

電子計算機によるビッテルリッヒ法のシミュレーション

高 田 和 彦

(1966年6月受付)

A Computer Technique for the Study of Point Sampling

Kazuhiko TAKATA

HIPAC 103 computer was used for the simulation of point sampling concerning with the three mapped stands (two artificial stands -a cryptomeria and a larch -and one natural stand -a spruce and a fir). 100 (the cryptomeria stand) or 1000 (the larch and the natural stands) sampling points were located at random and the values of basal area factor were 2, 2.5, 3.0, 3.5 and 4.

The analytical and simulation results are summarized as follows.

- (1) The relation between the coefficient of variation (CV) and the basal area factor can be determined by the formula

$$CV = a + b\sqrt{BAF}$$

or

$$\log CV = a + b \log BAF$$

- (2) The bias due to sampling points located within the tree basal area was negligible small.

Faculty of Agriculture, Niigata University

I. は じ め に

Bitterlich 法が提案されてから既に 18 年の年月を経、その間多くの人々により論議されて来たが、その精度は測定対象林分と用いる断面積乗数によりかなりの変異を示すこと（したがってこの変異についての法則性の解明には林分に多くの標本点を落し、種々の断面積乗数を用いて測定する必要があり、このような測定はなかなか実行困難であった）および最近石田¹⁾により取り上げられた測定点が樹木断面内または樹木に至近の距離内に落ちたために測定不能となった場合の bias の order の決定の必要性（これに対する解答の 1 つの試みとして南雲²⁾、高田³⁾ の論文がある）の 2 点について問題点を残していた。

この 2 点を解決するためにスギ林分（熊本営林局大矢国国有林 7 林班か小班）、カラマツ林分（長野営林局浅間国国有林 30 林班に小班）、エゾ、トド林分（旭川営林局上トマム国国有林 247 林班い小班）に直径 70 m の円型プロットを設定し、プロット内全樹木の胸高直径測定と樹木位置図の作製をなし、 x 座標と y 座標よりなる樹木位置と胸高直径の値を電子計算機に記憶させ、random に落した測定可能点よりの測定を電子計算機に行わせ、各林分についての用いた断面積乗数と精度との関係（この問題については高田⁴⁾ は 1 林分当り組織的な 49 の標本点について既に手計算による結果を発表しているが、これは林縁の bias の除去の方法が異なるた

めに幾分異なった値となっている) および測定不能な測定点を除くことにより生ずる bias の order を決定することにした。

用いた電子計算機は統計数理研究所の TSK III (HIPAC 103 4K を主体とするもの) であり, 石田正次氏の指導のもとで行ったものである。

II. 資 料

各林分のプロット内全樹木本数, 平均胸高直径, 標準偏差, 変異係数, ha 当り胸高断面積合計は表 1 に示す通りである。

表 1 各林分の統計量

林 分	本 数	\bar{D} cm	σ cm	CV %	G/ha m ²
ス ギ	652	21.7	4.2	19.4	64.8356
カ ラ マ ツ	89	36.2	4.9	13.5	24.2012
エゾ, トド	136	31.3	20.0	63.8	38.3666

III. 方法および結果

計算機に記憶させた胸高直径の値より母集団についての平均胸高直径, 胸高直径の標準偏差, 変異係数および ha 当り胸高断面積合計を求めた (これが表 1 の値である)。

ついで周辺効果の bias をさけるために, 用いる断面積乗数に対応する直径拡大率を求め, 平均胸高直径にこの拡大率を乗じた幅をプロット周囲より内側にとりこの中に標本点は落さないこととした (樹木位置図を用いての Simulation では周辺効果は完全に除去することが出来るが, 本稿ではあくまでも実際の調査にあわせるためにこのような方法をとったのである)。

標本点は電子計算機に A-D converter で直結した乱数発生機より等確率で発生した 0~4095 の 2 組の数値より x, y 座標が決められ, 標本点が樹木の中心より (樹木半径 +0.5 m) の円内に入る時はその標本点は測定不能であるとして棄却し, 有効標本点は計算時間を考慮した上 (用いた計算機の計算時間は + は 0.4~1.3 ms, × は 1.8 ms, ÷ は 5.7 ms であり, カラマツ林分で 1 つの断面積乗数で 1,000 標本点の計算時間は約 80 分であった), スギ林分では 100 点, カラマツ林分, エド, トド林分では 1,000 点とした。

各標本点で断面積乗数 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0 を用いて測定を行った場合に対応する計算を行い, 各断面積乗数での count 数の平均値, 標準偏差, 変異係数, ha 当り胸高断面積の推定値 (=平均値×断面積乗数), 真の ha 当り断面積と推定値との差 d を

(A) 有効標本点のみの場合 (すなわち樹木に近い地域内に入る標本点 (無効標本点) を除いた場合)

(B) 無効標本点での測定値をも用いた場合 (すなわち樹木に近い地域での標本点での測定値をも考慮した場合)

の 2 つにわけて求めた。(この計算の流れ図は付録に示してある) これらの結果を表 2 に示す。尚参考までに無効標本点数を最後の欄に示した。

表 2 より, 各林分における各断面積乗数により ha 当り胸高断面積推定値が母集団値と有意差があるか否かを検定すると, カラマツ林分の断面積乗数 3.0 と 3.5 およびエゾ, トド林分のすべての断面積乗数で有意差が認められた。

この原因をみると本資料は面積が狭いために周辺効果の bias を除去する方法の影響が大となり, 特にエゾ, トド林分ではプロット周辺に樹木が集る傾向がみられたために一般に過小推定となり, このような結果となったものと思われる。したがって測定対象面積が大きくなると

表 2 各林分における Bitterlich 法による推定値等

B.A.F.	A					B					無効標 本点数
	平均値	σ	CV %	G/ha m ²	Δ m ²	平均値	σ	CV %	G/ha m ²	Δ m ²	
ス ギ											
2.0	31.960	3.289	10.3	63.920	-0.916	32.378	3.391	10.5	64.756	-0.079	19
2.5	26.000	3.382	13.0	65.000	0.164	25.992	3.279	12.6	64.979	0.143	18
3.0	21.520	3.463	16.1	64.560	-0.276	21.646	3.420	15.8	64.922	0.086	28
3.5	18.440	2.903	15.7	64.540	-0.296	18.600	2.834	15.2	65.100	0.264	25
4.0	16.150	2.913	18.0	64.600	-0.236	16.346	2.724	16.7	65.382	0.547	36
カ ラ マ ツ											
2.0	12.064	2.064	17.1	24.128	-0.073	12.081	2.064	17.1	24.161	-0.040	30
2.5	9.557	2.012	21.1	23.893	-0.309	9.579	1.990	20.8	23.946	-0.255	44
3.0	7.889	2.049	26.0	23.667	-0.534	7.921	2.038	25.7	23.762	-0.440	32
3.5	6.832	2.094	30.7	23.912	-0.289	6.858	2.074	30.3	24.002	-0.199	42
4.0	5.817	1.925	33.1	23.268	-0.933	5.850	1.921	32.8	23.399	-0.802	39
エ ゾ, ト ド											
2.0	17.731	3.581	20.2	35.462	-2.905	17.754	3.556	20.0	35.508	-2.959	44
2.5	13.617	3.547	26.1	34.043	-4.324	13.699	3.544	25.9	34.248	-4.119	47
3.0	12.513	3.283	26.2	37.539	-0.828	12.577	3.289	26.2	37.730	-0.636	42
3.5	10.099	3.125	31.0	35.347	-3.020	10.134	3.114	30.7	35.469	-2.898	38
4.0	9.157	2.928	32.0	36.628	-1.739	9.235	2.942	31.9	36.938	-1.429	62

この bias の問題はさけられるが、面積が小さい時は十分気をつける必要がある。

測定不能のために測定点を樹木附近に落さなかったことの影響は推定値と母集団値との差からみるとスギ林分の断面積乗数 4.0 とエゾ、トド林分の断面積乗数 2.0 の 2 つの場合にのみ樹木附近に測定点を落さなかったために差が小さくなっているが他の場合は何れも差は大となっている。しかしその差は僅かであり、ここで用いた資料のような条件のもとでは考慮する必要はないものと思われる。

用いる断面積乗数と測定精度との関係については高田⁵⁾は

$$\log CV = a + b \log BAF \tag{1}$$

ここで CV は変異係数

BAF は断面積乗数

を提案し、また M. N. PAUEY と W. G. OREGAN⁶⁾は

$$CV = a + b(1/k) \tag{2}$$

ここで $k = \sqrt{10000/BAF}$

を示している。(2) 式は

$$\sigma ak$$

$$\bar{x}ak^2$$

であるので

$$CV = \sigma/\bar{x}a1/k$$

となることから妥当と思われる。いま、表 1 の資料に (1) 式と (2) 式をあてはめてみるとつぎに示す式および標準偏差 σ がえられる。

	(1) 式	σ	(2) 式	σ
スギ	A $\log CV = 0.7983 + 0.7721 \log BAF$	1.02	$CV = -6.70 + 1240.9(1/k)$	0.95
	B $\log CV = 0.8372 + 0.6627 \log BAF$	1.02	$CV = -3.57 + 1032.3(1/k)$	0.99
カラマツ	A $\log CV = 0.9367 + 0.9886 \log BAF$	0.79	$CV = -23.03 + 2830.6(1/k)$	0.65
	B $\log CV = 0.9378 + 0.9772 \log BAF$	0.73	$CV = -22.43 + 2780.8(1/k)$	0.66
エゾトド	A $\log CV = 1.1291 + 0.6423 \log BAF$	1.49	$CV = -6.41 + 1950.6(1/k)$	1.43
	B $\log CV = 1.1231 + 0.6494 \log BAF$	1.41	$CV = -6.69 + 1957.5(1/k)$	1.35

これよりみると(2)式の方が(1)式よりその差は僅かであるが精度がよく、式の標準偏差も平均値の約5%以内である。そこで、任意の2つの断面積乗数に対する変異係数がわかったならば(1)式または(2)式より直ちに任意の他の断面積乗数に対する変異係数を求めることが出来、したがって必要精度をうるための標本点数も求められる。

IV. おわりに

3林分についての結果をのべたが、樹木位置図と胸高直径の測定値さえあれば上述の検討事項の究明は本稿で用いたプログラムを用いて容易に出来るので、我が国の主要各種林分について行いそれらの林分について Bitterlich 法を用いる時の標本点数と断面積乗数等の関係等を導き、今後 Bitterlich 法使用の際の1つの指針としたいと願っている。

最後に御指導頂いた統計数理研究所石田正次氏および御協力頂いた大石典子嬢に厚く御礼申し上げます。
(新潟大学 農学部)

参考文献

- 1) 石田正次：サンプリングの考え方，日林協 1965.
- 2) 南雲秀次郎：W. Z. P. における測定不能面による Bias 日林誌 48(1) 1966.
- 3) 高田和彦：Systematic Forest における Bitterlich 法の Bias 新潟農林研究 No. 18, 1966.
- 4) 高田和彦：ビッターリッヒ法の断面積乗数と標本点数との関係，北方林業 No. 198, 1965.
- 5) 高田和彦：1変数材積表に関する研究，熊本宮林局，1962.
- 6) Palley M. N. & W. G. Oregon: A Computer Techniques for the Study of Forest Sampling Methods. (1) Point Sampling Compared with Line Sampling. Forest Science 7(8) 1961.

【付録】電子計算機プログラム流れ図

本計算の流れ図を次に示す。

石田式乱数発生機はこの場合 0~4095 の数値を等確率で発生させることにした。

始めに読み込ませる変数はつぎの通りである。

- X(I) : 樹木 I の x 座標の値
- Y(I) : 樹木 I の y 座標の値
- D(I) : 樹木 I の胸高直径
- N : 樹木数
- AREA : 測定対象面積
- BAH : 断面積乗数
- R : 調査プロット半径
- N1 : 標本点での count 数分布範囲
- X2, Y2: プロットの中心座標
- R1 : $(2048)^2$
- M : 有効標本点数



