

今さら聞けない森林情報収集技術① 〈デジタルコンパス、航空レーザ〉

中部大学中部高等学術研究所国際GISセンター准教授 竹島喜芳

最近登場してきた、森林調査を巡る技術について、デジタルコンパス、航空レーザ、地上レーザ、空中写真の新しい利用法、ドローンという順で解説し、全体像が見えない技術体系を2回にわたって解説します。今回はデジタルコンパス、航空レーザを紹介いたします。

知っておきたい測樹の道具
シュピーゲルレラスコープ（図1）、ペンタプリズム、デンドロメーター、ブルーメライス（図1）、実体

鏡（図1）、牛方コンパス（図1）。この中で幾つの言葉をご存知でしょうか。最初の3つは初耳の方も多いと推察しますが、それらは、20年前の大学の森林経理（森林調査や収穫予想に関する学問体系）という学問体系、あるいは測樹という科目の中で当たり前に登場していた技術で、林業に係るものが森林情報収集手段の基本として身につけるべき素養でした。ですが、いまではそういったものを教わる機会が雲散霧消しているようです。まして、林業を体系的に教わる機会がなかった方は、道具の存在

を知る機会さえないかもしれません。温故知新、実は古きものにいいものがあるのです！

私は個人的に、軽量で電源の心配をすることのないシュピーゲルレラスコープは森林情報収集（収穫予想）にもってこいの技術だと思っています。まずは施業プランナーがこれを使いこなすようになればと思います。しかし、それを使いこなすには相応のトレーニングも必要ですし、時代はそれに変わる道具も登場させています（費用対効果の問題がありますが）。ですので、残念ながらいま議論しよう

デジタルコンパス

このところ急速に牛方コンパス（図1）がデジタルコンパスに替わってきています。既に日常使いされているので、何を今さら…。そう感じるかと思いますが、ですが、意外に知られていないこともあるようです。レーザを使って距離を計測するこの身近な機器には、航空レーザ・地上レーザなど、各種レーザ技術を理解する基本が詰まっています。しばし、お付き合い下さい。

現在、業界に普及しているデジタルコンパスは、図2にあるAやBだと思っています。個人的にはBが好きですが、現場ではAを使われる方が多いようです。この二種類のデジタルコンパスですが、実は図2のように性質が異なります。

（1）フットプリントを意識する
このグラフは、水平な場所に設置

シュピーゲルレラスコープ



<https://en.wikipedia.org/wiki/Relascope>

実体鏡



http://www.topcon.co.jp/positioning/sokkia/products/product/survey-equipment/MS27_MS16_J.html

牛方コンパス



ブルーメライス



<http://wiki.awf.forst.uni-goettingen.de/wiki/index.php/Blume-Leiss>

図1 収穫調査などで使われてきた森林調査の道具

として、最近登場してきた技術の土俵に乗っかりません。個人の技量に依存する技術は、業界の求めに逆行しているようです。今は再現性（誰がやっても同じ結果になる）、透明性（経験と勘ではなく説明ができる）が重要になりました。

したデジタルコンパスで距離を計測した時、反射板を地面に対して垂直にたてるか（正面）、前に倒すか（前傾）、後ろに倒すか（後傾）で、計測される距離が変わるかを調べたものです（こうした機械が普及し始めた2007年、業界にとって必要な実験だと思い、学生さんの卒論の1部として実施しました）。

その結果、Aの機械は反射板が地面に対して垂直でないと、距離が短く計測される傾向がありました。一方、Bの機械は反射板が前に傾くと距離が長く計測され、後ろに傾くと距離が短く計測される傾向がありました。はたして、どうしてそうなるのでしょうか。

ところで、そもそも機械から発射されたレーザー（光）は、円錐状に広がりをもちて空間を進んでいきます。距離が長くなればなるほど、その末端では円錐の底面は大きくなります。

懐中電灯で足元を照らす時と、遠くを照らす時とでは明るくなる範囲が異なる、あの現象と同じです。しかも、懐中電灯によって光の広がり方が異なるようにデジタルコンパスも機械によって、レーザーの広がり方は異なります。

以上を踏まえ、図2の不思議な現象を眺めると、次のように考えれば辻褄が合います。

Aの機械はレーザーの広がりが大きいため、図2のように反射板が傾

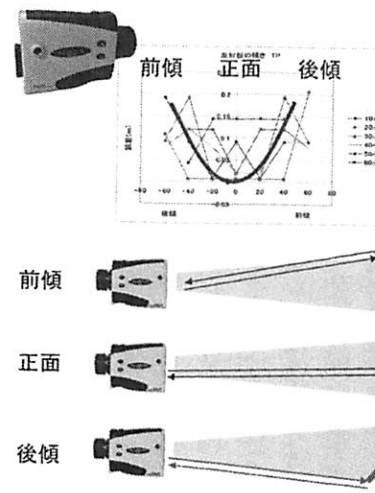
モードにする必要があります。

デジタルコンパスから発射されたレーザーは、程度の差こそあれ、前述のように広がりをもって空間を直進します。すると一発のレーザー発射で、地物に当たって返ってくるレーザーは幾つもあることになります。懐中電灯で暗闇に潜む物体が見えるのは、懐中電灯から出た光がいろいろなところで跳ね返って目に入るからです、それと同じ理屈です。

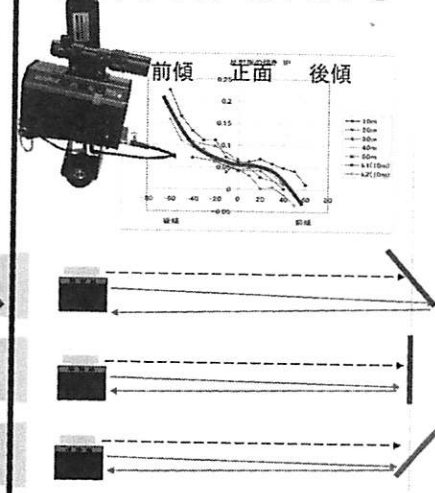
デジタルコンパスが反射板モードでなければ、レーザーが発射されてから最初に返ってきたレーザーの情報で（といってもある程度の強さで返ってこないとい信号を検知できませんが）距離を計測します。

一方、反射板モードの時はこうです。レーザーは何か当たると跳ね返るわけですが、通常、レーザー（光）は何か当たったとき、そのエネルギーが吸収されたり散乱されたりし

デジタルコンパス A



デジタルコンパス B



レーザーは線で飛んで行くのではなく、広がりをもって飛んでいく。そして、地物に当たって跳ね返る。フットプリントのサイズが大きいデジタルコンパスA、小さいデジタルコンパスB。...としか思えない現象。

図2 レーザーコンパスの特徴を考える（反射板の傾きによって計測される距離が異なる現象）

いていると、実際の距離よりも短く計測される。一方、Bの機械はレーザーが絞りをこまれているため、前に傾ければ計測ポイント（スコープで反射板の中心を視準したときには、レーザーは中心よりも5cmくらい下に飛んでいく）は実際の距離よりも遠いところに位置し、後ろに傾いていれば計測ポイントは実際の距離よりも近いところに位置する。どうでしょう。そう考えると図2の現象に説明がつけますよね。

このレーザーの広がりの違いは、フットプリントのサイズの違いといえます。ご記憶ください。

（2）反射強度を意識する

ところで、反射板を使うと、どうしても途中に草木があっても距離が測れるのでしょうか？ これも知っておきたい重要な知識です。（それをするためには、デジタルコンパスは反射板

で減衰して戻ってきます。一方、鏡や

反射板は光のエネルギーを吸収せずにレーザーを跳ね返します。デジタルコンパスの反射板モードは、発射されたときと同じエネルギーで返ってきたレーザーだけに反応し、距離を計測するようになっています。そのため、途中に草木があろうと、反射板の位置を正確に計測するのです。

さて、ここでご記憶いただきたいことは、レーザー発射は一発なのですが、機器には、元気に戻ってくるレーザーや、ヘロヘロで戻ってくるレーザーなど幾つもあるということです。このレーザーの元気具合のことを、反射強度といいます。

以上が今さら聞けないデジタルコンパスです！

航空レーザー

（1）仕組み

「フットプリントと、反射強度」が

「閑話休題」

本題からそれますが、ついなので知っていただきたいことが3つあります。(54頁図2参照)

- Bタイプの機器には、機器固有の誤差があることが多いです。その誤差は、機器の設定でオフセット値（計測される距離から常に一定の長さを±する距離）を調整することで対応できますので、Bタイプの機器を使っている方の中で測量誤差が大きいと気になる方は、一度、オフセットの有無を確認してみてください（デジタルコンパスにオフセット値を入れるメニューがあります）。ただ、オフセット修正しても、測量誤差は、機器を水平にしないで方位角を計測したとか、コンパスのキャリブレーションをしていない場合のほうが大きいので、あまり神経質になる必要はありません。
- Aタイプの機器は、コンパスのキャリブレーションをしないと、誤差は許容できないほど大きくなります（閉合比が20分の1だとか50分の1だとか…。コンパスのキャリブレーションはシッカリやってください。しかも、ただやればいいのではなく、機器に取り付けるアタッチメントを付けた状態で行ってください。また、局所引力（車は鉄などの近く）のあるところで、キャリブレーションをしてはいけません。ありがちなのは、水平な場所が必要だからと、治山堰堤のコンクリートの上でやってしまうことです。コンクリートには、鉄筋が入っています。キャリブレーションの場所としては適当ではありません。
- デジタルコンパスが素敵なのは、反射板モードを使えば、たとえ機器と反射板の間に草木があっても距離を計測できてしまうことですが、1つ注意が必要です。先ほどのフットプリントの話を出してください。たとえ細い草木でも、デジタルコンパスの間近にあれば（まだレーザーの広がり小さい）、レーザー光の多くを遮断してしまい、距離の計測ができません。一方、草木に覆われていても、反射板に近いところの草木なら、反射板が少しでも見えていれば、距離は計測できます。「あれっ、なんで距離が測れないのか？」と思った時は、機器と反射板との間で機器に近い（数m）側の草木の有無を確認してみてください。

理解できたら、航空レーザー・地上レーザーの理解は早いです。
デジタルコンパスをもう少し精密にしたレーザー測距儀を、飛行機に載せて、一秒間に何十万発もレーザーを発射し、地表や地物の高さを計測する技術が普及してきました。航空レーザーと呼ばれるレーザーLIDARと呼ばれたりする技術です。航空レーザーも出たてのころは、航空機から真下にレーザーを発射させるだけでしたが（レーザープロファイラーと呼ばれていた）、いまでは図3のように発射されたレーザーを回転する鏡で折り曲げることで、鉛直以外の方向の距離を測ることができるようになり、それが一般的になりました（レーザーキャナと呼ばれることもあります）。

に、最初に地物に当たって跳ね返ってきたところの距離しか計測できませんでした。
しかし、最新の航空レーザーは、それ以外の情報をほとんどもたせています。「フットプリントと、反射強度」を思い出してください。航空レーザーでは、例えば森林では、広がりをもつて航空機から飛び出したレーザーは、樹冠の葉っぱに到達したところで、一部がまず反射してレーザー測距儀に向かいます。一方、ぶつか

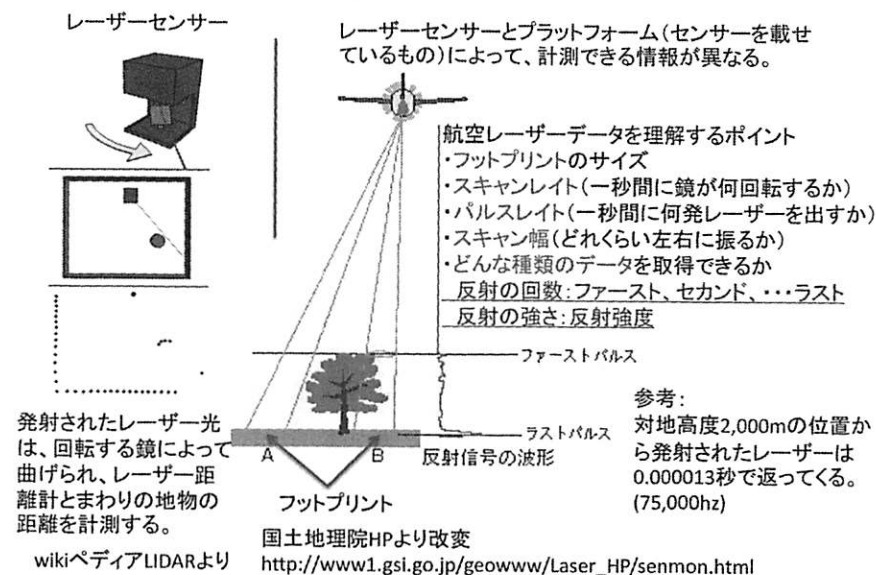


図3 航空レーザーの仕組み

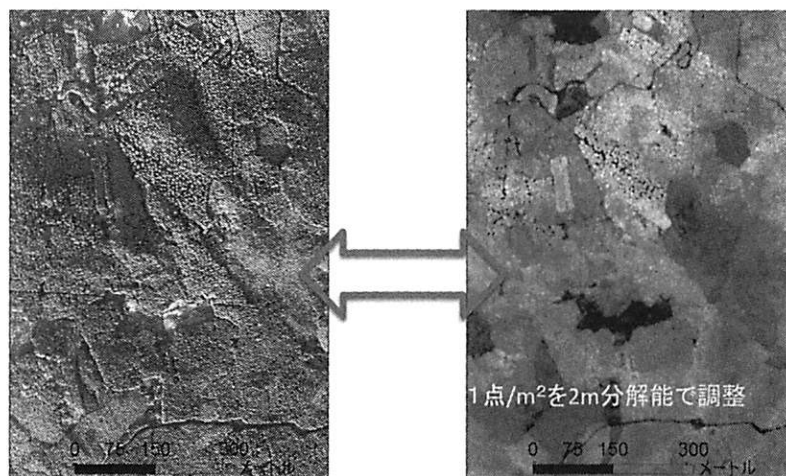
航空レーザーは程度の差こそあれ、広域を計測しようとする膨大なコストが発生していましたが、近年、公共的な目的や研究的な目的であれば、国土地理院のワンストップサービスで貸与されるようになってきました。単木抽出できるほどの点密度のデータではありませんが、ともかくコストをかけずに森林情報収集に有効な航空レーザーデータを使うことができます。実際、図4のように、私は

知っておきたい国土地理院 ワンストップサービス

たデータ（2004年ごろ岐阜県全域で取得したデータ）であれば、単木抽出は難しいですが、蓄積でしたら現実に近い精度で推定できるという知見を得ています。また、そのデータでは本数をカウントするのは無理ですが、林の混み具合や樹種を自動計算してみようと検討中です。

四国地方整備局四国山地砂防事務所よりデータを貸与いただいたことがあります（当時は、「航空レーザー測量データポータルサイト」という日本測量調査協会のホームページでデータの存在を調べ、直接事務所に問い合わせましたが、いま国土地理院のホームページから公共機関が取得した航空レーザーデータなら、全国どここの場所のデータでも問い合わせができます）。

なにも高額なコスト負担をせねば、最新技術の恩恵にあづかれない時代は終わりつつあります。



国土交通省四国砂防事務所より貸与された航空レーザーデータを加工し、2m四方の平均樹冠高を計算したもの（大きな樹木は単木認識しているが、多くの林分では単木認識できない）。

図4 取得された点群データを使って地盤の測量、地物高の測量、樹冠高の計算が行われる

ザーは、それが何かにぶつかるまで地面に向かってどんどん進んでいきます。枝や幹や下草でどんどんぶつかり、ぶつかった端からレーザー測距儀に返っていきます。そして、直進を続けたレーザーも最後には地面で反射してレーザー測距儀に戻ります。ということ、レーザー測距儀から一度の発射でしたが、返ってくるレーザーはいくつもあるのです。そのため、発射は1回でも計測される距離は、幾つもあります。最新の航空レーザーでは、幾つもの距離やレーザーの強さを記録します（ファーストパルス、セカンドパルス：ラストパルスとその反射強度）。

そして、どんな情報がどれほどの精度で得られるかは、使うレーザー測距儀の種類（レーザーの広がり方、一秒間にレーザーを何発発射するか、一秒間に鏡が何回転するか、どれくらいのスキャン幅でデータを取得す

るか、どんな種類のデータを記録できるか）、航空機の飛行高度と飛行速度、データ取得のオーバーラップ度によって変わります。当然、同じセンサーでも飛行高度を低く、ゆっくり計測できるヘリコプターで計測すれば、航空機によるそれよりも沢山の情報を得ることが出来ます。ただ、データの詳しさとコストにはトレードオフ（どちらを有利にすれば、他が不利になる）の関係がありますから、どんなデータで何が分かるかについてはおさえておく必要があります。

ともかく、そういった最新技術で得られる情報を駆使し、樹冠表面の高さ、樹冠の構造、地盤の高さ、また地物の種類（樹種）などを推定することができるようになりました。例えば、ある航測会社によれば、1㎡当たり4点の密度で複数のパルスと反射強度を計測したデータがあれば、樹種分類は当然のこととして本数を特

定しながら、その単木の直径を推定もできるそうです（現地調査を踏まえれば、直径推定の精度はさらに上がります）。

ちなみに私事で恐縮ですが、私は、初期型の航空レーザーに関心を持って取り組んでいます。理由は、2つあります。1つは、航空レーザーのハードウェア技術は日々とても進んでいます。そんな技術の進展で、いろんな情報が当然のように分かるようになりまし。ですが、ハードウェアの進歩に依存する成果は、過去に遡って同じ情報を得ることができません。森林情報には、成長量などの変化は大切ですが、分からずじまいです。しかも、新しい技術ゆえ、コストもかかります。という理由で、古い技術でなにがどこまで分かるのか！そこが実務で重要だと思い、好んで古いタイプの航空レーザーに取り組んでいます。4㎡で1点の密度で計測され