

標本抽出法による九州大学宮崎演習林第四次(1959年)蓄積調査報告：矢立・合戦原団地

木梨, 謙吉
九州大学農学部

長, 正道
九州大学農学部

<https://doi.org/10.15017/15842>

出版情報：演習林集報. 15, pp.51-100, 1961-02-06. Kyushu University Forests
バージョン：
権利関係：



標本抽出法による九州大学宮崎演習林
第四次（1959年）蓄積調査報告
〔矢立・合戦原団地〕

木梨謙吉・長正道

Kenkichi KINASHI and Masamichi CHŌ:

The Report of the Forest Inventory by Sampling
Methods in the Kyushu University Forests in
Miyazaki District (Report No. 4: YATATE
and KASEBARU Area)

— 1959 —

	目	次
I	緒言	
II	調査目的	
III	調査方法	
§1	人員	
§2	器材	
IV	調査方式	
V	調査結果	
§1	計画と実行・調査功程	
§2	直径階別本数材積百分率	
§3	樹種別蓄積並びに百分率	
§4	総蓄積の推定と抽出誤差	
A)	本数	
B)	材積	
C)	プロットの面積と誤差の関係	
§5	直径生長量の推定	
A)	針葉樹	
B)	広葉樹	
§6	材積方程式	
A)	針葉樹	
B)	広葉樹	
§7	材積生長量の推定	
A)	針葉樹	
B)	広葉樹	
§8	材積生長量推定誤差	
〔I〕	材積方程式についての誤差	
〔II〕	直径生長量についての誤差	
〔III〕	材積生長量の誤差	
A)	広葉樹	
B)	針葉樹	
§9	材積生長率の誤差推定	
A)	針葉樹	
B)	広葉樹	
§10	標本木	
§11	結果に対する吟味	
VI	総括	
	Résumé	

I 緒 言

第三次調査(1958年)において、いわゆる三方岳団地の調査を一応終了したので、1959年3月、矢立・合戦原団地の調査を実施した。即ち宮崎演習林の西北団地で宮崎県東臼杵郡椎葉村に位置し、北西境は熊本県球磨郡水上村に接し、ほぼ西南から北東につらなる峯筋に津野岳(1607m)、馬口岳(1437m)を背景にようし、1~8林班、面積486.07haである。4林班までを矢立、以下を合戦原(かせばる)という。地況、林況はほぼ三方岳団地と類似しており、過去に利用伐採の行われた比較的粗雑な天然生広葉樹林である。

森林標本抽出方式でこのような山岳天然生林の調査を過去3年3回に亘つて実施してきたわれわれは、第4回目には調査方式としてはどのような方法がよいかを考えた。過去3回の調査からいろいろな教訓を得たが、一応次のようなことが考えられた。

第1回目(1956年)では三方岳団地南部地区で **Systematic line-plot** 法を、また第2回目(1957年)は同中部地区で **Cluster sampling** 法を用いた。第3回目(1958年)は同北部地区で **Representative sampling** を用いた。以上からみてその工期、誤差をかえりみたときに複雑な方式が必ずしも十分な効果をあげていないように思われた。もちろんそれぞれの特徴はあるが、十分とはいえない。そこで再び振出しにもどつて今回はできるだけ調査洩れのプロットのないようにという意図から、その方式は再び **Systematic line-plot** 法を採用した。

即ち、森林調査ではいかなる場合でも、簡単でしつかりした方法が好ましいと考える。天然生林に対する調査の要領に慣れてきたことも原因して、工期や抽出誤差の面からみて前3回よりも優れてはいるが決して劣らない結果を得ることができた。

(なお、この調査はほぼ全期間を通じ木梨によつて、8mmによるカラーフィルムに採録され、測樹学実習の一例として編集された。)

II 調 査 目 的

調査目的は前3回と全く同じであつて、その主目的は矢立・合戦原団地の総蓄積量とその生長量の推定にあり、併せて針葉樹、広葉樹の量的分布の調査を眼目としている。

また、同時に前回と同じく林学科学学生の実習としてほぼ同規模の計画をもつて実施された。なお、本地区は造林地面積約50haがあるが、この部分は一応調査対象面積からは除外した。

また、この報告にはこれまであまり検討を加えなかつた重要な事項として、いわゆるプロットの面積の問題について触れた。即ちプロットの面積をどのくらいにしたら最もよいかということについて若干の考察を試みた。

さらに生長量推定誤差の検討とその計算をも併せて試みた。即ち既往の生長量推定の誤差は一応不問にふしてきたが、ここでは採られた方式に即して詳細な誤差推定を試み、厳密な結果が得られている。

III 調 査 力

§ 1. 人 員

本調査は、昭和34年(1959年)2月22日より29日までの期間、昭和33年度進学の下記林学科学学生(21名)の測樹学実習を兼ねて行つた。氏名を記し、その労苦に対して謝意を表す。

班	氏 名					
I	阿部 徹	安部 光	井部 栄昭	金川 洋		
II	川野 弥栄	草場 虎三郎	黒田 義正	五所 直久		
III	財津 禎	坂元 勝伸	武中 元	武田 憲昭		
IV	田中 義昭	中川 展彰	光井 稚彦	前田 邦利	広田 凱則	
V	村田 寛	安永 久夫	山中 貞博	山本 速水		

(計 21名)

宿泊は I ~ III 班は矢立事業所, IV, V 班は合戦原民家に分宿した。また, 班の編成は前回と同じく, 各班とも指導者 1, 学生 4, 人夫 2, 計 7 名により構成されており, 調査力としては一応十分であつたと考える。なお, 今回における宿泊所より現地までの距離は, 矢立作業所: 2 林班まで直線距離約 1 軒, 合戦原所在民家: 6 林班まで直線距離約 1.5 軒に位置したので, 前回に比し調査工期はかなりあがつた。

なお, 本調査実施計画に当り, 九州大学演習林長大野俊一教授, 同研究部青木尊重助教授, 宮崎演習林所長高木正城氏, 他関係者各位の御協力を得, また班の指導には演習林本部柿原道喜, 大学院学生坂口安, 坂本格, 吉田武夫の諸氏の協力をいただいた。また, 生長量推定誤差について熊谷才蔵教授, 植物名分類については宮島寛助教授に教えを乞うた。また計算の一部は原田富美子氏によつた。ここに深謝の意を表する次第である。

§ 2. 器 材

調査に用いた器材は前回とほぼ同じであるが, 前回調査に照して不要のものは除いた。

(イ) 各班に配布した調査器材

コ ン パ ス	1
Weise 測 高 器	1
輪 尺	1
成 長 錐	1
Swedish bark gauge	1
メートル縄 (50 m)	1
テ ー プ (20 m)	1
ス ケ ー ル (30cm)	1
ソ ロ バ ン (四ツ玉)	1
ド ラ イ バ ー (小)	1
腰 鉋	1
ノ ー ト・ホルダー	1
水平距離換算表	1
立木幹材積表 (熊本営林局)	1
プロット設定位置図 [基本図 1 : 5000]	1

(ロ) 野帳, 用紙および文具類 (各班に分配)

毎木調査野帳
調査報告書
区分求積野帳
プロット調査工期表

樹幹析解原表

core 測定野帳

その他、西洋紙、セクション・ペーパー (A-4)、フルスカップ (A-3)、封筒 (大型)、チョーク、マーキング・チョーク、ゴム付鉛筆、ゼムクリップ (小)、細紐。

(ハ) 各人配布計画書等

宮崎演習林矢立・合戦原団地蓄積調査計画書

標本調査林地プロット設定位置図 (1:20000)

(ニ) その他の携行品

樹幹析解(中島)、森林家必携、宮崎演習林森林調査簿、円分度器、キルビメーター、バロメーター、クリノメーター、計算機(クルタ)、色鉛筆(12色)、医薬品類。

以上の携行品の他、植物図鑑またはポケット用樹木図鑑の携行と、現地航空写真の携行をすすめたい。

(なお、このような調査には、単なる蓄積調査にとどめることなく、できればこれと併行して土壌調査、即ち各プロット毎にA層深度、B層の土壌サンプルを、少なくとも2個所について採取するため、スコップ、移植コテ、ビニール袋等の器材の携行をすすめたいと思う。)

IV 調査方式

今回は前3回の経験から再び **Systematic line-plot sampling** 方式をとり、できるだけ多くのプロットをとるようにした。

調査の対象林班は1~8林班、その面積486.07ha中より造林地面積約50haを除く436haに対し、第1図に示すように $N5^{\circ}W$ の磁針偏差修正による200m intervalの間隔をもつてプロットを系統的にとり、同プロットは20m×30m(0.06ha)で106個とした。

なお、1プロットの面積を0.06haとしたのは、第1回目(1956年)の0.04ha、第3回目(1958年)の0.10haに基づいて決定したもので、その変異係数を50%とすると、100個の標本プロットをとるとき、その誤差率は $50\% \div 10 = 5\%$ となり、ほぼ95%の確率で誤差率10%程度になると予測される。過去3回の調査結果では、いずれも誤差率は10%を上廻っているの、今回はその線を割ることを一応の目標とした。

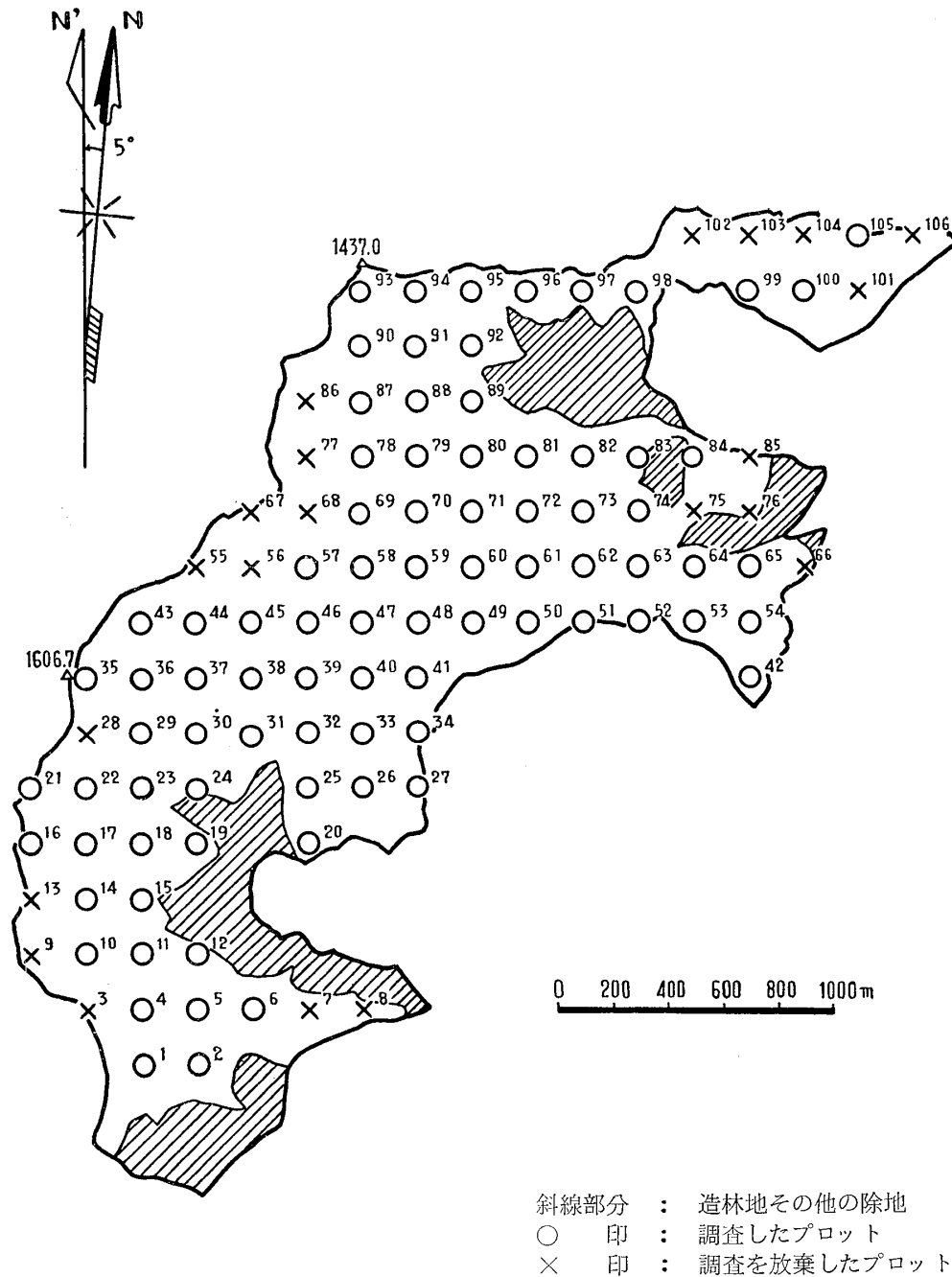
プロットは東西方向に30m、南北方向に20mとし、測線測量に当つてはなるべく **compass** を先頭にして前進するようにし、従来のように一点(測点)をにらんでから、ポールを立てるために測線を伐開するというようなことをなるべく避けるようにした。即ち、**compass** の移動の速度は、全体として作業の能率を高める結果となることが多いからである。

毎木調査は胸高直径8cm以上の立木を2cm直径括約、樹高は1m括約として測定し、また樹高は何本かを **Weise** または **Abney level** で測定し、ほぼ目測し得るようになってから、毎木につき目測した。

樹種はできるだけ詳しく記入し、不明なものは地方名を用いた。

標本木はほぼ50本毎の抽出間隔でとり、簡易樹幹析解をなし、また、**core** はほぼ25本毎の抽出間隔によつて求めた。錐の挿入は方位による偏差を除くため常にプロットの中心杭に面した方向から入れ、最近10年間についてをmm単位で測定した。なお、樹皮厚は前

第 1 図 矢立・合戦原団地 (486.07ha)
プロット設定位置図



回と同様 Swedish bark gauge で測定した。

Ingrowth の測定は 5 プロット毎に $2\text{ m} \times 2\text{ m}$ のサブプロットをプロットの中心に設定し、*D.B.H.* 8 cm 未満の立木の樹種 (*N·L* 別)、*D.B.H.*、樹高、年令の調査を行う計画であつたが、各班を通じ十分な資料を得るには至らなかつた。

また、枯損木として最近 10 年以内に枯損したと推定されるものの *D.B.H.*、樹高、*N·L* 別を記録する計画であつたが、10 年以内に枯死したかどうかの判定が困難なためこれも十分な資料を得るには至らなかつた。

これを要するに、調査方式中、プロット調査、標本木調査、生長錐調査およびその功程調査は前回の方式と大同小異であるのでその詳細は省略したが、とくに異なる点としては

1. プロットの大きさを $30\text{m} \times 20\text{m} = 0.06\text{ha}$ とした
2. 測線測量に際してはできるだけ compass を先行せしめた

第1表 調査計画とその実行

月日(曜)	計 画	天 候	実 行
3.22(日)	12:00 宮崎演習林矢立作業所 集合 p.m.各班別調査器材並びに野帳 類の分配 調査方法の説明, 打合, そ の他	雨	博多発 1:23~7:28人吉 7:34~8:15湯 前着, 湯前~湯山:バス, 湯山~矢立 :徒歩(約10km) 12:00 矢立作業所集合 p.m.各班別調査器材並びに野帳類の分配 調査方法, 地況, 林況の説明, 打合, その他各種注意事項指示 〔宿泊〕 1~3班:矢立作業所, 4,5班合戦原民 家に分宿
3.23(月)	森林標本抽出調査 1. 調査対象林班:1~8林班 2. 抽出プロット a) 個 数 106個 b) 間 隔 200m interval	晴	森林標本抽出調査開始 主として1~3班:1~4林班, 4,5班:5 ~8林班域を担当 プロット調査個数: 10 測 線 距 離: 2517m
3.24(火)	c) 単 位 0.06ha (20m×30m)	雨	雨のため調査中止
3.25(水)	3. 毎木調査 — D.B.H. 8cm以上の立木に 対して— a) 樹 種	晴	プロット調査個数: 18 測 線 距 離: 3208m
3.26(木)	b) D.B.H. (2cm括約) c) 樹 高 (1m 括約)	晴	プロット調査個数: 19 測 線 距 離: 3754m
3.27(金)	4. 成長錐調査 抽出間隔 25本 core は最近 10年間につい てを測定	晴	プロット調査個数: 20 測 線 距 離: 4275m
3.28(土)	5. 標本木の測定 抽出間隔 50本 簡易樹幹析解施行 6. Ingrowth の測定 7. 功程調査 (調査終了予定)	晴	プロット調査個数: 18 測 線 距 離: 3000m 本日にてプロット抽出調査打切り プロット調査個数:計 85 測 線 距 離:計16754m 調査プロット面積:計 5.10ha
3.29(日)	a.m.下 山 p.m.各班別使用器材, 各種資料 の整理, 点検, 返却	曇	a.m.4~5班(合戦原宿泊)矢立作業所に 集合 p.m.各班別使用器材並びに野帳類, その他 各種資料の点検, 整理, 返却 本調査(実習)の経過および功程の検 討並びに反省
3.30(月)	a.m.現 地 解 散	雨後晴	a.m.現 地 解 散

3. なるべく調査洩れのないよう, できるだけ峯筋まで深くプロットをとつた
 4. 進階生長量 (Ingrowth), および枯死木調査を計画したがその成果は十分あがらなかつた
 等があげられる.

V 調査結果

§1. 計画と実行・調査工期

昭和 29 年 3 月 22 日午前 1 時 23 分博多駅発列車で出発, 正午前後に矢立作業所に到着した. 説明や打合ののち 4, 5 班は合戦原に移動して分宿した.

翌 3 月 23 日から 28 日迄, 中一日雨のため休んだが突働 5 日間連日調査し, 29 日再び矢立作業所に集合して帰学の準備をなし, 30 日全員現地解散した. はじめの計画では全プロットの個数は 106 個であつたが, 実際に調査したものは 85 個であつて, 完成率は約 85% であるが, 実際の調査面積は 5.10ha に達し, 前年の 4.20ha に対し 121% となつている.

なお, 宿泊所を二個所に分つて調査地点までの往復距離をできるだけ小さくした.

前表 (第 1 表) は計画と実行の対照を示したものである.

これを班別にみると, 第 1 班は 5 日間に 21 個のプロットをとつており, 平均 1 日当たり 4 プロットを消化している. また, 一番少なかつた第 V 班が 15 プロットで, 平均 1 日 3 プロットとなり, プロット面積が 0.06ha となることにより, 前年の 0.10ha プロットに比してかなり多く調査ができたことがわかる.

また, 測線距離も 1 日当たり最小 240m から 1260m におよんでおり, 各班 1 日平均 925m を前進している. 今回は測線のとり方は少し粗雑な方法として, compass を先行させ, メートル繩の末端を後方測者によつておさえるようにした. 平坦な林内ではこのような方法が能率的である. しかし, プロット内の測定はできる限り注意深いやり方がすすめられる.

第 2 表 調査 功 程 表

班	区 分	3.23	3.25	3.26	3.27	3.28	計
I	調査(実働)時間	8.00(6.05)	8.30(7.35)	7.05(5.45)	9.00(8.00)	8.10(5.20)	40.45(32.45)
	調査プロット数	2	4	5	7	3	21
	測線距離	562	550	980	1261	790	4143
II	調査(実働)時間	8.00(7.00)	9.00(8.00)	7.53(6.48)	7.05(5.35)	7.20(6.20)	39.18(33.43)
	調査プロット数	2	3	4	4	4	17
	測線距離	260	800	710	923	625	3318
III	調査(実働)時間	8.05(7.05)	7.25(6.10)	8.10(7.00)	7.15(6.15)	7.55(6.55)	38.50(33.25)
	調査プロット数	3	3	4	2	4	16
	測線距離	560	493	1068	881	715	3717
IV	調査(実働)時間	8.00(6.50)	7.40(6.40)	7.20(6.20)	6.40(5.55)	7.55(6.55)	37.35(32.40)
	調査プロット数	1	4	3	4	4	16
	測線距離	630	800	600	600	630	3260
V	調査(実働)時間	7.15(6.15)	8.14(7.14)	7.01(6.01)	7.14(5.44)	5.19(3.56)	35.03(29.10)
	調査プロット数	2	4	3	3	3	15
	測線距離	505	565	396	610	240	2316
全体	調査(実働)時間	39.20(33.15)	40.49(35.39)	37.29(31.54)	37.14(31.29)	36.39(29.26)	191.31(161.43)
	調査プロット数	10	18	19	20	18	85
	測線距離	2517	3208	3754	4275	3000	16754

(単位: 時間 = 「時間・分」, 測線距離 = m)

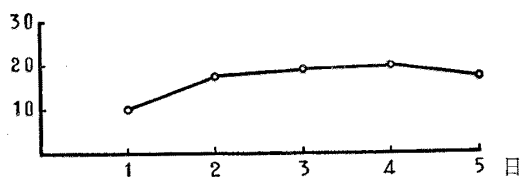
従つて、前進時間が前年度の 100m 当り 40 分から 29.8 分に減じているのはそのあらわれであろう。プロットの区割設定に 1 個当り 29.8 分、また、プロット内毎木調査に 1 個所当り 49.9 分を要しており、全体的な時間的比率は測線測量に 42.5 % が費されている点は前回とほぼ等しいが、前進の速度と 1 プロット当り調査工期の向上とで能率は面積的にみて前回より約 20 % 上昇したとみられる。

第 3 表 調査要因別工期に対する時間的比率表

班	測線測量			プロット区割設定			毎木調査		
	測線長	所要時間	比率	プロット	所要時間	比率	面積	所要時間	比率
	m	分	%		分	%	ha	分	%
I	4143	993	42.9	21	563	24.3	1.26	760	32.8
II	3318	1023	43.1	17	518	21.8	1.02	835	35.1
III	3717	940	49.0	16	335	17.4	0.96	645	33.6
IV	3260	1150	37.8	16	665	21.9	0.96	1225	40.3
V	2316	895	42.3	15	449	21.2	0.90	773	36.5
単位当	100	29.8		1	29.8		0.06	49.9	
平均			42.5			21.5			36.0

第 2 図 調査工期

0.06haプロット
調査個数



なお、調査工期のあがり方は左図(第 2 図)に示すように、日を重ねるにつれて各班とも次第に調査工期が上昇しており、調査が能率的にすすめられていることがわかる。

§ 2. 直径階別本数材積百分率

調査総本数 5345 本 (N・L 共), 中 51.4 % が 8 cm と 10cm の直径階で占められており、極めて小径級過偏の林相である。また材積 588.302m³ の中 51.8 % が 8 cm ~ 26cm までの胸高直径木で占められていることも利用径級の立木本数における稀少性を示すものであろう。

次表(第 4 表)は針・広別、直径階別における本数並びに材積頻度の分布表を示したものである。なお、表中におけるパーセンテージは、針、広欄は各直径階における両者の比率を、また合計欄は全体に対する各直径階の比率をあらわす。

また、第 3 図(62頁)は本数を点線で、材積を棒線で、何れも針、広合計について、これをグラフに示したものである。

第 4 表 針・広別、直径階別本数並びに材積頻度分布表

D.B.H.	本数			材積		
	針葉樹	広葉樹	合計	針葉樹	広葉樹	合計
cm	%	%	%	m ³ %	m ³ %	m ³ %
8	26(11.6)	1468(28.7)	1494(28.0)	0.536(0.6)	30.574(6.1)	31.110(5.3)
10	22(9.8)	1227(24.0)	1249(23.4)	0.743(0.9)	40.512(8.0)	41.255(7.0)
12	14(6.2)	701(13.7)	715(13.4)	0.705(0.8)	35.645(7.1)	36.350(6.2)
14	21(9.3)	446(8.7)	467(8.7)	1.399(1.7)	32.094(6.4)	33.493(5.7)
16	11(4.9)	299(5.8)	310(5.8)	1.169(1.4)	29.327(5.8)	30.496(5.2)
18	14(6.2)	225(4.4)	239(4.5)	1.901(2.2)	28.685(5.7)	30.586(5.2)
20	13(5.8)	171(3.3)	184(3.4)	2.167(2.6)	28.475(5.6)	30.642(5.2)

22	6(2.7)	113(2.2)	119(2.2)	1.418(1.7)	23.782(4.7)	25.200(4.3)
24	5(2.2)	89(1.7)	94(1.7)	1.404(1.7)	21.360(4.2)	22.764(3.9)
26	12(5.3)	64(1.2)	76(1.4)	3.766(4.5)	18.561(3.7)	22.327(3.8)
28	11(4.9)	54(1.0)	65(1.2)	4.017(4.8)	18.825(3.7)	22.842(3.9)
30	12(5.3)	60(1.2)	72(1.3)	5.155(6.1)	25.100(5.0)	30.255(5.1)
32	13(5.8)	37(0.7)	50(0.9)	6.416(7.6)	17.103(3.4)	23.519(4.0)
34	3(1.3)	30(0.6)	33(0.6)	1.677(2.0)	17.419(3.5)	19.096(3.2)
36	4(1.8)	29(0.6)	33(0.6)	2.477(2.9)	18.242(3.6)	20.719(3.5)
38	4(1.8)	21(0.4)	25(0.5)	3.101(3.7)	15.469(3.1)	18.570(3.2)
40	5(2.2)	19(0.4)	24(0.4)	4.435(5.3)	15.041(3.0)	19.476(3.3)
42	3(1.3)	14(0.3)	17(0.3)	2.985(3.5)	12.509(2.5)	15.494(2.6)
44	6(2.7)	11(0.2)	17(0.3)	6.623(7.9)	9.056(1.8)	15.679(2.7)
46	5(2.2)	6(0.1)	11(0.2)	6.121(7.2)	6.448(1.3)	12.569(2.1)
48	3(1.3)	9(0.2)	12(0.2)	3.983(4.7)	10.151(2.0)	14.134(2.4)
50	4(1.8)	2	6(0.1)	5.990(7.1)	2.575(0.5)	8.565(1.5)
52	1(0.45)	4	5(0.1)	1.519(1.8)	5.509(1.1)	7.028(1.2)
54	1(0.45)	5(0.1)	6(0.1)	1.638(1.9)	7.083(1.4)	8.721(1.5)
56		3	3		4.401(0.9)	4.401(0.7)
58	2(0.9)	1	3	3.498(4.1)	1.559(0.3)	5.057(0.9)
60	4(1.8)	3	7(0.1)	9.489(11.3)	4.970(1.0)	14.459(2.5)
62		3	3		5.222(1.0)	5.222(0.9)
64		1	1		1.456(0.3)	1.456(0.2)
66						
68		1	1		2.064(0.4)	2.064(0.4)
70		1	1		3.782(0.7)	3.782(0.6)
72		1	1		2.615(0.5)	2.615(0.4)
74						
76						
78		1	1		3.984(0.8)	3.984(0.7)
80		1	1		4.372(0.9)	4.372(0.7)
Σ	225(4.2)	5120(95.8)	5345(100.0)	84.332(14.3)	503.970(85.7)	588.302(100.0)

§ 3. 樹種別蓄積並びに百分率

針葉樹と広葉樹の比率は、本数で 4.2% : 95.8%、材積の場合 14.3% : 85.7%であり、針葉樹はモミ、ツガ、アカマツが主で、うちモミは針葉樹の 69.1% (材積) を占めている。

広葉樹は約 105 種を識別しているが、このうち

カエデ類 (14.7%)、ブナ (12.0%)、ミズキ (8.2%)、ミズメ (7.3%)、ヒメシヤラ (6.5%)、イヌシデ (5.25%)

等が比較的材積パーセントが多い方で、他の殆んどは 5%以下、とくに 1%に満たないものが非常に多い。そのうち

オニグルミ (4.7%)、カシ類 (4.0%)、エゴノキ (3.4%)、アセビ (2.7%)、トネリコ (2.0%)、シナノキ (1.9%)、サクラ類 (1.65%)、ハウノキ (1.4%)、カツラ (0.85%)、ハリギリ (0.5%)、キハダ (0.3%)

等が利用に適した樹種であるが、ただしその殆んどは小径木である。

なお、標本にあらわれた針、広各樹種の本数並びに材積の頻度分布は次表(第 5 表)に示す通りである。表中、その他の広葉樹とあるのは、一樹種の本数が 5 本未満のもので、ナナメノキ、ネジキ、クロモジ、ネムノキ、ヒガンザクラ、アララギ、アプラチヤン、イヌザクラ、ウルシ、ウツギ、イヌエンジュ、ヒトツバカエデ等である。

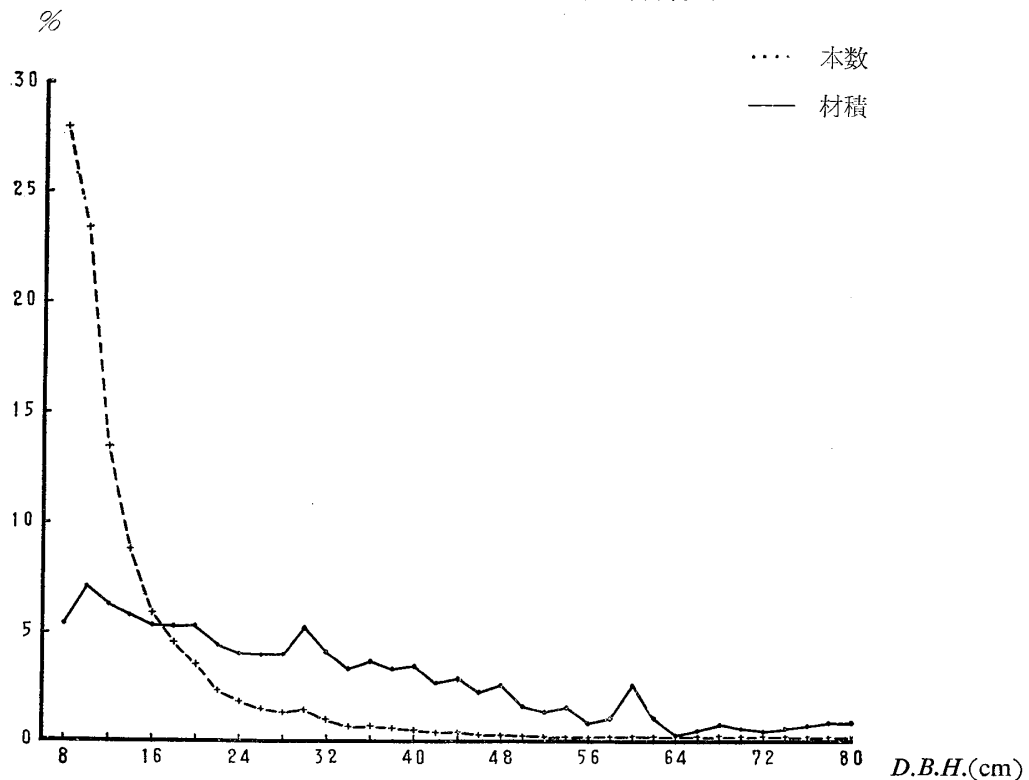
第5表 針・広別, 樹種別本数並びに材積頻度分布表

No.	樹種名	学名	本数	百分率		材積	百分率	
				N・L別	平均		N・L別	平均
1	モツ	ミガツヤヤ	109	48.5	2.0	58.244	69.1	9.9
2	ア	マ	65	28.9	1.2	17.573	20.8	3.0
3	カ	ガ	44	19.6	0.8	7.627	9.1	1.3
4	カ	ガ	3	1.3	0.1	0.754	0.9	0.1
5	イ	ス	3	1.3	0.1	0.113	0.1	
6	ス	ギ	1	0.4		0.021		
$\Sigma(N)$			225	100.0	(4.2)	84.332	(100.0)	(14.3)
1	ミ	キキ類	415	8.1	7.8	41.417	8.2	7.0
2	エ	ズノデ	410	8.0	7.7	17.216	3.4	2.9
3	カ	ゴエ	394	7.6	7.4	73.875	14.7	12.5
4	ア	セキ	345	6.7	6.5	13.504	2.7	2.3
5	シ	ヒミ	334	6.5	6.3	11.573	2.3	2.0
6	イ	デ	301	5.9	5.6	26.437	5.25	4.5
7	ミ	シ	275	5.4	5.15	36.552	7.3	6.3
8	ヒ	ズ	198	3.9	3.7	32.796	6.5	5.6
9	リ	メ	195	3.8	3.6	8.597	1.7	1.5
10	ト	ヨネ	186	3.6	3.5	11.546	2.0	1.7
11	ノ	ウ	185	3.6	3.5	8.056	1.6	1.4
12	ブ	ツ	177	3.5	3.3	60.437	12.0	10.3
13	カ	シ	164	3.2	3.0	20.538	4.0	3.5
14	オ	グ	124	2.4	2.3	23.634	4.7	4.0
15	タ	ル	106	2.1	2.0	10.606	2.1	1.8
16	シ	デ	92	1.8	1.7	11.458	2.3	2.0
17	サ	ク	79	1.6	1.4	8.249	1.65	1.4
18	シ	ナ	74	1.4	1.4	9.746	1.9	1.7
19	カ	バ	69	1.4	1.3	5.329	1.1	0.9
20	ホ	ウ	66	1.3	1.2	6.879	1.4	1.2
21	ヤ	ナ	49	1.0	0.9	2.343	0.45	0.4
22	カ	ゴ	47	0.9	0.9	4.652	0.9	0.8
23	カ	マ	43	0.8	0.8	2.387	0.5	0.4
24	シ	ロ	41	0.8	0.8	0.976	0.2	0.2
25	イ	ス	40	0.8	0.75	1.377	0.2	0.2

26	イソコク	ゲゴミバ	<i>Ilex crenata</i> Thunb. var. <i>typica</i> Loes. f. <i>genuina</i> Loes.	40	0.8	0.7	0.951	0.2	0.2
27	ソマユ	ツギ	<i>Ilex pedunculosa</i> Miq.	39	0.8	0.7	3.626	0.7	0.6
28	オノク	ユレカン	<i>Evonymus striata</i> Loes	37	0.7	0.7	1.500	0.3	0.3
29	ク	オレカン	<i>Betula Schmidtii</i> Regel	33	0.6	0.6	3.171	0.6	0.5
30		リ	<i>Castanea crenata</i> Sieb. et Zucc.	33	0.6	0.6	2.737	0.5	0.5
31	シツサ	キ	<i>Sapium japonicum</i> Pax et K. Hoffm.	33	0.6	0.6	1.543	0.3	0.3
32	ツワ	ラジ	<i>Rhododendron</i> sp.	31	0.6	0.6	2.130	0.4	0.3
33	タ	グ	<i>Pterocarya rhoifolia</i> Sieb. et Zucc.	26	0.5	0.5	3.635	0.7	0.6
34	コ	ラ	<i>Aralia elata</i> Scem.	26	0.5	0.5	2.045	0.4	0.3
35		ア	<i>Acanthopanax sciadophylloides</i> Franch. et Sav.	26	0.5	0.5	1.496	0.3	0.3
36	ク	ヌ	<i>Quercus acutissima</i> Carr.	25	0.5	0.5	2.353	0.5	0.4
37	フ	リ	<i>Kalopanax pictum</i> Nakai var. <i>typicum</i> Nakai	23	0.5	0.4	2.561	0.5	0.4
38	ア	サ	<i>Euptelea polyandra</i> Sieb. et Zucc.	22	0.4	0.4	1.556	0.4	0.2
39	ア	ホ	<i>Ilex macropoda</i> Miq.	21	0.4	0.4	1.758	0.35	0.3
40		ハ	<i>Meliosma myriantha</i> Sieb. et Zucc.	21	0.4	0.4	0.683	0.1	0.1
41	ア	オ	<i>Fraxinus Sieboldiana</i> Blume	20	0.4	0.4	1.471	0.3	0.3
42	ニ	ワ	<i>Sambucus Sieboldiana</i> Blume var. <i>typica</i> Nakai	19	0.4	0.4	1.183	0.2	0.2
43	カ	ク	<i>Lindera Thunbergii</i> Makino	18	0.4	0.3	1.376	0.3	0.2
44	キ	ハ	<i>Lespedeza Buergeri</i> Miq.	17	0.3	0.3	1.403	0.3	0.2
45	カ	ハ	<i>Cercidiphyllum japonicum</i> Sieb. et Zucc.	16	0.3	0.3	4.265	0.85	0.7
46	ヤ	マ	<i>Rhus sylvestris</i> Sieb. et Zucc.	16	0.3	0.3	0.384	0.05	0.2
47	シ	オ	<i>Fraxinus Commemorialis</i> Koidz.	14	0.3	0.3	1.367	0.3	0.3
48	ニ	カ	<i>Picrasma quasitoides</i> Benn.	14	0.3	0.3	0.689	0.1	0.1
49	ヤ	マ	<i>Morus bombycis</i> Koidz.	12	0.2	0.2	0.797	0.15	0.15
50		グ	<i>Trochodendron aralioides</i> Sieb. et Zucc.	11	0.2	0.2	0.375	0.1	0.1
51	エ	ン	<i>Sophora japonica</i> L.	9	0.2	0.2	0.649	0.1	0.1
52	ケ	ヤ	<i>Zelkova serrata</i> Makino	8	0.2	0.15	1.451	0.3	0.3
53	コ	ア	<i>Magnolia Kobus</i> DC.	8	0.2	0.15	0.367	0.1	0.1
54	セ	リ	<i>Sarcandra globra</i> Nakai	7	0.1	0.1	0.277	0.1	0.1
55	ハ	イ	<i>Bobna myrtaea</i> Miets Sieb. et Zucc.	6	0.1	0.1	0.186	0.1	0.1
56	マ	ユ	<i>Evonymus Sieboldianus</i> Blume	6	0.1	0.1	0.135	0.2	0.2
57	ウ	バ	<i>Quercus phylliraeoides</i> A Gray	5	0.1	0.1	0.887	0.2	0.2
58	ハ	メ	<i>Litsea japonica</i> Mirb.	5	0.1	0.1	0.883	0.2	0.2
59	ヌ	マ	<i>Rhus javanica</i> L.	5	0.1	0.1	0.102	0.1	0.1
60	その他の	広葉樹		59	1.2	1.1	3.762	0.75	0.65
Σ (L)				5120	100.0	95.8	503.970	(100.0)	(85.7)
Σ Σ				5345		(100.0)	588.302		(100.0)

註) 樹種分類は「森林家必携」(大改訂1957年版)に拠る

第 3 図 直径階別本数並びに材積百分率グラフ



§ 4. 総蓄積の推定と抽出誤差

いま、0.06ha プロット内における針，広別本数並びに材積の一覧表を示すと次表（第 6 表）の通りである。

また，各プロットの材積頻度分布は第 4 図に示す通りで，比較的正規分布に近い形を呈している。

いま， $N \cdot L$ ，本数，材積毎にプロットの数値計算を行うと

矢立・合戦原団地における面積 486.07ha，うち 50ha の造林地を除く全面積を 436.07ha とすると，1 プロットの面積 0.06ha に対し 85 プロットの有限補正項 (f.c.t.) は

$$\frac{N-n}{N} = \frac{7267.83-85}{7267.83} = 0.9883$$

第 7 表において

標本和 = $\sum_{85}^{85}(x)$ ，平方和 = $\sum_{85}^{85}(x^2)$ ，平均値 = $\frac{\sum_{85}^{85}(x)}{85}$ ，補正項 = $[\sum_{85}^{85}(x)]^2/85$ ，残差平方和 = (平方和) - (補正項)， $s^2 = (\text{残差平方和})/84$ ，平均値分散 = $\frac{s^2}{85} (0.9883) = 0.0116s^2$ ，ha 当平均値 = $\left(\frac{1}{0.06}\right) \times (\text{平均値}) = 16.6667 \times \text{平均値}$ ，ha 当平均値の分散 = $\left(\frac{1}{0.06}\right)^2 \times 0.0116s^2 = 277.7778 \times (0.0116s^2)$ から求められる。

また，本数に対する共分散は

$$\begin{array}{r} \sum_{85}^{85}(N \cdot L) = 12772.0000 \\ C.T. = 13552.9425 \end{array}$$

$$- 780.9425$$

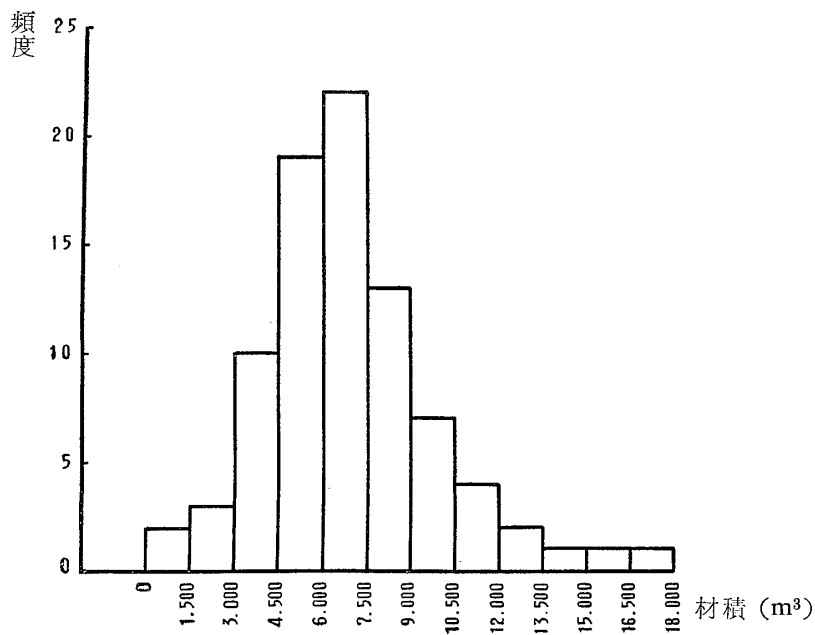
$$Cov(N \cdot L) = -9.296935$$

第 6 表 針, 広別プロット材積一覽表

No.	Plot No.	針 葉 樹		広 葉 樹		合 計	
		本 数	材 積 m ³	本 数	材 積 m ³	本 数	材 積 m ³
1	1	—	—	50	2.888	50	2.888
2	2	8	2.307	144	3.590	152	5.897
3	4	—	—	76	6.212	76	6.212
4	5	—	—	70	6.519	70	6.519
5	6	2	0.302	66	3.411	68	3.713
6	10	—	—	35	3.042	35	3.042
7	11	1	0.086	51	7.993	52	8.079
8	12	—	—	25	4.757	25	4.757
9	14	—	—	41	5.953	41	5.953
10	15	—	—	48	4.450	48	4.450
11	16	—	—	25	4.518	25	4.518
12	17	—	—	52	5.137	52	5.137
13	18	1	0.019	58	7.159	59	7.178
14	19	2	0.417	14	0.386	16	0.803
15	20	7	2.080	76	4.921	83	7.001
16	21	—	—	69	8.945	69	8.945
17	22	1	0.018	53	3.426	54	3.444
18	23	2	0.392	89	10.384	91	10.776
19	24	1	1.209	32	0.722	33	1.931
20	25	1	0.173	34	0.754	35	0.927
21	26	6	1.707	92	12.446	98	14.153
22	27	8	5.412	59	10.680	67	16.092
23	29	—	—	64	6.909	64	6.909
24	30	1	0.421	65	8.332	66	8.753
25	31	2	0.476	56	9.473	58	9.949
26	32	1	1.372	63	5.530	64	6.902
27	33	—	—	73	5.193	73	5.193
28	34	3	0.750	7	2.990	10	3.740
29	35	—	—	142	8.620	142	8.620
30	36	2	0.094	64	7.577	66	7.671
31	37	8	1.244	109	6.519	117	7.763
32	38	—	—	58	3.570	58	3.570
33	39	3	4.547	59	3.393	62	7.940
34	40	—	—	65	7.267	65	7.267
35	41	2	2.028	83	10.200	85	12.228
36	42	1	0.070	72	5.319	73	5.389
37	43	—	—	75	5.206	75	5.206
38	44	1	0.814	80	6.015	81	6.829
39	45	3	2.257	101	7.711	104	9.968
40	46	7	5.627	124	6.081	131	11.708
41	47	—	—	29	3.638	29	3.638
42	48	—	—	53	11.921	53	11.921
43	49	2	2.457	55	5.376	57	7.833
44	50	4	4.374	73	6.030	77	10.404
45	51	6	0.227	70	6.791	76	7.018
46	52	1	0.049	84	7.173	85	7.222
47	53	—	—	52	5.610	52	5.610
48	54	—	—	67	7.782	67	7.782
49	57	8	4.737	40	4.983	48	9.720
50	58	9	2.664	61	5.472	70	8.136
51	59	—	—	45	4.361	45	4.361
52	60	3	2.620	35	3.280	38	5.900
53	61	1	0.811	36	9.603	37	10.414
54	62	4	0.474	56	2.636	60	3.110

55	63	—	—	42	4.543	42	4.543
56	64	2	0.380	49	6.939	51	7.319
57	65	40	5.829	13	0.202	53	6.031
58	69	1	0.991	43	11.611	44	12.602
59	70	7	0.502	79	6.667	86	7.169
60	71	3	1.622	59	15.557	62	17.179
61	72	—	—	69	5.106	69	5.106
62	73	1	0.234	103	6.227	104	6.461
63	74	4	0.782	77	10.808	81	11.590
64	78	3	4.796	44	4.850	47	9.646
65	79	2	1.017	46	4.539	48	5.556
66	80	—	—	74	6.861	74	6.861
67	81	—	—	41	3.221	41	3.221
68	82	1	0.157	26	1.552	27	1.709
69	83	2	0.142	71	5.276	73	5.418
70	84	1	0.045	91	7.107	92	7.152
71	87	—	—	58	7.237	58	7.237
72	88	4	0.983	69	4.132	73	5.115
73	89	—	—	54	4.598	54	4.598
74	90	10	3.166	62	6.532	72	9.698
75	91	—	—	59	6.311	59	6.331
76	92	5	0.443	50	7.267	55	7.710
77	93	—	—	48	7.876	48	7.876
78	94	4	1.664	50	5.736	54	7.400
79	95	3	1.752	43	5.792	46	7.544
80	96	6	0.699	55	4.088	61	4.787
81	97	2	0.209	60	5.717	62	5.926
82	98	11	6.189	15	1.124	26	7.313
83	99	1	0.495	56	4.809	57	5.304
84	100	—	—	76	6.910	76	6.910
85	105	—	—	63	5.921	63	5.921
Σ		225	84.332	5120	503.970	5345	588.302

第 4 図 0.06ha プロットの材積頻度分布



第7表 ha 当分散計算表

要因	N		L		N+L	
	本数	材積	本数	材積	本数	材積
標本和 (85)	225	84.332	5120	503.970	5345	588.302
平方和	2641	291.7351	360492	3632.7187	388677	4855.8895
平均値	2.6471	0.9921	60.2353	5.9291	62.8824	6.921
補差平方和	595.59	83.6658	308404.74	2988.0885	336106.43	4071.7558
残差平方和	2045.14	208.0693	52087.26	644.6302	52570.57	784.1337
s^2	24.3501	2.4770	620.0864	7.6742	625.8401	9.3349
平均値分散	0.2825	0.0287	7.1930	0.0890	7.2597	0.108285
ha 当平均値	44.12	16.5350	1003.92	98.8183	1048.0400	115.3533
ha 当分散	78.4722	7.981390	1998.0557	24.727780	2016.5835	30.079169

材積に対する共分散は

$$\sum_{i=1}^{85} (N \cdot L) = 465.717840$$

$$C.T. = 500.012861$$

$$- 34.295021$$

$$Cov(N \cdot L) = -0.408274$$

以上から本数、材積の推定とその誤差を求めると次の通りである。

A) 本数

[ha 当]

$$N: 44 \pm 8.7 \text{ (95\% 誤差率 39.4\%)}$$

$$L: 1004 \pm 44.8 \text{ (" 8.7\%)}$$

$$N+L: 1048 \pm 45.0 \text{ (" 8.4\%)}$$

[調査全域]

$$N: 19238 \quad L: 437780$$

$$N+L: 457018$$

B) 材積

[ha 当]

$$N: 16.5 \pm 2.83 \text{ (95\% 誤差率 33.5\%)}$$

$$L: 98.8 \pm 4.98 \text{ (" 9.9\%)}$$

$$N+L: 115.4 \pm 5.49 \text{ (" 9.3\%)}$$

[調査全域]

$$N: 7211\text{m}^3 \quad L: 43091\text{m}^3$$

$$N+L: 50302\text{m}^3$$

即ち、全蓄積は矢立・合戦原団地で 50302m^3 、その推定誤差は 95% の確率において 9.3% である。

なお、本地区に対する主要樹種の蓄積および利用可能な材積を、全蓄積に対する樹種別材積百分率並びに径級百分率から計算するとほぼ右表 (第8表) の通りである。

第8表 樹種別蓄積および利用材積

[I] 針葉樹総蓄積 7211m^3

(利用直径 36cm 以上 61.4%)

樹種	材積百分率 %	蓄積 m^3	利用材積 m^3
モミ	69.1	4983	3060
ツガ	20.8	1500	921
アカマツ	9.1	656	403

[II] 広葉樹総蓄積 43091m^3

(利用直径 26cm 以上 46.4%)

樹種	材積百分率 %	蓄積 m^3	利用材積 m^3
カエデ類	13.9	5990	2779
ブナ	12.0	5171	2399
ミズキ	8.2	3533	1639
シデ類	7.6	3275	1520
ミズメ	7.3	3146	1460
ヒメシヤラ	6.5	2801	1300
クルミ	4.7	2025	940
ナラ類	4.0	1724	800
トネリコ	2.0	862	400
シナノキ	1.9	819	380
ハウノキ	1.4	603	280
サクラ類	1.2	517	240
カツラ	0.9	388	180
カハリギ	0.4	172	80
キハダ	0.3	129	60

C) プロットの面積と誤差の関係

今回の抽出誤差率 9.3 %は、既往 3 回のどの調査よりも精度がよい。これはほぼ等しい調査力とほぼ等しい対象面積に対して次第に精度が向上してきたことを意味する。その理由の一つはプロットの大きさを 0.06ha にとつたことによると思われる。前回の 0.10ha のプロットは調査時間が多くかかっているし、また前々回の 0.04ha プロットでは変動係数が高い。因みに今回における 0.06ha での変動係数 $C.V.$ は $N+L$ で、前表 (第 7 表) の $s^2=9.3349$ から

$$\left(\frac{N-1}{N}\right)s^2 \rightarrow \sigma^2$$

として

$$\left(\frac{7268-1}{7268}\right) \times 9.3349 \div 9.3349 \rightarrow \sigma^2$$

とすると

$$C.V. = \frac{\sqrt{9.3349}}{6.9212} = \frac{3.0553}{6.9212} = 44.14\%$$

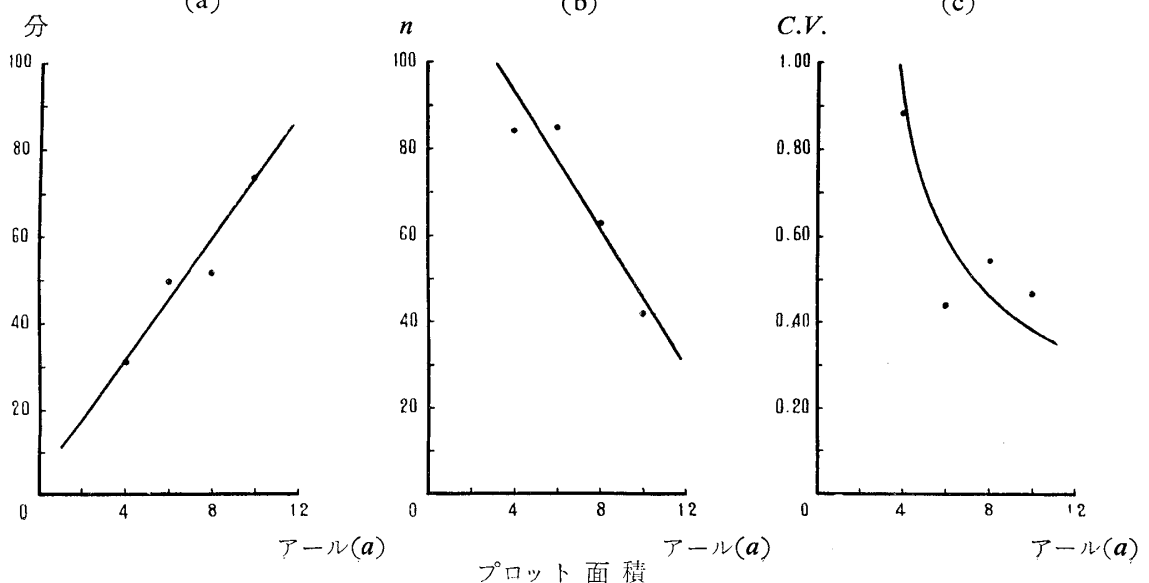
となつている。

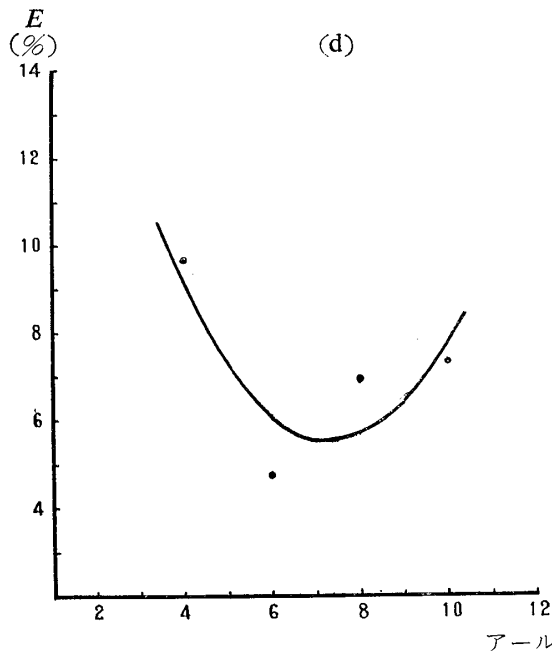
1956 年から 1959 年に亘る 4 回の調査結果から、プロットの面積、平均調査時間、調査個数、林分変異係数 $C.V.$ 、および抽出誤差を一覧表として示すと、次表 (第 9 表) の通りである。

第 9 表 プロットの面積と調査時間および誤差

調査年次	プロット面積	1 プロット当 調査時間	n	$C.V.$	$E\% = \frac{CV}{\sqrt{n}}$
	ha	分		%	
1956 春	0.04	31.0	84	88.69	9.68
1959 春	0.06	49.4	85	44.14	4.79
1959 秋	0.08	51.2	63	55.37	6.98
1958 春	0.10	73.5	42	47.61	7.35

第 5 図 プロット面積と所要時間(a), 抽出個数(b), 変異係数(c), および抽出誤差率(d)





また、プロットの大きさによる調査時間、調査個数、 $C.V.$ 、および誤差を図示すると前図（第5図 (a), (b), (c), (d)）のようになっている。

いま、最後の誤差曲線を最小自乗法により求めると

$$E=23.33-4.84x+0.33x^2$$

$$(SE=1.99)$$

となる。ここに x はアール (a) 単位であらわしたプロットの面積であり、 E は誤差率である。

この曲線は、図で示すように x が 6 と 8 の間に最小点があるので、微分して 0 とおくと、最小の場合の $x=7.37$ (アール) となり、そのときの誤差は 5.58 % となっている。

従つて、面積 7 アール附近のプロットが調査時間とにらみあわせて、抽出誤差を最小にし得ると考えられる。

x	x^2	x^3	x^4	y	y^2	xy	x^2y
4	16	64	256	9.68	93.7024	38.72	154.86
6	36	216	1296	4.79	22.9441	28.74	172.44
8	64	512	4096	6.98	48.7204	55.84	446.72
10	100	1000	10000	7.35	54.0225	73.50	735.00
28	216	1792	15648	28.80	219.3894	196.80	1509.02

$$c=0.3284$$

$$b=-0.24-14 \times 0.3284$$

$$=-0.24-4.5976$$

$$=-4.8376$$

$$a=7.2-7 \times (-4.8376)-54 \times 0.3284$$

$$=7.2+33.8632-17.7336$$

$$=23.3296$$

$$E=23.3296-4.8376x+0.3284x^2$$

$$SE=\sqrt{3.9736} \div 1.99$$

	1	x	x^2	y
1	4	28	216	28.80
x		216	1792	196.80
x^2			15648	1509.02
y				219.3894
7		20	280	-4.80
54			3984	-46.18
7.2				12.0294
14			64	21.02
-24				10.8774
0.3284375				3.9736

(但しこの式は厳密には x 、および x^2 の係数は有意ではない)

x	$-4.8376x$	$0.3284x^2$	$+23.3296$	$E(\%)$
4	-19.3504	5.2544		9.2336
5	-24.1880	8.2100		7.3516
6	-29.0256	11.8224		6.1264
7	-33.8632	16.0916		5.5580
7.3654				5.5141 (min.)
8	-38.7008	21.0176		5.6464
9	-43.5384	26.6004		6.3916
10	-48.3760	32.8400		7.7936

$$\frac{dE}{dx} = -4.8376 + 2 \times 0.3284 \quad x=0$$

$$x = \frac{4.8376}{0.6568} = 7.3654 \quad (\text{min. point})$$

$$\begin{aligned} E &= 23.3296 - 4.8376 \times 7.3654 + 0.3284 \times (7.3654)^2 \\ &= 23.3296 - 35.6309 + 17.8154 \\ &= 5.5141\% \end{aligned}$$

§5. 直径生長量の推定

直径生長量推定のために針葉樹 30 本, 広葉樹 140 本, 計 170 本の core が抽出された。プロットにおける毎木調査全本数は 5345 本であるから 3.2% に相当し, 約 30 本に 1 本の割合でとられたことになる。なお, 170 本中針葉樹が 30 本であるからその比率は 17.6% で, ほぼ全体の樹種比率と合致している。

A) 針 葉 樹

モミ 21 本, ツガ 8 本, アカマツ 1 本となつている。

いま, モミとツガ (含アカマツ) について

$$X = \text{皮付定期中央部直径} \quad K = 1.0406 \sim 1.0418$$

$$Y = \text{皮付直径生長量}$$

を示すと次表 (第 10 表 [I]) の通りである。

第 10 表 樹種別直径 (X) : 皮付直径生長量 (Y) 一覽表
[I] 針 葉 樹

X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
モ	ミ	27.0	0.27	ツ	ガ	mean	
(21本)		28.8	0.63	[含アカマツ]		20.97	0.444
8.2	0.31	30.5	0.22	(9本)			
10.4	0.84	34.5	1.16				
10.7	0.22	36.8	0.81	3.5	1.25		
12.5	0.25	38.9	0.48	9.6	0.29		
13.0	0.94	39.9	0.94	[15.1	0.25]		
		43.3	0.50	16.7	0.45		
15.0	1.28	45.0	0.22	23.9	0.44		
15.3	0.86						
18.5	0.75	55.0	1.02	24.3	0.30		
22.3	0.88			27.6	0.36		
22.5	0.79	mean		30.0	0.22		
23.4	0.27	26.26	0.650	38.0	0.44		

X, Y の回帰式は

[モ ミ]				[ツガおよびアカマツ]			
	1	X	Y		1	X	Y
1	21	551.5	13.64	1	9	188.7	4.00
X		18030.87	364.727	X		4878.77	69.511
Y			11.1808	Y			2.5668
26.2619		3547.43	6.515	20.9667		922.3601	-14.355
0.6495			2.3213	0.4444			0.7891
0.0018			2.309	-0.0156			0.5660

〔モミ・ツガ・アカマツの General reg.〕

	1	X	Y
1	30	740.2	17.64
X		22909.64	434.238
Y			13.7476
	24.6733	4646.4387	-0.9996
	0.5880		3.3753
	-0.0002151		3.3751

〔Common reg.〕

	X	Y
	4469.7901	-7.8400
		3.1104
	-0.001753997	3.0966

これより共分散分析は

要因	SS	DF	MS	F
個々の回帰誤差の和	2.8750	26	0.1106	
Reg. diff.	0.2216	1	0.2216	2.00
Common reg. の誤差	3.0966	27	0.1147	
Adj. mean	0.2781	1	0.2785	2.43
General reg. の誤差	3.3751	28		

即ち、個々の回帰式の計算ではモミの回帰式は回帰係数の符号が (+) であるのに対し、ツガおよびアカマツは (-) である。なお、これは前回の調査資料でもそうであった。即ちモミは一般的に上昇的な直径生長の性質があるのに対し、ツガは下降型のようにみうけられる。ただし、その係数は両方とも僅かであつて、たとえばモミ = 0.0018, ツガ = -0.0156 である。なお、上に示すような共分散分析を行うと回帰係数間の差は有意と認められない。平均値についてはモミの 0.6495 に対し、ツガは 0.4444 であるが、これを共通回帰で修正した場合の平均値の差もまた上の共分散分析が示すように有意差を示しておらないので両回帰式を一本にまとめた General reg. を用いることとなる。

また、General reg. の誤差の分散分析を試みると

	SS	DF	MS
Const.	10.3723	1	10.3723
Reg. on X	0.0002	1	0.0002
Error	3.3751	28	0.1205
Total	13.7453	30	

となり、これも回帰の項は有意差を認めないので平均値のみをとつて

$$Y_{(M)} = 0.5880$$

となる。即ち、直径階のいかににかかわらず針葉樹の直径生長量は皮の生長をも含み平均 5.88mm で計算された。

B) 広葉樹

広葉樹の core は全部で 140 本である。樹種は約 37 種に亘つているのでこれを各樹種についてまとめて標示すると第 10 表〔II〕の通りである（表中、X は皮付胸高直径を、また Y は 1 年間の皮付直径生長量をあらわす）。

第 10 表 樹種別直径 (X) : 皮付直径生長量 (Y) 一覧表

〔 II 〕 広 葉 樹

X	Y	X	Y	X	Y	X	Y				
ミ ズ キ (14本) 6.2 6.7 6.8 8.1 8.4 12.1 12.2 14.8 15.6 18.4 18.5 25.1 29.4 29.7	0.35 0.19 0.22 0.33 0.73 0.73 0.40 0.73 0.49 0.35 0.21 0.31 0.17 0.46	7.5	0.10	ヒ メ シ ヤ ラ (4本) 6.5 15.0 17.5 29.4	0.31 0.28 0.20 0.31	7.7	0.46				
		8.0	0.44					9.3	0.23		
		8.1	0.41			18.5	0.67				
		8.7	0.17								
		18.9	0.23	ア セ ビ (4本) 6.8 7.5 13.2 25.3	0.22 0.17 0.19 0.20	ミ ズ メ (3本) 10.4 12.7 17.2	0.29 0.29 0.31				
		23.8	0.11								
		25.5	0.07								
		31.4	0.25								
		38.0	0.19	ブ ナ (8本) 8.1 11.3 14.9 21.8 27.9	0.27 0.48 0.64 0.55 0.62	ミ ネ バ リ (3本) 8.7 11.1 14.0	0.21 0.23 0.31				
		30.7	0.60								
		36.1	0.19								
		37.8	0.35			サ ク ラ 類 (4本) 8.6 9.3 15.6 22.3	0.23 0.16 0.62 0.44	イ ヌ ツ ゲ (2本) 4.1 5.6	0.44 0.37		
		シ デ 類 (13本) 1.4 5.7 6.5 6.6 6.8 6.9 8.0 9.2 9.8 13.1 13.7 30.9 40.4	0.77 0.52 0.28 0.30 0.20 0.19 0.40 0.20 0.62 0.29 0.17 0.40 0.16	シ キ ミ (8本) 7.7 9.5 9.9 11.2 11.6	0.94 0.17 0.07 0.14 0.14					カ ゴ ノ キ (2本) 9.9 20.8	0.27 0.33
								ツ ツ ジ (4本) 7.8 11.7 13.3 29.4	0.08 0.11 0.21 0.30		
ナ ラ 類 (7本) 2.8 6.7 10.8 11.7 13.3	0.19 0.29 0.26 0.55 0.37									イ モ ノ キ (3本) 9.7 11.5 33.4	0.46 0.48 0.14
						エ ゴ ノ キ (6本) 6.8 7.2 8.4 9.2 10.4	0.26 0.18 0.31 0.19 0.33				
				カ エ デ 類 (10本) 5.6	0.23					ハ リ ギ リ (3本)	ナ ナ メ ノ キ (2本) 14.7 22.1

ヤマビワ (2本) 6.4 0.22 13.3 0.17	ヤマヤナギ (1本) 9.0 0.23	ネジキ (1本) 9.4 0.08	ニガキ (1本) 10.3 0.23
アオベラ (1本) 9.4 0.14	トネリコ (1本) 11.1 0.27	シナノキ (1本) 14.6 0.31	クリノキ (1本) 22.2 0.08
レンジョウ (1本) 11.2 0.16	カツラ (1本) 48.0 0.37	タラノキ (1本) 23.8 0.44	キハダ (1本) 13.1 0.22
ヤマツゲ (1本) 10.7 0.28	カナクギノキ (1本) 12.6 0.31	ヘラノキ (1本) 36.1 0.31	

いま、140本の core をこみにした広葉樹全体の回帰式を求めると

	1	X	Y	ck
1	140	2088.5	48.93	2277.43
X		43148.27	718.3300	45955.10
Y			26.9761	794.2361
	14.91785714	11992.3256	-11.6007	11980.7247
	0.34950000		9.8751	-1.7256
	-0.00096734		9.8639	9.8638

またその分散分析は

	SS	DF	MS
Const.	17.1010	1	
Reg. on X	0.0112	1	
Error	9.8639	137	0.0720
Total	26.9761	140	

即ち、Xに関する回帰は有意でないので針葉樹の場合と同様

$$Y_{(L)} = 0.3495$$

となる。

§6. 材積方程式

各プロットにおける毎木調査材積より、各直径階別材積を算出し、それぞれの木数で除して平均一本当りの材積を求め、木数の重みづきの二次式を用いて材積式を針、広別に求めると次の通りである。

〔針 葉 樹〕

	1	wD	wD^2	wv	wck
1	225	52.50	16.6164	84.332	378.4484
D		16.6164	6.3290	33.4140	108.8594
D^2			2.7311	14.7392	40.4175
v				84.1264	216.6116
0.23333333		4.3664	2.4518	13.7365	20.5547
0.07385067			1.5040	8.5112	12.4670
0.37480888				52.5180	74.7657
0.56151521			0.1273	0.7979	0.9252
3.14595547				9.3036	10.1015
6.26787117				4.3025	4.3025

これより

$$V_{(N)} = -0.0009 - 0.3735D + 6.2679D^2$$

となる。

〔広 葉 樹〕

	w	wD	wD^2	wv	wck
1	5120	687.10	121.5500	503.8944	6432.5444
D		121.5500	30.3130	136.7664	975.7294
D^2			10.4233	50.2462	212.5325
v				249.4037	940.3107
0.13419922		29.3417	14.0011	69.1442	112.4870
0.02374023			7.5377	38.2836	59.8224
0.09841688				199.8120	307.2398
0.477174124			0.8568	5.2898	6.1466
2.356516493				36.8726	42.1624
6.17390289				4.2139	4.2139

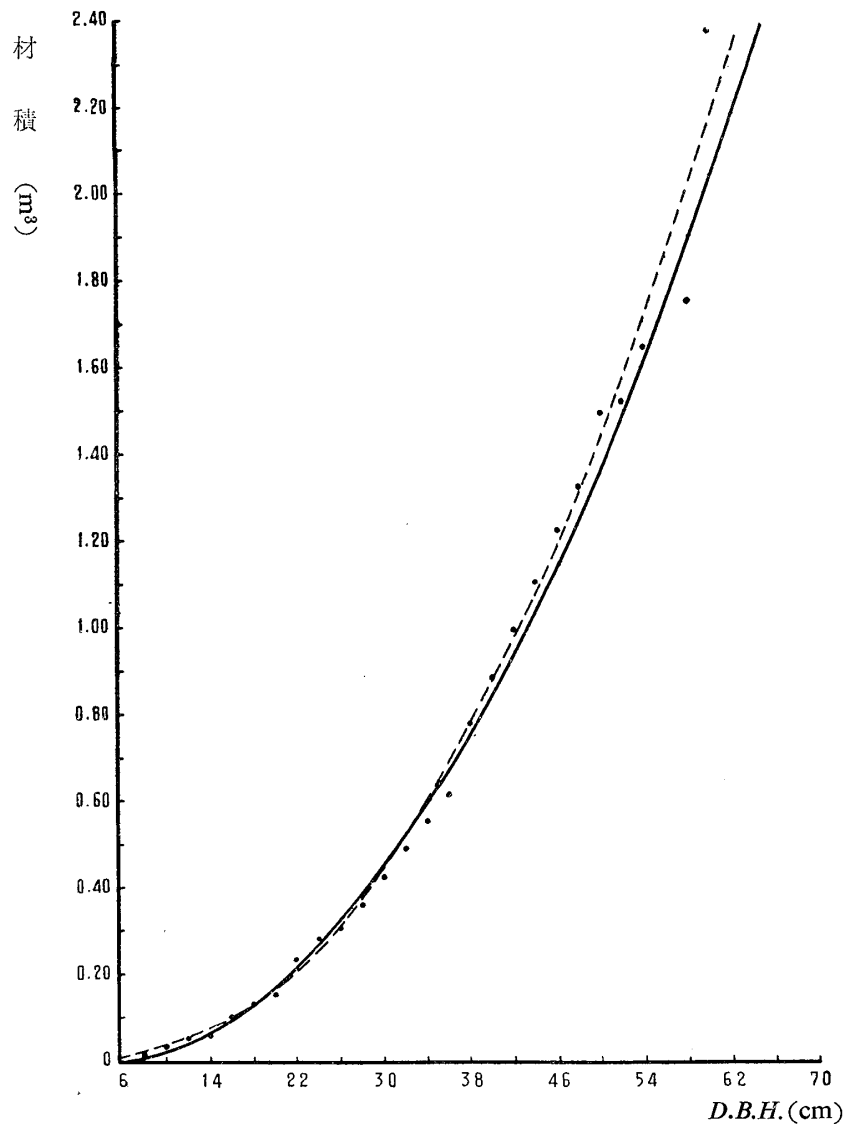
これより

$$V_{(L)} = 0.0310 - 0.5895D + 6.1739D^2$$

となる。

なお、次図（第6図）は針葉樹（a）、広葉樹（b）別に、重みをつけない場合と、重みをつけた場合の、各々における材積曲線を示したものである。これより、重みをつけない場合は小径級の附近で適合が悪く、とくに広葉樹の場合それが著しい。

第 6 図 (a) 針葉樹材積曲線



いま、針、広それぞれの材積式の誤差の分析を試みると次の通りである。

[針葉樹]

	<i>SS</i>	<i>DF</i>	<i>MS</i>
1	31.6084	1	
<i>D</i>	43.2144	1	
<i>D</i> ²	5.0011	1	
Error	4.3025	23	0.1871
Total	84.1264	26	

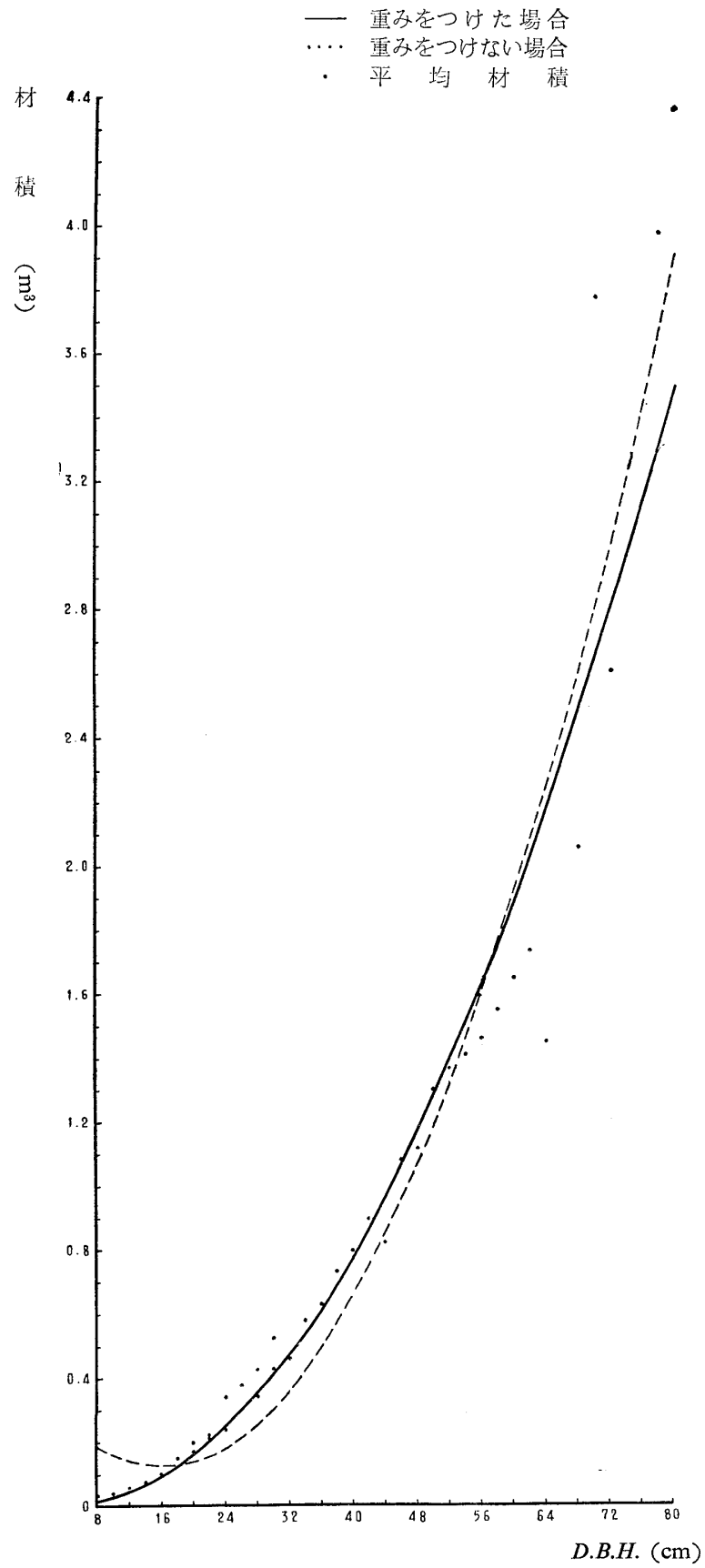
[広葉樹]

	<i>SS</i>	<i>DF</i>	<i>MS</i>
1	49.5917	1	
<i>D</i>	162.9394	1	
<i>D</i> ²	32.6587	1	
Error	4.2139	31	0.1359
Total	249.4037	34	

即ち、上表に示すように針葉樹、広葉樹とも、各回帰係数は0と有意差を示す。また、それぞれの誤差は*MS*に示す通りであるが、二つの材積方程式には差がないと思われる。なお共分散分析は省略する。

ここでは二つの方程式は、みかけ上では一応差があるものとして別々に計算にのせた。

(b) 広葉樹材積曲線



§7. 材積生長量の推定

直径生長量回帰式と材積式の二つから、針、広それぞれについて生長量の計算を行うと次の通りである。

A) 針 葉 樹

第 11 表 材 積 生 長 量 計 算 表

〔 I 〕 針 葉 樹

D.B.H.	v	Δv	$0.2940\Delta v$	N	$0.2940\Delta v \cdot N$
cm	m^3	m^3	m^3		m^3
8	0.0093	0.0151	0.0044	26	
10	0.0244	0.0202	0.0059	22	
12	0.0446	0.0252	0.0074	14	
14	0.0698	0.0300	0.0088	21	
16	0.0998	0.0352	0.0103	11	
18	0.1350	0.0401	0.0118	14	
20	0.1751	0.0452	0.0133	13	
22	0.2203	0.0502	0.0148	6	
24	0.2705	0.0552	0.0162	5	
26	0.3257	0.0602	0.0177	12	
28	0.3859	0.0652	0.0192	11	
30	0.4511	0.0703	0.0207	12	
32	0.5214	0.0753	0.0221	13	
34	0.5967	0.0802	0.0236	3	
36	0.6769	0.0854	0.0251	4	
38	0.7623	0.0903	0.0265	4	
40	0.8526	0.0953	0.0280	5	
42	0.9479	0.1004	0.0295	3	
44	1.0483	0.1053	0.0310	6	
46	1.1536	0.1103	0.0324	5	
48	1.2639	0.1154	0.0339	3	
50	1.3793	0.1204	0.0354	4	
52	1.4997	0.1254	0.0369	1	
54	1.6251	0.1304	0.0383	1	
56	1.7555	0.1355			
58	1.8910	0.1413	0.0415	2	
60	2.0323	0.1446	0.0425	4	
62	2.1769				
Σ				225	3.5383

即ち、プロットの全面積を 5.10ha とすると、ha 当り材積生長量は

$$\text{一本当平均生長量} : \frac{3.5383}{225} = 0.0157m^3$$

$$\text{ha 当 生 長 量} : 3.5383 \div 5.1 = 0.6938m^3/\text{ha}$$

$$\text{全 生 長 量} : 0.6938 \times 436.07 = 302.55m^3$$

また針葉樹の全材積は 84.3320m³ で

$$\text{ha 当 り 材 積} : 84.332 \div 5.1 = 16.5357m^3/\text{ha}$$

従つて生長率は

$$0.6938 \div 16.5357 = 4.196 \%$$

となる。

B) 広葉樹

第 11 表 材積生長量計算表

〔II〕 広葉樹

D.B.H.	v	Δv	$0.1748 \Delta v$	N	$0.1748 \Delta v \cdot N$
cm	m^3	m^3	m^3		m^3
8	0.0233	0.0104	0.0018	1468	
10	0.0337	0.0155	0.0027	1227	
12	0.0492	0.0203	0.0035	701	
14	0.0695	0.0253	0.0044	446	
16	0.0948	0.0301	0.0053	299	
18	0.1249	0.0352	0.0062	225	
20	0.1601	0.0400	0.0070	171	
22	0.2001	0.0450	0.0079	113	
24	0.2451	0.0499	0.0087	89	
26	0.2950	0.0550	0.0096	64	
28	0.3500	0.0598	0.0105	54	
30	0.4098	0.0648	0.0113	60	
32	0.4746	0.0697	0.0122	37	
34	0.5443	0.0746	0.0130	30	
36	0.6189	0.0796	0.0139	29	
38	0.6985	0.0845	0.0148	21	
40	0.7830	0.0895	0.0156	19	
42	0.8725	0.0945	0.0165	14	
44	0.9670	0.0992	0.0173	11	
46	1.0662	0.1043	0.0182	6	
48	1.1705	0.1092	0.0191	9	
50	1.2797	0.1142	0.0200	2	
52	1.3939	0.1191	0.0208	4	
54	1.5130	0.1240	0.0217	5	
56	1.6370	0.1289	0.0225	3	
58	1.7659	0.1340	0.0234	1	
60	1.8999	0.1388	0.0243	3	
62	2.0387	0.1438	0.0251	3	
64	2.1825	0.1488	0.0260	1	
66	2.3313	0.1536	0.0268	0	
68	2.4849	0.1586	0.0277	1	
70	2.6435	0.1636	0.0286	1	
72	2.8071	0.1684	0.0294	1	
74	2.9755	0.1735	0.0303	0	
76	3.1490	0.1784	0.0312	0	
78	3.3274	0.1862	0.0325	1	
80	3.5136	0.1975	0.0345	1	
82	3.7111				
Σ				5120	21.2779

$$\text{一本当平均生長量} : \frac{21.2779}{5120} = 0.0042m^3$$

$$\text{ha 当生長量} : \frac{21.2779}{5.1} = 4.1721m^3/\text{ha}, \text{ 全生長量} : 4.1721 \times 436.07 = 1819.33m^3$$

$$\text{ha 当 } L \text{ 材積} : \frac{503.970}{5.1} = 98.8176m^3$$

$$\text{生長率} : \frac{4.1721}{98.8176} = 4.222\%$$

また、針葉樹および広葉樹の生長量合計は ha 当り

$$0.6938 + 4.1721 = 4.8659 \text{ m}^3/\text{ha}$$

$$\text{全材積} : 588.302 \div 5.1 = 115.3533 \text{ m}^3/\text{ha}$$

こみにした生長率は

$$\frac{4.8659}{115.3533} = 4.2183 \%$$

となる。

なお、生長率が比較的高いのは計算過程において直径の回帰が全部認められなかつたため、平均直径生長量が用いられたことと、材積差、即ち 2 cm 括約に対し材積増加量として当該直径の材積を、上級直径材積の差を用いたためである。

過去の生長率の計算結果を参考のためふりかえると右表の通りとなっている。

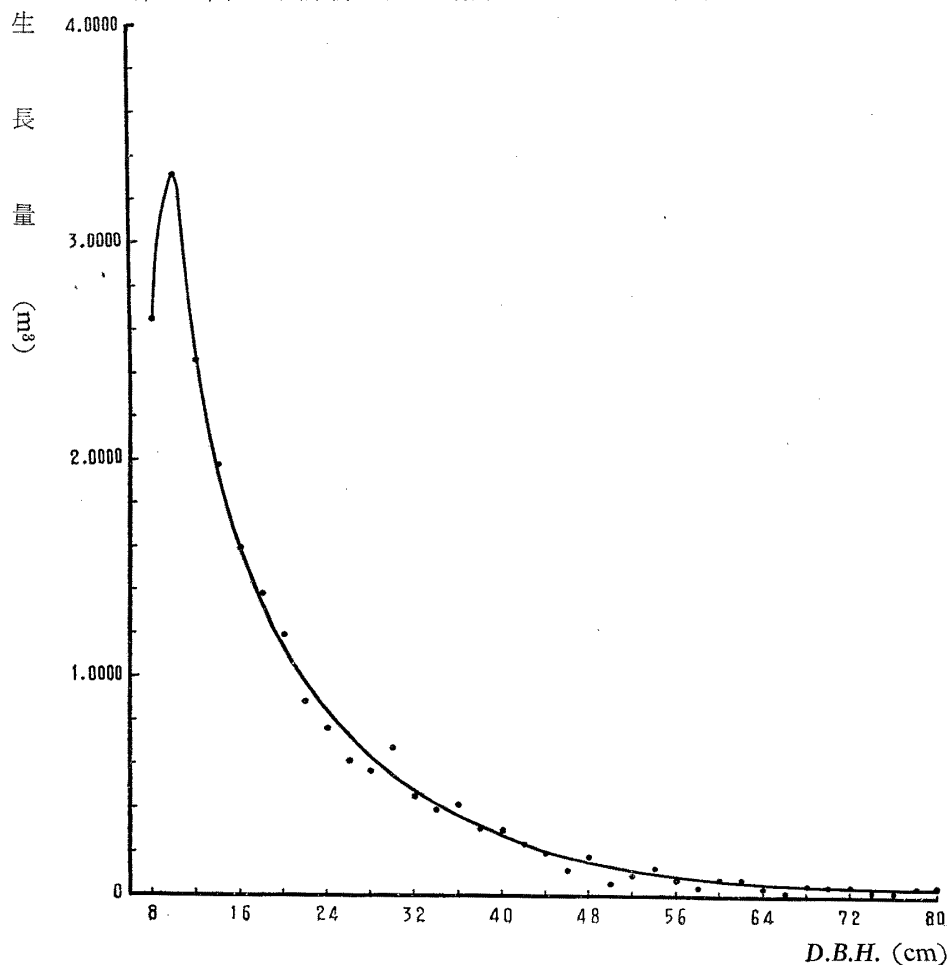
年次	針	広	計
1956年	3.05 % (1.56)	4.16 % (2.45)	3.88 % (2.23)
1957年	4.28	4.28	4.28
1958年	5.32	3.46	4.07
1959年	4.20	4.22	4.22

表中 1956 年の () の数字は直径の回帰

に有意差がないにもかかわらずそれを用いたために負の生長をみこむこととなり、生長率が低下しているので回帰部分を棄てて計算をしておいた数字で、これより各年度とも現在ほぼ 4 % 附近の生長量がみこまれる。

次図 (第 7 図) は第 10 表における広葉樹の材積生長量をグラフに示したものである。

第 7 図 広葉樹における標本にあらわれた直径階毎の材積生長量



このグラフから、本数頻度の影響で小径木の生長量が極めて強いことがうかがわれる。なお、各直径階別に $0.1748 \cdot \Delta v \cdot N$ を生長量として縦軸におとしている。

これより、本林分の生長量の大部分が 8~20cm 附近の、いわゆる小径木群の生長量に大きくゆだねられていることが推察される。

§8. 材積生長量推定誤差

生長量の推定には多くの不確定な要素が入っていて、生長量推定誤差を算出することがどれだけ価値のあるものであるか疑いなきを得ないが、しかしまた、その不確かさの程度をみきわめる意味からも、一応推定過程について計算可能な誤差を誘導しておくことは必ずしも無駄ではないと思われる。

なお、従来から引続いて行ってきた本演習林の生長量推定の形式は第1回目から第4回目まで、一貫して、主として H. A. Meyer の直径と直径生長量の回帰を利用する形式を踏んできている。また、第3, 4回目では樹高曲線による材積の推定を排して単木材積の平均化による材積方程式を求め、それと直径回帰による推定の組合わせとしたので誤差計算はその意味で理論的には、材積方程式の誤差と直径生長量の誤差の積として誘導できる。

〔I〕 材積方程式についての誤差

材積方程式としては $V=a+bD+cD^2$ を用いた。ここに V : 材積 (単木, m^3), D : 胸高直径 (cm), a, b, c : 回帰係数である。

D.B.H.	材積(V)	材積差(ΔV)
D_1	V_1	$V_2 - V_1 = d_1$
D_2	V_2	$V_3 - V_2 = d_2$
\vdots	\vdots	\vdots
D_k	V_k	$V_{k+1} - V_k = d_k$

直径を 2 cm 括約とし、 k 個の直径階の材積差ではあきらかなように個々の差から成り立っているので

$$\begin{aligned} V_2 &= a + bD_2 + cD_2^2 \\ V_1 &= a + bD_1 + cD_1^2 \end{aligned}$$

$$V_2 - V_1 = b(D_2 - D_1) + c(D_2^2 - D_1^2)$$

$$= (D_2 - D_1) \{ b + c(D_2 + D_1) \}$$

2 cm 括約とすると $D_2 - D_1 = 0.02m$

また、 D_2 を D_1 であらわすと $D_2 = D_1 + 0.02$

故に、 $V_2 - V_1 = 0.02 \{ b + c(2D_1 + 0.02) \} = d$

従つて一般に d の分散は b, c の分散に基づくから

$$V(d) = (0.02)^2 \{ V(b) + (0.02 + 2D_1)^2 V(c) + 2(0.02 + 2D_1) Cov(b \cdot c) \} \dots \dots \dots (1)$$

(1) 式における $V(b)$, $V(c)$, $Cov(b \cdot c)$ はもとの材積式の計算の中から c -乗数を用いて求めることができる。

〔II〕 直径生長量についての誤差

直径生長量回帰式は $z = \alpha + \beta D$ を用いた。ここに

z : 直径生長量 (cm), D : 胸高直径 (cm)

とすると一般に

$$V(z) = V(\alpha) + D^2 V(\beta) + 2DCov(\alpha\beta) \dots \dots \dots (2)$$

(2) 式の $V(\alpha)$, $V(\beta)$, $Cov(\alpha\beta)$ は直径回帰式の計算過程から求めることができる。

〔III〕 材積生長量の誤差

材積生長量は $d \cdot z$ で求められているので、その分散は d と z がそれぞれ独立に推定され

ていることから

$$V(dz) = d^2V(z) + z^2V(d) \dots \dots \dots (3)$$

(3)式の右辺に (1), (2) 式を代入して

$$V(dz) = d^2\{V(\alpha) + D^2V(\beta) + 2DCov(\alpha \cdot \beta)\} \\ + (0.02z)^2\{V(b) + (0.02 + 2D)^2V(c) + 2(0.02 + 2D)Cov(bc)\} \dots \dots \dots (4)$$

(4)式は一つの直径階について計算されるので、いま、各直径階の本数を N とし、直径階毎の材積生長量の和を A であらわすと

$$A = N_1d_1z_1 + N_2d_2z_2 + \dots + N_kd_kz_k$$

となる。 A の分散を個々の分散の和とみたとて

$$V(A) = N_1^2V(d_1z_1) + N_2^2V(d_2z_2) + \dots + N_k^2V(d_kz_k) \dots \dots \dots (5)$$

とし、(5)式に(4)式を代入すると

$$V(A) = V(\alpha) \cdot \sum (N^2d^2) + V(\beta) \sum (N^2d^2D^2) + 2Cov(\alpha\beta) \sum (N^2d^2D) \\ + (0.02)^2\{V(b) \sum (N^2z^2) + V(c) \sum [N^2z^2(0.02 + 2D)^2] \\ + 2Cov(bc) \sum [N^2z^2(0.02 + 2D)]\} \dots \dots \dots (6)$$

(6)式において、 α , β , b , c の分散および共分散が求められておれば $V(A)$ は計算される。

直径生長量の回帰式 $z = \alpha + \beta D$ は、前回および今回とも $\beta = 0$ と有意差がないので結局 $V(\beta)$, $Cov(\alpha \cdot \beta)$ の項は落ちる。

2 cm 階の材積増加量 d に対し、直径生長量 z に対する材積の増分は比例関係

$$\begin{array}{ll} 2 \text{ cm} & dm^3 \\ z \text{ cm} & xm^3 \end{array}$$

の関係から求められているので

$$x = \frac{dz}{2}$$

従つて直径階 k 個の和は

$$\sum (x) = \frac{1}{2} \sum (dz)$$

さらに各直径階の本数 N を加味して

$$\sum (xN) = \frac{1}{2} \sum (Ndz)$$

となるが、 $\beta = 0$ から z は const. とみなされ、上式は

$$\frac{z}{2} \sum (Nd)$$

となる。即ち、これがこの場合の材積生長量とみなせるからその分散をもとめると

$$\begin{aligned} & V\left[\frac{z}{2} \sum (Nd)\right] \\ &= \frac{1}{4} \left[V(N_1zd_1) + V(N_2zd_2) + \dots + V(N_kzd_k) \right] \\ &= \frac{1}{4} \left\{ V(z) \sum (N^2d^2) + z^2 \sum [N^2V(d)] \right\} \end{aligned}$$

上式の $V(d)$ は (1) 式から計算できるので

$$= \frac{1}{4} \left[(0.02z)^2 \{ V(b) \sum^k (N^2) + V(c) \sum^k [N^2(0.02 + 2D^2)] \right. \\ \left. + 2 \text{Cov}(bc) \sum^k [N^2(0.02 + 2D)] \} + V(z) \sum^k (N^2 d^2) \right] \dots \dots \dots (7)$$

から材積生長量の誤差は計算できる。その計算過程を、繁をいとわず示すと次の通りである。

A) 広葉樹

まず、広葉樹材積式の回帰係数の分散を求めるため、 c -乗数を求める。材積式は二次式であるためその一般的な最小自乗解は下表の通りである。

	a_{11}	a_{12}	a_{13}	a_{1y}	$c_{33} = \frac{1}{A_{33}}$
		a_{22}	a_{23}	a_{2y}	$c_{23} = -c_{33} B_{23}$
			a_{33}	a_{3y}	$c_{13} = -c_{23} B_{12} - c_{33} B_{13}$
				a_{yy}	$ck : c_{33} a_{33} + c_{23} a_{23} + c_{13} a_{13} = 1$
B_{12}		A_{22}	A_{23}	A_{2y}	$c_{32} = c_{23}$
B_{13}			—	—	$c_{22} = \frac{1}{A_{22}} - c_{23} B_{23}$
B_{1y}			—	—	$c_{12} = -c_{22} B_{12} - c_{23} B_{13}$
B_{23}			A_{33}	A_{3y}	
B_{2y}				—	
B_{3y}				SSR	

$$ck : c_{32} a_{32} + c_{22} a_{22} + c_{12} a_{12} = 1$$

$$c_{31} = c_{13}, \quad c_{21} = c_{12}, \quad c_{11} = \frac{1}{A_{11}} - c_{12} B_{12} - c_{13} B_{13}$$

$$ck : c_{31} a_{31} + c_{21} a_{21} + c_{11} a_{11} = 1$$

これより c -乗数を第 71 頁における広葉樹の最小自乗解から計算する。

$$c_{33} = \frac{1}{0.8568} = 1.16713352$$

$$c_{23} = -1.16713352 \times 0.47717412 \\ = -0.55692591$$

$$c_{13} = -(-0.55692591) \times 0.13419922 \\ - 1.16713352 \times 0.02374023 \\ = 0.07473902 - 0.02770802 \\ = 0.04703100$$

$$ck : 1.16713352 \times 10.4233 + (-0.55692591) \times 30.3130 + 0.04703100 \times 121.5500 \\ = 12.16538282 - 16.88209511 + 5.71661805 \\ = 0.9999$$

$$c_{32} = c_{23} = -0.55692591$$

$$c_{22} = \frac{1}{29.3417} - (-0.55692591)(0.47717412) \\ = 0.03408119 + 0.26575063 = 0.29983182$$

$$c_{12} = -(0.29983182)(0.13419922) - (-0.55692591) \times 0.02374023 \\ = -0.04023720 + 0.01322155 \\ = -0.02701565$$

$$ck : (-0.55692591)(30.3130) + (0.29983182)(121.5500) + (-0.02701565)(687.10)$$

$$= -16.88209511 + 36.44455772 - 18.56245312$$

$$= 1.00000$$

$$c_{31} = c_{13} = 0.04703100$$

$$c_{21} = c_{12} = -0.02701565$$

$$c_{11} = \frac{1}{5120} - (-0.02701565)(0.13419922) - (0.04703100)(0.02374023)$$

$$= 0.00019531 + 0.00362548 - 0.00111653$$

$$= 0.00270426$$

$$ck : 0.04703100 \times 121.5500 + (-0.02701565)(687.10) + 0.00270426 \times 5120$$

$$= 5.7166 \ 1805 - 18.5624 \ 5312 + 13.84581120$$

$$= 0.99998$$

上の ck から総て計算された c -乗数は正しいと思われる。必要な c -乗数は

$$c_{22} = 0.29983182$$

$$c_{33} = 1.16713352$$

$$c_{23} = -0.55692591$$

$$\text{また, } s^2 = \frac{4.2139}{34-3} = \frac{4.2139}{31} = 0.13593226$$

$$\therefore V(b) = 0.13593226 \times 0.29983182 = 0.04075682$$

$$V(c) = 0.13593226 \times 1.16713352 = 0.15865110$$

$$\text{Cov}(b \cdot c) = 0.13593226 \times (0.55692591) = -0.07570420$$

直径回帰の方では 71 頁の回帰分析の結果, X の回帰は有意でないから

$$Y = 0.3495$$

となり

$$s_y^2 = \frac{9.8751}{139} = 0.07104388$$

従つてここでは $Y = z$ として

$$V(z) = V(0.3495) = \frac{0.07104388}{140} = 0.00050746$$

とおくことができる。従つて広葉樹の生長量 $A = 21.2779$ の分散は

$$V(b) \sum (N^2) + V(c) \sum [N^2(0.02 + 2D)^2] + 2\text{Cov}(bc) \sum [N^2(0.02 + 2D)]$$

$$= 185682.52899248 + 36065.12345777 - 149549.37738312$$

$$= 72198.27506713$$

$$(0.02 \times z)^2 = (0.02 \times 0.3495)^2 = 0.00004886$$

$$(0.02z)^2 \{ V(b) \sum (N^2) + V(c) \sum [N^2(0.02 + 2D)^2] + 2\text{Cov}(bc) \sum [N^2(0.02 + 2D)] \}$$

$$= 0.00004886 \times 72198.27506713 = 3.52760772$$

$$V(z) \sum (N^2 d^2) = 0.57428665$$

従つて前表 (第 12 表 [I]) から計算される生長量の分散は

$$V \left[\frac{z}{2} \sum (d \cdot N) \right] = \frac{1}{4} (3.52760772 + 0.57428665)$$

$$= 1.02547359$$

その平方根は 1.0126

生長量は $21.2779 \pm 1.0126m^3$

その推定誤差率は4.76%となる。

また、ha 当りの生長量は 4.1721m^3 で、その分散は 0.0394 となる。

第12表 生長量推定誤差計算表
〔I〕 広葉樹

D.B.H.	N^2	d^2	$N^2 \cdot d^2$	$2D+0.02$	$(2D+0.02)^2$	$N^2(2D+0.02)$	$N^2(2D+0.02)^2$
8	2155024	0.0001		0.18	0.0324		
10	1505529	0.0002		0.22	0.0484		
12	491401	0.0004		0.26	0.0676		
14	198916	0.0006		0.30	0.0900		
16	89401	0.0009		0.34	0.1156		
18	50625	0.0012		0.38	0.1444		
20	29241	0.0016		0.42	0.1764		
22	12769	0.0020		0.46	0.2116		
24	7921	0.0024		0.50	0.2500		
26	4096	0.0030		0.54	0.2916		
28	2916	0.0036		0.58	0.3364		
30	3600	0.0042		0.62	0.3844		
32	1369	0.0049		0.66	0.4356		
34	900	0.0056		0.70	0.4900		
36	841	0.0063		0.74	0.5476		
38	441	0.0071		0.78	0.6084		
40	361	0.0080		0.82	0.6724		
42	196	0.0089		0.86	0.7396		
44	121	0.0098		0.90	0.8100		
46	36	0.0109		0.94	0.8836		
48	81	0.0119		0.98	0.9604		
50	4	0.0130		1.02	1.0404		
52	16	0.0142		1.06	1.1236		
54	25	0.0154		1.10	1.2100		
56	9	0.0166		1.14	1.2996		
58	1	0.0180		1.18	1.3924		
60	9	0.0193		1.22	1.4884		
62	9	0.0207		1.26	1.5876		
64	1	0.0221		1.30	1.6900		
66	0	0.0236		1.34	1.7956		
68	1	0.0252		1.38	1.9044		
70	1	0.0268		1.42	2.0164		
72	1	0.0284		1.46	2.1316		
74	0	0.0301		1.50	2.2500		
76	0	0.0318		1.54	2.3716		
78	1	0.0347		1.58	2.4964		
80	1	0.0390		1.62	2.6244		
Σ	4555864		1131.6885			987721.80	227323.5008

B) 針葉樹

針葉樹材積式

$$V_{(N)} = -0.0009 - 0.3735D + 6.2679D^2$$

における c -乗数は広葉樹と同様の計算から

$$c_{22} = 2.70584180$$

$$c_{33} = 7.85549059$$

$$c_{23} = -4.41096001$$

また、回帰式の誤差の平方平均は自由度23に基づき

$$s^2 = \frac{4.3025}{23} = 0.18706522$$

従つて、上式 $b = -0.3735$, $c = 6.2679$ の分散はそれぞれ

$$V(b) = 0.50616889$$

$$V(c) = 1.46948908$$

$$Cov(bc) = -0.82513720$$

$$2Cov(bc) = -1.65027440$$

また、直径生長量の推定誤差分散は

$$Y = 0.5880, V(Y) = \frac{3.3753}{(29)(30)} = 0.00387966$$

Y を z とみて

$$z = 0.5880, z^2 = 0.3457, (0.02z)^2 = 0.00013830$$

$$V(z) = 0.0039$$

$$V(b) \sum (N)^2 = 0.50616889 \times 3105 = 1571.65440345$$

$$V(c) \sum [N^2(0.02 + 2D)^2] = 1.46948908 \times 550.5316 = 809.00017990$$

$$2Cov(b \cdot c) \sum [N^2(0.02 + 2D)] = (-1.65027440) \times 1142.14 = -1884.84440322$$

従つて

第 12 表 生長量推定誤差計算表

〔II〕 針葉樹

D.B.H.	N^2	d^2	$N^2 \cdot d^2$	$2D+0.02$	$(2D+0.02)^2$	$N^2(2D+0.02)$	$N^2(2D+0.02)^2$
8	676	0.0002		0.18	0.0324		
10	484	0.0004		0.22	0.0484		
12	196	0.0006		0.26	0.0676		
14	441	0.0009		0.30	0.0900		
16	121	0.0012		0.34	0.1156		
18	196	0.0016		0.38	0.1444		
20	169	0.0020		0.42	0.1764		
22	36	0.0025		0.46	0.2116		
24	25	0.0030		0.50	0.2500		
26	144	0.0036		0.54	0.2916		
28	121	0.0043		0.58	0.3364		
30	144	0.0049		0.62	0.3844		
32	169	0.0057		0.66	0.4356		
34	9	0.0064		0.70	0.4900		
36	16	0.0073		0.74	0.5476		
38	16	0.0082		0.78	0.6084		
40	25	0.0091		0.82	0.6724		
42	9	0.0101		0.86	0.7396		
44	36	0.0111		0.90	0.8100		
46	25	0.0122		0.94	0.8836		
48	9	0.0133		0.98	0.9604		
50	16	0.0145		1.02	1.0404		
52	1	0.0157		1.06	1.1236		
54	1	0.0170		1.10	1.2100		
56	0	0.0184		1.14	1.2996		
58	4	0.0200		1.18	1.3924		
60	16	0.0209		1.22	1.4884		
Σ	3105		6.6401			1142.14	550.5316

$$(0.02 \times z)^2 \{V(b) \sum (N^2) + V(c) \sum [N^2(0.02 + 2D)^2] + 2Cov(b \cdot c) \sum [N^2(0.02 + 2D)]\}$$

$$= 0.00013830 \times \{495.81018013\} = 0.06857055$$

$$V(z) \sum (N^2 d^2) = 0.0039 \times 6.6401 = 0.02589639$$

前表（第 12 表〔II〕）から計算される生長量の分散は

$$V\left[\frac{z}{2} \sum (d \cdot N)\right] = \frac{1}{4} [0.06857055 + 0.02589639]$$

$$= 0.02361674$$

その平方根は 0.1537

生長量は $3.5383 \pm 0.1537m^3$

その誤差率は 4.34 % となる。

即ち、ha 当り生長量は $0.6938m^3$ で、その分散は 0.0009 である。

	生長量	推定誤差	
<i>L</i>	21.2779	1.0126	なお、針葉樹、広葉樹合計について、生長量の推定誤差を示すと左表の通りである（標本和）。
<i>N</i>	3.5383	0.1537	また、その誤差率は
Σ	24.8162	1.1663	±4.70 %

である。

§9. 材積生長率の誤差推定

林分材積とその生長量の比を材積生長率とすると、その誤差は次のようにあらわすことができる。

即ち

生長率： P

材積： A

生長量： B

とすると

$$P = \frac{B}{A}$$

その分散を、いま A, B の推定が全く独立になされたとして、共分散の項を除き

$$V(P) = \frac{1}{A^2} [V(B)] + \frac{B^2}{A^4} [V(A)]$$

とする。

上式において

A ：標本調査より求めた材積

$V(A)$ ： A の抽出誤差

B ：生長量推定

$V(B)$ ：生長量推定の分散

として計算した。

A) 針葉樹

ha 当平均材積 A ：16.5350

ha 当材積分散 $V(A)$ ：7.9814

ha 当材積生長量 B ：0.6938

ha 当生長量推定分散 $V(B)$ ：0.00090798

$$P = \frac{0.6938}{16.5350} = 0.04195$$

$$\begin{aligned} V(P) &= \frac{1}{(16.5350)^2} (0.00090798) + \frac{(0.6938)^2}{(16.5350)^4} (7.9814) \\ &= \frac{0.00090798}{273.40622500} + \frac{3.84191425}{74750.9502} \\ &= 0.00000332 + 0.00005140 \\ &= 0.00005472 \end{aligned}$$

その平方根は

$$0.007397$$

生 長 率

$$4.20\% \pm 0.74\%$$

B) 広 葉 樹

ha 当 平 均 材 積 $A : 98.8183$

ha 当 材 積 分 散 $V(A) : 24.7278$

ha 当 材 積 生 長 量 $B : 4.1721$

ha 当 生 長 量 推 定 分 散 $V(B) : 0.03942612$

$$P = \frac{4.1721}{98.8183} = 0.04222$$

$$\begin{aligned} V(P) &= \frac{0.03942612}{(98.8183)^2} + \frac{(4.1721)^2}{(98.8183)^4} (24.7278) \\ &= \frac{0.03942612}{9765.0564} + \frac{430.4224}{95356326.4952} \\ &= 0.00000404 + 0.00000451 \\ &= 0.00000855 \end{aligned}$$

その平方根は

$$0.002924$$

生 長 率

$$4.22\% \pm 0.29\%$$

なお、 N および L を含んで 68% の確率で材積の抽出誤差を 4.7%，また生長量推定の誤差率を 4.7% とすると、両者を独立な推定とみたてて抽出誤差と一緒にして

$$\begin{aligned} &\sqrt{2 \times (4.7)^2} \\ &= \sqrt{2 \times 22.09} \\ &= \sqrt{44.18} \\ &= 6.65\% \end{aligned}$$

となる。

以上、§ 8, § 9 において材積生長量、並びに生長率の誤差について詳細な計算と検討を試みてきたが、Ingrowth, 即ち未利用直径階以下（胸高直径 8cm 以下）の樹木の生長量と、枯死量に関する調査が完結していない点は今後に残された課題の一つとして研究をすすめたいと思う。

§ 10. 標 本 木

標本木については、針葉樹 12 本（モミ：8，ツガ：3，アカマツ：1）で、その直径範囲は 9～44cm，樹高 7.3～17.8m におよんでおり、材積は 0.03485～1.15310m³ となっている。また、年齢は 20 年から 139 年の範囲を示している。

広葉樹は 31 本（クルミ：6，カエデ・ミズキ：4，シラキ・ナラ・ブナ・シオジ：2，アカシデ・アカギ・イモノキ・トネリコ・ミズメ・モウカザクラ・カツラ・ヒメシヤラ・ハリギリ：1），その直径範囲は 7.8～44cm，樹高 6.2～18m，材積 0.0204～0.8180m³ におよんでいる。また、年齢は 18 年から 213 年の広い範囲を示している。

次表（第 13 表）はそれらの標本木を一覧表として掲げたものであるが、その分析については、他の調査資料と併せて別に試みる予定である。

第 13 表 標本木材積一覧表

〔I〕 針 葉 樹						
No.	樹 種		樹 令	D.B.H.	H	V
				cm	m	m ³
1	モ	ミ	28	9.9	7.3	0.03485
2	〃	〃	43	10.5	7.5	0.03826
3	ツ	ガ	45	12.0	4.0	0.02867
4	〃	〃	56	12.0	6.0	0.04369
5	〃	〃	50	13.5	5.7	0.03331
6	モ	ミ	35	13.9	7.3	0.06054
7	ア	カ マ	20	14.0	8.9	0.07226
8	モ	ミ	139	32.0	14.1	0.57891
9	〃	〃	123	34.0	13.3	0.53304
10	〃	〃	76	36.6	13.5	0.67644
11	〃	〃	65	41.5	17.8	1.53005
12	〃	〃	109	44.0	17.0	1.15310
〔II〕 広 葉 樹						
No.	樹 種		樹 令	D.B.H.	H	V
				cm	m	m ³
1	ソ	ヤ	24	7.8	8.3	0.02324
2	シ	キ	50	8.0	7.5	0.02041
3	ナ	ラ	22	8.45	6.2	0.02092
4	ヒ	シ ヤ	26	9.5	7.6	0.02779
5	シ	シ ラ	31	10.0	6.2	0.02328
6	ミ	ズ	30	10.0	11.0	0.05257
7	イ	モ	18	10.1	11.5	0.05681
8	ブ	キ	62	11.0	8.0	0.03934
9	イ	タ ヤ カ	41	11.6	12.5	0.08391
10	ト	ネ リ	51	12.0	9.1	0.05227
11	ミ	ズ	26	12.1	10.3	0.05886
12	ミ	ズ	34	12.75	10.9	0.06456
13	サ	ワ グ	39	14.0	10.5	0.09015
14	モ	ウ カ	81	14.2	14.3	0.11973
15	ナ	ザ	29	14.4	9.3	0.07597
16	モ	ミ	87	15.1	9.3	0.07450
17	カ	ツ	35	15.8	16.3	0.16635
18	ヒ	シ ヤ	94	16.0	9.1	0.09176
19	シ	シ	46	16.1	12.3	0.12318
20	ク	オル	28	17.45	15.96	0.19937
21	ミ	ズ	35	17.6	12.3	0.23617
22	ハ	リ	29	19.0	10.75	0.11927
23	シ	ギ	67	22.5	11.6	0.27854
24	ク	オル	38	25.1	14.3	0.32897
25	〃	〃	27	25.25	15.75	0.38076

26	ブ		ナ	66	28.0	12.0	0.28272
27	モ	ミ	ヂ	185	29.6	16.3	0.56781
28	ミ	ズ	キ	69	32.0	16.3	0.66944
29	ク	ル	ミ	30	34.8	18.0	0.72007
30		〃		39	36.0	14.9	0.39452
31	モ	ミ	ジ	213	44.0	14.0	0.81795

§ 11. 結果に対する吟味

1959年、矢立・合戦原団地 486.07ha に対する調査は、前3回のいずれよりも多くのプロットを調査し、その推定誤差も最も小さく計算されている。即ち、針葉樹と広葉樹合計の ha 当り材積は 115.4m³ で、95%確率での誤差は ±5.49m³ となり、その誤差率は 9.3% である。因みにこの場合の標本（プロット）数は 85 であり、また例年ほぼ等しい期間と班編成で抽出誤差が最小になったのはプロットの面積が適当であつたからであろう。計算上ではプロットの最適面積は 0.07ha よりやや大きくであるが、ここに用いた 0.06ha は従来の調査のうちでは一番それに近い面積であつた。

本団地の蓄積は三方嶽団地に比してやや劣つており、ほぼ、三方嶽団地の南部地区の調査数値に類似している。既往の ha 当り材積は 113.5m³ (1956年)、170.7m³ (1957年)、141.8m³ (1958年) であるのに対し、本地区は 115.4m³ (1959年) である。なお、針、広の比率は 2:8 でほぼ他の地区と同率である。

その内容はモミ、ツガ、カエデ類、シデ類、ミズキ等が比較的高いパーセンテージを占めているが、小直径階の頻度の高いことも他の地区とほぼ同じである。

プロットの面積と調査精度に関連して、既往の調査結果から $E=23.33-4.84A+0.33A^2$ の実験式を得た（式中 E : 抽出誤差率, A : アール単位であらわしたプロット面積）。本実験式において $A=7.37m^2$ のとき E は 5.51% となつてその誤差率は最小となる。また、 $A=4$ では $E=9.23%$ に対し、 $A=6$ では $E=6.12%$ 、 $A=10$ では $E=7.79%$ となつている。従つて 20m×20m プロットはこのような天然生林では小さ過ぎて精度が悪く、また 31.62m×31.62m (0.10ha) プロットでは大き過ぎるきらいがあるが、それでも 20m×20m よりは効率がよいといえよう。従つてほぼ7アール(a)附近のプロットがよいといえる。

この報告では従来深く追及を試みなかつた生長量推定の誤差について若干の検討と計算を行つた。

まず、生長量の誤差として H.A.Meyer の方式では回帰、即ち胸高直径と直径生長量の回帰推定の誤差が考えられる。つぎに材積方程式から材積の誤差を推定できるので、直径生長量と材積との積としての誤差分散は

$$V\left[\frac{z}{2}\sum(d \cdot N)\right] = \frac{1}{4} \left\{ (0.02z)^2 [V(b)\sum(N^2) + V(c)\sum\{N^2(0.02+2D)^2\} + 2Cov(bc)\sum\{N^2(0.02+2D)\}] + V(z)\sum(N^2d^2) \right\}$$

によつて計算された。

針葉樹の ha 当り生長量は 0.6938m³ で、針葉樹の ha 当り蓄積 16.5357m³ に対し 4.196% の生長率を示し、また広葉樹では ha 当り生長量 4.1721m³、同蓄積 98.8176m³、その生長率 4.222% となつている。

この材積生長量の推定誤差は上式から計算して

$$N: \frac{1}{5.1} \{3.5383 \pm 0.1537\} = 0.6938 \pm 0.0301 \text{m}^3$$

$$L: \frac{1}{5.1} \{21.2779 \pm 1.0126\} = 4.1721 \pm 0.1985 \text{m}^3$$

その誤差率はそれぞれ 4.8 %, 4.3 % であるから, 95 % の確率でほぼ 1 割未満程度とみられる。前 3 回の生長率推定値がほぼ 3 ~ 5 % で, 4 年間の平均 4.11 % となっていることからみても生長量推定が甚だしくちがっているとは思われないようである。

生長率は分母に標本調査からの推定材積を使用したとみて, 商の分散を試みにだしてみると

$$V(P) = \frac{1}{A^2} [V(B)] + \frac{B^2}{A^4} [V(A)]$$

から

$$N: 4.20\% \pm 0.74\%$$

$$L: 4.22\% \pm 0.29\%$$

その誤差率はそれぞれ 1.76 %, 0.69 % の程度となり, 生長率自体の誤差はかなり小さいと思われる。

H. A. Meyer の行つたような方法で, 抽出誤差と材積生長量誤差を独立に加えて評価すると

$$\sqrt{(4.7)^2 + (4.7)^2} = 6.65\%$$

となり, ほぼ満足な生長量推定が行われたのではないと思われる。過去 3 回の分もほぼ同様に評価しうるであろう。

しかし, 残念ながらいわゆる小径木 (胸高直径 8 cm 以下) の生長量と, 毎年どの程度の枯死木が生じているかの推定ができていない。これは非常に大ざつばな仮定として両者が一応バランスしているものとみられる。なお, この点については新しい課題として調査研究が必要であることは論をまたない。

1956 年実施計画の測樹学実習より出発して, 1959 年までの数回に亘る 宮崎演習林森林調査は, ちょうど時計の針と反対方向にまわり, 一部を残して一応調査を終了したわけであるが, 本報告がその記録の一部門として今後の経営計画により大きく利用されんことを希望するものである。

VI 総 括

a) 調査対象林地:

宮崎県東臼杵郡椎葉村所在: 九州大学宮崎演習林矢立・合戦原団地
(標高: 1000—1600m)

b) 総 面 積:

486.07ha (造林地面積約 50ha を含む)

1 ~ 4 林班: 矢立地区, 5 ~ 8 林班: 合戦原地区

c) 林 相:

過去に利用伐採の行われた, 広葉樹を主とする天然生林 (地形は極めて急峻な谷形)

d) 調 査 方 式:

200m interval における系統的標本抽出調査法

- e) 調査年月日：
昭和 34 年（1959 年）3 月 22 日～29 日
- f) 調査メンバー：
昭和 33 年度進学・林学科学生 21 名よりなる 5 個班編成
- g) プ ロ ッ ト：
プロット面積 0.06ha (20m×30m)
調査個数：85, プロット抽出間隔：200m
- h) 調 査 功 程：
1 班 1 日当平均工期 3.4 プロット, 同測線測量 670m
測 線 測 量 100 m 当：29.8 分 (42.5 %)
プロット区劃設定 1 個当：29.8 分 (21.5 %)
毎 木 調 査 1 個当：49.9 分 (36.0 %)
- i) 調 査 総 本 数：
5345 本中, N ：225 本 (4.2 %), L ：5120 本 (95.8 %)
- j) 調 査 総 材 積：
588.302 m³ 中, N ：84.332m³ (14.3 %), L ：503.970 m³ (85.7 %)
- k) 主 要 樹 種：
 N ：モミ, ツガ, アカマツ等
 L ：カエデ類, シデ類, ブナ, ミズキ, ヒメシヤラ等
- l) ha 当 材 積：
 N ：16.5 m³±2.83 m³ 誤差率 (95 %)：33.5 %
 L ：98.8 m³±4.98 m³ " : 9.9 %
 $N+L$ ：115.4 m³±5.49 m³ " : 9.3 %
- m) 全 推 定 蓄 積：
 N ：7211 m³±1234 m³, N ：43091 m³±2171 m³ $N+L$ ：50302 m³±2394 m³
- n) 直径生長量（皮付連年生長量）：
 N ：5.88 mm, L ：3.495 mm（いずれも直径との回帰は有意でない）
- o) 材 積 方 程 式：
 $V_{(N)} = -0.0009 - 0.3735D + 6.2679D^2$
 $V_{(L)} = 0.0310 - 0.5895D + 6.1739D^2$
- p) 材 積 生 長 量：
 N ：(ha 当) 0.6938 m³±0.0310 m³, (全調査面積当) 302.5454 m³±13.1257 m³
 L ：(ha 当) 4.1721 m³±0.1985 m³, (全調査面積当) 1819.3276 m³±86.5599 m³
- q) 材 積 生 長 率：
 N ：4.20 %±0.74 %, L ：4.22 %±0.29 %
- r) 材積抽出誤差を含む生長量推定誤差率：
6.65 %

R é s u m é

1. Introduction

This area is divided into two parts called Yatate and Kasebaru respectively. The forest survey was carried out in March, 1959, by 21 students and some assistants as forest mensuration field work of Kyushu University. Northwest range consists of two mountains called Mt. Tsuno (1607 m) and Mt. Baguchi (1437 m) respectively. And compartments numbering from 1 to 4 belong to Yatate and from 5 to 8 belong to Kasebaru. Their stand conditions and also topographic situation are very similar to Mt. Sampoo area, which is almost covered with small size vegetation, natural broad leaved trees and partially cut down in some past time and not a fully stocked area.

For Miyazaki district of Kyushu University Forests this is the fourth time we have tried sampling methods. The first time was a simple systematic sampling, the second was a cluster sampling and the third was a representative sampling. Looking at the results of these various sampling methods systematic sampling looks very simple and special sampling seems to show no additional results. So we decided that this time we should take systematic sampling. We wished, however, that the schedule of taking plot be strictly followed and the way of line survey and plot shape should be considered. All of these points were developed. Moreover this report will describe the most efficient plot shape and also discuss the principle of error computation of estimated growth. Actual error percentages should be computed accurately. During field work one of authors recorded various practices by students on 8 mm moving colour films.

2. Method used

The total area is 486.07 in hectares and includes about 50 ha of plantation. In this specific case plantation area was excluded, so the objective area is 436.07 ha. Magnetic declination is $W 5^\circ$ and plot interval is 200 m, systematically made. Plot shape is $30\text{ m} \times 20\text{ m} = 0.06\text{ ha}$. At the first planning the size of plot was 106, which covered the total area with 200 m interval lines. During the survey the compass man advanced and the one measuring distance followed. Usually a poleman is followed by the compass man in Japan. In this case rough survey may be permitted.

One party consisted of 7 persons, 4 students, 1 instructor and 2 laborers. Three parties camped in Yatate and two in Kasebaru. Both camp sites are situated in about the center of the base of each mountain.

Tools used for survey are the same as previous surveys, so details are omitted.

A sample tree for growth measurement was taken from every 30 trees, sample trees for volume check were cut down every 50 trees and these trunks were measured with caliper. Ingrowth and mortality measurement are not complete. It is very difficult to identify trees that have died during the last decade. This point will be considered more completely later. The objective of this inventory is of course the estimation of total

data for volume and growth.

3. Schedule for survey versus actual field work

This survey was carried out from 23 to 28 March, 1959. One day was rainy throughout. Field work took 5 days and 85 plots were entirely finished. Actual plot area was 5.1 ha which corresponds 121 % comparing to the last year and it was the maximum area through 4 years of work.

The average of the 4 plots were measured one day. Average line survey distance is about 900 m. Working hours expended for each field are shown as follows :

1. Survey of line : per 100 m 29.8 minutes average.
2. Plot establishment : per one plot 29.8 minutes average.
3. Every tree measurement : per one plot 49.9 minutes average.

and ratio in time is : 1 : 2 : 3 = 42.5 % : 21.5 % : 36.0 %.

In the four surveys, this time shows a maximum in work. 11 plots were dropped from the initial plan, the number of plots intended were 106 but completely worked ratio was about 85 %.

Survey speed improved about 10 minutes per 100 m.

4. Volume and number of tree percentages by diameter class

Total number of trees is 5345 in sample sum. Out of 5345 trees more than half, 51.4 %, are between from 8 cm to 10 cm in DBH. And total volume is 588.302 m³ in the sample sum. Out of total volume more than half, 51.8 %, occupied DBH range between from 8 cm to 26 cm. These facts show that there is scarcity of large size trees and almost no trees will be economically profitable.

	<i>N</i>	<i>L</i>	<i>N+L</i>
Number of trees	225(4.2)	5120(95.8)	5345(100.0)
Volume (m ³)	84.332(14.3)	503.970(85.7)	588.302(100.0)

() shows percentage

5. Tree species

There are 5 conifer species and more than a hundred hard wood species. (about 105 species). In the conifer Momi has a majority about 69.1 % in volume. Tsuga is second and Pinus shows very few. Hard wood is shown by the following ;

Kaede (<i>Acer</i>)	14.7 %
Buna (<i>Fagus</i>)	12.0 %
Mizuki (<i>Cornus</i>)	8.2 %
Mizume (<i>Betula</i>)	7.3 %
Himeshara (<i>Stewartia</i>)	6.5 %
Inushide (<i>Carpinus</i>)	5.25 %

6. Sampling data and volume estimation

The distribution of plot volume is very close to the Normal distribution.

(a) Number of trees per ha :

(Pr. 0.95%) E. P.

<i>N</i> :	44 ± 8.7	39.4 %
<i>L</i> :	1004 ± 44.8	8.7
<i>N+L</i> :	1048 ± 45.0	8.4

(b) Volume (m³):

<i>N</i> :	16.5 ± 2.83	33.5 %
<i>L</i> :	98.8 ± 4.98	9.9
<i>N+L</i> :	115.4 ± 5.49	9.3

For total area :

	trees	volume(m ³)
<i>N</i>	19238	7211
<i>L</i>	437780	43091
<i>N+L</i>	457018	50302

Sampling error percentages in number of trees and volume are under 10%, in probability 0.95. We could not reach this level in the previous three surveys. With almost the same numbers of survey-

ors and about the same area, we had tried three times, but we could not reach desired precision. However in this we had under 10 % error percentage, 8.4 %, in number of trees and 9.3% in volume. This may be considered carefully. Plot shape may be considered as in the following section.

Total volume estimation by species is shown by the following table;

Species	volume(m ³)	useable volume(m ³)
Momi (<i>Abies</i>)	4983	3060
Tsuga (<i>Tsuga</i>)	1500	921
Akamatsu (<i>Pinus</i>)	656	403
Kaede (<i>Acer</i>)	5990	2779
Buna (<i>Fagus</i>)	5171	2399
Mizuki (<i>Cornus</i>)	3533	1639
Shide (<i>Carpinus</i>)	3275	1520
Mizume (<i>Betula</i>)	3146	1460
Himeshara (<i>Stewartia</i>)	2800	1300
Kurumi (<i>Jugrans</i>)	2025	940
Nara (<i>Quercus</i>)	1725	800
Toneriko (<i>Fraxinus</i>)	862	400
Shinanoki (<i>Tilia</i>)	819	380
Hoonoki (<i>Magnoria</i>)	603	280
Sakura (<i>Prunus</i>)	517	240
Katura (<i>Cercidiphyllum</i>)	388	180
Harigiri (<i>Kalopanax</i>)	172	80
Kihada (<i>Lespedez</i>)	129	60

Commercially useable tree size is based on above 36 cm DBH in conifer and above 26 cm DBH in hard wood.

7. The relation between plot area and error

Four surveys between 1956 to 1959 have various plot areas and sampling errors.

In all cases total inventory area and survey members are almost the same. This survey is the most precise over all inventory. So we should discuss the reason for such superior results.

Here in the table of sample areas and sampling errors there are ;

Inventory year	Plot area(ha)	Hours spent per one plot (min.)	<i>n</i>	<i>C.V.</i> (%)	<i>E</i> (%)
1956	0.04	31.0	84	88.69	9.68
1959	0.06	49.4	85	44.14	4.79
1959	0.08	51.2	63	55.37	6.98
1958	0.10	73.5	42	47.61	7.35

In this table the third column means hours spent in measurement of trees and additional measurements in a plot average. *C.V.* is coefficient of variation of volume based on plot. *E* means that *C.V.* divided by square root of number of plots, equals $CV/(n)^{1/2}$. There is no data for 1957, because time record was not made. So in autumn 1959, we tried 0.08 plot again. The data of 0.08 plot in 1959 is due to Mr. Shiiba, Kyushu University Forests. From the above table the relationship between time and plot area seems upward in straight line and the relationship between plot number and plot area seems downward in straight line. The relation between *CV* and plot area seems a downward curve. Finally between plot area and sampling error the relation may be expressed by quadratic equation. From the least square solution we can find the following equation ;

$$E = 23.33 - 4.84 X + 0.33 X^2$$

where *E* denotes error percentage and *X* expresses the area of a plot. Upon differentiating the above equation with respect to *X*, put equal to zero, for seeking minimum condition.

$$\frac{dE}{dX} = -4.8376 + 2 \times 0.3284 X = 0$$

$$\text{when } X = \frac{4.8376}{0.6568} = 7.3654, \quad E = 5.5141 \% \text{ equals minimum.}$$

From the above facts when plot area is 7.37 are, error percentage is minimum. So plot shape, 27 m × 27 m square, may be a reasonable one.

8. Diameter growth estimation

30 conifers and 140 hard wood cores were taken and that percentage is 3.2% to total number of measured trees. The ratio between conifer and hard wood is about 17.6 % which is very close to ratio between conifer and hard wood in plot sample.

If *X* = diameter with bark in middle of the period

Y = diameter growth with bark,

data for 21 Momi, and 9 Tsuga and Matsu give the following regression equations ;

$$\text{Momi : } Y = 0.6495 + 0.0018 (X - 26.2619)$$

$$\text{Tsuga and Matsu : } Y = 0.4444 - 0.0156 (X - 20.9667)$$

These regression coefficients are not significant and the adjusted means of the

regression are not significantly different according to the analysis of variation. General regression also has no regression coefficients. Then, $Y_{(N)}=0.5880$.

In hard wood the number of cores is 140 which includes about 37 species. This regression is shown as the following equation ;

$Y=0.3495-0.00097 (X-14.9197)$. The regression coefficients are, however, not significant. Then, $Y_{(L)}=0.3495$.

9. Volume equation

Tree data was computed from classes of diameter through over all plots and average volume per tree and the number of trees may be used by weighted least square solution for quadratic equation.

For conifer ;

$$V_{(N)} = -0.0009 - 0.3735D + 6.2679D^2$$

for hard wood ;

$$V_{(L)} = 0.0310 - 0.5895 D + 6.1739 D^2$$

If we calculate the volume equation without weight, large and small size tree residuals may result in same degree.

10. Estimation of volume increment

The difference between two volumes adjacent ranged 2 cm is d , diameter growth is $Y=z$ and number of trees in the diameter class is N . Then volume growth will be expressed as follows.

$$\frac{1}{2} z \sum (dN)$$

(i) Hard wood : Volume increment in sample sum = 21.2779 m³
 $N=5120$

$$\text{Average volume increment per tree} = \frac{21.2779}{5120} = 0.0042 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume increment per ha} = \frac{21.2779}{5.1} = 4.1721 \text{ m}^3$$

$$\text{Total volume increment over-all area} = 4.1721 \times 436.07 = 1819.33 \text{ m}^3$$

$$\text{Growth percentage} = \frac{4.1721}{98.8176} = 4.22 \%$$

(ii) Conifer : Volume increment in sample sum = 3.5383 m³
 $N=225$

$$\text{Average volume increment per tree} = \frac{3.5383}{225} = 0.0157 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume increment per ha} = \frac{3.5382}{5.1} = 0.6938 \text{ m}^3$$

$$\text{Total increment in over-all area} = 0.6938 \times 436.07 = 302.55 \text{ m}^3$$

$$\text{Growth percentage} = \frac{0.6938}{16.5357} = 4.196\%$$

Total sum of conifer and hard wood growth is

$$0.6938 + 4.1721 = 4.8659$$

$$\text{Growth percentage} = \frac{4.8659}{115.3533} = 4.2183 \%$$

In four years growth percentages are shown by the following table ;

Year	N	L	Total
1956	3.05 %	4.16 %	3.88 %
1957	4.28	4.28	4.28
1958	5.32	3.46	4.07
1959	4.20	4.22	4.22

From the above table roughly estimating, growth percentage including all trees, may be about 4 % through out the University Forests.

11. Formulation of computing of growth estimation error

The procedure of growth estimation in this inventory series is based on the method of H. A. Mayer. But the error of growth estimation was not analyzed, because the error of growth is so complicated and there may be many unreliable factors. In alternative method here, we used one quadratic volume equation and diameter growth regression. Consequently the error of growth may be led by the product of volume difference and diameter growth. In principle, the error of growth estimation may be reduced by error of the product.

(i) Error of volume equation :

$$\text{Volume equation: } V = a + bD + cD^2$$

Diameter class 2 minus diameter class 1 is shown as follows ;

$$\begin{array}{r} V_2 = a + bD_2 + cD_2^2 \\ (-) \quad V_1 = a + bD_1 + cD_1^2 \\ \hline d = V_2 - V_1 = 0.02 [b + c(2D_1 + 0.02)] \end{array}$$

Then variance d may be expressed with variance b and c , and covariance bc . Therefore,

$$V(d) = (0.02)^2 [V(b) + (0.02 + 2D)^2 V(c) + 2(0.02 + 2D)Cov(bc)] \dots \dots \dots (1)$$

(ii) Diameter growth regression error

Diameter growth regression on DBH is shown ;

$$z = \alpha + \beta D$$

Variance z may be expressed generally as follows :

$$V(z) = V(\alpha) + D^2 V(\beta) + 2DCov(\alpha\beta) \dots \dots \dots (2)$$

(ii) Error of volume growth

d and z may be estimated independently, so variance dz will be expressed by the following ;

$$V(dz) = d^2 V(z) + z^2 V(d) \dots \dots \dots (3)$$

Inserting (1), (2) into the right side of (3),

$$\begin{aligned} V(dz) = d^2 \{ V(\alpha) + D^2 V(\beta) + 2D Cov(\alpha\beta) \} \\ + (0.02z)^2 \{ V(b) + (0.02 + 2D)^2 V(c) + 2(0.02 + 2D)Cov(bc) \} \dots \dots \dots (4) \end{aligned}$$

(4) stands for one diameter class. The number of trees in any diameter class denotes N and sum of volume growth in each diameter class is A ,

$$A = \sum(Ndz)$$

Variance A may be expressed

$$V(A) = \sum[N^2V(dz)] \dots\dots\dots (5)$$

inserting (4) into (5),

$$V(A) = V(\alpha)\sum(N^2d^2) + V(\beta)\sum(N^2d^2D^2) + 2Cov(\alpha\beta)\sum(N^2d^2D) \\ + (0.02)^2\{V(b)\sum(N^2z^2) + V(c)\sum(N^2z^2(0.02 + 2D)^2) \\ + 2Cov(bc)\sum[N^2z^2(0.02 + 2D)]\} \dots\dots\dots (6)$$

Then if we can compute variance α , β , b , and c , and covariance $\alpha\beta$, and bc , variance A will be computed numerically. They are all parameters of two least squares calculations. Fortunately in this case diameter growth regression missed regression coefficients. So (6) may be a more simple form.

Corresponding volume increment for 2 cm interval of diameter class, diameter growth z will be proportional,

$$\begin{array}{ll} 2 \text{ cm} & d \text{ cubic meters} \\ z \text{ cm} & x \text{ cubic meters.} \end{array}$$

Then $x = \frac{dz}{2}$

sum of k diameter classes $\sum(x) = \frac{1}{2}\sum(dz)$.

Each class has N trees $\sum(Nx) = \frac{1}{2}\sum(Ndz)$.

But in this case z is constant for all diameter classes.

$$(z/2)\sum(Nd)$$

The variance of $\sum(Nx)$ is the following,

$$V[(z/2) \cdot \sum(Nd)] \\ = \frac{1}{4} \sum[V(Nzd)] \\ = \frac{1}{4} \{V(z)\sum(N^2 d^2) + z^2\sum[N^2V(d)]\}$$

inserting (1) into $V(d)$, then finally,

$$= \frac{1}{4} [(0.02 z)^2(V(b)\sum(N^2) + V(c)\sum\{N^2(0.02 + 2D)^2\} \\ + 2Cov(bc)\sum\{N^2(0.02 + 2D)\}) + V(z)\sum(N^2d^2)] \dots\dots\dots (7)$$

12. Actual computation

(A) Hard wood

From the least square calculation of hard wood volume equation, c -multipliers were computed as follows;

$$\begin{array}{l} c_{22} = 0.29983182 \\ c_{33} = 1.16713352 \\ c_{23} = -0.55692591 \\ s^2 = \frac{4.2139}{31} = 0.13593226 \end{array}$$

Then $V(b)=0.04075682$, $V(c)=0.15865110$, $Cov(bc)=-0.07570420$

Average diameter growth of hard wood $z=0.3495$,

$$s_z^2 = \frac{9.8751}{139} = 0.07104388$$

$$V(z) = \frac{0.07104388}{140} = 0.00050746$$

Volume growth of hard wood in sample sum $A=21.2779$

$$V(b)\sum(N^2) + V(c)\sum[N^2(0.02+2D)^2] + 2Cov(bc)\sum[N^2(0.02+2D)]$$

$$= 185682.5289248 + 36065.12345777 - 149549.37738312$$

$$= 72198.27506713$$

$$(0.02z)^2 = (0.02 \times 0.3495)^2 = 0.00004886$$

$$V(z)\sum(N^2d^2) = 0.57428665$$

Variance :

Growth of volume of conifer in sample sum is

$$V\left[\frac{z}{2}\sum(dN)\right] = \frac{1}{4}(3.52760772 + 0.57428665) = 1.02547359$$

Square root $\sqrt{1.02547359} = 1.0126$

Then, 21.2779 ± 1.0126 , Error percentage 4.76 %,

per ha : 4.1721 and its variance 0.0394,

$$\sum(N^2) = 4555864, \quad \sum(N^2d^2) = 1131.6885, \quad \sum[N^2(2D+0.02)] = 987721.80$$

$$\sum[N^2(2D+0.02)^2] = 227323.5008$$

$$(B) \text{ Conifer: } V_{(N)} = -0.0009 - 0.3735D + 6.2679D^2$$

$$V(b) = 0.50616889, \quad V(c) = 1.46948908, \quad Cov(bc) = -0.82513720 \text{ and } V(z) = 0.0039$$

$$V(b)\sum(N^2) = 0.50616889 \times 3105 = 1571.65440345$$

$$V(c)\sum[N^2(0.02+2D)^2] = 1.46948908 \times 550.5316 = 809.00017990$$

$$2Cov(bc)\sum[N^2(0.02+2D)^2] = (-1.65027440) \times 1142.14 = -1884.84440322$$

These values are inserted into the former half part of parenthesis of (7)

$$(0.02z)^2 \{ V(b)\sum(N^2) + V(c)\sum[N^2(0.02+2D)^2] + 2cov(bc)\sum[N^2(0.02+2D)] \}$$

$$= 0.00013830 \times 495.81018013 = 0.06857055$$

and the second term of parenthesis of (7) is

$$V(z)\sum(N^2d^2) = 0.0039 \times 6.6401 = 0.02589639.$$

Then total of (7)

$$V\left[\frac{z}{2}\sum(dN)\right] = \frac{1}{4}(0.06857055 + 0.02589639) = 0.02361674$$

$$\sqrt{0.02361674} = 0.1537.$$

Volume growth and the error is 3.5383 ± 0.1537 and error percentage is 4.34 % and volume growth per ha is 0.6938 and its variance is 0.0009.

$$\sum(N^2) = 3105 \quad \sum(N^2d^2) = 6.6401 \quad \sum[N^2(2D+0.02)] = 1142.14 \quad \sum[N^2(2D+0.02)^2] = 550.5316$$

Total summarized growth and error are shown as follows :

	Growth	Error	
<i>L</i>	21.2779 m ³	1.0126 m ³	
<i>N</i>	3.5383	0.1537	
Total	24.8162	1.1663	±4.70%

13. Error of estimation of growth percentage

Growth percentage.....*P*

Volume.....*A*

Growth of volume.....*B*

$$\text{Growth percentage } P = \frac{B}{A}$$

Estimation of *A* and *B* are independent, so there is no covariance term,

$$V(P) = \frac{1}{A^2} V(B) + \frac{B^2}{A^4} V(A) \dots\dots\dots (8)$$

From (8), the variance of growth percentage may be made :

For conifer $P = 0.6938 / 16.5350 = 0.04195$

$$V(P) = \frac{1}{(16.5350)^2} (0.00090798) + \frac{(0.6938)^2}{(16.5350)^4} (7.9814)$$

$$= 0.00005472$$

The square root is 0.007397

Then growth percentage and error are shown as

$$4.20\% \pm 0.74\%$$

Also for hard wood, $P = 0.04222$ and $V(P) = 0.00000855$

$$4.22\% \pm 0.29\%$$

If growth percentage and sampling error will be combined, both percentages are accidentally the same, 4.70 %. So,

$$\sqrt{2} \times (4.7)^2 = 6.65\%$$

Various errors of growth are tried and calculated as in the above procedures. But we omitted very important terms. They are ingrowth and mortality, which may be assumed to be balanced, and must be determined more accurately later, for they are quite necessary and important things.

14. Sample trees

12 conifers and 31 hard wood trees were taken as samples which may be combined with other sample trees later for more detailed analysis. Roughly speaking the range of sample trees may be shown as follows :

(i) Conifer (3 sp.)

Age : 20-139 yrs.

DBH : 9.9cm-44 cm

Height : 4 m-17.8 m

Volume : 0.02867 m³-1.53005 m³

N : 5.88 mm L : 3.495 mm

(14) Volume equation :

$$N: V = -0.0009 - 0.3735 D + 6.2679 D^2$$

$$L: V = 0.0310 - 0.5895 D + 6.1739 D^2$$

(15) Volume growth (per ha) (m^3):

$$N: (\text{per ha}) 0.6938 \pm 0.0310, \quad (\text{total}) 302.5454 \pm 13.1257$$

$$L: (\text{per ha}) 4.1721 \pm 0.1985, \quad (\text{total}) 1819.3276 \pm 86.5599$$

(16) Growth percentage :

$$N: 4.20\% \pm 0.74 \%, \quad L: 4.22 \% \pm 0.29 \%$$

(17) Growth percentage with sampling error : 6.65 %

Of the four surveys made, this recent one is the most precise. As we desired from the first time, the sampling error decreased to under 10 %, in probability 95 %. Volume per ha is relatively low and the other conditions are very similar as compared to the other surveys. In this report we analyzed the most effective plot shape and the best may be about 7 are plot. Formulation of error variances of growth estimation was tried in more detail. We computed growth percentages. In the long run, growth percentage may be about 4 % through out all surveys and it may be rather a precise estimation. There are, however, important problems which remain to future study. They are ingrowth measurement and mortality estimation. From the first survey to the fourth we have discussed various problems concerning our school Forests. Remaining problems will be made subjects of research in the near future. We wish always to thank the persons who encourage and help us to complete these survey series and reports. Especial thanks are due to Miss G. M. Byler for her diligent efforts in correcting the English manuscript of two reports.