

【解説】シリーズ

林木育種の現場の ABC (12) 次代検定林 (調査)

藤澤 義武^{*1}

はじめに

検定林は、各種育種素材の多様な形質について遺伝的な変異を評価し、採種園、採穂園の改良、あるいは成長や材質、病虫害抵抗性などの形質に優れた優良品種を選ぶための情報を得るための基盤、さらには次代の精英樹を選抜するための母集団として造成される。そのため、系統間差、さらには遺伝率、遺伝的獲得量などの遺伝的母数を解析できるように、実験計画法に基づいて造成されていることを紹介した。

この検定林を調査するうえでは、個々の検定木を正確に測定することはもちろんのこと、測定値に偏りが生じないようにしなければならない。また、多数の検定木を対象としなければならないので (写真-1)、作業を効率的に進めることも重要である。

以上を含めて、検定林の調査の実際を解説する。なお、検定林は多様な形質評価の基盤であるが、材質や病虫害に係る形質などの評価については、別途解説する。

測定の基礎

樹高、胸高直径などの基本的な測定手順をおさらいしておく。検定林は平坦地に造成されることはまれであり、たいていは山地の斜面に造成されているであろう。このため、検定木は図-1に示したように、谷側と山側で地際からの位置にかなりの差があるはずである。胸高部位は地上高 1.2 m (北海道では 1.3 m) であることは林業従事者の常識であるが、ではどこを地上高とするのか。測樹の分野では測定対象の山側で計測することになっている (山田・村松 1971)。近年は、樹高を測定するための便利な機器がいくつか開発され、離れていても梢端を見通すことができれば正確に測定できるようになった。しかし、山側が規準であることに変わりはないので、

そのことを考慮して測定位置を確保しなければならない。



写真-1 列プロットによるスギ次代検定林

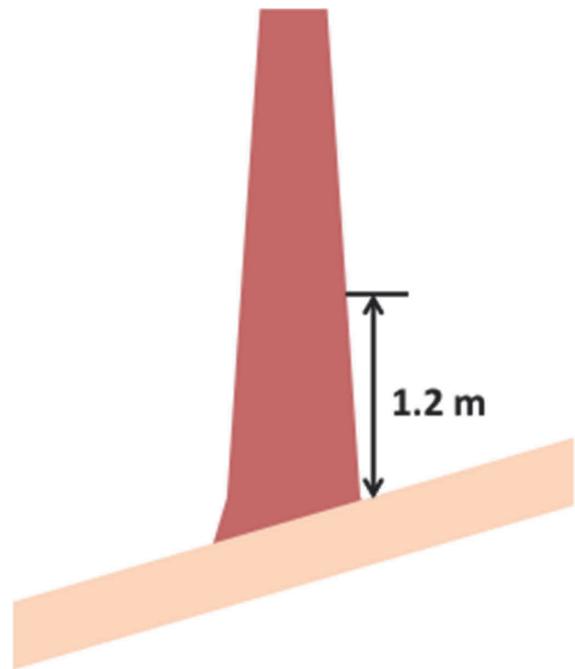


図-1 傾斜地での測定部位

* E-mail: yochan53@agri.kagoshima-u.ac.jp

¹ ふじさわよしたけ 鹿児島大学農学部

スギ、ヒノキ等針葉樹では、樹幹の断面が真円に近いこともあって胸高直径を輪尺で測定するのが一般的である。これも山側の胸高部位で谷側に向けて測定した一方向の結果を測定値とするのが一般的である(写真-2)。さらに、二又、三つ又などの多幹ではどうするのか? 分岐点が胸高より上にあれば、通常木と同様に胸高直径を測定し、下であれば各樹幹を個体として測定することになっている。ただし、検定木はそれぞれを個体として区分するわけにはいかないのが、最も大きな樹幹をその個体の測定値とする。胸高部に瘤などの欠点がある場合、欠点を避けることのできる上下の等間隔の位置の双方を測定し、平均する(山田・村松 1971)。これらは、直径尺を用いる場合も同様である。

一方、忘れてはならないのは、フィッシャーの三原則の一つである局所管理の法則であり、これに基づいて検定林はブロック分けされているはずである。本法則は、調査時にも適用され、調査日、調査者による違いが最



写真-2 輪尺による測定

小になるようにする(久保田 2012)。すなわち、それぞれのブロックは同一の調査者によって同一の日に実施するのが最良である。調査を完遂できない場合はブロックの途中で止めるのではなく、ブロック単位で調査を残し、日を改めて実施するのが良い。同様に、作業の遅い組についても、他の組が補助するのではなく、同じ組で作業を完遂させるようにする。

実際の作業

事前準備

調査に先立って事前の準備として、次の作業を行う。
帳票類の準備と調査計画：野帳に加え、検定林の位置などを示す地図(車でのアクセスを確認するための小縮尺の地図、道路から検定林までのアクセスを確認するための基本図などの大縮尺地図、GPS 情報があればさらに良い)、検定林造成時の各種の記録、検定木の植栽配置図、さらに以前の調査結果があれば、それらのコピーを準備する。また、前回の調査結果は野帳に転記しておく。これらによって、検定林までの道筋と行程の確認、これまでの調査工期から必要人工数の見積もりなどを行い、調査計画を立案する。また、野帳に転記した前回の調査データは、調査個体の取り違えなどの致命的な誤りを防ぐことに役立つ。

用具類などの準備：樹高測定の機材は、測桿とパーテックス(Vertex IV、ハグロフ社(スウェーデン)製)が一般的である。これと同様の原理に基づき、距離の測定を光学式など異なる方式によって行うワイゼ式測高器、K式測高器、ブルーメライス測高器などもある。近年は、レーザー測距器を用いたトゥルーパルス 200、360(レーザーテクノロジー(LTI)社(米国)製)が普及しつつある。胸高直径の測定機材では、針葉樹の場合なら輪尺が一般的であるが、これもデータローガー付きのデジタル輪尺(ハグロフ社製のデジテックキャリパー)などが普及しつつある。広葉樹は樹幹外周の出入りが大きいこともあって直径巻き尺を用いることが多いが、通常の巻き尺でも何ら問題はない。

いずれの用具も、予め動作を確認しておく。測桿は伸縮を円滑に行えることを確認し、動きが渋い場合は分解して各部を清掃し、組み上げたうえで、再度、動作を確認する(底蓋を外すと測桿の各部を引き抜くことができる)。輪尺は、遊動脚を動かしてがたつきの有無を確認するとともに、固定脚と遊動脚ともに輪尺本体に対して直角になっていることを確認する。取り付け角

度がずれている場合やガタ付きがある場合は調整ねじで調整し、正常な状態にしておく。直径巻き尺も同様に、全長を引き出し、巻き戻しながらねじれや切断しそうな部分がないかを確認する。パーテックスなど電氣的に動作する機材も動作を確認するとともに、予備を含めて電池を準備する、あるいは充電しておくことは言うまでもない。

用具類は予定される調査チームの数に加え、1セット以上の予備を用意しておく。測桿は特にトラブルが多いので、可能な限りの予備と修理用工具を用意しておいた方がよい。さらには、「シリコンスプレー」を用意しておく、測桿、輪尺の動きが渋くなったときの当座の対応として効果的である。このとき、5-56などの潤滑油を使ってはならない。鉱物油と溶剤を含まない潤滑・離型剤、あるいはシリコーン滑走剤といわれるもので、「シリコーン滑走剤」、「シリコンルプスプレー」、「シリコン・パッド エアゾル」や「シリコンスプレー」の名称で販売されているものを選択すること。タイホーコーザイ、東洋化学商会、木村刃物、クレ、エーゼット、HSなど各社から発売されている。

その他、調査者のトラブルへの備えを忘れてはならない。怪我、発熱などへの備えに加え、ハチ刺されに対応し、ポイズンリムーバ、抗ヒスタミン剤を含むステロイド軟膏を用意しておく、と良い。ポイズンリムーバは毒蛇にかまれた場合の応急処置としても利用できる。また、「熱さまシート」などの発熱冷却剤及び経口補水液は、脱水症状の予防に効果的であるし、熱中症の恐れがある場合には当座の処置を行うことができる。

調査当日の準備作業

現地に到着したら、作業開始前に植栽木の配置などを確認しておくが、できれば前日に行っておく。調査は、植栽当年を除き、5年、10年と間隔をあけて行うのが一般的なもので、雑草、雑木の繁茂、表示杭、表示ラベルの脱落などによって、検定木の配置のみならず、検定林の外周の確認にも手間取ることが多い。まずは、残存した表示杭、ラベルなどを探し出し、配置図と照合しながら、検定木の配置を確認する。このとき、方形プロット、列プロット、単木プロットいずれの場合も、プロットの四隅、列の先頭など、検定木を確認する目標となる個体をペンキなどで表示しておく(写真-3)。また、検定林の外周についても、ペンキなどで表示しておく。ペンキの色は何色でも良いが、黄色、赤は林内の色に紛れて意外に確認しづらく、蛍光色や林分では見かけることの少ない青色などが確認し易いようである。



写真-3 ペンキでプロットを表示

段取り八分といわれるように、準備作業は周到に行う。これによって、誤りを防ぎ、トータルで効率的に作業を進めることができる。ここで手を抜くと、測定に手間取るだけでなく、プロット、検定木の取り違えなどによって再測が必要になるなど、かえって労力をかけなくてはならなくなってしまう。

樹高測定

測桿は言うまでもなく、測桿の先端を梢端部の高さに合わせて釣竿のように伸長させて手元の部分で樹高を読み取れるよう、下部に向かって値が大きくなる逆方向の目盛りが打たれている。最長20m長まで入手可能である。ただし、16m以上になると重くなり過ぎ、検定林内での移動、測桿の伸縮、測定時の静止保持などに腕力と余分な労力を必要とする。一般的には12m長程度までであり、これ以上の高さになると後述する測高機を利用の方が効率的かつ高精度である。

測桿は言うまでもなく、測桿の先端を梢端部の高さに合わせて、その時の目盛りを読む。樹高がある程度高くなると測桿の担当者は先端を見通すことが難しいので、野帳の担当者が斜面の上部で梢端を見通せる位置を確保し、測桿担当者に指示を出す。このとき、下方から見通すために過小評価することが多いので、梢端と測桿の先端を確実に見通すことのできる位置から指示する。林冠が閉鎖している場合には、林冠に紛れて測桿の先端が見えない、あるいは対象個体の梢端を識別できなくなることもある。この場合、検定木を揺さぶって梢端を動かすと良い。比較的大きな個体でも、手で押すように力を加えると梢端部はかなり揺れる。また、

測桿の先端部から蛍光色のテープを垂らしておくと、林冠に紛れることが少なくなり、識別が容易になる。

測高器：測桿で対応できない樹高では測高機を使う。測高機は樹幹までの距離と梢端を見越す角度から樹高を得るしくみであり、バーテックスやワイゼ式測高器などいくつかの機種があることは前述のとおりである。また、簡便な測定器具としてクリステン式がある。これは精度的に検定林調査には適さないが、樹高のおおよその見積もりを知りたいときには便利である。

近年、最も一般的なのはハグロフ社製のバーテックス (Vertex) であろう。現在はIV型となっている。手のひらに入る小型の単眼鏡のような形状の本体と、トランスポンダーと呼ばれる距離測定の補助装置から成る。本体には超音波測距装置、角度測定センサー、演算装置及び表示装置が組み込まれている。測定に際しては、後部に附属する鉤を使ってトランスポンダーを検定木の樹幹の胸高部に取り付け、これと梢端部を見通すことのできる位置からトランスポンダーと梢端をそれぞれ照準して測定ボタンを押すと樹高が得られる (写真-4)。30 m程度まで離れて測定できることになっている。予めトランスポンダーを取り付ける高さ (1.2 mあるいは1.3 m) を入力しなければならないこと、測定の都度、トランスポンダーを取り付けなければならないこと、トランスポンダーの電源のオンオフを本体で行わなければならないことなどの制約がある。トランスポンダーの取り付けに関しては、胸高直径の測定担当者が兼任することで作業効率の低下をある程度軽減できるうえに、込み合っただけ対象木の認識が難しい場合にトランスポンダーが標識となることもある。欠点としては、距離測定に超音波を利用するため、測定距離が30 m程度に制約されること、雨の音、セミの鳴き声やチェーンソー、草刈り機のエンジン音などの影響を受け、測距が不可能になることなどがある。しかしながら、現時点では樹高測定の標準機といえるほど一般的になっている。これに対してレーザーテクノロジー (LTI) 社のトゥルーパルス 200、360はレーザーで測距するため、トランスポンダーを取り付けることなく樹高測定が可能であり、実用性はともかくも1000 mまで離れて測定できる性能を有する (写真-5)。また、360は角度センサーに加えて方位角センサーを持っており、コンパス以上に高精度で高効率の測量が可能である。専用のソフトを組み合わせることで、測量後直ちに図化することができ、三次元図の作成も可能である。樹高測定は樹幹のいずれかの部分を見通して距離を測定し、樹幹の下部と梢端部を見通してそれぞれ測定ボタンを押すことで、樹高が表示さ



写真-4 バーテックスによる測高



写真-5 トゥルーパルスによる測量。森林総合研究所林木育種センター九州育種場提供。

れる。すなわち、3回ボタンを押すだけで樹高測定が可能である。ただし、検定林のように込み入っている箇所では対象木の特定が難しく、胸高直径測定担当者の指示が必要なこともある。さらには1900 mまで測定可能で角度測定の精度も5倍高く (すなわち測高精度も5倍)、完全防塵防水のトゥルーパルス1900という製品もある。これらは、NASAの技術のスピニアウトで、戦車、

戦闘機などの軍事用測距装置にも用いられる極めて高い技術が導入されたものである。ハグロフ社のバーテックスレーザーも測距にレーザーを取り入れたものであるが、超音波式と併用している点において LTI 社とは異なる。基本的にはこれまでのバーテックスと同じ手順で測定し、条件によってはレーザー測距を選択できるというコンセプトである。LTI 社は汎用器メーカーであり、ハグロフは山・林業用具専門メーカーなので、林内での使い勝手を考慮したうえでの仕様かもしれない。

樹高は植栽密度の影響を受けないので、成長特性の評価において重要な形質である。しかしながら、測定に手間がかかるのが昔からの大きな課題となっていた。前述した新たな機器についてもコンセプト自体は旧来のものであり、梢端を見通すことが難しい場合には測定できない、あるいは別個の個体の梢端と根際を測定する可能性があるなどの課題がある。このことは常に念頭においておかなければならない。

一方、全く異なったコンセプトの試みもあった。樹木を垂直に突き立てた片持ち梁と仮定して、樹幹を打撃して樹高を推定する手法が試みられたこともあったが、樹幹のヤング率、密度の変動、枝、さらには多幹など考慮すべき要因が多いこともあってか、沙汰済みになったようである。これはさておき、梢端を見通すことなく、効率的かつ高精度に樹高を測定できる手法の開発が期待される。

胸高直径及び樹幹形

樹幹径の測定は樹幹の断面形状が真円に近い針葉樹では輪尺で、外周の出入りの多い広葉樹では直径巻き尺で測定するのが一般的であり、文字通り胸高部位（北海道を除いて地上高 1.2 m）で測定するのは言うまでもない。基本的な測定手順については先に示したとおりである。ここでは、測定にあたっての留意点を示す。

木製の一般的な輪尺を用いる場合は、測定の都度組み立てるので、固定脚、遊動脚ともに輪尺本体に対して直角になっているかを確認し、そうでない場合は調整ねじを使って直角にしておく。近年は大型のノギスでも言うべきハグロフのプレジジョンキャリパー、さらにはデータロガーが附属したデジテックキャリパー（デジタル輪尺）が一般的になってきた。これらは木製のものに比べて高精度ではあるものの、点検によって問題が見つかったときは調整ねじを附属の六角レンチで調節する。蛇足であるが、輪尺によって目盛りの読み取り方法が異なるので測定補助者に対しては、作業に先立って、輪尺の当て方、目盛りの読み取り方

を十分に教示しておく。また、デジテックキャリパーは測定値が直示されるので、読み取りに問題がないようにとらえられがちであるが、無意識のうちに、あるいは何かの拍子にゼロ点調整を行って測定基準がずれてしまうことがある。この場合、致命的な誤りを継続することになるので、時折、遊動脚（スライディングジョウ）を完全に閉じてゼロの表示になることを確認する。ゼロにならない場合は当然ゼロ点調整を行う。

一方、胸高部位のみならず、見通すことのできる任意の樹幹部位の直径を測定できる器具がある。古くから知られているのが W. Bitterlich のシュピーゲルレラスコープと Barr & Stroud 社（イングランド）のデンドロメータ FP15 であろう。これらは、任意高の樹幹径及び樹高を測定できる。前者は簡易な角度測定装置に角度に応じて縮尺を連続的に変えた直径測定用の目盛りを組み合わせたものであり、樹幹に定尺を取り付け、これを見通すことで、傾斜地であっても一定の距離（20, 25, 30 m）をとることができ、そこでファインダーの右端に表示される高さ目盛りに合うように迎角をとると所定の部位の直径を測定できるようになっている。逆に梢端部を照準した場合の目盛りの表示が樹高となる。縦型のハンディカム程度の大きさなので、片手で操作可能であるが、この場合は角度計の遊動輪を安定させるのが難しいので、自由雲台付きの三脚に取り付けて使うのが一般的である。デンドロメータ FP15 は Barr & Stroud が光学機械メーカーであるため、精密な光学式距離計をベースにシュピーゲルレラスコープ同様の機能を持たせたものである。110 m の距離まで測定可能であり、その際の直径の測定誤差も 1% 以内とされている（大隅 1971）。しかし、大型望遠レンズほどの大きさと 2.3 kg の重さがあるため、頑丈な三脚に取り付けて利用しなければならず、精密機械なので取り扱いもデリケートで時間がかかるようだ。これらに対して現在注目されているのが、先述した LTI 社が製造・販売している電子式レラスコープ Criterion RD1000 である。これはシュピーゲルレラスコープの各部を電子センサーとデジタル表示に置き換えたもので、距離測定にトゥルーパルス（200 でも 360 いずれでも可）を組み合わせると、シュピーゲルレラスコープの簡易さで PF15 に近い精度が得られる装置である（Williams et al. 1999）。しかも、シュピーゲルレラスコープのように対象木へ毎回定尺を取り付ける必要もないので、さらに効率的である。距離測定用のトゥルーパルス 200 もしくは 360 を所有していれば、本体のみ 30 万円弱で一式がそろそろ。本機も、片手で操作が可能だが、安定した測定結果を得るためには、水準器を付

けた一脚や三脚に取り付けて使用するのが良い(写真-6)。樹高20m超の林分でも50~70本/日程度の功程で測定できる。樹高、胸高直径もこれで測定できるが、野帳手が対象木を指示するとともに胸高直径を測定しておくことで致命的な誤りを防ぐことができる。



写真-6 クライテリオン RD1000 による樹幹形状の測定。森林総合研究所林木育種センター九州育種場提供。

その他の形質

通直性：用材としての利用では、樹幹の通直性を重視するので、目視によって簡単に評価する。この場合、根元部と樹幹部に分け、根元部では打ち出しをとる必要があるかどうか、すなわち、根元曲がりが多いので、曲がり部分を切り捨ててその上部で直材をとる必要があるかどうか、樹幹部では4m材を採材する際に直材として採材できるかどうかを矢高によって判断するものであり、一般的には目視で指数評価する。指数の例を表-1に示す。この際、少なくとも直角の二方向から見渡しておかないと、曲がりを見落とすことがあるので

注意する。一方向では通直だが、他方向では大きく曲がっていたということがないようにする。

着花性と着果性：スギ、ヒノキでは、雄花着花性の評価は避けることができない。雄花着花性の評価方法については、スギ花粉発生源対策方針(平成13年6月19日付林整保第13号最終改正平成21年6月10日付21林整研第240号)に別記1として雄花着花性に関する特性調査要領がスギ、ヒノキ別に示されているので、これに従う。基本的には雄花の着生状況を目視で指数評価するものである。高林齢林分では見通すことが難しいのと、検定林調査が成長休止後直ちに実施されることから、検定林調査時と並行した実施は難しい。球果着生量についての評価基準は特にないが、大量についている場合には備考欄に記載しておく。

その他、病虫害、獣害など：幼齢期では誤伐、シカ、ウサギなどによる食害、樹齢が高くなっていくとシカの剥皮害とスギカミキリやスギザイノタマバエなどの虫害が認められることがあるので、被害の有無と程度を備考欄に記載しておく。

将来に向けて

測定結果は紙などのシートに筆記具で記載し、後にパソコンに登録しているのが現状であろうが、二重の手間となって誤りが入り込む機会が増える。この点、IT機材の発展で各種登場してきたPDA(personal data assistant)を利用すれば、入力の手間が減る上に機材によってはデータを直接取り込むことができる。現在のところ、紙の野帳は信頼性でPDAに勝るが、データのバックアップ、配置図、過去データとの照会機能などを取り入れ、信頼性を向上させ、実用的なものにするための努力がつついている。ハード、ソフトともにすでに実用化の段階にあるので積極的に利用して欠点を洗い出し、より実用性を高めて完璧なものにしていくことが望まれる。

このように、調査用具の進化はあったものの、旧来のコンセプトに基づいて現代の技術を導入したものであり、調査の形態は基本的には何ら変わっていない。例えば、樹高測定についても、測距能力を備えた測高器など新しい装置を導入することで作業効率、精度は向上したが、梢端部を見通せなければ測定できないなどの制約は残されたままである。こうした根本的な課題を解決するための新たな発想に基づいた手法の確立が求められる。例えば、地上LIDER(laser imaging detection

表-1 根元曲がり及び幹曲がりの評価指数

根元曲がり		幹曲がり	
指数	規準	指数	規準
5	全く曲がりがない	5	全く曲がりがない
4	少し曲がりがあるが柱がとれる	4	少し曲がりがあるが柱がとれる
3	採材に幾分影響する曲がり	3	採材に幾分影響する曲がり
2	元玉1m程度を切り捨てる	2	採材に影響する曲がり
1	元玉1.5m以上を切り捨てる	1	重曲又は先形が直径より大きい

and ranging) を利用すれば、個々の樹幹の形状をデータ化できるので、調査そのものの概念を変えることができる。現在は、機材が大きく高価であること、枝が込み合っている林分では測定精度が低下するなどの制約があるが、各方面で利用技術の開発が進んでいるので、それ程遠くない時期に検定林調査でも実用できる可能性がある。将来的には機材が超小型化され、加えて飛翔能力が格段に向上したドローンが登場すれば、検定林調査も全く様変わりするかもしれない。これは、夢物語だが、先に示した横打撃による樹高測定など、異なった発想に基づくことで予期せぬ進歩をもたらす可能性がある。それ以上に必要なのが、何をどのように調査していくのか、戦略そのものを考え直す時期ではなかろうか。若い知力に期待するところである。

引用文献

- 久保田正裕 (2012) 5. 林木育種の統計学. 井出雄二・白石進編, 森林遺伝育種学, 188-198. 文永堂出版, 東京
- Williams MS, Cormier KL, Briggs RG, Martinez DL (1999) Evaluation of the Barr & Stroud FP15 and Criterion 400 laser dendrometers for measuring upper stem diameters and heights. *Forest Science* 45: 53-61
- 大隅眞一 (1971) 立木の測定. 大隅眞一・北村昌美・菅原聡・大内幸雄・梶原幹弘・今永正明, 森林計測学, 71-118. 養賢堂, 東京
- 山田茂雄・村松保男 (1971) 例解測樹の実務 - 再訂増補. 地球出版, 東京