

「食と農」の博物館

展示案内 No.66

展示期間 ■ 2013.10.1～2014.3.16

東京農業大学「食と農」の博物館
〒158-0098 東京都世田谷区上用賀2-4-28
TEL.03-5477-4033
FAX.03-3439-6528
(URL) <http://www.nodai.ac.jp/syokutonou/>

開館時間 午前10時～午後5時 (4月～11月)
午前10時～午後4時30分 (12月～3月)
休館日 月曜日(月曜が祝日の場合は火曜)・毎月最終火曜日
大学が定めた日(臨時休業がありますのでご注意ください)

『樹木の形の不思議』



秋に採取した幹枝材 広義のブランチカラーとトランクカラーの繊維の流れ

はじめに

普通、樹木は種子が発芽し幼根が伸びて成長を開始すると、一生その場を離れる事が無く、その土地の環境に適応しながら成長していきます。それゆえ、樹木の成長状態はその土地の環境条件に大きく左右され、その適応状態がそのまま樹形となって外観に表れます。また、その土地の環境は一定でなく常に変化しますので、樹木は立地環境の変化に対応して新たな環境に適応するために、その都度姿・形を変えようとします。樹木がそのときどきに与えられた状況に応じて樹形を最適化しようとする変化は、立地環境の変化ばかりでなく、強風や冠雪による枝折れや幹折れ、材の腐朽、病虫害被害、傷害、亀裂、剪定、移植など、樹木自身の形状の変化によっても起きます。このような、与えられた立地条件に応じて発達する樹形の変化、さらに枝折れや隣接木伐採などの突然の変化に応じて行われる新たな樹形形成を丹念に観察すると、

樹木のその時点での健康状態や活力状態、力学的な適応状態、立地環境に対する適応の程度などがとてもよく分かります。逆に言えば、樹木の形をよく観察することによって、その土地の環境条件も分かり、また樹木が立地環境や病虫害、傷害などにどのように対応・適応してきたかという経歴も分かり、さらには樹木の将来の予測と正しい管理のあり方についても把握できるのです。

今回の展示は、樹木が示す様々な形がどのような意味を持つかを明らかにしようとするもので、ここ10年ほどの我々の共同研究成果の一端です。是非多くの方に見ていただき、樹木に対する理解を深めてもらえることを願っています。

東京農業大学 短期大学部 環境緑地学科
教授 内田 均
特定非営利活動法人 樹木生態研究会
代表理事 堀 大才

1. 樹冠の働き

樹冠の形は力学的に極めて大きい意味を持っています。野原の孤立木のように十分に光を受ける木は大きな樹冠を持っており、林内の木の樹冠は小さくなっています。孤立木は普通、風当たりも強いですが、樹冠が大きく広がり下枝が発達した樹形は風に対する抵抗性が非常に高くなっています。樹高が同じでも樹冠下限の位置の高い林内木と樹冠下限の低い孤立木とでは、風荷重に対する揺れの周期が異なり、樹冠下限の低い孤立木のほうが瞬間的な強風による曲がり小さく、周期が短くなります。

風荷重に対する樹冠の働きでもう一つ注目すべきことは個々の枝の動きです。樹冠内の個々の枝の、風が通り抜ける際の揺れ方が風上側、中央、及び風下側で時間的に少しずつずれています。例えば下枝まで十分に発達した無剪定の木の場合、樹冠の風下側にある斜上する枝が風下に向かって曲げられるとき、最初に曲がった風上側の斜上する枝は反動で風上に向かって曲がっており、風が幹を曲げる力を相殺するように動きます。また風上側にある下垂気味の下枝は、風によって下向きに押し下げられ、それが根元の根系の浮き上がりを押さえるように作用します。風向きに対して直角方向に伸びている側枝は幹をねじ曲げるように動きますが、反対側にある側枝はその力を相殺するように動きます。さらに、側枝のうち上向きの枝が風下側へ幹を曲げようと動くとき、下垂気味の側枝はそれを打ち消すように動きます。

以上のように樹木の自然の枝振りは風荷重を吸収し、幹に過度の曲げ応力やねじり応力を発生させないように、極めて合理的に動き、樹木を風倒から守る働きをしています。

2. 樹幹の形

高木性樹木の樹幹形状は針葉樹と広葉樹とで大きく異なり、針葉樹は一部の樹種を除き基本的に単幹であり、広葉樹は、幹下部では単幹ですが、上方では複数に分岐するのが普通です。針葉樹でも孤立木と林内木とでは幹形が異なり、下枝の発達している孤立木では根元が太く幹の上下の直径の差の大きい、いわゆる“ウラゴケ”となっているのに対し、林内木では根元

径が小さく幹の上下の直径の差の小さい、いわゆる“完満”となっています。このことは広葉樹でも基本的に同じです。ウラゴケか完満かで風荷重に対する抵抗力は大きく異なっています。



ウラゴケ



完満

樹高(m) ÷ 胸高直径(m)の値を形状比と言いますが、Mattheckら(2002)が風倒木を調べた結果では、形状比が50を超えると急激に風倒する確率が高くなるということが分かっています。樹高成長、肥大成長共に旺盛で風倒にも強い樹木は形状比30~35を示すものが多いと言われています。また、根元の形状がナイロイド形か円筒形かで強度はかなり異なり、根元が広がっているナイロイド形のほうが強い抵抗力を持っています。熱帯雨林の板根の発達した木は材を節約しながら強度を高めた例です。



ナイロイド形の根元

3. 幹の肥大成長と応力

強風が吹くと幹は樹冠全体の揺れに応じて曲がります。その結果、風下側の幹表面近くに強い圧縮力が生じ、風上側の幹表面近くに強い張力が生じます。その反動で幹が風上側に曲がればその逆となります。幹の中心部や風向に対して側面に当たる部分では、圧縮、引張りの力に対してはほぼ中立の状態です。つまり、樹幹は表面近くが曲げによる圧縮、引張り双方の力と横断方向の剪断力を常に受けているのに対し、幹の中心近くは樹幹の重さからくる圧縮力と風荷重による剪断力だけです。ゆえに幹の力学的強度は周辺部の材に依存しており、たとえ中心部が腐朽して中空のパイプ状になっても、中空の比率が大きくなければ力学的には大きな影響を受けません。Mattheckら（1994）が調査した、樹幹半径に対する中空部分の半径の比率別に座屈破壊出現状況をまとめた結果では、空洞半径／幹半径が概ね0.7以上となると幹の座屈による破壊が出現しやすくなることを示しています。

木材は、軸方向については引張り荷重よりも圧縮荷重に対して弱くできており、繊維を断裂させるような引張り荷重の約3分の1から4分の1の圧縮荷重で押し潰されてしまいます。そこで立木は、強風により瞬間的に強い曲げ荷重がかかったときに幹の風下側が押し潰されてしまうのを避けるために、普段から樹幹の表面近くに、上方に向かう強い内部応力を働かせています。その強い内部応力を吸収するために、幹の中心近くは下方に向かう強い圧縮応力が常に



空洞に窓枠材を発達させた幹

かかった状態となっています。

樹幹の中心が腐朽しても、その程度が小さければ幹の強度にはほとんど影響を与えませんが、表面近くが腐朽したり傷を受けたりすると、幹折れの可能性が極めて高くなります。そこで樹木は、樹皮の剥離、胴枯れ病や溝腐れ病、穿孔虫害などに侵されて幹の外周部に力学的な欠陥が生じるようになると、その周囲の形成層の細胞分裂を活発にし、樹皮の再生と材の形成を図ろうとします。しかし傷を塞ぐときの成長の早さは一様でなく、普通、傷の両側面が最も早く、下面が最も遅くなっています。細長い紙の中央に丸い穴を開け両端を持って引っ張ると穴の側面が簡単に裂けてしまいましたが、樹木はそのような破壊を防ぐために空洞部分の両側を肥大させ“ラムズホーン”を形成します。

樹幹の表面近くには常時引張り応力が働いていますが、幹が傷つくとその力の流れは紡錘形に迂回するようになり、それに対応して応力の最も高い側面を最も速く成長させて紡錘形に肥大します。傷口の上面のほうが下面よりも成長が速いのは、成長のエネルギーとなる光合成産物の流れと関係していると考えられます。枝から入った材質腐朽により樹幹内に空洞ができたとき、空洞の側面のまだ健全な材に力の流れが集中します。そのような力の流れに対して、樹木は最大応力のかかっている部分の周囲の形成層の細胞分裂速度を速め紡錘形に肥大させます。空洞が胴枯れ病や樹皮の剥離に起因してできたときは開口空洞となりますが、樹木にとって最も応力がかかっている幹の表面が欠けてしまったのですから、そのままでは折れてしまう可能性が高くなります。そこで樹木は、幹折れを防ぐために開口部分の両側面に半円柱のような“窓枠材”を発達させます。これが“ラムズホー



ラムズホーン

ン”です。窓枠材は腐朽に対して極めて耐性が高く、圧縮・引張り双方の力に対しても抵抗力が高いので、開口空洞であっても窓枠材が発達しているときは、上下の健全部よりもかえって高い強度を持っていることがあります。

4. 亀裂

樹冠や大枝の表面にみられる樹皮の割れは樹皮だけの割れのこともあります。材内部の亀裂を表していることも多くあります。例えば、幹の両側面に軸方向の長い割れが見られたときは、幹が強い曲げ荷重を受けて縦断方向に亀裂が入ったことを示しています。また、上に向かって湾曲している横枝や根元の張り出し部分の湾曲部側面に割れがある場合は、強い曲げ伸ばしによって亀裂が入ったことを示しています。若い頃は斜め上に向いて伸びていた枝が上枝の被圧と自分自身の重さにより枝先が水平あるいは下垂して伸びている場合、あおるような逆方向の強い曲げ伸ばしの力を受けたときに側面の亀裂が生じやすくなっています。

湾曲した幹の凸側に大きな割れが見られるときは、幹が曲げ伸ばされて凸側の樹皮が縦に裂けた可能性を示しています。これを“バナナクラック”と言いますが、このような割れは材にまでは亀裂が入っていないことが多いと考えられます。

樹皮に割れがなく縦に長くうねのような隆起が見られるときは、材内部の割れが原因と考えられます。亀裂の先端では常に高い応力が働いており、形成層細胞がそれを感知して材形成速度を速めるからです。



割れが生じた幹



カミキリ虫食害痕

幹の軸方向に対して横断方向の割れは深刻な材の亀裂を示すことが多いと考えられます。細長い紙にスリットを入れて両端から引っ張ったとき、軸方向のスリットと横方向のスリットのどちらの方が、紙が裂け易いかを見ればわかるでしょう。例えばナラ類やシデ類に、幹の高さ1 mから2 mほどの間に竹の節のような幅の狭い隆起があれば、これはシロスジカミキリ幼虫による穿孔が、強い風荷重等によって繊維が断裂して繋がってしまった可能性があります。樹木はそのような欠陥が生じるとその外側の材を旺盛に成長させ、その結果、鋭角な環状の隆起が生じます。このような竹桿の節のような環状の隆起は、幹に巻き付けた棕櫚縄や針金が幹に食い込んで内包されたときにも形成されます。

5. 又の入皮

普通の広葉樹の又はブランチバークリッチが明瞭ですが、樹幹と枝の又あるいは双幹木の又に樹皮が挟まっていると、幹同士あるいは幹と枝が十分に引き合うことができません。そのようなとき、又の両側面がしばしば耳状に盛り上がっています。これは、内包された樹皮が亀裂と同じ働きをしてその端に切り欠き応力が集中的に作用し、樹木がその部分の成長を早めているためであると考えられます。このような枝は枝と幹あるいは幹同士の材の繋がりが極めて弱いので、しばしば強風時に又から割れて幹まで削り取ってしまうような裂け方をします。



ブランチバークリッチ



又の入皮

6. 幹表面の凹凸

幹の断面の形が若いケヤキやスギのような円形でなく、凹凸にとんだ複雑な形をしている木がしばしば見られますが、これは力の流れに応じて最も効果的に材を発達させ、少ないエネルギーで最大の効果を得ようとしている状態と考えられます。ビャクシン、シデ類、ザクロ、カリン、サルスベリ、ソメイヨシノなどで顕著ですが、ほとんどの樹種で、老木になると多かれ少なかれ幹表面の凹凸が激しくなります。若い時のケヤキやスギでは、樹幹にかかる力をなるべく幹断面全体に均等に分散しようとしませんが、シデ類、カリン等の場合は、枝にかかる力を幹の特定の部位で支え、その材を特異的に発達させてその力を特定の根に伝え、最後は土に吸収させようとしています。ゆえに特定の枝と根のつながりがある程度推測することができます。このような形の幹の発達にはシデ類にネットをかぶせたような強さを与え、カリンには竹筒を数本束ねたような強さを与えています。材質的には脆い樹種が多いようです。これを逆に考えると、材質の弱さをこのような材形成で補っているのかも知れません。



カリンの幹

7. ねじれ

樹幹や大枝がねじれて螺旋木理となっている状態はしばしば観察されます。ザクロ、ソメイヨシノ、トチノキ、マツ類などは遺伝的なものですが、どちらの方向にねじれるかはそのときの幹の傾斜や風向きにより変わります。ゆえに、遺伝的に螺旋木理を形成しやすい樹種であっても、林内でほぼ無風状態におかれ枝の偏りもない場合、螺旋木理を形成しないことがあります。遺伝的にそのような性質を持たない樹種でも螺旋木理はしばしば観察されます。例えば、林縁木のように樹幹が林外に向かって傾き樹冠も偏っている木の場合、常時林縁に沿って風が吹くと、樹幹がねじれるように発達します。この

ことは枝についても当てはまり、横に長く突き出た枝に一方向からの風がきた場合、ねじれが生じます。このねじれは表面に螺旋状の隆起となって現れることがあります。表面的には何の徴候も出ないことがあります。ねじれの方向に力がかかっているときは、雑巾を絞れば絞るほど固くなるように材の強度を高めますが、逆方向にねじり荷重を受けると螺旋木理に沿って亀裂が生じ、そこから腐朽が入ることがあります。材の螺旋木理の最も重要な利点は、幹や大枝が強風や冠雪で湾曲しても、繊維がバラけないことです。



ねじれたザクロの幹



ねじれたマツの枝

フジやツルウメモドキなどの巻き付き型のつる植物が樹幹に絡みつくと、樹木は最初、つるを押し除けようとして、つるが接触している部分の成長を早めますが、つるの方が太くなり締め付けを強めると、今度はつるを外側から飲み込もうとして接触部分の周囲の成長を速めます。つるの方も負けじと太くなるので、結果としてつるが幹に深く食い込んで螺旋形になります。



つる植物に締め付けられた枝

樹木が接触している異物を飲み込もうと局部的に異常な成長をする現象は、ガードレールのパイプを飲み込んだ街路樹や、ネットフェンスを飲み込んだ敷地境界の木などに見られます。樹木が異物を飲み込もうとするのは、篩部と木部における通導機能の維持という生理的理由と共に、接触部分が傷つくのを防ぎ、力学的安定を速く得ようとするからであると考えられます。



パイプを飲み込んだ木



ネットフェンスを飲み込んだ木

8. しわ

枝の付け根の下側や幹の根元の張り出しのように内側に湾曲した部分では、しばしば横方向に蛇腹のようなしわが見られます。このしわは、ケヤキやエノキのような樹皮の薄い樹種でははっきりしていますが、クヌギのような樹皮の厚い樹種でも、あるいは針葉樹でも、よく見れば形成されているのが分かります。これが形成される原因として二つのことが考えられます。一つは湾曲部が成長すると距離がかえって短くなり、形成層の成長があまりになってしまうためであり、もう一つは大枝が自分の重さで少しずつ下がって下部を圧縮したり風荷重が根元を圧縮するためです。この蛇腹のようなしわは、大枝の



しわができたエノキの根元

直下や幹から根への移行部のように幹の中では最も大きな応力が働いている部分において、年輪に沿った接線方向に引き裂くような張力（軸方向の割れ）や、放射方向に引き裂くような張力（目回り）に対して、抵抗性を高め材繊維が分離するのを防ぐ働きがあると想像されます。しかし、この形の利点についてはまだよく分かっていません。

9. あて材

樹木は幹が傾斜したり片枝だったりして地上部の重心が根元の幹心の真上からずれると、あて材を形成して幹を起こそうとします。あて材は枝にも存在します。あて材の形成は針葉樹と広葉樹とで異なり、針葉樹では傾斜した幹あるいは枝の傾斜下向き側に、体を押し上げるように“圧縮あて材”を形成します。広葉樹では逆に上向き側に体を引っ張るような“引張りあて材”



針葉樹に発達した
圧縮あて材



広葉樹に発達した
引張りあて材

を形成します。

その結果、傾斜した幹も上方では直立することができ、横に伸びた枝も下垂せずに斜め上方方向に伸びることができます。あて材が樹体を押し上げたり引っ張り上げたりする力の源泉は成長応力であり、その成長応力を生み出す原因の一つとして、細胞壁を構成するマイクロフィブリルの配列があります。このマイクロフィブリルの配列は、樹幹の表面近くの材に常に上向きの応力が働いていることとも関係しています。あて材形成にはオーキシシンあるいはオーキシシンの働きを抑制するアンチオーキシシンが強く影響していると考えられていますが、詳しいことはまだ

よく分かっていません。シダレザクラはエドヒガンの品種ですが、シダレザクラに植物ホルモンのジベレリンを与えると又の部分に引張りあて材が形成されて枝が枝垂れずに上を向くことから、ジベレリンが引張りあて材形成に関与していることが推測されます。

あて材の形成は年輪成長に大きな影響を与えます。幹が湾曲した樹木を湾曲部で切って年輪の配列を見ると、針葉樹では傾斜下向き側の年輪幅が広く、広葉樹では傾斜上向き側が広くなっています。しかし、幹下部のあて材形成には根系の発達状態が大きく影響し、あて材を支える部分に根系が発達していないときはあて材が形成されず、その反対側の年輪が厚くなることがあります。

さらに枝でも、例えば広葉樹の場合、幹の材組織が枝を十分に引っ張ることができない状況が生じると、枝の下向き側の方が年輪幅が広がります。

10. 根張り

樹木の根は養水分を吸収するためと体を支えるために存在します。樹木は葉から水を多量に蒸散するので、十分な養水分を吸収するにはそれに応じた根の広がりが必要です。乾燥した所や風の強い所に生えている樹木は広く深く根を張り、湿潤な所や風の弱い所に生えている木は狭く浅い傾向があります。また、土が固結した所では根張りが極めて浅く、土壌の浅い尾根筋や重機による造成のために硬盤が形成されている脊悪な土壌では、根系がしばしば地表に表れています。根系が地表に現れるほど固結した所では、根は樹体を支えるために広範囲に広がる必要があります。ドイツでは、根元から40m離れた



地表に広がる根

所で、力学的に有効な働きをする根が石積みの建造物を壊したという例が報告されています。

根系の分布はあて材の形成とも関係があり、針葉樹は傾斜下向き側に太い根を深く差し込むように発達させ、広葉樹は傾斜上向き側に広くネットを広げるように根を発達させます。また、同じ針葉樹でもスギ・ヒノキとマツとでは異なり、スギ・ヒノキは斜め下方に支柱のような根を発達させ、マツは深く杭を打ち込むように根を発達させる傾向があります。

板根の形成も樹体の力学状態と深い関係があります。板根の発達のしやすさは樹種により異なりますが、ムクノキは日本産の中では最も発達しやすい樹種です。しかし、ケヤキやシイノキも状況次第では板根が発達することがあります。普通はあまり板根を発達させない樹種に板根が見られるときは、その根が土中深くに伸び遠くへは広がっていないか、あるいは日常的に風荷重を強く受けていることを示しています。

逆に、広葉樹の根元が均等に広がって側面が内側に湾曲したようなきれいなナイロイド形状を示しているときは、根は比較的浅く、日常的な風荷重もそう強くはないことを示しています。

樹形はその樹木の生育している立地環境、力学的状態、病虫害等に対する抵抗性の状態、活力状態、人間の関与の程度等を極めてよく表しています。「樹木の形の不思議展」をご覧になった後、もし不思議な形の木を見つけたら、なぜこのような形ができたのかを考えてみて下さい。(文責：堀 大才)



ムクノキに発達した板根

『樹木の形の不思議』

関連イベント

1 樹木の学校 その1 「樹形の意味」

講師：堀 大才（短期大学部 環境緑地学科 非常勤講師・特定非営利活動法人 樹木生態研究会 代表理事）

担当者：内田 均（短期大学部 環境緑地学科教授）

場所：「食と農」の博物館2階 セミナールーム

日時：平成25年10月20日（日） 13：00～15：00

2 樹木の学校 その2 「展示解説」

講師：三戸久美子（短期大学部 環境緑地学科 非常勤講師・特定非営利活動法人 樹木生態研究会 副代表理事）

担当者：内田 均（短期大学部 環境緑地学科 教授）

場所：「食と農」の博物館1階 映像コーナー、展示室A・B

日時：平成25年11月10日（日） 13：00～15：00

3 樹木の学校 その3 「街の木のきもち」

講師：岩谷 美苗（特定非営利活動法人 樹木生態研究会 事務局長）

担当者：内田 均（短期大学部 環境緑地学科 教授）

場所：「食と農」の博物館2階 セミナールーム

日時：平成25年12月8日（日） 13：00～15：00

展示の主催・企画・制作

【主催】東京農業大学 短期大学部 環境緑地学科・特定非営利活動法人 樹木生態研究会

【企画・制作・展示及び展示案内監修・執筆】「樹形の形の不思議」企画展示実行委員会

○委員長／内田 均（短期大学部 環境緑地学科）

○委員／堀 大才、三戸久美子、岩谷美苗、安達菜菜

（以上 特定非営利活動法人 樹木生態研究会）

その他の展示・催事のお知らせ

■常設展

「醸造のふしぎ—微生物が醸す世界—」展 【期間】平成24年3月30日（金）～平成26年3月23日（日）

【主催】東京農業大学 応用生物科学部 醸造科学科、同短期大学部 醸造学科

鶏（ニワトリ）剥製標本コレクション

展示中

色々な酒器コレクション

展示中

農大卒業生の蔵元紹介（酒瓶のオブジェ）

展示中

■企画展

「樹木の形の不思議」

【会期】2013.10.1～2014.3.16

【主催】東京農業大学 短期大学部 環境緑地学科

特定非営利活動法人 樹木生態研究会