

琉球大学学術リポジトリ

ビッターリッヒ法による幼令リュウキュウマツ林分の材積および立木本数の推定

メタデータ	言語: 出版者: 琉球大学農家政工学部 公開日: 2011-04-25 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 砂川, 季昭 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12000/19315

ビッターリッヒ法による幼令リュウキュウ マツ林分の材積および立木本数の推定

砂 川 季 昭*

Sueaki SUNAKAWA: Estimate of the volume and the tree number
of young Ryukyu-matsu (*Pinus luchuensis* Mayr)
forest by the Bitterlich method.

I 緒 言

表題に関連する調査は、1962年に立木位置図を作製しての検討と Double Sampling による調査を壮令広葉樹林分についておこなったが、大標本の平均値として、前者は真の平均値を、使用した。この場合、上記何れの調査においても、ビッターリッヒ調査に使用した測定器の断面積定数は4であった。

今回は特に、胸高断面積定数 1 および 4 の両者について、本数密度の異なるリュウキュウマツ幼令林分において、それぞれ精度を検討したので、その結果を報告する。

II 調査林分の概況

本調査地は、琉球林業試験場のリュウキュウマツ本数密度試験地で(沖縄本島北部南明治山試験地) 3000 本区・6000 本区・9000 本区の3区に区分けされ、1957年に直播造林をおこなっているので調査時(1963年8月)は6年生の林分である。

III 調査方法

調査地は、20~30°の西傾斜面で、南北に長く、東西に短かく、面積約 1.2 ha の林地に 3000 本区・6000 本区・9000 本区の林分が成立している。

この調査地を、第1図のごとく、10 m² のブロック 80 個に区分し、その内林縁の 4 個を除いた 76 個のブロックについて、毎木調査とビッターリッヒ調査をおこなった(3000 本区は No. 1~No. 35, 6000 本区は No. 37~No. 73, 9000 本区は No. 74~No. 80)。

毎木調査は、胸高直径のみを測定し、ビッターリッヒ調査は、各ブロックの中心部において、胸高断面積定数 1 および 4 の手製の測定器を使用しておこなった(4 倍のものは、ゲージの幅 2 cm, 器械長 50 cm, 1 倍のものは、ゲージの幅 1 m, 器械長 50 cm)。

* 琉球大学農家政工学部林学科

	3	2	1		
	6	5	4		
	9	8	7		
	13	12	11	10	
	17	16	15	14	
	21	20	19	18	
	25	24	23	22	
	30	29	28	27	26
	35	34	33	32	31
	41	40	39	38	37
	47	46	45	44	43
58	52	51	50	49	48
64	57	56	55	54	53
	63	62	61	60	59
	69	68	67	66	65
	73	72	71	70	
	77	76	75	74	
	80	79	78		



IV 調査結果および考察

毎木調査によるブロック別胸高直径別立木本数は第1表に、ビッターリッヒ調査によるブロック別胸高直径別胸高断面積定数別立木カウント数は第2表に、第3表には、第1表および第2表の立木本数を、ha 当りに換算したものが記載されている。

第3表によると、毎木調査の結果は、3000 本区においては、1400 本~3500 本で、平均 2430 本；6000 本区においては、1300 本~5700 本で、平均 4836 本；9000 本区においては、6700 本~8400 本で、平均 7700 本となっていて、全体では 1300 本~8400 本で、平均は 3842 本となる。なお、3000 本区、6000 本区、9000 本区の面積の比率は 33 : 36 : 7 である。

ビッターリッヒ調査では、3000 本区において： $c=4$ の場合、0 本~12,903 本で、平均 4005 本、毎木調査結果に較べての比較は 165%； $c=1$ の場合、199 本~6977 本で平均 3465 本、毎木調査結果に較べて比率は 143%。

6000 本区において： $c=4$ の場合、0 本~23,404 本で平均 6356 本、毎木調査結果に較べての比率は 131%； $c=1$ の場合、640 本~10,427 本で平均 5589 本、毎木調査結果に較べての比率は 116%。

9000 本区において： $c=4$ の場合、3454 本~13,385 本で平均 8193 本、毎木調査結果に較べての比率は 106%； $c=1$ の場合、2209 本~8523 本で平均 4536 本、毎木調査結果に較べての比率は 59% となっている。

第1図 ブロック配置図

第4表には、ブロック別調査別の ha 当り材積を記載してある。この表で、毎木調査による立木の材積は、琉球林業試験場高江洲重一氏の同試験地について調製された材積表（材積式は $V=0.00026 D^{2.00826}$ ）を使用し、ビッターリッヒ法による材積は比推定によって算出した。すなわち、

$$V = \frac{v}{g} G \tag{1}$$

によった。ここで、

V は、ビッターリッヒ法による ha 当り材積、

v は、ブロックの毎木調査による材積、

g は、ブロックの毎木調査による胸高断面積、

G は、ビッターリッヒ法によって算出された ha 当り胸高断面積

である。なお、 v/g の値は第5表に計算してある。

第4表によると、毎木調査の結果は、

3000 本区で、 $8.423 \text{ m}^3 \sim 30.033 \text{ m}^3$ で平均 20.135 m^3 ；6000 本区で、 $13.955 \text{ m}^3 \sim 49.070 \text{ m}^3$ で平均 32.282 m^3 ；9000 本区で、 $37.514 \text{ m}^3 \sim 61.890 \text{ m}^3$ で平均 49.643 m^3 となっていて、全体では、 $8.423 \text{ m}^3 \sim 61.890 \text{ m}^3$ で平均 28.607 m^3 である。

ビッターリッヒ調査では、

3000 本区において： $c=4$ の場合、0~67.80 m^3 で平均 35.81 m^3 、毎木調査結果に較べての比率は

第1表 ブロック別胸高直径別立木本数一覧表 (1)

胸高直径 ブロック	胸高直径													計
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
1	6	3	2	2	2	4	3							23
2	2	6	8	5	6	2	2							31
3		2	4	5	5	4	2							22
4		3	4	4	6	6	6							29
5	1		8	6	3	3	3	1						25
6	1		3	4	2	11	6	2	1					30
7	2	1	4	5	5	4	2	1						24
8	1	1	5	7	5	2	1	1						22
9	1	2	2	3	6		2	1	2					19
10		5	4	3	10	4	3	1			1			31
11			4	4	7	1	1	5						22
12		2	2	3	3	7	5	5	2					29
13		2	5	1	5	2	2	5	2	1				25
14	1	3	1	3	4	6	1	1			1			21
15	3	2	1	4	6	3	2	1						22
16	2	1	1	6	5		1	3	2	2				23
17	1	1	3	3	6	5	1	4	1	1	1			27
18		2		3	3	8	3	2	1					22
19	1		3	2	3	4	3	5	1					22
20	1	4	2	4	6	3	3	2	2					27
21	1		4	5	6	5	5	2	1		1			30
22		2	6	3	6	8	1							26
23	1	2	4	2	4	5	2		1	1				22
24	1	3	1	1		3	2	2	1					14
25	1	3		5	1	1	2	1						14
26		1	1	5	3	5	5	5	1					26
27		1		2	3	4		3	3	1	1			18
28		1	1	3	3	3	3	4	3	1	1			23
29			4		6	4	4	1	3	2				24
30	3		3	6	2	9	5	2	1					31
31		3	2	6	6	4	1	2	2					26
32		3	5	5	5	3	6	1	3	3	1			35
33			4	4	1	3	2	3						17
34		4	2	5	2	14	11	3	4		1			46
35	1	4	4	6	9	8	6	1	3					42
37		1	2	13	1	9	4	5	2	1	1			39
38	3	3	9	4	4	4		2	2					31
39		4	3	7	5	5	5	3	1					33
40	1	3	5	7	6	8	7	6	1		1			45
41	2	2	3	8	4	7	4	3				1		34
43		8	10	12	6	9	9	3						57

第1表 ブロック別胸高直径別立木本数一覧表(2)

胸高直径 ブロック	胸高直径													計		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13			
44			4	6	5	4	11	3	3	3						39
45			5	8	4	5	8	7	2			1				40
46			3	7	1	3	5	2	7	1	1	1	1			32
47			1	3	2	6	6	2	3	4	1			1		29
48			6	8	8	4	14	5	3							48
49	4		6	5	13	5	6	6	2							47
50	3		1	7	8	12	13	3				1				48
51	1			6	7	6	5	8	3	4	1					41
52				3	2		3	3	1				1			13
53			9	9	14	6	6	7	2	3						56
54			1	10	19	9	7	7	3							56
55			8	4	12	12	3	5	3	1						48
56			5	3	14	7	8	6	5	2						50
57			7	5	7	3	4	9	6			2				43
59			4	7	5	4	7	4	4	1	1					37
60	2		8	14	7	4	4	5	1							45
61			9	10	13	9	1	5	3	1	1					52
62			5	4	9	16	9	3	4	1						51
63			5	5	7	6	4	8	4	2						41
65	2		6	3	4	11	17	2	4	3	1					53
66	1		6	8	7	10	4	4	3	2						45
67	1		3	3	7	13	7	8	4	1						47
68	3		3	9	9	11	5	3		1						44
69				6	10	12	3	4	2			1				38
70	2		13	12	7	4	8	3								49
71	11		14	13	8	5	2	1		1						55
72	6		4	8	9	15	10	3	3							53
73	2		4	13	16	6	6	4	1							52
74	7		12	23	15	13	8	6								84
75	10		16	15	14	10	6	5	3	1						80
76	8		1	8	20	12	9	4	3	2						67
77	6		4	6	13	23	13	6	5	2						78
78	5		6	10	20	15	13	10	5							84
79	11		5	8	17	6	12	6	8	3		1				77
80	3		3	6	14	7	20	6	4	2	3	1				69
計	125	276	414	533	470	467	309	195	87	25	13	3	1			2920
内訳	3000 本区	30	60	101	124	144	136	90	65	33	12	7				802
	6000 本区	45	169	237	296	240	250	176	102	44	10	6	3	1		1579
	9000 本区	50	47	76	113	86	81	43	28	10	3	2				539

第2表 ビッターリッヒ調査によるブロック別胸高直径別立木カウント数一覧表 (1)

ブロック 番号	直径													合計	
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	4	1	
1		1	1	3									1	4	
2	1	1			1	1							1	3	
3				1	1	2	2	1	1				2	6	
4				1	1	1	2	3	6				4	10	
5					1	1	2						0	4	
6					1	2	1	4	1	2	1		2	10	
7			1	1	1	1	1	1	2				3	6	
8				2	1	3	1	1	1				3	7	
9			1		1		1	2	1	1	2		2	7	
10					2	1	3	1	2				2	8	
11			1				1	1	1	4		1	2	6	
12				2		1	1	1	3	1	5	1	3	12	
13								2	3	5	2	2	5	10	
14						2	3	1	1			1	1	6	
15		1	1		2	3	1	1	1				3	8	
16				1	2	2				2	1	2	3	9	
17					2	2	1	1	2	1	1	1	5	9	
18		1		1		2	1	1	1				0	7	
19			1		1	1	1	2	4	1			1	10	
20					2	1	1	2	1	2	1	2	4	9	
21			1	1	1	1	2	1	2				4	10	
22				2		1	2	4	1				2	8	
23					1	2	2	5	2		1	1	3	11	
24						1	2	1	2	1	2		3	7	
25									1				0	1	
26				1	1	1	1	2	1	3	5	1	3	13	
27					1		2		2	3	2	3	4	11	
28				1	1	2	2	1	4	3	1	1	3	15	
29					2	5	2	2	1	1	1	3	5	15	
30				1	1	1	2	5	1	3	2	1	3	13	
31		1		2	1	1	2				1	2	2	8	
32			1	1	1	1	1	1	4		1	2	4	14	
33			2	1	1		1	2	2	3			2	10	
34							3	3	6	2	2	4	5	17	
35			1	1	1	2	1	1	4	1	1	2	5	13	
37				1	2		2	6		2	4		5	12	
38					1	1	1		2	2	1	1	4	6	
39			1	1	1	2	2	3	2	3	1	1	6	11	
40			1	1	1	1	2	1	4	3	3	2	10	18	
41				1	1	1	2	1	1	3	1	3	4	12	
43					3	2	1	5	2	4			3	15	

第3表 調査別ブロック別 ha 当り立木本数一覧表

No.	every tree measurement	Bitterlich measurement		No.	every tree measurement	Bitterlich measurement	
		c=4	c=1			c=4	c=1
1	2300	1133	1039	40	4500	6672	14845
2	3100	4089	12903	41	3400	5041	4229
3	2200	2780	4212	43	5700	6406	3491
4	2900	3570	5158	44	3900	4208	4915
5	2500	1380	0	45	4000	6669	5532
6	3000	2811	1834	46	3200	3494	3914
7	2400	3586	4493	47	2900	2961	2189
8	2200	3731	6255	48	4800	10427	23404
9	1900	2952	1834	49	4700	8350	7159
10	3100	2704	2452	50	4800	9606	7366
11	2200	2465	1834	51	4100	6566	5181
12	2900	3873	3247	52	1300	640	354
13	2500	1956	3643	53	5600	3347	629
14	2100	1623	3247	54	5600	9377	6280
15	2200	6977	5121	55	4800	2092	5121
16	2300	2780	4711	56	5000	6237	3631
17	2700	2420	5927	57	4300	1995	1305
18	2200	5342	0	59	3700	4000	3876
19	2200	3745	1039	60	4500	2759	2041
20	2700	2605	3876	61	5200	4474	7561
21	3000	4692	7424	62	5100	5846	6534
22	2600	5000	2826	63	4100	7480	13095
23	2200	3589	4867	65	5300	5873	13632
24	1400	1781	3247	66	4500	8648	8308
25	1400	199	0	67	4700	6753	10726
26	2600	3942	5627	68	4400	9560	11254
27	1800	2800	2848	69	3800	7383	5003
28	2300	4029	1726	70	4900	9802	0
29	2400	4700	6016	71	5500	3066	0
30	3100	4404	3865	72	5300	5336	11122
31	2600	6344	2042	73	5200	4933	7668
32	3500	4906	5264	74	8400	8523	7712
33	1700	5435	4588	75	8000	2209	3454
34	4600	3750	4375	76	6700	2695	8743
35	4200	5286	5133	77	7800	5588	13385
37	3900	4502	7591	78	8400	3870	6748
38	3100	2212	3632	79	7700	3585	4670
39	3300	5261	7740	80	6900	5281	12638

第4表 ブロック別調査別 ha 当り材積一覧表

ブロック 番号	毎木調査 (m ³)	ビッターリッヒ調査 (m ³)		ブロック 番号	毎木調査 (m ³)	ビッターリッヒ調査 (m ³)	
		定数 4	定数 1			定数 4	定数 1
1	11.007	13.76	13.68	40	40.996	135.60	61.20
2	13.255	14.00	10.20	41	28.008	54.72	40.92
3	13.083	27.20	20.34	43	37.892	40.92	51.00
4	20.587	54.40	33.90	44	32.637	67.60	43.94
5	15.008	0	13.60	45	30.988	54.40	37.40
6	27.744	27.44	33.80	46	35.731	81.84	40.80
7	14.742	40.92	20.34	47	34.888	53.76	43.94
8	10.862	40.56	23.87	48	33.741	67.40	44.20
9	14.555	27.44	23.59	49	27.828	95.20	61.02
10	22.145	27.52	27.28	50	32.914	81.36	61.38
11	18.148	27.44	20.46	51	40.005	81.36	64.22
12	30.033	41.16	40.80	52	13.955	13.68	10.26
13	25.181	67.40	33.90	53	37.755	13.24	30.33
14	16.552	40.80	20.46	54	37.590	54.08	64.41
15	13.436	41.16	27.36	55	31.572	41.16	20.46
16	22.323	40.20	30.42	56	40.196	40.56	50.70
17	27.128	67.80	30.51	57	38.162	27.28	30.69
18	20.642	0	23.59	59	30.494	54.24	44.07
19	22.042	13.76	33.90	60	21.978	13.32	23.80
20	21.094	54.24	30.42	61	32.297	81.36	37.29
21	27.243	54.24	34.00	62	37.506	54.88	57.63
22	15.912	26.96	27.20	63	34.095	81.60	37.40
23	16.930	40.32	37.07	65	45.269	162.24	64.22
24	12.050	41.16	23.59	66	30.659	80.88	54.24
25	8.423	0	3.42	67	38.858	94.64	57.46
26	26.497	40.92	44.07	68	24.547	81.36	60.84
27	24.220	53.76	37.07	69	27.900	54.40	46.76
28	29.562	40.96	50.70	70	21.539	0	20.52
29	27.466	67.60	50.70	71	16.944	0	13.48
30	25.415	40.80	43.94	72	31.646	81.36	30.69
31	20.156	26.80	26.80	73	27.089	54.24	27.20
32	37.063	54.08	47.46	74	37.514	40.80	47.60
33	13.959	27.04	33.90	75	37.702	27.12	16.90
34	49.070	67.40	54.08	76	41.978	94.64	30.42
35	33.560	67.40	43.81	77	56.000	122.40	57.80
37	39.386	67.40	40.80	78	55.783	81.60	40.80
38	18.416	53.92	20.16	79	56.632	54.40	37.74
39	26.048	81.36	27.40	80	61.890	108.48	47.46

第5表 調査別, ブロック別の材積と胸高断面積の比一覧表

No.	every tree measurement	Bitterlich measurement		No.	every tree measurement	Bitterlich measurement	
		c=4	c=1			c=4	c=1
1	3.40	3.44	3.42	40	3.40	3.39	3.40
2	3.37	3.50	3.40	41	3.39	3.42	3.41
3	3.40	3.40	3.39	43	3.40	3.41	3.40
4	3.40	3.40	3.39	44	3.38	3.38	3.38
5	3.40		3.40	45	3.40	3.40	3.40
6	3.39	3.43	3.38	46	3.40	3.41	3.40
7	3.40	3.41	3.39	47	3.38	3.36	3.38
8	3.39	3.38	3.41	48	3.39	3.37	3.40
9	3.38	3.43	3.37	49	3.39	3.40	3.39
10	3.40	3.44	3.41	50	3.40	3.39	3.41
11	3.41	3.43	3.41	51	3.38	3.39	3.38
12	3.39	3.43	3.40	52	3.41	3.42	3.42
13	3.39	3.37	3.39	53	3.38	3.31	3.37
14	3.40	3.40	3.41	54	3.39	3.38	3.39
15	3.40	3.43	3.42	55	3.39	3.43	3.41
16	3.39	3.35	3.38	56	3.39	3.38	3.38
17	3.40	3.39	3.39	57	3.40	3.41	3.41
18	3.39		3.37	59	3.39	3.39	3.39
19	3.40	3.44	3.39	60	3.39	3.33	3.40
20	3.38	3.39	3.38	61	3.39	3.39	3.39
21	3.39	3.39	3.40	62	3.39	3.43	3.39
22	3.40	3.37	3.40	63	3.39	3.40	3.40
23	3.39	3.36	3.37	65	3.39	3.38	3.38
24	3.38	3.43	3.37	66	3.38	3.37	3.39
25	3.40		3.42	67	3.39	3.38	3.38
26	3.40	3.41	3.39	68	3.39	3.39	3.38
27	3.38	3.36	3.37	69	3.39	3.40	3.34
28	3.39	3.41	3.38	70	3.39		3.42
29	3.39	3.38	3.38	71	3.37		3.37
30	3.40	3.40	3.38	72	3.39	3.39	3.41
31	3.39	3.35	3.35	73	3.39	3.39	3.40
32	3.39	3.38	3.39	74	3.39	3.40	3.40
33	3.40	3.38	3.39	75	3.39	3.39	3.38
34	3.39	3.37	3.38	76	3.39	3.38	3.38
35	3.38	3.37	3.37	77	3.39	3.40	3.40
37	3.40	3.37	3.40	78	3.39	3.40	3.40
38	3.38	3.37	3.36	79	3.39	3.40	3.40
39	3.39	3.39	3.40	80	3.40	3.39	3.39

17.8%, 平均値の標準誤差は 3.21 m^3 , 95% の信頼区間は $29.26 \text{ m}^3 \sim 42.36 \text{ m}^3$;

$c=1$ の場合, $3.42 \text{ m}^3 \sim 50.70 \text{ m}^3$ で平均 29.46 m^3 , 毎木調査結果に較べての比率は 145%, 平均値の標準誤差は 5.21 m^3 , 95% の信頼区間は $18.82 \text{ m}^3 \sim 40.10 \text{ m}^3$ 。

6000 本区において: $c=4$ の場合, $0 \sim 162.24 \text{ m}^3$ で平均 62.12 m^3 , 毎木調査結果に較べての比率は 192%, 平均値の標準誤差は 5.56 m^3 , 95% の信頼区間は $50.77 \text{ m}^3 \sim 73.47 \text{ m}^3$;

$c=1$ の場合, $10.26 \text{ m}^3 \sim 64.41 \text{ m}^3$ で平均 42.46 m^3 , 毎木調査結果に較べての比率は 132%, 平均値の標準誤差は 7.18 m^3 , 95% の信頼区間は $27.80 \text{ m}^3 \sim 57.12 \text{ m}^3$ 。

9000 本区において: $c=4$ の場合, $27.12 \text{ m}^3 \sim 122.40 \text{ m}^3$ で平均 78.49 m^3 , 毎木調査に較べての比率は 158%, 平均値の標準誤差は 12.03 m^3 , 95% の信頼区間は $50.04 \text{ m}^3 \sim 106.94 \text{ m}^3$; $c=1$ の場合, $16.90 \text{ m}^3 \sim 57.80 \text{ m}^3$ で平均 39.77 m^3 , 毎木調査結果に較べての比率は 80%, 平均値の標準誤差は 5.03 m^3 , 95% の信頼区間は $27.87 \text{ m}^3 \sim 51.67 \text{ m}^3$ である。

第5表によると, 材積と胸高断面積の比は毎木調査の結果では,

3000 本区の場合, $3.37 \sim 3.41$ で平均 3.3922 ; 6000 本区の場合, $3.37 \sim 3.41$ で平均 3.3904 ;

9000 本区の場合, $3.39 \sim 3.40$ で平均 3.3912 , となっていて, 何の場合も平均値は 3.39 である。

ビッターリッヒ調査では,

3000 本区において: $c=4$ の場合, $3.35 \sim 3.50$ で (0 を除く) 平均 3.403 , 平均値の標準誤差は 0.06 ; $c=1$ の場合, $3.35 \sim 3.42$ で平均 3.391 , 平均値の標準誤差は 0.003 。

6000 本区において: $c=4$ の場合, $3.31 \sim 3.43$ で (0 を除く) 平均 3.387 , 平均値の標準誤差は 0.004 ; $c=1$ の場合, $3.34 \sim 3.42$ で平均 3.391 , 平均値の標準誤差は 0.003 。

9000 本区において: $c=4$ の場合, $3.38 \sim 3.40$ で平均 3.394 , 平均値の標準誤差は 0.003 ; $c=1$ の場合, $3.38 \sim 3.40$ 平均 3.393 , 平均値の標準誤差は 0.003 となっていて, ほとんど平均は 3.39 となる。

以上第1表～第5表についての記述を纏めて表示すると第6表のごとくなる。

次には, 第6表について考察を加えることにする。

1) ha 当り本数

毎木調査の結果では, 3000 本区, 6000 本区, 9000 本区は, 実測すると, ha 当りの平均値はそれぞれ $2,430$ 本, $4,836$ 本, $7,700$ 本と示される。この値に対して, ビッターリッヒ調査の結果では, $c=4$ および $c=1$ の双方ともほとんどが過大な測定値を示し ($c=1$ の場合の 9000 本区は過小の値を示す), さらに, 立木本数が増加するにしたがって誤差は小さくなる傾向を示している。なお, $c=4$ と $c=1$ の両者の比較においては, $c=1$ の方が良好である。

ビッターリッヒ調査によって, ha 当り立木本数を算出するに当たっては, 予め計算して表示した第7表を使用した。第7表の数値は次式によって求めた ($c=10$ の場合も計算して追加表示してある)。

$$f_i = \frac{B_i}{b_i} \quad (2)$$

あるいは

$$f_i = \frac{10,000n}{\pi \left\{ \left(d_i \times \frac{b}{a} \right) / 100 \right\}^2} \quad (3)$$

ここに,

f_i は ha 当り推定本数

B_i は ha 当り胸高断面積

b_i は胸高直径 d_i に応ずる単木胸高断面積

n はカウント数

a はスリット幅,

b は器械長

例えば、胸高断面積定数 1, 4, 10 の 3 つの場合について、(2) 式を用いて ha 当り立木本数を算出すると、カウント数 1 本当り、胸高直径 2 cm のときは、

$$\text{定数 4 の場合, } \frac{4}{0.785 (0.02)^2} = 12,739 \text{ 本}$$

$$\text{定数 1 の場合, } \frac{1}{0.785 (0.02)^2} = 3,185 \text{ 本}$$

$$\text{定数 10 の場合, } \frac{10}{0.785 (0.02)^2} = 31,847 \text{ 本}$$

第 6 表 各種測定結果一覧表

Item			3000	6000	9000
N par ha	every tree measurement	range	1400~3500	1300~5700	6700~8400
		mean	2430	4836	7700
	Bitterlich measurement	c=4 range	0~12903	0~23404	3454~13385
		c=4 mean per cent.	4005 165	6356 131	8193 106
Bitterlich measurement	c=1 range	199~6977	640~10427	2209~8523	
	c=1 mean per cent.	3465 143	5589 116	4536 59	
V per ha	every tree measurement	range	8.423~30.033	13.955~49.070	37.514~61.890
		mean	20.135	32.282	49.643
	Bitterlich measurement	range	0~67.80	0~162.24	27.12~122.40
		mean	35.81	62.12	78.49
		per cent.	178	192	158
		c=4 standard error	3.21	5.56	12.03
	Bitterlich measurement	confidence interval	29.26~42.36	50.77~73.47	50.04~106.94
		range	3.42~50.70	10.26~64.41	16.90~57.80
mean		29.46	42.46	39.77	
per cent.		145	132	80	
Bitterlich measurement	c=1 standard error	5.21	7.18	5.03	
	confidence interval	18.82~40.10	27.80~57.12	27.87~51.67	
V/BA	every tree measurement	range	3.37~3.41	3.37~3.41	3.39~3.40
		mean	3.3922	3.3904	3.3912
	Bitterlich measurement	range	3.35~3.50	3.31~3.43	3.38~3.40
		c=4 mean	3.403	3.387	3.394
		c=4 standard error	0.006	0.004	0.003
	Bitterlich measurement	range	3.35~3.42	3.34~3.42	3.38~3.40
		c=1 mean	3.391	3.391	3.393
		c=1 standard error	0.003	0.003	0.003

第7表 カウント数1本当りの ha 当り換算立木本数一覧表
(D: 胸高直径, c: 断面積定数)

D	c=1	c=4	c=10	D	c=1	c=4	c=10	D	c=1	c=4	c=10
1	12500	50000	125000	45	6	25	63	89	2	6	16
2	3226	12903	32258	46	6	24	60	90	2	6	16
3	1409	5634	14085	47	6	23	58	91	2	6	15
4	794	3175	7937	48	6	22	55	92	2	6	15
5	510	2041	5102	49	5	21	53	93	1	6	15
6	353	1413	3534	50	5	20	51	94	1	6	14
7	260	1039	2597	51	5	20	49	95	1	6	14
8	199	795	1988	52	5	19	47	96	1	6	14
9	157	629	1572	53	5	18	45	97	1	5	14
10	127	510	1274	54	4	18	44	98	1	5	13
11	105	421	1053	55	4	17	42	99	1	5	13
12	88	354	884	56	4	16	41	100	1	5	13
13	75	302	754	57	4	16	39	110	1	4	11
14	65	260	650	58	4	15	38	120	1	4	9
15	57	226	566	59	4	15	37	130	1	3	8
16	50	199	497	60	4	14	35	140	1	2	6
17	44	176	441	61	3	14	34	150	1	2	6
18	39	157	393	62	3	13	33	160		2	5
19	35	141	353	63	3	13	32	170		2	4
20	32	127	318	64	3	12	31	180		2	4
21	29	116	289	65	3	12	30	190		2	4
22	26	105	263	66	3	12	29	200		1	3
23	24	96	241	67	3	11	28	210		1	3
24	22	88	221	68	3	11	28	220		1	3
25	20	82	204	69	3	11	27	230		1	2
26	19	75	188	70	3	10	26	240		1	2
27	17	70	175	71	3	10	25	250		1	2
28	16	65	162	72	2	10	25	260		1	2
29	15	60	151	73	2	10	24	270		1	2
30	14	56	141	74	2	9	23	280		1	2
31	13	53	132	75	2	9	23	290		1	2
32	12	50	124	76	2	9	22	300		1	1
33	12	47	117	77	2	9	21	310		1	1
34	11	44	110	78	2	8	21	320			1
35	10	42	104	79	2	8	20	330			1
36	10	39	98	80	2	8	20	340			1
37	9	37	93	81	2	8	19	350			1
38	9	35	88	82	2	8	19	360			1
39	8	34	84	83	2	7	18	370			1
40	8	32	80	84	2	7	18	380			1
41	8	30	76	85	2	7	18	390			1
42	7	29	72	86	2	7	17	400			1
43	7	28	69	87	2	7	17	500			1
44	7	26	66	88	2	7	16				

と計算される。

なお、第7表によると、カウント数1本当りの ha 当り推定本数は、 $c=1$ の場合は $c=10$ の ha 当り本数の $1/10$ で示され、 $c=4$ の場合は $c=10$ の ha 当り本数の $4/10$ であらわされる。さらに $c=1$ 、 $c=4$ 、 $c=10$ の胸高断面積定数を用いて測定する際、ha 当り立木本数が1本となる限界は、 $c=1$ のとき $d_i \doteq 150$ cm、 $c=4$ のとき $d_i \doteq 310$ cm、 $c=10$ のとき $d_i \doteq 500$ cm で、胸高直径がこれらの直径をこえるときには、それぞれ測定器で測定した場合 ha 当り立木本数は計算されずに0となる。故に、胸高直径が大になるにしたがって胸高断面積定数を大きくしなければならない。しかし普通の調査地では、胸高直径のみを考えた場合 $c=1$ および $c=4$ の測定器で充分間に合うであろう。なお、ha 当り立木本数が1本となる限界胸直径は、 $c=1$ のときの $d_i \doteq 150$ cm を基準にするならば $c=4$ のときは、 $d_i \doteq 150$ cm $\times \sqrt{4}$ で、 $c=10$ のときは、 $d_i \doteq 150$ cm $\times \sqrt{10}$ で示されることもうかがうことができる。

ビッターリッヒ調査による立木本数の推定は、その平均値を求めるに、各ブロックの ha 当り立木本数を計算し、その平均値を求めたのであるが、各ブロック毎に観察すると、毎木調査によって測定した立木本数よりビッターリッヒ調査で推定した場合の立木本数が少ない場合は、

3000 本区において： $c=4$ のとき 11 ブロック (33 ブロック中)； $c=1$ のとき 9 ブロック (33 ブロック中)；

6000 本区において： $c=4$ のとき 10 ブロック (36 ブロック中)； $c=1$ のとき 10 ブロック (36 ブロック中)。

9000 本区において： $c=4$ のとき 3 ブロック (7 ブロック中)； $c=1$ のとき 6 ブロック (7 ブロック中)。

となっていて、残りのブロックは、毎木調査によって測定した立木本数よりビッターリッヒ調査で推定した場合の立木本数が多くなっている。

ここで、各ブロック毎の立木本数を、ビッターリッヒ法で推定すると、ブロック毎に変動が大きいため、各ブロック毎にカウントされた立木の全てについて平均直径(算術平均)を計算し、カウント本数は、カウントされた全本数をブロックの個数(測定箇所)で除したものを使用すると、ha 当り推定立木本数は次のごとく計算される。

3000 本区において： $c=4$ のとき、2782 本、毎木調査結果に較べての比率は 114%； $c=1$ のとき、2462 本、毎木調査結果に較べての比率は 101%。

6000 本区において： $c=4$ のとき、4779 本、毎木調査結果に較べての比率は 99%； $c=1$ のとき、4012 本、毎木調査結果に較べての比率は 83%。

9000 本区において： $c=4$ のとき、6550 本、毎木調査結果に較べての比率は 85%、 $c=1$ のとき、3524 本、毎木調査結果に較べての比率は 46%。

すなわち、各ブロック毎に ha 当り立木本数を推定して、その平均値を求めるよりは、カウントされた全立木の平均直径と、カウントされた全本数を測定箇所の個数で除した値を使用して、ha 当り立木本数を推定した方が計算も簡単で、結果は良好のごとく思料される。ただし、9000 本区の $c=1$ の場合は、著しく過少な値となるが、これは測定誤差に基づくものではないかと考えられる。なお、この場合は、 $c=4$ の方が $c=1$ よりも良好な結果を与えている。

2) ha 当り材積

毎木調査の結果では、3000 本区、6000 本区、9000 本区は、それぞれ 20.135 m³、 32.282 m³ および 49.643 m³ となる。これらの値は、3000 本区の値を基準すると、

$$160\% \left(= \frac{32.282}{20.135} \right) \text{ および } 247\% \left(= \frac{49.643}{20.135} \right)$$

の増加率を示す。

本数では、やはり 3000 本区の本数を基準にすると、199% および 317% となるが、この比率に比べると若干低い比率になっている。このことは、本数の増加率と材積の増加率は一致せず、材積の増加率は低いことを示している。

さて、これら 毎木調査の結果に対して、ビッターリッヒ調査では、 $c=4$ 、 $c=1$ の何れの場合も (9000 本区の $c=1$ の場合を除く) 過大な推定値を与えている。また、本数の場合と同様に $c=1$ の場合が $c=4$ の場合よりも良好である。特に、95% の信頼区間は $c=4$ の場合はその区間に真の平均値が含まれないのに対して、 $c=1$ の場合は、3000 本区、6000 本区、9000 本区の各区に亘って、信頼区間に真の平均値が含まれている。

今、これらのことを分散分析によって検討してみよう。すなわち、第 8 表および第 9 表によって、調査法間および本数密度間に 5% の危険率で有意の差のあることが分る。では特に、調査法間のどれとどれとの間に差があるかを計算すると、 $c=4$ と 毎木調査および $c=1$ との間には 5% の危険率でそれぞれ有意の差 $c=1$ と 毎木調査との間には認められない。すなわち、本調査地のごとき幼令林において、ビッターリッヒ法を用いるときは、 $c=1$ 測定器を採用すべきであると考えられる。

第 8 表 分散分析準備表

調査法 密度	$c=4$	$c=1$	毎木調査	行 計
3000	35.81 (1282.3561)	29.46 (867.8916)	20.14 (405.6196)	85.41 (2555.8673)
6000	62.12 (3858.8944)	42.46 (1802.8516)	32.28 (1041.9984)	136.86 (6703.7444)
9000	78.49 (6160.6801)	39.77 (1581.6529)	49.64 (2464.1296)	167.90 (10206.4626)
列 計	176.42 (11301.9306)	111.69 (4252.3961)	102.06 (3911.7476)	390.17 (19466.0743)

第 9 表 分散分析表

要 因	変 動	自 由 度	不 偏 分 散	分 散 比
調査法間	1090.2355	2	545.1178	7.175*
密度間	1157.2427	2	578.6214	7.616*
誤 差	303.8596	4	75.9649	
全	2551.3378	8		

次に、回帰推定による計算結果について考察しよう。採用すべき因子は、ビッターリッヒ法の胸高断面積と 毎木調査法の材積、ビッターリッヒ法の材積と 毎木調査法の材積である。計算結果は第 10 表に表示してある。

今仮りに、 \bar{y} をそれぞれ 毎木調査によって得られた平均値を用いて推定値 (\hat{y}) を計算をすると、標準誤差、相関係数、推定値共に、 $c=4$ と $c=1$ の優劣はつけ難く、さらに BA:V、V:V の回帰式の何れが良いかの優劣もつけ難い。強いて優劣の差をつけるならば、 $c=1$ の場合が若干良好な推定値が得られるであろう。ただし、本調査においては、回帰推定における考察は参考程度に記載したにすぎない。

次に、第 6 表において、材積と胸高断面積の比について簡単に所見を述べよう。

第10表 回帰式一覧表

因子	定数	密度	回帰式	標準誤差	相関係数	真の 平均値	推定値
plotless V: plot V	c=1	3000	$y=20.1352+0.4951(x-29.4648)$	4.0139	0.8156	20.1352	15.5161
		6000	$y=32.2822+0.3336(x-42.4644)$	5.9069	0.6590	32.2822	28.8854
		9000	$y=49.6427+0.4219(x-39.7686)$	9.3406	0.5499	49.6427	53.8086
	c=4	3000	$y=20.1352+0.1997(x-35.8121)$	5.8433	0.5391	20.1352	17.0045
		6000	$y=32.2822+0.1156(x-62.1156)$	6.8074	0.4984	32.2822	28.8335
		9000	$y=49.6427+0.1880(x-75.6343)$	8.4137	0.6588	49.6427	44.7563
plotless BA: plot V	c=1	3000	$y=20.1352+1.6711(x-8.6970)$	4.0193	0.8151	5.9357	15.5208
		6000	$y=32.2822+1.1271(x-12.5278)$	5.9117	0.6581	9.5217	28.8940
		9000	$y=49.6427+1.4395(x-11.7143)$	9.3374	0.5489	14.6386	53.8522
	c=4	3000	$y=20.1352+0.6743(x-10.5455)$	5.8428	0.5394	5.9357	17.0268
		6000	$y=32.2822+0.4102(x-18.3333)$	6.6946	0.5226	9.5217	28.6677
		9000	$y=49.6427+0.6263(x-22.2857)$	8.4812	0.6499	14.6386	44.8533

毎木調査の結果からは、3000 本区、6000 本区、9000 本区共、その計算値の範囲は類似しており、平均値も 3.39 と一定の値になっている。これに対して、ピッターリッヒ調査の結果は、範囲には若干の変動はあるが、平均値はほとんどが 3.39 の値を示し、略安定した値を示している。すなわち、比推定によって材積を求める場合、ピッターリッヒでカウントされた立木の材積計と胸高断面積の比を代用しても差支えないように考えられる。なお、この場合も $c=1$ の方が $c=4$ の結果よりも良好である。

上記の材積と胸高断面積の比率は、各ブロック毎に計算したのであるが、次の方法によって決定しても良いであろう。

すなわち、本調査で使用した材積式は、

$V=0.00026D^{2.00826}$ であるが、この式において、 D の値を 1 cm~13 cm にしたときの V/BA の値を計算すると第 11 表のようになる。

第 11 表 胸高直径別の V/BA の値

D	$V/BA=R$	D	$V/BA=R$	D	$V/BA=R$
1	3.250	6	3.396	11	3.417
2	3.387	7	3.400	12	3.418
3	3.366	8	3.404	13	3.420
4	3.373	9	3.333		
5	3.398	10	3.415		

胸高直径が大きくなるにしたがって、 V/BA の値は僅かに上昇する一次直線になると思われるので、その回帰式を計算すると、

$$R=3.33+0.0076D \quad (4)$$

となる。

次に、 $c=4$ 、 $c=1$ の各種測定値でカウントされた胸高直径別立木本数は、略正規分布を示し、その平均直径(算術平均)は $c=4$ の場合 6.9 cm、 $c=1$ の場合 6.5 cm であって、(4) 式の D にこ

これらの値を入れると、 R の値は、およそ $c=4$ の場合も $c=1$ の場合も 3.38 と計算される。この値は、真の平均値 3.39 に較べると僅かに小さく、実際の計算には使用しても差支えないであろう。

V 総 括

1) 本調査は、ビッターリッヒ法によって、材積と立木本数を推定する場合の精度を検討したものである。特に、幼令リュウキュウマツ林において、胸高断面積定数 1 および 4 の両測定器で推定したときの精度を検討してみた。

2) 調査林分は、本数密度の異なる 3000 本区、6000 本区、9000 本区の各林分からなり、調査時(1963, 8) は、6 年生の林分であった。

3) 調査は、約 1.2 ha の林分の中、0.76 ha を調査の対象とし、10 m×10 m のブロック 76 個に細分して、毎木調査およびビッターリッヒ調査をおこなった。

4) 調査の結果次の事柄が判明した。

a) 本 数

i) 毎木調査によると、播種造林の際は、ha 当たり 3000 本、6000 本、9000 本の各区分が、平均 2430 本、4836 本、7700 本の生立本数であった。

ii) ビッターリッヒ調査によると、胸高断面積定数 4 の場合、3000 本区が ha 当たり平均 4005 本、6000 本区が 6356 本、9000 本区が 8193 本、胸高断面積定数 1 の場合は、3000 本区が ha 当たり平均 3465 本、6000 本区が 5589 本、9000 本区が 4536 本と推定され、毎木調査の結果に軽べて一般に過大の推定値となった。ただし、胸高断面積定数 1 の場合の 9000 本区は過少の推定値を示した。

iii) ビッターリッヒ調査の結果は、一般に本数密度の高いほど良好な推定値を与え、また、胸高断面積定数 1 が胸高断面積定数 4 の場合よりも良好であった。

iv) ビッターリッヒ法によって ha 当たり立木本数を求めるための表を、胸高断面積定数 1, 4 および 10 の場合について作製したが、この表から林分の径級が大きくなるにつれて胸高断面積定数を大きくしなければならないことが分った。ただし、普通の林分では胸高断面積定数 1 および 4 の測定器で充分であろう。

v) ビッターリッヒ法によって ha 当たり立木本数を求めるのに、測定箇所毎に ha 当たり立木本数を求めて、後で平均するよりも、ビッターリッヒ法でカウントされた全立木の平均直径と、カウントされた全本数を、測定箇所の箇数で除した値を用いて、ha 当たり立木本数を求めた方が、計算も簡単で、結果も良いように思われた。

b) 材 積

i) 毎木調査によると、3000 本区 20.135 m³、6000 本区 32.282 m³ であった。この比率は、3000 本区を基準にすると、3000 本区 100%、6000 本区 160%、9000 本区 247% で、本数での 3000 本区 100%、6000 本区 199%、9000 本区 317% の比率に較べると、本数が増加しても、本数増加の比率に比例して、材質比率は増加していないことが分った。

ii) ビッターリッヒ調査によると、胸高断面積定数 4 の場合、3000 本区 35.81 m³、6000 本区 62.12 m³、9000 本区 78.49 m³、胸高断面積定数 1 の場合、3000 本区 29.46 m³、6000 本区 42.46 m³、9000 本区 39.77 m³ と推定され、本数推定の場合と同様に、毎木調査の結果に比べて一般に過大の値となった。ただし 9000 本区の胸高断面積定数 1 の定数の場合は、過少の推定値を示した。なお 9000 本区の胸高断面積定数 1 の場合は、測定誤差があったのではないかと推測される。

iii) ビッターリッヒ法による推定値は、胸高断面積定数 4 の場合、95% の信頼区間内に真の平均値(毎木調査で測定した値)は入らなかったが、胸高断面積定数 1 の場合は、95% の信頼区間内に、

各区共真の平均値が入り、胸高断面積定数1の場合が良好な推定値を与えることが分った。

iv) 分散分析の結果からは、胸高断面積定数4と、毎木調査および胸高断面積定数1の間には、5%の危険卒で、調査法間に有意の差がみられ、胸高断面積定数1と毎木調査との間には認められなかった。すなわち、胸高断面積定数1の場合が良好な推定値を与えることが分った。

v) ビッターリッヒ調査において、材積と胸高断面積の比を用い、比推定で材積を算出したが、材積と胸高断面積の比は、毎木調査およびビッターリッヒ調査の何れにおいても、3000本区、6000本区、9000本区の各区共、一定の平均値3.39が得られた。すなわち、本調査地のごとき同令林では、比の値は略一定しており、ビッターリッヒでカウントされた立木の材積と胸高断面積の比を使用して差支えないことが分った。この場合も胸高断面積定数1の方が胸高断面積定数4の場合よりも良好であった。

さらに、この比は、材積表(2変数)から材積と胸高断面積の比(Rとする)を計算し、RとDの回帰式を作製しておき、ビッターリッヒ法でカウントされた全立木の平均直径に対するRを使用しても、実用的には差支えないであろうことも推察された。

vi) 回帰推定によつての精度の比較を、参考的におこなつたが、やはり胸高断面積定数1の方が良好であるように見受けられた。

VI 摘 要

1) 本調査は、ビッターリッヒ調査によつて、材積および立木本数を推定する際の精度を、胸高断面積定数4と1の場合について比較検討したものである。

2) ビッターリッヒ法で、材積および立木本数を推定する際、調査対象林分の胸高直径が大きいつきは、胸高断面積定数も大きくしなければいけないが、普通の林分($D < 150$ cm)では、胸高断面積定数は4および1で充分である。

3) 本調査林分のごとき幼令林の場合は、胸高断面積定数は4よりも1の方が適當である。なお、本調査林分の胸高直径範囲は1 cm ~ 13 cm、算術平均胸高直径は5.3 cmで、本数分布は正規分布にしたがっている。

参 考 文 献

- 1) 木梨謙吉・砂川季昭 1961 プロット法とビッターリッヒ法の併用による胸高断面積並に本数の推定について。第72回日本林学会九州支部大会講演集、第15号。
- 2) 砂川季昭 1963 天然生広葉樹林分の材積および立木本数の推定について。琉球大学農家政工学部学術報告、第10号。

Résumé

1. The research is an examination of the precision of the breast height basal area factors 4 and 1 in estimating the volume and tree number by the Bitterlich method.

2. The breast height basal area factors should be large when the diameter of the breast height becomes large in estimating volume and tree number by the Bitterlich method. While the factors of 4 and 1 are enough to make the estimation on general forest ($DBH \leq 150$ cm).

3. The breast height basal area factor is more suitable as 1 than 4 for the young forest in which the research was done. As the result of the survey, it was found that the breast height diameter ranges 1 cm to 13 cm and the arithmetic mean of the breast height diameter is 5.3 cm. The number distribution showed a normal distribution.