

ポイントサンプリング法について (2012/10/30版)

森林情報グループ 金森匡彦

Japan Forest Technology Association



一般社団法人

日本森林技術協会

ポイントサンプリング法とは？

ポイントサンプリング法とは？

オーストリアの森林官ビッターリッヒ(Walter Bitterlich(1908-2008))が1947年に発表した、簡易に林分胸高断面積を求める方法

様々な呼び名

プロットレスサンプリング(plotless sampling): プロットを設定する必要がないため

ポイントサンプリング(point sampling): 点を基準とするため

定角測定法(angular count sampling): 林内を一定の角度で視準するため

ビッターリッヒ法: 考案者の名前より



ポイントサンプリング法のやり方（概要）

森林内の任意の点に立ち、自分が立っている周囲の木を視準器で覗く

視準器の幅からはみ出す立木の本数を数える。幅とちょうど一致する場合は、0.5本とカウントする

数えた本数に、視準器の幅によって定められている定数を掛ける

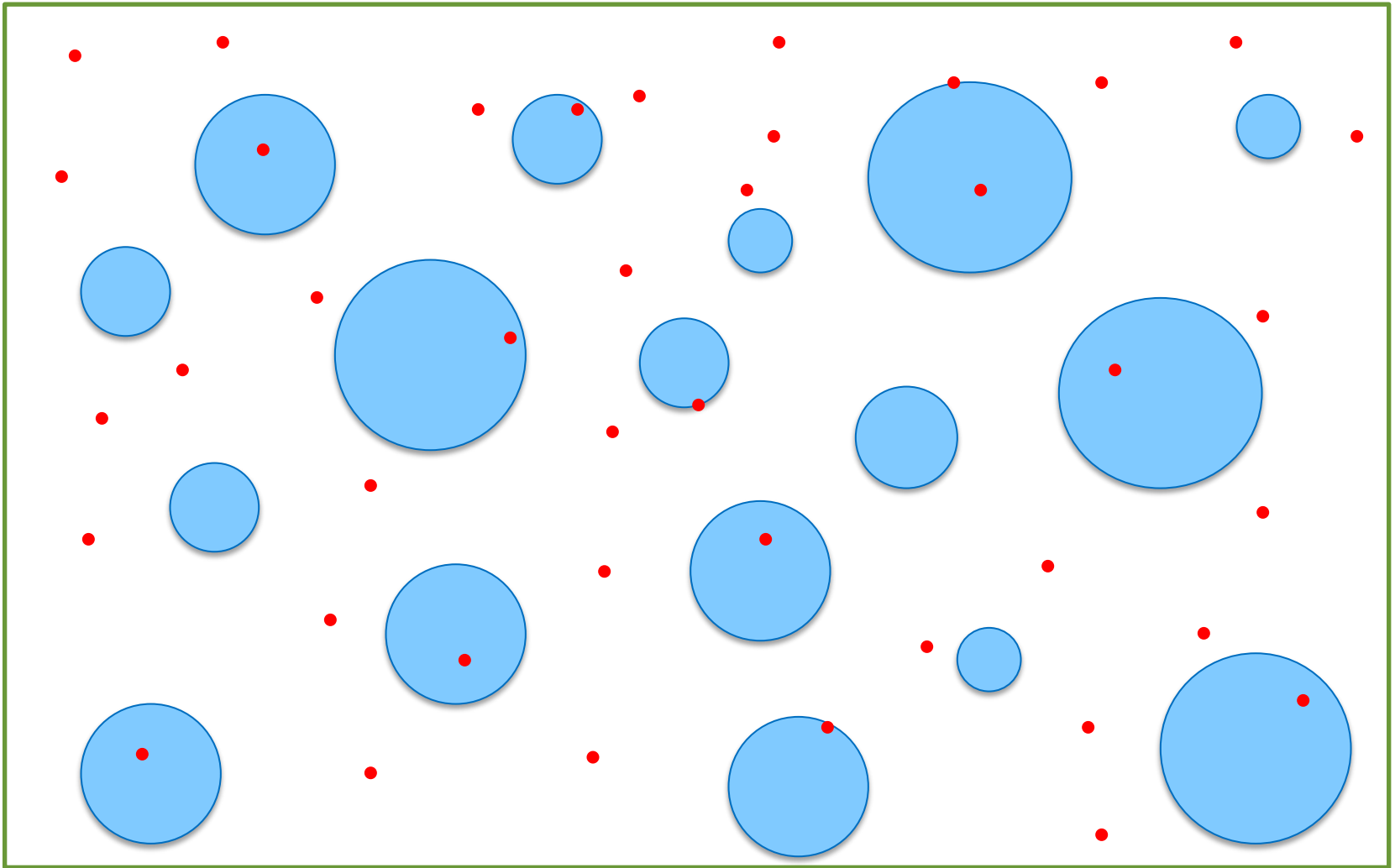
掛けた値がその林分の胸高断面積合計となる

例えば、定数4の視準器で覗いてカウント木が12本あれば、林分胸高断面積合計は $4 \times 12 = 48 \text{m}^2/\text{ha}$ となる。



ポイントサンプリングの理論

林分胸高断面積のイメージ



面積 T の林分に n 個の点をランダムに落としたとき、 n_1 個の点が断面上（青丸内）に落ちたとすると、胸高断面積の期待値は、 $n_1/n * T$



林分胸高断面積はどうやれば求められるのか

ある林分を胸高位置で伐採して、上空から見おろすと、前図のような断面（青色部分）が見られるはず。その合計が林分胸高断面積である

ここで、面積 T の林分内に n 個の点をランダムにばらまいたとき、 n_1 個の点が断面上に落ちたとする

断面積の期待値 $E=n_1/n \times T$ （二項分布の期待値）

となって林分胸高断面積を「確率的に」求めることができる（コイン投げやさいころなど確率論の問題と同じ）

しかし、実際には林分内にこのような点をばらまいて調査することはできない

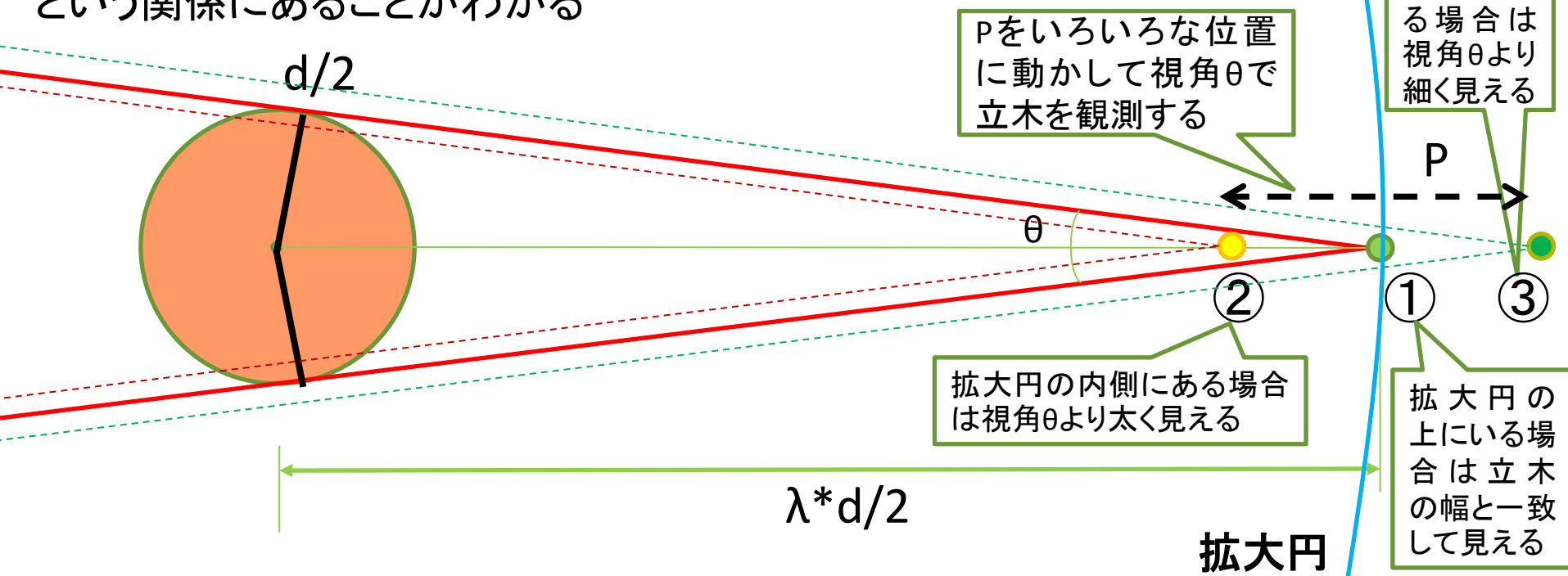
→「**拡大円**」の考え方の導入

拡大円の考え方

直径 d である立木の直径を λ 倍に拡大した円を考える(半径 $\lambda * d/2$ の円)

拡大円上の点 P に立ち、立木の胸高位置を立木の太さと一致する視角 θ で視準する。ここで、いろいろな位置に P を動かし、同じ角度 θ で視準したとすると、

- ①立木の幅が視角 θ と一致して見える場合、 P は拡大円の上にある
 - ②立木の幅が視角 θ より大きく見える場合、 P は拡大円の内側にある
 - ③立木の幅が視角 θ より小さく見える場合、 P は拡大円の外側にある
- という関係にあることがわかる



拡大円の考えを用いた林分胸高断面積の推定

ここで、林分内の立木の直径をすべて λ 倍に拡大したときの拡大円の断面積合計 $\lambda^2 G$ を求めることを考える（ G は林分断面積合計とする。直径を λ 倍したとき面積は λ^2 倍となる）

林分面積 T の林内にランダムに一つ点を落としたとき、その点が断面積 g_i のある1本の立木の拡大円 $\lambda^2 g_i$ 内に含まれる確率： $\lambda^2 g_i / T$

これを林内の全立木について考えると、その期待値 E は：
 $E = \lambda^2 / T * \sum g_i = \lambda^2 / T * G$ となる（ g_i の林分合計は G ）

$$\therefore G = 1 / \lambda^2 * T * E$$

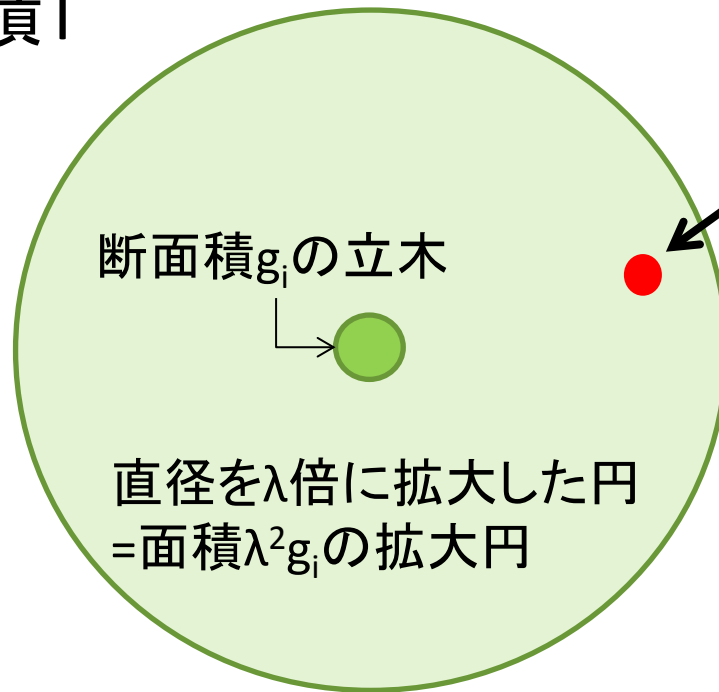
E は、ある点における拡大円の重なるの数の期待値ともいえる→よって拡大円の重なるの数をカウントすれば、胸高断面積を確率的に推定することができる



ポイントサンプリングの理論

拡大円の考えを用いた林分胸高断面面積の推計

林分面積 T



林分内にランダムに点を落としたとき、拡大円の中に入る確率は？

断面積 g_i の立木

直径を λ 倍に拡大した円
=面積 $\lambda^2 g_i$ の拡大円

面積 T の林分にランダムに1点を落としたとき、ある立木(断面積 g_i)の拡大円(面積 $\lambda^2 g_i$)の上に落ちる確率(期待値)は、 $\lambda^2 g_i / T$ となる。

これを林分内の全立木(n 本とする)に対して考えると、その期待値 E は $\lambda^2 g_1 / T + \lambda^2 g_2 / T + \dots + \lambda^2 g_n / T = \lambda^2 / T * \sum g_i$ となる。結局 E は、その点における全立木の拡大円の重なり数の期待値となる。 $\sum g_i = G$ であるので、 $E = \lambda^2 G / T$ となる



拡大円の重なるの数はどのようにして求めるか？

ある点から一定の視角で周囲を見回したとき、立木の幅がその視角の幅より大きければ、その立木の拡大円が含まれていると判断できる。

→一定の視角の幅で立木を観察できるような装置を作成すればよい

ha当たりで考えると、

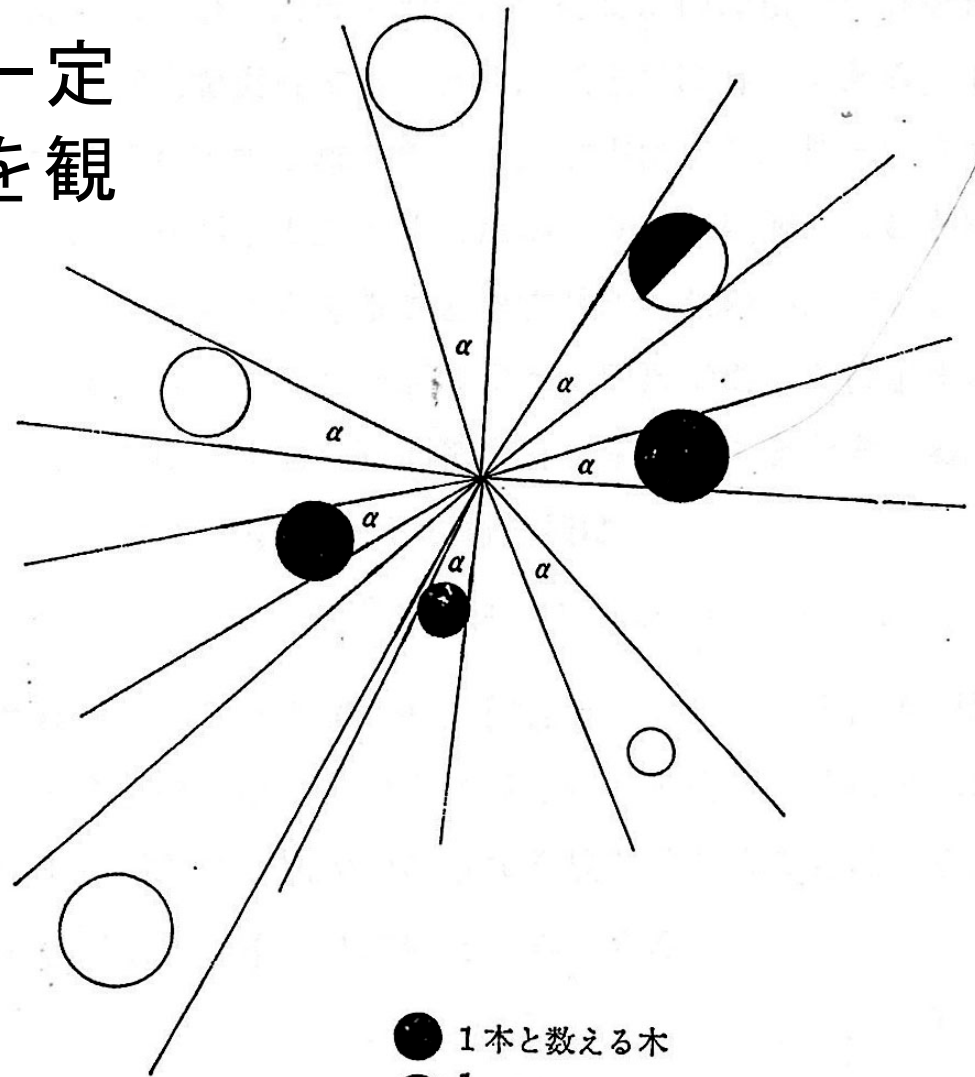
$$G = 1 / \lambda^2 * T * E = 10,000 / \lambda^2 * E$$

ここで、 $k = 10,000 / \lambda^2$ とすると、 $G = k * E$

k を胸高断面積定数という

拡大円の大きさを大きくすればするほど、 k の値は小さくなる。つまり、 k の値が小さいほど、視準点に含まれる拡大円の数が多くなる（理論的な精度は高くなる）

林内の1点から一定
の視角で周囲を観
測するイメージ



● 1本と数える木

◐ $\frac{1}{2}$ と数える木

○ 数えない木

(南雲・箕輪「測樹学」p100)

拡大円の重なりを判定する視準器の概念

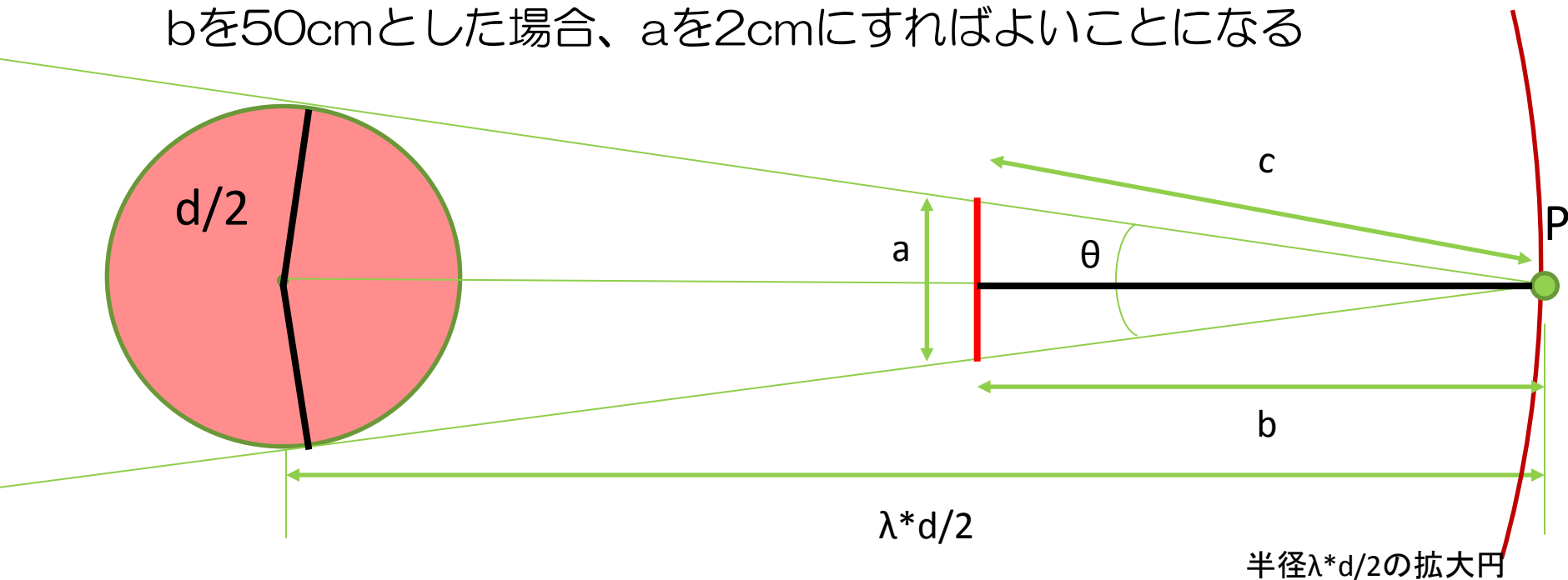
視角 θ に合わせて、長さ b 、幅 a の視準器を作って、Pから立木を視準し、幅 a 以上あればPが拡大円内に含まれると判定できる

ここで b が a に対して十分大きいとき、 $c \div b$

$\sin(\theta/2) = 1/\lambda = a/2c \div a/2b$ であるから、 $a = 2b/\lambda$

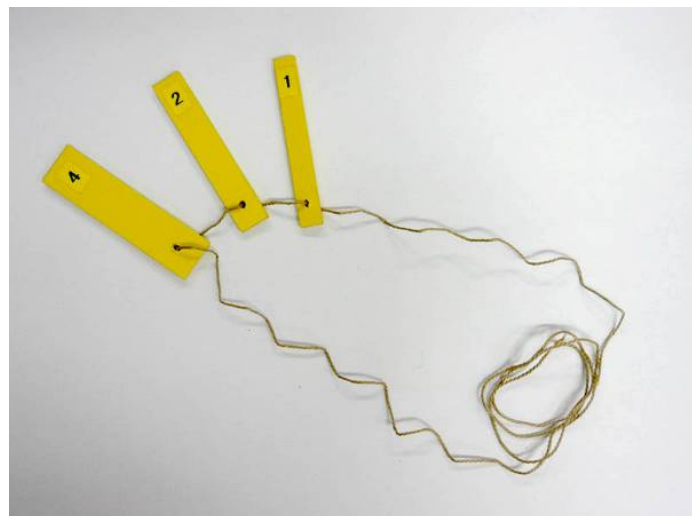
$k = 10000/\lambda^2$ とすると、 $k = 4$ のとき、 $\lambda = 50$ であるから、

b を50cmとした場合、 a を2cmにすればよいことになる



ポイントサンプリングを行うための道具

各種の視準器



自作の簡易レラスコープ



シュピーゲル・レラスコープ*



プリズム*

(*forestry suppliers ホームページより)

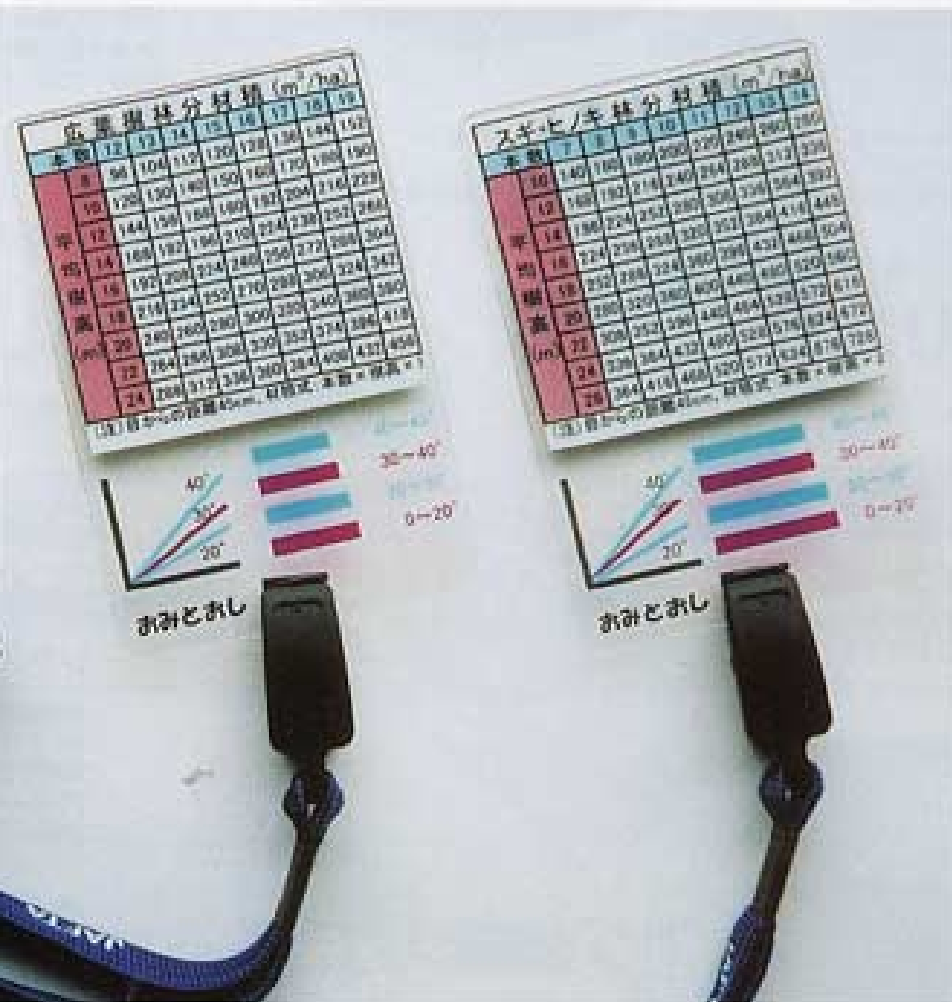
ポイントサンプリングを行うための道具

ポイントサンプリングの理論を応用した簡易計測器（おみとおし）
傾斜補正機能つき



「おみとおし」の表面

「おみとおし」の裏面



胸高断面積定数 k の選択

$k=1$ 、 2 、 4 が使われることが多い。

どの胸高断面積定数を選べばよいか？

$k=10000/\lambda^2$ であるので、 k が小さいほど、拡大円の拡大率が大きく、拡大円がカウントされる確率が高くなる

→理論的な精度は向上するが、カウント木の数が多くなることによる負担増。また、視準点から遠い木は見落とされることが多いので思ったより精度が上がらない可能性

ポイントサンプリング法の目的：フィールド調査における能率向上と負担軽減を目的とした方法

精度と能率向上のトレードオフを意識する必要

10～30本程度のカウント木が得られることを目安に k を選択する

ポイントサンプリングにより導かれるデータ

林分胸高断面積: $G = \frac{T}{\lambda^2} \sum_i g_i = kE(x)$

直径dの立木のha当たり本数: $N = k \sum \frac{1}{\pi \left(\frac{d}{2} \right)^2} = kE(y)$

林分の平均断面積: $\bar{g} = \frac{G}{N} = \frac{kE(x)}{kE(y)} = \frac{E(x)}{E(y)}$

断面積の分散: $\sigma^2 = \frac{1}{N} \left\{ \sum_i^N g_i^2 - \left(\sum_i^N g_i \right)^2 / N \right\} = \frac{E(z)}{E(y)} - \left\{ \frac{E(z)}{E(y)} \right\}^2$

ポイントサンプリングの精度

林分の立木がランダムに分布していると仮定したときの、推定精度の目安として、林分内の全立木の重なりの数 X の変動係数を計算すると、

$$C_x \doteq \sqrt{k/G}$$

と表される。すなわち、林分胸高断面積 G の大きさの平方根に反比例し、断面積定数 k の平方根に比例する。すなわち、 G が大であればばらつきは小さく、 k が大であれば、ばらつきが大きくなる。

ポイントサンプリングに必要なプロット数

能率を考慮した場合のha当たり標本数としては、下記のような目安が示されている

均一な壮齡林：5

均一な老齡林：6

疎な壮齡林：8

老齡な天然林：6

（南雲・箕輪「測樹学」p106）

ポイントサンプリングによる材積の推計方法 1

林分胸高断面積合計がわかったときの林分材積の計算方法

① 林分材積公式による方法

$$V = a + bGH \quad (a, b \text{ は定数})$$

あらかじめパラメータ a, b が決定されている必要があり、情報のない地域では適用できない

② 胸高形数による方法

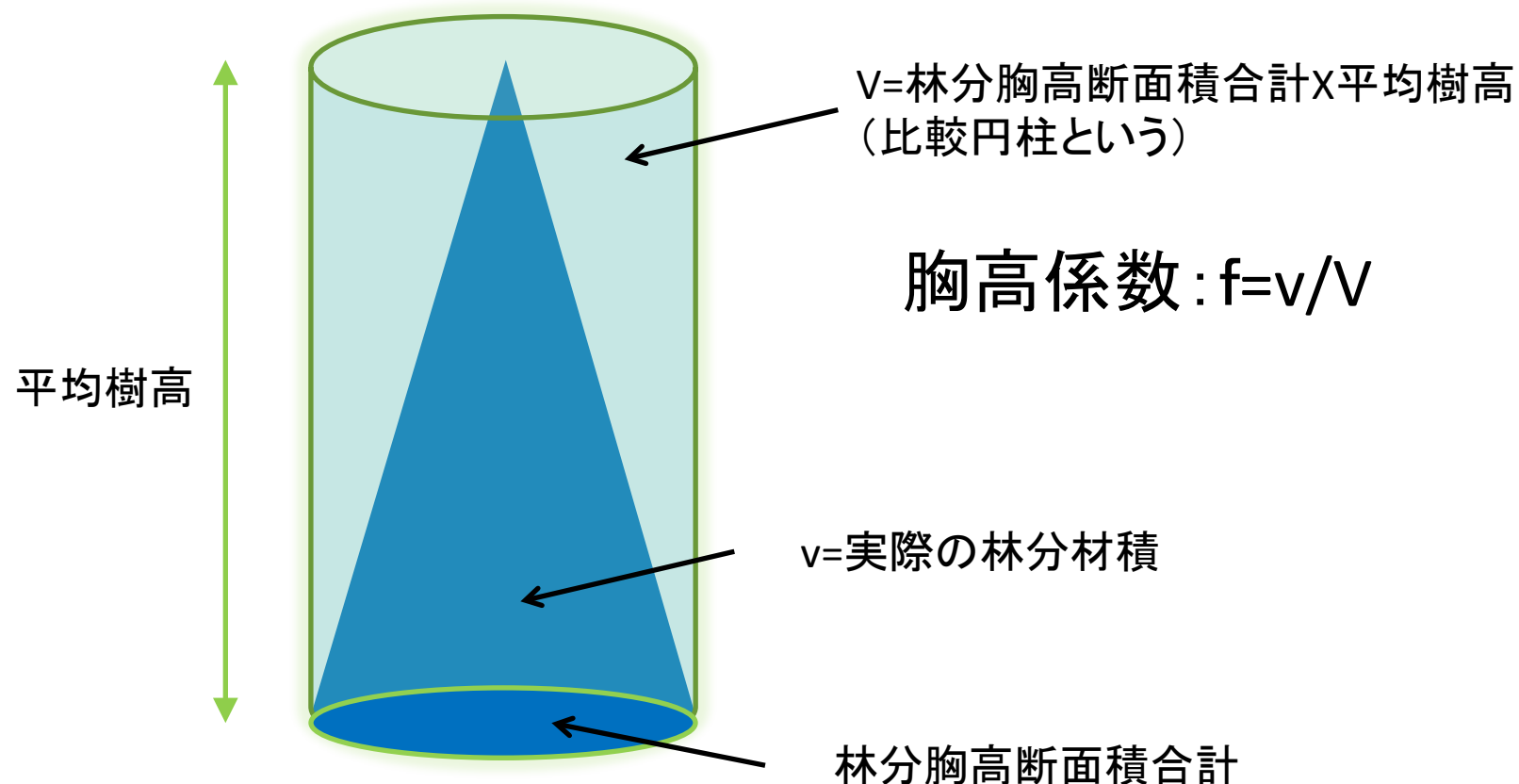
$$V = G \times H \times f$$

林分材積 = 胸高断面積合計 × 平均樹高 × 胸高係数

樹高は測定点付近の樹高を数本実測し平均する

胸高形数（f）とは？

胸高断面を底面とし林分樹高に等しい仮想的な円柱と林分幹材積の比



ポイントサンプリングによる材積の推計方法 2

林分胸高断面積合計がわかったときの林分材積の計算方法

③至近木法

$$V = N \bar{v} = \frac{\bar{v}}{\bar{g}} G$$

点の至近の3～5本の胸高直径、樹高を実測し、 $\bar{v}$ 、 $\bar{g}$ を計算する。
樹高の計算には、樹高曲線を用いるとよい

④カウント木法

立木のカウントと同時に胸高直径（及び樹高）を計測し、単木材積と直径階別のヘクタール当たり本数より林分材積を計算

カウント木法について

カウントされたすべての立木の直径、樹高を測定しておく。

ある直径 $d(m)$ の立木が1本カウントされたとすると、同じ直径の立木のヘクタール当たり本数は下記により計算される。

$$N = k \sum \frac{1}{\pi \left(\frac{d}{2} \right)^2}$$

$10,000 / \{(25d)^2 * \pi\}$ (断面積定数4の場合)

直径階別に見ると、 k に応じて必然的にその直径階における本数が決定される(基準本数という)

カウントした立木の直径階別本数に基準本数を掛けて合計すれば、ヘクタール当たりの立木本数となる

材積は、材積表もしくは材積式より当てはめる

カウント木法の実施

調査結果の事例（ $k=4$ ）

1変数材積式を使用（樹高も必要な場合は、樹高曲線にあてはめる）。
材積式が樹種別に分かれている場合は、樹種別に計算する

直径階	基準本数	測定本数	Ha当り本数	単木材積	Ha当り材積
14	259.8	1	260	0.0886	23.0
16	198.9	2	398	0.1462	58.2
18	157.2		0	0.2108	0
20	127.3	4	509	0.2830	144.0
22	105.2	2	210	0.3628	76.2
24	88.4	1	88	0.4503	39.6
計		10	1,465		341.0

バーテックスを用いたカウント木法

- VertexのAngle機能を用いることにより、高精度にカウント木法を実施することができる
- 特徴
 - 通常のポイントサンプリングを行う際の補助として利用する
 - 下層植生が混み合った森林等で視準が困難な場合に効果的
 - 斜距離補正をする必要がない
 - カウントすべきか迷う樹木の胸高位置にトランスポンダーを置き、Angleモードで計測するだけで、その場所でのカウントすべき最小胸高直径が表示される（斜距離補正は自動的になされる）
 - 対象木の胸高直径を計測し、上記値よりも大であればカウントし、小さければカウントしない。ミリ単位で直径が一致したときに0.5カウントとなる

バーテックスを用いたカウント木法

➤ 準備

- » VertexのSetupモードで、BAF（胸高断面積定数）をいくつにするか選択（0.5～9が選択可能）
- » 測定モードをAngleにする

➤ 実施

- » 設定した定数の簡易レラスコープを用いて通常のカウント木法を実施する
- » 判断に迷う木がある場合、胸高位置にトランスポンダーを置き（正確には前面では無く、幹の中心に平行な横位置に置く）
- » Angleモードで計測する。赤い十字が消えるまでONボタンを長押し（ピー音）。DME（左矢印）ボタンを押すと、トランスポンダーまでの斜距離と選択した定数に対応した最小胸高直径が表示される（ ϕ で示されているのが最小直径）
- » 対象木の胸高直径を計測し、Vertexの値と比較
- » 対象木のDBH > Vertexの値 → カウントする
- » 対象木のDBH < Vertexの値 → カウントしない
- » 対象木のDBH = Vertexの値 → 0.5本（ミリレベルで一致した場合）

➤ 注意

- » 傾斜地では測帯が狭くなるので、細めの木もカウントする（3割以上細い木はカウントしなくてよい） → 最大傾斜を45度とし、その際の最小測帯幅の目印を付けておくと良いかもしれない（ $k=4$ の場合、 $\sqrt{2}/2$ を乗じると $k=2$ と同じになる）

バーテックスを用いたカウント木法

カウントするかしないかが微妙な木についてバーテックスで確認する
傾斜地の場合は、測帯が狭くなるので細めの木も確認する

バーテックス本体

胸高直径を計測し、最小直径と比較→最小直径より大であればカウント、小さければノーカウント

トランス
ポンダー

ANGLEモードで、赤十字が消えるまでONボタンを長押し。
DMEボタンで斜距離と最小直径が表示される
ONを2回押すとANGLEモードに戻る

トランスポンダーは、幹の手前ではなく、幹の中心位置と平行の胸高位置に置く

➤ 視準不能木の問題

- 太い立木の背後にある木は測定から漏れる（→太い木があるときは要確認）
- 遠くにある極端に太い木は、視準できずカウント漏れとなる可能性が高い（ k が小さいほど見落とし率は高くなる）

➤ 傾斜補正

- 傾斜地では測定値に傾斜補正係数を掛けるか、傾斜補正に対応した視準器を使用する必要がある（バーテックス法では不要）

➤ 能率と精度のトレードオフ

- k を小さくする、点を多くとる、カウント木法を採用する等、精度を上げようとすれば能率が低下する。