

BITTERLICH 法による林分胸高断面積の 測定装置について

助 教 授 扇 田 正 二
助 手 前 沢 完 次 郎

Masaji SENDA and Kanjiro MAEZAWA :
On the Measuring Instrument of Stand Basal Area by
the BITTERLICH's Method

目 次

I まえがき.....	69	V 考 察.....	74
II 方法の概要.....	70	VI 参考文献.....	75
III 測定装置.....	71	Résumé	76
IV 実験結果.....	74		

I ま え が き

プロットの面積とか、個々の樹木の胸高直径というものの実測あるいは推測を必要としない林分胸高断面積の推定方法 (Die Winkelzählprobe) が、1948 年、オーストリアの WALTER BITTERLICH によつて考案された。その後、1952 年、この方法は "Variable plot radius method" として、U. S. A. の L. R. GROSENBAUGH によつて広く紹介され、今日、日本においても相当注目されている。それは、幹距数の概念から出発して、その値が、対応する視角の正弦としてあらわされることから、逆に "胸高を目安に、一定の視角で林内を見渡したとき、その視角よりも大きく現れる立木数は、相対的な林分胸高断面積に比例する" ことに着想し、point sampling のテクニックを巧みにとりいれた大変見事な方法である。

しかしながら、この優れた推定方法も、なお、今後の課題をいくつか残しているように考えられる。たとえば、その理論は樹木が便宜的な透明体であることを前提としているために、このことから現実には生ずる推定の偏りについての補正手段が考えられる必要があるだろう。また、臨界角度の効果的な大きさとか、標本点についての妥当な数というようなことも検討されなければならないと思われる。

このようないくつかの課題のうち、われわれは、日本の森林を対象とした場合非常に重要と思われる傾斜の問題をとりあげ、傾斜地においても計算上の修正を必要としない装置上の修正操作を考案してみた。既に、数年前、BITTERLICH は、この問題について自動修正装置(後述)を考案されているが、ここに記載するそれは、BITTERLICH とは別な観点に着意したものである。本稿は

まず、BITTERLICH 法の概要を説明し、ついで、扇田が考案した装置、および、それをもちいて東大千葉県演習林でおこなった実験の結果を記載する。

II 方法の概要

まず、各樹木の胸高断面のみが一定の尺度でしるされているような林分の位置図を考える。いま、図上に特に作為することなく N 個の点をおとし、そのうち、各断面の内側におちた点の数を n とすると、 $E\{n\}/N = \frac{1}{N} \times \text{林分胸高断面積} / \text{林地面積}$ となる。つぎに、それぞれの胸高直径の p 倍たとえば、50 倍の直径を有する円周を、図示した各樹木のまわりにえがく。これらの円周のうち、図上の点をふくむもの数をかぞえて、その数を n' とすると（いくつかの円周が、同じ点を重複してふくむ場合がある）

$$\frac{E\{n'\}}{N} = \frac{\text{円周面積合計}}{\text{林地面積}} = \text{点当り平均円周数}$$

となる。こゝに、円周面積合計は各樹木の胸高直径の p 倍を直径とした円面積の合計であるから、円周面積合計 = 林分胸高断面積 $\times p^2$ 。したがって、上式は

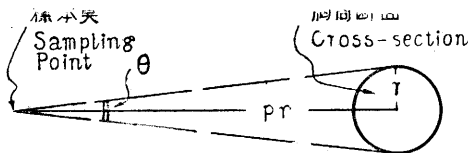
$$\frac{\text{林分胸高断面積} \times p^2}{\text{林地面積}} = \text{点当り平均円周数}$$

あるいは

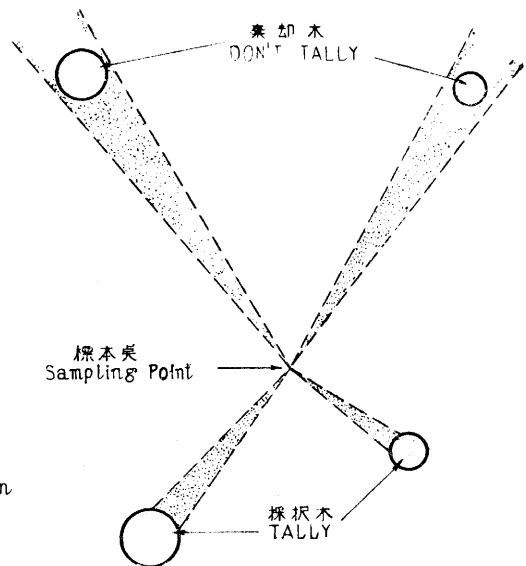
$$\text{林分胸高断面積} = \frac{\text{林地面積} \times \text{点当り平均円周数}}{p^2}$$

として示されるから、林地面積を 1 ha (10000 m²) とした場合は、点当り平均円周数に 10000/p² を乗ずれば、それが m² 単位であらわした ha 当り林分胸高断面積を示すことになる。10000/p² は、 p の値によつて変化する常数で、これを“断面積常数”とよんでいる

これを現地に適用する場合には、位置図とその上におとした点は、調査にあたる対



第1図
Fig. 1



第2図 Fig. 2

斜線の部分は、標本点からの計器による射影であり、円は樹木の胸高断面を示す。

1) $E\{n\}$ は n の数学的期待値。

象林分と無作為にえらんだ標本点とにおきかえられる。こゝに、点当り平均円周数は各樹木の胸高直径の p 倍の直径をもつた円周のいくつが、選定した標本点をふくんでいるかを知ることによつて求められる。そのためには、標本点から周囲に見渡された樹木のうち、それぞれの胸高直径と標本点とのなす角度が第1図における θ よりも大きな樹木のみをかぞえればよい。いくつかの標本点において、かぞえられた本数の合計を標本点の数で除した高が、点当り平均円周数の推定量となる。この角度は“臨界角度”とよばれ $\sin \theta/2=1/p$ から求められる。たとえば、 p を 50 とした場合は $2^{\circ}17'32''$ で、これは、各樹木の胸高直径の 25 倍を半径とした円周に丁度対応している。胸高断面と標本点とのなす角度が、この臨界角度よりも大きい樹木の数、胸高直径の 25 倍の距離よりも標本点迄の距離の方が短い樹木の数に正確に一致するはずである。

このような原理から、実際には、調査者は臨界角度を定めるような計器を作ればよい。そのような計器をもちいて、各標本点ごとに記録本数をかぞえ、その平
均値に断面積常数を乗ずれば、ha 当り 林分胸高断面
積をうることができる。たとえば、断面積常数を 4 とし
た場合、標本点が 5 つとられ全部で 40 本かぞえられ
たとすると 1 標本点当りの平均値は 8 本となるから、
これを 4 倍した値 32 m^2 がその推定値となる。

推定値の精度は、 N 個の標本点における本数 X の分散 V^2 の大小にかゝっている。本数標本平均の標準偏差を σ_x とすると、各標本点が無作為にとられた場合

$$V^2 = \left\{ \sum_{i=1}^N X_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^N X_i \right)^2}{N} \right\} / N-1 \quad \sigma_x = V/\sqrt{N}$$

として示される。なお、信頼度をいろいろ変えた場合に、 σ_x を何倍したらよいかは N の数によつて変つてくる。詳しくは t -分布表を調べればよい。

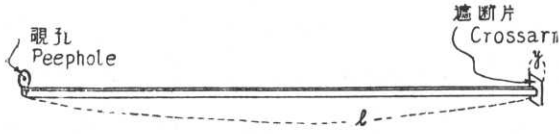
以上は、直径の倍率 50、したがつて、断面積常数 4、臨界角度 $2^{\circ}17'32''$ の場合について例示したが、必要に応じては異つた倍率をもちいてもさしつかえない。第1表はいくつかの場合についてのそれぞれの値を示す。

III 測定装置

この方法を実際にもちいるためには、無作為にとつた標本点が、はたして、どの樹木の胸高断面のもつている円周内に入つているかを知る操作が考えられなければならない。すなわち、逆に標本点に立つて、まわりの樹木の採択あるいは棄却を定めることのできるような計器を作ること

第1表
Table 1

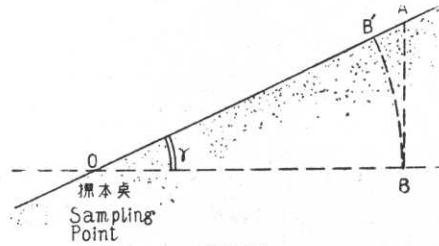
臨 界 角 度 Critical Angle			断 面 積 常 数 Basal Area Factor
1°	8'	46''	1
1	37	14	2
1	50	6	3
2	17	32	4
2	33	44	5
2	48	24	6
3	1	52	7
3	14	28	8
3	26	18	9
3	37	26	10
4	26	18	15
5	7	34	20
5	43	56	25



第3図 Fig. 3

が必要であらう。
 簡単な計器としては、第3図に示すような、片方に覗孔をもち他方に遮断片をそなえつけた細長い木で作ることができる。^{2°}

17'32'' (断面積常数4)の角度を定めるには §. II における説明から、覗孔から遮断片迄の距離 l を 50 cm とすれば、遮断片の横巾 y は 2 cm にするのが適当と考えられる。勿論、その比が 1/25 という必要な関係を満足する限りは、 l, y の長さをかえてもさしつかえないが、 l が 25 cm 程度より短いと、遮断片と樹木とを同時に見通すことが困難になるから実用的とは思われない。

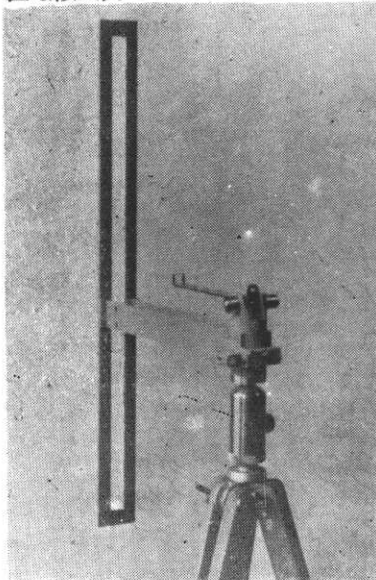


第4図 Fig. 4

このような計器をもちいる場合、もし、標本点の位置が傾斜地であるならば、その地点での記録本数は適当に修正されることが必要である。第4図によつてその間の事情を説明すると、ある臨界角度のもとで水平な林地上の B 点にあつて丁度かぞえられる樹木は、傾斜地にあつてかぞえられるためには $OB = OB'$ なる OB' 上にあることが必要である。一方、面積当りの推定という条件を満足するためには、B 点にあつたと同一の樹木が $\angle ABO = \gamma$ なる A 点上にあつてもかぞえられなければならない。しかし、 $OA > OB'$ であるから、B' 点で限界の樹木は A 点にくると棄却されてしまう。

すなわち、傾斜があると記録される割合が減少するからである。

この傾斜に対する修正方法として、GROSENBAUGH は、かぞえられた本数に対して等高線に垂直な傾斜角の Secant を乗じたものを、その地点での記録本数とすることを示している。 $OA = OB' \sec \gamma$ であるから、傾斜面上での推定を面積当りに還元



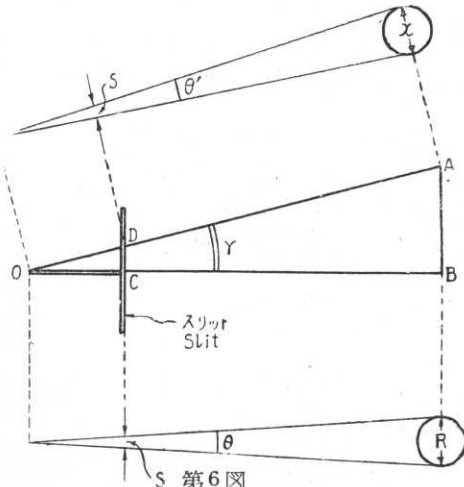
第5図 Fig. 5

するために、計算上の修正をおこなうわけである。

傾斜に対するこのような修正方法は、理論上いろいろな仮定にたつており、また、実行上なかなか手数のかゝることと思われるので、われわれは、装置上の修正を考え、同じような目的のために従前からもちいられている装置を計器にとりつけてみた (第5図参照)。林地が傾斜を有している場合には、覗孔と遮断片までの距離を傾斜角に対応して調節することが必要であることに着目したもので、このような計器によれば、傾斜地に対しても特に計算上の修正をほどこす必要はない。第5図に示すように、遮断片の位置にそれと同じ巾のスリットを上下に直角にとりつけたもので、計器を水平にた

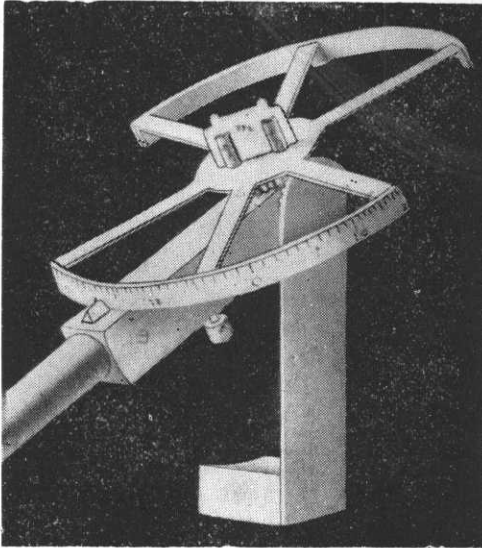
もちながら、傾斜に応じスリットの上部または下部をとおして胸高を覗くわけである。これに対して、BITTERLICH は、視孔と遮断片迄の距離は一定にして、遮断片を自動的に回転させることに着想し、Pendel-Relaskop を、更に、Spiegel-Relaskop を考案し発表されている。前者は、錘をつけた歯輪連動装置で、上部に遮断片がつけられ、それが、傾斜に対応して、視線に対して斜に変化するもので、このような操作によつて視角修正を自動的におこなうものである。その原理にもとづいて、その測定機能を著しく増大したものが Spiegel-Relaskop である。(第7図、第8図参照)

第6図において、水平線上臨界角度 θ に対応する B 点上の樹木の直径を R とし、また、傾斜角を r とする。視線は O-D-A 線上をはしるから、いま、 $\angle ABO = \theta$ なる A 点上において丁度 S に入

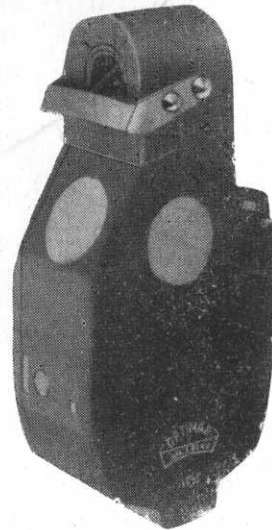


第6図
Fig. 6

つた樹木の直径を x とすると、 $OD = OC \sec r$ 、 $OA = OB \sec r$ 、また、 $\frac{OC}{OB} = \frac{S^D}{R}$ 、 $\frac{OD}{OA} = \frac{S}{x}$ であり、こゝに、 $\frac{OC}{OB} = \frac{OD}{OA}$ であるから、 $x = R$ と考えることができるだろう。すなわち、B 点にあつて丁度かぞえられる樹木は、傾斜地上 A 点にあつて丁度かぞえられることになる。スリットの中は、C 点、D 点ともに S であり、 $OD > OC$ であるから、 r の増大につれて、 θ はより小なる θ' に変つてゆく。



第7図
Fig. 7 Pendel-Relaskop



第8図
Fig. 8 Spiegel-Relaskop

1) みかけ上の直径の R は、実際の直径を $\sec \frac{\theta}{2}$ で除したものとしてえられるわけであるが、実行上は両者を近似量にひとしいとして処理している。つぎの x についても同様。

IV 実験結果

断面積常数を4とした第5図に示すような計器をもちいて、東大千葉県演習林において実験した結果はつぎのとおりである。対象林分(A~F)はそれぞれスギあるいはヒノキの同令単純林であり、林地の傾斜は $15^{\circ}\sim 30^{\circ}$ 程度であつた。対象林分の現況は第2表のとおりである。

第2表 Table 2

林地 Stand	樹種 Species of Trees	林令 Age	ha 当り本数 Stem Number per ha	平均直径 Mean of D.B.H.	地位 ¹⁾ Site Quality of Locality
A	スギ	48	1100	20 cm	中
B	スギ	57	650	30	中一下
C	ヒノキ	53	1050	26	中
D	スギ	53	1200	24	中
E	スギ	30	3200	12	中
F	スギ	17	4100	3	中

第3表において、(I)は抽出した6個の標本点での記録本数であり、その平均値が(II)に示され、その値を4倍したものが(III)である。(III)の推定値と比較するために、対象林分を

第3表 Table 3

林地 Stand	(I) 記録本数 Number of Counting	(II) \bar{x} Mean Value	(III) B-法による推定値 Estimate by BITTERLICH'S Method	(IV) 実測値 Actual Measurement	(V) $\hat{\sigma}_x$	(VI) 本数の信頼区間 Confidence Interval on Counting	(VII) 断面積の信頼区間 Confidence Interval on Basal Area
A	10, 9, 13, 10, 11, 12	10.83	43.3 m ²	42.9 m ²	0.60	10.2~11.4	40.8~45.6
B	12, 13, 14, 14, 11, 12	12.66	50.7	51.3	0.50	12.2~13.2	48.8~52.8
C	13, 15, 13, 14, 13, 15	13.83	55.3	56.1	0.40	13.4~14.2	53.6~56.8
D	14, 14, 14, 15, 15, 18	15.00	60.0	59.6	0.63	14.4~15.6	57.6~62.4
E	9, 9, 9, 12, 8, 7	9.00	36.0	34.5	0.68	8.3~9.7	33.2~38.8
F	3, 4, 6, 8, 8, 7	6.00	24.0	23.8	0.86	5.1~6.9	20.4~27.6

毎木調査してえられた結果を ha 当りに換算した値が(IV)である。(III),(IV)は、それぞれ、ほとんど同じような値を示している。信頼限界として、標本平均の両側にその標準偏差をとると(信頼度 68%)、本数については(VI)、したがつて、胸高断面積については(VII)がもとめられる。

V 考 察

傾斜に対する計算上の修正は、実用上なかなか厄介と思われる。実際に傾斜角を測定し、その Secant を数表からもとめて、幾桁かの数値を乗ずるということは、それほど容易ではないし、また、それにはいくえにも近似という不愉快な段階をへることになるからである。第5図に示すように、計器上の修正をすることによつて、計算修正の不便をのぞくこと、換言すれば、傾斜地

1) 東大千葉県演習林林況調査簿による。

においても平地上と同様に、たゞ、かぞえるという操作のみで推定を可能ならしめることは、この方法の迅速性をより増大させるだろう。なお、このような計器に、スリットの巾 S あるいは OC (第6図参照) が自由に調節できるような簡単な装置がとりつけられれば、その有用性は更に増すと思われる。

実行上の問題に関連して、計器を覗いたさい、臨界角度のなかに何本かの樹木がかさなりあつてふくまれる場合や、あるいは、標本点が林縁にとられたような場合には、その推定はマイナスの方向に偏りをもつてしまうから、なんらかの補正手段をこうずることが必要とされるだろう。前者は、前方の樹木のかげになつているために、当然かぞえられるべき樹木が見落されてしまう危険に対してであつて、われわれは、かくれている樹木の直径を輪尺で測定し、その値 (cm 単位) に 0.25 を乗じた値 A と、その樹木から標本点迄の水平距離 (m 単位) B とを比較して、採択あるいは棄却の判定をした。A > B ならば、その樹木は採択するわけである。或はまた標本点を適当にずらして見通すことも、實際上さしつかえない手段と思われる。BITTERLICH も、このような2手段を提示している。後者に対しては、あらためて標本点をえらびなおすのが実際的ではないかと思う。

第3表の (III), (IV) の各値をそれぞれ x_i, y_i ($i=1, 2, \dots, 6$) とし、 $\left(\frac{x_i - y_i}{y_i}\right) = z_i$ とおいて、2つの方法間の差の検定をおこなつてみると、その母平均 = 0 という仮説のもとに、 t_0 は 0.22 という小さな値を示すにすぎない。(IV) の各値は、相当正確な推定値と看做してさしつかえないし、しかも、この実験において、われわれは、1標本点当りの測定に5分程度の時間を要したのにすぎないから、BITTERLICH 法は非常に効率のよい推定方法と考えられるだろう。

VI 参 考 文 献

- 1) BITTERLICH, W. : Die Winkelzählprobe. Forstwissenschaftliche Centralblatt, 71 (7/8), 215—225. 1952.
- 2) BITTERLICH, W. : Das Relaskop. Allgemeine Forst- und Holzwirtschaftliche Zeitung, 60 (5,6) 41—42. 1949.
- 3) BITTERLICH, W. : Das Spiegel-Relaskop. Österreichs Forst- und Holzwirtschaft, 7 (1), 3—7. 1952.
- 4) GROSENBAUGH, L. R. : Plotless Timber Estimates - New, Fast, Easy. Journal of Forestry, Jan, 32—37. 1952.
- 5) GROSENBAUGH, L. R. : Shortcuts for Cruisers and Scalers. Southern Forest Experiment Station, Occasional Paper 126, March 1952.
- 6) KEEN, E. A. : The Relascope. Empire Forestry Review, 29, 253—264. 1950.
- 7) HUMMEL, F. C. : Instruments for the Measurement of Hight, Diameter, and Taper on Stand-

1) この実験では p を 50 としたから、cm 単位の直径値に 0.25 を乗じ値が、B を m 単位で示すことになる。この手段は判定が明瞭になしえない場合にも、もちいられるだろう。

ing Trees. Forestry Abstracts, 12 (3), 261—269. 1951.

8) MASUYAMA, M. : A Rapid Method of Estimating Basal Area in Timber Survey — an Application of Integral Geometry to Areal Sampling problems. *Sankhyā*, 12, 291—302. 1953.

9) 木梨謙吉 : 新しい林分材積測定法. *林業経済*, 5 (5), 28—31. 1952.

10) 甲斐原一朗 : 新しい森林蓄積の調査法. *農業統計研究*, 1 (1), 16—36. 1953.

Résumé

A method —Die Winkelzählprobe— to estimate basal area without measuring or guessing plot radius or tree diameter was proposed by Dr. W. BITTERLICH of Austria in 1948. This is an unique and original method because the point-sampling technique is ingeniously applied in it. In 1952, this method was widely introduced by Dr. L. R. GROSENBAUGH of U. S. A. as "Variable plot radius method".

In this paper, the writers reiterate the method, and introduce additional experimental results obtained at the Tokyo University Forest in Chiba. Moreover, they propose a new operation applicable on a slope. Already several years ago, Dr. W. BITTERLICH invented a Pendel-Relaskop or a Spiegel-Relaskop and made them public. Instrument mentioned here is devised from the another stand point, different from the former.

Fig. 5 shows the angle-gauge which is fitted with a slit with the same width as a crossarm, standing vertically at the end of a base-stick. We can peep a breast-height through either upper- or lower-side of a slit according to degree of slope. In Fig. 6, let R be a tree diameter corresponding with the critical angle θ at B on the even level with O . Let γ be the dip, and let x be a tree diameter just contained within the visual angle; then at A , AB is vertical for OB . Now, $OD = OC \sec \gamma$ and $OA = OB \sec \gamma$, and OC/OB and OD/OA are equal to S/R and S/x , respectively. Moreover, OC/OB being equal to OD/OA , then x is equal to R . Namely, tree counted at B comes to be counted at A on a slope. As a slit has the uniform width and OD is larger than OC , θ will be changed into smaller θ' with increasing the dip γ .

Table 3 shows experimental results obtained by using the angle-gauge which is shown in Fig. 5. The objective stands were artificially reproduced even-aged ones composed of Sugi (*Cryptomeria japonica*) and Hinoki (*Chamaecyparis obtusa*) and about 30~60 years old, with a slope of about $15^\circ \sim 30^\circ$.