

(研究資料)

プロットレスサンプリングについての若干の考察

樋 渡 ミ ヨ 子⁽¹⁾・大 友 栄 松⁽²⁾Miyoko HIWATASHI⁽¹⁾ and Eishoh ONTOMO⁽²⁾: Some Study
on the Plotless Sampling Methods

(Research materials)

1. ま え が き

1948年にオーストリアのビッターリッヒが、林分の単位面積あたり断面積の推定方法を発案したのを初めとして、プロットレスサンプリングに関する紹介や、実験例が内外で数多く発表されている。この方法に対する欠点もいくつか指摘されているが、とにかく今までの標準地調査に比べると、簡単に早く調査できることが大きな利点となっている。そのために、ビッターリッヒの理論を発展させ、林分の平均胸高直径、平均樹高、単位面積あたり材積等の林分構成上必要な数値をなるべく簡単に、しかも正確に推定するための研究がいろいろとなされている。

ここでは、ポイントサンプリングの林縁修正法として、増山元三郎がインドの Sankhya 誌の中で提案した方法を実験し、大友の内接円法との比較を試みた。

またラインサンプリングでは、線分を方向を全標本点で一定にした場合と、標本点ごとで線分のかえた場合との比較を行なった。これは、ストランドのラインサンプリング法を大友が発展させた2とおりの方法の1つ(L1法)を用いた。

なお、この実験で用いた諸方法の原理、計算方法などは、末尾の参考文献にくわしく述べられているので、ここでは簡単な紹介にとどめる。

2. 調 査 の 方 法

調査は1968年5月に前橋営林署管内権田担当区の35年生スギ人工林について、航空写真材積表作成のためにとった調査地を利用して行なった。標本地は50 m×80 mの区画である。

まず標本地内を10 m×10 mに区分し、毎木調査を行ない、立木位置図を作成した。

以下簡単にこの調査で用いた方法を述べることにする。

ポイントサンプリングでは、30個の標本点をランダムにおとした。増山による林縁修正法¹⁾、Sankhya 誌に「Distance Count Sampling Method」と題して、新しい測定方法を発表した中に述べられている。かれはビッターリッヒの方法を Angular Count Sampling Method と称し、「かれの方法は非常に精巧であるが、木の断面が円で、かつ、木が透明であるという仮定に立っている。そうでなければ、かれの方法は偏りをもった推定値を与えるだろう」と述べている。そして増山自身の方法は、この2つの仮定を除き、その代わりに断面の凸性だけを仮定している。実際には、調査者は、ランダムに選ばれた標本点に立って、レンジ・ファインダーを通してみた時、定められた値 r_i よりも小さな距離にあるすべて

の木を数えるだけでよい。この理論的証明は省略するが、この方法での林縁修正法として、「林縁に沿って r_i の距離だけ拡大した中で、視測点を選べばよい」としている。

距離 r_i は、林分の木の高さによって異なる。それをここで適用するためには、この林分の最大胸高直径は約 30 cm で、断面積定数を 4 としたので、拡大円の半径に近い 8 m を林縁に沿って広げることになる。つまり、標本地が 50 m × 80 m であるから、拡大したのを含めると 66 m × 96 m の面積となる。標本点はこの中の 1 m 格子点上から 30 個をランダムに選んだ。そして標本点でカウントされる木は、もとの標本地内の木だけである。

推定値は、(拡大面積/標本地面積)を乗じて修正しなければならない。

内接円法は、標本点と木の距離が、木と最も近い林縁との距離より短いときはカウントされ、長いときはカウントされない。これは、林縁からはみだす拡大円をもつ木は、断面積定数がそれぞれ異なることを意味している。たとえば、図1でAという木の胸高断面を g_A 、Aから最も近い林縁までの距離を l とすると、その断面積定数は $(g_A = 10,000)/\pi l^2$ となる。ここでの標本点は、増山法で拡大面積におちた点を標本地内で再抽出しなおし、30点とした。

なお、増山法は現地調査をしたが、内接円法は立木位置図から読みとった。

つぎに、ラインサンプリングだが、この方法はもともストランドが発案したものである。かれは、林内の傾斜方向に $5\pi(m) = 15.7(m)$ の線分を設け、この線分の片側の木から、この直線におろした垂線の長さが、その木の胸高直径の50倍より短い時に、この木の胸高直径を測り、 d_r とする。また樹高の1/2より距離が短いときの木の直径を d_e とすると

$$\text{ha あたり材積} = (F/10) \sum d_e^2 \quad F: \text{林分係数}$$

$$\text{〃 断面積} = (1/10) \sum d_r^2$$

となる。これはストランドとビッターリッヒ、より一般的には大友により証明されている。

大友はストランドの方法を発展させて、次のことを考案した³⁾。線分の方角をあらかじめランダムに定め、林内にランダムにおとした標本点で、その方向に線分を設ける。線分の長さは 25 m を限度として、通常は、線の片側のみ検視するときは 20 m、両側のときは 10 m がよいとしている。定角は、 $\tan \alpha = 2$ となるように $\alpha = 60^\circ 30'$ とし、線の長さと定角に応じた係数が作成されている(以下 L1 法という)。ここで、線分の方角は一定にすることになっているが、線分の方角を一定にしても、標本点ごとにランダムにかえても、各木の抽出確率は不変であることが証明されている(統計数理研究所の石田、都立大学の本部 均および大友)。したがって、林分の各因子の不偏推定値は、どちらの場合でも同じ推定方式を用いてよいことになる。

標本点は 10 m × 10 m の交点 28 点として、線分はこの点を中心に 5 m ずつとり、両側検視を行なった。そして、

- イ) 線分の方角を等高線に対して垂直に一定にした場合(南北方向)。
- ロ) 線分の方角を等高線に対して平行に一定にした場合(東西方向)。
- ハ) 標本点ごとにランダムな方向にした場合。

について調査した。イ)、ハ)は現地調査を行なったが、ロ)は立木位置図から読みとった。さらに、現地調査と立木位置図からの読みとりとの間の関係を知るために、

- ニ) 南北方向の立木位置図からの読みとり。

を行なった。

ここで問題となったのは、図2を見れば明らかなように、ラインサンプリングの標本点の選ばれ方が、標本地を正しく把握できるようにおとされていないということである。林縁に最も近い点でも、林縁から10m離れており、しかもシステムティックに配列されているために、この標本点の表わす標本地を50m×80mとするとバイアスが生じることが想像される。そこで、バイアスを少なくするような標本地を考え、そこから求められる毎木調査値を計算した。それは、図2の点線内の区画で、40m×70mである。

つぎに、ここで用いた ha あたり胸高断面積 (G)、材積 (V)、本数 (N) および平均胸高直径 ($\bar{D}$)、平均樹高 ($\bar{H}$) の推定式について述べる。 ha あたり諸因子の推定式は

$$y_k = \sum_{j=1}^N \frac{\delta_{kj} x_j}{a_j} \dots\dots\dots (1)$$

x_j : j 番目にカウントされた木の特注値。

a_j : j 番目にカウントされた木に対応する拡大面積。

δ_{kj} : j 番目の木の領域に含まれる π_k に点 k がおちたときは1、そうでないときは0 (図3参照)。を一般式として用いた。 a_j は、ポイントサンプリングでは、カウント木の胸高断面の拡大面積となり、ラインサンプリングでは、 $l \cdot h_j \cot \alpha$ となる。すなわち、 $l=10m$, $\tan \alpha=2$ とすると

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^N \frac{\delta_{kj} x_j}{a_j} &= \sum_{j=1}^N \frac{\delta_{kj} \cdot x_j \cdot \tan \alpha}{l \cdot h_j} \\ &= \sum_{j=1}^N \frac{\delta_{kj} x_j}{h_j} \times 2,000 \dots\dots\dots (2) \end{aligned}$$

で、(1) 式の一般形に一定の定数を乗ずればよいことになる。 $\bar{D}$, $\bar{H}$ の推定値は、この方法で ha あたり直径、樹高を求め、 ha あたり推定本数で割ればよい。

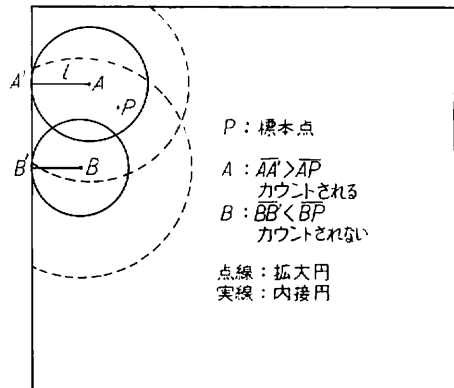


図 1. 内接円法の例

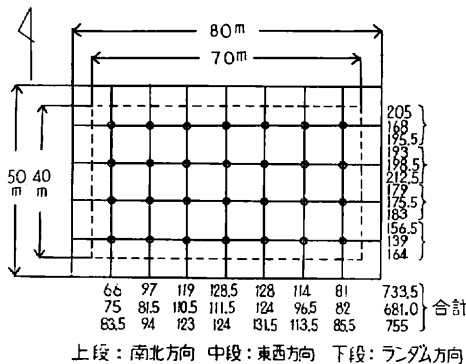


図 2. ラインサンプリングの標本点

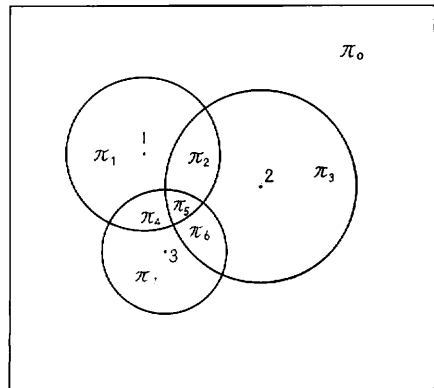


図 3. プロットレスサンプリングのモデル

$$\bar{D} = \frac{\sum_{k=1}^m \sum_{j=1}^N \frac{d_j}{a_j} \delta_{kj}}{\sum_{k=1}^m \sum_{j=1}^N \frac{1}{a_j} \delta_{kj}}, \quad \bar{H} = \frac{\sum_{k=1}^m \sum_{j=1}^N \frac{h_j}{a_j} \delta_{kj}}{\sum_{k=1}^m \sum_{j=1}^N \frac{1}{a_j} \delta_{kj}} \quad \dots\dots\dots (3)$$

分散の推定値は、ha あたり推定値では、単純任意抽出法の計算をそのまま用い、 $\bar{D}$ 、 $\bar{H}$ は、比の分散の推定式を用いる。一般的には次のとおりである。

$$V(\bar{x}) = \frac{m}{m-1} \cdot \frac{1}{\left\{ \sum_{k=1}^m \left(\sum_{j=1}^N \frac{\delta_{kj}}{a_j} \right)^2 \right\}} \cdot \sum_{k=1}^m \left(\sum_{j=1}^N \frac{\delta_{kj} x_j}{a_j} - \bar{x} \cdot \sum_{j=1}^N \frac{\delta_{kj}}{a_j} \right)^2 \quad \dots\dots\dots (4)$$

用いた器械は、ポイントサンプリングはレラスコープ、ラインサンプリングはコノメータである。

3. 調査の結果と考察

いままで述べた方法にしたがって調査したポイントごとの値を表1に示し、その値を用いて推定した結果を、表2と表3に示した。

イ) ポイントサンプリング

ポイントサンプリングは表2のとおりで、推定値では、増山法は毎木調査値に比べて、 $\bar{H}$ を除き少なくなっているが、非常に近似した値を示している。したがって、百分率誤差も $\bar{H}$ の+0.28%と V の-3.03%の間にあって小さい。一方、内接円法も、ha あたり本数を除き、毎木調査値よりも小さく、なかでも

表 1. ポイントごとの本数および各推定値

イ) 増 山 法

Point No.	ΣN	$\bar{D}$	$\bar{H}$	N/ha	G/ha	V/ha
1	6.0	23.56	16.41	848.44	38.02	309.26
2	16.0	16.57	13.73	4565.44	101.38	737.12
3	14.0	17.46	15.07	3576.12	88.70	686.00
4	3.0	28.65	17.36	293.21	19.01	137.80
5	0	0	0	0	0	0
6	9.0	20.22	15.33	1711.88	57.02	448.88
7	0	0	0	0	0	0
8	8.0	14.10	13.13	3133.94	50.69	351.58
9	5.0	16.94	12.23	1362.70	31.68	207.82
10	12.0	22.83	15.46	1815.72	76.03	578.35
11	0	0	0	0	0	0
12	14.0	16.13	13.94	4224.30	88.70	642.51
13	0	0	0	0	0	0
14	8.0	17.00	15.12	2171.98	50.69	394.75
15	1.0	22.20	14.00	163.68	6.34	41.57
16	11.5	17.99	14.50	2750.63	72.86	554.04
17	13.0	15.05	12.94	4487.52	82.37	571.79
18	7.0	13.15	20.63	1306.47	44.35	303.05
19	1.0	27.30	17.00	108.25	6.34	52.72
20	9.0	17.58	15.09	2279.25	57.02	444.51
21	2.0	21.64	16.64	333.26	12.67	103.07
22	7.0	19.76	15.89	1402.74	44.35	363.70
23	0	0	0	0	0	0
24	13.0	16.76	15.43	3617.36	82.37	669.25
25	11.0	23.40	15.96	1598.53	69.70	546.53
26	7.5	18.53	16.25	1712.08	47.52	405.53
27	8.0	24.27	16.49	1086.90	50.69	405.89
28	11.5	21.80	16.57	1926.06	72.86	585.15
29	10.5	18.62	14.68	2285.69	66.53	514.35
30	8.5	23.59	18.20	1211.05	53.86	496.30

V と G は、その差が大きく、百分率誤差でそれぞれ -9.12 、 -8.06% と過少推定になっている。標準誤差は、想像されるとおり大きい²⁾。これについて増山は、「面積の拡大は、推定値の分散を増大させるが、幸なことに、もし土地が充分大きく、しかも余り細長くないならば、この偏りは無視しうる程小である」と述べている²⁾ように、もともとサンプリングが必要なのは、十分に大きな林分の場合であって、ここでテストしたような小面積では、偏りが大きくなるのは当然であろう。事実、標本地 $4,000\text{m}^2$ 、拡大面積 $2,336\text{m}^2$ で、標本地の $1/2$ 強も拡大面積が占めていることになる。標本点も、30点のうち8点が拡大面積におち、カウント本数が0の点が、5点もあることから明らかである。

内接円法も増山法とはほぼ同じ程度である。この方法の提案者である大友は、「標準誤差がやや大きくなる欠点がある」と認め、かれの提案した別のもう1つの方法(カウント木の拡大円が標本地の外にはみだす木については、標本地内の面積を図または計算により算出し、(1)式の a_j を求める方法である)の方が標準誤差が小さいので、狭い地域ではこの方法を用い、広い地域では内接円法を用いたらよいと述べている²⁾。このように両方法の提案者とも標準誤差が大きくなることにふれており、小面積でその傾向が増大することは、しかたのないことだと言える。

ロ) ラインサンプリング(林縁無修正, L1法)

L1法の結果を取りまとめたのは表3に示されている。前にふれたように、ここでの標本地は、林縁にそって5mずつ内側にとった $40\text{m} \times 70\text{m}$ である。推定値は全体の傾向として、ランダム方向が大きく、一定方向は3種類とも小さい。なかでも、東西方向は、haあたり諸因子の推定値が約7~9%も小さく、

ロ) 内 接 円 法

Point No.	ΣN	$\bar{D}$	$\bar{H}$	N/ha	G/ha	V/ha
1	3.0	24.82	16.21	318.56	15.53	122.00
2	16.0	16.57	13.73	2882.22	64.00	465.35
3	12.0	16.90	14.87	2083.81	48.00	361.55
4	3.5	24.10	16.18	907.19	34.45	319.79
5	11.0	18.67	16.29	1577.04	44.00	380.60
6	9.0	20.22	15.33	1080.73	36.00	283.38
7	12.0	13.97	11.77	2875.64	48.00	320.12
8	8.0	14.10	13.13	1978.50	32.00	221.96
9	2.0	13.58	10.14	5075.07	74.14	430.05
10	6.0	23.22	15.60	566.46	24.67	194.09
11	9.0	21.48	16.69	1261.61	46.47	378.66
12	13.0	16.02	13.92	2611.95	54.06	392.61
13	12.0	19.69	15.45	1543.17	48.00	384.68
14	8.0	17.00	15.12	1371.20	32.00	249.21
15	10.0	16.19	13.02	1868.80	40.00	279.63
16	11.5	17.99	14.50	1736.51	46.00	349.77
17	13.5	15.05	12.94	2833.03	52.00	360.98
18	5.0	21.21	13.27	598.95	21.52	146.18
19	5.0	21.73	16.21	1643.50	61.47	505.15
20	5.0	14.96	12.93	6457.22	117.57	826.72
21	7.5	22.22	15.35	750.01	30.00	232.96
22	3.0	20.71	16.83	820.60	28.14	250.60
23	11.0	21.89	16.37	1137.31	44.00	349.86
24	6.0	17.81	16.02	982.30	24.63	209.58
25	7.0	22.88	16.13	670.66	28.00	224.36
26	3.0	16.14	15.81	1237.66	25.33	205.37
27	8.0	24.29	16.48	699.29	32.67	261.45
28	11.5	21.85	16.61	1235.25	48.94	377.59
29	10.5	18.62	14.68	1442.98	42.00	324.72
30	7.5	21.38	16.19	1266.58	52.17	497.65

ハ) ランダム方向

Point No.	ΣN	$\bar{D}$	$\bar{H}$	N/ha	G/ha	V/ha
1	14.5	21.67	15.63	927.41	35.29	277.87
2	17.0	20.73	15.24	1115.37	39.02	300.24
3	30.0	19.23	15.66	1913.71	57.17	470.37
4	32.5	17.57	15.34	2119.24	53.24	427.95
5	32.5	18.30	15.47	2100.40	57.60	472.30
6	22.5	19.13	15.49	1452.58	43.02	355.44
7	15.0	21.14	15.57	963.36	34.65	275.52
8	22.0	21.68	15.59	1411.13	54.53	426.09
9	21.0	19.94	15.08	1392.67	45.50	351.15
10	31.0	17.55	14.30	2168.39	54.74	415.29
11	30.0	16.92	13.54	2216.28	51.18	363.38
12	31.0	17.37	14.18	2186.63	53.54	402.28
13	29.0	17.70	14.41	2011.89	51.43	390.88
14	19.0	18.63	14.55	1305.55	37.95	291.94
15	24.0	22.23	15.90	1519.38	61.78	486.95
16	26.5	18.43	14.72	1799.75	49.78	381.42
17	29.0	16.75	13.05	2200.00	51.57	359.14
18	32.5	15.65	12.28	2646.77	52.44	345.87
19	37.0	16.47	13.86	2669.96	58.29	424.50
20	33.0	17.55	14.38	2294.57	57.14	427.53
21	30.5	18.71	14.12	2160.53	62.14	451.05
22	23.0	21.96	16.86	1364.25	53.64	453.24
23	29.5	18.33	15.86	1859.75	50.96	427.32
24	33.0	15.45	14.57	2264.64	43.37	337.27
25	29.0	16.19	13.31	2179.53	46.25	326.51
26	31.0	16.42	13.69	2264.75	49.33	356.99
27	29.0	18.64	15.40	1883.52	52.75	414.46
28	21.0	20.44	15.74	1334.52	45.19	354.10

ニ) 南北方向 (現地)

Point No.	ΣN	$\bar{D}$	$\bar{H}$	N/ha	G/ha	V/ha
1	12.0	22.63	15.78	760.45	31.22	245.16
2	19.0	20.41	15.40	1233.92	42.18	334.96
3	28.0	18.62	15.50	1806.10	50.99	413.20
4	30.0	17.94	15.44	1942.41	50.88	410.88
5	26.0	18.20	15.33	1695.48	45.81	373.60
6	21.5	19.24	15.32	1403.74	41.86	335.20
7	14.5	20.21	15.34	945.29	30.72	240.51
8	17.0	21.04	15.71	1081.78	39.40	311.71
9	24.0	19.28	14.82	1619.53	49.68	381.68
10	29.0	17.66	14.34	2022.65	51.70	393.38
11	27.0	16.62	13.53	1995.47	44.63	317.29
12	30.5	17.72	14.16	2153.25	54.69	405.98
13	24.5	19.05	15.16	1615.57	47.02	368.62
14	19.0	18.63	14.55	1305.55	37.95	291.94
15	18.0	20.61	15.15	1187.89	41.53	317.65
16	28.0	19.82	14.81	1890.18	61.21	465.74
17	29.0	16.74	13.04	2224.77	51.30	356.78
18	34.0	15.48	12.19	2788.70	54.01	356.39
19	33.0	16.78	14.17	2328.54	52.57	394.56
20	28.5	17.64	14.35	1966.04	50.01	372.59
21	24.0	17.73	13.67	1755.14	45.24	322.72
22	17.0	21.30	16.83	1010.22	37.54	319.38
23	28.0	18.59	15.91	1760.15	50.12	419.41
24	32.5	15.99	14.69	2211.74	45.50	359.89
25	29.0	16.08	13.35	2172.94	45.44	320.75
26	34.0	16.61	13.90	2445.93	54.64	399.55
27	30.5	17.52	14.79	2061.54	51.28	394.75
28	23.0	19.87	15.61	1473.53	47.26	369.05

ホ) 南北方向（机上）

Point No.	ΣN	$\bar{D}$	$\bar{H}$	N/ha	G/ha	V/ha
1	13.0	22.02	16.76	775.63	30.12	236.12
2	19.0	20.52	15.47	1228.43	42.35	335.01
3	26.5	18.91	15.55	1703.72	49.44	401.93
4	31.5	17.75	15.40	2044.80	52.53	424.42
5	27.5	18.52	15.53	1770.37	49.45	406.14
6	24.5	18.08	14.51	1680.22	46.29	372.42
7	14.5	20.40	15.40	941.82	31.22	245.29
8	17.0	21.04	15.71	1081.78	39.40	311.71
9	24.0	19.43	14.87	1614.04	50.06	384.03
10	29.5	17.68	14.31	2062.11	52.78	401.14
11	31.0	17.01	13.87	2234.79	52.36	383.78
12	32.5	17.91	14.30	2272.17	58.88	440.28
13	25.0	19.21	15.22	1642.36	48.63	380.91
14	20.0	18.69	14.67	1363.63	39.71	307.77
15	17.0	20.95	15.30	1110.97	40.04	307.27
16	27.0	19.98	15.22	1774.11	58.00	448.14
17	29.0	17.20	13.45	2156.68	52.19	371.09
18	33.0	15.30	12.14	2717.27	51.37	338.18
19	35.0	16.69	14.17	2469.77	55.27	413.73
20	29.0	17.95	14.55	1992.78	51.85	388.39
21	23.0	17.83	13.66	1683.71	43.90	312.29
22	19.0	20.19	16.55	1148.32	39.24	334.21
23	27.0	18.33	15.94	1693.48	47.09	395.92
24	34.0	15.71	14.59	2330.78	46.51	365.14
25	33.0	15.85	13.28	2485.28	50.58	356.77
26	33.0	16.44	13.82	2388.31	52.24	382.62
27	35.5	17.68	14.95	2374.23	60.18	464.94
28	23.5	19.82	15.64	1502.70	47.94	375.61

ヘ) 東西方向（机上）

Point No.	ΣN	$\bar{D}$	$\bar{H}$	N/ha	G/ha	V/ha
1	15.0	21.60	15.70	995.19	36.04	282.36
2	15.0	20.62	15.21	986.20	34.27	265.99
3	23.0	18.25	15.09	1523.77	40.93	326.18
4	26.5	17.34	15.23	1739.58	42.33	343.73
5	28.0	18.40	15.37	1821.34	50.03	401.67
6	17.5	20.03	15.87	1102.76	35.72	299.74
7	14.0	20.82	15.63	895.78	31.14	248.02
8	19.5	21.63	15.52	1256.48	48.39	376.48
9	19.0	18.79	14.90	1275.14	36.50	278.78
10	30.0	17.44	14.12	2124.61	52.68	393.40
11	31.0	16.59	13.71	2260.31	50.16	367.97
12	32.0	17.44	14.28	2241.56	55.34	415.43
13	21.5	18.95	15.11	1422.55	41.23	327.51
14	22.5	18.56	14.56	1545.81	44.24	337.05
15	22.5	21.80	15.70	1432.78	55.81	438.85
16	23.5	19.23	15.04	1562.14	47.02	364.62
17	30.5	16.47	13.35	2284.25	50.81	359.83
18	29.0	15.33	12.03	2410.32	45.90	299.31
19	34.0	16.43	13.96	2435.03	52.97	388.10
20	31.5	17.80	14.43	2183.09	55.61	420.40
21	27.5	18.83	14.15	1943.43	56.68	412.53
22	18.0	21.65	16.59	1084.74	41.88	345.48
23	24.0	18.27	15.65	1533.83	41.34	340.69
24	27.0	15.14	14.25	1894.40	34.71	262.74
25	25.0	15.30	12.73	2964.00	37.42	252.65
26	30.0	16.50	13.97	2147.62	47.35	349.54
27	26.0	17.71	14.99	1733.97	43.76	336.80
28	18.0	20.74	15.79	1139.96	39.83	311.74

材積と断面積は、95%信頼度による信頼区間の中に、毎木調査値が含まれないという結果になった。同じ一定方向でも、等高線に対し垂直な場合と平行な場合で、このように違う原因はどこにあるのだろうか。これをカウント本数について調べてみよう。カウント本数は、図2に示したように同じ点でも線の方によって著しく本数の異なるラインのあることがわかる。合計本数では、最も多いランダム方向（机上）の755本に対して、最も少ない東西方向の681本で、51本も後者が少なくなっている。このようにカウント本数が少ないために、 h_a あたり推定値が過少な値となって示される。

縦線は、林縁に近い両端で、ランダム方向、東西方向、南北方向（机上）の順に小さくなっているが、林地の中央部では、東西方向が他の2つに比べて、ずっと少ない。横線ではほぼこれと逆の傾向にある。これは、縦線では南北方向が、横線では東西方向がより多く林縁に接している面が多いからで、林縁に接している面の多い方が本数が少なく、明らかに林縁効果に影響されていると言える。ことに、このように小面積では、林縁を修正しないで精度をうんぬんすることはできないだろう。しかし、同一面積でしかも同じ標本点を取りながら、線の方角が違っただけで、このような開きが出てくる場合のあることに注意する必要があるだろう。ただし、 $\bar{D}$ 、 $\bar{H}$ の推定値は比較的毎木調査値に近く、標準誤差も小さい。

表 2. 増山法と内接円法による調査結果

	毎 木 調 査 値	推 定 値		標 準 誤 差		信 頼 限 界		誤 差	
		増山法	内接円法	増山法	内接円法	増山法	内接円法	増山法	内接円法
$\bar{D}$ cm	18.3261	18.1113	17.3807	0.5086	0.6430	1.0400	1.3149	-0.2148 (-1.17)	-0.9454 (-5.16)
$\bar{H}$ m	14.6770	14.7177	14.0303	0.2792	0.4683	0.5709	0.9576	+0.0407 (+0.28)	-0.6467 (-4.41)
N/ha 本	1695.00	1665.73	1717.13	163.76	240.15	334.89	491.11	-29.27 (-1.73)	+22.13 (+1.31)
V/ha m ³	363.3745	352.3508	330.2202	27.7492	24.7044	56.7471	50.5205	-11.0237 (-3.03)	-33.1543 (-9.12)
G/ha m ²	46.9810	45.7248	43.1920	3.6384	3.5606	7.4405	7.2814	-1.2562 (-2.67)	-3.7890 (-8.06)

注：() 内の値は百分率誤差

表 3. ラ イ ン サ ン プ リ

	毎 木 調 査 値	推 定 値				標 準 誤 差			
		ランダム 方 向	一 定 方 向			ランダム 方 向	一 定 方 向		
			南 (現地)	北 (机上)	東 西 (机上)		南 (現地)	北 (机上)	東 西 (机上)
$\bar{D}$ cm	18.1150	18.1615	18.0467	18.0155	18.0149	0.3308	0.2960	0.2972	0.3431
$\bar{H}$ m	14.6317	14.5898	14.5360	14.5964	14.5201	0.2018	0.2015	0.1977	0.2160
N/ha 本	1603.57	1848.16	1745.66	1794.72	1675.02	91.68	93.86	98.50	90.29
V/ha m ³	374.3136	384.5368	356.9043	367.3304	341.0566 [*]	11.3023	9.7535	10.3810	10.1842
G/ha m ²	48.6065	50.1242	46.6555	47.8504	44.6456 [*]	1.4005	1.3364	1.4040	1.4078

注 1) () 内の値は百分率誤差。

2) * 印は95%信頼度による信頼区間の中に毎木調査値が含まなかった。

3) 表1と表2の毎木調査値が異なるのは、ラインサンプリングの標本点を10×10mの交点としたために、標本

以上は林縁効果の修正を行っていないので、毎木調査値よりも小さな値であるべきはずなのに、ランダム方向では全推定値がプラスとなっている。これに修正を加えると過大な偏りになる。一定方向は、いずれも毎木調査値より小さいが、三者三様で、どれがよいかは修正を行なってみないが即断できない。またこの調査では、林地内を東西、南北方向に10m×10mのテープを張ったので、ラインの取り方が楽で、間違いが少なくすんだが、ランダム方向では、そのような便宜がなく、誤りが一定方向より多く含まれる可能性のある条件であったことは確かである。

ハ) 現地調査と立木位置図からの読みとりについて

南北方向について、現地調査と立木位置図から読みとった値の両者を比べてみよう。まず推定値では、 $\bar{D}$, $\bar{H}$ は同じような値になっているが、 h_a あたり推定値では、 N , V , G とも現地調査が大きい。これを毎木調査値との百分率誤差でみると、現地調査と立木位置図の値は、それぞれ N は -3.21%, -0.49%, V は -4.65%, -1.87%, G は -4.01%, -1.55% で、立木位置図から読みとった方が毎木調査値に近い。一方、標準誤差は、現地調査がわずかだが小さい。実際に、数えおとし等の理由からこの程度の差が生じることは、無理からぬことかもしれぬ。

なお、ランダム方向についても同様の試みを行えば、さらに両者の相違が見い出せたが残念ながらできなかった。

ニ) ポイントサンプリングとラインサンプリングについて

本来、林縁修正をしたのと、無修正のものを比べるのは無理であるが、傾向を知るために一べつしてみよう。

まず、 $\bar{D}$, $\bar{H}$ の推定値は、内接円法がやや小さい以外は、いずれもほぼ毎木調査値に近い。これは推定式が比の形式をとっているために、分母、分子で相殺されるためだろう。標準誤差は、ポイントサンプリングがラインサンプリングの約2倍になっているものもあるが、いずれも非常に小さい。

h_a あたり各因子は、推定値、標準誤差とも比較的まとまっているのは南北方向の立木位置図からの読み取った値で、増山法は推定値は良いが標準誤差が大きく、ラインサンプリングは、標準誤差は小さいが、推定値は不安定である。おそらく、ラインサンプリングで林縁効果を考慮すれば、推定値は良くなる

ン グ に よ る 調 査 結 果

信 頼 限 界				誤 差			
ランダム 方 向	一 定 方 向			ランダム 方 向	一 定 方 向		
	南北(現地)	南北(机上)	東西(机上)		南北(現地)	南北(机上)	東西(机上)
0.6787	0.6074	0.6098	0.6630	+ 0.0465 (+0.26)	- 0.0683 (-0.38)	- 0.0995 (-0.55)	- 0.1001 (-0.55)
0.4140	0.4133	0.4058	0.4432	- 0.0419 (-0.29)	- 0.0957 (-0.65)	- 0.0353 (-0.24)	- 0.1116 (-0.76)
188.13	192.59	202.13	185.27	+ 44.59 (+2.47)	- 57.91 (-3.21)	- 8.85 (-0.49)	- 128.55 (-7.13)
23.1923	20.0142	21.3018	20.8980	+10.2232 (+2.73)	-17.4093 (-4.65)	- 6.9832 (-1.87)	-33.2568 (-8.88)
2.8736	2.7423	2.8810	2.8887	+ 1.5177 (+3.12)	- 1.9510 (-4.01)	- 0.7525 (-1.55)	- 3.9609 (-8.15)

地を5mずつ内側にしたためである。

表 4. 調 査 法 別 効 率

	増 山 法	内 接 円 法	ランダム 方 向	一 定 方 向		
				南 北(現地)	南 北(机上)	東 西(机上)
$\bar{D}$	0.0179 (1.00)	0.00971 (0.54)	0.0121 (0.68)	0.0161 (0.90)	0.0154 (0.86)	0.0125 (0.70)
$\bar{H}$	0.0593 (1.00)	0.0183 (0.31)	0.0325 (0.55)	0.0347 (0.59)	0.0349 (0.59)	0.0315 (0.53)
N/ha	0.000000172 (1.00)	0.000000696 (0.40)	0.000000158 (0.92)	0.000000160 (0.93)	0.000000141 (0.82)	0.000000180 (1.05)
V/ha	0.00000600 (1.00)	0.00000658 (1.10)	0.0000104 (1.73)	0.0000148 (2.47)	0.0000127 (2.12)	0.0000142 (2.37)
G/ha	0.000349 (1.00)	0.000317 (0.91)	0.000675 (1.93)	0.000788 (2.26)	0.000692 (1.98)	0.000741 (2.12)

と思われる。

ホ) 効率について

以上の調査法のうち、どれが一番効率が良いかという判断は、その基準が非常にむずかしい。通常相対的な効率は、分散と費用を用い、総費用を標本数の関数で表わした費用関数が用いられている。そして分散、費用を一定にした場合の最適な標本数が求められるようになっている。

しかし、ここでは費用が不明なために、一応の目安として次によって効率を求めた²⁾。

$$\text{効率} = 1 / \{ (\text{標準誤差})^2 \times \text{カウント数} \}$$

カウントされた本数は次のとおりである。

		本 数	
ポ イ ン ト サンプリング	増 山 法	216.5本	
	内 接 円 法	249	
ラ イ ン サンプリング	ランダム方向		755
	一 定 方 向	南北(現)	710.5
		南北(机)	733.5
		東西(机)	681

この式は、効率は標準誤差とカウント数が大きい方が小さくなり、数値が大きいほど効率が良いことを意味している。表 4 には、今まで述べた 6 方法の効率が示されている。() 内の数値は、増山法の効率を 1 とした場合の比を表わしている。内接円法の $\bar{D}$ 、 $\bar{H}$ および ha あたり N 、またラインサンプリングの $\bar{H}$ が悪く、逆に ha あたり V 、 G ではポイントサンプリングが悪いのが目につく。

4. あ と が き

今回の実験は、サンプリングの調査例としては、面積が小さすぎたために、どの方法が測定方法、推定値の精度の面からいってすぐれているかという結論をつけることはできなかった。しかし、ラインの問題のように、理論的には同じであると証明されていても、実際に適用すると違いが生じたこと、また増山法、内接円法による標準誤差の大きさが明らかにされた。この調査では、推定値、効率とも比較的良好だった増山法は、実際の調査になると、林縁に沿って一定距離を拡大するのはむずかしいなど問題が多々起きることが想像される。林分面積の拡大が容易に許されれば、作業および数値の処理は、他の林縁修正法よりは、楽である。

なお、この調査は、無間伐の密生林分で行なわれた一事例で、林分によっては多少異なった結果が生じるかもしれない。

今後、さらに測定誤差、効率等の問題について詳細な解明が期待される。

文 献

- 1) 林野庁調査課編：積分幾何学を応用した森林調査法（関係論文集），19～29，（1956）
- 2) 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，（1971）