分を除去した後の渓流水を再び測定すると、水に溶けた状態(溶存態)のセシウム137濃度が測定できます。溶存態のセシウム137は検出されないか、検出されても極めて低い濃度でした。増水時の渓流水に含まれている放射性セシウムは水の濁り成分に主に由来していました。



写真1：流出水量を観測するための堰
この写真は、図1の雨とは異なりますが、2014年7月の総雨量90ミリの雨が止んだ直後に撮影したものです。流出水量が多くなっていますが、渓流水はほとんど濁っていません。

台風に伴う大雨増水時に流出したセシウムの割合

増水の始まり(19日15時)から終わり(20日17時)まで流出水量とセシウム137濃度からセシウム137流出量を1時間ごとに積算したところ、台風4号に伴う大雨増水でセシウム137は1平方メートルあたり72ベクレル流出したことがわかりました。調査地周辺のセシウム137の降下量は1平方メートルあたりおよそ11万ベクレルと見積もられていますから、この量は調査地に降下したセシウム137のおよそ0.07パーセントに相当します。一回の台風で流出したセシウム137の量はこの地域に降下した量に比べて格段に少なかったのです。以上のことから、一定の面積あたりで考えた場合、台風による大きな増水であっても森林に降下した放射性セシウムが渓流水を通じて外へ流出する割合は非常にわずかであることがわかりました。この理由として、森林から流出するセシウム137はほとんどが懸濁物質に由来すること、懸濁物質は雨つぶや地表を流れる水流により流出しますが、我が国の森林は植生が繁茂し、地表は落葉で覆われ、かつ土壌の浸透能が高いので、それらの影響が弱められ、懸濁物質の流出は少ないことが考えられます。

本研究は、農林水産省委託プロジェクト「森林から流出する水等に含まれる放射性物質の挙動の解明」による成果です。なお、本文に関する詳細は、Soil Science and Plant Nutrition (2014) Vol.60: 765-771, DOI:10.1080/00380768.2014.949852.に掲載の予定です。

●森林環境研究グループ長 篠宮 佳樹



この印刷物は、印刷用の紙へリサイクルできます。



この印刷物は再生紙を使用しています。



Forest Winds No.59

平成26年12月19日発行

独立行政法人 森林総合研究所 東北支所
〒020-0123 岩手県盛岡市下厨川字鍋屋敷92-25

TEL.019(641)2150(代)

Fax.019(641)6747

ホームページ <http://www.ffpri.affrc.go.jp/thk>

フォレスト ウィンズ Forest Winds

もりからのかぜ・東北



No.51 November 2012

雨が降ると土は酸性になる？

雨と土壌

雨には大気中の二酸化炭素や汚染物質などが取り込まれるため酸が含まれています。雨が土壌中に浸透し土壌水（土壌中を流れる水）になると、土壌水中に含まれる酸と土壌中のカルシウムなどの養分が交換されます。土壌水が下方へ浸透するとともに土壌から養分が失われていき、養分と入れ替わった酸が残って酸性になります（図1）。

性があります。そこで、日本でも有数の多雨地帯で急傾斜の高知県の魚梁瀬（やなせ）で多雨が土壌酸性化におよぼす影響を調べました。魚梁瀬は「ヤナセスギ」と呼ばれるスギの産地で、調査地は200年以上にわたり伐採などの人為的な作業が行われず管理・保護されてきた立派なスギ林です（写真1）。このような森林の下で土壌はどのように変化するのでしょうか？

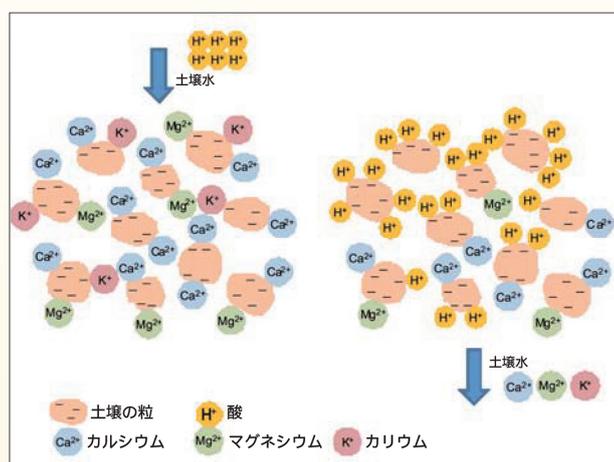


図1：土壌中でおこるイオン交換の概念図
(左:交換反応前 右:交換反応後のイメージ)

結果として土壌中のカルシウムやマグネシウムなどの樹木に必要な養分が失われ、酸性化した土壌が樹木の成長に悪影響を及ぼす可能



写真1：林内風景

土壌の酸性化とその理由

多雨の影響を考えるには、過去に調査された地点と同じ地点で再び調査して、その変化



独立行政法人 森林総合研究所 東北支所

Tohoku Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute

を調べることが有効です。そこで、1976年の魚梁瀬の調査地点を1997年に再調査しました。地表に近い表層の土壌pH値は21年前と比べて単純平均でpH4.5から4.1に低下して酸性度が高くなりました。雨のpHの全国平均値は4.7程度ですが、実際に魚梁瀬で観測した雨のpHの平均値は5.1で、全国の平均値より高く、酸性度の弱い雨が降っています。しかし、魚梁瀬は年間4,000mmを越える多雨地域のため、濃度は低くても降水量が多いので多くの酸が森林にもたらされることとなります。また、図2に示すように1976年頃は全国的に大気汚染物質（二酸化硫黄）の濃度が現在よりも高く、汚染物質からできる酸性物質が森林に多く供給され、その結果として土壌の酸性度が高くなった可能性も考えられます。

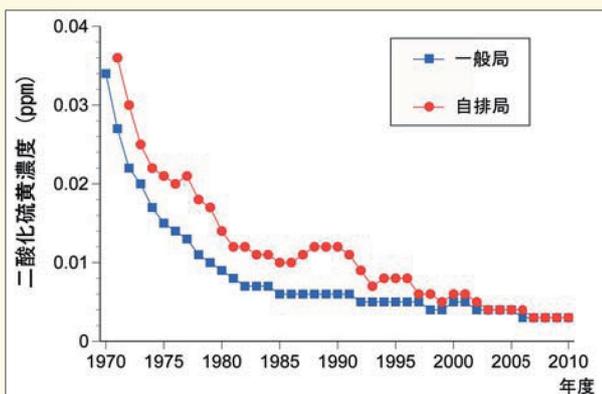


図2：二酸化硫黄濃度の年平均値(全国)の推移

- 一般環境大気測定局(一般局)…一般大気汚染状況を監視する測定局
- 自動車排出ガス測定局(自排局)…交差点、道路及び道路端付近の自動車由来の汚染状況を監視する測定局

環境省水・大気環境局「平成22年度大気汚染状況について(報道発表資料)」を一部改変

森林への影響は？

魚梁瀬では21年間に土壌の酸性度が高くなり、樹木の生育にとっては好ましくない方向へ変化しました。しかし、そこに生育するスギは高齢で、成長の鈍化はあってもいまだ成長を続けており、幸い土壌の酸性化の悪影響は明らかではありませんでした。土壌には酸を中和する機能(緩衝能)があるため、土壌環境が急に悪化することはありません。ただし、酸性化が長期にわたると影響が出てくることも考えられるので、定期的に土壌を調査して状況を把握することが重要です。

東北地方で注目すべき点は

東北地方は魚梁瀬と比べて、降水量が少ないだけでなく、降雨の強度が小さく、傾斜も緩いところが多い環境条件にあります。また、酸に対する緩衝能が高い土壌(火山灰を起源とする黒色土)が広く分布していることから、土壌の酸性化は起こりにくいと考えられます。一方で、多雪地帯なので春先には、工場や自動車などから排出された大気汚染物質等が溶け込んだ酸性の融雪水が多量にまた一時期に集中して土壌に供給されます。このような条件下では、土壌中の養分が失われやすくなり、注意が必要です。また国内からの排出だけでなく、季節風に乗って流れてくる大陸からの越境汚染物質の問題もあり、東北の森林土壌の酸性化もきちんと観測を続ける必要があります。

●森林環境研究グループ 山田 毅



この印刷物は、印刷用の紙へリサイクルできます。



この印刷物は再生紙を使用しています。



Forest Winds No.51

平成24年11月30日発行

独立行政法人 森林総合研究所 東北支所
岩手県盛岡市下厨川字鍋屋敷92-25
〒020-0123 Tel.019(641)2150(代)
Fax.019(641)6747

ホームページ <http://www.ffpri.affrc.go.jp/thk>



独立行政法人・森林総合研究所・東北支所

落葉が土壤有機物に変化する過程を 「固体¹³C核磁気共鳴法」により解明

ポイント

- 森林土壌への炭素供給量を知り温暖化対策研究に役立てる
- 落葉や土壌をそのままの状態を分析
- 落葉の分解にともなう有機物の質と量の変化を同時に解明

概要

森林総合研究所は独立行政法人農業環境技術研究所と共同で、落ち葉や土などの有機物組成をそのままの状態調べることができる「固体¹³C核磁気共鳴法」（以下、固体¹³C NMR法と表記）を用いて、世界で初めて落葉が土壤有機物へ変化する様子を明らかにしました。落葉中の有機物成分の分解速度を基に林床の有機物集積量を推定した結果、10年間で1ヘクタールあたり総計4トンの炭素が林床に蓄積されることが明らかになりました。この手法により、森林への炭素蓄積のメカニズムが明らかになり、地球温暖化対策研究の進展に貢献することが期待されます。

研究の背景

森林土壌は巨大な炭素貯蔵庫で、落葉などが土壌に貯まっている炭素の起源です。落葉はどのように分解し土壤有機物へと変化していくのでしょうか。従来は化学薬品で落葉や土壌中の有機物を抽出し組成を調べていました。しかし落葉と土壌では抽出方法が異なり、落葉から土壤有機物への変化を統一的に評価できませんでした。そこで、固体¹³C NMR法を用いて、薬品処理で有機物を壊さずに、落葉が土壤有機物に変化していく過程を調べました。

研究の内容及び成果

北関東の天然林でブナとミズナラの落葉が分解する過程を3年間調べました。落葉には炭素の結合から区分されるO-アルキル、芳香族、脂肪族、カルボニルの4グループの有機物が含まれます。ブナとミズナラの落葉はいずれもO-アルキルグループが主成分でした（図1）。O-ア

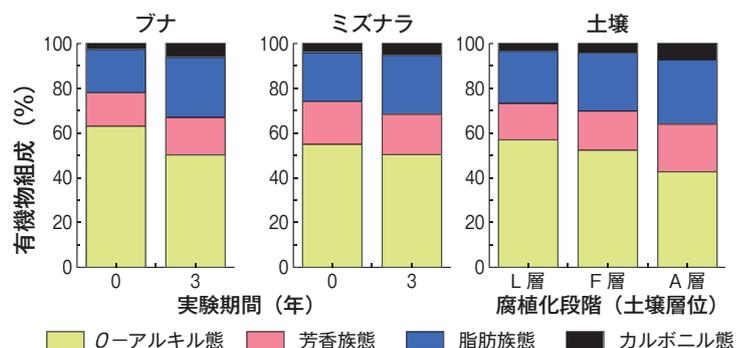


図1 試験開始時(0年)、試験終了時(3年)および森林土壌の有機物組成
試験開始時の新鮮落葉はブナとミズナラで有機物組成が異なりましたが、3年後には両樹種の組成は等しくなり、土壌の有機物組成に近づきました。

ルキルグループは分解速度が最も大きく、ついで芳香族、脂肪族、カルボニルグループの順に分解速度が小さくなりました（図2）。また、ブナの落葉はミズナラに比べてO-アルキルグループを多く含んでいます。O-アルキルグループの分解速度はブナの方が大きいので、両樹種の有機物組成は3年後にはほぼ等しくなり、土壌有機物組成に近づくことが分かりました（図1）。これらの有機物成分ごとの分解速度をもとに毎年林床に貯まる落葉の量を計算したところ、実際の森林の落葉層の量とほぼ一致し、この方法の信頼性が確認できました（図3）。

成果の意義と活用方法

従来、森林土壌における炭素動態は概念的な炭素動態モデルによって推測されてきましたが、このように実測データから森林土壌における炭素動態を明らかにすることで、地球温暖化対策研究の進展に寄与することが期待できます。

用語解説

1) 固体¹³C 核磁気共鳴法 (固体¹³C NMR法)

安定同位体炭素 (¹³C) の原子核は回転しています。これを「核スピン」といいます。この「核スピン」によって¹³Cはごく微弱な磁石のような性質を示します。電磁波を照射すると核スピンは反転したり元に戻ったりする共鳴現象を起こします。この際の電磁波（エネルギー）の吸収・放出量から、分子構造を推測し、有機物の構造変化を捉えます。

2) 落葉を構成する有機物

O-アルキル態炭素：主に植物体内のセルロースやヘミセルロースなどを構成する炭素。

芳香族態炭素：リグニンやタンニン中に存在するベンゼン環を構成する炭素。

脂肪族態炭素：細胞膜の脂質や植物色素、樹脂を構成する直鎖状炭素。

カルボニル態炭素：カルボニル基 (>C=O) に由来する炭素。有機物の分解に伴う酸化反応によって生成される。

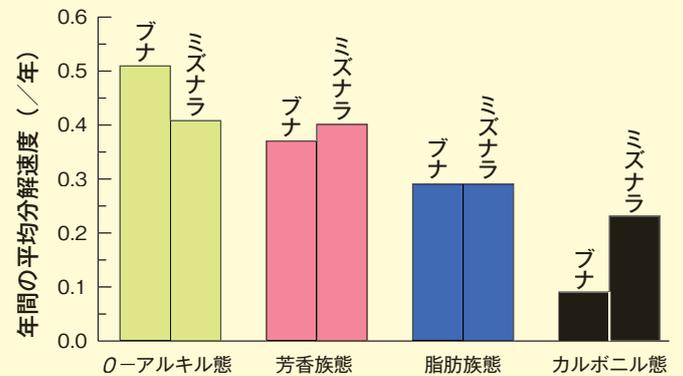


図2 ブナとミズナラの落葉中の有機物のタイプ別分解速度
分解速度は、有機物のタイプや樹種間で異なります。

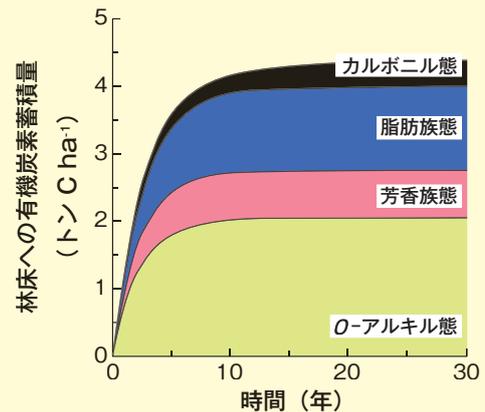


図3 ブナ・ミズナラ林床における有機物タイプごとの集積量の予測

10年で林床に1ヘクタールあたり4トンの有機炭素が蓄積することを明らかにしました。これは実際の森林において調査した林床の有機炭素量と同じでした。