

# 樹木の診断治療技術の現状と課題

山田利博

(東京大学助教授)



## 1. はじめに

わが国の伝統的な園芸の世界では経験に基づく移植、剪定、挿し木、接ぎ木等の発達した技術が継承されてきたが、それとは別に20世紀初頭には西洋流の外科手術が樹木の治療に有効な手法として取り入れられた。近年は外科手術の有効性を否定する Shigo の理論、また新たな診断技術として Mattheck の手法が導入され、樹木医をはじめとして樹木の診断・治療に幅広く活用されている。Shigo や Mattheck の研究は数多くの観察例に基づいているものの、その解釈や機器診断、外科治療への適用に当たってはいくつかの問題点が残されていると考えている。これらの技術は本誌でもたびたび取り上げられ、また成書でも解説されているので、ここでは今後解決すべき技術的な課題を中心に述べたい。

## 2. 診断

### (1) 腐朽・危険度の診断

最近では Mattheck の VTA (Visual Tree Assessment 樹木の目視評価) 法に基づいた診断が行われている。これは、膨らみ、傷、空洞、突起、裂開など内部の異常の指標を目視で観察し、危険が予測される樹木をレジストグラフなどの機器によって精査するというものである。個々の診断機器(表)については生理機能の診断機器も含めて渡辺(2000)が詳しく解説しているので参照されたい。貫入抵抗を

計測するレジストグラフや音速を測るインパルスハンマーに代表される半非破壊検査機器は多くが実用に供されている。ただし、何らかの傷をつけることから材変色を引き起こし場合によっては腐朽の門戸となるので、使用は危険予測木のみにするべきという限定がついてくる。

放射線、超音波、電磁波、核磁気共鳴を用いた腐朽・危険度の非破壊検査、特に断面像を得られる CT 化は現状ではごく一部の例外を除いて研究面で利用されるにとどまっている。その実用化には可搬性ととも、半非破壊検査機器で普及しているレジストグラフ程度の価格まで下がることが必要であろう。安価で現場適用が容易と思われるものとしては、FFT アナライザーを用い共振周波数を測定する方法があり、わが国では特に横打撃共振法の研究・技術開発が進んでいる。

### (2) 腐朽・危険度の機器診断の課題

針葉樹では材の変色部は概して含水率が低下、つまり乾燥する。広葉樹の場合は含水率が高くなる樹種、低くなる樹種、変わらない樹種とさまざま、季節による違いも大きいようである。さらに腐朽にまで進むと含水率のばらつきが大きくなる。この現象は機器診断に影響を及ぼす。つまり放射線の透過率、音速、共振周波数は含水率によって変化する。腐朽部は密度が低くなるが、水が貯まっていると密度が高いのと同じことになり変化が相殺される。また、シャイゴメータ等の電気抵抗によって材変色・

腐朽部を検出する方法についても、樹種によっては材変色部の電気抵抗値が低下しないものがあり、そういう樹種には適用できない。

このように機器診断では樹種固有の性質だけでなく腐朽等の状況によって大幅に異なった値がでてくることが予想される。樹種や植栽環境は国によって異なることも少なくないので、わが国における測定例の集積と公開が望まれる。海外では *Arboricultural Journal* や *Journal of Arboriculture*, *Forest Pathology* などの学術誌に測定例が報告されており、わが国のデータについても学術誌や普及誌を通じて流通を図る必要がある。この点で、ストレス波伝搬速度(永石ら 1997), 横打撃共振法(小玉ら 1999, 釜口ら 2001) についての報告が評価される。

### (3) 生理機能の診断

生理機能については研究としての測定はしばしば行われるが、実際の治療現場での診断は少ない。目視調査としては、健全度あるいは衰退度が葉量、葉色、枝枯、外観の傷・腐朽で判定される。また、フェノロジーを観察することも衰退木を判定する有効な手段である。光合成速度や蒸散速度を測定するのは機器が高価で少々手間もかかるが、クロロフィル量 (SPAD 値), クロロフィル蛍光, 水ポテンシャルなどは簡易に測定可能である。例えば、巨木では SPAD 値やクロロフィル含量が低く、樹幹表面温度が高く、黄葉・落葉が早いことが報告されている (小野寺ら 2001)。

## 3. 外科治療

### (1) CODIT モデルとその応用

Shigo は、樹木が有する自己防御機構について CODIT (Compartmentalization of Decay in Trees 樹木における腐朽の区画化) というモデルを作り平易に説明した。現在はこの CODIT を基

表 樹木の機器診断一覧

診断手法	機器の例
腐朽・危険度診断	
非破壊検査	
放射線 (X 線, $\gamma$ 線, 中性子線)	
赤外線	サーモグラフ, サーマルカメラ
電波	レーダー
超音波	
断層撮影装置 (CT)	X 線 CT, 超音波 CT, $\gamma$ 線 CT, 中性子線 CT, 核磁気共鳴断層撮影 (MRI)
共振周波数	FFT アナライザー (横打撃共振法など)
熱赤外線	放射温度計
半非破壊検査	
電気抵抗	Shigometer, Vitalometre, Metrigard
機械的強度	
貫入抵抗	Resistograph, Digital micro probe (DmP)
	Pilodyn, Schmidt hammer
曲げ強度	Fractometer I,
圧縮強度	Fractometer II
ストレス波伝播速度	Impulshammer, Electronic hammer
超音波伝播速度	Arbosonic decay detector,
アコースティック・エミッション	
直接観察	成長錘, ドリル ポアスコープ, ファイバースコープ
生理機能の診断	
非破壊検査	
クロロフィル量	SPAD
光合成/蒸散	
蒸散/気孔コンダクタンス	ポロメータ
クロロフィル蛍光	
半非破壊検査	
水ポテンシャル	プレッシャーチャンバ
蒸散流	ヒートパルス速度
破壊検査	
クロロフィル量	
クロロフィル a/b 比	

本とした外科治療の考え方が主流である。この考え方では、防御組織の破壊は次なる腐朽の進展を招くので、外科手術を行うときは変色材まで削って生き

た材組織を露出させてはいけないとされる。具体的には、空洞は内部のぼろぼろになった腐朽やゴミを取り除くといった最小限のケアにとどめる、変色材や健全材を傷つけない、傷口保護剤は使用しない、空洞の充填は避け開放するということで、樹勢回復や腐朽進展阻止を目的とした従来の外科手術は否定されている。Shigoの指針でも修景目的での手術は認めているが、空洞の充填を伴う外科手術も積極的な修景目的なしにしばしば行われているのがこれまでのわが国での現状であった。

## (2) CODITモデルの問題点

CODITモデルは防御のための固定した壁 wall が存在する、あるいは感染によって新たにできるというものであるが、個々のメカニズムは正しいとは言えないところも多い(写真1)。Shigo自身、総説でCODITは概念上の枠組であるとし、反応帯モデルといった他の機構を取り入れている。反応帯モデルでは防御組織はCODITモデルのように固定し確立したものでなく、病原菌の進展により後退しながら新たな防御組織が作られていくことがある。実際、広葉樹では不連続的な後退の例が報告され、針

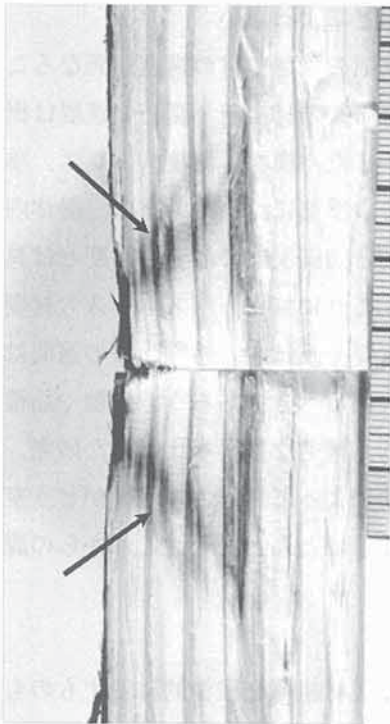


写真1 暗色枝枯病菌を接種したスギの縦断面。  
材変色部を取り囲む反応帯(矢印)の形は不整形で幅があり、CODITの壁とは似つかない

葉樹では連続的に後退すると考えられている。防御組織が固定したものか動くものであるかによって、外科治療を考えるときに違った結論に導かれる。

それは防御組織を破壊することの重要性である。固定した防御組織ならそれを破壊することは是非とも避けねばならない。しかし、防御組織の後退に伴って新たな防御組織が生み出されていくなれば、防御組織の一部を削り取ることも場合によっては容認されることになる。これは後述する防御組織に穴を開けて空洞を排水すべきかということとも関わる。

## (3) 傷口の処置

樹勢の衰弱は外科手術では直接は防げないことが多く、樹勢回復には環境を整えることが重要とされる。従来の外科手術もきちんとすれば傷口の癒合の促進には有効であるが、完全に癒合するのにどれほど時間がかかるかは対象樹木の大きさ、樹齢、樹勢や傷の大きさによって左右される。ところが、実際にはいつまでたっても巻き込みそうにない、意図が不明な手術もよく見られる。外科治療を要する樹木の多くは樹齢が高いとか、周辺の環境が悪いとかの理由で樹勢が低下していることが多いので、傷口や内部の腐朽をどのようにもっていきたいのかを明確にして処置すべきである。



写真2 新鮮な傷のウレタン充填(ウラジロモミ)

傷口への塗布については Shigo の指針では通常は薦められない。薬剤やペンキの類には樹木細胞に毒性のあるものもあり、場合によっては腐朽を助長することもあるというのがその理由である。たしかに、永続的な腐朽防止効果をもつ薬剤、資材は見い出されていないが、傷口癒合促進効果や短期間の防菌には効果的な薬剤もあるので、例えば繰り返し施用も選択肢の一つになろう。例外は、強力なあるいは寄生性の強い病害や枝の病害（例：キリ、リング等のふらん病、サクラてんぐ巣病、ならたけ病）、浅い新鮮な傷の場合で、薬剤塗布を含む外科手術は治療に有効とされている。また、深い傷でも直ちに充填した場合には腐朽の侵入・進行を遅らせる効果はあるようである（写真2）。

剪定法については、幹に平行に切断する flush cut に代わり近年は CODIT に基づく剪定が普及している。具体的には branch bark ridge や枝瘤 branch collar を残す natural target cut というものである（写真3）。flush cut では強力な防御層を作る組織が失われるため変色・腐朽は広範囲に広がりやすい。

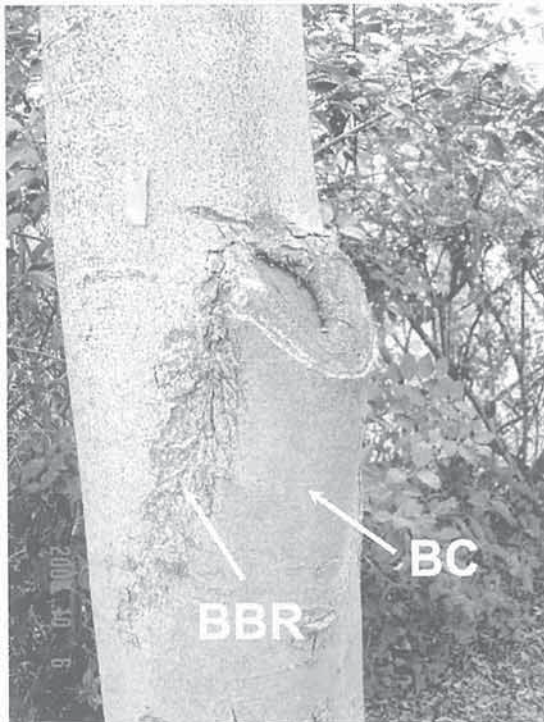


写真3 適切な剪定（ケヤキ）。  
branch collar (BC) や branch bark ridge (BBR) が残され巻き込みが進行している

#### (4) 空洞と排水

空洞の処置については Shigo の指針では排水口を設けて乾燥させるべきではないとされる。これは意見の分かれるところで、世界の樹病学のメーリングリスト Forpath でも最近議論されたが、それぞれの処置に確固たる根拠がないため結論は出ていない。水を満たすことは腐朽菌の活動を妨げる嫌気的な環境を提供するという意見もある一方で、排水に加えて空洞内を清潔にして乾燥を保つのが望ましく、水が溜まっていると水位が変動するため空気と水の境界は腐朽菌にとって好適な環境となる危険性があるという意見もある。水が溜まることは防御組織ができ上がっていることを示し、排水のための穴は新たな腐朽の門戸となりかねないとの見解に対して、排水のための穴を開けてもすぐに防御組織が形成されるので問題はない、という見解もある。

いずれにせよ、空洞ができるとその周囲の辺材に防御組織が形成される。筆者のスギやナラ類での観察では2週間～1か月でほぼ完成する。したがって強力な防御組織を形成させるための樹勢や腐朽菌にとっての環境を悪くすることを考慮して処置されるべきである。

#### (5) 樹種、環境などによる違い

樹種固有の防御反応の強さや材の構造が異なることから、剪定・枝打ち後の材変色・腐朽の進展は樹種によって異なる。また、樹勢、環境ストレス、季節によっても変わる。季節についていえば、樹体内の養分が豊富な時期と防御反応の活発な時期とは異なると考えられる。これに加え、水ストレスも材変色の拡大に大きな影響を及ぼす。外科治療の適期はこれらを考慮して決めるべきであろう。樹種や品種間で防御反応の質的、量的な差異を比較した研究、また傷を付ける季節によって材変色の範囲がどう変わるか検討した研究はほとんどなく、これからの課題である。

#### (6) 材内の環境

腐朽菌には生きた辺材組織を積極的に侵すものもあるが、樹木医にとっては心材や傷害部など死んだ組織を腐らせる腐朽菌の方が対応する機会が多いであろう。防御反応より含水率や酸素分圧といった材

内の環境の方が腐朽の拡大に及ぼす影響が大きいという考えもあるくらいで、少なくとも死んだ組織での腐朽の進行程度は材内の環境条件によって決まる。腐朽や腐朽菌にとって適した材内の環境がどのようなものか知ることが腐朽防止にとって必要である。

#### 4. おわりに

傷口の処置では、防御反応にとって好適な条件、腐朽菌にとって好適な環境の両者を知り、それをうまく利用する技術開発が必要であろう。しかし、反復のある実験と異なり、対照をとることもできない例が大半であることから、治療の事後評価による症例の蓄積が大事である。前述したように多数の未解決な課題があるので、研究する側としても症例ばかりに頼ってられないのも現実であり、若い木でもって条件をコントロールした実験を行い、その結果を適用することが必要となる。巨木でのデータを若い木と比較することも重要である。現状ではどういうときにどのような外科治療をすればよいかの判断は経験によるところが大きく、CODIT や VTA の

ように多数の樹木の観察、実験を通した新たな理論の構築が望まれる。

#### <参考文献>

- 釜口明子・中尾哲也・中井毅尚 (2001) 樹木医学研究 5:59-63
- 小玉泰義・釜口明子・中尾哲也・原田照太 (1999) 樹木医学研究 3:5-9
- Mattheck, C. and Breloer, H. (藤井英二郎・宮越リカ 訳) (1998) 樹木からのメッセージ. 樹木の危険度診断. 誠文堂新光社
- Mattheck, C. and Kubler, H. (堀 大才・松岡利香 訳) (1999) 材-樹木のかたちの謎. 青空計画研究所
- 永石憲道・神庭正則・笠松滋久・渡辺直明 (1997) 樹木医学研究 1:35-42
- 小野寺有子・坂上大翼・松下範久・鈴木和夫 (2001) 樹木医学研究 5:1-11
- Shigo, A. L. (太田次郎 訳) (1985) 日経サイエンス 1985年6月号:62-71
- Shigo, A. L. (日本樹木医会 訳・編) (1996) 現代の樹木医学 要約版. 日本樹木医会
- Shigo, A. L. (堀 大才・三戸久美子 訳) (1997) 樹木に関する100の誤解. 日本緑化センター
- 渡辺直明 (2000) 樹木医学研究 4:23-32