

航空写真による林相区分図の作成と

材積調査法の研究 (I)

中 島 巖⁽¹⁾

栗 屋 仁 志⁽²⁾

樋 渡 幸 男⁽³⁾

長 谷 川 訓 子⁽⁴⁾

1. ま え が き

加速度的に増大する需要に対処し、森林資源のもつ生産力の急速な増加をはかることは、現在の日本林業に課せられた基本的な問題である。そのためには根本的な生産量の拡大をはかりうべき経営、管理の合理化、生産物利用の高度化とともに、まず基礎となるべき資源の量と配置の的確な把握が能率的におこなわれなければならない。

従来、日本における森林調査は、事業を単位とする林班および小班の森林区画に基づき、その地上調査によるいわゆる積上げ方式によつていたものであり、全体の資源量をうるための標本調査方式が取り上げられて併用をみるに至つたのはごく近年である。したがつて、従来の調査方式による場合、伐採予定林分等、特別の必要による毎木調査実施の箇所以外は調査員の労力、技術、経験に期待するほか客観的にこれを確認する資料を欠くことが多い。

特に近年に至り、林業の有する労働生産性は他産業、特に近代工業の生産性との間に著しい較差を生じ、林業労働力は極度に不足しつつあり、今後はさらに森林調査に期待しうる労働力が減少するであろうことが予測せられる。他方前述のごとく生産量に対する需要の増大に対処して森林経営の合理化をはかるべき調査資料への必要は、ますます正確さと詳細さを必要とするであろう。この課題に答えるために森林調査もまた新しい手段を取らねばならぬことは明らかである。そして当然これを補助し、また今後において調査の主体となるべきものとして航空写真をあげねばならない。

航空写真は豊富な情報と記録性によつて林業においても測量図の作成、標本調査の層化、現地標本点の確認、その他に利用されてはいるが、森林の有する資源の構造と量を明らかにすることを目的とするいわゆる写真判読の分野にあつては、技術的な面においても、また利用方法についても、その効果がよく発揮されているというにはほどとおひ現況にある。

航空写真において、像の伝える被写体の情報を整理分類し、これを図化することは過去においても基本的な利用法である。地上調査を行なう場合にあつてもそれは調査の精度を著しく高め能率を向上せしめる手段であるのみならず、その後における経営、管理の計画樹立、また作業実行上にきわめて有効な基本資料を与えるものとなる。しかしながら、この方法は主として東南アジアその他を主体とする未開発林、および大面積森林を対象とするカナダ、アラスカその他の北米森林において行なわれ、欧州各国や日本のごとき集約な林業経営地について行なわれたことはなかつた。それは、過去においては航空写真の性能も、

(1) 経営部経済科測定研究室員・農学博士 (2)(3)(4) 経営部経済科測定研究室員

また利用、とくに像の判定、解析に関する技術がこれら集約林業の要求を十分に満たし得なかつたこと、およびこれら諸国においても従来、写真利用の必要性がそれほどさしきまつていなかつたからである。

最近における航空写真の進歩は撮影の資材や技術、また利用の機材や技術において著しいものがあり、今日においては十分に現在の林業に対する要求に答える状態に近づいたといえよう。林業試験場においては既往より、集約林業経営に対する航空写真の利用を研究してきているが、筆者の 1 人である中島は先に上記集約林業に対する写真応用の一手段として「標本調査を目的とした林相の図化に関する研究」をスイス連邦、ベルン州森林を対象として行ない写真応用上の諸問題およびその一手法を示した。

本報告は、この研究に引きつづき、日本における林業事情のもとにおいて主として蓄積調査を目的とした場合の写真利用による林相区分の分類基準の考察、ならびに調査基本図の作成法を考究し、あわせてそれに基づく地上調査実施の方法と蓄積取りまとめの方法について、群馬県下、前橋営林局沼田営林署管内の針広天然生林を対象として研究を進めたものである。

2. 調査地の概況

2-1 地 況

調査対象とした地域は群馬県利根郡片品村所在、前橋営林局沼田営林署奥利根沼田経営区管内における国有林第 62 林班である。同林班は群馬県の最東北部に位置し、北部稜線にて福島県、山口営林署山口事業区に、東部稜線をもつて栃木県、今市営林署鬼怒川事業区に接する 1 団地で通称ウツボセン国有林と称せられ、利根川支流片品川の最上流、中ノ岐沢流域をなす飛地である。

基岩は流紋岩で、上面は砂質土壤を主とする。標高は海拔約 1,400 m から 2,100 m の間に位置し、最高部は東北端の境界上に位置する黒岩山、2,162.8 m である。溪流、河岸に接する部分は急斜面をなすが、北西部の急を除いてはおおむね中である。

路網、利用施設は少なく、開発進度も遅れ、従来、官行特売による択伐材および昭和 34 年の伊勢湾台風による風害木の払下げ材の搬出利用がみられる程度で、今後の開発を期すべき天然生林である。

森林調査簿による総面積は、1,277.19 ha で、うち道路敷 2.02 ha、沢敷 5.39 ha、電線敷 1.36 ha の除地を含む。全体は「い」より「を」までの 10 個小班に分割せられているが、経路その他路線は上記利用箇所のみに限られ、他には尾根筋に尾瀬から奥鬼怒に至る歩道が約半周するのみである。

2-2 林 況

この林班における主林木は林齢 150 年より 250 年にいたる針葉樹で、低地はヒバ、ツガを主とし、標高 1,600 m 以上はアオモリトドマツが優勢で、コメツガを混交する。

標高 1,600 m 以下 および択伐跡の林況は 100 年生前後のブナを主とし、カンバを混交する広葉樹林であり、沢ぞいの地帯はミズナラ、ネズコを主とする。

針葉樹は老齢木が多いが広葉樹とともに成長は良好である。なお、この付近は昭和 34 年夏の伊勢湾台風によつて西南斜面および西部尾根筋ぞいに大量の風倒木を生じ、既往の林相を一変せしめている。

調査簿による ha 当たり蓄積は 70 m³ より 250 m³ で平均 120 m³、搬出材の用途は用材を主とする。

2-3 撮影と航空写真条件

調査森林第 62 林班は東西約 6 km、南北約 4 km の長円形をなす団地で、東西に飛行する 3 航路により被覆され、その写真枚数は 17 枚である。

カメラは Wild (RC 5) 普通角 (62°), 焦点距離 209.92 mm, レンズ アビオタール, 画割 18 × 18 cm イエローフィルター併用, 縮尺 約 1/20,000, 1957 年 10 月 18 日撮影, 写真像の性能は良好で調査目的に十分であるが, 標高 1,700 m 付近以上には積雪を見る。

3. 林相区分図の作成

3-1 写真の標定と Base map の作成

林相構成の判読を行なうため, 原写真を一辺が 30 cm となるように引伸しを行なった。本調査開始の当初においては, 調査地には基本図以外の参考地図がなかったため, まず放射線法 (Arundel method) による地形の簡易図化を行ない, そのなかに林相判読の結果を移写することとした。三角網の編成に際して基準点 (Control point) として林班界上に 3 点の三角点 (赤安山 2,060.7 m, 黒岩山 2,162.8 m, 物見山稜線 1,970.2 m) が使用した。これによる補点 (Wing point), 連結点 (Pass point) の展開ならびに写真主点を示した示標図 (Index map) を Fig. 1 に示す。

A. 骨格図の作成は平均写真縮尺とし, マイラー上に上記各点ならびに主要稜線, 河川上の主要点を交えた。この骨格図を各飛行航路ごとに 3 葉作成した後, これらを連絡点 (Pass point) によつて結合し, 1 葉のマイラー上に各点を移写して骨格図 (Radial triangulation map) を完成した。

B. 写真判読により境界線, 主要稜線, 河川, その他目標地物を各写真の主点位置および基線方向を上記の骨格図上のおのおのと合致せしめて, これを移写した。写真像の移写範囲はマッチライン (Match-line) 内とし, 展開各点の位置を対比しつつ写真像のズレを除去することを計り Base map の原図を作成した。

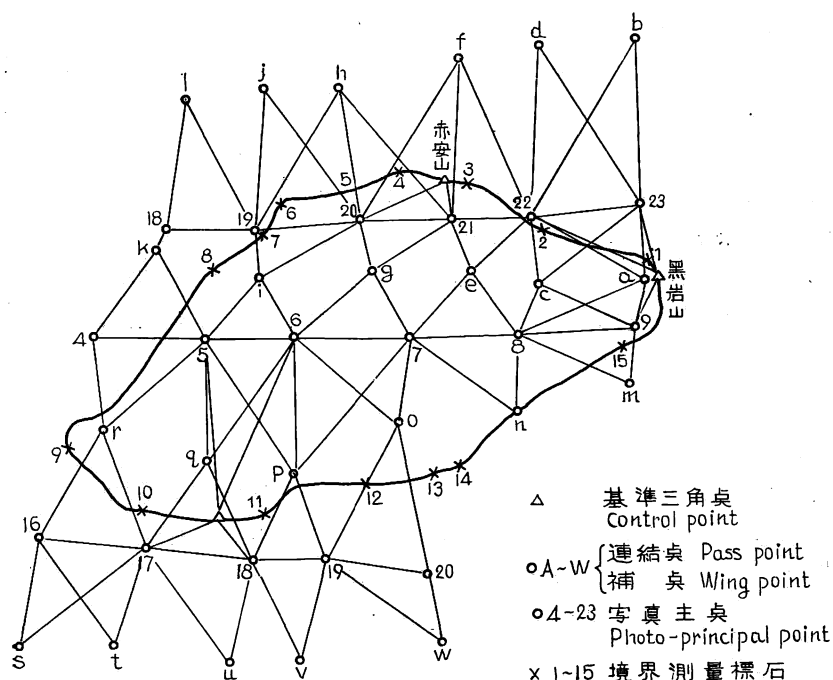


Fig. 1 撮影範囲の示標図
Index map of photo coverage.

3-2 林相区分(林型)の分類

林相区分の基準は対象林分の林況、使用航空写真の条件、写真測定 of 技術、併用される地上調査の方法などとともに、調査目的とその要求程度によつて規定されるものである。本試験調査においては、その分類基準を林分の平均樹高階、樹冠疎密度級とし、樹種は針、広のみに分類した。すなわち、適用した分類系は下記のとおりである。

A. 樹種構成の分類と記号

針葉樹林型 (C), 広葉樹林型 (H), 混交林型 (M)

針葉樹または広葉樹の樹冠占有比率がそれぞれ 80 % 以上を占めるものを純林とし、20 ~ 80 % のものを混交林型とした。

B. 樹高階構成の分類と記号

視差測定桿による林分平均樹高の測定値を基準として次の段階とした。

幼齡林 0 ~ 10 m (Y)

中径壯齡林 10 ~ 20 m (B)

大径老齡林 20 m 以上 (O)

C. 樹冠疎密度級の分類と記号

写真測定による樹冠の対地被覆度により、次の 4 段階とした。

散生 0 ~ 10 % (1) 中 40 ~ 70 % (3)

疎 10 ~ 40 % (2) 密 70 ~ 100 % (4)

この基準により分類される林相区分は計 36 の林型となる。なお、最少区画面積は 1/4 ha を基準とした。

3-3 写真の判読と測定

写真判読は色調コントラスト、感触の差、樹冠の形状と大きさ、立木の配置、地形等の観察ならびに視差測定桿による樹高測定と疎密度板による疎密度測定を、主として反射立体鏡による拡大観察のもとにおこなつた。

林班界の判定は基本図および事業図を参照しておこない、林班界、地類界は写真上にデルマトグラフ赤にて記入、樹種界は青、樹高界、疎密度界は黄にて記入し、それぞれの林型の記号を記入した。樹冠像は針葉樹において、とくに明りようであり分類の最も有効な要素である。樹高測定は同一林型内における優勢木を上位から約 10 本の測定と、平均と思われる樹高位置約 3 カ所の測定を行ない、これを判定の基準とした。

この作業の結果、調査地においては下記の計 20 の林型を欠いた。

HO 1, HB 1 ~ 4, HY 1 ~ 4, CY 3 ~ 4, MO 1, MB 3 ~ 4, MY 1 ~ 4。

しかしながら、壯齡木 (10 ~ 20 m) と老齡木 (20 m 以上) が混生する針葉樹林型があり、平均樹高階を取ることは適切でないと思われたので、これを COB 3 および COB 4 の 2 林型として分類した。したがつて、調査地の林相区分は下記に示す合計 20 の林型に分類区画せられた。

	針葉樹	広葉樹	混交林
幼齡林	CY 1, 2		
壯齡林	CB 1, 2, 3, 4		MB 1, 2
老齡林	CO 1, 2, 3, 4	HO 2, 3, 4	MO 2, 3, 4

老壮林 COB 3, 4,

なお、このほか河川敷、崩壊地、索道敷等の無立木地が区画せられた。

写真測定の計算基準例を脚注 1 に示す。

注 1

写真測定計算基準例 (Exemplified of the photo measurement.)

写真測定対象箇所

コース番号 山 68 C 7 左写真 No. 21 右写真 No. 20

焦点距離 $f = 327.48 \text{ mm}$

低い点の標高 $h_L = 1,740 \text{ m}$

高い点の標高 $h_H = 2,061 \text{ m}$

標高差 $\Delta h = h_H - h_L = 321 \text{ m}$

h_H 点から h_L 点までの実距離 $G = 1,120 \text{ m}$

h_H 点から h_L 点までの写真長 $P = 105 \text{ mm}$

h_H 点から主点までの写真長 $P_2 = 36 \text{ mm}$

右写真測定基線長 $b = 94.2 \text{ mm}$

標高の視差換算値 P_x

$$P_{x(h_H)} = 23.26 \text{ mm}$$

$$P_{x(h_L)} = 16.78 \text{ mm}$$

$$P_{x(N)} = 17.44 \text{ mm}$$

写真基準面上飛行高度の計算

$$H = \frac{G \cdot f + \Delta h \cdot P_2}{P} + h_L = 5,343 \text{ m}$$

主点標高の計算

$$K' = \frac{h_H + h_L}{2} = 1,900 \text{ m}$$

$$\Delta h' = \frac{\Delta b \cdot H'}{b} = 94 \text{ m}$$

$$H' = H - h' = 3,443 \text{ m}$$

$$h_o = h' - \Delta h' = 1,806 \text{ m}$$

$$\Delta b = \frac{P_{x3} + P_{x5}}{2} - P_{xN} = 2.58 \text{ mm}$$

$$H_o = H' + \Delta h' = 3,537 \text{ m}$$

H_o h_o 飛行高度 h_o 主点標高

判読基準林木樹高測定

$$b' = b - \Delta b = 91.62 \text{ mm}$$

供試木 A

元地点の $P_{xL} = 16.25 \text{ mm}$

尖端地点の $P_{xH} = 17.05 \text{ mm}$

視差 $\Delta p = P_{xH} - P_{xL} = 0.80 \text{ mm}$

樹高 $\Delta h = \frac{\Delta p \cdot H_o}{\Delta p + b'} = 31 \text{ m}$

供試木 B

根元地点の $P_{xL} = 18.15 \text{ mm}$

尖端地点の $P_{xH} = 18.59 \text{ mm}$

$\Delta p = 0.44 \text{ mm}$

樹高 $\Delta h = \frac{\Delta p \times H_o}{\Delta p + b'} = 17 \text{ m}$

供試木 C

根元地点の $P_{xL} = 16.36 \text{ mm}$

尖端地点の $P_{xH} = 16.57 \text{ mm}$

$\Delta p = 0.21 \text{ mm}$

樹高 $\Delta h = \frac{\Delta p \times H_o}{\Delta p + b'} = 8 \text{ m}$

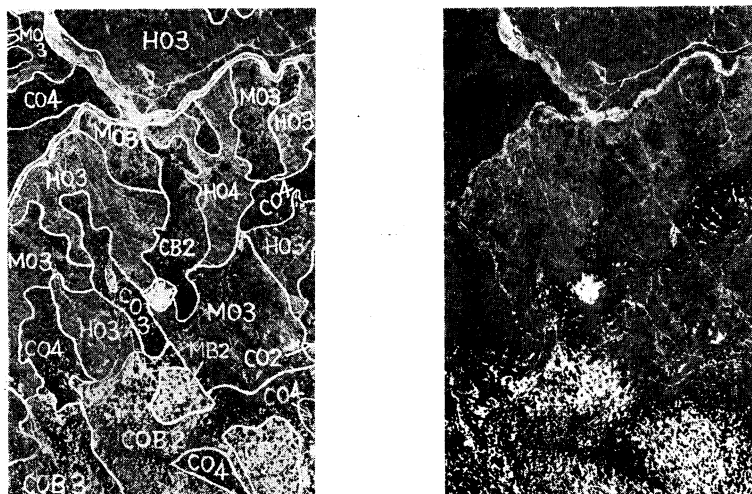


Fig. 2 の 1 林型区分例の 1
Example of forest type classification
by photo interpretation.

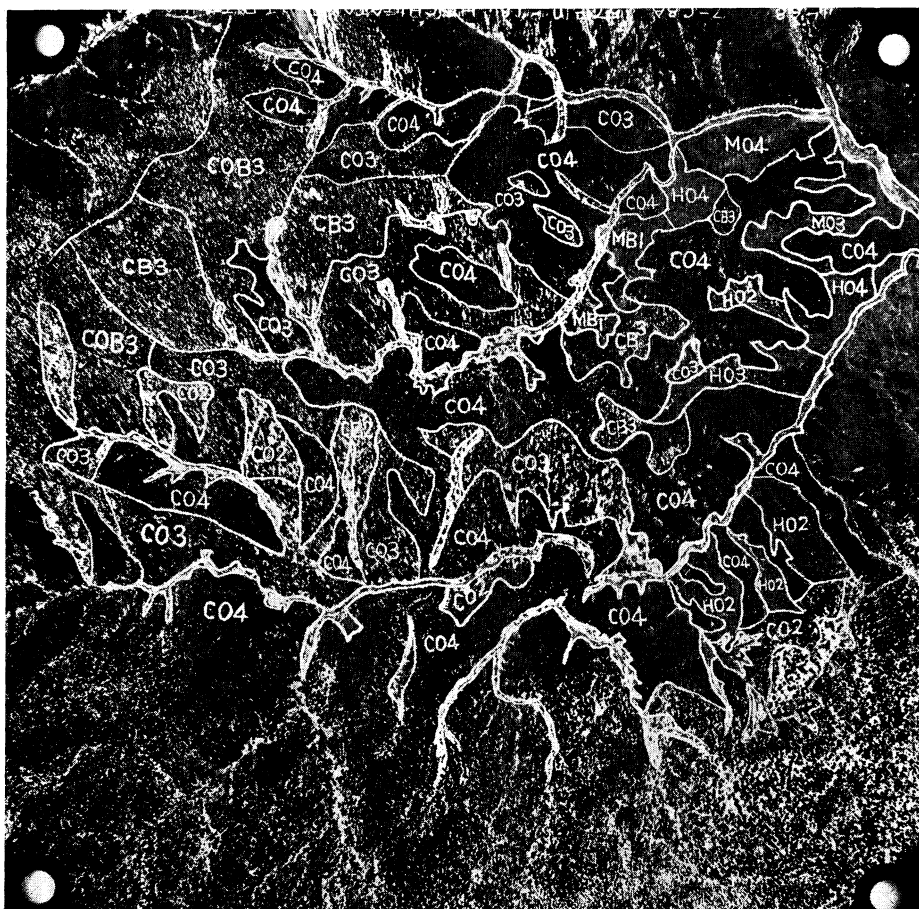


Fig. 2 の 2 林型区分例の 2
Example of forest type classification by photo interpretation. Scale : 1/20,000

3-4 判読境界の移写と

判読図の作成

写真上に記入せられた判読境界線は、前記 (3-1)

マイラー Base map 原図上にその地物の移写の際に、おけると同様の方法で移写せられた。最初この線は鉛筆で記入し、後インキで清画せられ、これよりトレースにより複製せられたものが彩色、完成された。

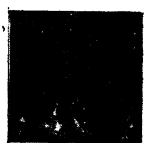
写真判読とこの図化の作業には、のべ70人日を要している。

この段階において、ステレオトップ使用による調査地の 1/5,000 地形図が完成したので、この図上に上記 Base map 原図の判読界を写真の立体視による照合により位置を確認しつつ移写し記号を記入して現地検討用の林相区分図を作成した。この工程は4人日である。

3-5 現地検討

写真の判読と、測定による境界線位置と、区分林型の検討とを確認のために、現地踏査が実施された。使用された写真の撮影後、約5カ年を経過しており、その間における林相構成の変

写真判
読記号
CO 4



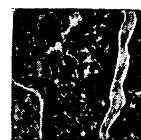
樹 高
Height $\frac{16}{8-24}(m)$
胸高直径
B. H. D. $\frac{28}{12-58}(cm)$



CO 3



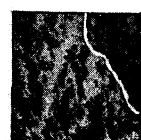
同上 $\frac{19}{5-26}(m)$
 $\frac{38}{4-62}(cm)$



CO 2



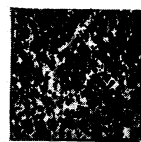
同上 $\frac{13}{6-20}(m)$
 $\frac{39}{10-60}(cm)$



CO B 3



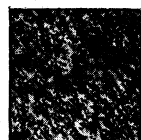
同上 $\frac{13}{3-28}(m)$
 $\frac{31}{6-74}(cm)$



CB 3



同上 $\frac{12}{8-23}(m)$
 $\frac{17}{6-42}(cm)$



MO



同上 $\frac{17}{3-22}(m)$
 $\frac{39}{8-62}(cm)$



MB



同上 $\frac{10}{5-18}(m)$
 $\frac{22}{6-52}(cm)$



HO 3



同上 $\frac{16}{8-23}(m)$
 $\frac{34}{8-48}(cm)$



Fig. 2の3 林型判例写真
Stereogram.

化、とくに択伐実施箇所および昭和34年度において風害を生じた箇所が存在するので、この作業はきわめて重要であり欠くことができない。踏査はこれらの箇所についてはとくに綿密に、またその他の林分についても、疑問を生ぜしめる林型については必ずこれを現地に検討した。

通常、踏査は2名1組とし、写真および上記調査用図面をもち、あらかじめ決定した踏査計画路線にし

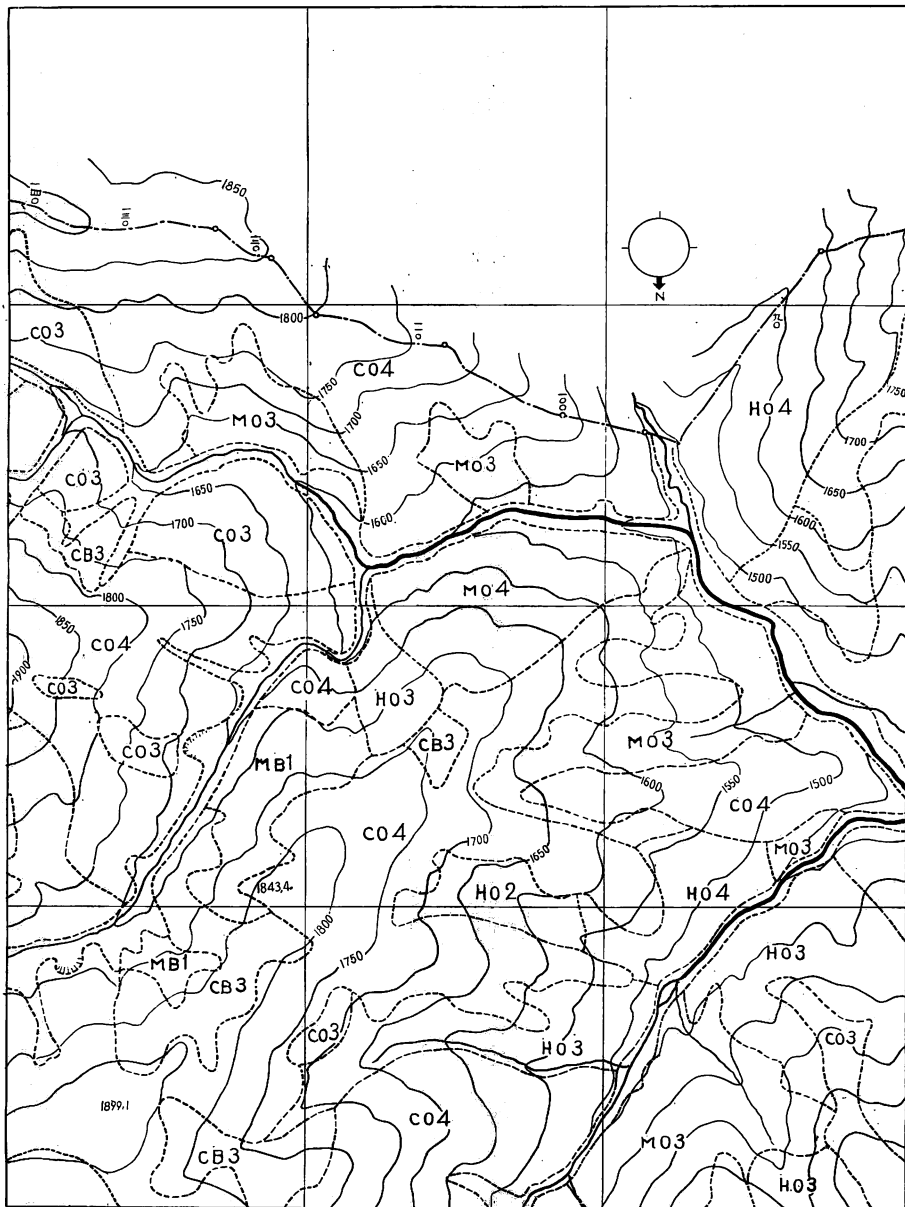


Fig. 3 現地検討用林相区分図 (縮尺 1/120,000)
Forest type map for field check.

たがい、現地を確認しつつ目的地に至り、これを検討する。判読、測定に誤りのあつた場合においては、これを写真上および図面上に補正し確定境界線の位置と林型を確認した。

この作業は職員3名、現地における補助者2名により、5日間を要した。

3-6 最終林相区分図の作成

現地検討により訂正、補正せられた判読境界と林相区分は、あらためて1/5,000地形図上に移写せられ、各林型ごとに色分け彩色が行なわれて最終図の完成をみた。この際、変更のあつた境界線位置、林相区分についてはふたたび写真の観察による照合が行なわれた。

4. 最終回による調査地の林相構成

4-1 林相面積の測定

現地検討により補正された判読結果は、現地検討以前の林相区分図と最終図（ともに 1/5,000）の 2 図葉の測定によつて行なつた。各林型ごとの面積測定は点格子法によつて測定した。使用した点格子は 1/5,000 図上において、1 ha 当たり 16 個の点をもつ標準格子で、1 点あたりは 0.0625 ha を代表する。この面積測定値の標準誤差は最終図における比率最大の林相単位 CO4 において

$$\pm \sqrt{np(1-p)}$$

(n ……その林相におちた点の数 p ……全体の点数に対する n の比率)

より

Table 1. 現地検討実施前・後の林分構成面積表
2 different type area determination before field check and final type map.

		判 読 図 (a)		最 終 図 (b)		b-a (c)		%	
		ha	%	ha	%	ha(+) ha(-)		(+) (-)	
針葉樹 C	幼齡林 C Y1	0.51	0.04	0			0.51		0.04
	C Y2	4.60	0.36	0			4.60		0.36
	壯齡林 C B2	9.83	0.77	12.80	1.00	2.97		0.23	
	C B3	34.36	2.69	33.40	2.62		0.96		0.08
	C B4	15.84	1.24	0			△15.84		1.24
	老齡林 C O2	22.35	1.75	22.02	1.72		0.33		0.03
	C O3	157.60	12.34	219.56	17.19	▲61.96			
	C O4	285.20	22.34	257.65	20.17		△27.55	4.85	2.16
	異齡林 COB1	0		8.04	0.63	8.04		0.63	
	COB2	0		32.90	2.58	▲32.90		2.58	
	COB3	357.10	27.96	243.49	19.06		△113.61		8.90
	COB4			7.73	0.61	7.73		0.61	
小 計		887.39	69.48	837.59	65.58		49.80		3.90
広葉樹 H	老齡林 H O2	10.35	0.81	9.96	0.78		0.39		0.03
	H O3	118.91	9.31	116.89	9.15		2.02		0.16
	H O4	26.05	2.04	25.91	2.03		0.14		0.01
	異齡林 HOB3	0		8.47	0.66	8.47		0.66	
	小 計	155.31	12.16	161.23	12.62	5.92		0.46	
混交林 M	壯齡林 MB1	5.75	0.45	5.82	0.46	0.07		0.005	
	MB2	2.81	0.22	43.47	3.40	▲40.66		3.18	
	MB3	0		3.77	0.30	3.77		0.30	
	老齡林 MO2	4.47	0.35	14.22	1.11	9.75		0.76	
	MO3	155.43	12.17	149.12	11.68		6.31		0.49
	MO4	10.47	0.82	2.16	0.17		8.31		0.65
	異齡林 MOB3	0		0.50	0.04	0.50			
	小 計	178.93	14.01	219.06	17.16	40.13		3.14	
計		1,221.63	95.65	1,217.88	95.36		3.75		0.29
無立木地 (Bare land)		3.18	0.25	6.93	0.54	3.75			0.29
除 地 (Non forest)		52.38	4.10	52.38	4.10				
総 計 (Total)		1,277.19	100	1,277.19	100				

Column (a) : Photo interpretation map.

Column (b) : Final map.

$$\pm \sqrt{4166 \times \left(\frac{4166}{20651} \right) \times \left(1 - \frac{4166}{20651} \right)} = \sqrt{670.88079} = \pm 25.90137 \quad 0.62\%$$

同様に最少の林相 CO₂ では

$$\pm \sqrt{356 \times \left(\frac{356}{20651} \right) \times \left(1 - \frac{356}{20651} \right)} = \sqrt{6.03129} = \pm 2.45587 \quad 0.69\%$$

である。

それぞれ別個に行なわれた 2 つの林相面積測定結果は Table 1 に示す。

4—2 5 年間にける林相構成の変化

森林は年月の経過につれて、その構成状態を変化させている。それは枯損、成長などの自然推移によるもの、また伐採利用や造林のごとく経営作業によるものなどであり、これは利用度の高い森林においてはことにはげしい。本調査地は、いわゆる奥地天然生林であり比較的变化は少なく思われる森林であるが、前述のごとく写真撮影時である昭和 32 年 10 月から、調査時である昭和 36 年 8 月の間に一部択伐払下げの実施のみならず、昭和 34 年における風害により多くの変化を生じている。

この変化は前項における 2 葉の図による現地調査実施の前と後における林相面積測定結果の比較を行なうことによつて求められた。すなわち、前者のうち明らかに判読の誤りとみられるものを除外した場合に、各林型の面積値の差異は森林構成の変化量を示し、また図上における林型の位置と形状の変更は、その推移の所在箇所を示している。この量的な結果は Table 1 の (C) 行より見ることができる。すなわち、まず総体的には針葉樹林は 49.8 ha (全面積の 3.9%) が択伐と風害により一部を広葉樹林へ、大部分は混交林へと変化しているが、そのうちの主要なものを述べれば、減少した CO4 型の 27.55 ha は択伐により CO3 型へ、また COB3 型の 113.61 ha は風害により一部を MB2 型にまた一部を CO3 型にと変化していたものである。なお、MO4 型のうち減少した 8.31 ha は陰影部のために写真判読に誤りを生じた HOB3 型であつた。同様にして、これらの個々の林型の検討を詳細に行なえば、その推移を把握することができる。なお若干(0.3%)の無立木地の増加は、林道、索道敷、土場、作成のための伐採によるものである。

5. 材 積 調 査

5—1 調査計画

航空写真を利用して材積を推定する場合に基本的に考えられるものとしては、(1) 航空写真材積表を適用する法、(2) 二重または三重抽出法を用いる法があり、海外において実施され、また日本においてその試みが行なわれているが、(1) の方法にあつては、その地域の森林に対する既往の材積表が調製せられていない場合には、この材積表の調製に多くの労力と日程を要しなければ精度を期待することができない。

また (2) の方法においては写真測定を行なうべき判読点は要求精度にともなつて飛躍的に増加し、またこれを補正する現地調査点の数も判読値に変動の多い場合には期待されるほどに減らすことができないことがある。のみならず、この両者にとつての根本的な条件は写真像の判読、測定に熟練した技術を要することである。したがつて、写真作業の技術者が不足して早急な測定が期しえない場合、または、そのために写真測定の精度が要求を満足しえない場合においては、これらの方法は写真利用の効果を十分に發揮することができない事態が生じる。

このような条件のもとにおいては、写真利用によりえられた詳細な現地の林況にもとづき、地上測定による測定値を有効に取りまとめうる調査法の設計が考慮される。すなわち、地上調査と組み合わされた

Table 2. Primary sampling unit area.

層別第一次抽出単位面積一覽表

階 層	CO4		階 層	CO4		CO3		CO2		COB3,4		COB2,1		CO3,2		MO		MB		HO	
	点 数	ha		点 数	ha	点 数	ha	点 数	ha	点 数	ha	点 数	ha	点 数	ha	点 数	ha	点 数	ha	点 数	ha
No 1	11	0.68	No 37	51	3.15	95	5.88	94	5.81	117	7.24	93	5.75	182	11.26	35	2.16	61	3.77	64	3.96
2	31	1.92	38	57	3.52	194	12.00	51	3.16	8	0.49	38	2.35	189	11.69	62	3.83	82	5.07	125	7.73
3	17	1.05	39	45	2.78	20	1.24	53	3.28	297	18.37	220	13.61	21	1.30	31	1.92	284	17.56	34	2.10
4	74	4.58	40	53	3.28	131	8.10	29	1.79	203	12.55	50	3.09	88	5.44	136	8.41	293	18.12	196	12.12
5	35	2.16	41	33	2.04	131	8.10	83	5.13	171	10.58	30	1.85	12	0.74	10	0.62	44	2.72	98	6.06
6	68	4.21	42	90	5.57	190	11.75	46	2.85	275	17.01	21	1.30	48	2.97	90	5.57	14	0.87	55	3.40
7	8	0.49	43	149	9.22	225	13.92	356 22.02		194	12.00	80	4.95	45	2.78	307	18.99	80	4.95	186	11.50
8	129	7.98	4166 257.65		183	11.32			175	10.82	130 8.04		23	1.42	241	14.90	8 0.50		167	10.33	
9	12	0.74			191	11.81			154	9.52	662 40.94		14	0.87	216	13.36	866 53.56		201	12.43	
10	38	2.35			149	9.21			178	11.01			43	2.66	4	0.25			64	3.96	
11	142	8.78			168	10.39			225	13.92			82	5.07	112	6.93			224	13.85	
12	158	9.77			121	7.48			171	10.58			747 46.20		52	3.22			371	22.95	
13	47	2.91			256	15.83			203	12.55					209	12.92			255	15.77	
14	195	12.06			151	9.34			166	10.27					248	15.34			269	16.64	
15	260	16.08			296	18.31			242	14.97					321	19.85			46	2.85	
16	116	7.17			36	2.23			159	9.83					188	11.63			40	2.47	
17	25	1.55			94	5.81			249	15.40					134	8.29			16	0.99	
18	68	4.21			63	3.90			168	10.39					50	3.09			59	3.65	
19	124	7.67			20	1.24			198	12.25					230	14.22			137	8.47	
20	248	15.34			89	5.50			105	6.49					2676 165.50				2607 161.23		
21	259	16.02			4	0.25			82	5.07											
22	228	14.10			12	0.74			163	10.08											
23	52	3.22			12	0.74			159	9.83											
24	47	2.91			14	0.87			4062 251.22												
25	18	1.11			183	11.32															
26	11	0.68			185	11.44															
27	32	1.98			15	0.93															
28	63	3.90			13	0.80															
29	232	14.35			62	3.83															
30	262	16.20			34	2.10															
31	184	11.38			9	0.56															
32	316	19.54			53	3.28															
33	19	1.17			52	3.22															
34	114	7.05			89	5.50															
35	7	0.43			10	0.62															
36	38	2.35			3550 219.56																

注：ゴジックは抽出された第一次抽出単位。

写真利用法の一つである。

本試験の調査においては、まず調査員の数が限られていたこと（職員 3 名）、現地材積調査にあてうる日程が制約せられていたこと（6 日間）に基づき、迅速な材積推定を実施する法として下記の計画が立てられた。

- （1）全調査地を林相区分によつて層化された母集団とし、標本点の抽出単位に適するように、これを再編成する。すなわち、面積が小にすぎない林相は、これを隣接階層の林相と合わせて 1 層とし、また 1 区画が過大にすぎない林分は、これをほぼ 10 ha 程度の単位に分割する。
- （2）おのおのの区画を第一次抽出単位として追番号を付し、各層から 2 個ずつこれを乱数器により抽出する。
- （3）抽出せられた単位区画林分は、これに 5 mm 間隔の格子線を付し、その交点をランダムに 1 個、さらに抽出し、これを現地材積調査点の原点とする。
- （4）現地調査は抽出原点およびそれから真北 50 m の点を中心点とする副次抽出調査法とする。

層別第 1 次抽出単位およびその面積は Table 2 に示す。

5-2 現地標本地点の調査

標本の現地調査は、国有林資源調査要領におけると同様である。すなわち、抽出原点および副次抽出原点を中心とする面積 0.04 ha の円形プロット法により、胸高直径 6 cm 以上の立木について樹種、樹高、胸高直径を毎木測定した。

調査は職員 1 名、補助者 2 名を 1 組として 3 班を編成し、あらかじめ選定した調査予定線を、写真により誘導せられて原点に向かい、これを確認決定ののち標本調査を実施、コンパスおよび米ナワにより副次原点を決定して、これを同様に調査した。樹高測定にはブルーメライツ測高器、直径測定には輪尺を使用した。

調査野帳により各単木材積を算出し、これより各プロット当たり ha 材積を取りまとめた結果は Table 3 に示す。

5-3 材積計算

本調査の材積取りまとめは前項において述べたように、抽出単位の大きさの等しくない場合の副次抽出法となる。層内の単位はあまり極端な変化をきたさぬようにと配慮されたが、区画林型内の変動が少ないことを第一としたので、その大きさは等しくない。

材積推定は、全木材積、層別材積、針葉樹広葉樹別材積および小班別材積の 4 者について行なつた。

5-3-1 層別、単位面積当たりの材積推定の方法についての考察

本調査のように第一次抽出単位を等確率で選ぶ 2 段階抽出法の場合において、各層の単位面積当たりの材積推定の方法として次の 2 つのものが考えられる。

（第 I 法）第 1 次抽出単位の大きさを重みとした荷重平均を求める方法……………比推定法

この方法によるプロット当たりの平均蓄積の推定量は次式で与えられる。

$$\bar{y}_1 = \frac{\sum_{i=1}^n M_i \bar{y}_i}{\sum_{i=1}^n M_i} \dots\dots\dots (1)$$

ここで $\bar{y}$: プロット当たり平均蓄積

Table 3. 調査資料一覧表

Data of primary sampling unit.

層	層			第一次抽出単位		第二次抽出単位					
	面積	第一次第二次 単位数		番号	第二次 単位数	第1プロット			第2プロット		
		Y _{h1}	Y _{h2}			針	広	計	針	広	計
	A _h ha	N _h	M _h		M _{h1}	針	広	計	針	広	計
CO 4	257.65	43	6441.25	1	105.25	23.406	0	23.406	15.068	0	15.068
				2	352.50	13.271	1.729	15.000	6.332	0.902	7.234
CO 3	219.56	34	5489.00	1	187.00	6.720	0.007	6.727	11.648	0.019	11.667
				2	95.75	13.258	0	13.258	8.354	3.165	11.519
CO 2	22.02	6	550.50	1	82.00	6.970	0.109	7.079	5.884	0.049	5.933
				2	128.25	6.965	0.135	7.100	3.030	8.821	11.851
COB4,3	251.22	23	6280.50	1	385.00	7.918	0.173	8.091	12.390	0.051	12.441
				2	126.75	10.131	0.328	10.459	12.173	2.558	14.731
COB2,1	40.94	6	1023.50	1	340.25	2.438	0	2.438	2.089	0	2.089
				2	201.00	0.348	0.066	0.414	0.003	0	0.003
CB3,2	46.20	10	1155.00	1	136.00	6.095	2.611	8.706	7.952	2.760	10.712
				2	18.50	7.084	1.972	9.056	5.052	0.152	5.204
MO	165.50	18	4137.50	1	139.25	6.542	3.955	10.497	7.428	0.950	8.378
				2	173.25	7.231	2.952	10.183	7.227	2.971	10.198
MB	53.56	8	1339.00	1	453.00	1.976	0.348	2.324	1.224	1.790	3.014
				2	12.50	2.252	3.156	5.408	2.231	2.268	4.499
HO	161.23	19	4030.75	1	416.00	0	5.276	5.276	0.008	9.401	9.409
				2	394.25	1.012	7.982	8.994	0.259	7.274	7.533
計	1217.88	167	30447.00	18	3746.50			154.416			151.483

層	第二次抽出単位									備考 抽出された 一次単位の 番号
	合計 Y _{hi}			平均 Y _{hi}			M _{hi} $\bar{y}_{hi}$			
	針	広	計	針	広	計	針	広	計	
CO 4	38.474	0	38.474	19.237	0	19.237	2024.6943	0	2024.6943	CO 4—6
	19.603	2.631	22.234	9.802	1.316	11.118	3455.2050	463.8900	3919.0950	CO 4—22
CO 3	18.368	0.026	18.394	9.184	0.013	9.197	1717.4080	2.4310	1719.8390	CO 3—12
	21.612	3.165	24.777	10.806	1.583	12.389	1034.6745	151.5723	1186.2468	CO 3—29
CO 2	12.854	0.158	13.012	6.427	0.079	6.506	527.0140	6.4780	533.4920	CO 2—3
	9.995	8.956	18.951	4.998	4.478	9.476	640.9935	574.3035	1215.2970	CO 2—5
COB4,3	20.308	0.224	20.532	10.154	0.112	10.266	3909.2900	43.1200	3952.4100	COB 3—15
	22.304	2.886	25.190	11.152	1.443	12.595	1413.5160	182.9003	1596.4163	COB 3—19
COB2,1	4.527	0	4.527	2.264	0	2.264	770.3260	0	770.3260	COB 2—3
	0.351	0.066	0.417	0.176	0.033	0.209	35.3760	6.6330	42.0090	COB 1—1
CB3,2	14.047	5.371	19.418	7.024	2.686	9.710	955.2640	365.2960	1320.5600	CB 3—4
	12.136	2.124	14.260	6.068	1.062	7.130	112.2580	19.6470	131.9050	CB 3—5
MO	13.970	4.905	18.875	6.985	2.453	9.438	972.6613	341.5803	1314.2416	MO 3—5
	14.458	5.923	20.381	7.229	2.962	10.191	1252.4243	513.1665	1765.5908	MO 3—10
MB	3.200	2.138	5.338	1.600	1.069	2.669	724.8000	484.2570	1209.0570	MB 2—3
	4.483	5.424	9.907	2.242	2.712	4.954	28.0250	33.9000	61.9250	MOB 3—1
HO	0.008	14.677	14.685	0.004	7.339	7.343	1.6240	3053.0240	3054.6880	HO 3—10
	1.271	15.256	16.527	0.636	7.628	8.264	250.7430	3007.3390	3258.0820	HO 3—9
計			305.899	115.988	36.968	152.956	434549.0420	138500.6120	573049.6540	

$\bar{y}_i$: i 番目の一次抽出単位のプロット当たり平均蓄積

M_i : i 番目の一次抽出単位に含まれるプロット数

n : 一次抽出単位の抽出個数

(1) 式の分子, 分母はともに標本が変わると変化するので, これは典型的な比推定である。

すなわち, 一般式で表わせば,

$$\hat{R} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{M_i}{Z_i} \bar{y}_i}{\sum_{i=1}^n \frac{M_i}{Z_i} \bar{x}_i} \dots\dots\dots (2)$$

ここで Z_i は一次抽出単位を選択確率である。

$\hat{R}$ の近似分散の不偏推定量は

$$v(\hat{R}) = \frac{1}{n(n-1) \hat{R}^2} \sum_{i=1}^n \left\{ \frac{M_i}{Z_i m_i} (y_i - \hat{R} x_i) \right\}^2 \dots\dots\dots (3)$$

となる。

(2) 式において, $x_{ij}=1$ $z_i = \frac{1}{N}$ (N : 一次単位の総数) $\hat{R} = \bar{y}_I$ とおけば (1) 式となる。したがつ

て, (1) 式の分散の不偏推定量は (3) において $x_{ij} = 1$ $z_i = \frac{1}{N}$ $\hat{R} = \bar{y}_I$ $\hat{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{M_i X_i}{z_i} = \frac{N}{n} \sum M_i$

$$x_i = m_i = 2$$

(一次抽出単位内のプロット数)

とおけば

$$\begin{aligned} v(\bar{y}_I) &= \frac{n}{(n-1) (\sum M_i)^2} \sum_{i=1}^n \left\{ M_i (\bar{y}_i - \bar{y}_I) \right\}^2 \\ &= \frac{n}{(n-1) (\sum M_i)^2} \left\{ \sum_{i=1}^n (M_i \bar{y}_i)^2 - 2 \bar{y}_I \sum (M_i \bar{y}_i) M_i + \bar{y}_I^2 \sum M_i^2 \right\} \dots\dots\dots (4) \end{aligned}$$

本調査にこの方法を適用するとすれば第二次抽出単位 (プロット) は 0.04 ha の円形プロットであるので, i 番目の一次単位に含まれるプロット数 M_i は

$$M_i = \frac{A_i}{0.04} = 25 A_i \dots\dots\dots (5)$$

となる。

ここで A_i は一次単位の ha 単位で表わした面積である (A_i には誤差が入るがここでは無視することにする)。

(5) 式を (1) および (4) 式に代入すれば

$$\bar{y}_I = \frac{\sum_{i=1}^n A_i \bar{y}_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \dots\dots\dots (6)$$

$$v(\bar{y}_I) = \frac{n}{(n-1) (\sum A_i)^2} \left\{ \sum_{i=1}^n (A_i \bar{y}_i)^2 - 2 \bar{y}_I \sum_{i=1}^n (A_i \bar{y}_i) A_i + \bar{y}_I^2 \sum_{i=1}^n A_i^2 \right\} \dots\dots\dots (7)$$

この (6) (7) 式を用いれば, M_i を求める手間を省くことができる。その結果を ha 当たりの材積に換算するには 25 を乗ずればよい。

この第 I 法による推定値には偏りがあるが、各層はほぼ同一林相の林分から構成されているので、第一次抽出単位の大きさとプロット当たりの平均材積の相関はほとんど無視することができ、したがって大標本の推定値ではその偏りを無視することができる。

(第 II 法) 不偏推定量を与えう方法

この方法によるプロット当たりの平均蓄積の推定量は

$$\bar{y}_{II} = \frac{N}{nM} \sum_{i=1}^n M_i \bar{y}_i \dots\dots\dots (8)$$

で求められる。

ここで、 M はプロット総数である。

$\bar{y}_{II}$ の期待値は

$$E(\bar{y}_{II}) = \frac{N}{nM} E\left(\sum_{i=1}^n M_i \bar{y}_i\right) = \frac{N}{nM} n \cdot \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n M_i \bar{Y}_i = \frac{\sum M_i \bar{Y}_i}{M}$$

となるので、 $\bar{y}_{II}$ は不偏推定値を与えることがわかる。

分散の不偏推定値は

$$v(\bar{y}_{II}) = \frac{1}{n(n-1)M^2} \sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - \hat{Y}_n)^2 \dots\dots\dots (9)$$

$$\text{ここで、} \bar{Y}_i = NM_i \bar{y}_i \quad \hat{Y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \hat{Y}_i = M \bar{y}_{II}$$

この値を (10) 式に代入すれば、

$$v(\bar{y}_{II}) = \frac{N^2}{n(n-1)M^2} \left\{ \sum_{i=1}^n M_i \bar{y}_i^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n M_i \bar{y}_i \right)^2 \right\} \dots\dots\dots (10)$$

この推定方法によれば不偏推定値がえられるが一次抽出単位の大きさ、 M_i 間の変動が大となれば推定の正確さは悪くなる。

5-3-2 総材積推定の方法についての考察

総材積推定の方法については次の 3 つの方法が考えられる。

(A 法) 層ごとのプロット当たり平均材積推定量 ($\bar{y}_I$) を用いる方法……(分離比推定法)

この方法は前節第 I 法の値を用いるもので、この方法では前に述べたとおりに大標本の場合には偏りを無視できるので、次式により全林地のプロット当たり平均蓄積が推定できる。

$$\bar{y}_{st} = \sum_{h=1}^L \bar{W}_h \bar{y}_h = \sum_{h=1}^L W_h \left(\frac{\sum_{i=1}^{nh} M_{hi} \bar{y}_{hi}}{\sum_{i=1}^{nh} M_{hi}} \right) \dots\dots\dots (11)$$

ここで、 $\bar{y}_{st}$ は全林地のプロット当たり蓄積

$\bar{y}_h$ は h 層におけるプロット当たり蓄積

$$\bar{W}_h = \frac{M_h}{M} \quad M = \sum M_h$$

分散の推定値は

$$\begin{aligned} v(\bar{y}_{st}) &= \sum_{h=1}^L \bar{W}_h^2 v(\bar{y}_h) \\ &= \sum_{h=1}^L \bar{W}_h^2 \frac{n_h}{(n_h-1)(\sum M_{hi})^2} \left\{ \sum_{i=1}^{n_h} (M_{hi} \bar{y}_{hi})^2 - 2 \bar{y}_h \sum (M_{hi} \bar{y}_{hi}) M_{hi} + \bar{y}_h^2 \sum M_{hi}^2 \right\} \dots\dots\dots (12) \end{aligned}$$

標準誤差は

$$S(\bar{y}_{st}) = \sqrt{v(\bar{y}_{st})}$$

プロット当たり平均蓄積は

$$\bar{y}_{st} \pm S(\bar{y}_{st})$$

総蓄積の推定値 $\hat{Y}$ は

$$\hat{Y} = M_h(\bar{y}_{st} \pm S(\bar{y}_{st}))$$

となる。

しかしながら、この方法においては偏りはすべての層内で同じ符号をもつので、層の数が多ければ偏りが大きくなるおそれがある。

(B法) 複合比推定による方法

上記A法の欠点をのぞくためには複合比推定法が考えられる。この方法においては次のように計算を行なう。

$$\hat{Y}_h = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^{n_h} \frac{M_{hi}}{Z_{hi}} \bar{y}_{hi} \quad \hat{X}_h = \frac{1}{n_h} \sum_{i=1}^{n_h} \frac{M_{hi}}{Z_{hi}} \bar{X}_{hi}$$

とおく。

ここで Z_{hi} は h 層の一次単位抽出確率、

$\hat{Y}_h$, $\hat{X}_h$ はそれぞれ層合計の不偏推定値である。

複合比推定量 $\hat{R}_c$ を

$$\hat{R}_c = \sum_{h=1}^L \hat{Y}_h / \sum_{h=1}^L \hat{X}_h \cdots \cdots \cdots (13)$$

と定義する。

(13) において

$$Z_{hi} = \frac{1}{N_h} \quad x_{hij} = 1 \quad \bar{x}_{hi} = 1 \quad \hat{R}_c = \bar{y}_{st} \quad \text{とおけば、}$$

$$\bar{y}_{st} = \frac{\sum_{h=1}^L \left(\frac{1}{nh} \sum_{i=1}^{n_h} N_h M_{hi} \bar{y}_{hi} \right)}{\sum_{h=1}^L \frac{N_h}{n_h} \left\{ \sum_{i=1}^{n_h} M_{hi} \right\}} \cdots \cdots \cdots (14)$$

近似分散の不偏推定値は

$$v(\bar{y}_{st}) = \frac{1}{X^2} \sum_{h=1}^L \frac{1}{nh(nh-1)} \sum_{i=1}^{n_h} (d_{hi}' - d_h')^2 \cdots \cdots \cdots (15)$$

ここで、

$$d_{hi}' = N_h M_{hi} \bar{d}_{hi} = N_h M_{hi} (\bar{y}_{hi} - \bar{y}_{st})$$

$$d_h' = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^{n_h} d_{hi}' = -\frac{N_h}{nh} \sum_{i=1}^{n_h} M_{hi} (\bar{y}_{hi} - \bar{y}_{st})$$

$$X = M$$

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^{n_h} (d_{hi}' - d_h')^2 &= \sum_{i=1}^{n_h} \left\{ (N_h M_{hi} (\bar{y}_{hi} - \bar{y}_{st}) - \frac{N_h}{nh} \sum_{i=1}^{n_h} M_{hi} (\bar{y}_{hi} - \bar{y}_{st}))^2 \right. \\ &= N_h^2 \sum_{i=1}^{n_h} \left\{ M_{hi} (\bar{y}_{hi} - \bar{y}_{st}) - \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^{n_h} M_{hi} (\bar{y}_{hi} - \bar{y}_{st}) \right\}^2 \end{aligned}$$

$$= N_h^2 \left[\sum_{i=1}^{nh} \left\{ M_{hi} (\bar{y}_{hi} - \bar{y}_{st}) \right\}^2 - \frac{1}{nh} \left\{ \sum_{i=1}^{nh} M_{hi} (\bar{y}_{hi} - \bar{y}_{st}) \right\}^2 \right]$$

上式を (5) 式に入れれば、

$$v(\bar{y}_{st}) = \frac{l}{M^2} \sum_{h=1}^L \frac{N_h^2}{nh(nh-1)} \left[\sum_{i=1}^{nh} \left\{ M_{hi} (\bar{y}_{hi} - \bar{y}_{st}) \right\}^2 - \frac{1}{nh} \left\{ \sum_{i=1}^{nh} M_{hi} (\bar{y}_{hi} - \bar{y}_{st}) \right\}^2 \right]$$

がえられる。

$X=M$ が不明であれば $\sum_{h=1}^L \hat{X}_h$ を用いる。ただし、

$$\sum_{h=1}^L \hat{X}_h = \sum_{h=1}^L \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^{nh} \frac{M_{hi}}{Z_{hi}} \bar{x}_{hi} = \sum_{h=1}^L \frac{N_h}{n_h} \left\{ \sum_{i=1}^{nh} M_{hi} \right\}$$

このB法によれば 偏りは $1/nh$ のオーダーでなく $1/n$ のオーダーとなる。ここでは n は抽出された第一次抽出単位の総数である。

(C 法) 不偏推定値を用いる方法

前節第II法によるプロット当たり平均蓄積 ($\bar{y}_{II}$) を用い、全林地のプロット当たり平均材積を推定する法で、その計算式は次のごとくである。

$$\bar{y}_{st} = \sum_{h=1}^L W_h \bar{y}_h = \frac{l}{M} \sum_{h=1}^L \frac{N_h}{nh} \sum_{i=1}^{nh} M_{hi} \bar{y}_{hi} \dots\dots\dots (16)$$

その推定分散は

$$v(\bar{y}_{st}) = \sum_{h=1}^L W_h^2 v(\bar{y}_h) = \frac{1}{M^2} \sum_{h=1}^L \frac{N_h^2}{nh(nh-1)} \left[\sum_{i=1}^{nh} (M_{hi} \bar{y}_{hi})^2 - \frac{1}{nh} \left(\sum_{i=1}^{nh} M_{hi} \bar{y}_{hi} \right)^2 \right]$$

で得られる。

5-3-3 本調査における層別および総材積ならびに針広別材積推定の結果

この調査では、第一次抽出単位の数は層当たりわずか2個である。またその大きさのちがいが大きいので、偏りが生ずる危険がある。したがって総材積の推定には、前節B法またはC法を用うるべきであり、その計算を行なつたが、また参考のためにA法による推定も行なつた。その結果を Table 4, 5, 6, に示す。

針葉樹、広葉樹別の材積推定にあつてはB法を適用した。それは前述のように層別の推定値には偏りのはいる危険はあるが、総材積の推定値の精度が高く、また偏りは前記のごとく $1/n$ オーダーとなるからである。C法では第一次抽出単位の大きさの変動が大きいために精度が低く、推定の正確度が悪くなるおそれがあるために適用をしなかつた。

材積推定の結果は Table 7, 8 に示す。

5-3-4 小班蓄積の推定

小班は国有林経営の基本的単位であり、その蓄積の把握が計画樹立の第1段階である。

その調査方法としては毎木調査が最も基本的な方法であろうが、労力、経費と時間的理由により実行不可能であるのが普通で、現在では、第1分期、指定箇所を除いては、いわゆる標準地法または目測法で蓄積の推定が行なわれている。さらに標本調査理論を応用して、地上プロットを設けて蓄積を推定する方法、写真材積表を利用する方法、地上プロットと写真プロットの測定値の組合わせによる森林調査法等々が研究され、応用される試みがあるが、これらの方法を適用することにも困難性が多いのが現状であることは前に記したとおりである。前に述べた各層ごとの平均材積の値を利用して、小班蓄積を推定することを

Table 4. I 法による層ごとの平均蓄積および分離比推定法による総蓄積の推定 (全樹種をこみにした場合)
Stand volume estimation by the method of separate ratio estimate.

層 記号と 手順	平均蓄積の計算					分散の計算				
	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩
	抽出された一次単位に含まれるプロット数 $\sum_{i=1}^{n_h} M_{hi}$	$\sum_{i=1}^{n_h} M_{hi} \bar{y}_{hi}$	層ごとの平均蓄積 $\bar{y}_h$ ②/①	重み W_h $M_h / \sum M_h$	総平均蓄積の計算 $W_h \bar{y}_h$ ③×④	$\sum_{i=1}^{n_h} (M_{hi} \bar{y}_{hi})^2$	$\sum_{i=1}^{n_h} M_{hi} (M_{hi} \bar{y}_{hi})$	$2 \bar{y}_h \times ⑦$ $2 \times ③ \times ⑦$	$\sum_{i=1}^{n_h} M_{hi}^2$	$\bar{y}_h^2 \sum_{i=1}^{n_h} M_{hi}^2$ $③^2 \times ⑩$
CO 4	457.75	5943.7893	12.9848	0.2116	2.7476	19458692.6275	1594580.0626	41410606.3937	135333.8125	22817957.4566
CO 3	282.75	2906.0858	10.2779	0.1803	1.8531	4365027.6564	435193.0241	8945740.7648	44137.0625	4662427.4246
CO 2	210.25	1748.7890	8.3177	0.0181	0.1506	1761560.5123	199608.1843	3320561.9891	23172.0625	1603138.2892
COB 4,3	511.75	5548.8263	10.8428	0.2063	2.2369	18170089.8110	1724023.6160	37386486.5271	164290.5625	19315033.5580
COB 2,1	541.25	812.3350	1.5008	0.0336	0.0504	595166.9024	270547.2305	812074.5671	156171.0625	351759.7012
CB 3, 2	154.50	1452.4650	9.4011	0.0379	0.3563	1761277.6426	182036.4025	3422684.8471	18838.2500	1664937.7218
MO	312.50	3079.8324	9.8555	0.1359	1.3394	4844541.8562	488896.7489	9636643.8176	49406.1250	4798861.3868
MB	465.50	1270.9820	2.7304	0.0440	0.1201	1465653.5349	548476.8835	2995122.5654	205365.2500	1531018.4753
HO	810.25	6312.7700	7.7911	0.1323	1.0315	19946217.0961	2555249.0365	39816406.6553	328489.0625	19939680.2806
計				1.0000	9.8859					

プロット当たり総平均蓄積の分散: $v(\bar{y}_{st}) = \sum W_h^2 v(\bar{y}_h) = 0.477054$

プロット当たり平均蓄積: $\bar{y}_{st} = \sum W_h \bar{y}_h = 9.8859$

総平均蓄積の推定値 (0.04 ha プロット当たり): $\bar{y}_{st} \pm 2s\bar{y}_{st} = 9.859 \pm 1.3814$ (8.5045~11.2673)

ha 当たり平均蓄積の推定値: $25 (\bar{y}_{st} \pm 2s\bar{y}_{st}) = 247.1 \pm 34.5$ (212.6~281.6)

(Table 4 つづき)

層 記号と 手順	分 散 の 計 算									
	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)
	⑥+⑩-⑧	$\left(\sum_{i=1}^{n_h} M_{hi}\right)^2$ ① ²	$\frac{n_h}{(n_h-1)(\sum M_{hj})^2}$ $\frac{n_h}{n_h-1} \times \frac{1}{(12)}$	層ごと平均 蓄積の分散 $v(\bar{y}_h)$ ⑪×⑬	W_h^2 ④ ²	総平均蓄積 の分散 $W_h^2 v(\bar{y}_h)$ ⑭×⑮	層ごと標算 誤差 $s(\bar{y}_h)$ $\sqrt{(14)}$	プロット 当たり蓄積 $\bar{y}_h \pm s(\bar{y}_h)$ ③±⑰	ha 当たり 蓄積 ⑱×25	層ごと 誤差率 $s(\bar{y}_h)/\bar{y}_h$ ⑰/③
CO 4	866043.6904	209535.0625	0.000009545	8.266387	0.044775	0.370127	2.875133	15.8599 10.1097	396.4975 252.7425	22.14%
CO 3	81714.3162	79947.5625	0.000025016	2.044165	0.032508	0.066452	1.429743	11.7076 8.8482	292.6900 221.2050	13.91
CO 2	44136.8124	44205.0625	0.000045244	1.996926	0.000328	0.000655	1.413126	9.7308 6.9046	243.2700 172.6150	16.99
COB 4, 3	98636.8419	261888.0625	0.000007637	0.753290	0.042560	0.032060	0.867923	11.7107 9.9749	292.7675 249.3725	8.00
COB 2, 1	134852.0365	292951.5625	0.000006827	0.920635	0.001129	0.001039	0.959497	2.4603 0.5413	61.5075 13.5325	63.93
CB 3, 2	3530.5173	23870.2500	0.000083786	0.295808	0.001436	0.000425	0.543882	9.9450 8.8572	248.6250 221.4300	5.79
MO	6759.4254	97656.2500	0.000020480	0.138433	0.018469	0.002557	0.372065	10.2276 9.4834	255.6900 237.0850	3.78
MA	1549.4448	216690.2500	0.000009230	0.014301	0.001936	0.000028	0.119587	2.8500 2.6108	71.2500 65.2700	4.38
HO	69490.7214	656505.0625	0.000003046	0.211669	0.017530	0.003711	0.460075	8.2512 7.3310	206.2800 183.2750	5.91
計						0.477054				

総蓄積の推定値: $A\{25(\bar{y}_{st} \pm 2s\bar{y}_{st})\} = 300,996 \pm 42,059$ (258,937~343,055)

百分率誤差: 13.97%

$$\text{注: } v(\bar{y}_h) = \frac{n_h}{(n_h-1)(\sum M_{hj})^2} \left\{ \sum_{i=1}^{n_h} (M_{hi} \bar{y}_{hj})^2 - 2\bar{y}_{st} \sum (M_{hi} \bar{y}_{hj}) M_{hi} + \bar{y}_{st}^2 \sum M_{hi}^2 \right\}$$

A: ha で表わした調査地の総面積

Table 5. 複合比推定法による総蓄積
Stand volume estimation by the method

層	記号 と 手順	平 均 蓄 積 の 計 算					分 散	
		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
		抽出された一次単位に含まれる二次単位数 $\sum_{i=1}^{n_h} M_{hi}$	$\sum_{i=1}^{n_h} M_{hi} \bar{y}_{hi}$	一次単位の抽出比率 N_h/n_h	$\frac{N_h}{n_h} \sum_{i=1}^{n_h} M_{hi}$ ①×③	$\frac{N_h}{n_h} \sum_{i=1}^{n_h} M_{hi} \bar{y}_{hi}$ ②×③	一単位ごとプロット当たり平均蓄積 $\bar{y}_{hi}$	$\bar{y}_{hi} - \bar{y}_{st}$
CO 4		457.75	5943.7893	21.5	9841.625	127791.4700	19.237 11.118	9.532 1.413
CO 3		282.75	2906.0858	17.0	4806.750	49403.4586	9.197 12.389	-0.508 2.684
CO 2		210.25	1748.7890	3.0	630.750	5246.3670	6.506 9.476	-3.199 -0.229
COB 4, 3		511.75	5548.8263	11.5	5885.125	63811.5025	10.266 12.595	2.561 2.890
COB 2, 1		541.25	812.3350	3.0	1623.750	2437.0050	2.264 0.209	-7.441 -9.496
CB 3, 2		154.25	1452.4650	5.0	772.500	7262.3250	9.710 7.130	0.005 -2.575
MO		312.50	3079.8324	9.0	2812.500	27718.4916	9.438 10.191	-0.267 0.486
MB		465.50	1270.9820	4.0	1862.000	5083.9280	2.669 4.954	-7.036 -4.751
HO		810.25	6312.7700	9.5	7697.375	59971.3150	7.343 8.264	-2.362 -1.441
計					35,932.375	348,725.8627		

$$\text{プロット当たり総平均蓄積: } \bar{y}_{st} = \frac{\sum_{h=1}^M \frac{N_h}{n_h} \sum_{i=1}^{n_h} M_{hi} \bar{y}_{hi}}{\sum_{h=1}^M \frac{N_h}{n_h} \sum_{i=1}^{n_h} M_{hi}} = 9.7051$$

$$\text{の分散: } v(\bar{y}_{st}) = \frac{1}{M^2} \sum_{h=1}^M \frac{N_h^2}{n_h(n_h-1)} \left[\sum_{i=1}^{n_h} \{M_{hi}(\bar{y}_{hi} - \bar{y}_{st})\}^2 - \frac{1}{n_h} \left\{ \sum_{i=1}^{n_h} M_{hi}(\bar{y}_{hi} - \bar{y}_{st}) \right\}^2 \right] = 0.361021$$

総平均蓄積の推定値 (0.04 ha プロット当たり): $\bar{y}_{st} \pm 2s\bar{y}_{st} = 9.7051 \pm 1.2018(8.5033 \sim 10.9069)$

の推定 (全樹種をこみにした場合)
of combined ratio estimate.

の 計 算						
⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬	⑭
一次単位 に含まれ るプロッ ト数 M_{hi}	M_{hi} $(\bar{y}_{hi} - \bar{y}_{st})$ ⑦ × ⑧	$\sum_{i=1}^{n_h} \{M_{hi}(\bar{y}_{hi} - \bar{y}_{st})^2\}$	$\frac{1}{n_h} \{ \sum M_{hi} (\bar{y}_{hi} - \bar{y}_{st})^2 \}$		$\frac{M_h^2}{n_h(n_h-1)}$	総平均蓄積の 分散の計算 ⑫ × ⑬
105.25 352.50 187.00 95.75 82.00 128.25 385.00 126.75 340.25 201.00 136.00 18.50 139.25 173.25 453.00 12.50 416.00 394.25	1003.243 498.083 -94.996 256.993 -262.318 -29.369 215.985 366.308 -2531.800 -1908.696 0.680 -47.638 -37.180 84.200 -3187.308 -59.388 -982.592 -568.114	1254583.1919 75069.6421 69673.2713 180831.0711 10053131.6604 2269.8414 8471.9924 10162459.2214 1288240.5555	1126989.8791 13121.5140 42540.6530 169532.5689 9859002.3630 11102.5738 1105.4402 5270517.4582 1202344.5492	127593.3128 61948.1281 27132.6183 11298.5022 194129.2974 1167.2676 7366.5522 4891941.7632 85896.0063	929.5 578.0 18.0 264.5 18.0 50.0 162.0 32.0 180.5	118597984.24760 35806018.04180 488387.12940 2988453.83190 3494327.35320 58363.38000 1193381.45640 156542136.41600 15504229.13715
						334,673,280.99345

ha 当たり平均蓄積の推定値: $25(\bar{y}_{st} \pm 2s\bar{y}_{st}) = 242.6 \pm 30.0$ (212.6~272.6)

総蓄積の推定値: $A[25(\bar{y}_{st} \pm 2s(\bar{y}_{st}))] = 295,491 \pm 36,591$ (258,900~332,082)

百分率誤差: 12.38%

注: M は調査地における二次単位の総数 ($A/0.04$)

Table 6. II 法による層ごと平均蓄積および総蓄積の
Average stand volume and variance estimation

層 記号と 手順	平 均 蓄 積 の 計 算								分
	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	
	抽出され た一次単 位に含ま れるプロ ット数 $\sum_{i=1}^{n_h} M_{hi}$	$\sum_{i=1}^{n_h} M_{hi} \bar{y}_{hi}$	一次単 位の抽 出比率 N_h/n_h	$\frac{N_h}{n_h} \sum_{i=1}^{n_h} M_{hi} \bar{y}_{hi}$ $\textcircled{2} \times \textcircled{3}$	各層に含 まれるプ ロット数 M_h	層ごとの 平均蓄積 $\bar{y}_h$ $\textcircled{4}/\textcircled{5}$	重み W_h $M_h/\sum M_h$	総平均 蓄積の 計算 $W_h \bar{y}_h$ $\textcircled{6} \times \textcircled{7}$	
CO 4	457.75	5943.7893	21.5	127791.4700	6441.25	19.8395	0.2116	4.1980	19458692.6275
CO 3	282.75	2906.0858	17.0	49403.4586	5489.00	9.0004	0.1803	1.6228	4365027.6564
CO 2	210.25	1748.7890	3.0	5246.3670	550.50	9.5302	0.0181	0.1725	1761560.5123
COB 4, 3	511.75	5548.8263	11.5	63811.5025	6280.50	10.1603	0.2063	2.0961	18170089.8110
COB 2, 1	541.25	812.3350	3.0	2437.0050	1023.50	2.3811	0.0336	0.0800	595166.9024
CB 3, 2	154.50	1452.4650	5.0	7262.3250	1155.00	6.2877	0.0379	0.2383	1761277.6426
MO	312.50	3079.8324	9.0	27718.4916	4137.50	6.6993	0.1359	0.9104	4844541.8562
MB	465.50	1270.9820	4.0	5083.9280	1339.00	3.7968	0.0440	0.1671	1465653.5349
HO	810.25	6312.7700	9.5	59971.3150	4030.75	14.8785	0.1323	1.9684	19946217.0961
計							1.0000	11.4536	

プロット当たり総平均蓄積の分散： $v(\bar{y}_{st}) = \sum W_h^2 v(\bar{y}_h) = 2.763370$

プロット当たり総平均蓄積： $\bar{y}_{st} = \sum W_h \bar{y}_h = 11.4536$

総平均蓄積の推定 (0.04 ha プロット当たり)：

$$\bar{y}_{st} \pm 2s\bar{y}_{st} = 11.4536 \pm 3.3246 \quad (8.1290 \sim 14.7782)$$

推定 (全樹種をこみにした場合)

by the method of unbiased estimation.

散 の 計 算								
⑩	⑪	⑫	⑬	⑭	⑮	⑯	⑰	⑱
$\frac{1}{n_h} \sum_{i=1}^{n_h} \{M_{hi} \bar{y}_{hi}\}^2$	⑨-⑩	$\frac{N_h^2}{n_h(n_h-1)}$	M_h^2 $⑤^2$	層ごと平均蓄積の分散 $v(\bar{y}_h)$ $\frac{⑪ \times ⑫}{⑬}$	W_h^2 $⑦^2$	総平均蓄積の分散の計算 $W_h^2 v(\bar{y}_h)$ $⑭ \times ⑮$	層ごとの標準誤差 $s(\bar{y}_h)$ $\sqrt{⑰}$	層ごと誤差率 $s(\bar{y}_h) / \bar{y}_h$ $⑰ / ⑥ \%$
17664315.6214	1794377.0061	924.5	41489701.5625	39.9834	0.044775	1.790257	6.3232	31.87
4222667.3385	142360.3179	578.0	30129121.0000	2.7311	0.032508	0.088793	1.6526	18.36
1529131.4833	232429.0290	18.0	303050.2500	13.8054	0.000328	0.004528	3.7156	38.99
15394736.6538	2775353.1572	264.5	39444680.2500	18.6104	0.042560	0.792059	4.3140	42.46
329944.0761	265222.8263	18.0	1047552.2500	4.5573	0.001129	0.005145	2.1348	89.66
1054827.2811	706450.3545	50.0	1334025.0000	26.4782	0.001436	0.038023	5.1457	81.84
4742683.8061	101858.0501	162.0	17118906.2500	0.9639	0.018469	0.017802	0.9818	14.66
807697.6222	657955.9127	32.0	1792921.0000	11.7432	0.001936	0.022735	3.4268	90.25
19925532.5365	20684.5596	180.5	16246945.5625	0.2298	0.017530	0.004028	0.4794	3.22
						2.763370		

 ha 当たり平均蓄積の推定値: $25 (\bar{y}_{st} \pm 2s\bar{y}_{st}) = 286.3 \pm 83.1$ (203.2~369.4)

 総蓄積の推定値: $A \{25 (\bar{y}_{st} \pm 2s(\bar{y}_{st}))\} = 348,728 \pm 101,224$ (247,504~449,952)

百分率誤差 : 29.03 %

$$\text{注: } v(\bar{y}_h) = \frac{N_h^2}{n_h(n_h-1)M_h^2} \left\{ \sum_{i=1}^{n_h} (M_{hi} \bar{y}_{hi})^2 - \frac{l}{n_h} \left(\sum_{i=1}^{n_h} M_{hi} \bar{y}_{hi} \right)^2 \right\}$$

Table 7. 複合比推定法による
Total stand volume of coniferous by the method

層	記号と 手順	平 均 蓄 積 の 計 算					分		
		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧
		抽出された一次単位に含まれるプロット数 $\sum_{i=1}^{n_h} M_{hi}$	$\sum_{i=1}^{n_h} M_{hi} \bar{y}_{hi}$	一次単位の抽出比率 N_h/n_h	$\frac{N_h}{n_h} \sum_{i=1}^{n_h} M_{hi}$ ①×③	$\frac{N_h}{n_h} \sum_{i=1}^{n_h} M_{hi} \bar{y}_{hi}$ ②×③	一次単位ごとプロット当たり平均蓄積 $\bar{y}_{hi}$	$\bar{y}_{hi} - \bar{y}_{st}$	一次単位に含まれるプロット数 M_{hi}
CO 4		457.75	5479.8993	21.5	9841.625	117,817.835	19.237 9.802	11.931 2.496	105.25 352.50
CO 3		282.75	2752.0825	17.0	4806.750	46,785.403	9.184 10.806	1.879 3.500	187.00 95.75
CO 2		210.25	1168.0075	3.0	630.750	3,504.023	6.427 4.998	-0.879 -2.308	82.00 128.25
COB 4, 3		511.75	5322.8060	11.5	5885.125	61,212.269	10.154 11.152	2.848 3.846	385.00 126.75
COB 2, 1		541.25	805.7020	3.0	1623.750	2,417.106	2.264 0.176	-5.042 -7.130	340.25 201.00
CB 3, 2		154.50	1067.5220	5.0	772.500	5,337.610	7.024 6.068	-0.282 -1.238	136.00 18.50
MO		312.50	2225.0856	9.0	2812.500	20,025.770	6.985 7.229	-0.321 -0.077	139.25 173.25
MB		465.50	752.8250	4.0	1862.000	3,011.300	1.600 2.242	-5.706 -5.064	453.00 12.50
HO		810.25	252.4070	9.5	7697.375	2,397.867	0.004 0.636	-7.302 -6.670	416.00 394.25
計					35,932.375	262,509.183			

プロット当たり総平均蓄積: $\bar{y}_{st} = \sum \text{⑤} / \sum \text{④} = 7.3056$

の分散: $v(\bar{y}_{st}) = \frac{1}{M^2} \sum \text{⑧} = 0.266636$

針葉樹総蓄積の推定
of combined ratio estimate.

散 の 計 算					
⑨	⑩	⑪	⑫	⑬	⑭
$M_{hi}(\bar{y}_{hi}-\bar{y}_{st})$	$\sum_{i=1}^{n_h} \left\{ M_{hi}(\bar{y}_{hi}-\bar{y}_{st}) \right\}^2$	$\frac{1}{n_h} \left\{ \sum_{i=1}^{n_h} M_{hi}(\bar{y}_{hi}-\bar{y}_{st}) \right\}^2$		$\frac{N_h^2}{n_h(n_h-1)}$	総平均蓄積の分散の計算
⑦×⑧			⑨-⑩		⑫×⑬
1255.738 879.840 16.456 335.125 - 72.078 -296.001 1096.480 487.481 -1715.541 -1433.130 -38.352 -22.903 -44.699 -13.340 -2584.818 71.325 -3037.632 -2629.648	2,350,996.350 112,579.566 92,811.830 1,439,906.116 4,996,942.520 1,995.423 2,175.956 6,686,371.349 16,142,256.771	2,280,346.697 63,575.005 67,741.075 1,254,466.224 4,957,064.533 1,876.088 1,684.263 3,527,547.818 16,059,031.299	70,649.653 49,004.561 25,070.755 135,439.892 39,877.987 119.335 491.693 3,158,823.531 83,225.472	929.5 578.0 18.0 264.5 18.0 50.0 162.0 32.0 180.5	65,668,825.4635 28,324,636.2580 451,273.5900 35,823,851.4340 717,803.7660 5,966.7500 79,654.2660 101,082,352.9920 15,022,197.6960 247,176,589.2155

総平均蓄積の推定値: $\bar{y}_{st} \pm 2s(\bar{y}_{st}) = 7.3056 \pm 1.0306$ (6.2750~8.3362)

総蓄積の推定値: $M(\bar{y}_{st} \pm 2s(\bar{y}_{st})) = 222.434 \pm 31.379$ (191,055~253,813)

百分率誤差: 14.11 %

Table 8. 複合比推定法による広葉樹
Total stand volume of hardwood by the method

層	記号と 手順	平 均 蓄 積 の 計 算						
		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
		抽出された 一次単位に 含まれるプ ロット数 $\sum_{i=1}^{n_h} M_{hi}$	$\sum_{i=1}^{n_h} M_{hi} \bar{y}_{hi}$	一次単位 の抽出比 率 N_h/n_h	$\frac{N_h}{n_h} \sum_{i=1}^{n_h} M_{hi}$ ①×③	$\frac{N_h}{n_h} \sum_{i=1}^{n_h} M_{hi} \bar{y}_{hi}$ ②×③	一次単位ご とプロット 当たり平均 蓄積 $\bar{y}_{hi}$	$\bar{y}_{hi}-\bar{y}_{st}$
CO 4	457.75	463.8900	21.5	9,841.625	9,973.635	0 1.316	-2.399 -1.083	
CO 3	282.75	154.0033	17.0	4,806.750	2,618.056	0.013 1.583	-2.386 -0.816	
CO 1	210.25	580.7815	3.0	630.750	1,742.345	0.079 4.478	-2.320 2.079	
COB4,3	511.75	226.0203	11.5	5,885.125	2,599.233	0.112 1.443	-2.287 -0.956	
COB2,1	541.25	6.6330	3.0	1,623.750	19.899	0 0.033	-2.399 -2.366	
CB3,2	154.50	384.9430	5.0	772.500	1,924.715	2.686 1.062	0.287 -1.337	
MO	312.50	854.7468	9.0	2,812.500	7,692.721	2.453 2.962	0.054 0.563	
MB	465.50	518.1570	4.0	1,862.000	2,072.628	1.069 2.712	-1.330 0.313	
HO	810.25	6060.3630	9.5	7,697.375	57,573.449	7.339 7.628	4.940 5.229	
計				35,932.375	86,216.681			

$$\text{プロット当たり総平均蓄積: } \bar{y}_{st} = \frac{\sum \textcircled{5}}{\sum \textcircled{4}} = 2.3994$$

$$\text{分散: } v(\bar{y}_{st}) = \frac{1}{M^2} \sum \textcircled{14} = 0.140909$$

総 蓄 積 の 推 定
of combined ratioestimate.

分 散 の 計 算						
(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
一次単位 に含まれ るプロッ ト数 M_{hi}	$M_{hi}(\bar{y}_{hi}-\bar{y}_{st})$ (7) × (8)	$\sum_{i=1}^{n_h} \{M_{hi}(\bar{y}_{hi}-\bar{y}_{st})\}^2$	$\frac{1}{n_h} \left\{ \sum M_{hi}(\bar{y}_{hi}-\bar{y}_{st}) \right\}^2$	(9) - (10)	$\frac{N_h}{n_h(n_h-1)}$	総平均蓄積の分散 の計算 (12) × (13)
105.25 352.50	-252.495 -381.758	209,492.896	201,138.434	8,354.462	929.5	7,765,472.0572
187.00 95.75	-446.182 -78.132	205,182.987	137,452.585	67,730.402	578.0	39,148,171.9514
82.00 128.25	-190.240 -266.632	107,283.881	104,366.012	2,917.869	18.0	52,521.6402
385.00 126.75	-880.495 -121.173	789,954.341	501,669.391	288,284.950	264.5	76,251,369.2486
340.25 201.00	-816.260 -475.566	892,443.408	834,407.207	58,036.201	18.0	1,044,651.6162
136.00 18.50	39.032 -24.735	2,135.317	102.202	2,033.115	50.0	101,655.7550
139.25 173.25	7.520 97.540	9,570.602	5,518.802	4,051.800	162.0	656,391.6324
453.00 12.50	-602.490 3.913	363,009.512	179,147.212	183,862.300	32.0	5,883,593.5776
416.00 394.25	2,055.040 2,061.533	8,473,107.712	8,473,086.632	21.080	180.5	3,804.8498
						130,907,632.3284

総平均蓄積の推定値: $\bar{y}_{st} \pm 2s(\bar{y}_{st}) = 2.3994 \pm 0.7508$ (1.6486~3.1502)

総蓄積の推定値 : $M(\bar{y}_{st} \pm 2s(\bar{y}_{st})) = 73,055 \pm 22,860$ (49,195~95,915)

百分率誤差 : 31.29%

Table 9. I法による樹群別の層ごと平均蓄積および分離比推定法
Average stand volume on each stratum and total stand

層 記号と 手順	平 均 蓄 積 の 計 算				分 散		
	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
	抽出され た一次単 位に含ま れるプロ ット数 $\sum_{i=1}^{n_h} M_{hi}$	$\sum_{i=1}^{n_h} M_{hi} \bar{y}_{hi}$	層ごとの 平均蓄積 $\bar{y}_h$ ②/①	総平均蓄 積の計算 $W_h \bar{y}_h$	$\sum_{i=1}^{n_h} (M_{hi} \bar{y}_{hi})^2$	$\sum_{i=1}^{n_h} M_{hi} (M_{hi} \bar{y}_{hi})$	$2 \bar{y}_h \times ⑥$
CO 4	457.75	5479.8993	11.9714	2.5331	16,037,828.6005	1,431,058.8376	34,263,555.5369
CO 3	282.75	2752.0825	9.7333	1.7549	4,020,041.5594	420,225.3794	8,180,359.3706
CO 2	210.25	1168.0075	5.5553	0.1006	688,616.4232	125,422.5644	1,393,519.9440
COB4,3	511.75	5322.8060	10.4012	2.1458	17,280,575.7864	1,684,239.8030	35,036,230.0779
COB2,1	541.25	805.7020	1.4886	0.0500	594,653.6077	269,213.9975	801,503.9134
CB3,2	154.50	1067.5220	6.9095	0.2619	925,131.1683	131,992.6770	1,824,006.8035
MO	312.50	2225.0856	7.1203	0.9676	2,514,636.6317	352,425.5960	5,018,751.9424
MB	465.50	752.8256	1.6172	0.0712	526,120.4406	328,684.7125	1,063,097.8341
HO	810.25	252.4070	0.3115	0.0412	62,874.8209	99,547.6518	62,018.1871
計				7.9263			

プロット当たり総平均蓄積： $\bar{y}_{st} = \sum W_h \bar{y}_h = 7.9263$

の分散： $v(\bar{y}_{st}) = \sum W_h^2 (\bar{y}_h) = 0.526192$

による総蓄積の推定 (針葉樹)
volume estimation of caniferous.

の 計 算							
(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)
$\bar{y}^2 \sum_{i=1}^{n_h} M_{hi}$	(5)+(8)-(7)	$\frac{n_h}{(n_h-1)(\sum M_{hi})^2}$	層ごと平均蓄積の分散 $v(\bar{y}_h)$ (9)×(10)	W_h^2	総平均蓄積の分散 $W_h^2 v(\bar{y}_h)$ (11)×(12)	層ごと標準誤差 $s(\bar{y}_h)$ $\sqrt{(13)}$	誤差率 $s(\bar{y}_h)/\bar{y}_h$ ×100 %
19,395,284.1382	1,169,557.2018	0.000009545	11.163423	0.044775	0.499842	3.341171	27.91
4,181,417.3038	21,099.4926	0.000025016	0.527825	0.032508	0.017159	0.726516	7.46
715,122.2895	10,218.7688	0.000045244	0.462338	0.000328	0.000152	0.679954	12.24
17,773,774.5041	18,120.2126	0.000007637	0.138384	0.042560	0.005890	0.372000	3.58
346,059.4574	139,209.1517	0.000006827	0.950381	0.001129	0.001073	0.974875	65.49
899,360.6609	485.0257	0.000083786	0.040638	0.001436	0.000058	0.201589	2.92
2,504,826.3095	710.9988	0.000020480	0.014561	0.018469	0.000269	0.120669	1.69
537,091.7383	114.3448	0.000009230	0.001055	0.001936	0.000002	0.032481	2.01
31,863.4391	32,720.0729	0.000003046	0.099665	0.017530	0.001747	0.315698	101.35
					0.526192		

プロット当たり総平均蓄積の推定値: $\bar{y}_{st} \pm 2s(\bar{y}_{st}) = 7.9263 \pm 1.4508$ (6.4755~9.3771)

総蓄積の推定値: $M(\bar{y}_{st} \pm 2s(\bar{y}_{st})) = 241,332 \pm 44,173$ (197,159~285,505)

百分率誤差: 18.30%

Table 10. I法による樹群別の層ごと平均蓄積および
Average stand volume of each statum

層 記号 と 手 順	平 均 蓄 積 の 計 算				分 散 の 計 算		
	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
	抽出された一次単位に含まれるプロット数 $\sum_{i=1}^{n_h} M_{hi}$	$\sum_{i=1}^{n_h} M_{hi} \bar{y}_{hi}$	層ごとの平均蓄積 $\bar{y}_h$ ③/①	総平均蓄積の計算 $W_h \bar{y}_h$	$\sum_{i=1}^{n_h} (M_{hi} \bar{y}_{hi})^2$	$\sum_{i=1}^{n_h} M_{hi} (M_{hi} \bar{y}_{hi})$	$2 \bar{y}_h \times ⑥$
CO 4	457.75	463.8900	1.0134	0.2144	215,193.9321	163,521.2250	331,424.8188
CO 3	282.75	154.0033	0.5447	0.0982	22,980.0719	14,967.6447	16,305.7521
CO 2	210.25	580.7815	2.7623	0.0500	329,866.4746	74,185.6199	409,845.8757
COB4,3	511.75	226.0203	0.4417	0.0911	35,311.8541	39,783.8130	35,145.0204
COB2,1	541.25	6.6330	0.0123	0.0004	43.9967	1,333.2330	32.7975
CB 3,2	154.50	384.9430	2.4915	0.0944	133,827.1722	50,043.7255	249,367.8842
MO	312.50	854.7468	2.7352	0.3717	380,016.9581	136,471.1529	746,551.7948
MB	465.50	518.1570	1.1131	0.0490	235,654.0520	219,792.1710	489,301.3311
HO	810.25	6060.3630	7.4796	0.9903	18,365,043.4055	2,455,701.3848	36,735,328.1555
計				1.9595			

プロット当たり総平均蓄積： $\bar{y}_{st} = \sum W_h \bar{y}_h = 1.9595$

〃 分散： $v(\bar{y}_{st}) = \sum W_h^2 v(\bar{y}_h) = 0.039427$

分離比推定法による総蓄積の推定 (広葉樹)
and total stand volume estimation of hardwood.

(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)
$\bar{y}^2 \sum_{i=1}^{n_h} M_{hi}$		$\frac{n_h}{(n_h-1)(\sum M_{hi})^2}$	層ごと平均蓄積の分散 $v(\bar{y}_h)$ $(9) \times (10)$	W_h^2	総平均蓄積の分散 $W_h^2 v(\bar{y}_h)$ $(11) \times (12)$	層ごと標準誤差 $s(\bar{y}_h)$ $\sqrt{(13)}$	誤差率 $s(\bar{y}_h)/\bar{y}_h$ $\times 100$ %
	(5)+(8)-(7)						
138,987.8254	22,756.9387	0.000009545	0.217215	0.044775	0.009726	0.466063	45.99
13,095.4664	19,769.7862	0.000025016	0.494561	0.032508	0.016077	0.703250	129.11
176,809.7885	96,830.3874	0.000045244	4.380994	0.000328	0.001437	2.093082	75.77
32,053.0887	32,219.9224	0.000007637	0.246064	0.042560	0.010472	0.496048	112.30
23.6287	34.8279	0.000006827	0.000238	0.001129	0.000000	0.015427	125.42
116,940.3207	1,399.6087	0.000083786	0.117268	0.001436	0.000168	0.342444	13.74
369,622.0430	3,087.2063	0.000020480	0.063226	0.018469	0.001168	0.251448	9.19
254,447.5448	800.2657	0.000009230	0.007386	0.001936	0.000014	0.085942	7.72
18,377,123.5081	6,838.7581	0.000003046	0.020831	0.017530	0.000365	0.144329	1.93
					0.039427		

プロット当たり総平均蓄積の推定値: $\bar{y}_{st} \pm 2s(\bar{y}_{st}) = 1.9595 \pm 0.3971$ (1.5624~2.3566)

総蓄積の推定値: $M(\bar{y}_{st} \pm 2s(\bar{y}_{st})) = 59,661 \pm 12,091$ (47,570~71,752)

百分率誤差 20.27%

Table 11. 階層別 ha 当たり平均材積一覧表

Average stand volume on each stratum

記号と 手順 階 層	ha 当 た り 平 均 材 積									
	針 葉 樹		広 葉 樹		全 樹 種		面 積	針 葉 樹	広 葉 樹	全 樹 種
	材 積 y_{hc} $25 \times \bar{y}_{hc}$	標準誤差 $25 s(\bar{y}_h)$	材 積 y_{hh} $25 \times \bar{y}_{hh}$	標準誤差 $25 s(\bar{y}_h)$	材 積 y_h $25 \times \bar{y}_h$	標準誤差 $25 s(\bar{y}_h)$				
CO 4	299.2850	83.5293	25.3350	11.6516	324.6200	71.8783	257.65	77110.7802	6527.5628	83638.3430
CO 3	243.3325	18.1629	13.6175	17.5813	256.9475	35.7436	219.56	53426.0837	2989.8583	56415.3931
CO 2	138.8825	16.9989	69.0575	52.3271	207.9425	35.3282	22.02	3058.1927	1520.6462	4578.8939
COB 4, 3	260.0300	9.3000	11.0425	12.4012	271.0700	21.6981	251.22	65324.7366	2774.0969	68098.2054
COB 2, 1	37.2150	24.3719	0.3075	0.3857	37.5200	23.9874	40.94	1523.5821	12.5891	1536.0688
CB 3, 2	172.7375	5.0397	62.2875	8.5611	235.0275	13.5971	46.20	7980.4725	2877.6825	10858.2705
MO	178.0075	3.0167	68.3800	6.2862	246.3875	9.3016	165.50	29460.2413	11316.8900	40777.1313
MB	40.4300	0.8120	27.8275	2.1486	68.2600	2.9897	53.56	2165.4308	1490.4409	3656.0056
HO	7.7875	7.8925	186.9900	3.6082	194.7775	11.5019	161.23	1255.5786	30148.3977	31403.9763
計							1217.88	241305.0986	59658.1644	300962.2879

Table 12. 小班別林相区分面積表
Area of sub-compartments.

小班 階層	い	ろ	は	に	ほ	へ	と	ち	り	ぬ	る	を	計
CO 4	Dot 数 93 ha 5.75	92 5.69	159 9.83	205 12.68	178 11.01	102 6.31		2624 162.28	51 3.15	513 31.73		149 9.22	4166 257.65
CO 3	95 5.88	115 7.11			394 24.37	311 19.24	97 6.00	2206 136.43	123 7.61	110 6.80	83 5.13	16 0.99	3550 219.56
CO 2	52 3.22	31 1.92						273 16.88					356 22.02
COB 4, 3	61 3.77	69 4.27	58 3.59			140 8.66	38 2.35	1747 108.05	1941 120.04	8 0.49			4062 251.22
COB 2, 1	14 0.87	154 9.52	262 16.20						194 12.00	38 2.35			662 40.94
CB 3, 2		82 5.07			69 4.27			475 29.38	92 5.69	29 1.79			747 46.20
MO	284 17.56	714 44.16	162 10.02	24 1.49		13 0.80	28 1.73	35 2.16	49 3.03	215 13.30	52 3.22	1100 68.03	2676 165.50
MB		44 2.72	141 8.72			265 16.39	104 6.43	117 7.24	195 12.06				866 53.56
HO	825 51.02	455 28.14	75 4.64	106 6.55	102 6.31	40 2.47		4 0.25		133 8.23	384 23.75	483 29.87	2607 161.23
計	1424 88.07	1756 108.60	857 53.00	335 20.72	743 45.96	871 53.87	267 16.51	7481 462.67	2645 163.58	1046 64.69	519 32.10	1748 108.11	19,692 1,217.88

Table 13. 小班別針広別

Stand volume of each

小 班	い				ろ			
階 層	面 積	蓄 積			面 積	蓄 積		
		針 葉 樹	広 葉 樹	全 樹 種		針 葉 樹	広 葉 樹	全 樹 種
記 号 手 順	A_{kh} ha	Y_{khe} $A_{kh} \times Y_{he}$	Y_{khh} $A_{kh} \times Y_{hh}$	Y_{kh} $A_{kh} \times Y_h$	A_{kh} ha	Y_{khe} $A_{kh} \times Y_{he}$	Y_{khh} $A_{kh} \times Y_{hh}$	Y_{kh} $A_{kh} \times Y_h$
CO 4	5.75	1720.889	145.676	1866.565	5.69	1702.932	144.156	1847.088
CO 3	5.88	1430.795	80.071	1510.866	7.11	1730.094	96.820	1826.914
CO 2	3.22	447.202	222.365	669.567	1.92	266.654	132.590	399.244
COB4,3	3.77	980.313	41.630	1021.943	4.27	1110.328	47.151	1157.479
COB2,1	0.87	32.377	0.268	32.645	9.52	354.287	2.927	357.214
CB 3, 2					5.07	875.779	315.798	1191.577
MO	17.56	3125.812	1200.753	4326.565	44.16	7860.811	3019.661	10880.472
MB					2.72	109.970	75.691	185.661
HO	51.02	397.318	9540.230	9937.548	28.14	219.140	5261.899	5481.039
計	88.07	8134.706	11230.993	19365.699	108.60	14229.995	9096.693	23326.688
ha 当たり 平均蓄積		92.366	127.523	219.890		131.031	83.763	214.795
小 班	ほ				へ			
CO 4	11.01	3295.128	278.938	3574.066	6.31	1888.488	159.864	2048.352
CO 3	24.37	5930.013	331.858	6261.871	19.24	4681.717	262.001	4943.718
CO 2								
COB4,3					8.66	2251.860	95.628	2347.488
COB2,1								
CB 3, 2	4.27	737.589	265.968	1003.557				
MO					0.80	142.406	54.704	197.110
MB					16.39	662.648	456.093	1118.741
HO	6.31	49.139	1179.907	1229.046	2.47	19.235	461.865	481.100
計	45.96	10011.869	2056.671	12068.540	53.87	9646.354	1490.155	11136.509
ha 当たり 平均蓄積		217.839	44.749	262.588		179.067	27.662	206.729
小 班	り				ぬ			
CO 4	3.15	942.748	79.805	1022.553	31.73	9496.313	803.880	10300.193
CO 3	7.61	1851.760	103.629	1955.389	6.80	1654.661	92.599	1747.260
CO 2								
COB4,3	120.04	31214.001	1352.542	32539.543	0.49	127.415	5.411	132.826
COB2,1	12.00	446.580	3.690	450.270	2.35	87.455	0.723	88.178
CB 3, 2	5.69	982.876	354.416	1337.292	1.79	309.200	111.495	420.695
MO	3.03	539.363	207.191	746.554	13.30	2367.500	909.454	3276.954
MB	12.06	487.586	335.600	823.186				
HO					8.23	64.091	1538.928	1603.019
計	163.58	36464.914	2409.873	38874.787	64.69	14106.635	3462.490	17569.125
ha 当たり 平均蓄積		222.918	14.732	237.650		218.065	53.524	271.590

立木材積表

sub-compartment.

は				に			
面積	蓄積			面積	蓄積		
	針葉樹	広葉樹	全樹種		針葉樹	広葉樹	全樹種
A_{kh} ha	Y_{khc} $A_{kh} \times Y_{hc}$	Y_{khh} $A_{kh} \times Y_{hh}$	Y_{kh} $A_{kh} \times Y_h$	A_{kh} ha	Y_{khc} $A_{kh} \times Y_{hc}$	Y_{khh} $A_{kh} \times Y_{hh}$	Y_{kh} $A_{kh} \times Y_h$
9.83	2941.972	249.043	3191.015	12.68	3794.934	321.248	4116.182
3.59	933.508	39.643	973.151				
16.20	602.883	4.982	607.865				
10.02	1783.635	685.168	2468.803	1.49	265.231	101.886	367.117
8.72	352.550	242.656	595.206				
4.64	36.134	867.634	903.768	6.55	51.008	1224.785	1275.793
53.00	6650.682	2089.126	8739.808	20.72	4111.173	1647.919	5759.092
	125.485	39.417	164.902		198.416	79.533	277.949
と				ち			
6.00	1459.995	81.705	1541.700	162.28	48567.970	4111.364	52679.334
				136.43	33197.853	1857.836	35055.689
				16.88	2344.337	1165.691	3510.028
2.35	611.071	25.950	637.021	108.05	28096.242	1193.142	29289.384
				29.38	5075.028	1830.007	6905.035
1.73	307.953	118.297	426.250	2.16	384.496	147.701	532.197
6.43	259.965	178.931	438.896	7.24	292.713	201.471	494.184
				0.25	1.947	46.748	48.695
16.51	2638.984	404.883	3043.867	462.67	117960.586	10553.960	128514.546
	159.842	24.524	184.365		254.956	22.811	277.767
る				を			
5.13	1248.296	69.858	1318.154	9.22	2759.408	233.589	2992.997
				0.99	240.899	13.481	254.380
3.22	573.184	220.184	793.368	68.03	12109.850	4651.891	16761.741
23.75	184.953	4441.013	4625.966	29.87	232.613	5585.391	5818.004
32.10	2006.433	4731.055	6737.488	108.11	15342.770	10484.352	25827.122
	62.506	147.385	209.891		141.918	96.979	238.897

総蓄積 300963.271

Table 14. 森林調査簿 (群馬県利根郡片品村大字戸倉)
Descriptions of forest

区画	面 積			地 況		林			
小 班	林 地 第一種	除 地	計	地 位 (地利)	方 位 (傾斜)	樹 種	混 交 歩 合	林 齢	齢 級
い	64.37	貸電 0.54 貸道 0.60 沢 0.06	65.57	広2 (3)	SE 中急	ヒ バ コ メツガ ブ ナ ミズナラ 広	5 10 60 10 15	80 10—140	XVI
ろ	128.92	貸道 (0.06) (0.18)	129.16	ツガ2 (ク)	ク ク	コメツガ アオトド ブ ナ 広	50 20 20 10	90 30—200	XVIII
は	59.69	沢 (0.05)	59.74	広2 (3)	SE 中	アオトド トウヒ コメツガ ネズコ カンバ 広	15 10 40 35	90 90—200	XVIII
に	19.93	貸道 (0.30) 沢 (0.36)	20.59	ツガ2 (3)	NW 中急	コメツガ アオトド 広	50 30 20	90 30—200	XVIII
ほ	46.02	貸道 0.18 沢 0.40	46.60	広2 (ク)		コメツガ アオトド 広	40 40 20	90 30—200	XVIII
へ	56.15	沢 0.09	56.24	広2 (ク)	SE S (ク)	アオトド トウヒ カンバ 広	60 25 10 5	90 30—200	XVIII

担当区土出 62 林班)

note 1960.

況									備 考	
立 木 度	疎 密 度	直 径 cm	樹 高 m	林 種	林 相	摘 要	材 種			
							調 査 別	總 m ³	ha 当 m ³	
5	中	$\frac{18}{6-50}$	$\frac{15}{5-19}$	天	L		目	$\begin{array}{r} \text{N} \quad 966 \\ \text{L} \quad 5,471 \\ \hline \text{小計} \quad 6,437 \end{array}$	100	
〃	〃	$\frac{30}{10-60}$	$\frac{16}{8-22}$	〃	N L		〃	$\begin{array}{r} \text{N} \quad 10,829 \\ \text{L} \quad 4,641 \\ \hline \text{小計} \quad 15,470 \end{array}$	120	
	疎	$\frac{20}{10-80}$	$\frac{13}{7-18}$	〃	L	昭33 択伐 〃35 天下 〃34 被害	〃	$\begin{array}{r} \text{N} \quad 1,045 \\ \text{L} \quad 3,133 \\ \hline \text{小計} \quad 4,178 \end{array}$	70	
5	中	$\frac{20}{10-80}$	$\frac{13}{7-18}$	〃	N	昭32 択伐 〃34 天下	〃	$\begin{array}{r} \text{N} \quad 2,073 \\ \text{L} \quad 518 \\ \hline \text{小計} \quad 2,591 \end{array}$	130	
〃	〃	$\frac{20}{10-60}$	$\frac{13}{7-18}$	〃	〃	昭34 択伐	〃	$\begin{array}{r} \text{N} \quad 4,786 \\ \text{L} \quad 1,197 \\ \hline \text{小計} \quad 5,983 \end{array}$	130	
〃	〃	$\frac{30}{6 \sim 76}$	$\frac{17}{6 \sim 24}$	〃	〃	昭35 択伐	〃	$\begin{array}{r} \text{N} \quad 4,786 \\ \text{L} \quad 1,348 \\ \hline \text{小計} \quad 8,984 \end{array}$	160	

区画	面 積			地 況		林			
小 班	林 地 第一種	除 地	計	地 位 (地利)	方 位 傾 斜	樹 種	混 交 歩 合	林 齢	齢 級
と	17.70		17.70	アオ 2 (ク)	S 中	アオトド トウヒ カンバ 広		90 20~200	XVI
ち	489.67	沢 (4.15)	493.82	広 2 (3)	SW 緩中急	アオトド トウヒ コメツガ カンバ	70 10 10 10	140 50~220	XXVIII
り	25.17		25.17	アオ 2 (3)	S 中	アオトド トウヒ ツガ カンバ 広	80 10 10	140 60~220	XVIII
り ₁	157.85		157.85	アオ 2 (ク)	S,SW,W ク	アオトド トウヒ カンバ	80 10 10		
ぬ	62.56	貸道 0.09 沢 0.10	62.75	ツガ 2 (ク)	N ク	ヒメツガ コメツガ アオトド 広	10 45 15 30	95 20~250	XIX
る	33.03	貸道 0.44	33.47	ツガ 2 (ク)	ク ク	ヒメツガ コメツガ アオトド 広	10 40 15 35	90 20~250	XVIII
を	107.35	貸道 0.82 電線 0.36 沢 敷	108.53	ツガ 2 (ク)		ヒメツガ コメツガ ブナ 広	15 40 10 35	85 20~250	XVII
計	1,268.41	道路敷 2.02 電線敷 1.36 沢 敷 5.39 8.78	1277.19						

立 木 度	疎 密 度	直 径 cm	樹 高 m	林 種	林 相	摘 要	材 積 況			備 考
							調 査 別	総 m ³	ha 当 m ³	
〃	〃	$\frac{30}{10 \sim 90}$	$\frac{17}{7 \sim 24}$	〃	〃	昭34 被害	〃	N 1,593 L 177 小計 1,770	100	
7	中	$\frac{30}{10 \sim 90}$	$\frac{18}{8 \sim 24}$	天	N		標	N 110,177 L 12,241 小計 122,418	250	
7	中	$\frac{30}{10 \sim 80}$	$\frac{15}{8 \sim 22}$	天	N		毎	N 3,399 L 377 小計 3,776	150	
							目	N 28,413 L 3,157 小計 31,570	200	
〃	〃	$\frac{20}{8 \sim 70}$	$\frac{15}{7 \sim 23}$	〃	N L		〃	N 6,569 L 2,815 小計 9,384	150	
〃	〃	$\frac{20}{8 \sim 70}$	$\frac{15}{7 \sim 23}$	〃	〃			N 3,221 L 1,734 小計 4,955	150	
〃	〃	$\frac{18}{8 \sim 50}$	$\frac{16}{7 \sim 20}$	〃	〃	昭26~28損 28~30天下		N 7,085 L 5,797 小計 12,882	120	
								N 190,158 L 42,731 232,889		

考察した。すなわち、個々の層の針・広別平均材積を、5-3-1 項第 1 法によつて推定し、各小班に含まれる各層の面積をこれに乗じて求めた。なお、この方法による推定値は偏りを含んでいるが、信頼度は高いであろう。

針葉樹、広葉樹別の層ごとの平均材積および標準誤差の計算過程を Table 9, 10 に示す。

針葉樹、広葉樹別および全樹種に対する層ごとの平均材積および標準誤差を 25 倍して ha 当たりに換算したものを Table 11 に示す。

各小班材積は次式により推定できる。

$$Y_i = \sum_{h=1}^m A_{hi} Y_h \pm \sqrt{\sum (A_{hi} S_{yh})^2}$$

ただし、 Y_i は i 小班の材積

A_{hi} は i 小班に含まれる h 層の面積

Y_h は h 層の ha 当たり材積

S_{yh} は h 層の ha 当たり材積の標準誤差

調査対象地区の小班ごとの層別面積および材積の計算過程を Table 12, 13 に示す。

5-3-5 既往資料との比較

前項により各小班別林相構成の状態、およびそれに基づく材積推定が行なわれた。これを既往の資料、

Table 15. 針広別小班材積比較
Comparison of stand volume of Table 13 and Table 14.

小 班	針 葉 樹 N	広 葉 樹 L	計 Total	ha 当 たり
	m^3	m^3	m^3	m^3
い	Table (14) 966 Table (13) 8,135	5,471 11,231	6,437 19,366	(100) (220)
ろ	10,829 14,230	4,641 9,097	15,470 23,327	(120) (214)
は	1,045 6,651	3,133 2,089	4,178 8,739	(70) (165)
に	2,073 4,111	518 1,648	2,591 5,759	(130) (278)
ほ	4,786 10,012	1,197 2,057	5,983 12,069	(130) (263)
へ	7,636 9,646	1,348 1,490	8,984 11,137	(160) (207)
と	1,593 2,639	177 405	1,770 3,034	(100) (184)
ち	110,177 117,961	12,241 10,554	122,418 128,515	(250) (278)
り	+ (3,399 28,413 36,465	(377 3,157 2,410	(3,776 31,570 38,875	(150) (200) (238)
ぬ	6,569 14,107	2,815 3,462	9,384 17,569	(150) (272)
る	3,221 2,006	1,734 4,731	4,955 6,737	(150) (210)
を	7,085 15,343	5,797 10,484	12,882 25,827	(120) (239)
計	187,792 241,306	42,606 59,658	230,398 300,954	(1,830) (2,768)

すなわち、昭和 35 年編成の経営計画森林調査簿（Table 14）との材積値の比較を行なった結果は（Table 15）のごとくである。

すなわち、各小班値の総計において、約 70,000 m^3 の材積値の増大を示したが、総蓄積の比較は 5-3-3 項における推定値をもつて比較すべきである。各小班においてはそれぞれ ha 当たり蓄積量は増大していることがみられる。

なお、小班の面積に関しては基本図における境界線を、林相区分図上に地況、現地境界位置を照合して挿入したが、基本図図形が適合せず、ややその位置を変更せざるを得ぬ部分を生じたので、小班面積にも Table 16 のごとき差異を生じている。

5—3—6 一次抽出単位の選択についての検討

5-3-2 項の複合比推定法には $1/n$ のオーダーで

+ 50.23 (除地)

はあるが偏りが導入されるために、これによる層別の平均蓄積にもとづく小班蓄積の推定値にも偏りが含まれる。また不偏推定値を与える方法では、一次抽出単位間の変動が大きい場合には結果の信頼度が小となるおそれがある。森林調査においては二次抽出プロット、すなわち現地調査点の数はあらかじめ定められた方が実行上は好都合であり、また前述のように航空写真により詳細に林型の区分と整理が行なわれ、それに基づき層化が実施されるならば、第一次抽出単位となるべき区画の面積測定は比較的容易に行ないうる。

このような条件のもとにおいては、不偏推定値を求める方法としては次の 2 つが考えられる。

- (1) 一次抽出単位の大きさを一定にして抽出する。
- (2) 一次抽出単位をその大きさに比例した確率で抽出する。

(1) の方法は現在、国有林資源調査に用いられている方法であるが、この場合層化は齢級等をもつて行なわれているが、既設の小班をそのまま使用することが普通である。したがって、これを一定の大きさ（普通 $100 \times 100 m$ の方形）の一次抽出単位に分けていることである。

この研究においては林相を基準として層化を行なったが、このような場合、一次抽出単位、すなわち、同一林型として区画される林分の大きさは大小さまざまである。したがってこれを一定にするためには、そのおのおのをそれらのうちの最少の区画の大きさと同等またはそれ以下に分画する必要が生ずる。

ゆえにこのように林相区分図が作成され、各林相に含まれる面積が知られ、またおのおのの林型区画の面積が知られるなれば、これを第一次抽出単位として確率比例による、法すなわち (2) 法が適切であろう。

この場合においても一次抽出単位の大きさにあまりに大きな差があると、標本が小区画におちる機会が少なくなり大きな区画に集中するおそれがある。したがって、それを均等化するためにはできるだけその差を少なくする必要が生じる。すなわち、大きな一次抽出単位は再分画をした方がよい。

本研究においても最大区画は大きさを $10 ha$ 当たりを目安として再分画したが、一部にこれ以上のものも含まれその差は大きい。

Table 16. 小班面積比較
Comparison of sub-compartment area.

小 班	調 査 簿	林 相 区 分 図
	ha	ha
い	64.37	88.07
ろ	128.92	108.60
は	56.69	53.00
に	19.93	20.72
ほ	46.02	45.96
へ	56.15	53.87
と	17.70	16.51
ち	489.67	462.67
り	+ 25.17	163.58
ぬ	157.85	64.69
	62.56	
る	33.03	32.10
を	107.35	108.11
計	1,268.41	1,217.88

いま、本研究が(2)の方法で行なわれたと仮定した場合、すなわちほとんど同一の大きさにおのおのの林型区画が分割、また統合されていて、これを第一次抽出単位とした場合には層当たり、および全体の平均値、分散等の計算は次のように行なわれる。

i) 平均値

h 層について

$$\bar{y}_h = \frac{\sum_{i=1}^{nh} y_{hi}}{\sum_{i=1}^{nh} m} = \frac{\sum_{i=1}^{nh} \sum_{j=1}^m y_{hij}}{n_h m} \quad (m \text{ は一定})$$

$$\begin{aligned} E(\bar{y}_h) &= \frac{1}{n_h} E(t_{h1}\bar{y}_{h1} + \cdots + t_{hN}\bar{y}_{hN}) \\ &= \frac{1}{n_h} \sum_{i=1}^N \frac{n M_{hi} \bar{Y}_{hi}}{M_h} = \bar{Y}_h \quad \text{ただし} \quad t_{hi} = \frac{M_{hi}}{M_h} \end{aligned}$$

となるので $\bar{y}_h$ は不偏である。

全体について

$$\bar{y}_{st} = \sum_{h=1}^L \frac{M_h}{M} \bar{y}_h = \frac{1}{M} \sum_{h=1}^L \frac{M_h}{n_h m} \sum_{i=1}^{nh} y_{hi}$$

ii) 分散

h 層について

前述した近似分散の不偏推定量

$$v(\hat{R}_h) = \frac{1}{n_h(n_h-1)M_h^2} \sum_{i=1}^n \left\{ \frac{M_{hi}}{Z_{hi}m} (y_i - \hat{R}_{xi}) \right\}^2$$

において

$$Z_i = \frac{M_{hi}}{M_h} \quad x_i = m \quad \hat{R} = \bar{y}_h \quad \hat{R}_{xi} = \bar{y}_h \quad m = \bar{y}$$

$$v(\bar{y}_h) = \frac{1}{n_h(n_h-1)m^2} \sum_{i=1}^{n_h} \{(y_i - \bar{y})\}^2$$

全体について

$$v(\bar{y}_{st}) = \sum_{h=1}^L W_h^2 v(\bar{y}_h)$$

なお、各層ごとの分散の計算に含まれている $\sum_{i=1}^{n_h} \{(y_i - \bar{y})\}^2$ は n_h が 2 であるので $\frac{1}{2}(y_1 - y_2)^2$ と表わすことができる。

iii) 計算例

この研究で得られた結果がもしこの仮定のように一次抽出単位が編成され、その大きさに比例して抽出されたとした場合の上記式による計算の結果を Table 17 に示す。

この結果を 5-3-3 項の場合に比べれば、それが全体では約 3 倍すぐれた効率をもっていることがわかる ($2.7634/0.8917 \approx 3$)。

今回は、一次抽出単位の大きさを前もって知ることができなかつたので、この方法を適用できなかった。

Table 17. 一次抽出単位をその大きさに比例した確率で抽出した場合の計算例 (全樹種をこみにした場合)

記号と 手順 層	平均蓄積の計算					分散の計算						
	① 一次抽出単位 ごとに集計したプロ ット材積 y_{hi}	② 層ごとに集 計したプロ ット材積 $\sum_{i=1}^{nh} y_{hi}$	③ 層ごとプロ ット当たり 平均蓄積 $\bar{y}_h$ ②/4	④ 重み W_h	⑤ 総平均蓄 積の計算 $W_h \bar{y}_h$ (③×④)	⑥ 一次抽出単 位間の差 $y_{h1}-y_{h2}$	⑦ $\frac{1}{2}(y_{h1}-y_{h2})^2$ $\frac{1}{2} \times \text{⑥}$	⑧ 層ごと平均 蓄積の分散 $v(\bar{y}_h)$	⑨ W_h^2	⑩ 総平均蓄積 の分散計算 $W_h^2 v(\bar{y}_h)$ (⑧×⑨)	⑪ 層ごと標準 誤差 $s(\bar{y}_h)$ $\sqrt{\text{⑧}}$	⑫ 誤差率 $s(\bar{y}_h)/\bar{y}_h \times 100$
CO4	38.474 22.234	60.708	15.1770	0.2116	3.2115	16.240	131.868800	16.483600	0.044775	0.738053	4.0600	26.75
CO3	18.394 24.777	43.171	10.7927	0.1803	1.9459	6.383	20.371344	2.546418	0.032508	0.082779	1.5957	14.78
CO2	13.012 18.951	31.963	7.9908	0.0181	0.1446	5.939	17.635861	2.204483	0.000328	0.000723	1.4848	18.58
COB4,3	20.532 25.190	45.722	11.4305	0.2063	2.3581	4.658	10.848482	1.356060	0.042560	0.057714	1.1645	10.19
COB2,1	4.527 0.417	4.944	1.2360	0.0336	0.0415	4.111	8.450161	1.056270	0.001129	0.001193	1.0277	8.31
CB2,3	19.418 14.260	33.678	8.4195	0.0379	0.3191	5.158	13.302482	1.662810	0.001436	0.002388	1.2895	15.32
MO	18.875 20.381	39.256	9.8140	0.1359	1.1337	1.506	1.134018	0.141752	0.018469	0.002618	0.3765	3.83
MB	5.338 9.907	15.245	3.8113	0.0440	0.1678	4.569	10.437881	1.304735	0.001936	0.002526	1.1422	29.97
HO	14.685 16.927	31.212	7.8030	0.1324	1.0331	1.842	1.696482	0.212060	0.017530	0.003717	0.4605	1.48
計					10.5553					0.891711		

プロット当たり総平均蓄積: $\bar{y}_{st} = \sum_{h=1}^L W_h \bar{y}_h = 10.5553$

〃 の分散: $v(y_{st}) = \sum_{h=1}^L W_h^2 v(\bar{y}_h) = 0.891711$

プロット当たり総平均蓄積の推定値: $\bar{y}_{st} \pm s_2(\bar{y}_{st}) = 10.5553 \pm 1.8886$ (8.6667~12.4439)

総蓄積の推定値: $M(\bar{y}_{st} \pm 2s(\bar{y}_{st})) = 321.377 \pm 57.502$ (263.875~378.879)

百分率誤差: 17.89%

注: $v(\bar{y}_h) = \frac{1}{n_h(n_h-1)m^2} \sum_{i=1}^{nm} (y_i - \bar{y}_h)^2$

6. あ と が き

航空写真の利用によつて経営管理の情報をうる必要性は集約林業国家において急激に増大してきているが、その方法はさまざまである。それは各国において森林の構造と経営の形態、また方法がことなるとともに、写真測定の技術に大きなちがいがあるからである。

日本においても、事業目的に対する利用、ことに事業単位面積の林分材積測定についてかずかずの試みが行なわれているが、現在の一般的写真利用技術、また写真の撮影条件からみて、所要な精度をもつて予期の効果を上げるにはなお多くの問題が存在する。たとえば写真材積表の調製と適用にあつても、それにはその基準となるべき本邦の地方別、林分構造の把握と精度を満たすべき測定資料の収集が行なわれなければ、目的に合致した効果を期待することはできない場合が多い。本研究はこれらの基礎を作成し、また現在の段階において実施しうる森林調査法の一手法を示したものである。

林相区分図の作成は、反射立体鏡、スケッチマスター等簡単な用具をもつて実施しうるものであるが、もちろんケルシプロッター等の使用が可能であればその能率は倍加する。

なお判読結果の現地検討については、ヘリコプター等の低速航空機の利用は効果が著しいものである。

また、立木材積の現地測定作業が適切な層化抽出法の選択によつて効率化するであろうことは5-3-6に述べたところである。

なおこの研究は天然生林について行なわれたが、ついで人工林を主体とした場合についての研究を昭和37年3月静岡県下天城国有林において実施した。また、これらの結果の総合検討にもとづいて、取りまとめの研究を現在福島県下白河国有林管内に実施中である。

なお本研究は林野庁計画課のご協力により実施されたものであり、また前橋営林局計画課、沼田営林署のご助力を得た。関係各位に深く感謝の意を表わすものである。

文 献

- 1) 中島 巖：標本調査を目的とした林型の図化に関する研究，林試研報 129，(1961)。
- 2) Boon, D. A. : Result of forest type mapping in Switzerland. I. T. C. Publication B4, Delft, the Netherland, (1960)。
- 3) STALLINGWERF, D. A. : Method and result of a forestry photo-interpretation. I. T. C. Publication B8. Delft, the Netherland, (1960)。
- 4) 中島 巖：森林航測概要，地球出版社 (1961)。
- 5) SPURR, S. H. : Photogrammetry and Photo-interpretation. The Ronald Press Co. N. Y. (1960)。
- 6) American Society of Photogrammetry : Manual of Photographic Interpretation. (1960)。
- 7) COCHRAN, W. G. : Sampling Techniques. John Wiley & Sons Inc. N. Y. (1953)。

**Forest Type Mapping and Volume Estimation
on a Natural Forest in Japan (I).**

Iwao NAKAJIMA, Hitoshi AWAYA, Yukio HIWATASHI
and Kuniko HASEGAWA

(Résumé)

1. Preface

Because of the tardiness of rationalization of forestry, as compared with other industries in Japan, the working population in forestry is decreasing year by year.

On the other hand, the increase of the demand of forestry products, needs the more accurate information on the forest resources and productive power at the present time and in future.

The forest inventory works in Japan have been carried out by the ocular method mainly. The application of aerial photographs and sampling method have been adopted in recent years for getting the total stand volume of each management unit area. These are not for the information of the forest control works in Japanese intensive forest stands which are constructed by the compartment and sub-compartment unit as in European countries. The problem now is: How to get more accurate data on small forest stands in shorter time and by the limited labour force.

The author, Iwao NAKAJIMA, studied "Forest typemapping in combination with a forest sampling project" on Swiss forests at the International Training Center for Aerial Survey, Delft, the Netherlands in 1959.

All forestry conditions are different in every country of the world. This research on the above stated problems of the forest type mapping and inventory works was carried out in 1961 by the use of aerial photographs under the local conditions of Japanese Government natural forest.

2. Local condition of the surveyed forest and aerial photographs.

The surveyed forest located in the north-east part of Gunma prefecture, about 150 km from Tokyo, belongs to the Maebashi Regional Forest Office, Numata District Forest Office, Compartment No. 62., the total area of this compartment being 1,277.56 ha.

The elevations vary between 1,400 m and 2,100 m above sea-level. The southern parts of this are steep, the other parts of the forests are situated on a plateau with steep escarpment toward the streams.

Road system is poor, and exploitation of resources are behind; only select cutting has been done since 1956 on the western part of that area.

In this region, coniferous trees are preponderant: Hiba (*Thujaopsis dolabrata* SIEB. et Zucc.) and Tsuga (*Tsuga Sieboldii* CARR.) are dominant in the part lower than 1,600 m, and above that are Aomoritodomatsu (*A. Mariesii* MAST.) and Kometsuga (*Tsuga diversifolia* MAST.). Their average stand age is about 150~200 years. Hardwood are predominantly composed of Beech which show decrease in the higher parts.

Some parts damaged by the typhoon in December 1959 could still be seen.

The whole surveyed area was covered by 3 flight runs and a total of 17 exposures of aerial photography. Photographs were made with a Wild RC 5 Camera, focal length of 209.92 mm and Panchromatic film with yellow filter. The average scale of them was about 1/20,000. The date of exposure was 15, Oct. 1957. The higher parts of the forest was covered slightly

with snow at that time. The quality of the photographs was adequate for interpretation purpose.

3. Forest type mapping.

At the beginning stage when this research was started, there was no adequate reference map of this area. Only a 1/50,000 topographic map and 1/5000 cadastral map was available, but both showed no detail feature of terrain. Consequently, this mapping work had to start from the drawing up of a suitable base map on a fine scale. The following course was adopted.

A. Base map construction.

1. Construction of index map (Fig. 1).
2. Construction of base map by graphical triangulation.
3. Transferring of topographic detail from photo print on to the base map.

B. Forest type map construction.

1. The classification of forest types.
2. Photo interpretation.
3. Transferring of the definite type boundaries obtained by photo interpretation upon the base map.

C. Final map construction.

1. Ground check (field work)
2. The correction of interpreted results.

The classification of forest types was based upon the average stand height, crown density and their composition. The differentiation of the tree species was only based upon the difference between coniferous and hardwood. By using this method the following classification system was obtained.

A. According to the forest composition.

- a. Coniferous (C)
- b. Hardwood (H)
- c. Mixture (M)

Over 80 per cent of coniferous or hardwood in the crown canopy was classified as pure, and a composition of 20~80 per cent of one of these groups was classified as mixture.

B. According to stand height.

- a. Young stand 0~10 m (Y)
- b. Pole timber stand 10~20 m (B)
- c. Saw timber stand 20~over (O)

C. According to crown density.

- a. Very open 0~ 10% (1)
- b. Open 10~ 40% (2)
- c. Medium 40~ 70% (3)
- d. Dense 70~100% (4)

By this system, the type classification gave 36 types. The minimum area to be differentiated was $1/4$ ha.

The interpretation of the photographs was done by observation of differences in contrast, tone and texture, by determining special features in crown distribution, crown shape and by measuring differences in average stand height and crown density. This work was done under the mirror stereoscope using binocular enlargement.

From the result of photo interpretation, some types were lacking in this area, and composed types appeared such as COB3 and COB4. Then the type system resulted as follows :

	Coniferous	Hardwood	Mixture
Young stand	CY 1,2		
Pole timber stand	CB 1,2,3,4		MB 1,2
Saw timber stand	CO 1,2,3,4	HO 2,3,4	MO 2,3,4
Pole-Saw timber stand	COB 3,4		

Besides the above, the non-forest area was divided.

The definite type boundaries obtained by interpretation were transferred upon the base map, which scale was 1/5,000 the photo interpretation work taking 70 man days. The 1/5,000 topographic map was completed by using the stereo-top at this stage, then the type boundaries were transferred on to the topographic map from the above base map. It took one person 4 days.

By the field check work, possible mis-interpretations made during the office work were ascertained and possible changes in the forest composition after the photograph was made were indicated. Since the date of exposure, 5 years passed before field check was made, so big changes caused by typhoon and select cutting works had taken place during that time which were not present on photograph prints.

The above special area or snow covered area on the photographs had to be studied carefully because these held the main source of errors of type mapping work. Field work was carried out by 3 staff members and 2 assistants in 5 days. The corrections made during the field-check, were transferred to the topographic base map and compared with the former interpreted results. Where necessary, a new interpretation was made upon a duplicate set of photographs.

After the final boundaries were defined, each type was colored to get a good overall impression of distribution of types within the different areas.

4. Forest type compositions form 2 different type maps.

Measurement of each type area was made by dot counting of 2 different type maps for getting the present type compositions and also as they stood 5 years earlier. For this purpose a dot grid was used with 16 dots per one *ha*. The standard error of this measurement was less than 1% in every type.

The results of these 2 different area determinations are given in Table 1 (p. 41). In this table the following indications are used.

- A : Type area before field check.
- B : Type area after field check.
- C : Difference between A and B.

When we put aside the misinterpretation area, the records under column C give the qualitative change of the forest types in 5 years. Also their locations are known from the comparison of the 2 maps.

As for the general aspect, 49.8 *ha* of the coniferous stands was changed into the hardwood and mostly mixture stand by select cutting and typhoon damage.

For instance 15.84 *ha* of CB4 was changed into MB2 by typhoon, and 27.55 *ha* of CO4 changed into CO3 by select cutting. Also 113.61 *ha* of COB3 was changed into MB2 and CO3 by typhoon damage. As to the misinterpretation of photograph in 8.31 *ha* of MO4, this was due to the shadow influence. This area was confirmed as HOB3 by field check. The non-forest area was slightly increased, being the newly cut area for road system or cable.

5. Volume estimation

Several methods of stand volume estimation can be applied when using aerial photographs. But the method of photo volume table needs a lot of time and labour for drawing up the local

volume table newly, if such is not available beforehand.

The method of double or triple sampling from photo and field plots also need many days and much labour for survey, because the numbers of both plots have to be greatly increased when we need a high degree of accuracy in estimation or have wide variances in photo interpretation and photo measurement results. Moreover, as a matter of fact, these methods call for the highest techniques of photo analysis. Thus, under conditions of labour shortage and time for photo operations, we can not expect the utmost efficiency of photo utilization for forest inventory.

Then the following working plan was prepared.

1) The stratification of the whole area based upon the type map and by dividing into similar area blocks by connecting the smaller type stands with neighbouring type stands or by separating the big one type stand into different blocks.

2) Sampling out every 2 blocks from each of the above strata at random.

3) Determining the location of each one field plot on each selected block by squared lattice work.

4) Field work of plot survey on above determined original plots, also sub-sampling plots which are 50 m north from each of the original points. This stratification system and the areas are shown in Table 3.

The field work of this research was done in quite the same way as in the field works adopted on Japanese Government forest sampling works. The locations of the sampling plots were obtained by determining the plot center by pacing off and using a compass for exact bearing. The use of aerial photographs was very necessary for this work. The basal area of sample plots was 0.04 ha circular, each tree over 6 cm B. H. D. was measured in species, height and B. H. D. by using the byposometers and the calipers.

The results of this survey are shown in Table 3.

The method of this volume estimation is a sub-sampling method on the non-equal unit area. The stand volumes were calculated in the whole population, each stratified type, coniferous and hardwoods, and also in each sub-compartment by several ways.

In such a case we can consider two main methods for calculation of volume estimate per basal area on each stratum.

A. The method by the weighted mean, in which the weight is the size of primary sampling unit (ratio method).

The formulae of this method are shown from

(1) (p. 44) to (7) (p. 46),

in these formulae the following indexes are used.

$\bar{y}$ = Average stand volume per one plot.

$\bar{y}_i$ = of i order plot in primary sampling unit.

M_i = Sampling plot numbers which are included in i order on primary sampling unit.

n = Sampling plot numbers of primary sampling unit.

(1) is a typical ratio estimation formula and generally shown as (2). Z is probability of primary sampling unit. (3) shows the approximate variance of unbiased estimation.

The unbiased estimation of variance in (1) is given by (4), when

$$x_{ij}=1, \quad Z_i=\frac{1}{N}, \quad \hat{R}=\bar{y}_i, \quad \hat{X}=\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n \frac{M_i \bar{X}_i}{Z_i} = \frac{N}{n} \sum M_i, \quad x_i=m_i=2$$

The second sampling unit of this research is 0.04 ha circular, then (5) is given when A_i is the area in ha of primary sampling unit. We can get (6) and (7) from the above.

above average stand volumes of each stratum. In this case we used the average stand volumes of the combined ratio estimate method. So the estimated volume has the bias, but must be supported by high confidence.

The calculation procedures and their results are shown in Table 9, 10 and 11. The volume of each sub-compartment are calculated

$$\text{by } Y_i = \sum_{h=i}^m A_{hi} y_h \pm \sqrt{\sum (A_{hi} S_{yh})^2}$$

when Y_i = Stand volume of i sub-compartment.

A_{hi} = Area of h stratum in i sub-compartment.

y_h = Stand volume per ha of h stratum.

S_{yh} = Standard error of stand volume per ha in h stratum.

These are shown in Table 12 and 13.

The comparison of these estimated stand volumes of each sub-compartment with the volumes of their descriptions following a survey in 1960 (Table 14), are shown in Table 15.

6. Discussion for selection of the primary sampling unit.

The combined ratio estimate and unbiased estimate already mentioned both have some defect in their estimated values. In the case of forest inventory, the numbers of the secondary sampling unit must be better when they are settled before.

When we can stratify the population satisfactorily by the forest type map, the area of each block of a type that is a primary sampling unit, can be measured easily. Under such a condition we can adopt the following estimating method of unbiased estimate.

Sampling out the primary unit according to the ratio of the area of each forest types. The area of every forest type are quite different in general, so we must homogenize the size as the primary sampling unit by dividing the big one stand of a type into some blocks, nearly similar in size of the smallest stand of a type.

Assuming we are able to settle the primary sampling unit as above, the estimation values are calculated by the formula of p. 69.

In this research we also divided the big one stand into nearly 10 ha blocks. But still some of them are bigger than 10 ha and the smallest block is 0.25, so they have a big difference.

As for the reference we have calculated the data of this research using the above assumption, and accordingly we got Table 17 (p. 68).

When we compare the result of this with Table 6, they show the efficiency of this method to be almost threefold.

