

図 20 トラクタ集材における集材距離と作業功程
(作業方法の改善指示前後の比較)

とは作業研究が生産性の向上を大命題として成立している事情を考えれば、ある問題を解決することがその陰に隠れていた別の問題を顕在化させるものであることに思い至る。このようにして様々な問題点を解決することにより作業方法は改善されてきたことに思いを致さねばなるまい。ここである問題の解決・改善の努力はより高い技術水準に到達するための段階を越えるための手がかりを新たに提供するものであることを示した。前項で技術移転した機械化伐出技術がすでにサンパウロ州森林院の作業技術として定着していることを確かめたが、ここでトラクタ集材作業を例に詳細に検討したところ技術力は更に向上する余地のあることが明示された。また作業者を教育訓練する際に重点を置くべき技術的事項も作業研究により判明する。より安全で生産性の高い技術を確かなものとするために作業研究の手法を活用することが望まれる。

III-3-3 作業強度研究

(1) 研究のねらい

一般的に言って森林作業はかなりきつい肉体労働が多い。特に人力や手工具だけを使用する作業では労働がきつく、森林作業を機械化することによって労働負担（作業強度）を軽減することができる。しかしながら、森林作業の作業強度の軽減といっても森林のもつ厳しい作業環境を考えるとそんなに簡単なものではなく、種々の困難な問題が包含されている。

そこで、森林作業研究においても作業強度の問題をとりあげ、これらの原則を適用する方法や手段を知っておくことは単に作業強度の軽減ということばかりでなく、労働安全や作業能率を考えていく上で極めて有益であると考えられる。

森林作業においても作業中必ずその作業者の肉体あるいは精神に何らかの変化が起こる。そしてこの心身の変化の量を測定することによって、その作業の人間に及ぼす負担の度合を知るることができる。これが一般に「労働負担」と呼ばれるものである。

労働負担は同じ作業量でも人によって異なるものであり、作業環境、経験、年齢など種々の人間的条件によって変化する。したがって労働負担はこのように多くの条件のからみ合いから検討しなければならないが、普通の場合には通常の作業環境で年齢的にも能力的にも、技能の度合も平均的な作業者について考えることにしている。

森林作業によって起った作業者の心身の変化を捉えるには、作業の結果心身の機能がどのように変化したかを測定することによって可能であると考えられている。労働負担の測定には種々の方法が用いられているが、ここでは日本における森林作業研究において一般的に用いられている、(1)心拍数、(2)エネルギー代謝、(3)フリッカー値をとりあげ、その測定方法を述べるとともにカンボドジョルダン州有林の伐出作業現場での調査結果のいくつかについても例示する。

(2) 心拍数の測定

① 意義

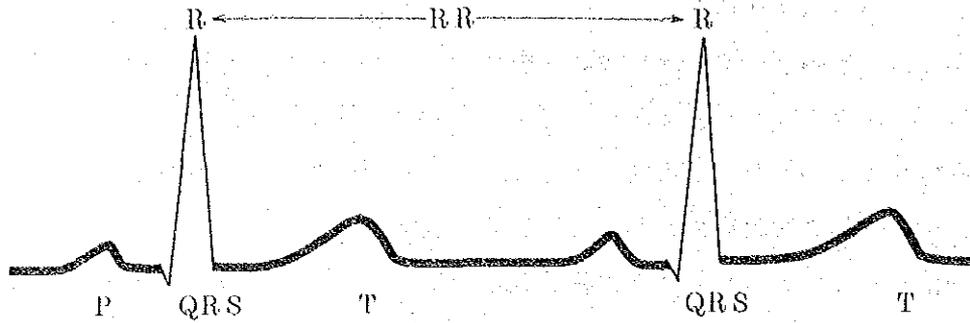
労働に応じて作業者の活動筋の酸素需要をみたすため筋への血液輸送が強大になる。それに伴って心臓の鼓動が1分間にうつつ回数（心拍数）は増加する。このように心拍数が人間の労働負担とよく比例することはすでに労働科学的に実証されており、このことを利用して動的小よび静的身体作業と心理的作業の負担度を測定するのに心拍数の変化を用いることができる。

心拍数は労働中も連続記録が可能で、労働負担の指標としては非常に有用な方法である。しかし心理的、神経的な負担によっても変化するから注意しなければならない。

② 測定方法

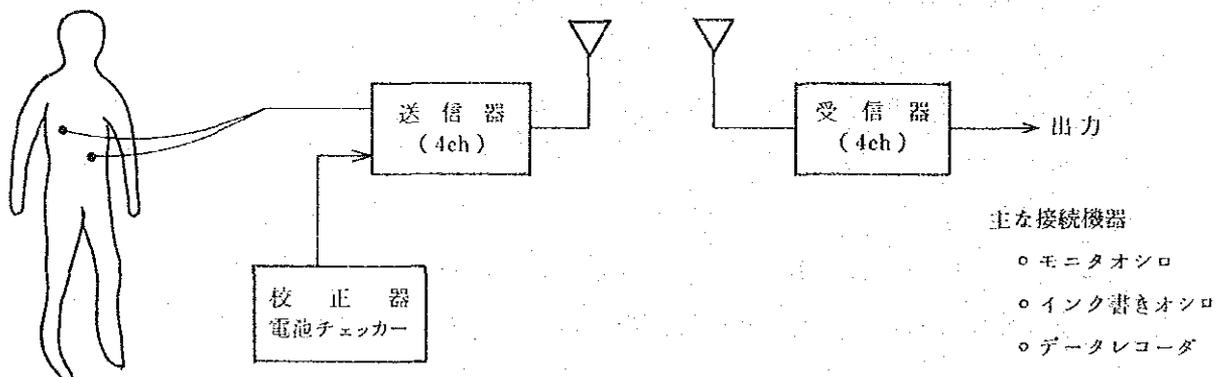
心臓が収縮するとき発生するスパイク電位（これをR波という）を前胸部にはった2

個の電極から導出して増幅器に入れ、レコーダ上に連続記録する（3個の電極のうち1個（線）は安全のための接地端子である）。心拍数はR波を一拍と考え、拍／分という単位で表わす。心電図の波形は図Ⅲ-21のようであって、R-Rが1拍である。心拍数の測



図Ⅲ-21 心電図の波形

定には有線、または無線で行う。最近ではデジタルで刻々の心拍数を記録できる機器もある。



図Ⅲ-22 ブロックダイアグラム

③ 処理の仕方と判定基準

一般に労働負担の増大とともに心拍数は増加するが、個人差にもとづく変化が大きい。そこで安静時の心拍数を求め、作業時の心拍数の増加数や増加率をもって判定するのがよい。

心拍増加数 = 負荷時心拍数 - 安静時心拍数

$$\text{心拍増加率} = \frac{\text{心拍増加数}}{\text{安静時心拍数}} \times 100$$

なお心拍数の測定にさいして注意しなければならないのが基準値となる安静時心拍数のとり方に関する問題である。これは無作業時の安静値をとればよいと単純に考えがちであるが、安静時心拍数が種々の条件により変化するところに問題がある。

安静時心拍数は元来日変化の大きいものとはいえ、これの日変化の特徴をよく心得て適切な時刻に測定すれば、この日変化の影響をかなり小さくすることができる。我が国の報告の結果等を勘案すれば、安静時心拍数測定は朝作業開始前および昼食後約1～2時間ほさげ、昼食直前か夕方作業終了時に行った方がいいようである。

このような配慮ができない場合で、特に1日の心拍数のレベル変動が大きい場合は、少なくとも作業前の安静時値と作業後の安静時値の平均値を基準値とするぐらいの配慮が必要である。

④ 調査例

(a) 調査の概要

- ① 調査期日：1985.9.17～9.26（正味5.5日間）
- ② 作業場所：カンボスドジョルダン州有林 66林班
- ③ 林況：エリオッティマツ，20～21年生，本数1638本/ha，
間伐率（本数）51%
- ④ 地形：傾斜度 約15°
- ⑤ 被験者：荷掛手C（37才）経験年数3.5年，トラクタ運転手W（21才）経験年数3.5年
- ⑥ 使用トラクタ：T-20
- ⑦ 調査方法：被験者に心拍メモリ計（竹井機器）を取りつけ、作業開始から作業終了に至るまでの作業中の心拍数を連続的に計測した。また同時に両被験者の作業について時間観測を行った。

(b) 調査結果

この調査では、心拍数をとおして作業者の労働負担の変化を把握すること、荷掛手と運転手の労働負担の相違や各作業の労働負担の特質を求めることとした。

⑧ 一日の労働負担の変化

図III-23と図III-24は荷掛け作業とトラクタ運転作業について一日の心拍数の変化を示したものである。矢印と数字は集材回数を示している。それぞれの作業について労働負担の特質を述べる。

ア 荷掛け作業

安静時（午前：65拍/分，午後：70拍/分）に比較して作業中の心拍数が高く、午前の場合90拍/分～140拍/分の範囲で変動している。午後の場合（15：00頃まで）100拍/分～130拍/分の範囲で変動しており、午前に比較すると変動

が少ない。

作業中の平均心拍数は図から、午前午後とも110拍/分程度で、荷掛け作業の労働負担はかなりなものと考えられる。また作業が厳しいためか小休止が多い。

イ. トラクタ運転作業

安静時（午前70、午後80）に比べ、作業中の心拍数のレベルはさほど高くなく、変動も少ない。しかし、時々、心拍数が一時的に上昇しているところがある。これは、ウインチで材を引き寄せせる際、大径材であったり、倒木や立木に材が引っかかり、それを強引に引き寄せようとするので、車体が傾き、これが原因で心拍数レベルが上ったものと思われる。

⑭ 心拍増加率による評価

すでに述べた心拍増加率を作業内容別に示したのが表Ⅲ-24、表Ⅲ-25である。

表Ⅲ-24 作業中の心拍数及び増加率（トラクタ集材荷掛作業）

サイクル	心 拍 数			増 加 率		
	作業中	小休止	計	作業中	小休止	計
①	114		114	70.1		70.1
②	117	98	114	74.6	40.3	70.1
③	116	95	112	73.1	41.8	67.2
④	131	99	125	95.5	47.8	86.6
⑤	114	88	109	70.2	31.3	62.7
⑥	113	101	109	68.7	50.8	62.7
⑦	106	81	101	58.2	20.9	50.8
⑧	105	88	99	56.7	31.3	49.8
⑨	98		98	46.3		46.3
⑩	117	98	111	74.6	46.3	65.7
⑪	115	103	112	71.6	53.7	67.2
⑫	115		115	71.6		71.6
⑬	111	99	110	65.7	47.8	64.2
⑭	105	87	93	56.7	29.9	38.8
⑮	102	84	101	52.2	25.4	50.6
⑯	111	92	109	65.7	37.3	62.7
⑰	110		110	64.2		64.2
⑱	95		95	41.8		41.8
平均	111	93	108	65.7	38.8	61.2
ランチタイム	79		79	17.9		17.9
安静時			67			

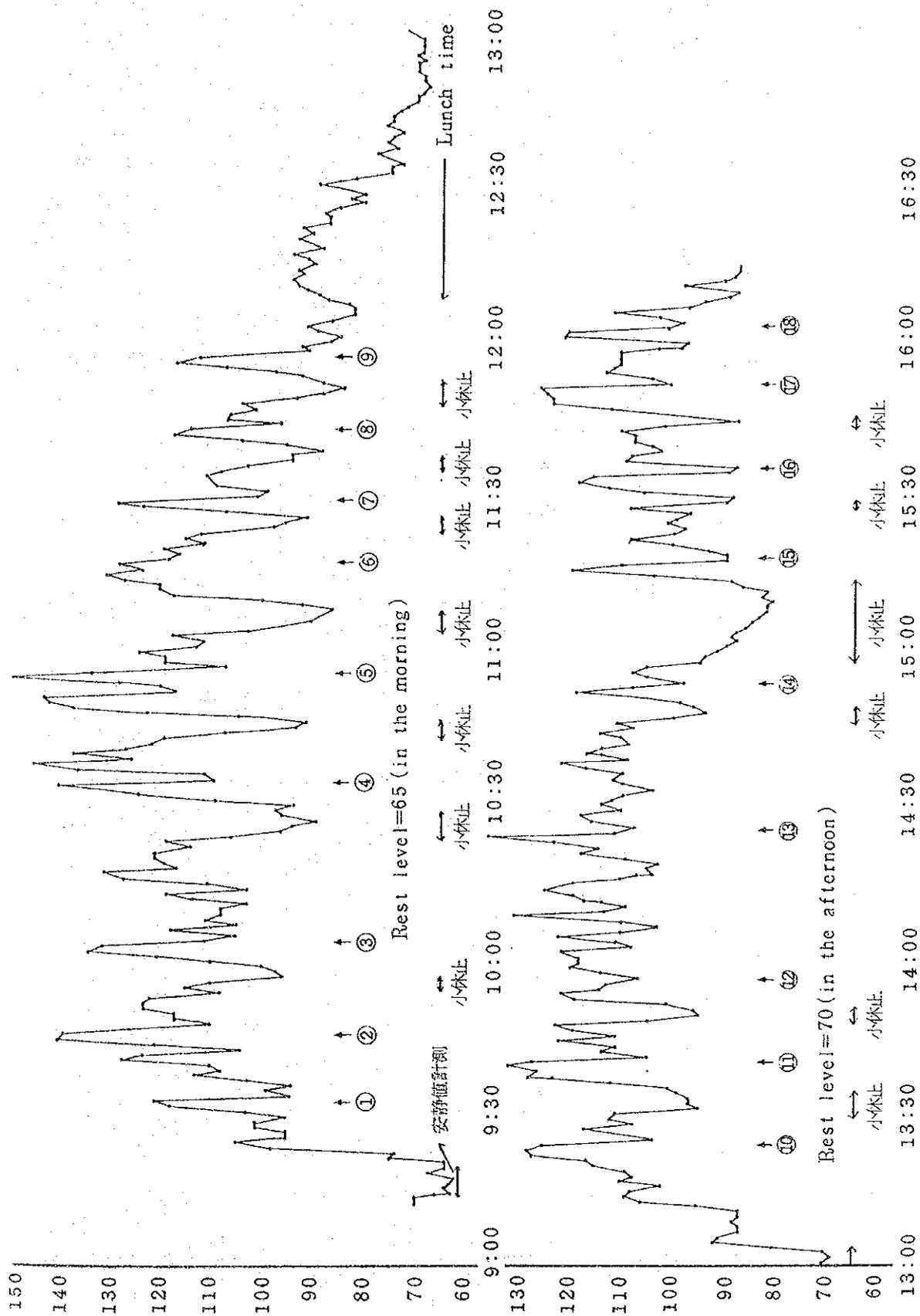


図 III - 23 作業中の心拍数の変化 (荷掛作業)

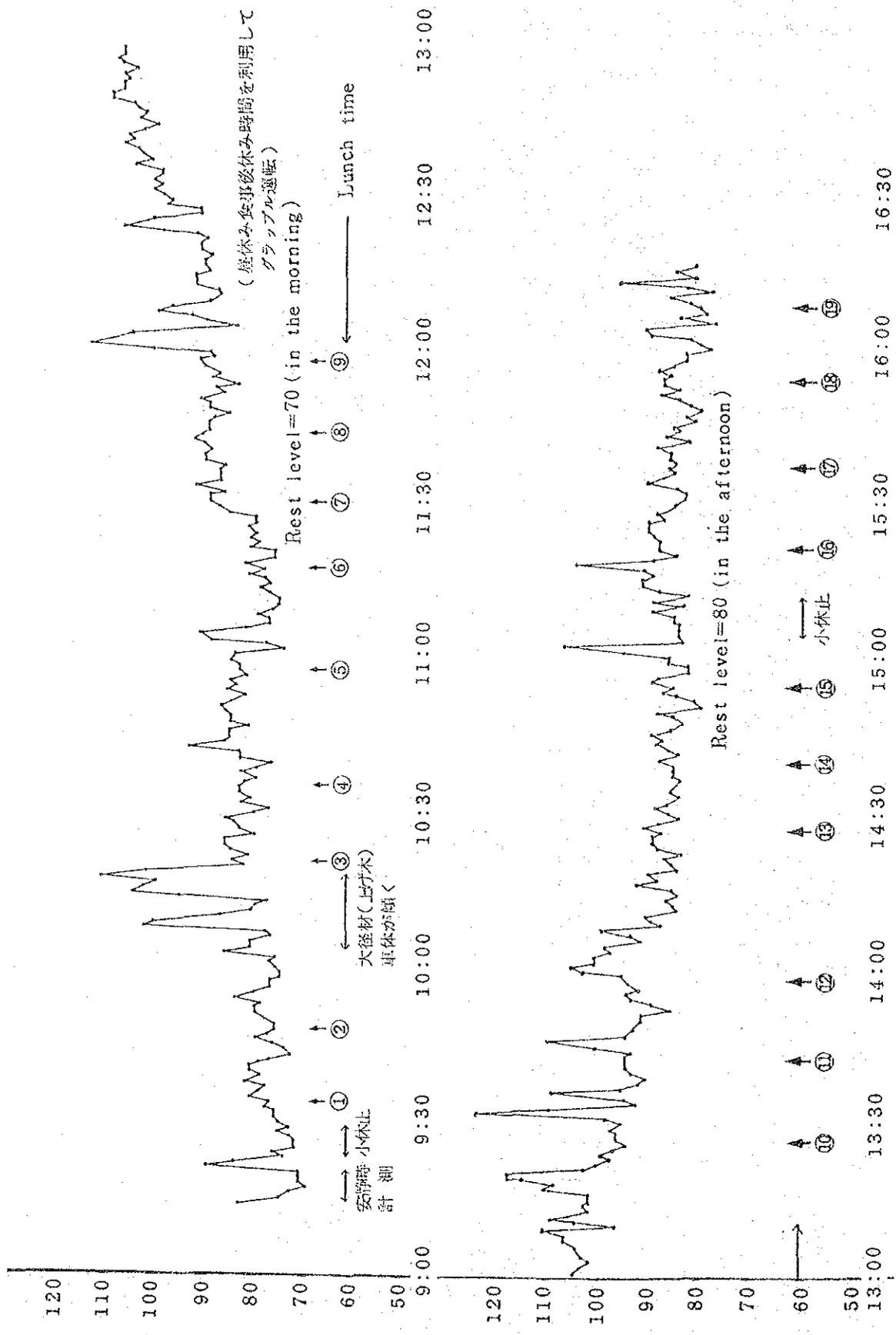


図 24 作業中の心拍数の変化 (トラクタ運転作業)

表Ⅲ-25 作業中の心拍数及び増加率(トラクタ運転作業)

サイクル	心 拍 数			増 加 率		
	作業中	小休止	計	作業中	小休止	計
①	76		76	1.3		1.3
②	78	※90	83	4.0	20.0	10.7
③	81		81	8.0		8.0
④	82		82	9.3		9.3
⑤	78		78	4.0		4.0
⑥	80		80	6.7		6.7
⑦	87		87	16.0		16.0
⑧	86		86	14.7		14.7
⑨	102		102	36.0		36.0
⑩	98		98	30.7		30.7
⑪	94		94	25.3		25.3
⑫	90		90	20.0		20.0
⑬	85		85	13.3		13.3
⑭	83		83	10.7		10.7
⑮	89	80	87	18.7	6.7	16.0
⑯	87		87	16.0		16.0
⑰	85		85	13.3		13.3
⑱	83		83	10.7		10.7
⑲	84		84	12.0		2.0
平均	86	85	86	14.7	13.3	14.7
ランチタイム	98		98	30.7		30.7
安静時			75			

※ 大径材(上げ木)車体が傾く。

7. 荷掛作業

作業中の心拍数及び増加率を各集材サイクルごとに示した。集材サイクルは荷掛け終了からつぎの荷掛け終了までを1サイクルとしている。表Ⅲ-24によると、平均心拍数は各サイクルとも110拍/分前後(93~125拍/分)であり、増加率は60%前後(42~87%)となっており、かなりきつい作業であることがわかる。また、小休止の増加率は平均で40%前後(31~54%)となっている。なお安静時心拍数は午前と午後の間67を用いている。このような検討は本来荷掛作業に含まれる要素作業毎に行い、作業改善のための資料とすべきであるが、今回

は集材サイクルごとの検討にとどめた。

イ. トラクタ運転作業

作業中の平均心拍数は86拍/分前後(76~102拍/分)増加率で15前後(1~36)となっており、荷掛作業に比較すると、心拍増加率も低く労働負担は小さいことがわかる。しかし、強引な運転をしたりすると車体が傾き転倒の危険を感じ、心拍レベルが上昇する。このように、トラクタ運転作業では心理的な負担も受けることがわかる。このことは図III-24からもある程度わかるが、要素作業ごとの心拍増加率を分析するとよくわかる。

(3) エネルギー代謝の測定

① 意義

いうまでもなく、作業者は自己の作業においてエネルギーを消費する。林業労働は肉体的労働による作業が多く、農業労働とともにエネルギーの消費が他の産業に比べて大きい。しかし、森林作業の分野においても、生産手段が機械化され作業強度は軽減されてきている。

このようなことから、作業強度(労働負担)の大きさをエネルギー消費量であらわすことが多い。体内に貯えたエネルギーが林業労働のエネルギーになるという意味で、このようなエネルギーの出し入れをエネルギー代謝と呼んでいる。

エネルギー代謝の大きさは、呼吸によってとりこまれた酸素の消費量で代表され、肉体的労働負担は、その仕事を行うために必要な酸素の全消費量によって測定することができる。

エネルギー代謝の単位はKcalで表わされるが、同じ強さの仕事でも、それに要するエネルギー消費量は個人によって異なるので、個人差を消去することが必要となってくる。欧米ではエネルギー消費量を単位時間のKcalに換算し、体重当たり(Kcal/hr/kg)か体表面積当たり(Kcal/hr/m²)として表示するのが普通である。

② 測定方法

エネルギー代謝の測定は、呼気の酸素、炭酸ガスを計量してガス代謝を測定する方法が簡単で一般的である。測定手順は、呼気の採集・呼気量の測定・呼気的气体分析という順序で行う。

(a) 呼気の採集

呼気の採集は、ダグラス・バッグ法が一般的である。呼気採取にあたっては、作業時の体内の酸素需要と呼吸による酸素供給の間にバランスが成立しているかどうかにより採集方法が違ってくる。バランスが成立している場合を定常状態という。

一般に軽作業の場合には定常状態が成立するが、作業がきつくなると定常状態が成立しなくなる。定常状態が成立している時の作業は作業開始後3~5分してから任意の時間だけ採集し、回復過程は採取しない。定常状態が成立しない時は、作業開始より採取

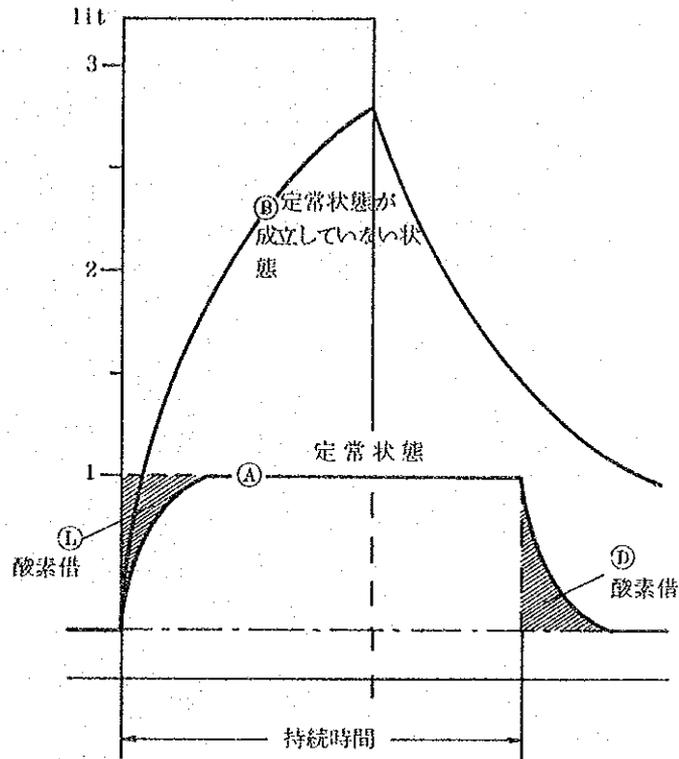


図 III - 25 仕事量に対応する酸素消費量の変動パターン

し、回復過程の呼気も採取する。

(b) 呼気量の測定

呼気量の測定はガスメータを用いる。呼気を採取した袋をガスメータにつなぎ、袋を圧して呼気量を測定する。その際、呼気分析に使うサンプルを別の採気袋に採っておく。次にガスメータから求められた呼気量を標準状態下に換算する。換算は呼気量に次式で求めた係数を乗じる。

$$\text{係数} = \frac{273}{273 + t} \times \frac{p - t \text{ の飽和水蒸気圧}}{760}$$

p : その時の気圧 (温度 t °C で補正)

なお、飽和水蒸気圧、気圧の補正は表 III - 26, 表 III - 27 に示す。

(c) 呼気ガス分析

呼気中に含まれる酸素と炭酸ガスの濃度はサンプル袋に採取した呼気ガス分析器に入れ、分析器の酸素及び炭酸ガス濃度指示計の読みにより容易に求めることができる。しかし、体内に消費された酸素量とその結果生ずる炭酸ガス発生量とは通常一致しない。そこで大気中の窒素濃度を基準にして吸気の酸素濃度を修正する。

$$\text{吸気の酸素濃度 (\%)} = 20.93 (\text{大気中の } O_2 \%) \times \frac{\text{呼気中の } N_2 \%}{79.04 (\text{大気中の } N_2 \%)}$$

表III-26 温度と水蒸気最大張力表

温度	張力	温度	張力	温度	張力	温度	張力	温度	張力	温度	張力
℃	mm/tg	℃	mm/tg	℃	mm/tg	℃	mm/tg	℃	mm/tg	℃	mm/tg
-20	0.94	-10	2.15	0	4.57	10	9.14	20	17.36	30	31.51
-19	1.03	-9	2.33	1	4.91	11	9.77	21	18.47	31	33.37
-18	1.12	-8	2.51	2	5.27	12	10.43	22	18.63	32	35.32
-17	1.22	-7	2.72	3	5.66	13	11.14	23	20.86	33	37.37
-16	1.32	-6	2.93	4	6.07	14	11.88	24	22.15	34	39.52
-15	1.44	-5	3.16	5	6.51	15	12.67	25	23.52	35	41.78
-14	1.56	-4	3.41	6	6.97	16	13.51	26	24.96	36	44.46
-13	1.69	-3	3.67	7	7.47	17	14.40	27	26.47	37	46.65
-12	1.84	-2	3.95	8	7.99	18	15.33	28	28.07	38	49.23
-11	1.99	-1	4.25	9	8.55	19	16.32	29	29.74	39	52.20

表III-27 気圧計補正表

t	気圧計の読み			t	気圧計の読み			t	気圧計の読み		
	750	760	770		750	760	770		750	760	770
1	0.1	0.1	0.1	11	1.3	1.4	1.4	21	2.6	2.6	2.6
2	0.2	0.3	0.3	12	1.5	1.5	1.5	22	2.7	2.7	2.7
3	0.4	0.4	0.4	13	1.6	1.6	1.6	23	2.8	2.8	2.8
4	0.5	0.5	0.5	14	1.7	1.7	1.8	24	2.9	3.0	3.0
5	0.6	0.6	0.6	15	1.8	1.9	1.9	25	3.0	3.1	3.1
6	0.7	0.7	0.8	16	1.9	2.0	2.0	26	3.2	3.2	3.2
7	0.9	0.9	0.9	17	2.1	2.1	2.1	27	3.3	3.3	3.4
8	1.0	1.0	1.0	18	2.2	2.2	2.3	28	3.4	3.5	3.5
9	1.1	1.1	1.1	19	2.3	2.3	2.4	29	3.5	3.6	3.6
10	1.2	1.2	1.2	20	2.4	2.5	2.5	30	3.7	3.7	3.7

注：tは温度

③ エネルギー代謝量の計算

エネルギー代謝により発生した炭酸ガス量と消費された酸素量との比は呼吸商と呼ばれ、これは代謝に参加する炭水化物、脂肪、タン白質の比率によって一定の値をとる。普通の代謝状態では代謝に参加する各要素の比率がほとんど変わらないため、酸素消費量とR.Q.から総熱量を概算することが多い。R.Q.と酸素消費量1ℓに対する産熱量の関係は、表III-28のとおりである。

表III--28 熱量表 (Zuntz-Schumburg-Lusk)

非たん白 呼吸比	O ₂ 1ℓ 当たり Kcal	非たん白 呼吸比	O ₂ 1ℓ 当たり Kcal
0.71	4.690	0.86	4.875
0.72	4.702	0.87	4.887
0.73	4.714	0.88	4.900
0.74	4.727	0.89	4.911
0.75	4.739	0.90	4.924
0.76	4.751	0.91	4.936
0.77	4.764	0.92	4.948
0.78	4.776	0.93	4.961
0.79	4.789	0.94	4.973
0.80	4.801	0.95	4.985
0.81	4.813	0.96	4.998
0.82	4.825	0.97	5.010
0.83	4.838	0.98	5.022
0.84	4.850	0.99	5.035
0.85	4.862	1.00	5.047

〔計算例〕

自転車エルゴメータによるテスト

被験者体重	64	kg
呼吸採取時間	5	分
呼吸量	90	ℓ
呼吸の修正係数	0.87	
呼吸中のCO ₂ 濃度	3.7	%
呼吸中のO ₂ 濃度	16.7	%

○呼吸量の補正

$$\text{呼吸量} = 90 (\ell) \times 0.87 = 78.3 (\ell)$$

○O₂消費量, CO₂発生量

$$\text{吸気のO}_2\text{濃度} = 20.93 \times \frac{100 - (3.7 + 16.7)}{79.04} = 21.08$$

$$\text{O}_2\text{消費量} = (\text{吸気のO}_2\text{濃度} - \text{呼吸のO}_2\text{濃度}) \times \text{呼吸量}$$

$$\text{O}_2\text{消費量} = 78.3 (\ell) \times (21.08 - 16.7) (\%) = 3.430 (\ell)$$

$$\text{CO}_2\text{発生量} = 78.3 (\ell) \times 3.7 (\%) = 2.897 (\ell)$$

$$\text{R. Q.} = \frac{2.897}{3.430} = 0.84$$

表III-29よりR.Q.が0.84なので、酸素消費量1ℓの発熱量が4.85Kcal/ℓ(O₂)であることがわかる。

従って、

$$\text{発熱量} = 4.85 \times 3.430 = 16.63 \text{ (Kcal)}$$

先に述べたように、個人差を消去するためには、総熱量を単位時間のKcalに換算し、体重あたり(Kcal/hr/kg)あるいは体表面積あたり(Kcal/hr/m²)として表示すればよい。

(計算例) 自転車エルゴメータテストの単位時間、体重あたり総熱量

$$\frac{\text{総熱量} \times \frac{60 \text{ 分}}{\text{呼吸採取時間(分)}}}{\text{体重}} = \frac{16.63 \times \frac{60}{5}}{64} = 3.12 \text{ (Kcal/hr/kg)}$$

日本で多く使用されているエネルギー代謝率(Relative Metabolic Rate: R.M.R.)は、次式で求める。

$$\text{R.M.R.} = \frac{\text{作業時全酸素消費量} - \text{安静時酸素消費量}}{\text{基礎代謝時酸素消費量}}$$

また、R.M.R.と消費熱量との関係は次のとおりである。

$$Y = B (\text{R.M.R.} + 1.2) t$$

Y: 消費熱量(Kcal)

B: 基礎代謝熱量(Kcal)

t: 作業時間(分)

ここで基礎代謝熱量は次式で算出した体表面積の値により表III-29から求める(6才以上)。

$$A = W^{0.44} \times H^{0.66} \times 8883$$

A: 体表面積(m²)

W: 体重(kg)

H: 身長(cm)

表III-29 基礎代謝表(O₂量で示す)

性別																				
	1/100 体表	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8
1.0	125	126	128	129	130	131	133	134	135	136	114	115	116	117	119	120	121	122	123	124
1.1	138	139	140	141	143	144	145	146	148	149	125	127	128	129	130	131	132	133	135	136
1.2	150	151	153	154	155	156	158	159	160	161	137	138	139	140	141	143	144	145	146	147
1.3	163	164	165	166	168	169	170	171	173	174	148	149	150	152	153	154	155	156	157	158
1.4	175	176	178	179	180	181	183	184	185	186	160	161	162	163	164	165	166	168	169	170
1.5	188	189	190	191	193	194	195	196	198	199	171	172	173	174	176	177	178	179	180	181
1.6	200	201	203	204	205	206	208	209	210	211	182	184	185	186	187	188	189	190	192	193
1.7	213	214	215	216	218	219	220	221	223	224	194	195	196	197	198	200	201	202	203	204
1.8	225	226	228	229	230	231	233	234	235	236	205	206	207	209	210	211	212	213	214	215
1.9	238	239	240	241	243	244	245	246	248	249	217	218	219	220	221	222	223	225	226	227
2.0	250	251	253	254	255	256	258	259	260	261										
2.1	263	264	265	266	268	269	270	271	273	274										

ただし 20~39歳, R.Q.=0.90 男 37.0 Kcal/m²/hr, 女 33.8 Kcal/m²/hr (昭44, 栄審)

④ 調査例

現地調査においては、荷掛け作業とトラクタ運転作業についての時間分析結果と、日本ですでに測定されているR.M.R.から労働負担について検討したものを例示する。

(a) 調査の概要

- ① 調査期日：1984.11.14, 11.21~22
- ② 場所：カンボストジョルダン州有林 68林班
- ③ 林況：テーダマツ22年生, 本数1575本/ha 間伐率(本数)58%
- ④ 地形：傾斜度15°(5°~25°)
- ⑤ 被験者及び使用トラクタ：心拍数の調査例に同じ

(b) 調査結果

表III-30, 表III-31は荷掛け作業とトラクタ運転作業の作業時間を観測して、要素作業別にとりまとめたものである。

① 平均R.M.R.の計算

(ア) 荷掛け作業

$$\text{主体・付帯作業平均R.M.R.} = \frac{678.58}{233.59} = 2.91$$

$$\text{実働時間平均R.M.R.} = \frac{733.84}{254.36} = 2.89$$

$$\text{勤務時間平均R.M.R.} = \frac{766.28}{319.69} = 2.40$$

表田-30 労働負担の計算(トラクタ集材荷掛作業)

目的分類		要素作業	R.M.R. (A)	観測時間		480分換算		摘要	
				(B) 時 間	(C) 労作量値	(D) 時 間	(E) 労作量値		
勤 務 時 間	準備後始末	準備後始末	1.5	4.70	7.05	6.84	10.28		
		小 計		4.70	7.05	6.84	10.28		
	移動	移 動	3.0	16.07	48.21	23.33	69.99		
		小 計		16.07	48.21	23.33	69.99		
	実 働 時 間	主 体 ・ 付 帯 作 業	次回搬出材選定	0.5	8.37	4.19	12.29	6.15	
			チョーカ運び	3.6	17.85	64.26	27.27	98.17	
			木 寄 せ	4.5	11.45	51.53	16.19	72.86	
			歩 行	3.0	46.82	140.46	70.61	211.83	
			チョーカ掛け, 正修	2.6	51.95	135.07	76.97	200.12	
			ウインチライン引延し	4.0	25.97	103.88	39.28	157.12	
			誘導, 安全確認	0.5	12.27	6.14	18.59	9.30	
			退 避	3.0	15.63	46.89	24.34	73.02	
	作 業	障害物除去	3.2	33.00	105.60	51.02	163.26		
		そ の 他	2.0	10.28	20.56	15.61	31.22		
		小 計		233.59	678.58	352.17	1023.05		
	計		254.36	733.84	382.34	1103.32			
余 裕 時 間	職 場 余 裕	打 合 せ	0.4	13.45	5.38	20.79	8.32		
		仕 事 待 ち	0.6	41.70	25.02	60.50	36.30		
		小 計		55.15	30.40	81.29	44.62		
		疲れ, 個人余裕	0.2	10.18	2.04	16.37	3.27		
	計		65.33	32.44	97.66	47.89			
合	計		319.69	766.28	480.00	1151.21			

表III-31 労働負担の計算(トラクタ運転作業)

目的分類	要素作業	R.M.R. (A)	観測時間		480分換算		摘要		
			(B) 時 間	(C) 労作量値	(D) 時 間	(E) 労作量値			
勤 務 時 間	準備後始末	1.5	8.28	12.42	11.50	17.25			
	その他	1.5	4.60	6.90	6.73	10.10			
	備末		12.88	19.32	18.23	27.35			
	実 働	トラクタ移動	3.5	9.18	32.13	13.30		46.55	
		移動	3.0	6.59	19.77	9.11		27.33	
		小 計		15.77	51.90	22.41		73.88	
	時 間	空車運転	3.0	72.02	216.06	100.13		300.39	
		歩 行	3.0	16.25	48.75	24.43		73.29	
		主 体 ・ 付 帯 作 業	ウインチライン 引 延 し	4.0	11.58	46.32		17.58	70.32
			荷掛け手伝い	2.6	11.31	29.41		17.10	44.46
		乗車, 下車	3.0	4.41	13.23	5.87		17.61	
		ウインチ巻取り	2.2	25.36	55.79	36.10		79.42	
		突車運転	3.0	52.44	157.32	74.86		224.58	
		土場内運転	3.0	17.04	51.12	24.63		73.89	
		土場巻立て	6.0	13.02	78.12	18.46		110.76	
		仕事待ち	0.6	53.03	31.82	75.36		45.22	
		その他	1.5	17.86	26.79	23.94		35.91	
		小 計		294.32	754.73	418.46		1075.85	
		計		322.97	825.95	459.10		1177.08	
	余 裕 時 間	職 場 余 裕	0.4	10.92	4.37	16.41		6.56	
小 計			10.92	4.37	16.41	6.56			
疲れ, 個人余裕		0.2	3.28	0.66	4.49	0.90			
小 計			3.28	0.66	4.49	0.90			
	計		14.20	5.03	20.90	7.46			
合 計			337.17	830.98	480.00	1184.54			

(f) トラクタ運転作業

$$\text{主体・付帯作業平均 R.M.R.} = \frac{754.73}{294.32} = 2.56$$

$$\text{実働時間平均 R.M.R.} = \frac{825.95}{322.97} = 2.56$$

$$\text{勤務時間平均 R.M.R.} = \frac{830.98}{337.17} = 2.46$$

⑥ 労働消費エネルギーの計算

(f) 荷掛作業

勤務時間消費エネルギー量

$$= 1.0 \{ 766.28 + (1.2 \times 319.69) \}$$

$$= 1149.9 \text{ (Kcal)}$$

なお、8時間換算をすると1726.5 Kcalとなる

(g) トラクタ運転作業

勤務時間消費エネルギー量

$$= 1.0 \{ 830.98 + (1.2 \times 337.17) \}$$

$$= 1235.6 \text{ (Kcal)}$$

なお、8時間換算値は1759.0 Kcalとなる。

以上、荷掛作業とトラクタ運転作業について労働消費エネルギーの計算を行ってきたが、この計算例からは2つの作業の労働負担が同じような結果になり、心拍数による労働負担の評価とかなり異なる傾向がみられた。この事例のトラクタ運転作業はかなり荷掛作業を兼務しており、このことが原因したものと思われる。

このように、同じ作業でも作業条件等の違いで、作業内容(要素作業)が異ってくるから、実際の測定においてはこれらのことを十分注意する必要がある。

(4) フリッカー値の測定

① 意義

光源をかなりの速さで点滅させるとちらついてみえる。点滅する光点は点滅速度がある一定以上になると、ちらつき値が消えて連続した光にみえてくる。これをちらつきの融合といい、融合をおこし始めたときの点滅の周波数をフリッカー値と呼んでいる。作業負担を与えると、フリッカー値が高まるから、その上昇率から労働負担や疲労の測定法として用いられている。

② 測定装置

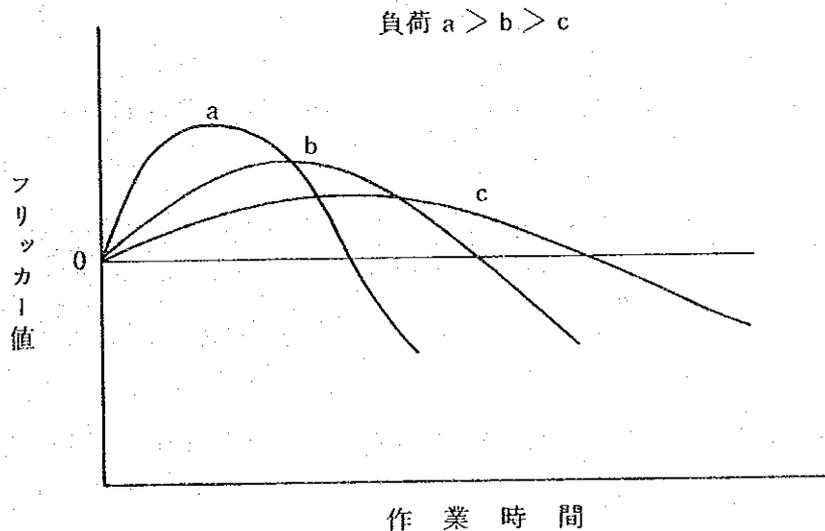
フリッカー値の測定装置にはセクターで光源からの光を断続的にさえぎって点滅させるセクター式と、電子管発振装置によってネオン管や光変調管を点滅させる光源点滅式とがある。供与機材の測定装置は後者の型式のものである。

③ 測定法と注意

- (a) 測定は点滅回数を増やしてちらつき値をなくしてから徐々に回数をおとしていったらつきの出始めたときの点滅回数を読む、いわゆる下降法を用いる。
- (b) 被検者に測定に馴れさせることが必要であり、少なくとも本測定に入る前日に2～3回練習する。
- (c) 毎回の測定回数は3～5回続けてとり、著しく離れた値は捨て平均をとる。測定はできるだけすばやく終らせること。
- (d) 測定にさいしての周りの条件、被検者に対する指示は常に一定する。

④ フリッカー値の特徴

フリッカー値は通常一定の作業をした場合、作業の初めは少し上昇するが、時間の経過とともに下降し始め、作業終了時には作業前の値よりも低くなるのが一般的である。そしてこの上昇、低下の巾は労働負担の大小によって異なる。すなわち負担の大きい場合はその巾が大きく、負担の小さい時は巾が小さくなる。従ってフリッカー値の上昇、低下の度合によって、労働負担の程度を推定することが可能になる。図Ⅲ-26はこれを模型的に示したもので、a, b, cは各々負荷の異なる作業でa, b, cの順に負担が小さくなっている。



図Ⅲ-26 労働負担とフリッカー値

連日作業について見ると図Ⅲ-27のような模型が考えられる。A, B, Cも負担の大きさの異なる作業を表わしている。この場合負担の最も大きいA作業についてフリッカー値の変動をみると逐日的に作業前値が低下しているが、これは1日の労働負担が大であるため、翌日にその影響が現われていると考えてよい。このような場合は、ある1日のフリッカー値の低下を見ただけでは負担の程度を捉えることができない。

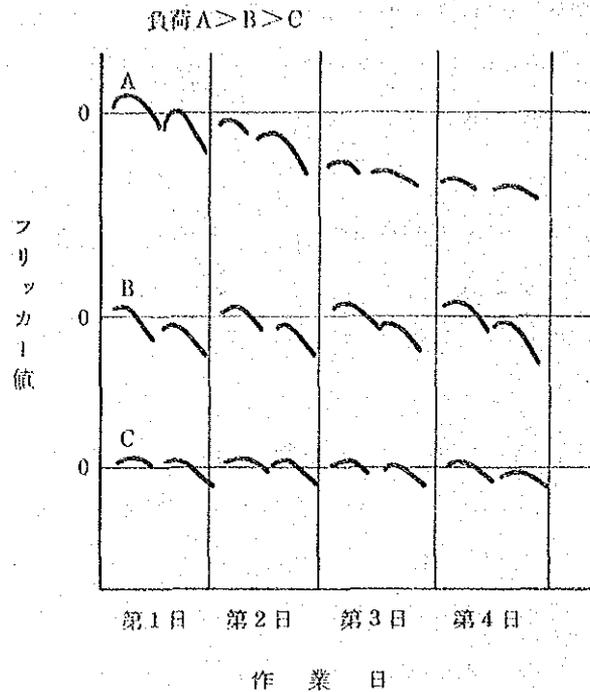


図 III - 27 フリッカー値の逐日変動

⑤ 処理の仕方と判定基準

一般的には、

- (a) 第1作業日前値あるいは日勤作業前値に対する変動率～時間的変動
- (b) 作業前値に対する変動率～逐日的変動

の分析を行うが、これらを作業地域別に比較したり、他の機能検査との相関を分析したりして労働負担推定に使用する。

そのほか、フリッカー値の時系列変化について平均、分散を比較し、低下の著しい時点についてその低下の要因を検討する。いずれにしても個人差などのバラツキがあるので、各人の測定値全体について基準化したものを分析の対象とするなど統計的処理を行って有意な変動であるかどうかをみる。

作業時のフリッカー値の時間的変動パターンは図 III - 28 のようになるといわれる。

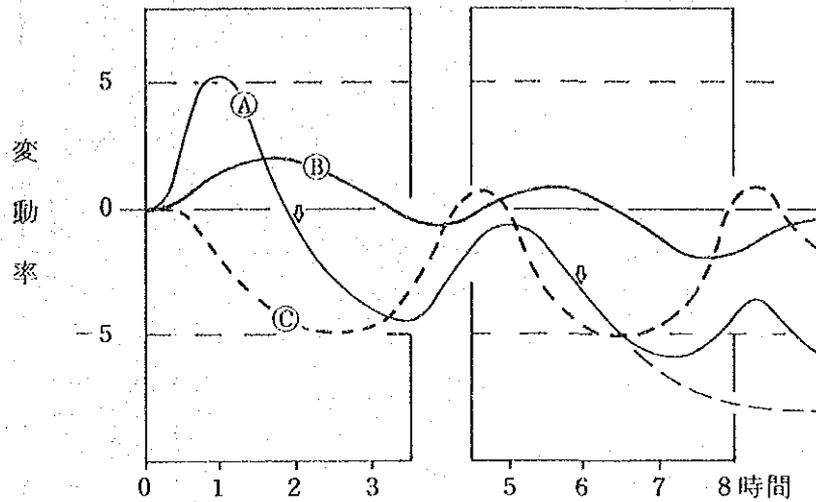
A型：負担の強い筋作業や神経作業にみられる。

B型：一般の作業で最も普通にみられる。

C型：単調作業

問題はA型、C型であって能力の低下やそう失によって事故をおこす危険がある。

判定の基準としては表 III - 32 がある。作業前値に対する変動率が -5% 以下になるのは好ましくないと一般に考えられている。



図Ⅲ-28 作業時のフリッカー値の時間的変動パターン

表Ⅲ-32 フリッカー値の判定基準
(フリッカー値の好ましい限界)

労働形態	第1作業日の日間低下率	作業前値の週間低下率
肉体労働	-10 %	-3 %
中間労働	-7	-3
精神労働	-5	-3

⑥ フリッカー値の調査例

(a) 調査の概要

作業期日、作業場所、被験者、調査者は心拍数の計測の場合と同様である。

① 調査方法

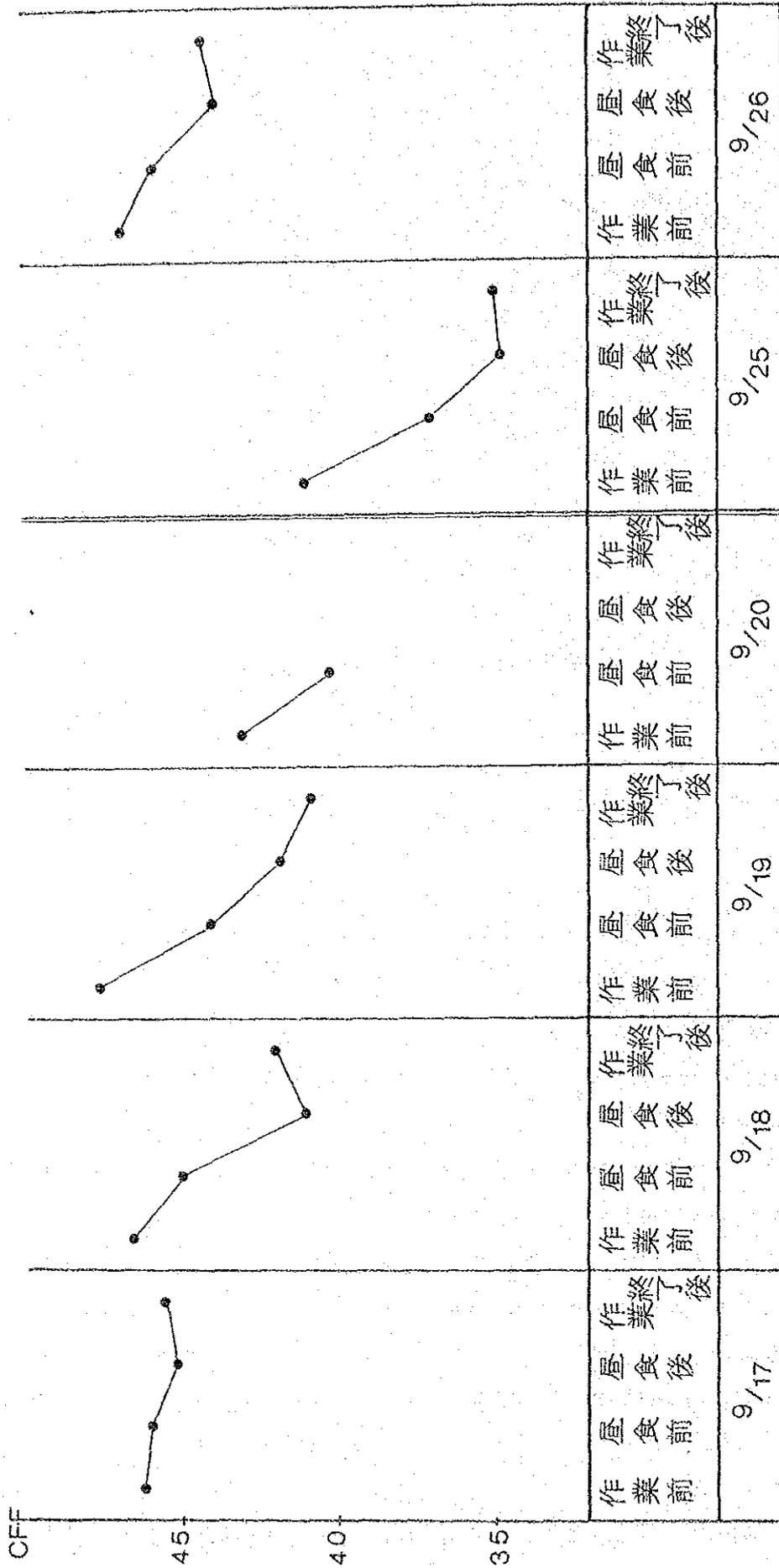
作業開始前(9:00)昼休み前(12:00)昼休み後(13:00)作業終了後(16:00)各作業者についてフリッカー値の測定を行った。一日のフリッカー値の変化をみるためには1~2時間おきに測定する必要があるが、この調査では作業の都合上、上記のように1日4回の測定にとどめた。

(b) 調査結果

図Ⅲ-29に荷掛作業、図Ⅲ-30にトラクタ運転作業のフリッカー値測定結果を示す。

② 荷掛作業

作業終了後は作業開始前に比べてフリッカー値の時間的変動の低下が顕著に見られ



図一Ⅲ—29 作業によるフリッカー値の変化(トラクタ集材荷掛作業)

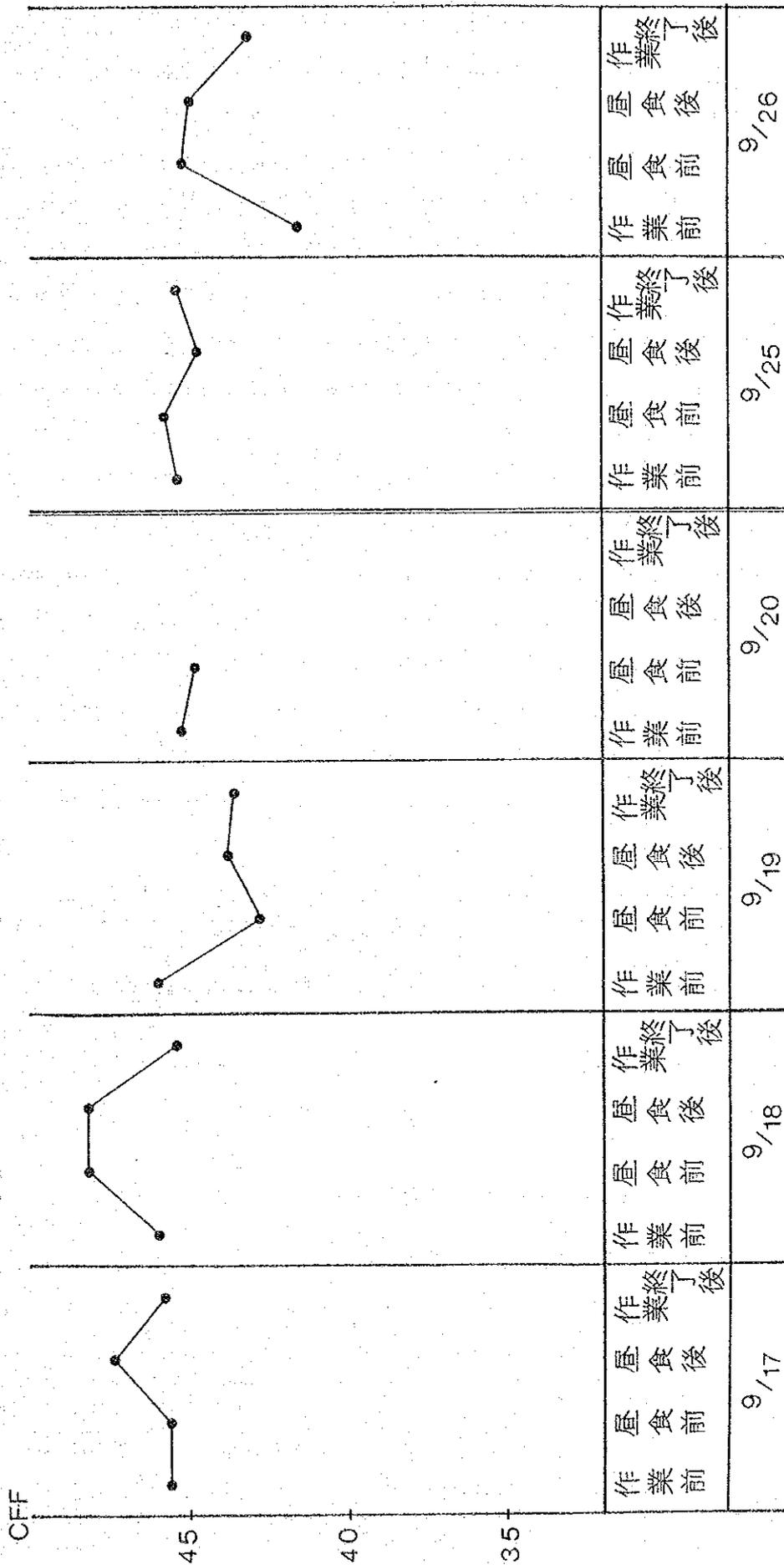


図 III - 29 作業によるフリッカー値の変化 (トラクタ集材運転作業)

る。特に2日目(9/18), 3日目(9/19)では低下が大きく, かなりの疲労があることがわかる。すでに述べたようにフリッカー値の日間低下率は-10%以内が好ましい限界と考えられている。なお, フリッカー値の時間的変動パターンをみいだすためには, 1~2時間おきのさらに詳しい調査が必要である。作業前値の逐日経過については, 必ずしも低下の傾向がみられず, 労働負担が大であっても翌日にその影響が現われているとはいえない。

⑥ トラクタ運転作業

作業終了後のフリッカー値は作業開始前に比べてさほど低下していない。つまり労働負担があまり大きくないことが判る。また作業前値の逐日変動についてもほとんど変化がなく問題点はみられない。

⑦ フリッカー値の変動率

フリッカー値は作業日により, また個人により値が異なることが多いといわれる。これは個人によって興奮水準が異なるからである。このためフリッカー値を厳密にみるためにはフリッカー値の絶対値を捨象した変動率で検討する必要がある。

ア. 作業前値の逐日的変動

表III-33は作業前値の逐日的変動(週間低下率)を示したものである。

表III-33 作業前値の逐日的変動

(%)

	9/17	9/18	9/19	9/20	9/25	9/26
荷掛作業	0.0	0.9	0.6	-7.1	0.0	13.3
トラクタ運転作業	0.0	0.9	1.1	-1.4	0.0	-8.6

作業前値の週間低下率の限界は-3%とされる(表III-32)が, これだけのデータから結論づけるのは早計であって, さらにデータの蓄積が望まれる。

イ. フリッカー値の時間的変動

フリッカー値の時間的変動(日間低下率)のうち作業後の変動について示したのが表III-34である。

表III-34 フリッカー値の変動(作業後の日間変動)

(%)

	9/17	9/18	9/19	9/20	9/25	9/26
荷掛作業	-1.5	-9.9	-12.3	-	-15.5	-5.8
トラクタ運転作業	0.4	-1.1	-5.2	-	-0.0	4.1

フリッカー値の時間的変動の好ましい限界は-10%とされるが、これらを検討するためにはさらに詳しい調査が必要である。

III-3-4 作業安全研究

作業安全研究とは労働災害の防止に関係する研究の総称である。作業に使用する機械、装置、施設等の安全性について力学的、人間工学的あるいは通信工学的検討を加えるもので、あらゆる森林作業が研究対象となる。このプロジェクトでは移転技術の一つである架空線集材装置を取りあげ、その重要な構成要素である根株および立木の保持力の安全性を検討するため、根株保持力試験を行った。

(1) 根株保持力試験のねらい

架空線集材装置を架設する場合、主索のアンカーやブロック類の取付けあるいは控索等の固定に根株が、また元柱、先柱、向柱、あるいはモノケーブル式の支柱などとして立木が利用される。またトラクタ集材やリモコンウインチ集材においても、立木や根株が強度的支点として利用される。従って集材作業の安全を確保し、円滑に作業を行うためには立木や根株の保持力を事前に把握し、十分な強度を有するものを選定することが必要である。この意味から1984年から1985年にかけてカンボスドジョルダン州有林においてテーダマツおよびエリオッティマツを対象とした根株および立木の保持力試験を実施した。

(2) 根株保持力試験方法

1) 試験地の設定

試験地としては地形および土壌条件が平均的で、かつ大径の根株から小径のものまで広く分布している箇所が望ましい。広範囲から供試木を選定すると、計測器や牽引機材あるいはウインチ等の移動に時間がかかり効率が悪くなる。できればある程度まとめて供試木が得られる箇所を選定する。

今回はテーダマツについてはカンボスドジョルダン州有林ヒベイロン地区の68林班および73林班に、またエリオッティマツについては事務所に近い106林班にそれぞれ試験地を設定した。

2) 計測器類

試験に用いる計測器はロードセル(荷重変換器)、動歪測定器、記録計および携帯用発電機であり、必要があれば荷重指示計を併用する。

ロードセルは引張荷重の大きさを電気信号に変換する計器である。

荷重の大きさに応じ3種のロードセル(容量2t, 5t, 20t)を使いわけるとともに、

動歪測定器はロードセル内の電気的バランスを調整するとともに、ロードセルから送られてくる電気信号を増巾して記録計へ送り出す計器である。

記録計は計測値を記録紙上に連続的に記録する装置である。

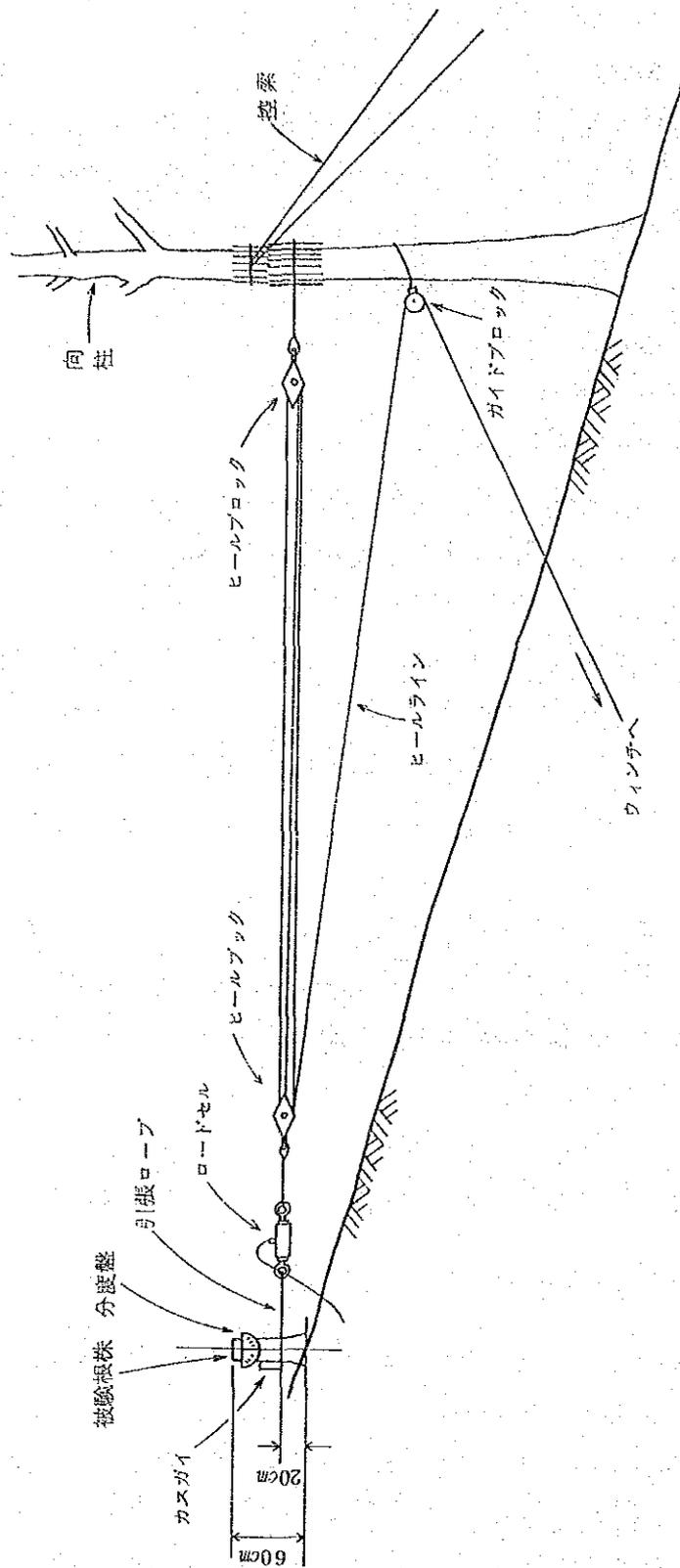
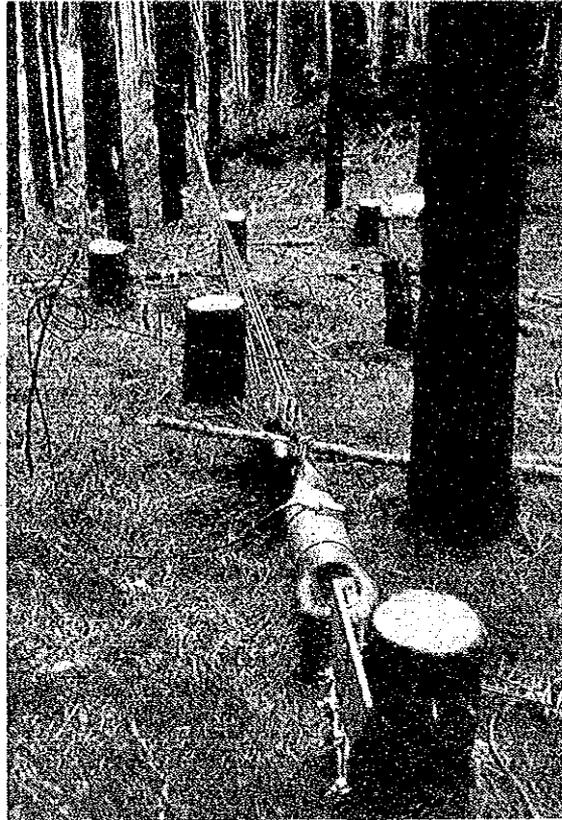


図 11-31 伐根保持力試験の配置図

荷重指示計は荷重の大きさを目盛盤上で直接読みとることができる。

3) 試験の準備

試験地において供試木また供試根株を選定する。図III-31は根株試験の配置図である。根株の高さは60 cm以上が望ましい。既存の根株を使用する場合は40 cm程度まで試験可能である。引張ロープの取付け高さは地上20 cmとする。この高さは必ず一定にする必要



写真III-23 根株保持力試験

がある。試験中、根株の傾斜に従って引張ロープが滑り抜けることがあるので滑り止め対策をとる。根株の外周に切り込みを付けることもあるが、サ州の試験では2本のカスガイを図の位置に打ち込んでこれに備えた。立木支持力試験の場合は特に規定はないが、モノケーブルブロックの平均取付高さを基準として地上2.5 mの高さにとる。(図III-32, 図III-33)

引張ロープ端にロードセルを取付け、これにヒール装置を組み込む。強度的に十分な向柱を選定し、必要のある場合はガイラインで補強する。根株と向柱の距離は7~8 m以上とする。両側に3車のヒールブロックを用い、ヒールラインはトラクタウインチまたは集材機に巻き込む。引張方向はできるだけ水平とし、傾斜地の場合は根株位置での等高線方

向となす角度を記録する。

また根株の準備と同時に計測準備を行う。

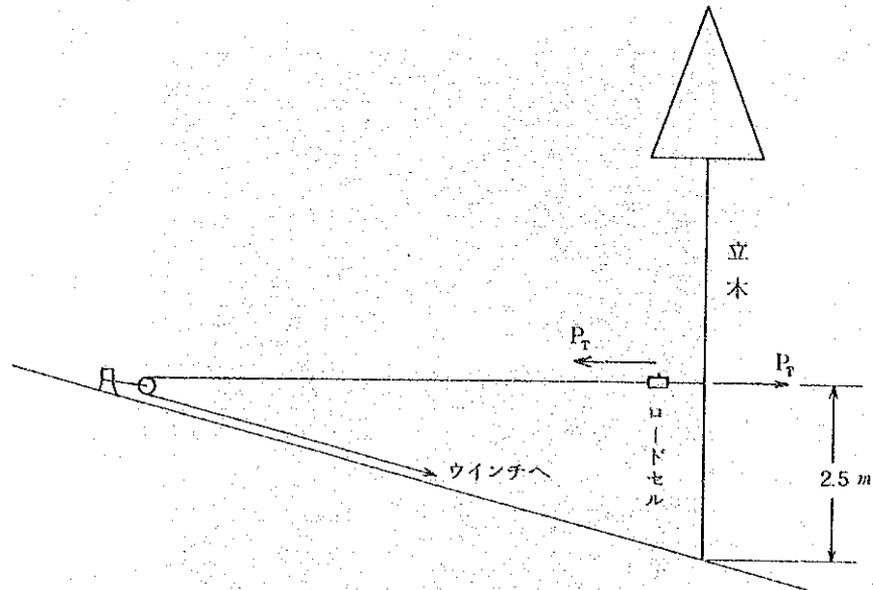


図 III - 32 立木保持力試験のロードセル (1)

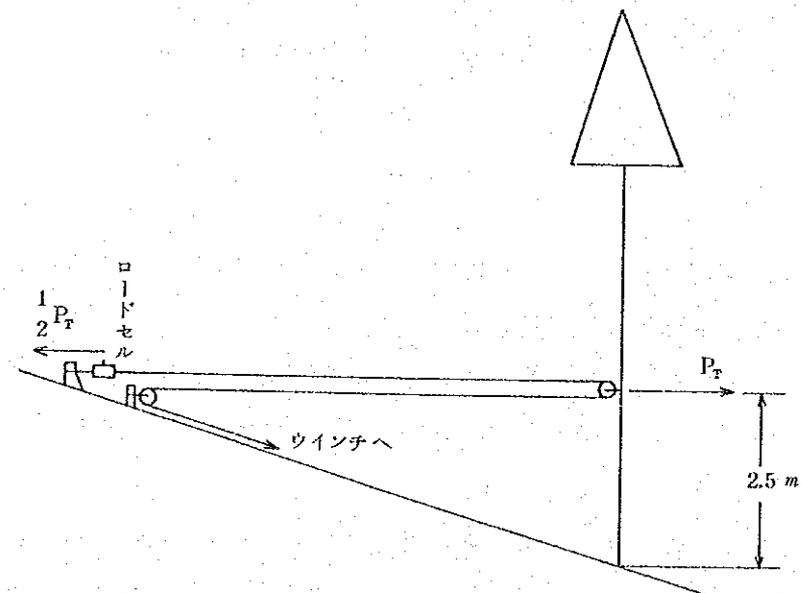


図 III - 33 立木保持力試験のロードセル配置 (2)



写真Ⅲ-24 立木保持力試験

4) 試験の実施

根株直径は地上20cmで計測し、地面の傾斜度、引張方向の上下左右の角度等と共に記録紙に記入しておく。根株の傾きを調べるため根株に分度盤を取付け、その中心から重錘を吊るす。記録計の紙送速度を25mm/分程度に設定し、牽引を開始する。周囲の安全を十分確認したうえでヒールラインを徐々にウインチに巻込む。引張速度は3~4m/分程度以下で一定に保つ。

根株の傾き測定には担当の観測者を配置し、5°きざみで合図を送る。記録者はこれを記録紙上に記録する。試験中は根株の状況をカメラで記録するとともに、試験に関する諸事項を洩れなく記録紙上に記録しておく。根株が45°~50°程度まで傾いた時点でウインチを停止し、ロードセルの荷重を0の状態にして記録紙上の0点を確認する。同時にチルホール等を用いて根株を元の状態に引き戻し試験を終了する。

記録されたデータから根株の保持力Pを次の式で計算する。

$$P = C_L \times \frac{S_c}{S_{max}} \times \frac{h}{hc} \times \cos \theta$$

ただし、この式で、

CL : ロードセルの容量 (t)

Sc : キャリブレーション歪量

Smax : ロードセルの最大歪量

h : 記録値の0点からの高さ (mm)

hc : キャリブレーション値の高さ (mm)

θ : 引張方向と水平のなす角度 ($^{\circ}$)

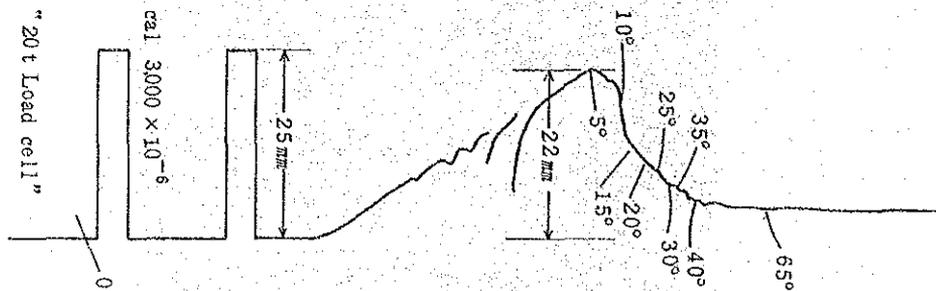


図 III - 34 保持力試験データの一部

計算例を示す。図 III - 34 は実際の試験データの一部である。使用ロードセルは容量 20 t, $\theta = 0^{\circ}$ であったので、この場合の最大保持力 P は次のように計算される。

$$P = 20 \text{ t} \times \frac{3000 \times 10^{-6}}{4002 \times 10^{-6}} \times \frac{22 \text{ mm}}{25 \text{ mm}} \times \cos 0^{\circ} = 13.2 \text{ t}$$

(3) 試験結果と考察

カンボスドジョルダン州有林において行ったテーダマツおよびエリオティマツの根株保持力試験と立木保持力試験の結果は次のとおりである。

1) テーダマツの場合

試験場所：カンボスドジョルダン州有林 68 林班および 73 林班

林 令：21～22 年

林地傾斜度： 11° ～ 31° ，平均 19°

土 壤：赤黄色ラトソル

試験日時：1984 年 12 月 4 日～12 月 20 日

① 根株保持力

引張方向を等高線の接線方向つまり斜面に対して横方向と、接線に直角で谷側方向すなわち斜面に沿って谷側方向とに大別して試験を行った。ここで根株保持力 P は根株の

直径（地上20 cm部位）Dの2乗に比例するものと仮定し、

$$P = aD^2$$

の関係式を適用した。ただし、aは樹種により定まる定数である。

計算の結果引張方向による保持力の差に有意性は認められなかった。表III-35に示す全データについて根株直径と保持力を示したのが図III-35である。テーグマツに関する回帰式は、

$$P = 9.638 \times 10^{-3} D^2$$

回帰からの偏差 $s = 1.10$ ，相関係数 $r = 0.922$ であった。

表III-35 テーグマツの根株保持力試験データ

根株No	直径D	保持力P	引張方向	根株No	直径D	保持力P	引張方向
1	30 ^{cm}	10.25 ^t	谷側	16	20 ^{cm}	3.70 ^t	横
2	25	5.40	横	17	26	8.32	谷側
3	35	13.19	"	18	19	3.12	"
4	30	7.26	"	19	24	4.27	"
5	27	8.38	"	20	31	7.67	"
6	16	3.14	"	21	31	8.20	"
7	22	6.78	"	22	32	9.66	"
8	22	6.01	"	23	16	2.09	"
9	21	5.50	"	24	22	5.25	"
10	18	3.26	"	25	26	7.00	"
11	24	4.25	"	26	23	6.23	"
12	26	5.64	"	27	18	2.24	"
13	30	7.21	"	28	26	6.77	"
14	22	4.95	"	29	35	11.15	"
15	14	1.49	"				

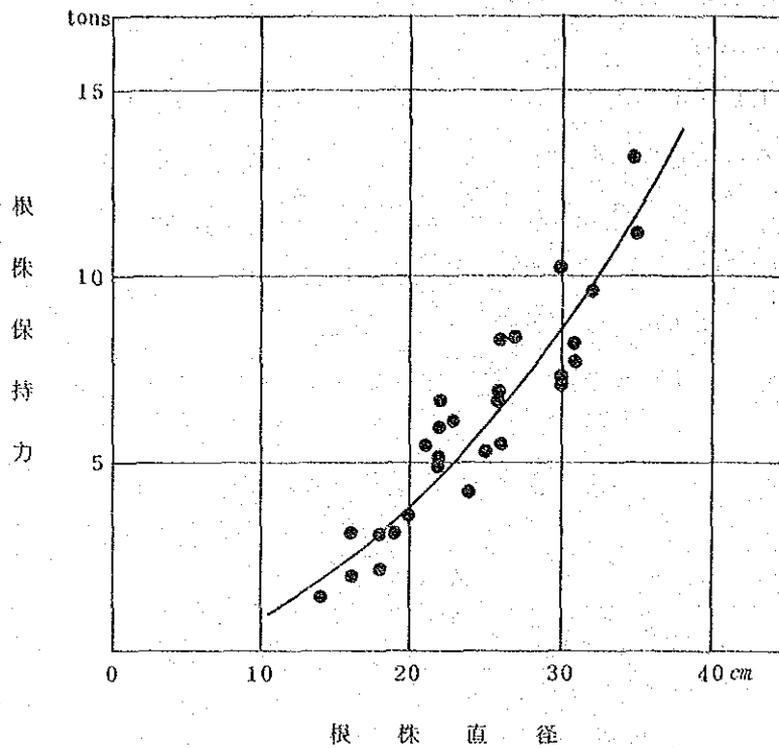


図 III-35 テーダマツの根株直径と根株保持力の関係

引張試験中の根株の傾きと保持力の変化の程度は図 III-36 に示すとおりである。ここでは縦軸に最大保持力に対する各傾き時保持力の百分率をとっている。図から根株の保持力は傾きが $0^{\circ} \sim 10^{\circ}$ のときに最大値をとり、それを越えると急速に減少することがわかる。ただし直根の発達した根は保持力減少の割合が多少ゆるやかである。

② 立木保持力

立木の場合、引張方向は山側一方向であった。試験データを表 III-36 に示す。テーダマツの胸高直径 D_B と地上 2.5 m 部位における立木保持力 P_T との関係は図 III-37 のとおりである。立木保持力の場合も根株と同様、 P_T は D_B の 2 乗に比例するものと仮定し、次のとおり回帰式を求めた。

$$P_T = 3.388 \times 10^{-3} D_B^2$$

ただし、 $s = 0.336$ 、 $r = 0.934$ である。

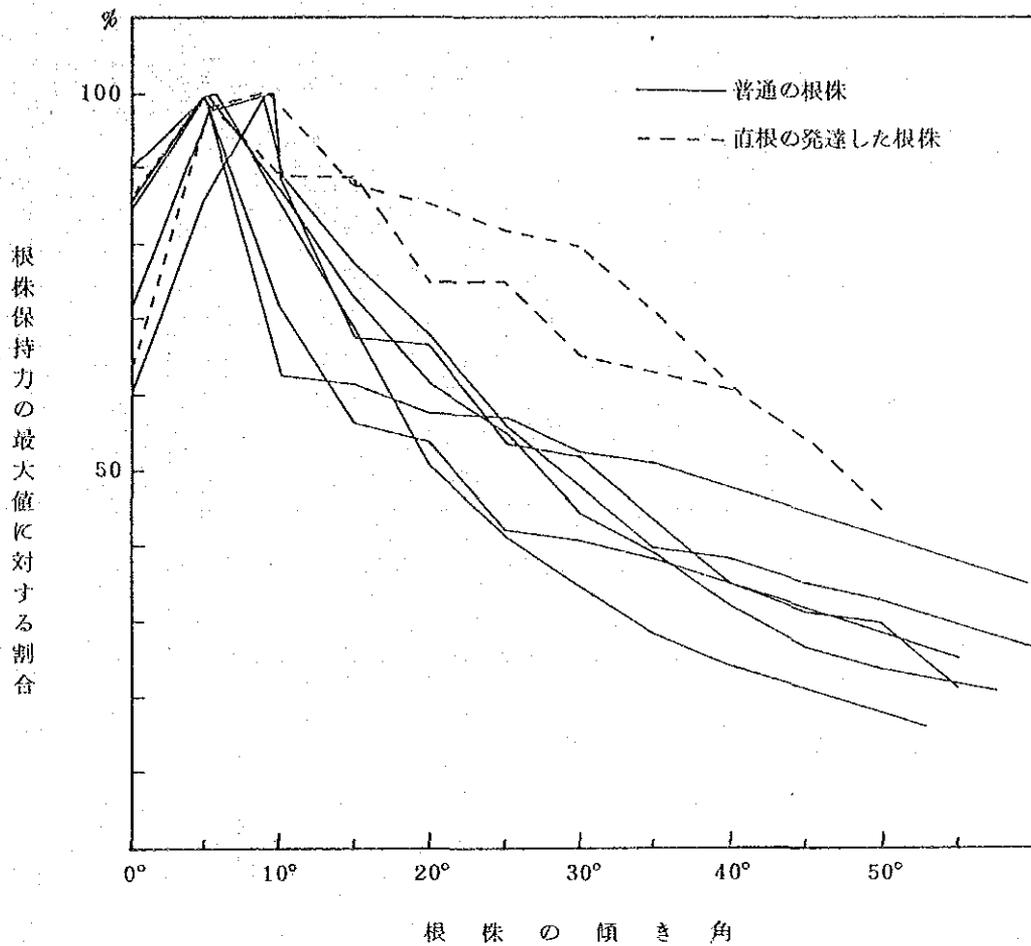
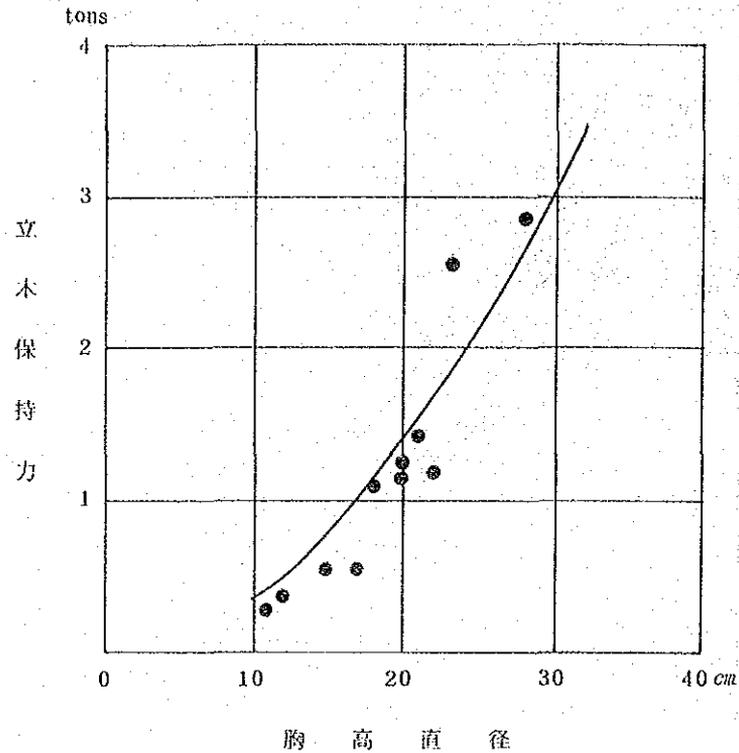


図 III - 36 根株の傾きにもなり保持力の変化
(テータマツ)

表 III - 36 テータマツの立木保持力試験データ

立木No	胸高直径 D_B	保持力 P_T	引張方向
1	12 cm	0.38 ^l	山側
2	15	0.56	"
3	18	1.10	"
4	20	1.16	"
5	17	0.55	"
6	20	1.25	"
7	11	0.29	"
8	22	1.18	"
9	23	2.55	"
10	28	2.86	"
11	21	1.45	"



図Ⅲ-37 テーダマツの胸高直径と立木保持力
(地上2.5m)の関係

2) エリオッティマツの場合

試験場所：カンボドジョルダン州有林 106林班

林 令：26～27年

林地傾斜度：5°～20°，平均15°

土 壤：赤黄色ラトゾル

試験日時：1985年10月22日～10月24日

① 根株保持力

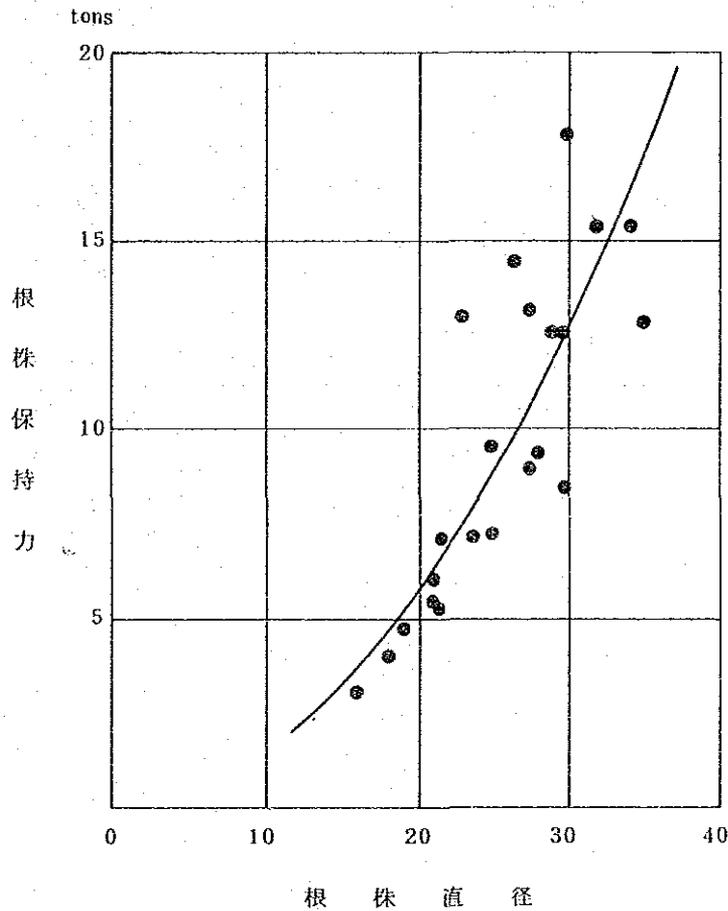
エリオッティマツの場合，引張方向は主として横方向であった。試験の結果は表Ⅲ-37および図Ⅲ-38に示すとおりである。DとPの関係を表す回帰式は次のとおりであった。

$$P = 1.404 \times 10^{-2} D^2$$

ただし， $s = 2.55$ ， $r = 0.803$ である。

表III-37 エリオツテイマツの根株保持力試験データ

根株No	直径D	保持力P	引張方向	根株No	直径D	保持力P	引張方向
1	16 ^{cm}	3.05 ^l	横	12	21 ^{cm}	6.58 ^l	横
2	23	13.07	"	13	25	7.23	"
3	21.5	7.11	"	14	26.5	14.51	"
4	32	15.33	"	15	27.5	13.20	"
5	27.5	9.02	"	16	30	8.50	"
6	29	12.60	"	17	18	4.05	"
7	21	5.46	"	18	21.5	5.74	"
8	30	12.56	"	19	28	9.37	山側
9	30	17.81	"	20	35	12.86	横
10	19	4.77	"	21	25	9.56	"
11	23.5	7.16	"	22	34	15.40	"



図III-38 エリオツテイマツの根株直径と根株保持力の関係

② 立木保持力

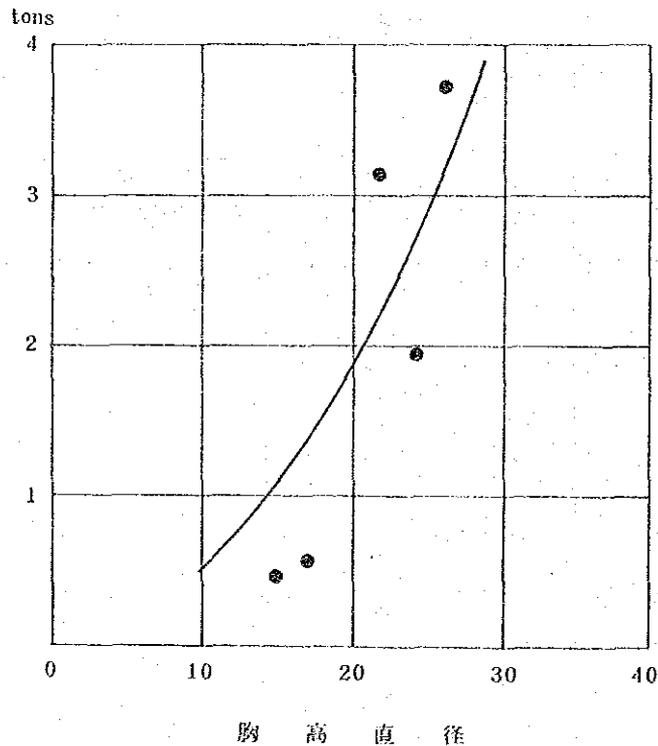
引張方向は根株の場合と同様、主として横方向であった。試験の結果は表III-38および図III-39に示すとおりである。DBと P_T との回帰式は次のとおりであった。

$$P_T = 4.724 \times 10^{-3} D_B^3$$

ただし、 $s = 0.831$ 、 $r = 0.870$ である。

表III-38 エリオッティマツの立木保持力試験データ

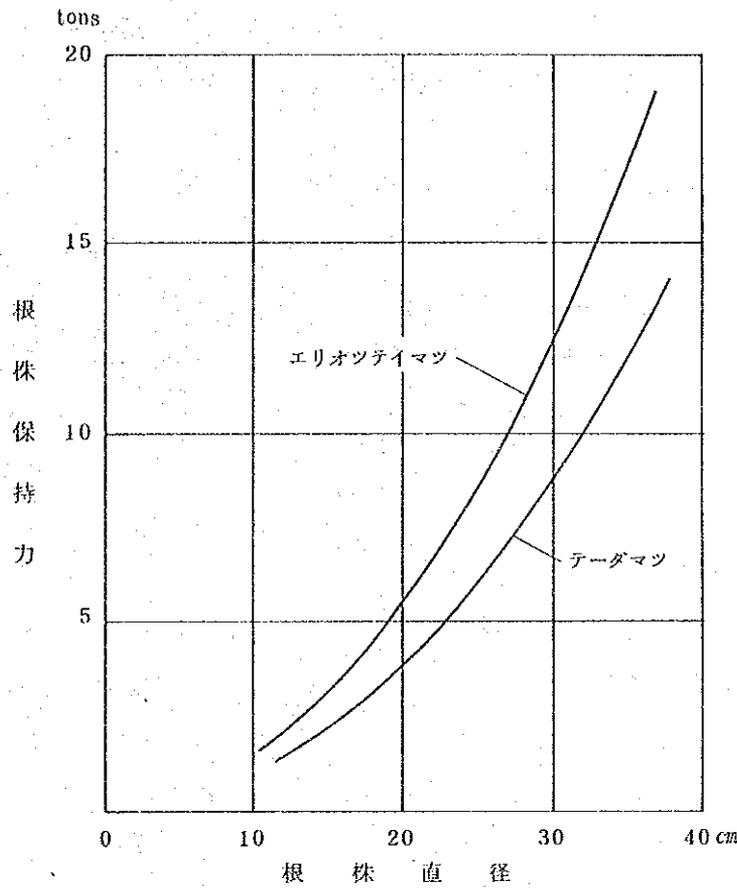
立木No	胸高直径 D_B	保持力 P_T	引張方向
1	21.5 ^{cm}	3.35 ^t	山側
2	17	0.72	"
3	24	1.95	"
4	15	0.48	"
5	26	3.72	"



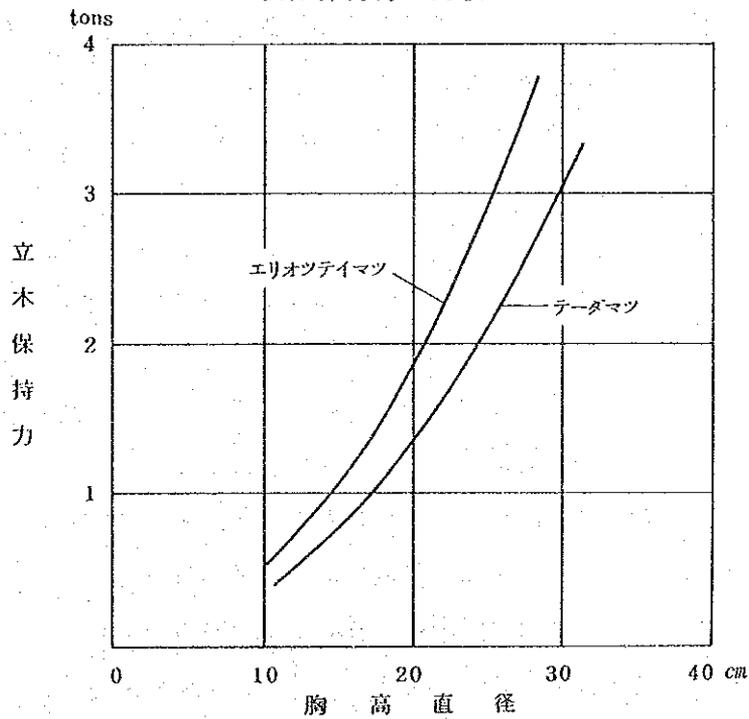
図III-39 エリオッティマツの胸高直径と立木保持力(地上2.5m)の関係

3) テーダマツとエリオツティマツの比較

図III-40および図III-41はテーダマツとエリオツティマツの根株保持力および立木



図III-40 テーダマツおよびエリオツティマツの
根株保持力の比較



図III-41 テーダマツおよびエリオツティマツの
立木保持力(地上2.5m)の比較

保持力の比較を示す。いずれもエリオッティマツの方が大きな値を示しており、両者間に明らかな差が認められる。しかし根株等の保持力は土壌条件の違いや根の発達状況、あるいは引張方向等に影響を受けるものと考えられるので単純に結論を出すことはできない。統計的な処理についてもさらに進め、両者の差異につき検討する必要がある。

(4) 今後の研究の方向

カンボストジョルダン州有林のテーダマツおよびエリオッティマツについて根株および立木保持力に関するデータを得たが、今後さらに土壌条件あるいは地形、林令等の異なる地域において調査を重ねれば、より正確な情報が得られるものと思われる。また、皆伐施業が活発に行われているユーカリ人工林において品種別のデータを収集することも、ケーブルを用いた集材法を適用する場合の安全確保に有効である。

III-3-5 作業コスト分析法

(1) コスト分析の必要性

木材の伐採搬出に要する費用を予測することは、経済的な有利性を確保するためだけでなく、異った生産手段相互の経済性比較、あるいは生産作業の改善点を見出すという意味でも重要なことである。費用予測のためには様々の要素が考慮されねばならないが、この中には過去の実績データにもとづくものも少くない。一方では機械器具の急速な進歩などもあり単に過去の記録だけに頼ることもできない。

(2) 生産費用の考え方

① 機械費

費用推定には「機械費」が用いられる。ある機械設備の単位時間当りの取得費用と運転費用の合計である。機械費の内容を図III-42に示す。

機械償却費用推定のためには、その機械の推定寿命の間一定の償却額とする直接償却が普通に用いられる。残存価値は償却期が終った時点で推定される価値で、当初価格の10～20%である。

利息は平均年間投資額に利率をかけて、償却期間中一定の支出額として計算されることが多い。

税金・資格・保険および保管料はひとまとめにして平均年間投資額の一定割合として定額支出として推定する。機械設備によって2～20%となる。

修理と維持のための費用は償却費の一定割合として推定するのが便利である。

燃料消費の推定は実績によるほか、燃料消費曲線と平均負荷因子から推定することもできる。架線集材の集材機の平均負荷因子は50%以下である。

オイルと潤滑油類の費用の推定は、エンジンオイルが燃料の1%、その他油類は燃料の5%程度である。

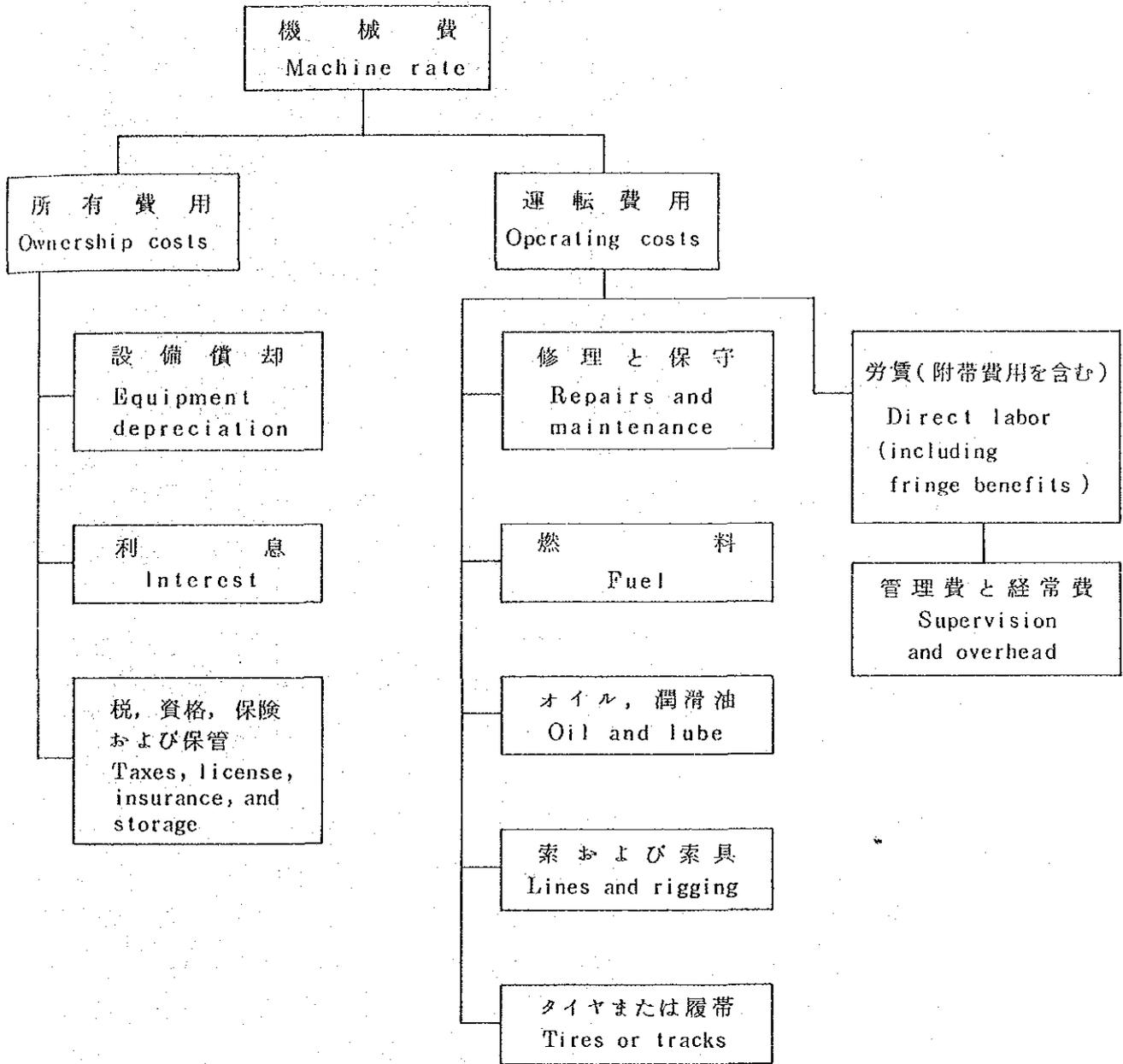
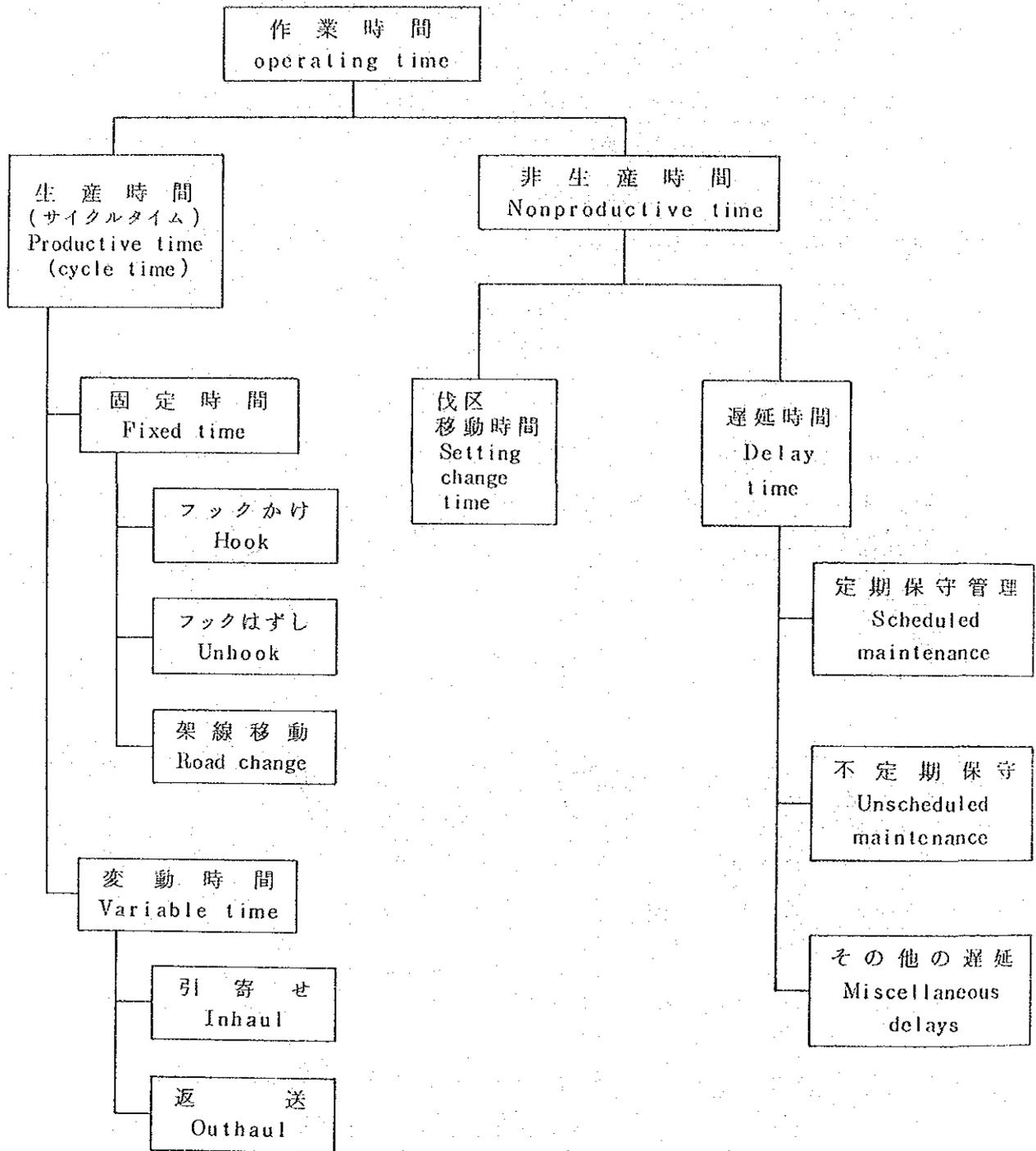


図 III - 42 機械費用要素

Machine rate cost elements.



図Ⅲ-43 作業時間要素

Operating time elements.

ロープと附属器具は使い捨ての支出と考え、単位時間当りの費用として見積る。このためロープと附属器具の寿命を決める必要がある。寿命は時間単位よりも集材材積で表わされることも多い。寿命が2年以下ならば消耗品として考える。

タイヤあるいは履帯の費用は寿命が短い場合には運転経費として扱い、使用寿命を推定し時間当りの費用として考える。

直接労賃には基本賃金と保険・保障・休暇等に対する附帯経費が含まれ、附帯経費は基本賃金の30～40%である。

管理費と経常費は作業に関連した多くの間接費であり、普通直接労賃に対する割合で表わされる。

② 集材作業時間

生産量は単位時間当り土場へ運び込まれる材積で表わされる。作業時間は図III-43のような時間要素に分けられる。

生産時間(サイクルタイム)のうち、フックかけ、フックはずしの時間は材の大きさや本数、林地条件によって変化するが、伐区ごとの平均値はほぼ一定と考えてよいであろう。引寄せと返送の時間は集材距離の関数となり、搬器の速度、傾斜、荷の大きさなどの影響をうける。

材のひっかけりやチェーンカのカケなおしなどの小さな作業遅延時間は、普通のサイクルの要素と考えられる。

非生産時間には伐区の移動と機械設備の故障などによる遅延時間が含まれる。遅延時間を見積ることはむつかしく、機械設備の状態や集材条件と過去の故障時間記録を考慮せねばならない。遅延時間は生産時間に対する割合として表わすことができる。

不定期の保守は故障によるものであり、その他の遅延は、予定されるものと悪天候による時間損失を含む種々の作業遅延である。

③ 単位材積当りの費用の計算

あたえられた林分から集材される材の数、材積などは事前調査による。一回当りの平均集材本数の推定には1本の大きさ、積載量、荷下し場の状況、丸太の分布などを考慮しなければならない。これをもとに前述の各項目について費用の積算ができる。

(3) 集材作業の実情と費用推定

カンボスドジョルダン州有林におけるマツ類人工林の間伐材搬出作業について、上述の集材費用の見積りあるいはコスト分析を細かく適用することを考えるといくつかの点で支障がある。それは、作業形態として十分に定着しておらず、これまでの作業日数・作業人数・集材面積・生産量などが全く把握されていないことである。全て作業員は州立公園の職員であり、賃金も全て月給制であり、生産性に対する感覚は労働者にも監督者にも現在のところ少ない。

したがって、ここでは功程調査の結果を用いたごく簡易な方法で、トラクタ集材と架線集材とについて集材費用を計算し比較してみた。この方法は上述のコスト分析のうちの主要な項目を取りあげたもので、日本における集材作業の経済性比較等の多くはこのような方法を根拠としている。

集材 1m³当りの費用を次の式で求める。

$$K = \frac{C + F + H + I}{G} + J$$

ここに K：m³当り単位（円/m³）

C：賃 金（従業員数×単価）

F：燃料費（使用量×単価）

G：功 程（m³/日）

H：機械償却費（＝購入価格×0.9× $\frac{1 \text{ 日運転時間}}{\text{耐用時間}}$ ）

I：修 理 費（＝購入価格×0.75× $\frac{1 \text{ 日運転時間}}{\text{耐用時間}}$ ）

J：機 材 費（＝ $\frac{\text{購入価格}}{\text{耐用数量}}$ ）

耐用時間，1日運転時間，耐用数量の例は表Ⅲ-39のとおり。

表Ⅲ-39 集材機・トラクタの耐用時間・耐用数量

機 種	耐用時間	1日運転時間
集材機（20～75PS）	4,500	6.0
”（20～PS以上）	3,500	6.0
トラクタ	5,000	6.0

品 目	耐用数量
ワイヤロープ（作業索10～13mm）	4,500 m ³
”（”10mm以下）	3,800 m ³
控索，台付ロープ等	4,500 m ³
スリングロープ	1,200 m ³
搬器，ブロック類	12,000 m ³
クリップ，ジャックル	6,000 m ³

架線集材（ランニングスカイライン方式）の試算例を表Ⅲ－４０に示す。

表Ⅲ－４０ 架線集材（ランニングスカイライン方式）の例

（項目）	（内 容）	（費 用）
集材機	中 型 集 材 機 KK-2B(20PS)	購入価格 7,500 \$
		償却費 $7500 \times 0.9 \times \frac{60}{3500} = 11.57 \text{ $/日}$
		修理費 $7500 \times 0.75 \times \frac{6}{3500} = 9.64 \text{ $/日}$
機 械 費	ワイヤロープ	
	12 mm, 400 m	$500 \text{ $} \times \frac{1}{4500} = 0.11 \text{ $/m}^3$
	10 mm, 300 m	$300 \text{ $} \times \frac{1}{4500} = 0.07 \text{ $/m}^3$
	スリング, 台付ロープ類	$100 \text{ $} \times \frac{1}{1200} = 0.08 \text{ $/m}^3$
	ブロック, シャックル類	$250 \text{ $} \times \frac{1}{6000} = 0.04 \text{ $/m}^3$ (0.3 \$/m ³)
燃 料	軽 油 5ℓ/日	$0.3 \times 6 = 1.8 \text{ $/日}$
賃 金	4 名 (運転手1, 荷掛手1, 荷卸手2)	$5 \times 4 = 20 \text{ $/日}$

1日当りの工期は前述の工期調査時の結果を適用し、平均集材距離80mで、11.73 m³/日とする。1m³当り集材単価(Ky)は

$$K_y = \frac{(20+1.8+11.57+9.64)}{11.73} + 0.3 = 3.97 (\text{\$/m}^3)$$

となる。

トラクタ集材の試算例を表Ⅲ－４１に示す。

1日当りの工期は工期調査5.5日間の平均値をとって、25.08m³/日とすると、1m³当りの集材単価(Kt)は、

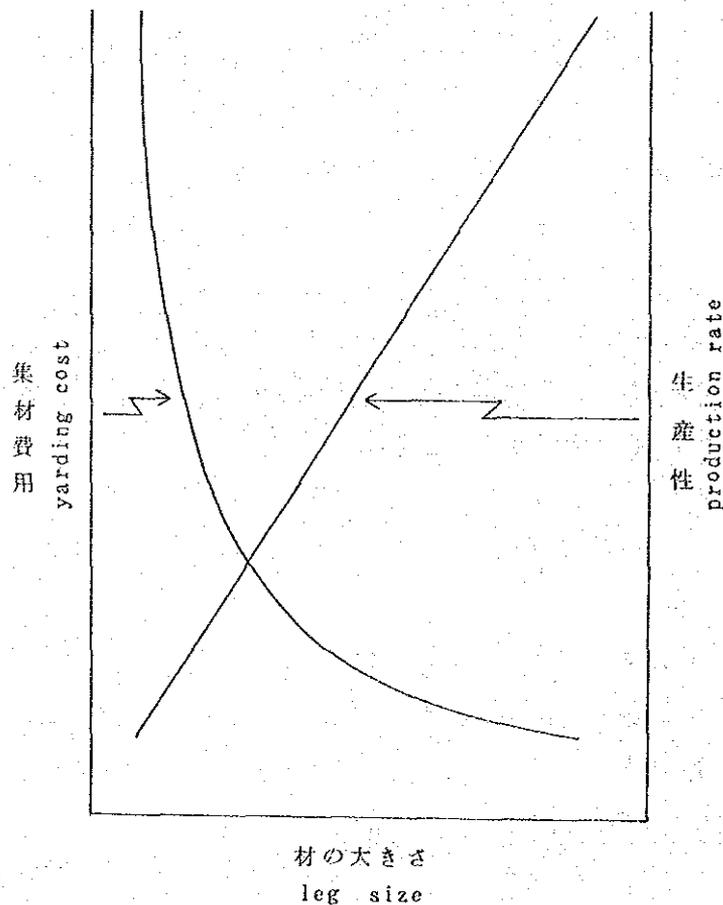
$$K_t = \frac{(15+3.21+29.16+24.30)}{25.08} + 0.10 = 2.96 (\text{\$/m}^3)$$

となる。

以上の計算例では、トラクタ集材区域が大径材で、集材架線区域は小径材であり、このことが工期に大きく影響している。生産費用と生産量に最も影響を与える因子は材の大き

表III-41 トラクタ集材の例

(項目)	(内 容)	(費 用)
トラクタ	ホイールトラクタ T-20	購入価格 27,000 \$ 償却費 $27,000 \times 0.9 \times \frac{6}{5000} = 29.16 \text{ $/日}$ 修理費 $27,000 \times 0.75 \times \frac{6}{5000} = 24.30 \text{ $/日}$
機 材 費	ウインチロープ 14mm, 50m	$75 \text{ $} \times \frac{1}{1200} = 0.06 \text{ $/m}^3$
	スリングロープ	$50 \text{ $} \times \frac{1}{1200} = 0.04 \text{ $/m}^3$
燃 料 賃 金	軽油 10.7 ℓ/日	$0.3 \text{ $} \times 10.7 = 3.21 \text{ $/m}^3$
	3名(運転手, 荷掛手, 荷掛手各1名)	$5 \text{ $} \times 3 = 15 \text{ $/日}$



図III-44 材の大きさと集材費用および生産性
yarding cost and production rate
versus log size.

さである。図Ⅲ-44のような傾向はどんな集材作業についても認められるところである。マツ人工林間伐材の集材作業についてはさらに今後のデータを収集し、作業計画にとり入れる必要がある。

(4) 今後の問題点

試算の結果から明らかなように、集材費用に占める機械の償却・修理費の割合が46～70%と高い。相対的に労働者の賃金が低いことでもある。集材費を安くするためのならば、全て人力作業が良いと言えるかも知れない。

しかし、これまで研究協力の対象としてきたマツ人工林の間伐材集材作業は州有林内だけでも多大の要間伐林を残している現状を考えると、機械化による高能率化あるいは利用価値の高い材を生産するための技術の定着を目的としてきた。単に集材費用だけで比較できない、本来的な意味を考慮せねばならないだろう。

将来的には集材機械がブラジル国で自給できて安くなり、人件費が高くなることは十分予想されることであり、このときには機械化伐出が経済的にもすぐれたものになることが考えられる。

したがって、当面は現在あるトラクタと集材機の機械化伐出作業について、作業仕組や作業条件と関連づけて、集材工期と費用に関する実績データをできるだけ正しく多く集める必要がある。これによって今後、能率と費用の面から、適切な伐区に適切な機械を配置する作業計画が可能となると考えられる。

参 考 文 献

1. BUCCI, L. A., T. SUZUKI, M. KOBAYASHI e J. M. MOTTA : Colheita mecanizada em povoamentos de pináceas visando a regeneração de essenciais nativas, Congresso Nacional Sobre Essenciais Nativas, 1360~1366, Campos do Jordão, São Paulo, 1982
2. BUCCI, L. A. : Exploração Florestal em Topografia Acidentada, 9^o Ciclo de Atualização em Ciências Agrárias, Curitiba, 1982
3. 小林 勝 : ブラジル・サンパウロ州林業研究協力計画専門家報告書, 161~220, 国際協力事業団, 1984
4. 小林 勝 : Manual de operação da extração de madeiras com monocabo, 未刊
5. 国際協力事業団 : ブラジル・サンパウロ林業研究協力事業事前実施調査報告書, 1979
6. 国際協力事業団 : ブラジル・サンパウロ林業研究計画巡回指導調査報告書 (昭和56年度), 1982
7. 国際協力事業団 : ブラジル・サンパウロ林業研究計画巡回指導調査団報告書 (昭和57年度), 1982
8. 国際協力事業団 : ブラジル・サンパウロ林業研究協力計画エバリュエーション調査報告書, 1983
9. 国際協力事業団 : ブラジル・サンパウロ林業研究協力計画計画打合せ調査報告書, 1984
10. 国際協力事業団 : ブラジル・サンパウロ林業研究協力計画巡回指導調査報告書 (昭和60年度), 1986
11. 小沼順一 : ブラジルの伐出技術協力, 林試場報 (159), 4~7, 1977
12. 小沼順一 : ブラジルの伐出技術協力, 機械化林業 (293), 10~25, 1978
13. KONUMA, J., T. SUZUKI & M. KOBAYASHI : Technical Cooperation on Logging, São Paulo Project, Brasil, XVII IUFRO World Congress, Proceedings - Division 3, 495, 1981
14. 小沼順一, 鈴木晴史, 柴田順一 : ブラジル国サンパウロ州研究協力プロジェクト, 56年度林試機械化部業務報告会要旨集, 109~113, 1982
15. MOTTA, J. M., 小林 勝 : 機械化伐出の技術移転, サンパウロ林業研究協力プロジェクトの場合, 機械化林業 (351), 52~59, (352), 53~60, (353), 56~62, (354), 57~60, 1983
16. 中野秀章 : ブラジル・サンパウロ州の水土保持と森林, 林試場報 (144), 1~3, 1976
17. 中野秀章 : ブラジル・サンパウロ州の林業, 山林 (1124), 36~41, 1978
18. 中野 実 : 林業の研究協力, サンパウロ州森林院にて, 林業技術 (476), 8~11, 1981

19. 柴田順一：ブラジルサンパウロ林業研究協力，カンボス・ド・ジョルダンにおける機械化伐出作業，林試場報（219），5～7，1982
20. SUZUKI, T., L. A. BUCCI, J. KONUMA, M. KOBAYASHI e J. M. MOTTA : Mechanização Florestal em Campos do Jordão, 4^o Congresso Florestal Brasileiro, 604～607, Belo Horizonte, 1982
21. 鈴木皓史：ブラジルサンパウロ林業研究協力計画専門家報告書，221～244，国際協力事業団，1984
22. 田中利美：ブラジルサンパウロ林業研究協力計画専門家報告書，245～278，国際協力事業団，1984
23. 田中利美，小林 勝，J. M. MOTTA, L. A. BUCCI : カンボス・ド・ジョルダン州有林における間伐材搬出工程，日林関東支論，219～222，1985

（ポルトガル語翻訳文献）

加藤誠平：林業用索道設計法

林業機械化協会：林業用トラクタとその作業（作業編）

林業機械化協会：集材作業の手引

林業機械化協会：集材機作業基準・解説

IV リモートセンシング技術研究

Ⅳ リモートセンシング技術研究

Ⅳ-1 リモートセンシング技術研究の概要

Ⅳ-1-1 背景と目的

サンパウロ州は過去100年間でコーヒー園をはじめ綿畑、放牧地等の拡大開発によって、国土面積の80%を占めていた森林が約20%へと急激に減少し、その結果、土壌の侵蝕、荒地や崩壊地が激増して、人間環境が極度に悪化してきた。そこでサンパウロ州の森林院は森林造成事業を推進すると同時に、水源林の適切な管理技術の確立が急務となっていた。

このような情勢下で民有地における人工林の造成もブラジル連邦政府の造林補助金政策（造林面積に見合う所得税の減額）で促進されていた。

人工林が徐々に拡大される中で、土地利用区分や人工林の現況調査、水源林としての適正配置および森林管理経営技術の確立が重要視されてきた。

森林院におけるリモートセンシング分野の活動開始は、森林院の技術情報部長のもとに3名の研究員を配して、すでにリモートセンシングの経験を有していた「コーヒー研究所」の2名の専門家の指導協力を得て、カンピナス農業研究所と共同で、サンパウロ州内の土地利用現況調査（農耕地と林地）を1973年から75年にかけて実施したことにはじまる。また、1977年から5カ年計画で州内2地域を選んで、人工造林地の所有者別、樹種別、林齢別面積の調査と、州立自然公園の林相図の作成等の実績があった。使用した空中写真は1971年から72年にかけて全州を撮影した縮尺1/25,000の写真であった。空中写真は1977年から今日まで1/20,000～1/45,000の縮尺範囲で再撮影が行われている。

地球観測衛星のデータ受信施設の設置はわが国よりも早く、1971年にはスペース研究所（Instituto de Pesquisas Espaciais - INPE）の創立を行い、地球観測データのデジタル解析とアナログ解析が実施されている。しかし大学に林学科が設けられたのが当時より7～8年前という状況から推測できるように、リモートセンシング技術の林業分野への応用という面では若干の立ち遅れがみられた。

このような背景のなかで、事前調査団はリモートセンシング分野の技術協力について次のように取り纏めている。

森林院に林業研究部門が設立されたのは1970年であり、研究機関としての歴史は極めて浅い。研究者数や機器、施設は不十分であり、研究水準も未だ初歩的ないし基礎的段階にある。従って「水源林の適正な管理技術の確立」という研究技術協力を実施するにあたり、森林院の早急な研究機能向上が極めて重要であると指摘した上で、リモートセンシング分野の研究協力の重要性を述べている。

森林院では空中写真を利用した土地利用判別の研究は進んでいるが、森林蓄積の把握および治山事業への空中写真の利用面は進んでいない。前者については、その広大な国土を前提とす

ると研究の必要性は高い。また後者についても流域管理分野の研究の重要性とも関連して研究の必要性は高い。しかしながらわが国においても両者とも研究途上にあり、協力する場合は共同研究としての色彩は避けられないと考えられる。

以上のような背景と目的からリモートセンシングの研究技術協力分野を、森林蓄積判読法と流域条件判読法の2課題にしぼり、日本側からの短期専門家の派遣とブラジル側からの研修員の受入および機材供与で対応し、高レベルの研究活動を行うのではなく、初期段階の研究手法の確立と施設の整備に寄与し、森林院の研究機能の向上を目指すという基本姿勢で両国間の合意がなされた。

IV-1-2 研究課題と実施経過

リモートセンシング技術研究協力分野の具体的な活動開始は中野リーダーが1979年12月に赴任し、そこでプロジェクトの課題と研究協力年次計画が作成されて、第1年目の最後の四半期に当時森林院写真解析主任の森林蓄積判読法と流域の地形、荒廃態様判読法の修得を目的とした受入研修を実施した時点からはじまった。

この研修では樹種判読等の定性的な写真判読技術は森林院がすでに一応の水準に達しているとの判断で、樹高測定等の定量的な写真判読技術の向上と、空中写真を利用した蓄積推定法、さらには流域管理への空中写真の利用技術として、地形、崩壊地の現況の判読技術の向上に重点をおいた。なお受入研修員との協議検討の上、森林院の現状と研究協力課題とを勘案し、当初予定された供与機材のうち高精度図化機や写真現像焼付処理機械等を、写真判読機械や判読結果の地図への移写機および面積測定機等、最も実践的で利用頻度の高い中間機材の供与に変更された。

1980年3月に派遣された計画打合せチームと協議した際森林院から次の点が要望された。

- a. 空中写真を利用した森林調査法だけでなく地上における各種標本調査法、生長量調査法や収穫予想表の作成等への指導協力もお願いする。
- b. リモートセンシングの長期専門家の派遣を強く希望する。
- c. 流域管理分野で計画していた供与機材の小型電算機(2千万円)が輸入禁止品目で暗礁に乗り上げている。小型電算機は国産化政策できびしいが、中大型電算機は今のところ輸入が許可されている。日本に持ち帰り打開策を検討して欲しい。

以上の要請を受けa項は年次別目標の中に早速組み入れることになった。この年次別目標は次のとおりである。

年次別目標(リモートセンシング)

1980年

1) 簡易空中写真測定の基礎的技術の研修

簡易平面図化法

樹高および標高の測定法

樹冠直径，樹冠疎密度，立木本数の測定法

局所地形および傾斜の測定法

樹種および樹種群落型の判読手法

そ の 他

2) 空中写真による治山全体調査の技術

3) サ州造林地の位置図作成法

供与機材による移写技術および面積測定自動化技術

4) 地上における森林標本地調査法

1981年

1) 空中写真による治山全体調査技術の実際的応用試験

2) 崩壊地，荒廃地等の様態判読法の研究

3) 崩壊地等危険地域の判定法の研究

4) 空中写真を利用したユーカリ，マツ等の人工林の蓄積推定法

5) 人工林樹種別空中写真材積表の作成技術

1982年

1) 人工林樹種別空中写真材積表の作成技術（続）

2) 天然生林の樹種群落型の判読と森林タイプ分類法および蓄積推定法

3) 森林タイプ別樹種別空中写真判読基準カードの作成技術

4) リモートセンシングを利用した各種森林調査法とその解析手法について日本で研修

1983年

1) 人工林樹種別空中写真材積表の作成（続）

2) 森林タイプ別樹種別空中写真判読基準カードの作成技術（続）

3) 森林調査のための統計的解析方法の研究

4) 人工林の生長量調査法と収穫予想表の作成

5) 簡易空中写真撮影法の開発とその写真利用法の研究

6) 空中写真を利用した各種森林調査法のマニュアル作成

7) そ の 他

b項は早速長期派遣専門家の人選に取り掛り，翌年の1981年4月から派遣実現の運びとなった。

c項は中型電算機として認められるもの，森林院へ設置後のメンテナンスが可能なもの，受入研修員の電算機のオペレーション研修が容易なもの，予算額に見合うもの，の4点を考慮し，機種を決定した。

1980年9月から3カ月間，電算機担当がプログラミングとオペレーションシステムと操作の基本的部分の研修を林業試験場およびメーカーで受けた。

さらに本機材の森林院電算機室（新設）への設置完了を待って1981年4月から3ヵ月間、椎林専門家が派遣され、電算機利用の基礎的技術と統計処理手法の指導にあたり、相関関係、直線回帰分析、重回帰分析、分散分析等の研究データの初歩的統計処理ができるようになり、森林院の中における電算機センターとしての基盤を作り上げた。

電算機部門のカウンターパートとして3名が配置された。

リモートセンシング分野の空中写真を利用した森林調査法の研究、技術協力は長専門家の派遣を待って本格的な協力が開始される計画であったが、赴任後、デジタイザーの組立て調整と面積測定自動化技術を指導し、前記課題へ取り組む準備段階で、当該カウンターパートのポスト異動が行なわれ、カウンターパートとしての任務が果たせなくなり、実質的にカウンターパート不在の状態となった。そこで森林院側と協議した結果、空中写真利用以前の問題として地上における林木測定法や森林調査法に関する知識や経験が浅いこと、また同課題は年次別目標の後半にも予定されていることなどから、立木幹材積表の調製をはじめ林分蓄積および生長量の推定、林分収穫予想表の調製等の研究指導を繰り上げて実施することになった。

この研究協力分野のカウンターパートに2名がつき、サンタ・バルバラ州有林（Florestal Estadual de Águas de Santa Bárbara）が試験地として選ばれた。

上記研究協力を継続する中で、空中写真による森林解析法の研究指導を並行して実施できるように体制を整えるため、1981年8月から4ヵ月間のカウンターパートの研修を受入れ、空中写真およびランドサットデータの利用による森林解析法の研修を実施した。

しかし長専門家の、主としてサンタ・バルバラ（Águas de Santa Bárbara）試験地における森林調査法の研究指導が本格的に軌道に乗ったため、この課題に具体的に取り組む余裕がなくなった。そのため空中写真による森林調査法についてはマニュアルにもとづく（全般的方法論）の指導にとどめ、実際の課題の遂行は後任の島村専門家に引継ぐことになった。

長専門家が指導した主たる研究課題は、立木幹材積表の調製、林分蓄積および林分生長量の推定、樹幹析解、立木材積表および利用材積表の調製等である。

なお、カウンターパートの1人は日本で受けたリモートセンシングの研修成果を生かし、保全公園研究部員を指導して、パライバ川（Rio Paraíba）流域およびその他の流域調査に独自に取り組み、空中写真による土地利用区分、林相判読ならびに地形解析等を実施した。

小木専門家は、空中写真の計測によって侵食や崩壊地の発生箇所、規模およびそれらの経年変化等の解析を行う予定であった。在伯中に適当な空中写真が入手できなかったため、現地では、踏査によって、林地崩壊、放牧草地のガリー侵食、山地崩壊などの実態および関係要因を選定するため代表的な場所を調査し、わが国で採用されている荒廃地判定法に用いられる因子の空中写真による判読の可能性を検討した。

島村専門家は空中写真材積表の作成指導にあたり、写真判読測定技術を一定のレベルまで高めるために、空中写真による森林判読法という課題を設け、本調査研究に携わるカウンターパ

ートおよび森林施業調査部の研究員を対象に研修講座を開き、樹種、樹高、樹冠直径、樹冠疎密度、立木本数等の写真判読、測定実技の指導に当たった。

この研修成果の基盤に立って、引続き、空中写真材積表の作成法の指導に移った。

対象林分はアローカリア人工林（メリョラメント社有林）で、使用した空中写真は1/8000の縮尺である。写真判読要因は平均樹冠直径、立木本数、平均樹高の3つであったが、結果的には平均樹冠直径、立木本数と林分材積との3つのパラメータの重回帰式（重相関係数0.811）で推定できることを示すことができた。

1984年6月、計画打合せチームが来伯し、森林院側と協議した結果、荒廃危険地判定法の研究指導を急ぐ必要を認め、1984年度より流域管理部門と共同して、リモートセンシング部門は荒廃地および荒廃要因の空中写真判読法の研究指導にあたった。

荒廃危険地として侵蝕危険地はタウバテ行政区のペドゥラ、ネグラ川（Rio Pedora Nagra）流域、崩壊危険地はカラガタツバ（Caraguatatuba）地区のサント・アントニオ川（Rio Santo Antonio）流域が調査対象地に選定された。

使用した空中写真は1973年撮影の1/25,000縮尺を2倍に引伸して1/12,500とした。その他地形図、土壤図、地質図が利用された。

侵蝕危険地のタウバテ（Taubate）地区は緩斜面の丘陵地帯で主として放牧地と農耕地で占められ、森林は僅かに尾根筋に分布する程度である。

侵蝕の外的基準はa.表面侵蝕がリール侵蝕程度のもの、b.ガリー侵蝕がみられるものの2タイプを写真判別し、bタイプに重みを付けた上で、メッシュ内の占有面積割合で危険度を数値化した。

これに対する写真判読要因項目は被覆物（森林と草地）、土壤深、地形分類で、森林はさらに天然林と人工林に判別し、それぞれを疎密度で8階級と9階級に分類された。

土壤深は1.4m程度（ポドゾール土壤）と2m以上（ラテゾール土壤）に分類し、地形は傾斜（4階級）、方位（8）、縦断面形（3）、横断面形（3）、斜面長（3）に分類された。

なお地形分類データは後述する「地形情報ファイルの作成」手法の電算機処理で求められたデータでも要因解析がなされている。

これらのカテゴリーを用いて数量化Ⅱ類による要因解析が行われて、その結果は重相関比0.3566であった。

崩壊危険地のカラガタツバは海岸山地の急傾斜地で天然林で覆われた地帯で草地は僅か9%に過ぎない。

崩壊の外的基準は、メッシュ内（1ha）の崩壊地面積の占める割合によって数値化された。これに対応する要因項目は、被覆物、土壤深、地形分類で、被覆物は森林をa.緩斜面に分布する2次林、b.尾根筋に分布する大径木を含まない天然林、c.その他の天然林、に分類し草地をdとした。

土壌深は0～50cm, 60cm～1m, 1.1m～2m, 2m以上の4段階に、写真判読による傾斜、地形および植生状態から推定した。

地形分類はメッシュ交点の標高データによる電算機処理で求められたものを用いた。

侵蝕危険地判定法と同じく、これらのカテゴリーを用いて数量化Ⅱ類で要因解析がなされ、重相関比0.5059の値が示された。

なお侵蝕、崩壊危険地、双方とも調査単位は100m×100m(1ha)のメッシュである。荒廃危険地判定法のカウンターパートは、ルイ(Rui Marconi Pfeifeu)とエルビエラ(Elvira Neves Domingues)女史の2名が配置された。

沢田専門家(1985.6.18～8.13)は、荒廃の要因解析のために数量化Ⅱ類のプログラムを使った電算機処理方法を森林院の電算機FACOM230-28で指導した。

また荒廃危険地の要因項目である地形の「傾斜度」「斜面方位」「局所地形」をメッシュの格子点標高データを用いて電算機処理で求める方法、すなわち「標高データを用いた地形情報ファイルの作成法」を指導した。局所地形のカテゴリーは山頂面、山腹凸面、山腹平衡面、山腹凹面、山脚浸蝕面、山脚堆積面の6分類である。

本課題のカウンターパートは前記した電算機室のメンバーである。

IV-1-3 リモートセンシング部門の供与機材

本プロジェクト開始前の森林院の所有機材の主なるものは移写機(ズームトランスファースコープ)、双視実体鏡、反射実体鏡、オリヴェティ計算機など空中写真判読用としての必要最小限の機材を保有していた。

そこで事前調査団は当時の計画としてリモートセンシング分野の協力体制が共同研究的性格に位置づけられていたこともあって、地上における測樹器具等は機械化伐出分野に入れ、図化機、ステレオスコープ、テンプレート、写真焼付機、引伸機、現像焼付薬品を掲上した。

その後の森林院側との具体的な詰めによって、本分野の協力体制も強化され、それに伴い供与機材の内容も変化していった。

IV-2 森林調査法

IV-2-1 林分蓄積および林分生長量の推定法

(1) はじめに

正確な林木の本数、材積等の蓄積および生長量を調査（推定）し整理しておくことは森林施業や伐採・販売等の事業計画、ならびに林業経営計画上の基礎資料として極めて重要である。

その調査（推定）方法としては、毎木調査法、標準地調査法、各種のサンプリング調査法、等がある。一般に森林調査の目的は、①林地取得・売却等のための調査、②伐採または販売等の事業のための調査、③経営計画のための調査、④国家資源の把握等のための大規模調査、および⑤樹種転換、造林面積確定、病害・虫害・火災害等の被害量把握のための特殊の調査、等に分けられる。

サンパウロ州森林院では②の場合の調査方法として、Águas de Santa Bárbara州有林では1 - Talhão ($500\text{ m} \times 500\text{ m} = 25\text{ ha}$)に対し、その一角に $100\text{ m} \times 100\text{ m} = 1\text{ ha}$ の区画を設定し、その中の全林木を伐倒・実測して全体推定を行っていた。この方法は多くの労力や経費を要するため、それに代る方法の一つとして、前記②と③の目的を兼ね、サンプリング調査法の一つである系統的標本抽出調査法 (Systematic line-plot sampling) の現地テストを行った。この方法はサンプリング手法の基礎であると同時に、調査の方法が簡単であること、および調査後の内業計算や取り纏め等のデータ処理も比較的容易である、等の利点を有する。これに生長錐調査による林分生長量の推定を併せて行い、調査方法に対するトレーニングを兼ね、現地林分への適用の可否を検討した。

(2) 調査の計画

① 調査対象地

調査対象地にはサンパウロ州Águas de Santa Bárbara州有林内のTalhão №8を選んだ。ここは同州有林のほぼ中心部にあり、面積は $500\text{ m} \times 500\text{ m} = 25\text{ ha}$ を有する。樹種はエリオッテイマツ (Pinus elliottii)、林齢は1961/62植栽で、調査当時(1982年)20年生、植栽本数は $1.5\text{ m} \times 1.5\text{ m} = 4,400\text{ 本/ha}$ 、間伐は第1回目1970年5.0% (2,200本, 21 m^3)、第2回目1978年5.0% (1,100本, 56 m^3)の2回実施されている。林内の一部は1979年に山火事に遭っており、また部分的に湿地帯もあり、生長状態はあまりよい方ではない。地形はほぼ平地林である。

② 調査計画

(a) 系統的標本抽出調査法に対する計画

系統的標本抽出調査法による森林蓄積推定のための調査計画は、

① 調査対象林分面積 $A = 500\text{ m} \times 500\text{ m} = 25\text{ ha}$

② 林分変異係数 $C = 30\%$ (均一度径径良好)

③ 目標精度(許容誤差率) $e = 10\%$

④ プロット・サイズ $a = 0.04 \text{ ha}$

により、それぞれ次のとおり計画を立てた。

① 調査プロット抽出個数 n

$$n = \frac{4C^2A}{e^2A + 4aC^2} = \frac{4 \times (30)^2 \times 25}{(10)^2 \times 25 + 4 \times 0.04 \times (30)^2} = 34.039 \approx 34$$

② プロット抽出誤差率 e

$$e = 2C \sqrt{\frac{A - na}{nA}} = 2 \times 30 \sqrt{\frac{25 - 34 \times 0.04}{34 \times 25}} = 10.006 \approx 10.01 (\%)$$

③ プロット抽出率 p

$$p = \frac{n}{N} \times 100 = \frac{na}{A} \times 100 = \frac{34 \times 0.04}{25} \times 100 = 5.44 (\%)$$

④ プロット抽出間隔 d

$$d = \sqrt{\frac{A}{n}} \times 100 = \sqrt{\frac{25}{n}} \times 100 = 85.749 \approx 85 (m)$$

⑤ 円形プロットの場合の半径 r

$$r = \sqrt{\frac{a(m^2)}{\pi}} = \sqrt{\frac{400}{3.14159}} = 11.2838 \approx 11.28 (m)$$

プロット抽出個数 n は計算上の個数(34)よりも少なくなると精度低下の原因となる。したがってこれを防ぐためプロット抽出間隔 d を計算値よりも短くとり n を増やすことが望ましい。本例では $d = 85.749 \text{ m}$ となったが、これを 85 m としたのはそのためである。これにより実際の調査プロット予定個数は図 IV-1 のとおり 36 個となった。また調査プロット面積 $a = 0.04 \text{ ha}$ は方形の場合は $20 \text{ m} \times 20 \text{ m}$ である。しかし実際は円形プロットの方がプロットの区画・設定が簡単であり時間も早いため、本調査では円形プロットとし、その半径 $r = 11.28 \text{ m}$ と計算した。

図 IV-1 は以上の計算結果にもとづき、抽出間隔 $d = 85 \text{ m}$ により、調査対象林分の Talhão №8 に対し 36 個の調査プロットを図上に設定したものである。なお、抽出方向は磁北 N を基準に東西南北の方向とした。また最初の出発点(基点)はプロット №2 とし、林分の北東端より林縁に沿って 30 m 南に伸ばし、そこから林内(西)に向って直角に 30 m 入った地点(何れも図上で測定)をその中心点とした。また図 IV-2 は林縁上にプロット中心点が落ちた場合(a)、およびプロット境界線上の林木の取り扱い(b)を示したものである。

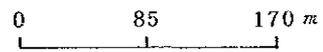
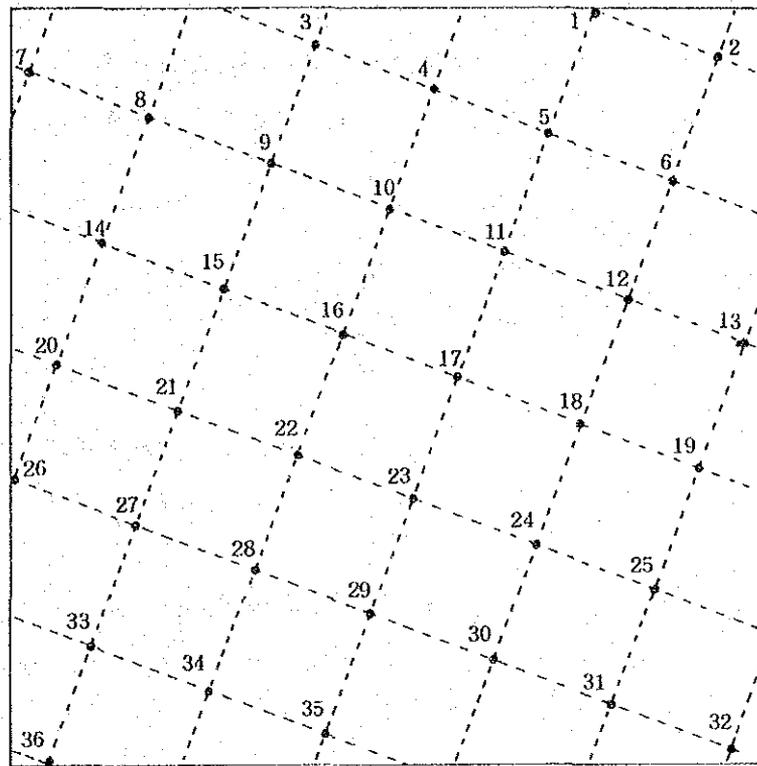
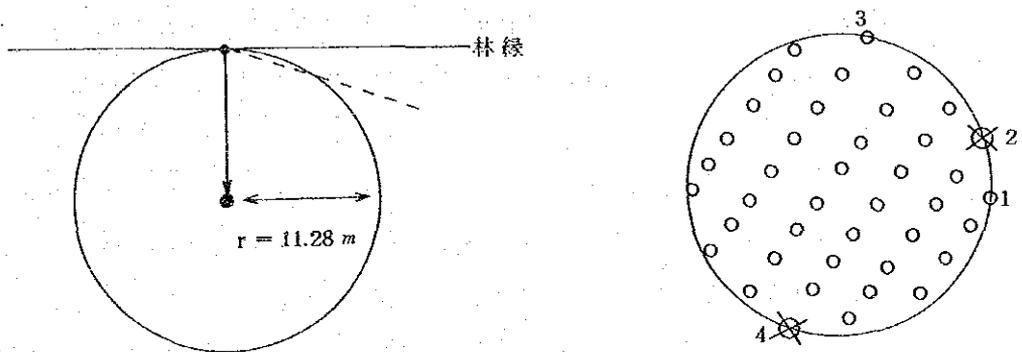


図 IV - 1 プロット設定位置図 (Talhão No. 8)



a 林縁上にプロット中心点が落ち、これを調査する場合の中心点の移動

b プロット境界線上に林木が位置する場合の取り扱い

図 IV - 2 林縁上のプロット中心点、およびプロット境界線上の林木の取り扱い

(b) 生長錐調査に対する計画

林分生長量推定のための生長錐調査は各プロット毎に Tree № 1, 11, 21 の3本の標本木を選び、胸高部位 (1.3 m) における最近10年間のコア (core: 生長錐片) を生長錐により抜き取り、その生長量を mm 単位で測定することとした。また同じ部位の皮の厚さも樹皮計により同時に mm 単位で測定することとした。コアはその抜き取り方向による生長の偏りを防ぐため、常にプロットの中心点に面する方向を測定の対象とした。

(c) 調査器材および調査野帳

以上の調査計画にもとづく現地林分の調査には主として次の調査器材および調査野帳を使用した。

① 調査器材

ポケットコンパス、同三脚、メートル縄 (10.0 m)、輪尺 (65 cm)、測高器 (シュビーゲル・レラスコープ)、テープ (20 m)、白墨、生長錐、樹皮計、物指し (30 cm)。

② 調査野帳

プロット内毎木調査および生長錐調査のための調査野帳は表IV-1の形式のものを作成してこれを用いた (記帳例は Plot № 1の一部を示す)。なお、この調査野帳は各プロット毎にページを更新してこれを記帳した。Core, Casca, CDは標本木のみについて記入することとした。なお、材積 (V) については調査後の内業で記入することとした。

(3) 現地調査

① 測線測量およびプロットの区画設定

調査プロット抽出のための測線測量はポケットコンパスによった。この場合、プロットの中心点が林縁から少しでも外に出た場合はそのプロットは除外する。逆に少しでも中に入った場合は調査する。若しちょうど林縁上に落ちた場合は0.5プロットとする。したがって、この場合、1番目のプロットは調査し、2番目のプロットは除外することにより0.5プロットと見做す。本例では Plot № 1と Plot № 2.6 がこれに該当したため、Plot № 1は調査し、Plot № 2.6は除外した。

プロットの中心点が決定したら、次に半径 $r = 1.28\text{ m}$ の円形プロットを区画し設定する。この場合、20 m テープを用い、プロット内に入る林木は○印を、プロットの外に位置する林木は×印を付けプロットの境界の目印とする。このような方法で中心点を原点として1周することによりプロットの区画設定は完了する。なお、プロットの境界線上の林木は0.5とする。つまり1本目の林木は測定し、2本目の林木は除外する。

② プロット内毎木調査および生長錐調査

プロット内の立木に対する毎木調査は、胸高直径 (DAP) に対しては輪尺により1.3 m 高の皮付 (Com casca) を cm 単位で mm まで、樹高 (H) はシュビーゲルレラスコープで

表IV-1 プロット調査野帳とその記入例
(Plot No. 1の一部)

No. 1-1

Plot No. : 1, Talhão No. : 8, Data : 08-11-1982

No.	DAP (cm)	H (m)	v (m ²)	Core (mm)	Casca (mm)	CD (m)	Nota
1	20.7	16.2		28.0	15.0	2.90	
2	14.6	13.5					Ponta bifurcado
3	21.3	15.5					
4	16.4	15.8					
5	17.7	15.3					
6	21.5	15.5					Ponta bifurcado
7	18.8	16.3					Ponta sêca
8	18.5	16.5					
9	23.7	18.0					
10	16.0	15.7					
11	18.1	16.7		28.0	12.0	3.40	
12	17.6	15.7					
13	20.8	17.0					
14	15.1	17.5					
15	17.0	16.7					
16	16.3	14.5					
17	21.1	17.0					
18	20.8	17.0					
19	15.9	16.2					
20	20.7	16.5					
21	19.1	17.5		23.0	18.0	2.70	
22	19.8	16.7					Ponta bifurcado
23	17.6	15.8					

0.1 m までを測定した。なお、2 叉木や先枯れ木等は Nota の欄にメモした。枯損木は除外した。これにより 35 個のプロットが調査された。

生長錐調査は標本木（各プロット毎に 3 本を抽出）に対し、生長錐により最近 10 年間、つまり外側から 10 年間分のコアを抜き取りその場で mm 単位に測定し、同時に同じ部分の樹皮厚（Casca）も樹皮計で mm 単位で測定した。標本木を Tree № 1, 11, 21 とシステムティックに選んだのは、小径木または大径木への偏りを防ぐための処置である。これにより取られたデータ（標本木）は 35 プロット × 3 本 = 105 個であった。この標本木に対しては参考データとして樹冠直径（CD）も 0.1 m までの単位で併せて測定した。

③ 調査の工期

現地調査は大別して測線測量、プロット区画設定、毎木調査、生長錐調査、の 4 項目となる。それらの各項目に対しどれ位の調査時間がかかるかは、林分の状態や地形、調査メンバーとその熟練度等によって異なる。しかし調査工期つまり調査時間をおさえておくことは、今後同じ類いの調査を計画し実行する場合の資料として参考になるであろう。そのため本調査では林分調査と併行して工期調査を実施した。その結果は表 IV-2 のとおりとなった。なお、調査はトレーニングのため最初の 3 プロットはこの工期調査の対象からは除外した。調査メンバーは主査 1、調査補助者 2、調査指導協力者 1、計 4 人がその中心となって実行した。うち 3 人はこの調査は初めての経験である。

表 IV-2 の結果から、調査 4 項目に対する集計対象 32 プロット（測線測量のみ 33 プロット）の調査所要時間合計 (Σx)、1 プロット当たり平均時間 (\bar{x})、標準偏差 (SD)（何れも分単位による）は表の末尾欄に示すとおりとなった。これより全体に占める各項目の調査時間の比率は、測線測量 21.62%，プロット区画設定 16.57%，毎木調査 34.67%，生長錐調査 27.14% であった。なお、1 日当たりのプロット調査工期は 4 人 1 組による場合、調査に慣れ習熟してくると 7~8 プロットから 10 プロット程度は消化できると思われる。

(4) 林分蓄積および林分生長量の推定

① プロット別本数、材積の総括

以上により行なわれた現地調査の結果、調査予定プロット 36 個に対し、実際に調査したプロットは 35 個であった。この 35 個のプロットについて、同じく Águas de Santa Barbara 州有林内のエリオッテイマツを対象に 100 本の標本木にもとづいて調製した下記の皮付全幹材積式

$$V = 0.00674609 - 0.00012281D^2 + 0.00004552D^2H$$

により各プロット毎に材積を計算した。表 IV-3 はこれをプロット別に集計して一覧表に示したものである。なお、参考までに胸高直径（DAP）、樹高（H）についても材積（V）

表IV-2 調査功程結果一覧表

月日	Plot №	測線 測量 (85m)	プロット 区 画 定	毎木 調査	生長 調査	合計	備考	月日	Plot №	測線 測量 (85m)	プロット 区 画 定	毎木 調査	生長 調査	合計	備考
11.19	6	分 10	分 5	分 12	分 8	分 35	4人	11.24	32	分 5	分 4	分 10	分 6	分 25	4人
"	12	7	4	11	11	33	"	"	24	5	4	9	6	24	"
"	13	6	5	11	11	33	"	"	23	5	4	7	8	24	"
11.20	11	5	5	9	8	27	"	"	22	5	4	8	6	23	"
"	10	4	4	8	10	26	"	"	21	5	5	9	6	25	"
"	9	5	4	13	8	30	"	"	20	7	5	9	6	27	"
"	8	7	5	10	8	30	"	"	30	5	4	9	5	23	"
"	7	7	4	11	6	28	"	"	29	5	4	9	7	25	"
"	4	6	6	11	7	30	"	"	28	5	3	9	6	23	"
"	3	6	4	8	9	27	"	11.25	27	5	3	7	6	21	"
11.23	14	7	4	14	9	34	"	"	26	5	-	-	-	-	(放棄)
"	15	7	4	7	8	26	"	"	33	4	4	8	6	22	4人
"	16	4	4	9	6	23	"	"	36	6	4	9	6	25	"
"	17	5	4	8	6	23	"	"	34	6	6	9	8	29	"
"	18	7	5	12	7	31	5人	"	35	6	5	6	8	25	"
"	19	7	5	7	6	25	"	n		33	32	32	32	32	
"	25	5	5	9	6	25	"	Σx		189	141	295	231	851	
"	31	5	5	7	7	24	"	\bar{x}		5.727	4.406	9.129	7.219	26.594	
								SD		1.2317	0.7121	1.8792	1.5395	3.7058	

と共にその合計値および1本当たり平均値 (\bar{D} , \bar{H} , \bar{v}) を計算し、表IV-3の中に示した。

② 本数および材積の推定

表IV-3より、本数および材積の推定結果は次のとおりとなった。この場合、調査対象林分はエリオッティマツの1樹種だけであった。したがってその推定もエリオッティマツ

表IV-3 プロット別本数, 材積総括表

No.	Plot No.	本数 (x)	D A P		H		材 積 (y)	
			Total	\bar{D} <small>cm</small>	Total	\bar{H} <small>m</small>	Total	\bar{v} <small>m³</small>
1	1	38	724.8	19.1	616.3	16.2	9.0055	0.2370
2	2	32	504.3	15.8	417.7	13.1	4.3121	0.1348
3	3	42	567.7	13.5	482.8	11.5	3.9612	0.0943
4	4	33	444.5	13.5	382.2	11.6	2.7746	0.0841
5	5	40	619.9	15.5	491.1	12.3	4.7256	0.1181
6	6	43	553.1	12.9	431.3	10.0	2.8823	0.0670
7	7	42	769.7	18.3	707.0	16.8	9.7568	0.2323
8	8	37	693.3	18.7	599.0	16.2	8.6412	0.2335
9	9	37	355.2	9.6	253.9	6.9	1.1387	0.0308
10	10	28	357.5	12.8	289.2	10.3	1.9646	0.0702
11	11	38	489.7	12.9	361.3	9.5	2.4080	0.0634
12	12	34	551.6	16.2	469.1	13.8	5.2163	0.1534
13	13	40	485.7	12.1	359.6	9.0	2.1026	0.0526
14	14	36	682.5	19.0	586.7	16.3	8.5499	0.2375
15	15	33	496.6	15.0	394.3	11.9	3.7037	0.1122
16	16	41	660.5	16.1	589.3	14.4	6.1271	0.1494
17	17	38	511.1	13.5	414.0	10.9	2.9889	0.0787
18	18	36	565.0	15.7	469.6	13.0	4.7552	0.1321
19	19	38	527.5	13.9	457.0	12.0	3.7418	0.0985
20	20	41	720.1	17.6	651.5	15.9	8.1471	0.1987
21	21	34	620.4	18.2	530.2	15.6	7.1329	0.2098
22	22	38	638.1	16.8	544.6	14.3	6.2640	0.1648
23	23	28	506.1	18.1	440.0	15.7	5.7903	0.2068
24	24	38	625.0	16.4	561.4	14.8	6.2245	0.1638
25	25	38	640.6	16.9	557.5	14.7	6.4746	0.1704
26	27	34	588.7	17.3	529.3	15.6	6.5124	0.1915
27	28	43	759.0	17.7	666.3	15.5	8.4760	0.1971
28	29	43	779.9	18.1	682.2	15.9	9.0016	0.2093
29	30	43	790.3	18.4	729.6	17.0	10.0839	0.2345
30	31	36	644.6	17.9	604.1	16.8	8.2750	0.2299
31	32	37	656.9	17.8	614.3	16.6	7.9184	0.2140
32	33	43	772.6	18.0	692.1	16.1	8.3135	0.1933
33	34	44	816.9	18.6	728.9	16.6	10.3237	0.2346
34	35	28	586.7	21.0	484.5	17.3	8.6458	0.3087
35	36	40	749.6	18.7	650.2	16.3	9.1647	0.2291
Σ	35	1314	—	—	—	—	215.5045	—

の1樹種のための推定となった。

(a) 本数の推定

- ① 1プロット当たり平均本数：

$$\bar{x} = \frac{\sum(x)}{n} = 37.5 \text{ (本)}$$

- ② その分散：

$$V(\bar{x}) = s_{\bar{x}}^2 = \frac{\sum(x-\bar{x})^2}{n(n-1)} \cdot \frac{N-n}{N} = 0.5273$$

- ③ 標準誤差：

$$SE(\bar{x}) = \sqrt{s_{\bar{x}}^2} = 0.7261$$

- ④ 標準誤差率：

$$e(\bar{x}) = \frac{SE(\bar{x})}{\bar{x}} \times 100 = 1.93 \text{ (\%)}$$

- ⑤ ha 当たり本数の推定：

$$X(\text{ha}) = \frac{1}{a} [\bar{x} \pm t \cdot SE(\bar{x})]$$

ただし、 $n-1=34$ のときの $t_{.05} = 2.042$, $t_{.01} = 2.750$ より

$$t_{.05} \text{ のときの } X(\text{ha}) = 937.5 \pm 37.1 \text{ (本)}$$

[その推定範囲：900.4 ~ 974.6 (本)]

$$t_{.01} \text{ のときの } X(\text{ha}) = 937.5 \pm 49.9 \text{ (本)}$$

[その推定範囲：887.6 ~ 987.4 (本)]

- ⑥ 調査対象面積(25 ha) 当たり本数の推定：

$$X(25\text{ha}) = \frac{A}{a} [\bar{x} \pm t \cdot SE(\bar{x})]$$

$$t_{.05} \text{ のときの } X(25\text{ha}) = 23438 \pm 927 \text{ (本)}$$

[その推定範囲：22511 ~ 24365 (本)]

$$t_{.01} \text{ のときの } X(25\text{ha}) = 23438 \pm 1248 \text{ (本)}$$

[その推定範囲：22190 ~ 24686 (本)]

- ⑦ プロット抽出誤差率：

$$E(\bar{x}) = \frac{t \cdot \sqrt{V(\bar{x})}}{\bar{x}} \times 100 = 3.95 \text{ (\%)}$$

- ⑧ 林分変異係数：

$$CV(x) = \frac{\sqrt{s_x^2}}{\bar{x}} \times 100 = 11.86 \text{ (\%)}$$

(b) 材積の推定

- ① 1プロット当たり平均材積

$$\bar{y} = \frac{\sum(y)}{n} = 6.1573 \text{ (m}^3\text{)}$$

② その分散：

$$V(\bar{y}) = s_y^2 = \frac{\sum (y - \bar{y})^2}{n(n-1)} \cdot \frac{N-n}{N} = 0.19231$$

③ 標準誤差：

$$SE(\bar{y}) = \sqrt{s_y^2} = 0.4385$$

④ 標準誤差率：

$$e(\bar{y}) = \frac{SE(\bar{y})}{\bar{y}} \times 100 = 7.12 (\%)$$

⑤ ha当たり材積の推定

$$Y(\text{ha}) = \frac{1}{a} \{ \bar{y} \pm t \cdot SE(\bar{y}) \}$$

$$t_{.05} \text{ のときの } Y(\text{ha}) = 153.93 \pm 22.39 \text{ (} m^3 \text{)}$$

$$\text{〔その推定範囲：} 131.55 \sim 176.32 \text{ (} m^3 \text{)} \text{〕}$$

$$t_{.01} \text{ のときの } Y(\text{ha}) = 153.93 \pm 30.15 \text{ (} m^3 \text{)}$$

$$\text{〔その推定範囲：} 123.79 \sim 184.08 \text{ (} m^3 \text{)} \text{〕}$$

⑥ 調査対象面積(25 ha)当たり材積の推定：

$$Y(25 \text{ ha}) = \frac{A}{a} \{ \bar{y} \pm t \cdot SE(\bar{y}) \}$$

$$t_{.05} \text{ のときの } Y(25 \text{ ha}) = 3848.3 \pm 559.6 \text{ (} m^3 \text{)}$$

$$\text{〔その推定範囲：} 3288.7 \sim 4407.9 \text{ (} m^3 \text{)} \text{〕}$$

$$t_{.01} \text{ のときの } Y(25 \text{ ha}) = 3848.3 \pm 753.7 \text{ (} m^3 \text{)}$$

$$\text{〔その推定範囲：} 3094.6 \sim 4602.0 \text{ (} m^3 \text{)} \text{〕}$$

⑦ プロット抽出誤差率：

$$E(\bar{y}) = \frac{t \cdot \sqrt{V(\bar{y})}}{\bar{y}} \times 100 = 14.54 (\%)$$

⑧ 林分変異係数：

$$CV(y) = \frac{\sqrt{sy^2}}{\bar{y}} \times 100 = 43.37 (\%)$$

③ 直径階別本数頻度分布

調査対象林分に対し直径階別本数頻度分布を作成することはどの程度の大きさの直径の林木がどれ位あるかを知るうえで参考になるばかりでなく、樹高との対応により利用材積算定の基礎資料や伐倒・採伐等の労務計画、土場の面積確保、搬出計画、等の資料にも供することができる。なお、ここでは次の林分生長量推定のための資料に用いることを主目的として35個の現地調査プロット内毎木調査データから表IV-4のとおりプロット毎直径階別に集計した。したがってその括約は2, 4, 6, …… , 24, 26, 28と2cm括

表IV-4 プロット毎直径階別本数頻度分布表

Plot 版	直 径 階 (cm)														計
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	
1	--	--	--	--	--	--	1	6	13	11	4	2	1	--	38
2	--	--	--	--	--	5	9	6	8	1	3	--	--	--	32
3	--	1	1	5	2	10	6	8	8	--	--	1	--	--	42
4	--	--	--	--	3	10	13	5	2	--	--	--	--	--	33
5	--	--	--	--	1	6	10	10	8	5	--	--	--	--	40
6	--	--	--	--	9	15	13	4	1	--	1	--	--	--	43
7	--	--	--	--	--	--	5	9	11	8	8	--	1	--	42
8	--	--	--	--	--	--	2	8	14	5	5	1	1	1	37
9	1	1	4	10	10	7	2	--	1	1	--	--	--	--	37
10	--	--	--	1	6	10	5	4	2	--	--	--	--	--	28
11	--	--	--	3	7	10	11	3	4	--	--	--	--	--	38
12	--	--	--	--	1	5	4	15	2	3	3	--	--	--	34
13	--	--	--	4	8	13	12	2	1	--	--	--	--	--	40
14	--	--	--	--	--	--	2	6	12	7	7	1	1	--	36
15	--	--	--	1	2	4	10	7	5	4	--	--	--	--	33
16	--	--	--	--	1	2	8	15	10	5	--	--	--	--	41
17	--	--	--	--	4	14	13	3	3	1	--	--	--	--	38
18	--	--	--	--	1	7	9	5	6	7	1	--	--	--	36
19	--	--	1	1	5	7	12	5	4	2	1	--	--	--	38
20	--	--	--	--	--	1	5	11	11	8	4	1	--	--	41
21	--	--	--	--	--	--	3	6	11	9	4	1	--	--	34
22	--	--	--	--	1	2	4	16	6	6	2	1	--	--	38
23	--	--	--	--	--	--	3	6	8	7	4	--	--	--	28
24	--	--	--	--	1	1	9	10	13	2	1	--	1	--	38
25	--	--	--	--	--	2	9	7	11	5	3	1	--	--	38
27	--	--	--	--	1	1	2	11	12	4	2	--	1	--	34
28	--	--	--	--	--	1	6	14	11	4	4	3	--	--	43
29	--	--	--	--	--	1	2	12	14	7	6	1	--	--	43
30	--	--	--	--	--	--	4	10	11	9	9	--	--	--	43
31	--	--	--	--	--	--	3	6	14	6	5	2	--	--	36
32	--	--	--	--	--	--	4	14	5	8	6	--	--	--	37
33	--	--	--	--	--	--	7	12	16	5	2	1	--	--	43
34	--	--	--	--	--	--	4	12	8	14	3	1	1	1	44
35	--	--	--	--	--	--	--	4	4	5	9	3	3	--	28
36	--	--	--	--	--	--	2	8	10	12	5	2	1	--	40
計	1	2	6	25	63	134	214	280	280	171	102	22	12	2	1314
比率	0.08	0.15	0.46	1.90	4.80	10.20	16.29	21.31	21.31	13.01	7.76	1.67	0.91	0.15	100.00

約とした。この場合、直径はcm単位で測定しているので括約は、たとえば10cmは9.0～10.9cm、12cmは11.0～12.9cm、等の方法で行なった。

④ 林分生長量の推定

林分生長量の推定はプロット調査と併行して行なった生長錐調査によりとられた105個の資料つまりコアーをもとに次の方法で行なった。

(a) 直径生長量の計算

直径生長量は105個の標本木およびその資料(コアー)をもとに、先ず105個のそれぞれについて次のとおり求め、次いで直径生長量回帰式を計算する。

① 皮内直径： $d = D - 2b$

ただし、 D ：皮付直径、 b ：樹皮厚

② 皮内定期中央部直径： $x = d - 1L$

ただし、 L ：10年間のコアー長

③ 皮内平均直径生長量： $y = 2L/10$

④ 皮付定期中央部直径： $X = K \cdot x$

⑤ 皮付直径生長量： $Y = K \cdot y$

$$\text{ただし、 } K = \frac{\sum(D)}{\sum(d)} = \frac{1785.6}{1463.0} = 1.220506$$

⑥ 直径生長量回帰式：

$$Y = 0.3052 + 0.0169 X$$

(b) 材積回帰式の計算

上記において計算された直径生長量回帰式を用いて各直径階毎の単木の直径生長量を求め、これを材積生長量と結びつけるが、その前提として各直径階別の材積が必要となる。各直径階の材積は105本の標本木をもとに直径を独立変数とする1変数材積式を下記のとおり求めた。

$$V = 0.011804 - 0.008779D + 0.001049 D^2$$

(c) 材積生長量の計算

直径生長量および材積回帰式が計算されたら、最後は各直径階別材積生長量を計算し、そして林分生長量の推定に結びつけることになる。その計算方法および手順は次のとおりである。

① 直径の括約は標本木(コアー測定資料、105本)の出現する直径の範囲について2cm毎に括約した。

② 2cm毎に括約した各直径(D)に対応する1本当たり材積は前項(b)によりえられた材積式にもとづいて計算した。

③ 各直径階に対応する1本当たりの材積の差、つまり材積差 Δv を計算する。たとえ

ば直径 2 cm と 4 cm の Δv は $0.0045 - 0.0015 = 0.0030$, 直径 4 cm と 6 cm の Δv は $0.0100 - 0.0045 = 0.0055$, ……となる。

- ④ 材積差 Δv にもとづいて材積修正差 δv を計算する。たとえば直径 4 cm の δv は $(0.0030 + 0.0055) / 2 = 0.0043$, 直径 6 cm では $(0.0055 + 0.0085) / 2 = 0.0070$, ……となる。
- ⑤ 直径生長量 Δd は前記(a)の⑥によって求められた直径生長量回帰式により各直径階毎に計算した。
- ⑥ 以上により求められた材積修正差 δv および直径生長量 Δd を用いて材積生長量を $v(g) = (\delta v \cdot \Delta d) / 2$ により計算する。この場合の 2 は直径の括約が 2 cm によるためである。若し 1 cm 括約のときは 1 となる。なお、この段階までは単木 (1 本当たり) の材積生長量である。
- ⑦ 各直径階の本数 N はプロット調査資料にもとづく表 IV-4 のプロット毎直径階別本数頻度分布表による。なお、直径 2 cm 階は本数が 1 本のみのため材積生長量の計算の対象からはずした。ただし、最終的な計算 (表 IV-5 の ㉔, ㉕, ㉖) ではその本数も計算の対象として取り扱った。
- ⑧ 前記⑥の材積生長量 $v(g)$ に⑦の各直径階別本数 N を乗じて全材積生長量 $V(g)$ をうる。これが調査対象林分における 105 本の標本木から推定された各直径階別材積生長量であり、その合計値 $20.1205 m^3$ がプロット面積 $0.04 ha \times 35 個 = 1.4 ha$ 当たりの全材積生長量である。
- ⑨ 一方、各直径階別 1 本当たり材積 v に、同じく各直径階別本数 N を乗じたものが各直径階別材積であり、その合計値 $216.9554 m^3$ が 1.4 ha 当たりの全材積である。

表 IV-5 から、調査プロット面積 1.4 ha 当たり材積生長量は $20.1205 m^3$ となった。これより単位面積 (1 ha) 当たりでは $14.3718 m^3$, また推定対象面積 (25 ha) では $359.2946 m^3$ という推定結果が出た。

一方、ここで算出された材積は 1.4 ha 当たり $216.9554 m^3$, 単位面積 (1 ha) 当たり $154.9681 m^3$, 全面積 (25 ha) では $3874.2035 m^3$ という結果となった。これより、この林分の材積生長率 P は次のとおりとなった。

$$P = \frac{20.1205}{216.9554} \times 100 = 9.27 (\%)$$

(5) む す び

① 推定結果に対する考察

(a) 林分変異係数

現地調査に先立ち林分変異係数 C を 30% とした。これは樹高、直径等の生長に若干の差異があり、また局部的に山火事跡や湿地帯もあり、林分としての状態に均一性を欠くと

表 IV - 5 材積生長量計算表

胸高直径① D	1本当たりの材積② v	材積差③ Δv	材積修正差④ δv	直径生長量⑤ Δd	材積生長量⑥ $(\delta v \cdot \sum d/2)$	本数⑦ N	全材積生長量⑧ $(v(g) \cdot N)$	全材積⑨ $(v \cdot N)$
2	m^3 0.0015	m^3 0.0030	m^3 —	cm —	m^3 —	(1)	m^3 —	m^3 —
4	0.0045	0.0055	0.0043	0.3728	0.00080	2	0.0016	0.0090
6	0.0100	0.0085	0.0070	0.4066	0.00142	6	0.0085	0.0600
8	0.0185	0.0140	0.0113	0.4404	0.00249	25	0.0623	0.4625
10	0.0325	0.0250	0.0195	0.4742	0.00462	63	0.2911	2.0475
12	0.0575	0.0370	0.0310	0.5080	0.00787	134	1.0646	7.7050
14	0.0945	0.0454	0.0412	0.5418	0.01116	214	2.3882	2.02230
16	0.1399	0.0538	0.0496	0.5756	0.01427	280	3.9956	39.1720
18	0.1937	0.0621	0.0580	0.6094	0.01767	280	4.9476	54.2360
20	0.2558	0.0706	0.0664	0.6432	0.02135	171	3.6509	43.7418
22	0.3264	0.0789	0.0748	0.6770	0.02532	102	2.5826	33.2928
24	0.4053	0.0874	0.0832	0.7108	0.02957	22	0.6506	8.9166
26	0.4927	0.0957	0.0916	0.7446	0.03410	12	0.4092	5.9124
28	0.5884	0.1041	0.0999	0.7784	0.03888	2	0.0778	1.1768
30	0.6925	—	—	—	—	—	—	—
④	合計(調査プロット面積1.4 ha 当たり)							
						1314	20.1205	216.9554
⑤	単位面積(1 ha) 当たり							
						939	14.3718	154.9681
⑥	推定対象面積(A=25 ha) 当たり							
						23464	359.2946	3874.2035

みなしたためである。その結果、プロット調査個数 n は 34 個（実際は 35 個を調査）となった。しかし調査後の計算では C は 43.37% となった。つまり本林分は人工林として平均的な変動であったといえよう。したがって $C = 43.37 \approx 43\%$ の場合の調査プロット数 n は $66.13 \approx 66$ 個とすれば目標精度 10% の結果が得られると考えられる。この種の調査計画に対する今後の参考資料の一つとなろう。

(b) 蓄積推定の結果

蓄積推定の結果は本数、材積ともに表 IV-6 のとおりとなった。これに林分材積生長量

表 IV-6 本数・材積の推定結果一覧

		Systematic line-plot sampling の結果		林分材積生長量 推定にもとづく 結果
		$t_{.05}$ のとき	$t_{.01}$ のとき	
本 数	1 ha 当たり	937.5 ± 37.1 (900.4 ~ 974.6)	937.5 ± 49.9 (887.6 ~ 987.4)	939
	25 ha 当たり	23438 ± 927 (22511 ~ 24365)	23438 ± 1248 (22190 ~ 24686)	23464
材 積 (m^3)	1 ha 当たり	15393 ± 2239 (13155 ~ 17632)	15393 ± 3015 (12379 ~ 18408)	15497
	25 ha 当たり	38483 ± 5596 (32887 ~ 44079)	38483 ± 7537 (30946 ~ 46020)	387420

の推定結果にもとづく本数、材積の値を対比させると、その結果は何れもプロット調査にもとづく推定範囲の中にあり、よく合っている。プロット抽出誤差率は 14.54% となった。

以上の推定結果が実際の林分にどの程度合っているかは今後のチェックに待つ他はない。しかし大面積森林を対象とする蓄積の推定はその調査方法が簡単で、かつ、その後の計算も容易な本方法は極めて効率的な調査法の一つであるといえよう。

(c) 林分生長量の推定結果

林分材積生長量は ha 当たり $143718 m^3$ 、推定対象面積 25 ha 当たりでは $359.2946 m^3$ という結果をえ、その生長率 $P = 9.27\%$ となった。この生長率は必ずしも良好とはいえない。他のマツとの比較チェックによる造林品種の検討が必要であろう。

(2) 参考文献および関連資料

(a) 参 考 文 献

- ① H.A. Meyer : Forest Mensuration. 1953
- ② G.W. Snedecor: Statistical Methods. 1956
- ③ 木梨謙吉・長正道 標本抽出法による三方岳天然林（九州大学宮崎演習林）蓄積調査報告，九大演集報 10，1958

- ④ 長正道, 他4名: サンパウロ州におけるエリオッティマツの蓄積および生長量の推定, 日林九支論37, 1984

(b) 関連資料

本稿では枚数の制限により詳細な資料は割愛した。また計算手法も省略した部分が多い。それらは下記の①に掲げている。この資料の元になっている材積式は②による。また現地調査の際に行なった樹高測定の方法として③の研究報告がある。必要に応じこれらを参照されたい。

- ① 長正道・N. HAGA・H. AOKI: Systematic line-plot samplingによる林分蓄積の推定および生長推測による林分生長量の推定。国際協力事業団JR・84-40(ブラジル・サンパウロ林業研究協力計画専門家報告書), P. 347-394, 1984
- ② 長正道・椎林俊昭・N. HAGA・H. AOKI: Águas de Santa Barbara州有林のPinus elliottiiの立木幹材積表の調製に関する研究。同上p. 336-346, 1984
- ③ M. CHYO・H. AOKI・N. HAGA: REGUA AUXILIAR PARA DETERMINAÇÃO DE ALTURA - PROTOTIPO E TESTE DE PRECISÃO. Boletim Técnico do Instituto Florestal, São Paulo, V. 37, p. 1-18, 1983

IV-2-2 立木幹材積表の調製法

(1) はじめに

サンパウロ州の面積247,898km²のうち, 森林面積は5,035,070haと公表されている(1973年時点)。これは州全体に対し20.3%にあたる。そのうち人工林は641,420haで, 森林面積の中に占める比率は12.7%, 州面積に対する比率は2.6%である。なお人工林の内訳はユーカリ林490,560ha(人工林の中に占める比率76.5%), マツ林142,070ha(同22.1%), その他8,790ha(同1.4%)となっており, ユーカリ林が圧倒的に多いが, 近年はマツの造林面積が遂次増大している。

マツは1958年から1965年にかけて, 主として北米および中米の熱帯性および亜熱帯性マツが導入され人工造林がすすめられてきた。その歴史は20年前後と浅いにもかかわらず旺盛な生長と共に需要の増大もあって年々その面積は増えている。しかしその施業法, 生長量推定法, 収穫予測法等は十分には確立されておらず, また材積表も地区別, 地域別には完備していない現状にある。

そのため州有林の一つ, アグアス・ジ・サンタ・バルバラ州有林のエリオッティマツ(Pinus elliottii)を対象に立木幹材積表の調製法に対する研究を行ない, 併せて若干の検討と考察を試みた。

(2) 資料の収集と材積計算

① 資料の収集

材積表調製のための資料となる標本木は上記アグアス・ジ・サンタ・バルバラ州有林の

表IV-7 胸高直徑 (DAP, Com casca), 樹高 (H) 階別標本木分布表

H (m)	DAP (Com casca / cm)																							合 計	
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		
7	1		1																						2
8	1			1						1															3
9	1	1	1		1				1																6
10	1		1		1																				5
11	1		2			1					2				1										7
12			1		2				1		1			1											6
13			1		1		3	1	1		1														8
14						2			1	1	2		2		2		1								11
15			1		1		1		1		1		1			1	1		1						9
16					2				1	1			1		2										7
17							1			1	1				1						1		1		6
18										2		1		2	1		2		1						9
19							1				1	1		2	1										6
20											1					2		1			1		1		6
21														1			1		1						3
22												1							1						2
23																1		1				1		1	4
合 計	5	1	8	1	8	-	11	1	9	6	11	-	10	2	9	1	6	1	4	-	3	-	3	100	

全域を対象とし、また直径 (D A P) および樹高 (H) についてもそれぞれ最大から最小にほぼ均等にまたがるように有意的に選んだ。その結果、表 IV-7 に示すとおり計 100 本のエリオッティマツの標本木が収集された。

(2) 標本木の材積計算

サンパウロ州における材積表の利用は、A. 全幹材積、B. 皮内末口直径 5 cm までの利用材積、C. トラックの荷台の横の長さ 2.4 m (その半分の 1.2 m まで利用のケースもある) に採材した場合の同じく皮内末口直径 5 cm までの実利用材積に分けられ、かつそれぞれについて皮付材積と皮内材積の都合 6 種類の下記の材積表がその目的により使用されている。

- ① 皮付全幹材積表 (Volume Total Com casca)
- ② 皮内全幹材積表 (Volume Total Sem casca)
- ③ 皮付利用材積表 (Volume Comercial Com casca)
- ④ 皮内利用材積表 (Volume Comercial Sem casca)
- ⑤ 皮付実利用材積表 (Volume Comercial Real Com casca)
- ⑥ 皮内実利用材積表 (Volume Comercial Real Sem casca)

したがって標本木の伐倒・玉切りによる測定、およびその後の材積計算もそれらの各資料がえられるように計画した。なお、伐倒・玉切りによる測定および材積計算等は樹幹析解法 (Metodo de analise do tronco) を基本に表 IV-8 に示す簡易樹幹析解により行なった。表 IV-9 はこれによりえられた標本木の一覧表である。また各種の材積計算は図 IV-3 の流れ図にもとづいて、すべてコンピュータにより行なった。表 IV-10 はその一例を標本木 No. 12 について示したものであり、表 IV-11 は全標本木 (100 本) の各種材積計算結果を一覧表として示したものである。

(3) 材積式の検討

材積式については従来からいろいろの式が提案されている。本来ならばそれらの各式を個別に検討し、その中の最も適合性のよい材積式を選択するのが妥当である。しかし本研究ではその中で比較的良好に用いられている次の 5 式を対象として検討を行なった。

$$V = a_0 D^{a_1} \quad (1)$$

$$V = a_0 + a_1 (D \cdot H) \quad (2)$$

$$V = a_0 + (D^2 H)^{a_1} \quad (3)$$

$$V = a_0 + D^{a_1} H^{a_2} \quad (4)$$

$$V = a_0 + a_1 D^2 + a_2 H + a_3 (D^2 H) \quad (5)$$

この 5 つの式を線形最小二乗法で解くため (1), (3), (4) 式を対数変換し

$$\log V = \log a_0 + a_1 \log D \quad (1')$$

$$\log V = \log a_0 + a_1 \log (D^2 H) \quad (3')$$

$$\log V = \log a_0 + a_1 \log D + a_2 \log H \quad (4')$$

とした。これにより従属変数を y , 独立変数を x_i , 回帰常数を a_0 , 回帰係数を a_i とおけば, 各式はまとめて次の一般式で表示することができる。

表IV-8 標本木測定のための簡易樹幹析解用野帳

- FICHA PARA O CÁLCULO DO VOLUME -

Nº ÁRVORES		12		ESPECIE		P. elliotii		IDADE		18		
DATA DA MEDIÇÃO			3 de Junho De 1982			LOCAL		Águas de Santa Bárbara (31)				
Nº	ALT.	DIÂMETRO A ALTURA DO PEITO (d)						AREA BASAL (g)		VOLUME (v)		
		COM CASCA (C/c)			SEM CASCA (S/c)			C/CASCA	S/CASCA	C/CASCA	S/CASCA	PORC.
		MAX.	MIN.	MED.	MAX.	MIN.	MED.	(g _b)	(g _i)	(v _b)	(v _i)	%
	m	cm	cm	cm	cm	cm	m ²	m ²	m ³	m ³	%	
0	1.3			28.5			24.1					
1	1.1			29.3			24.1	0.0674	0.0456	0.1348	0.0912	67.66
2	3.1			25.7			22.5	0.519	0.398	1.038	0.796	76.69
3	5.1			25.0			22.2	0.491	0.387	0.982	0.774	78.82
4	7.1			24.5			21.7	0.471	0.370	0.942	0.740	78.56
5	9.1			24.0			21.2	0.452	0.353	0.904	0.706	78.10
6	11.1			21.7			19.8	0.370	0.308	0.740	0.616	83.24
7	13.1			21.7			19.3	0.370	0.293	0.740	0.586	79.19
8	15.1			16.4			15.0	0.211	0.177	0.422	0.354	83.89
9	17.1			13.0			12.0	0.133	0.113	0.266	0.226	84.96
10	19.1			7.2			6.8	0.041	0.036	0.082	0.072	87.80
11	21.1			4.5			3.8	0.016	0.011	0.032	0.022	68.75
12	22.1			2.1			1.9	0.003	0.003	0.001	0.001	100.00
13												
14												
15												
16												
17												
18												
(19)	19.3			7.5			6.5	0.044	0.033	0.067	0.051	76.12
(20)	20.5			5.9			5.0	0.027	0.020	0.025	0.019	76.00
D A P			(D)	28.5			24.1					
ALTURA			(H)	22.8			22.8					
COMP. DO PONTEIRO (L _r)				0.7			0.7					
COMP. ACIMA DE 5.0cm (L ₀₅)				2.3			2.3					
AREA BASAL TOTAL (Σg _i)								0.3748	0.2902			
① VOL. DAS SECCOES (Σv _p)										0.7496	0.5804	
② VOL. DO CONE (v _T)										0.001	0.001	
①+② VOL. TOTAL (v _A)										7.497	5.805	77.13
③ VOL. ACIMA DE 5cm (v ₀₅)										0.025	0.019	
v _A -③ VOL. COMERCIAL (v _B)										7.472	5.786	77.44
PORCENTAGEM (φ)										99.67	99.67	

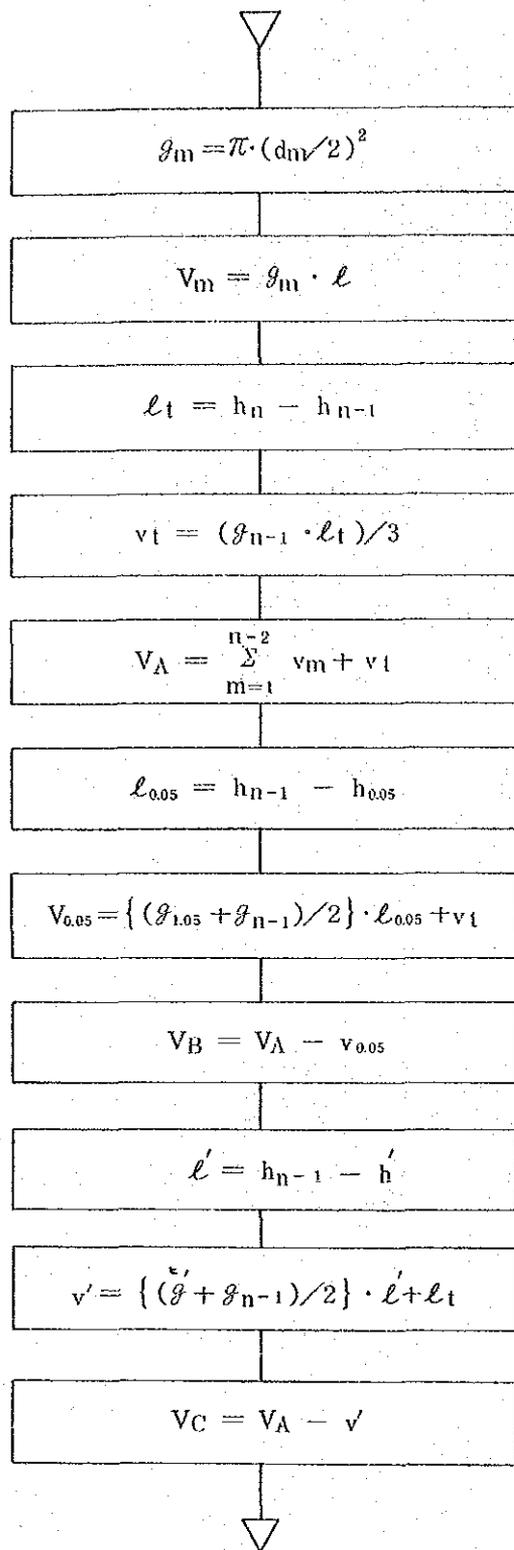
RESPONSÁVEL: Chyo, Haga, Aoki, Adauto, Ataide

表IV-9 標本木一覽表

(Coleta de dados dendrométricos)

№	Talha %	Idade	DAP		H	Altura da COPA	Comp. do Ponteiro (L ^r)	Comp. Acima de 50 cm (L ^{os})	Pont. Final (L ^r)	%	Talha %	Idade	DAP		H	Altura da COPA	Comp. do Ponteiro (L ^r)	Comp. Acima de 50 cm (L ^{os})	Pont. Final (L ^r)
			C. casca	S. casca									C. casca	S. casca					
			cm	cm	m	m	m	m	m				cm	cm	m	m	m	m	m
1	4	20	21.0	17.8	19.1	11.5	1.00	2.12	2.20	51	118	13	12.0	10.0	8.6	3.7	0.50	3.20	3.80
2	16	"	13.8	12.0	17.1	10.9	1.04	2.69	2.64	52	"	"	10.5	8.8	12.1	9.0	2.00	3.60	3.70
3	"	"	25.0	21.0	19.8	10.8	1.74	2.56	2.94	53	"	"	11.8	9.0	12.7	8.8	0.60	4.30	4.30
4	10	"	12.5	10.2	15.1	8.5	0.95	2.95	2.95	54	"	"	20.0	18.0	14.8	9.0	0.70	2.50	2.80
5	"	"	8.2	6.7	10.5	5.6	0.40	6.64	5.60	55	12	20	26.0	22.5	22.4	11.7	0.30	2.40	3.20
6	"	"	7.7	6.2	8.5	1.8	0.35	4.75	3.55	56	"	"	20.0	17.0	21.0	14.6	0.90	2.90	3.00
7	15	"	13.6	12.0	13.3	1.9	1.20	3.07	3.60	57	"	"	22.0	19.0	22.7	13.7	0.60	3.30	3.50
8	"	"	15.7	14.3	15.7	7.8	1.60	3.04	3.60	58	"	"	30.0	26.8	22.7	14.0	0.60	2.00	2.30
9	"	"	17.5	15.3	16.2	7.8	0.10	1.70	1.70	59	"	"	24.0	20.2	23.0	13.1	0.90	3.30	3.80
10	35	18	21.2	19.0	17.6	8.7	1.50	2.60	3.10	60	"	"	18.0	16.5	22.0	15.4	1.90	2.70	2.80
11	"	"	16.8	14.8	20.0	10.0	1.90	2.90	3.10	61	"	"	14.2	12.0	18.6	11.6	0.50	2.20	3.00
12	31	"	28.5	24.1	22.8	14.5	0.70	2.30	3.50	62	103	17	18.0	15.5	17.6	9.5	1.50	2.80	3.20
13	12	20	21.8	18.8	19.7	12.2	1.60	2.60	2.80	63	"	"	18.0	15.2	17.2	12.6	1.10	2.70	2.80
14	"	"	17.3	15.2	19.5	11.9	1.40	2.65	3.80	64	"	"	20.0	17.5	18.0	11.8	1.90	2.70	3.60
15	"	"	15.8	12.8	18.0	11.7	1.90	2.74	3.50	65	"	"	10.0	8.2	15.0	11.2	0.90	5.30	6.40
16	"	"	12.0	10.1	16.4	11.3	0.30	3.95	4.30	66	"	"	10.4	8.3	13.2	11.7	1.10	5.90	6.00
17	123	13	8.1	7.2	11.5	8.1	1.40	4.40	5.40	67	"	"	24.0	20.5	18.0	12.7	1.90	2.30	2.40
18	"	"	10.1	8.4	10.8	6.3	0.70	4.70	4.70	68	"	"	17.4	14.8	16.9	11.5	0.80	2.40	2.50
19	"	"	12.0	10.7	12.5	8.3	0.40	2.80	2.80	69	118	13	18.0	15.8	13.0	6.4	0.90	2.10	2.20
20	"	"	10.0	8.0	11.2	7.8	1.10	5.95	6.30	70	"	"	20.0	17.5	11.9	3.3	1.80	2.20	2.30
21	85	17	14.0	11.8	14.0	6.8	1.90	2.70	3.10	71	10	20	8.0	5.8	7.2	3.1	1.10	4.00	4.80
22	"	"	14.0	11.2	12.6	7.4	0.50	3.23	4.10	72	"	"	9.0	7.0	8.7	3.8	0.60	3.80	3.90
23	"	"	16.0	13.4	14.0	8.2	1.90	2.65	3.10	73	"	"	7.7	5.7	9.3	3.2	1.20	5.60	5.70
24	"	"	18.0	15.2	14.5	7.8	0.40	2.40	2.40	74	"	"	11.4	8.3	8.0	4.2	1.90	2.90	3.20
25	"	"	20.0	17.0	15.6	7.8	1.50	2.30	2.30	75	118	13	18.0	16.0	12.2	4.6	1.10	3.00	3.80
26	"	"	14.3	12.0	14.8	8.1	0.70	2.90	3.90	76	"	"	24.0	20.5	14.0	5.1	1.90	2.40	3.20
27	118	14	23.4	20.0	15.4	8.0	1.30	2.00	2.10	77	"	"	22.0	19.0	16.5	7.3	0.40	3.30	3.30
28	"	"	21.8	18.5	14.4	6.0	0.30	2.30	2.30	78	"	"	14.0	11.5	10.8	8.0	0.70	2.70	3.60
29	"	"	17.5	14.8	14.1	7.2	2.00	2.50	3.30	79	"	"	20.0	17.5	13.9	7.3	1.80	2.60	3.10
30	"	"	15.2	13.1	13.2	7.0	1.10	3.50	3.50	80	"	"	12.0	10.3	11.7	6.5	1.60	3.10	3.30
31	126	13	18.3	15.8	13.8	6.9	1.70	2.70	2.90	81	"	"	16.0	12.5	11.6	6.8	1.50	3.00	3.20
32	"	"	20.0	17.0	13.9	7.1	1.80	2.50	3.00	82	"	"	16.0	13.8	12.7	7.4	0.60	3.10	3.10
33	"	"	10.1	8.8	10.5	5.6	0.40	4.40	4.50	83	"	"	18.0	15.0	10.7	3.8	0.60	2.80	3.50
34	"	"	10.0	8.2	9.5	5.1	1.40	4.00	4.70	84	"	"	14.0	11.6	12.9	7.1	0.80	2.90	3.30
35	"	"	12.2	10.4	10.2	5.6	0.10	2.90	3.00	85	"	"	18.0	15.0	11.1	4.4	1.00	2.10	2.70
36	124	"	24.2	21.5	14.8	7.2	0.70	1.70	2.80	86	15	20	30.0	27.0	17.0	7.5	0.90	2.90	3.80
37	"	"	28.0	25.8	16.8	9.0	0.70	1.70	2.40	87	12	"	24.0	21.0	18.1	9.2	2.00	3.30	3.70
38	"	"	26.0	22.5	18.0	11.8	1.90	2.10	2.30	88	"	"	16.0	13.8	15.3	7.8	1.20	3.10	3.30
39	"	"	26.0	22.0	15.3	8.4	1.20	2.00	2.10	89	"	"	20.0	17.2	17.6	11.3	1.50	2.70	3.20
40	25	20	24.0	21.0	21.2	14.2	1.10	2.60	3.10	90	"	"	12.0	10.5	16.5	11.4	0.40	3.20	3.30
41	"	"	22.0	19.0	16.8	9.8	0.70	2.30	2.40	91	"	"	16.0	13.2	17.8	9.2	1.70	2.80	3.40
42	"	"	20.0	18.0	19.5	13.4	1.40	2.40	2.70	92	"	"	18.0	14.8	19.2	13.5	1.10	3.60	3.60
43	"	"	20.0	19.0	19.5	9.3	1.40	2.60	2.70	93	"	"	22.0	18.0	19.7	12.0	1.60	3.20	4.10
44	"	"	14.2	12.3	13.6	8.0	1.50	2.20	2.80	94	"	"	28.0	24.7	20.5	10.2	0.40	1.90	2.50
45	118	13	18.0	16.0	13.9	7.0	1.80	1.80	1.90	96	"	"	30.0	25.0	20.1	9.7	2.00	2.10	2.10
46	"	"	22.0	18.8	11.0	4.3	0.90	2.70	2.80	96	"	"	26.0	23.5	21.5	12.8	1.40	2.00	2.30
47	"	"	17.0	13.7	8.5	4.0	0.40	1.40	2.50	97	117	13	16.0	14.0	9.1	4.0	1.00	1.90	1.90
48	"	"	10.0	7.5	7.0	4.6	0.90	3.30	3.40	98	"	"	22.0	19.0	15.7	7.8	1.60	2.50	2.50
49	"	"	14.0	11.0	10.3	4.4	0.20	2.60	3.10	99	"	"	14.0	11.0	9.1	5.3	1.00	3.90	4.30
50	"	"	15.8	13.0	9.6	4.6	1.50	1.80	2.40	100	"	"	22.0	18.5	14.1	7.1	1.90	2.80	3.20

(Local : Águas de Santa Bárbara)



- g_m : 断面積 (m^2)
- π : 円周率 (3.1415926)
- d_m : 直径 (cm)
- v_m : 区分幹材積 (m^3)
- l : 区分長 (m) (2.0m)
- l_t : 梢頭長 (m)
- h_n : 全樹高 (m)
- h_{n-1} : 玉切り・測定最後の部分の樹高 (m)
(区分幹材積計算対象までの樹高に相当)
- v_t : 梢頭材積 (m^3)
- g_{n-1} : 梢頭部分の底(断)面積 (m^2)
- V_A : 全幹材積 (m^3)
- $l_{0.05}$: 皮内末口直径 5cm から梢頭部までの長さ (m)
- $h_{0.05}$: 皮内末口直径 5cm までの樹高 (m)
- $v_{0.05}$: 皮内末口直径 5cm 未満の材積 (m^3)
- V_B : 利用材積 (m^3)
- l' : 採材最後の部分から梢頭部までの長さ (m)
- h' : 2.4 m (or 1.2 m) 毎全採材長 (m)
- v' : 非採材部分の材積 (m^3)
- g' : 採材最後の部分の断面積 (m^2)
- V_C : 実利用材積 (m^3)

図IV-3 コンピュータによる材積計算の流れ図

表IV-10 コンピュータによる材積計算結果の一例

(標本木 № 1 2)

FICHA PARA O CALCULO DO VOLUME

N. ARVORES : 12-(1)
 ESPECIE : P. ELLIOTTII
 IDADE : 18
 DATA : 03/06/1982
 LOCAL : AGUAS DE SANTA BARBARA (31)

N.	ALT.	COM CASCA (C/C)	SEM CASCA (S/C)	AREA BASAL	VOLUME
0	1.30	0.0	28.5	0.0	24.1
1	1.10	0.0	29.5	0.0	24.1
2	3.10	0.0	25.7	0.0	22.5
3	5.10	0.0	25.0	0.0	22.2
4	7.10	0.0	24.5	0.0	21.7
5	9.10	0.0	24.0	0.0	21.2
6	11.10	0.0	21.7	0.0	19.8
7	13.10	0.0	21.7	0.0	19.3
8	15.10	0.0	16.4	0.0	15.0
9	17.10	0.0	13.0	0.0	12.0
10	19.10	0.0	7.2	0.0	6.8
11	21.10	0.0	4.5	0.0	3.8
12	22.10	0.0	2.1	0.0	1.9
13	19.30	0.0	7.5	0.0	6.5
14	20.50	0.0	5.9	0.0	5.0

D. A. P.	(CM)	28.50	24.10
ALTURA	(M)	22.80	22.80
COMP. DO PONTEIRO	(M)	0.70	0.70
AREA BASAL TOTAL	(M ²)	2.30	2.30
VOL. DAS SECCOES	(M ³)	0.3748	0.2902
VOL. TOTAL	(M ³)	0.7496	0.5804
VOL. ACIMA DE 5CM	(M ³)	0.0001	0.0001
VOL. COMERCIAL	(M ³)	0.7497	0.5805
PERCENTAGEM	(%)	99.67	99.67

表IV-11 標本木(100本)の各種材積および比率の計算結果一覧

A TABELA SURABAIADA

M.	D.A.P.	VOL. TOTAL (VA)		VOL. COMERCIAL (VB)		VOL. COMERCIAL REAL (VC)									
		ALT.	C/C	S/C	Z	C/C	S/C	Z	C/C	S/C	Z				
1	21.00	17.60	0.3542	0.2817	79.53	0.3523	0.2803	79.56	99.46	99.50	0.3517	0.2801	79.64	99.29	99.43
2	13.80	12.00	0.1411	0.1096	77.68	0.1380	0.1073	77.75	97.80	97.80	0.1382	0.1076	77.86	97.94	99.43
3	25.00	21.00	0.4758	0.3776	79.36	0.4734	0.3757	79.36	99.50	99.50	0.4719	0.3745	79.36	99.18	99.18
4	12.50	10.20	0.0928	0.0729	78.56	0.0896	0.0705	78.68	96.55	96.71	0.0896	0.0705	78.68	96.55	96.71
5	8.20	6.70	0.0248	0.0178	71.77	0.0158	0.0116	73.42	65.71	65.17	0.0191	0.0134	70.16	77.02	75.28
6	7.70	6.20	0.0200	0.0140	70.00	0.0136	0.0096	70.59	68.00	68.57	0.0171	0.0119	69.59	85.50	85.00
7	13.60	12.00	0.1090	0.0897	82.59	0.1060	0.0874	82.45	97.25	97.44	0.1039	0.0856	82.39	95.32	95.43
8	15.70	14.30	0.1602	0.1357	84.71	0.1569	0.1330	84.77	97.94	98.01	0.1546	0.1311	84.80	96.50	96.61
9	17.50	15.30	0.2450	0.1998	81.55	0.2429	0.1981	81.56	99.14	99.15	0.2422	0.1981	81.56	99.14	99.15
10	21.20	19.00	0.2985	0.2439	81.71	0.2955	0.2418	81.83	98.99	99.14	0.2941	0.2406	81.81	98.53	98.65
11	16.80	14.80	0.2307	0.1886	81.75	0.2274	0.1858	81.71	98.57	98.52	0.2268	0.1854	81.75	98.31	98.30
12	28.50	24.10	0.7497	0.5805	77.43	0.7472	0.5786	77.44	99.67	99.67	0.7430	0.5754	77.44	99.11	99.12
13	21.60	18.80	0.4025	0.3291	81.76	0.3999	0.3271	81.80	99.35	99.39	0.3990	0.3264	81.80	99.13	99.13
14	17.30	15.20	0.2548	0.2035	79.87	0.2523	0.2016	79.90	99.02	99.07	0.2500	0.2000	80.00	98.12	98.28
15	15.80	12.80	0.1859	0.1425	76.65	0.1829	0.1405	76.82	98.39	98.60	0.1804	0.1387	76.82	97.04	97.33
16	12.00	10.10	0.0982	0.0740	75.36	0.0935	0.0703	75.19	95.21	95.00	0.0906	0.0684	75.50	92.26	92.43
17	8.10	7.20	0.0360	0.0285	83.24	0.0354	0.0247	84.01	86.47	87.28	0.0276	0.0234	86.78	81.18	82.69
18	10.10	8.40	0.0389	0.0268	68.89	0.0374	0.0222	68.52	83.29	82.84	0.0324	0.0222	68.52	83.29	82.84
19	12.00	10.70	0.0732	0.0560	76.50	0.0694	0.0531	76.51	94.81	94.82	0.0674	0.0531	76.51	94.81	94.82
20	10.00	8.00	0.0389	0.0255	65.55	0.0320	0.0198	61.87	82.26	77.65	0.0310	0.0189	60.97	79.69	74.12
21	14.00	11.80	0.1050	0.0782	74.48	0.1028	0.0764	74.32	97.90	97.70	0.1014	0.0756	74.56	96.57	96.68
22	14.00	11.80	0.0911	0.0664	72.89	0.0872	0.0634	72.71	95.72	95.48	0.0847	0.0617	72.85	92.97	92.92
23	14.00	13.00	0.1514	0.1077	71.14	0.1489	0.1058	71.05	98.35	98.24	0.1475	0.1049	71.12	97.62	97.40
24	18.00	15.20	0.2014	0.1536	76.27	0.1987	0.1516	76.30	98.66	98.70	0.1987	0.1516	76.30	98.66	98.70
25	20.00	17.00	0.2476	0.1975	79.68	0.2448	0.1949	79.62	98.87	98.78	0.2448	0.1949	79.62	98.87	98.78
26	14.30	12.00	0.1195	0.0924	77.32	0.1161	0.0900	77.52	97.15	97.40	0.1127	0.0876	77.75	94.31	94.81
27	23.40	20.00	0.3485	0.2797	80.26	0.3466	0.2784	80.32	99.45	99.54	0.3462	0.2781	80.33	99.34	99.43
28	21.80	18.50	0.2674	0.2048	76.59	0.2646	0.2027	76.61	98.95	98.97	0.2646	0.2027	76.61	98.95	98.97
29	17.50	14.80	0.1656	0.1315	79.41	0.1632	0.1297	79.47	98.58	98.63	0.1608	0.1279	79.54	97.10	97.26
30	15.20	13.10	0.1090	0.0837	76.79	0.1047	0.0804	76.79	96.06	96.06	0.1047	0.0804	76.79	96.06	96.06
31	26.00	22.50	0.6696	0.5372	80.23	0.6466	0.5350	80.26	99.55	99.59	0.6461	0.5330	80.26	99.18	99.22
32	20.00	17.00	0.3188	0.2627	82.40	0.3155	0.2603	82.50	98.96	99.09	0.3153	0.2602	82.52	98.90	99.05
33	22.00	19.00	0.4219	0.3484	82.58	0.4192	0.3454	82.59	99.12	99.14	0.4166	0.3449	82.79	98.74	99.00
34	30.00	26.80	0.8803	0.7575	86.05	0.8780	0.7557	86.07	99.74	99.76	0.8773	0.7550	86.06	99.66	99.67
35	24.00	20.20	0.5131	0.4334	84.22	0.5076	0.4292	84.22	99.26	99.26	0.5075	0.4274	84.22	98.85	98.84

表IV-11 つづき

No.	R.A.P.		VOL. TOTAL (VA)		VOL. COMERCIAL (VB)		VOL. COMERCIAL REAL (VC)								
	ALT.	C/C	S/C	Z	S/C	Z	S/C	Z							
36	18.00	16.50	0.3095	0.2620	84.65	0.3064	0.2596	84.73	99.00	99.08	0.3062	0.2594	84.72	98.93	99.01
37	16.20	12.00	0.1613	0.1384	85.80	0.1359	0.1185	87.20	84.25	85.62	0.1331	0.1158	87.00	82.52	83.67
38	18.00	15.50	0.2281	0.1904	83.56	0.2254	0.1884	83.58	98.82	98.85	0.2239	0.1873	83.65	98.16	98.27
39	18.00	17.20	0.2200	0.1755	79.77	0.2172	0.1735	79.88	98.73	98.86	0.2171	0.1734	79.87	98.68	98.80
40	20.00	17.50	0.2811	0.2418	86.02	0.2786	0.2400	86.15	99.11	99.26	0.2754	0.2374	86.20	97.97	98.18
41	10.00	8.20	0.0557	0.0409	73.43	0.0497	0.0357	71.83	89.23	87.29	0.0462	0.0345	71.58	86.54	84.55
42	10.40	8.30	0.0482	0.0333	69.09	0.0410	0.0277	67.56	85.06	83.16	0.0409	0.0276	67.48	84.85	82.88
43	24.00	20.50	0.3743	0.3014	80.52	0.2997	0.2397	80.54	99.41	99.44	0.2995	0.2395	80.55	99.33	99.37
44	17.40	14.80	0.1992	0.1572	79.17	0.1964	0.1556	79.23	98.59	98.67	0.1962	0.1555	79.26	98.49	98.60
45	18.00	15.80	0.1748	0.1470	84.10	0.1725	0.1453	84.23	98.68	98.84	0.1723	0.1452	84.27	98.57	98.76
46	20.00	17.50	0.1660	0.1340	80.72	0.1639	0.1323	80.72	98.73	98.73	0.1637	0.1321	80.70	98.61	98.58
47	8.00	5.80	0.0183	0.0113	61.75	0.0137	0.0080	58.39	74.86	70.80	0.0115	0.0064	53.65	62.84	56.64
48	9.00	7.00	0.0261	0.0178	68.20	0.0218	0.0144	66.06	83.52	80.90	0.0217	0.0143	65.90	83.14	80.34
49	7.70	5.70	0.0201	0.0131	65.17	0.0136	0.0082	60.29	67.66	62.60	0.0135	0.0080	59.26	67.16	61.07
50	11.40	8.30	0.0376	0.0246	65.43	0.0346	0.0222	64.16	92.02	90.24	0.0336	0.0216	64.29	89.36	87.80
51	18.30	15.80	0.1760	0.1416	80.45	0.1733	0.1395	80.50	98.47	98.52	0.1728	0.1392	80.56	98.18	98.31
52	20.00	17.00	0.2126	0.1622	76.29	0.2098	0.1599	76.22	98.68	98.58	0.2079	0.1584	76.19	97.79	97.66
53	10.10	8.80	0.0382	0.0308	80.63	0.0328	0.0268	81.71	85.86	87.01	0.0327	0.0267	81.65	85.60	86.69
54	10.00	8.20	0.0388	0.0287	73.97	0.0340	0.0250	73.53	87.63	87.11	0.0316	0.0228	72.15	81.64	79.44
55	12.20	10.40	0.0350	0.0426	77.45	0.0312	0.0397	77.54	93.09	93.19	0.0311	0.0396	77.50	92.91	92.96
56	24.20	21.50	0.3354	0.2805	83.63	0.3336	0.2791	83.66	99.46	99.50	0.3288	0.2748	83.58	98.03	97.97
57	28.00	25.80	0.5163	0.4495	87.06	0.5147	0.4482	87.08	99.69	99.71	0.5136	0.4474	87.11	99.48	99.53
58	26.00	22.50	0.4899	0.3850	78.59	0.4884	0.3839	78.60	99.69	99.71	0.4877	0.3834	78.61	99.55	99.58
59	26.00	22.00	0.3845	0.2918	75.89	0.3824	0.2902	75.89	99.45	99.45	0.3819	0.2897	75.86	98.32	98.28
60	24.00	21.00	0.4503	0.3736	82.97	0.4476	0.3715	83.00	99.44	99.44	0.4459	0.3703	83.05	99.02	99.12
61	22.00	19.00	0.3195	0.2657	83.16	0.3171	0.2638	83.19	99.25	99.28	0.3169	0.2636	83.18	99.19	99.21
62	20.00	18.00	0.3006	0.2467	82.07	0.2983	0.2451	82.11	99.30	99.35	0.2980	0.2457	82.11	99.14	99.19
63	20.00	19.00	0.2931	0.2498	84.65	0.2929	0.2481	84.70	99.25	99.32	0.2928	0.2480	84.70	99.22	99.28
64	14.20	12.30	0.1258	0.1002	79.65	0.1240	0.0988	79.68	98.57	98.60	0.1218	0.0975	80.05	96.82	97.31
65	18.00	16.00	0.1958	0.1608	82.12	0.1944	0.1596	82.10	99.28	99.25	0.1942	0.1594	82.08	99.18	99.15
66	22.00	18.80	0.1950	0.1479	76.63	0.1902	0.1457	76.60	98.55	98.51	0.1806	0.1391	77.02	93.58	94.05
67	17.00	13.20	0.0927	0.0636	70.77	0.0911	0.0644	70.69	98.27	98.17	0.0881	0.0623	70.72	95.04	94.97
68	10.00	7.50	0.0246	0.0161	63.45	0.0207	0.0132	63.77	84.15	81.99	0.0205	0.0131	63.90	83.53	81.57
69	14.00	11.00	0.0692	0.0316	74.57	0.0660	0.0422	74.55	95.38	95.35	0.0643	0.0451	74.81	92.92	93.22
70	15.80	13.00	0.0901	0.0715	79.56	0.0886	0.0703	79.35	98.54	98.52	0.0872	0.0692	79.56	96.78	96.78

No.	D.A.P.		VOL. TOTAL (VA)		VOL. COMERCIAL (VB)		VOL. COMERCIAL REAL (VC)									
	ALT.	S/C	C/C	S/C	X	C/C	S/C	X	C/C	S/C	X	C/C	S/C	X		
71	12.00	10.00	8.60	0.0425	0.0282	66.35	0.0388	0.0252	64.95	91.29	89.36	0.0265	0.0239	65.48	85.82	84.75
72	10.50	8.80	12.10	0.0490	0.0368	75.10	0.0458	0.0343	74.89	93.47	93.21	0.0456	0.0342	75.00	93.06	92.93
73	11.80	9.00	12.70	0.0643	0.0424	65.94	0.0590	0.0383	64.92	91.76	90.33	0.0590	0.0383	64.92	91.76	90.33
74	20.00	18.00	14.80	0.2337	0.1729	81.84	0.2328	0.1707	81.92	98.77	98.86	0.2321	0.1901	81.90	98.47	98.55
75	18.00	16.00	12.20	0.1452	0.1216	83.75	0.1407	0.1186	84.29	96.90	97.53	0.1391	0.1166	83.82	95.80	95.89
76	24.00	20.50	14.00	0.2662	0.2156	80.99	0.2642	0.2140	81.00	99.25	99.26	0.2606	0.2111	81.01	97.90	97.91
77	22.00	19.00	16.50	0.3304	0.2706	81.90	0.3263	0.2674	81.95	98.76	98.82	0.3263	0.2674	81.95	98.76	98.82
78	14.00	11.50	10.80	0.0650	0.0500	76.92	0.0623	0.0478	76.73	95.85	95.60	0.0606	0.0459	75.74	93.23	91.80
79	20.00	17.50	13.90	0.2079	0.1671	80.38	0.2058	0.1654	80.37	98.99	98.98	0.2038	0.1639	80.42	98.03	98.08
80	12.00	10.50	11.70	0.0678	0.0531	81.27	0.0646	0.0524	81.11	95.28	95.10	0.0633	0.0518	81.19	94.10	94.01
81	16.00	12.50	11.60	0.0971	0.0680	70.03	0.0935	0.0651	69.63	96.29	95.74	0.0928	0.0645	69.50	95.57	94.85
82	16.00	13.80	12.70	0.1105	0.0872	78.91	0.1070	0.0844	78.88	96.83	96.79	0.1070	0.0844	78.88	96.83	96.79
83	18.00	15.00	10.70	0.1299	0.1003	77.21	0.1266	0.0977	77.17	97.46	97.41	0.1237	0.0954	77.12	95.23	95.11
84	14.00	11.60	12.90	0.1016	0.0837	81.40	0.0982	0.0801	81.57	96.65	96.86	0.0974	0.0795	81.62	95.87	96.13
85	12.00	15.00	11.10	0.1481	0.1130	73.62	0.1460	0.1103	73.55	98.58	98.48	0.1441	0.1088	73.50	97.30	97.14
86	30.00	27.00	17.00	0.6011	0.4937	82.13	0.5981	0.4913	82.14	99.50	99.51	0.5901	0.4849	82.17	98.17	98.22
87	24.00	21.00	18.10	0.3926	0.3175	80.82	0.3906	0.3158	80.85	99.49	99.53	0.3898	0.3151	80.84	99.29	99.31
88	16.00	13.80	15.30	0.1629	0.1220	74.89	0.1595	0.1194	74.86	97.91	97.87	0.1583	0.1183	74.73	97.18	96.97
89	20.00	17.20	17.60	0.2684	0.2192	81.67	0.2656	0.2171	81.74	98.96	99.04	0.2643	0.2161	81.76	98.47	98.59
90	12.00	10.50	16.50	0.1052	0.0800	76.05	0.1016	0.0771	75.89	96.58	96.37	0.1010	0.0765	75.74	96.01	95.63
91	16.00	13.20	17.80	0.1723	0.1350	78.35	0.1695	0.1327	78.29	98.37	98.30	0.1681	0.1316	78.29	97.56	97.48
92	18.00	14.80	19.70	0.2325	0.1812	77.94	0.2283	0.1779	77.92	98.19	98.18	0.2283	0.1779	77.92	98.19	98.18
93	22.00	18.00	19.70	0.3546	0.2809	79.22	0.3512	0.2781	79.19	99.04	99.00	0.3479	0.2755	79.19	98.11	98.08
94	28.00	24.70	20.50	0.6355	0.5303	83.52	0.6333	0.5291	83.55	99.65	99.68	0.6310	0.5272	83.55	99.29	99.32
95	30.00	25.60	20.10	0.6868	0.5590	81.39	0.6849	0.5576	81.41	99.72	99.75	0.6849	0.5576	81.41	99.72	99.75
96	26.00	23.50	21.50	0.6971	0.5919	84.91	0.6956	0.5908	84.93	99.78	99.81	0.6945	0.5902	84.95	99.67	99.71
97	16.00	14.00	9.10	0.0898	0.0708	78.64	0.0878	0.0694	79.04	97.77	98.02	0.0878	0.0694	79.04	97.77	98.02
98	22.00	19.00	15.70	0.2708	0.2189	80.83	0.2686	0.2171	80.83	99.19	99.18	0.2686	0.2171	80.83	99.19	99.18
99	14.00	11.00	9.10	0.0593	0.0407	68.83	0.0550	0.0374	68.00	92.75	91.89	0.0529	0.0360	68.05	89.21	88.45
100	22.00	18.50	14.00	0.2468	0.1906	77.23	0.2440	0.1884	77.21	98.87	98.85	0.2414	0.1862	77.13	97.81	97.69

$$y = a_0 + \sum_{i=1}^p a_i x_i \quad (6)$$

ただし、 $p = 1, 2, 3$

ここで(6)式は線形重回帰式とよばれる。したがってここで採用する材積式は各資料にもとづき5つの式をあてはめ、その適合性を評価し、それぞれの残差の標準誤差のうち最小の値をもつ式を決定する。表IV-12は重回帰分析プログラムでえられた一連の計算結果の

表IV-12 残差の標準誤差

種	類	(1)式	(2)式	(3)式	(4)式	(5)式
A. 全幹材積式	①皮付	0.05828	0.02134	0.02107	0.01990	0.01989
	②皮内	0.05105	0.02129	0.02109	0.02000	0.01986
B. 利用材積式	③皮付	0.05998	0.02135	0.02345	0.02264	0.02020
	④皮内	0.05388	0.02120	0.02566	0.02485	0.01999
C. 実利用材積式	⑤皮付	0.06011	0.02162	0.02322	0.02219	0.02028
	⑥皮内	0.05417	0.02143	0.02580	0.02488	0.02008

うち、残差の標準誤差のみを示したものである。なお、標準誤差(SE)は(7)式により求めた(式中、 n :標本数、 k :独立変数の個数、 v :実材積、 \hat{v} :推定材積)。

$$SE = \left\{ \frac{1}{n - (k+1)} \sum_{i=1}^n (v - \hat{v})^2 \right\}^{1/2} \quad (7)$$

ただし対数式と非対数式から求めた標準誤差はそのまま比較することはできない。そのため表IV-12の(1), (3), (4)式の標準誤差を求める場合は \hat{v} に下記の(8)式で求めた修正係数(c.f.)を乗じたものを \hat{v} として(7)式で計算した(ただし $s_{y \cdot x_1 x_2}$:推定の誤差の分散)。

$$c.f. = 10 \frac{n-1}{n} s_{y \cdot x_1 x_2}^2 \cdot 1.151293 \quad (8)$$

以上の結果、いずれの材積式も(5)式による場合の残差の標準誤差が最小となった(表IV-12参照)。したがって本材積表に採用する材積式はAustralian式と呼ばれる(5)式によることとした。

なお、(5)式における独立変数が従属変数に与える影響について各材積式毎の偏回帰係数の有意差検定を、偏回帰係数 a_i が0であるという帰無仮説($H: a_i = 0$)をたて

$$t = \frac{a_i}{S^{ii} V_e} \geq t(n - P - 1; \alpha)$$

(ただし S^{ii} :偏差平方和・積和行列の逆行列、 V_e :誤差分散)により行なったところ、

表IV-13の結果をえ、いずれの材積式も第2番目の変数 ($x_2 = H$) が削除された。したがって材積式は(9)式のとおり決定された。

$$V = a_0 + a_1 D^2 + a_2 (D^2 H) \quad (9)$$

次に異常資料によって推定される材積への影響を防ぐための処置として、(9)式を適用した場合の棄却帯を(10)式により求めた(式中、 t : 自由度 $n - 3$ のときの99%レベルにおける t の値、 $s_{y_{x_1 x_2}}$: 誤差分散、 $V(\hat{V})$: 推定値 \hat{V} の分散)。

$$E_{y_{x_1 x_2}} = t \{ s_{y_{x_1 x_2}} - V(\hat{V})^{\frac{1}{2}} \} \quad (10)$$

この(10)式で求めた $E_{y_{x_1 x_2}}$ と回帰からの偏差 $v - \hat{V}$ を比較し、 $E_{y_{x_1 x_2}} < |v_i - \hat{V}_i|$ の関係が成立したとき i 番目の資料を棄却した結果、資料No 94は全材積で、また資料No 98は皮内材積式のみについて棄却された。

直径級は線形回帰モデルの場合、変量間の関係が資料の全範囲にわたって線形であることを前提とする。したがって直径・樹高と材積の関係がある範囲内で線形であるような資料に対してはその範囲毎に材積式を求めるという方法がとられる。しかし本例の場合は資料数が100本であること、およびその範囲が直径は8cm~30cm、樹高では7m~23mと狭いため全直径階を一括して1つの材積式として以下のとおり求めた(材積式のあてはめについては省略)。

① 皮付全幹材積式

$$\hat{V} = 0.00674609 - 0.00012281D^2 + 0.00004552D^2H$$

② 皮内全幹材積式 (E = 14.96)

$$\hat{V} = 0.00226291 - 0.00009136D^2 + 0.00003656D^2H$$

(E = 16.66)

③ 皮付利用材積式

$$\hat{V} = 0.00113217 - 0.00010899D^2 + 0.00004506D^2H$$

(E = 15.46)

④ 皮内利用材積式

$$\hat{V} = -0.00204230 - 0.00008071D^2 + 0.00003621D^2H$$

(E = 17.05)

⑤ 皮付実利用材積式

$$\hat{V} = -0.00116770 - 0.00011814D^2 + 0.00004539D^2H$$

(E = 15.61)

⑥ 皮内実利用材積式

$$\hat{V} = -0.00200872 - 0.00008761D^2 + 0.00003644D^2H$$

(E = 17.20)

表IV-1.3 偏回帰係数の検定

種	類	変数	偏回帰係数	a _j の95%信頼限界		標準誤差	標準偏回帰係数	t-検定
				上 限	下 限			
A 全幹材積式	①皮付	x ₁	-0.000015592	-0.0000242	-0.0000069	0.0000	-0.1768836	-3.581**
		x ₂	-0.000044804	-0.0002418	0.001522	0.0010	-0.0099104	-0.451
		x ₃	0.000004781	0.0000042	0.0000052	0.0000	1.1713886	19.412**
	②皮内	x ₁	-0.000015530	-0.0000241	-0.0000069	0.0000	-0.2113804	-3.573**
		x ₂	-0.000046669	-0.0002433	0.001500	0.0010	-0.0123852	-0.471
		x ₃	0.000004095	0.0000036	0.0000045	0.0000	1.2036333	16.654**
	③皮付	x ₁	-0.000014332	-0.0000231	-0.0000055	0.0000	-0.1619246	-3.241**
		x ₂	-0.000048609	-0.0002486	0.001514	0.0010	-0.0107079	-0.482
		x ₃	0.000004744	0.0000042	0.0000052	0.0000	1.1576738	18.971**
B 利用材積式	④皮内	x ₁	-0.000014617	-0.0000233	-0.0000059	0.0000	-0.1982326	-3.340**
		x ₂	-0.000051635	-0.0002496	0.001463	0.0010	-0.0136536	-0.518
		x ₃	0.000004070	0.0000035	0.0000045	0.0000	1.1921310	16.442**
C 実利用材積式	⑤皮付	x ₁	-0.000015342	-0.0000241	-0.0000065	0.0000	-0.1736585	-3.455**
		x ₂	-0.000051834	-0.0002527	0.001490	0.0010	-0.0114392	-0.512
		x ₃	0.000004784	0.0000042	0.0000052	0.0000	1.1693535	19.047**
	⑥皮内	x ₁	-0.000015377	-0.0000241	-0.0000066	0.0000	-0.2088885	-3.498**
		x ₂	-0.000053076	-0.0002519	0.001458	0.0010	-0.0140581	-0.530
		x ₃	0.000004099	0.0000036	0.0000045	0.0000	1.2024670	16.484**

(4) エリオッティマツの立木幹材積表

以上により分析・検討を行ない、その結果にもとづいて決定した6種類の利用目的別材積式により計算したエリオッティマツの立木幹材積表は表IV-14から表IV-19に示すとおりである。なお、材積表は現地林分に対応させて、直径は1cm括約により6cm~34cm、樹高は1m単位で5m~25mの各範囲で調製した。また材積表はいずれの場合も皮付直径の値で標示した。これは現地では皮内直径の測定が不可能なためである。したがって皮付直径を測ることによって皮内の各材積が推定されることになる。

因みに皮付直径(x)と皮内直径(Y)の関係は図IV-4に示すとおりとなり、その回帰式および相関係数 r は下記のとおりとなった。

$$Y = -0.962 + 0.909x \quad (r = 0.989)$$

(5) び す び

① 材積表調製結果に対する考察

以上により調製した6種類の立木幹材積表はその調製手法に対する研究を目的としたものであるが、以下に調製材積表に対する若干の考察を試みてみよう。

まず、現地林分で選木し伐倒した100本の標本木のうち、異常資料として棄却した2本を除く98本の標本木の胸高直径(DAP, C/c=D)と樹高(H)の関係は、

$$H = 3.759 + 0.790D - 0.008D^2 \quad (r = 0.694)$$

となった。これをグラフ上でみるとその分布状態は若干のばらつきを有し、したがってその相関係数も必ずしも高いとはいえない。しかしこれは標本木の収集段階で各直径階毎に樹高の範囲(幅)を分布させて有意的に選んだ結果に他ならない。またこの程度のばらつきは何処の林分にも見られる現象である。見方を変えれば同じアグアス・ジ・サンタ・バルバラ州有林の中でも場所や地位の差異でこの程度のばらつきは常に存在することを意味する。

次に、皮付直径と皮付各材積、および皮内直径と皮内各材積、の各関係を示すと表IV-20のとおりである。

表IV-20より、皮付では全体的に④、⑥、⑧ともほぼ同じ傾向をもって回帰式が成立している。そして材積は④>⑥>⑧となっており、したがってパラメーターの値も④より⑥、さらに⑧と僅かながら順次小さくなっている。④、⑥、⑧の3者は各皮付材積に比しいずれもそのパラメーターの値は小さくなっている。しかしその順序は必ずしも前者のように一定の傾向ではない。相関係数は全体的に0.890~0.897の範囲にある。

皮付全幹材積と各材積、皮付利用材積と皮内利用材積、ならびに皮付実利用材積と皮内実利用材積、の各関係は表IV-21に示すとおりである。

表IV-21から、各関係式ともその相関係数は0.997~0.999と極めて高い範囲にあり、いずれの場合もよく対応している。それらの個々についてみると、⑩および⑪の両

表IV-14 皮付全幹材積表

*** TABELA PARA VOLUME TOTAL COM CASCA ***

ESPECIE : P. ELLIOTTII LOCAL : AGUAS DE SANTA BARBARA EQUACAO : $V = 0.67460919 \cdot D^2 - 0.12281619 \cdot D^3 + (0.03) \cdot L \cdot 0.45517506 - 0.6 \cdot (0.8 \cdot H)$

ALTURA (M)	CLASSES DE DIAMETRO (CM)																
	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
5	0.011	0.012	0.013	0.015	0.017	0.019	0.022	0.024	0.027	0.030	0.034	0.037	0.041	0.045	0.049	0.053	0.057
6	0.012	0.014	0.016	0.019	0.022	0.025	0.028	0.032	0.036	0.041	0.045	0.050	0.055	0.061	0.067	0.073	0.079
7	0.014	0.016	0.019	0.023	0.026	0.030	0.035	0.040	0.045	0.051	0.057	0.063	0.070	0.077	0.085	0.093	0.102
8	0.015	0.019	0.022	0.026	0.031	0.036	0.041	0.048	0.054	0.061	0.069	0.076	0.085	0.094	0.103	0.113	0.124
9	0.017	0.021	0.025	0.030	0.035	0.041	0.048	0.055	0.063	0.071	0.080	0.090	0.100	0.110	0.121	0.133	0.146
10	0.019	0.023	0.028	0.034	0.040	0.047	0.055	0.063	0.072	0.082	0.092	0.103	0.114	0.127	0.140	0.153	0.168
11	0.020	0.025	0.031	0.037	0.045	0.052	0.061	0.071	0.081	0.092	0.103	0.116	0.129	0.143	0.158	0.173	0.190
12	0.022	0.027	0.034	0.041	0.049	0.058	0.068	0.078	0.090	0.102	0.115	0.129	0.144	0.160	0.176	0.193	0.212
13	0.024	0.030	0.037	0.045	0.054	0.063	0.074	0.086	0.099	0.112	0.127	0.142	0.159	0.176	0.194	0.214	0.234
14	0.025	0.032	0.040	0.048	0.058	0.069	0.081	0.094	0.108	0.122	0.138	0.155	0.173	0.192	0.213	0.234	0.256
15	0.027	0.034	0.043	0.052	0.063	0.074	0.087	0.101	0.116	0.133	0.150	0.169	0.188	0.209	0.231	0.254	0.278
16	0.029	0.036	0.045	0.056	0.067	0.080	0.094	0.109	0.125	0.143	0.162	0.182	0.203	0.225	0.249	0.274	0.300
17	0.030	0.039	0.048	0.059	0.072	0.086	0.100	0.117	0.134	0.153	0.173	0.195	0.218	0.242	0.267	0.294	0.322
18	0.032	0.041	0.051	0.063	0.076	0.091	0.107	0.124	0.143	0.163	0.185	0.208	0.232	0.258	0.285	0.314	0.344
19	0.033	0.043	0.054	0.067	0.081	0.097	0.114	0.132	0.152	0.174	0.197	0.221	0.247	0.275	0.304	0.334	0.366
20	0.035	0.045	0.057	0.071	0.085	0.102	0.120	0.140	0.161	0.184	0.208	0.234	0.262	0.291	0.322	0.354	0.388
21	0.037	0.048	0.060	0.074	0.090	0.108	0.127	0.148	0.170	0.194	0.220	0.247	0.277	0.307	0.340	0.374	0.410
22	0.038	0.050	0.063	0.078	0.095	0.113	0.133	0.155	0.179	0.204	0.232	0.261	0.291	0.324	0.358	0.394	0.432
23	0.040	0.052	0.066	0.082	0.099	0.119	0.140	0.163	0.188	0.215	0.243	0.274	0.306	0.340	0.376	0.414	0.454
24	0.042	0.054	0.069	0.085	0.104	0.124	0.146	0.171	0.197	0.225	0.255	0.287	0.321	0.357	0.393	0.434	0.476
25	0.043	0.056	0.072	0.089	0.108	0.130	0.153	0.178	0.206	0.235	0.267	0.300	0.336	0.373	0.413	0.454	0.498

ALTURA (M)	CLASSES DE DIAMETRO (CM)					
	23	24	25	26	27	28
5	0.062	0.067	0.072	0.078	0.083	0.089
6	0.086	0.093	0.101	0.108	0.116	0.125
7	0.110	0.120	0.129	0.139	0.149	0.160
8	0.134	0.146	0.158	0.170	0.183	0.196
9	0.158	0.172	0.186	0.201	0.216	0.232
10	0.183	0.198	0.214	0.231	0.249	0.267
11	0.207	0.224	0.243	0.262	0.282	0.303
12	0.231	0.251	0.271	0.293	0.315	0.339
13	0.255	0.277	0.300	0.324	0.349	0.374
14	0.279	0.303	0.326	0.353	0.382	0.410
15	0.303	0.329	0.357	0.385	0.415	0.446
16	0.327	0.355	0.385	0.414	0.448	0.481
17	0.351	0.382	0.414	0.447	0.481	0.517
18	0.375	0.408	0.442	0.478	0.514	0.553
19	0.399	0.434	0.471	0.508	0.548	0.588
20	0.423	0.460	0.499	0.539	0.581	0.624
21	0.447	0.487	0.527	0.570	0.614	0.660
22	0.472	0.513	0.556	0.601	0.647	0.696
23	0.496	0.539	0.584	0.631	0.684	0.734
24	0.520	0.565	0.613	0.662	0.714	0.767
25	0.544	0.591	0.641	0.693	0.747	0.803

表IV - 15 皮内余幹材積表

*** TABELA PARA VOLUME TOTAL SEM CASCA ***

ESPECIE : P. ELLIOTTII LOCAL : AGUAS DE SANTA BARBARA / EQUACAO : V=0.2262907b-02 - 0:9136363p-04*(p+p) + 0.3655926b-04*(p+p)

ALTURA (M)	CLASSES DE DIAMETRO (CM)																
	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
5	0.006	0.007	0.008	0.010	0.011	0.013	0.015	0.018	0.020	0.023	0.026	0.029	0.032	0.035	0.039	0.043	0.047
6	0.007	0.009	0.010	0.013	0.015	0.018	0.021	0.024	0.027	0.031	0.035	0.039	0.044	0.048	0.053	0.059	0.064
7	0.008	0.010	0.013	0.016	0.019	0.022	0.026	0.030	0.035	0.039	0.044	0.050	0.056	0.062	0.068	0.075	0.082
8	0.010	0.012	0.015	0.019	0.022	0.027	0.031	0.036	0.042	0.048	0.054	0.060	0.067	0.073	0.083	0.091	0.100
9	0.011	0.014	0.017	0.022	0.026	0.031	0.036	0.042	0.049	0.056	0.063	0.071	0.079	0.088	0.097	0.107	0.117
10	0.012	0.016	0.020	0.024	0.030	0.035	0.042	0.049	0.056	0.064	0.072	0.082	0.091	0.101	0.112	0.123	0.135
11	0.013	0.017	0.022	0.027	0.033	0.040	0.047	0.055	0.063	0.072	0.082	0.092	0.103	0.114	0.127	0.139	0.153
12	0.015	0.019	0.024	0.030	0.037	0.044	0.052	0.061	0.070	0.080	0.091	0.103	0.115	0.128	0.141	0.155	0.170
13	0.016	0.021	0.027	0.033	0.041	0.049	0.058	0.067	0.078	0.089	0.101	0.113	0.127	0.141	0.156	0.172	0.188
14	0.017	0.023	0.029	0.036	0.044	0.053	0.063	0.073	0.085	0.097	0.110	0.124	0.138	0.154	0.170	0.188	0.206
15	0.019	0.025	0.032	0.039	0.048	0.058	0.068	0.080	0.092	0.105	0.119	0.134	0.150	0.167	0.185	0.204	0.223
16	0.020	0.026	0.034	0.042	0.052	0.062	0.073	0.086	0.099	0.113	0.129	0.145	0.162	0.180	0.200	0.220	0.241
17	0.021	0.028	0.036	0.045	0.055	0.066	0.079	0.092	0.106	0.122	0.138	0.155	0.174	0.194	0.214	0.236	0.259
18	0.023	0.030	0.039	0.048	0.059	0.071	0.084	0.098	0.113	0.130	0.147	0.166	0.186	0.207	0.229	0.252	0.277
19	0.024	0.032	0.041	0.051	0.063	0.075	0.089	0.104	0.121	0.138	0.157	0.177	0.198	0.220	0.244	0.268	0.294
20	0.025	0.034	0.043	0.054	0.066	0.080	0.094	0.110	0.128	0.146	0.166	0.187	0.210	0.233	0.258	0.284	0.312
21	0.027	0.035	0.046	0.057	0.070	0.084	0.100	0.117	0.135	0.154	0.175	0.198	0.221	0.246	0.273	0.301	0.330
22	0.028	0.037	0.048	0.060	0.074	0.089	0.105	0.123	0.142	0.163	0.185	0.208	0.231	0.256	0.283	0.311	0.340
23	0.029	0.039	0.050	0.063	0.077	0.093	0.110	0.128	0.148	0.171	0.194	0.219	0.245	0.273	0.302	0.333	0.365
24	0.031	0.041	0.053	0.066	0.081	0.097	0.115	0.135	0.156	0.179	0.203	0.229	0.257	0.286	0.317	0.349	0.383
25	0.032	0.043	0.055	0.069	0.085	0.102	0.121	0.141	0.163	0.187	0.213	0.240	0.269	0.299	0.331	0.365	0.400

ALTURA (M)	CLASSES DE DIAMETRO (CM)															
	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34				
5	0.031	0.035	0.039	0.044	0.049	0.054	0.059	0.064	0.069	0.074	0.079	0.085	0.090	0.096	0.102	0.108
6	0.070	0.076	0.082	0.089	0.096	0.103	0.110	0.117	0.125	0.133	0.142	0.150	0.158	0.167	0.176	0.185
7	0.089	0.097	0.105	0.113	0.122	0.131	0.141	0.150	0.160	0.171	0.181	0.192	0.203	0.214	0.225	0.236
8	0.109	0.118	0.126	0.138	0.149	0.160	0.171	0.183	0.196	0.208	0.221	0.235	0.248	0.261	0.275	0.289
9	0.128	0.139	0.151	0.165	0.178	0.189	0.202	0.216	0.231	0.246	0.261	0.277	0.292	0.307	0.322	0.337
10	0.147	0.160	0.174	0.188	0.202	0.217	0.233	0.249	0.266	0.283	0.301	0.319	0.337	0.355	0.373	0.391
11	0.167	0.181	0.197	0.212	0.229	0.246	0.264	0.282	0.301	0.321	0.341	0.362	0.381	0.401	0.421	0.441
12	0.186	0.202	0.219	0.237	0.255	0.275	0.294	0.313	0.334	0.356	0.381	0.404	0.428	0.452	0.476	0.500
13	0.205	0.223	0.242	0.262	0.282	0.303	0.325	0.348	0.371	0.395	0.420	0.446	0.471	0.496	0.521	0.546
14	0.225	0.244	0.265	0.286	0.309	0.332	0.356	0.381	0.406	0.433	0.460	0.488	0.516	0.544	0.572	0.600
15	0.244	0.266	0.288	0.311	0.335	0.361	0.387	0.414	0.441	0.470	0.500	0.531	0.561	0.591	0.621	0.651
16	0.263	0.287	0.311	0.336	0.362	0.389	0.417	0.446	0.477	0.508	0.540	0.573	0.605	0.637	0.670	0.702
17	0.283	0.308	0.334	0.361	0.389	0.418	0.448	0.479	0.512	0.545	0.580	0.615	0.649	0.683	0.717	0.751
18	0.302	0.329	0.356	0.385	0.415	0.447	0.479	0.512	0.547	0.583	0.619	0.657	0.693	0.729	0.765	0.801
19	0.321	0.350	0.379	0.410	0.442	0.475	0.510	0.545	0.582	0.620	0.659	0.700	0.738	0.776	0.814	0.852
20	0.341	0.371	0.402	0.435	0.469	0.504	0.540	0.578	0.617	0.657	0.699	0.742	0.783	0.823	0.863	0.903
21	0.360	0.392	0.425	0.459	0.495	0.533	0.571	0.611	0.652	0.695	0.739	0.784	0.827	0.870	0.913	0.956
22	0.379	0.413	0.448	0.484	0.522	0.561	0.602	0.644	0.687	0.732	0.779	0.826	0.871	0.916	0.961	1.006
23	0.399	0.434	0.471	0.509	0.549	0.590	0.633	0.677	0.723	0.770	0.818	0.866	0.911	0.956	1.001	1.046
24	0.418	0.455	0.494	0.534	0.575	0.619	0.663	0.710	0.756	0.807	0.858	0.911	0.958	1.005	1.052	1.099
25	0.437	0.478	0.516	0.558	0.602	0.647	0.694	0.743	0.793	0.845	0.898	0.953	1.007	1.061	1.115	1.169

表IV-16 皮付利用材積表

*** TABELA PARA VOLUME COMERCIAL COM CASCA ***

ESPECIE : P. ELLIOTTII LOCAL : AGUAS DE SANTA BARBARA EQUACAO : V=0.1132166D-02 - 0.1088270D-04+(0.0.0) - 0.4506449D-04*(D-D.M)

ALTURA (M)	CLASSES DE DIAMETRO (CM)																			
	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22			
5	0.005	0.007	0.009	0.011	0.013	0.015	0.018	0.021	0.024	0.027	0.031	0.035	0.039	0.043	0.048	0.052	0.057			
6	0.007	0.009	0.011	0.014	0.017	0.021	0.024	0.028	0.033	0.037	0.042	0.048	0.053	0.059	0.066	0.072	0.079			
7	0.009	0.011	0.014	0.018	0.022	0.026	0.031	0.036	0.042	0.048	0.054	0.061	0.068	0.076	0.084	0.092	0.101			
8	0.010	0.013	0.017	0.022	0.026	0.032	0.037	0.044	0.050	0.058	0.066	0.074	0.083	0.092	0.102	0.112	0.123			
9	0.012	0.016	0.020	0.025	0.031	0.037	0.044	0.051	0.059	0.068	0.077	0.087	0.097	0.108	0.120	0.132	0.145			
10	0.013	0.018	0.023	0.029	0.035	0.042	0.050	0.059	0.068	0.078	0.089	0.100	0.112	0.124	0.138	0.152	0.166			
11	0.015	0.020	0.026	0.032	0.040	0.048	0.057	0.066	0.077	0.088	0.100	0.113	0.126	0.141	0.156	0.172	0.188			
12	0.017	0.022	0.029	0.036	0.044	0.053	0.063	0.074	0.086	0.098	0.112	0.126	0.141	0.157	0.174	0.192	0.210			
13	0.018	0.024	0.032	0.040	0.049	0.059	0.070	0.082	0.095	0.108	0.123	0.139	0.156	0.173	0.192	0.211	0.232			
14	0.020	0.027	0.035	0.043	0.053	0.064	0.076	0.089	0.103	0.119	0.135	0.152	0.170	0.190	0.210	0.231	0.254			
15	0.022	0.029	0.037	0.047	0.058	0.070	0.083	0.097	0.112	0.129	0.146	0.165	0.185	0.206	0.228	0.251	0.276			
16	0.023	0.031	0.040	0.051	0.062	0.075	0.089	0.105	0.121	0.139	0.158	0.178	0.199	0.222	0.246	0.271	0.297			
17	0.025	0.033	0.043	0.054	0.067	0.081	0.096	0.112	0.130	0.149	0.169	0.191	0.214	0.238	0.264	0.291	0.319			
18	0.026	0.036	0.046	0.058	0.071	0.086	0.102	0.120	0.139	0.159	0.181	0.204	0.229	0.255	0.282	0.311	0.341			
19	0.028	0.038	0.049	0.062	0.076	0.092	0.109	0.127	0.146	0.169	0.192	0.217	0.243	0.271	0.300	0.331	0.363			
20	0.030	0.040	0.052	0.065	0.080	0.097	0.115	0.135	0.156	0.179	0.204	0.230	0.258	0.287	0.318	0.351	0.385			
21	0.031	0.042	0.055	0.069	0.085	0.102	0.122	0.143	0.165	0.190	0.215	0.243	0.272	0.303	0.336	0.370	0.406			
22	0.033	0.044	0.058	0.073	0.089	0.108	0.128	0.150	0.174	0.200	0.227	0.256	0.287	0.320	0.354	0.390	0.428			
23	0.035	0.047	0.060	0.076	0.094	0.113	0.135	0.158	0.183	0.210	0.239	0.269	0.302	0.336	0.372	0.410	0.450			
24	0.036	0.049	0.063	0.080	0.098	0.119	0.141	0.165	0.192	0.220	0.250	0.282	0.316	0.352	0.390	0.430	0.472			
25	0.038	0.051	0.066	0.084	0.103	0.124	0.146	0.173	0.201	0.230	0.262	0.295	0.331	0.368	0.408	0.450	0.494			

ALTURA (M)	CLASSES DE DIAMETRO (CM)											
	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
5	0.065	0.066	0.074	0.080	0.086	0.092	0.099	0.106	0.113	0.120	0.128	0.136
6	0.087	0.094	0.102	0.110	0.119	0.128	0.137	0.146	0.156	0.166	0.177	0.188
7	0.110	0.120	0.130	0.141	0.152	0.163	0.175	0.187	0.200	0.213	0.226	0.240
8	0.134	0.146	0.158	0.171	0.184	0.198	0.213	0.228	0.243	0.259	0.275	0.292
9	0.158	0.172	0.187	0.202	0.217	0.234	0.251	0.268	0.286	0.305	0.324	0.344
10	0.182	0.198	0.215	0.232	0.250	0.269	0.288	0.309	0.329	0.351	0.373	0.396
11	0.206	0.224	0.243	0.263	0.283	0.304	0.326	0.349	0.373	0.397	0.422	0.448
12	0.230	0.250	0.271	0.293	0.316	0.340	0.364	0.390	0.416	0.443	0.471	0.500
13	0.253	0.276	0.299	0.323	0.349	0.375	0.402	0.430	0.459	0.489	0.520	0.552
14	0.277	0.302	0.327	0.354	0.382	0.410	0.440	0.471	0.503	0.536	0.569	0.604
15	0.301	0.328	0.356	0.384	0.414	0.446	0.479	0.511	0.546	0.582	0.619	0.657
16	0.325	0.354	0.384	0.415	0.447	0.481	0.516	0.552	0.589	0.628	0.666	0.709
17	0.349	0.380	0.412	0.445	0.480	0.516	0.554	0.593	0.633	0.674	0.717	0.761
18	0.373	0.406	0.440	0.476	0.513	0.552	0.592	0.633	0.676	0.720	0.766	0.813
19	0.394	0.432	0.468	0.506	0.546	0.587	0.630	0.674	0.719	0.766	0.815	0.865
20	0.420	0.457	0.496	0.537	0.579	0.622	0.667	0.714	0.763	0.812	0.864	0.917
21	0.444	0.483	0.524	0.567	0.612	0.658	0.705	0.755	0.806	0.859	0.913	0.969
22	0.468	0.509	0.553	0.598	0.644	0.693	0.743	0.795	0.849	0.905	0.962	1.021
23	0.492	0.535	0.581	0.628	0.677	0.728	0.781	0.836	0.892	0.951	1.011	1.071
24	0.516	0.561	0.609	0.659	0.710	0.764	0.819	0.876	0.936	0.997	1.060	1.125
25	0.539	0.587	0.637	0.689	0.743	0.799	0.857	0.917	0.979	1.043	1.109	1.178

表IV-17 皮内利用材積表

*** TABELA PARA VOLUME COMERCIAL SEM CASCA ***
 ESPECIE : P. ELLIOTII LOCAL : AGUAS DE SANTA BARBARA / EQUACAO : V=0.20423030-02 - 0.80708210-04+(D+0) * 0.36205990-04+(D+0)*M

- ALTURA (M) -		CLASSES DE DIAMETRO (CM)																
		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
5	0.002	0.003	0.004	0.006	0.008	0.010	0.012	0.015	0.018	0.021	0.024	0.027	0.030	0.034	0.038	0.042	0.047	
6	0.003	0.005	0.007	0.009	0.012	0.014	0.018	0.021	0.025	0.029	0.033	0.037	0.042	0.047	0.053	0.058	0.064	
7	0.004	0.006	0.009	0.012	0.015	0.019	0.023	0.027	0.032	0.037	0.042	0.048	0.054	0.060	0.067	0.074	0.082	
8	0.005	0.008	0.011	0.015	0.019	0.023	0.028	0.033	0.039	0.045	0.051	0.058	0.064	0.071	0.078	0.086	0.094	
9	0.007	0.010	0.014	0.018	0.022	0.028	0.033	0.039	0.046	0.053	0.061	0.069	0.077	0.086	0.096	0.106	0.117	
10	0.008	0.012	0.016	0.021	0.026	0.032	0.038	0.046	0.053	0.061	0.070	0.079	0.089	0.100	0.110	0.122	0.134	
11	0.009	0.014	0.018	0.024	0.030	0.036	0.044	0.052	0.061	0.069	0.079	0.090	0.101	0.113	0.125	0.138	0.152	
12	0.011	0.015	0.021	0.027	0.033	0.041	0.049	0.058	0.067	0.078	0.089	0.100	0.113	0.126	0.139	0.154	0.169	
13	0.012	0.017	0.023	0.030	0.037	0.045	0.054	0.064	0.074	0.086	0.098	0.111	0.124	0.139	0.154	0.170	0.187	
14	0.013	0.019	0.025	0.032	0.040	0.050	0.059	0.070	0.081	0.094	0.107	0.121	0.136	0.152	0.168	0.186	0.204	
15	0.015	0.021	0.028	0.035	0.044	0.054	0.065	0.076	0.089	0.102	0.116	0.132	0.148	0.165	0.183	0.202	0.222	
16	0.016	0.022	0.030	0.038	0.048	0.058	0.070	0.082	0.096	0.110	0.126	0.142	0.160	0.178	0.197	0.218	0.239	
17	0.017	0.024	0.032	0.041	0.051	0.063	0.075	0.088	0.103	0.118	0.135	0.153	0.171	0.191	0.212	0.234	0.257	
18	0.019	0.026	0.035	0.044	0.055	0.067	0.080	0.094	0.110	0.126	0.144	0.163	0.183	0.204	0.226	0.250	0.274	
19	0.020	0.028	0.037	0.047	0.059	0.071	0.085	0.101	0.117	0.135	0.153	0.173	0.193	0.217	0.241	0.266	0.292	
20	0.021	0.029	0.039	0.050	0.062	0.076	0.091	0.107	0.124	0.143	0.163	0.184	0.206	0.230	0.255	0.282	0.309	
21	0.022	0.031	0.041	0.053	0.066	0.080	0.096	0.113	0.131	0.151	0.172	0.194	0.218	0.243	0.270	0.298	0.327	
22	0.024	0.033	0.044	0.056	0.070	0.085	0.101	0.119	0.138	0.159	0.181	0.205	0.230	0.256	0.284	0.314	0.344	
23	0.025	0.035	0.046	0.059	0.073	0.089	0.106	0.125	0.145	0.167	0.190	0.215	0.242	0.269	0.299	0.330	0.362	
24	0.026	0.037	0.048	0.062	0.077	0.093	0.111	0.131	0.152	0.175	0.200	0.226	0.253	0.283	0.313	0.346	0.379	
25	0.028	0.038	0.051	0.065	0.080	0.098	0.117	0.137	0.160	0.183	0.209	0.236	0.265	0.296	0.328	0.362	0.397	

- ALTURA (M) -		CLASSES DE DIAMETRO (CM)											
		23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
5	0.051	0.056	0.061	0.066	0.071	0.077	0.082	0.088	0.094	0.101	0.107	0.114	
6	0.070	0.077	0.083	0.090	0.097	0.105	0.113	0.121	0.129	0.138	0.147	0.156	
7	0.089	0.097	0.106	0.113	0.122	0.133	0.143	0.153	0.164	0.175	0.186	0.198	
8	0.108	0.118	0.129	0.139	0.150	0.162	0.174	0.186	0.199	0.212	0.225	0.239	
9	0.128	0.139	0.151	0.164	0.177	0.190	0.204	0.219	0.234	0.249	0.265	0.281	
10	0.147	0.160	0.174	0.188	0.203	0.219	0.235	0.251	0.268	0.286	0.304	0.323	
11	0.166	0.181	0.196	0.213	0.228	0.247	0.265	0.284	0.303	0.323	0.344	0.365	
12	0.185	0.202	0.219	0.237	0.256	0.275	0.295	0.316	0.338	0.360	0.383	0.407	
13	0.204	0.223	0.242	0.262	0.282	0.304	0.326	0.349	0.373	0.397	0.423	0.449	
14	0.223	0.243	0.264	0.286	0.309	0.332	0.356	0.382	0.408	0.434	0.462	0.491	
15	0.243	0.264	0.287	0.311	0.335	0.360	0.387	0.414	0.442	0.471	0.501	0.532	
16	0.262	0.285	0.310	0.335	0.361	0.389	0.417	0.447	0.477	0.509	0.541	0.574	
17	0.281	0.306	0.332	0.359	0.388	0.417	0.446	0.479	0.512	0.546	0.580	0.616	
18	0.300	0.327	0.355	0.384	0.414	0.446	0.478	0.512	0.547	0.583	0.620	0.658	
19	0.319	0.348	0.377	0.408	0.441	0.474	0.509	0.544	0.581	0.620	0.659	0.700	
20	0.338	0.369	0.400	0.433	0.467	0.502	0.538	0.577	0.616	0.657	0.699	0.742	
21	0.357	0.389	0.423	0.457	0.493	0.531	0.570	0.610	0.651	0.694	0.738	0.784	
22	0.377	0.410	0.445	0.482	0.520	0.559	0.600	0.642	0.686	0.731	0.777	0.825	
23	0.396	0.431	0.466	0.506	0.546	0.588	0.630	0.673	0.718	0.764	0.811	0.862	
24	0.415	0.452	0.491	0.531	0.573	0.616	0.661	0.707	0.753	0.805	0.856	0.909	
25	0.434	0.473	0.513	0.555	0.599	0.644	0.691	0.740	0.790	0.842	0.896	0.951	

表IV-18 皮付実利用材積表

*** TABELA PARA VOLUME COMERCIAL REAL COM CASCA ***
 ESPECIE : P. ELLIOTTII LOCAL : AGUAS DE SANTA BARBARA EQUACAO : V=U.17677024-02 - 0.31874309-03*(D+D) + 0.45387180-04*(D+D+H)

ALTURA (M)	CLASSES DE DIAMETRO (CM)																
	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
5	0.005	0.006	0.008	0.010	0.012	0.014	0.017	0.020	0.022	0.026	0.029	0.033	0.036	0.040	0.045	0.049	0.054
6	0.007	0.009	0.011	0.014	0.017	0.020	0.023	0.027	0.031	0.036	0.041	0.046	0.051	0.057	0.063	0.069	0.076
7	0.008	0.011	0.014	0.017	0.021	0.025	0.030	0.035	0.040	0.046	0.052	0.059	0.066	0.073	0.081	0.089	0.098
8	0.010	0.013	0.017	0.021	0.026	0.031	0.036	0.043	0.049	0.056	0.064	0.072	0.081	0.090	0.099	0.109	0.120
9	0.012	0.015	0.020	0.025	0.030	0.035	0.043	0.050	0.058	0.066	0.075	0.085	0.095	0.106	0.117	0.129	0.142
10	0.013	0.018	0.023	0.028	0.035	0.042	0.050	0.058	0.067	0.077	0.087	0.098	0.110	0.122	0.135	0.149	0.164
11	0.015	0.020	0.026	0.032	0.039	0.047	0.056	0.066	0.076	0.087	0.099	0.111	0.125	0.139	0.154	0.169	0.186
12	0.017	0.023	0.029	0.036	0.044	0.053	0.063	0.073	0.085	0.097	0.110	0.124	0.139	0.154	0.172	0.189	0.208
13	0.018	0.024	0.031	0.039	0.048	0.058	0.069	0.081	0.094	0.107	0.122	0.138	0.154	0.172	0.190	0.209	0.230
14	0.020	0.027	0.034	0.043	0.053	0.064	0.076	0.089	0.103	0.118	0.134	0.151	0.169	0.188	0.208	0.229	0.252
15	0.021	0.029	0.037	0.047	0.057	0.069	0.082	0.096	0.111	0.128	0.145	0.164	0.183	0.204	0.226	0.249	0.273
16	0.023	0.031	0.040	0.050	0.062	0.075	0.089	0.104	0.120	0.138	0.157	0.177	0.198	0.221	0.244	0.269	0.295
17	0.023	0.033	0.043	0.054	0.067	0.080	0.095	0.112	0.129	0.148	0.168	0.190	0.215	0.237	0.263	0.289	0.317
18	0.026	0.035	0.046	0.058	0.071	0.086	0.102	0.119	0.136	0.156	0.180	0.203	0.228	0.253	0.281	0.309	0.339
19	0.028	0.038	0.049	0.061	0.076	0.091	0.108	0.127	0.147	0.169	0.192	0.216	0.242	0.270	0.299	0.329	0.361
20	0.030	0.040	0.052	0.065	0.080	0.097	0.115	0.135	0.156	0.179	0.203	0.229	0.257	0.286	0.317	0.349	0.383
21	0.031	0.042	0.055	0.069	0.085	0.102	0.121	0.142	0.165	0.189	0.215	0.242	0.272	0.303	0.335	0.369	0.405
22	0.033	0.044	0.058	0.072	0.089	0.108	0.128	0.150	0.174	0.199	0.227	0.256	0.286	0.319	0.353	0.389	0.427
23	0.034	0.047	0.060	0.076	0.094	0.113	0.134	0.158	0.183	0.209	0.238	0.269	0.301	0.335	0.371	0.409	0.449
24	0.036	0.049	0.063	0.080	0.098	0.119	0.141	0.165	0.192	0.220	0.250	0.282	0.316	0.352	0.390	0.429	0.471
25	0.038	0.051	0.066	0.084	0.103	0.124	0.148	0.173	0.200	0.230	0.261	0.295	0.331	0.368	0.408	0.449	0.493

ALTURA (M)	CLASSES DE DIAMETRO (CM)											
	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
5	0.059	0.064	0.069	0.075	0.080	0.086	0.093	0.099	0.106	0.113	0.120	0.127
6	0.083	0.090	0.098	0.105	0.114	0.122	0.131	0.140	0.149	0.159	0.169	0.179
7	0.107	0.116	0.126	0.136	0.147	0.158	0.169	0.181	0.193	0.206	0.218	0.232
8	0.131	0.142	0.154	0.167	0.180	0.193	0.207	0.222	0.237	0.252	0.268	0.284
9	0.155	0.168	0.183	0.197	0.213	0.229	0.245	0.262	0.280	0.298	0.317	0.337
10	0.179	0.195	0.211	0.228	0.246	0.264	0.284	0.303	0.324	0.345	0.367	0.389
11	0.203	0.221	0.239	0.259	0.279	0.300	0.322	0.344	0.367	0.391	0.416	0.442
12	0.227	0.247	0.268	0.289	0.312	0.336	0.360	0.385	0.411	0.438	0.466	0.494
13	0.251	0.273	0.296	0.320	0.345	0.371	0.398	0.426	0.453	0.484	0.515	0.547
14	0.275	0.299	0.324	0.351	0.378	0.407	0.436	0.467	0.498	0.531	0.564	0.599
15	0.299	0.325	0.353	0.382	0.411	0.442	0.474	0.508	0.544	0.577	0.614	0.652
16	0.323	0.351	0.381	0.412	0.444	0.478	0.513	0.548	0.586	0.624	0.663	0.704
17	0.347	0.378	0.410	0.443	0.478	0.513	0.551	0.589	0.629	0.670	0.713	0.757
18	0.371	0.404	0.438	0.474	0.511	0.549	0.589	0.630	0.673	0.717	0.762	0.809
19	0.395	0.430	0.466	0.504	0.544	0.585	0.627	0.671	0.716	0.763	0.812	0.861
20	0.419	0.456	0.495	0.535	0.577	0.620	0.665	0.712	0.760	0.810	0.861	0.914
21	0.443	0.482	0.523	0.564	0.610	0.656	0.703	0.753	0.804	0.856	0.910	0.966
22	0.467	0.508	0.551	0.596	0.643	0.691	0.742	0.792	0.847	0.903	0.960	1.019
23	0.491	0.534	0.580	0.627	0.676	0.727	0.780	0.834	0.889	0.949	1.009	1.071
24	0.515	0.561	0.604	0.652	0.709	0.763	0.816	0.875	0.934	0.996	1.059	1.124
25	0.539	0.587	0.637	0.688	0.742	0.798	0.855	0.916	0.972	1.042	1.108	1.176

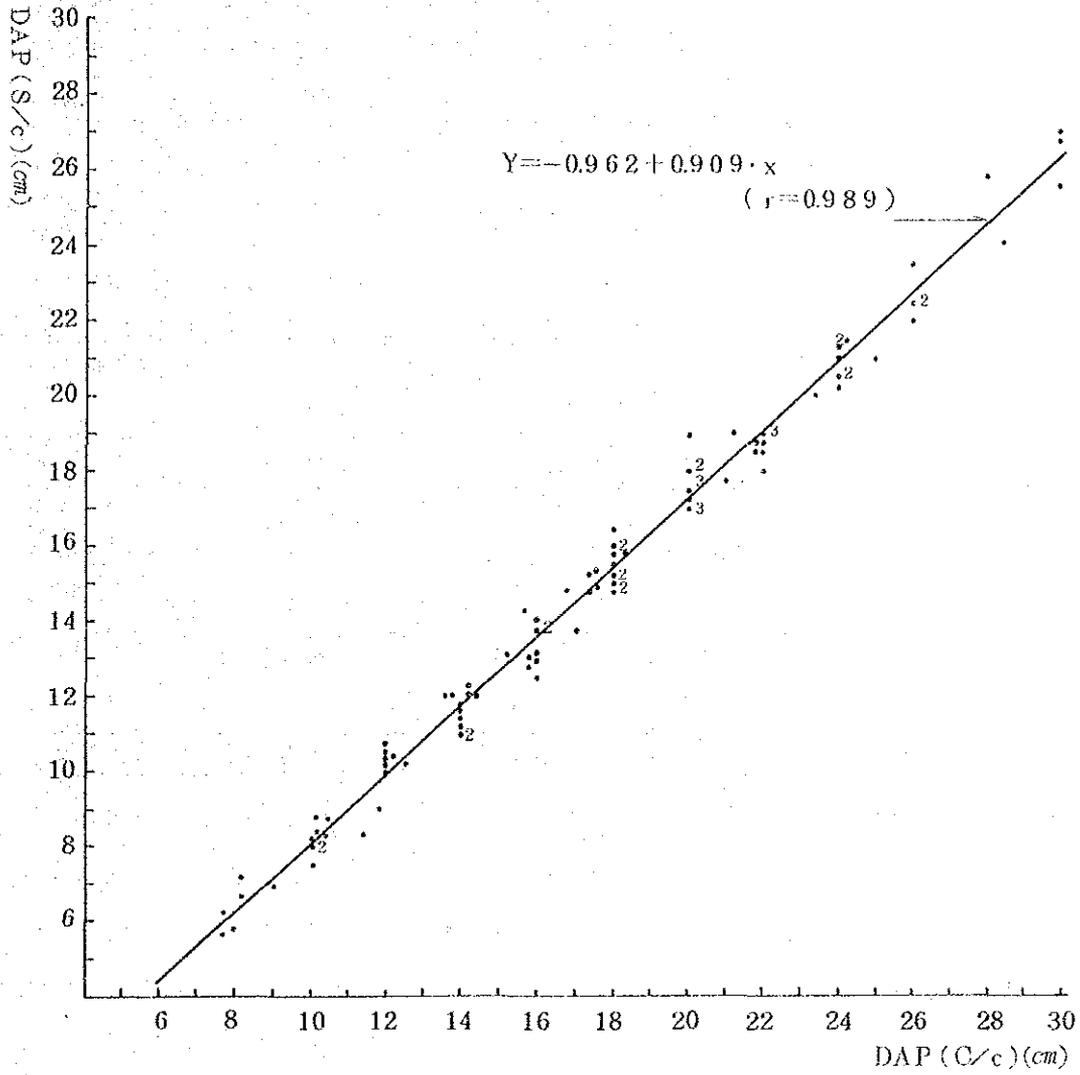
表IV-19 皮内夹利用材积表

*** TABELA PARA VOLUME COMERCIAL REAL SEM CASCA ***

ESPECIE : P.ELLIOTTII LOCAL : AGUAS DE SANTA BARBARA EQUACAO : $V = 0.20087199 \cdot D^2 - 0.87608839 \cdot D + 0.36641120 \cdot D \cdot e^{-0.0001 \cdot D}$

ALTURA (M)	CLASSES DE DIAMETRO (CM)																
	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
5	0.001	0.003	0.004	0.006	0.007	0.009	0.012	0.014	0.017	0.019	0.022	0.025	0.029	0.032	0.036	0.040	0.044
6	0.003	0.004	0.006	0.009	0.011	0.014	0.017	0.020	0.024	0.027	0.032	0.036	0.040	0.045	0.050	0.056	0.061
7	0.004	0.006	0.009	0.012	0.015	0.018	0.022	0.026	0.031	0.036	0.041	0.046	0.052	0.058	0.065	0.072	0.079
8	0.005	0.008	0.011	0.015	0.018	0.023	0.027	0.032	0.036	0.041	0.046	0.052	0.058	0.064	0.072	0.080	0.088
9	0.007	0.010	0.013	0.017	0.022	0.027	0.033	0.039	0.045	0.052	0.060	0.067	0.076	0.085	0.094	0.104	0.114
10	0.008	0.012	0.016	0.020	0.026	0.031	0.038	0.045	0.052	0.060	0.069	0.078	0.088	0.098	0.109	0.120	0.132
11	0.009	0.013	0.018	0.023	0.029	0.036	0.043	0.051	0.059	0.068	0.078	0.089	0.099	0.111	0.123	0.136	0.150
12	0.011	0.015	0.020	0.026	0.033	0.040	0.048	0.057	0.067	0.077	0.088	0.099	0.111	0.124	0.138	0.152	0.167
13	0.012	0.017	0.023	0.029	0.037	0.045	0.054	0.063	0.074	0.085	0.097	0.110	0.123	0.137	0.152	0.168	0.185
14	0.013	0.019	0.025	0.032	0.040	0.049	0.059	0.069	0.081	0.093	0.106	0.120	0.135	0.151	0.167	0.184	0.203
15	0.015	0.020	0.027	0.035	0.044	0.054	0.064	0.076	0.088	0.101	0.115	0.131	0.147	0.164	0.182	0.200	0.220
16	0.016	0.022	0.030	0.038	0.048	0.058	0.069	0.082	0.095	0.109	0.125	0.141	0.159	0.177	0.196	0.216	0.236
17	0.017	0.024	0.032	0.041	0.051	0.062	0.075	0.088	0.102	0.118	0.134	0.152	0.170	0.190	0.211	0.233	0.255
18	0.018	0.026	0.034	0.044	0.055	0.067	0.080	0.094	0.109	0.126	0.143	0.162	0.182	0.203	0.225	0.249	0.273
19	0.020	0.028	0.037	0.047	0.058	0.071	0.085	0.100	0.117	0.134	0.153	0.173	0.194	0.216	0.240	0.265	0.291
20	0.021	0.029	0.039	0.050	0.062	0.076	0.090	0.106	0.124	0.142	0.162	0.183	0.206	0.229	0.254	0.281	0.308
21	0.022	0.031	0.041	0.053	0.066	0.080	0.096	0.113	0.131	0.150	0.171	0.194	0.218	0.243	0.269	0.297	0.326
22	0.024	0.033	0.044	0.056	0.069	0.084	0.101	0.119	0.138	0.159	0.181	0.204	0.229	0.254	0.281	0.313	0.344
23	0.025	0.035	0.046	0.059	0.073	0.088	0.106	0.125	0.145	0.167	0.190	0.215	0.241	0.269	0.298	0.329	0.361
24	0.026	0.037	0.048	0.062	0.077	0.093	0.111	0.131	0.152	0.175	0.199	0.225	0.253	0.282	0.313	0.345	0.379
25	0.028	0.038	0.051	0.065	0.080	0.098	0.117	0.137	0.159	0.183	0.209	0.236	0.265	0.295	0.327	0.361	0.397

ALTURA (M)	CLASSES DE DIAMETRO (CM)											
	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
5	0.048	0.052	0.057	0.062	0.067	0.072	0.078	0.083	0.089	0.095	0.101	0.107
6	0.067	0.073	0.080	0.087	0.094	0.101	0.108	0.116	0.124	0.132	0.141	0.149
7	0.087	0.094	0.103	0.111	0.120	0.129	0.139	0.149	0.159	0.169	0.180	0.192
8	0.106	0.115	0.125	0.136	0.147	0.158	0.169	0.182	0.194	0.207	0.220	0.234
9	0.125	0.136	0.148	0.160	0.173	0.186	0.200	0.214	0.229	0.244	0.260	0.276
10	0.144	0.157	0.171	0.185	0.200	0.215	0.231	0.247	0.264	0.281	0.299	0.318
11	0.164	0.178	0.194	0.210	0.226	0.244	0.261	0.280	0.299	0.319	0.339	0.360
12	0.183	0.199	0.217	0.234	0.253	0.272	0.292	0.313	0.334	0.356	0.379	0.402
13	0.202	0.220	0.239	0.259	0.279	0.301	0.323	0.346	0.369	0.393	0.418	0.444
14	0.222	0.241	0.262	0.284	0.306	0.329	0.353	0.378	0.404	0.431	0.458	0.486
15	0.241	0.262	0.285	0.308	0.333	0.358	0.384	0.411	0.439	0.468	0.498	0.529
16	0.260	0.283	0.308	0.333	0.359	0.386	0.415	0.444	0.474	0.505	0.538	0.571
17	0.279	0.304	0.330	0.358	0.386	0.415	0.445	0.477	0.509	0.543	0.577	0.613
18	0.299	0.325	0.353	0.382	0.412	0.444	0.476	0.509	0.544	0.580	0.617	0.655
19	0.318	0.346	0.376	0.407	0.439	0.472	0.507	0.542	0.579	0.617	0.657	0.697
20	0.337	0.367	0.399	0.431	0.465	0.501	0.537	0.575	0.614	0.655	0.696	0.739
21	0.356	0.388	0.422	0.456	0.492	0.529	0.568	0.608	0.649	0.692	0.736	0.781
22	0.376	0.409	0.444	0.480	0.519	0.558	0.599	0.641	0.684	0.729	0.776	0.823
23	0.395	0.430	0.467	0.505	0.545	0.586	0.629	0.673	0.719	0.767	0.815	0.866
24	0.414	0.451	0.490	0.530	0.572	0.615	0.660	0.706	0.754	0.802	0.853	0.908
25	0.434	0.472	0.513	0.555	0.598	0.644	0.690	0.739	0.789	0.841	0.895	0.950



図Ⅳ-4 皮付胸高直径 (DAP, C/c) と皮内胸高直径 (DAP, S/c) の関係

表IV-20 直径対材積の各回帰式のパラメーターおよび相関係数一覧

材積表材積の種類		パラメーター			相関係数 r
		a ₀	a ₁	a ₂	
皮付	㊸ 全幹材積	0.08603	-0.01649	0.00127	0.895
	㊹ 利用材積	0.07084	-0.01591	0.00126	0.897
	㊺ 実利用材積	0.06875	-0.01567	0.00125	0.895
皮内	㊻ 全幹材積	0.03923	-0.01118	0.00122	0.890
	㊼ 利用材積	0.03400	-0.01106	0.00123	0.892
	㊽ 実利用材積	0.03480	-0.01117	0.00123	0.890

表IV-21 各種材積の対応にもとづく回帰式のパラメーターおよび相関係数一覧

関 係 式	パラメーター		相 関 係 数 r
	a ₀	a ₁	
㊾ 皮付全幹材積と皮内全幹材積	-0.006	0.832	0.998
㊿ " と皮付利用材積	-0.004	1.004	0.999
㊽ " と皮内利用材積	-0.006	0.829	0.999
㊼ " と皮付実利用材積	-0.005	1.002	0.999
㊽ " と皮内実利用材積	-0.010	0.834	0.997
㊹ 皮付利用材積と皮内利用材積	0.006	0.832	0.998
㊺ 皮付実利用材積と皮内実利用材積	0.004	0.829	0.998

者はグラフ上では殆んど差異がみられない。これに対し㊾, ㊿, ㊽では皮付全幹材積に対しその材積値が大きく下廻っている。㊼, ㊽の場合も同じ傾向を示す。これらからその差異に対する大きな理由は樹皮にあるとみることができる。サンパウロ州が皮付材積と共に皮内材積の計測をその対象としているのはそのためと思料される。因みに同じ Águas de Santa Bárbara州有林の21年生エリオッティマツ(DAP=22.0cm, H=22.1m, Talhão №15)で行なった樹幹析解の結果でも皮付全幹材積0.4109 m³に対し皮内全幹材積0.3331 m³を示し、その樹皮率は18.93%であった。

ここでは6種類の材積式にもとづき、主として胸高直径および各種材積の対応にもとづく関係式での考察にとどめた。しかし問題は調製された材積表材積値の適合然の良否にある。これについては現地での検討結果に待つ他はない。

② 参考文献および関連資料

(a) 参考文献

① 林試経営部：立木材積表調製解説書，1956

② 長正道・椎林俊昭・N.HAGA・H.AOKI：サンパウロ州アグアス・ジ・サンタ・バルバラ州有林のエリオッティマツの材積式の検討，95回日林論，1984

(b) 関連資料

本稿では，各種の資料およびこれにもとづく計算手法，材積式のあてはめ，各種検討のためのグラフ等は省略した。これについては①に詳しく記述している。その中で標本木の測定，材積の計算方法等は②のマニュアルにもとづいて行なった。また材積表に関わるものとして③および④がある。これは材積表の適合度の検定を Águas de Santa Bárbara, Campos do Jordão の両州有林を対象に実例で示したものである。

① 長正道・椎林俊昭・N.HAGA・H.AOKI：Águas de Santa Bárbara州有林の *Pinus elliottii* の立木幹材積表の調製に関する研究，研究成果および材積表調製法のマニュアルとして国際協力事業団およびサンパウロ州森林院に報告，1985

② 長正道・N.HAGA・H.AOKI：樹幹析解— *Pinus elliottii* の樹幹析解によるマニュアル，国際協力事業団JR・84-40（ブラジル・サンパウロ林業研究協力計画専門家報告書），p.395-444，1984

③ 長正道・椎林俊昭・N.HAGA・H.AOKI：Águas de Santa Bárbara州有林の *Pinus elliottii* に対する実測材積と材積表材積の適合度の検定，同上，p.291-310，1984

④ 長正道・小林勝・鈴木皓史・L.A.BUCCI・J.M.MOTTA：Campos do Jordão州有林における *Pinus elliottii* および *Pinus patula* の実測材積と使用材積表の適合度の検定，同上，p.311-335，1984