

## 研究情報

Research Information

No.103 Feb 2012

## 観察すること

－松ぼっくりを開閉させる組織と細胞壁の構造－

関西支所長 藤井 智之

松ぼっくり（まつかさ）は私たちの身近にあり、幼稚園や学校での教材としても親しみのあるものです。松ぼっくりは一般的に開いた状態で見られますが、雨上がりの林床では鱗片を閉じています。このような、閉じたり開いたりする現象は、子どもに限らず、興味を引くものです。科学誌として著名なNatureにも「How pine cones open（松ぼっくりはどう開くか）」の記事（Dawson et al. 1997）がありましたが、その内容は後述のAllen & Wardrop（1964）の卓越した論文を越えるものではありませんでした。私が調べた限りの古いところでは、Shaw（1914）の「松ぼっくりの鱗片では、吸湿性の維管束が鱗片の外層で厚いために、乾燥すると強く引っ張る力を生じ、鱗片を開かせる」との記載が「The Genus *Pinus*」という書籍（Mirov 1967）に引用されていました。

乾燥した松ぼっくりは鱗片が開ききっています（写真1）。切り取った鱗片の乾燥状態と飽水状態とを比べると、基部の変形が著しいことがわかります（写真2）。鱗片基部の横断面（写真3）では、内層（上側）に丸い維管束、外層に厚壁組織が観察できます。写真4は、細胞壁構造観察の一例ですが、厚壁組織の細胞壁が、昆布巻きのような横巻きの構造を持っていることが理解できると思います。これらの結果は次に紹介するAllen & Wardrop（1964）の観察結果と全く

一致しています。

今から50年ほど前、Allen & Wardrop（1964）は、当時の最先端技術の透過型電子顕微鏡法等を駆使して、鱗片の内層の維管束と外層の厚壁組織のそれぞれの細胞壁の構造と収縮率の関係から次のように説き明かしています。

『維管束を構成する繊維細胞の細胞壁は典型的な3層構造であり、マイクロフィブリル（繊維状のセルロース結晶の束）が細胞長軸に対して約40°の角度でらせん状に配列している中層を、横巻きのマイクロフィブリル配列の内層と外層が木桶のタガのように固定している。これに対して、厚壁組織では、マイクロフィブリル配列がほぼ横巻きの広い層とほぼ長軸方向の狭い層が交互に積層しており、両者は全く異なる構造である。切り離れた組織の乾燥による収縮率は、維管束の1.0～1.5%に対して、厚壁組織では15.0%であった。乾燥に伴う細胞壁の収縮は、マイクロフィブリル配列の直角方向で最大となるので、厚壁組織の高い収縮率はその細胞壁構造との関係で理解できる。一方の維管束の繊維細胞は針葉樹材の仮道管と同様の細胞壁構造であり、収縮率も同等である。』

このように、組織や細胞壁の構造を観察することで様々な現象を理解することが容易となります。真実を探究した正確な観察結果は長い時を経てもその価値を失うことはありません。

参考文献：Allen & Wardrop (1964) The opening and shedding mechanism of the female cones of *Pinus radiata*, Aust. J. Bot., 12, 125-134.



写真1 松ぼっくりの縦断面（乾燥後）

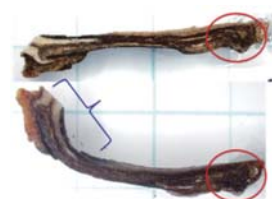


写真2 先端（赤○）を固定した鱗片の乾燥状態（上）と飽水状態（下）

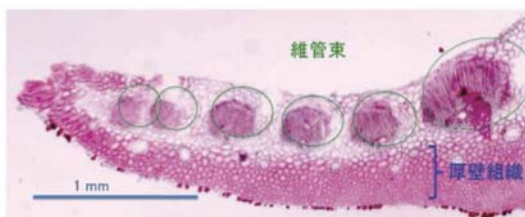


写真3 鱗片基部の横断面切片（左半分）。内層（上側）の維管束（緑○）と、外層（下側）の厚壁組織



写真4 厚壁組織細胞の破断面の走査電子顕微鏡画像



独立行政法人 森林総合研究所関西支所

Kansai Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute

## MS-Excel で予想する風当たり

森林資源管理研究グループ長 齋藤和彦

毎年台風が来る日本では、大切に育ててきたスギやヒノキの林が一夜にしてなぎ倒されたり、風で揺られて木材繊維が切れてしまい、材木として使えなくなったりします。もともと林業は苗木を植えてから丸太として収穫するまでに時間がかかる産業ですが、収穫までの期間を長くすればするほど風害の可能性も高まります。また、風害に至らなくても 風の強い場所では木が大きくなれないなど、風は森林に大きな影響を及ぼします。「森林管理は百年の計」とも言われますが、風当りは知っておかなければならない基本情報であると言えます。

風当たりの分析は、近年の風力発電への関心の高まりから、風況シミュレーターが著しく進歩し、高度な予測がパソコンでできるようになってきました。しかし、ソフトウェアは高価で使いこなすのも大変です。そこで、多くの人が普通に使っている MS-Excel で簡易に風当りを予想する方法を考えました。

今回、分析の対象にしたのは沖縄です。沖縄は台風常襲地であるとともに、冬は冷たい北西の季節風が吹く地域です。四面が海で風を遮るものがないため風の影響は大きく、古くから風を意識した森林管理が行われてきました。特にスギについては「スギは海が見えるようになる（＝先端に風が当たるようになる）と成長しなくなる」と言われています。ここではその言葉に従い、図1のように天頂から視界を遮る尾根までの角度  $X$  が  $90$  度を越えれば海が見える（＝風当たる）と考え、極端ですが木の高さ  $h$  を地面から  $20\text{m}$  ずつ  $100\text{m}$  まで上げ、 $8$  方位それぞれについて距離  $L$ （今回は  $30\text{km}$ ）を見通し、より風の影響を受けにくい場所を予想してみました。

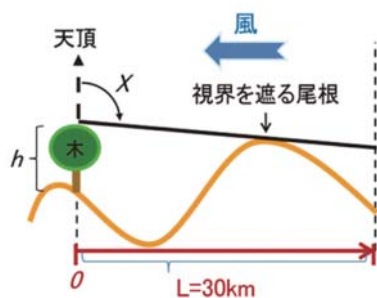


図1 「開度」を用いる考え方

この方法は横山（1999）の「開度」を応用したもので、渡辺（2002）の計算プログラムをもとに MS-Excel のマクロを作成し、国土地理院が公開しているデジタル標高データ（ $10\text{m}$  メッシュ）を読み込んで計算しました。

結果は図2のようになりました。図2は沖縄本島北部の国頭村付近を示したもので、林業の中心地であり、またヤンバルクイナ、ノグチゲラ他、貴重な野生生物の生息地でもあります。この図では、風の当たる茶色の領域は沿岸と内陸の尾根筋に、風の当たらない青色の領域は主な川沿いの谷筋に現れています。この結果を自然に近い林相がまだ残っている終戦前後の空中写真と対比すると樹冠の大きな天然林の分布とこの青色の領域がほぼ一致し、また、当地の戦前期の人工造林も青色の領域で行われていたことがわかりました。

この方法は安価で、方向の決まった季節風なら、おおよその予測ができますが、風が光のように直線的に進むと仮定し、風向きも  $360$  度でなく  $8$  方位でしか計算していない点で限界を持ちます。今後、谷沿いの風や八方位以外の風も考慮できるよう改良したいと考えています。

参考文献：横山隆三・白沢道生・菊池祐（1999）開度による地形特徴の表示，写真測量とリモートセンシング，38，26-34.

渡辺康志（2002）数値地図  $50\text{m}$  メッシュ標高よりの開度図作成プログラム—琉球列島開度図—，沖縄大学地域研究所所報，27，155-162.

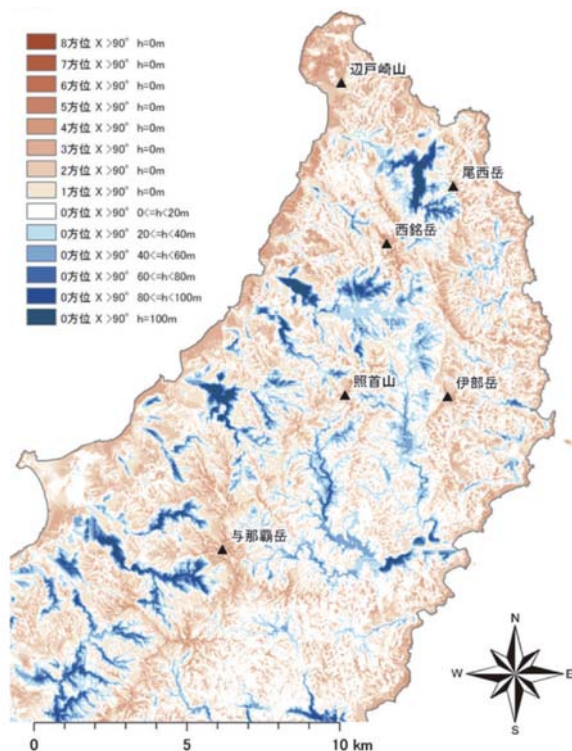


図2 風が当たる領域（茶色）と当たらない領域（青色）

## 日本の針葉樹とナラタケ属菌

生物被害研究グループ 長谷川絵里

ナラタケ属菌はきのこの仲間、世界的に分布し、約40種が知られ、日本では約10種が報告されています。ナラタケ属菌の多くは切り株や落枝などを腐らせて生きています（腐生と言います）が、生きた樹木の根株に寄生して「ならたけ病」を起こすことがあります。菌が根株の形成層をぐると一周侵すと、その樹木は枯れてしまいます。

さて、日本の造林面積は約1,000万ha、日本の森林面積の約40%を占めます。そのほとんどがスギ・ヒノキ・アカマツ・クロマツ・カマツ・トドマツといった針葉樹林です。このように針葉樹は日本の森林の中で重要な位置を占めていますが、上記全ての樹種について、ならたけ病の報告があります。特に、植栽後10年までの若齢木に被害が出る事が多く、第二次世界大戦後の拡大造林（未利用林や薪炭林を木材生産のための人工林に転換）のあとにはならたけ病被害が多発しました。

ナラタケ属の各種が日本の針葉樹のどの種を侵害するのか、すなわち菌種ごとの発生する樹種や病気を起こす力の強弱についての研究は、これまでごく限られていました。長い間、ならたけ病の病原が1種と考えられていたためです。ところが、分類研究の進歩とともに、ナラタケ属に多くの種があることが明らかになってきました。そこで、各地の針葉樹上のナラタケ属菌を採集し、どの樹種にどのナラタケ属の種が寄生、もしくは腐生しているかを調べました。採集時の発生していた樹木の状態も記録し、ナラタケ属菌が樹木を枯らしたかどうかを知る手がかりにしました。また、採集地点の吉良の暖かさの指数（吉良 1971、各月の平均気温値のうち5℃以上の数値から5を引いたものの年合計）を計算し、菌種ごとの採集地点の温度環境を調べました。

採集した65菌株の内訳は、ツバナラタケ22、ナラタケ（写真）14、クロゲナラタケ14、ホテイナラタケ11、キツブナラタケ2、ヤチナラタケ1、



写真 ヒノキ根上のナラタケ

ナラタケモドキ1でした。比較的多く採集できた4種が日本の針葉樹に生ずる主要なナラタケ属菌と考えられました。

これら4種の採集地点は、ナラタケ・クロゲナラタケ・ツバナラタケ・ホテイナラタケの順に暖地から寒冷地へと分布していました（図）。ツバナラタケを採集した針葉樹はトドマツ・アカマツをはじめとする10種、クロゲナラタケがスギをはじめとする8種で、これら2種の菌は多くの樹種を利用していることが明らかになりました。ナラタケを採集した針葉樹は3種、うちヒノキが11例を占め、本種はヒノキをよく利用することが明らかになりました。ホテイナラタケを採集した針葉樹はオオシラビソ、シラビソ、カマツ、エゾマツの4種で、寒冷地の樹種を利用していることが明らかになりました。

ナラタケ属菌の中には生きている樹木に感染して枯死させる力の強い種が含まれると考えられています。ナラタケ属菌が発生していた針葉樹の状態を元に、そうした種を割り出すことを試みました。他にストレス要因のない樹木の形成層をナラタケ属菌が侵している場合、その菌は健康な樹木に寄生して枯らす能力があると推測できます。枯死直後の樹木から採集された場合は、樹木が生きているうちに菌が感染し、枯死させた疑いがあります。ナラタケ・ツバナラタケにはストレス要因のない生立木の形成層からの分離例、および枯死後1年以内の針葉樹からの採集例がありました。また、クロゲナラタケ・ナラタケモドキには枯死後1年以内の針葉樹からの採集例がありました。これらの種は生立木に感染して枯死させる能力がある、もしくはその可能性が高く、国内における針葉樹のならたけ病の病原と考えられました。

以上の調査結果から、ナラタケ属の各種の菌が、それぞれに合った環境と針葉樹を選び、あるものは生きた樹木を枯らし、あるものは主に切り株や落枝等を腐らせたりしながら栄養を得ていることが明らかになりました。

参考文献：吉良竜夫（1971）生態学からみた自然，河出書房新社，295pp.

Hasegawa E, Ota Y, Hattori T, Sahashi N, Kikuchi T. (2011) Ecology of Armillaria species on conifers in Japan, For. Pathol, 41, 429-437.

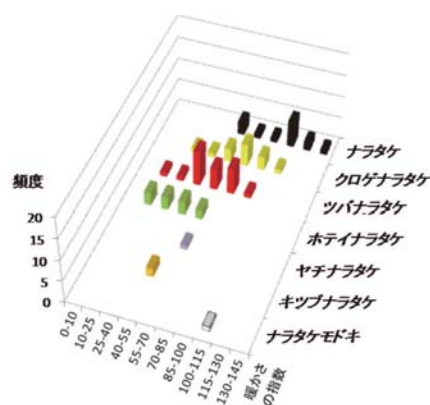


図 ナラタケ属菌各種の採集地点における吉良の「暖かさの指数」

森林の炭素収支を観測する機材たち(4)

## グラニエ樹液流動センサー (Granier sap flow sensor)

森林環境研究グループ 小南裕志

樹木の根から吸収された水は幹を流れて、蒸散によって葉から水蒸気として放出されます。そのため、幹中を流れる水の速度を測定することにより、樹木の蒸散量を評価するために重要な情報を得ることができます。さらに、蒸散による水蒸気の放出は光合成による  $\text{CO}_2$  や  $\text{O}_2$  の交換と同じく葉の表面の気孔から行われます。そのため、樹木の蒸散量の変動と光合成の関係を評価することは炭素循環プロセス研究において重要なテーマになっています。幹を流れる樹液の速度を測定する方法はさまざまなものがありますが、近年、測器の安価さや測定の簡便さからグラニエ法がよく用いられます。グラニエ法は Granier 氏（1985）によって開発されたヒートパルス法と呼ばれるものの一種です。これは幹の中に針状の温度センサーと

ヒーターを挿入し、幹の内部を暖めて、与えた熱が樹液によって運ばれて失われていく熱の量をヒーターの影響下にある場所の温度と離れた場所の温度差から推定し、ここから樹液の速度を推定するという手法です（図1）。グラニエ法では2組の熱電対温度センサーを用い、その片方にヒーター線（銅ニッケル合金）を巻きます。この2組のセンサーを樹幹に打ち込み、ヒーターで熱を加えます。ヒーターが巻かれたセンサーは暖められた分だけヒーターの影響下でないもう一つのセンサーより温度が高くなります。樹液が速く流れると温度の低い樹液によって熱が失われるために2つのセンサーの温度差は小さくなり、逆に樹液が流れていないと温度差は大きくなります。2つのセンサーの温度差を連続して測定することにより樹液流速の日変化を測定することが可能となるわけです（図2）。実際のセンサーは注射針と熱電対線、ヒーター線によって自作可能で（写真1）安価にたくさんの位置での樹液流速の測定ができます。この方法を用いて樹体内のさまざまな場所での樹液流速の測定ができるようになってきています。

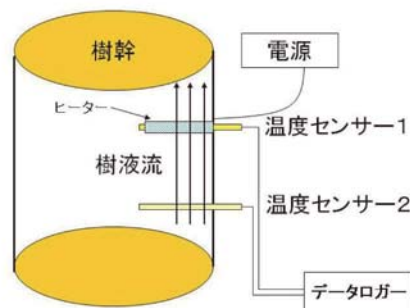


図1 グラニエ法の概要

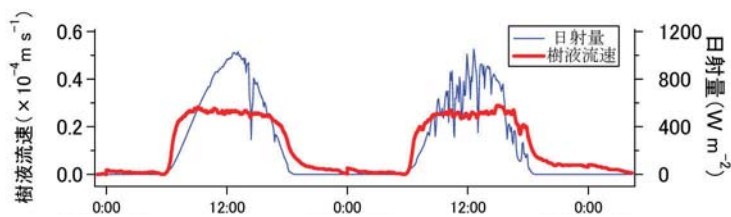


図2 コナラの樹液流速と日射の日変化



写真1 グラニエ法のセンサーと設置状況  
(上側のセンサーは保護管内にニクロム線が巻かれている)

### 研究情報 第103号

平成24年2月29日発行

独立行政法人 森林総合研究所関西支所

京都市伏見区桃山町永井久太郎68番地

〒612-0855 Tel. 075 (611) 1201 (代表)

Fax. 075 (611) 1207

ホームページ <http://www.fsm.affrc.go.jp/>

