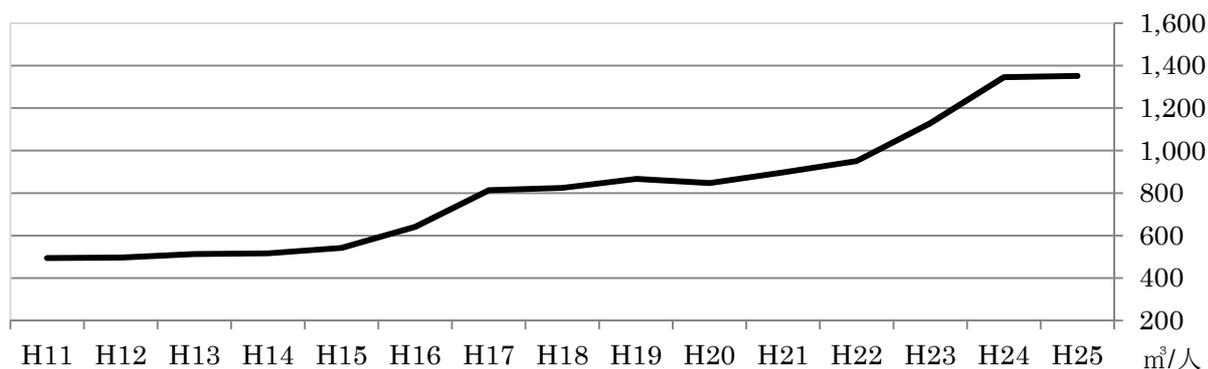


収穫調査の省力化にむけて

～ビッターリッヒ法の精度検証～

近畿中国森林管理局 広島北部森林管理署 西城森林事務所 東 勇太

1 研究の背景と目的



図－1 職員1人当りの伐採量の変化

(1) 近年の国有林野事業における業務量の増加

図－1（データは林野庁 HP の国有林野事業統計書から抜粋）を見れば一目瞭然ですが、近年は職員数の減少が続く一方で国有林の伐採量は増加し、職員1人当りの伐採量は平成15年が542 (m³/人) だったのに対し、平成25年が1,351 (m³/人) となり、ここ10年で2.5倍近く増加しています。したがって、特に伐採量の増加に伴い確実に調査量の増加が見込まれる収穫調査の効率化が急務だと思われます。

収穫調査とは予定簿作成や伐採前に材積や本数密度把握の目的として実行される調査で、森林官の主たる業務の一つです。現地調査は収穫調査規程に従い基本的に標準地調査で実行され、通常は現場系の非常勤職員を雇用するか、近隣の職員の応援を得て計2～3人程度の複数で実施しています。ところが現在収穫調査の要となる現場系非常勤職員が高齢化（島根森林管理署の平成26年度の平均年齢は65.8歳）しており、将来的に複数人数での作業が困難になる事務所が増加する可能性があります。現に現在所属の西城森林事務所では雇用できない状況にあります。

こうした状況のなか収穫調査において注目したのが、ビッターリッヒ法です。ビッターリッヒ法は1948年にドイツのビッターリッヒ氏が考案した方法で、本数密度は推定不能ですが、簡易に胸高断面積合計 (m²/ha) を推定することが可能となる手法です。調査では、目からの距離や傾斜に応じて設定された測帯を基準とし360度見渡してカウントした本数に、測帯幅に応じ決定された断面積定数をかけて算出します。

ビッターリッヒ法に注目したのは、収穫調査省力化の情報収集のためインターネット検索をした折に、北海道森林管理局の職員である管理人が運営する「山仕事」というブログ1) 上におけるビッターリッヒ法等の試行錯誤に感銘を受けたことも理由の一つです。当該ブログでは管理人が新しいビッターリッヒ法による手法の精度検証のデータの積み上げをしようとしたものの、諸般の事情により十分な検証が出来なかったと記されており、先進的な取組をこのまま眠らせておくのは勿体ないと考えた次第です。

(2) 目的

本研究の目的は収穫調査規程がさらに改定されビッターリッヒ法の適用拡大のための基礎資料としてデータの蓄積を図るため、以下の2つの項目を調査しました。

ア ビッターリッヒ法の精度検証

これまでの研究でも精度の検証は2) 3) などで行われていますが、やや古い文献が多く、最近では新たな機器が登場しているため改めて検証します。

イ コスト検証

ビッターリッヒ法は本数密度が分からないため一概には比較できませんが、機器によって購入費が高額となる場合もあるため、調査時間と経費からコストを計算し、標準地調査と比較検証をします。

2 調査方法

調査の詳細については以下の通りです。

(1) 調査場所

調査場所は平成26年～平成27年の間に毎木調査が行われ、小班の正確な胸高断面積合計が決定されている小班を基準とし選定しました。今回は業務調査委託で毎木調査が行われた小班から主に選びました。利用できる毎木調査のデータが無い小班では、新たに区域測量を行い区域内の立木の毎木調査を実行しました。

検討の結果、島根森林管理署管内で13小班（うち11小班は業務調査委託の毎木調査データを使用。残り2小班は新たに区域測量と毎木調査を実施）を選定し、平成27年9～10月にかけて調査を行いました。

(2) 調査項目

以下の2項目について、調査を行いました。

- ・胸高断面積合計 (m²/ha) : 標準地調査では胸高直径から、ビッターリッヒ法ではカウント本数から算出。
- ・現地調査時間 : 標準地調査では調査時間はプロット設定時間も含めて計測。

(3) 標準地調査

通常の間伐時の調査と同様に、現地で判断した標準的箇所に各小班で20m×10mの標準地と10m×10mの標準地を1箇所ずつ設定しました（一部小班では10m×10mのみ）。周囲の計測も通常の収穫調査時と同様に、コンパス測量までは行わず巻尺で傾斜補正を行いつつ周囲計測しました。周囲計測終了後は、標準地の外縁木を黄色テープで標示しました。輪尺による直径測定後の調査完了木はナンバーテープを使用せず、木材チョークで測定完了の目印のみを付けました。

(4) ビッターリッヒ法

本調査ではビッターリッヒ法のサンプリングポイントは各小班内で標準地の中やその付近で標準地ごとに各2ポイント以上、計4ポイント以上設定しました。

なおビッターリッヒ法の実行は下記の3種類のアプローチを実施しました。なお、電子レラスコープとおみとおしでは各サンプリングポイントで複数反復しています。

いずれも比較的最近登場した手法です。

ア 電子レラスコープ

1種類目は、アメリカのLaser Technology Inc社が2005年から販売を開始した電子レラスコープ (CriterionRD1000) です。重さは500グラム、大きさは7cm×5cm×16.5cmで、スコープを覗いて、測定を行います。スコープを覗くと写真-1のように見え、破線で表示される測帯を見てカウントします。なお、測帯はスコープの傾きを検知し自動的に傾斜補正を行い幅が変化します。測帯の下の数字は断面積定数で、0.1刻みで任意の値(0.2~29.1)に変更可能です。



写真-1

ビッターリッヒ法においては、カウント本数が10~20の場合に精度が最も高まることが経験的に知られており4)、異なる林分状況で調査を行う本調査では定数を固定せず測定を行い、1ポイントで、2.0~4.0の範囲で0.2~0.3刻みで定数を変えつつ6~7反復を行いました。

イ おみとおし

2種類目のおみとおし(写真-2)は、東北森林管理局岩手北部森林管理署で開発された5) 道具です。他の機器に比べて遙かに安価(500円程度)に販売されているため、気軽に利用する事が出来ます。特徴としては、傾斜によって測帯を使い分けることで傾斜補正が可能なことと、表面の一覧表により現地で簡便に蓄積量も把握出来る事が挙げられます。なお、おみとおしは1小班実施していない小班があります。

これも1ポイントで4反復程度行いました。

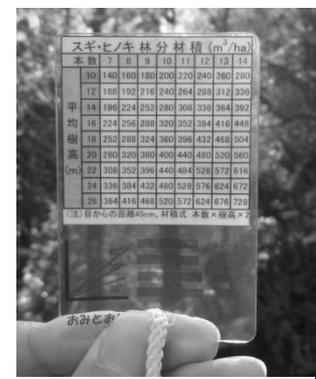


写真-2

ウ 森林管理システム円空

3種類目は、「森林管理システム円空」です。これは石川県の株式会社エイブルコンピュータが2004年に開発11)し、全天写真を現地で撮影後、画像をパソコンに取り込んで解析するパソコンソフトです。

なお、本調査の現地での撮影には、全天球がワンショットで撮影できるカメラである RICOH THETA を使用しました。調査では、撮影者が写らないように専用アプリをインストールしたスマホから Wi-Fi 経由で三脚に固定したカメラを遠隔操作し撮影を行いました(もちろん本体のシャッターを押すだけでも撮影可能)。調査時間については、現地ではシャッターを押す一瞬で終わり測定不能であるため、計測不能でした。また、円空では計測方法として写真-3の自動計測(クリック1つで測定)と写真-4の手動計測(手動でカウント木をマーキング)があり、今回は両計測を同時に実行しました。

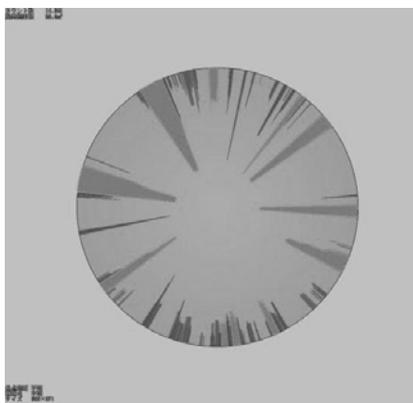


写真-3

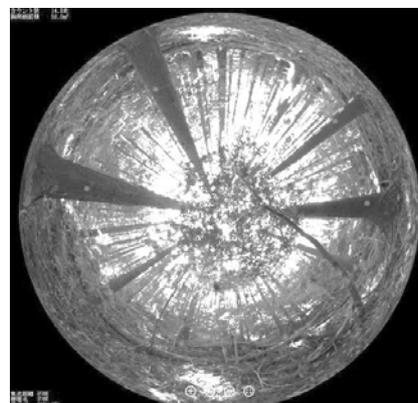


写真-4

3 結果と考察

(1) 誤差の比較

表-1 誤差率と調査時間

全ての結果を同列に評価するため、胸高断面積合計の推定結果と毎木調査から得られた真の値との誤差を誤差率(%)で表わしました。誤差率は、 $|\text{観測値}-\text{真の値}|/\text{真の値}$ で計算され、誤差率が低いほど正確な推定が出来ていることを表わしています。標準偏差は、値が小さいほど推定値のばらつきが少ない(精度の高い推定が出来ている)ことを表わします。

方法		項目	誤差率 (%) (平均)	標準 偏差	調査時間 (秒) (平均)
標準地		20m×10m(0.02ha)	26.59	21.02	1,531.68
		10m×10m(0.01ha)	57.33	39.83	818.35
ビッター リッヒ		電子レラスコープ	15.34	12.30	83.54
		おみとおし	21.54	17.23	68.14
		円空(手動)	14.15	10.23	
	円空(自動)	44.29	43.25		

本調査では、差はわずかですが、円空の手動測定がもっとも誤差率が低く、推定が正確であると分かりました。また、標準偏差も円空の手動が最小で、ばらつきの少ない精度の高い推定が出来ていることが分かりました。

円空の自動測定を除いて、全体としてビッターリッヒ法の方が20m×10mまでなら標準地法より正確であると分かります。

表-2 標準地面積と誤差率

なお、標準地調査法による誤差の期待値は標準地調査の最新の先行研究7)によれば、標準地面積の大きさに伴い表-2のように変化するとされています(本数密度でも変化するが本表では本調査対象小班の実測平均値1010本/haに固定)。

標準地面積 (ha)	本数密度 (本/ha)	予測誤差率 (%)
0.02	1010	38.06280682
0.01	1010	54.58036159
0.04	1010	26.54392937
0.06	1010	21.49798514
0.10	1010	16.48300569
0.12	1010	14.99208931

本研究の誤差率は、10m×10m(0.01ha)で同程度、20m×10m(0.02ha)でむしろ良い結果となっています。

これは、先行研究では無作為標本抽出(ランダムサンプリング)を基本としているのに対し、本研究では任意に標準地を設定したためや、調査地の大部分が分収育林などの良質な林分であったため林相の均一性が高かったことが要因だと考えられます。

おみとおしは、開発時の調査によれば誤差は17%程度5)ということでしたが、今回はそれより大きくなってしまいました。東北森林管理局で検証を行った際の林分状況は不明ですが、今回の調査箇所は下層木が多い林分のため、対象木と測帯を同焦点で視準できない「おみとおし」では元々ぼやけて見えにくい対象木が下層木の枝葉に遮られることで視認性が悪化し、誤差が拡大したと考えられます。

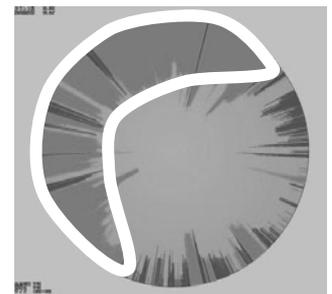


写真-5

円空の自動測定で誤差が大きいのは、測定結果を見ると写真-5の白枠で囲った区域で見られたように傾斜地で地面を樹木と誤認識したためであると考えられます。また、開発者も精度は地形に影響されると報告しており6)、今後の改善が望まれます。

(2) 調査時間

表-1を見ると、圧倒的にビッターリッヒ法の調査時間が短いことが分かります。標準地調査では少なくとも10分以上かかりますが、ビッターリッヒ法は1計測反復でもせいぜい1分30秒程度で、測定中は移動することが無いので、労働強度もはるかに低くなります。特に、円空は現地ではカメラのシャッターを押すだけの数秒で終わることが出来ます。

なお、内業の時間については計測していませんが作業を行った感覚では概ね、電子レラスコープ＝おみとおしく円空（自動）＜標準地調査＜円空（手動）の順で長くなっていくと感じました。電子レラスコープとおみとおしはカウント本数に定数をかけるだけであるため最も短く、円空では THETA から取り込んだ画像を閲覧ソフトで全天写真状に表示し、プリントスクリーンで画像をコピー後、ペイントに貼り付け余分な部分をトリミング後によく円空での測定実行することが出来るため、少々時間がかかります。しかし、基本的に内業は業務の合間や悪天候で現地調査ができない日に随時作業出来るため、現地調査時間ほど気にする必要がないと考えます。

また、内業に時間がかかる円空ですが、測定に使用した写真が残せるといった大きなメリットもあります。

(3) 小班の平均値の区間推定

本調査では、1 小班から複数のデータが得られているため、そこで小班（母集団）の平均値を 13 小班分統計学的に推定しました（おみとおしの場合は 12 小班のみ）。推定は区間推定とし、統計学では標準的な 90%の場合と 95%の場合の両方を算出しました（9）。ちなみに、90%信頼区間の方が区間推定の幅が狭くなります。なお、片側の区間の幅が 10 を超える場合は正確な推定が出来ていないにも関わらず偶々区間に真の値が入ってしまうことがあるので除外しました。標準地は 10m×10m と 20m×10m 各 1 箇所しかデータを取っていないため両データを合算し推定を行いました。

計算の結果、表-3 のとおり 95%信頼区間では除外された小班も出た影響で差は生じにくいですが、90%信頼区間において 13 小班中 6 小班で推定された信頼区間の中に、真の値が含まれるなどやはり、円空の手動が最も正確な推定が出来ていることが分かります。

表-3 信頼区間に真の値を含む小班数

項目		95% 信頼区間	90% 信頼区間
方法			
標準地		1	0
ビッター リッヒ	電子レラスコープ	2	2
	おみとおし	4	3
	円空(手動)	4	6
	円空(自動)	1	1

(4) コスト計算

これまでの結果を踏まえて以下の条件の通り標準地（20m×10m）、電子レラスコープ、円空、の3つにおいてコスト計算を行いました。

- ・移動時間や休憩時間を除いて1日当りの実働時間を5時間
- ・計測地点から計測地点までの間の移動時間は20分
- ・機器の購入費用（実際に購入に要した実費）などの初期コストも含める
- ・THETA での撮影において準備時間を2分
- ・電子レラスコープは1ポイントで7繰返し

以上の条件から1日の調査可能箇所数を計算したところ、表-4 のとおりとなりました。

表-4

1 日の調査箇所数	
標準地 (20m×10m)	7.03
電子レラスコープ	10.76
円空	14.55

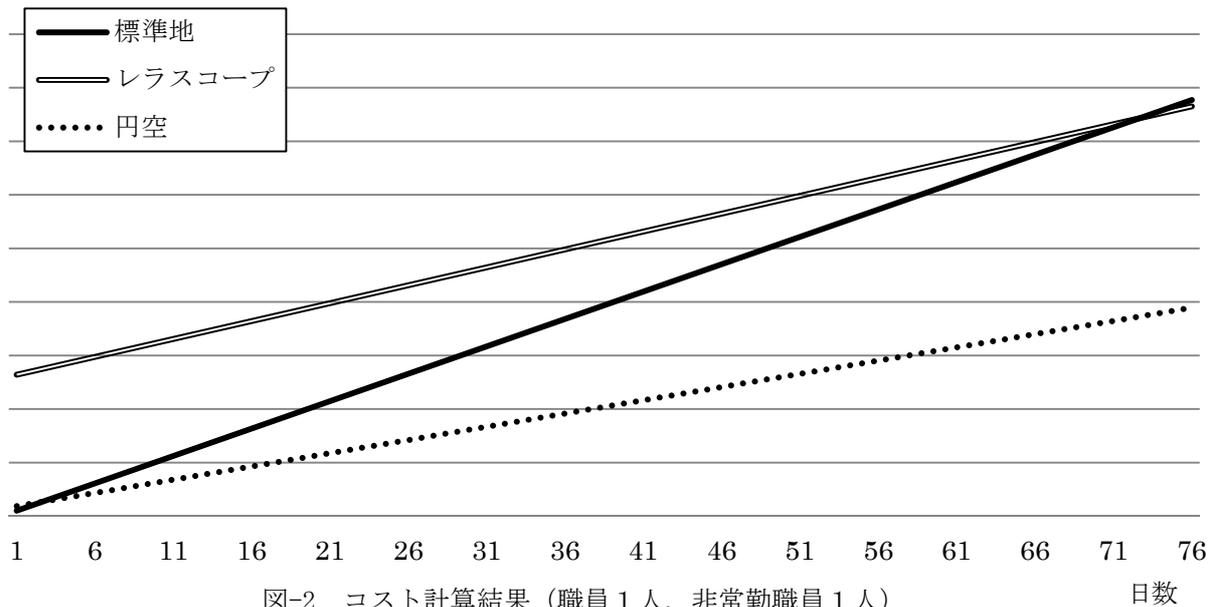
なお、計算に使用した現場系臨時職員の経費（労賃と通勤手当等を合計した実際に支払われた金額）は H26 年度の島根署の実績値を使用しました。

これらの条件を踏まえ、計算式は以下の通りとなります。

- ・調査効率＝標準地の調査可能箇所数/各法の1日当りの調査可能箇所数
- ・算定コスト＝調査効率×（機器の購入費＋日数×1日の非常勤職員人工数×1日の労賃）

計算式を基にいくつかの条件でコストの試算を行い、初期投資0の標準地調査の算定コストを、初期投資の必要なビッターリッヒ法が下回る日数を比較しました。ちなみに、本式でコストが同じ場合は箇所/円が同一となります。

図-2は、全ての調査を職員1人・非常勤職員1人の2人体制で行うと仮定した場合の結果です。



電子レラスコープは機器の購入費用が非常に高額となるため、コストの逆転には時間がかかりますが、73日目には逆転しています。また、円空はソフトの基本機能は無料で、初期費用はカメラのみで安く済むので、3日目には逆転しています。

つまり、初期費用のかかるビッターリッヒ法でもある程度長く使えば標準地調査のコストを逆転できることが分かりました。

なお、ビッターリッヒ法は、単独でも実施可能ため、ビッターリッヒ法を職員1人、標準地調査を職員1人・非常勤職員1人の2人体制で行う場合は、円空が2日目、電子レラスコープが26日目に逆転します。さらに、ビッターリッヒ法を職員1人・非常勤職員1人の計2人、標準地調査を職員1人・非常勤職員2人の計3人体制で行うと仮定すると円空が1日目、電子レラスコープは19日目には逆転します。

ビッターリッヒ法は本数密度を把握できないため、一概には比較できませんが、以上のようにビッターリッヒ法の実行コストは標準地調査法に比べコストの低い傾向にあります。

4 今後の展望と課題

(1) 他署・他局での調査

今回は島根森林管理署管内のみでの調査でしたが、収穫調査への適用拡大の議論の俎上に載せるためにはデータの蓄積が不足しており、他署や他局にも協力を得てさらなるデータの蓄積に励みたいところです。

現在は(平成28年12月時点)、電子レラスコープを局に所管換し、調査方法などを渡した上で局主導により調査を行ってもらうよう依頼している段階です。

(2) 円空バージョンアップ版への協力

また、本研究に使用した円空はバージョンアップ版を準備中であり10)、開発会社の担当者に本研究結果の情報提供や新機能の要望(定格測高法(平田法)の実施・手動計測の機能強化など)などを行いました。

バージョンアップ版の主な機能としては、RICOH THETA 撮影画像の直接読込・傾斜補正の対応・定数の複数化10)などが挙げられます。

平成28年12月時点で新バージョンは公開されていませんが、早期の公開が待たれます。

(3) 本数密度の推定と写真測量

ビッターリッヒ法では本数密度が分からないのが最大の短所ですが、カウント木の直径を測定すれば本数密度の推定も可能です。簡易的には平均直径が分かれば推定された胸高断面積から算出できるため 12)、ビッターリッヒ法の実行に加えて適宜直径測定も行えば本数密度の推定も可能だと思われます。例として、本調査のデータで示すと、とある 1 小班の胸高断面積合計（円空手動の平均値）が 58 (m²/ha)、標準地 20m×10m における 21 本の胸高直径の平均値が 27.3 cm（毎木平均 26.9 cm）とのデータがあり、このデータから本数密度を逆算すると 988.45 本/ha となります。これは毎木調査の 954.94 本/ha と近い値（誤差率 3.51%）で、標準地 20m×10m からの推定値 1050 本/ha（誤差率 9.95%）よりも精度が高くなっています。今後は、平均直径導出に必要なサンプルサイズの決定などに検討が必要なため、さらなるデータの解析を進めたいと思います。

また、全天球画像を複数枚使用するなどして写真測量が出来ないかと考えていますが、建物内では利用できるソフトがあるものの 8)、野外で利用できるソフト（フリーソフト）がないため、現在探索中です。

(4) RICOH THETA 活用の可能性

今回は円空で測定するために 1 ショットで「全天球」が撮影できる RICOH の THETA というカメラを使いましたが、これは簡単に全天球撮影（動画も撮影可能）できるだけあって、他の業務にも活用できそうです。まずは、撮影した画像をご覧ください。



写真－6

写真－6 は、西城森林事務所管内のヒノキ林内で撮影した画像です。本来は 1 枚の画像ですが、視点を変えながら 3 枚の写真を切り出して並べました。左はカメラレンズの正面方向の画像で、まるで林内で立って前を向いているかのように林況を把握できます。中央の画像は、真上方向を向いた画像で樹冠も把握でき、これから開空率が算出できそうです。右はカメラの真下を見た画像で、下層植生も繁茂していないことが手に取るように把握することができます。

通常のデジカメでは複数枚撮影してもこのような異なる視点での正確な林況の伝達は困難でしたが、THETA ならより臨場感のある情報をたった 1 枚で伝えることができます。

写真－7 は、大阪府の箕面国有林の崩壊地の中心付近で撮影した写真で、これも同様に本来は 1 枚の画像から視点を変えて 3 枚の画像を切り出しました。

まず左は、横方向を向いた場面を切り出した画像で斜面の急（撮影の際にカメラが傾いていても THETA 閲覧ソフトで見ると傾きが補正される）な様子がよく分かります。中央が斜面上方向で、崩壊地の上端を把握できます。右側が斜面下方向で、崩壊地のすぐ下に川が流れていることが把握できると思います。

以上のように、THETA は林況の把握だけでなく災害の現場でも役立ちそうです。



写真－ 7

写真－ 6は新型の THETA S、写真－ 7は旧型の THETA m15 で撮影していますが、画質は THETA m15 は1 世代前のモデルで今一つです。しかし、画質が大幅に向上した新型の THETA S では良好で活用の可能性がさらに広がりました。

引用文献

- 1) 山仕事 denthor.exblog.jp 平成 27 年 9 月 30 日閲覧
- 2) ネルソンナカジマ、吉田茂二郎、今永正：Comparison among Four Ground-Survey Methods as a Continuous Forest Inventory System for Forest Management、日林誌：573～580、日本森林学会、1995
- 3) 西川匡英、大友栄松、樋渡ミヨ子、神戸喜久：プロットサンプリングとプロットレスサンプリングの精度比較：、林試研報 242：103-114、1971
- 4) 國崎貴嗣、安藤亮太、佐藤和樹：部分調査法による林分胸高断面積と幹数密度の推定、岩手大学農学部演習林報告：1-14、岩手大学、2008
- 5) 河野裕之：「おみとおし」開発物語、林業技術：43～45、日本森林技術協会、2004
- 6) 新田一也、吉田城治、山田祐亮：林内環境がデジタル定角測高法の精度に与える影響、第 125 回日本森林学会大会要旨集、日本森林学会、2015
- 7) 細田和夫、高橋興明、北原文章：標準地法における調査区の大きさと形状の再検討、日本森林学会誌 94-3：105-111、2012
- 8) PanoMeasure2 <http://panomeasure.zoomscape.net/> 平成 28 年 12 月 20 日閲覧
- 9) 母平均の信頼区間の推定 <http://bdastyle.net/tools/confidence-interval/page1.html> 平成 28 年 11 月 9 日閲覧
- 10) 新田一也、村上良平、吉田城治、矢田豊：全地球写真を用いた傾斜地におけるデジタル定角測定法の検討、第 126 回日本森林学会大会要旨集、日本森林学会、2016
- 11) 円空 HP <http://www.ablecomputer.co.jp/enque/> 平成 28 年 12 月 20 日閲覧
- 12) 大友栄松：森林調査におけるプロットレスサンプリングの理論的研究、林試研報 241、31-164、林業試験場、1979