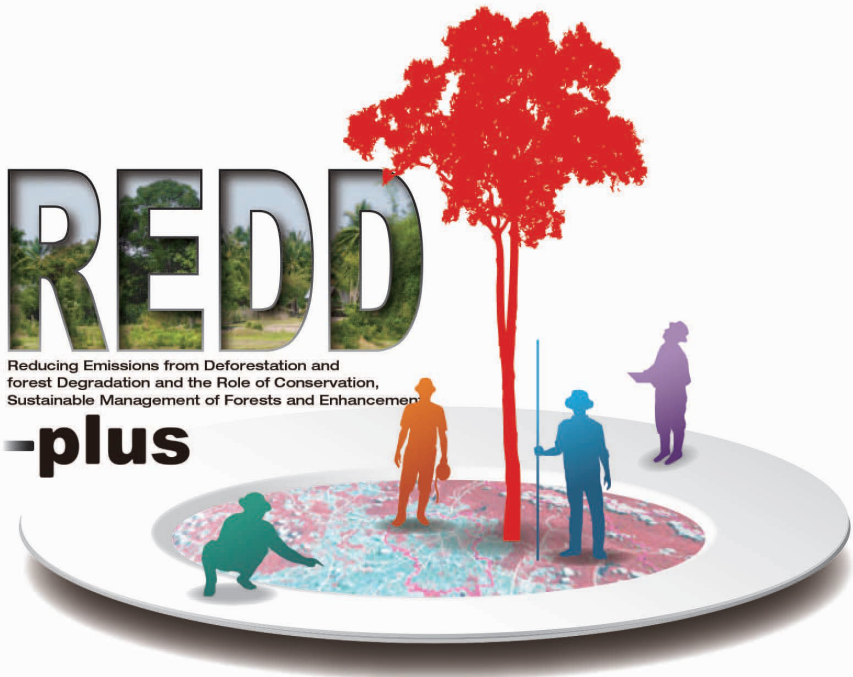




COOKBOOK

ANNEX

調査マニュアル Vol. 4

グランドトゥールース調査法

高橋 正義

第4期 中長期計画成果 9（森林管理技術－8）

はじめに

REDD プラスは、途上国が行う森林減少・森林劣化を抑制する取組みによる CO₂ の排出削減、森林保全等（「プラス」活動）による CO₂ の排出防止および炭素固定による大気中の CO₂ の削減に対して、何らかの経済的インセンティブ（資金やクレジット）を与えるというのが基本的な考え方です。このため、排出削減量の評価には科学的なアプローチによって森林炭素の変化量をモニタリングすることが求められます。

森林総合研究所 REDD 研究開発センターでは、REDD プラスに取り組むための基礎知識や技術について、特に森林炭素モニタリングに注目して平易に説明した技術解説書「REDD-plus Cookbook」を 2012 年に発行しました。REDD-plus Cookbook は、REDD プラスの導入に取り組む政策立案者や、REDD 活動の計画に取り組む実施者や技術者を読者と想定して、必要となる知識や技術に関する項目を、Recipe（レシピ）という解説の単位でとりまとめています。

一方で REDD-plus Cookbook は、基礎知識や技術について要点を絞って解説していることから、REDD 活動に携わる技術者が現場で活用するために必要な情報が十分に得られない可能性があると想定されます。そこで、REDD-plus Cookbook の各 Recipe で解説されている手法について、より詳しく学習でき、現場で実際に活用できる調査マニュアル「REDD-plus Cookbook Annex」を作成しました。本調査マニュアルでは、トピックスを絞って、計測手法をより具体的に解説しており、能力向上のための教材としても利用できるように作成されています。REDD-plus Cookbook と組み合わせて読んでいただくことで、トピックスに関する技術的な理解が深まるように構成されています。

本調査マニュアルを通じて、REDD 研究開発センターが、世界各地での REDD プラスの推進に貢献できればと願っております。

2018 年 3 月

国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所
REDD 研究開発センター

目 次

1 概要	1
1.1 本調査マニュアルの目的	1
1.2 本調査マニュアルの使い方	1
1.3 REDD-plus Cookbook、Cookbook Annex との関係（関連する事項）	1
2 グラウンドトゥルース調査のデザイン～ビッターリッヒ法を用いた調査方法～	2
2.1 何のためにグラウンドトゥルース調査を行うのか	2
2.2 グラウンドトゥルース調査の手順	2
2.3 ビッターリッヒ法とは	2
2.4 調査の事前準備	2
2.5 衛星画像の準備とグラウンドトゥルース調査地点の選定	3
3 グラウンドトゥルース調査の実施	4
3.1 必要な調査道具	4
3.2 調査チームの構成	5
3.3 調査地点へのナビゲーション	5
3.4 調査地点の設定	5
3.5 調査地点での測定と記録	5
3.5.1 調査地点の記録	5
3.5.2 調査地点の森林状態（階層構造と被覆率の把握）	7
3.5.3 調査対象木の選定と樹種同定、DBH および樹高の計測	7
3.5.4 写真の撮影	8
3.5.5 スケッチ	8
3.5.6 追加のビッターリッヒカウント	9
3.5.7 備考	9
4 調査データの処理	10
4.1 調査データの入力	10
4.2 測定木の地上部現存量の算出	10
付録	12
道具の使い方 1) コンパス、2) リュッデ 3) ビッターリッヒ法の解説	12
調査ノートの例	17
参考文献	21

1 概要

1.1 本調査マニュアルの目的

森林総合研究所が2012年に発行した「REDD-plus Cookbook」は、REDD プラスに取り組むための基礎知識や技術について、特に森林炭素モニタリングに注目して平易に説明した技術解説書である。本調査マニュアルは、REDD-plus Cookbook で示されたりモートセンシングを用いた森林面積の推定に必要なグラントゥールス調査に焦点を絞り、その調査手法を解説したマニュアルである。

本マニュアルは、主に現場でグラントゥールス調査を実際に行う技術者を想定して作成している。また、林学や森林リモートセンシングを学ぶ学生、REDD プラスに関心のある NGO 等の組織にも有益な情報となれば幸いである。

1.2 本調査マニュアルの使い方

グラントゥールス調査は、衛星画像を用いた解析に必要な地上情報を収集するために行うことから、多数の調査プロットを設定することが通例であり、正確に測定される必要がある。また、効率よく調査するために複数のチームで実施される場合が多いことから、事前に調査方法を確認するべきである。グラントゥールス調査の計画や実施の際に、本マニュアルを参考に、調査の手順、測定方法を測定者すべてが把握、確認することが望ましい。

本マニュアルは、最初にビッターリッヒ法を用いたグラントゥールス調査の方法を解説し（2章）、次に実際の調査の具体的な手順を解説する（3章）。最後に、現地調査で得られた測定データから調査地点毎の炭素蓄積量を計算する手順と方法を具体的に解説する（4章）。

これまでのグラントゥールス調査の経験から、有用な知見、注意すべき点などを TIPS として見出しを付けているので参考にされたい。

1.3 REDD-plus Cookbook、Cookbook Annex との関係（関連する事項）

本マニュアル内で関連する REDD-plus Cookbook 内のレシピは【 】で示し、Cookbook にてその解説を参照することができる。同様に Annex も【 】で示す。

REDD-plus Cookbook および Cookbook Annex は以下の URL でダウンロードできる
http://redd.ffpri.affrc.go.jp/pub_db/publications/cookbook/index_ja.html

2 グランドトゥルース調査のデザイン ～ビッターリッヒ法を用いた調査方法～

2.1 何のためにグランドトゥルース調査を行うのか

グランドトゥルースとは対象物の地上における実態の情報をさし、リモートセンシングデータを用いた土地被覆分類や分類結果の検証に必要である【Recipe-T08】。蓄積変化法【Recipe-P07】で炭素蓄積やその変化量を算定する際に用いる、リモートセンシングを用いた面積推定【Recipe-P08】に必要な情報である。

2.2 グランドトゥルース調査の手順

グランドトゥルース調査(GT 調査と称することもある)は、調査の事前準備、現地での調査、調査後のデータの処理の順で行う。

最初に調査の事前準備が必要である。調査対象地域を撮影した衛星画像の準備や調査候補地を決定し、調査に必要な様々な準備を行う【Recipe-T08】。事前の準備が整ったら、現地調査を実施し、樹木の測定などを行う。さらに現地調査で得られた調査データから地上部現存量などを算出し、衛星画像の解析に用いる情報を得る。

この解説書では、ビッターリッヒ法を用いたグランドトゥルース調査を例に、それぞれの手順を具体的に解説する。

2.3 ビッターリッヒ法とは

ビッターリッヒ法は、定角測定法 (Angular count sampling)、あるいは角算定標準地法 (Angle count sampling) とも呼ばれる森林の計測方法の一つで、立木をカウントすることで林分の単位面積当たりの胸高断面積合計を推定する方法である。カウントする立木をあらかじめ定めておいた角度によって決めることがこの手法の特徴で、調査のための区画(プロット)を設定する必要がないのでプロットレスサンプリング (Plotless sampling) とも呼ばれる。

TIPS

ビッターリッヒ法の簡単な解説は 14 ページ

2.4 調査の事前準備

まず、対象となる場所の衛星画像の前処理とグランドトゥルース調査候補地点の選定を行うとともに、気候・気象条件、交通アクセスや宿泊場所、調査のための人員、調査に必要な経費などを考慮してグランドトゥルース調査の計画を立案する。調査を実施するためには所有者の許可が必要な場合がある。その場合は、調査候補地点の所有者を確かめ、必要な許可をあらかじめ取得する必要がある。

2.5 衛星画像の準備とグラウンドトゥールース調査地点の選定

対象となる地域が含まれる衛星画像の前処理を行う [\[Recipe-T06\]](#)。オブジェクトベース分類手法を用いる場合、前処理した衛星画像を用いて、オブジェクトベース分類を行う。調査を行う地点数を統計的に適切に抽出し、画像上で候補となる地点を選定する [\[Recipe-T08\]](#)。

オブジェクトベース分類を用いた方法を用いる場合、調査地点はオブジェクト辺縁部を避け、オブジェクトの境界から一定程度（最低 23 ピクセル）内側にグラウンドトゥールース調査候補地点を設定するようにする。

選定したグラウンドトゥールース調査候補地点の位置情報をリストにまとめる。地理情報システム等の空間情報を表示できるタブレット端末等を調査に用いる場合は、端末に衛星画像や候補地点の位置情報を取り込んでおく。

3 グラウンドトゥルース調査の実施

3.1 必要な調査道具

グラウンドトゥルース調査に必要な道具は下記である（表1、写真1）。

表1 調査に必要な道具

品 名	数 量	備 考
GPS	1 台	調査地点へのナビゲーションおよび位置記録のため
デジタルカメラ	1 台	調査地点の林相を記録するため
傾斜計	1 個	調査地点の傾斜を記録するため
コンパス	1 個	調査地点へのナビゲーションおよび方位測定のため
測高器（Vertex IV）	1 台	樹高計測のため
直径巻尺	1-2 個	直径計測のため
マーカー	数本	測定位置や測定済み木のマークに用いる
目印となる杭	1-2 本	調査地点の目印のため
記録用紙	1 枚	調査結果を記録するため
筆記用具	数本	調査結果を記録するため
ビッターリッチ計測器 （リュッデ、プリズム等）	1-3 個	ビッターリッチ法による調査対象木を決定するため



リュッデ



プリズム



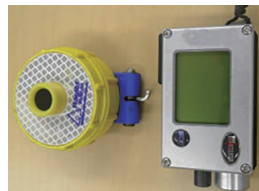
GPS



コンパスと傾斜計



直径巻尺



測高器（Vertex IV）

写真1 調査に必要な道具

3.2 調査チームの構成

グラントトゥールース調査は森林に分け入って実施するため、安全性を考慮し複数名での実施が望ましい（表2）。人数が多い場合、複数のチームに分けることを検討する。

表2 調査チームの役割と人数

役 割	望ましい人数	備 考
ビッターリッヒカウント	1～2名	調査地点の中心でカウント木を測定する。複数の場合は追加カウントを平行して測定する。
胸高直径測定	1～2名	カウント木の胸高直径計測。樹高測定のためのトランスポンダ担当との兼務可能。
樹高測定	1～2名	測樹器による測定者1名、トランスポンダ担当1名。トランスポンダ担当は胸高直径測定との兼務可能。
野帳記録	1名	測定値等の野帳への記載。
樹種判読	1名	胸高直径や野帳記録との兼務可能。

3.3 調査地点へのナビゲーション

事前準備で選定した調査地点の位置情報をもとに、地図とコンパスやGPS、GISが動作するタブレット端末等を使って現地に移動する。

TIPS

コンパスを使ったナビゲーションの方法は12ページ

3.4 調査地点の設定

予定した位置に到達したら、調査地点を設定する。周囲の林分状態を代表するような場所を予定した位置の周辺で選定し、ビッターリッヒカウントを行う調査地点の中心を決め、目印となる杭を設置する。

3.5 調査地点での測定と記録

調査地点を決定したら、全員で森林の測定を行い、結果を記録する。測定と記録を調査ノート（17-20ページ）の順に説明する。

3.5.1 調査地点の記録

Ground Survey Note 現地調査し、得られた情報を記載するために使用する。1調査地点に1枚使用する。以下、項目に従って記載内容を説明する。

General Information 調査地点の概要に関する項目。

Crew Member 調査者全員を記載する。

Date (D/M/Y) 調査した日時を記載する。

Plot ID 調査地点を識別するための ID を記載する。

TIPS

ID は例えばアルファベット 3 桁と数字 2 桁などとし、重複しないようなルールをあらかじめ決めておくといよい。

Province Province 名を記載する。

District District 名を記載する。

Time of Survey 調査の時間情報を記載する。

Start Time 調査を開始した時刻を 24 時間制で記載する。

End Time 調査を終了した時刻を 24 時間制で記載する。

Plot Information 設定した調査地点について記載する。

Plot Location WGS84 調査地点の位置について記載する。位置は GPS を用いて測位する。

TIPS

Garmin 製 GPS を利用する場合、Waypoint Averaging 機能を利用し、調査地点の中心で測位、記録した値を記載する。

TIPS

測位値を GPS に保存する場合、ポイント名を ID とすると後で参照しやすい。

Latitude 調査地点の緯度を WGS84 形式で記載する。

Longitude 調査地点の経度を WGS84 形式で記載する。

Altitude 調査地点の標高を m 単位で記載する。

GPS Receiver 使用した GPS レシーバー名を記載する。

Topography 調査地点の地形を記載する。

Slope Direction 傾斜の方向をコンパスで調べ、8 方位で記載する。

TIPS

傾斜がない場合、斜線を引いて消す。

Slope Angle 傾斜角を傾斜計で測定し、度単位で記載する。傾斜がない場合は 0 度と記載する。

3.5.2 調査地点の森林状態（階層構造と被覆率の把握）

Forest Condition 森林の状態を記載する。

Crown Coverage 樹冠被覆率を5段階（0-20%、20-40%、40-60%、60-80%、80-100%）で記載する。

Total Stories 森林全体の被覆率を評価、記載する。

Upper+Middle 上層および中層木の被覆率を評価、記載する。

Upper story 中層木以下を除いた、上層木の被覆率を評価、記載する。

TIPS

被覆率の評価は調査者全員で行い、合議制で決定する。

Note for Disturbance 森林の劣化に関連する情報、例えば、新しい／古い伐根がある、攪乱後に見られるパイオニア種が見られる、など自由に記載する。

3.5.3 調査対象木の選定と樹種同定、DBH および樹高の計測

Bitterlich Note ビッターリッヒ法を用いて計測した事項を記載する。

Bitterlich Method Measurement ビッターリッヒ法による計測。

Basal Area Constant (k) 胸高断面積係数 (k) を記載する。

TIPS

リュッテの場合、1である。

Total Count ビッターリッヒカウント数を記載する。

TIPS

ビッターリッヒ法の解説は14ページ

TIPS

Total Count は調査木のカウントの合計と等しい。

Tree measurement ビッターリッヒ法による調査対象木についてその計測情報を1もしくは0.5のカウントと共に記載する。

No. 調査した樹木の番号。

SP 樹種名 標準名もしくは学名で記載する。

DBH (cm) 胸高直径を計測する。

TIPS

直径を測定する位置は地表から 130cm を基準とする。

TIPS

ビッターリッヒ法による調査対象木はすべて胸高直径を測定する。ただし、130cm の位置で枝分かれている幹、こぶや腐れなどによって変形している幹では、それらを避けて上または下のどちらか近い方の位置で直径を測定する。

TIPS

胸高直径の計測方法は【Cookbook Annex Vol.1】に詳しい解説がある。

H (m) 樹高を測高器で計測し、測定値を記入する。

Count ビッターリッヒ法のカウント（1 もしくは 0.5）を記載する。

TIPS

リュッデを使ったビッターリッヒ法のカウントの仕方は 13 ページ。

3.5.4 写真の撮影

Photograph (filename) 調査地点の森林で写真を撮影する。調査地点の中心で 4 方位（東西南北）の方向で撮影し、画像のファイル名を記載する。

3.5.5 スケッチ

Sketch of Forest Condition 調査地点周辺の森林状態について縦断面のスケッチを記載する。その際、おおよその高さのスケールや種名（略号で良い）、階層構造や林床の状態などがわかるように記載するとよい。

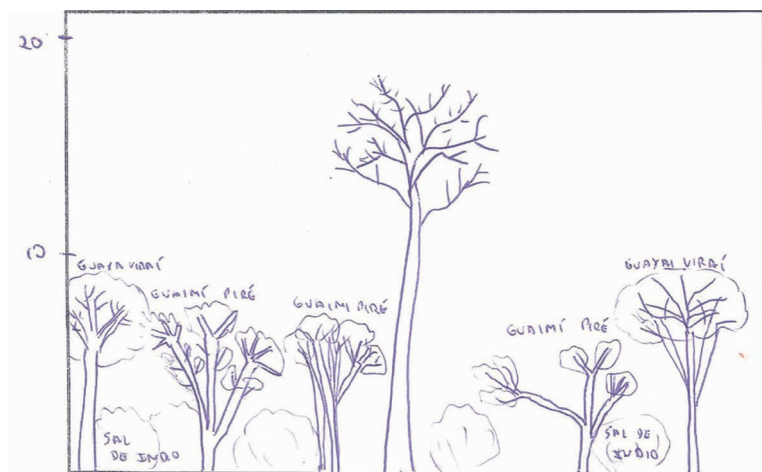


図 1 スケッチの例

3.5.6 追加のビッターリッヒカウント

Additional counts (3-5 points) 調査地点の周辺数カ所で、ビッターリッヒ法によるカウント計測を行い、カウント合計を記載する。

TIPS

互いにカウントした樹木が含まれないようにするため、互いに十分に離れた場所で行う。

3.5.7 備考

所有者名や連絡先、森林名、道路からの距離、周囲の土地利用など対象となる森林に関する事項やその他特記すべき事項を記載する。

4 調査データの処理

3. で解説した手順で調査したグランドトゥルース調査データを処理し、アロメトリ式を用いて地上部現存量（AGB）を算出する。ここでは南米の熱帯林で調査した結果を例に紹介する。

TIPS

アロメトリ式を用いた地上部現存量の計算方法は【Cookbook Annex Vol. 1】を参照すること。

4.1 調査データの入力

1) Ground Truth Survey Note、2) Bitterlich Note に記載した情報を AGB 算出に用いる表計算ソフトなどを使って集計する。調査地点 EGC03 での調査木の測定結果は下記のとおりである。

表 3 調査地点 EGC03 での調査木の情報

ID	No.	SP	H (m)	DBH (cm)	Count
EGC03	1	Quebracho colorado	14.8	16.9	1
EGC03	2	Algarrobbillo	21.7	26.8	1
EGC03	3	Algarrobbillo	8.4	10.1	1
EGC03	4	Karanday	9.1	10.6	1
EGC03	5	Algarrobbillo	9.5	8.2	0.5
EGC03	6	Algarrobbillo	19.1	19.9	1
EGC03	7	Quebracho colorado	15.6	19.2	1
EGC03	8	Quebracho colorado	10.9	15.3	1
EGC03	9	Kumanda	16.4	24.7	1

4.2 測定木の地上部現存量の算出

まず、地上部現存量を推定するためのアロメトリ式およびパラメータを選択する。

調査は南米熱帯林で行われたため、Chave *et al.* (2014) の熱帯で広く利用できる汎用のアロメトリ式

$$AGB_i = 0.0673 * (\rho D_i^2 H_i)^{0.976}$$

を用いる。ただし、 D_i 、 H_i はそれぞれ樹木 i の胸高直径 (cm) と樹高 (m) である。材密度 ρ は熱帯地域 (南米) におけるデフォルト値 0.60 g cm^{-3} を適用する。例えば No.1、Quebracho colorado の場合、

$$\begin{aligned} \text{AGB}_{\text{No.1}} &= 0.0673 * (0.60 * (16.9)^2 * 14.8)^{0.976} \\ &= 0.0673 * (2536.2)^{0.976} = 141.4\text{kg} \end{aligned}$$

次にこの調査木の地上部現存量を ha あたりに換算するには地上部現存量にピットーリッヒ法のカウント（1 もしくは 0.5）と ha あたりの本数 N を掛け合わせる必要がある。樹木 i の ha あたりの本数 N_i は

$$N_i = 4k / \pi d_i^2$$

で算出できる。この調査はリュッデを用いたので、 $k=1$ であることから、No.1 の木の ha あたりの本数 $N_{\text{No.1}}$ は

$$N_{\text{No.1}} = (4 * 1) / (3.14 * (16.9/100)^2) = 44.6 \text{ 本 /ha}$$

となる。樹木 i のカウントを C_i とすると樹木 i の ha あたりの地上部現存量 $\text{AGB}_{h,i}$ は

$$\text{AGB}_{h,i} = \text{AGB}_i * N_i * C_i$$

で算出できることから、No.1 の ha あたり地上部現存量 $\text{AGB}_{h,\text{No.1}}$ は

$$\text{AGB}_{h,\text{No.1}} = 141.4 * 45 * 1 = 6306.4 \text{ kg/ha}$$

と計算される。これらの計算を調査木すべてに対して行い、AGB を合算すれば調査地点の ha あたり地上部現存量となる（表 3）。調査地点 EGC03 の AGB は約 51.3t/ha である。

表 4 調査地点 EGC03 の地上部現存量（AGB）の集計表

ID	No.	SP	H (m)	DBH (cm)	Count	AGB _i (kg)	N (ha)	AGB _h (kg/ha)
EGC03	1	Quebracho colorado	14.8	16.9	1	141.4	44.6	6306.4
EGC03	2	Algarrobillo	21.7	26.8	1	505.4	17.7	8945.6
EGC03	3	Algarrobillo	8.4	10.1	1	29.8	124.8	3719.0
EGC03	4	Karanday	9.1	10.6	1	35.4	113.3	4010.8
EGC03	5	Algarrobillo	9.5	8.2	0.5	22.4	189.4	2121.3
EGC03	6	Algarrobillo	19.1	19.9	1	249.5	32.2	8033.9
EGC03	7	Quebracho colorado	15.6	19.2	1	191.0	34.5	6589.5
EGC03	8	Quebracho colorado	10.9	15.3	1	86.4	54.4	4700.2
EGC03	9	Kumanda	16.4	24.7	1	327.9	20.9	6853.1
							Total	51279.8

TIPS

計算式を埋め込んだスプレッドシートをあらかじめ用意しておくとな簡便に算出できる。

付 録

道具の使い方

1) コンパス

コンパスは磁気の影響を受けるので、コンパスを使用する際には磁石や携帯電話等の電子デバイスなどといった磁器のあるものを遠ざける必要がある。

・ 傾斜方位の計測方法

- (1) 最も傾斜がある方向に身体の正面を向ける。
- (2) コンパスを身体の正面に持つ。
- (3) 磁石の針と回転ベゼルの指標（通常、赤、黒）を合わせると、ベゼルの外側にある数値が方位の角度である。

・ 傾斜の計測方法（計測機能付きのものに限る）

- (1) 最も傾斜がある方向に身体の正面を向ける。
- (2) 自分の目の高さの場所を見定め、傾斜機能を使って測る。この際、自分の目の高さがわかるもの（人、棒など）を用いるとより正確に測ることができる。

・ 定めた方向に真っ直ぐ歩く方法

- (1) 歩く方向に身体の正面を向ける。
- (2) コンパスを身体の正面に持つ。
- (3) 磁石の針と回転ベゼルの指標（通常、赤、黒）を合わせる。
- (4) 歩く方向の少し遠くにある目印（木や枝など）を決める。
- (5) 目印を参考に、前進する。
- (6) コンパスを身体の正面に持ち、針と回転ベゼルの指標が一致する方向に身体の正面を向ける。
- (7) (4) から (6) までを繰り返す。

・ 定めた方向に誘導する方法

- (1) 歩く方向に身体の正面を向ける。
- (2) コンパスを身体の正面に持つ。
- (3) 磁石の針と回転ベゼルの指標（通常、赤、黒）を合わせる。
- (4) 歩く方向の少し遠くにある目印（木や枝など）を決める。
- (5) 前進する人に方向のズレを伝えて正しい方向に誘導する。

- (6) 誘導者と前進する人が離れて方位が確認できないほど距離が開いたら立ち止まる。
- (7) 誘導者が被誘導者と合流する。
- (8) 誘導者がコンパスを身体の前面に持ち、針と回転ベゼルの指標が一致する方向に身体の前面向ける
- (9) (4) から (8) を繰り返す。

コンパスを使用する前に付属している説明書を熟読すること。

2) リュッデ

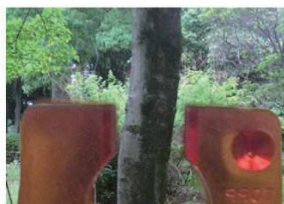
リュッデはビッターリッヒカウントを行う際に使う道具である。

TIPS

ビッターリッヒカウントを測定する器具はリュッデの他に、ビッターリッヒプリズム、レラスコープなどがある。

・リュッデを使ったビッターリッヒカウントの測定

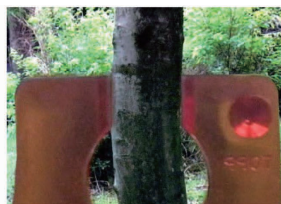
- (1) リュッデのチェーンを使って正しく構え、ゲージを測定する樹木に向ける。
- (2) 樹木の太さがゲージよりも細ければカウントしない（計測しない、図 2A）。ゲージよりも樹木の方が太ければカウント 1 とする（図 2B）。ゲージと樹木の太さがぴったり同じであればカウント 0.5 とする（図 2C）。



A : Count = 0



B : Count = 1



C : Count = 0.5

図 2 リュッデを使ったビッターリッヒカウント

TIPS

ゲージと木の太さが少しでも太ければ count = 1、少しでも細ければカウントしない。

3) ビッターリッヒ法の解説

ビッターリッヒ法に関する解説は測樹学、森林調査法に関する書籍やウェブサイトなどで紹介されている。ここでは AWF-WIKI の「ビッターリッヒサンプリング」の項目を抜粋し、紹介する。

同じ太さの木でも調査者から立木までの距離によって見え方が異なる（図3）。

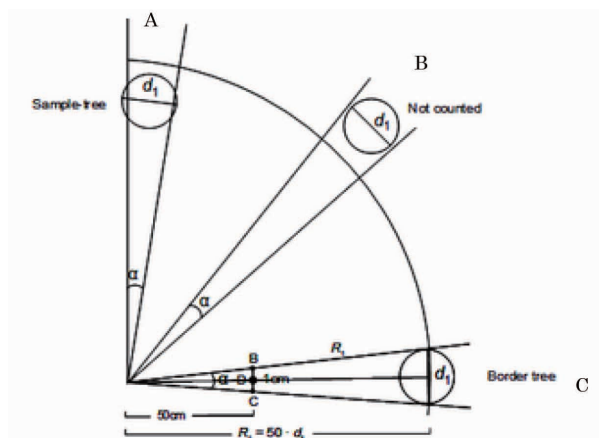


図3 立木の距離と視準角の関係（AWF-WIKI より引用）

視準角 a を定めたとき、立木がある距離よりも近い場合、木の幅は角度 a で視準した幅よりも太く見える（A、カウント1）。立木がある距離よりも遠い場合は角度 a で視準した幅よりも細く見える（B、カウント0）。立木がちょうどある距離にある場合は角度 a で視準した幅とちょうどぴったり同じ幅に見える（C、カウント0.5）。

ある地点で360度見渡して視準角 a で見える幅と立木の幅を見比べ、カウントする立木を選定し、そのカウント合計（ N ）と視準角 a によって定まる断面積定数（Basal Area Factor, k ）を乗ずることで単位面積あたりの胸高断面積合計（ G ）を推定する方法である。

つまり、単位面積あたりの胸高断面積合計（ G ）は

$$G = kN$$

と表される。断面積定数 k と視準角 a には

$$k = 10000 * \left(\sin \frac{a}{2} \right)^2$$

の関係がある。林分の地上部現存量と胸断面積合計には一般に比例関係があることから、胸

高断面積合計と林分の地上部現存量との関係式があれば、地上部現存量を推定することが可能である。

カウントした立木の直径や樹高を測定している場合、別の方法でバイオマス量を推定することができる。今、視準点から角度 a で視準し、カウント $c=0.5$ とされた立木 i の胸高直径を d_i とすると、視準点から距離 R を半径とする円の円周上に必ず存在する。つまり胸高直径 d_i の立木 i は半径 R の円の面積 πR^2 に 1 本あると見なすことができる。立木 i と同じ直径 d_i の立木が同じ面積割合で存在するとすれば、単位面積（通常、1ha）あたり同じ胸高直径を持つ立木の本数 N は

$$N = \frac{10000}{\pi R^2}$$

となる。このとき、 R は

$$R = \frac{d_i}{2\sin \frac{a}{2}}$$

であり、

$$\sin \frac{a}{2} = \frac{\sqrt{k}}{100}$$

であるので

$$R = \frac{50d_i}{\sqrt{k}2}$$

となることから、 N は、

$$N = \frac{4k}{\pi d_i^2}$$

となる。ここで、単木の地上部現存量を推定するアロメトリ式と胸高直径や樹高などの計測値を用いて立木 i の地上部現存量 AGB_i を推定できれば、同じ胸高直径 d_i を持つ立木の単位面積あたりバイオマス量 $AGB_{h,j}$ は

$$AGB_{h,j} = c * AGB_i * N$$

となる。カウント $c=1$ とした立木 i も同様に、半径 R の円の面積 πR^2 に 1 本あり、同じ面積割合で存在すると仮定すれば、単位面積あたり同じ胸高直径 d_i を持つ立木本数 N も、単位面積当たりの地上部現存量 V_i も同じ式で算出される。

カウントされた立木それぞれについて算出した単位面積当たりの地上部現存量 $AGB_{h,j}$ を合算すれば、調査した地点の単位面積当たりの地上部現存量 AGB_h を得ることができる。

$$AGB_h = \sum AGB_{h,j}$$

調査ノートの例 (1/2)

Ground Truth Survey Note

General Information						
Crew Member						
Date (D/M/Y)	/	/				
Province		Plot ID				
		District				
Time of Survey 24H						
Start Time	:		End Time	:		
Plot Information						
Plot Location WGS84						
Latitude		Longitude				
Altitude		GPS Receiver				
Topography						
Slope Direction	N , NE , E , SE , S , SW , W , NW					
Slope Angle						

Forest Condition						
Growth Coverage						
Total Stories	0-20%	20-40%	40-60%	60-80%	80-100%	
Upper+Middle	0-20%	20-40%	40-60%	60-80%	80-100%	
Upper story	0-20%	20-40%	40-60%	60-80%	80-100%	
Note for Disturbance						
Memo						

調査ノートの例 (2/2)

Bitterlich Note

Bitterlich Method Measurement		
Basal Area Constant (k)		Additional counts (3 - 5 points)
Total Count		

Tree measurement									
No.	SP	DBH (cm)	H (m)	Count	No.	SP	DBH (cm)	H (m)	Count
1					16				
2					17				
3					18				
4					19				
5					20				
6					21				
7					22				
8					23				
9					24				
10					25				
11					26				
12					27				
13					28				
14					29				
15					30				

	Sketch	
Photograph		

参考文献

- Chave J, Réjou-Méchain M, Bürquez A, Chidumayo E, Colgan MS, Delitti WBC, Duque A, Eid T, Fearnside PM, Goodman RC, Henry M, Martínez-Yrizar A, Mugasha WA, Muller-Landau HC, Mencuccini M, Nelson BW, Ngomanda A, Nogueira EM, Ortiz-Malavassi E, Péliissier R, Ploton P, Ryan CM, Saldarriaga JG, Vieilledent G (2014) Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. *Global Change Biology* 20: 3177-3190.
- 佐藤保・宮本和樹 (2016) REDD-plus Cookook Annex 地上調査マニュアル Vol.1 地上インベントリ調査法 (研) 森林総合研究所 REDD 研究開発センター, 22pp.
- AWF-WIKI : Bitterlich sampling.
http://wiki.awf.forst.uni-goettingen.de/wiki/index.php/Bitterlich_sampling
 (2017 年 1 月 4 日)



発行日	平成 30 年 3 月 16 日
発行者	国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所 REDD 研究開発センター
執筆者	高橋 正義 (国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所)
企画・構成・編集	佐藤 保・高橋 正義
本書の引用記載	高橋正義 (2018) REDD-plus Cookbook Annex. 調査マニュアル Vol. 4. グランドトゥールース調査法. 国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所 REDD 研究開発センター, 21pp.