

第6章

光学的手法による カンキツ樹の総葉面積計測法

担当：国立大学法人 山口大学
農学部

山本晴彦・岩谷潔
大学院農学研究科
土谷安司

この技術の目的

常緑果樹であるカンキツ樹にとって、葉は光合成による物質生産を行う機能だけでなく、越冬旧葉として翌年の新たな生長のための栄養蓄積を行う機能も果たしています。このため、隔年結果を回避するためには、樹勢の正確な把握とそれに応じた結果管理を行い、また、より多くの越冬旧葉を維持することが重要であるとされています。このため一樹あたりの総葉面積は樹勢診断の重要な指標となります。

従来、樹体の総葉面積を把握する方法としては、樹体の総葉数を計測し個葉面積と乗ずる方法しかなく、多大な時間と労力が必要であり試験研究以外ではほぼ実施不可能でした。このため、生産現場では樹体を通して向こう側がどの程度見通せるか、といった達観による方法しかないのが現状でした。

そこで、高性能化・低価格化が進んだデジタルカメラにより安価に実施可能となった光学的手法による葉面積評価手法をカンキツ樹体に適用し、樹体の総葉面積を高精度で推定可能とする技術を開発しました。

測定装置と測定の原理

測定には2種類の装置が使用できます。1つは、市販のデジタルカメラに魚眼レンズを装着したもの（図1、以下魚眼DC）です。魚眼レンズとは画角が約180°で、レンズ前の広い範囲の景色全体を丸く切り取ったように撮影できるレンズです。もう1つは、葉面積の測定機器として開発されたプラントキャノピーアナライザー（図2、LAI-2000、LI-COR Inc. 製、以下PCA）です。PCAも魚眼レンズを内蔵しており、広い範囲からの入射光を測定することが可能です。両測定機器は価格に大きな差があり、魚眼DCが機種



左：ニコン製 COOLPIX P5000（現行品は P5100）＋フィット製魚眼コンバージョンレンズ UWC-0195、価格は 10 数万円程度。
右：ペンタックス製 OptioW20（現行品は W30）＋フィット製 UWC-1628（魚露目 8 号）、価格は 4 万円程度。

図1 魚眼レンズを装着したデジタルカメラ



魚眼レンズを内蔵したセンサーとデータロガーからなる。

図2 プラントキャノピーアナライザー

により4万円から10数万円なのに対し、PCAは100数十万円となっています。測定にはこの他に、樹体寸法を測定するための測量用箱尺、葉面積を計算するためのパーソナルコンピューター（OSはWindows、以下PC）、表計算ソフトウェア（マイクロソフトExcel）が必要になります。

総葉面積の測定は、樹体を下から見上げたときに葉間から見える空の割合や木漏れ日の量が、葉面積の増加につれて減少していくことを利用しています。魚眼DCは空の割合を画像中の

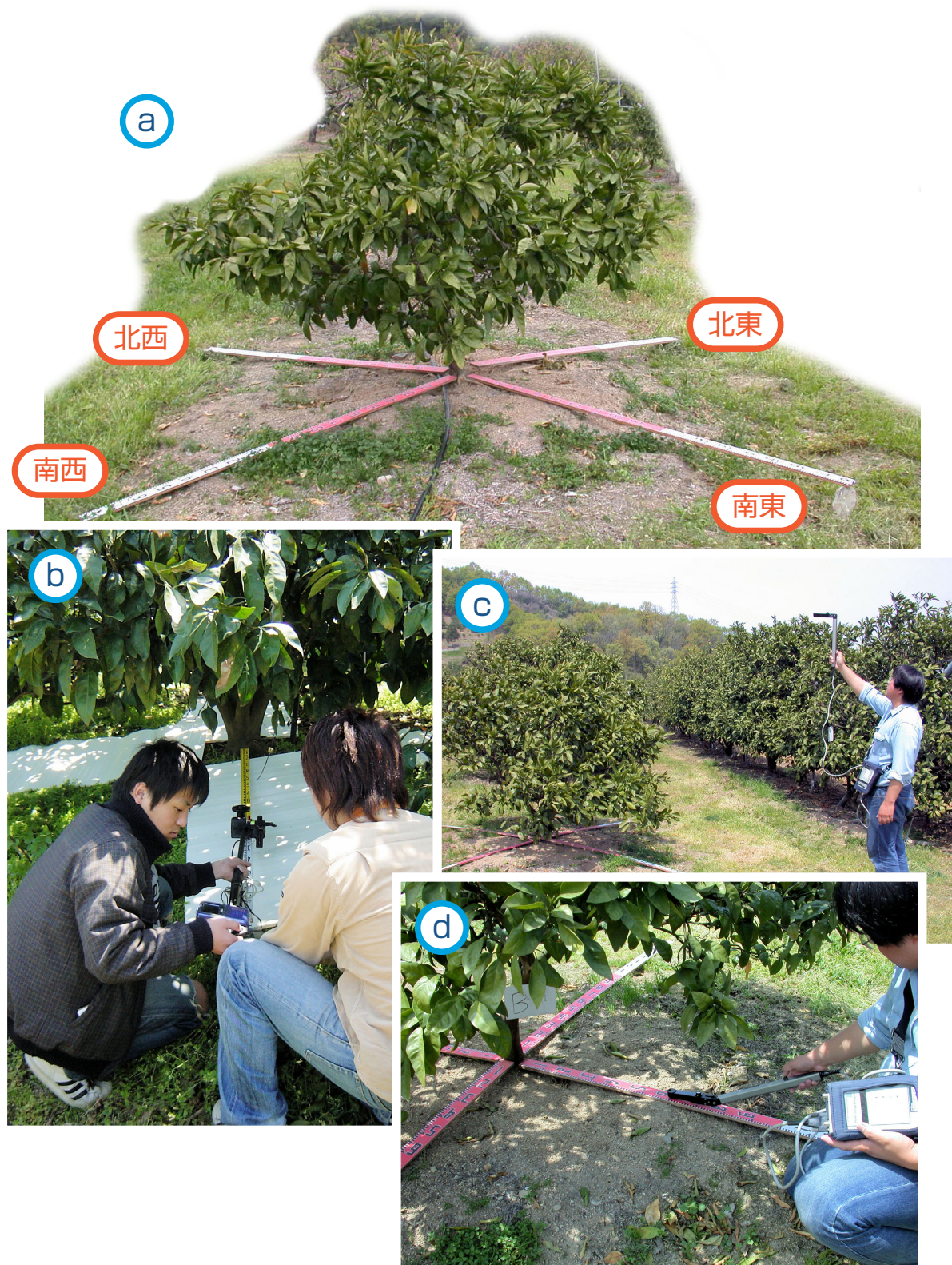
空の割合である「天空率」として、PCAは木漏れ日の割合を樹体上部の入射光と下部の透過光の比である「透過率」として測定します。両者とも魚眼レンズを用いることで、鉛直上方を0度、水平を90度とする天頂角による天空率や透過率の分布を測定することが可能で、この測定結果を放射伝達モデル(章末「参考」を参照)に適用して総葉面積を計算します。

測定の手順

測定は樹体の幹を中心とした4方位(北東、南東、南西、北西)で行います(図3a)。まず、1方位の方向に向けて地面に箱尺を設置します。次に、魚眼DCであれば樹体下部の幹から30cmの地点で測定し(図3b)、PCAであれば開度90°のビューキャップを装着し、樹体上部の入射光測定(図3c)の後に、樹体下部の幹から60cmの地点で、魚眼レンズ部を鉛直上方に向け、キャップの開口部を樹体の中心に向けて測定します(図3d)。併せてその方位の樹冠半径を箱尺で測定します。他の3方位についても同様に測定を行い、最後に樹高を箱尺で測定して、1樹体の測定は終了です。正確な測定値を得るために、以下の点に注意する必要があります。

- 1) PCAによる測定結果は直達光により過小評価となるため、極力曇天日に行くことが望ましく、晴天日に行く場合は日の出あるいは日没付近に行く。
- 2) 魚眼DCによる撮影は晴天日曇天日どちらでも可能であるが、晴天時は露出制御の不安定化や画像センサーの破損を避けるため太陽が直接写り込まないように注意する。
- 3) 測定時には地上部雑草等の測定値への影響を防ぐために、事前に除草を行うか風呂フタ、コンパネ合板などで地面を覆い、魚眼レンズに近接する葉が写りこむことを防ぐ。

測定後、魚眼DCにより撮影した画像はPCへダウンロードし、植物画像解析用ソフトウェア「LIA for Win32 (LIA 32)」を用いて開空度の計算をします。このソフトウェアはインターネットを通じて無料でダウンロードができます(「参考文献」を参照)。PCAについても、透過率の測定値をメーカーが公開(「参考文献」を参照)している無料ソフトウェア「FV2000」を用いてPCへダウンロードします。これらのソフトウェアの使用方法については、山口大学農学部山本晴彦教授のホームページで詳細なマニュアルを公開しています。さらに、同様に山口大学で公開している総葉面積計算用ワークシート(マイクロソフトExcelワークシート)をインターネットを通じて入手する(「参考文献」を参照)ことで、開空度あるいは透過率の測定値と先の樹冠半径と樹高の測定値から、樹体の総葉面積、樹冠容積、単位樹冠容積あたりの葉面積である葉面積密度、樹冠占有面積あたりの葉面積指数(LAI)を高精度に推定することができます(「コラム」を参照)。



- a: 主幹を中心に4方位の測定方向に箱尺を設置。通常は1方位ずつ測定するため、箱尺は1台でよい。
- b: 魚眼レンズ装着デジタルカメラによる開空度測定。雑草による影響を避けるため、風呂フタを地面に敷いて箱尺を設置している。
- c: プラントキャノピーアナライザーによる樹体入射光の測定。測定対象樹体に遮られない位置まで魚眼レンズ部を持ち上げて測定。
- d: プラントキャノピーアナライザーによる樹体透過光の測定。魚眼レンズ部には開度90°のビューキャップを装着しキャップの開口部を樹体中心に向けて測定。

図3 樹体測定の様子

コラム 推定値と実測値の関係

魚眼 DC および PCA による葉面積密度の推定値は実測値を過小評価する傾向を示しました (図 4)。葉面積密度が高くなるほどその傾向が強くなることから、葉面積密度が高くなるにつれて増加する葉群の裏側に隠れた葉群の重なりを、開空度および透過率では評価しきれない可能性が考えられます。しかし、実測値と推定値の間には高い相関が得られていることから、回帰分析により検量線を求め、補正を行うこととしました。これにより、葉面積密度の推定値の過小評価傾向は改善され (図 5)、樹冠容積との積により樹体の総葉面積の高精度な推定値を得ることが可能となりました (図 6)。

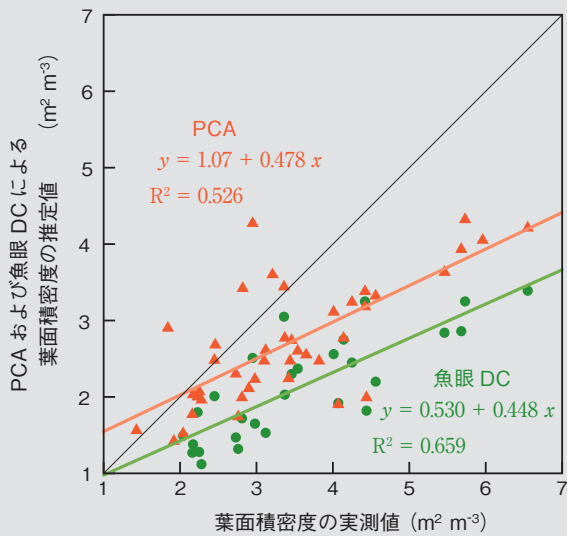


図 4 PCA および魚眼 DC による葉面積密度の推定値と実測値の関係

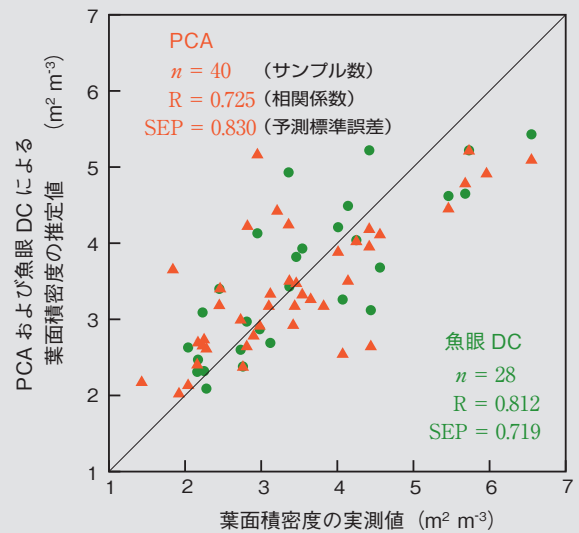


図 5 検量線により補正を行った葉面積密度の推定値と実測値の関係

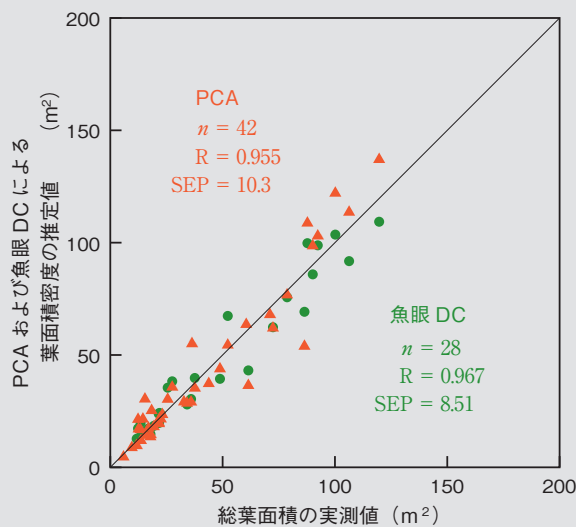


図 6 PCA および魚眼 DC による補正葉面積密度と樹冠容積の積より算出した総葉面積の推定値と実測値の関係

参考 測定原理の詳細：放射伝達モデルと回転半楕円体モデル

放射伝達モデルとは、ある対象における光の反射・吸収・透過のプロセスを、いくつかの仮定を経て数式化したものです。本技術では、樹体における光の透過についての放射伝達モデル（式1）を用いて総葉面積を推定しています。ここで、LADは単位樹冠容積あたりの葉面積である葉面積密度（Leaf Area Density）、 θ_i は天頂角（7、22、38、52°）、 $T(\theta_i)$ は測定装置から天頂角 θ_i 方向での空隙率（Gap Fraction）、 $w(\theta_i)$ は天頂角ごとの重み付け係数、 $S(\theta_i)$ は天頂角 θ_i 方向から樹体に入射した光が測定器に到達するまでに通過する距離（光路長）を示しています。

$$\text{式1} \quad \text{LAD} = -2 \sum_{i=1}^4 \frac{\ln(T(\theta_i))w(\theta_i)}{S(\theta_i)}$$

$$\text{式2} \quad V = \frac{4\pi}{3} \frac{R_m^2 \times H}{2}$$

空隙率は樹体の光の透過しやすさを表す指数で、魚眼DCによる開空度、PCAによる透過率を用います。

光路長は樹体外側から測定装置までの距離を実測して求めることもできますが、時間と労力が必要となります。そこで、樹体の形状を、樹高 H および4方位の平均樹冠半径 R_m を径とし、樹高方向を軸とする上に凸の回転半楕円体としてモデル化し、光路長を推定することとしました（図7）。また、モデル化したことで回転半楕円体の体積として樹冠容積 V が推定できます（式2）。樹体の葉面積密度と樹冠容積が推定できたことで、両者の積により樹体の総葉面積を推定することができます。

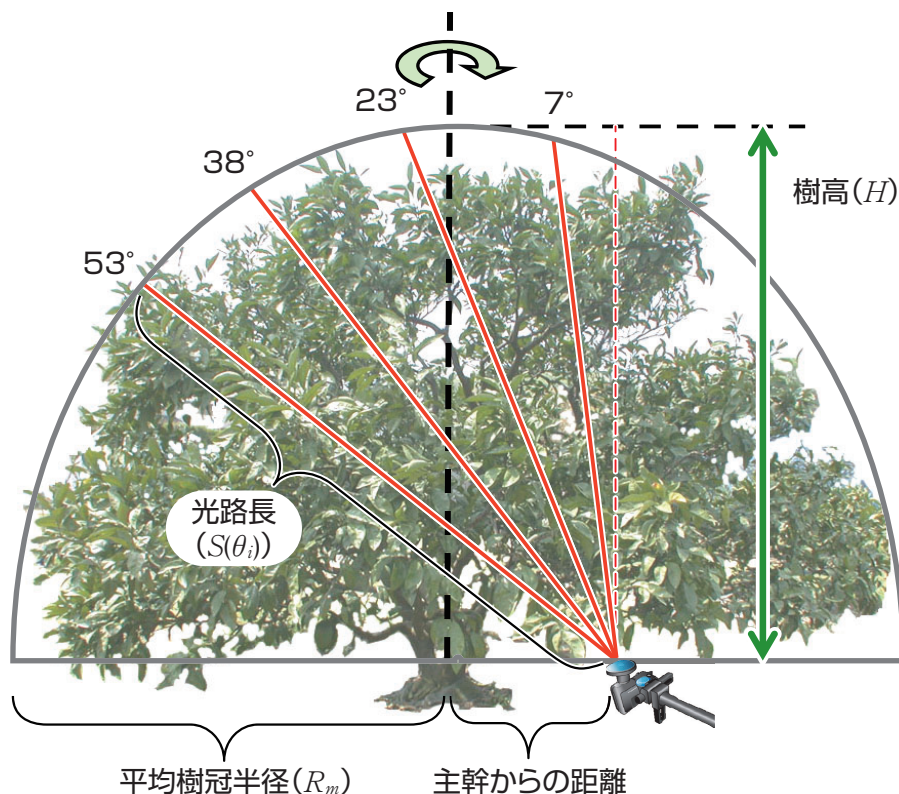


図7 樹体形状を上凸の回転半楕円体にモデル化した場合の測定装置の測定天頂角と光路長

参考文献

岩谷潔・山本晴彦・土谷安司. プラントキャノピーアナライザーによる樹冠葉面積の計測. 農業技術大系果樹追録 22. p.20-23. 2007.

J. M. Welles and J. M. Norman. Instrument for Indirect Measurement of Canopy Architecture. Agronomy Journal. 83. p.818-825. 1991.

神吉久遠. 樹相診断法. 果樹園芸大百科1 カンキツ. (社) 農山漁村文化協会 (東京). p.164-170. 2000.

【以下、ウェブサイト】

LIA32. 名古屋大学大学院生命農学研究科、山本一清 准教授のホームページ.
<<http://www.agr.nagoya-u.ac.jp/~shinkan/LIA32/>>

FV2000. LI-COR Inc. のホームページ (英語のみ).
<http://www.licor.com/env/Products/AreaMeters/lai2000/2000_download.jsp>

詳細マニュアル, 表計算ワークシート. 山口大学農学部、山本晴彦 教授のホームページ.
<<http://web.cc.yamaguchi-u.ac.jp/~yamaharu/>>

お問い合わせはこちらへ

近畿中国四国農業研究センター

〒765-8508 香川県善通寺市仙遊町 1-3-1

電話 0877-63-8107

FAX 0877-63-1683

E-Mail www-wenarc@affrc.go.jp