

(研究資料)

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西川 匡 英⁽¹⁾・大友 栄 松⁽²⁾
樋 渡 ミ ヨ 子⁽³⁾・神 戸 喜 久⁽⁴⁾Kyōei NISHIKAWA⁽¹⁾, Eishoh OHTOMO⁽²⁾, Miyoko HIWATASHI⁽³⁾ and Kiku KANBE⁽⁴⁾:
A Comparison of the Precision Between Plot
Sampling and Plotless Sampling
(Research materials)

I ま え が き

近年、ビッターリッヒ法が、標本調査法に導入されて以来、円形プロット法および矩形プロット法、ラインサンプリング法等との精度比較の問題が重要視されているが、今回は、プロットサンプリングとして円形プロット法を、プロットレスサンプリングとしてビッターリッヒ法とラインサンプリング法を選んで調査研究したものである。

円形プロット法、ビッターリッヒ法、ラインサンプリング法の各法を統一的に理解する研究は、大友の“森林調査におけるプロットレスサンプリングに関する理論的研究⁽¹⁾”および“プロットレスサンプリング⁽²⁾”にくわしいが、3種の抽出法の比較をするために、ビッターリッヒ法の拡大円、ラインサンプリング法の拡大矩形、円形プロット法の拡大円（円形プロット法の場合各木のもつ拡大円を固定する）の面積を等しくすることを考え、次のように各抽出法のプロットの大きさ、断面積定数、線長を決定した。

円形プロット 0.01 ha の面積に等しいビッターリッヒ法の拡大円の平均面積をもつためには断面積定数をいくつにしたらよいかを考えると、試験区の平均直径 (\bar{d}) は、23.7cm であるから、断面積定数 $k=4$ とすると、拡大円の平均面積は $\pi(25\bar{d})^2 \div 4 \div 110.2\text{m}^2$ となり、円形プロット 0.01 ha とほぼ同じになる。また、円形プロット 0.02 ha の面積に対しては、ビッターリッヒ法 $k=2.25$ とおくと、拡大円の平均面積は、 $\pi(100/3 \bar{d})^2 \div 9 \div 196.0\text{m}^2$ となり、これも円形プロット 0.02 ha と十分近くなる。また、ラインサンプリング法で、線長 10m で $\alpha=63^\circ 30'$ の両側検視をする L1 法^(*) を採用すると、試験区の平均樹高 (\bar{h}) は、20.3m であるから、拡大矩形の平均面積は $10 \times 10.15 \times 2 \div 2 \div 203.0\text{m}^2$ となり、同様に円形プロット 0.02 ha とほぼ近い値となる。平均直径 (\bar{d}) により平均拡大面積を計算したが、平均断面積により平均拡大面積を算出しても、ほぼ同様の結果が得られる。

このようにして拡大面積を等しくして比較基準を同一にすると、円形プロット法（大円プロット 0.02

* 既往発表文献では O1 法であったが、Line sampling の第 1 法という意味で L1 法とした(大友)。1971年7月15日受理 Received July 15, 1971

(1)~(4) 経営部 (1)~(4) Forest Management Division

ha), ビッターリッヒ法 ($k=2.25$), L1法の3種の抽出法が比較可能となり, また円形プロット法(小円プロット0.01 ha), ビッターリッヒ法 ($k=4$)の2種が, 比較可能となる。以上の5種の抽出法において, haあたりの本数, 材積合計, 断面積合計, 円柱体体積合計, 平均直径, 平均樹高推定の精度の比較を, 林縁無修正と林縁修正の場合に分けて行なった。また, これらとストランド法⁴⁾の精度との比較も同時に行ない, 最後に効率の検討を試みた。なお, 調査に当たって種々のご援助いただいた航測研究室の方々に厚く謝意を表す。

II 調査地概要

調査地は, 高萩営林署管内茨城経営計画区高萩事業区69林班ち小班に属する地点である。試験地の大きさは, 1 haで, スギがほとんどで僅少のヒノキと広葉樹が混じる程度である。試験地は, 平均林齢44年, haあたり材積817.4m³, haあたり本数1,662本, 平均樹高20.3m, 平均直径23.7cmというかなり密な林分で, 無間伐のいわば, 共倒れ型の林分といえる。土壌の特色は, B₀, B₈層で, 橄欖岩が主体の壤土が多く, また, 湿度適潤, 深度中, 堅密度軟である。傾斜は全体的に中斜といえる。調査年月日は, 1967年3月6~18日と9月18~21日の2回である。

III 調査内容

1 ha スギ林内で全林毎木調査を行ない, 胸高直径は2方向測定し, 2cm 括約の平均直径を算出し, 樹高はブルーメイス測高器により m 単位に測定し, これにより単木材積を, 東京営林局管内スギ立木材積表から求めた。そして本数合計 (N), 断面積合計 (G), 材積合計 (V), 円柱体体積合計 (Σgh), 平均直径 (\bar{d}), 平均樹高 (\bar{h}) を求め, これを本調査における毎木調査値とした。これを表1に示す。同時に樹木位置図の作成も行なった。

円形プロット法 (0.02 ha 円形プロットと0.01 ha の円形プロット), ビッターリッヒ法 (断面積定数 $k=4$, $k=2.25$), L1法 (線長10mで両側検視)の精度の比較を行なうために, 20点の標本点をランダムに落とし, これらの標本点をポイント, プロット, 10m直線の中心点とした。20点の標本点のうち, 調査のつごうで10点ずつ任意に選び, 昭和42年春, 秋の2期に分けて調査を行なった。分析は, 20点の標本点の計算結果にもとづいて行なったが, それぞれ10点の計算も同時に行ない, 参考資料とした。なお20点の標本点番号のうち1, 2, 5, 7, 11, 13, 14, 15, 18, 20を10点A, 3, 4, 6, 8, 9, 10, 12, 16, 17, 19を10点Bの標本点とした。標本点の位置図, およびプロットとL1法の線の長さの試験区に示める相対的割合を示す図をそれぞれ図1, 図2に表わした。

円形プロットをとる場合, 傾斜地では, 斜面上で円形をとり, 水平投影楕円面積が, 0.02 haと0.01 haになるような傾斜角ごとの円形プロットの半径を表2のように作成し, 使用した。円形プロット法では, 0.01 ha, 0.02 haプロット内の林木の胸高直径 (d), 樹高 (h), ビッターリッヒ法では, レラスコープにより断面積定数 $k=4$, $k=2.25$ の場合の各カウント木の d , h をそれぞれ測定した (すれすれの木は, 水平距離と胸高直径を測り, カウント木かどうかを $\sqrt{k} = d(\text{cm})/2l(\text{m})$ により判定した)。

L1法では, コノメーターで $\tan \alpha = 2$ になるように, スリットわく内の長さを10cmにして黒いビニールテープをはり, これより梢頭がはみだす場合カウントして, d , h を測定した (実際は, 両方法において全林毎木野帳があるため測定は省略し, 番号をチェックした)。L1法の線の方向は, はじめランダ

表 1. 試験区の林分構造 (1ha あたり)

| 本数 (N) | 平均直径 (d) | 平均樹高 (h) | 断面積 (G) | 材積 (V) | 円柱体体積 (Δgh) |
|--------|----------|----------|----------------|----------------|-----------------------|
| 本 | cm | m | m ² | m ³ | m ³ |
| 1662 | 23.7 | 20.3 | 78.8 | 817.4 | 1708.0 |

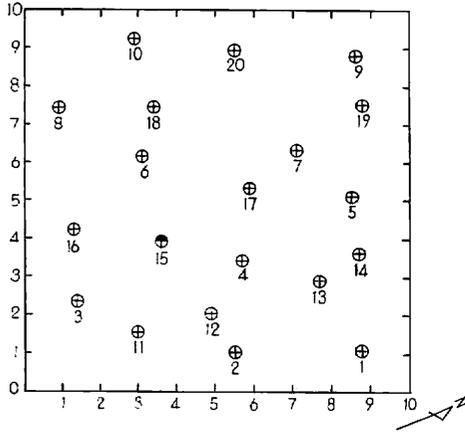


図 1. 高萩試験区標本点配置図

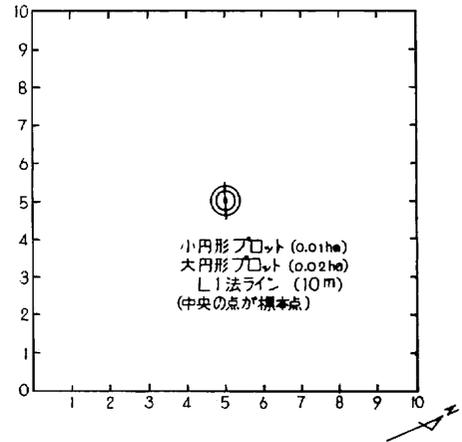


図 2. L1法ラインと円形プロットの大きさ

表 2. 傾斜面プロット半径表

| 傾斜 (度) α | 傾斜面プロット半径 (r) | | 傾斜 (度) α | 傾斜面プロット半径 (r) | |
|--------------------|---------------|---------|--------------------|---------------|---------|
| | 0.02 ha | 0.01 ha | | 0.02 ha | 0.01 ha |
| 0° | 7.98m | 5.64m | 32° | 8.66 | 6.13 |
| 5 | 7.99 | 5.65 | 33 | 8.71 | 6.16 |
| 10 | 8.04 | 5.69 | 34 | 8.76 | 6.20 |
| 13 | 8.08 | 5.72 | 35 | 8.82 | 6.23 |
| 15 | 8.12 | 5.74 | 36 | 8.87 | 6.27 |
| 16 | 8.14 | 5.75 | 37 | 8.93 | 6.31 |
| 18 | 8.18 | 5.79 | 38 | 8.99 | 6.36 |
| 20 | 8.23 | 5.82 | 39 | 9.05 | 6.40 |
| 22 | 8.29 | 5.86 | 40 | 9.12 | 6.45 |
| 24 | 8.35 | 5.90 | 41 | 9.18 | 6.49 |
| 25 | 8.38 | 5.93 | 42 | 9.26 | 6.54 |
| 26 | 8.42 | 5.95 | 43 | 9.33 | 6.60 |
| 28 | 8.49 | 6.00 | 44 | 9.41 | 6.65 |
| 30 | 8.57 | 6.06 | 45 | 9.49 | 6.71 |
| 31 | 8.62 | 6.09 | 50 | 9.95 | 7.04 |

備考: $r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} \sqrt{\sec \alpha}$, r: 半径, A: 楕円面積, α : 傾斜度

ムな方向にとり, その後は, すべての点で最初に定めたランダム方向に取った。

林縁に近い場所に標本点が落ちた場合, ビッターリッヒ法では, 先に $k=4$, $k=2.25$ で数えられた木のうち, 標本点と木の距離が木と最も近い境界との距離より短いときはカウントし, 長いときはカウントしないこととして野帳に印をつけた。これは後に林縁修正の計算に用いるためである。

IV 算 出 式 内 容

Ⅲの外業の資料をもとにして円形プロット法、ピッターリッヒ法、L1法の各種抽出法の $N, G, V, \bar{d}, \bar{h}, \Sigma gh$ の標本推定値と標準誤差および信頼幅、毎木調査値に対する誤差を (i) 林縁無修正の場合、および (ii) 林縁修正の場合に分けて計算を行なった。

標本推定値および分散算出式

(i) 林縁無修正の場合

イ) 円形プロット法

N, G, V 推定

$$\text{推定値} \quad \bar{x} = \frac{\sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^N \delta_{ki} x_i}{n}$$

$$\text{分散} \quad S_x^2 = \frac{1}{n(n-1)} \left\{ \sum_{k=1}^n \left(\sum_{i=1}^N \delta_{ki} x_i \right)^2 - \frac{\left(\sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^N \delta_{ki} x_i \right)^2}{n} \right\}$$

\bar{d}, \bar{h} 推定

$$\text{推定値} \quad r = \frac{\sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^N \delta_{ki} y_i}{\sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^N \delta_{ki} x_i}$$

$$\text{分散} \quad V(r) = \frac{n}{n-1} \left[\frac{1}{\left\{ \sum_{k=1}^n \left(\sum_{i=1}^N \delta_{ki} x_i \right) \right\}^2} \left[\sum_{k=1}^n \left(\sum_{i=1}^N \delta_{ki} y_i \right)^2 \right. \right. \\ \left. \left. + r^2 \sum_{k=1}^n \left(\sum_{i=1}^N \delta_{ki} x_i \right)^2 - 2r \sum_{k=1}^n \left(\sum_{i=1}^N \delta_{ki} x_i \right) \left(\sum_{i=1}^N \delta_{ki} y_i \right) \right] \right]$$

ロ) ピッターリッヒ法

$N, G, V, \Sigma gh$ 推定

$$\text{推定値} \quad \bar{x} = \frac{1}{n} \left(\sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^N \frac{\delta_{ki} x_i}{g_i} \right) \times 10000 \sin^2 \alpha$$

$$\text{分散} \quad S_x^2 = \frac{1}{n(n-1)} \left\{ \sum_{k=1}^n \left(\sum_{i=1}^N \frac{\delta_{ki} x_i}{g_i} \right)^2 - \frac{\left(\sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^N \frac{\delta_{ki} x_i}{g_i} \right)^2}{n} \right\} \times (10000 \sin^2 \alpha)^2$$

\bar{d}, \bar{h} 推定

$$\text{推定値} \quad r = \frac{\sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^N \frac{\delta_{ki} y_i}{g_i}}{\sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^N \frac{\delta_{ki}}{g_i}}$$

$$\text{分散} \quad V(r) = \frac{n}{n-1} \cdot \frac{1}{\left\{ \sum_{k=1}^n \left(\sum_{i=1}^N \frac{\delta_{ki}}{g_i} \right) \right\}^2} \left[\sum_{k=1}^n \left(\sum_{i=1}^N \frac{\delta_{ki} y_i}{g_i} \right)^2 \right. \\ \left. + r^2 \sum_{k=1}^n \left(\sum_{i=1}^N \frac{\delta_{ki}}{g_i} \right)^2 - 2r \sum_{k=1}^n \left(\sum_{i=1}^N \frac{\delta_{ki} y_i}{g_i} \right) \left(\sum_{i=1}^N \frac{\delta_{ki}}{g_i} \right) \right]$$

ハ) L1法

$N, G, V, \Sigma gh$ 推定

$$\text{推定値} \quad \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^N \frac{\delta_{ki} \cdot x_i \cdot \tan \alpha \cdot 10000}{h_i \cdot l}$$

$$\text{分散} \quad S_{\bar{x}}^2 = \frac{1}{n(n-1)} \left\{ \sum_{k=1}^n \left(\sum_{i=1}^N \frac{\delta_{ki} x_i}{h_i} \right)^2 - \frac{\left(\sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^N \frac{\delta_{ki} x_i}{h_i} \right)^2}{n} \right\} \times \left(\frac{\tan \alpha}{l} \cdot 10000 \right)^2$$

\bar{d}, \bar{h} 推定

$$\text{推定値} \quad r = \frac{\sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^N \frac{\delta_{ki} y_i}{h_i}}{\sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^N \frac{\delta_{ki}}{h_i}}$$

$$\text{分散} \quad V(r) = \frac{n}{n-1} \cdot \frac{1}{\left\{ \sum_{k=1}^n \left(\sum_{i=1}^N \frac{\delta_{ki}}{h_i} \right) \right\}^2} \left[\sum_{k=1}^n \left(\sum_{i=1}^N \frac{\delta_{ki} y_i}{h_i} \right)^2 + r^2 \sum_{k=1}^n \left(\sum_{i=1}^N \frac{\delta_{ki}}{h_i} \right)^2 - 2r \sum_{k=1}^n \left(\sum_{i=1}^N \frac{\delta_{ki} y_i}{h_i} \right) \left(\sum_{i=1}^N \frac{\delta_{ki}}{h_i} \right) \right]$$

$$\therefore \tan \alpha = 2, l = 10$$

備考 δ_{ki} は、 k 点でカウントされたときは1、然らざるときは0をとる。 n は、標本点数。

上式で N 推定なら1を、 G 推定なら g_i 、 V 推定なら v_i を、 Σgh 推定なら $g_i h_i$ を x_i にそれぞれ代入して考えるとよい。また、 \bar{d}, \bar{h} 推定では、 x_i に1、 y_i に d_i または h_i をそれぞれ代入する。

Σgh 推定において、ピッターリッヒ法では $\sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^N x_i / a_i \times 10000$ に $x_i = g_i h_i$ 、 $a_i = g_i / \sin^2 \alpha$ を代入すると $\sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^N g_i h_i / g_i \cdot \sin^2 \alpha \cdot 10000 = \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^N h_i \sin^2 \alpha \cdot 10000$ となり、 h_i の測定のみでよく、また、L1法では、 $x_i = g_i h_i$ 、 $a_i = l \cdot h_i \cot \alpha$ を代入すると $\sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^N g_i h_i / l \cdot h_i \cot \alpha \times 10000 = \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^N g_i / l \cdot \cot \alpha$ となり、 g_i すなわち d_i 測定のみでよい。

(ii) 林縁修正の場合

イ) ピッターリッヒ法、L1法、

$N, G, V, \Sigma gh$ 推定

$$\text{推定値} \quad \bar{x} = \frac{1}{n} \left(\sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^N \frac{\delta_{ki} x_i}{a_i} \right)$$

$$\text{分散} \quad S_{\bar{x}}^2 = \frac{1}{n(n-1)} \left\{ \sum_{k=1}^n \left(\sum_{i=1}^N \frac{\delta_{ki} x_i}{a_i} \right)^2 - \frac{\left(\sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^N \frac{\delta_{ki} x_i}{a_i} \right)^2}{n} \right\}$$

以上の算出式のくわしい内容に関しては、前述の大友の 1) 2) の文献を参照するとよい。

円形プロット法、ピッターリッヒ法、L1法ともに、 \bar{d}, \bar{h} 推定においては、林縁修正しなくても十分近い値が出ているので、林縁修正は省略した。

円形プロットが林縁よりはみだす場合は重みをつけて計算する⁶⁾とよいが、20点とも林縁よりはみだす場合がなく、省略した。

ピッターリッヒ法において、計算要領は林縁無修正の場合と同じであるが、拡大円が林縁よりはみだす場合、点と木との距離が、木と最も近い境界との距離より短いときはカウントし、長いときはカウントし

ない。これは、この木の a_i は木と境界の距離を l_i とすると $a_i = \pi l_i^2$ とすることである⁷⁾。

L1法においては、拡大矩形が林縁よりはみだす場合、実際に林縁内にある面積を樹木位置図により測り、これを a_i の代わりに用いる。

以上が林縁無修正の場合と林縁修正の場合の推定値と標準誤差の算出内容であるが、その他、信頼幅は信頼度95%として t_{s_x} により求め、毎木調査値に対する誤差は、毎木調査値と標本推定値との差の値と、その値の毎木調査値に対する百分率を(%)で示した。また、ストランド法の林分形数 F は、毎木調査値の値 V 、 Σgh を用いて、 $F = V / \Sigma gh$ により算出した。

効率 は 費用 × 分散 であるが、円形プロットのプロット設定時間を無視すると、費用はカウント本数に比

表 3. 各種サンプリング法の比較

| | 毎木 調査値 | 推 定 値 | | | | | 標 準 誤 差 | | | |
|--|-----------|---------------|---------------|--------------|-----------------|--------|---------------|---------------|--------------|-----------------|
| | | 大 円 (0.02) | 小 円 (0.01) | B 法 (K=4) | B 法 (K=2.25) | L1法 | 大 円 (0.02) | 小 円 (0.01) | B 法 (K=4) | B 法 (K=2.25) |
| N 本/ha | 1662 | 1,555.0 | 1565.0 | 1595.4 | 1555.2 | 1681.5 | 61.4 | 78.9 | 98.5 | 66.2 |
| \bar{d} cm | 23.7 | 24.1 | 23.8 | 23.7 | 23.7 | 23.7 | 0.43 | 0.51 | 0.54 | 0.44 |
| \bar{h} m | 20.3 | 20.8 | 20.8 | 20.6 | 20.7 | 20.5 | 0.39 | 0.45 | 0.51 | 0.43 |
| G m ² /ha | 78.8 | 75.3 | 74.2 | 75.8 | 73.6 | 79.5 | 1.60 | 2.42 | 2.62 | 1.46 |
| V m ³ /ha | 817.4 | 794.4 | 787.4 | 796.8 | 772.2 | 827.0 | 20.4 | 30.0 | 27.9 | 27.3 |
| Σgh m ³ /ha | 1706.0 | | | 1657.8 | 1609.6 | 1726.1 | | | 58.1 | 57.9 |
| $F \times \Sigma gh$ m ³ /ha | 817.4 | | | 793.4 | 770.4 | 826.1 | | | 27.8 | 27.7 |

$$F = \frac{817.4}{1706} \div 0.4786 \text{ とした。}$$

表 4. 各種サンプリング法の比較

| | 毎木 調査値 | 推 定 値 | | | | | 標 準 誤 差 | | | |
|--|-----------|---------------|---------------|--------------|-----------------|--------|---------------|---------------|--------------|-----------------|
| | | 大 円 (0.02) | 小 円 (0.01) | B 法 (K=4) | B 法 (K=2.25) | L1法 | 大 円 (0.02) | 小 円 (0.01) | B 法 (K=4) | B 法 (K=2.25) |
| N 本/ha | 1662 | 1590.0 | 1560.0 | 1653.7 | 1574.1 | 1690.6 | 100.8 | 134.0 | 142.0 | 110.6 |
| \bar{d} cm | 23.7 | 23.4 | 23.2 | 23.2 | 23.8 | 23.5 | 0.60 | 0.75 | 0.70 | 0.63 |
| \bar{h} m | 20.3 | 20.3 | 20.4 | 20.3 | 20.6 | 20.2 | 0.54 | 0.67 | 0.62 | 0.60 |
| G m ² /ha | 78.8 | 73.5 | 71.0 | 76.0 | 73.8 | 78.6 | 2.70 | 3.60 | 3.33 | 3.05 |
| V m ³ /ha | 817.4 | 762.0 | 744.0 | 789.8 | 766.3 | 804.4 | 31.1 | 44.7 | 47.3 | 48.1 |
| Σgh m ³ /ha | 1708.0 | | | 1646.8 | 1603.1 | 1690.6 | | | 98.8 | 102.7 |
| $F \times \Sigma gh$ m ³ /ha | 817.4 | | | 788.1 | 767.2 | 809.1 | | | 47.3 | 49.2 |

例すると考えられること、今回用いたプロットは小さく設定時間は無視してもよいと考えられたこと、の2つの理由から、カウント本数×平均値の分散を各サンプリング法ごとに計算して比較した。

V 結果と考察

IVの計算要領で、各推定 ($N, \bar{d}, \bar{h}, G, V, \Delta gh$) における3種のサンプリング法のそれぞれの推定値、標準誤差、信頼幅、毎木調査値に対する誤差を算出したが、それを次のように整理した。

1) 林縁無修正の場合

(イ) 標本点20点 表 3

20 点 林 縁 無 修 正

| L 1 法 | 信 頼 幅 | | | | | 毎 木 調 査 値 に 対 す る 差 | | | | |
|-------|---------------|---------------|--------------|-----------------|-------|---------------------|-----------------|-----------------|------------------|----------------|
| | 大 円 (0.02) | 小 円 (0.01) | B 法 (K=4) | B 法 (K=2.25) | L 1 法 | 大 円 (0.02) | 小 円 (0.01) | B 法 (K=4) | B 法 (K=2.25) | L 1 法 |
| 65.0 | 128.6 | 165.1 | 206.2 | 138.5 | 136.0 | -107 (-6.4) | -97 (-5.8) | -66.6 (-4.0) | -106.8 (-6.4) | 19.5 (1.2) |
| 0.41 | 0.90 | 1.07 | 1.13 | 0.92 | 0.86 | 0.4 (1.7) | 0.01 (0.4) | 0.0 (0.0) | 0.0 (0.0) | 0.0 (0.0) |
| 0.39 | 0.82 | 0.93 | 1.07 | 0.89 | 0.81 | 0.5 (2.4) | 0.5 (2.3) | 0.3 (1.3) | 0.4 (2.0) | 0.2 (1.2) |
| 1.67 | 3.34 | 5.06 | 5.48 | 3.06 | 3.50 | -3.5 (-4.3) | -4.6 (-5.9) | -3.0 (-3.81) | -5.2 (-6.6) | 0.7 (0.9) |
| 22.5 | 42.8 | 62.8 | 58.4 | 57.2 | 47.0 | -23.0 (-2.8) | -30.0 (-3.7) | -20.6 (-2.5) | -45.2 (-5.5) | 9.6 (1.2) |
| 45.5 | | | 121.2 | 121.5 | 95.1 | | | -50.2 (-2.9) | -98.4 (-5.8) | 18.1 (1.1) |
| 21.8 | | | 58.0 | 58.1 | 45.5 | | | -24.0 (-2.9) | -47.0 (-5.7) | -8.7 (-1.1) |

10 点 林 縁 無 修 正 (標本点A)

| L 1 法 | 信 頼 幅 | | | | | 毎 木 調 査 値 に 対 す る 差 | | | | |
|-------|---------------|---------------|--------------|-----------------|-------|---------------------|-----------------|-----------------|------------------|-----------------|
| | 大 円 (0.02) | 小 円 (0.01) | B 法 (K=4) | B 法 (K=2.25) | L 1 法 | 大 円 (0.02) | 小 円 (0.01) | B 法 (K=4) | B 法 (K=2.25) | L 1 法 |
| 88.6 | 227.9 | 303.9 | 321.2 | 250.1 | 200.4 | -72 (-4.3) | -102 (-6.1) | -8.3 (-0.5) | -87.9 (-5.2) | 28.6 (1.7) |
| 0.65 | 1.36 | 1.70 | 1.58 | 1.42 | 1.47 | -0.3 (-1.3) | -0.5 (-2.1) | -0.5 (-2.1) | 0.1 (0.4) | -0.2 (-0.8) |
| 0.59 | 1.22 | 1.52 | 1.40 | 1.36 | 1.33 | 0 (0) | 0.1 (0.5) | 0 (0) | 0.3 (1.5) | -0.1 (-0.5) |
| 2.29 | 6.03 | 8.25 | 7.54 | 6.89 | 5.17 | -5.3 (-6.7) | -7.8 (-9.9) | -2.8 (-3.6) | -5.0 (-6.3) | -0.2 (-0.3) |
| 36.5 | 70.5 | 101.1 | 107.0 | 108.8 | 82.6 | -55.4 (-6.8) | -73.4 (-9.0) | -27.6 (-3.4) | -51.1 (-6.3) | -13.0 (-1.6) |
| 74.4 | | | 223.7 | 232.4 | 168.3 | | | -61.2 (-3.6) | -104.9 (-6.1) | -17.4 (-1.0) |
| 35.6 | | | 107.0 | 111.3 | 80.6 | | | -29.3 (-3.6) | -50.2 (-6.1) | -8.3 (-1.0) |

表5. 各種サンプリング法の比較

| | 毎木 調査値 | 推 定 値 | | | | | 標 準 誤 差 | | | |
|--|-----------|---------------|---------------|--------------|-----------------|--------|---------------|---------------|--------------|-----------------|
| | | 大 円 (0.02) | 小 円 (0.01) | B 法 (K=4) | B 法 (K=2.25) | L 1法 | 大 円 (0.02) | 小 円 (0.01) | B 法 (K=4) | B 法 (K=2.25) |
| N 本/ha | 1662 | 1520.0 | 1570.0 | 1537.2 | 1536.2 | 1672.3 | 74.2 | 90.7 | 141.6 | 78.7 |
| \bar{d} cm | 23.7 | 24.7 | 24.4 | 24.1 | 23.8 | 24.0 | 0.55 | 0.59 | 0.91 | 0.62 |
| \bar{h} m | 20.3 | 21.3 | 21.1 | 20.7 | 20.9 | 20.9 | 0.55 | 0.60 | 0.87 | 0.63 |
| G m ² /ha | 78.8 | 77.2 | 77.4 | 75.6 | 73.4 | 80.4 | 1.70 | 3.01 | 3.34 | 3.53 |
| V m ³ /ha | 817.4 | 826.5 | 830.9 | 803.8 | 778.2 | 849.6 | 23.8 | 37.2 | 32.2 | 28.8 |
| Σgh m ³ /ha | 1708.0 | | | 1668.8 | 1616.2 | 1761.6 | | | 66.6 | 60.0 |
| $F \times \Sigma gh$ m ³ /ha | 817.4 | | | 798.7 | 773.5 | 843.1 | | | 31.9 | 28.7 |

表6. 各種サンプリング法の比較 20点林縁修正

| | 毎木 調査値 | 推 定 値 | | | 標 準 誤 差 | | | 信 頼 幅 | | | 毎木調査値に対する差 | | |
|--|-----------|--------|--------|--------|---------|--------|------|-------|--------|-------|-----------------|------------------|----------------|
| | | 内接円法 | | L 1法 | 内接円法 | | L 1法 | 内接円法 | | L 1法 | 内接円法 | | L 1法 |
| | | K=4 | K=2.25 | | K=4 | K=2.25 | | K=4 | K=2.25 | | K=4 | K=2.25 | |
| N 本/ha | 1662 | 1565.2 | 1528.8 | 1770.2 | 90.8 | 65.9 | 93.3 | 190.1 | 137.8 | 195.4 | -96.8 (-5.8) | -133.2 (-8.1) | 108.2 (6.5) |
| G m ² /ha | 78.8 | 75.7 | 72.2 | 83.2 | 2.62 | 1.84 | 2.08 | 5.48 | 3.84 | 4.36 | -3.1 (-4.0) | -6.6 (-8.4) | 4.4 (5.6) |
| V m ³ /ha | 817.4 | 788.1 | 758.5 | 866.3 | 26.5 | 23.5 | 19.5 | 55.5 | 49.1 | 40.8 | -29.3 (-3.6) | -58.9 (-7.2) | 48.9 (6.0) |
| Σgh m ³ /ha | 1708.0 | 1640.9 | 1581.2 | 1829.2 | 55.4 | 50.2 | 52.7 | 115.9 | 105.0 | 110.3 | -67.1 (-3.9) | -126.8 (-7.4) | 121.2 (7.1) |
| $F \times \Sigma gh$ m ³ /ha | 817.4 | 785.3 | 756.8 | 875.5 | 26.5 | 24.0 | 25.2 | 55.5 | 50.2 | 52.7 | -32.1 (-3.9) | -60.6 (-7.4) | 58.1 (7.1) |

表7. 各種サンプリング法の比較 10点林縁修正 (標本点A)

| | 毎木 調査値 | 推 定 値 | | | 標 準 誤 差 | | | 信 頼 幅 | | | 毎木調査値に対する差 | | |
|--|-----------|-------------|----------------|--------|-------------|----------------|-------|-------------|----------------|-------|-----------------|------------------|-----------------|
| | | B法 (K=4) | B法 (K=2.25) | L 1法 | B法 (K=4) | B法 (K=2.25) | L 1法 | B法 (K=4) | B法 (K=2.25) | L 1法 | B 法 (K=4) | B 法 (K=2.25) | L 1法 |
| N 本/ha | 1662 | 1595.5 | 1559.6 | 1828.3 | 120.2 | 114.1 | 154.1 | 272.0 | 258.0 | 348.6 | -66.5 (-4.0) | -102.4 (-6.2) | 166.3 (10.0) |
| G m ² /ha | 78.8 | 75.9 | 73.1 | 84.0 | 4.26 | 3.21 | 3.37 | 9.63 | 7.25 | 7.62 | -2.9 (-3.7) | -5.7 (-7.3) | 5.2 (6.5) |
| V m ³ /ha | 817.4 | 773.3 | 759.9 | 862.3 | 43.8 | 38.2 | 34.1 | 99.1 | 86.4 | 77.2 | -44.1 (-5.4) | -17.5 (-2.1) | 44.9 (5.5) |
| Σgh m ³ /ha | 1708.0 | 1614.8 | 1592.0 | 1849.2 | 92.5 | 81.1 | 98.7 | 209.3 | 183.4 | 223.3 | -93.2 (-5.5) | -116.0 (-6.8) | 141.2 (8.3) |
| $F \times \Sigma gh$ m ³ /ha | 817.4 | 772.8 | 761.9 | 885.0 | 44.3 | 38.8 | 47.2 | 100.2 | 87.8 | 106.8 | -44.6 (-5.5) | -55.5 (-6.8) | 67.6 (8.3) |

10 点林縁無修正 (標本点B)

| L1法 | 信 頼 幅 | | | | | 毎木調査値に対する差 | | | | |
|-------|---------------|---------------|--------------|-----------------|-------|------------------|-----------------|------------------|------------------|----------------|
| | 大 円 (0.02) | 小 円 (0.01) | B 法 (K=4) | B 法 (K=2.25) | L1法 | 大 円 (0.02) | 小 円 (0.01) | B 法 (K=4) | B 法 (K=2.25) | L1法 |
| 100.0 | 167.9 | 205.3 | 320.3 | 178.0 | 226.1 | -142.0 (-8.5) | -92.0 (-5.5) | -124.8 (-7.5) | -125.8 (-7.6) | 10.3 (10.6) |
| 0.52 | 1.25 | 1.33 | 2.07 | 1.40 | 1.18 | 1.0 (4.3) | 0.7 (2.7) | 0.4 (1.6) | 0.1 (0.5) | -0.3 (-1.3) |
| 0.51 | 1.24 | 1.36 | 1.96 | 1.43 | 1.15 | 1.0 (4.9) | 0.8 (4.0) | 0.4 (2.2) | 0.6 (2.9) | 0.6 (2.8) |
| 2.53 | 3.85 | 6.81 | 7.56 | 7.98 | 5.73 | -1.6 (-2.0) | -1.4 (-1.8) | -3.2 (-4.1) | -5.4 (-6.7) | 1.6 (2.0) |
| 26.0 | 53.9 | 84.2 | 72.8 | 65.1 | 58.9 | 9.1 (1.1) | 13.5 (1.6) | -13.6 (-1.7) | -39.2 (-4.8) | 32.2 (3.9) |
| 53.9 | | | 150.6 | 135.8 | 122.0 | | | -39.2 (-2.3) | -91.8 (-5.4) | 53.6 (3.1) |
| 25.8 | | | 72.2 | 64.9 | 58.4 | | | -18.7 (-2.3) | -43.9 (-5.4) | 25.7 (3.1) |

表 8. 各種サンプリング法の比較 10点林縁修正 (標本点B)

| | 毎 木 調査値 | 推 定 値 | | | 標 準 誤 差 | | | 信 頼 幅 | | | 毎木調査値に対する差 | | |
|-----------------------------|------------|--------|--------|--------|---------|--------|-------|-------|--------|-------|------------------|------------------|----------------|
| | | 内接円法 | | L1法 | 内接円法 | | L1法 | 内接円法 | | L1法 | 内接円法 | | L1法 |
| | | K=4 | K=2.25 | | K=4 | K=2.25 | | K=4 | K=2.25 | | K=4 | K=2.25 | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| N 本/ha | 1662 | 1534.8 | 1498.1 | 1712.0 | 142.1 | 70.9 | 110.8 | 321.1 | 160.1 | 250.5 | -127.2 (-7.7) | -163.9 (-9.9) | 50.0 (3.0) |
| G m ² /ha | 78.8 | 75.5 | 71.2 | 82.5 | 3.28 | 1.93 | 2.61 | 7.41 | 4.37 | 5.89 | -3.3 (-4.2) | -7.6 (-9.6) | 3.7 (4.7) |
| V m ³ /ha | 817.4 | 803.0 | 757.2 | 870.3 | 31.6 | 29.3 | 21.0 | 71.5 | 66.3 | 47.4 | -14.4 (-1.8) | -60.2 (-7.4) | 52.9 (6.5) |
| Σgh m ³ /ha | 1708.0 | 1667.0 | 1570.3 | 1809.2 | 65.8 | 63.5 | 43.6 | 148.8 | 143.4 | 98.6 | -41.0 (-2.4) | -137.7 (-8.1) | 101.2 (5.9) |
| F×Σgh m ³ /ha | 817.4 | 797.8 | 751.5 | 865.9 | 31.5 | 30.4 | 20.9 | 71.3 | 68.8 | 47.3 | -19.6 (-2.4) | -65.9 (-8.1) | 48.5 (5.9) |

表 9. n × v 表

| 20 点 | n | \bar{d} | \bar{h} | N | V | G | Σgh |
|--------------|-----|-----------|-----------|---------|--------|---------|---------|
| 大 円 (0.02ha) | 622 | 111.96 | 93.30 | 2344.92 | 258.85 | 1592.32 | |
| 小 円 (0.01ha) | 313 | 81.38 | 62.60 | 1948.49 | 281.70 | 1834.18 | |
| B 法 (K=4) | 379 | 109.91 | 98.54 | 3677.15 | 295.02 | 2599.94 | 1279.36 |
| B 法 (K=2.25) | 654 | 124.26 | 117.72 | 2866.12 | 487.42 | 1393.02 | 2192.48 |
| L1法 | 691 | 117.47 | 103.65 | 2919.48 | 349.82 | 1927.89 | 1430.54 |

n: カウント本数 v: 平均値の分散 (林縁無修正)

N, V, Σgh は1000で割った値。

表 10. 収穫表による $F' \times \Sigma gh$ の精度

| | 推 定 値 | | | 標 準 誤 差 | | | 信 頼 幅 | | |
|-----------------------|-------|-----------|-------|---------|-----------|-------|-------|-----------|-------|
| | B 法 | | L 1 法 | B 法 | | L 1 法 | B 法 | | L 1 法 |
| | $K=4$ | $K=2, 25$ | | $K=4$ | $K=2, 25$ | | $K=4$ | $K=2, 25$ | |
| V | 796.8 | 772.2 | 827.0 | 27.9 | 27.3 | 22.5 | 58.4 | 57.2 | 47.0 |
| $F \times \Sigma gh$ | 793.4 | 770.4 | 826.1 | 27.8 | 27.7 | 21.8 | 58.2 | 58.0 | 45.6 |
| $F' \times \Sigma gh$ | 825.6 | 801.6 | 860.0 | 28.9 | 28.8 | 22.7 | 60.4 | 60.5 | 47.4 |

毎木調査値 $V=817.4$ $F'=0.4980$

- (ロ) 標本点10点A 表 4
- (ハ) " 10点B 表 5
- 2) 林縁修正の場合
 - (イ) 標本点20点 表 6
 - (ロ) " 10点A 表 7
 - (ハ) " 10点B 表 8
- 3) 効率
 - (イ) 標本点20点 表 9

分析は、標本点20点の場合のみによって行なったが、標本点10点A、標本点10点Bは参考資料として掲げておいた。

まえがきに述べたように、ピッターリッヒ法 (B法)、円形プロット法、L 1法の3種の抽出法の精度を比較するために、各抽出法における平均拡大面積を等しくすることを考え、比較基準を同一にしたわけであるが、標本点20点の場合の林縁無修正と林縁修正に分けて各推定 ($N, \bar{d}, \bar{h}, G, V, \Sigma gh, F \times \Sigma gh$) における精度の検討を (1) B法 ($k=2.25$)、L 1法、円形プロット法 (大円プロット) の3種間、および (2) B法 ($k=4$)、円形プロット法 (小円プロット) の2種間についてそれぞれ行なった。

まず林縁無修正の場合、 N 推定においては (1) では、円形プロット法、L 1法、B法、(2) では、円形プロット法、B法の順に精度がよく、 N 推定では、円形プロット法がすぐれていることがわかる。 \bar{d} 、 \bar{h} 推定では、(1)、(2)の比較において、どの抽出法でも変わりがなく、また、非常に高い精度であることもわかる。そして林縁修正しなくても毎木調査値が信頼区間にはいっていることは、比推定による \bar{d} 、 \bar{h} 推定に偏りの少ないことを示している。また標本点10点A、Bの場合を参考までに見ると、10点でも非常によい推定値と精度を示している。

G 推定でもあまり差はないが、強いて述べれば、(1)ではB法、円形プロット法、L 1法、(2)では円形プロット法、B法となるが、毎木調査値との差を考慮すると差がないと考えてよく、また V 推定においては、(1)では円形プロット法、L 1法、B法、(2)ではB法、円形プロット法の順に精度がよく、結局、 G, V 推定においては、どの抽出法がすぐれているというはっきりした結果はでてこないようである。 Σgh 推定においては、L 1法、B法の順に精度がよく、L 1法が Σgh 推定ではすぐれていることがわかる。また、林縁無修正でも各推定 ($N, \bar{d}, \bar{h}, G, V, \Sigma gh$) において、毎木調査値が信頼区間にはいり、また、毎木調査値に対する誤差の百分率も7%以下で、この林分の場合は林縁修正しなくても、十分な結果は期待できるであろう。上述の林縁無修正の結論が、林縁修正後にもあてはまるかどうかを検討してみ

よう。

円形プロット法において今回の調査では、円形プロットがはみだす場合がなく、正確な比較はできないが、(1)の場合、円形プロット法は林縁無修正値を林縁修正値とみなして用いると、 N 推定においては、円形プロット法、B法、L1法の順で精度がよく、 G 推定では、円形プロット法、B法、L1法、 V 推定では、L1法、円形プロット法、B法の順によく、結局林縁修正値においてもどの抽出法がよいというはっきりした傾向はない。また、 Σgh 推定においては、B法の内接円法が標準誤差を過少に表わしていることを考えると、L1法が、精度がよいという結論は一応首肯できるであろう。ここで、ストランド法（ Σgh , $F \times \Sigma gh$ 推定）に関して若干の考察を加えると、ストランド法は、胸高直径を測り、 Σgh の標本推定値 $\Sigma d^2/10$ を出し、これに林分形数 F を掛けて $F \times \widehat{\Sigma gh}$ により、林分材積を推定するものであるが、ビッターリッヒ法でも、材高を測定し、 Σgh の標本推定値を求めることができる。 Σgh 推定においては、前述のようにL1法が精度がよいことがわかったが、当然、 $F \times \Sigma gh$ 推定においても、 F を毎木調査値で算出したので、L1法、B法の順に良い。また、 V 推定と $F \times \Sigma gh$ の推定を比較すると、L1法による $F \times \Sigma gh$ 推定は、 V 推定での円形プロット法、L1法と同程度の良い精度を示している。

ここで、林分形数 F を、茨城地方スギ林林分収穫表により、計算してみよう。これを F' とすると、 $F' = V/G\bar{H}$ となる。ここで、 V :主副林木幹材積、 G :主副林木 ha 当たり胸高断面積合計、 \bar{H} :主副林木平均樹高である。理論的には、 $(V/\Sigma gh) < (V/G \cdot \bar{H})^{91}$ の関係にあるが、主副合計値は収穫表では、 G , \bar{H} , が得られないので、主林木合計値のみで、計算を行なった。44年生で、平均樹高（ただし、主副合計値）20.3mは、地位1等に属し、各、 V , G , \bar{H} を林齢40年、45年のものから、比例配分で計算すると $F' = V/G\bar{H} \doteq 0.4980$ となる。これより $F' \times \Sigma gh$ を計算し、 V 推定、および $F \times \Sigma gh$ 推定との比較を表10に表わした。

毎木調査値の $F = 0.4786$ を用いた場合 ($F \times \Sigma gh$)と収穫表から計算した $F' = 0.4980$ の場合 ($F' \times \Sigma gh$)を比較しても、推定値、標準誤差、信頼幅においてはほぼ近い値がでていて、また $F' \times \Sigma gh$ 推定において毎木調査値が信頼区間には入っている。ストランド法は実行上からも、ビッターリッヒ法よりも容易であるから、今後は広く用いられるべきものと考えられ、したがって F についての研究が必要となろう。

最後に効率の問題を検討すると、今までの比較は、カウント本数は全然考慮に入れていなかったが、(1)円形プロット法（大円プロット）、B法 ($k=2.25$)、L1法、(2)円形プロット法（小円プロット）、B法 ($k=4$)の2とおりの比較において、表9にみられるように、若干違ってくる。したがって、前述（IV、算出式内容の項）のように費用はカウント本数に比例し、プロット設定時間を無視すると仮定すると、効率は、カウント本数 \times 平均値の分散であるから、これをその尺度としてよい。

表9から N 推定では、小円、大円、B法 ($k=2.25$)、L1法、B法 ($k=4$)、 V 推定では、大円、小円、B法 ($k=4$)、L1法、B法 ($k=2.25$)の順に効率がよく、結局 N , V 推定では、円形プロット法が効率がよく、B法、L1法は同程度の効率とみてよい。また、 G 推定では、B法 ($k=2.25$)、大円、小円、L1法、B法 ($k=4$)の順によく、B法 ($k=2.25$)と円形プロット法（大円、小円プロット）が効率がよいという結果になっている。

したがって、全体的にとりまとめると、円形プロット法は、精度、効率*の点で、 N 推定においてはす

* 円形プロット法ではプロットの境界を定めるのにかなりの時間を要するが、ここでは一応これを除外して考えてみた。この時間をいれると円形プロット法の効率は落ちるであろう。

ぐれている。G 推定では、B 法、円形プロット法が、精度、効率の点ですぐれているといえる。V 推定において、精度の点では、どの抽出法がすぐれているとは一概にはいえないが、効率の点では円形プロット法がよい。L 1 法は、 Σgh 推定で精度と効率の点で、B 法よりやや良いとみてよいであろう。今回の調査は、小標本を用いている点、および調査地が過密林分である点、測定誤差を含めた計算結果である点など、考慮すべき問題が含まれている。したがって、この結果が普遍的にいえるかどうかは、今後さらに疎な林分、中庸な林分、あるいは天然林などで検討を加えていく必要がある。

結 び

林縁無修正および林縁修正の場合に共通して、N 推定では、精度、効率の点で、円形プロット法がよく、G 推定では、B 法、円形プロット法が、精度、効率の点でよい。

V 推定においては、精度ならびに効率の点でどの抽出法が良いという傾向はでてこない。 Σgh 推定においては L 1 法がすぐれている。また $F \times \Sigma gh$ 推定による材積推定も精度がよいので今後は F の研究が必要になる。

\bar{d} , \bar{h} 推定では、どの抽出法でも変わりがなく、精度は非常によい。林縁無修正値でも実用的には、十分期待できる値が得られるであろう。今回の研究は、標本点 20 点という小標本によること、および過密林分での結論であることを考えると、この結論が一般的にいえるかどうかは、さらに検討を加えていく必要がある。

文 献

- 1) 大友栄松：森林調査におけるプロットレスサンプリングに関する理論的研究，林試研報，241，31～164，(1971)
- 2) ————：プロットレスサンプリング，統計数理研究所，1～31，(1966)
- 3) ————：同上，28～29，(1966)
- 4) ————：同上，25～27，(1966)
- 5) ————：同上，32～33，(1966)
- 6) ————：同上，35，(1966)
- 7) ————：同上，32～33，(1966)
- 8) ————：同上，ア) 法，32，(1966)
- 9) 薬袋次郎・大友栄松：林分形数表の作成に関する研究（未発表）