

画像解析技術を用いた「根元曲がり研究」

石川県林業試験場

矢 田 豊

I はじめに

豪多雪地帯における林木の根元曲がり現象は、幹材利用率の低下要因としてのみならず、森林群落の「高さ」を確保する能力が積極的に発揮された結果としても認識する必要がある。森林の各種環境形成（保全）機能においては、基本的には森林の現存量の大きさが重要な機能形成因子と考えられ、根元曲がり形成特性の把握は、さまざまな降積雪環境、あるいは人為的な補助作業の実施などにより、どの樹種（あるいは品種）が、どのような過程をもって群落高（そして現存量）を確保しうるかを解析して行く上で、もっとも重要な検討課題の一つであると考えられる。

従来、スギを中心に根元曲がり形成特性に関する調査や、根元曲がり量軽減のための各種施業試験が多く行われてきた（小野寺 1990）が、その形成機構の解明は十分にはなされておらず、特に樹種・品種間の耐雪性の本質的評価や、各種施業の実質的な効果判定などを行う上での障害となっている。これらを実用的な定量的指標をもって解析するためには、各種要因を考慮した数理モデルを構築する必要がある。

従来、根元曲がり量の測定として行われてきた傾幹幅や樹幹傾斜角の測定では、上記モデル作成に必要な情報を得るためにはかなりの労力を要し、作業実行上問題があった。一方、最近特に高性能化が進んでいるパーソナルコンピュータを中心とした情報処理系を用いることによって、さまざまな画像解析が比較的容易に実行可能となり、根元曲がり形成機構の解析にも使用できることが確認できた（矢田・小野瀬 1997, 矢田・小谷 1998）ので、本論では、その具体的な解析手法について解説する。

II 処理系

本論では、単一平面の正射影画像（正射投影図）を対象とした処理系を取り扱う（図-1）。すなわち、測定対象木を“真横”から撮影した画像に対し、目的に応じて重ね合わせや座標取得を行い、解析を行うための処理法の解説である。処理系の概要を図-2に示す。

1. 撮影対象の強調処理等

a) マーキング 普通に撮影した画像から測定対象の形状を正確に判別することは、背景の他の植生の写り込みや光線の具合などにより困難である場合も多い。樹幹の特定位置を明確に画像上で認識するために、必要な位置に水溶性の蛍光塗料を塗り、カメラの補助光源を発光させて撮影すると認識性は格段に向上する。

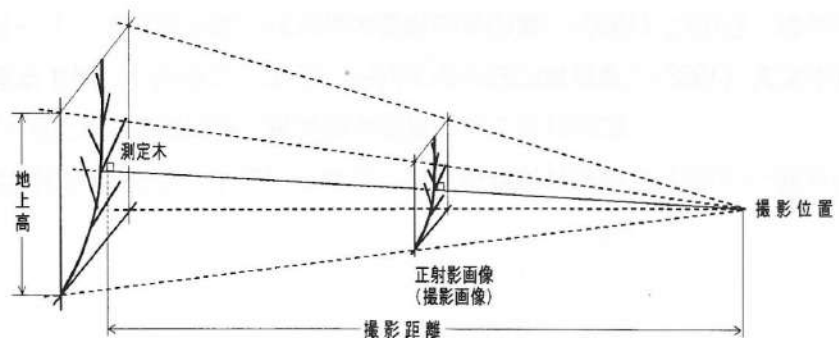


図-1 正射影画像の取得

通常の林内の場合、黄色系の蛍光塗料より橙色系のものを使用するとよいようである。塗布対象が植物体の場合、反射効率を高めるためまず蛍光塗料用の「下地塗料」を塗布する必要がある。このマーキングはほぼ2成長期の間、識別可能であった。また撮影画像から樹高も求めたい場合には、梢端部は通常画像上で識別困難となる場合が多いので、鮮明な色彩の標識を伸縮可能なポール等に取り付けて指示するとよい（図-3）。

b) 背景の整理 前項のマーキングは、特定個体を継続的に測定する場合には有効な処理であるが、一時的に多数の

対象を測定する場合には非効率である。この場合には工作用のブルーシート等を後述の撮影スケールに取り付ける等して背景を整理すると、良好な画像を得ることができる（図-3）。

c) スケールの写し込みと撮影位置 撮影した画像情報を、実測長に対応した鉛直座標系で扱うために、スケールの写し込みが必要である。一部が枝葉などにより隠れてもスケールの判読が可能で、鮮明な画像を得ることのできる、測量用の赤白ポールが適当である。これを測定対象木地際から鉛直に立てて撮影する。特に急傾斜地の場合、ポールの鉛直を確認するために小型の水準器をポールに取り付けておく

と鉛直の確認に便利である（図-3）。また、正射影画像を得るために、撮影位置は撮影平面に直交する直線上とし、レンズの光軸をその直線に合わせて撮影する必要がある（図-1）。これは撮影者が意識さえしていれば、厳密な確認作業を行わずとも通常は十分な精度で撮影できる。カメラの地上高を1.5mとした場合の、35mmフィルム用のカメラレンズの焦点距離と撮影距離、および撮影可能範囲（地上高）との関係を図-4に示す。

2. 撮影

a) 歪曲収差 歪曲収差が大きいレンズを使用した場合には、画像処理時にその補正が必要となる。歪曲収差の大きさを評価するには、画面全体に入る大きさの方眼紙をその直交軸上から撮影し、その方眼の歪みの程度から判断するのが簡単である。また、このようにして撮影した画像を用いること

1. 強調処理

2. 撮影

3. 画像情報化

4. 画像処理

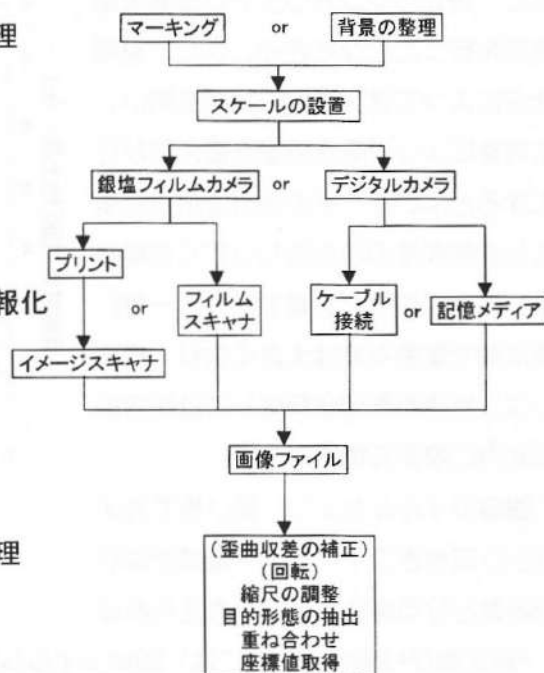


図-2 処理系の概要



図-3 背景の整理とスケールの写し込み

原図は100万画素クラスのデジタルカメラの撮影画像。樹高を画像判読するために、梢端部を標識で指示している。ポール中程の白円内および左下拡大図は水準器。

により、後述のソフトウェアで歪曲収差の補正を行うことができる。また、現場の状況によってはズームレンズを用い、測定対象によって焦点距離を変えながら撮影するとよいが、その場合は焦点距離により歪曲収差の値が変わってくる場合が多いので、注意が必要である。一般に短焦点側で歪曲収差は大きくなり、標準レンズ（焦点距離50mm程度）では許容誤差範囲内に収まる場合が多い。

b) 銀塩フィルムカメラ 使い捨てカメラ（レンズ付きフィルム）の画質では判読が困難となる場合も多いと考えられる

が、（根元曲がり測定の場合には）35mmフィルム用のコンパクトカメラやAPSカメラの画質でも基本的には問題はない。

c) デジタルカメラ 1998年現在の製品を基準にすると、CCD等撮像素子の有効画素数が35万画素クラスの機種では十分鮮明な画像が得られない場合も多い。おおよそ100万画素クラスの機種で、画像長辺が640ピクセル（場合によっては1024ピクセル程度）のサイズになる撮影モードで撮影するのが望ましい。これらの基準は使用レンズ、カメラ内部での画像処理系の違いなどにより変化する性質のものであるため、おおよその目安である。また画像の保存モードで圧縮率が高い（画質の劣化が大きい）条件を選択した場合、画像細部が認識できなくなる場合もあるので注意が必要である。その他デジタルカメラを森林調査に使用する場合の一般的な注意事項に関しては、矢田（1997）等を参考にされたい。

3. 画像情報化

a) イメージスキャナ プリント写真をデジタルデータとして取り込む場合に使用する。現在はフラットベッド型のA4サイズまでの原稿を取り込める機種が主流である。今回の目的で使用する場合には、サービスサイズのプリントに対しては読み取り解像度が300dpi程度あれば十分である。

b) フィルムスキャナ 35mmフィルムやAPSフィルムを、プリントを介さずに直接デジタルデータとして取り込む場合に使用する。読み取り解像度は600dpiから1,300dpi程度で読み込む。

c) デジタルカメラ デジタルカメラで撮影した画像をパーソナルコンピュータで使用する場合には、ケーブル接続や赤外線インターフェース接続などによって転送する方法と、取り外し可能な記憶メディアを用いる方法がある。前者の場合には別途専用の接続キット等が必要になる場合があり、また特に画像数が多いときには転送に時間がかかる。後者の場合はパーソナルコンピュータの側に記憶メディアをセットするためのハードウェア等が必要になるが、転送作業は比較的迅速に行える。

4. 画像処理

a) 画像処理ソフトウェア 撮影画像の歪曲収差が問題となる場合、フリーソフトウェアであるppmdistort（MS-DOS用プログラム、URL:<http://www-kairo.csce.kyushu-u.ac.jp/~kashi/ppmdistort/>）や市販の一部の画像処理ソフトにより補正が可能である。その他の処理は通常の画像加工ソフトウェアで十分

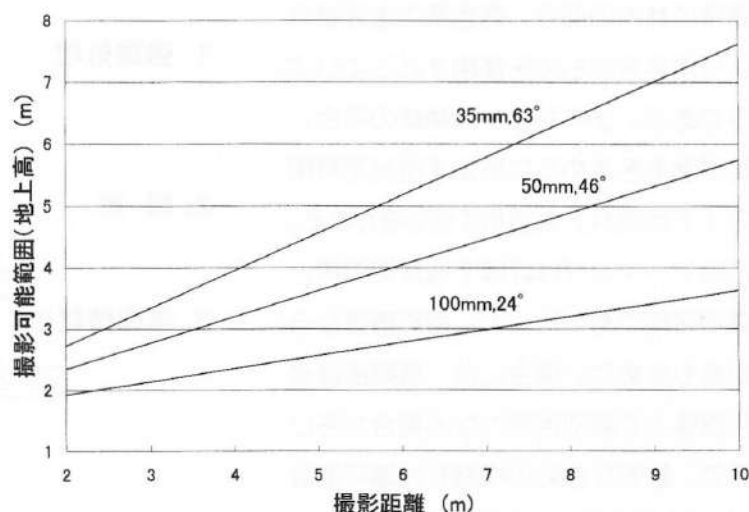


図-4 撮影距離と撮影可能範囲との関係

カメラの地上高1.5mの場合。
凡例は35mmフィルム用カメラレンズの焦点距離と画角。

可能であるが、複数の画像データを同一スケール上に重ね合わせて比較検討をする場合等には、レイヤー処理が可能なソフトウェアが便利である。

b) パーソナルコンピュータ 上述のレイヤー処理が可能なソフトウェアを用いる場合、基本的に作業効率は上がるがハードウェア側の処理能力への要求度も高まる。CPU処理能力や、ソフトウェアが内部処理に使う際の作業領域となるメモリ容量、およびハードディスクの空き容量などは余裕のあるものが望ましい。また、処理データが大量になる場合、MOディスクドライブなどの大容量記憶装置が必要となる。

c) 画像処理の手順 具体的な作業内容は使用ソフトウェアによって異なってくるため、大きな流れのみ概説する。まず必要な場合は歪曲収差の補正を行う。次に画像中のスケールを基準にして（必要ならば）座標軸の回転、および縮尺率の変換を行う。そして樹幹の形状を線描画機能などを利用して（別レイヤーに）書き込む。この作業を解析対象の全ての画像に対して行い、必要に応じて同一スケール上に表示、あるいは座標取得を行う。処理結果の1例として、7年生ヒノキの、1シーズン中の樹幹立ち上がり過程（根元曲がり形成過程）の処理画像を図-5に示す。

III 本手法の適用範囲

この手法を用いることにより、特定個体の樹幹形状の経時変化の解析や多個体の樹幹形状の把握が迅速に行える。処理画像（図-5）は、特に数値化を行わずとも十分な情報をもっており、対象個体の状態を把握するのに有効である。また、座標取得を行い数値モデル解析のデータとして使用することが可能である。もちろん他個体など障害物の存在により、必ずしも全個体が測定可能とは限らない点には注意すべきである。画像処理ハードウェア・ソフトウェアの対価格性能比の向上に伴い、今後より一層、このような画像解析技術は森林調査手法の1分野として重要な位置を占めてゆくものと考えられる。

引用文献

- 小野寺弘道（1990）：雪と森林．81pp．林業科学技術振興所．東京
矢田 豊（1997）：森林調査にデジカメを．森林航測 183：12～18
矢田 豊・小谷二郎（1998）：根元曲がり形成過程の種間比較とモデル化（予報）．第109回日林講演要旨集：351
矢田 豊・小野瀬浩司（1997）：雪圧によるスギ倒伏木立ち上がり過程の画像解析．中森研45：155～156

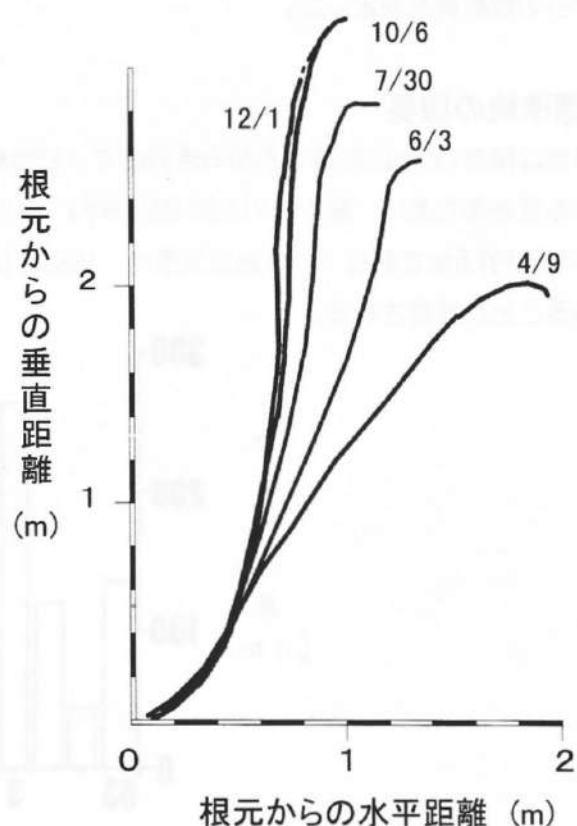


図-5 処理結果の例
広葉樹二次林内に植栽した7年生ヒノキ（矢田・小谷 1998）