

森林資源調査法の研究（第1報）

航空写真を利用した標本抽出

調査法の研究（1）

大友 栄 松 ⁽¹⁾	中 島 巖 ⁽²⁾
西 谷 和 雄 ⁽³⁾	栗 屋 仁 志 ⁽⁴⁾
真 辺 昭 ⁽⁵⁾	川 端 幸 蔵 ⁽⁶⁾
葉 袋 次 郎 ⁽⁷⁾	樋 渡 幸 男 ⁽⁸⁾

I ま え が き

森林資源調査法の研究は、1909～12年のスカンジナビア3国の全国的調査についての試験的調査を契機として、その後徐々に各国の林業研究場所において進められ、とくに最近10年間北米合衆国、ノルウェー、スエーデン、フィンランド、カナダ、英国、印度、ドイツ等において活ばつた研究が行われている。

資源調査法の研究としては、航空写真の面からと標本調査法の面からとの研究があるが、それぞれ別個の立場よりの研究が多く、両面からの研究は、最近にいたり研究されているにすぎない（ただし、研究ではなく応用したものとしては、英国の1947～49年に行われた全国森林資源調査が挙げられる）。しかしながら、この両者の併用による調査は、限られた費用、労力、時間において、森林蓄積をはあくしたいという要望の多い今日においては、最も適当な方法であることが海外諸国では広く認められ、北米合衆国、英国ではもちろんのこと、ドイツでも盛んに研究が行われている。ことにこの方法は、東南アジアの旧植民地や南米諸国、アフリカ等で特に利用価値を見い出しているが、日本においても、北海道や中部山岳地帯では大きな効果を発揮できると考えられ、1953～54年に林野庁で行つた全国森林資源調査でもこの方法によつたならば、さらに能率的であつたと想像される。また、1956年より国有林では森林資源調査のプロット設定に航空写真を利用し能率をあげている。

この研究の目的は北米のように比較的地勢の良好な国に発達した調査法を、わが国のような地形急峻な地域において利用する場合にはどのようにしたらよいであろうか、またどのような利点があるだろうか、さらに経営案の調査の場合、航空写真材積表を利用する二重抽出法が考えられるが、まずその基礎となる材積表の調製方法について、日本の森林に最も適合した方法を考究しようとするものである。すなわち、標本調査法に基く森林調査への航空写真の利用方法としては、次のような場合が考えられる。

i) 地上調査の層化のため

(1) 経営部経済科測定研究室長

(2)(4)(5)(6)(7)(8) 経営部経済科測定研究室員

(3) 元経営部測定研究室員・現高知営林局

ii) 地上プロットの設定のため

iii) 二重抽出法の活用

iv) 与えられた種々の林相，林型の林分級でのプロットの分散を航空写真のプロットから推定して，地上の抽出プロット数を決める。

この研究では i), ii) をとりあげ，さらに iii), iv) の基礎として航空写真材積表の調製も研究の対象とした。

この研究のための調査は 1953 年 9・10 月，1954 年 3 月の 3 回にわたって行われ，全所要日数 17 日中実働日数 13.5 日（付表 3 参照）であつた。

II 調査地の概要

位置，名称

山梨県東山梨郡神金村大字落合所在の東京都水源林萩原山 11, 12, 13, 14, 17, 31 林班

経緯度

東経 $138^{\circ} 48' 28''$ から $138^{\circ} 51' 10''$ ，北緯 $35^{\circ} 46' 42''$ から $35^{\circ} 48' 50''$

気象

最近 20 年について述べれば年平均気温は 7.4°C で最高気温は 32.4°C ，最低気温は -20°C ，生育期間（4～10月）における平均気温は 13.4°C である。

年平均湿度は 80 % でその範囲は 11～89 % である。

年降水量の平均は $1,747.2\text{ mm}$ で最少は 1 月の 42.4 mm ，最多は 9 月 271.4 mm ，生育期間の平均は $1,381.9\text{ mm}$ である。

降雪は平均して 12 月上旬から 4 月下旬までであるが最も早いのは 11 月中旬，最も遅いのは 5 月上旬で積雪の深さは 2.5 m であつた。

降水日数の年平均 179 日，月平均は 15 日である。

地況の概要

調査地域の中央部を丹波川支流の柳沢川が西から東に貫流し，四囲は鶏冠黒川山（ $1,700\text{ m}$ ）の支脈と藤尾天狗柵山（ $1,600\text{ m}$ ）の支脈とで囲繞され，隣接地は一部山梨県県有林で，大部分は本調査地区と同じく東京都水源林である。

地形は，一般に急峻であるが，柳沢峠にいたる落合上流の下部地帯は緩傾斜地が多く，造林地もこの地帯に最も多く集中している。

地質は，小仏古生層に属し，基岩は石英閃緑岩，粘板岩，硬砂岩で，調査地内の東部は特に角礫の多い土壌で，急斜地も多く人工造林地は少ない。

林況の概要

調査地域の約 60 % はカラマツを上木，ヒノキを下木とする 30～40 年生の 2 段林であり，保育に基因するものと思われるが，一般に下木のヒノキは，上木のカラマツのため，著しく生育を阻害され，被圧状態にある箇所が多く，ことに上部地帯では，ヒノキがほとんど消失し，カラマツの単純林と化した所もある。

広葉樹林は，全林地の 30 % 以上を占め，とくに 11, 12 の両林班のほとんど大半は広葉樹林で，一部

の地利の不便な箇所を除いて、ほとんど全林にわたり薪炭材として伐採が行われている。樹種は落葉広葉樹でナラ、クリ、ブナ、カエデ類、シデ類が多い。またこの林分には、とくに尾根筋付近に天然生針葉樹のツガ、ウラジロモミ等が侵入していて、その面積は、全調査地の約6%に及ぶ。これらの広葉樹林と針広混交林はともに地位、地利、下級に属する不優位林分である。

地床は、比較的ササの繁茂が少なく、下記のような植物が見られる。

11, 12, 13, 14 林班

高所より出現の順に述べれば

コメツガ・コヨウラクツツジ群叢：コメツガ、コヨウラクツツジ、ミヤコザサ、コミネカエデ。

ウラジロモミ・ヒノキ群叢：ヒノキ、シヤクナゲ、ナガバノヤマツツジ、シノブカグマ、イワウチワ、ウラジロモミ。

サワラ・フジシダ群叢：サワラ、フジシダ、フジノマンネングサ。

ブナ・スズタケ群叢：ブナ、イヌブナ、ハウチワカエデ、スズタケ。

ダケカンバ・スズタケ群叢：ダケカンバ、ハウチワカエデ、スズタケ。

ツガ・ミツバツツジ群叢：ツガ、オノオレカンバ、チチブドウダン、ミツバツツジ、コカンスゲ。

ミズナラ・ヘビノネゴザ群叢：スズタケ、モミジハグマ、イヌヨモギ。

サワグルミ（シオジ）群叢：ヤマシバカエデ、サワグルミ、モミジガサ、ハシリドコロ、ミヤマクマワラビ。

2次林, 17, 31 林班

ミズナラ・ヘビノネゴザ群落：スズタケ、モミジハグマ、イヌヨモギ。

コナラ・ナガバノコウヤボウキ群落：アオダモ、オトコヨウゾメ、シユンラン、コナラ、ナガバノコウヤボウキ。

クリ・クマシデ群落：アカシデ、イヌシデ、ミツバアケビ、クリ、クマシデ。

ミズキ群落：ミズキ、バツコヤナギ、ヤマハンノキ。

Ⅲ 調 査 の 設 計

調査にあたり次のような設計を行つた。

- i) 航空写真より、縮尺 1:5,000 の等高線入り基本図を作製する。
- ii) 林班ごとの面積を決定する。
- iii) 航空写真により林相区分を行い、各林相ごとの面積を決定する。
本調査では各林班内で林相区分された各区画を便宜上小班とよぶことにした。
- iv) 層化抽出調査法を適用することとし、天然生針広混交林、天然生針葉樹林、人工林の3層に分ける。
- v) 基本図を東西の間隔 4 mm、南北の間隔 10 mm の平行線で区画する。
- vi) 現地地上調査により、航空写真より判読した林相区分その他を修正する。
- vii) vi) とともに予備調査を行い、各層ごとの分散、変動係数等を計算する。
- viii) 予備調査の結果に基づき、信頼度 95 % で期待精度下の抽出個数を決定する。
- ix) 予備調査の分を差し引いた個数を現地調査し、蓄積の推定を行う。

1. 使用した航空写真

この調査の初期に使った写真は、青木航空株式会社が K8 (U.S.A. フェアチャイルド社製) を使用して、1952 年 12 月 18 日に撮影したもので、この写真から写真測量株式会社のトリプレックスを使って作製した縮尺 1:5,000 の等高線入りの地図があつたので、これを用いた。なお前記写真は拡大の上縮尺を約 1:10,000 として使用した。しかし、この写真は撮影季節の関係か、陰影による不鮮明な部分著しく、そのため判読の誤りを生じた。この地域を後に大和航空株式会社が、R.M.K (ドイツ、ツアイス・オプトン社製) を使つて、1952 年 12 月に撮影したものは、はるかに鮮明であり、前者で判読を誤まつた林分も、林相が明確に判読でき写真の鮮明度による調査の能率および精度の影響はきわめて大であることが判明した (第 1 図参照)。

2. 面積の決定

面積の決定は、プランメーターを使つて地図の大きさの関係からまず林班面積をおさえ、これに基いて各種の面積を決定した。なお、この場合ドツドグリッド法による面積の測定値をも参考にした。蓄積推定の際、面積査定の誤差は無視した。

3. 層化方法

シンプランダムサンプリングは、調査対象についてなんら事前に情報が得られないときはやむをえないが、なんらかの情報が得られる場合は効率の高い層化抽出法、その他を採用した方がすべての面から有利である。本調査では、航空写真および施業案等があつたので、これらを利用して層化単純抽出法を適用することにした。

北米合衆国あるいは西独で使われている層化の基準として、大体次のようにいわれている。

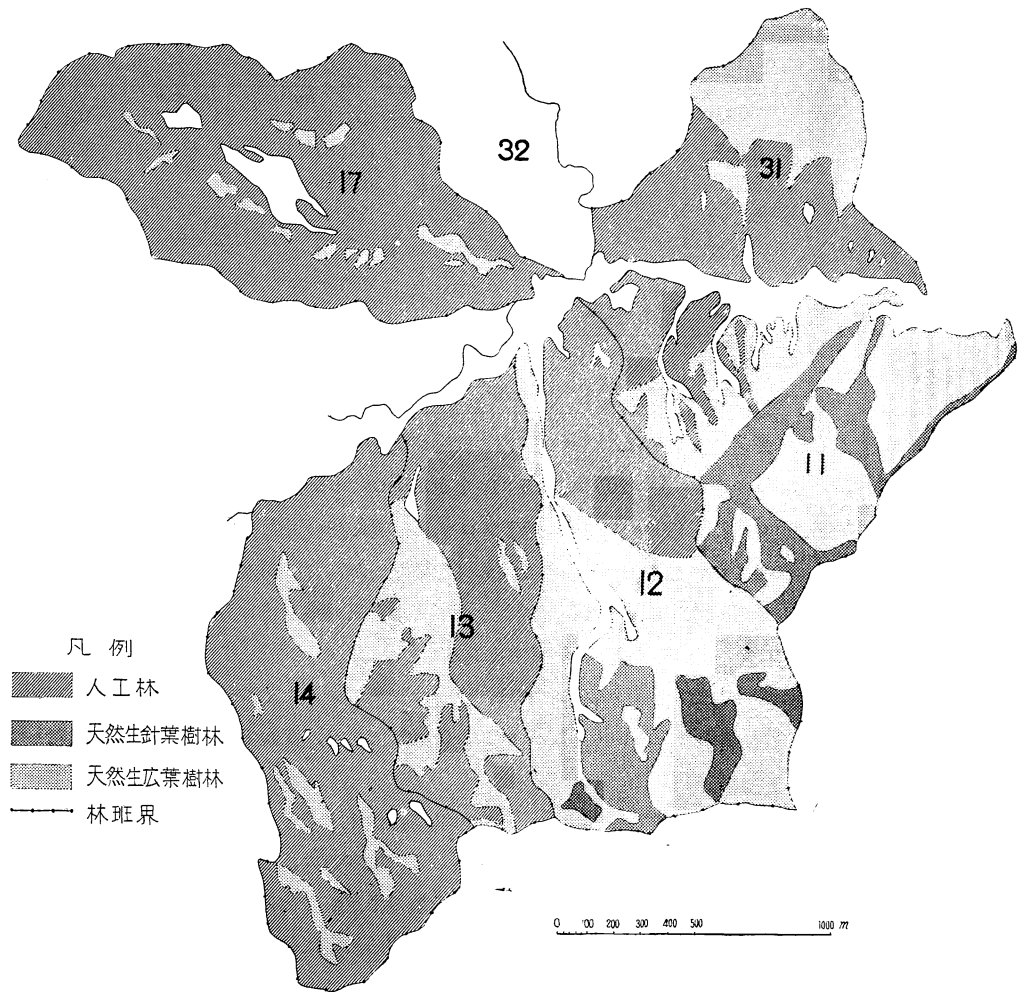
- i) 小縮尺の写真では、樹群を広葉樹林、針葉樹林、混交林に大別し、このうちをさらに樹高級により 3 階級に分け、計 9 層とする。
- ii) 一般的方法是、まず樹種または樹群に分け、これをさらに 3~4 の樹高級、3~4 の疎密度級に分ける。たとえば、樹高級は 8 m 以下、8~16 m、16~25 m、25 m 以上、疎密度級は 10~40 %、40~70 %、70~100 % というように分ける。
- iii) 良好な大縮尺写真が利用できるときは、さらに樹種、特に混交歩合により細分する。なお現在国有林で行っている森林調査では事業区別、施業団別、人天別、令級別、主要樹種別の層化を行つている。

上記の考え方を参考にして、本調査地域を層化すると、まず樹群として、カラマツ・ヒノキ 2 段林、天然生広葉樹林、天然生針広混交林に大別される。樹高級による区分はカラマツ・ヒノキ林分は全てが 30~40 年生であるから区分する必要は認められない。また天然生林についてはさらに細分すると、抽出個数があまりに小となり、作業の困難をます一方、それほど精度の向上も期待できないので、これ以上の細分をみあわせた。疎密度についてはほとんどすべての林分が 70 % 以上であるので区分の必要はなかつた。

次に航空写真より判読した林相区割および林班別林相別の面積を第 1 図および第 1 表に示す。

4. 予備調査のプロットの抽出

1/5,000 基本図を東西間隔 4 mm、南北間隔 10 mm の平行線で区割し、その交点に層ごとに一連番号を付し、これをプロット番号とした。この場合 1 区画は南北 50 m、東西 20 m、面積 0.1 ha の矩形となるので、この矩形のプロットを調査単位とした。プロットの形状面積をこのように定めた主な理由は、昭和 28、29 年に行われた全国森林資源調査の研究では 0.12~0.13 ha が最適の大きさであつたこと、写真判読上の制約、内業整理や取扱いの容易なこと、現地調査上の便利さを考慮し、さらに本調査地域の地形



第 1 図 航空写真より判読した林相区分

第1表 航空写真より判読した林班別林相面積

林 班	林 地			除 地	合 計	
	人 工 林	天 然 生 林				計
		針広混交林	広葉樹林			
11	15.87 ^{ha}	10.86 ^{ha}	70.40 ^{ha}	97.13 ^{ha}	4.07 ^{ha}	101.20 ^{ha}
12	29.63	21.65	66.54	117.82	5.37	123.19
13	60.93		23.76	84.69		84.69
14	88.49		9.92	98.41	0.82	99.23
17	105.26		5.71	110.97	9.95	120.92
31	38.62		27.23	65.85	0.97	66.82
計	338.80	32.51	203.56	574.87	21.18	596.05
面積歩合 %	57	5	34	96	4	100
	59	6	35	100		

を考慮するときは南北に長いプロットは、プロット内の変動が大きく、したがってプロット間の変動は小となり、また一方、辺の長さの比 50:20 は、2.5:1 で JOHNSON の研究結果による最も効率の高い 3:1 に近いので南北方向に長い (50 m×20 m) 矩形プロットを選んだのである。

次に期待精度のもとに必要な調査個数を決定しなければならないが、この調査ではまず従来資料から平均材積、変動係数を推定し、これに基づいて予備調査を行って、各層の平均値、分散を求め、これらにより調査個数を期待精度 10% の条件のもとに決定することとした。

東京都が昭和 14 年に編成した施業計画案によれば、カラマツ・ヒノキ人工林、広葉樹林、針広混交林の 0.1 ha 当りの平均蓄積はそれぞれ 2.31 m³、1.86 m³、2.07 m³ であり、変動係数は写真上より想定して 0.5、0.8、0.8 とした。

なお、各層の抽出個数は予備調査、本調査とも Neyman 割当を行つた。

予備調査では 40 個のプロットを調べることにし、各層ごとに標本の大きさを定めたがこの場合混交林では、わずか 3 個となり、自由度があまりにも少ないため分散の推定値の信頼性が小となること、本調査の場合、この層の抽出個数が 10 前後と推察され、その信頼区間の設定に難点が見い出されること、この層の経済上の価値が人工林に比して、はるかに低いことなどのため、この層を広葉樹林と一括することとし、層を人工林、天然生林の 2 層とした。予備調査における各層の抽出個数を第 2 表に示す。なお参考のため、期待精度 10% を得るに必要な抽出個数も同時に記載した。

Neyman 割当による各層の抽出個数は人工林 21、天然生林 19 となるが、平均値、変動係数は見積の

第2表 予備調査における標本の割当

層	標準偏差 (a)	面積歩合 (b)	(a)×(b)	同百分率	予備調査の 割当て個数	期待精度10%を 得るに必要な抽 出個数
人 工 林	1.155	0.59	0.68145	52%	21	77
広 葉 樹 林	1.488	0.35	0.52080	40	16	60
混 交 林	1.656	0.06	0.09936	8	3	12
計		1.00	1.30161	100	40	149

値であるので、参考のため比例割当て求めてみるとそれぞれ 24 と 16 になった。このような事実と調査の難易その他を勘案して、予備調査では、人工林 22, 天然生林 18 を調査することにし、その層別林班別の調査プロット数は第3表のとおりとなつたが現地調査の結果写真上で天然林と判読した層が人工林であることが判明したので各層面積は変り、したがってプロット数は 22:18 が 25:15 となつた。

5. 現地照合による修正

航空写真を利用する森林調査では、必ず地上調査による照合が必要である。この調査でも予備調査実行の際現地照合を行った。その際判明した航空写真判読上の誤りは、

i) 11林班の写真は陰影となり、真黒であつたため、人工林を天然生広葉樹林と見誤まつた。

ii) 冬季撮影のため、沢筋の広葉樹林を崩壊地と見誤まつた。

第3表 層別林班別プロット数

林 班	人工林	天然生林	計
11	3	4	7
12	1	7	8
13	6	1	7
14	5		5
17	8		8
31	2	3	5
計	25	15	40

これらの点を修正して層化を行い面積を測定した結果が第4

表に示してある。なお、林小班別の林相、面積等は付表1に示してある。

第4表 現地照合により修正した林班別林相別面積

林 班	林 地			除 地	合 計
	人工林	天然生林	計		
	ha	ha	ha	ha	ha
11	32.22	64.80	97.02	4.18	101.20
12	29.80	86.61	116.41	6.78	123.19
13	58.44	23.76	82.20	2.49	84.69
14	88.00	9.20	97.20	2.03	99.23
17	101.61	7.60	109.21	11.71	120.92
31	38.78	27.60	66.38	0.44	66.82
計	348.85	219.57	568.42	27.63	596.05

6. 現地調査方法

プロットの抽出は通常、各写真ごとに何個と割り当て直接写真上にプロットを定めるのであるが、この調査では基本図を使つてプロットを抽出したから、逆に地図上のプロットの位置を写真上に定め、プロットの付近で写真上に明確な地点（たとえば、沢の交流点、尾根の分岐点、歩道の曲点、橋梁、顕著な大

木、露岩等）を捜し、現地でこの地点からコンパス測量によつて原点を定めた。原点からは東に 20 m, 北へ 50 m の矩形標準地をとり、区域内を毎木調査した。境界線上の林木については、原点で交わる2界線上の立木のみ測定し、その対辺の線上の林木は除外した。胸高直径の測定は、直角2方向を測り、読みを平均した上 2 cm 括約を行い、樹高はワイゼ測高器を使つて、1 m 括約で測定した。材積表は東京営林局が現在使用中のものを使つた。

本調査においても全く同じ方法で現地調査を行った。

7. 予備調査結果のとりまとめ

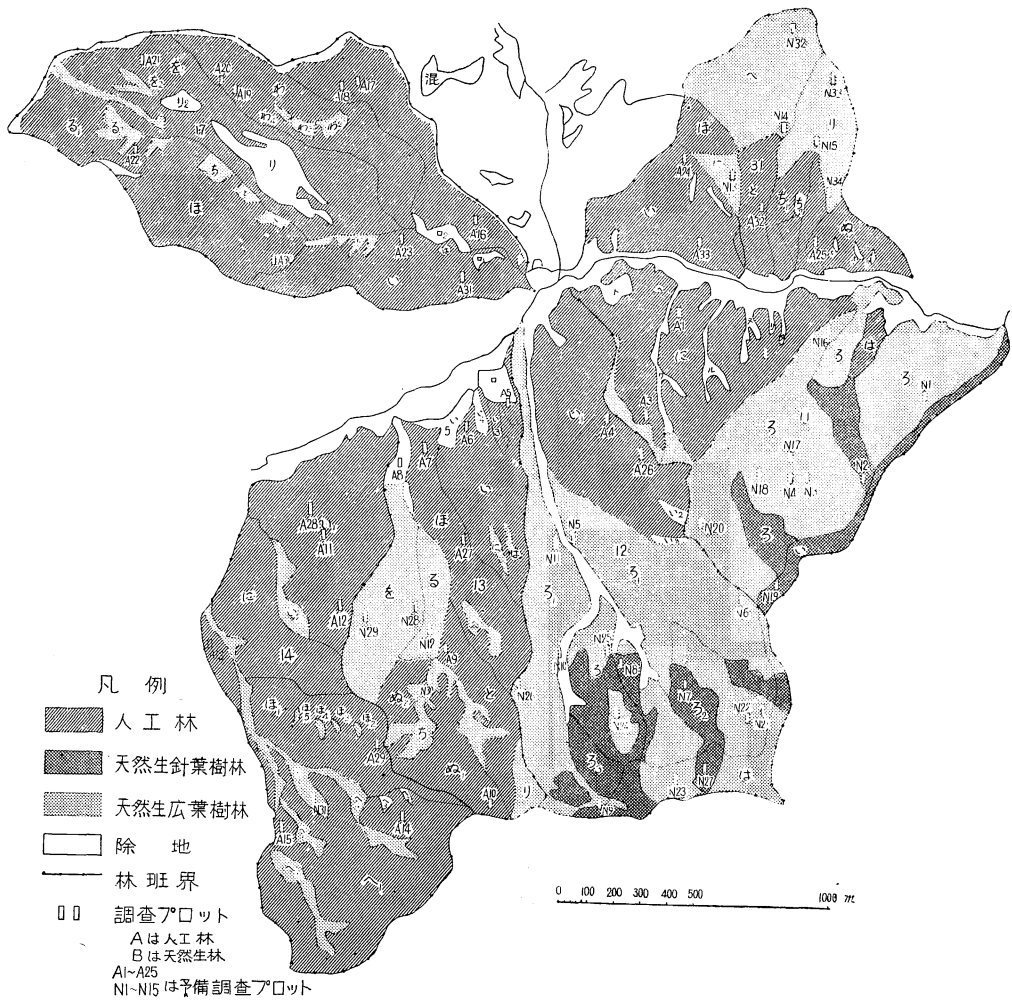
予備調査の結果にもとづいて、各種統計量を計算すると第5表のとおりである。なお抽出率は5%以下であるので、有限母集団修正は計算の際無視した。

全蓄積の推定値（信頼度 95%）

$$134,696 \pm 2 \cdot \sqrt{80,649,295}$$

$$= 134,696 \pm 17,960 \text{ m}^3$$

百分率誤差：13.3%



第 2 図 現地照合により修正した林相区分および調査プロット位置図

第5表 予備調査結果

層	プロット 総数 Nh	抽出プロ ット数 nh	標 本				層		変動係数
			平均蓄積 m^3	分 散	標準偏差 m^3	標準誤差 m^3	蓄積の推 定値 m^3	分 散	
人 工 林	3489	25	23.76	44,3499	6.66	1.32	82,908	20,731,312	28.0 %
天然生林	2196	15	23.58	199,6876	14.13	3.65	51,788	59,917,983	59.9
計	5685	40					134,696	80,649,295	

8. 本調査における抽出個数の決定

本調査における抽出個数の決定は、予備調査で得られた統計量を用い、次のように行つた。

いま推定精度を 10% として、各種割当により計算すると、

イ) Neyman 割当

人 工 林 ≥ 28

天然生林 ≥ 38

計 66 個以上

ロ) 比例割当

人 工 林 ≥ 46

天然生林 ≥ 29

計 75 個以上

となるが人工林は経済価値が大であるから、この蓄積推定の誤差も 10% 以内にすると、その個数は正確な計算では 31, 32 以上となる。いま、人工林抽出個数を 31, 32, 33, 34 とした時、Neyman 割当て全体の誤差を 10% 以内とするには天然生林の抽出個数は 35, 34, 33, 33 となり、全体では 66, 66, 67, 67 となるので、多少安全を見て人工林 33, 天然生林 34, 計 67 個を抽出して調査することにした。この決定個数 67 よりすでに予備調査を行つた 40 を除いた 27 個を図上で抽出し、前回と同様の方法で調査を行つた。ただし、調査は都合により 2 回にわけて行つた。

IV 調査結果の取りまとめと解析

1. プロットごとの樹種別蓄積本数

プロットごとの樹種別蓄積、本数は第6表、第7表に径級（大，中，小）別に示してある。なお、第6表は人工林、第7表は天然生林に関するものである。

第 6 表 調 査 地

プロット 番 号	林 班	カ ラ マ ツ			ヒ ノ キ			ツ ガ				ア カ マ ツ		
		中	小	計	中	小	計	大	中	小	計	中	小	計
A 1	11		114 11,853	114 11,853		33 2,174	33 2,174		1 0,631	3 0,046	4 0,677		2 0,298	2 0,298
" 2	11	8 4,034	57 10,396	65 14,430	1 0,562	19 2,330	20 2,892			6 0,282	6 0,282			
" 3	11	3 1,809	27 5,871	30 7,680	3 1,199	95 12,282	98 13,481							
" 4	12	17 10,223	19 3,716	36 13,939	1 0,379	209 13,485	210 13,864	2 1,447	5 0,206	7 1,653		1 1,107		1 1,107
" 5	13		40 7,117	40 7,117								1 0,300	65 9,849	66 10,149
" 6	13		4 0,116	4 0,116								5 1,503	77 10,067	82 11,570
" 7	13	12 9,379	47 15,964	59 25,343		50 5,711	50 5,711							
" 8	13	12 8,586	43 10,323	55 18,909		65 6,444	65 6,444							
" 9	13	4 2,127	92 20,674	96 22,801		60 1,062	60 1,062							
" 10	13	5 3,156	72 15,947	77 19,103										
" 11	14	4 2,362	36 9,888	40 12,250	1 0,355	84 7,034	85 7,389							
" 12	14	9 5,920	13 5,654	22 11,574	2 0,764	39 6,415	41 7,179							
" 13	14	3 1,986	18 5,350	21 7,336		123 13,673	123 13,673							
" 14	14	5 2,733	87 22,703	92 25,436										
" 15	14	9 5,452	91 24,104	100 29,556										
" 16	17	1 0,574	27 8,231	28 8,805	5 2,516	119 22,726	124 25,242							
" 17	17		44 9,768	44 9,768	7 2,712	142 19,306	149 22,018							
" 18	17	3 1,556	47 11,108	50 12,664	2 0,735	77 9,014	79 9,749							
" 19	17	1 0,518	90 19,321	91 19,839		72 8,790	72 8,790							
" 20	17	7 3,813	62 16,454	69 20,267		68 7,683	68 7,683							
" 21	17		92 15,393	92 15,393		91 10,723	91 10,723							
" 22	17	4 2,308	61 14,950	65 17,258		8 0,277	8 0,277							

総括表 (人工林)

ナラ		スギ		その他雑				計			プロット蓄積	プロット本数
小	計	小	計	大	中	小	計	大	中	小		
									1	152		
								0.631	14.371		15.002	153
					3	3	6		12	85		
				1.448	0.186	1.634		6.044	13.194		19.238	97
					1	1		6	123			
					0.034	0.034		3.008	18.187		21.195	129
								21	233			
								13.156	17.407		30.563	254
								1	105			
								0.300	16.966		17.266	106
					1	1		5	82			
					0.009	0.009		1.503	10.197		11.697	87
					8	8		12	105			
					0.102	0.102		9.375	21.777		31.156	117
					48	48		12	156			
					1.170	1.170		8.586	17.937		26.523	168
				2	1	16	19	2	5	168		
				1.951	0.379	0.677	3.007	1.951	2.506	22.413	26.870	175
					2	1	3		7	73		
					1.216	0.608	1.824		4.372	16.555	20.927	80
					2	27	29		7	147		
					1.036	0.868	1.904		3.753	17.790	21.543	154
					29	29		11	81			
					0.516	0.516		6.684	12.585		19.269	92
		2	2					3	143			
		0.068	0.068					1.986	19.091		21.077	146
					83	83		5	170			
					0.710	0.710		2.733	23.413		26.146	175
					1	1		9	92			
					0.009	0.009		5.452	24.113		29.565	101
								6	146			
								3.090	30.957		34.047	152
					1	1		7	187			
					0.028	0.028		2.712	29.102		31.814	194
					2	2		5	126			
					0.134	0.134		2.291	20.256		22.547	131
								1	162			
								0.518	28.111		28.629	163
								7	130			
								3.813	24.137		27.950	137
					8	8			191			
					0.458	0.458			26.574		26.574	191
		1	1					4	70			
		0.046	0.046					2.308	15.273		17.581	74

第 6 表 調 査 地

プロット 番 号	林 班	カ ラ マ ツ			ヒ ノ キ			ツ ガ				ア カ マ ツ		
		中	小	計	中	小	計	大	中	小	計	中	小	計
" 23	17	1 0.518	67 14.340	68 14.858	1 0.355	63 4.855	64 5.210							
" 24	31	3 1.861	65 15.577	68 17.438		127 14.535	127 14.535					1 0.058	1 0.058	
" 25	31					250 8.941	250 8.941			4 0.118	4 0.118			
" 26	12	9 6.003	36 11.005	45 17.008		226 14.648	226 14.648					1 0.676		1 0.676
" 27	13		118 22.255	118 22.255		62 0.824	62 0.824	1 3.634	1 0.381	36 0.517	38 4.532			
" 28	14	11 7.800	13 4.408	24 12.208	1 0.478	80 6.890	81 7.368							
" 29	14	1 0.683	91 9.127	92 9.810		16 0.565	16 0.565							
" 30	17	3 1.542	104 20.955	107 22.497		44 4.427	44 4.427							
" 31	17	3 2.144	37 10.379	40 12.523		14 6.682	14 6.682							
" 32	31	10 6.814	18 6.865	28 13.679		245 25.518	245 25.518							
" 33	31	4 2.177	3 0.889	7 3.006	4 1.788	178 25.213	182 27.001							

第 7 表 調 査 地

プロット 番 号	林 班	ナ ラ				ブ ナ			
		大	中	小	計	大	中	小	計
N 1	11	1 4.423				1 4.423			
" 2	11	4 33.280	7 5.703	5 0.448		16 39.431			
" 3	11	8 30.713	3 1.898	7 0.628		18 33.239	1 0.534	3 0.467	4 1.001
" 4	11	2 5.214	2 1.141	3 0.127		7 6.482	3 2.026	17 0.220	20 2.246
" 5	12								
" 6	12								
" 7	12	5 14.516	1 0.762	7 0.118		13 15.396			

総括表（人工林）

（つづき）

ナラ		スギ		その他雑				計			プロット蓄積	プロット本数
小	計	小	計	大	中	小	計	大	中	小		
						14 0.130	14 0.130		2 0.873	144 19.325	20.198	146
				1 1.022	4 2.337	1 0.209	6 3.568	1 1.022	7 4.198	194 30.379	35.599	202
				1 1.047	1 0.470	23 0.477	25 1.994	1 1.047	1 0.470	277 9.537	11.053	279
					1 0.899	4 0.144	5 1.043		11 7.578	266 25.797	33.375	277
						11 0.159	11 0.159	1 3.634	1 0.381	243 23.898	27.913	245
									12 8.278	94 11.319	19.597	106
						2 0.446	2 0.446		1 0.683	112 10.269	10.952	113
									3 1.542	148 25.382	26.924	151
						14 0.149	14 0.149		3 2.144	111 17.210	19.354	114
									10 6.814	263 32.383	39.197	273
									8 3.965	181 26.102	30.067	189

総括表（天然生林）

その他広葉樹				針葉樹				計			プロット蓄積	プロット本数
大	中	小	計	大	中	小	計	大	中	小		
6 6.450	8 5.068	145 4.120	159 15.638					7 10.873	8 5.068	145 4.120	20.061	160
2 3.707	3 2.023	148 2.275	153 8.005			2 0.196	2 0.196	6 36.987	10 7.726	155 2.919	47.632	171
	2 1.406	70 2.162	72 3.568	1 1.751	1 0.409	9 0.643	11 2.803	9 32.464	7 4.247	89 3.900	40.611	105
2 12.043	2 1.125	81 3.471	85 16.639			1 0.260	1 0.260	4 17.257	7 4.292	102 4.078	25.627	113
	7 3.907	205 7.097	212 10.998						7 3.907	205 7.097	10.998	212
	2 0.844	360 8.973	362 9.817	2 3.391		1 0.024	3 3.415	2 3.391	2 0.844	361 8.997	13.232	365
		286 4.190	286 4.190	5 12.071	4 3.306	27 2.267	36 17.644	10 26.587	5 4.068	320 6.575	37.230	335

総括表（天然生林）

（つづき）

その他広葉樹				針葉樹				計			プロット蓄積	プロット本数
大	中	小	計	大	中	小	計	大	中	小		
		207 5,134	207 5,134		1 1,055	2 0,125	3 1,180	8 37,466	4 8,706	218 5,948	52.120	230
	2 0,880	213 11,010	215 11,890						2 0,880	213 11,010	11.890	215
	13 10,236	176 5,797	189 16,033						13 10,236	176 5,797	16.033	189
1 5,850	9 5,468	174 7,568	184 18,836					1 5,850	9 5,468	174 7,568	18.863	184
	5 3,241	359 12,842	364 16,083						5 3,241	359 12,842	16.083	364
2 2,904	4 2,359	43 2,073	49 7,336					3 3,749	6 3,065	49 2,753	9.567	58
7 12,404	9 5,729	302 5,539	318 23,672					7 12,404	9 5,729	302 5,539	23.672	318
2 4,359	7 2,593	64 3,287	73 10,239					2 4,359	7 2,593	64 3,287	10.239	73
2 2,347	5 2,837	140 3,299	147 8,483	1 1,751		8 0,097	9 1,856	3 4,106	6 3,243	172 4,906	12.255	181
	1 0,475	58 2,545	59 3,020	2 5,168	2 1,249	25 1,078	29 7,495	7 10,210	6 3,754	88 4,672	18.636	101
2 2,503	2 1,090	147 4,009	151 7,602			2 0,355	2 0,355	6 17,110	3 1,922	154 4,703	23.735	163
	2 0,892	348 5,319	350 6,211			1 0,078	1 0,078	10 17,382	4 2,289	350 5,416	25.087	364
	1 1,279	182 4,139	183 5,418			5 0,163	5 0,163	5 17,233	4 3,177	195 5,022	25.432	204
	1 0,379	319 8,443	320 8,822			1 0,019	1 0,019		1 0,378	320 8,462	8.841	321
7 20,932	1 0,462	384 6,492	402 27,886	1 2,072	4 3,225	31 0,768	36 6,065	8 23,004	5 3,687	425 7,260	33.951	438
1 0,773		185 5,030	186 5,803	1 4,854	1 0,751	4 0,168	6 5,773	4 12,887	1 0,751	189 5,198	18.836	194
2 3,997	2 1,422	122 6,228	126 11,647					2 3,997	2 1,422	122 6,228	11.647	126
	1 0,698	229 3,880	230 4,578					14 32,194	3 2,553	229 3,880	38.627	246
	3 0,870	133 4,439	136 5,309					8 18,028	4 1,332	133 4,439	23.799	145
	250 4,309	2 0,659	252 4,968	2 4,201	12 8,241	37 3,504	51 15,946	2 4,201	262 12,550	40 4,884	21.635	304
	1 0,505	275 4,158	276 4,663						1 0,505	275 4,158	4.663	276
	3 1,216	212 5,926	215 7,142						3 1,216	212 5,926	7.142	215

第7表 調査地

プロット 番 号	林 班	ナ				ラ				ブ				ナ			
		大	中	小	計	大	中	小	計	大	中	小	計	大	中	小	計
" 30	13																
" 31	14	0.845 ¹	1.324 ³		2.169 ⁴												
" 32	31		2.263 ⁵	6.670 ²¹⁴	8.933 ²¹⁹							0.115 ¹				0.115 ¹	
" 33	31	13.612 ⁸	3.252 ⁸	0.777 ¹²	17.641 ²⁸	1.086 ¹	0.541 ¹	0.847 ⁸								2.474 ¹⁰	
" 34	31	9.840 ⁶	3.205 ⁵	0.542 ²	13.587 ¹³			0.301 ⁵								0.301 ⁵	

2. 蓄積の推定

各層ごとの蓄積および全体の蓄積の推定値は次のとおりである。

第8表 蓄 積 推 定 の 計 算

層	プロット総 数 Nh	抽出プロッ ト数 nh	標 本		層		抽 出 率
			平均蓄積	分 散	蓄積の推定値	分 散	
人 工 林	3489	33	24,285 ^{m³}	51,649	84,730 ^{m³}	19,052,450	0.95%
天然生林	2196	34	20,743	137,304	45,552	19,474,679	1.55
計	5685	67			130,282	38,527,129	1.18

全蓄積の推定 (信頼度 95%)

$$130,282 \pm 2 \cdot \sqrt{38,527,129} \\ = 130,282 \pm 12,414 \text{ m}^3$$

百分率誤差 9.5%

人工林の蓄積の推定

$$84,730 \pm 2 \cdot \sqrt{19,052,450} \\ = 84,730 \pm 8,730 \text{ m}^3$$

百分率誤差 10.3%

全蓄積の推定値は $130,282 \pm 12,414 \text{ m}^3$ で百分率誤差は 9.5%，人工林の推定値は $84,730 \pm 8,730 \text{ m}^3$ で百分率誤差は 10.3% で、ほぼ期待どおりの推定値がえられた。

なおこの場合、信頼度 95% の推定値をうるため、 t として 2 を使ったが、正確には、自由度 (有効な自由度) は

$$ne = \frac{(\sum f_h s_h^2)^2}{\sum \frac{f_h^2 s_h^4}{n_h - 1}} \div 65$$

ただし s_h^2 ; 各層の標本分散 n_h ; 各層の抽出プロット数

$$f_h = \frac{N_h(N_h - n_h)}{n_h}$$

となる。

総 括 表（天然生林）

（つづき）

そ の 他 広 葉 樹				針 葉 樹				計			プロット蓄積	プロット本数
大	中	小	計	大	中	小	計	大	中	小		
2 1,939	2 1,430	7 0,224	11 3,593			68 4,148	68 4,148	2 1,939	2 1,430	75 4,372	7,741	79
	3 1,203	92 2,690	95 3,893		3 1,676	29 5,219	32 6,895	1 0,845	9 4,203	121 7,909	12,957	131
	1 0,434	67 2,618	68 3,052						6 2,697	282 9,403	12,100	288
		142 2,669	142 2,669					9 14,698	9 3,793	162 4,293	22,784	180
	3 1,091	248 6,590	251 7,681					6 9,840	8 4,296	255 7,433	21,569	269

t 表で自由度 60 に対する t の値は 2.0003 であるから $n_e=65$ に対して、 $t=2$ としてもさしつかえないであろう。

2 層の総蓄積および ha 当り平均蓄積は次表のとおりである

層	総 蓄 積	ha 当り平均蓄積
	m^3	m^3
人 工 林	84,730	2.43
天然生林	45,552	2.07
全 体	130,282	2.29

3. 単純無作為抽出法および比例割当の場合との比較

この調査で抽出された 67 個のプロットが全林よりランダムに抽出されたとすると、期待されるプロット当り平均値の分散は

$$V(\bar{y})_{\text{ran}} = \frac{(N-n)}{nN} \left[\sum W_h s_h^2 - \sum \frac{W_h s_h^2}{n_h} \right]$$

$$+ \sum \frac{(W_h \bar{y}_h)^2}{n_h} + \sum W_h \bar{y}_h^2 - (\sum W_h \bar{y}_h)^2$$

ただし N ; プロット総数

n ; 抽出プロット総数

s_h ; 各層の標本分散

n_h ; 各層の抽出プロット数

$\bar{y}_h$; 各層のプロット当り平均蓄積

W_h ; N_h/N

N_h ; 各層のプロット数

上式の計算に必要な統計量を第 9 表に示す。

第 9 表 単純無作為抽出法による分散の計算に必要な統計量

層	W_h	s_h^2	$W_h s_h^2$	$W_h s_h^2 / n_h$	$(W_h \bar{y}_h)^2 / n_h$	$W_h \bar{y}_h$	$W_h \bar{y}_h^2$
人 工 林	0.614	51.65	31.713	0.9610	0.5901	14.911	362.11
天然生林	0.386	137.30	52.998	1.5588	0.6017	8.007	166.09
全 体			84.711	2.5198	1.1918	22.918	528.20

$$(\sum W_h \bar{y}_h)^2 = (22.918)^2 = 525.23$$

$$\sum W_h s_h^2 / N = 84.711 / 5685 = 0.0149008$$

上表より

$$V(\bar{y})_{\text{ran}} = \frac{5618}{67 \times 5685} [84.711 - 2.5198 + 1.1918 + 528.20 - 525.23] = 1.2737$$

一方この調査でのプロット当り平均値の分散は、有限補正項を考慮に入れば、

$$V(\bar{y})_{\text{opt}} = \sum \frac{W_h s_h^2}{n_h} - \sum \frac{W_h s_h^2}{N_h} = 1.192 - 0.015 = 1.177$$

効率を求めるため、両者の分散の逆数の比をとれば $\frac{1}{1.177} = 1.082$ となつた。したがつて、この属化に $\frac{1}{1.274}$

よつて 8.2% の精度の向上をみたことになる。

次に67個のプロットを両層に比例割当したと考えその分散を計算すれば $V(\bar{y})_{\text{prop}} = \frac{N-n}{nN} \sum W_h s_h^2 =$
 1.249 となり $\frac{1.177}{1.249} = 1.061$ すなわち比例割当に比しても 6.1% の精度の向上を見たこととなつた。

4. 人工林内の樹種別蓄積の推定

人工林は前述のように、カラマツとヒノキの2段林を構成しているので、各樹種ごとの蓄積と誤差の推定を行つた。この場合同時に人工林全体の蓄積、誤差も推定できる。

人工林全体の蓄積； $\sum(x+y)$

$$n \quad \text{分散； } V(x+y) = \frac{n}{n-1} \left\{ \sum (x-\bar{x})^2 + \sum (y-\bar{y})^2 + 2 \sum (x-\bar{x})(y-\bar{y}) \right\}$$

ただし x はカラマツ、 y はヒノキその他のプロット当り材積である。

分散の推定に必要な統計量は次のとおりである。 $\sum x = 476.779$ $\sum y = 324.627$

$$\sum (x-\bar{x})^2 = 1643.6969$$

$$\sum (y-\bar{y})^2 = 1801.9894$$

$$\sum (x-\bar{x})(y-\bar{y}) = -870.5915$$

$$n = 33$$

この数値を使つて計算した樹種別の蓄積、誤差の推定値を第10表に示す。

第10表 樹種ごとの蓄積の推定値

樹 種	標 本		人 工 林 全 体		百 分 率
	蓄積の推定値	標 準 誤 差	蓄積の推定値	標 準 誤 差	
カ ラ マ ツ	479.78 ^{m³}	± 40.54 ^{m³}	50,408 ^{m³}	4,286 ^{m³}	8.50 %
ヒノキその他	324.63	± 42.45	34,322	4,488	13.08
計	803.41	± 41.29	84,730	4,365	5.15

ただし信頼度は 68% である。

5. プロットごとの平均樹高、平均胸高直径

プロットごとの平均樹高、平均胸高直径および本数は付表2に示してある。層ごとの平均については第11表に示してある。

6. 施業案蓄積との比較

昭和14年の施業計画編成調査時の蓄積とこの調査で推定した蓄積とを比較すれば第12表のとおりである。

7. 調査所要時間

プロットごとの現地調査時間は、付表3に示してあるが、その平均は第13表のとおりである。

第 11 表 プロット当り平均樹高, 平均胸高直径, 本数の層平均

	人 工 林		天 然 生 林	
	カラマツ	ヒノキ	針 葉 樹	広 葉 樹
胸高直径 <i>cm</i>	18.11	13.30	15.27	9.10
樹 高 <i>m</i>	17.03	10.00	10.56	8.16
本 数	59.0	99.5	17.4	206.5

第 12 表 施業案蓄積との比較 (*ha* 当り)

	人 工 林			天然生林	全 体
	カラマツ	ヒノキその他	計		
施業案蓄積 (1939)	145.3 ^{<i>m</i>³}	72.2 ^{<i>m</i>³}	217.5 ^{<i>m</i>³}	206.6 ^{<i>m</i>³}	214.2 ^{<i>m</i>³}
本調査蓄積 (1954)	144.5	98.4	242.9	207.4	229.2
差	-0.8	+26.2	+ 25.4	+0.8	+ 15.0

第 13 表 調査所要時間の平均

	人 工 林		天 然 生 林	
	平均所要時間	%	平均所要時間	%
原 点 確 認	20.7 分	13	29.2 分	16
周 測	46.4	29	63.3	36
毎 木 調 査	93.2	58	84.7	48
計	160.3		177.2	

ただし, 人工林は 28 プロット, 天然生林は 30 プロットの平均である。

この調査では, 天然生林の原点確認, 周囲測量は人工林の場合に比較して, より多くの時間を要したが, これは主として地形に原因するものである。原点確認の時間は, 天然生林の場合歩道のような, 確認のため利用できるものが, 比較的その近くなかったことが原因である。しかし, いずれにしても航空写真を利用しない場合に比べて, きわめて短時間に原点の確定ができた。おそらく 1/5~1/10 の時間で原点の確認ができるものと思われ, このため経費の節減は大きいものであろう。

V 考 察

1. 航空写真利用による利点

i) 林相区分あるいは層化は航空写真を利用しない場合に比較して, きわめて容易であり, かつ地上調査にくらべて正確な各層の面積を知ることができる。従来のように地上調査のみで行う場合は, いたずらに経費, 労力, 時間ばかりかさみ, かつて精度の低い数値しか得られない。両者を併用すれば, かなり高い精度でかつ低廉な費用で目的を達成できる。

ii) この調査では, 航空写真を層化に利用したのみであるが, 将来は 2 重抽出法の適用が当然考えられ

るし、この方面の研究は、すでに Allen BICKFORD の発表をみている。今後この研究が進めば、調査能率は飛躍的に向上するであろう。

iii) 調査プロットの原点確認が、航空写真を利用しない森林調査にくらべて、きわめて容易であることは前述のとおりである。

2. 航空写真利用上の問題点

航空写真を利用する場合は、写真そのものの良否の問題が生ずる。ことにこの研究の当初に使用したものはきわめて不良のものであつたため意外の誤りを生じた。写真撮影上の種々の問題、機械、撮影季節、天候、時間、フィルムの種類その他使用器具、現像方法等研究すべきものが多々ある。写真縮尺は森林調査用としては大体 1/10,000~1/15,000 で十分である。西独の LOTCH は、いたずらに縮尺を大にしても必ずしも精度が増加しないといっている。また層化の効果もあまり大とはいえなかつたが、これは林相が比較的単純でかつ面積も 600 ha 程度の小地域のためでもあると考えられ、大面積で、さらに多くの層に分割できれば、一層大きな効果がみられるであろう。また航空写真が現存せず新規に撮影する場合には、その費用が莫大なものとなるのが難点である。

3. 今後考究すべき問題点

今後考究すべき問題としては、航空写真を利用した場合の 2 重抽出法、図上面積査定法、実用的な標準地の大きさ等の問題が残される。

2 重抽出法についての詳細な説明は省くが、このためには航測材積表の作製が先決問題である。この点に関する当研究室の研究成果は別の機会に発表することにする。

地図上より面積を決定する簡易な方法としては、プランメーター法、ドツドグリツド法、秤量法等が考えられるが、いずれも決定的な正確さをもっていない。ことに小班のような小面積の場合、誤差は大となることが考えられる。蓄積推定の精度が大でも、面積誤差が大では何にもならない。もちろん、面積決定にしても、森林経営のすべてのことと同様経済的要求もからみあつてくるので、種々総合して、最も妥当な方法を今後考究しなければならないであろう。

いわゆるプロットサイズの問題も、理論的には、HASEL, JOHNSON, HIXON, 木梨氏らの研究があるが、いずれも地上のみの調査の場合で、航空写真を利用した場合には、写真との関係で、多少異なつてくることが考えられ、2 重抽出法を適用する場合にはとくにそのように考えられる。またプロットサイズが小なるほど、良いような結論がいままで出ているが、プロットサイズが小さいと面積測定等から生ずる誤差が大きく影響し、したがつて偏りがはいつてくることは、従来林学でよくいわれたことであるし、当

プロットの大きさによる偏り

プロットの 大きさ	過大推定率	
	畑	水田
ft^2	%	%
471.5	—	—
117.9	11.0	4.8
29.5	23.4	15.7
28.3	14.8	14.9
12.6	42.4	42.4

然考えられることでもある。農作物の収穫について SUKHATUME がこの問題を研究しているが、その結果によると次表のとおりである。

したがつて、林業においても従来の考え方のほかにこのようなことを考え合わせて、プロットの大きさを決定すべきであろう。この調査では $(20m \times 50m) = 0.1ha$ の矩形標準地を採用したが、その主な理由は前述のとおりである。なお、北米合衆国では通常 1/3 ~ 1/5 エーカーで、かつ矩形プロットで、隣接する辺の比が 3:1 のものが最もよい結果となつている。

この調査で採用した矩形標準地はほぼこれに近いものである。

VI 要 約

この研究は 1953 年 9 月から 1954 年 3 月にわたり、山梨県東山梨郡神金村所在東京都水源林で航空写真を併用して蓄積調査を行つたものである。

調査対象森林の全面積は 596.05 *ha* で、構成樹種は人工林ではカラマツ、ヒノキ、天然生林では落葉広葉樹のほかにツガ、ウラジロモミ等である。

蓄積調査としては層化標本抽出法を適用し、航空写真で林相区分(層化)を行い、層は種々の考察の結果天然生林と人工林の 2 層とし、予備調査により変動係数を定め、期待精度は総蓄積で 10 % 以内、さらに経済的に優位である人工林で 10 % 以内となるように、Neyman 割当て個数を求め、人工林では 33、天然生林では 34 と定めた。標準地面積は 1,000 *m*² (20 *m*×50 *m*) とした。抽出率は全林地に対し 1.18 % となつた。

調査の結果、全蓄積の推定値は 130,282 *m*³ で、誤差率は信頼度 95 % で 9.5 %、人工林については 84,730 *m*³ で誤差率は同じ信頼度で 10.3 % となつた。これは単純無作為抽出法および比例抽出法によつた場合に比べてそれぞれ 8.2 %、6.1 % の精度の向上をみた。

この併用法の効果を支配するものは、使用する航空写真の質、縮尺等で、この方法を一層効果あらしめ、精度の向上を図るには、写真そのものの質の向上と判読技術、器械等の改良発達が望ましい。なお、調査費用、労力がきわめて僅少ですむのがこの方法の長所であるが、航空写真が現存せず、新規に撮影する場合は、その費用が莫大であるのが難点である。

文 献

- 1) デミング：標本調査の理論 (斎藤金一郎訳)，培風館，(1953)
- 2) 畑村又好・奥野忠一：標本調査法入門，小石川書房，(1949)
- 3) イエーツ：標本調査論 (大沢・渡部・広田・石田訳)，東洋経済新報社，(1952)
- 4) 木梨謙吉：森林標本調査法，熊本営林局，(1952)
- 5) 斎藤金一郎・浅井晃：標本調査の設計，培風館，(1951)
- 6) スネデカー：統計的方法，上・下，(畑村・津村・奥野・田中訳)，岩波書店，(1952)
- 7) 東京都水道局：東京都水道水源林，施業計画書，(1939)
- 8) BICKFORD, C.A. : The sampling design used in the forest survey of the North East. Jour. Forestry., 50 (1952)
- 9) BLYTHE, R.H. : The economics of sample size applied to the scaling of saw logs. Biometrics, 1 (1945)
- 10) BRUCE, Donald & Francis X. SCHUMACHER : Forest mensuration. Third edition. McGraw-Hill Book Co., Inc., New York, (1950)
- 11) CHAPMAN, H.H. & W.H. MEYER : Forest mensuration. McGraw-Hill Book Co., Inc., New York, (1949)
- 12) COCHRAN, W.G. : The use of the analysis of variance in enumeration by sampling.

- Jour. Amer. Stat. Assoc., 34 (1939)
- 13) COCHRAN, W.G. : Sampling theory when the sampling units are of unequal sizes. Jour. Amer. Stat. Assoc., 37 (1942)
- 14) EICHEL, G.H. : Methoden der Waldinventur in Britisch Columbien. Allge. For. Jagdzeitung, (1957)
- 15) ECKERT, K.H. : Untersuchungen über die Eignung und Anwendung statistischer Methoden als Hilfsmittel forstlicher Inventuren. Mitt. Bund. für For.- u. Holzwirtschaft, 24 (1951)
- 16) FINNEY, D.J. : Volume estimation of standing timber by sampling. Forestry, 21 (1948)
- 17) FINNEY, D.J. : Random and systematic sampling in timber surveys. Forestry, 22 (1948)
- 18) FINNEY, D.J. & H. PALCA : The elimination of bias due to edge-effects in forest sampling. Forestry 23, (1949)
- 19) FINNEY, D.J. : The efficiency of enumerations. 1. Volume estimation of standing timber by sampling. 2. Random and systematic sampling in timber surveys. Bull. No.146, For. Res. Inst., Dehra Dun, India, (1949)
- 20) FINNEY, D.J. : An example of periodic variation in forest sampling. Forestry, 23 (1950)
- 21) FINNEY, D.J. : Investigations in random and systematic sampling. The Incorporated Statistician, 1 (1950)
- 22) GEVORKIANTZ, S.R. & H.E. OCHSNER : A method of sample scaling. Jor. Forestry, 41 (1943)
- 23) GRIFFITH, A.E. : The efficiency of enumeration. Forest Research Institute, Dehra Dun Indian Forest Leaflets, No. 83~91, (1945~46)
- 24) HASEL, A.A. : Sampling error in timber surveys. Jour. Agr. Res., 52 (1938)
- 25) HASEL, A.A. : Estimation of vegetation-type areas by linear measurements. Jour. Forestry, 39 (1941)
- 26) HASEL, A.A. : Estimation of volume in timber stands by strip samplings. Ann. Math. Stat. 13 (1942)
- 27) HASEL, A.A. : Sampling error of cruises in the California pine region. Jour. Forestry, 40 (1942)
- 28) HASENKAMP, J. G. : Die Genauigkeit der systematischen Stichprobennahme bei forstlichen Vorratsinventuren. Mitt. Bund. für For. -u. Holzwirtschaft, 35 (1954)
- 29) HUMMEL, F.C. : The methods employed in the national forest survey of Great Britain 1947~49. Proc. III World Forestry Cong., Helsinki, 1 (1949)
- 30) ILVESSALO, Yrjö : Forest surveying by ground survey. Proc. III World Forestry

- Cong. Helsinki, 1 (1949)
- 31) ILVESSALO, Yrjö : Die Waldvorräte und der Zustand der Wälder Finnlands,
 - 32) ILVESSALO, Yrjö : Nationwide surveys of forest resources and wood utilization in Finland. Helsinki, (1954)
 - 33) JOHNSON, Floyd A. : Statistical aspects of timber-volume sampling in the Pacific Northwest. Jour. Forestry 47, (1949)
 - 34) JOHNSON, Floyd A. : Estimating forest areas and volumes for large tracts. Jour. Forestry 48, (1950)
 - 35) JOHNSON, F.A. & H.J.HIXON : The most efficient size and shape of plot to use for cruising in old-growth douglas-fir timber. Jour. Forestry 50, (1952)
 - 36) LEXEN, Bert. : The application of sampling to log scaling. Jour. Forestry 39 (1941)
 - 37) LEXEN, Bert : The determination of net volume by sample-tree measuring. Jour. Forestry 45 (1947)
 - 38) LOETSCH, I.F. : Wesen und Anwendungsmöglichkeit der mathematischen Statistik in der Forstwirtschaft, speziell bei forstlichen Vorrats-und Zuwachsinventuren, Schweiz Zeit. für For. Jour. Forestier Suisse, 105 (1954)
 - 39) LOETSCH, I. F. : Die Anwendung des Luftbildes als Grundlage von Vorratsinventuren in den USA. Forstarchiv, 24 (1/3) (1953)
 - 40) LOETSCH, I. F. : Entwicklungsmöglichkeiten mitteleuropäischer Holzvorratsinventurmethode. Zweit von Weltforstwirtschaft, 15 (2) (1952)
 - 41) MAHALANOBIS, P.C. : On large scale sample surveys. Trans. Roy. Soc. Phil., 231 (1944)
 - 42) MATERN, Bertil : Metoder att uppskatta noggrannheten vid linje-och provyte-taxering. (Methods of estimatign the accuracy of strip and plot surveys.) Medd. Statens Skogsför, 36 (1947)
 - 43) MCKELVEY, P.J. : A national forest survey in New Zealand. Sylva 31 (1950~51)
 - 44) MOUNTAIN, H. S. : Determining the solid wood volume of four foot pulpwood stacks. Jowr. Forestry, 47 (1949)
 - 45) NAIR, K.R. : Adaptation of modern statistical methods to the estimation of forest areas, timber volumes, growth and drain. U.N. Sci. Conf. Conserv. Util. Resources. Mimeo. (1949)
 - 46) OSBORNE, J.G. : Sampling errors of systematic and random surveys of cover type areas. Jour. Amer. Stat. Assoc., 37 (1942)
 - 47) OSBORNE, J.G. : Adaptation of modern statistical methods to forest inventories. U.N. Sci. Conf. Conserv. Util. Resources, (1949)
 - 48) PROUDFOOT, M.J. : Sampling with transverse traverse lines. Jowr. Amer. Stat.

- Assoc., 37 (1942)
- 49) REINHOLD, N. : Die Forsterhebung 1948. Forstarchiv, 25 (5) (1954)
- 50) SCHUMACHER, Francis X. & R. A. CHAPMAN : Sampling methods in forestry and range management. Duke Univ. School of Forestry Bull, 7 (1942)
- 51) SEELY, H.E. : A forest survey method. Fore. Res. Div. Tech. Note. No. 8 (1955)
- 52) SNEDECOR, George W. : Statistical methods. Fourth edition. Iowa State College Press, Ames, Iowa, (1946)
- 53) SPURR, Stephen H. : Aerial photographs in forestry. The Ronald Press Co., New York, (1948)
- 54) SUKHATME, P.V. : Bias in the use of small-size plots in sample surveys for yield. Nature, 157 (1946)
- 55) SUKHATME, P.V. : Size of sampling unit in yield surveys, Nature, 158 (1946)
- 56) SUKHATME, P.V. : The problem of plot size in the large scale yield surveys. Jour. Amer. Stat. Assoc., 42 (1947)
- 57) SUKHATME, P.V. : Use of small size plots in yield surveys. Nature, 160 (1947)
- 58) U.S. Forest Serv. : Forest survey manual. Washington, D.C. Offset, (1949)
- 59) WILLSON, R.W. : Controlled forest inventory by aerial photography. The Timberman, 51 (4) (1950)
- 60) YATES, Frank : Sampling methods for censuses and surveys. Charles Griffith & Co. Ltd. London, (1949)

Research on the Method of Forest Inventory (I)
Research on the sampling method by the use of aerial photographs (1)

Eishō ÔTOMO, Iwao NAKAJIMA, Kazuo NISHITANI,
 Hitoshi AWAYA, Akira MANABE, Kôzô KAWABATA
 Jirô MINAI and Yukio HIWATASHI

(Résumé)

We carried out a forest inventory of the river-head forest of Tokyo Metropolis which is situated at Kamikane Village, Higashiyamanashigun, Yamanashi Prefecture, by the method of sample survey combined with aerial photography from September, 1953 to March, 1954.

The area of the whole forest, the universe, amounts to 596.05 *ha* and the species of which it is composed are Japanese larch, Hinoki etc. in artificial stands, and numbers of deciduous broad-leaved tree-species, Tsuga, Abies homolepis, etc. in natural stands.

After various considerations, it was concluded that the whole forest was stratified into two strata, natural forest and artificial forest, and the coefficients of variation were determined according to the result of the presurvey, The expected precision for the total volumes should be below 10% and that for the economically advantageous artificial forest below the same percentage. The results of Neyman's allocation gave us 33 for the artificial forest as a sample size and 34 for the natural forest. The size of a sample plot was 20m×50m (1,000m²). The sampling ratio was 1.18%. According to the result of this sample survey, the expected total volume was 130,282m³ and its error 9.5% in 95% confidential level, the former in the artificial forest 84,730m³ the latter 10.3%. This means that this survey method is more efficient by 8.2% than a simple random sampling.

The merit of the combined method consists in the fact that location of sample plots in the field is very easy, consequently, cost and labour necessary to conduct the survey are much less than in those of the survey without use of aerial photographs; but when photographs must be newly taken, owing to photographs being unavailable, its cost will be larger. So, in such a case, it is difficult to determine generally which method is the better. Since the effect of the combined method is largely dependent upon the quality and scale of available photographs, more research is needed in improving and developing aerial photographic techniques, colour films, filters, cameras, and others to increase the efficiency of this combined method so as to extract from photos the maximum information at least cost.

付表1 航空写真より判読し、さらに現地調査で修正した林小班別の林相面積

林 班	小 班	林 相	林 地 面 積	除 地	備 考
11	い ろ は に ほ へ ト チ リ ヌ ル ヲ ワ	天 然	4.68 <i>ha</i>	<i>ha</i>	
		"	57.84		
		人 工	1.78		
		"	30.44		
		天 然	2.28		
				0.07	
				0.62	
				0.25	
				0.15	
				0.54	
				0.89	
				0.27	
				1.39	
	計		97.02	4.18	合計 101.20
12	い ₁	人 工	29.80		
	い ₂	天 然	0.50		
	ろ ₁	"	53.79		
	ろ ₂	"	17.42		
	ろ ₃	"	3.09		
	は ニ	"	11.81	6.78	
	計		116.41	6.78	合計 123.19
13	い ₁	人 工	17.28		
	い ₂	"	0.40		
	い ₃	"	0.84		
	い ₄	"	0.84		
	い ₅	"	1.49		
	ロ			1.39	
	ハ				
	ニ			0.45	
	ほ	人 工	13.17		
	へ	天 然	1.14		
	と	人 工	9.06		
	ち	天 然	4.83		
	り	人 工	1.73		
	ぬ ₁	"	9.13		
	ぬ ₂	"	2.97		
	る	天 然	4.70		
	を	"	13.09		
	わ	人 工	1.53		
	カ			0.25	
	計		82.20	2.49	合計 84.69

林 班	小 班	林 相	林 地 面 積	除 地	備 考
14	い ₁	人 工	24.75 <i>ha</i>	<i>ha</i>	
	い ₂	天 然	1.93		
	ロ			0.07	
	ハ			0.15	
	に	人 工	13.56		
	ほ ₁	"	14.80		
	ほ ₂	天 然	0.07		
	ほ ₃	"	0.12		
	ほ ₄	"	0.27		
	ほ ₅	"	0.22		
	へ ₁	人 工	31.80		
	へ ₂	天 然	0.15		
	へ ₃	"	0.15		
	へ ₄	"	3.47		
	へ ₅	"	1.98		
	へ ₆	"	0.84		
	へ ₇	人 工	3.09		
	ト			1.81	
	計		97.20	2.03	合計 99.23
17	い	人 工	17.50		
	ロ ₁			0.37	
	ロ ₂			0.92	
	は	天 然	0.92		
	に	"	0.16		
	ほ	人 工	18.02		
	へ	天 然	0.45		
	と	"	0.54		
	ち	"	0.77		
	り ₁			4.95	苗 畑
	り ₂			0.89	苗 畑
	ぬ	天 然	0.50		
	る ₁	人 工	8.91		
	る ₂	天 然	1.19		
	る ₃	"	1.14		
	を ₁	人 工	24.95		
	を ₂	天 然	0.57		
	わ ₁	人 工	17.40		
	わ ₂	天 然	0.57		
	わ ₃	"	0.42		
	わ ₄	"	0.25		
	か	人 工	14.83		
	よ	天 然	0.05		
	た	"	0.07		
	レ			0.58	
	計		109.21	11.71	合計 120.92

林 班	小 班	林 相	林地面積	除 地	備 考
31	い ロ ハ に ほ へ と ち ₁ ち ₂ り ぬ ル ヲ ワ	人 工 天 然 人 工 天 然 人 工 " 天 然 " 天 然 人 工	17.30 <i>ha</i> 1.98 2.97 15.84 6.01 6.44 0.25 9.53 6.06	<i>ha</i> 0.15 0.12 0.07 0.05 0.05	
	計		66.38	0.44	合計 66.82

付表2の1 プロット別樹種別の本数・平均樹高・平均直径

Plot No.	林班	ヒ ノ キ			カ ラ マ ツ			その他針葉樹			広 葉 樹			Total Mean		
		本数	M. D.	M. H.	本数	M. D.	M. H.	本数	M. D.	M. H.	本数	M. D.	M. H.	本数	M. D.	M. H.
1	11	33	12.06	8.30	114	12.86	13.00	6	10.17	8.83				153	12.58	11.82
2	11	20	17.50	10.05	65	18.25	14.60	6	12.00	7.16	6	22.00	11.00	97	17.94	12.98
3	11	98	16.31	10.86	30	18.73	16.67				1	10.00	10.00	129	16.82	12.20
4	12	210	11.06	9.83	36	20.78	24.17	8	17.75	12.88				254	12.65	11.96
5	13				40	16.50	14.78	66	17.45	12.05				106	17.09	13.08
6	13				4	9.00	8.50	82	17.85	9.79	1	6.00	7.00	87	17.30	9.70
7	13	50	13.60	10.08	59	21.98	20.71				8	7.00	6.50	117	17.35	15.20
8	13	65	11.82	9.45	55	19.78	18.52				48	7.58	6.77	168	13.21	11.65
9	13	60	6.13	5.83	96	17.79	17.53				19	12.21	10.74	175	13.19	12.78
10	13				77	17.40	17.87				3	30.66	17.33	80	17.90	17.85
11	14	85	13.29	8.91	40	20.35	17.53				29	9.86	7.62	154	14.48	10.91
12	14	41	17.56	12.10	22	24.18	22.23				29	7.66	6.10	92	16.02	12.63
13	14	123	14.86	10.63	21	20.76	18.86	2	9.00	9.50				146	15.63	11.80
14	14				92	18.76	18.28				83	5.35	5.96	175	12.40	12.44
15	14				100	18.78	19.42				1	6.00	7.00	101	18.59	19.23
16	17	124	18.53	14.61	28	20.07	19.18							152	18.81	15.45
17	17	149	16.47	12.28	44	19.55	15.16				1	10.00	8.00	194	17.14	12.91
18	17	79	15.59	11.34	50	18.72	16.92				2	12.00	9.50	131	16.73	13.44
19	17	72	15.06	11.25	91	17.45	17.26							163	16.39	14.61
20	17	68	14.94	10.62	69	19.54	18.43							137	17.26	14.55
21	17	91	15.43	10.51	92	17.07	13.59				8	12.00	11.75	191	16.08	12.05
22	17	8	10.00	7.25	65	18.89	15.43	1	12.00	8.00				74	17.84	14.45
23	17	64	12.56	9.36	68	17.59	16.57				14	6.14	6.07	146	14.29	12.40
24	31	127	13.95	12.76	68	17.76	17.51	1	12.00	10.00	6	33.00	15.33	202	15.79	14.42
25	31	250	10.06	7.55				4	10.50	6.75	25	10.32	6.24	279	10.09	7.42
26	12	226	12.45	8.43	45	22.57	20.58	1	34.00	16.00	5	13.60	12.20	277	14.19	10.50
27	13	62	6.61	5.98	118	16.29	15.95	38	9.50	6.29	27	6.15	7.22	245	11.67	10.96
28	14	81	12.40	10.65	24	23.83	20.88				1	10.00	8.00	106	14.97	12.94
29	14	16	10.00	6.06	92	13.59	12.88				5	16.00	9.00	113	13.19	11.74
30	17	44	13.27	9.25	107	17.05	16.33							151	15.95	14.27
31	17	60	14.33	10.77	40	19.70	19.20				14	6.29	7.00	114	15.23	13.26
32	31	245	15.37	11.17	28	23.79	21.32							273	16.23	12.21
33	31	182	16.30	13.16	7	24.00	19.00							189	16.59	13.38

付表2の2 プロット別樹種別の本数・平均樹高・平均直径

Plot No.	林班	ナ ラ			ブ ナ			その他広葉樹			針 葉 樹			Total Mean		
		本数	M. D.	M. H.	本数	M. D.	M. H.	本数	M. D.	M. H.	本数	M. D.	M. H.	本数	M. D.	M. H.
1	11	1	80.00	20.00				159	10.30	7.08				160	10.74	7.16
2	11	16	39.63	19.56				153	8.07	5.74	2	15.00	11.00	171	11.00	7.10
3	11	18	36.67	18.00	4	21.00	15.25	72	9.39	6.20	11	16.36	9.64	105	15.24	8.93
4	11	7	30.00	14.00	20	10.50	8.45	85	12.05	9.54	1	24.00	14.00	113	12.99	9.66
5	12							212	9.27	8.31				212	9.27	8.31
6	12							362	8.03	7.82	3	34.66	16.33	365	8.25	7.89
7	12	13	29.54	12.92				286	6.47	5.97	36	19.78	12.92	335	8.80	6.99
8	12	13	52.46	19.77	7	14.29	12.86	207	7.76	7.55	3	19.33	12.66	230	10.64	8.47
9	12							215	9.78	10.64				215	9.78	10.64
10	12							189	9.94	8.97				189	9.94	8.97
11	12							184	10.54	10.20				184	10.54	10.20
12	13							364	8.15	9.84				364	8.15	9.84
13	31	9	13.31	9.35				49	20.22	12.00				58	19.15	11.59
14	31							318	8.13	8.07				318	8.13	8.07
15	31							73	13.86	8.45				73	13.86	8.45
16	11	16	9.63	9.50	9	14.44	11.67	147	8.73	7.92	9	10.00	6.00	181	9.16	8.15
17	11	8	40.50	18.38	5	22.40	13.40	59	9.93	8.34	29	13.79	8.86	101	14.08	9.54
18	11	3	76.67	21.67	7	20.00	11.25	151	8.86	7.01	2	17.00	15.00	163	10.69	7.56
19	11	11	42.91	22.45	2	28.00	11.00	350	6.21	7.17	1	14.00	10.00	364	7.46	7.66
20	11	6	47.67	22.83	10	18.60	14.40	183	7.09	8.45	5	9.20	8.00	204	8.90	9.15
21	12							320	7.56	8.28	1	8.00	7.00	321	7.56	8.28
22	12							402	7.25	7.84	36	12.00	8.36	438	7.64	7.88
23	12	2	80.00	16.50				186	8.33	7.89	6	27.33	9.83	194	9.66	8.04
24	12							126	9.91	9.18				126	9.91	9.18
25	12	16	49.25	22.81				230	6.45	6.00				246	9.23	7.09
26	12	9	58.89	15.33				136	8.90	8.29				145	12.00	8.73
27	12	1	38.00	14.00				252	6.84	6.71	51	18.86	11.41	304	8.96	7.52
28	13							276	5.98	7.24				276	5.98	7.24
29	13							215	7.16	8.30				215	7.16	8.30
30	13							11	19.27	11.55	68	10.62	9.07	79	11.82	9.42
31	14	4	31.00	16.75				95	8.25	6.35	32	16.88	14.84	131	11.05	8.74
32	31	219	9.12	8.63	1	16.00	14.00	68	8.47	8.21				288	8.99	8.55
33	31	28	29.00	12.36	10	18.80	11.90	142	6.99	7.02				180	11.07	8.12
34	31	13	38.00	18.46	5	18.80	7.40	251	8.28	5.94				269	9.76	6.57

付表3の1 プロット別調査所要時間

プロット 番 号	林 班	現地到着	原点確認	周 測	毎木調査	移 動	計
		分	分	分	分	分	分
A 1	11		20	60	110	30	220
" 2	11	60	20	50	120		250
" 3	11		20	60	80	50	210
" 4	12		30	50	60	40	180
" 5	13	30	10	30	120		190
" 6	13		10	30	120	30	190
" 7	13		20	50	60	40	170
" 8	13	40	20	60	80		200
" 9	13	120	10	40	120		290
" 10	13						
" 11	14		30	40	60	30	160
" 12	14		20	40	60	60	180
" 13	14	30	0	30	50		110
" 14	14						
" 15	14						
" 16	17	30	30	50	120		230
" 17	17	60	30	80	150		320
" 18	17	40	20	60	150		270
" 19	17						
" 20	17						
" 21	17	100	30	40	150		320
" 22	17	30	60	80	80		250
" 23	17		20	60	80	30	190
" 24	31		30	40	120	50	240
" 25	31	30	10	40	100		180
" 26	12		20	40	120	20	200
" 27	13		40	50	60	90	240
" 28	14	40	0	40	40		120
" 29	14	180	20	50	60		310
" 30	17	30	20	40	120		210
" 31	17	30	10	20	40		100
" 32	31	60	20	40	120		240
" 33	31		10	30	60	20	120

付表3の2 プロット別調査所要時間

プロット 号 番	林 班	現地到着	原点確認	周 測	毎木調査	移 動	計
		分	分	分	分	分	分
N 1	11						
" 2	11	90	30	60	100		280
" 3	11		60	60	120	120	360
" 4	11	90	100	60	60		310
" 5	12		10	50	70	30	160
" 6	12						
" 7	12	130	30	60	70		290
" 8	12		40	80	80	40	240
" 9	12						
" 10	12	120	20	50	60		250
" 11	12						
" 12	13		20	60	150	40	270
" 13	31	30	30	50	50		160
" 14	31	70	20	50	120		260
" 15	31		10	30	30	30	100
" 16	11		20	120	80	70	290
" 17	11	90	50	130	80		350
" 18	11	90	0	120	120		330
" 19	11	80	10	40	120		250
" 20	11		10	40	60	20	130
" 21	12	90	10	30	90		220
" 22	12		10	30	130	90	260
" 23	12	90	20	40	120		270
" 24	12		60	50	60		170
" 25	12	30	120	120	120		390
" 26	12	90	60	30	120		300
" 27	12	70	30	80	70		250
" 28	13	80	10	60	65		215
" 29	13		0	70	45	30	145
" 30	13	45	0	75	90		210
" 31	14	30	20	70	60		180
" 32	31	65	20	55	60		200
" 33	31		30	60	70	20	180
" 34	31		10	70	70	60	210

備考 現地到着所要時間は宿舎からその日に調査する一番目のプロット付近の写真上の明確な地点に到着するまでの時間。移動時間は次のプロットまで移動するに要する時間。