

經營	89
測定	26

森林測定研究資料

4

[*Bitterlich* 法に関する論文集]

昭和36年1月

農林省林業試験場経営部

まえがき

標本プロットの境界を定めずに、林分の単位面積当りの断面積が推定できる新しい測樹方法を、1947年に、W. Bitterlich氏が、Allgemeine Forst und Holswirtschaftliche Zeitungに発表して以来、欧米で非常な反響を巻き起し、新しい装置が、つぎつぎに考案され、森林調査にかなり広く利用されている。日本においては、九州大学の木梨謙吉氏が、1952年に林業経済誌上に、この方法を紹介したのを契機として、今日までに、多くの研究論文が発表され、測定装置も考案され、実用化されている。

この方法は、元来単位面積当りの断面積を推定する方法であるが、検視で“数えられる木”の直径を測れば、直径階別の単位面積当りの本数が推定でき、二変数材積表を用いるか、さらにそれらの木の樹高を測るか、標本木の材積を測定すれば単位面積当りの蓄積推定も可能である。しかも一人でも調査でき、調査時間も短縮されるので、従来のプロット調査法に比べて、優れた点を多くもっている。残念なことに、これまでの研究は、断面積のみを対象としたものが多く、林分構造、蓄積の推定まで論及したものは少なかった。又、この方法は一種の標本調査法であるが、その応用については、まだ多くの問題が残されている。

当研究室では林野庁の要請により、小班を対象とした森林調査方法の研究を行つていて、その一つの手段として、この方法を取り上げ、内外の文献を収集しているが、その一部を、ここに集録したもので、この方法の発展経過、判り易い原理の説明、欧米で考案された各種装置現地に適用した時の成果等に関する論文を主体として、アメリカ、イギリス、カナダで発表されたものである。誤訳があると思うが、この方法の実用化の一助として役に立てば幸である。最後に、いろいろと指導していただいた、大友測定研究室長に感謝する。

1961年2月

測定研究室 粟屋仁志

目 次

I	早くて簡単な、新しい蓄積推定法 (L. R. Grossenbaugh)	1頁
II	高地産広葉樹で行ったPlotless蓄積調査法のテスト結果 について (Gleason H. Deitchman)	19
III	新しい測樹方法 (David Bruce)	25
IV	南東部アルカンサス州でのプロットレス調査による粗材積の 推定 (T. E. Avery)	33
V	可変プロット調査法による調査結果について (Beltram Hasch)	39
VI	可変プロット調査法に関する私見 (Bertram Husch)	51
VII	北アルカンサスにおける二、三の小林地の蓄積調査設計の効 果について (C. Messavage, L. R. Grossenbaugh)	55
VIII	南東テキサス州における点調査法とプロット調査法との比較 (L. R. Grossenbaugh (W. S. Stover)	77
IX	Angle gaugesによるPlotless調査法 (H. D. S. Finch)	97
X	可変プロット法の森林標本調査への応用 (J. F. Bell, L. B. Alexander)	121
XI	Bitterlich法による森林調査の材積計算方法 (R. R. Morrow)	141
XII	点抽出調査用Harbard Forest式プリズム台 (F. M. Gould)	145
XIII	アングルゲージによる立木の形級の決定方法 (E. C. Gockerell)	151
XIV	Bitterlich法による森林調査—その原理 (Michael Afanasiew)	161

XV	Langleaf Pineの同令林の蓄積調査にBitterlich 法を用いた場合の二、三の成果について (M. Afemasiow)	165頁
XVI	可変プロット、樹高、傾斜補正用の計算尺 (A.R. Utage)	175
XVII	レラスコープの評価 (R.H. Kendall, S. Wittgenstein)	181
XVIII	林業経営における光学的樹の価値 (R.T. Bradley)	211

I. 早くて簡単な、新しい蓄積推定法

(L. R. Grosenbaugh)

I 早くて簡単な新しい蓄積推定法

Plotless timber estimates— new, fast, easy

L.R. Grosenbaugh

この論文は標本点から直径、樹高を測らずに本数を勘定するだけで、速く、正確に断面積を推定する方法を論じている。

材積、林分構造、立木度の推定も簡単に行なえる。

数年前Bitterlichにより考案されたエーカー当りの断面積および本数を推定する方法は、欧州では広く普及しているにもかかわらず、米国では見落されていた。この方法は、エーカー当り断面積を推定するのにPlot半径やd・b・hを測定する必要がない。その代わりに地上の点が分類される。

この方法の利用にあつて、調査員は、不偏的な方法で、調査対象林地内に選ばれた一組の点又は地点から視測できるあらゆる木のd・b・hを視測する。彼は簡単な測帯用のangle-gaulかoptical forkより大きくみえるd・b・hの数を数える。この数えられた総本数を標本点数で割り、ある常数を乗ざると、エーカー当りの平均断面積が推定されるであろう。普通の蓄積調査法の統計量は特別な方法で誘導されるであろう。

原理 Operating principles

この方式は地図や写真上においた点格子板の点を数えたことがある林業家には、親しみのある点抽出法を現場に適用したものに過ぎない。この方式の機能を理解するために、林木は胸高断面だけがグラフ上に示してあると仮定しよう。点格子板を用いて、木の断面内に入る点の数を数え、点格子板の総点数で割る。これによつて、点当りの平均本数又は断面積/林地面積が推定される。この数値に43,560 feet²を乗ずれば、feet²単位のエーカー当り断面積が推定される。

直径がd・b・hの66倍の円で図上に示された各木をかこむ。多くの林地では、いくつかの円が重なり合うであろう。点格子板の点を囲む円を数え(数個の円が同じ点を囲むこともあるが)点格子板の総点数で割る。このようにすれば、点当りの円の平均個数即ち円面積(重複を許す)が推定される。66の平方(即ち4,356)で割れば、これは
林地面積
単木の断面積/林地面積が得られ、43,560を再び乗ずれば、feet²単位のエーカー当り断面積が推定される。この最後の二つの計算は点当りの円の平均個数に $\frac{43,560}{4,356} = 10$ を乗じたことと同じであることが分る。

このような乗数は"断面積係数"と呼ばれている。第一の例では、断面積だけの場合で、そ

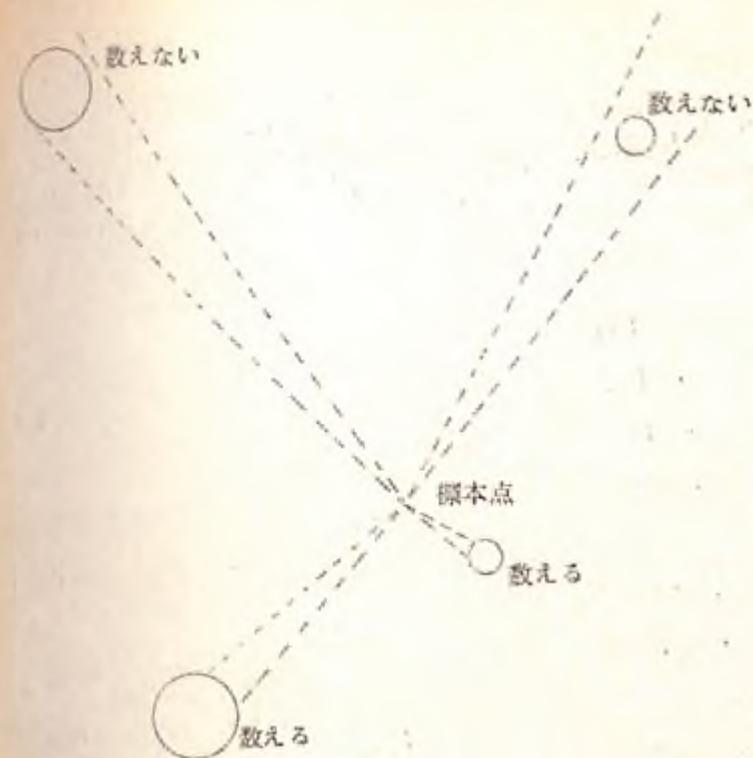
の断面積係数は4.3560であった。

実際に現地に適用する場合には、前述の地図および点格子板は用材林および調査員が調査に入る一組の調査点又は地点でおきかえられる。これらの点を含む大きな円心円(d.b.hの66倍の直径をもっている)をいくつとるかを決めるには、調査員が各点に立ち、胸高断面が104.18'より大きな角度に対する木を数える。この角が臨界角であつて、その直径の33倍の距離のところ、一つの円を包含している。この臨界角より大きな角度に対する本数は、標本点からその直径の33倍以内にある木の本数に等しい。この33という数値は"Plot半径係数"といわれている。d.b.hがin単位で、Plot半径がfoot単位で測れる場合には、一般に $\frac{33}{12} = 2.75$ と表わされる。多数の同心円の大きさはd.b.hにより異なるから、この標本調査法全体を可変Plot半径法と呼ぶこともある。木が数えられる確率はその断面積に比例する。

臨界角を求めるための器械

Instrument for establishing critical angle

この方法を森林に適用するには、臨界角を測る簡単な器械が必要だけである。臨界角は一方の端にぞき穴を取りつゝもう一方の端に金属製のCross armを固定した木製の棒で作ることができる。(2図)104.18'の角度をうるには、目からの距離(the optical base)が33 inであれば、cross armの長さを1 inとする必要がある。この比即ち $\frac{1}{33} = 0.0303$ は"cross armの長さ係数"と呼ばれている。これ以外のcross armの長さ、眼からの距離も、この特定の比1/33を保っておれば、この角度を定めるのに使用できるが、33 inより短い距離では、cross armと木と同時に焦点を合せることが不可能であるから、これは実行できない。



1図 Point-sampling の実行方法、円は胸高断面を示し点線内の面積は標本点からのangle gaugeの角を示す。

この器械の改良型は、測径器を内蔵しているが、5 mm 間隔の目盛のスケール付きのプリズム式単眼鏡である。(拡大率は7倍を越えない) 2表は、このような器械に適する係数を提供している。各標本点はこの器械の対物レンズの前方1焦点距離にあるようにしなければならない。(スタジアの光学的理論と比べてみよ)

これまでの説明は、断面積係数が1.0, Plot半径係数が2.75, cross armの長さ係数が0.0303となる臨界角104.18'を仮定していた。必要あれば違う係数をもつ別の臨界角も使えるであろう。1表には広範囲にわたり、その値が示してあるが、104.18'以下の角度の使用は、疎開した林分以外、勧められない。それは、角度が狭くなるほど可視度を控え目にしなければならないからである。眼鏡の

1表 便利な臨界角の目盛

臨界角	Cross armの長さ係数 (Cross armの長さ を求めるため眼とCross arm間の距離に乘じられ る)	断面積係数 (feet ² 単位 のエーカー当りの断面積を うるため点当りの数えられ た平均本数に乘じられる)	Plot半径係数 (feet 単位の対応するPlot半 径に乘じられる)
分			
32.94	.0096	1	8.696
46.59	.0136	2	6.148
52.09	.0152	2½	5.500
57.06	.0166	3	5.021
60.15	.0175	3½	4.763
65.89	.0192	4	4.348
73.66	.0214	5	3.889
104.18	.0303	10	2.750
127.59	.0371	15	2.245
147.34	.0429	20	1.944
164.73	.0479	25	1.739
180.46	.0525	30	1.588
190.22	.0553	3¾	1.506
194.92	.0567	3.5	1.470
208.38	.0606	40	1.375
221.02	.0643	45	1.296
232.99	.0678	50	1.230
244.36	.0711	55	1.173
255.23	.0743	60	1.123
265.66	.0773	65	1.079

臨界角	Cross armの長さ係 数 (Cross armの 長さを求めるため眼と Cross arm間の距離 に乘じられる)	断面積係数 (feet ² 単位 のエーカー当りの断面積を ため点当りの数えられた平均 本数に乘じられる)	Plot半径係数 (feet 単位の対応するPlot半径を うるためにin単位のd.b に乘じられる)
分			
275.69	.0802	70	1.039
285.37	.0831	75	1.004
294.74	.0858	80	.9723
303.82	.0884	85	.9432
312.63	.0910	90	.9167
321.20	.0935	95	.8922
329.55	.0959	100	.8696
345.65	.1006	110	.8292
361.04	.1051	120	.7939
375.79	.1094	130	.7627
389.99	.1136	140	.7350
403.70	.1176	150	.7100
416.95	.1214	160	.6875
429.80	.1252	170	.6670
442.28	.1288	180	.6482
454.42	.1324	190	.6309
466.24	.1358	200	.6149

2表 便利なミリメートル目盛

Cross armの範囲 mils	断面積係数 (foot ² 単位のエーカー 当り断面積をうるために点あたり の数えられた平均本数に乘じられ る)	Plot半径係数	foot 単位の対応す る Plot半径をう るため in 単位の d b. h に乘じられる
5	. 2 7 2	.	1 6. 6 6 7
10	1. 0 8 9	.	8. 3 3 5
15	2. 4 5 0	.	5. 5 5 6
20	4. 3 5 6	.	4. 1 6 7
25	6. 8 0 5	.	3. 3 3 4
30	9. 7 9 9	.	2. 7 7 8
35	1 3. 3 3 6	.	2. 3 8 1
40	1 7. 4 1 7	.	2. 0 8 4
45	2 2. 0 4 1	.	1. 8 5 2
50	2 7. 2 0 8	.	1. 6 6 7
55	3 2. 9 1 7	.	1. 5 1 6
60	3 9. 1 6 9	.	1. 3 9 0
65	4 5. 9 6 2	.	1. 2 8 3
70	5 3. 2 9 5	.	1. 1 9 1
75	6 1. 1 7 0	.	1. 1 1 2
80	6 9. 5 8 5	.	1. 0 4 3
85	7 8. 5 3 9	.	. 9 8 1 3
90	8 8. 0 5 0	.	. 9 2 6 9
95	9 8. 0 6 1	.	. 8 7 8 2
100	1 0 8. 6 2 8	.	. 8 3 4 4

断面積の決定 Basal area determination

林分のエーカー当り断面積を推定するには、調査員は所要の調査の集約度で決められる個数の点又は地点に行くだけでよい。各点で彼は、のぞき穴から見たときに、d. b. h がその領域の Cross arm より大きく見える木の数を総て勘定する。

点当りの平均本数に断面積係数を乘じて、エーカー当り断面積を求める。

例えば、5 点を測死し、10 4. 1 8' の境界角を用いて全部で 40 本の木が数えられたとする。点当りの平均本数 8 に 10 を乘ずれば、エーカー当り 80 foot² の

エーカー当り断面積の推定値が得られる。その地点で地面が傾斜しておれば、その地点で数えられた本数に、等高線に直角な傾斜角の secant を乘ずる。数えられる本数と傾斜との間に相関が殆んどなければ、平均本数に対し平均傾斜の補正を用いることができよう。

断面積推定の精度は N 個の各点で数えられた本数 (X) の分散 (V) で変る。点が random に選ばれている場合には

$$V = \frac{\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{N}}{N-1}$$

数えられた平均本数の標準誤差は $\frac{V}{N}$

前例で仮定した総計 40 本の木が 5 点でそれぞれ 4, 10, 6, 10, 10 本という内容であるとする、平均値は 8、V = 8 で、平均本数の 1 標準誤差の信頼限界は 8 ± 1. 2 6 5 本であり、エーカー当りの断面積は 80 ± 1 2. 6 5 foot² である。

エーカー当りの蓄積 Volume per acre

エーカー当りの蓄積推定には、適当な材積表を $\frac{\text{材 積}}{10 (\text{断面積})}$ 比の表に換算する必要がある。数えられた木の d. b. h と取引可能な樹高とを記録すれば、 $\frac{\text{材 積}}{10 (\text{断面積})}$ の比の平均 - 10 を乘ずれば、断面積の平方呎当りの平均材積が得られる - が計算できる。エーカー当りの蓄積を求めるには、エーカー当りの断面積にこの数値を乘ずる。

3 表が、調査対象林分を示しているとしよう (board feet の代りに cubic feet その他の単位を用いることもできる) 該当する断面積の 10 倍で各材積を割って作った 4 表に示してある $\frac{\text{材 積}}{10 (\text{断面積})}$ 比に換算される。

比を丸めずに計算すれば精度は当然幾分改善されるが、あらゆる計算で、端数を用いて計算をしたとしてもそれにふさわしい利益の得られることは稀である。

もちろん、直接に比を定めるために地方的な標本調査を行えば、調査された木によらない材積表から求めたものよりは良くなるであろう。

5表から

$$\text{平均比} = \frac{\text{比の総計}}{\text{数えられた総本数}} = \frac{429}{40} = 10.7$$

$$\text{断面積の平方呎当りの平均材積} = 10 (\text{平均比}) = 107 \text{ bd. ft (Int. log rule)}$$

4 in

$$\text{エーカー当り平均断面積} = \left(\frac{\text{数えられた総本数}}{\text{点の数}} \right) (\text{断面積係数}) = \left(\frac{40}{5} \right) (10) =$$

$$80.0 \text{ feet}^2$$

$$\text{エーカー当りの平均材積} = \text{feet}^2 \text{ 単位のエーカー当り平均断面積} \times \text{feet}^2 \text{ 当りの平均材積}$$

$$= (80)(107) = 8,560 \text{ bd. ft (Int. log rule, 4 in)}$$

この方法は、正確度を高めるために綿密に行うことも容易であり、又計算スピードを上げるために簡略化することもできる。

平均比の比較的小さな標本には、大きな臨界角を使用すると良く、他方、エーカー当り断面積の比較的大きい標本に対しては小さな臨界角を用いるとよい。

個々の丸太級内の比較的小さな比の変動を無視し、それは取引可能の樹高級内では一定であるとみなして、地方的な平均比を用いれば、かなり簡略化できる。したがって、1丸太の木については7、2丸太の木については13、3丸太の木については18、4丸太の木については23を用いる。このようにすればd. b. hの推定および記録は不必要になり、取引可能の樹高だけが記録される。取引可能の樹高に対する平均比が標本調査されるか、適宜に選ばれた時、正確度をそれ程犠牲にせずに、記録や材積計算の過程がどのように簡単になるかを6表は示している。

抽出精度即ち地点間の分散を推定する必要のない時には、各地点別に数えられた本数を記録する必要はなく、非常に簡潔な野帳を考案できる。しかし、大抵の場合には、5,6表のように、地点別にデータを記録することが望ましいと思われる。

6表 仮空の点調査野帳(d. b. hを省いて簡略化した)

丸太数	Point1	Point2	Point3	Point4	Point5	小計	仮の平均化	積
	数えられた本数							
0	1	111	1	1	11	8	0	
1	1	1	1	1111	111	10	7	70
2		1111	1	1111	11	11	13	140
3	1	1	1	1	111	7	18	126
4	1	1	11			4	23	92
計	4	10	6	10	10	40		431

この積和は前例の比の総計と同じに扱われる。この場合のように、断面積と比の推定が同じ表で行なわれる場合には簡略法が利用される。

$$\begin{aligned} \text{エーカー当りの平均材積} &= \left(\frac{\text{積和}}{\text{点の総数}} \right) (\text{断面積係数}) (10) \\ &= \left(\frac{431}{5} \right) (10) (10) = 8,620 \text{ bd. ft (Int. log rule)} \end{aligned}$$

林分構造 Stand structure

直径階別に数えられた本数が示してある、点抽出法の野帳は、数えられた本数に $B = \frac{\text{断面積係数}}{\text{点数}}$ を乗ずれば、直径階別の断面積に換算できる。

この断面積をその直径階の中点の断面積で割れば普通の直径階別本数分配表が得られる。

5表では、5つの地点で40本の木が数えられ、2 in d. b. h階に分類されている。さしあたって大径木は無視すると、この数えられた本数は、2 inが1本、4 inが1本6 inが2本であった。 $B = \frac{10}{5} = 2$ であるから、エーカー当りの断面積は、2 inの木で2.0 feet²、4 inの木で2.0 feet²、6 inの木で4.0 feet²と推定できるであろう。エーカー当りの本数は2 inの木で $\frac{2}{0.0218} = 91.7$ 、4 inの木で $\frac{2}{0.0873} = 22.9$ 、6 inの木で $\frac{4}{0.1963} = 20.4 \dots$ となるであろう。

この方法により、満足のゆく直径階別本数分配表が算定できるが、平均d. b. h平均断面積をもつ木のd. b. h或はそれらの標準偏差を計算するには適当でない。実際の中央値を直径階別本数分配表の作製中に計算する方法を示すために、5地点で数えられた総計40本の木の仮空の直径分配を7表では用いている。各直径階別の数えられた本数は、2列に示してある。(見出し"数えた本数又はG f D²") そのおのおのに順次D, D², $\frac{1}{D}$, $\frac{1}{D^2}$ を乗じ、3,4,5,6列に記入する。直径階別のエーカー当り断面積で林分の構成状態を示す8列を求めるため、2列の数値に

B = $\frac{\text{断面係数}}{\text{点の数}}$ を乗じ、直径級別のエーカー当り立木本数で林分の構成状態を示す7列を求め
 るために、6列の数値に $\frac{1}{G} = \frac{B}{0.00545415}$ を乗じた。

2~6列の合計は平均 d. b. h, 平均断面積, 平均断面積の木の d. b. h, および平均 d. b. h,
 平均断面積の標準偏差のような個々の木の大きさの散ばりを説明する因子を得るために使える。

$$\text{平均 d. b. h (単木当り)} = \frac{G \sum f D}{G \sum f} = \frac{4.0299}{.6265} = 6.432$$

$$\text{平均断面積} = \left(\frac{G \sum f D^2}{G \sum f} \right) (0.005454) = \left(\frac{40}{.6265} \right) (0.005454)$$

$$= (63.85) (0.005454) = .348 \text{ feet}^2$$

$$= \frac{\text{エーカー当り断面積}}{\text{エーカー当り本数}} = \frac{80}{229.7} = .348 \text{ feet}^2$$

この二つの平均断面積推定値のうち第2のものは第1のものにくらべて丸めの誤差の影響を
 受け易い。

$$\text{平均断面積の木の d. b. h} = \sqrt{\frac{G \sum f D^2}{G \sum f}} = \sqrt{63.85} = 7.99 \text{ in.}$$

$$\begin{aligned} \text{d. b. h の標準偏差} &= \sqrt{\left[\frac{G \sum f D^2}{G \sum f} - \left(\frac{G \sum f D}{G \sum f} \right)^2 \right] \left[\frac{G \sum f D^2}{G \sum f D^2 - 1} \right]} \\ &= \sqrt{\left[63.85 - (6.432)^2 \right] \left[\frac{40}{39} \right]} = \sqrt{(63.85 - 41.7) \left(\frac{40}{39} \right)} \\ &= \sqrt{(22.48) (1.026)} = \sqrt{23.06} = \pm 4.80 \text{ in.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{断面積の標準偏差} &= \left(\sqrt{\left[\frac{G \sum f D^4}{G \sum f} - \left(\frac{G \sum f D^2}{G \sum f} \right)^2 \right] \left[\frac{G \sum f D^2}{G \sum f D^2 - 1} \right]} \right) (0.005454) \\ &= \left(\sqrt{\left[\frac{6708}{6265} - (63.85)^2 (1.026) \right] (0.005454)} \right) \\ &= \left(\sqrt{(10707 - 4077) (1.026) (0.005454)} \right) \\ &= \left(\sqrt{6.802} \right) (0.005454) = \pm 4.50 \text{ feet}^2 \end{aligned}$$

6表 点標本調査の野帳から直径階別本数分配表の誘導

点標本調査の野帳より 中間の計算						直径階別本数分配表	
D.B.H 級	数えられた D 本数 G f D ²	D×数えられ た本数 G f D ³	D ² ×数えられ た本数 G f D ⁴	数えられた本数 D G f D	数えられた本数 D ² G f	エーカー当 り本数 f	エーカー当り断 面積 B G f D ² feet ²
2	1	2	4	0.5000	0.2500	91.7	2.00
4	1	4	16	.2500	.0625	22.9	2.00
6	2	12	72	.3333	.0555	20.4	4.00
8	4	32	256	.5000	.0625	22.9	8.00
10	8	80	800	.8000	.0800	29.3	16.00
12	7	84	1,008	.5853	.0486	17.8	14.00
14	6	84	1,176	.4286	.0306	11.2	12.00
16	5	80	1,280	.3125	.0195	7.2	10.00
18	4	72	1,296	.2222	.0123	4.5	8.00
20	2	40	800	.1000	.0050	1.8	4.00
計	40	490	6,708	4.0299	.6265	229.7	80.00

$$N = \text{本数が数えられる点の数} = 5.0$$

$$B = \frac{\text{断面係数}}{N} = \frac{10}{5} = 2.0$$

$$G = \frac{0.00545415}{B} = \frac{0.00545415}{2.0} = .00272707$$

$$\frac{1}{G} = \frac{B}{0.00545415} = \frac{2.0}{0.00545415} = 336.69$$

d. b. h 順に配列してある数えられた本数から求められる簡単な順位統計量の計算は単木の径級
 の散ばりに関するこの幾分長たらしい計算に適切と思われる。この順位統計量で必要なのは、7
 表の初めの2列に示してある数列の三つの量を探し出すことである。これは9.5, 12.1, 15.
 4 inで起る。これから、一般公式によって次のことが推定できる。(1)断面積のmedianは12.1
 inのd. b. hで生ずる。(2)断面積の半分は大きい方の木に含まれる。(3)断面積に関する四分位歪度

係数は+24%である。(+)の記号は小径級より大径級により多くの断面積のあることを示している)(3)断面積に関するinterquartile変動係数は±24%である。(変動がかなり大きいのはあらゆる林令の木が出現しているためである)

林分の径級分配を説明する一般に知られている統計量が得られるうえ、点標本調査法は、普通の方法より遙かに簡単に断面積の空間的分布を説明する統計量を計算するのに使える。

与えられた臨界角の断面積群係数(Q)は平均値(X)で、前に求めた数えられた本数の分散(V)を割れば求まる。前に用いた5つの地点の値を用いれば $Q = \frac{V}{X} = \frac{B}{B} = 1.00$ もちろんこのことはPlot調査からも計算できるが、個々のPlotについて面倒な断面積計算をする必要がある。

Qが1より大きい場合は、これは、偶然だけによる場合より空間的に密集しているcontagious母集団を示す。これは老令林分のPatchy plantationやspotty stockingの特性である。Qが1より小さい場合は、断面積が偶然だけによる場合より、一様に分布していることを示す。そうなるのは一般に一般的な発芽、播種、植林、過密林で生ずる自然枯死のためである。Qが1に近い場合は、無作為又はPoisson型の母集団を示す。したがってQのみで所定の臨界角で決められるcontagionの程度の有効な推定量として役立つ。

臨界角が変わっても $K = \frac{x}{q-1}$ が変らぬ傾向があればたとえ、このような仮空の密度が現場で用いられるものとは違った臨界角に関するものであつたとしても負の二項分布が、選ばれた仮空の密度に対する蓄積のない地点の割分を予測するのに使えるであろう。したがって負の二項分布の指数(K)が一定であれば、密度即ち臨界角に独立な空間的contagionの有効な側面として役立つであろう。

注 Anscombe, F. J. The statistical analysis of insect counts based on the negative binomial distribution. Biometrics 5: 165-173, 1949

これは普通のプロット調査法による負の二項分布の仮設検定とはかなり違ったものであろう。

負の二項分布は $(q-p)^{-R}$ で示される。こゝでqとKは前述の通りであり、 $p = q - 1 = \frac{x}{K}$ である。このような分布で0が数えられる確率は $P(0) = q^{-R}$ であり、特定の数(R)が数えられる確率は

$$P(R) = \binom{K+R-1}{R} \left(\frac{q-1}{q}\right)^R (q)^{-K}$$

ただし

$$\binom{K+R-1}{R} = \frac{(K)(K+1)\cdots(K+R-1)}{(1)(2)\cdots(R)}$$

このような分布からとられ標本の分散(V)はK P Qの推定値である。QとPを数えられた数から計算すれば、予測値 $P(0)$ と観測値 $P(0)$ との一致性は、適合度の大雑ばな検定として使用できるであろうし、(R+1)項目総ての期待値からの隔りを検定するために X^2 が用いられるであろう。

満足のゆく最小蓄積と施業性

Minimum satisfactory stocking and operability

m単位のd.b.hにplot半径係数を乗じたものに等しいfeet単位の距離内に1本以上の取引可能な木がある場合、採算のとれる事業の実行できる林地、或はこゝ数年間は更新の必要のない林地として、各地点を分類できよう。取引可能な木が、相当する臨界角を越える程近くにあり場合には小径木に関する1/100エーカーの野積を作る必要はない。(1表でplot半径係数1.5を入れ、対応する臨界角を読みとれば、この場合には約190.3'である。)

満足のゆく蓄積条件のこのような詳述は相當に価値がある。それはそのままの位置から光学的に決定できるばかりでなく、大径木がもつと大きな成育空間をもつことができ、取引可能な木のエーカー当りの満足がゆくと考えられる最小断面積が決定できることをそれとなく示している。(表1でplot半径1.5に対する断面積係数を読みとれば、前例ではエーカー当り約33' / 3 feet²である。

(Journal of Forestry January 1952)

II. 高地産広葉樹で行った *Plotless*
蓄積調査法のテスト結果について

(Glenn H. Deitchman)

Ⅳ 高地産広葉樹で行ったPlotless蓄積調査法のテスト結果について

Plotless timber cruising tested in upland hardwoods

Glenn H. Deitschman

Grosenbaughの説明している方法を用いて、“Plotless即ち”可変プロット”法による用材蓄積調査の予備試験を、昨年、広葉樹異合林について行つた。その結果Plotless調査法は重大な制約を受け、広範囲に採用するに先だつて、Angle-gaugeの使用について訓練と経験を積んでおく必要のあることが示された。

現地調査 Field work

このテストは、南部Illinois州のKaskaskia実験林の二つの林地で行なわれた。林地Ⅰは約8エーカーの大きさで、ここ数年来手入されて来たものである。林地Ⅱは23エーカーの林班でまだ手入をされておらず、自然的な様相により、面積の異なる5つの単位に分割されている。断面積および材積は、5つの小単位を含めて、林地毎に、Plotless調査法と毎木調査によつて求められた。

林地Ⅰと林地Ⅱの2単位は、この方式の精度を判断するために、angle-gaugeで二回調査した。

この試験で使用した器械は33 inの木製の棒に、読 穴とcross armとを取り付けた簡単な構造のものである。その臨界角“critical angle”は $104.14'$ であつた。Plotless調査の標本点は巾2 chainの平行線に沿つて2 chain間隔で設けられた。即ちエーカー当りに平均2.5点がある。草木は5種の径級—小径小丸太級、小径小丸級、用材級別に記録された。用材級の木はさらに、市販可能なものとそうでないものとに分類された。市販可能性を考慮する時には、 $\frac{1}{2}$ 丸太単位で利用樹高を推定して記録した。

最近行つた毎木調査では、小丸太級以上の総ての木の胸高直径は巻尺で測定された。用材級の木については、前述の方法で同じ木毎に、市販可能性の分類と利用樹高の推定を行つた。

結果 Result

毎木調査の結果と比較するとPlotless調査は小径小丸太級では一様に過大推定となり、平均して50%過大となつており、大径小丸太級および用材級については、平均して20%の過小推定となつた。(1表)用材級の材積は、林地Ⅰ、林地Ⅱのいずれについても、僅か8%程度低いだけであつたが、林地Ⅱの個々の単位の結果は、かなり違つている。

1表 高地産広葉樹の断面積と用材級の材積(国際四分の一インチ規格)のPlotless調査による推定値と毎木調査の結果との比較

林地	調査法	エーカー当り断面積				計	エーカー当り材積
		小径丸太 5"~7"	大径丸太 8"~10"	用材級 市販可能	級11"以上 市販不可能		
		feet ²				Bd. ft.	
I	Plotless (1回目)	5.2	13.0	37.8	0	56.0	3970
(8.1エーカー)	Plotless (2回目)	14.0	6.0	35.3	0	55.3	3970
	毎木調査	7.2	11.0	46.7	0	64.9	4325
II - A	Plotless (1回目)	5.6	6.7	30.0	16.7	59.0	3530
(3.7エーカー)	Plotless (2回目)	8.9	6.7	41.1	8.9	65.6	4440
	毎木調査	5.9	9.0	42.4	13.7	71.0	4189
II - B	Plotless (1回目)	15.7	8.6	48.6	12.8	85.7	6470
(3.4エーカー)	Plotless (2回目)	22.8	10.0	44.3	18.6	86.6	6000
	毎木調査	12.7	10.9	49.4	13.6	82.9	5868
II - C	Plotless	13.7	6.6	33.7	8.9	73.3	4210
(10.5エーカー)	毎木調査	9.0	9.6	38.4	9.6	70.0	5200
II - D	Plotless	13.8	3.8	40.0	18.7	75.6	4875
(3.3エーカー)	毎木調査	6.6	10.4	42.7	20.3	80.0	4585
II - E	Plotless	18.0	4.0	36.3	18.0	82.6	4940
(2.0エーカー)	毎木調査	9.4	12.2	44.1	18.3	68.9	4470
II - 計	Plotless	13.6	6.3		12.5	76.1	4593
(22.9エーカー)	毎木調査	8.7	10.0		13.2		4960

討 論 Discussion

断面積および材積推定の誤差のいくらかは、恐らく、angle-gaugeの使用経験の不足のために生じたものであろう。しかし、ある木を数えるべきかどうか決めることの難しい場合が数々ある。14本に約1本の割合で境界木があると考えられた。

一般に、問題になる木は標本点から50 feet以上離れたところにある大径木であった。視覚は距離と下木や小径木の遮断により弱められる。Husch^{注3}が推奨している巾の広い境界角を用いれば、大径木の過小推定は修正されるが中庸度の下木をもつ広葉樹林のPlotless

調査は葉の茂っている期間には実行不可能であることを指摘する必要がある。

第2の難点はangle-gauge法で市販可能材積を推定する際になる。標本点から見ただけで市販可能か否かを判断できない場合が屢々ある。同じように利用樹高の推定は目にみえない欠点のために失敗することがある。plotless調査による材積推定値の正確さと信頼度は数えられる木をもつと正確に調べることにより高められる。これは恐らく、2人組の調査班1人がangle-gaugeの使用と記録を行い、他の1人が疑問のある木について径級、市販不可能の部分、欠陥を吟味すれば効果的に実行できよう。

Plotless調査方法を綿密に行なえば、明らかに上記のものより良い結果が得られるであろう。しかし、蓄積調査員は既知蓄積の林地でangle-gaugeの使用に熟達し、広くこれを採用するに先だつて、この方法が彼の目的にかなうかどうかを決める必要のあることをこのテストは示している。

註1: Grosen baugh, L.R. Plotless timber estimates—new, fast, easy. *Tour. Forestry* 50:32-37 1952.

註2: 断面積を単木材積に換算する比は、その林相の平均と考えられる地方的形級材積表を用いて丸太毎に求められている。

註3: Husch, Bertram. Results of an investigation of the variable plot method of cruising. *Tour. Forestry* 53:570-574. 1955
(*Journal of Forestry* 12. 1956)

Ⅲ. 新しい測樹方法

(David Bruce)

David Bruce

蓄積調査の新しい方法はプリズムを通して行なわれる。調査員はただ、標本点の周りで、楔形プリズムを見た時に像がはなれない木全部を数えるだけでよい。数えられた本数に、前もって定めておいた係数を乗ずれば、標本点の周りのエーカー当りの平均断面積が得られる。数えられた木が、市販可能の樹高級別に記帳されておれば、蓄積推定ができる。

プリズム—光線を屈折する薄い楔状のガラス—はGrosenbaughの論じている点抽出法⁽¹⁾に利用するのに、簡単かつ便利な器具である。これは、この新調査法で参考角 reference angle を定めるのに現在用いられている relax scopes⁽²⁾その他のアングルゲージの代用品である。¹ 約 $3/4 \times 1\frac{1}{2}$ inの大きさの一枚の楔形プリズムで、平坦地から、傾斜が10%以下のところまで間に合う。しっかりと保持していないと、ちよつと面倒になる。というのは、木の像はプリズムが動いても、そのまま残っているからである。眼の焦点は木だけに合っており、プリズムと木に、同時には合っていないからである。必要なことは、2本の線が一本になっているのをチェックするだけである。このような3つの長所は、他のレラスコープを用いる際に起る障害を取り除く。その障害とは眼の焦点を近点と遠点とに同時にはつきりと合せることができない、像が揺れている間は、木の両側と2つの指定点とを一線に合せることが難しい、ということである。

注1 Oregon州Portlandの顧問林業技術者Mason, Bruce, Girardは1953年に鏡として使用した2個の直角プリズムで作られる分離像で指定角を定めるための装置を考案した。こゝで述べているプリズム式の器具はこの考え方を修正したものである。

プリズムと眼との間隔は変つてもよいが、ただ、観測員がその点の周りにある全ての木をチェックするために一周する間、プリズムは、固定された標本点上になければならぬという制約がある。プリズムの面は視線に直角におき、平坦地では、頂端を水平にしなければならぬ。プリズムの位置設定の際に5°までの偏差があつても、可謂誤差とはならない。不正確になる程著しい偏りを生ずる。

断面積係数 Basal area factors

楔形プリズムは、蓄積調査に有効な任意の強度のものを求めることができる。プリズムの強度は“プリズムdispter”で測られる。1 prism diopterは100単位の距離で1単

位の直角方向の“ずれ”を表わす。約3 diopterのプリズム強度は小径木や疎林に有効であり、大径木又は稠密な林では8 diopter程度の強いプリズムが必要であろう。

プリズムの強度 (diopter)	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0
断面積係数	4.4	9.8	17.4	27.2	39.2	53.3	69.6

めがね質のプリズムは、光学部門の工場から1個当り約1ドルで購入でき、これを20×38mmの大きさに切断して、ふち取りをした。このように安いプリズムは公差を満すようには製造できない。0.1 diopter程度の高低があろう。

しかし、断面積係数が、プリズム毎に算定されておれば、修正せずに使用できるであろう。断面積係数が正確に10、20、30であるような特製のプリズムは、もつと高い金を払えば購入することができる。これに似たもので色消しプリズム(色修正をほどこしたもの)があるがこれは、一枚のプリズムを通して眺めた像の周りの小さな虹を消す。

プリズムの断面積係数を求めるには、都合のよい巾(1.2又は5-foot)の矩形の板をたてる。次にスチールテープを板の中心に対して垂直な線に沿って張る。次にプリズムを通して眺めた板の像の一端がプリズムの外から眺めた板の他端と正確に一致となるまで、プリズムをテープで定められた線上を板に向かって或は逆の方向に動かす。

プリズムから板までの距離を正確に測る。

footで表わした、板巾(w)と距離(d)を用いればエーカー当りのfoot²単位の推定値を示す断面積係数は

4 3, 5 6 0

$$1 + 4 \left(\frac{d}{w} \right)^2$$

この近似値は

$$1.0890 \left(\frac{w}{d} \right)^2 \text{ である。}$$

傾斜に対する補正 Slope correction

水平面積が調査では使用され、10%以上の傾斜があれば補正をしないと大きな誤差の原因となるから、傾斜を調整するなんらかの方法が必要である。傾斜を補正するために、正確に視線の傾斜角だけ、プリズムを視線の周りで廻転させる。プリズムの廻転により、像は水平方向と同様垂直方向にもずれる。こうすれば、斜距離が正確に補正されるため水平角は減少する。樹幹の像の垂直方向のズレは、木が数えられるかどうかを決める時には問題にならないが、このようなズレは、反対方向に廻転させる2個の等しいプリズム(それぞれ強度は1/2)を用いれば

除去できる。傾斜の補正用に用いるプリズムは水平線を眺めたときに垂直方向の像のズレがあつてはいけない。

傾斜を自動的に補正する装置が作られたが、この装置では、鏡がプリズムの載てある軸にギヤーで連結してある。²

注2 著者はプリズムの切断、ふち取りの際のL. B. Daron博士の御援助と金属部の作製と組立の際のRalph E. Lind氏の骨折りに対して深く感謝する。

この装置の一つに似た円形プリズムは急傾地での観測を容易にする。この装置は、プリズムと鏡が視線に垂直な1本の軸にとりつけてあるデザインよりもガラスの表面積は小さい。このような設計では二枚の鏡を視線に45°の角度をもたせてとりつける必要があり、この鏡は光の伝播を減し視野を狭くする。

望遠鏡型の装置 Telescopic instruments

倍率の低い望遠鏡と一語にした楔形プリズムは、疎林で境界線上の木を決める正確さを増加させるであろう。稠密な林では、与えられた木の2つの像を区別することが難しくなり、望遠鏡が像の解明度を減すならば、この長所は失なわれてしまうであろう。

望遠鏡式プリズムを簡単に作るには、望遠鏡の対物レンズの上又は下半部(又は双眼鏡の対物レンズの一方)の前面にプリズムを取り付ければよい。これは、境界木決定の正確さを増すだけでなく、プリズムの面を視線に直角にたもつ際に生ずる誤差も取り除く。

費用のかからない別の望遠鏡式装置は、型抜きプラスチックレンズ付の2又は3倍のGalilean(Dutch)双眼鏡から作ることも出来る。対物レンズを中央で2分し、この2つの半片の中心をずらす。(切断面にそつて片側にずらされる。)とびでた端を磨き取り、このレンズを双眼鏡の半分にとりつける。

2人の観測者により同一の装置で、明るい板について一連のテストを行つた。この装置の断面積係数はいずれも約10であつた。観測者毎に各装置の断面積係数を10回推定した。この装置はぐらつかないようにするためのスタッフや三脚を用いないで、手で保つた。

望遠鏡式装置の実験的断面積係数の標準誤差は(プラスチック製の3倍の望遠鏡と6倍の双眼鏡付のプリズム)±0.03であつた。一枚のプリズムと棒型のrelascopeでは、標準誤差は±0.06であつた。平均断面積係数に対する観測者間の差は、棒型relascopeでは1%水準、一枚のプリズムでは5%水準で有意であつたが、2種の望遠鏡式装置では有意差はなかつた。プリズムの特長は、棒型relascopeに比して使用が便利で

あり、決定が容易かつ速いことである。

このことについては調らべなかつた。

望遠鏡を用いれば、一枚のプリズム又は中心をずらしたプラスチックレンズを通して見える像の端の虹が邪魔になる。境界木決定の正確さを改善するために、色修正が必要である。それには色消しプリズムか、分割した色消しレンズを用いればよい。光学工業の面から云えば、レンズの方が経済的であろう。傾斜の自動的補正装置付きの望遠鏡式装置では、大した問題はない。ただ、中心をずらした遠物レンズを廻転する必要があるだけで、これは鏝と連結させた緑ギヤーで行える。色消しプリズムが、そのままの対物レンズの前面に用いられれば、4図に示してあるような装置で傾斜は補正されるであろう。

強度の調節ができるプリズム

Adjustable-strength prisms

計算をはんざつにする断面積係数の端数を除き、調査しようとする林木に適する断面積係数に簡単に変更できるように、強度を調節できるプリズムが使用できる。倍率の違う2個の円形複状プリズムを一本の軸にとりつける。これを一語に用いれば、その結合倍率は、個々の強度の和となる。一つのプリズムを、いま一つのプリズムに対して180°廻転させると、その倍率は、個々のものの差となる。180°以下の廻転により、両者の中間にある総ての強度が得られる。1.5と4.0 diopterのプリズムは、6.8と3.2.9の間にあるあらゆる断面積係数を与えるであろう。係数1.0, 2.0, 3.0の指標をプリズムの端に付けることができる。

正確な断面積係数をもつ矩形プリズムは、結合した強度がその係数に必要なものより僅かに大きい2個のプリズムを、互に廻転させることで、作ることができる。正確な強さを示す位置がプリズムの上にマークされ、次で切断、縁取り、接合される。正確に1 foot巾の標板を用いれば3.2.996, 2.3.329, 1.8.046, 1.6.492 footの距離は、それぞれ係数1.0, 2.0, 3.0, 4.0を与えるであろう。

調整可能なプリズムを作る今一つの方法は、相互に消し合う正と負のレンズを用いることである。球形又は円筒形のレンズが用いられるであろう。このレンズを接触させ、中心をずらせば(互に反対方向に動かす)楔形プリズムになる。このプリズムの強度はレンズのずれた距離と両レンズの強度により変る。diopterで表わすレンズの強度はmm単位の焦点距離を1 (prism diopter単位)で割れば計算できる。光軸をずらしたレンズのプリズム強度はcm単位の中心間隔にdiopter単位のレンズ強度を乗ずれば計算できる。プリズムdiopterの平方を1.089倍したものが断面積係数の近似値である。同じ公式が、分割した対物レンズの光軸をずらす距離を

推定するのに使用できるであろう。調整可能なプリズム或は光軸をずらしたレンズの最終的な据付けは、指標をつける前に、標板で吟味してみる必要がある。

調節可能なプリズムは、傾斜の補正にも使用できる。一つ、二つの断面積係数に対する傾斜角を示す目盛をプリズム上に取り付けることができる。大部分の木については、傾斜は目測推定で充分であろう。傾斜の測定は、時々行う正確な決定の際に必要なだけである。

プリズムによる距離測定 Using prisms to measure distances

固定した参考角の原理を利用している器械は(Haga式測高器のレンジファインダの様に)距離を定めるのにも使用できる。プロット調査や樹高推定で、ある一定距離が頻ばんに用いられるならば、適当な大きさの標板を立て、観測者は、標板から必要な距離だけ離れた点の位置を速やかに定めることができる。3.00 diopterの器械では、18 in巾の標板は、観測者が標板から50 feet離れておれば一線となるであろう。プロット中心に置いた13.4 in巾の標板はテープでプロットの周りを測るより速く、 $\frac{1}{16}$ エーカープロットの境界木をチェックするために同じ器械に使用できるであろう。

調節可能なプリズムで距離を測るには、適宜の巾の標板を使用し、距離の目盛はプリズムにつけてある。

参考文献

- (1) GROSENBAUGH, L.R. Plotless timber estimate—new, fast, easy. Jour. Forestry 50: 32-37. 1952.
- (2) BITTERLICH, W. Die Winkelsahlprobe. Allgemeine Forst und Holzwirtschaftliche Zeitung 59 (1/2): 4-5. 1948. (Journal of Forestry Vol 53 No 3, March 1955)

IV. 南東部アルカンサス州でのプロット
レス調査による粗材積の推定

(T. E. Avery)

IV) 南東部アルカンサス州でのプロットレス調査による 粗材積の推定

Gross volume estimation using "Plotless Cruising" in
Southeast Arkansas T. E. Avery

1953年のArkansas AとMカレッジの林学科の夏季実習期間に Grosenbaugh
の"プロットレス"即ち"可変プロット"法による蓄積推定の現場での問題が 蓄積調査に
ついての正規の教授計画に組み入れられた。註1, 2.

註1. Grosenbaugh, L.R. Plotless timber estimate—new,
fast, easy, Jour Forestry 50:32-37. 1952

註2. " " Shortcuts for cruisers and scalers.
Southern Forest Expt. Sta. Occasional Paper 126
24PP 1952

この研究のために、40エーカーの loblolly-shortleaf pine の二次林を
2つ選んだ。なおこの林分は 各種のラインプロット法とストリップ調査の精度を吟味する
ために マツの用材級 (d. bh 9.6 in 以上) の100%調査がなされていた。この2つ
の林地は こゝでは"林分A" "林分B"として示してあり、南東部アルカンサス州の二次
林の状態を代表している。この特殊な研究は、小数のカシ、ゴムと共にほぼ優勢を示して
いるマツの用材だけに限定され、その他の広葉樹は無視した。

100%調査による この40"の粗材積が 1表に示してある。

現地調査と基礎資料 Field work and basic calculations

一人一組でプロットレス調査の現地調査が行なわれた。4人の学生が各"40"を調査し
たが 2人はN-S方向に 別の2人はE-W方向に調査した。林地内に設けられた4本の
線の各々について5個の標本点を設け、"40"当り総計20点が設けられた。直線方向を
決めるのにポケットコンパスが用いられ、標本点間の間隔は歩測で決められた。前もって各
学生が作っていた33 in の調査棒の一端に1 in 巾の金属製の照星をとりつけて 104.18"
の臨界角を定めた。20個の標本点の各々において、臨界角内に入り (ほぼ10 in 以上)
1個以上の市販可能の16 foot 丸太を含む総てのマツが1丸太および1/2丸太の長さ
別に記録された。この方法では 直径は記載しなかつた。(注;プロットレス調査の詳細な
機構については この特殊な研究に適用した点を除いて こゝでは触れなかつた。読者は、
Grosenbaugh の原論文を参照されたい)

1表 マツ用材の2次林の40エーカーの林地別の各"プロットレス調査"による推定値と

100%調査との比較

"40A" マットの総材積: 52,912 bd. ft (Doyle rule)				
調査線方向	N-S	N-S	E-W	E-W
マツ材積	51,844	48,380	61,616	57,303
100%調査からの誤差	-2.0%	-8.5%	+16.4%	+8.6%

"40B" マットの総材積: 76,570 bd. ft (Doyle rule)				
調査線方向	N-S	N-S	E-W	E-W
マツ材積	72,154	68,459	79,174	92,408
100%調査からの誤差	-5.8%	-10.6%	+3.2%	+20.0%

材積-断面積比 Volume-basal area ratios

最良の結果をうるために 1~3 箇の丸太数について 1 丸太毎の 我々自身のボードフイート材積係数 (断面積と各長さ級の丸太材積との比) を求めた。なお この丸太数は 2 つの標本として選んだ "40" の樹高範囲である。これらの材積係数は、調査しようとする林地について地方的材積表が調製されおれば、幾分簡単に計算できる。それは 各市販可能な丸太長の平均 d. b. h (決定を必要とする主要因子である) は d. b. h 級に対する市販可能な平均樹高を示す原曲線から、適当に近似できるからである。この平均 d. b. h. が市販可能な長さ級毎に決定されれば、長さの級毎の平均材積は、地方的材積表から求めることができる。この平均材積を、長さ級毎に材積係数即ち比を決めるために断面積で割る。

エーカー当りのボードフイート材積を求めることは、この場合は、極めて簡単である。長さ級毎に決定された材積係数に その級で記録された本数を乗じ この積の総和を求める。この "積和" を 標本点数 (この場合は 20) で割り、エーカー当りのボードフイート材積を求めるために 10 (断面積係数) を乗ずる。

地区の粗材積は 林地面積を乗じて決められる。これが、この研究で行なわれた手法であり、その結果が 1 表に示してある。

結果についての論議 Discussion of results

表から気付であろうが プロットレス調査で得られた 8 箇の推定値の中 6 が 2 つの林地の正確な材積の約 10% 以内であり、総ての推定値が、100%調査の 20% 以内であった。確かに この結果は驚くほどのものではないが、前に行なつたこれに相応するラインプロットやストリップ調査で得られた推定値より正確である。それはただ 学生達が 唯一最大の誤差の原因-プロット半径やスリップ巾の不正確な推定-と無関係だからである。この誤差

の原因は プロットレスによる蓄積推定の場合には、光学的な器械を用いるため、事実上除かれている。

もちろん、老練な蓄積調査員のときには、前述のことに基いて プロット調査の推定値の使用が良いとはいえない。というのは彼にとってプロット半径やストリップ巾を正しく判断するのはさほど難しくないからである。しかし、その対象が粗材積だけであれば、この新方式を用いることにより、特に市販可能な長さや材積との比を求め、樹高級だけを記録すればよいのであれば、彼はかなり時間を節約できるであろう。われわれは、直径と樹高級を記録する場合でも スピードの点で幾分有利であることを発見した。その理由は恐らく、プロット半径やストリップ巾をチェックする時間が要らず さらに 一般に 予め定められた単位面積を標本調査する、これに相当する普通の推定方法の代りに この方法を用いると記録される本数が比較的に少いからである。(林木が記録される機会は その d. b. h. 級のエーカー当り断面積に比例しており、標本点から、その直径の 3 倍以上離れている木は記録されない。) 内業の計算は、直径が樹高と共に記録されている場合には、もちろん複雑になる。

この方法の限界と要約

Limitation of the method and summary

経営計画を作製する場合のように、樹種、d. b. h. 樹高級以外のデータを必要とする蓄積推定を行なう時には、この方法の長所である、スピードと簡易性の大部分が失なわれてしまう。この方法がやつかいであつたり、全然適合しない場合が多くある。これに反して、ある地域について 樹種別のエーカー当り材積又は材積合計だけが 必要な情報である場合には、この方法は好適であり、特に一人で調査できるという利点のあることを感じた。

この方法は農用林、市販可能な用材が売買される小地区の立木評価、伐採作業後の林分の残存蓄積のスポットチェック、その他短期間に迅速な推定が必要な場合に実用されるであろう。

(Journal of Forestry March 1955 (53))

V. 可変プロット調査法による
調査結果について

(Beltram Husch)

V) 可変プロット調査法による調査結果について

Results of an investigation of the variable plot
method of cruising Bertram Husch

林業の主要な業務の一つは ある地区の林木蓄積を決定することである。蓄積に関する知識は 林業経営の実行に際して本質的なものである。森林工業家や森林所有者は その事業計画や方針を樹てるのに 蓄積推定値に依存している。短的に云えば、森林調査は 林業のあらゆる面で必須条件となつている。

蓄積調査の方法は それ自体は何んらの収益ももたらさない一種の支出であるが、収益を生み出すと思われる他の活動の礎となつている。このような訳で、この種の情報を得るための費用を最小限にし、少くとも用材価値と均衡のとれることが大切である。

そこで問題は どのような方法が 充分役に立つ精度で情報を与えると同時に経済的に可能の範囲内にあるかを定めることである。

最近、蓄積推定の速度を速められると思われる新しい手法が提案されている。(2) この方法は最良の適用方式を決め、普通の方法で得られた結果と この方法で得られる結果とを比較するために 特別の試験を行つてみる必要がある。

抽出誤差の決定を考慮した統計的手法による蓄積調査法に関するいくつかの研究がこの25年間に行なわれている。Wright が1925年に行つた初期の研究では ストリップとプロットサンプリングとを比較した。(14) 彼は統計的手法を用いる場合に最も重要な事は信頼できる標準偏差の推定値を求めねばならぬことであつたと述べている。Robertson は1927年に やはりラインプロットとストリップ調査法とを比較した。(11) 彼は line plot法が strip 法より正確であることを発見した。Candy はあらゆる型の調査で、推定値の精度の計算が重要であることを強調した。(3) 彼は strip 法と line plot 法とを比較し line plot 法がサンプリングの当否を決めるのに適当な唯一のものであると述べている。

Schumacker と Bull は 1932年に低地広葉樹林の森林調査の抽出誤差を決める場合に、森林状態で層化した系統的標本プロットの有用性を認めた。(12) Mudgett と Go Vorkiantz は 1934年に Wisconsin での森林調査の信頼度を推定するのに、同じ考え方をした。(9) Goodspeed はさらに line plot と strip 調査の相対的要望度を比較する研究を行つた。(4) この2つの方法は 同一精度で適用すれば、多くの場合略等しい信頼度で同じ結果を与えると彼は結論した。Preston は 1934年に系

統的 line plot 調査の統計的解析の実行を推奨している。(10) 彼はサンプリングに先だつて林分級を別々に地図上に示すことを提案した。彼は固定した抽出率による調査の考え方を捨てて、所要の正確度を得るのに必要な調査歩合でおきかえることが重要であると強調した。Hasel は 1938 年に蓄積調査における抽出誤差の研究で、林分は一寸みた所均一なようであつても不均一であるということを経験した。(6) この不均一性の原因は、主として標本プロットの大きさや形状であると考えた。彼は抽出誤差の正しい推定は、抽出単位が独立かつランダムに選ばれた場合にのみ可能である点を強調した。彼は又、系統的調査はランダム調査よりも正確な平均および総材積の推定値を与え、地図の作製に好適である点も明らかにした。Barson と Stott は 1946 年に特定の正確さと確率を得るのに必要な調査歩合を決定する際、調査員の正確さを高めるため一連のグラフ的補助手段を考案した。(1) Stott は 1949 年に調査時間を短縮する研究で line plot 調査に用いる新しい技術と記憶様式とを考究した。(15) 新形式の累積式野帳の使用によりプロット当りの所要時間をかなり節約できることを発見した。

Johnson は 1949 年に Pacific Northwest の蓄積推定のために、標本の大きさと抽出単位の形とを研究した。(8) 時間、資金、労力の浪費を避けるための研究で目的とする成果を得るのに必要なものより標本は大き過ぎても小さ過ぎてもいけないという事実を主張した。Johnson と Hixon は 1952 年にベイマツの老令林の調査で、プロットの大きさと形状の効率について研究した。(7) 彼等は 1/40 エーカー単位で 40 エーカーの林地の完全な蓄積表を作った。基本単位をいろいろと組合せて林地全体から標本を抽出した。推定値毎に抽出誤差を計算した。最も効率の良いプロットとしては、与えられた作業量で抽出誤差の最小になるものが選ばれた。1×3 chain プロットがベイマツ老令林では変動と調査所要時間との最良の折衷を与えることを彼等の研究は示している。

ドイツでは 1948 年に Bitterlich が標本プロットの境界を定める必要のない新しい蓄積推定方法を提案した。(2) Grosenbaugh は 1952 年にこの方法を U.S. で発表した。(5)

簡単に云えば、この方法は、調査しようとする林分内に多数の標本点を設けることである。調査者は標本点を順次調査する。彼は各点からその周りにある木の直径をみて、直径が横行しているアンクルゲージより大きく見える木の本数を数える。数えられた総本数を標本点数で割り、ある常数を乗ずると、エーカー当りの平均断面積が得られるであろう。その他の蓄積調査の統計量は、この手順を変えることで求められる。この方法は普通のプロットやス

トリップ法と対比させて、各種の抽出歩合で得られる結果の実用性と正確度を決定するにはさらに研究調査する必要がある。

方法 Procedure

この研究はまず、各種の臨界角を用いて、Bitterlich の可変プロット法で得られる蓄積推定値の信頼性と効率の決定から着手した。

New Hampshire 州南東部の林分内に 40 エーカーの地域を設けた。この林分は散生している white pine, ツガの過熟木からなる上層木と広葉樹、主として red maple, black birch, ブナからなる下層木から成っていた。この 40 エーカーの林分はかなり変動性が高く、エーカー当り 50 M ボードフィート以上の蓄積のある地点から蓄積の殆んどない地点まで含まれていた。40 エーカーの地区は、さらに 4 個の 10 エーカー地区に分割された。

100 個の推測点が 2 chain 間隔で設けられたが、これは 10 エーカー地区当り 25 個に相当する。

この 4 個の 10 エーカー地区は 3 種の臨界角を用いて可変プロット法で調査されたが、それぞれの断面積係数は次のとおりである。

臨界角	断面積係数
分	
52.09	2.5
104.18	10.0
208.38	40.0

一般に推奨されている角 104.18 を含めて、選択可能と思われる角を含んでいるので、この 3 種の角度を用いたのである。3 種の個々の調査に各推測点を使用することは不可能と分つた。同じ木がある条件のもとでは 1 つ以上の推測点から数えることができるのでこのような制約をうけたのである。このようなことが起るのは、使用した臨界角の大きさ、直径、推測点から木までの距離、推測点の間隔により変る。一本の木が 1 個以上の点から見られる確率は、小臨界角を使用したときには、大径木であるか、林木が推測点の近くにあるか、推測点の間隔が短いと増加する。同じ木が 2 点以上で数えられたならば、点当りの平均本数を求める時に、このような個々の勘定数を用いることは誤りであろう。この種の勘定数の利用は、ちよつと別々に記録された重複調査プロットの野帳を用いるのに似て、どのような調査結果であつても誤りである。

可変プロット法で、このような事態を避ける唯一の方法は 確実に ある木が1点以上野
 帳に現われないようにすることである。したがって推測点の最小間隔を決める必要がある。
 最小間隔はその原因と思われる その林地の最大木までの最大距離の少くとも2倍をとらね
 ばならない。この間隔は次のようにして求めることができる。

$$D = \frac{r}{12 \tan \frac{a}{2}}$$

ここで r = 最大木の直径、in 単位

a = 臨界角

D = 最大木までの最大距離、feet 単位

点の最小間隔は2Dとしなければならぬ。地域の境界近くに推定点を設ける時にも、同様
 な注意をしなければならぬ。しかし後者では最小距離はDだけでよい。

3種の調査の最小点間隔が決められ、1表に示してある。

1表 推定点の最小間隔

臨 界 角	最大木の推定直径	推定点の最小間隔の近似値	
分	in	feet	chain
52.09	3.6	39.6	6
104.18	3.6	19.8	3
208.38	3.6	13.8	2

推測点は算出最小間隔にできるだけ近い間隔となるように、前に設定した点の中から選
 び出された。さらに ある木が一回以上 数えられていることの分った時には、その点の幾
 つかを棄てる必要がある。

この制約の元で 使用する点数は 2表に示してあるように 臨界角によって変ることが
 分った。

2表 臨界角による点数の変化

臨 界 角	使用された点数			
	40エーカー	10エーカー地区 A	10エーカー地区 B	10エーカー地区 C
52.09	9	2	2	2
104.18	78	19	19	18
208.38	100	25	25	25

注1 10エーカー地区の調査でとられた個々の推測点は、間隔を考慮したので40エ
 ーカー地区で用いられるものと同じとは限らない。

所要の推定点に行き、樹種および 2 in直径級別に d.b.h. 6 in 以上の全林木を記帳
 した。Grosenbaughが述べているように、臨界角を越える総ての木を記録した(4)
 これは各ゲージについて行なわれ、各点の記帳に要する時間も記録された。

比較の基礎とするために、100%調査を、各10エーカー地区について行なつた。直径
 6 in 以上の全林木が2 in 直径級別に記帳された。

可変プロット法で断面積を決めるために、推測点でつかまえた総本数が記帳された。こ
 の計を推測点数で割れば点当りの平均本数が得られる。この平均本数に適当な断面積係数を
 掛けるとエーカー当りの平均断面積の推定値が得られる。ボードフィート単位の推定材積はこ
 の断面積から求められた。樹種群および直径級別に断面積の feet² 当りのボードフィ
 ートを示す表を作る必要がある。この研究のために 地方的材積表が選ばれた。必要な表を作
 作するために、各直径級のボードフィートの値を、その直径に対応する断面積で割つた。各標
 本点で記帳された木毎に断面对ボードフィート比が この表から読みとられた。個々の比を
 総ての点について集計し、断面積の feet² 当りのボードフィートの重み付き平均値を求める
 ために、数えられた総本数で割つた。この平均比に エーカー当り断面積を乗ずれば エ
 ーカー当りのボードフィード材積推定値が得られる。

総断面積および材積は 断面積の feet² 当りのボードフィートを示す表の作製に用いられ
 れたものと同じ地方的材積から 100%調査で求められた。

結果 Results

断面積および材積の確定値が4、4表に示してある。

3表 100%調査と3種の臨界角による断面積確定直

調査面積	52.09		104.18		208.38		100%調査 エーカー当りBA
	エーカー当 りB.A	100%調査 からの偏差	エーカー当 りB.A	100%調査 からの偏差	エーカー当 りB.A	100%調査 からの偏差	
	Sq. ft	%	Sq. ft	%	Sq. ft	%	Sq. ft
40エーカー	49.5	-47.8	74.3	-21.6	90.4	-4.6	94.8
10エーカー-A	25.0	-63.9	49.5	-28.5	75.2	+8.7	69.2
10エーカー-B	47.5	-57.2	81.0	-27.0	96.0	-13.4	110.9
10エーカー-C	68.8	-26.7	81.1	-13.5	83.2	-11.3	93.8
10エーカー-D	53.8	-48.8	80.9	-23.1	107.2	+1.9	105.2

4表 100%調査と3種の臨界角による断面積推定値

	52.09		104.18		208.38		100%調査
	エーカー当りB.A	100%調査からの偏差	エーカー当りB.A	100%調査からの偏差	エーカー当りB.A	100%調査からの偏差	エーカー当りB.A
	Sq. ft	%	Sq. ft	%	Sq. ft	%	Sq. ft
40エーカー	8,314	-47.5	11,963	-24.5	14,633	-7.6	15,843
10エーカー A	5,654	-52.6	8,477	-28.9	13,234	+10.9	11,927
" B	10,885	-48.1	15,559	-25.8	17,564	-16.2	20,864
" C	11,032	-27.3	12,459	-24.1	13,843	-15.7	16,416
" D	4,227	-69.9	10,551	-24.9	13,600	-3.1	14,041

5表 3種の可変プロット調査による断面積の抽出誤差

	52.09		104.18		208.38	
	推測点数	抽出誤差	推測点数	抽出誤差	推測点数	抽出誤差
		%		%		%
40エーカー	9	10.9	78	7.7	100	8.4
10エーカー A	2	7.4	19	20.4	25	18.6
" B	2	50.0	19	15.2	25	19.2
" C	2	26.3	18	17.3	25	18.8
" D	2	20.0	22	10.8	25	11.6

注1 エーカー当りの平均断面積の%で表わした平均値の標準誤差

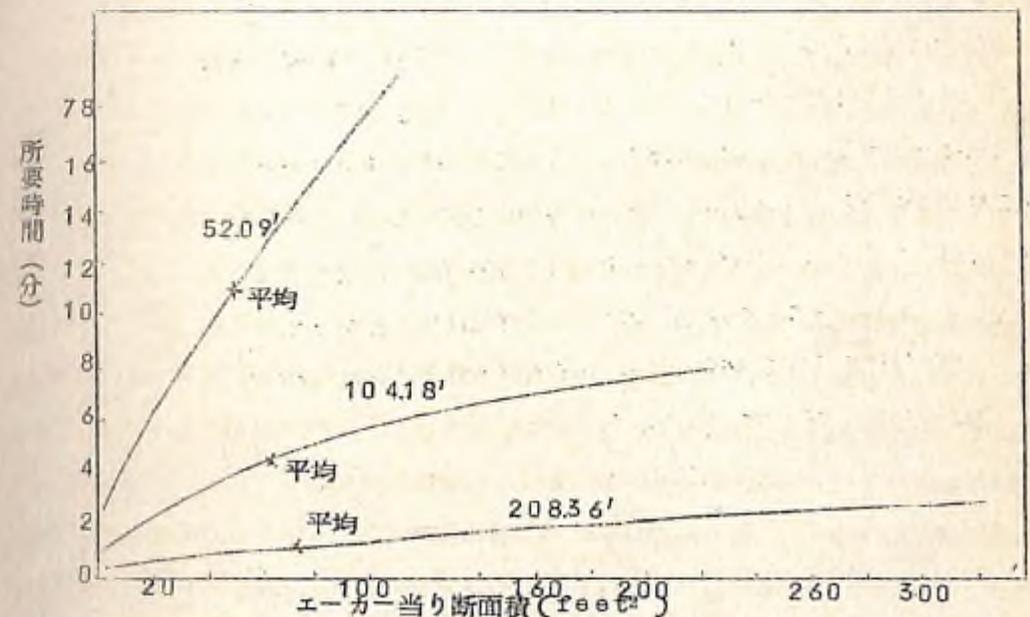
3種の臨界角と100%調査で得られた、断面積と材積を比較してみると 臨界角208.38が 全地区についても、個々の10エーカー地区についても常に最も近い値を与えることが示めされた。臨界角104.18による推定は不正確な結果を与え、52.09による推定は 差が最も大であった。

5表は3種の可変プロット調査法による、断面積の抽出誤差を示している。この数値の妥当性は幾分疑問があるように思われる。それは 推測点は系統的に配列されており、正しく確率的に選ばれた点ではないからである。しかし このようにしたのは、多くの林業技術者が系統的調査の抽出誤差を決定しているからである。抽出誤差の大きさは必ずしも調査全体の正確さとは一致しないことに注意しなければならない。抽出誤差はむしろ各種の推定が行なわれる条件に対して、エーカー当り断面積を決定する際に予期され変動性を示している。

これらの抽出誤差は104.18と208.38による調査で生ずる変化率が略等しいことを示している。52.09による調査の%はかなり大きな変動をしているが、これは多分、使用された推測点の数が少いためである。

1図は 3種の臨界角を用いて、いろいろなエーカー当り断面積を推定するのに必要な時間を比較したものである。この比較は推測点で 数えられる木を決め、Biltmore ステッキで 2 inch 括約でこれらの木の直径を推定するのに必要な時間だけである。推測点間の移動時間は含まれていない。臨界角208.38は最も早く推定ができ、点当りの所要時間は約1.5分である。エーカー当りの断面積に関係なく点当りの所要時間は2分以下である。臨界角104.18の点当りの所要時間は最大8分、平均して4.5分である臨界角52.09の点当りの所要時間はかなり大きく、平均11分で 点当り20分におよぶものがある。

52.09を用いた時には、エーカー当り、約100 feet²以上の断面積を示す推測点のないことに注意せねばならぬ。これは 理論的に含まれるべき総ての木を数えていないためである。この角度を用いれば 大径木は数 chain 離れていても数えねばならぬ、中間にある植生のために、現地ではこのような木が観測不可能のことがよくある。



1図 3種の臨界角による点当りのエーカー当り断面積推定時間

6表は 3種の臨界角について、野帳をとり終るまでの 総所要時間を示している。所要時間が最も短いのは 52.09を用いた時で これは 比較的 に 小数の推測点 が 用いられて いるからである。しかし 断面積と材積の推定が不正確であるという点からいうと この時間因子は 餘り重要でない。208.38による推定は これの2倍強の時間を要するが、推定の正確度が増すという点で価値がある。最大の所要時間は104.18を用いた時である。

6表 3種の可変プロット調査の推測点で費やされる時間合計

	52.09			104.18			208.38		
	推測 点数	点当りの 平均時間	計	推測 点数	点当りの 平均時間	計	推測 点数	点当りの 平均時間	計
		分	分		分	分		分	分
40エーカー	9	11	99	78	4.5	351	100	1.5	150
10エーカーA	2	11	22	19	4.5	85	25	1.5	37
" B	2	11	22	19	4.5	85	25	1.5	37
" C	2	11	22	18	4.5	81	25	1.5	37
" D	2	11	22	22	4.5	99	25	1.5	37

6結論 Conclusions

正確度と所要時間に基づき効率という点から、臨界角208.38がこの研究で最良のものであることが立証された。40エーカー地区の断面積推定値は46%、ボードフィート単位の材積推定値は7.6%低くだけであつた。10エーカーの地区については 僅かに大きな隔りがあつた。臨界角52.09による推定結果は、かなり不正確であつた。40エーカー地区について 断面積推定値は47.8%、蓄積推定値は47.5%低くあつた。10エーカー地区については、やはりこれより幾分大きな隔りがあつた。この角度を用いれば、一つの林地で使用できる推測点の数は制約を受ける。臨界角104.18にする推定値は、他の2つの角度の中間の断面積、材積を与える。さらに この方法では 所要時間は最大となつた。

52.09と104.18による調査結果が総て過小であつたと云う事実は、系統的誤差が存在しているという結果を立証している。理論的には、この3種の調査には差があつてはならない。というのは 数学的關係は 臨界角とは常に無關係だからである。しかし、実際には、可変プロット調査法は、最大巾の臨界角で、最多数の推測点を用いるのが最も良い。その証明は plot の大きさに關係があり、それに伴つて正確な勘定は困難になる。プロットが小さい程正確に勘定する機会が大きくなる。大きな臨界角が用いられれば、与えられた直径に

對するプロットの大きさは小さくなる。したがつて木をのやまる 度は最小である。臨界角が小さい程 プロットの大きさは大きくなり、これに対応して、理論的に数えねばならない木を数えそこなう機会は増大する。これらの木の中には推測点から數 chain 以上離れているものもある。このような木は他の木又は密生している下層植生のために不明瞭のことが多い。

恐らく、臨界角を増しても これ以上良好な勘定数の得られない最大の臨界角があると思われる。この角度は当然 森林状態によつて変る。疑いもなく、208.38以上の角度は、この場合にはよりよき蓄積推定値を与えると思われるが、その理由は推測点からの距離のために木を誤まる機会が少いためである。

(Journal of Forestry Vol 53, No. 8, August 1955)

参考文献

- Barton, W.B. and C.B. Stott (1946): Simplified guide to intensity of cruise. Jour. Forestry 44:750-754.
- Bitterlich, W. (1948): Die winklzahlprobe. Allgemeines Forst-und Holzwirtschaftlich Zeitung. 59 (1/2): 4-5
- Candy, R.H. (1927): Accuracy of method of estimating timber. Jour. Forestry 25; 164-169
- Goodspeed, A.a. (1934): Modified plot methods of timber cruising applicable in southern New England. Jour. Forestry 32: 43-46
- Grosenbauch, L.R. (1952): Plotless timber estimates - new, fast, easy. Jour. Forestry. 50: 32-37
- Hasel, A.A. (1938): Sampling error in timber surveys. Jour. Agric. Research. 57: 713-736
- Johnson, F.A. and H.F. Hixon (1952): The most efficient size and shape of plot to use for cruising in old growth Douglas-fir timber. Jour. Forestry. 50; 17-20.
- Johnson, F.H. (1949): Statistical aspects of timber-volume sampling in the Pacific northwest. Jour Forestry 47: 292-295.
- Mudgett, B.D. and S.D. Gevorkiantz. (1934): Reliability of forest surveys. Jour. Amer Statis. Assoc. 29:257-281.
- Robertson, W.M. (1927): The line plot system, its use and application. Jour. Forestry 25 : 157-163.
- Schumacher, F.X. and H. Bull. (1952) : Determining the error of estimate for a forest survey, with special reference to the bottomland and hardwood region. Jour. Agric. Research. 45 : 741-756.
- Preston, John F. (1934): Better cruising methods. Jour. Forestry 32 : 876-878.
- Stott, C.B. (1949): Timber cruising - the time it takes. Jour. Forestry 47 : 448-454
- Wright, W.G. (1925): Variation in stand as factor in accuracy of estimate. Jour. Forestry. 23 : 600-607.

VI 可変プロット調査法に関する私見

(Bertram Husch)

V) 可変プロット調査法に関する私見

Comments on the variable plot method of cruising

Bertram Husch

Groesenbaugh氏が 本誌 1955年 10月号で行った論説で "plotless" 調査法をもつと明確にする必要のあることが指摘された。厳密に云えば、この新しい方法は "plotless" ではなく、"可変プロット法" なのである。この方法は単に 点格子板を用いて行なわれるような、一連の点の分類に過ぎないという説明は誤まっている。

Bitterlich の Winkelsahl 法というのは、特定の推測点が 各種の半径とそれに対応する同心の円形プロットから成る一組のプロットの中心となっているものといえよう。この多数のプロットの半径は夫々、推測点から見える木の最大距離に相当し、可変プロット1個は エーカー当り 10 feet² の断面積に該当する (これは 臨界角は 104.18 断面積係数を 10 とした場合である。) ある d.b.h. の木が その特定のプロット内にあれば、エーカー当り 10 平方フートの断面積があることになる。

angle gauge を用いる方法の検視は、可変プロットの境界を定める一手段に過ぎないことが分つて来た。木の d.b.h. が大きくなる程 検視の行なわれる 半径、即ち推測点からの距離は長くなる。換算すれば 大きな直径が推測点における最大のプロットとなる。

数値例が この説明に役立つであろう。ある特定の林分の木は総て d.b.h. 12 in 即ち 1 foot の木であると仮定できる。臨界角 104.18 を用いれば、推測点から観測できて数えられる木までの最大距離は、d.b.h. の 33 倍となるであろう。要するに、これは 半径 33 feet の円形プロットを設けることである。半径 33 feet の円形プロットの面積は 0.0785 エーカーである。angle gauge を用いて、この大きさの木が 10 本測られたとしよう。このことは、この 10 本の木がプロットの範囲内に入っていることを意味している。

断面積係数 10 を用いれば、エーカー当りの断面積推定値は 100 feet² となるであろう。もちろん、推測点を 普通のプロットの中心と考えることで証明できるので これは正しい。このプロットでは、d.b.h 12 in の木即ち断面積が夫々 0.785 feet² の木 10 本が数えられた。断面積合計は 0.0785 エーカー当り 7.85 feet² 即ち前述のとおり、エーカー当り 100 feet² である。

さらに一步進めて、半分が 6 in、半分が 12 in の木から成立している林分を考えるとみることができる。各推測点には 各直径級の本数を数えることのできる 2種類のプロッ

トが存在している。前例と同じようにして、個々のプロット上の木は夫々、エーカー単位で表わした時 10 fee² の断面積をもつことが示せる。このことは さらに林分内に存在している 直径範囲にこの考えを押しすすめることができる。各直径は それぞれ特定のプロット半径をもっておりその範囲内にその径級の木があつたときには 数えられる。一連の推定点において、この可変半径プロットを重複させることができる。

Grosenbaugh は これらのプロットを重複させても、全然変らないといっている。エーカー当りの平均断面積の推定に関する限り、彼の説は正しい。しかし 普通の方法では、抽出誤差は計算できない。それは、個々の観測値は互に独立でないからである。換言すれば、重複したプロットでの観測値には、相関があるように考えられ、その結果 標準誤差は過小推定されることになる。可変プロット法による材積推定値を考えると、プロットの重複は 一回以上数えられる木が比較的大径のものであることを意味している。このために断面積と材積の平均的關係は過大推定されることになろう。

推測点が林縁から一定の距離のところのところに設けられるならば、疎密度にはつきりした差異のある時に周辺効果のための偏りが生ずるであろうという Grosenbaugh の論は正しいと思われる。

可変プロットによる蓄積調査法は その言外の意味が十分に理解できれば、何はともあれ、もつと研究調査してみる必要があろう。

(Journal of Forestry 1956. 1. Vo 54, No 1)

Ⅷ. 北アルカンサスにおける二、三の小 林地の蓄積調査設計の効果について

(C. Mesavage, L. R. Grosenbaugh)

Ⅶ 北アルカンサスにおける二、三の小林地の蓄積調査設計の効率について

Efficiency of several cruising designs on small tracts in North Arkansas Clement Mesavage と L.R. Grossenbaugh.

蓄積調査の正確さと効率は、プロットの配列とプロットの大きさで直接影響を受ける。

所定の目的で調査を行なおうとする地区には、その地区および調査目的に適する、ある配列とプロットの大きさが存在する。この研究では、北部ArkansasのOzark山および北部Louisianaの起伏の多い地帯の小林地の調査の正確度に、これらの因子がおよぼす影響を評価した。この論文のI部で、プロット配列を、II部でプロットの大きさを論ずることとする。III部では、北部Arkansasの大地域に適用される3種の調査設計の効率を比較している。

I部 プロットの配列 Plot arrangement

用材蓄積の推定は、一般に調査しようとする林地を横断して等間隔に配列した線沿に、一定間隔で設けた標本プロットを測定することにより行なわれる。極く一般に用いられている方式、即ち"10歩調査"は10 chain巾で2 chain間隔で設けられたスエーカープロットを利用している。このような機械的な配列の場合には、plot間の距離と線間の距離との比は1:5である。この配列は同数の標本プロットを無作為に配列する場合より費用はかからず、便利である。しかしその抽出誤差は大きく、単一格子の抽出誤差は近似的に求めることができるに過ぎない。(Hasel, 註2 Osborne, 註3 Delury 註4)

註2 Hasel, A.A. Sampling errors in timber surveys. *Tour. Agr. Res.* 57: 713-736 1938.

註3 Osborne, J.G. Sampling errors of systematic and random surveys of covertypes areas. *Tour. Amer. Statist. Assoc.* 37. 256-264. 1942.

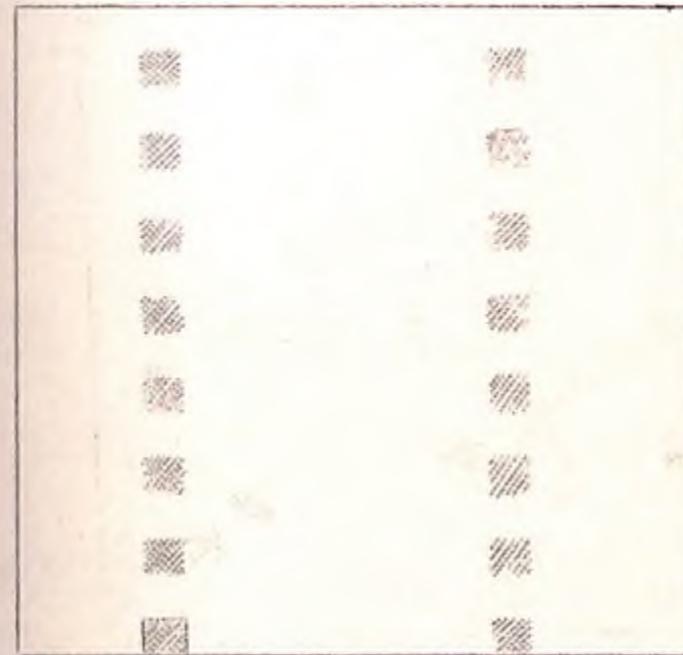
註4 Delury, D.B. Values and integrals of the orthogonal polynomials up to $n=26$. 33 pp. Univ. Toronto Press, Toronto, Ont. 1950

精度の低下が費用の軽減でつくなされるかどうか調査者が算定できないことが屢々ある。北部Arkansasの小林地で、この問題を調べるために、3種のプロット配列—その2つは系統的配列、1つは無作為配列—の効率の比較を行った。第1の系統的配列では1:1の正方形格子の交点にプロットを設け、第2のものは、短い辺が傾斜の主方向と直角になるようにした1:4の矩形格子の交点に設けた。

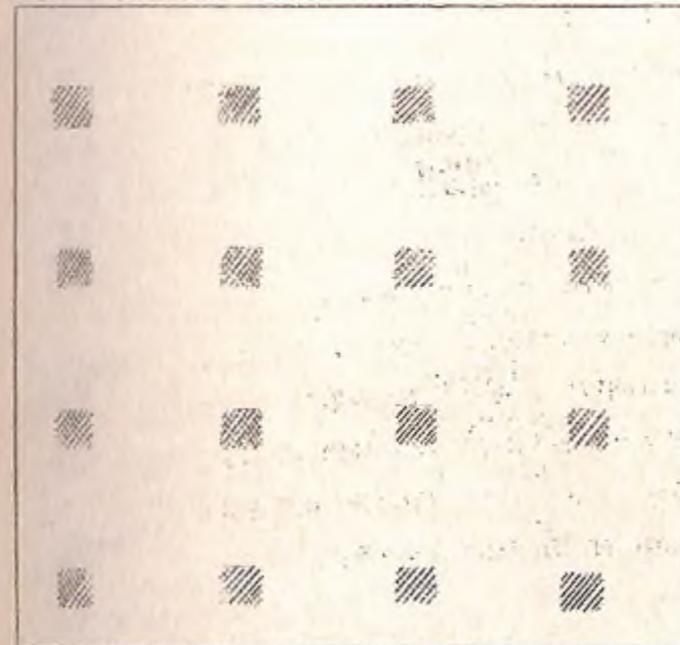
66	176	218	241	305	564	0	232	222	293	359	276	85	0	0	0	
440	13	514	609	159	435	161	157	221	176	0	565	109	159	78	0	
48	162	282	447	0	292	301	242	689	874	434	176	123	105	66	0	
0	86	144	434	306	337	207	66	142	407	201	471	0	342	406	200	
66	0	317	217	306	185	134	396	0	126	448	0	290	218	0	205	
0	117	226	76	57	167	181	257	97	199	0	50	122	144	0	97	
165	281	294	0	284	313	237	0	122	222	50	165	259	48	111	76	
230	112	159	60	0	247	87	182	128	199	48	81	0	0	163	128	
0	423	172	111	57	0	86	244	57	0	146	323	50	152	277	97	
215	122	109	233	422	135	0	183	48	363	0	133	0	114	0	590	
157	140	97	195	325	657	48	220	48	162	76	57	154	383	326	263	
144	457	0	147	516	86	173	0	229	0	66	111	425	226	289	594	
20	436	1	427	180	1335	66	162	0	114	124	166	559	244	132	336	183
403	18	77	145	502	0	76	165	334	153	149	557	340	284	381	434	
310	111	493	267	0	202	172	291	93	399	365	303	252	463	361	593	
396	126	603	239	308	198	452	318	298	157	142	149	238	468	408	559	

1 図 0.1 エーカークオドラートにする 2 号試験地のスクリブナー規格による純ボード
フィート材積の分布

2 図 16 x 16 chain の母集団における 16 個のプロットの配
列の比較 (1.6 エーカーが 25.6 エーカーの中から抽出される。)



1:4 矩形格子
(同じであるが重複を許さない 16 組の格子の 1 つ)



1:1 正方形格
(同じであるが重複を許さない 16 組の格子の 1 つ)



無作為配列

16個からなる 256: 組の1つ
240:16:

2図 16x16 chainの母集団における16個のプロットの配列の比較

(1.6エーカーが25.6エーカーの中から抽出される)

一般に1:1格子は最も効率が良く、即ち一定の費用に対して正確度が良く又、一定の正確度に対して費用が少なくてすむと云われている。

プロット配列の研究手法 Plot-arrangement study method

研究対象地区はArkansas州Newton郡のHenry R. Koen 実験林内にある12の林地である。各林地は16 chains平方で、その面積は正確に25.6エーカーであった。この地域は以前に0.1エーカークオドラードで毎年調査され、地図が作製されていた。1図は2号試験地のScribner規格による純ボードフィート材積の分布状態を示している。1表は12個の林地総てについて、林相、地形、材積分布を示している。

1表 Plot配列研究対象林の概況、エーカー当り平均ボードフィート材積(Scribner) 変動係数

林地	地形	林相	エーカー当り平均材積	変動係数 註
1	急	南斜面はShortleaf pine,北斜面は広葉樹	Bd.ft. 2,429	% 89.42
2	同上	同 上	2,119	84.56
3	同上	同 上	2,571	100.47
4	同上	同 上	2,974	73.71
5	中	マツ、広葉樹、東部産ギガントネズコの混交林	1,439	123.90
6	急	主として広葉樹で若干マツを混交	1,256	146.67
7	中	同 上	1,496	107.82
8	急	主として広葉樹	1,267	112.08
9	同上	同 上	1,064	109.55
10	同上	同 上	1,456	106.17
11	中	広葉樹と東部産ギガントネズコ	443	169.98
12	同上	主としてギガントネズコで若干広葉樹を混交	314	109.19

註 0.1エーカー単位

2図は12の対象林地のそれぞれでテストした3種のプロット配列を示す。各配列は16個の0.1エーカー正方形プロットから構成されている。正方形格子のプロットは巾4 chainの線上に4 chain間隔で設けられたが、一方矩形格子のプロットは巾8 chainの線上に2 chain間隔で設けられた。この種の重複しない系統的矩形格子は16組あり格子を使はなくても16組可能である。

単一の系統的格子の出発点は、もちろん確率的に選ばねばならない。

精度Accuracy-確率標本の抽出誤差は次式で計算される。

公式

$$SE = \left(\frac{c}{\sqrt{n}} \right) \sqrt{\frac{N-n}{N}}$$

で、SEは標準誤差即ち抽出誤差(平均プロット材積の百分率で表わされる)である。cは個々のプロット材積の変動係数、即ち個々のプロット材積と平均プロット材積との平均平方偏差

の平方根（平均プロット材積の百分率で表わされる）である。

n はプロット数

N は地区別の抽出単位の総数、即ち調査しようとする地区の総面積を標本プロットの面積で割ったものである。

$\frac{N-n}{N}$ は有限母集団の補正項である。

この公式を無作為配列のプロットによる調査に適用する時には問題はない。16個の確率抽出された0.1エーカープロットによる調査の抽出誤差を推定するには、プロットの資料から変動係数を算出し、これを公式に入れるだけでよい。しかし変動係数は誤差によって変るが誤差は標本プロット数が減少するに従って増大する。

したがって、この研究では、0.1エーカープロットの変動係数は無作為に抽出された16プロットの資料によらずに、地区毎に256ヶの $\frac{1}{16}$ エーカープロット全体から求めた。テストに先だつて、プロットの完全母集団のデータを用いることができたので、このことが可能であつた。そして、総てのプロットデータを用いることにより、地区毎に最良の抽出誤差の推定値が得られた。

地区毎に完全な情報が同じ様にして得られるならば、系統的配列の抽出誤差の不偏推定値を求めることが可能である。各地区には、256個の抽出単位が含まれているから、同一クオドラートの材積を一回だけ用いて、16プロットを含む16回の調査のデータを求めることができる。このような調査が2つの系統的格子別に12の試験林地のそれぞれについて組合せられた。16プロットの調査結果を単一の観測値とみなせば、一つの組の標準偏差は、単一の0.1エーカープロットと同様にして算出される。このやり方は、当然調査計画の上で可能であるに過ぎない。もちろん、この場合には16個の格子の一つが確率的に撰択されたものとしている。

費用 cost—費用は3人組の調査班で必要とされる時間数で測定される。時間は研究別に解析され（II部に詳しく報告してある）。その結果、ハンドコンパとテープによるプロット設定には班単位で移動距離1 chain 当り0.61分、かかることが示めされた。0.1エーカープロットの測定時間は調査の性質、用材本数、プロットの位置により変る。この研究では、プロットの配列に関係なく、測定時間は0.1エーカープロット当り平均3分であると仮定された。

合計時間数には、プロット測定時間—これは一定である（というのは各調査は同数のプロットを含んでいるからである）—と移動時間—これは配列によって変る—から成っている。

2つの系統的調査での移動距離は地区の辺長に調査線の数を乗じたものに、支距測量を考慮して、一本の線の長さを加えたものとして算出された。無作為調査の移動距離は、同じようには算定できない。というのは、無作為配列毎に変わってくるからである。しかし、距離は通常正方形に配置されたプロットによる調査に必要なものと略々同じであると、経験的に決められた。一つの地点から次の地点までの間の余裕を考慮して、無作為配列の移動時間は、仮に正方形配列の場合の120%に増した。

比較に用いた総調査時間（移動+プロット測定）は4×4の調査では96.80分、2×8の調査では77.28分、無作為調査では106.56分であつた。

効率 Efficiency—調査の効率には抽出精度と同時にコストを考慮に入れねばならない。これは（百分率で表わした）標準誤差の平方とコストとの積の逆数の函数と考えるのが最も良い。即ち、この逆数が最大となつた時が最適である。Cochran^{註5}によれば、ある調査設計の効率を（この場合には無作為抽出）地区毎に100%とし、他の設計の効率を、無作為抽出の百分率で表わした。

したがって、効率200%の1:1調査で得られる情報は、同一コストで行つた無作為調査で得られる情報の2倍となるであろう（抽出誤差は $\frac{1}{2}$ 倍となるに過ぎない）逆に1:1調査と同一精度の無作為調査では、費用は2倍となるであろう。

結果 Results—2表は、プロット配列毎の正確さ（抽出誤差）と効率を地区別に示している。4×4配列は12回のテストの中5地区で最も正確で、無作為配列は4地区、2×8の配列は3地区で最も正確であつた。4×4調査は、12地区の中5地区2×8は4、無作為配列は3地区で最も効果的であつた。

註5 Cochran, W.G. Sampling techniques. 330pp. John Wiley and Sons, Inc, New York 1953

2表 2種類の系統的抽出と比較した無作為抽出の精度と効率、この場合16個の0.1エーカープロットは北アルカンサス州の12の対象地区で色々に抽出されたものである。

対象地区	精度又は抽出誤差			効 率 ^註		
	4×4	2×8	無作為	4×4	2×8	無作為
	—	%	—	—	%	—
1	15.94	25.35	21.64	203	101	100
2	18.95	17.12	20.47	128	197	100
3	26.23	34.48	24.32	95	68	100
4	17.89	21.19	17.84	109	98	100
5	27.07	27.33	29.99	135	166	100
6	24.92	21.18	35.50	223	387	100
7	24.26	30.76	26.10	127	99	100
8	21.76	30.15	27.13	171	112	100
9	23.57	20.45	26.52	139	232	100
10	33.05	34.93	25.70	67	75	100
11	35.82	40.20	41.14	145	144	100
12	40.18	47.75	26.43	48	42	100

註 効率 = $\frac{(\text{百分率で表わした標準調査の誤差})^2 (\text{標準調査の総時間})}{(\text{百分率で表わした他の調査の誤差})^2 (\text{他の調査の総時間})}$

2表は4×4抽出調査間の平均抽出変動が、同数のプロットによる無作為抽出調査間の抽出変動より、12地区の中8地区で小さくなる傾向のあることを示している。しかし、この中には、はっきりしない暗示的な推論も含まれている。即ち、単一の4×4抽出調査内のプロット間の平均変動は、12地区の中8地区で、無作為抽出変動より大となる傾向がある。このことは、調査間変動の推定値として調査内変動を用いれば、4×4の系統的抽出の場合には、二倍に拡大された抽出誤差の推定値が得られることになるだろうことを意味している。無作為配列の場合には、調査間変動の不偏推定値を求めるために、調査内変動が使用できる。即ち、古典的な確率誤差の公式が正しく当てはまる。

4×4配列調査は12地区の内8地区で無作為抽出調査よりも正確となる傾向があるけれども、

2×8配列調査は、12地区の中僅か5地区で正確度が高くなっただけであることは注目する必要がある。さらに、4×4配列調査は、12地区の中9地区で無作為抽出調査より効率が高くなつたが（順位分析によれば、5%水準でほぼ有意であつた）2×8配列調査では、12地区の中7地区で無作為配列より効率が高くなっただけである。このことから、研究対象とした12林地では、1:1の正方形格子型配列は最大の効率を与える傾向があり、1:4の矩形格子型配列の効率は、これより幾分低くかつた。1:1格子型配列の正確度は、同数のプロットによる無作為抽出より大となる傾向があるが、1:4の矩形格子型配列は、無作為配列とはつきりした差違はなかつた。

一般に、テストを行なつた林地と同様な林地での調査では、特定の精度を得るのに必要な標本プロット数は、これらのプロットが確率的に抽出されたものとして求める必要がある。プロットが1:1正方形格子に配列されておれば、効率および正確度はいずれもプロットが無作為に配列されている場合よりも良くなる傾向があるであろう。1:4以下の矩形格子に配列されておれば、精度は、無作為配列と大して違わないが、費用は幾分少くなり、したがって、効率は僅かながら高くなるであろう。

II部 プロットの大きさ Plot size

用材材積の不偏推定値は、その配列に偏りがなければ、任意の大きさのプロットから求めることができる。しかし、最も効果的と思われる大きさの範囲は、恐らく狭いものであろう。実際には、4×4又は8×8エーカーのプロットが一般に用いられている。最適のプロットの大きさは、前述のものと同じ効率の測度で決定されると見なすことができる。即ち、この測度は、百分率で表わした抽出誤差の平方と費用との積の逆数である。効率が最大となるプロットの大きさが最適の大きさである。最適の大きさは、下木と費用とにより、又地区によつても変るであろう。

小面積の用材施業林の調査——小班以下の地域——では、最適のプロットの大きさは0.1エーカーより大きくないことが、この研究で示された。パルプ用材林では、最適の大きさは幾分小さくなり、hand stock、ベニヤ材、樽材のような特殊材の生産を目的とする林では、最適の大きさはかなり大となろう。

ある調査に最適のプロットの大きさを決めることは割合簡単で、以下に幾分詳しく論じよう。

プロットの大きさの研究方法

Plot-size study method

Koen実験林で7個の40エーカーの林班が、この研究のために選ばれた。さらに北Louisiana州の40エーカーの地区のデータがU.S内務省土地管理局のArkansas州Russ-

ellville 署から提供された。3表は Koon 実験林の林班別の林相および、取引可能性を示している。4表は、総ての単位についてのエーカー当り材積が示してある。

3表 Koon 実験林におけるプロットの大きさの研究用林地の林相および施業可能性別の材積

林班番号	施業可能性	林 相				
		マ ッ	広葉樹	ギガントネズコ	除 地	計
16	可能	4.1	13.2	2.2	0.0	19.5
	不可能	0.5	14.8	4.8	0.4	20.5
15	可能	0.0	4.3	5.0	0.0	9.3
	不可能	0.0	10.9	19.8	0.0	30.7
14	可能	2.0	8.2	3.3	0.0	13.5
	不可能	0.0	15.0	5.9	5.6	26.5
23	可能	20.7	9.0	1.0	0.0	30.7
	不可能	0.8	3.1	0.6	4.8	9.3
28	可能	4.4	17.5	3.6	0.0	25.5
	不可能	0.0	10.8	3.7	0.0	14.5
27	可能	5.3	12.3	2.5	0.0	20.1
	不可能	0.8	16.2	2.9	0.0	19.9
26	可能	5.5	24.4	0.2	0.0	30.1
	不可能	0.7	9.2	0.0	0.0	9.9

4表 8 地区の40エーカー地区の20系調査による変動係数Q (プロット平均材積の百分率) 相対的抽出割合、抽出効率

林班番号	調査樹種	エーカー当り材積 (Scriber)	変動係数 抽出割合										抽出効率	
			プロット	プロット	プロット	プロット	プロット	プロット	プロット	プロット	プロット	プロット		
15	全	406	168.0	147.1	126.3	108.4	15.4	16.6	19.8	21.6	100	109	85	91
同	ceder	181	157.0	108.6	93.9	73.9	13.7	15.4	18.8	20.9	100	101	73	78
同	ceder	(1)	81.1	69.3	121.8	127.5	8.1	9.8	24.3	36.0	100	88	15	9
14	全	818	168.0	147.1	126.3	108.4	16.8	20.8	25.3	30.7	100	84	61	55
28	全	1,130	119.9	101.8	84.7	69.7	12.0	14.4	17.0	19.8	100	89	68	67
16	全	1,239	121.5	101.8	81.2	70.8	12.2	14.4	16.3	20.0	100	92	77	67
27	全	2,194	113.4	92.7	80.9	72.9	11.4	13.1	16.2	20.6	100	95	67	55
26	全	2,617	116.5	102.8	91.4	86.3	11.6	14.6	18.2	24.4	100	81	55	41
同	white oak	352	196.6	141.9	117.1	77.5	19.7	20.1	23.4	21.9	100	122	97	147
23	全	4,386	103.2	91.7	84.3	76.2	10.3	13.0	16.9	21.6	100	81	51	41
北部 Louisiana	全	4,042	72.7	54.4	45.3	34.6	7.2	7.9	9.0	9.7	100	86	89	100
同	マ ッ	2,281	118.8	99.8	82.2	66.3	11.9	14.1	16.5	18.8	100	91	72	73
同	Red-oak-beech	760	139.5	140.8	93.4	75.5	14.0	19.9	18.7	21.4	100	67	77	77
同	white oak	467	178.6	131.5	86.0	65.5	17.9	18.6	17.2	18.5	100	126	148	169
同	yellow popala	534	163.0	129.2	93.0	63.1	16.3	18.2	18.6	17.9	100	159	116	165
同	ゴム-ビツコリ	(2)	143.3	107.7	84.6	71.4	14.3	15.2	16.9	20.2	100	112	98	90
同	高山マツ													

注1 132 feet
注2 54 feet

林班別の情報は0.1エーカーの正方形クオドラードによる全林毎木調査で得られた。このクオドラートの材積をさらに3種のプロットの大きさによる3つの材積母集団を作るため、結合した。この中には0.1エーカープロットの基本母集団の外に、0.2, 0.4, 0.8エーカープロットの母集団が含まれている。0.2エーカープロットは矩形(1×2 chain) 0.4エーカープロットは正方形(2×2 chain) 0.8エーカープロットは矩形(2×4 chain)である。

4種のプロットの大きさの効率は、40エーカーの中から8エーカーを0.1エーカープロットの効率を標準即ち100%として、各大きさのプロットで無作為に抽出されたものとして算出した。したがって、抽出誤差は、プロットの大きさが夫々0.1, 0.2, 0.4, 0.8エーカーの80, 40, 20, 10個の標本プロットを用いて算出した。4表には、プロットの大きさ別の変動係数が示してある。この変動は、いずれの場合にも与えられた大きさのプロットの全母集団を利用した。費用は、ある地区の一端から出発して、正方形格子の理論的交点に、必要数のプロットを設定し、測定に要する合計時間で測った。もちろん、実際に無作為に設定する場合には、こゝで仮定したように格子状に設定する場合より時間がかかるであろう。したがって移動距離は $(n+1)L$ として算出した。こゝでnはプロット数、Lは40エーカー林班の辺長である。実際の所要時間は、当然、地方と調査員によって変る。

移動およびプロット測定時間のデータはArkansas州Stone郡のSylamore実験林の16エーカー地区でとられた。この地区の起伏は中度であつた。エーカー当り平均材積は広葉樹で7,200ボードフィート(粗Scribner)であつた。3人一組の調査班で、ポケットコンパスとテープを用いて1 chain移動するのに0.61分かかることが分つた。プロット内の測定時間は、かなり違つてはいるが、0.1エーカープロットと他の大きさのプロット測定時間との比は、与えられた条件については、比較的安定している。Sylamoreのテストでは、0.1エーカープロットを測定するのに分かかかることが1分かり、0.2, 0.4, 0.8エーカープロット(円形)については、夫々1.61, 2.69, 4.12分かかった。0.4, 0.8エーカープロットでは、プロットの境界を明示するため、四隅に杭をうつ必要があり、このため、さらに、夫々1.77分と2.46分を要した。

プロット測定時間は単位面積当りの本数(プロットの大きさの関数)、含まれるか否かをchainで確かめねばならない境界木の本数(プロット周囲又はプロットの大きさの関数)で変る。したがって、大きなプロットの測定時間は、プロットの大きさの単純な関数ではなかつた。0.1エーカープロットの測定時間は3分と定められた。したがって他の大きさのプロットの所要時間は夫々4.83, 9.84, 14.82分となつた。

5表には、プロットの大きさ別に、相対的時間係数が示してある。

5表 20%調査の調査所要時間係数

プロットの大きさ	調査当りプロット数		移動時間	プロット測定時間		時間合計
	個	分		分	分	
0.1	80	121.3	240.0	361.3		
0.2	40	89.3	193.2	282.5		
0.4	20	66.7	196.8	263.5		
0.8	10	50.8	148.2	199.0		

4表には、テストを行つたプロットの大きさ別に、平均プロット材積、有限母集団修正を施した20%調査による推定値の抽出誤差および相対的誤差が示してある。

この表は、ただ一つの例を除いて集約度の等しい推定値の正確度は、プロットが小さくなり、数がふえるにつれて増すことを示している。しかし、総費用も増大し(百分率で表わした)抽出誤差の平方が、費用の増加より速く小さくならない限り、効率は、向上しない。

読者の熟知している集落抽出の公式は、プロット集落間の母分散、集落内の分散、集落当りの調査時間(測定時間を除く)と集落当りの各単位の測定時間で、最適のプロットの大きさを表わしている。注6

$$M = \sqrt{\left(\frac{V_w}{V_b}\right) \left(\frac{T_b}{T_w}\right)}$$

しかしながらこの公式(Mは集落当りの最適プロット数)は、この場合には、プロットの最適の大きさを決めるのに用いるのは妥当でない。というのは、0.1エーカープロットを結合した2, 4, 8の集落間分散は、集落当りのプロット数-プロットの最適の大きさに含まれる未知の要素で変る集落間の距離によつて変るからである。それにもかかわらず、この公式は理論的に一般化するのに役立つ。

試験を行つた林班では、用材林として施業し得る殆んど総ての林分で立木本数は比較的に少いとはいえ0.1エーカープロットは、他のこれ以上の大きさのものより効率が良かった。稠密な林分では、もつと小さなプロット-例えば0.05エーカーでも高い効率が得られる確率は高い。というのは $\frac{V_w}{V_b}$ は小さくなる傾向があると思われるからである。材積が少く、小数の大径

注6 Yates, F. Sampling methods for censuses and surveys 318PP Hafner Pub. Co, New York City, 1949. 269-287

木が散生している場所では $\frac{V_w}{V_b}$ が大きくなる傾向があるので、大きなプロットの良いことが示めされた。その一例は、15林班である。こゝでは上層林冠を形成する広葉樹および東部系ギガントネズコの本数が少なかった。大形プロットは、主として小数の大径木が散生している、単独の樹種群にも良い結果を与えるであろう。26林班の構成樹種であるwhite oakはこの適例である。しかし、かなり出現度の高い個々の構成樹種は0.1エーカープロットで標本調査するのが最も良い。したがって、北Louisiana地方では、0.1エーカープロットが、比較的の本数の多いマツ、red-oak、ブナの標本調査に効果的であつた。

大面積を低い抽出率で調査すると、集落抽出公式の比 $\frac{T_b}{T_w}$ を増大させる因となりながら、したがって、最適のプロットの大きさは、このような場合には大きくなる傾向がある。この傾向は小面積の林地から得られた結果に基づいているから、これ以上のことは示めされないであろう。

4表は、大径木がまばらに散生している林分を含み、それが非常に小面積である場合を除いて、(例えばwhite oak) 40エーカーの試験林の大部分で、普通の1/4エーカー又は1/2エーカープロットは蓄積調査用として大き過ぎることを示している。当然のことながら、最適大きさのプロットを使用することにより、かなりの節約ができる。径級に確率比例させた単木抽出調査法は、この面で一つの手段となるであろう。

最適のプロットの大きさの決定—プロット配列とは違つて、プロットの大きさによる効率は事業実行の段階で、直ちに調べることができる。この点について次のような予備調査方法が示されている。

1 ある範囲の太きさをもつ同心円で材積或は断面積の推定値を求める。調査すべき林地上に散らばっている多数の標本の位置毎にプロットを設けなければならない。

検定すべきプロットの大きさの選択は、林地の平均立木本数によるべきである。本数の多い、取引可能な用材林では、例えば0.05、0.1、0.2エーカープロットを選べば、良い結果が得られるであろう。幼令の同令林でパルプ材を推定するには0.0125、0.025、0.05エーカーのプロットが提案されている。

プロット材積の推定に必要なのは、d.b.h 級別の野帖だけである。d.b.h 別の適当な材積表でなければ、このテストは $\sum D^2$ を使うことができよう。(プロット毎の単木直径の二乗和)

同心円のプロットで野帖をとる場合に、重複して記帖されるのを防ぐため、なんらかの方法で印を付けながら、最小プロットの木を記帖する。それから、野帖をめくり、次に大きな

プロットの未測定の本の測定に取りかかる。野帖の一枚一枚のデータを組合せれば、各標本点における大形プロットの完全な野帖が得られる。

抽出地点の数は所要精度によつて変る。調査用具が重く、同じ様な地区を多数調査する予定の場合には、1又は2の代表的な地区の約50地点でとつた標本で充分であろう。精確さが要求されなければ、20地点の標本で、充分としなければならない。

2. テストしようとするプロットの大きさ毎に材積(又は $\sum D^2$) の変動係数を算出する。
3. 最小のプロットで所要の正確度を得るに必要な、調査歩合を計算する。
4. テストする総ての大きさのプロットについて、同一調査歩合で調査するのに必要な時間を推定する。
5. 2表の脚註に示してある公式を用いて、各調査の効率を計算する。

6表 北Arkansas州の360エーカー地区の林相および施業可能性別の面積とエーカー当り材積(Scribner)

林相	施業可能		施業不可能		全地区	
	エーカー当り材積	面積	エーカー当り材積	面積	エーカー当り材積	面積
	Bd. ft	エーカー	Bd. ft	エーカー	Bd. ft	エーカー
マツ	5,000	40.0	357	2.8	4,696	42.8
広葉樹	2,408	100.1	243	94.8	1,355	194.9
ギガントネズコ	2,000	27.5	208	43.2	905	70.7
非林地	—	—	—	51.6	—	51.6
計と平均	2,959	167.6	172	192.4	1,469	360.0

7表 5.56%の調査歩合で無作為記列した各種プロットの正確さと効率の比較

プロットの大きさ	プロット	プロットの変			
		動係数	総調査時間	抽出誤差	効率
	個	%	分	%	%
0.1	200	168.5	1,154	11.57	100
0.2	100	150.7	886	14.65	81
0.4	50	139.5	787	19.17	53
0.8	25	127.3	590	24.74	43

次のような例を示さう。1.0%の抽出誤差で所要の正確さが得られ、0.1エーカープロットの変動係数を100%と仮定する。有限母集団修正を無視すれば、0.1エーカープロットの必要個数は $\frac{(100)^2}{(10)^2}$ 即ち100である。同じ抽出率を用いれば、0.2エーカープロットは50、0.25エーカープロットでは25個必要なことになる。

次に、これらの各調査の所要時間を推定する。地区が正方形であれば、移動距離は $(n+1)h$ に等しいとおくことができる。移動時間は、調査線の測量をスタッフコンパスとするか、ポケットコンパスとテープとするかによつて、chain当り夫々1.1分、0.6分となると仮定できよう。(この時間の値は細分の必要はない)プロットの大きさ別に、プロット測定時間を推定する。地方的な時間の研究ができなければ5表を参照して決める。

次に、0.2エーカープロットの変動係数が90%であり、調査の所要時間の計が0.1エーカープロットの600分に対して500分であれば、後者の効率を100とすると0.2エーカープロットの効率は $\frac{(100)^2}{(90)^2} \cdot \frac{(600)}{(500)} = \frac{(100)(6)}{(2)(81)(5)} = 74.1\%$ となるであらう。

その他の大きさのプロットの効率も0.1エーカープロットの効率と同様にして比較されるであらう。

III部 調査設計 Survey designs

この研究のI部とII部では、プロットの配列と大きさの効果を別々に取り扱った。III部では、プロットの大きさと配列を同時に変え、その結果が正確度および効率におよぼす影響を比べてみた。

調査設計の研究方法— この研究の対象林地はKoen実験林中にとつた辺長60 chainの正方形ブロック(面積360エーカー)の地区である。6表には、林相および施業性別の面積と材積の分布状態が示してある。地勢は全般的に中〜急で、傾斜の主方向は東および西であつた。

まず、5%に近い抽出歩合で、満足のゆく正確度が得られるという仮定に立つて、各種の大きさのプロットの効率を調べた。4表、5表を導く手法が、7表を得るのに用いられた。

5%に近い抽出歩合では、0.1エーカープロットが効率のよい大きさであることが分つていたので、1:1の正方形格子に配列した6%の系統的抽出と6%の無作為抽出の比較にこれを用い、この両者と1:5の矩形格子に配列した10%の0.2エーカープロットと比較することとした。したがつて、この2種類の系統的調査には4x4 chain間隔のプロット225個

と2x10 chain間隔のプロット180個を含んでいる。

結果— 毎木調査で得られた粗材積を用いて、9表に示してある抽出誤差、総調査時間、効率を、I部、II部と同じ手法で算出した。1:1正方形格子に配列した0.1エーカープロットを用いた6%抽出は、これ以外のどの設計よりも遙かに効果的であつた。

0.1エーカープロットの正方形が、この特定地区でテストした他の方式より正確かつ効果的であるということを除いては、この比較からは、何も推論できない。この比較は、何が期待できるかを確証してはいるが、かならずしもそうなるとは限らない。全体として、調査員が正方形配列を採用し、プロットの大きさを選ぶ際に思慮を働かせることにより、効率の改善できることが分つた。

摘要 Summary

I部— 北Arkansasの12地区で16個の0.1エーカー標本プロットの正方形、矩形、無作為配列について材積推定の正確さ、効率の比較を行つた。いずれの地区の面積も25.6エーカーであつた。正方形配列は、線当り4プロットをもつ4本の線からなり、矩形配列は、線当り8プロットをもつ2本の線からなつている。所要時間、抽出誤差を考えれば、正方形配列は、12地区の中5地区で最も効率よく、矩形配列では4地区、無作為配列では3地区で最も効果的であつた。

8表 各種の系統的調査による標本材積(Scribner)抽出誤差の算定基礎

重複を許さない逐次標本による純材積

1/4エーカープロット 180		3/4エーカープロット 225	
2x10 chainの矩形格子に配列した系統的10%標本		4x4の正方形格子に配列した系統的6%標本	
	ボード フィート	ボード フィート	
1	50,992	35,450	
2	48,648	35,540	
3	61,361	29,946	
4	61,175	38,615	
5	56,610	33,472	
6	58,451	31,320	
7	46,062	34,764	
8	48,911	31,634	
9	49,309	28,894	
10	47,913	30,632	
11	---	33,929	
12	---	28,960	
13	---	31,687	
14	---	34,992	
15	---	36,192	
16	---	33,405	
計	529,432	529,432	

9表 3種類のプロット配列の正確さと効率

プロット配列	抽出密度	プロットの大きさ	プロット数	抽出誤差	総調査時間	効 率
	%	エーカー	個	%	分	%
正方形	6%	0.1	225	8.17	1,261	100
矩形	10	0.2	180	10.47	1,125	68
無作為	6%	0.1	225	10.87	1,378	52

II部一 4種のプロットの大きさ、0.1、0.2、0.4、0.8エーカープロットの抽出誤差および効率を、北Arkansas州とLouisiana州の8個の40エーカーの林班の20%調査と比較した。この林班の樹種構成およびエーカー当り材積はまちまちであった。抽出誤差は、費用は増すけれど、プロットを小さくし、数を増すにつれて減少する。用材の施業可能な材積が充分にある林班では、総て、0.1エーカープロットによる正確度の向上は費用の追加を補って余りあるものであった。一様で稠密な同令林では、0.1エーカーよりさらに小さいプロットが効果的と思われるが、この点については試験しなかつた。極端に疎立、散生している大径用材林の調査(例えばwhite oak)では、0.8エーカープロットが、これ以下のものより効果的で、これ以上のプロットを用いれば、さらに効率は向上するであろう。

III部一北Arkansas州の360エーカー地区では、4x4 chainの正方形格子に系統的に配列した225個の0.1エーカープロットによる6%調査は、エーカー当りのボードフィート材積推定の3種の設計の中最も効果的であつた。他の2つの設計というのは、同数の0.1エーカープロットを無作為に配列したものと、2x10 chainの矩形格子に系統的に配列した180個の0.2エーカープロットによる10%調査である。

(Journal of Forestry Vol 54, 469)

Ⅷ、南東テキサス州における卓調査法
とプロット調査法との比較

(L. R. Grosenbaugh)
(W. S. Stouffer)

題 南東テキサス州における点調査法とプロット調査法との比較

Point-sampling compared with plot-sampling in Southeast Texas

L. R. Grosenbaugh

W. S. Stover

点抽出調査法は、地図又は航空写真から森林面積を推定するために古くから一般に用いられて来た方法である。最近では、断面積を一定の係数だけ拡大する angle-gauge¹ の使用を通して点調査法の概念は、エーカー当りの断面積と共に、蓄積やエーカー当りの直径階別本数² の推定にまで拡大されている。各種の angle-gauge が考案されているが、一番見込みがあるのは、傾斜に対する補正や拡大視⁴ のできるように作ることでできる簡単な楔状プリズム³ である。林木に適用する点調査法の発展過程および応用については、最近の文献⁵ に要約してある。

林木はその直径が林木の直径の定数(K)倍、面積が断面積の定数(K²)倍の仮想円内にあるものとみなされるであろう。特定の母集団からの標本木の選択は、その母集団内に無作為に一点を選び、その標本点の上で重り合う円内にある木を総て測定することで行なわれる。標本点で重り合う円内にある木を決めるには、angle-gauge を用いると便利である。標本木は角の頂点を標本点の真上に置いた時、胸高位置で angle-gauge より大きな水平角に対する樹幹をもつ必要がある。したがって K² はゲージとして用いられる角 θ の関数である。

$$K^2 = \operatorname{csc} \left(\frac{\theta}{2} \right) = 1 + \cot^2 \left(\frac{\theta}{2} \right) = \frac{1}{\operatorname{hav} \sin \theta} = \frac{2}{1 - \cos \theta}$$

註1 Bitterlich, W. 1948. Die Winkelsahlprobe. Allg. Forst- u. Holzw. Ztg. 59(3/4):4-5

註2 Grosenbaugh, L.R. 1952. Plotless timber estimates—new, fast, easy. J. For 50:32-37

註3 Muller, G. 1953. Das Baumzahlrohr. Allgemeine Forstzeitung 54(19/20):249-251

註4 Bruce, D. 1955. A new way to look at trees. J. For. 53:163-167

註5 Grosenbaugh, L.R. 1955. Better diagnosis and prescription in southern forest management. U.S. Forest Serv. S. For. Exp. sta. Occ. Pap 145, 27 pp.

単木断面積(BA)を feet^2 で表わし、林木母集団の含まれる林地面積(LA)をエーカーで表わせば、母集団内の各林木は $\frac{K^2(BA)}{43,560(LA)}$ として表すことのできる一定の抽出確率(無作為抽出された点毎に)をもっている。標本が抽出されれば、標本木が標本に含まれる確率は予め計算できる。必要とする変数の母集団総計は、標本の抽出機会が等しくない場合(例えばP.P.S抽出法)の抽出理論に従って、必要とする変数の個々の標本値を対応する抽出確率で割ったものを合計して、推定できる。

したがってM本の木が、単純無作為点抽出法で選ばれ、各林木について変数Xが各林木のBAと同じ様に測定されるとすると、特定の林地又は母集団におけるXの総計の標本推定量は

$$\frac{43,560(LA)}{K^2} \sum \frac{X}{BA}$$

エーカー当りの推定量は上式をLAで割ったものである。

$$\frac{43,560}{K^2} \sum \frac{X}{BA}$$

Xが現在の断面積を表すものとすれば、この式は簡単に $\frac{43,560M}{K^2}$ となり、個々の標本木の断面積は測る必要がない。Xが直径階別の本数、材積、過去の断面積等を表わすものとすれば、此の合計は一定とならず、各Xと同時に、個々の木の現在の断面積をも測る必要がある。

この理論は重視して抽出された点や傾斜地にも簡単に拡張できる。

上記の方法は、地図又は航空写真で、点調査又は点勘定法をしたことのある人にはなじみのある、大きさに確率比例する標本調査法(P.P.S)の特別な応用に過ぎないことが分る。

一般に、P.P.S標本調査法は、偏りを避けるために復元をしなければならない。したがって同じ木の重複抽出は偏りを含んでいない、しかし、母集団の標本木の復元に失敗すると偏りが含まれるかもしれないが、これは無視できる場合が多い。

プロット抽出(選択確率が出現頻度に比例している)と点抽出(選択確率が断面積に比例している)とは根本的な相違があるために、小面積の全数調査の結果と比較し、点抽出法を評価しようとした人が多い。

このような比較は、angle-gaugl の目盛の不正確さ、全数調査に用いた木の材積によらない材積-断面積比の使用、藪のための偏り、周縁効果による偏り、疑問のある木の偏つた

扱い、標本点を定める時の偏り、サンプリングに帰因する正規変動の判断の誤り等により役に立たなくなることが多かつた。

調査の設計と現地調査法

1954年に南東部テキサス州の12の地方でU.S.山林局が森林調査を開始したことは点調査法とプロット調査法の平均値および精度を比較する絶好の機会を南部林業試験場に提供してくれた。前に説明したような誤まつた推定をする原因となるものを除くように注意を払つた。

この地方は既に標準森林調査法で調査されていた。この地方では、傾斜が10%を超えることは稀であつたので(この場合には、点調査法で1%の補正が必要である)正規の森林調査のデータがとられた4エーカーの円形プロット中心から104.18'の楔状プリズム(3.03プリズム-ジオブトリー)で観測して、標本木を選ぶことも決められた。両種のデータは後にパンチカード方式で処理した。こうすれば各プロット毎の断面積およびボードフィート単位の立木度を比較し、解析できるであろう。調査員は自分の手で調査表を作り上げることができないが、現地調査の完了後、長い間吟味の成果が分らなかつた。

本来、南東部テキサス州の森林調査法は林地に落ちた方形格子(3マイル間隔)の各交点で一對の4エーカープロット(5-chain間隔)を取る方法であつた。森林調査の完全な資料は、両プロット(主プロットと補助プロット)でとられたが、この後で説明する、比較や解析の多くは、1954~55年に調査したテキサス州の12の地方に設定した655の主プロットとそれの同心円内の点標本によるものである。

しかし、特殊な解析をするために655個の補助プロットの断面積を求めた。即ち、地点内と地点間分散の推定値は、将来、点調査法の設計をする場合に起ると思はれる変化についての手掛りを与えるであろう。

数組の調査班が断面積係数の違う楔状プリズムを用いるよりは、市販されている3ジオブトリーの楔状プリズムを多数調達し、数人で2種類の頂板を用いて(3.03inと9.09in)割つた偏差が平均して104.18'即ち3.03ジオブトリーのものだけを選べばよい。脚註5に示してある参考文献に述べてある方法により度盛される。(2種類の頂板を用いる場合を除く。)平均断面積係数が9.9と10.1の間にあるプリズムが採用され、それ以外のものは棄てられた。実際こうすれば器械の最大誤差を1%以下におさえて、総てのプリズムについて

断面積係数1.0を用いることができる。調査の行なわれた1ダースの3ジオブトリープ・プリズムの中から、前記の基準にかなり3箇のプリズムが見付けだされた。後述する“疑しい木”を吟味することで、残りの器械誤差は実地上除かれ、境界線上の木を測定すれば個人誤差も除かれる。

プリズムを通して観た木のうちで、“数える”もの(像が重複している)“数えない”(像が分離している)ものにはつきりと分類できない木は直接測定で吟味する。木までの距離($1/10$ foot 単位)が、直径($1/10$ in 単位)の2.75倍以下であれば、疑問のある木は“数えられる”。この2.75は使用したプリズムのプロット半径係数で、その理論と実測については、脚註2、5に示してある参考文献で論じてある。

調査にあたっては、 $1/4$ エーカーのプロット内にある、d. b. h. 6.95 in 以上の全林木について、(直径は $1/10$ in 単位)詳細な標本木測定を行なった。これと同心円をなす $1/40$ エーカープロットでは、d. b. h. 4.95 ~ 6.95 in の木は $3/8$ in 単位 .95 ~ 2.95 in の木は2 in 括約で測り、2.95 ~ 4.95 in の木は本数だけを数えた。(これらの木はその後1 ~ 3 in と3 ~ 5 in の級とみなされるであろう)

しかし、点調査法では直径1 in 以上の木は全部含まれている。

2 in と4 in 級に入る小径木の $1/40$ エーカープロットによる断面積推定値からできるだけ偏りを除くために、Grosenbaugh は二つの積分比(本数分布の積分に対する断面積分布の積分の比)を用いる方法を考案した。この方法は補註に詳しく説明してある。その結果、エーカー当り断面積のプロット推定値は、タラスの中央直径の木の断面積が、平均断面積の木と同じであるという仮定に基づく、普通の偏りのある方法で求められたもの比べて1 foot² 少なかった。これは断面積を推定する際、粗分けの誤差を無視したための偏りが累積していることを示している。

皮内4.0 in 以上の取引可能の上部直径までの foot² 単位の粗材積(樹皮は除かれているが、きずは含まれている)をd. b. h. 4.95 in 以上の標本内の総ての木について計算した。森林調査用標準材積表(d. b. h. は in 単位、取引可能樹高は8 foot 単位、Girard の形級別に記載してある)がプロット調査木に適用され、同じ材積表が点調査木の材積/断面積比を求めるためにも用いられた。

取引可能の上部直径(針葉樹では皮内6 in 以上、その他については8 in 以上)までの粗 board-foot 材積(樹皮は含まれないが、きずは含まれている)をd. b. h. 2.95 in 以上の全針葉樹、1.95 in 以上の全広葉樹について計算した。foot² 単位の材積

と同じ項目別に記載されている森林調査用標準材積表(挽目を $1/4$ in とする国際丸太規格)が用いられた。断面積と board-foot 材積の比は、前述の点調査の木についても求められた。

結果 Results

一般に、点調査法による推定値と Plot 調査法による推定値とを比較してみると2種類の不偏的なサンプリング方法の完全な比較から期待されるものが具体化される。エーカー当りの平均断面積、foot² 材積、board-foot 材積については偶然誤差即ちサンプリング誤差に因ると思われるものより大きな差異は観測されなかつた。系統的な方形格子によるサンプリングは誤差の推定が複雑であるから一般に無作為抽出法の公式が用いられる。というのはこのようにして算出した差および比の誤差は安全側にあるということを示す根拠があるからである。

1表のエーカー当りの数値を比べてみると分るように点調査法の推定値は Plot 調査法の推定値に比べて、断面積でエーカー当り0.041 foot² 少く、foot² 材積でエーカー当り0.4 foot² 高く、board-foot 材積でエーカー当り37 board-foot 低くかつた。なか、655点はいづれも南東部テキサス州全体にわたって配置された $1/4$ エーカープロットと同じ番号の中心に設けられたものである。対応する差の標準誤差を比べてみたところ、5%の有意水準に達するものは一つもなかつた。実際に、抽出変動だけによつてこれ以上の差は5倍以上生ずるであろう。1表には又標本の種類別の標準偏差、標準誤差を示してある。一点抽出法の誤差は少し大きい、作業量は遙かに少なくてすむ。各調査法の所要時間の比較はこの予備テストではできなかつたので、この二つの方法の効率を正確に述べることはできない。

Plot sample と同じ foot² 材積の精度をうるには Point sample を20%以上多くする必要のあることを1表が示しているにもかかわらず $(\frac{25.9}{23.6})^2 = 1.20$ 一つの点標本の調査時間は、 $1/4$ エーカーと $1/40$ エーカーのプロットを組合せたプロット標本より遙かに少い。(1310のプロット抽出標本では28510本の木が調査されたのに比べて1310の点抽出標本では7012本の木 又1点抽出調査で必要な距離確定の回数はかなり少い。)この結果、効率の良い集落抽出法の設計とは、一つの地区で Plot 標本は1表 南東部テキサス州で、標準 $1/4$ エーカー円形プロット(方法B)の中心で104.18' のプリズムを用いて点抽出調査(方法A)された655地点のいくつかの変量の観測値の平均、

標準偏差、標準誤差の比較

断面積の比較

サンプリング 方法	1 in 以上の木のエーカー当り 断面積			これ以上大きな平均値の差が 差0の母集団のサンプリングで 偶然だけで生ずる確率
	平均	標準誤差	標準偏差	
点抽出法 (A)	53.76	1.49	15.82	$\frac{0.041}{0.727} = .056 = t_{0.955}$ 95%確率
Plot抽出法(B)	53.80	1.25	32.0	
差(A-B)	-0.041	0.727	18.6	

board feet 材積の比較

サンプリング 方法	エーカー当りの粗材積; d.b.h. 5 以上の全林木			これ以上大きな平均値の差が、 差0の母集団のサンプリングで 偶然だけで生ずる確率
	平均	標準誤差 feet ³	標準偏差	
点抽出法 (A)	692.1	25.9	662.9	$\frac{0.4}{10.7} = 0.037 = t_{0.970}$ 97%確率
Plot抽出法(B)	691.7	23.6	603.4	
差(A-B)	+0.4	10.7	273.3	

Board-foot 材積の比較

サンプリング 方法	エーカー当りの粗材積; d.b.h. 11 in 以上一針葉樹では 7-11 in の木を加える一全林木			これ以上大きな平均値の差が、 差0の母集団のサンプリングで 偶然だけで生ずる確率
	平均	標準誤差 Bd. ft	標準偏差	
点抽出法 (A)	3260	150	3848	$\frac{37}{59.4} = .622 = t_{.554}$ 53%確率
Plot抽出法(B)	3297	143	3663	
差(A-B)	-37	59.4	1522	

多くの点標本をとることであり、必要あればこの20%の差はさらに減らされるであろう。又賃金の低い一人の補助員で済む可能性は点標本の方がPlot標本に比べて大きい。さらに点抽出法は、与えられたfeet³単位サンプリングの正確度で、より大きな価値のある各種のboard foot 蓄積のサンプリングの正確度を増大する。その理由は、104.18'のangle gauglでは1/4エーカープロットに比べてd.b.h 2.14 in 以上の木が多く測られ、小径木が少くなるからである。最後に成長量の外業および内業は(誤差の推定とも関連して)Plot抽出法より点抽出法の方がかなり費用の節約ができると期待されている。

このような長所を数値で立証することをこの研究では行なわなかつたが、これは点抽出法の優秀さの程度についての質問に過ぎないと感じている。条件によつては、10以上の係数のangll gauglが効果的のこともあるが、これに要する費用および費用の比較については研究しなかつた。というのは、このような情報は正規の森林調査員の行っているものより遙かに費用のかからない方法で調査できるからである。

2表は1表と同じ標準偏差、標準誤差を示しているが、その値は平均値の百分率で示してある。この場合は1表に示されている前述の差違は非常に小さくなつていることが分る。点抽出法は、エーカー当り断面積で0.1%低く、エーカー当りfeet³材積で0.1%高く、エーカー当りboard feet積で1.1%低くなつていだけである。点抽出法の変動係数は1/4エーカーPlot抽出法より幾分高くなつていだけである。即ちboard feet, feet³、断面積の順序で7~12%高くなつてい。両方法の標準誤差は相互の0.5%以内であつた。

1/4エーカープロットの観測値と104.18'の同心円状の点標本の観測値との相関に注目してみると面白い。相関係数は、断面積、feet³材積、board feet材積について夫々0.874, 0.911, 0.919である。この値は、予期したようにならぬ高い値であるが、点抽定値とその周りのPlot推定値との比は約3回に1回の割合で35, 39, 47%だけ1から遠くであろう。(A/Bの変動係数をみよ)変動係数と相関係数は、2表の脚註の公式を用いて、相互および比の標準誤差と関係付けることができる。

2表; 東部テキサス州で標準1/4エーカー円形プロット(方法B)の中心で104.18'ブリズムを用いて行つた点抽出法(方法A)による数変量の変動係数、相関係数、実際の%の差百分率標準誤差の比較

調査変量	変動係数 (A) (B) (A/B)			Plotと点抽出法の推定間の相関係数	実際の差: A/Bの平均の標準誤差		
	点抽出法	Plot抽出法	%		A/Bの平均	A/Bの平均の標準誤差	A/Bの平均の標準誤差
断面積	71	59	35	+0.874	-0.1 ± 1.4	± 2.8	± 2.3
feet ³ 材積	96	87	39	+0.911	+0.1 ± 1.6	± 3.7	± 3.4
Bd. ft材積	118	111	47	+0.919	-1.1 ± 1.8	± 4.6	± 4.3

注1. 平均値の比の標準誤差は近似的に次式であらわれる。(%)

$$\frac{0. A/B}{\sqrt{N}} = \sqrt{\frac{C_A^2 + C_B^2 - 2r_{AB}C_A C_B}{N}}$$

ただし σ_A , σ_B , $\sigma_{A/B}$ は変数係数、 r_{AB} は A と B 間の相関係数である。A の平均値と B の平均値とが等しい場合には $\sigma_{A/B}$ は近似的に A の平均値と B の平均値で A と B との差の標準偏差を割つたものになるであろう。

本数分配表と各種の密度別の方法の比較を論ずるに先だつて、 $1/4$ エーカー、 $1/40$ エーカープロット抽出法と 104.18' 同心円、点抽出法についての基本的な事項を明らかにすることが望ましいであろう。全林木の d, b, h が正確に 2.14 in である場合には、104.18' の angle-gaugl を用いることは $1/4$ エーカープロットをとることと同等である（全林木の d, b, h が正確に 6.8 in の場合には、 $1/40$ エーカープロットをとることと同じである。）したがつて、林木の平均の大きさが d, b, h 2.14 in より小さくなる傾向がある場合には（南東部テキサス州ではこれが普通である） $1/4$ エーカー Plot 外にある 2.14 in 以上の木をたまたま調査することもあるが、angle gaugl による方法は $1/4$ エーカープロットの内側の部分だけを標本調査することになりがちである。同時に 104.18' の点抽出法は $1/40$ エーカープロットの内側にある 1~5 in の木だけが調査され、 $1/3$ エーカープロットの外側にある 5 in の木は絶対に調査できない。

したがつて、この事態は $1/40$ エーカープロットを $1/4$ エーカーの同心円プロットに拡大することと同じである。両者の推定平均は同じになる傾向があるとはいえ、小面積プロットでは異常値の生ずる頻度は一層多くなるであろう。これは密度分布の不調和性 集団性又は伝播性のためである。小面積プロットで密度が非常に高い場合には、そのプロットを拡大すれば、一般に平均に一層近い密度を包含することになる。小面積プロットで密度が非常に低い場合にもプロットを拡大すれば、平均に一層近い密度を包含することになるであろう。平均密度に近い小面積プロットを拡大すれば、殆んど同じ割合で、密度の高いものと低いものを含むようになるであろう。一般に小面積プロットの極端に高い、又は低い密度はプロット面積を拡大すれば母集団平均に回帰する傾向がある。小面積プロットによる大面積プロット推定値の頻度分布が、小面積プロットの密度の高い所と低い所で歪んでいても、大面積プロットも小面積プロットも母集団平均の不偏推定値を与える。これに反して、大面積プロットで密度が非常に高い場合には、その小部分の標本は大面積プロットの範囲を越える母集団平均によつては全然影響されないであろう。その代りに、（大面積プロットにひどく歪んだ密度分布が存在しない限り）小面積の標本は略同じ頻度で、大面積プロット平均より高く又は低くなる傾向がある。大面積プロットで密度が低い場合には（0 に近いが完全に 0 ではない）分布は必然的に歪だものになり、したがつて小面積プロットは腰々 0 となることがある

が、時にはプロット平均より高い値に集中することもあるであろう。全体的にいつて、小面積プロットは大面積プロットの不偏推定値となりこの両者は、よく知られているように母集団の不偏推定値となるであろう。

5 表をみてみると、点抽出法を $1/4$ エーカープロットの面積プロット推定値と考えれば、前記の説明の妥当であることを示している。頻度の縦の列をみてみると、点抽出法（又は小標本）をその拡大したもの（ $1/4$ エーカープロット）と比較した場合に起ると考えられるものを示している。点標本の断面積密度が低い場合には、その周りで拡大したプロットは、これより高く、平均に一層近い密度のものを含む傾向がある。点標本の断面積密度が高い時には、拡大したプロットは、これより低く、平均密度に一層近いものを含む傾向がある。これは偏りではない。それは、点の全範囲にわたる平均は母集団平均と一致する傾向があるからである。即ちこのことは、極端に高い又は低い密度の起る度数がプロットより点抽出の方に多いことを示しているだけである。プロットの平均値は点の平均値よりも強く母平均に引き寄せられる。

今度は 3 表の頻度の横の行をみてみると、 $1/4$ エーカープロットを点抽出法（小面積プロット）で標本調査したときに起ることが示されている。プロットの密度の極く低い場合を除いて、歪がるかに小さくなっていることに気付くであろう。一般に点平均値はプロット平均値に引き寄せられ、母平均によつては殆んど影響されない。

4 表は 3 表から移したプロットの頻度のデータを集録したものである。これは又プロットの密度級別のエーカー当りの断面積、feet² 材積、board-foot 材積についての点推定とプロット推定の比較になる。（この点では、1 表に示してある総計を分析しただけである）平均差は標本数が多ければ小さくなる傾向があり、その符号が林分密度とはつきりした関係のないことを示すため、プロットの密度級別に表示してある。

これに加えて、4 表は点とプロット推定値の差又は $\frac{\text{点推定値}}{\text{プロット推定値}}$ の比がどのようなかということを知る糸口になる。0 の周りの個々の値の分散は大体において、プロット推定値の増大と共に増し、1 の周りの個々の比の分散はプロット推定値の増大と共に減少する傾向がある（最小限 20 観測値以上が一つの級でとられていれば）このことは器械又は個人的偏りのため、比が 1 とはつきり違つている場合に、 $\frac{\sum \text{点推定値}}{\sum \text{プロット推定値}}$ （又はその逆数）が正しい比の最良の推定値をあたえるであろうという仮説を立証するのに役立つ。

点抽出法による推定値を Y、プロット抽出法による推定値を X と呼ぶことにし、平均修正係数即ち此の推定値 $B = \frac{Y}{X}$ を求めたいとすれば、一般に $\frac{Y}{X}$ の場合が考えられる。

$(\frac{Y}{X} - B)^2$ が X^2 の大きくなるのに比例して少くなる傾向があれば、 $(Y - BX)^2$ は X の全範囲の通じて一様に変動するようになり、 B の最良の推定値は $\frac{\sum XY}{\sum X^2}$ である。4表は X の増加につれて $(Y - BX)^2$ が大きくなる傾向を示しているので、 $\frac{\sum XY}{\sum X^2}$ は最良の修正係数ではなからう。

$(\frac{Y}{X} - B)^2$ が X の全範囲を通過して一様に変化する傾向のある時には $\frac{1}{n} \sum \frac{X}{Y}$ は B の最良の推定値である。しかし $(\frac{Y}{X} - B)^2$ は X の増加につれて小さくなる傾向のあることを4表は示している。

3表 東部テキサス州の用材林における655のPlot 抽出法の推定値とこれに関連させた点抽出法の推定値との関係を示す傾度の相関表。

調査項目	Plot推定値の範囲	点推定値の級範囲												計	
		エーカー当り 断面積 feet ²													
		0-20	20-40	40-60	60-80	80-100	100-120	120-140	140-160	160-180	180-200	200-220	220-240		240-260
		度 数													
	0-20	74	12												86
	20-40	25	72	40	10										147
	40-60	4	32	75	37	11									159
	60-80	2	9	17	52	41	12	4	1						158
	80-100			4	15	23	24	9	1						76
	100-120			1	2	8	5	7	5	1					29
	120-140						1	4	5	2	1				15
断面積	140-160						1		1	1		1	1		5
	160-180														
	180-200									1					1
	200-220														
	220-240														
	240-260										1				1
	計	105	125	137	116	83	43	24	13	4	1	2	2		655

材類	エーカー当り 粗材類 feet ³											計
	0-400	400-800	800-1200	1200-1600	1600-2000	2000-2400	2400-2800	2800-3200	3200-3600	3600-4000	4000-4400	
	度 数											
0-400	225	53	4									260
400-800	47	104	28	3								182
800-1200	4	27	45	29	5							110
1200-1600	1	1	13	21	10	5						51
1600-2000		2	2	5	7	7	3	2				28
2000-2400			1	2	3	3	2	1				12
2400-2800						1	3	2				6
2800-3200								1	1			2
3200-3600										1		1
3600-4000										1	1	2
4000-4400											1	1
計	275	167	93	60	25	17	8	6	2	1	1	655

材類	エーカー当り 粗材類 1000ボードフット														計
	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20	20-22	22-24	24-26	26-28	
	度 数														
0-2	266	41	4												311
2-4	53	73	29	4											159
4-6	4	17	33	19	7										80
6-8	1	1	8	17	11	1									39
8-10	1	1	6	5	7	3	2	1	1						27
10-12				2	6	3	3		2						16
12-14					2	2		2	1						8
14-16							3	3	3						9
16-18															
18-20								1		1	1				3
20-22															
22-24											1				1
24-26													1	1	1
26-28													1	1	1
計	325	133	80	48	35	9	9	6	7	1	2	1	1		655

4表 東部テキサス州で行った平均の差と比； 差0および比1の周りの分散の変動を示すためプロット密度級別に分析した。自由度はn-1でなくnを使用した。

調査項目	エーカー当りのプロットの推定値の範囲	プロットの度数	エーカー当りの平均密度		プロットの平均密度の差	0の周りの個々の差の分散	平均値の比/点プロット	1の周りの個々の比の重みなし分散
			点	プロット				
断面積	feet ²		feet ²					
	0-20	86	65	84	- 1.9	44	.774	888
	20-40	147	300	305	- 0.5	199	.984	216
	40-60	159	469	491	- 2.2	306	.955	129
	60-80	138	704	688	+ 1.6	494	1.023	102
	80-100	76	901	876	+ 2.5	489	1.029	066
	100-120	29	1083	1095	- 1.0	770	.991	064
	120-140	13	1392	1321	+ 7.1	469	1.054	027
	140-160	5	1680	1480	+ 20.0	1,959	1.155	084
	160-180							
	180-200	1	200.0	186.0	+ 14.0	196	1.075	006
	200-220							
	220-240							
240-260	1	230.0	257.0	- 27.0	729	.895	011	
0-260	655	538	538	0.0	346	.979	230	
粗材積 feet ³	feet ³		feet ³					
	0-400	260	2033	2108	- 7.5	18,457	.964	681
	400-800	182	5748	5844	- 9.6	50,751	.984	147
	800-1200	110	10063	9807	+ 25.6	97,062	1.026	102
	1200-1600	51	14236	13815	+ 42.1	154,980	1.030	081
	1600-2000	28	18629	17910	+ 71.9	370,202	1.040	120
	2000-2400	12	19848	21983	- 213.5	291,979	.903	064
	2400-2800	6	27287	26127	+ 116.0	86,405	1.044	013
	2800-3200	2	32260	31330	+ 93.0	75,730	1.030	005
	3200-3600	1	21730	34400	-1267.0	1,605,289	.632	140
3600-4000	2	36995	37240	- 24.5	36,510	.993	000	
4000-4400	1	41770	41780	- 10	1	1.000	000	
0-4400	655	692.1	6917	+ 0.4	74,555	1.001	5.41	

	M, B, M	ボードフット				M B M		
粗材積 ボードフ ート	0-2	311	814	826	- 12	471	985	674
	2-4	159	2841	2839	+ 2	1,724	1,001	215
	4-6	80	5074	5047	+ 27	3,507	1,005	147
	6-8	59	7011	6784	+ 227	3,714	1,033	079
	8-10	27	8541	8915	- 574	11,954	936	147
	10-12	16	10940	10758	+ 182	7,798	1,017	066
	12-14	8	11435	12894	- 1459	13,718	887	084
	14-16	9	15057	14950	+ 107	4,041	1,007	019
	16-18							
	18-20	3	17242	19345	- 2103	22,809	891	060
	20-22							
	22-24	1	20613	22004	- 1391	1,955	937	004
	24-26	1	26072	25336	+ 736	542	1,029	001
	26-28	1	25084	27192	- 2108	4,444	922	006
	0-28	655	5260	3297	- 37	2,313	989	404

ので、 $\frac{1}{n} \sum \frac{Y}{X}$ は良好な修正係数であるとは思えない。

この二つの事例で共通なのは $(\frac{Y}{X} - B)^2$ は X の増加に比例して小さくなる。即ち $(Y - BX)^2$ は X の増加に比例して増大する傾向のあることである。4表の事態はこの種のものと思われ、必要ならば、適切な B 即ち修正係数は $\frac{\sum Y}{\sum X}$ と考えられる。

655地点の比 $\frac{\sum \text{点推定値}}{\sum \text{プロット推定値}}$ (断面積又は材積) は偶然に帰因する偏差に対して充分1に近いから、この場合には、修正係数は不必要である。しかし新しい林木について厳密な直径測定や正確な取扱いがなされていなければ、この方法で求められた修正係数は、そのいづれかの原因によつて生じた偏りを確かめ、修正する場合に役立つであろう。

面白いことが4表から分る。1からの偏差が偶然によるものとは思えない級の比は断面積の0-20 feet² 級だけである。即ち86地点について示されている0.774という比(これに関連して、最小材積級では、feet³ 比は0.964、ボードフット比は0.985である)は、プロット中心を設定する時、5 in 以下の叢林を避けるという調査員のちよつとした傾向やさもなければ、5 in 以下の木を2 in 級に括めるために生ずるプロットの記張の隙の大きな偏りが附録で説明している改良方法によつても完全には取り除けないことを示している。どのように解釈しようともこの最小級の断面積の差がエーカー当りの平均におよぼ

す影響は1%の以下である。

補足的解析 Additional analyses

群落当りの最適の点数を推定するのに必要な分散を求めるために、各地点の原点と補助点でエーカー当り断面積の点抽出法による推定を行つた。原点と補助点の点抽出法による断面積推定値の相関係数は、 $+0.418$ であり、この点を一語にした地点の変動係数は61%、エーカー当りの平均値は53.5 feet² であつた。

655対の点の分散分析は次のようになつた。

変動因	自由度	S.S.	MS
対 間 (地点)	654	13,966.1	21,355
対 内 (点)	655	5,737.5	8,760 = V_w
	1,309	19,703.6	$\frac{12,595}{2} = 6,298 = V_B$

地点(3 mile 間隔)内および地点間の点抽出調査の費用は大体次のように推定できる。自動車使用の費用は毎時稼働1時間当り2.00ドル、プロットでの徒歩或は自動車による移動をこみにして、調査員2人、1時間当り4.25ドルである。

地点当りの群の費用(群間)は6.25ドルを要する班+自動車移動の0.97時間(6.06ドル)と4.25ドルを要する班の徒歩による移動の.46時間(1.96ドル)から成つている。地点当りの総費用は $E_B = 8.02$ ドルである。点当りの費用(群内)は記録時間0.30時間、と徒歩による移動時間0.11時間を含み、調査時間は合計0.41時間となる。群内の調査費用は

$$E_w = 0.41 \times 4.25 \text{ドル} = 1.74 \text{ドル}$$

この時間の推定値は普通の遅延、天候、器械の破損、休憩等による時間の浪費を含んでいない。地点間と地点内の分散の推定値(V_B と V_w)と地点即ち群間と群内の費用(E_B と E_w)を用いれば効率を最大にするために、群当りの最適の点数の近似値を求める集落抽出法の公式を使用できる。

$$\begin{aligned} \text{群当りの点数} &= \sqrt{\frac{V_w \cdot E_B}{V_B \cdot E_w}} = \sqrt{\frac{8,760 \cdot 8.02}{6,298 \cdot 1.74}} \\ &= 1.18 \sqrt{4.61} \\ &= (1.18)(2.15) \\ &= 2.54 \quad \text{地点即ち群当り} \end{aligned}$$

3 mile格子による現在の方式が点抽出調査法を用いて継続され、前記の費用と分散が正しいとすれば、実際にわれわれがとつた2点の代りに地点当り3点をとることにすれば効率は幾分良くなるであろう。

点抽出調査法の主な利点の一つは、1人だけで効果的に作業できることである。二人組に比べて、一人の場合には点当りの記録時間を幾分多くする必要があるかも知れないが、地点当りの移動費は遙かに少くて済む。前記の自動車稼働費と調査員1人の費用、時間当り2.25ドルを用い、調査員1人のときは自動車および徒歩による移動時間は10%増し、記録時間は点あたり0.50時間となると推定すれば、群の費用は地点当り5.67ドル、要素の費用は1.39ドルとなるであろう。2点からなる地点について調査員2人の費用11.50ドルに対して調査員1人の費用は総計8.45ドルであり地点当り26%の費用が節約される。地形による困難性や危険防止のために1人だけの作業がいつでも実行できるとは限らない。しかし条件の許す限り、調査員を一人にすれば費用を相当節減する機会が得られる。

別の修正をすれば、事態は当然変つてくる。

各種の格子間隔、angle gauglの角度、調査員を2人の代りに1人を使うこと、又出来れば自動車の代りにヘリコプターを利用すると群当りの最適点数は修正されるであろう。群間の分散と群内分散の比が断面積と材積とでは幾分違ふこともあり得る。

結 論 Conclusions

この探験的研究は点抽出法とプロット抽出法による推定値の比較の解析方法を示している。エーカー当りの断面積および材積の点抽出法による推定値は、慎重に観測を行つた時にはプロット抽出法による推定値に対して不偏となることが分つた。地方的な費用に関する情報は $\frac{1}{4}$ エーカープロット調査ほど確実ではなく、点抽出調査法の利点ははつきりしてはいるが(調査員1人、成長量、誤差計算が可能である)その相対的な効果は推測できない。南東部テキサス州の相関係数や分散は他の地方には当てはまらないかもしれないが、少なくとも比較しうる量を示し、その傾向を他の場所でも示すと思われ、サンプリングの設計の際役に立つであろう。最適の群の大きさの凡その推定によれば、群当り3点の方が2点より幾分よくなるであろうことを示しているが、この結論は調査員、格子、ゲージ、来物が違えば変つてくるであろう。最後に木の頻度だけが、かなり巾の広いd, b, h級(2 in以上)で記録されている時の断面積推定値の偏りを減す方法が明らかにされた。

点抽出の標本は d.b.h 1 in 以上のあらゆる木を含んでいるが、プロット抽出の標本は 1/4 エーカープロットの野帳から d.b.h 5 in 以下の木を除いている。d.b.h. が 1 ~ 3 in, 3 in ~ 5 in の木の本数は同心円をなす 1/40 エーカープロットで調査されるだけで、直径は 5 in 以上の木に用いられている 3/8 in 級ではなく 2 in 級で記録された。プロット標本の 1 ~ 5 in の木のエーカー当り断面積をもつと正確に計算できるようにするため、平均断面積の木に対して小径木の丁型頻度分布の効果を考慮した新しい手法を用いた。この新方法について説明しよう。というのはこの方法は総ての木が巾の広い直径級の名目上の中点に集つていると仮定する、一般に用いられている方法に比べて偏りが遙かに小さいからである。

森林でよく出会うる便利な J 型分布は Liocourt 分布として一般に知られている。(これは幾何級数の積分を用いている。即ち、半対数方眼級で普通目盛の直径に対して、対数目盛の頻度が直線としてプロットされる)

分布の母関数は $y = k e^{-\frac{x}{a}}$ である。ただし、 y は頻度、 x は直径、 a, k は現実の林分表のデータから経験的に求められるパラメーターである。ただし k は当然不必要である。直径間隔 (d) から ($d+m$) に到るエーカー当りの本数 f は

$$f = \int_d^{d+m} Y dx = a k e^{-\frac{d}{a}} (1 - e^{-\frac{m}{a}})$$

m は直径級の一定の巾を示している。二つの相隣れる直径級の本数の比は

$$\frac{f}{f'} = \frac{\int_d^{d+m} Y dx}{\int_{d+m}^{d+2m} Y dx} = e^{-\frac{m}{a}}$$

上記の恒等式から次のことが分る。

$$a = \frac{m}{2.3026 \log_{10} \left(\frac{f}{f'} \right)}$$

k の計算は要らない。

級間隔 d と ($d+m$) に含まれる単木当りの平均断面積は $\frac{f}{f'}$, a, d, m が既知の時には計算できる。

$$0.00545415 \frac{\int_d^{d+m} X^2 Y dx}{\int_d^{d+m} Y dx} = \frac{\pi}{4} \times \frac{1}{(12)^2} = 0.00545415$$

これは次のようになる。

$$0.00545415 \left[(d+a)^2 + a^2 - \frac{2m(d+a)+m^2}{\frac{f}{f'} - 1} \right]$$

もちろん問題となつている級の本数 (f) をかければ、必要な直径間隔の総断面積が得られるであろう。

1/4 エーカープロット上に設けられた 1/40 エーカープロットの標本は 1 ~ 3 in 直径 (所謂 2 in の木) の木はエーカー当り 224.2533 本、3 ~ 5 in の木 (所謂 4 in の木) はエーカー当り 73.6778 本あることを示した。したがつて $\frac{f}{f'} = 3.04373$ である。ただし直径間隔は 2 in である。前記のべた分布を当てはめると $a = 3.22856$ となることが示された。1 ~ 3 in の級の木の本数の平均木の断面積は 0.0197 feet² (d.b.h = 1.90 in) 3 ~ 5 in 級では 0.0812 feet² (d.b.h = 3.86 in) であつた。この 2 つの級を一括した平均木の断面積 (即ち 1 ~ 5 in 級) は 0.0349 in (d.b.h = 2.53 in) であつた。

5表に示してある表型式の比較によると 2 in 級別の中点法による断面積を用いると 8% という高い偏りの生ずることを示している (これはエーカー当り 1 feet² に当る) 4 つの級 (1 ~ 5 in) の名目上の中点 (3 in) の木を用いたならば、この偏りは 40% 以上 (エーカー当り 4 feet² 以上) になるであろう。2 in 直径級別の中央径の木について前に示した断面積 1 feet² の偏りさえ Point sample と Plot sample の比較を無意味なものにしてしまふが、平均木法は J 型分布曲線を考慮に入れ、偏りを最小にするために $\frac{f}{f'}$ の観測値を用いている。

5表 東部テキサス州で調査したプロットの 2 in 直径級の断面積を計算する際の中点法と平均法との比較

クラス 間隔	立木本数	中点法		平均法		エーカー当り断面積			
		中央木の d.b.h in	中央木の B.A feet ²	平均木の d.b.h in	平均木の B.A feet ²	中点法 2"級2つ feet ²	4"級1つ feet ²	平均法 2"級2つ feet ²	4"級1つ feet ²
1~3	2243	2	0.0218	1.90	0.0197	489	-	4.42	-
3~5	73.7	4	0.0873	3.86	0.0812	6.43	-	5.98	-
1~5	298.0	3	0.0491	2.53	0.0349	11.32	(14.63)	10.40	(10.40)

☒. Angle gauges による Plotless 調査法

(H. D. S. Finch)

IX Angle gaugls による Plotless 調査法

Plotless enumeration with angle gaugls

H. D. S. Finch

摘要

angle gaugls による断面積決定の基本的な方法と理論を説明している。その使用の限界を指摘し、その改良と拡張について論じている。angle gauge の原理を用いて樹高および材積を決定する方法について説明している。次いでその装置そのものを論じ、最後に Spiegel relaskop とその広範 曲にわたる用途について説明している。将来について、著者は新たな発展に驚くよりもむしろ知識の整理を考えている。最後に参考文献が載せてある。

Austrian の林務官 Walter Bitterlich 博士が angle gauge による林分の単位面積当り断面積の推定方法を初めて提案したのは1948年であった。

たちまち強い反響がはこり、簡単かつ効果的で、その後の発展で分るように、変型が自由であるため、非常に短時日のうちに、この方法は広範囲にわたって共感を勝ち得た。

この論文の目的は、このような要求の元となつた根拠を簡単に調べ、近年発表されている多くの angle gauge の型を説明することである。

I 基本的方法 The basic method

この方法はもともと sampling 方法であるが、標準地の境界測量も樹幹の直接測定も不要である。定められた条件を満たす林木の数を数えるだけでエーカー当りの断面積推定値が得られる。実行に当つては、観測者は偏りのない方法で林分内に多数の点を選び、各点において、簡単な angle gauge で彼の位置の周りで順次、各樹幹を観測する。この操作、いわゆる「検視」によつて、観測者は、眼の位置で、機械参考角 reference angle より大きい角に対する胸高直径をもつ木を数える。

すなわち、胸高位置でゲージの巾からはみだして見える木を数える。当然起ると思われることであるが、胸高直径とゲージ巾が一致して見える場合には観測者はこれらの「境界木」を一つおきに数える。胸高直径がゲージ巾より小さく見える木は総て数えない。

林分内の各標本点におけるエーカー当り断面積を推定するには、検視当りの数えられる本数に、断面積係数と呼ばれる既知の常数を乗ずるだけでよい。林分のエーカー当りの断面積は、検視当りの平均値として推定される。

この方法を記述するため Bitterlich が初めて用いた術語は "Winkelzahl" (angle count) 法である。現在一般に用いられている術語は, "tree count" 法, plotless sampling 法等であるが, いづれも, この方法を一語で語っていない。"可変半径プロット" 法という術語を Grosenbaugh (1952) は採用したが彼はこの方法を各地上点が事実上数えられた木の胸高直径によつてその半径が変るプロットの中心となつている点抽出法を直接現地に應用したものにすぎないと見做している。

Keen, (1950) Spurr (1952) Cromer (1954) も論じているが, この方法の理論は, 次のように説明できる。

f_i をフィート単位の半径 r_i をもつ木のエーカー当り本数としよう。林分のエーカー当り断面積は

$$f_1 \pi r_1^2 + f_2 \pi r_2^2 + \dots + f_n \pi r_n^2$$

1 図で O 点を無作為に選んだ抽出点の一つにおける観測者の位置とする。2a を機械の視尺の巾とし, b を棒の長とする。いづれもフィート単位で測られている。器械の参考角 2α は次式で与えられる。

$$\tan \alpha = \frac{a}{b}$$

又 R_i を半径 r_i の木が数えられる最大距離とすれば

$$\sin \alpha = \frac{r_i}{R_i}$$

Z_i 本の半径 r_i の木が一つの抽出点で数えられるとすると, この半径の木のエーカー当り推定本数は

$$\frac{Z_i}{\pi R_i^2} \times 43560$$

(1 エーカーは 43,560 平方フィートである) この半径の木の推定断面積は

$$44,560 \times Z_i \frac{\pi r_i^2}{\pi R_i^2} = 43560 Z_i \sin^2 \alpha$$

いろいろな径級の木に対しそれらが数えられる領域の最大距離は, 変化するであろうが, その半径と距離の比は一定で, 使用する器械に特有のものである。

$k = 43560 \sin^2 \alpha$ と書けば, 一点で推定されるエーカー当り断面積合計は

$$k (Z_1 + Z_2 + \dots + Z_n)$$

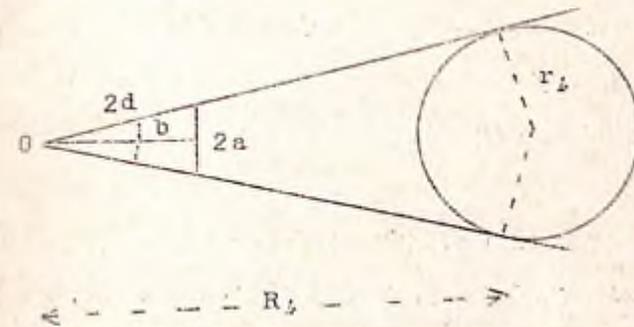
$$= k Z$$

こゝで Z は一回の検視で数えられた総本数である。多数の抽出点がある場合は, 林分のエーカー当り推定断面積は $k \times$ 平均本数なる。

前に示したように参考角 2α で決められる定数 k は, 器械の 数或は断面積係数として知られている。

短時間におよそのエーカー当り断面積を推定するために林業技術者は, 自分の親指をゲージとして用いることができる。b を親指の巾, a を親指をうまく垂直に立てることのできる点と目との距離, とすると公式は

$$k = 10,900 \left(\frac{a}{b}\right)^2$$



第 1 図

は正しく測れば, 近似的断面積係数となる。断面積を hoppus 単位で求めたい時には, 上式の定数に 0.7854 を乗じて 8,550 としなければならない。

理論的には, angle count sampling は針, 広, 同令異令を問はずどの様な林分にも同じ様に適用でき, この方法をうまく適用するためには, 個人と器械の組合さつた誤差を, できるだけ取り除かねばならない。

この方法は数えられるべき樹幹がはつきり見えることが条件になつており, 胸高以上に達した寄生した灌木の枝や, 択伐林型で多数の小径木の存在のため阻害されることもある。

Stoffels (1954) Barrault (1955) Viney (1956) は実行に際しては, はつきりした難点はないと論じている。

このうち特に過密林分で観測者が一般に困るのは, 数えられる木が, 視線をさえぎる中間木のため, かくされてしまうことである。頭部を少し横にずらせば, 一部の隠された木をは

つきりと見ることができなければならないため検視が不正確になる恐れがある。制約された視野で林木を調べることの難しさや、隠れた木を見落とす危険は、参考角の巾を広くし、検視の半径を短かくすれば、最少にできる。逆に、本数の多い林分では、合理的な本数を数えるために大きな半径の検視が望ましい。Forestry Commission の針葉樹人工林についての研究から、5と10の断面積係数に相当する参考角が最適本数の幼、壮令林に適することが見出された。成熟林や散生小丸太林では、係数2が良好な結果を与えた。

第1回の間伐前の非常に密生した林についてのみ10以上の係数が必要であった。

本数を数える際の不正確さは、胸高位置の推定が不確実なためにも生ずる。急斜地や山岳地では特に根元が下層植生で暗くなっている場合には熟練した観測者でも誤りを犯すであろう。Keen (1950) Cromer (1952) は検視の際胸高位置を明示するため補助員を使えば最も正確な勘定が可能であることを暗示した。勘定に入れるか、否かはつきりしている木の大部分については時間をかける必要はなく印付けは、胸高位置推定の誤りによる誤差が数えるか否かの境となるような林木に限定すべきであろう。

同様に gauge 巾と胸高直径との比較は検視で観測される樹幹の大部分では問題でない。

しかし Ferguson (1951) は観測者が疑しい木について、彼の決定をそのまゝ用いればたちまち断面積推定で20%に達する不正確さを生ずる。ことを示した。真の境界木はどのような検視の場合にも生じ前述したように扱うべきであるが、未熟又は不注意な観測者は、直ぐに簡単に分類できない相当数の林木を“境界木”としてしまい勝である。好条桑下で能率的な器械を経験を積んだ観測者が用いる場合には、このような危険の起る機会は最小である。しかし実際に臨界角を観測することについて Grosenbaugh (1952) は疑問のある木の択一的であるが、かなり骨の折れる分類方法を暗示した。“確信のもてる勘定”といえるものを数えた後、器械を離れて、観測者は疑問のある木毎に、直接測定した理論的プロット半径を頼みとする。検視の行なわれる点がプロットの周囲内に入れば、そのプロットの木は数えられ、点が外側に落ちれば、その木は除く。点が厳密にプロットの周囲上にあれば、真の境界木として一本おきに数える。Senda と Maesawa (1955) もこの方法を推奨している。

angle count 法は実行の際には sampling の面積による偏りを除くが、やはり各抽出点で傾斜に対する補正は必要である。傾斜が 5° を越えるときに、補正をしなかつたならば、断面積推定値に重大な誤差を導くことになろう。この要求は次の2つの方法のいずれかで解決できよう。第1の方法は抽出面積を大体一様な傾斜となる場所限定すること

である。検視の終る度に、等高線に直角に測つた傾斜角の *scant* を乗ずれば、断面積推定値の最終的全体の補正がなされる。主傾斜が一方以上に向つてゐる場所では、単木に対する傾斜補正が必要になつてくる。補正を自動的に行える、いろいろな angle gauge が設計された。器械類の説明および、取扱いは頁節にのせてある。

Bitterlich の angle count 法は現地で広範囲にわたつてテストされた。United Kingdom (連合王国) では針葉樹同令林の標準地で研究を行つた Keen (1950) がこのような林分では、15~17回の検視で14個の1/10エーカープロットの間隔測定によるエーカー当り断面積推定値と同じ正確さが得られ、所要時間は間隔測定の場合の1/2以下であると結論した。Cromer (1954) は Australia のマツの同令人工林12エーカーでこの方法をテストした。10個の無作為な検視の平均値として得られた断面積推定値は、同数の1/10エーカープロットの間隔測定で決められた推定値の2%以内で、調査地の毎木間隔測定で決定されたエーカー当の実測断面積の3%以内の差であつた。さらに New South Wales の山林委員会が、大規模に行つたテストでは、予期したような精度が得られた。4エーカーの標本プロットの中心から行つた94個の検視の結果をこれらのプロットの間隔測定で決定した断面積推定値と比較した。プロット法と検視法との差は、+5%~-10%で平均差は+0.2%であつた。日本では、Senda と Maesawa (1955) は自動補正式の器械を用いて、中~急斜地の針葉樹林でこの方法をテストした。6つの林分のそれぞれで、6回の検視の結果は、毎木調査による断面積の2%以内の差であつた。Carow (1953) は America の広大な老令広葉樹林への応用について有利な報告をしている。総計50個の検視により得られたエーカー当り平均林分断面積の推定値は同じ場所での1/10エーカープロットの間隔測定による推定値と有意な差はなかつた。

I この方法の修正と発展

Modification and developments of the method

前節で述べた単純な angle counts による sampling の主な欠点は、エーカー当りの粗断面積が得られるだけで、エーカー当りの本数や林分における周囲級分布についての知識は得られない。

Grosenbaugh (1952) は、このような情報を得るために、検視で数えられる各林木の周囲を測ることで、この基本的手法を修正すべきであることを示した。各周囲級のエ

一カー当り断面積は各級の数えられた本数に断面積係数を乗ずれば求められる。各級のエーカー当り本数は、林木の全母集団について、さらに、個々の樹種や樹群について各級のエーカー当り断面積を、単木当りの断面積で割ることにより求められる。Shanke (1954) は Appalachian の各種林相の生態学的調査にこの方法を採用した。この調査は、多数の混交樹種の各々について、密度、頻度、径級断面積分布が比較できるように設計されていた。彼はこの方法が従来のプロットサンプリングより遙かに効率の良いことを見出した。稼働人員当りの信用できる情報量は数倍も大きかつた。

angle count sampling が能率的であるという証明により、立木材積推定の新方法への道が開かれた。

Wanner (1948) は彼が“標本プロットなしの標本プロット”と呼んでいる単位による材積サンプリング方法を説明している。この方法は“彼の云う”迅速な円形標準地(平均樹高(h)と平均形数(f)とを決定する)と基本的 angle count 法(エーカー当り断面積(s)を決定する)とを組合せたものに過ぎない。各標本点当りのエーカー当り材積は、次の方程式から計算される。

$$V = s \times h \times f$$

この組合せた方法は時間を要せず、かなり正確な結果を与えるといわれている。

Grosenbaugh (1952, (i) と (ii)) は米国で実行されている大規模の蓄積サンプリング調査の速度を上げるために angle count 法を採用した。検視を行つ度に、数えられた本数を樹高級、直径級別に記録し、エーカー当りの推定断面積(s)を径級別に計算する。適当な樹高、直径級別に材積/断面積を計算して形状高(hf)表に換算した適切な材積表を使用する。検視で記録された樹高、直径級に対応する形状高をこの表から読みとり、径級別のエーカー当り材積を次の方程式から計算する。

$$V = s \times hf$$

調査の対象が単に粗蓄積の推定の場合には、この調査方法は、各樹高級の形状高の平均値を採用することで軽減できる。この場合には、勘定と同時に胸高直径を測る必要はない。林木は適当な樹高級別に記録するだけでよい。

Plotless 調査は単一変量すなわち胸高周囲(又は直径)に基づく地方的材積表のある林地では特に優れている。基本的な操作に、数えられた木の周囲測定又は直径測定を付け加えるだけでよい。各検視で記録されたデータから径級別のエーカー当り断面積、本数、材積が計算できる。

Nyyssönen (1954) は angle count 法に用いるため、ha 当り断面積と平均樹高を知つて ha 当り材積合計を求める特殊な二変量林分材積表を調製した。これは Finland 全体にわたる大規模な蓄積調査の予備調査として、この国のカバ、マツ、トウヒの代表的林分について略式で作られたものである。

この表を特定の林分に適用するには、まず何回かの検視で ha 当りの平均断面積を推定する。

平均樹高は上層高/平均樹高の関係から決められた。なお上層高は検視でつかまえられた数本の最大木の樹高の平均である。これに対応する林分の ha 当り材積が適当な材積表から読みとられた。この方法は少くとも訓練された熟練技術者による目測推定と同程度の信頼をおくことができ、従来のプロットサンプリングより数倍も効率が良いと Nyyssönen は考えた。

Dromer (1954) は angle count 法と標本木の直接測定を組合せて、林分の ha 当り材積を決定した。

断面積の検視の行れた個地で15~20本の木の胸高直径をその場で測定し、算術平均直径を計算する。平均直径に近い数本の標本木について、用材高と直径とを測定し、その材積を市販されている材積表から求める。この林分のエーカー当り平均材積は次の公式で算出される。

$$\text{エーカー当り平均材積} = \frac{\text{エーカー当り平均断面積} \times \text{標本木の材積}}{\text{標本木の断面積}}$$

この方法はこの調査後背伐された約600エーカーの針葉樹人工林でテストされた。伐倒木の全数調査で確定された用材の総材積は、3%以内だけ、過小推定された。

angle count 法によるサンプリングは水平方向だけに限定されてはいない。

Hirsta (1956) は林分の平均樹高を直接推定するためにこの方法を採用した。実際的には、この方法は断面積推定の検視の手法と同じである。水平の代りに垂直に維持した参考角 reference angle を標本点で観測者の周りの木の全長に対する角とを比較する。

数えられた本数(Z)は臨界高以上に梢頭がある木から成っている。平均樹高を次式でフィート単位で示される。

$$hm = \sqrt{\left(\frac{43560Z}{n}\right)}$$

n は標本点近傍のエーカー当り本数である。

この方法の原理は次の様に説明できる。

2 図に図示してある樹高検視の場合、D/2 は樹高 H をもつ全ての木が数えられる、最大の半径である。数えられた木の樹高が、垂直面の円の半径を表わすと仮定すれば、このように円総てのエーカー当り面積 (g) は次式で与えられる。

$$g = \frac{\pi H^2 Z}{\pi (D/2)^2 1/43560} \text{ sq ft per acre}$$

$$H = (D/2) \tan \beta \text{ であるから}$$

$$g = 43560 \tan^2 \beta Z \text{ sq ft per acre}$$

この方程式は樹高が一様な林分に対して正しばかりでなく、林分内のどのような樹高についても正しい。というのは、夫々樹高 H_1, H_2, \dots, H_n feet をもつ木が Z_1, Z_2, \dots, Z_n 本数えられたとすると

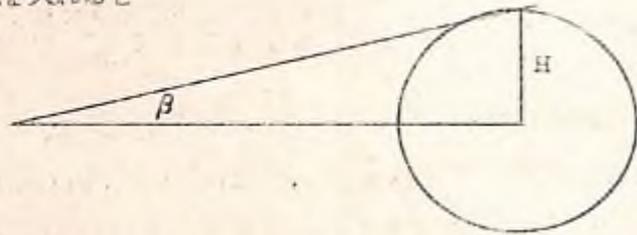
$$\begin{aligned} \text{エーカー当り円面積合計 (G)} &= 43560 \tan^2 \beta (Z_1 + Z_2 + \dots + Z_n) \text{ sq. ft} \\ &= 43560 \tan^2 \beta Z \text{ sq ft} \quad (1) \end{aligned}$$

エーカー当り円面積合計 (G) をエーカー当り本数 (n) で割れば平均の円面積が推定される。

したがって

$$\frac{G}{n} = (hm^2) \pi \text{ sq. ft}$$

G の代りに(1)式を入れると



← ----- D/2 ----- →

2 図

$$hm = \sqrt{\left(\frac{43560 \tan^2 \beta Z}{n \pi}\right)} \text{ feet}$$

$$= \tan \beta \sqrt{\left(\frac{43560 Z}{n \pi}\right)} \text{ feet} \quad (2)$$

限界角 β を $60^\circ 34'$ とするよう器具を作れば、 $\tan \beta = \sqrt{\pi}$ であるから、(2)式は次のように簡単な形にすることができる。

$$hm = \sqrt{\left(\frac{43560 Z}{n}\right)} \text{ feet}$$

この方法の実行面における詳細は未だ十分に調べられておらず、この方法が発明された日本の同令針葉樹人工林に適用した場合の予備的報告が励みになつている。しかし極度に疎開した林分を除いて、いづれの場合でも、多数の木の梢頭を与えられた位置から見る事ができないという問題が生ずるであろう。この方法で得られる林分の平均樹高の推定値は樹高の調和平均の平方根であり、したがって普通の方法で算出された平均樹高とは違つていることに注意しなければならない。各公式の差、相対的価値について最近 Bitterlich (1952, 1956 (ii)) が論じている。

同著者 (1956 (i)) は林分のエーカー当り材積を決定するための垂直方向と水平方向の angle count サンプリングの組合せについても詳しく論じている。この方法は B-H 法と呼ばれている。(B = 断面積に対する Bitterlich 法 H = 樹高に対する Hirata 法)

II 器械 Instruments

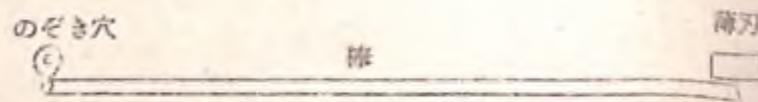
Bitterlich が考案した angle gauge の原型 (1948) は極めて簡単なものであり、relascope として知られている。2mm の金属片が 1m 棒の一端に取付けてあり、使用に際しては、他端を丁度目の下に保つ。視線を棒の端 (即ち視測者の眼) から水平に保持した薄片の端まで延長すれば、参照角が得られる。この簡単な型の relascope には 2 つの大きな欠点がある。

第一に傾斜の自動補正装置が付いていないので、平坦又は傾斜の一律なところにその使用が限られる。第 2 に薄片の設計は、その巾と木の直径とを正確に比較することが難しいように作られており、これがほとんど等しいように見える場合には、“境界木”と判定される割合が高くなるという欠点がある。それにもかかわらず、設計の簡単なことは大きな長所であり、この形の棒と薄片による器械は少し改良するか又は全然改良しないで広く用いられている。Thonet (1948) は彼のバテントである “Waldstock” にこの考案を取り入れ、軸棒沿に小さな薄片の組をとり付けて、簡単なレラスコープに変えられる多目的の器具にした。傾斜に対する必要な補正値を直接読み取れるようにして、傾斜地で使える器械に

するためのクリノメータの附属品もある。

アメリカの一般的森林条件では、Grosenbaugh (1952) その他は皆、観測者の目の位置を安定させるためにそぞき穴を付けた、35 in の棒の長さで 1 in の薄片巾とを推している。この大きさは最も便利な 10 という断面積係数を与える。この器械は 3 図に示してある。Flemming (1954) は伸縮自在のカメラの三脚と小さなアルミ片で作ったレラスコープの作製について詳しく論じている。伸縮自在の棒は本数密度に適するように参考角を変えることができる。棒の有効長は 1 in の照準板を使うため 33 in となっており、夫々 10 と 5 の断面積係数を与える。

この薄片は上端で小さな突起部を残すように切られるが、その基部の間隔は僅か 1 in



3 図

である。その内側は斜めになつており、疑問のある木を数えるか否かを楽に決めることができる。

West-Nielson (1952) は Denmark で使用した relascope について論じているが、この器械は、棒の長さは一定であるが、照準板の巾を変えることができる。照準板は薄い正方形の金属板でその中心が棒の端に取り付けられる。正方形の照準板は照尺とするため浅く切込んである (5 図) この照尺巾は 1.00, 1.41, 2.00, 2.83 cm で対応する断面積係数は (m 単位) それぞれ 0.5, 1, 2, 4 である。極めて簡単なものであるがこの棒と照準板からなる器械は大抵の目的に充分かなうものである。事実、Carow と Stage は、大略の簡易な代用品として、観測者が器械を忘れた時親指をたてる真直に延した腕は relascope として充分役に立つことを暗示した。

彼らは親指の断面積係数の決定を教えたが、これは一般に約 10 という便利な値に近い。



4 図

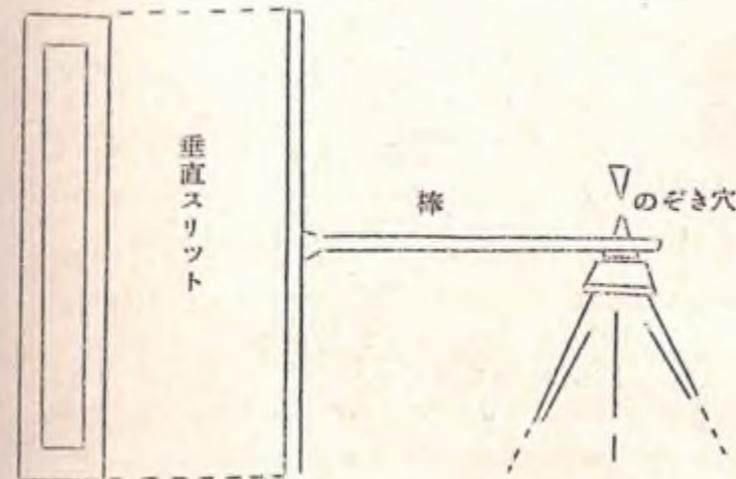


5 図

上述の形の棒と照準板による器械では、最終的推定値の正確度は、主として、視界のよいこと、しつかり保持すること、標本点における傾斜の一律なこと、実行に当つて、個人的な判断の誤りの起り易い点を区別することにかかっている。

Bitterlich (1948) は自動的傾斜補正装置を取り付け、断面積係数の選択ができるようにして、後の器械の原型を改良した。この "pendel relascope" は Koon (1950) と Hummel (1951) が完全に説明し、その使用法を例示している。前者はさらに、全周および四分周単位のエーカー当り断面積の直接推定を行うに要する器械の大きさに関する表を作製した。

Sonda と Maozawa (1955) は自動的に傾斜補正のできる relascope を作った。しかし、傾斜による観測者と林木間の距離の増加を相殺するため照準板の巾を狭くする代りに、(Pendel-relascope 式) 彼等の器械は傾斜に比例して棒の長さを変えるようになっている。これは同じ標本の垂直方向のスリットを照準板の代りに用いている。(6 図) この器械の腕部を三脚で水平に保ち、胸高直径を傾斜に応じてスリットの上側か下側を通して観測する。即ち観測者より上にある木はスリットの上半を通して観測し、下にある木はその逆である。スリット巾は調節可能でいろいろな断面積係数を選ぶことができる。照準板式の器械と非常にかけはなれた器械も作られている。Bitterlich (1948) は本数を数える手順を速くし、正確さを増そうとして 2 つの器械について述べている。その最も簡単なものは、簡単な視角器を眼の高さに支える特殊な眼鏡で、数えた本数を記録するために、観測者の手が自由になるように配列されている。正確さを高めるため、Bitterlich は疑わしい木を、もつと厳密に観測するため普通の望遠鏡を angle gango と

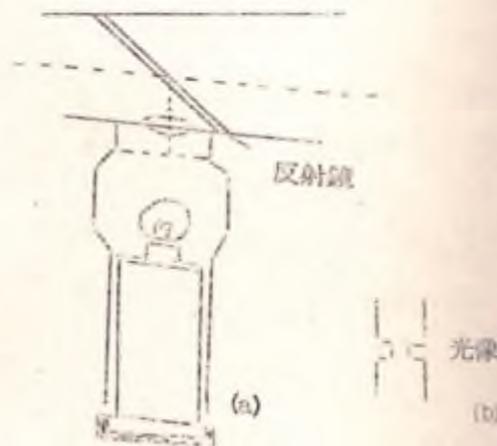


6 図

して使えるように改良した。この工夫はいづれも、それほど成功しなかつた。特殊眼鏡をつけると、観察者は烈しい眼の疲れを感じ、遠望鏡を用いれば、普通非常に正確な決定をすることはできるが、すばやく木を数えるには視野が狭く、密林では像の明さが不適当なことが多い。Grosenbaugh (1952) はこの単眼式器械のもつと洗練されたものを暗示した。これは国内規格で5 mil ($\frac{5}{1000}$ in) 間隔で等級の付けたあるプリズム形単眼鏡でこれによりいろいろな断面積係数が得られる。この規格の各等級に対する断面積係数を示す、便利な表が作られている。

Australia の Cromer (1952) は斬新的な器械を工夫した。これは reflectorscope といわれている。この器械は7 a 図に示してあるが、relascope

の原理と反射鏡筒の光学的性質を一緒にしたものである。この relascope の照準板は、graticule の明るい像でおきかえらる、(7 図 b) これはレンズと反射鏡の組合せで、接眼レンズを通して見た樹幹に重つて見える。この器械は、いくつかの有用な特性をもっている。しっかりと手で保持する必要はあるが、眼の位置を動かしてもパララックスは記

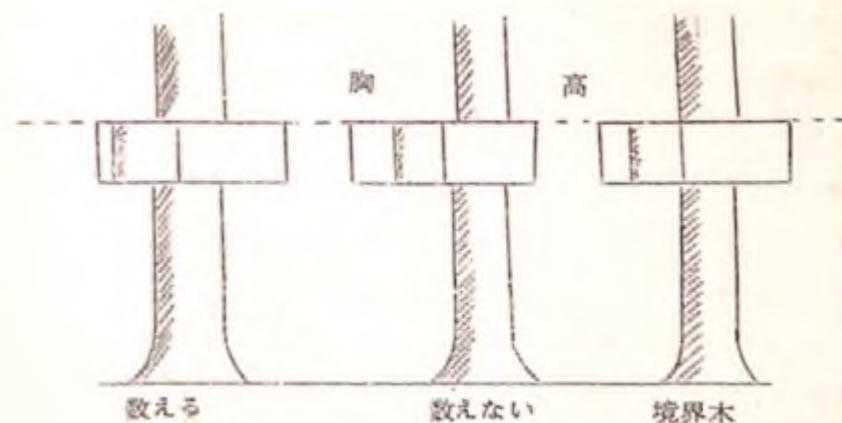


7 図

らず、反射角も変らないであろう。さらに reflectorscope を眼鏡をかけた人が用いる時でも補正の必要はない。残念なことにはいろいろな状況に適するように4.56という不便な断面積係数を変える用意はしてない。又傾斜に対する自動補正装置もない。

この設計の根本的な改造を Müller (1953) が行った。彼は薄い楔形プリズムの光学的性質を利用した。この形のプリズムを通して、樹幹を見たとき、樹幹像は木までの距離と反射性即ちプリズムの強度によつてある大きさだけ横にずれる(プリズムの強度は dioptries 単位で測られ、強度の等しいプリズムは同じ断面積係数をもっている。2.0 dioptrie のプリズム強度は断面積係数4.4に相当する)

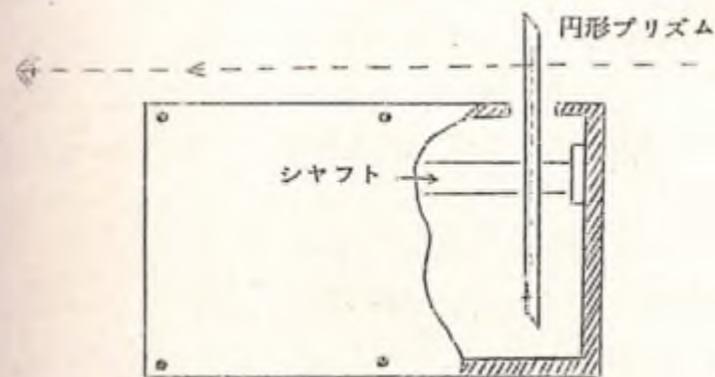
檢視をする際に、像の横方向のずれが胸高直径より小さく見える時だけ数える。この原理は8 図に図示してある。調査の際にはプリズムの主面を視線に直角に保たねばならない。木



8 図

平な土地ではプリズムの上端を水平に保つ必要がある。正しい設定を容易にするため Müller は視野の半分をおおうように軽い円筒形のチューブにプリズムを取り付けた。この器械は tree count tube (Baumzählrohr) として知られている。Cromer (1954) はこの器械を用いる際に起る像と実際の木との混同のため、勘定が難しくなり、相当眼の疲れることを見出した。彼は度の低い双眼鏡の対物レンズに同じ楔形プリズムをとりつけて、この難点を取りのぞいた。この器械は境界線上にある場合の数を最小にするようになつている。

プリズム式の器械で傾斜の影響を補正するには、プリズムの主面を、傾斜角に相当する大ききだけ、視線のまわりに回転させねばならない。事実上、これによつて、傾斜による距離の増加を正確に相殺するように、像の水平方向のズレを減少させる。Bruce (1955) はこれが自動的に行なえるような器械を工夫した。(9 図) ギヤーで自由に動く鏡に連結した



9 図

水平な心棒に円形楔プリズムを取り付けた。ふたを通して投影し、これによつて木を観測するプリズムの部分を除いて、器械全体は箱の中に入られている。傾いた時には、鏝によつて心棒の水平からのずれに等しい角だけプリズムが回動される。

Abney level の胴部に楔形プリズムをとりつけて自動的ではないが傾斜地で非常に有効な装置が作られた。(Anon 1955) 木毎に level とプリズムを交互に使用し、プリズムの正しい位置は level の気泡が中心にあるようにして定められる。(10 図)

このようなプリズム式の器械を用いる時に、障害が2つ起る。像の端の彩輪がその相対的ずれのきわどい判定を妨げ、プリズムがこの目的のため特別に作製したものでないと、観測者は不安定な断面係数を扱うことになる。第1の障害は色消し(色修正)プリズムを用いれば完全に除かれる。第2の障害は強度補正可能のプリズムを用いれば克服でき、その上器械の断面係数を径級と本数密度に

応じて変えることができるという長所をもつことになる。Bruce

(1955) は強度の違う2個の円形楔プリズムを共通の心棒にとりつけた簡単な装置をほのめかした。プリズムを一緒につかえばその組合さつた強度は個々の強度の和となる。一方を他方に対し180°回転させれば、その強度は個々のものの差

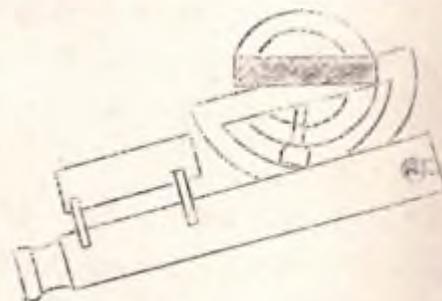
となりその中間の強度は180°以下の回転で選び出すことができる。プリズムの縁につけてある指標により都合の良い係数を即座に選び出すことができよう。

angle count 法の原理に基づく光学的装置の正確さと改善は Spiegel-relaskop の発明により頂点に達した。

この装置のメートル単位による説明はまず Bitterlich (1952) が、次いで Parde (1956) が行つた。Daniel と Sutter (1955) は米園市樹用に考案した改良型について説明し例示している。

次節に示すものは、山林委員会の調査局の注問により Bitterlich が考案した、英園単位による装置である。

楔形プリズム



10 図

IV Spiegel-relaskape

mirror-relaskape は測樹分野で前に説明したどの装置よりもはるかに多く利用されている。angle count 法によるユーカー当り断面積の推定はそれがもつている多くの機能の一つに過ぎない。少し練習しただけで、この装置は次のものを測定するのに効果的に使用できる。

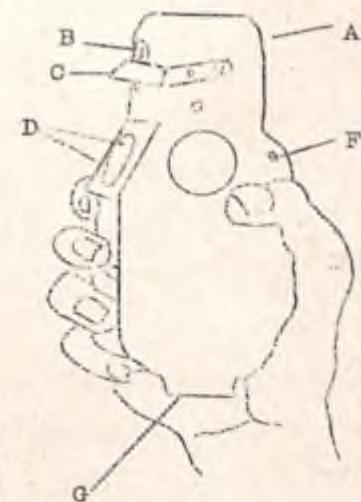
- フィート単位で全樹高又は中間の高さを測るための測高器
- in 四分周単位で地際から任意の高さの樹幹の周囲を決めるための測寸器
- フィート単位で適当な水平距離を確定するための距離計
- 度又は%で傾斜を測るためのクリノメーター

mirror relaskape は堅ろうに作られているが、片手で保持し操作し易くするため小型で軽量である。11 図には操作中のこの装置の外観が示してある。A の小さな円形の視眼部を通してみると、観測者は B を通してはつきりした広い視野が得られる。可動式の光線よけ C は過利光線をさえぎるよう調整でき、D の5個の真珠色のガラス窓は光線を装置の内部に行きわたらせる。小さな輪止めをおせば鏝の原理で動く内蔵された目盛車の運動を制止していたブレーキが解放される。F の小穴はこの装置を運ぶためひもを通すことができ、G は正確な読みを行うため、装置をしつかしたり支持棒にのせるための三脚用の受け穴である。

A-B を通してみられる円形の視野は鏡のシステムで水平に2等分される。樹幹は上半分で観測し、下半部で一組の垂直目盛の像が、その上に同時に重なる。視野の上下の水平な分界線は measuring edge といわれ、読みの読みがこゝで行なわれる。これ以外の点での読みは不正確である。

移動装置は別にしてこの器械の内部で動くことのできる唯一の部分にはドラムの周りに目盛がつけてある鏝車である。

これらの目盛が功妙に設計され配列されていることは12 図の平面図から分る。この目盛の要所は15 図にもつとはつきりと示してある。これらの要所は器械の使用中には通常見ることができないが器械を下に60°傾



11 図

けると要所下部が視野に入つて来る。この場合輪止めをはずせば、しばらくの間、各目盛の機能を調べる事ができる。

断面積の推定 Basal area estimation

四分周単位によるメーカー当り断面積の推定値は angle count 法でたやすく求められる。その原理は他の形の relascope について説明したものと真く同じであり、檢視の際にどの木を数え、どの木を除くかを決めるのに簡単な angle gauge が用いられる。mirror relascope は各断面積係数に対応して巾の異なる4種の目盛を備え、4通りの参考角が選べるようになっている。目盛は反射により見えるだけだから透明となつており、視野は明るく、胸高位置は比較的正確に推定できる。この目盛は0という印の付けてある共通の端をもっている。(13図) 0-2の目盛り巾は断面積係数2に相当し、0-5, 0-10, 0-a 目盛はそれぞれ断面積5, 10, 20に相当する。傾斜の影響はその長辺に沿つて目盛の巾を変えることで打ち消される。(12図) 胸高位置と一直線になつた measuring edge が目盛を減すことで傾斜による観測者と林木間の距離の増加を完全に相殺させる点で目盛を切るように感は働く。

直径の測定 Diameter measurement

第2の目盛の組は、インチで表わされた等四分周をもつ木の直径を測定する手段となる。観測者と木の水平距離が66フィートの時には、この目盛は四分周48inまでの木に適用され、個々の測定値は4in単位で読とられ、1in単位まで推測される。四分周24in以下の木については、13フィートの距離で操作することで測定精度を向上させることができ、この場合には四分周は2in単位で読むことができ、 $\frac{1}{2}$ in単位まで推測できる。99フィートまで延ばすと、目盛の適用範囲は72inまで増すが、読みとりの正確さは、これに比例して減るであろう。

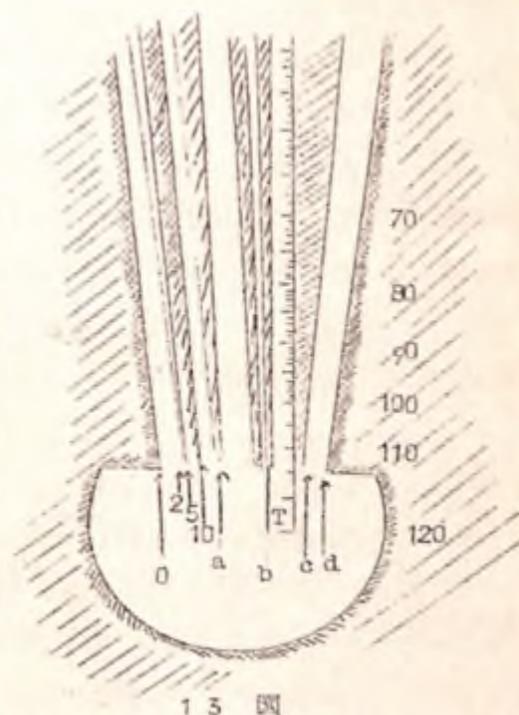
できるだけ混乱を避けるため、以下にのべる直径目盛の詳しい説明は常に66フィートにおいたものとする。

この位置で、aとbとの距離は(13図)四分周24inに等しい直径を切る。目盛巾a-bの半分に3つの等巾の帯線が挿入され、その二本は暗く一本は明るい。これはいづれも四分周4inを表わしている。aの左側で、5と10の断面積目盛の間で白い背景に黒い細線が付けてあり、この線の左で0と2の間に第2の黒い細線が走っている。aから、最も近い

細線までの距離は目盛の適用範囲をさらに12in増し、細線間の距離をさらに加えて行けば、四分周48inに相当する最大の目盛巾が使えるようになる。

例えば四分周34inに等しい胸高直径の木を開るには、樹幹の左端をaに最も近い細線と一致させaとbの中央で24inまでを読みとり、最初の2本の4in帯で8inを読みとる。最後の2inは3番目の帯で読測する。この目盛の修得にはあまり時間がかからず、一寸実行してみるとこの方法が云われているほど複雑ではないことが示されるであろう。

この装置は傾斜の変化に対して自動的に補正されるから、胸高だけでなく、任意の高さの四分周を決めることができよう。



13 図

樹高測定 Height measurement

樹高はTと印の付けてある目盛でフィート単位で測定される。これは木から水平距離66フィートの点で測つた時に、樹高の直接の読みを与えるように目盛つてある。この目盛は正と負の樹高を測るよう設計してあり、0線の両側に+と-の方向が付けてある。12図には、目盛の全体が示してあり、これは1フィート間隔で±100フィートまで、5フィート間隔で±180フィートと-120フィートまで読みとれる。この目盛は水平距離の変化に応じて変えることができる。33フィートに置けば目盛の1フィートは $\frac{1}{2}$ フィートを表わし、99フィートに置けば、各目盛は1 $\frac{1}{2}$ フィートを表わす。

高さで四分周の読みを組合せることにより、利用限界までの丸太又は section の上部の四分周を読むことが可能である。この目盛は2つの読みが殆んど同時にできるように設計してあり、一方の目盛から他方へ眼を移すだけでよい。

距離測定 Range measurements

作りつけの距離計は、傾斜に無関係に水平距離を決定し、樹高や直径を読みとる距離を定める時間を最小にする。

b, a間の距離は水平距離66フィートで6フィートの棒を挟み, b, c間の距離は99フィートの水平距離で6フィートの棒を挟む。(13図) 66フィートの位置を確定するための距離計としての使用法は次のとおりである。正確に6フィートの長さの白塗りの棒を木の側に垂直に立てる。視測者は任意66フィートの位置から木までの傾斜を読み、目盛をこの位置に固定する measuring edge が垂直になるまで、器械を回し、棒がb, cで正確に挟まれるまで彼の位置を修正することで、正確な位置が定まる(14図) b~cの目盛間隔が用いられる以外は99フィートの位置設定にも同じ方法がとられる。

傾斜の測定 Slope measurement

二種類の有用な地形測量用の目盛も付いており、D, Pの印がついて、視野の左端に垂直にはしつてゐる。(12図) D尺は度単位で傾斜を読むように目盛つてあり、その範囲は、 $+70^{\circ} \sim -60^{\circ}$ である。P尺は直接%単位で傾斜を読み、その範囲は $+270\% \sim -170\%$ である。樹高尺Tも、距離測定の際に必要な地形的補正をするのに使用できる。

将来の展望 looking to the future

今日までにこのように急速に広がった問題の論評は、その将来の発展についてなにか予想せずには完成したことにはならないであろう。この仕事は数年前よりやり易くなつてゐる。というのは、現在では新しい企画より現在の企画を固めるのに関心が集められているからである。このことは特にこれまでに発明された器械について当てはまる。それは、林業技術者はすでに彼の特殊な要望にかなりよりにその排列について広範囲にわたる設計をたてているからである。しかし、一つの例外がある。現在では Hessed (1955) が論じている Hirata 法による平均樹高推定用の器械だけと思われる。この一つの欠陥と設計の僅か改良はさておき、来るべき5年間に採用される rolaccapo の形が、現在用いられるものと非常に違つたものになると思えない。

この方法の使用法についても、垂直方向の angle count sampling でさらに発展することが期待されはするが、やはり同じ結論が成り立つであろう。

Britain では angle gauge による plotless 調査法が従来の方法に、特

に正確を要する調査では全面的にとつてかわるとは思えない。しかしこの方法は将来主に angle count 法と小さな代表的プロットによるオーソドックスなサンプリングとを簡単な形に組合せたものとなろう。

謝辞 Acknowledgements

この論文の作製にあつて全面的に援助をたまわつた F. C. Hummel 博士ならびに angle gauge 法の理論の紹介について忠告をたまわつた R. Howell 氏に感謝の意を表します。

(Forestry Vol xxx No 2 1957)

参考文献

- Anon. (1955):
Forest Survey Field Instruction. Southern For. Expt. Stn., New Orleans, La.
- Barrault (1955):
Essais d application de l appareil de Bitterlich Rev. For. Franc
- Bitterlich, W. (1948):
Optisch Zahlmessung in der Bestandesaufnahme Fabrbuch Hochschule fur Bodenkultur in Wien.
- (1951):
Die Winkelzahlprobe Zhl. ges. Forst. u. Holzw.
- (1952):
Das Spiegel-relaskop Ost. Forst-u. Holzw.
- (6)
----- (1956) (1):
Fortschritte der Relaskopmessung Holz-Kurier, Nr. 1, xi
- (1956) (ii):
Was ist die Hirata-Hohe Allg Forstztg. lxvii.
- Bruce, D. (1955):
A New Way to Look at Trees. U.S. Dept. of Agric.
- Carow, J. (1953):
Quick Cruising with Bitterlichs Method. Mich. For. 1.
- and Stage, A. (1953):
Basal Area by the Thumb. J. of F. 7.
- Cromer, D.A.N. (1952):
Basal Area per Acre. Austral. For. xvi. 2.
- Cromer (1954): Techniques and Instrument for the determination of Basal Area and Volume per Acre. Austral. For. xviii. 2.
- Daniel, T.W., and Sutter, H. (1955):
Bitterlichs Spiegel Relascope- a revolutionary general-use forest instrument. J. For. liii. 11.

- Essed, F.E. (1955):
De Kegelmethode voor de bepaling van de emiddelde Hoogte in eensoortige Bosopstanden. Ned. Boscht-Tijdschr. No. 11, 1955, pp. 285-7.
- Ferguson, J.H.A. (1951):
Optische grondvlakbepaling volgens de methode Bitterlich. Tectona, xli.1
- Flemming, W.J. (1954):
A Design for a Relascope For. Chron. xxx. 3
- Grosenbaugh, L.R. (1952) (i): Plotless Timber Estimates - New, Fast, Easy. J. of F.l.l.
- (1952) (ii): Shortcuts for Cruiser and Scalers. Southern Forest Expt. Stn. (Occasional paper)
- Hirata, T. (1956):
Height Estimation by Bitterlichs Method- Vertical angle count sampling. J. of Japanese For. Society, xxxvii. 11.
- Hummel, F.C. (1951):
Instruments for Measurement of Height, Diameter and Tapper F.A. xii. 3.
- Keen, F.A. (1950):
The Relascope Emp. For. Rev. xxix. 3.
- Muller, G. (1953):
Das Baumzahlroho. Allg. Forestzeit. lxiv.
- Nyyssonen, A. (1954):
Estimation of Stand Volume by Means of the Relascope, For. Research Inst. of Finland. Helsinki
- Parde, J. (1956):
Un Appareil revolutionnaire: Le Relascope a Miroir de Bitterlich Rev. for. franc. viii. 3.
- Senda, M. and Maezawa, K. (1955):
On the Measuring of Stand Basal Area by Bitterlichs Method. Misc. Inform. Tokyo Univ. For. No. 10.

- Shanks, R.F. (1954):
Plotless Sampling Trials in Appalachian Forest Types.
Ecology: xxxv. 2.
- Spurr, S.H. (1952):
Forest Inventory. Roland Press Co., New York.
- Stoffels, A. (1954):
L'Exactitude de la détermination de la surface
terrière par hectare au aide de la méthode de Bitter-
lich. Ned. Bosch Tijdschr. xxvi. 10.
- Thonet, H.M. (1948):
Der Waldstock.... Allg. Forst - u. Holzwirts. Ztg.
lix
- Viney, R. (1956):
Les Objections a la méthode de Bitterlich, Rev. for.
Franc. viii
- Wanner, J. (1948):
Die Probefläche ohne Probefläche. Allg. Forst - u.
Holzwirts. Ztg. lix. 11/12.
- West-Nielsen, G. (1952):
En grundflademaler. Hedeselsk. Tidsskr. lxxiii. 16.

Ⅹ 可変プロット法の森林標 本調査への応用

(J.F. Bell, L. B. Alexander)

X 可変プロット法の森林標本調査への応用

Application of the variable plot method of sampling
Forest stands

John F. Bell

Lucien B. Alexander

まえがき Introduction

可変プロットによる森林標本調査方法はWalter Bitterlich(1)により欧州で創案されたものである。米園林業界にはL.R. Grosenbaugh 博士(2)により紹介された。

可変プロットによる森林標本調査法の原理に関する論文はいくつか書かれているけれども、現地に適用した場合については殆んど発表されていない。本書は主として蓄積調査その他の調査業務にこの方法を利用することに興味をいだいている林業実務家のために計画したものである。

固定した大きさのプロットによる標本調査で、林地面積と断面積又は材積との比を決めるには、プロット内の林木を測定、記帳し、外側の林木は無視する必要がある。可変プロット法は、裏を云えば、測定し、記帳する林木を決める別法に過ぎない。予め決めてある角度より大きな木が記帳され、林地面積対断面積又は材積の比を決めるのに用いられるが、これより小さい木又は離れすぎている木は無視する。

可変プロット法は従来プロット又はストリップ法に比べてエーカー当り断面積又は材積の決定が簡単かつ早い方法である。プロット半径やストリップ巾を測る必要はなく、正確な直径測定は不必要なので、個人的誤差は減少する。可変プロット法は、現地調査時間を約半短縮する。林木が抽出される確率はその断面積に比例している。したがって現地調査時間の大部分は大径木の調査に向けられる。

現地調査時間が短縮され、大部分の時間が大径木に向けられるから、欠陥や等級を決める精度は向上する。

可変プロットによる森林調査法の理論に関する概要は、附録に示してある。

楔形プリズム The wedge prism

楔形プリズムは参考角すなわち臨界角を確定するため光線を屈折させる精密光学器械である。Mason, Bruce, Girard が相談役となつている会社で作られた仕様書に基づく楔形プリズムはOregon州Portland市9番街Northwest 7のBausch又はMass-

achusetts州Northampton市Kollmorgen 光学有限会社を通して購入できる。

前者の会社では、断面積係数を変えずに交換できるプリズムは生産していない。そのプリズムの価格は、いずれも約2.50ドルである。後者の会社では、20, 25, 30のような正確な係数をもつプリズムを生産しているが、その価格は15.00ドルで、多量に購入しなければならぬ。

楔形プリズムの機能 Functions of wedge

どのようなdioptr のプリズムを用うべきか。What prism diopter to use.

プリズムの1 diopter は100単位の距離当り1単位だけの直角方向のズレに等しい。一般法則としては、観測点当り平均4~6本の木が数えられるようなプリズムのdioptr を選ぶべきである。一つの林分では同じdioptr を用いるのが最良である。直径の小さい程dioptr は小さくなる。木が大径になる程dioptr は大となる。林分が疎開している程dioptr は小さく密な程大きくなる。径級、密度と係数の大きさを調節して、使用すべきdioptr を決める。

Pacific Northwestで用いられている例は次のとおりである。

2~3 diopter	小径の未熟林
4 diopter	大径の未熟なベイマツ林やPonderosa pineの択伐林
5 diopter	ベイマツ用材林の二次林やPonderosa pine未利用林
6 diopter	ベイマツの老令林やCascade Mountainの混交用材林
8 diopter	ベイマツ、redwood その他大径用材の密な老令林

楔形プリズムの断面積係数 The wedge prism basal area factor

楔形プリズムを、その断面積係数を決めずに本数密度の決定や材積推定をするため、林業技術者が用いることは殆んどあり得ない。この係数を観測点当りの平均本数に乗ずると、樹幹の占めるエーカー当りのft²が得られるであろう。

断面積係数の決定 Determination of the basal area factor

断面積係数を決めるためにとられる基本的な方法は割に簡単である。適宜の巾(1'-2'-3')の矩形のターゲットを垂直な台の上におく。まず、ターゲットの像が完全にずれるまで、即ち、プリズムを通さずに見える像の一端が、プリズムを通して見える他端と一直線になるまで楔形プリズムをターゲットから離す。この時の距離をft単位で測る。次に、今一度ずら

が起るまで楔形プリズムをターゲットの方に近づける。もう一度その距離を測る。

この様な試行を6回繰返して求めた距離を断面積係数式に入れる。

$$B.A.F. = \frac{43,560}{1 + 4\left(\frac{d}{w}\right)^2}$$

ここでdはft単位のターゲットまでの距離wはft単位のターゲットの巾である。

当然のことながら、次のような疑問が起るターゲットと楔形プリズムの距離はどの程度の誤差で測定でき、良好な解答を得るのに合理的な限界内にあるだろうか?

(断面積係数の百分率誤差は断面積、蓄積の計算に同じ百分率誤差を生ずることに注意を要する。)

次表は各種のdioptr の楔状プリズムと1ftのターゲットを用いて、断面積係数で1および2%の誤差を生ずるために変り得る距離の(6回の試行の平均)状態が示してある。

Calibratingで許される距離

	±1%の限界内にあるB.A.係数		±2%の限界内にあるB.A.係数	
	±1%に対する±ft	許容できる合計距離	±1%に対する±ft	許容できる合計距離
4.0	※ .13-	.25+	※ .25+	.50+
5.0	.10+	.20+	.20+	.40+
6.0	.08+	.17-	.17-	.34-
8.0	.06+	.12+	.12+	.25-

※ 楔形プリズムからターゲットの中心までの正確な距離から許容できる±ft

例: 正確に4.0 diopter の楔形プリズムは一個の断面積係数を与える。方向を定めて、前述した手順を行う。楔形プリズムとターゲット間の真の距離は、1ftのターゲットを用いた場合には、公式から25.00'となる。例えば6回繰返した平均が25.105'となれば、算出断面積係数は17,272となる。正しい係数17,417は算出係数17,272と0.83%違っている。したがって、断面積係数17,272と印されている楔形プリズムで調査すれば、材積計算値は0.83%低くであるであろう。

断面積を決定するための楔形プリズムの現地使用法

Field procedure using the wedge prism for basal area determination

標本点の確定方法 How to establish the sample point

一組の標本点が、固定半径の標本plotの中心点設定と同じ方法で地上に設けられる。完

全な点(360°) 1/2の点(180°)のいずれかがとられる。1/2の点は次のようにして設けられる。

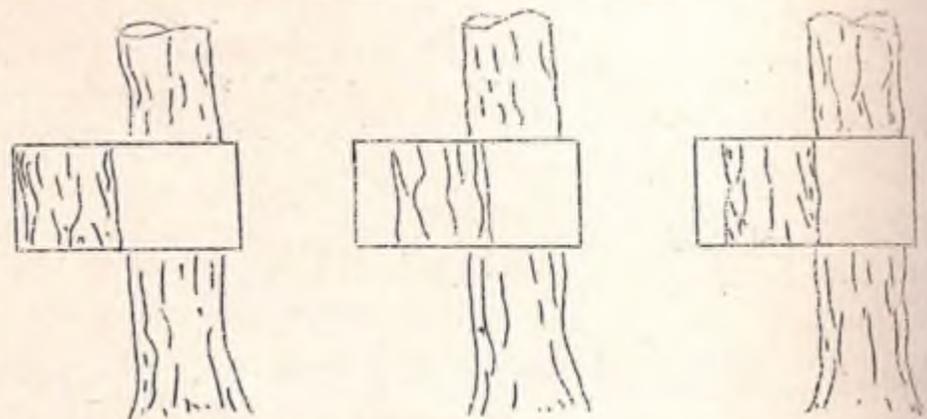
1. 点は正規の方法で確定される。
2. この点から、調査線の方に関係なく、Compassmanは下の方に顔を向ける。(調査班が2人以上で構成されている場合には、調査員が点を設定するとき入つて来ると思われる偏りを除くためにCompassmanは1/2点を選ぶ。)
3. 次に、彼の左側で点と同じ高さにある参照木を選ぶ。参考木がなければ、杖を立てる。この点を後日、再設定できるようにしたい時には、皮を剥いで、印をつける。
4. 1/2点はプロット中心を通る仮空の線の延長上にある参考木で確定される。この線から下側にある樹木は全て、数えられる可能性のある木である。

通例、1/2点がとられる時には1 diopter 低い楔形プリズムが用いられる。

“入る” “入らない” 木の決定方法

How to determine whether a tree is "in" or "out"

標本点から、楔形プリズム越しおよびこれを通して、周囲の林木を観測する。プリズムはそれを通して光線を一定の角度だけ屈折させるから、林木の透過像は横方向にズレる。直像と透過像の端が、重なれば、その木は“入る”と考へて数える。1図は“入る” “入らない” “境界”木を図示したものである。“境界”木は一本おきに“入る”ものとして数えることもできれば、“境界”木をそれぞれ1/2本として数えることもできる。眼とプリズムの距離はプリズムの角で測られるズレに影響しない。しかし、一番重要なのは、プリズムを標本点の真上に置くことである。調査員は、基本的材積表の直径を示す樹幹上の点を見る。通常この点はD.B.Hである。これより高い点を用いると有利なことがあるが、しかし、この場



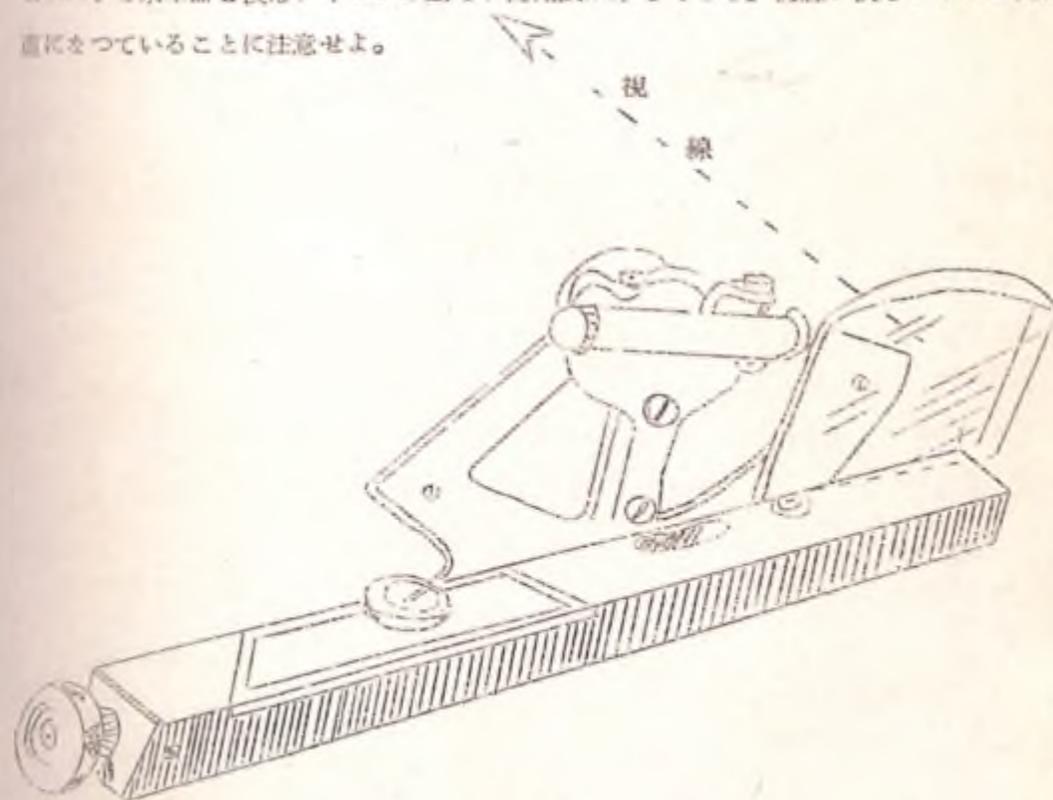
記録せず

記録する

境界木

一本おきに記録

合には基本的材積表を新しい点の直径に適合するように修正しなければならない。プリズム面は視線に対して直角におかねばならない。この状態では、横方向のズレは最少である。底面は水平にしなければならない。傾斜を補正するには、プリズムを傾斜角と正確に同じ角度だけ回転させる。しかし平坦地では、これは視線に対して直角となる。眼から林木までの傾斜角と傾斜補正のためにプリズムを回転させる角度とは等しくなければならない。Abneyの水準器は傾斜を測り、視線と同じ角度だけ楔形プリズムを回転させるのに使える。2図はAbneyの水準器と楔形プリズムの正しい使用方法が示してある。視線が楔形プリズム面に垂直になっていることに注意せよ。



2図 Abneyの水準器と楔形プリズムの正しい使用方法

“入る” “入らない” 木を決める時に次の点に注意を要する。

1. 背後にある木については、観測の中心を、その点と問題の木との距離をそのままにして実際の点から移動させる。観測の中心を動かすことで、視野を妨げているやぶの片側

から前方がみえる場合がしばしばある。“入る”と思われる木が他樹の真うしろにある場合には、中心を移動させることが必要である。

- 傾いている木については、プリズムの垂直軸が、樹幹の中心に対応するように楔形プリズムを回転させる。
- ある木のズレた像が隣接木と重なり、実際には入らない木が数えをしなければならないように見える場合が時々ある。ズレた像が、その木のものかどうか慎重に観測すれば、これは避けることができる。場合によっては、Compassman が、込みいつた木の側に立てば、判別に便利であろう。
- 時には、視界を妨げている灌木の一部を除く必要がある。汚点を用いれば、下木の問題を解決するのに役立つ。
- 通常プリズムは、像が左側にズレるように持たれる。像が右側にズレるようにプリズムを逆転させれば、“入る”“入らない”を決める助けとなる。
- 林木が“入る”か“入らぬ”かを定める別法は、プロット半径係数を用いることである。観測点から、丁度“入る”木までの距離をプロット半径という。各木のD.B.Hはプロット半径に比例している。したがってプロット半径係数は、楔形プリズム毎に計算できる。注 1m 単位のD.B.H にプロット半径係数を乗ずれば、丁度“入る”木のプロット半径がft 単位で得られる。直径毎にプロット半径の違っていることが容易に分るであろう。したがって、この方法は可変プロット法といわれている。プロット半径係数は、特に研修用として有用である。

エーカー当り断面積の決定方法 How to determine basal area per acre

数えられたプロット当りの平均本数に楔形プリズムの係数を乗ずれば、エーカー当り断面積が得られる。

例： 21 個の点で、総計87本が数えられたとする。係数27.62の楔形プリズムが用いられた。

数えられた平均本数 $= \frac{87}{21} = 4.143$ (通常、小数点以下3位まで求められる。)

エーカー当り断面積 $4.143 \times 27.62 = 114.4 \text{ ft}^2$

注：プロット半径係数は次式で計算される。

$$\sqrt{\frac{43,560 - B.A.F}{4 B.A.F}} + 12$$

ここで B.A.F = 断面積係数

プロット半径係数は次式からも算定できる。(どのような楔形プリズムについても)

$$\frac{d}{12w}$$

ここで d = ft 単位で表わしたターゲットまでの距離

w = ft 単位で表わしたターゲットまでの距離

材積決定のための楔形プリズムの現地使用法

Field procedure using the wedge prism for volume determination

エーカー当りの材積を決めるには、二つの基本的統計量、即ちエーカー当り断面積と、平均ボードフット・断面積比を求める必要がある。

エーカー当り断面積 Basal area per acre

エーカー当り断面積を求める方法は、既に前節で述べた。しかし、実際にエーカー当りの材積を求める場合には、一般に16 ft の第1丸太の上端部を視るほうが好ましい。(こうすれば、エーカー当りの皮付樹幹面積の得られることに注目されたい)、こうすれば、形級表を使用する場合、形級を形定する必要がなくなる。さらに16 ft の第1丸太の上端部をみるにより、観測者は殆んど下木に妨げられずに視ることができる。16 ft の第1丸太の上端部を視る場合汚点(常に下側を見る)を用いると、傾斜補正が最小限でよいので特に有利である。

形級材積表およびU.S.土地鑑営局で使用している材積表は、この方法に利用するのに特に適している。他の材積表を用いる時には殆んどの場合、胸高を見なければならぬ。胸高におけるエーカー当り断面積を求め、胸高におけるエーカー当り断面積に適当な形級の平方を乗ずれば、16 ft の第1丸太の上端部における樹幹面積に換算できる。

例： 胸高におけるエーカー当り断面積をエーカー当り100 ft²とする。形級は0.80である。16 ft の第1丸太の上端部のエーカー当り樹幹面積は、 $100 \times (0.80)^2 = 64 \text{ ft}^2 / \text{エーカー}$

ボードフット対断面積又は樹幹面積比

Board foot basal area or stem area ratio

樹幹面積対ボードフット比は、樹幹面積のft²当りのボードフットである。“入る”木についての比は、基本的材積表に用いられている直径の測定点に相当する樹幹上の点の直

径とその樹高に相当する丸太の総数を決めて、現場で記録される。(32ft丸太を用いるのが普通である。)プロット毎に数えられる本数が決められるが、標本調査対象の主要樹種だけが占めるプロットの比率を決めるため"入る"木の比を求める必要がある。満足のゆく標本を求めるには、各標本点で"入る"木のなかで重要でない樹種の歩合を記録しておく必要がある。小規模の調査では、この比は一つおきのプロットで求められるが、大規模のときには、3~4番目のプロット毎に求められる。一般に調査報告の作られる林地について、樹種毎に最小限60本の比を求める必要がある。

風倒木 Wind falls

1. 像が上側にズレるように、楔形プリズムを90°回転させる。
2. 風倒木の元の位置に関係なく、材積表に示してある直径測定位置を見て、風倒木が"入る"か"入らない"かを定める。
3. 一般に、適切な標本を求めるため、各標本点で、市販可能な"風倒木で"入る"木種に直径と取得できる丸太数を求める。

通例 適切な標本を得るために各標本点で"入る"市販可能なDiameter 毎に直径と取得できる丸太数を求める。

欠陥、損傷、丸太の等級の決定 Defect, breakage, and log grade determination

この比が、Mason, Bruce, Girard の発表したボードフイート材積表(等級表)から導びかれている場合には、欠陥、損傷、丸太の等級を百分率で記録すると非常に便利である。各丸太の立木材積に対する百分率は、前記の表の1表6頁に示してある。欠陥、損傷、丸太の等級は普通の方法で現場で記録できる。しかし、内業では、その標準的方法はかきり面倒である。

標本調査歩合 Intensity of sampling

調査では、与えられた林分に対して必要な調査歩合を決めることが必要であろう。しかし、現在までの経験から、4/5エーカープロットに用いられたのと同じ調査歩合で、1/5エーカープロット法より優れた標本が得られるであろうということが示されている。

比率で表わした材積集計表— 32ft 丸太 スクリプナー DEC.C規格

T. _____ R. _____ Sec. _____ 小区制 _____ 面積 _____ プロット _____

16ft における樹幹面積のft²対ボードフイート材積

32' 丸太の数												樹種別計			
16ftの位置の d.l.b	1	1½	2	2½	3	3½	4	4½	5	5½	6				
9	81														
10	79	174	176												
12	76	162	202	275	349										
14	74	146	218	297	377										
16	73	153	233	314	396	475	555								
18	76	159	242	326	411	493	576								
20	77	163	249	336	423	507	592	674							
22	78	166	255	344	433	518	604	688							
24	80	170	260	350	441	528	615	701							
26	82	173	264	355	447	535	624	711							
28	84	176	268	360	453	542	631	720	808						
30	86	178	271	364	457	547	638	727	817	906	9996				
32			273	367	461	552	644	734	824	914	1004				
34			275	370	465	556	648	739	830	921	1012				
36			277	372	468	560	653	744	836	927	1018				
38			279	375	471	563	656	748	841	932	1024				
40			281	377	473	566	660	752	845	937	1030				
44				382	478	572	666	759	852	945	1039				
50				387	483	578	672	766	861	955	1049				
60				383	488	585	681	777	873	967	1062				
70				387	493	590	687	783	879	975	1071				
本数		断面積										蓄積		比の合計	
樹種	本数	プロット平均	×プリズム4枚	×樹幹平方	エーカー当り皮内面積ft ²	×平均比率 = エーカー当りBd.ft 粗	純	総本数		ボードフイートで表わした比の平均					

3回 林業技術顧問のMason, Bruce, Girardの計算したデータ

材積を決めるための内業手順

Office procedure for volume determination

材積集計表(ボードフィート、樹幹面積比)

適当な材積表はいつでも、次の段階を踏んで、直径、丸太の数別に、樹幹面積の f^2 当りボードフィートに換算できる。(1)、表に示してある直径を樹幹面積の f^2 に換算する。(2)、直径、樹高階別の材積を求める。(3)、(1)で求められた樹幹面積の f^2 で、(2)で求めた材積を割れば、樹幹面積の f^2 当りボードフィート比が得られる。

3図は、16ftの第1丸太の上端部の皮内直径、9"~70"丸太数1~6に対する材積比(32ft規格-Scribner decimal C)の一例である。

3図に示してある比を4図に示してあるように、丸太数別の曲線としてプロットする。このプロットした図は調査の際直径による変化はほとんどなく、丸太数の決定が、標準的調査法では、直径と同じ位重要なことを示している。

粗蓄積 Gross volume

樹種別の粗蓄積は次のようにして決められる。

- (1) 総ての木のプロット別の比を材積集計表に現場で書き込む(3図)
- (2) 比の計を、これに関係のある本数で割つて、平均の比を算出する。
- (3) その断面で示されるエーカー当り樹幹面積をエーカー当り断面積を求めるため算出する。
- (4) 樹木の勘定が皮付について行なわれ、材積表がd.i.bで示してある時には、各樹種の樹皮率(材部と樹皮の比)を平方し、皮内樹幹面積を求めるため、(3)で求めた皮付樹幹面積に乗ずる(大部分の経済樹種では、樹幹上の一定点における樹皮率は径級に関係なく、樹種毎に安定していることが研究の結果示された。ペイマツの平均樹皮率は0.901で、ツガでは0.94である。)
- (5) エーカー当り粗蓄積は、(4)で求めたエーカー当り樹幹面積に、(2)で求めた平均比率を乗じて計算される。

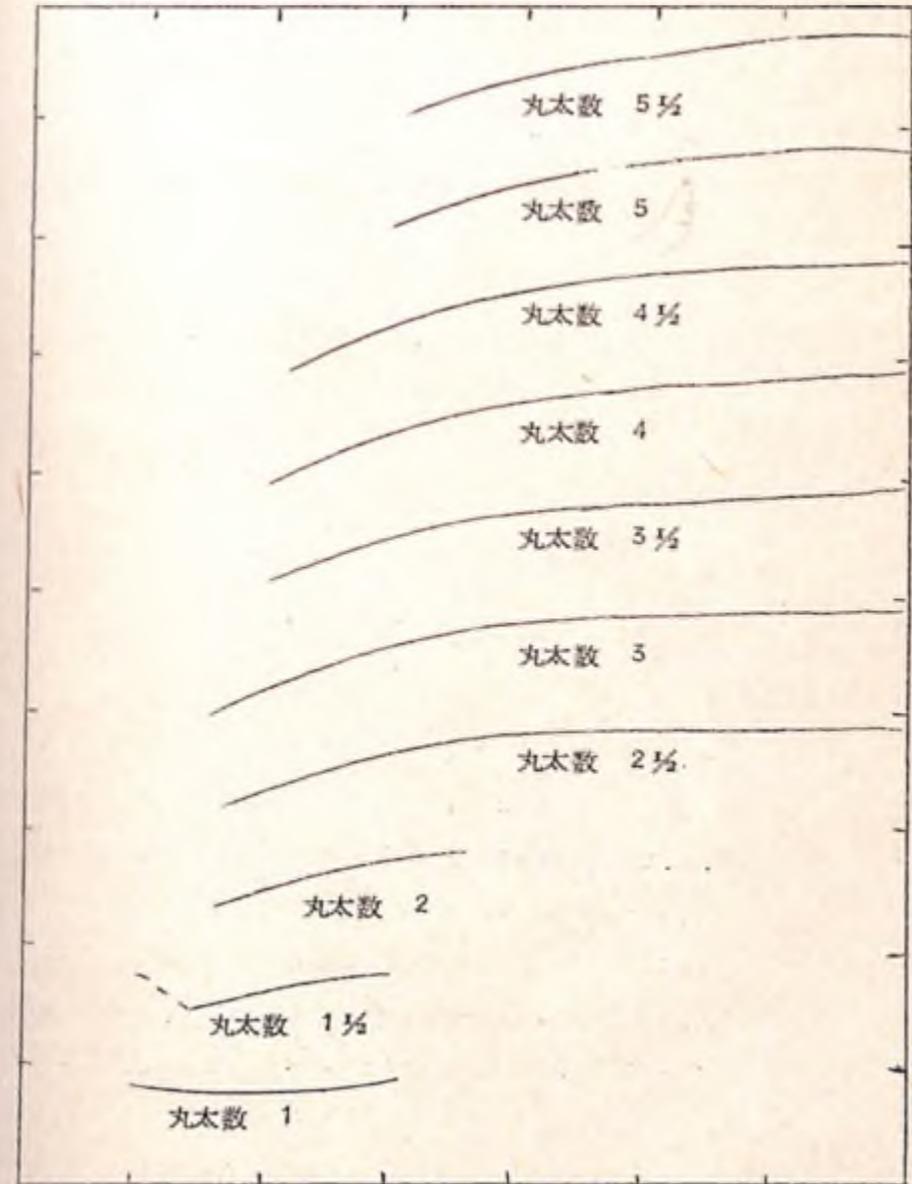
純蓄積 Net volume

エーカー当りの純蓄積は、欠陥、損傷に対して比を調整する点を除いて、粗蓄積の場合と同じ方法で計算される。

例(1本について)

4図

16フィート第一丸太の上端部の皮内直径の平方フィート当り材積(ボードフィート)



16ft丸太の上端部の皮内直径

丸太数1~5 1/2(32ft丸太)の丸太について16ftの第1丸太の上端部の皮内樹幹面積の(平方フィート)当りボードフィートの比率

D.I.B 2 4^{*}、丸太数3、損傷率を20%とする。

見掛けの比率 4 4 1 (1 ft の樹幹面積当りのボードフィート)

20%の損傷率で除外されるもの 8 8

真の比率 3 5 3

丸太等級別材積

等級別の材積は、各等級の当該百分率を各比率に適用し、粗材積の場合と同じ方法で計算して求められる。

例(1本について)

2等 peeler : 20% 3等 peeler : 10%

2等 sawlog 40% 3等 sawlog 20%

きず、損傷: 10%

見掛けの比率 4 4 1

2等 peeler 8 8

3等 peeler 4 4

2等 sawlog 1 7 7

3等 sawlog 8 8

きず、損傷 4 4

計 4 4 1

I.B.Mによる蓄積計算 Volume determination with the aid of international business machine

business machine による蓄積計算は非常に簡単であり、又経済的である。特に等級別の計算にI.B.Mを用いれば、時間の節約になる。粗および純比率をI.B.Mのマスターカードにパンチン、標準的なI.B.Mの使用方で計算が行なわれる。

材積計算の簡略法 Volume determination short cut

計算の各段階を詳しく書けば次のようになる。(総てのプロットで毎木調査されると仮定する。)

$$\left[\frac{\text{数えられた本数計}}{\text{(プロット数)}} (\text{断面積係数}) \right] \left[\frac{\text{ボードフィート比の計}}{\text{数えられた本数計}} \right] \left[(\text{樹皮率})^2 \right] = \frac{\text{(数えられた本数計)} (\text{断面積係数}) (\text{ボードフィート比の計}) (\text{樹皮率})^2}{\text{(プロット数)} (\text{数えられた本数計})}$$

$$\frac{(\text{断面積係数}) (\text{ボードフィート比の和}) (\text{樹皮率})^2}{\text{プロット数}} = \text{エーカー当りボードフィート}$$

断面積係数=一枚プリズム又は組合せたプリズムについて一定

ボードフィート比は表に示してあり、樹高、直径によつて変る。

樹皮厚は樹種および樹幹上の点別になつており、dibによる表を用いる場合にだけ使用される。

(4番目のプロット毎に毎木調査されると仮定する。)

$$\left[\frac{\text{(総てのプロットで数えられた本数)}}{\text{プロット数}} (\text{断面積係数}) \right] \left[\frac{\text{ボードフィート比の和}}{\text{4番目再のプロットで数えられた本数}} \right] \left[(\text{樹皮率})^2 \right] =$$

$$\frac{\text{(総てのプロットで数えられた本数)} (\text{断面積係数}) (\text{ボードフィート比の和}) (\text{樹皮率})^2}{\text{プロット数} \times \text{4番目再のプロットで数えられた本数}} =$$

$$\left[\frac{\text{総てのプロットで数えられた本数}}{\text{4番目再のプロットで数えられた本数}} \right] \left[\frac{(\text{断面積係数}) (\text{ボードフィート比の和}) (\text{樹皮率})^2}{\text{プロット数}} \right]$$

=エーカー当りボードフィート

係数の調節されたプリズムによる材積計算の簡略法 Volume determination short cuts for set factor prism

一つの断面積係数だけを用いる場合には、計算の大部分がエーカー当りボードフィートの材積表で行なえる簡単な方法がある。一樹種だけの時には、この表は簡単に樹皮厚の補正を施すことができる。

例

断面積係数20のプリズムが用いられれば、3表に示してある材積に20を乗じ、エーカー当りボードフィートを与える表に直せる。ボードフィート-断面積比が各観測点の“入る”木全部について求められている場合には、エーカー当りボードフィートの合計をプロット数で割ることができ、16 ft のd.i.bが樹皮率の平方を乗じた表の指標直径であれば、最後の解答はエーカー当りボードフィートとなる。木林の一部だけが調査される樹種では、これは毎木調査されたプロットの平均本数で全プロットの平均本数を除した比で拡大される。

ベイマツだけが調査され、樹種別の材積表が使用できれば、エーカー当りボードフィートを示す各材積数値は、樹皮率の平方を用いて調整でき、この計算を個々の計算から省くことができる。

楔形プリズムによる調査の統計的解析

Statistical analysis of a wedge cruise

数えられた本数:

Σx = 標本木の総計

Σx^2 = 数えられた本数を平方し、各プロットについて加えたもの

n = プロット数

$\bar{x} = \frac{\Sigma x}{n}$ = 平均

ポードフイート-平方フイート比

Σx = 抽出された各単木の比の総計

Σx^2 = 平方した各標本木の比の総和

n = 標本に含まれる本数

$\bar{x} = \frac{\Sigma x}{n}$

次の公式が解かれる。

$$(1) \text{標準偏差 (S.D.)} = \sqrt{\frac{\Sigma x^2 - \frac{(\Sigma x)^2}{n}}{n-1}}$$

$$(2) \text{変動係数} = \frac{\text{S.D.}}{\bar{x}} \times 100$$

$$(3) \text{百分率で表わした平均値の抽出誤差 (S.E.)} = \frac{n \cdot v}{n}$$

(4) 結合抽出誤差 ^注

$$S.E.\text{合} = \sqrt{(\% \text{で表わしたポードftとft}^2 \text{比のS.E.})^2 + (\% \text{で表わした数えられた本数のS.E.})^2}$$

注: このような解析は実際には全分散を2つの主要部分に分割する。このような取扱では2つの分散は独立であると仮定してある。今日までの研究では両者の間には若干の相関があり、ここに示してある方法では抽出誤差の取り扱いの誤まっていることが示されている。

可変プロット調査法の実行手順の要約 Summary of steps to follow in making a variable plot cruise

準備 Preliminary procedure :

1. 適当な楔形プリズム(係数の決まっている)を選ぶ。
2. 各エーカープロットと同じ抽出歩合を用いる。

現地での手順 Field procedure

1. 標本点を設定する。

2. 楔形プリズムの内外から周りにある総ての saw timber を観測する。実像とプリズムを通して見た像の端が重複しておれば、その木は入るものと考えられ、勘定に入れられる。これらの観測は、基本的材積表の直径を求めるのに用いたのと同じ位置で行なう必要がある。

3. 抽出点の各々について、“入る”木の直径と丸太数を記帳する。これらの木について欠陥と損傷を百分率で記帳する。

粗蓄積を求める手順 Gross volume procedure

1. 現場で記帳された丸太数と当該 d.i.b を用いて、材積集計表から比の和を求める。
2. 比の合計をこれに関係した本数で割って平均比率を算出する。
3. 観測点毎に、エーカー当りの樹幹面積を f^2 単位で算出する。
4. 皮内直径が用いられる時には、各樹種別に樹皮率を平方し、皮内樹幹面積を求めるため、(3)で求めた皮付樹幹面積に乗ずる。
5. (4)のエーカー当り断面積に、(2)の平均比率を乗じてエーカー当りの粗蓄積を算出する。

純蓄積を求める手順 Net volume procedure

1. 粗蓄積を求める手順の(1)で得られた比から、現地で記録された、欠陥、損傷率の推定値を差引く。
2. 粗蓄積を求める手順の(2)から(5)を改めて行う。

可変プロット調査法の長所

Advantages of the variable plot method of cruising

1. “入る” “入らない” 或は線上の林木は総てプロット中心から正確な光学的器械でもって決められる。器械を慎重に使用すれば、正確に決められた面積内にある総ての木の直径を正確に測らなくても、エーカー当り断面積が正確に決定される。
2. 蓄積一粗でも純であつても一推定の精度は光学的器械の正確な使用にかかっているが、近似的な直径だけは測定する必要がある。(この方式で蓄積を決める場合第2の主要変量である。樹高は変化が少く平均値について正確な吟味のしやすい単位で求められる)
3. 調査時間の大部分は大径木に向けられる。というのは、標本はその断面積に比例して各径級間にばらまかれているからである。

4. 細りが一様な場合には、根張の影響をうけない範囲について観測できる。

附 録

楔形プリズムの使用原則

Operating principles of the wedge

数えられた本数—断面積係数—エーカー当り断面積

次の点に注意を要する。

1. 楔形プリズムはある角だけ光線を屈折させる光学器械である。この角は“臨界角”といわれ、個々のプリズムで違っている。
2. 楔形プリズムは、プロット中心（観測点）の周りの木が、臨界角の正切に等しいか又はこれより大きい直径を持っているかどうかを決めるのに使用される。
3. この正切に等しいか又はこれより大きな直径の木は総て数えられる。
4. 3の条件を満たす木は総て、等しい重みのものとして扱われる。なぜならば、個々の樹木は抽出面積がその径級に比例している標本を表はしているからである。径級が大きくなる程、その木で代表される抽出面積は大となる。
5. 標本がエーカー当りに換算されている時には、数えられた木は総て重みの等しい標本を表わしている。5図の図表はこの点を示している。

この図は臨界角が $2^{\circ} 51' 52''$ である5.0 diopter の楔形プリズムを使用した場合を示している。

次の点に注意を要する。：

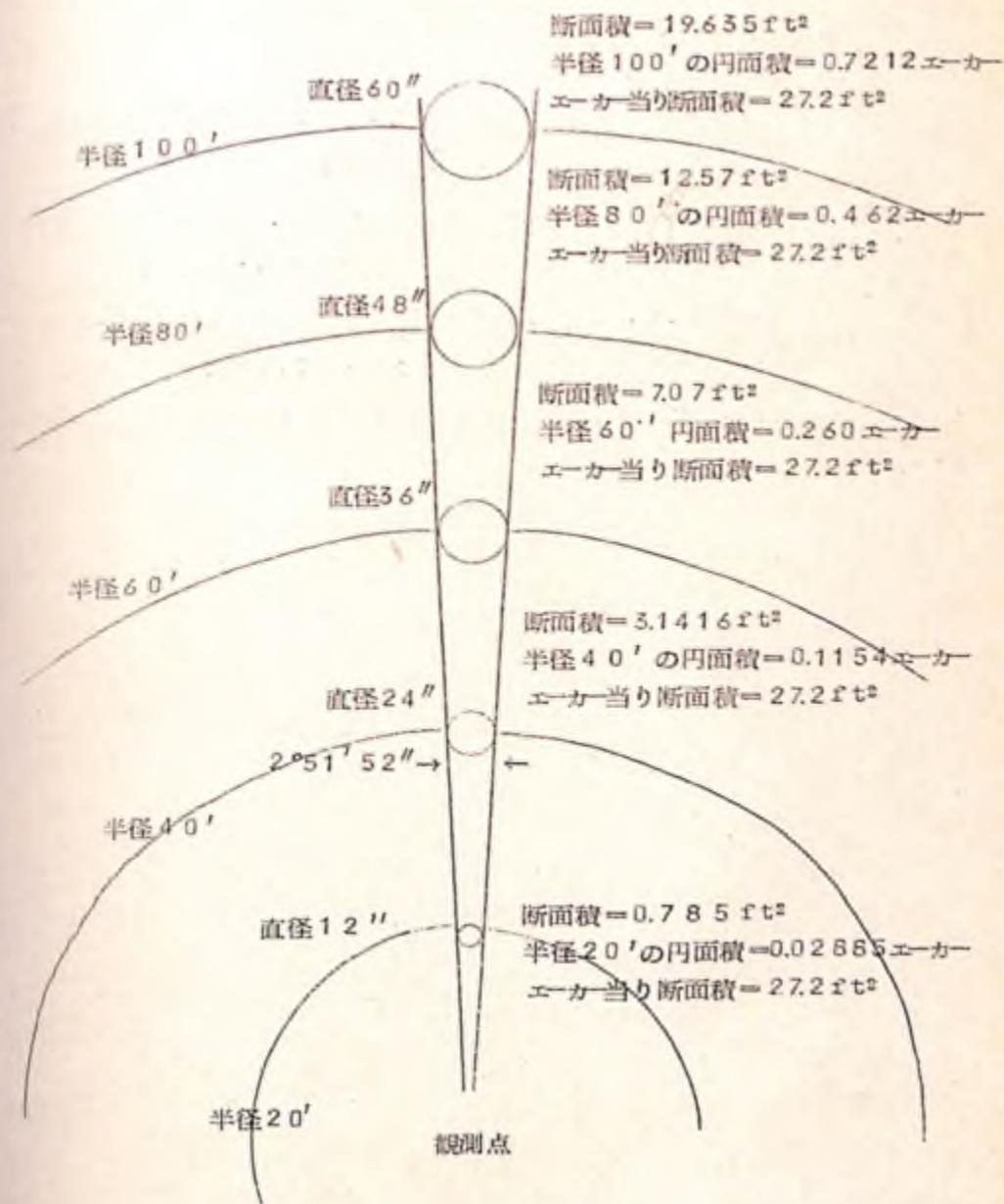
- (a) 径級とこれに対応する観測点からの距離
- (b) r^2 で表わした断面積
- (c) 樹木の中心から観測点までの距離に等しい半径をもつ円の面積
- (d) エーカー当り断面積

この図から分るように、エーカー当り断面積はどの径級についても一定である。このことは、“入る”木はいずれもその径級に関係なく一本として数えられる理由を示している。

27.2 という数値は、5.0 diopter の楔形プリズムの断面積係数である。断面積係数

$$= \frac{43,560}{1 + 4\left(\frac{\alpha}{w}\right)^2}$$

5図からの例



5図 数えられた木が総て重みの等しい標本を表わす理由を示す5 diopter 楔形プリズムの応用例

5.0 diopter のプリズムを用いれば、直径60m (5.0 ft) の木が、観測点から100 ft 離れた点で丁度 " 入る " つたとする。

$$\frac{43.560}{1+4\left(\frac{100}{5}\right)^2} = 2.72$$

楔形プリズムの断面積係数に特定のプロットで数えられた本数を乗じたものは、そのプロットが標本調査される林地のエーカー当り断面積に等しい。

- (1) Bitterlich, W. Die Winkelwahlprobe. Allgemeine Forst- und Holzwirtschaftliche Zeitung 59(1/2):4-5 1948
- (2) Grosendaugh L.R. Plotless Timber Estimates-New, Fast, Easy. Journal of Forestry 50:32-37. 1952
(Research Note No.30 Oregon state board of forestry 1957)

XI Bitterlich 法による森林調査の材積計算方法

(R. R. Morrow)

Ⅱ Bitterlich 法による森林調査の材積計算方法

Computation of volume in the Bitterlich method of Cruising

Robert R. Morrow

Bitterlich 法による森林調査法に関する Afanasiev^{※1} の論文の 1 表には、Grosenbaugh の説明している材積断面積比法と幾分違ったエーカー当りの材積計算方法が示してある。エーカー当りの材積は、次の公式で計算できる。

(本数×材積×エーカー単位への換算係数)の和÷標本点数

この公式で“本数”と“材積”は、直径、樹高級別のものであり“エーカー単位への換算係数”は Afanasiev の 1 表 4 列の値と同じものである。

1 図には Grosenbaugh^{※2} のデータ (3 表と 5 表) が再録してあり、5 標本点について、ボードフィート単位の材積が計算された。(5 ボードフィート単位に丸めてある)

森林調査で同じ材積表が用いられる場合には、簡略法を採用できる。単木材積および、エーカー単位への換算係数は、一諾にして、エーカー当りの材積係数の表とすることができる。したがって、d.b.h. 4 in, 2 log 級の木では

※1 Afanasiev, M. The Bitterlich method of Cruising—Why does it work? J. Forestry 55:216-217 1957

※2 Grosenbaugh, L.R. Plotless timber estimates—new, fast, easy. Jour Forestry 50 32-37. 1952

1.41 × 2.36 を乗ずることができ、エーカー当りの材積係数 1320 が得られるであろう。

1 図 野張からとつた材積計算例

D.b.h.	16 boe 丸太単位の取引可能な長さ					本数×材積×換算係数 =
	0	1	2	3	4	
<6	::					4 × 0 × 50.96 = 0
8	::					4 × 0 × 28.66 = 0
10		□	.			7 × 39 × 18.34 = 5005
12		::	::			1 × 63 × 18.34 = 1155
14			└			3 × 59 × 12.74 = 2255
16				::	.	4 × 98 × 12.74 = 4995
18				.	.	6 × 141 × 9.36 = 7920
20				::	.	4 × 256 × 7.17 = 7340
				.	.	1 × 305 × 7.17 = 2185
				.	.	3 × 336 × 5.66 = 5705
				.	.	1 × 402 × 5.66 = 2275
				.	.	2 × 512 × 4.59 = 4700
						計 43535

$$\text{エーカー当り材積} = \frac{\sum(\text{本数} \times \text{材積} \times \text{換算係数})}{\text{標本点の数}} = \frac{45535}{5} = 8705 \approx 8700 \text{ b.d.ft./acre}$$

このような係数は Grosenbaugh の4表に示してある比の値の100倍になっていることがわかる。このような表が作られたならば、この計算は次のように簡易化されるであろう。(現地資料は再掲しない)

本数 × 材積 × 換算係数 =		
7 ×	720 =	5040
1 ×	1160 =	1160
3 ×	750 =	2250
4 ×	1250 =	5000
6 ×	1320 =	7920
4 ×	1840 =	7360
1 ×	2190 =	2190
3 ×	1900 =	5700
1 ×	2280 =	2280
2 ×	2350 =	4700
		45600

$$\text{エーカー当り材積} = \frac{45600}{5} = 8720 \text{ 即ち } 8700 \text{ b.d.ft./acre}$$

このエーカー当りの材積計算法は簡明で、理解しやすい。エーカー当りえの換算係数や、エーカー当りえの材積係数は、あらゆる臨界角について決定できる。この方法は Grosenbaugh の説明している方法の替りに試みられたものである。

さらに興味を呼ぶのは、Grosenbaugh^{※5} が前に行つた、理論、成長研究えの応用、調査の際の誤差の減小を含む Bitterlich 法による森林調査に関する論説であろう。

※3 Grosenbaugh, L.R. Better diagnosis and prescription in southern forest management. South. For. Expt. Sta. Occasional Paper 145: 18-27 1955
(Journal of Forestry 1957 Vol. 56, No1)

XII. 点抽出調査用 Harbard Forest 式 プリズム台

(F. M. Gould)

点抽出調査用 Harvard Forest 式プリズム台

The Harvard Forest Prism holder for point-sampling

E.M.Gould

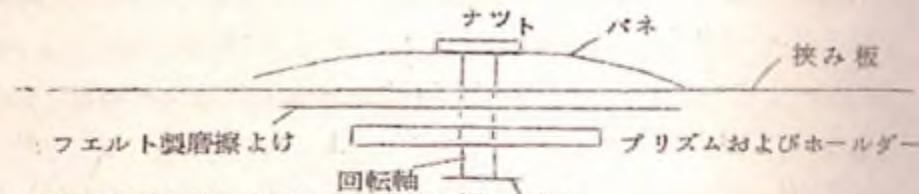
点抽出調査即ち Plot-less 調査に用いられる簡単なプリズム式の器械が 1955 年に Harvard 大学の演習林で考案された。このプリズム台を New Hampshire と Massachusetts 州の 15000 エーカー以上の林地の蓄積調査に使用してみて、良好な結果を得た。

二回の夏季にわたり、この調査は一人の調査員だけで調査された。

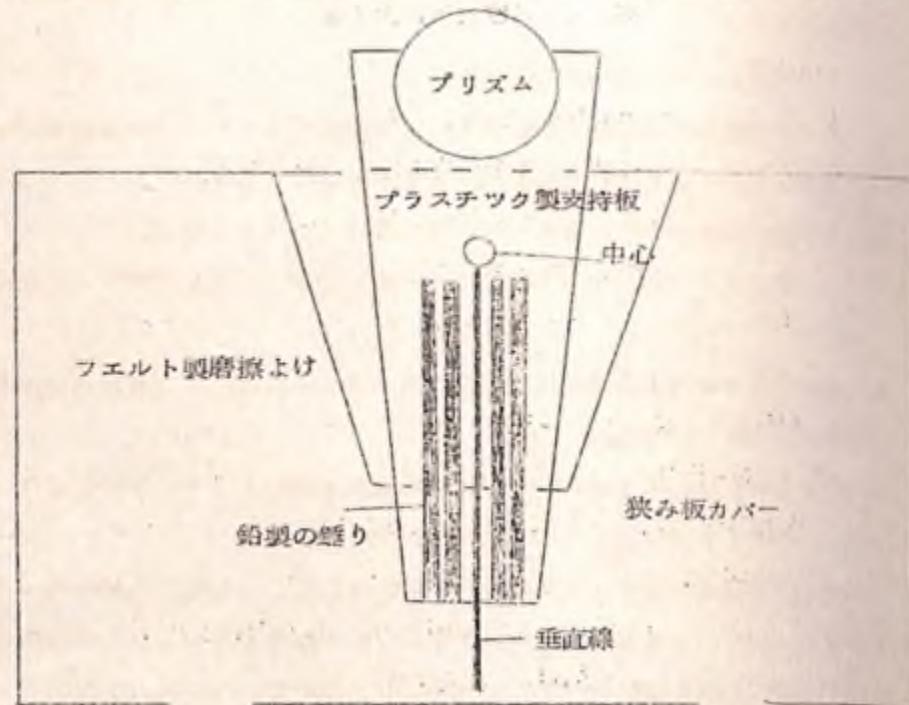
点抽出調査におけるプリズムの利用に関する原理は、David Bruce[※] が上手く説明している。ここで説明している器具は、次のような長所を備えるようにこの原理を改良したものに過ぎない。

1. プリズムが簡単に視線内に入れられる。
2. プロット間の移動の際両手を自由しておくために、プリズムは腰ポケットに入る 5 in x 7 in の挟み板のカーブにしっかりと取り付けられている。
これは別の挟み板や特殊なケースに取り付けることもできる。
3. 挟み板とプリズムを用いる時には、一方の手でデータを記帳するために、片手で保持する。
4. 傾斜が 10 度以下の場合にはそのままセットされる。10 度以上の傾斜に対する補正は、簡単に数秒間で行える。
5. 作業が終れば、プリズムは手でおろしたたんで運べるように作っており、閉じた挟み板の側面につけてある野帳と一緒に保護されている。

約 4° の平らな楔形プリズムの一对が用いられた。これは直径約 1.5~1.6 in のものの周りを磨いたものである。ほかに大きさのものが数種のものの試用の結果、最良であつた。このプリズムを断面積係数が 1.0 になるように調整し、像の垂直方向のズレがないようにして、カナダバルサムで接着した。(必要な断面積係数をうるために、Bruce が説明している方法を用いて、適当な度数のプリズムを使うことができる。)プリズム対の支持台は、約 1/8 インチの厚さの透明 Plexiglas で作られている。この板は普通の木工用具で形をととのえることができる。この支持台は長さが約 3 1/2 インチで、図に示しあるような形をしている。この設計は個々の場合に適するように改良できる。プリズムは支持台の横木に取り付けられ、回転軸の下で平衡錘として働らくように反対側の端の穴に鉛製の錘がさし込んである。



1 図 上図は回転軸の配列を詳しく示している挟み板の座金内部構造
 下図は挟み板カバーの内側に取り付けたプリズム支持台の平面図および10%以下の傾斜地で用いられる位置である。運搬の時には支持台を水平位置に据す。



プリズム支持台に取り付けた時に、プリズムが挟み板の端にあるように挟み板の上端近くの中心に、回転軸の小さな穴をあけた。回転軸は $\frac{1}{8}$ インチの長さで、内側の端にハンダ付けされている座金と共に $\frac{1}{8}$ インチ直径の真鍮棒で、小形ナットは外側の端にネジ山が切つてある。一枚の薄いスチール片をおりまげて、弾力を付けるため、挟み板の外側で、このナットの下にはめ込み、カバーの内側に彫付けしたフェルト製の磨擦よけにプリズムを押しつけ

ている。

使用に際しては、挟み板のベースを胸でささえ、開いたカバーが垂直になるようにし、プリズムが目の高さにくるようにする。プリズム支持台を支持台の裏と挟み板カバーに描いてある線が合致する垂直位置にまで回転させる。この位置は10%以下の傾斜で用いられるであろう。

傾斜がこれ以上になれば、調査員は挟み板カバーの側を自分の方に回転させ、眼の点とカバーの上端とを結ぶ視線を上下させる。次に磨擦よけの緊縛を解くために、回転軸のねじを押す。こうすればプリズム支持台は振子のように自由に振動する。振動が止まった時に、支持台の背面を磨擦よけに押しつけるために、回転軸を解放し、その位置で固定させる。

次に、再び挟み板を垂直の位置に回転し、調査者の方に向け、プリズム支持台を傾むいた位置から動かさないようにして、正規の手順で使用する。この振子運動によって、プリズム支持台は、傾斜度だけ回転し、同時にプリズムは視線の周りで同じ度数だけ回転する。

これはプリズムが回転軸の上に乗る、この軸がギヤーと別々の振幅で回転するのを未然に防いでいる。

各プロットで傾斜を修正するに要する時間は、傾斜度と要求される正確度により変る。多くの場合Plot 毎に1~2回セットすれば充分であるが、極端な場合には、数えられる単木毎にセットする必要があることもある。もちろん、必要あれば、傾斜を測るために分度器を取り付けることもできる。

このプリズム支持台は誰にでも作れる。円形プリズムは一对2.50ドル~3.00ドルで、Plexiglasは平方フイート当り約3.00ドルで購入した。回転軸の材料は、数セントでどこかの金物屋でも入手でき、カナダバルサムは薬局で売っている。フェルトの切れはしは磨擦よけとして用いられ、一個の支持台の錘りの費用は5セントもあれば充分である。したがって支持台の作製費は、3ドルを少し越える材料費と、若干の時間と器用さだけである。

(Journal of Forestry 1957 Vol. 55., No. 10)

P 730~P 731

(注 Bruce, David. A new look at trees. Jour. Forestry 53:163-167 1955)

XIII、アングルゲージによる
立木の形級の決定方法

(E. C. Gackereell)

XII アングルゲージによる立木の形級の決定方法

Determination of form class of standing tree with an angle gauge

E.C. Gockorell

立木の形率は可変プロット調査法で用いられるアングルゲージ、プリズム、レムスコープを用いて、地上から簡単に決定できる。この方法は大きな長所をもっており、簡単であるため、調査工程はかなり促進されるであろう。この方法は直角三角形の解法とベイマツおよび西部産ツガの16 feet と32 feet の位置の皮内直径d.i.b と皮付直径d.o.b との比を基としている。

形率表は近年その価値が認められてきている。多数の林業技術者はその使用に信頼をおいている。形率表の理論は、細り率即ち細りの程度が樹種によつて非常に違つており、ある樹種の木の細りは、地位、林令、標高、立木密度、樹冠級等が違えば変つてくることが認められていることから、このことは理解できる。

大低の場合、形率の決定は骨の折れる作業である。多くの場合、形率は、一林分内においても、正確な平均値を得るには多数の測定値を必要とする程変化が激しいものである。倒木や最近伐倒した材を利用できない場合には、必要な測定値を求めると、木に登らなければならぬ。倒木の場合でさえも、このような木の樹皮は、結果があやまつたものになる程取替している。さらに、倒木は多くの場合、被圧木や中介木であつて、殆んど、その形率は主林分の代表とはならない。

方法とその誘導方式 Method and derivation

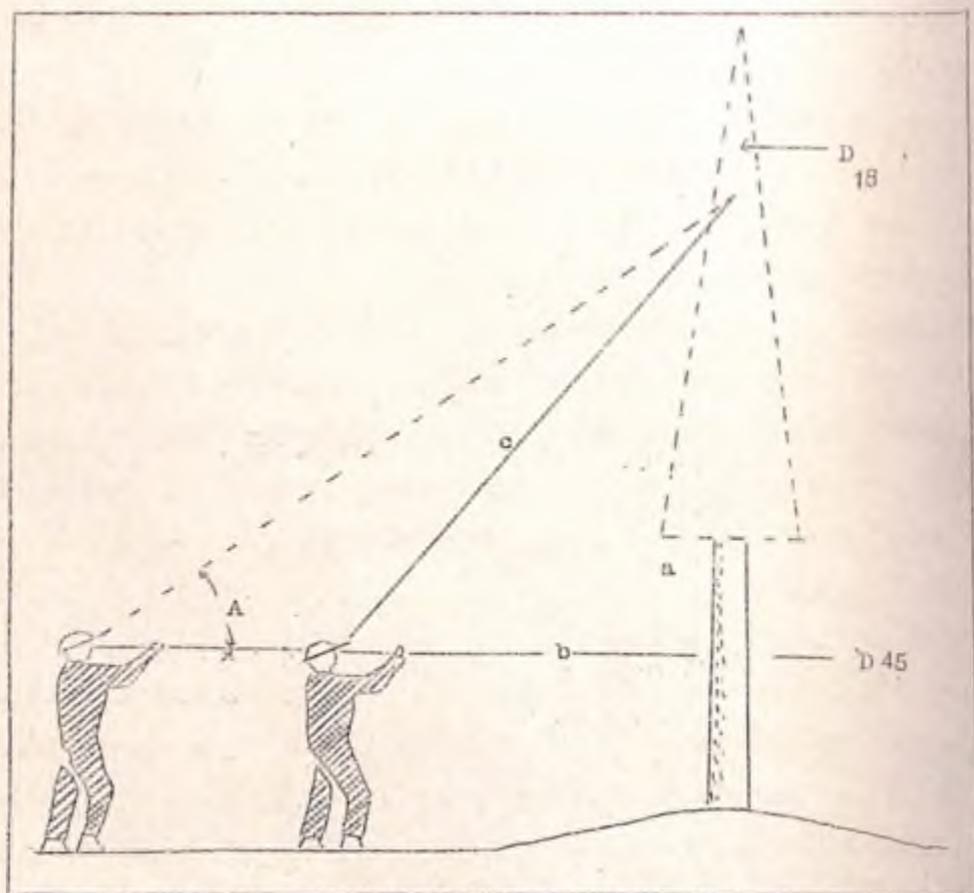
観測者がアングルゲージを丁度胸高直径に対するような位置にある場合には、木から彼までの距離は、直径の常数倍に等しくなるであろう。この距離がプロットの半径である。(1図) $104.18'$ の臨界角のアングルゲージの常数は2.75である。従つて12インチの木では、プロットの半径は $2.75 \times 12 = 33 \text{ feet}$ である。 $104.18'$ の臨界角は、d. i. b 28 in 以下の木の16 feet の形率を決めるのに好都合なものである。32 feet の形率は一般にこれ以上大きな木について決められ、これには、臨界角 $164.73'$ (常数 = 1.739) のアングルゲージが勧められる。Relaskop やプリズムはこれと違つた臨界角、即ち常数をもっていることもある。

半径がプロット半径に等しい外接円上に立つている観測者は、16 feet 形率の時には、アングルゲージの臨界角が18 feet (16 feet 丸太の上部) の位置の直径に合致する

まで、木の方向に動く。

彼が前進する距離は、胸高と18 feet の位置の直径によつて変る。簡単な関係式により、18 feet の皮付直径が計算できるであろう。この点の樹皮厚を差引けば、形率が計算できる。

観測者の前進距離と d. b. h を用いて、形率を示す曲線や表を調製する方程式の誘導は、1 図の記号を用いれば次のようになる。



1 図 この図は d. b. h (D4.5) と、プロット半径の位置から臨界角が上部直径に接するまで距離 (x) とを測定する、アングルゲージによる第1丸太の頂端の皮付直径の決定方法を示している。

$$c = \sqrt{a^2 + b^2}$$

$$a = \text{胸高から16 feet の第1丸太の頂端までの距離}$$

$$= 18 \text{ ※1} - 4.5$$

$$= 13.5$$

$$b = 2.75 D_{4.5} - x$$

したがつて

$$c = \sqrt{182.25 + 7.5625 D_{4.5}^2 - 5.50 D_{4.5} x + x^2}$$

これから feet 単位の視線の長さが得られる。

既知の常数 2.75 を用いれば

$$D_{18} = c / 2.75$$

皮内直径と皮付直径の比を用いて、第1丸太の頂端部の皮付直径は皮内直径に換算される。

1 表に示してある Mason, Bruce, Girard^{※2} の研究にかかる関係は、大低の場合、合理的な近似値を与えると信じられている。しかし、いろいろな地方でみられる範囲は、可能でありさえすれば、地方別の比を確定することが望ましいことを示している。

したがつて、この平均比率を用いて求めたベイマツの 16 feet 形率は

$$P.C._{16} = \frac{D_{18} \times 0.901}{D_{4.5}}$$

$$= \frac{(c / 2.75) \times 0.901}{D_{4.5}}$$

c の値を代入すれば

$$P.C._{16} = \frac{0.901 \sqrt{182.25 + 7.5625 D_{4.5}^2 + x^2 - 5.50 D_{4.5} x}}{(2.75) (D_{4.5})}$$

1 表 ベイマツと西部産ツガの第1丸太の頂端部における D.I.P と D.O.B の比

樹種	丸太の長さ	比	
		平均	地域による範囲
ベイマツ [※]	16 feet	0.901	0.889~0.912
ベイマツ	32 feet	0.918	0.902~0.941
西部産ツガ	16 feet	0.944	0.941~0.948
西部産ツガ	32 feet	0.944	0.941~0.948

※ 75年生以上の木からとつた資料

直径範囲12~28 inの木といろいろな距離について、この方程式から算出した形級が2表に示してある。3,4,5表は、それぞれ、ベイマツの32 feet 形級、ツガの16 feet 形級、ツガの32 feet 形級である。2, 3図は16 feet 形級の方程式のグラフを示しており、近似的な値を即座に決めるのに役立つ。32 feet 形級のグラフは載せてない。

現地では18と34.6 feet の点はAbney のレベルで定められる。プロット半径はd, b, h で変わるから、木の一定の高さに対する角度もd, b, hから計算できる。算出角度と百分率は6表に示してある。

2表 直径とアンクル・ゲージによる測定点間の距離xとによるベイマツの16feet 形級

距離 x feet	d. b. h				
	12	16	20	24	28
2	92.3	90.3	89.6	89.3	89.2
4	87.3	86.4	86.4	86.6	86.9
6	82.4	82.5	83.3	84.0	84.6
8	77.6	78.7	80.1	81.3	82.3
10	72.8	74.9	77.0	78.6	80.0
12	68.2	71.0	73.8	76.0	77.7
14	63.6	67.4	70.7	73.3	75.4
16	59.3	63.6	67.6	70.7	73.1
18	55.1	60.0	64.5	68.1	70.8
20	51.2	56.4	61.4	65.4	68.5
22				62.8	66.3
24					64.0

注 臨界角 104.18' d. i. b : d. o. b の比は0.901

3表 直径とアンクル・ゲージによる測定点間の距離xとによるベイマツの32feet 形級

距離 x feet	d. b. h					
	28	32	36	40	44	48
10	92.4	90.2	89.0	88.1	87.6	87.3
14	86.6	84.8	83.8	83.4	83.2	83.3
18	81.1	79.5	78.9	78.8	78.9	79.3
22	75.8	74.5	74.1	74.3	74.7	75.3
26	71.1	69.7	69.5	69.9	70.6	71.4
30	66.8	65.2	65.1	65.6	66.5	67.5
34	63.1	61.2	60.9	61.5	62.4	63.7

注 臨界角は164.73'、d. i. b. と d. o. b の比0.918

注

現地調査方法 Field procedure

立木の形級を決定する手順は次のとおりである。

- 1 対象木のd, b, hを測定する。
- 2 外接円の外端(木からプロット半径だけ離れた地点)に行く。もちろん、この距離は測る必要はない。臨界角が丁度d, b, hを挟んだ時に、正しい距離が得られる。
測定しようとする木の断面は、木が長楕円形又は楕円の時には、誤差を避けるため、平均の中が得られるように選ばれる。第1丸太の上端部のd. i. b : d. o. b の比はMacon, Bruce, Girard が指摘しているように、変化するであろうが、この変動はみたところでは、測定値にほとんど影響しない。
- 3 現在立っている地点に印をつける。
- 4 6表からd, b, hと18 feet 又は34.6 feet 点に対する適当な角度又は百分率を求める。この角度を用いて、Abney level で第1丸太の頂端部を定める。
- 5 臨界角が、4段で定めた点の直径を挟むまで前進する。その時立っている地点に印をつける。
- 6 3段5段で印をつけた点間の距離をfeet 単位で測定し標本木のd, b, hから、グラフ又は表を用いて形級を求める。

実験者は、もちろん木を測る場所として、かなり水平な場所をえらばねばならない。というのは、この理論は総て直角三角形の解法に基づいているからである。

成果 Results

野外テストで、著者はd, b, h 11.8 in ~ 24.0 in のベイマツとツガの二次林の立木について、20本の形級を測定した。各立木の形級は、実際に木に登って決定し、次にアンクルゲージを用いて、それらの木の測定を行つた。距離xの地上測定はfeet 単位で行なわれた。地上測定から読みとつた形級を実際の値と比較すると、2本の木で2単位違つていたが、残りの測定値では正確に等しいか、 $\frac{1}{2}$ ~ 1 $\frac{1}{2}$ 単位違つていただけで、大部分の測定値は1単位以下であつた。通例、測定は整数単位75, 76, 83等で行なわれるであろう。

4表 直径とアングルゲージによる測定点間の距離とによる西部産ツガの16 foot形級

距離 x feet	d. b. h. in				
	12	16	20	24	28
2	96.7	94.6	93.9	93.6	93.4
4	91.5	90.6	90.6	90.8	91.0
6	86.4	86.4	87.2	88.0	88.6
8	81.3	82.5	83.9	85.2	86.2
10	76.3	78.5	80.6	82.4	83.8
12	71.4	74.4	77.1	79.6	81.4
14	66.7	70.6	74.1	76.8	79.0
16	62.1	66.7	70.8	74.1	76.6
18	57.7	62.8	67.6	71.3	74.2
20		59.1	64.4	68.6	71.8

注 臨界角104.18' d.i.b:d.o.bの比 0.944

5表 直径とアングルゲージによる測定点間の距離とによる西部産ツガの32 foot形級

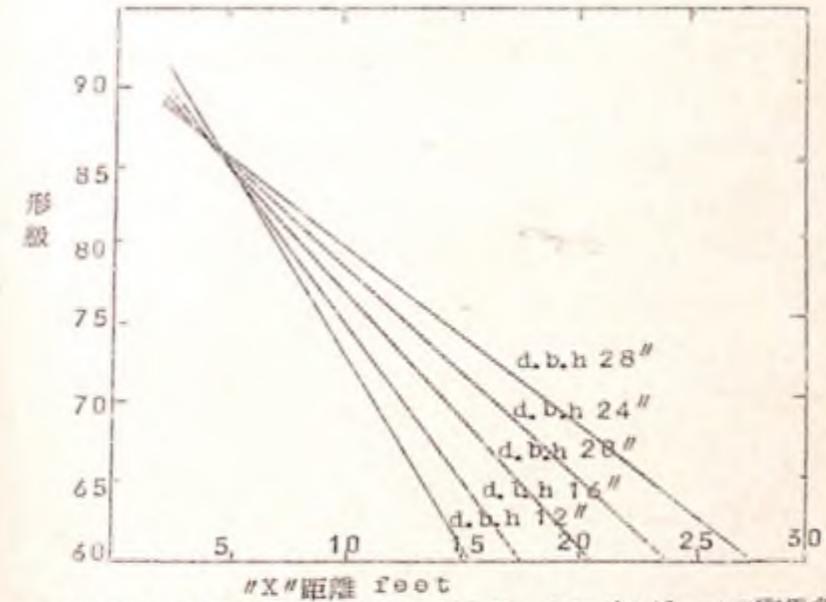
距離 x feet	d. b. h. in					
	28	32	36	40	44	48
10	95.0	92.8	91.5	90.6	90.1	89.8
14	89.0	87.2	86.2	85.8	85.6	85.2
18	83.4	81.8	81.1	81.0	81.2	81.5
22	78.0	76.6	76.2	76.4	76.8	77.4
26	73.1	71.7	71.5	71.9	72.6	73.4
30	68.7	67.1	66.9	67.5	68.4	69.4
34	64.9	62.9	62.6	63.2	64.2	65.5

注 臨界角164.73' d.i.b:d.o.bの比0.944

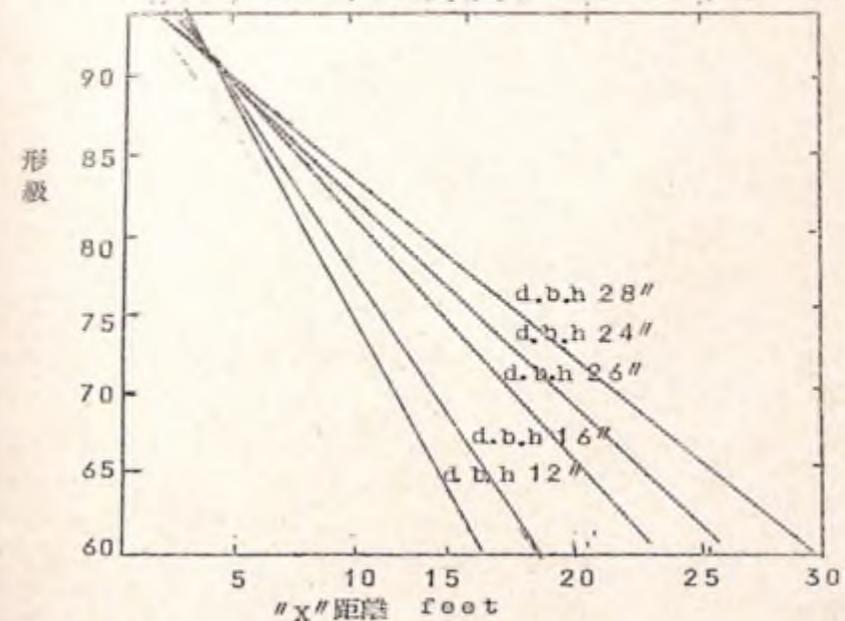
6表 プロット半径の距離から各直径の木の16 footと32 foot点を測るとき角度

d.b.h		角度: 16 foot形級 ¹		d.b.h		角度: 32 foot形級 ²	
in	度	度	%	in	度	度	%
10	26	49		26	33½	67	
11	24	45		28	31½	62	
12	22	41		30	30	58	
13	20½	38		32	28½	54	
14	19½	35		34	27	51	
15	18	33		36	25½	48	
16	17	31		38	24½	46	
17	16	29		40	23½	43	
18	15½	27		42	22½	41	
19	14½	26		44	21½	39	
20	14	25		46	20½	38	
22	12½	22		48	20	36	
24	11½	20					

注1. 18 foot 点に対する角度 臨界角 104.18'
注2. 34.6 foot 点に対する角度 臨界角 164.73'



2図 ベイマツ16 foot丸太の形級を決めるグラフ。アングルゲージの臨界角104.18' d.i.b:d.o.bの比0.901



3図 西部産ツガ32 foot丸太の形級を決めるグラフ。アングルゲージの臨界角104.18' d.i.b:d.o.bの比0.944

要 約 Summary

可変プロット調査法の理論は、地上から、立木の形級を決定する方法を考究する際よく利用できる。形級を決定するのに必要なグラフや表を作る手法を論じた。グラフおよび表は本論文では d. b. h 12 in ~ 28 in のベイマツと西部産ツガの二次林の 1.6 foot 形級について示してある。3.2 foot 形級の表は d. b. h 28 ~ 48 in のベイマツと西部産ツガの大径木について示してある。1.6.3 foot 又は 3.2.6 foot の第一丸太の上部の d. i. b. : d. o. b. の比が分つておれば、アングルゲージ、プリズム、レラスコープ又は可変プロット調査のために考案されたその外の器械を用いて、任意の高樹について、グラフを作ることができる。

(Journal of Forestry 1957 Vol. 55., No. 9)

※1 1.8 foot を用いたのは 0.3 foot のノビと 1.7 foot の伏根の考慮したためである。3.2 foot 丸太の頂端は 0.6 foot のノビと 2 foot の伏根を考慮して 3.4.6 foot の点と仮定されている。

※2 著者は樹皮率のデータの使用を許された Oregon 州 Port Land の林業顧問 Mason, Bruce, Girard 氏に対して感謝する。

XV. Bitterlich 法による森林調査—その原理

(Michael Afanasiew)

XIV Bitterlich 法による森林調査—その原理

The Bitterlich method of Cruising — Why does it work?

Michael Afanasiev

Bitterlich 法と関連して起る質問の一つは、Grosenbaugh が "Operating Principles" と呼んでいるものと関係がある。この方法の原理を学生に説明している最中に、著者は、直径の相違によるプロットの大きさの変化による説明の方が、Grosenbaugh の原論文で彼の説明した grid による方法よりも、簡単かつ理解しやすいことを発見した。Bitterlich 法を知ろうとしている人達から尋ねられる質問は決まって "点当りで数えられた木数の平均に断面積係数を乗ずると、何故にエーカー当りの断面積に等しくなるのであろうか" ということである。

この質問に答えるために以下の説明では、 $104.18'$ の臨界角をもち、したがって断面積係数として 10 を用いる器械を、例として用いた。しかしこの説明は臨界角の如何を問わずあらゆる型の器具に当てはまる。

臨界角 $104.18'$ の器械では、器械長と Cross arm の長さとの比は 1 : 3.3 である。

このことは、ある木が数えられる即ち Cross arm より大きくみえるには、その木はその直径の 3.3 倍以下の距離になければならない。或はこの木はその直径の 3.3 倍の半径をもつ Plot 内になければならないということを意味している。

したがって 6 in の d. b. h をもつ木は、半径 16.5 feet ($3.3 \times 6 = 19.8$ in 即ち 16.5 呎) の Plot 上になければならず、8 in の d. b. h をもつ木は半径 22 feet の Plot 上になければならない。直径が大きくなるにつれて、"数えられる" ためにその木が含まれるべきプロットは大きくなる。

d. b. h とその木が数えられるためには必ずその上にある Plot の半径と面積との関係が 1 表 (1, 2, 3 列) に示してある。

部分的調査 (標本調査) はいづれも、対象林地の各部分で数えられた本数は、簡単な比例計算により、全林地区はエーカー当りの同じ径級の総本数に換算できるという仮定に基づいている。例えば、平均 100 本の木が 1 エーカーで数えられたら、"40" 当り 4,000 本、section 当り 64,000 本のこの径級の木が存在するであろう。この関係は Bitterlich 法による調査に応用できる。現地で実際に数えられた各単木は総て、このような木のエーカー当りの本数を示している。

エーカー当り何本の木が、勘定が行なわれる Plot の大きさで変る個々の数えられた "

木によつて表わされるか。例えば、d.b.h 6 in の木は、半径 1.65 feet のプロット内にあれば数えられる。このようなプロットの大きさは 0.019625 エーカーである。一エーカーにはこのようなプロットが 50.96 個ある。(10 ÷ 0.019625 = 50.96) したがつて“数えられた” d.b.h 6 時の木はそれぞれ、この径級の木がエーカー当り 50.96 本あることを表わしている。極端を例として、d.b.h 40 in の木は半径 110 feet のプロット即ち 0.87222 エーカーのプロット上にあれば数えられる。一エーカーには、このようなプロットは 1.15 個ある。したがつて数えられた 40 in の木はこのような木がエーカー当り 1.15 本あることを表わしている。

d.b.h に対応させて、一本の“数えられた”木で代表される各径級のエーカー当りの本数が 1 表の 4 列に示してある。この本数とその d.b.h をもつ一本の木の断面積とを結びつけることが Bitterlich 法の機能を説明する鍵である。その理由は数えられた木は、その径級の如何を問はず、エーカー当りの本数—これを断面積と結びつけると 10 ไร่になる(臨界角 104.16')—を表わすからである。このことは径級別の立木本数(4 列)に、その断面積を乗ずることによって簡単に証明できる。いかなる場合でも、その積は 10 である。

この数値が“断面積係数”とみなされており、事実これは Bitterlich 法による調査で記録された個々の木で代表されるエーカー当りの断面積を示している。

数学的に考察することを好む人のために次の様な証明を試みた。

$$\text{単木の断面積} = \frac{\pi D^2}{4} = .785 D^2 \text{ in}^2 \text{ 即ち } 0.00545 D^2 \text{ feet}^2 \dots\dots\dots (1)$$

直径 D の木が数えられる Plot の大きさ = πR^2 R は D の 3.3 倍であるから

$$\text{Plot 面積 (in}^2) = \pi \times (3.3 \times D)^2 = 23.7402 D^2$$

$$\text{Plot 面積 (エーカー)} = \frac{23.7402 D^2}{43560} = .000545 D^2 \dots\dots\dots (2)$$

このことから、一本の木の断面積 (feet²) とプロットとの大きさの比は 10 : 1 であることが分る。どちらも方程式は同じ直径(D)に基づいている。したがつてこの関係はあらゆる d.b.h の木について成り立つのである。

Plot 1 エーカーに拡大されれば、一本の数えられた木で表はされるエーカー当りの断面積は、それに比例して増加するのである。

$$\frac{1 \text{ エーカー}}{\text{プロット面積}} = \frac{\text{エーカー当り断面積}}{\text{一本の木の断面積}} \qquad \frac{1}{0.000545 D^2} = \frac{\text{エーカー当り断面積}}{0.00545 D^2}$$

故に $\text{エーカー当りの断面積} = \frac{1 \times 0.00545 D^2}{0.000545 D^2} = 10 \text{ feet}^2$

(Journal of Forestry 1957 Vol. 55 No. 3.)

XV Langleaf Pine の同令林の蓄積調査 に Bitterlich 法を用いた場合の二三の 成果について

(M. Afanasiew)

XV Longleaf Pineの同令林の容積調査にBitterlich法を用いた場合の二、三の
成果について

Some results of the use of the Bitterlich method of
cruising in an even-aged stand of longleaf pine

M. Afanasiev

Bitterlich調査法が、U.S.に導入されてから5年以上経ち、現在盛んに現場で使用されているという事実にもかかわらず、この方法の信頼度についてのレポートは、僅かしか発表されていない。

Avery(1)は南東アルカンサスで2つの"40"についてBitterlich法と普通の100歩調査法で調査した結果を報告している。Bitterlich法による材積推定の誤差は、このテストでは-2~+20%であった。

Hush(2)は、5種の臨界角を用いて、ニューハンプシャー州の40エーカーの林地で、この方法の正確度を吟味した。極く一般に用いられている臨界角104.18'では、Bitterlich法は材積で-21.6%の誤差となり、一方203.38'の臨界角を用いれば、断面積および材積で誤差は夫々4.6%、-7.6%に減少した。

Deitschman(3)は、南部イリノイ州の高地産広葉樹林で調査し、Bitterlich法を用いた時には、真の材積、真の断面積からかなりの偏差のあることを発見した。誤差は小面積の林地、小さな樹木群について、この結果を比較した時には、特に大きくなる。

この誤差がHush, Avery, Deitschmanの報告しているものより小さくなったならば、それは真く偶然に過ぎない。これらの研究者の用いた林地は、集約度の低い部分的な調査法で正確な結果を生み出すには小さすぎた。

最近、Trappe(4)はOregon州のかなり一様なlodgepole pine林での、プリズムの使用について報告している。彼のレポートは、プリズムによる方法は1/20エーカープロットでの測定値より、有意に大きな変化のあることを示している。

Bitterlich法の使用により高い正確度の得られることを示しているレポートが、二人の日本人(?)によつて発表されている。彼等は(恐らく)樹冠がかなり均一に分布し、木の大きさが一様な人工林にこの方法を適用した。

真部テキサスの拡大な地域で用いられた、Bitterlich法の徹底的な解析結果が、最近GroenbaughやStover(5)により発表されている。655個の点およびプロットのデータを用いて、彼等は点調査とプロット調査で得られた、断面積、 $feet^3$ 材積、

ボードフット材積との間には極めて小さな差しかないことを発見した。統計上および実地的な観点から、これらの差は全く意味を持つていない。

問題点と現地調査

このレポートは、南部ミシシッピの Pe Soto 国有林の 296.4 エーカーを占める longleaf pine の二次林の調査結果に関するものである。現地調査は、木の大きさが比較的に一様な林分で林科の学生¹ を使用して行われた。

注 1. Junior class, Department of Forestry, Oklahoma State University

大きさ 5.1 in ~ 24 in の総計約 50,000 本の木が記録された。

林分は同令林で、(ほぼ 35 年生) 林木の 92% 以上が 6, 8, 10, 12 in 級であつた。前回の収穫の際伐り残された、少数の老令木がみられ、これは林分全体に散生していた。

8 組の学生班はそれぞれ 296.4 エーカーの林地の一部を担当した。この林地では、三種の方法即ち、1 チェーン巾のストリップによる全数調査、 $\frac{1}{8}$ エーカープロットによる 10% 推定と、 $\frac{1}{8}$ エーカープロットの中心に定められた点調査法で蓄積推定が行われた。この三種の方法は同時に行われた。毎木調査を行う一方、4 本目のストリップ毎に 5 チェーン間隔でプロットを設定した。プロットの記載が終わるとすぐに、プロットを中心から、プリズムを用いて、検視を行つた。このようなやり方により、三種の調査法で別々に木の大きさを記録する可能性は除かれた。

使用したプリズムは、略 3 diopter のものであつた。各プリズムは使用に先だつて、度数が測られた。断面係数は 9.85 ~ 10.35 であつた。

三種の蓄積推定法のどれについても、同じ材積表 (feet³ とボードフット単位のもの) が用いられた。

断面積を計算する際に、小丸太級の木 (6 ~ 8 in) は用材級のものと別扱つた。それは、この級の木は feet³ 又はコード単位で測られ、一方大径木はボードフット単位で測らねばならぬからである。

結果 (Results)

誤差の比較 Comparative errors

林地が全ての調査班によつて調査され、296.4 エーカーの全林地が、一単位と考えられるとすればエーカー当りの断面積についての Bitter lich 調査法による結果の正確度

は高いものであつた。Bitter lich 法で求めた断面積は 100% 調査で決定された実断面積の 1.5% 以内であつた。Bitter lich 法によるエーカー当り平均断面積は 49.60 feet³ であり、普通の 100% 調査によるものは 48.88 feet³ であつた。しかし、個々の林班毎の断面積の誤差は -22.7% ~ +103.8% であつた。

注 2. % で表わした誤差は 100% 調査で得られた数値に対するものである。

大きさ別に林木をグループするように、林分をさらに細分したのについて比較すれば、断面積の誤差はもつと顕著になる。例えば、一林班では (39 エーカー) 用材級 (d.b.h 10 in 以上) の断面積の誤差は +114.7% になつた。

林木の大きさと誤差の大きさの間には、強い相関のないことが分る。即ち、個々の林班について比較してみると、ある場合には、誤差は小丸太級で大きくなり、別の場合には用材級で大きくなつた。しかし、断面積の全体にわたる誤差は (296 エーカー全部) 用材級で -0.13%, 小丸太級で +4.9% であることに注目してみると面白い。

材積の誤差は、一般に断面積の誤差の傾向に従う。材積が、対応する単位面積の林地の断面積の関数である限り、このことが期待される。Bitter lich 法によるボードフットおよび feet³ 材積の誤差は夫々 +4.6% と +4.7% であつた。

この数値を 296.4 エーカーの全地域の推定値に適用する。個々の林班では、誤差は +111.1% ~ -38.6% であつた。

Bitter lich 法は一種の部分調査法であるから、同一面積の 10% プロット調査法の正確度と比較してみると役に立つてであろう。この二つの型の部分調査のデータが 1 表に示してある。

Bitter lich 法による全林木のエーカー当りの断面積の誤差は +1.46% で、プロット調査法では +2.15% であつた。小丸太級の断面積の誤差はプロット法の +2.13% に対して Bitter lich 法では +4.9% であつた。これに相当する用材級の数値は -0.13% と +2.02% であつた。小丸太級の feet³ 材積の誤差は Bitter lich 法で +4.7%、プロット法で +1.71% であつた。d.b.h 10" 以上の木のボードフット材積は Bitter lich 法で 4.6、プロット法で 5.94% 過大に推定された。プロット法による断面積およびボードフット材積の全体にわたる推定誤差が大きいのは疑いもなく抽出変動即ち偶然の結果であつて、Bitter lich 法の信頼度が先天的に高いわけではない。Bitter lich 法による抽出率は、この研究で用いられたような場合では、プロット調査の抽出率より低かつたことをここで指摘しておかねばならぬ。

1表 Bitter lich法とプロット調査法の断面積および断面積の誤差

林班 (feet ²)	100% 調査		Bitter lich法の誤差		1.0%プロット調査の誤差										
	エーカー当り断面積	エーカー当り材積	断面積	材積	断面積	材積									
6~8" 10"以上 全体	6~8" 10"以上 全体	6~8" 10"以上 全体	6~8" 10"以上 全体	6~8" 10"以上 全体	6~8" 10"以上 全体	6~8" 10"以上 全体									
	Cu.ft	Bd.ft	Cu.ft	Bd.ft	Cu.ft	Bd.ft									
1	15036	21129	36165	3419	2350	+885	+1147	+1038	+807	+1111	+274	+941	+663	+566	+1008
2	9225	28939	36162	1562	2840	-95	-115	-110	-53	-121	-29	-121	-97	+344	-131
3	25485	37337	62822	5040	4438	+134	-52	+88	-151	+55	+126	+132	+116	+197	+283
4	12692	26541	39235	2575	3402	+326	-272	-79	+577	-227	+46	-84	-42	+79	-209
5	19859	45693	63552	5064	5484	-355	+92	-54	-346	+164	-219	-128	-158	-32	+47
6	14380	48512	62892	3748	6050	-120	-238	-227	-229	-198	+37	-175	-126	-84	-144
7	19115	40862	59977	4879	5261	-398	-102	-196	-386	+32	-424	-334	-385	-343	+101
U	14533	29511	44394	3592	4052	+185	-536	+26	+169	-18	+150	+65	+52	+128	+41
全体	15588	35296	48984	5509	4072	+49	-015	+15	+47	+46	+213	+202	+215	+171	+594

ここで説明した比較誤差は、このレポートの初めに述べた森林状況のもとでは、Bitter lich 調査法の結果は、通常の方法のそれと都合よく比較されることを暗示している。Bitter lich 法の調査時間はプロット法に必要なものよりはるかに短かい(したがってコストが非常に低くなる)ことも付け加えておかねばならぬ。

抽出率 Cruising intensity Bitter lich 法の抽出率に言及することは、疑問である。それは単一の数即ち普通の部分推定法で用いられている方法で表らわせないからである。可変プロット法といわれ、Bitter lich 法は、問題になつている木の大きさ(d.b.h)により、いろいろな抽出率で林地(および母集団)を抽出する。木が大きくなる程、このような木が数えられるプロットは大きくなる。したがって抽出率は大となる。例として、この研究で用いた点の配置(4x5チェーン即ち2エーカーに1点)を用いれば、d.b.h 10 in の木は0.055エーカーの大きさのプロットで調査され、2.75%の調査となる。

$(\frac{0.055 \times 100}{2})$ 一方、d.b.h 20 in の木は0.218エーカーのプロットで調査され、その抽出率は10.90%である。 $(\frac{0.218 \times 100}{2})$

"点"を円形プロットの中心に設けた場合にBitterlich法で用いられる抽出率をプロット調査(10%調査)の抽出率と比較してみると、Bitterlich調査は普通のプロット調査に比べてはるかに小さな抽出率で行なわれていることが分る。20 in 以上の林木だけは10%以上で抽出調査される。これらの木は全林分の小部分を占めているに過ぎない(全体でエーカー当り101.67本に対しエーカー当り0.23本)残りの木の抽出率は0.98% (6 in 級)~8.85% (18 in 級)である。全本数の略92.5%がd.b.h 6~12 in 級に含まれている。

点が4x5チェーン間隔に配列された場合のd.b.hと抽出率との関係は、2表に示してある。

全体にわたるBitterlich法の抽出率は、一つの数で表わすことは出来ないが、ある直径の木が抽出されたときの抽出率を決定することは可能である。108.14'の臨界角を用いれば、d.b.hに対する調査率は、方程式

$P = (\%) = \frac{10^2}{18.3439a}$ で算出できる。ここでdはd.b.h aは、点当りのエーカー数である。(即ち林地の総エーカー数をBitterlichの点の数で割つたもの)

例えば、1セクションの林地に80点があれば、10 in の木の抽出率は $\frac{10^2}{18.3439 \times 8} = 6.8\%$ である。

セクション当り 320 点あれば (この研究で用いた抽出率) 8 in の木に対する抽出率は

$$\frac{8^2}{18.3439 \times 2} = 1.74 \%$$

である。任意の臨界角に適用できる方程式は

$$P(\%) = \frac{r^2 d^2}{199765}$$

ここで d と r は上記の方程式と同じで、器械長とクロスアームの長さとの比である。

Bitter lich 調査法は1つの抽出率で説明できないから、点の数の決定とその配分は、特定の $d.b.h$ 級に対して必要な抽出に基かねばならぬ。調査者は平均直径か、一つの級として、最大の材積を含むものか、調査の究極の目的で特に意味をもっている直径を選ぶ。

2表 3.00 ジョブターのプリズム (臨界角 $104.18'$) を用いた時の径級と抽出率との関係

d. b. h	プロット半径 ¹	プロットの大きさ ² (エーカー)	抽出率 (調査歩合) ³ (林地面積に対する%)
6	16.5	0.020	0.98
8	22.0	0.035	1.74
10	27.5	0.055	2.73
12	33.0	0.078	3.93
14	38.5	0.107	5.34
16	44.0	0.140	6.98
18	49.5	0.177	8.84
20	55.0	0.218	10.90
22	60.5	0.264	13.19
24	66.0	0.314	15.70

注1 d. p. h $\times 33$

2. 丸めた値

3. 各点は 4×5 チェイン間隔に配列してある (10% 調査で配列された各エーカープロットの中心に対応している)

任意の直径級に対してある抽出率をうるに要する点数は前に示した方程式から計算できるが "a" の値 (点当りの面積数) は計算しなおす: (臨界角 $108.14'$ の器械では)

$$a = \frac{d^2}{18.3439 P}$$

例えば $d.b.h$ 16 in の木の10% 調査が必要であれば、

$$a = \frac{16^2}{18.3439 \times 10} = 1.4$$

この1.4という数値は、1.4エーカーの林地毎に Bitter lich の一点をとらねばならぬこと即ち点は、セクション当り 457 点の割合で設けねばならぬことを意味している。

$$\left(\frac{640}{1.4} = 457.1 \right)$$

セクション当り 457 点をとれば、 $d.b.h$ 16 in の木は林地面積の10%の割合で抽出されるのであろう。

そして $d.b.h$ 16 in 以下の木は10%以下、16 in 以上の木は10%以上の割合で調査されるのであろう。

いろいろを直径に対して10%標本を得るに要するセクション当りの Bitter lich 点の近似値は

d. b. h	10単位に丸めた section 当りの点数
6	3,260
8	1,830
10	1,170
12	810
14	600
16	460
18	360
20	290
22	240
24	200
26	170
28	150
30	130

10%より大又は小なる標本については、Bitter lich 点はこれに比例して変わるであろう。例えば5%標本では、上記の数値は2で割らねばならぬ。多くの二次林の調査の場合には、特定の正確度を得るに要する円形プロットよりも多くの点をとられるであろう。

(Journal of Forestry 1958年5月 P341~P343)

文 献

- AVERY, T. E. 1955. Gross volume estimation using 'plotless cruising' in southern Arkansas. Jour. Forestry 53:206-207
- BRUCE, DAVID. 1955. A new way to look at trees. Jour. Forestry 53:163-167
- DEITSCHMAN, GLENN H. 1956. Plot less timber cruising tested in upland hardwoods. Jour. Forestry 54:844-845.

GROSENBAUGH, L. R. 1952. Plotless timber estimates—fast, easy. Jour. Forestry 50:32-37

GROSENBAUGH, L. R., and W. S. STOVER. 1957. Point-sampling compared with plot-sampling in southeast Texas. Forest Sci. 3: 2-14

HUSH, BEPTRAM. 1955. Results of an investigation of the variable plot method of cruising. Jour. Forestry 53: 570-574

MASAJI SENDA and KANJIZO MAEZAWA. (None) On the measurement of stand basal area by the Bitterlich method. Misc. Info. Report #10. Tokyo University (Transl).

TRAPPE, JAMES M. April 1957. Experience with basal area estimation by prisms in lodgepole pine. Research Note No. 145. Pacific Northwest Forest and Range Expt. Sta.

XVI. 可変プロット、樹高、 傾斜補正用の計算尺

(A. R. Stage)

文 可変プロット、樹高、傾斜補正用の計算尺

A cruising computer for variable plots, tree heights, and slope correction.

Albert. R. Stage.

可変プロット調査法を下木の多い急斜地で使用するには、迅速に境界線上の木を吟味する方法が必要である。Larson と Hasel¹ は葉のある木までの距離をテープで測るほうが、光学的な器具を用いるより、しばしば実行し易いことを発見した。彼等は、限界距離とこれに対応する直径級別の傾斜補正付きのテープを使用した。北部ロッキー山脈の森林では、いづれの場合でも決定の難しい場合を除いてプリズムその他の angle-gage の早いことが立証された。しかしプリズムと印付きのテープとの併用は望ましくないであろう。というのは、プロット半径は、前者と直径の連続関数であり、直径級別に印の付けあるテープの不連続関数だからである。

1 図に示してある新しい計算尺は、直径と傾斜角の連続関数として境界木までの斜距離を表わしている。この器具はプリズムとテープの併用を容易かつ効果的にする。これを用いれば、疑問のある木や薄暗いところにある木を除いて、いづれの場合にも観測者はプリズム又は angle-gage を信頼することができる。これらの木について、傾斜角と直径が測定されれば、限界斜距離が計算尺から求められ、その木がプロット内にあるかどうかを決めるため、プロット中心から木までの距離を測定する。断面が楕円であるために生ずる偏りは輪尺を用いて、次の公式で直径を決めることで最小にできることを Gressenbaugh² は示している。

$$\text{直径} = \sqrt{D^2 + d^2}$$

ここで D と d はそれぞれ最大および最小直径である。

この計算尺の目盛は樹高を求めるのにも便利である。その目盛は、樹高を計算するために Fig^4 の円形計算尺の目盛を少し並べ変えただけのものである。Haig の樹高計算尺は過去 30 年にわたって北部 Rocky 山脈で用いられ調査用として非常に効果のあることが立証されている。必要なデータは次のとおりである。木までの斜距離、梢頭までの仰角、角の合計（梢頭までの角と根元までの角）

樹高は、この計算尺を 1 回セットするだけで計算できる。これ以外の樹高算定方法では水平距離が必要で、掛算に先だつて少くとも一段階が余分に必要である。この計算尺で計算を行えば、簡単に測定と同時に、各樹高が実際に算出される。したがって見掛の誤差を直接

見出すことができる。固定標準地の作業では、このことが特に望まれている。

斜距離も亦、この計算尺を用いて速やかに水平距離に換算できる。或は逆に、定数のない水平距離を測鎖で測るために、加えるべき長さを決定できる。

1表 角度を読む時の確率誤差を4°と仮定した場合のAbney Levelによる樹高測定値の確率誤差^注

梢頭までの角度	傾斜角 (根元までの角度 度)						
	+10	0	-10	-20	-30	-40	-50
	%						
10		3.6	1.7	1.1	0.8	0.6	0.5
20	3.7	1.8	1.1	0.8	0.6	0.5	0.4
30	1.9	1.2	0.8	0.6	0.5	0.4	0.3
40	1.4	1.0	0.8	0.6	0.6	0.5	0.5
50	1.3	1.1	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8
60	1.7	1.6	1.6	1.5	1.5	1.5	1.6

注 Abney Level の精度は角が増すにつれて減少するという性質があり、角の計は誤差をもつ2つの測定値の和を表わしているという事実により、重みを付けた対数表から計算した。樹高は正弦法則で計算した。

Abney level の度目盛を用いれば、百分率や地形的なスケールを作る大抵の仕事は簡単にすることができる。樹高の計算はもつと早くなる。傾斜補正はテープのように1~2チエイン間隔という制約をうけない。この器具にとりつけてある度パーセント換算目盛は傾斜がパーセントで読みとられている場合(道路建設の場合のように)に用いられる。

この計算尺には2つの型が準備されている。その一つはAbneyの度目盛と一緒に使用するためのものであり(1図)いま一つはパーセントで使用するように修正したものである。樹高の計算は後者の場合にはすこし手間がかかるが、その外の取り扱いとは同じである。この器具は中心においてあるしつかりした透明ミート上に複写した2組の目盛から構成されている。その外側のスケールは、普通の20in計算尺のC.D尺と同じ対数目盛である。この目盛は連続している。即ち10という目盛は1.0, 10.0, 100.0等々を示すことができる。目盛の度数が違っており、40と80とつけてある。

内側のスケールは、特種な目的のために、特別の目盛がつけてある。断面積係数の目盛は単木当り、エーカー当り、10, 15, 20, 25, 30, 40 feet² および3, 4, 5, 6, diop^{ter}で目盛つてある。

樹高計算用の角目盛は50°以上の梢頭までの角と合計して40°以下の角は除外されて

いるので制約をうけている。これ以外の角度と組合せた幾何学的な計算は、樹高算出用としては正確でない。

1表には、Abneyの読みの確率誤差を4度とした時の誤差の限界が示してある。

計算尺を組み立てる際の機械的誤差は、各スケールの中心に円を確実に一致させ、各スケールの目盛を補間すれば、0.2%以下にすることができる。

計算尺の使用法 How to use the computer

境界木の吟味用として、まずAbney levelを用いて、プリズム又はangle-gageから、疑問のある木の胸高までの傾斜角又は百分率を決める。次いでその木の直径を測る。計算尺で、傾斜角を当該断面積係数を示す線の向い側にセットする。次に、直径の向い側でその木について決められている斜距離を読みとる。^{注5}例えば、1図は、斜角20°でみた木について断面積係数20でセットした計算尺を示している。14.0 inの木の限界距離は28.0 inの木については57.9 feetと読みとられる。

樹高計算用として— 樹高は梢頭までの角度、梢頭から根元までの全体の角度、Abneyから根元までの斜距離により計算される。観測者が木の上側に位置している場合には、全体の角度は、梢頭までの角と根元までの角の和に等しい。Abneyレベルの位置が根元より下にあれば、全体の角度は、梢頭までの角度より小さくなるであろう。計算尺の度目盛のところで、全体の角度の向い側に梢頭までの角度をセットする。次に、斜距離の向い側で、一番外側のスケールの樹高を読みとる。

このやり方は、木は垂直であると仮定して正弦法則で解ける。もしそうでなければ、誤差を最小にするために、傾きの方向に直角な方向から行う。

計算尺を百分率に変えたものでも、樹高を求めるのに使用できる。まず次節にのべてあるように斜距離を水平距離に換算する。それから、一番外側のスケールの水平距離の向い側に移動スケールの外端の目盛"10"をおく。隣りのスケールの合計パーセント(梢頭までの角+根元までの角)の向い側の一番外側にあるスケールで樹高を読みとる。このやり方は、他の計算尺での掛算と同じである。

斜距離の水平距離換算用として— 傾斜角又は百分率を"水平距離指標"の向い側にセットする。斜角距の向い側で、一番外側のスケールで水平距離を読みとる。

調査用計算尺の求め方

このような円形計算尺のネガフィルムはInter mountain 林業—牧野試験場に保管

してある。実用上0.010inのポリエチレンフィルムに印画され、はとめで締められている。
各種の度およびパーセント目盛の計算尺が、配布を制限するためIntermountain
林業一牧野試験場に集められている。

(Journal of Forestry 1959 Vol.57 No.11)

注1. Larson, R.W., と A.A.Hessel 森林調査法の現地テストについて,
North Carolina Southern Piedmont Test, May 9, 1958
44 99 (未発表の原稿, Southeastern For. Expt. Sta., Forest
Service, U.S. Dept. Agric., Asheville, N.C.)

注2. この計算尺は次の方程式を解くものである。

$$\text{斜距離} = \frac{(\text{直径})(\text{プロット半径係数})}{(\text{傾斜角の cosine})}$$

注3. Grosenbaugh, L.R. 点抽出と線抽出: 確率論と幾何学との関係とその合
成 Southern Forest Expt. Station Occasional Paper
160, 34PP, 1958

注4. Haig, I.T. 簡易樹高測定法 Jour Forestry 23:941-944,
1925

XIV. レラスコープの評価

(R. H. Kendall, S. Wittgenstein)

XVI レラスコープの評価

An evaluation of the Relascope

R.H. Kendall, Sayn-Wittgenstein

まえがき

プロットの境界を定めずに、林分のエーカー当り断面積の確実な推定のできる手段の発表により、測樹に要する時間はかなり軽減される。

1947年に Bitterlich は、このような結果の得られる方法を発表し、この方法に使用するための器械即ち Relascope を設計した。それ以来視指を利用するものから、断面積推定だけでなく、傾斜の補正、樹高、距離、直径の測定のできるように改良されている Spiegel Relascope に至る各種の器械が考案され使用されている。この論文では "relascope" という術語をあらゆる型の angle gauge について用いている。

relascope を用いた最初の sampling 調査は、主としてヨーロッパで行なわれたのであるが、それ以来、U.S. オーストラリア、南アフリカ、その他で利用され、さらに発達し、いろいろな批評を受けている。カナダでの研究の大部分は Flemming (10) Ker と Smith (20) Aird (1) Honer と Sayn-Wittgenstein (17) Dixon (8) が行ったものである。欧州や U.S. では、この形のサンプリングは、"点抽出調査" point sampling "可変半径プロット調査 variable radius plot sampling" プロットレス調査 "plotless sampling" といろいろに呼ばれているが、次第に効率のよい経済的な森林調査法として認められてきている。

この新しい方法は観測者がある円弧で、一まわり観測した時に、選ばれた臨界角に等しいか、これより大きい角に対する直径をもっている木の本数は、林分のエーカー当り断面積と直接関係があるという事実に基づいている。実際には、この一巡観測は 360° 回転するのが普通である。この前提条件についての数学的証明は、本レポートの次巻に示してある。

エーカー当り断面積を決めるのに用いられる推論と同様に、断面積の計算に含まれるための必要条件を満たしている樹幹の直径と樹高を直接測れば、エーカー当りの材積が決定できる。

しかしエーカー当り材積/エーカー当り断面積の比が、測定しようとする林分に使用できるならば、材積はエーカー当り断面積から直接計算できる。

この技術書の目的は、1957年以降林野庁森林調査部が東部カナダで行った試験結果を含めて、出来るだけ多くの資料から有益な情報を要約しようとするものである。即ち関係者にとっては、器械の性質の比較、その応用方法、東部カナダでの適用性についてのガイドと

なるであろう。本書の資料の一部は、森林資源調査局の謄写刷のレポートからとつたものである。
(17)

数学的原理 Mathematical principles

1. 理論的原理 Theoretical principles

観測者からある距離離れている樹幹の胸高直径は、観測者の眼の位置で一定の角に対しては一定である。

同じ d, b, h の木でも、観測者からの距離が遠くなれば、対する角度は小さくなるであろう。

水平に一周り見まわしたとき、臨界角に等しいか、これより大きな角に対する d, b, h をもつ木の数は、定められた半径と面積をもつ円内にある。この d, b, h をもつ樹幹数を表わすであろう。このようなわけでエーカー当りの立木本数やエーカー当りの断面積が計算できる。

臨界角に対する樹幹の観測者からの最大距離は、直径によつて変るであろう。したがつて距離 "Y" のところにある d, b, h. "D" の木は、距離 "2 Y" のところにある d, b, h. "2 D" の木と同じ角度に対するであろう。選ばれた臨界角に等しいか、これより大きな角に対する直径の異なる木は、半径の異なる円内にあり、数えられた本数をエーカー当りの総断面積に換算する適当な係数(断面積係数と呼ばれている。)は、総ての直径について一定となるであろう。

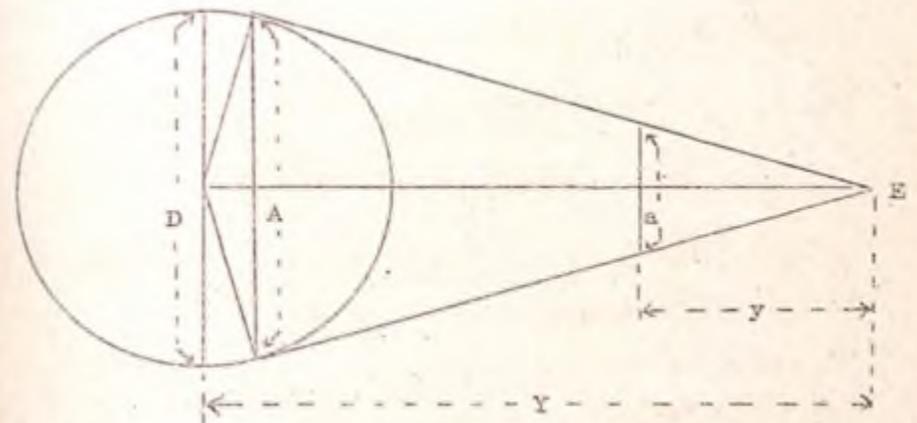
したがつて、一回検視すれば、その点からの総ての直径が観測され、その点のエーカー当り総断面積を求めるためには、二つの換算係数を数えられた総本数に乗ずるだけでよい。

1 図から分るように、観測者は、実際には樹幹の直径を測てはいないが、このために生ずる誤差は、臨界角が 8° 以上即ち 210 以上の換算係数が用いられない限り、無視できる。(1% の 1/2 以下である) 実際には、それぞれ臨界角 7 3.6 6' と 2 0 8.3 8' に相当する 5~40 の断面積係数を用いるのが普通である。

この方法を拡張したものが、点標本の代りに標本線分を用いる線抽出調査法である。Arelascopo は、線分の両側にある標本木を選ぶのに用いられ、エーカー当りの断面積、材積の推定は、樹幹の選ばれる確率とその直径に比例しているという仮定に基づいている。これは選択確率が断面積に比例している点抽出調査法と対照的である。

2. 数学的証明 Mathematical proof

1 図から



$$\frac{a}{y} = \frac{D}{Y}$$

角度が小であれば $A = D$ (近似的)

従つて

$$\frac{a}{y} = \frac{D}{Y} = \frac{A}{Y}$$

360° 見まわせば、Y は d, b, h D の総ての木が数えられる円の最大半径である。

したがつて、2 Y なる半径を持つ。

$$\frac{\text{樹幹直径}}{\text{標本面積の直径}} = \frac{D}{2Y}$$

$$\frac{\text{樹幹断面積(B)}}{\text{標本面積}} = \frac{\pi (\frac{1}{2} D)^2}{\pi (\frac{1}{2} 2 Y)^2} = \frac{D^2}{4 Y^2}$$

$$\frac{D}{Y} = \frac{a}{y} \quad \text{より}$$

$$Y = \frac{D y}{a}$$

$$\text{樹幹の B 標本面積} = D^2 \times \frac{a^2}{4 D^2 y^2} = \frac{a^2}{4 y^2}$$

$$\frac{n \text{本の} B}{\text{標本面積}} = \frac{n a^2}{4 y^2}$$

比 $\frac{a^2}{4 y^2}$ は樹幹直径と標本面積の直径に独立である。

標本面積 S_1, S_2, S_3, S_n で数えられた直径 D_1, D_2, D_3, D_n の本数を n_1, n_2, n_3, n_n としよう。

直径 D_1 の木のエーカー当り $B =$

$$\frac{n_1 \text{本の直径} D_1 \text{の木の} B}{\text{標本面積} S_1} = \frac{n_1 a^2}{4 y^2}$$

同様に n_2, n_3, n_n 本の直径 D_2, D_3, D_n の木の面積
対応する標本面積 S_2, S_3, S_n

$$= \frac{n_2 a^2}{4 y^2}, \frac{n_3 a^2}{4 y^2}, \dots, \frac{n_n a^2}{4 y^2}$$

エーカー当り $B = (n_1 + n_2 + n_3 + n_n) \frac{a^2}{4 y^2} \times 43560 \text{ feet}^2 / \text{エーカー}$

エーカー当りの総断面積はしたがって $(n_1 + n_2 + n_3 + n_n) \times \text{常数}$

5, 10, 20, 40 に相当する比 $\frac{a^2}{4 y^2} \times 43560$ を与える角度が一番よく用いられる。

これが断面積係数と呼ばれている。

Relascope の種類 Types of relascopes

1. 器械の原則的な必要条件

Principal requirements of the instruments

器械の目的は、臨界角と標本点で個々の木の胸高直径に対する角度とを比較することである。

この臨界角の決定方法は一般に次のように分類される。

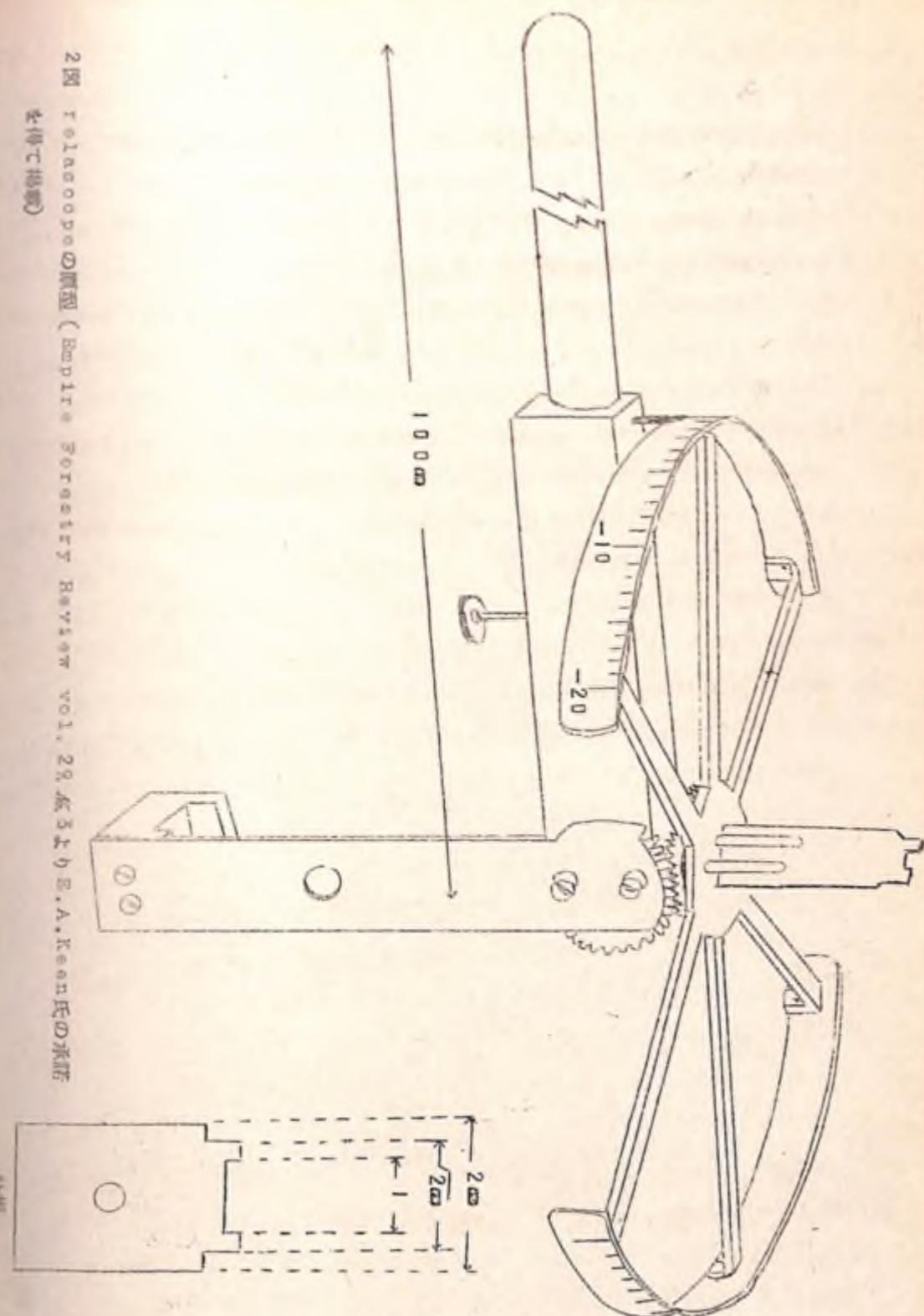
- (a) 観測者の眼から一定距離はなれて器械に取り付けた平板
- (b) 一定の角度により、像をずらすプリズム、この器械は視野が明るく、樹冠がうつむいていたり、直射日光の下でも使用でき、目盛が正確でなければならぬ。

2. 説明、器械の長所と欠点

Description, advantages and disadvantages of this instruments

Bitterlich が Austria で作製した最初の器械は、巾を 1, 2 $\sqrt{2}$ cm に調整できる金属片を、長さ 100 cm の棒に取り付けたものであった。(2 図) 金属片の下に傾斜角にしたがって振動する錘をつるすことによつて傾斜は自動的に補正される。これは観測者の眼を疲れさせ、棒は湾曲する傾向をもっているために英国で非難を受けた。

2 図 Relascope の原形 (Empire Forestry Review vol. 29, 頁 5 より E. A. Keen 氏の承諾を得て掲載)



(7) 観測者にとって見易く、安定性のよいことが必要なことについても Van Slyke は注意している (24)

眼と金属片の距離を一定に保つことが難しいことも経験された。のぞき穴ともつと装填の棒を用いることにより、U. S. ではある程度までこの難点は克服された。この器械は断面積と材積の推定に用いられ、その結果、これに対応する正確度をもつ普通の断面積推定方法に比べて、かなり時間の節約されることが示された。カナダの平均的な森林条件の下では、この器械は、細かな構造を考慮して経営することの難しさを立証するものと思われる。

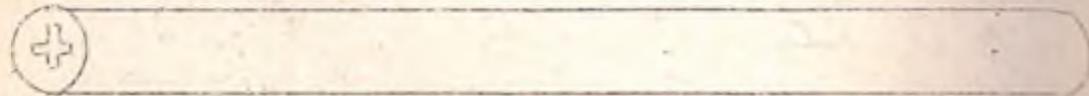
(b) パナマ式アングルゲージ The panama angle gauge.

この器械は長さ約 8 in、直径 1 in の円形の筒で、その一端にのぞき穴、反対側の端には十字形の穴があいている (3 図) この穴の大きさが臨界角を定める。穴を通して木を観測し、穴よりも大きな巾をもつ木だけが数えられる。眼と穴の距離を一定に保つことは、やや困難で、対眼レンズが眼から離れやすい。

林分の視界はかえつて制約され、密生した林分では混乱の原因になる。

(c) 楔形プリズム The wedge prism

楔形プリズムを通して見た樹幹の像はある角度だけずれているが、その大きさはプリズムの diopter 単位の強度で変る。(4 図)



入れる 境界線上の木 入れない

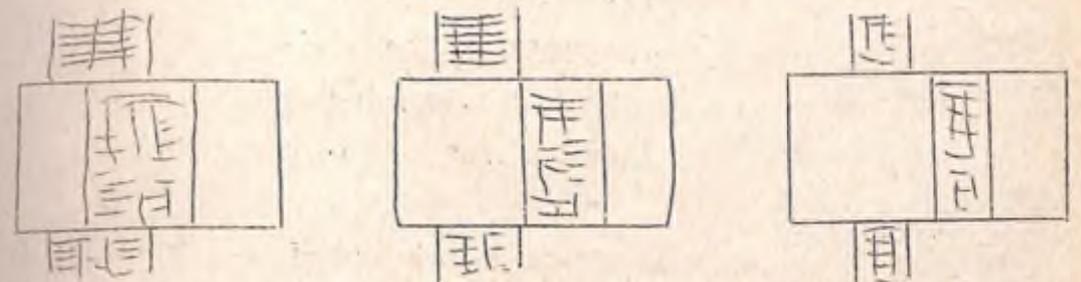
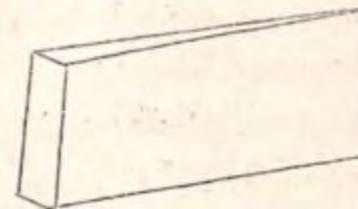
3 図 Panama 式アングルゲージ

プリズムは、この断面積決定方法に必要な総ての条件を備えている。即ち取り扱いが簡単で、運び易く、正確で、林分の完全な姿を示す。これは前述の器械に比して、観測者の眼とプリズムの間隔を一定に保つ必要がないという長所をもっている。この場合には観測者の眼ではなくて、器械を標本点の位置におかねばならない。

うべいした林や陽光の下でも同じように楽に使用できる。この器械の今ひとつの長所は、勘定に入れるべきか否かを決めるのに、樹幹像の一端を観るだけでよいことである。(4 図) その主な欠点は、傾斜補正装置を器械にとり入れるか(5)、器械の扱いはやつかくなるが、プリズム台にのせない限り(6)推定による以外に、傾斜を補正する手段のないことである。

密生した林、特に幼令の雑林では、観測すべき個々の樹幹を見分けることは困難である。林分の樹皮の形状や色が似ている場合には特に面倒である。

1957年の夏 Quebec 州 Gatineau River 地方の Forbes Depot と Eagle Depot の近くで行ったテストでは、プリズムと Panama 式アングルゲージで得られた結果には差のないことが分つた。プリズムを使用するに先きだつて、正しい断面積係数を求めるためにその度盛りを正確に測ることが絶対に必要である。度盛り



入れる 境界線上の木 入れない

4 図 楔形プリズム

の方法は附録に述べてある。5, 10, 20, 40 という正確な断面積係数に相当する一定角のずれを生ずるように作られたプリズムは、金をかければ直接業者から購入できる。このようなものを用いれば、計算は非常に楽になる。

(d) スpiegelrelascope The spiegel relascope

この器械は傾斜を自動的に補正するため考案されたものである。これは必要ならば傾斜の測定、距離、樹高、直径の測定にも用いられる。これは、うまく構成されており、強固で、簡潔で、正確で、扱い易い。樹幹はのぞき穴を通して観測し、各種の断面積係数に応じて巾が変化している一組の目盛で直接に測定される。この目盛は、重い回転ドラム上につけてあり、傾斜を補正するために先き細りになっている。

この器械は1958年にPetawawa林業試験場で各種の林相について試験された。疎開した林で太陽に向つて観測する時に困難を感じただけである。66 feet の距離測定の変動は3%以下で、樹高と傾斜の読みはHaga式測高器と非常によく一致していた。輪尺として使用する場合には、その正確度は直径推定値に対して12%以内であることが分つた。

3. 要約 Summary

Petawawa 林業試験場とQuebec のForbes Depot とEagle Depotで行つたテストの結果から、次のような結論が得られた。

- (a) 大部分の林分において、断面積決定の正確度に関しては、テストされた器械間には余り差はなかつた。なお、全体的にSpiegel relascopeが最も効率がよかつた。
- (b) 陽光のもとでは、プリズムは直射日光に影響されないという長所をもっている。
- (c) 自動的傾斜補正装置のあるSpiegel relascopeは丘陵地帯で望ましいものである。
- (d) プリズムを通して観た樹幹像のずれが多数の樹幹のためみわけがつかなくなるように密生した林分では、プリズムの使用は非常に困難である。
- (e) Spiegel relascopeの欠点は、価格が比較的が高いことである。
これが高すぎると考えられるならば、多くの場合に最も都合のよいのは楔形プリズムであろう。
- (f) 観測者の眼と板の間隔が臨界角を定める一つの係数となる器械は総て、観測をする際、観測者によつて結果が一致しないために誤差を生ずる。観測者が眼鏡をかけている時は、特にそうである。プリズムを基幹とする器械を用いればこの誤差は除かれる。

カナダでの器械の価格 Costs in Canada

整数でない断面積係数を与えるdioptr 単位の強度をもつ楔形プリズムの価格は、ほぼ2.30ドルである。5, 10, 20, 40 という正確な断面積係数を与えるように度盛のしたプリズムの価格は15.00ドルである。Spiegel relascopeの価格は96.00ドルで、Panama式アングルゲージの価格は1.75ドルである。

将来における発展 Further developments

上述の器械類に加えて、基本的設計について若干修正がなされるであろう。そのうち最も重要なのは、明らかに、傾斜を補正するように修正されたプリズムと、調整可能な断面積係数をもつプリズムである。(5X6X10) 別種のrelascopeについてはVun Slykeが論じている(24) Australiaでは林業技術者はR.A.F 爆撃照準器から作つたrelascopeを改作したReflectorscopeを使用している(6)

現地での標本調査方法

Field sampling techniques

1. 一般的考察 General considerations

この断面積決定方法は、正確かつ迅速に実行できるが、現地調査を慎重に行なわなかつたならば、特に前節の終りに述べたように“境界線上の木”の勘定に慎重さを欠くと、その結果は不正確なものとなろう。標本のとり方や場所を決定する原則は、普通の方法と同じである。普通のクエーカープロットに等しい精度を得るに要する点標本数は、測定しようとする林分の林相と、使用する断面積係数によつて変つてくる。EagleとForbes Depotsの林分で、係数10のrelascopeを用いた試験では、平均して、3.1と2.5個の標本点をクエーカープロット1個に対してとつた場合に等精度となつた。

ある形のrelascopeがある樹種に適するということを示すはつきりした根拠はなく、考察しなければならぬ。基準は前節で示したように林分の密度、明るさ、地形、であろう。観測者は、一点から観測することを要求されており、使用する器械は、楽くにこれができるようなものを選ぶべきである。

下層に多数の広葉樹のある林地では、落葉樹や灌木が落葉してからrelascopeで標本調査をすると非常に便利である。

これまでの実行や現地試験から、次のような方法が推奨される。なおその結果は次節に示してある。

2. 各プロットでの調査方法

一般に2人で構成される調査班が最も手頃である。一人は、観測者で器械を扱い、野帳をつけ、もう一人は補助員として境界線上の木の吟味や、必要な直径を測定する。抽出点を定め、印がつけられたならば、観測者は各木の胸高位置を見ながら、水平に560°見まわし、用いている臨界角に等しいか、これより大きな角に対する直径をもつ木を数える。(3, 4図参照)臨界角より小さいd.b.hの木は無視する。

relascope で樹幹を観る際、観測を楽にし、胸高位置をはつきりさせるために、木の後に白い背影をおくことが出来る。大部分の器械では、観測者の眼を中心点上に置かねばならないが、プリズムの原理を応用した器械の場合には、プリズムを中心に置かねばならない。観測者は全く偏りのない方法でプロットを設定しなければならない。即ち密生した広葉樹の下木を避けようとして、プロット中心を動かしてはならない。

現地テストでは、数えられる本数が15以上にならない断面積係数で、relascopeを用いた場合に普通最良の結果の得られることが示された。数えられる本数が10を超える場合には、吟味のためもう一度検視してみるとよい。検視は観測者が同じ木を一回以上数えないように区別し易い点から始める必要がある。小型のrelascopeを用いる時には、数取器 tally register は数えられた本数を記録する便利な手段である。

密生した林分では、数えらるべき木の何本かは、他の木の陰にかくされてしまう。この場合には、観測者は、観測される樹幹をはつきりと見るために動かないといけないが、木からの距離を歪ないようにしなければならない。

3. 木の勘定 Tree count

次のようにして、系統的誤差を避けるように注意する。

(a) 器械の正しい据え付け

プロット中心-relascope の場合には観測者の眼-プリズムの場合にはプリズム自体である-は厳密に保たねばならない。観測される木が、完全に或は部分的に隠されている場合にだけ、観測点をずらすべきである。この際新しい観測点から木までの距離は、元の距離と同じでなければならない。

(b) プリズムを正しく一直線にすること。

プリズムは、その軸を水平に、中心面を視線に直角に保たねばならない。

(c) 肩板から眼までの距離

これは、どんな観測の場合にも正確にしなければならない。眼を接眼レンズから離すと、臨界角は減少するであろう。これは特に初期のrelascopeについていえること

で、Panama 式 angle gauge や Spiegel Relascope についても或る程度まで云える。

(d) 胸高位置の正しい推定

境界線上の木を観測する場合に、特に大切である。実際に観測した点が胸高より2~3in高いと、数えられる本数は、それに応じて少くなる。胸高位置を正しく推定するには、木を観測している間に、第2の調査員が胸高位置を確定することが望ましい。

(e) 観測者の身長

一般に、このことは重要ではないと思われるが、眼の位置が胸高より1 foot 以上高い人は、彼から3 feet離れている木の胸高を約3.2 feet 離れた位置から観測することになり、この距離が問題となることに注意を要する。自動的に傾斜補正のできる器械では、この誤差は除かれる。

観測を慎重に行えば、このような誤差は一般に小さくなり、対象となる木は、どんな場合にも"境界線上"の木であり、6節で述べてあるように測定すれば、このような誤差は総て除かれるであろう。

4. 傾斜に対する補正 Correction for slope

傾斜補正のない器械を用いれば、木までの水平距離でなくて、斜距離を観測しているために誤差を生ずる。傾斜が10度以下の場合には、両者の差は、1度の角以下であり、このため数えられる本数は不正確とはなるが、誤差は大部分相殺されてしまい、したがって、断面積推定の正確度にはそれ程影響しないであろう。

傾斜が10度以上の場合には、数えられた本数から算出される断面積或は材積の数値に補正係数を適用する必要がある。近似的な補正係数を1表に示す。楔形プリズムを用いる場合、近似的な傾斜補正をするには、傾斜線に直角に、推定傾斜角だけプリズムを傾ければよい。(5図)

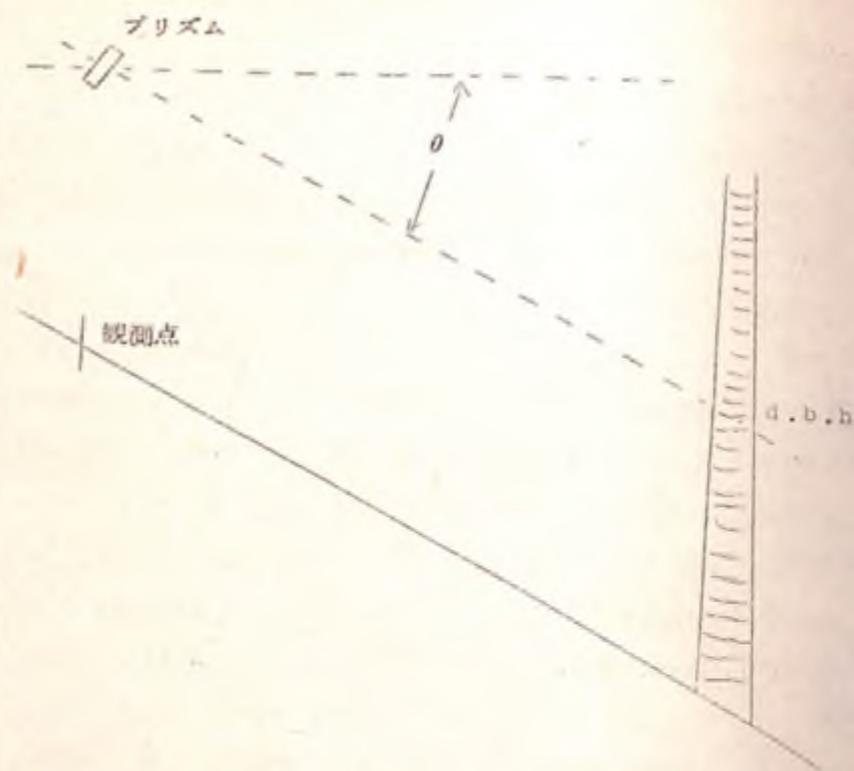
5. 楕円形の樹幹と傾斜木 Elliptical stems and leaning trees

樹幹断面が楕円形のため、小さな誤差を生ずることもある。しかし、これは極めて小さなものであり、通常無視できる。

6. 境界線上の木 Borderline trees

観測者が勘定すべきか否か判断に迷う場合がよくある。これを処理する便法は、境界線上の木を一本おきに数えることである。

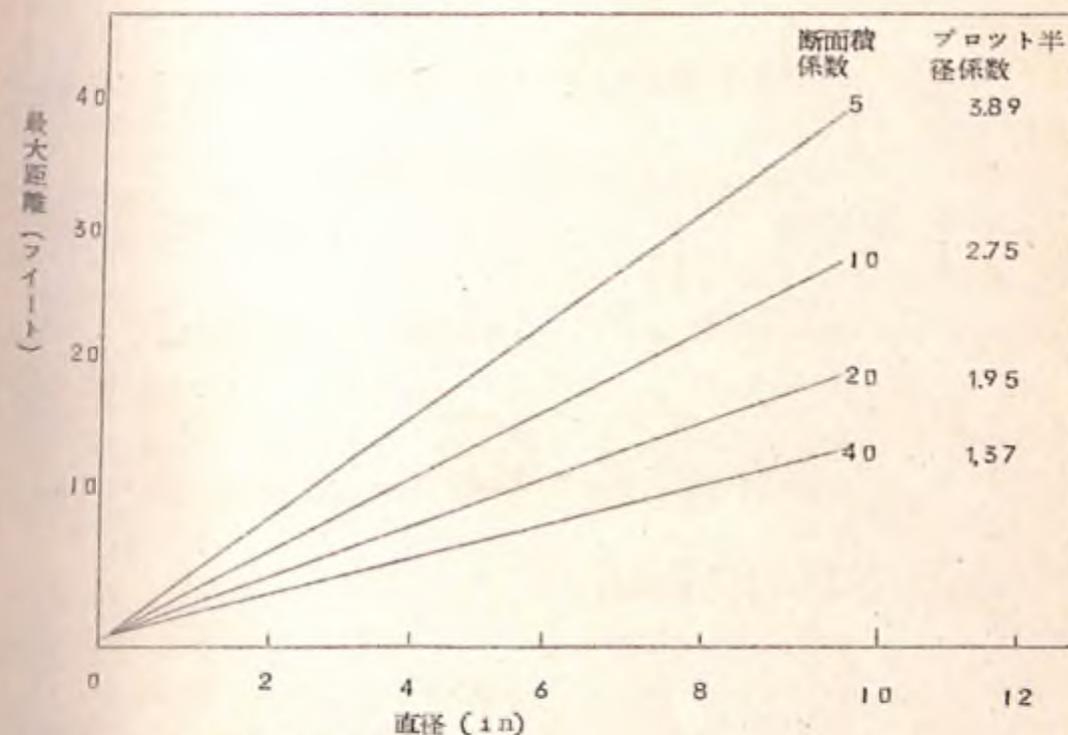
しかしこの方法は個々観測者の傾向が表われないので正確でない。



プリズムを傾斜角(θ)だけ傾けた場合

5図 楔形プリズムの傾斜補正

このような木を勘定すべきか否かを決める信頼できる唯一の方法は、次のものを見つけることである。(a) 観測者に直角方向の直径(b)木の中心からプロット中心までの距離。(a)から、この直径の木が勘定される時の観測者からの最大距離が算出できる。この距離が(b)より大であれば、その木は数えられる。外業で最も便利な方法は、使用する断面係数毎に直径対最大距離のグラフを作り、疑問のある直径について、距離を直接グラフから読みとることである。このグラフの見本が6図に示してある。



6図 直径と最大距離との関係

7. 内業における計算 Office compilation

元来relascopeを用いる標本調査で得られる結果は、測定しようとしている林分のエーカー当り断面積である。これは次式から算出される。

$$B = N \times F$$

ここでB=エーカー当り断面積

N=1回のsweepで数えられた本数

F=断面係数

実際には、層毎に勘定された本数が集計され検視当りの平均本数が計算され、上式は次のように改められる。

$$B = \frac{N \times F}{s}$$

ここでN=数えられた総本数

s=検視の回数

F=断面係数

さらに樹種毎の断面積や蓄積表用の材積のような情報が必要とされれば、上記の方法は、

各項目別に行う必要がある。

例

52本の4 inの木が断面係数10.0のrelascopeを用いて、17点で数えられた。

$$4 \text{ in の木のエーカー当り断面} = \frac{52 \times 10.0}{17} = 30.6 \text{ feet}^2$$

$$4 \text{ in の木の断面} = 0.087 \text{ feet}^2$$

$$4 \text{ in の木のエーカー当り本数} = \frac{306}{0.087} = 352$$

4 in 階の断面は中央直径の木の断面と等しくないから、理論的には、この方法は正確でない。Grosenbaugh と Stover¹⁰ は Texas の全合林で用いられている修正係数を示している。

エーカー当りの蓄積は、次のように、現行材積表を用いて、個々の直径階別に算出できよう。

単木材積にエーカー当り本数を乗ずる。

$$4 \text{ 〃 のトウヒの単木材積} = 1.6 \text{ feet}^3$$

$$4 \text{ 〃 の black spruce のエーカー当り蓄積} = 1.6 \times 352 = 563 \text{ Cu. ft./acre}$$

この過程は次式を用いると簡単にできる。

$$\text{数えられた本数} \times \text{断面係数} + \frac{\text{標本点数}}{4 \text{ 〃 の木の断面}} \times \text{単木材積} = \text{蓄積 (cu.ft./acre)}$$

エーカー当りの蓄積は、標本木の材積を測り、次式を用いても決定できる。

$$\text{林分のエーカー当り蓄積} = \frac{\text{標本木材積} \times \text{relascope で決定された林分断面}}{\text{標本木の断面}}$$

蓄積を推定用の標本木は、偏りのない方法で選ばねばならない。その方法は relascope による勘定とは関係なく、プロット中心に最も近い小数の木の樹高と直径を測れば充分である。標本木の樹高は、標本点で測るか、その林地で樹高曲線を利用できるならばそれから求めることもできる。

Cromer と Brown は、できるだけ林分の平均 d. b. h から算出された標本木の材積は材積表から求め、林分の材積は、簡単に断面と比例させて算出した。直径階の範囲の狭い林分では、特にこのような方法が採られる。普通の Canada の森林でみうけられるように、直径階の範囲の広い林分では、各直径階毎に材積計算をすれば、もつと正確な、エーカー当り蓄積の推定値が得られる。

8. 固定標準地 Permanent sample plots

relascope による断面、材積の推定値は、固定標準地に使用することができ、そ

の一般的原理については Grosenbaugh が述べている。¹⁰ 第1回の測定方法は point sample の単独調査と同じである。これに加えてプロットの中心点を消さないようにしるしを付けておき、又 relascope で数えられ、測定された本数を列挙しておくことも必要である。

Petawawa の林業試験場で、1958年の夏、この技法を試験するために50個の固定標準地が、この方法で設置された。

この設定方法の主な利点は

- (1) プロットの境界を確認する手数が省ける。
- (2) 各木はその断面に確率的に比例して抽出される。
- (3) (1)と(2)の結果、直接に費用が軽減される。

その主な欠陥は

- (1) プロットの測定値はいつでも同一面積に対するものでない。
- (2) 各成長期間の後に進級した2種類の木
 - (a) 初めの測定時に樹高が4 1/2 feet 以上のもの
 - (b) 樹高が4 1/2 feet 以下のものを分ける必要があるがこれは難しい。

この2つ因子は、直接結果を比較することを面倒にする。この固定標準地設定方法の価値については、はつきりと推せんでできるようになる前にさらに調べてみる必要がある。

現地試験の結果 Results of field trials

試験は1957年の夏に Ottawa 北部の Gatneau 溪谷地区で、1958年に Petawawa 林業試験場即ち Ottawa 南方30 mile の小森林で行なわれた。

1957年度に試験した林の林相は4表に示してある。Petawawa の群についての作業は、広葉樹が10%混交している balsam fir, white spruce, ストロブマツの混交林内で行なわれた。直径範囲は1~15 in 平均直径は約8 in で、優勢木の平均樹高は80 feet であつた。器械のテストも Petawawa の林令の異なる white spruce と レジノザマツの同令単純林で行なわれた。

1. 断面と材積推定 Basal area and volume estimates

無作為に設定された5エーカープロットによる結果と係数10のrelascopeを用いた同数の点標本から得られた結果が、2表に示してある。

この結果は relascope による調査と普通のプロットによる調査で得られた平均値

間には有意差のないことを確証している。relascope の標本の標準偏差、標準誤差は、 $\frac{1}{5}$ エーカープロットのものより大きい。それは、極大と極小の断面積の巾が広く、点標本の抽出単位が小さ過ぎたためである。

2表 Eagle Depot (70標準地, dbh 4" 以上の木のみ)

	断面積		総材積	
	平均	S.D	平均	S.D
relascope	97.6	37.4	2,279	882
$\frac{1}{5}$ エーカー Plvt	97.3	21.5	2,246	510

Forbes Depot (50標準地, dbh 1" 以上の木)

	断面積		総材積	
	平均	S.D	平均	S.D
relascope	115.3	38.3	2,686	847
$\frac{1}{5}$ エーカー plvt	115.0	25.2	2,669	656

2. 樹種構成 Species composition

relascopeによる調査で得られた樹種構成の推定値は3表に示してあるように $\frac{1}{5}$ エーカープロットで得られたものとかかなりよく一致している。なお偏差の最大なものは、林分内での出現度の低い樹種と関係がある。

3. 直径分布 Diameter distribution

7図から2種類の標本調査方法で推定された直径分布が比較できる。7図はForbes Depot のマツトウヒ林の頻度曲線である。エーカー当り本数の少いところに差のあるのはrelascope による標本は、小径木より大径木を多く含むためである。したがってrelascope による標本は比較的小さく、これに応じて小径木の推定値の信頼度は低い。

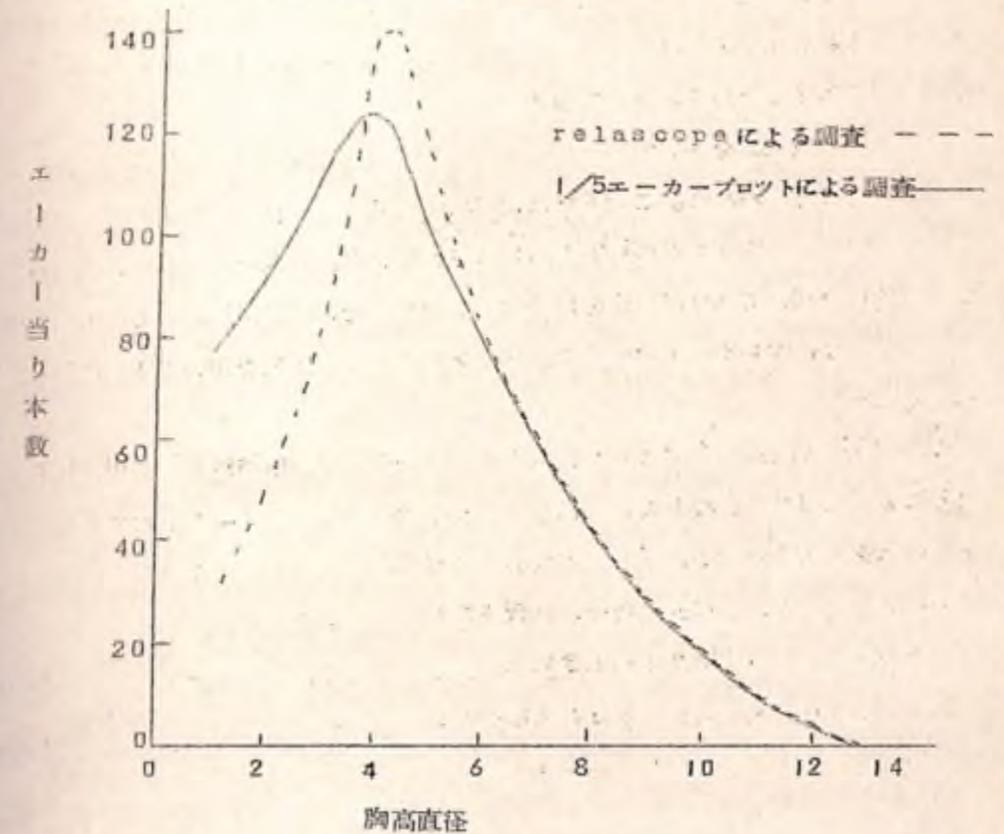
4. 普通の $\frac{1}{5}$ エーカープロット sampling と比較した点標本の精度 Precision of point sampling compared to conventional one-fifth acre plot sampling

4表は、Forbes Depot と Eagle Depot の近くで行なつた可変プロット調査の結果から作られたものである。普通の $\frac{1}{5}$ エーカープロットに等しい精度を得るに必要な点標本数は、林相によつて変わるが、平均して2.8であつた。

4表 $\frac{1}{5}$ エーカープロットに対応する点標本数 (断面積係数1.0)

場所	林相	立木度(エーカー当り本数)	直径範囲	中位直径(7図)	N (無作為採択)
Eagle Depot	マツ同令林	340	1~25 in	5	3.1
Forbes Depot	マツトウヒ	760	1~14	4	2.3

詳しい調査時間の研究は行なわなかつたが、relascope を用いれば、 $\frac{1}{5}$ エーカープロットの所要時間の $\frac{1}{5}$ 又は $\frac{1}{3}$ で、所要精度の断面積が標本調査されるものと推定される。1957年にForbes Depot と Eagle Depot で行つたテストでは、材積計算のために、点標本で記録された本数は1,290本であつたが、これに対応する $\frac{1}{5}$ エーカープロットでは1,230本が記録された。その理由の一部は、relascope では、各径級の木がその断面積に比例する林地で標本調査されたためである。したがつて大径木の調査歩合が大きく、小径木の測定に要する時間は殆んど無くなる。



7図 頻度曲線

5. 最適の断面積係数 The optimum basal area factor

断面積係数の非常に小さいプリズムを用いれば、負の偏りを生ずるであろう。それは、数えられる本数が多くなり、下木や他の木の陰になつた木の中には観測者が見落すものもでてくるからである。逆に余り大きな断面積係数を用いることも与えられた推定精度に達するのに多数の点標本をとらねばならぬので、実用的ではない。又大きな断面積係数は、観測者が標本点を定める際に、一番近い木の影響を受けやすいので、正確度は低くなる。このような木が勘定される本数の最大部分を占めるから、断面積係数の小さい時より大きいときに、これは問題になる。さらに、大きな断面積係数を用いれば、境界線上の木に出会う割合が、断面積係数の小さい場合よりも多くなる。与えられた径級については、数えられる総本数は、その径級が調査される円面積に比例しており、境界木の数は、この円面積の周囲に比例するものと思われる。どの径級についても、面積と周囲の比は、使用される断面積係数が大きくなれば増し、したがって境界木の割合も増す。

したがって、最良の断面積係数は、一方において境界木の割合を最小にするために、数えられる本数が出来るだけ多くなるものであり、他方、陰蔽された木の見落による負の偏りを生ずる程多くならないものである。

各種の断面積係数を用いて得られる数えられる本数の正確さの現地比較試験がOttawa近傍の森林で行なわれた。この森林は、平均直径4 in、樹高60 feet以下の未成熟の広葉樹混交林と西洋スギの純林から構成されていた。4人の調査員が、8地点で各種の断面積係数を用いて独立に勘定を行つた。この結果を、境界に近い樹の木の直径と距離を慎重に測り、本レポートの前節で述べたプロット半径係数を用いて求めた正しい本数と比較してみた。

この結果は5表に示してあるが、最も正確な結果は断面積係数20を用いたときに得られることが示された。なおこの時に数えられる本数の範囲は4~11本である。このテストでは木を誤まる傾向が、正しい本数が13を越えると現われてきた。relascopeのsweepで数えられる最適本数は、調査される林相で変るらしい。

個々の観測者の百分率誤差が大きいのは、疑いもなく、その幾分かはとられた標本点の少いためであり、(8)誤差の相殺される機会が少く、さらにこの方法では境界木を勘定を行つている時に測らなかつたためである。

5表 4人の調査員が各種の断面積係数を用いた時生じた平均誤差

断面積係数	平均絶対誤差 (%)					符号を考慮した平均誤差				
	調査員					調査員				
	A	B	C	D	平均	A	B	C	D	平均
5	8	10	9	4	7.8	-6	-10	-5	-3	-6
10	11	8	12	14	11.2	+6	-3	-5	-12	-3.5
20	4	2	4	4	3.5	+4	-2	0	+4	+1.5
40	11	4	15	7	9.2	+11	-4	+15	-4	+4.5

6. 点標本の群分け Clusters of points samples

点標本を群に列べたときの効果を調べるためにEagle DepotとPetawawaで一連の試験が行なわれた。この試験結果が6表に示してある。

6表 100個の単独標本点に等しい推定精度を得るに要する群の数

場所	断面積係数	群当りの点数				
		1	2	3	4	5
Eagle Depot	10.5	100	55	48		
Petawawa	23.5	100	58	43	56	34

注 Petawawaでは等間隔プロットの系統的標本が用いられ、無作為標本に適用される公式がこの解析に用いられた。

明らかに、与えられた点標本が単独に配置されている場合は群にまとめた時より高い精度が得られよう。実際には、この事は、プロットをまとめたための移動時間の軽減と釣合つておらねばならない。

Relascopeの他の用法 Other uses of relascopes

1. 樹高測定 Height measurements

可変半径プロット法はいろいろ定義されている樹高測定値の計算に使用できる。

Hirata (10)は、林分の平均高を次式から求めることができるという理論を呈出した。

$$h = 100 \tan \theta \sqrt{\frac{\Sigma}{n}}$$

ここでhは林分のm単位の平均樹高

θ は使用した垂直角

Σ は梢頭が360°のsweepを行つた時 θ に等しいかこれより大きな角に対する木の本数

nはha当りの本数

正切がπに等しい角を用いれば、この式は次のように簡単になる。

$$L = 100 \sqrt{\frac{Z}{D}}$$

この条件を満たす角度は60° 34' である。

Grosen baugh (1958年) は同じ様な式を考案した。

$$H = r \tan \theta \sqrt{\frac{Z}{H}} + 4 \frac{1}{2} \text{ feet}$$

Hはfeet 単位で表わした平方平均樹高

$$\sqrt{\frac{\sum H t^2}{\text{測定本数}}}$$

rは普通の標本プロットのfeet 単位で表わした半径

Hは普通の標本プロットで数えられた本数

Zとθは平田式と同じ記号

樹冠がまばらな疎開した林分以外、このような観測は非常に面倒である。さらに境界木のチェックに相当時間がかかり、その結果、効率は低下する。したがって、この方法は限定された価値しかないものと考えられる。

もつと有益なのは、relascopeで断面積を数えるために選ばれた木の樹高を測ることである。これらの木の平均高が、林分断面積で荷重された平均高の不偏的な標本を与えることを示すことができる。

2. 理論的証明

林分の構成は次のようであるとする。

直径	樹高	エーカー当り本数	単木当り断面積
D ₁	H ₁	n ₁	B ₁
D ₂	H ₂	n ₂	B ₂
D _n	H _n	n _n	B _n

この林分の断面積で荷重された平均樹高

$$= \frac{n_1 B_1 H_1 + n_2 B_2 H_2 + \dots + n_n B_n H_n}{n_1 B_1 + n_2 B_2 + \dots + n_n B_n}$$

この林分で次のようなrelascopeによる調査が行なわれたとする。

F = relascopeの断面積係数

N₁ N₂ N_n = 点当りの数えられた直径D₁ D₂ D_nの本数

点当りの数えられた本数 = エーカー当りB / F

$$N_1 = \frac{B_1 n_1}{F} \quad N_2 = \frac{B_2 n_2}{F} \quad N_n = \frac{B_n n_n}{F}$$

relascopeのsweepで選ばれた木の算術平均樹高は

$$= \frac{N_1 H_1 + N_2 H_2 + \dots + N_n H_n}{N_1 + N_2 + \dots + N_n}$$

$$= \frac{n_1 B_1 H_1 / F + n_2 B_2 H_2 / F + \dots + n_n B_n H_n / F}{n_1 B_1 / F + n_2 B_2 / F + \dots + n_n B_n / F}$$

$$= \frac{n_1 B_1 H_1 + n_2 B_2 H_2 + \dots + n_n B_n H_n}{n_1 B_1 + n_2 B_2 + \dots + n_n B_n}$$

断面積で荷重した平均樹高は、Finland で林分高の測定値として用いられている。(23) 普通の標本調査では、このような測定値は優勢木と準優勢木とを選ぶ際の偏りのように、調査者による偏りに影響されない数学的に正確な樹高値を与えるので興味深いものがある。Petawawa 林業試験場で、1958年に、各種の樹高測定値を比較するために行った現地テストの結果が、7表に示してある。

7表 樹高測定値の比較

樹種	直径範囲 in	エーカー 当り B	エーカー 当り 本数	林令	算術平均 樹高(1/2 エーカー プロット より)	Bで荷重 した林分 の平均樹 高	Relascope 数えられ た木の平 均樹高	Relascope による 平田式 樹高	平方平均 樹高(1/2 エーカー プロット より)
W S	3-6	138	1900	23	21.6	24.6	24.6	24.5	22.3
W S	2-6	166	1900	23	21.6	24.6	25.3	24.5	22.3
r P	7-12	185	370	33	53.3	53.5	52.5	52.2	53.6
r P	5-10	255	775	33	52.5	53.5	52.7	51.2	52.6
rPwP	3-17	185	390	80	74.3	77.9	77.0	70.5	82.6
rPwP	6-16	196	390	80	74.3	77.9	79.3	74.5	32.0
rPwP	8-16	215	220	80	67.0	82.3	81.1	79.5	70.2

3. 円形プロットの境界決定 Determination of circular plot boundaries

円形プロットの境界をチェックする場合に、relascopeはかなり使用できよう。調査用ポールに似た印をつけた垂直の目標をプロット中心に立てれば、調査員は、周縁に近い木からrelascopeで中心の目標を観測して、その木が含まれるかどうかを正確かつ迅速に確かめることができる。このようにすれば、テープでプロット中心から境界まで絶えず測定する必要はなくなる。

断面積係数10のrelascopeでは、13.54 inの目標で、1/2エーカーの円周、1215 inの目標で1エーカーの円周が求まる。

4. 造林的必要性 Silvicultural requirements

林分表を作るとき relascope により、間代の必要度が直ちに指示される。Grosenbaugh (13) はこれに適する方法を詳しく論じている。

結 論 Conclusion

本書で述べている試験を含めて、北米で行なわれた relascope の試験結果によれば、点抽出法は効率良く、正確で、経済的な森林調査法であつて、東部カナダで広く採用してよいことが示された。

次のような長所と欠点が明らかになつた。

長 所

点抽出法は、既定の方法による場合と同様正確かつ信頼のおける結果を与えるが、それは経済的である。

- (1) プロットの境界を定める必要がない。
- (2) 小径木の時間のかかる測定は大部分省かれ、大径木が集中的に調査される。
- (3) この方法のスピード性と抽出単位が一般に小さいために、与えられたコストで大径木よりも散ばりのよい標本が獲得できる。
- (4) 一人で調査可能である。
- (5) 外業に用いる器械は簡単である。
- (6) エーカー当りの断面積を決めるのに直径測定が不要である。
- (7) この方法は、外業データの結果の計算や統計解析を楽にするのに役立つ。
- (8) 安価または自家製の器械でも利用できる。

欠 点

- (1) 数えられた本数は、さらに直径樹高等の測定をしなければエーカー当りの断面積を与えるに過ぎない。
- (2) 下木が密生していると障害になる。
- (3) 勘定を誤るとかなり大きな誤差を生ずるので、極めて慎重に行なわねばならぬ。
- (4) 各径級の木は、一定の面積で抽出調査されるが、調査面積の割合を決めることは不可能である。
- (5) 特殊な条件のときには、小径木の推定値のかなり不十分なことが、欠点と考えられよう。
- (6) 傾斜の補正が難しい。

(7) これは新しい方法であつて、まだ完全に研究されていない面もある。

点抽出調査の結果は不偏であり、普通のプロット調査で得られたものと有意差はないであろう。この方法の誤差の原因のうち、観測者に因るものが最も多くかつ重要である。

要は、操作者がその原理を理解し、観測にあつては極めて慎重であることである。

上の批判にもかかわらず、可変プロット抽出法をさらに調べる必要性が、特に固定標準地調査法や、いろいろ林相について普通の方法で得られたものと精度や効率を比較したような詳しい点について、認められている。

附 録

度盛り方法 Calibration

1. 楔形プリズム Wedge prism

プリズムの強度は diapter 単位で測られる。1 diapter は100単位の距離に対する1単位の直角方向のずれに等しい。

度盛りに用いられる手法は次のとおりである。

プリズムを長いテーブルの一端に固定する。

互に独立に動かせる2本の垂直なピンによる目標をプリズムの屈折角の二等分線に平行に置くようにして、テーブルの他の端に置く。プリズムと目標の間隔(D)を正確に測る。

一方のピンの変位像が他のピンの像と一致するまでピンを動かす。ピン間の距離(W)を精密に測る。このテストは、所要の正確さが得られるまで繰り返さねばならない。断面積係数は次式から算出される。

$$F = \frac{43560}{1 + 4(D/W)^2}$$

DとWは同一単位で測らねばならぬ。

2. Panama angle gauge を含む他の relascope

Other relascopes including the Panama angle gauge

他の relascope の度盛りにも、同様な手法が用いられる。

$$F = \frac{10890}{R^2}$$

ここで $R = \frac{\text{眼から穴又は crossarm までの距離}}{\text{穴又は crossarm の巾}}$

$$= \frac{\text{眼から目標までの距離}}{\text{ピン間の距離}}$$

Grosenbaugh (15) は、垂直と水平方向の常数に対する relascope の度盛りについて非常に完全な説明をしている。

參考文獻

1. Aird, P.L. (1958):
Bitterlich's method of plotless cruising.
Report, Canadian International Paper Company.
2. Anon, (1957):
Consolidated Manual. British Columbia Forest
Surveys Division.
3. Bell, J.F. and L.B. Alexander (1957):
Application of the variable plot method of sampl-
ing forest stands. Oregon State Board of Forestry,
Research Note No. 30.
4. Bitterlich, W. (1948):
Die Winkelzahlprobe. Allgemeine Forst und
Holzwirtschaftliche Zeitung. 59(1/2): 4-5).
5. Bruce, D. (1955):
A new way to look at trees. J. For., Vol. 53,
No. 3.
6. Cromer, D.A.N. and A. G. Brown (1956):
Plantation inventories with aerial photographs
and angle count sampling. Forestry and Timber
Bureau (Australia) Bulletin No. 34.
7. Deitschman, G.H. (1956):
Plotless timber cruising tested in upland hardwoods
J. For., Vol. 54, No. 12.
8. Dixon, R.M. (1958):
Point sampling, wedge prisms and their application
in forest inventories. Forest Resources Inventory,
Ontario Department of Lands and Forests.
9. Finney, D.J. (1953):
An introduction to statistical science in agri-
culture. (Chap. 8) John Wiley and Sons,
New York.
10. Fleming, W.J. (1954):
A design for a relascope. For. Chron., Vol.30,
No. 3.
11. Gould, E.M. (1957):
The Harvard Forest Prism-Holder for point sampling
J. For., Vol. 55, No. 10.
12. Grosenbaugh, L.R. (1952):
Plotless timber estimates — new, fast, easy.
J. For., Vol. 50, No. 1.
13. Grosenbaugh, L.R. (1955):
Better diagnosis and prescription in southern
forest management. Southern Forest Experiment
Station. Occasional Paper 145.
14. Grosenbaugh, L.R., and W.S. Stover (1957):
Point-sampling compared with plot-sampling in
southeast Texas. Forest Science, Vol. 3, No. 1.
15. Grosenbaugh, L.R. (1958):
Point-sampling and line-sampling: probability
theory, geometric implications, synthesis.
Southern Forest Experiment Station. Occasional
Paper 160.
16. Hirata, T. (1955):
Height estimation through Bitterlich's method.
Japanese Journal of Forestry 37: 479-180.
17. Honer, T.G., and L. Savn-Wittgenstein (1958):
The relascope, its principles and a test in Eastern
Canada. Department of Northern Affairs and
National Resources, Forestry Branch, Forest
Research Division. S. and M. Report 58-12.
18. Husch, B. (1955):
Results of an investigation of the variable plot
method of cruising. J. For., Vol. 53, No. 8.
19. Keen, E.A. (1950):
The relascope. Empire Forestry Review. Vol. 29,
No. 3.
20. Ker, J.W., and J.H.G. Smith (1957):
Observations on the accuracy and utility of
plotless cruising. B.C. Lumberman, Nov. 1957.

21. Hoadage, C. and L.R. Gessenbaugh (1956):
Efficiency of several cruising designs on small tracts in North Arkansas. J. For., Vol. 54, No. 9.
22. Müller, G. (1953):
Das Baumzahlrohr Allgemeine Forstzeitung. 64 (19/20): 249-251.
23. Nyssonen Aarne (1955):
On the estimation of growing stock from aerial photographs. Communicationes instituti Forestalis Fenniae 46.1.
24. Van Slyke, A.L. (1955):
Plotless timber inventory: an angle for cruisers. New Brunswick International Paper Co. Causapsca Forest Research Station. Misc. Note No. 4.

1表 傾斜で行なわれた補正のさい angle gauge の計測値から算出される
エーカー当り面積又は材積に対する修正係数の補正係数
なお傾斜率は等高線に直角に測られる。

傾斜率の限界	傾斜補正係数	傾斜率の限界	傾斜補正係数
10.0	1.01	80.7	1.29
17.4	1.02	82.3	1.30
22.5	1.03	83.9	1.31
26.7	1.04	85.4	1.32
30.4	1.05	86.9	1.33
33.6	1.06	88.4	1.34
39.5	1.07	89.9	1.35
42.1	1.08	91.4	1.36
44.6	1.09	92.9	1.37
47.0	1.10	94.3	1.38
49.3	1.11	95.8	1.39
51.5	1.12	97.2	1.40
53.7	1.13	98.7	1.41
55.8	1.14	100.1	1.42
57.8	1.15	101.5	
59.8	1.16		
61.7	1.17		
63.6	1.18		
65.4	1.19		
67.2	1.20		
69.0	1.21		
70.8	1.22		
72.5	1.23		
74.2	1.24		
75.8	1.25		
77.5	1.26		
79.1	1.27		
80.7	1.27		

急斜面の補正係数は $\sqrt{1 + \left(\frac{\text{傾斜率}}{100}\right)^2}$

別冊

(南部林業試験場のOccasional Paper 145よりL.R.Gessenbaughの許しを得て再録)

XVIII 林業経営における光学的楔の価値

(*R. T. Bradley*)

XIV 林業経営における光学的楔の価値

The value of the optical wedge in forestry management
この要約は Honour school of Forestry の一部として提出されたものである。
R. T. Bradley

この研究の目的は3つある。即ち現在ある文献の批判と解析、光学的楔の原理を具体化した簡単な装置の作成、この装置や同様な他の装置による断面積、直径、距離の推定精度を確かめるための計画である。

Bitterlich 法で林分の平均断面積を推定するのに簡単な半円形ガラス又は perspex プリズムが使用できる。なおこの方法は一直径、距離の推定の場合も同じであるが、一プリズムを通さずに見た樹幹その他の対象とプリズムを通して見たものとの比較に基づいている。プリズムは割に安く手に入り Muller (1953) が提案したように短い真鍮製の筒の端に簡単に取り付けられる。なお Muller 氏は光学的楔による方法を創案し、彼の装置には 'Baumsahlrohr' 即ち '検視用望遠鏡' と名が付けてある。

Bitterlich の 'Winkelsahl' 法による平均断面積の決定は彼の最初の論文が1947/48年に発表されて以来非常に関心をまきおこした。この方法は周囲測定によらずに推定値を求めることができるという作業の簡易さとスピードが人気を呼んでいる。

その方法は標本点からみて、眼から一定の距離をおいて保持されている小さな金属片に比して胸高位置で大きな木の数を数えるだけでよい。金属片の巾と眼からの距離がこの装置の臨界角(水平方向)を決めるが、この角度は数学的に換算係数と関係があり、これを数えられた本数に乗ずれば、標本点の近くの平均断面積の推定値が得られる。プリズムを通して見た対象は、プリズムの臨界角により、自動的にズレるから、プリズムを用いれば、棒と金属片に対する要求はなくなる。観測している樹幹がその巾以上にズレていなければ(これは胸高直径と標本点からその樹幹までの距離によつて変る。)勘定に入れられ、ズレがその見掛けの巾と正確に一致している木は一本おきに数えられる。この方法は又、Plotless Point, Variable Plot sampling として知られており、'angle gauge' として角度のズレを作るため、各種の装置が用いられている。

Muller の 'Baumsahlrohr' は Cromer (1954) と Bruce (1955) によりさらに発展した。彼等は度の低い双眼鏡にプリズムを二重にとりつけると非常に有効であると報告している。この線に沿つてこの装置の将来の発達がこの研究を通じて示されて

いる。作製方法の詳細は終て、同様な装置を作りたいと考えている人のために原文に示してある。

原論文には、主としてあらゆる形式の angle gauge による断面積測定値の正確度を扱った現存する文献(112種)の批判が載せてある。距離(面積)や傍に行つて測れない直径を測るための十分に証明されていない応用面に研究を集中する方が有益であると考へたので、この原理の応用については、これ以上詳しい実験的証拠は提出しなかつた。又プリズムによる平均林分高の決定については(平田) この原理の応用が非常に疎闊した林分状態で実行可能であるに過ぎないことが二、三の研究で示され、又この国ではそれほど関心があるように見受けられないので取りあつかわなかつた。

最後にこの方法が従来の方法に比べて有利と思へるような場合、プリズム法を現地に応用することについて若干の提案を行つた。

Bitterlich 法による平均断面積推定の精度について文献を調べて分つた主要な点は推定値の誤差に含まれる器械的誤差と抽出誤差の成分を分けることが難しいことである。

Bitterlich 法の推定値が標本に含まれる木の平均断面積に非常に近いものであるかどうか吟味することは特に難しい。というのは標本ははつきりした場所的範囲をもつていないからである。大部分の研究者は Plotless 法による推定値を同一中心を用いた普通の円形又は短形プロットによる推定値および全林毎木の結果と比較することでこの難問題を避けている。残念なことに、大抵の場合普通のプロットの大きさは Plotless sample の平均の有効な大きさ(林分における直径分布と間隔により変る)と似ておらず、したがつて上記の2つの誤差の原因を区分することはできなかつた。この一般的な失敗をしなかつた主な研究は Groenbaugh と Stover (1957) のもので、彼等は適切な統計的解析と無関係な誤差を除くため別の吟味方式を入れて、この難問題をある程度まで避けることができた。

判断できる限りにおいて、同じ効果的な抽出率が用いられ、技術的な誤差が慎重に避けられたならば Bitterlich 法による推定値が、普通のプロットによる推定値に比べて偏りや抽出変動が小さいことをこれまでの研究結果が示している。この前者の誤差の原因は Bitterlich 法の大きな危険の一つであり、平均断面積の10%になることすらある。しかし、装置がその条件に適しており、操作者が熟練者で慎重であれば所定精度の推定値を得るのに否認できないこの長所を重視する限りこの危険を許さなければならぬ理由はないように思へる。

距離測定にプリズムを用いることを Muller が提案し、短い真鍮製のチューブにとりつけた簡単なプリズムを用いて Carron と Edwardson (未発表) は面積についてさらに研究を行つた。

この型の装置を双眼鏡にとりつけたプリズムおよび筆者の作成した器械と一語に試験した色々な森林条件にわたる広範囲の試験結果を解析してみると 400 ft までの距離が 8x25 の双眼鏡に1対70のズレを作るプリズムを用いると100回に95回の割合で±0.8%の精度で測れることが示された。簡単なチューブに取り付けたプリズムでは精度は同一条件で±4%に落ちた。

Carron と Edwardson の提案した半径法を用いた面積推定値は中心点から一箇の檢視で約5エーカーまでの面積を調査できる双眼鏡に1対150のズレの係数をもつプリズムを用いると条件の良い場合には±1.3%以内の精度であることが分つた。

Deon 国有林の各種の地位にわたる標本プロット面積の測定にこの方法を実用した結果は、プリズムによる半径法はかなりの可能性を持つており、鉛とコンパスによるトラベース測量に比べて作業速度の点で、又歩測に比べて正確さの点で幾多の長所があるという主張を支持している。当然 傾斜の既知の場所では特にその真価を発揮するであらう。

プリズムは測高器として十分に利用でき、多くの人々は月並の方法に比べて遙かに大きな利点をもつていて考へるであらう。距離測定と同様に、プリズムは、直径を測るためある形の輪尺と一語に使用される。特に双眼鏡に取り付けたプリズムを使用する場合には、スチール製の輪尺がこのために適切であると思へるが、距離測定の時には、もつと長く、見易い装置を作る必要がある。垂直角を測るある形の測高器も傍に行つて測れない直径を測定するのに必要であり、この問題の簡潔な解決方法の一つは、Blume Leiss 測高器の照星のところにプリズム付の単眼鏡をとりつけることである。

Haga 式の測高器の照星に帯状の Perspex プリズムをとり付けた実験は上手くゆかなかつた。一この器械のもつている簡単であるという長所は、拡大装置をもつ器械と比べて正確さが低下するという欠点を導いた。

Haga と簡単なプリズム、Abney 水準器と一語にプリズムをとり付けた双眼鏡 Barr と Stroud の測定器(森林委員会で使用) Bitterlich の 'Spiegel Relescope' を2本の慎重に測られた標本木について試験した。直径および30 m までの樹高を各6回づつ計288回読んだ結果、4種の器械の樹高、直径の推定精度の範囲は次のようになつた。

	樹高	直径
BとSの測樹器	±0.50 ft	±0.40 in
双眼鏡式プリズム	±0.50 ft	±0.45 in
Haga +プリズム	±1.00 ft	±0.55 in
Spiegel Relascope	±1.00 ft	±1.55 in

この数値は実測値に対する推定値の標準偏差の2倍の値を要しており、このようなことが同様な条件下では全推定値の約95%に適用できるであらう。

樹高推定値の値は30 ftまでの樹高に関するもので、これ以上になると樹高にはほぼ比例して推定値は不確実となる。しかし直径と樹高の読みの70%が同様な条件下で上記の半分の範囲内に入ることを覚えておく必要がある。

このテストで得られた結論の主なもの、Abney水準器と一語に用いるプリズム付の双眼鏡は、正確さの点で約100倍も費用のかかるBarrとStroudの測樹器と殆んど同じであるが—後者は取り扱いが容易で—簡単—補助装置が不用—であるという点では特に優れている。しかし単眼鏡とBlume Leiss測高器の極く最近の発展は或る程度までこの難問題を解決し、正確な測定値の必要度がBarrとStroudの測樹器の程度に対して財政的に妥当でないような処で人気を呼んでいる。

この方法のいろいろな応用方法について次の述べる一般的な意見はちよつと興味のひかれるものである。取巻表の値と比較吟味するため即座に断面積推定が得られるという価値をもっている最も単純な形のプリズムによる方法は、使用および運搬が易しいが、Plotting or samplingに用いられる総ての装置と同じく操作者の過労を伴う。しかし各種のrelascopeに比べて樹幹そのものが比較像を与え、不安定に保持していても、その相対的位置は変わらないので疲労は少い。プリズム付の双眼鏡を用いても、双眼鏡がプリズム式の場合にはそれほど利点はない。又ズレた像が互に重なり合う程林分が稠密であればあきらかに不利にさえなる。プリズムを用いない装置では、(ズレた像とズレない像の間にはつきりした分割線が残る)拡大することは、勘定するのに疑問のある場合判定を下す練習をするのに相当価値がある。

真直ぐな距離の測定については、正確な測定が可能な距離は非常に制限されるので、簡単なプリズムがもつと一般的な方法に比べて大きな長所をもつかどうか疑問である。ある形の拡大装置は±3%以上の精度が要求される場合に、この方法を適用するのに必要

の条件である。しかし、小面積を合理的な精度で調査するには簡単な装置の能力で充てられる。

この方法を測樹器として利用する場合、適切な精度で標本木を測定するにはやはり拡大鏡を傾けし、その装置の必要部分を簡単な形にすることが難しいため、さらに制約を受ける。しかしBlume Leiss測高器にとりつけたプリズム付単眼鏡は標本木の材積測定、特に簡単かつ正確な材積推定法としてHummelのTariffを適用する場合相当見込みのあることが分るであらう。

参 考 文 献

- Bitterlich, W. (1947):
Die Winkelzählmessung. Allg. Forst-u. Holzw.
Ztg. 58 (11/12)
- idem -- (1948):
Die Winkelzählprobe. Allg. Forst-u. Holzw.
Ztg. 59 (1/2)
- Bruce, D. (1955):
A new way to look at trees. J. For. 53 (3) pp.163-7.
- Carron, L. T. & Edwardson, T. E. (1958):
Mapping small irregular areas. Manuscript note,
I.F.I., Oxford.
- Cromer, D.A.N. (1954):
Techniques and instruments for the determination
of basal area and volume per acre. Australian
Forestry 18 (2).
- Grosenbaugh, L.R. & Stover, W.S. (1957):
Point sampling compared with plot sampling in
S.E. Texas. For. Sci. 3(x).
- Hirata, T. (1955):
Height estimation through Bitterlich's method -
vertical angle count sampling. J. Jap. For.
Soc. 37 (11).
- Muller, G. (1953):
Das Baumzahlrohre. Allg. Forstzeit. 44 (19/20).