

# 琉球大学学術リポジトリ

沖縄に生育する広葉樹林の Bitterlich  
法による材積推定ならびに収穫予測に関する研究(林  
学科)

メタデータ	言語: 出版者: 琉球大学農学部 公開日: 2008-02-14 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 砂川, 季昭, Sunakawa, Sueaki メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/20.500.12000/4584">http://hdl.handle.net/20.500.12000/4584</a>

# 沖縄に生育する広葉樹林の Bitterlich 法による 材積推定ならびに収穫予測に関する研究

砂 川 季 昭\*

Sueaki SUNAKAWA: Studies on the estimate of lumber volume by Bitterlich's  
method and the prediction of the growth of natural broad-leaved  
forests on Okinawa Island.

## 目 次

はしがき	3
第1章 序 説	4
I 位置および面積	4
i 位 置	4
ii 面 積	4
II 地質・地形	6
III 気 候	6
IV 森林の概況	10
V 林政の変遷	11
VI 作業法の変遷	12
VII 研究の目的	12
第2章 天然生常緑広葉樹林の林分構成	13
I 壮齢広葉樹林の林分構成	14
i 調査地の概況	14
ii 樹 種	14
iii 胸高直径	14
iv 樹 高	23
II 老齢広葉樹林の林分構成	25
i 調査地の概況	25
ii 樹 種	26
iii 胸高直径	26
iv 樹 高	31
III Bitterlich 法適用の立場からみた林分特性	32
第3章 Bitterlich 法による材積推定	32
I 研究方法	32
II 林分調査に必要なプロットの面積	36

\* 琉球大学農学部林学科

i	調査方法	36
ii	プロット調査におけるプロットの最小面積の決定	39
iii	林分形数を用いて材積を推定するために必要なプロットの面積の決定	40
III	最適の胸高断面積定数の決定	41
i	Bitterlich法の理論	41
ii	基本的な考え方	43
iii	林分形数と胸高直径との関係	44
iv	見えにくさに伴うカウントもれの本数	51
IV	沖縄の広葉樹林に対するBitterlich法適用の可否	59
V	カウント木の適正本数	61
VI	回帰推定における組合わせの決定	61
第4章	生長量予測	63
I	研究方法	63
II	生長予測	64
i	生長錐の挿入方向の検討	64
1)	調査方法	64
2)	直径の偏倚	64
3)	偏心生長	66
4)	方向別の錐片長	67
5)	直径生長量	67
ii	直径生長量の回帰	73
iii	材積生長	79
1)	材積生長量	79
2)	立木幹材材積表の調製	81
第5章	収穫量予測	84
I	広葉樹林の施業基準	84
i	天然林の成立と現状	84
ii	今後の広葉樹林施業	84
1)	更新	84
2)	萌芽整理	85
3)	除伐	85
4)	枝打ち, 間伐	85
5)	主伐	85
6)	生産の目標	85
II	収穫予測	85
i	資料の吟味	86
1)	M.S. Czarnowskiの仮説	89
2)	棄却資料の決定	90
ii	林分材積収穫表の調製	91
1)	平均樹高	91
2)	平均胸高直径	92
3)	ha 当り本数	93

4) ha 当り幹材積 .....	94
5) 生長量および生長率 .....	96
iii 収穫表の検討 .....	96
第 6 章 摘要および総括的考察 .....	100
I 摘    要 .....	101
i 立    地 .....	101
ii 天然生常緑広葉樹林の林分構成 .....	101
iii Bitterlich 法による材積推定 .....	102
iv 生長量予測 .....	104
v 収穫量予測 .....	105
II 総括的考察 .....	106
参 考 文 献 .....	108
Summary and several proposals .....	112

## は し が き

筆者は、昭和 29 年より琉球大学林学科において、森林経営学の教育と研究に従事したが、当時の沖縄の林政は、戦後 10 年近くの年月を経過したにもかかわらず、なお不十分のものであった。森林は戦時中の過伐、戦後の乱伐、盗伐によって里山は全く荒廃し、ただ奥地の森林が本来の姿を保っているに過ぎなかった。

その後林政は年々と整備されたが、反面、植伐の均衡は保てず、森林の姿は悪化する一方であった。かかる森林の姿は、林業技術者間に、現存する森林の早急な整備、奥地林分の開発ならびに林種転換にともなう拡大造林を唱える声を高からしめることになった。

おりしも、過密人口をかかえる沖縄では、日本々土の権威者で構成された調査団によって、八重山西表島の農業開発調査が 1959 年に行なわれ、林業関係の調査団員として来島された九州大学農学部教授井上由扶博士に、2 カ月にわたって親しく現地での御指導をいただく機会に恵まれた。

学窓を出て以来、荒廃する森林を眺めながら、何とか資料だけでも収集して、将来の森林施業の一助たらしむべく考えた筆者は、その間広葉樹林とリュウキュウマツの、おもに生長量調査に従事した。また、琉球政府林務課からは、リュウキュウマツに関する調査や広葉樹林の林分構成に関する調査の委嘱を受け、資料収集の機会を得た。

その後 1961 年 4 月には、11 カ月にわたって九州大学に内地研修の機会に恵まれた。その実現は、琉球大学当局ならびに同農学部関係職員のご好意によるものであったが、受入側としての九州大学農学部井上由扶博士、木梨謙吉博士のご尽力があったことは論をまたない。指導教官は木梨謙吉博士であったが、おもに測樹学関係、とくに森林統計に関するご指導をたまわった。

研修終了後、再び琉球大学での研究生活にもどったが、研究は遅々として進まず、なかば停屯状態であったのを、最後まで叱咤激励して下さったのもまた井上、木梨両先生であった。

さらに、1966 年 10 月から 6 カ月間、琉球大学当局と同農学部関係職員のご理解とご好意によって、再度の内地研修の機会を得たが、この実現も井上、木梨両先生のご好意によるものであって、全てに至らぬ筆者をここまで導いて下さった両先生に対しては、お礼の申しようもない。

本研究は、以上の経過をたどりながら、沖縄林野の大半を占める広葉樹林を対象として、林分構造、材積、生長量ならびに収穫量に関して測樹学的に実験的考察を加えたものであるが、調査や取纏

めには数多くの方々に精神的物質的両面よりのご指導とご援助をたまわった。

とくに、九州大学教授佐藤敬二博士同井上由扶博士、同木梨謙吉博士の諸先生方には、この論文を粗稿のまま閲覧され、いろいろとご指導をいただいた。農林省林業試験場西沢正久博士、鹿児島大学農学部教授辻本克巳博士、宮崎大学農学部教授穴戸元彦先生、同三善正市博士、京都府立大学農学部大隅真一博士には、貴重な文献のご送付やご助言をいただいた。また、論文の取纏めには、九州大学農学部助教授関屋雄偉博士、九州大学演習林柿原道喜博士のご協力を得た。さらに、九州大学農学部森林経理学教室 長 正道、井上綾子、松尾和幸の各氏には、論文取纏めのための労をわずらわせ、大学院学生新本光孝氏には、計算や図表の整理に尽力していただいた。

現在までの琉球大学における学究生活には、直接間接的に林学科や演習林の職員の方々、すなわち、琉球大学農学部教授大山保表博士、同助教授仲宗根平男氏、同助教授大宜見朝榮氏、同助教授諸見里秀宰氏、同講師幸喜善福氏、演習林講師山盛直氏、同職員黒島烈氏等各氏からのご助力があった。なお、農学部普及係平田永二氏には、現地での調査や取纏め、さらに計算や図表の作製に従事していただいた。また、琉球政府林務課の数多くの方々のご指導とご助力を得たが、とくに林業試験場々長宮城真栄氏にはいろいろとお世話をいただいた。学友の渡部 勲、中村茂也、田中純一、大迫則明、牧 美智哉、西田立志郎の各氏には、九州大学に内地研修中、研究生活に対してのご便宜を計っていただいた。

その他数多くの方々のご好意で本研究に従事できたが、いちいちご芳名を挙げるができない。

以上の方々に対して満腔の謝意を呈するものである。

このように多くの方々のご指導とご支援があったにもかかわらず、浅学非才のために、この論文は非常に未熟なところが多い。しかしながら、このような研究が、沖縄で研究を続ける若い学徒の刺激となり、さらに多くの人々によっての研究成果が、今後沖縄林業発展のために幾らかでも益することがあれば、筆者の最も喜びとするところである。

なお、本研究経費の大半は琉球大学からの研究費によるが、その一部は琉球政府林務課の委託研究費によるもので、併記して深甚の謝意を表すものである。

## 第1章 序 説

### I 位置および面積

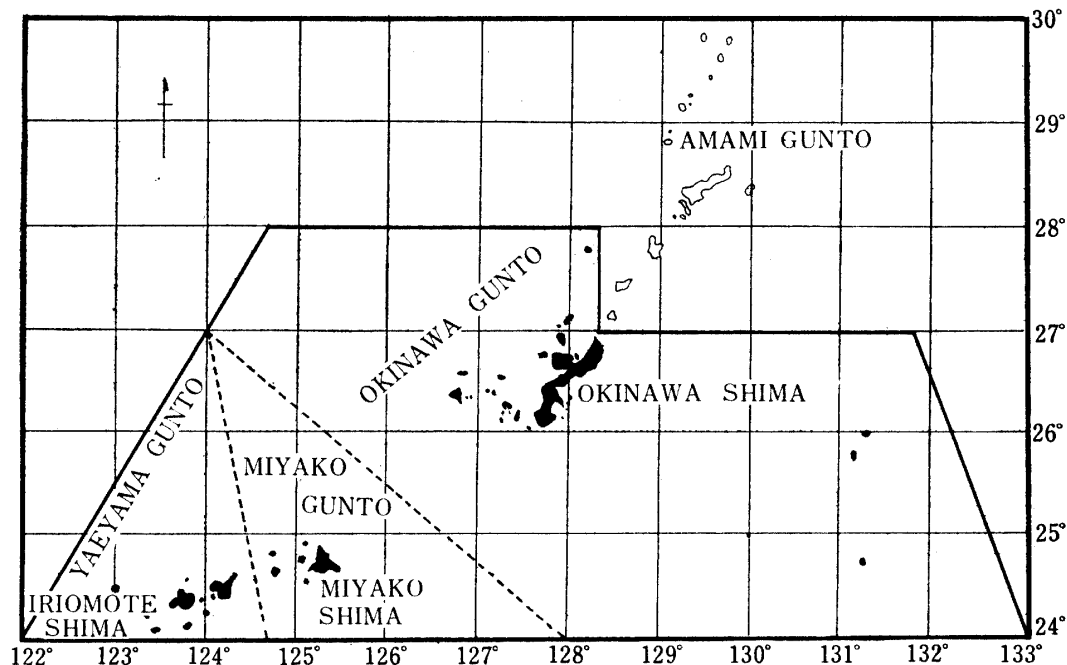
i 位 置 沖縄群島は、北緯  $28^{\circ}$  東経  $124^{\circ}40'$  を起点とし、北緯  $28^{\circ}$  東経  $128^{\circ}18'$ 、北緯  $27^{\circ}$  東経  $128^{\circ}18'$ 、北緯  $27^{\circ}$  東経  $131^{\circ}50'$ 、北緯  $24^{\circ}$  東経  $133^{\circ}$ 、北緯  $24^{\circ}$  東経  $128^{\circ}$  および北緯  $27^{\circ}$  東経  $124^{\circ}02'$  の各点を経て起点に至り、宮古群島は北緯  $27^{\circ}$  東経  $124^{\circ}02'$  を起点とし、北緯  $24^{\circ}$  東経  $124^{\circ}40'$ 、北緯  $24^{\circ}$  東経  $128^{\circ}$  の各点を経て起点に至り、八重山群島は、北緯  $27^{\circ}$  東経  $124^{\circ}02'$  を起点とし、北緯  $24^{\circ}$  東経  $122^{\circ}$ 、北緯  $24^{\circ}$  東経  $124^{\circ}40'$  の各点を経て起点に至る地理的境界内の諸島よりなっている(第1図)。

ii 面 積 国土面積および林野面積は第1表および第2表のごとくであって、官有(国有)、公有、私有の林野面積割合はそれぞれ  $32.0\%$ 、 $45.0\%$ 、 $23.0\%$  となっていて、公有林の占める割合が比較的大きい。

ただ最近、沖縄本島北部の村有林の一部が甘蔗・パインアップルなどの可耕地として民間に払い下げられつつあり、次の統計資料では、上記所有別の比率は若干の変更が加えられるものと思われる。

第 1 図 琉球列島位置図

Fig. 1. The Ryukyu Islands.



第 1 表 国土面積

Table 1. Area of Ryukyu Islands.

District	Area (ha)	%
Total	238,822 (219,587)	100.00
Okinawa Gunto	150,067 (140,991)	62.84
Miyako Gunto	25,001 ( 21,899)	10.47
Yaeyama Gunto	63,754 ( 56,697)	26.69

Note: Numbers are from Statistics on Okinawa Prefecture of 1939.  
 Numbers of ( ) are from Planning and Statistics Section of United States Civil Administration of Ryukyus.

第 2 表 林野面積

Table 2. Area of forests and fields.

Ownership District	Total (ha)	National forest (ha)	Private and communal forests (ha)		
			Total	Communal forest	Private forest
Total	119,096	38,091	81,005	53,510	27,495
Okinawa Gunto	74,239	13,980	60,259	38,229	22,030
Miyako Gunto	7,066		7,066	3,952	3,114
Yaeyama Gunto	33,791	24,111	13,680	11,329	2,351

## II 地質・地形

琉球列島は、北東から南西方向に凸面部を太平洋に向けて孤状に連なっており、いわゆる琉球弧を形づくっている。琉球弧はさらに地質・地形から内帯・中帯・外帯に分けられている。

内帯は琉球火山帯に属し、鳥島、栗国島、久米島、尖閣列島などを含み、北東方向へはトカラ火山群島を経て九州の霧島火山に連なるものと考えられている。主に安山岩、玄武岩などの火山岩からなり、鳥島では硫黄を産する。

中帯は古生層、中生層からなり琉球の大部分の島、沖縄本島北部、伊平屋、伊是名、伊江、瀬底、古宇利、屋我地、慶良間列島、渡名喜、小浜、竹富、西表島東北部を含み、琉球列島の基盤をなし、その脊梁山脈を形成している。主としてチャート、砂岩、石灰岩、粘板岩、千枚岩、結晶片岩、緑色岩類などからなり、部分的に斑岩、玢岩、花崗岩が貫入している。金属鉱床はこの中帯に賦存している。

外帯は第三紀層が分布し、沖縄本島の中南部および東方海上の属島、宮古群島、西表島の大部分、与那国、波照間、黒島などを含んでいる。島尻層、八重山層がこれに属し、粘板岩、砂岩などからなっている。第三紀層の上には部分的に琉球石灰岩が残っており、台地を形成している。琉球列島には全般的に珊瑚礁が発達して自然の良港湾の生成に障害となっている。

沖縄本島……北部は主に古生層、中生層の粘板岩、砂岩からなり、西海岸に沿って斑岩脈が点出している。中央に急峻な山脈が走り、北より西銘岳 (420 m)、伊部岳 (354 m)、与那覇岳 (498 m)、伊湯岳 (454 m)、ウバン山 (299 m)、多野岳 (390 m)、久志岳 (341 m)、名護岳 (347 m)、恩納岳 (366 m)、石川岳 (238 m) などがある。これらが海岸にせまって平地を少なくしている。本部半島は古生層からなり、石灰岩、板岩、チャートを主とし、八重岳 (457 m)、嘉津宇岳 (443 m)、乙羽岳 (279 m) などの山岳地帯をつくっている。半島のつけ根には沖積層の平地がある。中南部は主に島尻層、琉球石灰岩、国頭礫層からなり、山岳はなく、台地または平地をつくっている。国頭礫層は琉球列島に広く分布し、沖縄本島でも海岸段丘をつくり、わずかな平地をなしている。

久米島……火山碎屑岩、安山岩が広く分布し、宇江城岳 (310 m)、大岳 (326 m)、阿良岳 (287 m) などをつくっている。西部には琉球石灰岩の広い台地があり、さらに東部および西部には沖積平野が開けている。

宮古島……ほとんど全島が琉球石灰岩よりなり、西部に一部隆起珊瑚礁があるだけで、山岳はなく低い台地を形成している。わずかに野原岳 (200 m) が最高を示している。国頭礫層はないが、第三紀島尻層は東北部海岸沿いにわずかに露出している。

石垣島……古生層は平久保半島、ホウラ岳周辺、前勢岳周辺、屋良部半島に分布し、おもに結晶片岩、千枚岩からなっている。野底岳 (280 m) 附近には火山岩類が露出していて、これらが高峻な山脈をなしている。琉球石灰岩は南部に広く見られ、中央部の国頭礫層と共になだらかな平地や台地をつくっている。第三紀八重山層は屋良部半島にわずかに露れるにすぎない。

西表島……北東部を除き全島ほとんど第三紀砂岩層が分布している。北東部の古見岳 (470 m) 附近には古生層の変成岩類が分布しており、その南北には安山岩、玢岩などの火成岩が露出している。砂岩層はいわゆる八重山夾炭層で、琉球唯一の稼行にたえる石炭層を賦存している。全般的に山岳地帯をなし、古見岳、波照間森 (447 m)、御座岳 (420 m)、テドウ山 (442 m) などの高山がある。西部は海岸線の屈曲が多く、深い良港湾をなしている。

## III 気 候

琉球列島の気候をきめる最大の要素はその地理的位置である。琉球列島は日本列島の南端に位置

し、北東から南西につらなる多くの島々からなりたっている。地理的位置によって分類する数理気候的な区分法によると、琉球列島は温帯に属するが、物理気候的な区分によれば亜熱帯に属する。さらに琉球列島をとりまく海洋の影響も考えに入れると亜熱帯海洋性気候であると一括表現することもできる。このため、沖縄本島的那覇では、年平均気温は 22.1 度で鹿児島より 5.3 度も高く（第 3 表）、植物も熱帯または亜熱帯のものが大部分で、冬でも落葉するものは少ない。

第 3 表 平均気温  
Table 3. Mean air temperature.

Month Stations	(°C)												Year	Years of observation
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
Naha	16.1	16.5	17.9	20.4	23.4	25.9	27.9	27.4	26.7	24.0	21.2	18.1	22.1	1931—1960 (except 1945—1951)
〃	16.5	17.0	19.0	21.4	24.1	26.6	28.7	28.1	27.5	24.5	21.8	18.5	22.8	1952—1960
Nago	15.5	16.0	18.1	20.8	23.5	25.9	28.4	27.5	26.8	23.8	20.8	17.5	22.1	1956—1960
Yona	15.5	15.9	17.7	20.9	23.5	25.8	28.2	27.5	26.7	23.3	20.6	17.0	21.9	1956—1960
Hirara	17.7	18.0	19.6	21.8	24.8	26.7	28.1	27.6	27.1	24.7	22.3	19.4	23.2	1941—1960 (except 1945)
Ishigaki	18.0	18.0	19.7	22.3	24.9	27.2	28.3	28.0	27.0	24.6	22.1	19.4	23.3	1897—1956
Iriomote	17.4	17.8	20.1	23.0	25.4	27.1	28.7	27.7	27.0	24.3	21.6	19.5	23.3	1955—1958
Kagoshima	6.6	7.7	10.8	15.1	19.0	22.6	26.8	27.1	24.4	18.9	14.0	9.0	16.8	
Tokyo	3.7	4.3	7.6	13.1	17.6	21.1	25.1	26.4	22.8	16.7	11.3	6.1	14.7	

Note: Naha East longitude 127°41' North latitude 26°14' Above the sea 34.8 m  
 Nago " " 128 00 " " 26 35 " " 4.0 m  
 Yona " " 128 13 " " 26 46 " " unknown  
 Hirara " " 125 17 " " 24 47 " " 39.2 m  
 Ishigaki " " 124 10 " " 24 20 " " 6.0 m  
 Iriomote " " 123 45 " " 24 23 " " 13.0 m

琉球列島中最大の島である沖縄島は、自然に海の影響を受け、海洋性気候の特徴を帯びている。すなわち、四囲海洋にかこまれているので、冬期も割合に温暖であり、夏期には海風によって炎暑も和らげられている。海洋性気候の特徴は、一年中の気温変化が少なく、その年較差も比較的小さく、那覇の年較差は 11.8 度で、鹿児島島の 20.5 度に較べてかなり小さい（第 3 表）。従って温帯地方ほど四季のうつり変わりも明らかでない。

次に、沖縄一帯は東アジア季節風帯に属して、世界でも季節風が最も強く発達する地域である（第 5 表）。そのため冬は北東季節風が、夏は南東季節風が多く（第 4 表）、夏、冬の季節風にはそれぞれの季節風に特有の天候が伴って、その交替期の春と秋の天候はやや不安定で変り易い特徴をもっている。

約半年余りも吹きつづける北東季節風は、1, 2 月頃の最冬の最盛期を過ぎると次第に衰え、春から初夏にかけて「小満芒種」と呼ばれる沖縄地方独特の雨期がつづいてやってくる。時期的なずれはあっても、沖縄の「小満芒種」とよばれる雨期は日本本土の梅雨の現象とかわらない。雨期明けと共に本格的な夏が訪れ、やがて台風期に入る（第 6 表）。南よりの季節風は北よりの季節風に比べて期間は短かく、大体 4 カ月位である。例年 10 月ともなれば「新北風（ミーニシ）」が吹き始め、北東季節風の冬の季節に変わる。夏から冬への転換期にあたる秋期は春期におけるようなはっきりした天候のぐずつきはないが、幾分不順な天候が続き勝ちである。



第4表 最多風向 (16方位)  
Table 4. The most frequent wind direction. (16 directions)

Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Year	Years of observation	
Stations															
Naha	N	N	NNE	S	SSW	SSW	S	E	E	NE	NE	NE	NE	NE	1954—1960
Hirara	NNE	NNE	NNE	NNE	SSW	SSW	SSW	E	E	NE	NNE	NNE	NNE	NNE	1938—1960 (except 1945)
Ishigaki	NNE	NNE	NNE	NE	S	S	S	S	NE	NNE	NNE	NNE	NE	NE	1901—1960

第5表 月平均風速および最大風速  
Table 5. Mean wind velocity and largest wind velocity of month.

Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Year	Years of observation	
Stations															
Naha	6.4 N 21.7	6.1 NNE 23.7	5.7 NNE 24.3	5.7 NNE 21.5	5.1 NNW 19.8	5.4 ENE 49.5	5.0 NNE 46.4	5.8 NNE 42.5	5.6 [SW 47.0	6.0 WNW 44.8	6.3 N 45.2	6.0 NNE 26.8	6.0 ENE 49.5	5.8	1954—1960 1891—1961
Hirara	6.9 N 19.9	6.7 N 20.4	6.2 NNE 18.0	6.0 ENE 19.6	5.4 NNE 33.6	5.8 NNE 45.1	5.5 ENE 38.2	5.8 WSW 36.0	5.6 SW 53.0	7.4 N 32.6	8.1 S 35.9	7.4 N 28.2	6.4 SW 53.0	6.4	1951—1960 1938—1964 (except 1945)
Ishigaki	4.6 S 18.6	4.6 SSE 17.9	4.5 SSE 17.6	4.1 SE 18.0	4.0 N 20.1	4.6 SE 41.2	4.9 S 44.3	4.7 SE 46.5	4.5 S 50.3	4.7 ESE 39.6	5.0 NNW 28.5	4.9 WNW 19.0	4.6 S 50.3	4.6	1901—1960 1897—1962

第 6 表 台風発生数および近海への接近数  
Table 6. Frequency of typhoon and typhoon numbers approach to Okinawa.

Item	Month												Year	Years of observation
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
Frequency of typhoon	10	9	6	18	16	40	89	141	99	81	46	31	586	1940—1960
Typhoons that pass through within 300 kilometers around the islands of the Ryukyus				4	3	16	49	73	49	27	18	4	243	1931—1960
Typhoons that pass through within 300 kilometers around Okinawa island				2	2	9	30	47	22	18	12	4	146	1931—1960

第 7 表 月間降水量の平均値  
Table 7. Mean amount of precipitation.

Stations	Month												Year	Years of observation
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
Naha	126.4	131.0	154.9	158.0	236.3	310.2	191.6	274.8	157.4	157.2	153.4	127.1	2178.4	1931—1960 (except 1945, 1951)
Nago	131.4	164.9	136.8	224.1	246.2	334.9	208.6	365.1	247.3	205.6	164.4	111.4	2540.8	1954—1960
Yona	156.9	178.5	142.1	247.3	242.8	365.9	112.7	325.2	321.3	292.7	188.7	135.2	2709.2	1956—1960
Hirara	147.3	151.6	137.2	178.2	246.5	298.3	219.3	269.1	166.4	184.4	173.8	166.2	2338.2	1941—1960 (except 1945)
Ishigaki	144.2	122.7	139.4	147.0	227.9	215.4	189.5	217.7	239.7	198.1	180.0	160.3	2181.9	1897—1960
Iriomote	190.1	191.3	142.6	168.2	343.1	173.2	102.8	291.2	349.0	237.6	234.4	199.1	2622.5	1955—1958

沖縄では季節風の消長に伴い、月平均気温も1月と7月にそれぞれ最低最高を示し、月降水量も年2回の山が梅雨期の6月と台風期の8月に現われる。ただし、八重山群島では5月と9月に山がある(第7表)。

#### IV 森林の概況

沖縄における森林は、沖縄本島北部と八重山群島の石垣島および西表島に偏在し、そのほとんどが極めて価値の低い天然生の常緑広葉樹林で占められている。

森林の推定総蓄積は640万 $m^3$ で、官有林73%、民有林27%、ha当り蓄積は全沖縄平均54 $m^3$ となっており(第8表、第9表)、林相別では針葉樹林12%、広葉樹林88%であって、森林の生長量は年間135,000 $m^3$ と推定されている。

第8表 蓄積  
Table 8. Growing stock.

( $m^3$ )

Ownership District	Total	National forest	Private and communal forests		
			Communal forest	Private forest	Total
Total	6,405,270	4,667,130	1,400,980	337,160	1,738,140
Okinawa	1,777,480	730,000	777,530	269,950	1,047,480
Miyako	214,000		160,050	53,950	214,000
Yaeyama	4,413,790	3,937,130	463,400	13,260	476,660

第9表 ha当り材積  
Table 9. Volume (per hectare).

( $m^3$ )

Ownership District	Total	National forest	Private and communal forests		
			Communal forest	Private forest	Total
Mean	54	123	26	12	21
Okinawa	33	52	20	12	17
Miyako	30		40	17	30
Yaeyama	116	165	40	56	34

第9表によると、八重山地区のha当り材積は、他の地区にくらべてかなり大きな数値を示すが、その中でも特に大きな値を示している官有林は八重山群島西表島にあって、自然的伐期齢に近い、利用率の低い大径木が生立しており、利用面からするとかかる蓄積の大きさもさして好ましい現象だとは考えられない。さらに、年間135,000 $m^3$ と推定される生長量は、単位面積当り約1.1 $m^3$ 、生長率にして僅かに約2%である。

樹種の構成は、オキナワシイ(イタジイ)が主要樹種であるが、西表島の奥地の老齢林分では、材積歩合でオキナワウラジロカシの占める割合が大きな林分も見受けられる。

樹高生長は、一般に幼時の生長は良いが、年齢の経過と共にかんまんになり、15mを超える立木は非常に少なくなる。

森林の取扱い上支障になる植生としては、沖縄本島北部ではリュキウチク、八重山群島西表島ではツルアダンが挙げられる。

## V 林政の変遷

沖縄諸島は、海洋中に点在する数多くの島々からなり、昔は交通が甚だ不便で、林産物のように容積の大きいものを県外に仰ぐことは、不得策であったために、当時の為政者は林政に重きを置いたようである。

昔、人口の少なかった時代には、森林も豊富であったために、その伐採利用を制限する必要もなく、自然のままに放置されたものと思われるが、約 400 余年前に、尚真王が中央集権の制度を布き、諸按司を首里に定住させてから、都市がにわかに繁昌して、木材の需要も増加し、当時の寺院等の建立と相まって、用材林育成の必要性に迫られたようである。

すなわち、文亀元年（皇紀 2161 年）に建立した円覚寺松尾の碑文に「地をトして松苗 1 千株を栽培して永く円覚禅寺修理の用材となすなり……」とあるが、これが文献にあらわれた人工造林の嚆矢とみられている。

当時の制度は、記録の微すべきものがないが、皇紀 2288 年、尚真王の時代には、総山奉行という官職も見えることから、森林の保護、管理にも力を注いだのであろう。すなわち、この時代には海外貿易をもって経国の要諦とし、本土との交通も頻繁となり、かつ支那との貿易に船舶建造のための大材を必要としたことから、森林の保護および造林をなしたように考えられる。

その後寛文 6 年（皇紀 2326 年）頃、森林の保護についての令達があり、また御用木（マツ、イヌマキ）を指定し、皇紀 2388 年～2412 年の蔡温時代には御用木も著しく増加し、その造林法を講じている。すなわち、造林地を「仕立敷」と称し、スギ、コウヨウザン、モッコク、イスノキ、イヌマキ、イジュ（ヒメツバキ）、クス、センダン等の造林法について詳細な規定を設けている。また「憔悴山仕立敷」というのがあり、荒廃した森林の林相回復を計るため、他の適当な樹種に更新する方法を講じ、あるいは「藪山仕立換」では、荒廃の著しい林地について、マツの播種造林を励行させている。これらの造林制度は、その後廃藩置県後にいたるまで実行され、建築材、船材、橋梁材、器具材等の需要を満たし、いわゆる自給自足の主旨を貫いている。

沖縄の林政は、上述のように皇紀 2326 年頃から記録にあらわれているが、これを大成したのは蔡温であって、彼はいろいろの法令を發布して、造林、保護、利用等の励行に努め、爾来沖縄の林政は専らこれによって行なわれ、廃藩置県にいたるまで大きな変革はなかったようである。

その後、明治 12 年廃藩と共に沖縄県となったが、廃藩置県後の林政も、ほとんどが旧慣法を踏襲した状態であった。

ところが、明治 32 年沖縄土地整備法発布と共に、当時莫大な面積を占有していた杣山がことごとく官有となった結果、地元民の不安は森林の乱伐を招き、森林の荒廃を顧みない状態となったので、明治 39 年、勅令第 91 号の発布により、杣山の地盤は随意契約をもって縁故者に払い下げ、立木は保護造林をした町村に譲与することになった。

すなわち、93,620 ha 余の国有林野中、要存置に属するもの国頭郡 12,500 ha 余、八重山郡西表 23,500 ha 余を除き、その他は全て不要存置として地元町村へ払い下げたが、これが第 2 表に掲げた地区別所有別林野面積の基礎になっているようである。

明治 40 年には林務課が創設され、公有林野経営規則を發布して、従来の消極的な政策から積極的なものへと移行している。

国有林野は、明治 41 年に鹿児島大林区署に引継がれ、沖縄小林区署の設置と共に国有林野法の施行をみている。

その後、大正、昭和の初期を通じて、幾多の法律や規則の制定、それにともない積極的な施業法が講じられて、昭和20年の終戦を迎えることになる。

戦争によって中断されていた林業政策の発足状況は、各群島ともその趣を異にするが、全琉的に林野行政の機構が統一されたのは、1950年4月琉球農林省林野庁が発足したときである。

その後幾多の変遷をへて現在にいたっているが、林野の管理上特色のあることは、元国有林、元県有林は、その管理権が米国民政府財産管理官にあって、その代行権限を、現在の林務課が委任されているということである。

すなわち、米国民政府の管理財産である官有林の保護、造成、利用等に任ずるいわゆる国有林行政と、市町村有林、私有林等の営林監督指導に任ずるいわゆる民有林行政の両面にわたる行政責任を現在の琉球政府(林務課)が担っているわけである。

## VI 作業法の変遷

ここで述べる作業法とは、厳密な意味での作業法ではない。いわゆる森林の伐り方を主体とするとりあつかいという内容で述べる。

蔡温時代に考えられた魚鱗形伐採は、現在の表現を借りるならば、交互小伐区皆伐作業とでも名付けられよう。すでに当時、沖縄の立地条件を考慮した伐採形式が考えられたことは注目に値する。

この作業形態の主旨は、現在にいたるまで尊重されているが、戦前、戦後直後の経営案には中林作業級の名前も見られる。しかしその実質は中林作業ではなく、保残木作業に属するものと解され、その成果が挙げたか否かについては疑問が残る。すなわち、将来良質な用材として見込みのあるものをha当り10数本生立せしめ、残りを全て皆伐する主旨が、経営案説明書によってうかがえるが、リュウキュウマツの天然更新のために、母樹を残す方法としては考えられるにしても、広葉樹林に対しては満足に実行されにくいと判断するからである。

現在実行されている作業形態は、おもに官有林について述べれば、尾根筋など適当な箇所には保護樹帯を残して、その他を皆伐する方法が採用されており、伐期は30年前後である。

森林の伐採は、全て地元部落への入札によって実行され、直営事業は伐採事業に関する限り行なわれていない。

地元民への入札による伐採は、生産の手段から次の二つに分類されると考えられる。

- (1) 薪炭材として利用するための伐採
- (2) 用材として利用するための伐採

(1)で、とくに製炭のために伐採する場合は、全ての立木が伐採され、萌芽更新で次代の森林が成立するが、将来はほとんど一斉林に近い形状を呈する林分も出現する。

(2)では、利用価値の高い樹木だけが選伐され、形質の悪い不良木や小径木のほとんどが林内に残される。さらに伐採点も林木の利用上、有利な点から伐採されるため高低さまざまである。もし整理伐を行なわないで、次代の森林が成立することになれば、不良林分の出現をみることになる。

このように、伐採後の林地の姿は二つに分けられるが、(1)を従来通りの皆伐作業とするならば、(2)は掠奪的な抜き伐り作業とでも名付けられよう。

## VII 研究の目的

沖縄の森林は、前述したごとく、そのほとんどが天然生の常緑広葉樹林であるが、これら森林の多くは、第二次大戦中の戦禍あるいは戦後の過伐や乱伐によって著しく荒廃した。これらの状態は、最近の林政を造林の推進、とくに林種転換による拡大造林へと指向せしめている。

他方、沖縄の農業経営の軸としての甘蔗やパイナップル産業が、その規模を拡げるに伴って、かなりの傾斜地まで開墾されて利用されるようになった。

しかしながら、沖縄のおかれた立地的条件、あるいは国土保全的な要素をも含めて、沖縄の森林全てが人工林あるいは農地に変えられるとは到底考えられない。すなわち、天然生の常緑広葉樹林が相当な面積にわたって残されるものと予想される。

かかる観点にたてば、現存する天然生常緑広葉樹林を測樹学的に研究することによって、その実態と特性を把握することは、将来の森林施業を有利に展開させるために必要だと考えられる。しかるに、従来沖縄の天然生広葉樹林については、林分構成、生長および収穫予測などに関する研究がほとんどなされておらない。

また、天然生常緑広葉樹林の野外調査に費される負担は、地形とか林分の状態から時間的にも労力的にも大である。とくに今日のように林業労働力が他産業に流出する状況下においては、少人数で非常に簡単に調査を行なう方法があれば好都合である。すなわち、野外調査が迅速正確に行なわれ、調査に要する費用を少なくする方法の研究が必要である。

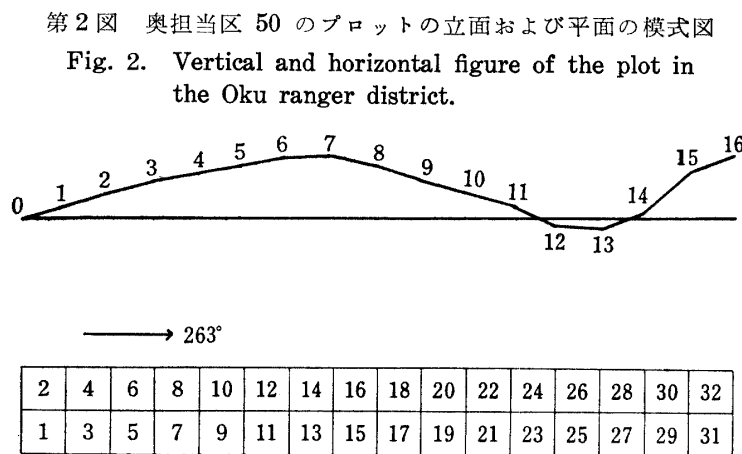
そのため本研究は、琉球列島に広く現存する広葉樹林の林分構造を測樹学的に分析し、この種の林分に **Bitterlich** 法適用の可否を実験的に考察し、さらに現時点における天然生常緑広葉樹林の生長量や収穫量の予測を目的として行なったものである。

## 第2章 天然生常緑広葉樹林の林分構成

林分構成の特徴を明らかにするため、壮齡林、老齡林の中から、代表的と考えられる林分をそれぞれ1カ所任意に選定して調査を行なった。

壮齡林の代表林分としては、沖縄本島北部北端の奥担当区 50 林班は小班に、航空写真判読によって地形、林相の概略を把握し、その後現地を踏査の上、巾 20 m 長さ 160 m の帯状プロットを設定した。

老齡林は、比較的良好な林分が沖縄本島には少ないので、八重山西表島大原担当区 82・83 林班に、上と同様な手順によって、巾 20 m 長さ 130 m の帯状プロットを設定した。それぞれのプロットの垂直的、平面的形状を第2図および第3図に示す。



Note: The figures in the square show the number of the frame.  
Size of frame are 10 m by 10 m.



第 10 表 樹種別，胸高直径階別樹高階別立木本数および材積

Table 10. Number of trees and volumes.

(0.32 ha)

Sp.	Okinawashii		Hime-yuzuriha		Isunoki		Koban-mochi		Sharinbai		Mochinoki		Shibanikkei		
	D	H	N	V	N	V	N	V	N	V	N	V	N	V	
4	3	5	8		13		2		5		1				
	4	21	32		20		14		6		7		2		
	5	23	45		31		9		5		18		6		
	6	15	20		13		5		3		3		2		
	7	1	7		1		1		2		1				
	8	1				2									
Total		66	0.2699	112	0.4618	80	0.3168	31	0.1219	21	0.0812	30	0.1232	10	0.0422
6	3		2				1		1						
	4	41	16		7		10		1		5				
	5	71	41		9		7		11		9		2		
	6	27	27		7		9		5		10		4		
	7	41	24		10		8		5		4		4		
	8	20	6		4		6		2		1		2		
	9	3													
	10	3	1						1						
Total		206	2.1250	117	1.1883	37	0.3894	41	0.4236	26	0.2745	29	0.2885	12	0.1493
8	4	22	3				2		2						
	5	39	11		1		2		1		2				
	6	48	13		1		2		7		6		1		
	7	46	11		2		2		1		1				
	8	42	10				2		2		1		1		
	9	14	2		1		1								
	10	24	2				3		1				1		
	11	2													
Total		237	4.933	52	1.034	5	0.103	14	0.303	14	0.267	10	0.184	3	0.074
10	4	7	1												
	5	16	4												
	6	35	4						3						
	7	31	5				5		3		1		2		
	8	37	11		1		4		3				4		
	9	19	4												
	10	46					3						1		
	11	2													
12	1														
Total		194	7.001	29	0.957	1	0.037	12	0.452	9	0.291	1	0.032	7	0.260



第10表(続)

Sp.	Okinawashii		Hime-yuzuriha		Isunoki		Koban-mochi		Sharinbai		Mochinoki		Shibanikkei			
	D	H	N	V	N	V	N	V	N	V	N	V	N	V		
12	4	1														
	5	7			1											
	6	21			1			1								
	7	28			1			1		2						
	8	27			1			2						1		
	9	16			3			1		1				1		
	10	51			2		1	3		1				2		
	11	6														
	12	2														
	13	2														
	Total		161	8.753	9	0.475	1	0.065	8	0.442	4	0.214			4	0.241
	14	5	2													
		6	9													
7		18			1											
8		8			2			1								
9		7														
10		42						1								
11		5														
12		2														
13		1														
Total		94	7.179	3	0.198			2	0.156							
16		7	2													
		8	1													
		9	4													
	10	14														
	11	3														
	12	4														
	13	3														
	Total		31	3.533												
	18	8	1													
		9	1													
		10	1													
		11	6													
		12	3													
13		2														
Total		14	2.144													
20		8	1													
		12	2													
Total		3	0.537													
Total		1006	36.4749	322	4.3141	124	0.9112	108	1.8985	74	1.1277	70	0.6277	36	0.7576	

第 10 表 (続)

Sp.		Mokkoku		Nakahara-kuroki		Tabu		Kakure-mino		Adiku		Tsubaki		Fukanoki	
D	H	N	V	N	V	N	V	N	V	N	V	N	V	N	V
4	3	9		1				5		1		1		2	
	4	14		1		4		8		7		2		1	
	5	7		4		1		1		3		4		3	
	6			3		1		2				1			
	7											1			
	8														
Total		30	0.0995	9	0.0380	6	0.0229	16	0.0541	11	0.0389	9	0.0372	6	0.0210
6	3														
	4	3		1		1		1		2				1	
	5			2		2		3		2		2		2	
	6					1									
	7			1								1		2	
	8			1		3									
	9														
	10														
Total		3	0.0213	5	0.0520	7	0.0792	4	0.0338	4	0.0320	3	0.0304	5	0.0501
8	4			1				1				1			
	5	1		2								1		1	
	6	1				1									
	7			1											
	8			2		1									
	9			2											
	10					1									
	11														
Total		2	0.033	8	0.169	3	0.074	1	0.012			2	0.027	1	0.015
10	4														
	5			1											
	6			2		1									
	7					2									
	8			1		2								1	
	9														
	10					1									
	11														
	12														
Total				4	0.116	6	0.214							1	0.032

第10表(続)

Sp.	Mokkoku		Nakahara-kuroki		Tabu		Kakure-mino		Adiku		Tsubaki		Fukanoki		
	D	H	N	V	N	V	N	V	N	V	N	V	N	V	
12	4														
	5		1												
	6														
	7						1								
	8					1									
	9					3									
	10					1								1	
	11														
	12							1							
	13														
Total			1 0.032		5 0.294		3 0.189							1 0.065	
14	5														
	6					1									
	7														
	8														
	9														
	10														
	11														
	12														
	13														
	Total					1 0.051									
16	7														
	8														
	9														
	10													1	
	11														
	12														
	13														
Total					1 0.111										
18	8														
	9														
	10														
	11														
	12														
Total															
20	8														
	12														
Total															
Total			36 0.1858		33 0.8310		25 0.5791		21 0.0999		15 0.0709		14 0.0946		14 0.1831

第 10 表 (続)

Sp.	Gima		Taimin-tachibana		Hazenoki		Iju		Tokiwagaki		Aobana-hainoki		
	D	H	N	V	N	V	N	V	N	V	N	V	
4	3		1		3								
	4		3		3		1						
	5		3		1		1			1			
	6				2								
	7												
	8												
	Total		7	0.0253	9	0.0321	2	0.0076			1	0.0042	
	6	3											
4			1										
5			2		2			2					
6			2				1						
7													
8													
9													
10													
Total		5	0.0465	2	0.0178	1	0.0126	2	0.0178				
8		4											
	5												
	6							1					
	7												
	8					1				1			
	9												
	10					1				1			
Total						2	0.056	1	0.018	2	0.052		
10	4												
	5												
	6												
	7												
	8												
	9											1	
	10											1	
	11												
Total												2	
												0.085	

第10表(続)

Sp.	Gima		Taimin-tachibana		Hazenoki		Iju		Tokiwagaki		Aobana-hainoki		
	D	H	N	V	N	V	N	V	N	V	N	V	
12	4												
	5												
	6												
	7							1					
	8												
	9												
	10												
	11												
	12											1	
	13												
Total								1	0.045			1	0.079
14	5												
	6												
	7												
	8												
	9												
	10												
	11												
	12												
	13												
	Total												
16	7												
	8												
	9												
	10												
	11												
	12												
	13												
Total													
18	8												
	9												
	10												
	11												
	12												
	13												
Total													
20	8												
	12												
Total													
Total		12	0.0718	11	0.0499	5	0.0762	4	0.0808	3	0.0562	3	0.1640

第 10 表 (続)

Sp.		Yamamomo		Shiromimizu		Tsutsuji		Tobera		Ogatamanoki		Total	
D	H	N	V	N	V	N	V	N	V	N	V	N	V
4	3 4 5 6 7 8	1		1				1				57 146 168 71 14 3	
Total		1	0.0042	1	0.0025	1	0.0051	1	0.0042			460	1.8138
6	3 4 5 6 7 8 9 10									1		4 90 170 92 101 45 3 5	
Total										1	0.0089	510	5.2321
8	4 5 6 7 8 9 10 11											32 61 81 65 62 20 34 2	
Total												357	7.354
10	4 5 6 7 8 9 10 11 12	1										8 21 45 50 65 23 52 2 1	
Total		1	0.037									267	9.514
12	4 5 6 7 8 9 10 11 12 13											1 9 23 34 32 25 63 6 4 2	
Total												199	10.894

第10表(続)

Sp.		Yamamomo		Shiromimizu		Tsutsuji		Tobera		Ogatamanoki		Total	
D	H	N	V	N	V	N	V	N	V	N	V	N	V
14	5											2	
	6											10	
	7											19	
	8											11	
	9											7	
	10											43	
	11											5	
	12											2	
	13											1	
	Total												100
16	7											2	
	8											1	
	9											4	
	10											15	
	11											3	
	12											4	
	13											3	
Total												32	3.644
18	8											1	
	9											1	
	10											1	
	11											6	
	12											3	
	10											2	
Total												14	2.144
20	8											1	
	12											2	
Total		2	0.0412									3	0.537
Total		2	0.0412	1	0.0025	1	0.0051	1	0.0042	1	0.0089	1942	48.7169

Note:	Japanese name	Scientific name
	Okinawashii	<i>Castanopsis lutchuensis</i> Nakai
	Himeyuzuriha	<i>Daphniphyllum Teijsmanni</i> Zoll.
	Isunoki	<i>Distylium racemosum</i> S. et Z.
	Kobanmochi	<i>Elaeocarpus japonicus</i> S. et Z.
	Sharinbai	<i>Rhaphiolepis hiiranensis</i> Kanehira
	Mochinoki	<i>Ilex integra</i> Thunb.
	Shibanikkei	<i>Cinnamomum Doederleinii</i> Engl.
	Mokkoku	<i>Ternstroemia gymnanthera</i> Sprague
	Nakaharakuroki	<i>Symplocos japonica</i> var. <i>nakaharai</i> Hayata
	Tabu	<i>Machilus Thunbergii</i> S. et Z.
	Kakuremino	<i>Dendropanax trifidum</i> Makino
	Adiku	<i>Syzygium buxifolium</i> Hook. et Arn.
	Tsubaki	<i>Camellia japonica</i> L. var. <i>hortensis</i> Makino
	Fukanoki	<i>Schefflera octophylla</i> Harms
	Gima	<i>Vaccinium Wrightii</i> A. Gray
	Taimintachibana	<i>Myrsine Sequinii</i> Lév.
	Hazenoki	<i>Rhus succedanea</i> L.
	Iju	<i>Schima superba</i> Gord. et Champ.
	Tokiwagaki	<i>Diospyros Morrisiana</i> Hance
	Aobanahainoki	<i>Symplocos Liukuensis</i> Matsum.
	Yamamomo	<i>Myrica rubra</i> S. et Z.
	Shiromimizu	<i>Tricalysia dubia</i> Ohwi
	Tsutsuji	<i>Rhododendron Tashiroi</i> Maxim.
	Tobera	<i>Pittosporum lutchuense</i> Koidz.
	Ogatamanoki	<i>Michelia compressa</i> Sarg.

第 11 表 樹種別立木本数および材積

Table 11. Number of trees and volume different species.

(0.32 ha)

Sp.	N	N (%)	V (m <sup>3</sup> )	V (%)
Okinawashii	1006	51.80	36.4749	74.87
Himeyuzuriha	322	16.58	4.3141	8.86
Isunoki	124	6.38	0.9112	1.87
Kobanmochi	108	5.56	1.8985	3.90
Sharinbai	74	3.81	1.1277	2.31
Mochinoki	70	3.60	0.6277	1.29
Shibanikkei	36	1.85	0.7576	1.56
Mokkoku	36	1.85	0.1858	0.38
Nakaharakuroki	33	1.70	0.8310	1.71
Tabu	25	1.29	0.5791	1.19
Kakuremino	21	1.08	0.0999	0.21
Adiku	15	0.77	0.0709	0.15
Tsubaki	14	0.72	0.0946	0.19
Fukanoki	14	0.72	0.1831	0.38
Gima	12	0.62	0.0718	0.15
Taimintachibana	11	0.57	0.0499	0.10
Hazenoki	5	0.26	0.0762	0.16
Iju	4	0.21	0.0808	0.17
Tokiwagaki	3	0.15	0.0562	0.12
Aobanahainoki	3	0.15	0.1640	0.34
Yamamomo	2	0.10	0.0412	0.08
Shiromimizu	1	0.05	0.0025	0.01
Sakuratsutsuji	1	0.05	0.0051	0.01
Tobera	1	0.05	0.0042	0.01
Ogatamanoki	1	0.05	0.0089	0.02

分布係数  $q$  (二つの相隣る直径階の本数比、すなわち、一番大きな直径階に属する本数を  $n$  本とすれば、次々の直径階に属する本数は、 $n, nq, nq^2, \dots$  である) は、

$$(2-1) \text{ 式が } q=1.92$$

$$(2-2) \text{ 式が } q=1.80$$

で、三善、小幡の調査事例に類似している。

この資料は、過去に各種の被害を余り受けずに、適正な生長をしていると見られる林分を選定した(第 12 表)。

したがって、壮齡林の直径分配は、九州地方の常緑広葉樹林に類似する特徴をもつものと考えられる。

#### iv 樹高

桝別樹高別立木本数を第 13 表に掲げた。プロット内の最大樹高は 13 m で、平均 6.5 m である。

いま第 3 区から沢(桝番号 1, 2, 3, 4, 23, 25, 26, 27, 28), 中腹(桝番号 5, 6, 7, 8, 9, 10, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 29, 30) および嶺(桝番号 11, 12, 13, 14, 15, 16, 31, 32) に大別し、それぞれの平均樹高を計算すると、第 14 表から沢は 6.8 m, 中腹は 6.5 m, 嶺は 6.2 m となる。

調査地は四囲が抱護され、生育も地形に余り影響されないように見受けられ、沢と嶺の高低の差も余り無いのかかわらず、樹高生長には差のあることが認められる。

なお、沖縄本島北部の森林を踏査した結果では、壮齡林は一般に樹高が低く、15 m を超える立木は少ない。この点は、沖縄における壮齡天然生林の特徴といえよう。



第12表 壮齡林の直径階別立木本数  
 Table 12. Number of trees of the matured forest  
 in each diameter grade. (per ha)

Plot	Ada forest		Oku forest 50 compartment	
Area	0.08 ha		0.32 ha	
Age	25		30	
D \ N	Observed value	Calculated value	Observed value	Calculated value
4	3112	3959	1438	2870
6	1950	2061	1594	1594
8	1075	1075	1116	886
10	1075	559	834	492
12	437	291	622	274
14	125	152	313	152
16	112	79	100	84
18	25	41	44	47
20	25	21	9	26
Total	7936	8238	6070	6425

第13表 枠別樹高別立木本数  
 Table 13. Number of trees in each height and in each frame.

Height(m) \ No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
3	6	6	2	5	6	8	6	5	2		2			2	1	1	
4	7	14	11	25	26	13	25	13	8	1	19	5	24	4	8	4	5
5	13	18	19	11	7	14	10	20	11	13	13	6	7	27	15	20	18
6	8	15	20	11	6	15	17	14	8	7	21	8	9	9	8	6	8
7	11	6	3	7	3	4	4	4	9	9	14	11	17	7	24	3	18
8	10	7	4	5	3	2			1	27	2	21	1	22	4	6	10
9	2		3		1							10	1	10	1	6	1
10	4									1		13		9		29	
11	1																
12	2																
13	4																
Total	68	66	62	64	52	56	62	56	39	58	71	74	59	90	61	75	60
Mean height	6.75	5.33	5.53	5.08	4.75	5.00	4.81	4.98	5.44	6.89	5.45	7.61	5.44	6.84	6.02	7.57	6.22

第 13 表 (続)

Height(m) \ No.	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	Total
3	2						1	1			1		4	1		62
4	2	3	1	5	1	1	2		3	1	3	1	12	10	20	277
5	18	8	13	5	11	6	4	4	11	3	14	13	13	27	41	433
6	12	10	15	6	5	1	15	3	3	2	3	1	20	19	15	320
7	2	16	9	8	6	15		12	2	8	1	26	11	14	1	285
8	7	20	7	10	9	5	7	4	7	4	6	5	5			221
9	3	13	2	17		4		1		4	1	3				83
10	32	1	18	15	25	17	12	8	5	10	11	2	1			213
11					10	2	1	4	3	1	2					24
12					1		2		8	2	1					16
13							1	1			2					8
Total	78	71	65	66	68	51	45	38	42	35	45	51	66	71	77	1942
Mean height	7.60	7.18	7.32	7.88	8.45	8.09	7.67	7.98	7.95	8.29	7.49	6.75	5.65	5.49	4.96	6.50

第 14 表 地形別樹高別立木本数

Table 14. Number of trees in each height at different geography.

H(m) \ Geography	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	Total	Mean height
Lower slope	22	67	103	81	65	59	15	67	14	15	8	516	6.8
Middle slope	33	116	174	144	129	106	40	95	10	1		848	6.5
Upper slope	7	94	156	95	91	56	28	51				578	6.2

Note: Frames of lower slope are 10  
 Frames of middle slope are 14  
 Frames of upper slope are 8

## II 老令広葉樹林の林分構成

### i 調査地の概況

八重山西表島大原担当区 82・83 林班は、御座岳 (420 m) のほぼ東方に位置し、嶺よりほぼ北東側が 82 林班、ほぼ南西側が 83 林班で、調査地は御座岳の山頂より東方に約 1 km 離れた地点である。

土壌は、第 3 紀砂岩起源の砂岩黄色土で、土層は比較的浅く堅密である。下層は明るい黄色を呈し、石礫を含むことがある。根系の発達は A、B 層に限られ、C 層にはほとんどみられない。

植生は、地形の変化とくに斜面の方向によって差異が認められるが、全般に喬木層ではオキナワウラジロカシが優占種となり、北東斜面ではオキナワシイが優占種である。その他大径木のタブが点在し、これについてフカノキ、エゴノキ、イスノキ、ヒサカキサザンカ、マルバサカキなども多く、シバニッケイ、アオバノキ、タイワンオガタマ、ハゼノキなどがみられ、まれにモッコク、ヤマモモの大径木が出現する。

中層では、モクタチバナが最も多く、ついでアディク、アカミズキ、タイミンタチバナが多く、その他リュキュウモクセイ、ミミズバイ、ヒメユズリハ、シロミミズ、コバンモチ、モクレイシ、ヒメ

サザンカの順に個体数が多い。

灌木層では、上層木を除いてはリュウキュウアオキが最も多く、ヤマヒハツ、シマミサオノキなどを生じ、草本類では、オオバチジミザサが優占し、アノクマタケラン、センリヨウなどが出現する。

シダ類では、キノボリシダ、コウモリシダ、オニヘゴなどが良く繁茂している。

岩石や樹皮に、トラノオホンダシダ、オオヘツカシダが着生し、樹冠にツルアダンがよく繁茂して纏絡している。

地床における上層木の稚樹は比較的少なく、とくに優占種のオキナワウラジロカシ、オキナワシイの稚樹は散見される程度である。

オキナワウラジロカシの板根の発達が顕著で、その他オキナワシイ、タブ、マルバサカキ、イヌガシなどにも板根の形成がみられる。

## ii 樹種

第15表には、プロットの樹種別胸高直径別立木本数を掲げた。第16表には本数および材積の混交歩合を示した。

第15表によると、プロット内での樹種は55種で、本数では、モクタチバナ、オキナワシイ、オキナワウラジロカシ、タブの順で、それぞれ全体の17%、9%、7%、6%を占め、残りの約60%は他の51種の樹種となっている。

材積では、オキナワウラジロカシ45%、オキナワシイ14%、タブ6%、モクタチバナ4%で、残りの約30%は他の51種の樹種で占められている。

とくに、材積歩合でオキナワウラジロカシとオキナワシイは全体の約60%を占めており、さらに沖縄本島北部の壮齢林に較べると樹種の種類が多くなっている。

本林分は、オキナワウラジロカシが優勢な林分を選んだが、西表島でも壮齢林のほとんどはオキナワシイを優占種とする林分が多い。

## iii 胸高直径

老齢林についてもマイヤー式によって、直径分布式を計算すると次式のようにになる。

$$N = 2,063 e^{-0.168 D} \quad (2-3)$$

なお、琉球大学与那演習林75林班(比較的老龄で胸高直径は60cmにおよぶ)の実験式は、

$$N = 2,375 e^{-0.175 D} \quad (2-4)$$

と計算され、分布係数はそれぞれ

$$(2-3) \text{ 式} \quad q = 1.40$$

$$(2-4) \text{ 式} \quad q = 1.42$$

である。

ここで幼齢林の直径分布についても触れておこう。調査地は沖縄本島北部奥公有林で、調査面積は0.04 ha、林齢は10年、その実験式は、

$$N = 223,137 e^{-0.802 D} \quad (2-5)$$

で示され、分布係数は、

$$(2-5) \text{ 式} \quad q = 4.96$$

である。

第12表と同様に、老齢林と幼齢林の直径階別立木本数を表示すると第17表のようにになる。

以上の老齢林、幼齢林の直径分布および分布係数の変化の状態を図示すると、第4図および第5図のようにになる。なお、壮齢林のもあわせ図示した。



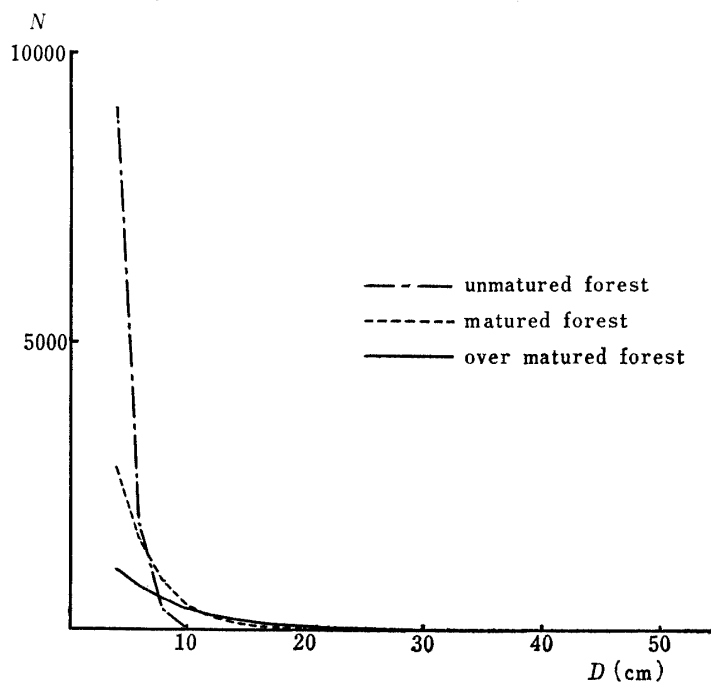


第 16 表 混交歩合 (本数および材積)  
Table 16. Mixture rate of number and volume.

Sp.	Mixture rate		Sp.	Mixture rate	
	N	V		N	V
Okinawaurajirogashi	7.09	44.97	Himesazanka	1.69	0.37
Okinawashi	9.14	14.28	Ooshibamochi	0.74	0.33
Tabu	6.14	5.57	Yamamomo	0.32	0.31
Mokutachibana	16.61	4.38	Shiromimizu	1.80	0.30
Marubasakaki	1.90	3.10	Kakuremino	0.63	0.30
Fukanoki	3.28	2.23	Gima	0.85	0.24
Egonoki	3.17	1.97	Shobennoki	0.63	0.23
Isunoki	3.17	1.95	Hosobatabu	0.85	0.20
Aobanoki	1.38	1.75	Akameinubiwa	1.27	0.18
Hisakakisazanka	2.01	1.69	Hamainubiwa	0.53	0.12
Hazenoki	0.85	1.43	Urajirokankonoki	0.63	0.12
Shibanikkei	1.48	1.39	Shimamisaonoki	1.27	0.11
Himeyuzuriha	2.01	1.21	Akamegashiwa	0.21	0.11
Ryukyumochi	1.38	1.07	Inumaki	0.42	0.10
Mimizubai	2.12	1.01	Inubiwa	0.53	0.10
Taiwanogatamanoki	0.85	0.88	Ryukyuaoki	1.06	0.08
Adiku	3.92	0.86	Mokkoku	0.32	0.08
Akamizuki	3.39	0.85	Inugashi	0.10	0.06
Horutonoki	0.53	0.73	Ako	0.21	0.05
Taimintachibana	3.17	0.70	Ryukyugaki	0.21	0.04
Hosobamukuinubiwa	1.06	0.65	Yaeyamakonterigi	0.10	0.04
Sharinbai	1.06	0.64	Nakaharakuroki	0.32	0.03
Shirodamo	1.16	0.60	Hanagasanoki	0.32	0.03
Tsugemochi	1.48	0.56	Shimainutsuge	0.10	0.02
Kurobai	1.06	0.56	Hiragizuina	0.10	0.02
Ryukyumokusei	2.22	0.49	Kusagi	0.10	0.01
Mokureishi	1.69	0.48	Baribarinoki	0.10	0.01
Kobanmochi	1.80	0.44			

第 4 図 直径分布曲線

Fig. 4. Distribution curve of diameter.

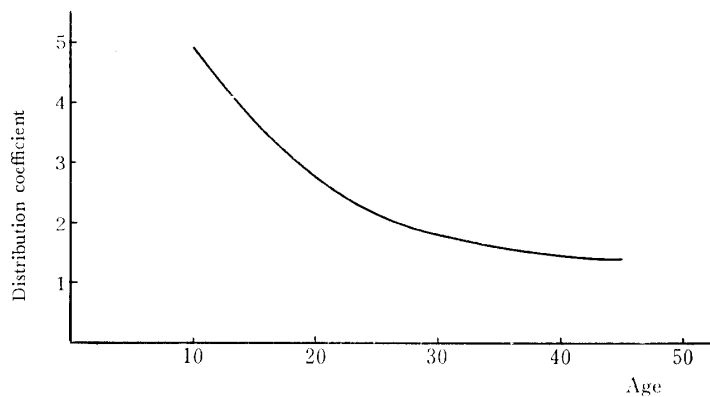


第17表 老令林および幼令林の直径階別立木本数  
 Table 17. Number of trees in each diameter grade of overmatured forest and unmaturing forest. (per ha)

Plot		Ohara forest 82,83 compartment		Yona forest 75 compartment		Oku forest (Communal forest)	
Area		0.26 ha		0.2 ha		0.04 ha	
Age		45		10			
D	N	Observed value	Calculated value	Observed value	Calculated value	Observed value	Calculated value
4		1173	1053	1165	1179	7700	9033
6		754	753	845	831	2550	1818
8		538	538	460	586	300	366
10		277	384	395	413	75	74
12		219	274	295	291		
14		158	196	205	205		
16		88	140	150	144		
18		119	100	65	102		
20		69	72	50	72		
22		46	51	50	51		
24		42	37	30	36		
26		27	26	15	25		
28		12	19	15	18		
30		27	13	5	13		
32		27	10		9		
34		8	7	10	6		
36		4	5	5	4		
38		4	3	5	3		
40		4	2	15	2		
42		4	2		2		
44		4	1		1		
46		4	1	10	1		
48		4	1	5	1		
50		4	1				
52				5			
54				10			
60		4		5			
62		4					
64		4					
68		4					
104		4					
Total		3639	3689	3815	3995	10625	11291

第5図 分布係数と林令の関係

Fig. 5. The relation between rate of number of diameter grade contiguous to each other (distribution coefficient) and age.



老齢林における直径級別立木本数の割合は（プロットの測定値を用いて計算），

10 cm 以下は	713 本で	全体の 75.4%
10 cm~20 cm は	170 本で	〃 18.0%
22 cm~30 cm は	40 本で	〃 4.2%
32 cm 以上は	22 本で	〃 2.3%

で、20 cm 以下の立木が全体の 93% を占め、20 cm 以上の立木は非常に少ない。

iv 樹 高

樹高生長は、一般に幼時の生長は良好であるが、年齢の経過と共にかんまんになり、15 m を超え

第 18 表 西表島全域にわたって調査した 32 個のプロットの胸高直径対樹高総括表

Table 18. The frequency distribution of trees in each diameter and in each height investigated in 32 plots on the island of Iriomote.

D(cm) \ H(m)	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36
3	200	7															
4	536	65	7	2	1												
5	537	180	49	18	8	5	1		1								
6	271	256	112	40	24	9	3		1	1							
7	121	212	121	94	65	23	8	1	1		2						
8	24	57	81	85	127	57	18	4	4	3		2					1
9	2	11	28	26	45	35	18	7	7	4	3		2	2	1		1
10		6	10	20	24	17	21	18	6	4	4	2	4	3			
11		5	3	7	10	10	11	5	8	5	4	2	3	2	1	1	1
12				1	1	12	7	4	4	2		2	2	1	1		2
13					1	1		1	3		2	2	2	2	1		1
14						1		3		1		1		1		1	
15									1	1		1					
16												1		1		1	
17															1	1	
18																1	1
Total	1691	799	411	293	306	170	87	43	36	21	17	13	14	13	4	5	6

D(cm) \ H(m)	38	40	42	44	46	48	50	54	56	58	64	68	88	98	Total	%
3															207	
4															611	
5															799	40.8
6															718	
7															649	
8															465	54.6
9			1												191	
10															139	
11	1				1	1		1							80	
12	2	1			1	1	1	1							46	
13				1	1	1									18	4.2
14	1				1	1			1						12	
15		1	1		1	1			1					1	9	
16		1	1							1					6	
17					1										3	0.4
18						1		1	1			1	1		6	
Total	4	3	3	1	3	3	3	1	2	3	1	1	1	1	3959	100.0



る立木は非常に少なくなる。

たとえば、第18表は西表島全域にわたって調査した32個のプロット(10m×10mのプロット14, 20m×20mのプロット18)の測定結果から、胸高直径と樹高を対比して一括表示したものである。

第18表によると、最大樹高は18mであって、16m以上は全体のわずかに0.4%、11m~15mは4.2%で、残りの約95%が10m以下の立木で占められている。

すなわち、いくら老齢になっても(いくら直径が大きくなっても)15m以上の樹高生長は、あまり期待できないと考えられ、沖縄に生育する広葉樹林のほとんどが、10m以下の林木によって占められているという特徴がみとめられる。

### III Bitterlich 法適用の立場からみた林分の特性

以上の調査事例は、生育が良好で野外調査に便利な地点(地形的に)を選定して行なった。その他の森林は、少なくとも以上の調査地に較べると、その生育状態(地形的の要素も含めて)が同等かあるいはそれ以下の森林であって、以上の調査地より良好な林分はあったとしても少ないであろう。

そのため、以上の調査事例を基本にし、現在まで踏査して認められたことを参考にしながら、Bitterlich 法適用の場として、その適否の立場から、沖縄の天然生常緑広葉樹がもっている特性を抽出列記する。

(1) 芽かき、その他の手入れがなされていないので、1箇所から2本~5本の立木が萌芽生立しているものが多いが、地形の複雑さと相まって、Bitterlich 法適用の困難性を感じさせる。すなわち、見えにくさということからカウントもれの本数が多くなることが考えられるので、測定は注意深く行なう必要がある。なお、施業法が改善されれば、この欠点は将来取り除かれる可能性がある。

(2) 沖縄本島では、下層植生としてリュウキュウチクが叢生しているため、(1)と同様な現象がおこる。しかし林木がうっぺいすると、リュウキュウチクは被圧されて消失するので、優良林分には少ないが、その他の林分は集約な施業を実施すれば、この欠点は取り除かれる。

(3) 八重山西表島では、立木にツルアダンが纏絡しているが、胸高部の大きさを器械で捕捉するのに、これを除去する作業を必要とする。現在の森林に対する粗放な取り扱いが集約になれば、これらの作業は必要としなくなる。

(4) Bitterlich 法に直接関連のある胸高直径は、沖縄の森林の現況では20cm以下の立木の占める割合が大である。直径20cmの立木は、胸高断面積定数4の測定器で捕捉すると、限界半径は5mである。このことは、測定点から5mの範囲を注意深く測定すれば、カウントもれの立木が減少することを意味する。さらに、Bitterlich 法の測定に当っては、調査対象林分の最大直径を目測でも把握しておくことが望ましい。

(5) 材積推定のために、Bitterlich 法を適用する際の調査点の選定は注意をする必要がある。たとえば、傾斜地では、ただ生育状態が平均的な箇所を選ぶということではなしに、沢から山頂にかけて地形的(垂直的な)に調査点を設定すべきものとする。

## 第3章 Bitterlich 法による材積推定

### I 研究方法

Bitterlich 法は、W. Bitterlich (1948) および L. G. Grosenbaugh (1952) によって紹介されてから、日本においても木梨謙吉により Grosenbaugh の論文の1部が紹介され<sup>20)</sup>、本法の実験研究の結果が数多く発表されている。

とくに、大隅は現在までの主要文献を統合し、理論と実際の両面から考察を加えられ<sup>69)</sup>、「**Bitterlich** 法と称されている林分断面積の推定法にはいろいろの解釈があり、結局それは可変プロット法とポイントサンプリングに区別され、**Bitterlich** の **Winkelzählprobe** は本来前者の立場で理解され、**Grosenbaugh** のポイントサンプリングは別個の調査方式になるであろう」と述べている。さらに、この両者の違いを具体的に、

「(1) カウント数と林分断面積との間の面積的媒体として **WZP (Winkelzählprobe)** では観測点を中心として、視準木の胸高断面積に比例した円形プロットを考えるのに対して、**PS(Point Sampling)** では、木を中心としてその拡大断面積を考える。

(2) **WZP** では、それぞれの直径の、対応するプロット内での断面積合計を、林分全体に対して、プロット面積を介して拡大しようとする。これは従来の円形プロット法の考え方の延長である。これに対し、**PS** では各樹木の胸高断面積の拡大円を考え、その層の厚みをポイントサンプリングの手法を用いて推定し、さらに平均厚みから拡大円の延面積を推定して、これを断面積定数によって胸高断面積合計（林分断面積）に還元しようとする。これは従来の点格子法の延長である。

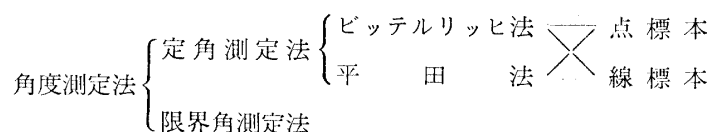
(3) **WZP** での母集団は、単位面上の考え得られるあらゆる配置において、定点のとりかたのカウント数の全体であるとみられる。**PS** ではそれは、林面上のあらゆる点における拡大円層の厚み量に関する集合であるといえる。

(4) 林縁附近の観測点に対する処理方法で、**WZP** では、各直径に対応する完全円プロット内の本数を考えているのであるから、完全円を示さないプロットは **WZP** 母集団の個体とはみなされない。したがって林縁から少なくとも最大木に対する円プロットの半径だけ内側に落された点のみを観測点として選べばよい。**PS** の場合は、いわゆる不偏性の条件を考え補正しなければならない。

唯、**WZP** と **PS** の両者は上述のごとく異質のものであるが、サンプリングの実行面でレラスコープという共通の道具で数え上げた本数に共通の常数を乗ずるやり方は全く同様である」と、述べている。

また、西沢<sup>55)</sup> は、角度測定法を角度通算法（定角測定法）と角度加算法（限界角測定法）に分け、前者にポイントサンプリング、定角測定法、可変半径プロット法、可変プロット法、プロットレスサンプリングなどを含めている。

なお、大友<sup>72)</sup> は、定角測定法を水平的なものとして、垂直的なものに区分し、つぎのように組合せている。



以上のように、いわゆる **Bitterlich** 法もその内容はいろいろと考えられるが、筆者は **Bitterlich** の **Winkelzählprobe** の立場から実験的に考察を加えようとするものである。

つぎに **Bitterlich** 法を実行する場合の誤差として、大友<sup>70)</sup> は、

- (1) 測定者による個人誤差
- (2) スリット巾を変えることによる誤差の大小
- (3) 林分の異質性にともない導入されてくる誤差
- (4) 木が他の木のかげになって見えないことにより生ずる誤差
- (5) 境界すれすれの木は遠距離のため判定しがたく、そのため生ずる誤差
- (6) 林縁近くにとられた標本点にともなうかたよりの誤差
- (7) サンプリングエラー

をあげている。

大隅は<sup>69)</sup>「これらの誤差は、PS をも含めて **Bitterlich** 法全体について考えられたものであるが、**WZP** だけに限定してもその誤差原因は大体以上によって尽されていると思われる。強いてあげれば器械誤差を加えることができよう。これらの中には独立しているものもあるが、また互に関連しているものもある。しかして **Bitterlich** 法では断面積定数（したがってスリット巾あるいはバンド巾）が精度および工期の上で決定的な影響をもっていることは否定しがたい」と述べている。

さらに、大隅は<sup>69)</sup>、現在までに調査された幾多の調査結果を総合して、系統的誤差（測定値が真値に対して示す系統的偏り）を考察され、

「(1) 図上カウント数（正確なカウント数）には断面積定数による偏りはない。

(2) レラスコープカウント数は常に図上カウント数に対して負の偏りを示す。

(3) 上の傾向は断面積定数が小さくなる程強くあらわれる。

(4) レラスコープカウント数と期待カウント数（真の断面積を対応する断面積定数で割ったもの）との関係は断面積定数により異なる。すなわち

k 1 ……一般に過小の値を与える。

k 2 ……どちらかといえば過小の値を与える。

k 4 ……妥当な値を示すが、ときにより過大または過小の値を示す。

本来のカウント数には断面積定数間における差は見られないが、レラスコープによる測定値はほとんど常に負の偏りを示し、しかもその程度は断面積定数の小さいほど大きい。

この偏りは他の木のかげになって見落されるための誤差、および視準限界附近の木で判定困難なものについて生ずる誤差等に基くものと考えられる」と述べている。

以上述べたように、**Bitterlich** 法を実行する場合の誤差はいろいろと考えられているが、ここでは、とくにスリット巾を変えることによって生ずる誤差を、沖縄に生育する天然生常緑広葉樹林で検討することとし、断面積定数 1, 4 および 10 の 3 通りの定数を用いて考察した。

**Bitterlich** 法による林分材積の推定法は、大別して

(1) 林分形状高による方法

(2) 比推定による方法

(3) 回帰推定による方法

などが考えられる。

いま、**ha** 当り材積を  $V$ 、**Bitterlich** 法で測定される **ha** 当り断面積を  $B$ 、林分の平均樹高および平均形数をそれぞれ  $H$ 、 $F$  とすると、林分形状高による方法は、次式で与えられる。

$$V = BHF \dots\dots\dots(3-1)$$

つぎに、**ha** 当り材積を  $V$ 、**Bitterlich** 法で測定された **ha** 当り胸高断面積を  $G$ 、プロット調査で測定された材積および胸高断面積をそれぞれ  $v$ 、 $g$  とすると、

比推定では

$$V = G \times \frac{v}{g} \dots\dots\dots(3-2)$$

回帰推定では

$$V = \bar{v} + b (G - \bar{g}) \dots\dots\dots(3-3)$$

で求められる。

以上の推定方式のうち、ここでは、比推定と回帰推定について研究せんとするものであるが、

高田は<sup>107)</sup>、「比推定とは回帰推定の特別の場合、すなわち回帰直線が原点を通る場合であると考えられる。いま母集団の **ha** 当り推定材積および推定胸高断面積をそれぞれ  $V$ 、 $G$  とし、抽出された

樹木の材積および胸高断面積をそれぞれ  $v$ ,  $g$  とすると,

$$V = \left( \frac{v}{g} \right) G \dots\dots\dots(3-4)$$

となる。すなわち標本における  $(v/g)$  の平均値に  $ha$  当りの胸高断面積合計を乗ずれば,  $ha$  当りの材積推定値が得られるわけである。ただし (3-4) 式による推定方式においては, 標本は任意抽出標本であることが前提である。しかるに *L. G. Grosenbaugh* は (3-4) 式形式の推定法を用いるに当って, 標本を任意抽出によらず *Plotless Sampling* で把握された樹木をもって代用している。この方法によると, 把握された樹木の平均断面積は, 林分の平均断面積より大であるかまたは等しい。この偏りをさけるためには, 標本木の抽出は *at random* になされねばならない。しかし *Plotless Sampling* と併行して標本を *at random* に選ぶことは繁雑となり, 野外調査上好ましくない。できるならば *Plotless Sampling* で把握した樹木を使用したいものである。このためには, *Plotless Sampling* で把握された樹木に断面積の逆数, すなわち  $1/g$  の *weight* を附せばよい。すなわち (3-4) 式は,

$$V = \frac{S\left(\frac{v}{g^2}\right)}{S\left(\frac{1}{g}\right)} G \dots\dots\dots(3-5)$$

となる。しかし回帰直線が原点を通らぬ時は (3-4) または (3-5) 式形式による推定値には *bias* を生ずることになる」と述べ,

回帰推定については, 一種の二重抽出法であって, いま小標本より得られた回帰式を

$$v' = a + bg \dots\dots\dots(3-6)$$

とし, この  $g$  に大標本より得られた平均断面積を代入して大標本の平均材積を導き, 林分の  $ha$  当り本数  $G/g$  を乗じて,  $ha$  当り推定材積を次のように導いている。

$$V = (a + bg) \frac{G}{g} = a \frac{G}{g} + b G \dots\dots\dots(3-7)$$

以上述べたように, *Bitterlich* 法による材積推定にはいろいろの方式が考えられている。例えば,  $V = G \cdot H \cdot F$  式による場合には, その林分の平均樹高と林分胸高形数が必要である。しかるに沖縄の広葉樹林は, その殆んどが山岳林にあって, 地形が複雑かつ急峻であり, さらに樹高配置が一斉林と異なり不齊な状態を示すので, 上式は採用しないことにして, 専ら比推定による材積推定およびこれに関連して回帰推定方式の検討を試みた。

本研究では, 比推定において次の仮説をたてる。

いま, 調査されるプロットの胸高断面積および材積をそれぞれ  $g$ ,  $v$ , *Bitterlich* 法で測定される  $ha$  当り胸高断面積および材積を  $G$ ,  $V$  とすれば, プロット調査で与えられる材積と胸高断面積の比 (林分形数と呼称する) は, *Bitterlich* 調査での  $ha$  当り材積と胸高断面積に比例するであろうという仮定の下に次式を想定する。

$$V : G = v : g$$

$$\therefore V = G \times \frac{v}{g}$$

すなわち (3-2) 式である。

この式で,  $v$ ,  $g$  はプロット調査で与えられるものであり, ここにはプロット面積の大きさが介在してくる。さらに,  $v$  はその林分の単位面積当りの材積を計算する因子である。そのため, 沖縄の広葉樹林でどの位のプロット面積を設ければよいかという問題を始めに考え, その後に  $V = G \cdot v/g$  式による推定値を実験的に検討することにした。

プロットの必要最小面積は、沖縄の広葉樹林の現状（下層植生にリュウウチクが多く、さらに地形が複雑かつ急峻で測量に時間がかかり、大きなプロットの設定はできるだけさげた方がよい）を考慮して、 $10\text{ m} \times 10\text{ m} \sim 20\text{ m} \times 20\text{ m}$  の範囲内の大きさのプロットについて考えることにした。

上記の比推定による推定方式は、プロット調査と **Bitterlich** 調査の **Double Sampling** あるいは、さらに航空写真測定をも加えた **Triple Sampling** の推定にも拡張できる。

**Bitterlich** 調査では、**random** に選ばれた立木やカウント木の林分形数を用いて、**ha** 当り材積を推定することができる。この場合は、プロット調査とは関係なく、**Bitterlich** 調査で推定された推定値は独立である。

ところが、プロット調査の林分形数を用いると、**Bitterlich** 法によって計算される材積は、プロット調査で得られた林分形数の従属変数となり、プロット調査と **Bitterlich** 調査のつながりが生ずる。

こういう意味で、**Double Sampling** の場合、小標本はプロット調査の測定値、大標本は **Bitterlich** 法で得られた推定値である。

故に、回帰推定では、プロットの断面積および材積と **Bitterlich** 法での断面積および材積の各因子をいろいろ組合わせて回帰式を計算し考察することとした。

## II 林分調査に必要なプロットの面積

ここでは次の二つの命題が含まれる。

(1) 沖縄に生育する天然生常緑広葉樹林の材積を推定するために、プロット調査を行なう場合、そのプロットの面積は少なくともどの位を必要とするか。

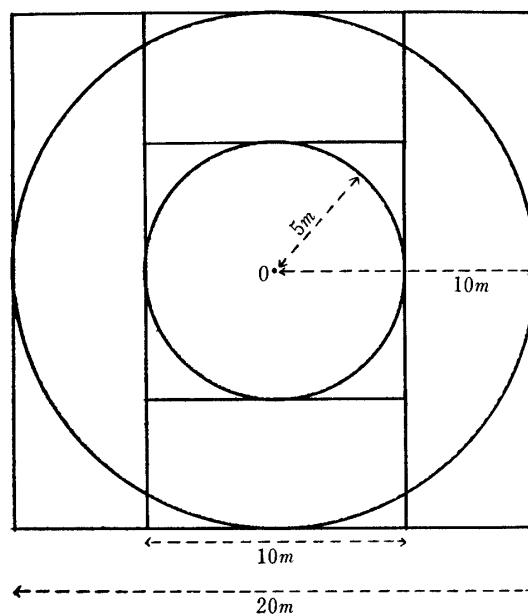
(2) **Bitterlich** 法による比推定方式、すなわち  $V = G \times v/g$  式で **ha** 当り材積を推定する場合に用いられる  $v/g$  (林分形数) は、どの位の面積のプロットの計算値を使用したらいいか。

### i 調査方法

琉球大学与那演習林 79 林班に小班に、約  $0.46\text{ ha}$  の調査地を設け、 $10\text{ m} \times 10\text{ m}$  の枠に細分し、

第6図 プロット設定図

Fig. 6. Plain figure of plot.



第 19 表 枠毎の面積，本数，胸高断面積および材積

Table 19. Areas, number of trees, basal areas and volumes of each frame.

No.	Area (m <sup>2</sup> )	Number of tree	Basal area(m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )	Volume/ Basal area
1	26.5	18	0.0362	0.1246	3.44
2	87	37	0.0628	0.2042	3.25
3	58.175	30	0.0845	0.3688	4.36
4	20	15	0.0380	0.1513	3.98
5	2.4	2	0.0057	0.0235	4.12
6	81.37	67	0.2155	0.8764	4.07
7	100	63	0.1963	0.7364	3.75
8	100	69	0.1627	0.6187	3.80
9	100	36	0.1275	0.5291	4.15
10	89.92	35	0.2029	0.8195	4.04
11	46.20	7	0.0151	0.0487	3.23
12	44.47	4	0.0050	0.0129	2.58
13	25.24	17	0.0522	0.1604	3.07
14	81.685	50	0.1586	0.5113	3.22
15	100	77	0.2714	1.0042	3.70
16	100	110	0.3921	1.5845	4.04
17	100	60	0.1792	0.7333	4.09
18	100	90	0.2996	1.2506	4.17
19	100	50	0.1910	0.8118	4.25
20	100	37	0.1291	0.5439	4.21
21	100	50	0.2928	1.3996	4.78
22	97.4	58	0.1442	0.4792	3.32
23	83.5	70	0.4121	1.6672	4.05
24	100	62	0.2513	0.9865	3.93
25	100	64	0.2827	1.2081	4.27
26	100	75	0.3675	1.4910	4.06
27	100	96	0.3581	1.4412	4.02
28	100	74	0.3180	1.4483	4.55
29	100	64	0.2960	1.1466	3.87
30	100	73	0.3851	1.5284	3.97
31	100	56	0.3951	1.8092	4.58
32	88.1	39	0.1326	0.5275	3.98
33	12.395	7	0.1031	0.4240	4.11
34	64.62	26	0.3839	1.5650	4.08
35	100	33	0.2054	0.7996	3.89
36	100	28	0.2639	0.9017	3.42
37	100	31	0.3216	1.2743	3.96
38	100	67	0.3232	1.1849	3.67
39	100	71	0.4576	1.7569	3.84
40	100	62	0.3439	1.3582	3.95
41	100	61	0.2259	0.8628	3.82
42	100	106	0.6540	2.4475	3.74
43	90.1	82	0.3299	1.2311	3.73
44	29.17	33	0.1404	0.6380	4.54
45	5.22	1	0.0028	0.0118	4.21
46	84.64	43	0.2331	0.9869	4.23
47	100	49	0.3938	1.6107	4.09
48	100	61	0.4887	2.1748	4.45
49	100	55	0.2673	1.0009	3.74
50	100	32	0.2605	1.1089	4.26
51	100	55	0.3443	1.4528	4.22
52	100	57	0.3756	1.6680	4.44
53	100	82	0.2906	1.1416	3.93
54	100	106	0.2459	0.9897	4.02
55	83.75	76	0.1898	0.6729	3.55
56	7.875	7	0.0157	0.0652	4.15

第20表 胸高直径階別樹高階別立木本数  
Table 20. Number of trees of each diameter with different height.

H(m) D(cm)	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	Total
4	31	384	452	287	134	22							1340
6	1	35	145	239	199	83	12	2					716
8	1	7	39	77	122	101	30	4					381
10			9	31	57	73	28	4	2				204
12		1		6	20	35	33	10	2				107
14				2	11	25	21	9	2				70
16					3	8	8	2	4				25
18				1	4	5	9	2	2				23
20					2	1	3	3	1				10
22						1	1	1	2	2			7
24					1	1	3	5			1		11
26							2	3	3			1	9
28					1			1					2
30							1	1					2
32							2						2
34							1	1					2
36								1	1		1		3
38													0
40													0
42									1				1
44												1	1
Total	33	427	645	643	554	355	154	49	20	2	2	2	2886

第21表 プロットの大きさ別の各種測定値  
Table 21. Observed value in each plot size.

No.	Plot size											
	10m × 10m				10m × 20m				20m × 20m			
	N	BA(m <sup>2</sup> )	V(m <sup>3</sup> )	R	N	BA(m <sup>2</sup> )	V(m <sup>3</sup> )	R	N	BA(m <sup>2</sup> )	V(m <sup>3</sup> )	R
1	91	0.2594	1.0074	3.88	171	0.5516	2.1631	3.92	302	0.9303	3.6729	3.95
2	73	0.5921	2.4290	4.10	137	0.8253	3.3113	4.01	306	1.5301	6.0094	3.93
3	60	0.3031	1.1242	3.71	125	0.5851	2.2631	3.87	235	1.3259	5.1342	3.87
4	58	0.4426	1.8483	4.18	127	0.9769	3.8138	3.90	177	1.2253	4.8770	3.98
5	74	0.4093	1.6943	4.14	159	0.9201	3.7537	4.08	272	1.4667	5.9247	4.04

No.	Plot size								Observed value of trees which are counted by the Bitterlich method			
	$\pi(5m)^2$				$\pi(10m)^2$				N	BA(m <sup>2</sup> )	V(m <sup>2</sup> )	R
	N	BA(m <sup>2</sup> )	V(m <sup>3</sup> )	R	N	BA(m <sup>2</sup> )	V(m <sup>2</sup> )	R				
1	68	0.1954	0.7608	3.89	237	0.7684	3.0328	3.95	1	0.0079	0.0250	3.16
2	58	0.3328	1.3407	4.03	223	1.1967	4.7361	3.96	14	0.3276	1.4020	4.28
3	45	0.2333	0.8744	3.75	199	1.0857	3.8164	3.52	10	0.1834	0.7330	4.00
4	31	0.2824	1.2451	4.41	138	1.1516	4.2506	3.69	7	0.2457	1.0909	4.44
5	59	0.3333	1.3987	4.20	204	1.1026	4.5122	4.09	9	0.1680	0.7130	4.24

第 21 表 (続)

(per ha)

No.	Plot size														
	10m × 10m			10m × 20m			20m × 20m			π(5m) <sup>2</sup>			π(10m) <sup>2</sup>		
	N	BA (m <sup>2</sup> )	V (m <sup>3</sup> )	N	BA (m <sup>2</sup> )	V (m <sup>3</sup> )	N	BA (m <sup>2</sup> )	V (m <sup>3</sup> )	N	BA (m <sup>2</sup> )	V (m <sup>3</sup> )	N	BA (m <sup>2</sup> )	V (m <sup>3</sup> )
1	9100	25.94	100.74	8550	27.58	108.155	7550	23.2575	91.8225	8662	24.89	96.92	7548	24.47	96.59
2	7300	59.21	242.90	6850	41.26	165.565	7650	38.2525	150.2350	7363	42.39	170.54	7102	38.11	150.83
3	6000	30.31	112.42	6250	29.255	113.155	5875	33.1475	128.3560	5732	29.72	111.39	6338	34.58	121.54
4	5800	44.26	184.83	6350	48.845	190.690	4425	30.6325	121.9250	3949	35.97	158.61	4395	36.68	135.37
5	7400	40.93	169.43	7950	46.005	187.685	6800	36.6925	148.1175	7516	42.46	178.18	6497	35.11	143.70

立木位置図を作製した。この図上で、10 m×10 m, 10 m×20 m, 20 m×20 m, π(5 m)<sup>2</sup>, π(10 m)<sup>2</sup> のプロットを中心点を同一にして 5 箇所設定し、それぞれの立木本数、胸高断面積および材積を計算した。

毎木調査による枠毎の各種測定値および調査地全体の胸高直径別樹高別立木本数は第 19 表ならびに第 20 表の通りである。

プロットの設定は第 6 図の通りであって、これらのプロットを 5 箇所設定して計算した結果は第 21 表のようになる。

さらに、各プロットを中心点(第 6 図で 0 点)において、k=4 の測定器による Bitterlich 調査も行った(第 22 表)。

第 22 表 Bitterlich 調査による ha 当り材積

Table 22. Volume per hectare by the Bitterlich method.

No.	Number of counted trees	BA (m <sup>2</sup> )	When stand coefficient of plot is used										When stand coefficient of counted trees is used	
			10m×10m		10m×20m		20m×20m		π(5m) <sup>2</sup>		π(10m) <sup>2</sup>		R	V(m <sup>3</sup> )
			R	V(m <sup>3</sup> )	R	V(m <sup>3</sup> )	R	V(m <sup>3</sup> )	R	V(m <sup>3</sup> )	R	V(m <sup>3</sup> )		
1	1	4	3.88	15.52	3.92	15.68	3.95	15.80	3.89	15.56	3.95	15.80	3.16	12.64
2	14	56	4.10	229.60	4.01	224.56	3.93	220.08	4.03	225.68	3.96	221.76	4.28	239.68
3	10	40	3.71	148.40	3.87	154.80	3.87	154.80	3.75	150.00	3.52	140.80	4.00	160.00
4	7	28	4.18	117.04	3.90	109.20	3.98	111.44	4.41	123.48	3.69	103.32	4.44	124.32
5	9	36	4.14	149.04	4.08	146.88	4.04	145.44	4.20	151.20	4.09	147.24	4.24	152.64

ii プロット調査におけるプロットの最小面積の決定

第 19 表より調査地面積は 4609.73 m<sup>2</sup>, 材積計は 53.5751 m<sup>3</sup> で、ha 当りに換算すると 116.22 m<sup>3</sup> である。

いま 95% の確率で、プロット調査による ha 当りの推定値を、平均値、誤差ならびに信頼限界について、プロット面積の大きさ別に計算すると第 23 表のようになる。

この表から、母数 116.22 m<sup>3</sup> は、プロット面積の大小如何にかかわらず、信頼限界内に全て含まれているが、平均値は π(10 m)<sup>2</sup> および 20 m×20 m の各プロットが、π(5 m)<sup>2</sup>, 10 m×10 m お



第23表 プロットの大きさ別における材積ならびに標準誤差

Table 23. Volume and standard error in each plot. (per ha)

Area (m <sup>2</sup> )	Average (m <sup>3</sup> )	Standard error(m <sup>3</sup> )	95 percent confidence limits(m <sup>3</sup> )	Error percentage(%)
$\pi 5^2$	143.128	43.4763	99.6517—186.6043	30.38
10 × 10	162.064	24.3784	94.3898—229.7382	41.76
10 × 20	153.050	15.8052	109.1748—196.9252	28.67
$\pi 10^2$	129.606	7.7834	107.9993—151.2127	16.67
20 × 20	128.091	7.9716	105.9620—150.2204	17.28

よび 10 m×20 m の各プロットより母数に近く、さらに、誤差についても、 $\pi (10 \text{ m})^2$  と 20 m×20 m のプロットの測定結果は良好であって、プロット調査で林分材積を推定するためには、円形の場合は半径 10 m、方形の場合は 20 m×20 m の面積が少なくとも必要と考えられる。

iii 林分形数を用いて材積を推定するために必要なプロットの実面積の決定

前述したように、比推定では  $V=G \times v/g$  式を用いたが、単位面積当りの材積は  $G$  (Bitterlich 法で測定される ha 当り胸高断面面積) と  $v/g$  (林分形数) の相乗積で与えられる。この式で、 $G$  は測定によって直ちに求められるが、林分形数を計算する手段としては、次のようなことが考えられる。

(1) プロット調査の結果を利用する。

(2) Bitterlich 法でカウントされた立木の測定結果を利用する。

ここで(2)は、調査点が決まれば唯一通りの測定結果が与えられるが、プロット調査の結果を利用する場合には、さらにプロットの実面積の大きさが問題となる。

そのため、Bitterlich 法による ha 当り材積の推定値について、前記資料により、プロット面積の大きさ別に、平均値および標準誤差を計算した。その結果を第 24 表に示す。

第24表 プロットの大きさ別の林分形数を用いて計算した平均材積ならびに標準誤差

Table 24. Average stand volume and standard error calculated with stand coefficient in each plot size. (per ha)

Plot size (m <sup>2</sup> )	Average (m <sup>3</sup> )	Standard error (m <sup>3</sup> )	Error percentage (%)
$\pi 5^2$	133.184	32.5009	67.74
10 × 10	131.920	32.6241	68.65
10 × 20	130.224	30.2317	64.45
$\pi 10^2$	125.784	27.2358	60.11
20 × 20	129.512	25.1542	53.92
Counted tree	137.856	30.8994	62.22

この表の平均材積は、第 22 表に各プロットごとの ha 当り材積が計算してあるが、それらの平均であって次のように計算した。

$$\begin{aligned}
 \text{プロット1の材積} &= 4 \times 3.95 = 15.80 \text{ m}^3 \\
 \text{〃 2 〃} &= 56 \times 3.93 = 220.08 \text{ 〃} \\
 \text{〃 3 〃} &= 40 \times 3.87 = 154.80 \text{ 〃} \\
 \text{〃 4 〃} &= 28 \times 3.98 = 111.44 \text{ 〃} \\
 \text{〃 5 〃} &= 36 \times 4.04 = 145.44 \text{ 〃} \\
 \text{平均材積} &= 129.512 \text{ 〃}
 \end{aligned}$$

その他の場合もすべて林分形数は、対応する同面積のプロット調査から得られた値を用いて計算してある。

さらに、カウント木の毎木調査の測定値から林分形数を計算して求めた平均材積も参考までに掲げた。

第 19 表によると、林分形数は 2.58~4.78 の範囲にあって、平均は 3.94 であるが、第 22 表から面積の大きさ別の林分形数は、

- $\pi (5 \text{ m})^2$  のとき、3.75~4.41 の範囲内において、平均 4.06,
- 10 m×10 m のとき、3.71~4.18 範囲内において、平均 4.00,
- 10 m×20 m のとき、3.87~4.08 の範囲内において、平均 3.96,
- $\pi (10 \text{ m})^2$  のとき、3.52~4.09 の範囲内において、平均 3.84,
- 20 m×20 m のとき、3.87~4.04 範囲内において、平均 3.95,
- カウント木のときは、3.16~4.44 の範囲内において、平均 4.02

となり、林分形数はプロット面積の大小にはあまり影響なく計算される。

いま、第 21 表 (1) のプロットの大きさ別に測定された林分形数の値について、プロットの大きさ別に差があるかどうかをみると、第 25 表に計算されるように、林分形数は、プロットの大きさには関係がなくて一定であるが、林分が変わると林分形数も変化するということが、この分散分析からわかる。

第 25 表 プロットの大きさ別に測定された林分形数の分散分析

Table 25. Analysis of variance of stand coefficient measured in each plot size.

Source	S. S	D. F	M. S	F
Block	0.6905	4	0.1726	3.38 *
Plot	0.1407	5	0.0281	0.55
Error	1.0199	20	0.0510	
Total	1.8611	29		

そのため、第 24 表のプロットの大きさ別の林分形数を用いて計算した平均材積も、それ程の差はみられない。しかしながら  $\pi (10 \text{ m})^2$  および 20 m×20 m のプロットのエラール係数を用いて計算した結果がわずかに良好な値を示している。

このことは、林分形数を用いて材積を推定するために必要な 1 つのプロットの面積は、プロットの大きさにはあまり影響されないということを示している。

しかしながら、プロット調査と Bitterlich 調査を併用する場合、プロット調査では、少なくとも  $\pi (10 \text{ m})^2$  あるいは 20 m×20 m のプロットが必要であることから、林分形数を用いて材積を推定するために必要なプロットの面積も、 $\pi (10 \text{ m})^2$  または 20 m×20 m の大きさが適当だと考えられる。

### III 最適の胸高断面積定数の決定

#### i Bitterlich 法の理論

I の研究方法のところ、筆者は Bitterlich の Winkelzählprobe の立場から実験的に考察することを述べたが、最初に Bitterlich の材積推定の理論を掲げる。

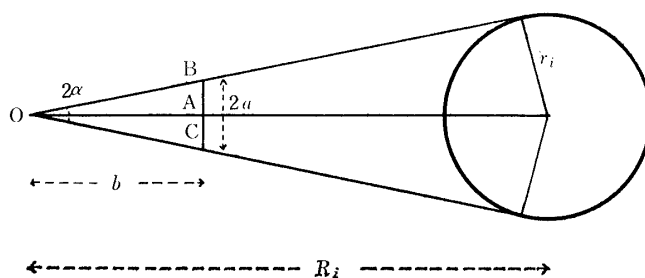
ある林分に、胸高直径  $2r_i$  の林木が 1 ha 当り  $f_i$  本あれば、その林分の 1 ha 当り胸高断面積は

$$BA = \sum_{i=1}^n f_i \pi r_i^2 \quad \dots\dots\dots(3-8)$$

である。

第 7 図に、 $r_i$  の半径をもつ林木が、器械長  $OA$ 、スリット幅  $BC$  の器械で、最大距離（限界半径） $R_i$  でみられたときの位置を示す。

第 7 図 半径  $r_i$  の立木が限界半径  $R_i$  でみられたときの位置図  
Fig. 7. Position when tree with  $r_i$  in radius observed with  $R_i$  in limited radius.



第 7 図で、半径  $r_i$  の林木が、限界半径  $R_i$  以上のところに立っていると、 $O$  点から見た場合  $BC$  の幅内に入り、 $R_i$  以内に立っていると、 $BC$  の幅よりはみだして数えられる林木となる。

さて、 $b$  を器械長、 $2a$  をスリット幅、 $\angle BOC$  を  $2\alpha$  とすると

$$\tan \alpha = a/b \quad \dots\dots\dots(3-9)$$

また、 $R_i$  は半径  $r_i$  の林木が数えられる限界半径で、

$$\sin \alpha = r_i/R_i \quad \dots\dots\dots(3-10)$$

もし、半径  $r_i$  の林木が  $Z_i$  本、標本点  $O$  から数えられたとすると、この半径  $r_i$  をもつ林木の 1 ha 当り推定本数は、

$$f_i = \frac{Z_i}{\pi R_i^2} \times (100)^2 \quad \dots\dots\dots(3-11)$$

で、この半径  $r_i$  をもつ林木の 1 ha 当り推定胸高断面積は、

$$f_i \pi r_i^2 = 10000 \frac{Z_i}{\pi R_i^2} \pi r_i^2 = 10000 Z_i \sin^2 \alpha \quad \dots\dots\dots(3-12)$$

である。

いま、器械によって  $\alpha$  と  $b$  を一定にすると、 $\alpha$  は一定となり、したがって  $10000 \sin^2 \alpha$  も一定となるので、これを  $k$  とすると、

$$k = 10000 \sin^2 \alpha \quad \dots\dots\dots(3-13)$$

故に、半径  $r_i$  の林木の 1 ha 当り胸高断面積は  $kZ_i$  となり、標本点より器械でのぞいて、一まわりして  $BC$  よりはみ出して数えられる林木の本数  $Z_i$  に定数  $k$  を乗じたものである。ほかの半径の林木についても同様だから、林分の 1 ha 当り胸高断面積は、(3-8) 式より、

$$BA = \sum_{i=1}^n f_i \pi r_i^2 = k \sum_{i=1}^n Z_i = kZ \quad \dots\dots\dots(3-14)$$

となる。ここに  $Z$  は標本点より一まわりして数えた林木の全本数である。

標本点を多くとると、林分の 1 ha 当り胸高断面積の推定量は、平均数えられる本数の  $k$  倍で求められる。 $k$  を断面積定数と呼ぶ。

以上の方法で 1 ha 当りの胸高断面積を求め、(3-1) 式および (3-2) 式によって、ha 当り材積

が推定できる。

ii 基本的な考え方

Bitterlich 法による比推定方式は、前述したように (3-2) 式  $V=G v/g$  ( $v/g$  を  $R$  とすると、 $V=G \cdot R$ ) で求められる。

この式はさらに次のように分解される。

$$V=c \cdot k \cdot R \dots\dots\dots(3-15)$$

ここに、 $c$  はカウント数、 $k$  は胸高断面積定数である。

(3-15) 式で、 $R$  には **Sampling error** が含まれ、 $c$  にはおもに見えないために生ずるカウントもれの本数が含まれる (木を正当に見ないための **bias** と考えられる)。殊に、傾斜地の天然生常緑広葉樹林ではこの傾向が強い。すなわち、

$$C_1 + \alpha \rightarrow C \dots\dots\dots(3-16)$$

における  $C_1$  本で、**ha** 当り材積を予測することになる。ここに  $\alpha$  は見えにくさに伴う誤差である (**bias**)。

さらに、胸高断面積  $G$  の計算因子  $c \times k$  の相乗積について次のように考える。

拡大円倍率の増加は限界半径の増加をきたし、限界半径の増加は立木の見えにくさに関連する。

一方倍率の増加によって胸高断面積定数  $k$  は減少する。

断面積の推定値は本数  $\times k$  だから、その誤差は (本数の誤差)  $\times k$  である。ゆえに  $k$  が小さいと本数の誤差は小さく、 $k$  が大きいと本数の誤差は大きくあらわれてくる。

このことから、断面積の推定誤差を小さくするためには、 $k$  は小さいほどよいが、実際の野外調査においては、 $k$  が小さくなると、見えにくさに伴う本数の誤差が大きくなる。

結局は、(本数の誤差)  $\times k$  を最小にすればよいわけであるが、

いま、 $k$  の値は (3-13) 式から

$$k = 10000 \sin^2 \alpha$$

である。さらに第 7 図から

$$\sin \alpha \doteq \tan \alpha = a/b$$

であるから

$$k = 10000(a/b)^2 \dots\dots\dots(3-17)$$

$$= 10000 \left( \frac{1}{b/a} \right)^2 \dots\dots\dots(3-18)$$

となる。

(3-18) 式で  $b/a$  は倍率である。第 8 図の  $k = \phi(\theta)$  は、 $k$  と倍率の関係を示している。

つぎに第 7 図から

$$\frac{2a}{b} = \frac{2r_i}{R_i} \left( = \frac{d}{l} \right) \dots\dots\dots(3-19)$$

ここに  $2r = d =$  直径

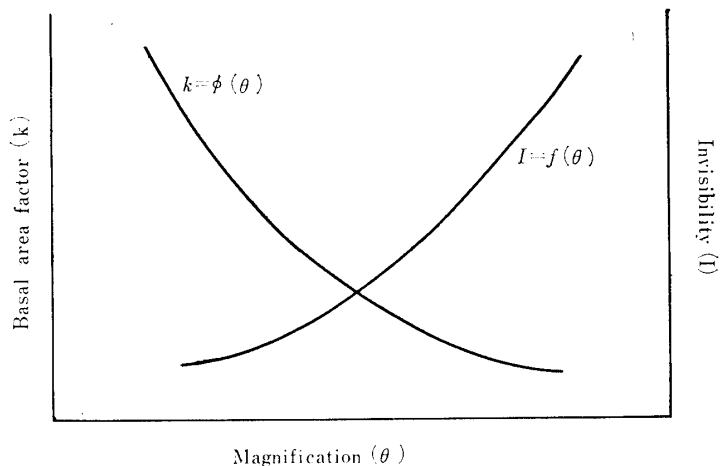
$R = l =$  限界半径

であるから

$$\frac{a}{b} = \frac{d}{2l} \dots\dots\dots(3-20)$$

となる。(3-17), (3-20) 式より

$$\frac{d}{2l} = \frac{\sqrt{k}}{100} \therefore l = \frac{50}{\sqrt{k}} \times d \dots\dots\dots(3-21)$$

第8図 胸高断面積定数 ( $k$ ) と見えにくさ ( $I$ ) の関係Fig. 8. The relation between  $k$  and  $I$ .

となり、限界半径は  $k$  の平方根に反比例する。

概念的に、限界半径の増加は、立木の見えにくさに関連し、拡大円倍率の増加は、限界半径の増加をきたすので、第8図の  $I=f(\theta)$  はこの関係を示している。

$I=f(\theta)$  は数量的にとらえることはむづかしいが、第8図から2つの二次曲線の交点の位置が分れば、最適の断面積定数をきめるのに好都合である。

以上の考え方の下に、 $R$  に含まれる **Sampling error** を調査対象林分の胸高直径で考察し、さらに見えにくさに伴う誤差を実験的に検討する。

### iii 林分形数と胸高直径との関係

いま、この関係を一般的に検討するために、筆者が現在までに(1954~1965)蒐集した204本の標本から、2変数材積表の調製を試みた。この材積表から  $R$  の値を計算したのが第26表である。

第26表によると、 $R$  の値は胸高直径の小さいときは小さく、胸高直径が大きくなるにつれて  $R$  の値も大きくなっている。

第26表 胸高直径別林分形数

Table 26. Stand coefficient of each diameter.

D (cm)	V (m <sup>3</sup> )	BA (m <sup>2</sup> )	R
2	0.0009	0.00031	2.90
4	44	126	3.49
6	114	283	4.03
8	225	503	4.47
10	380	785	4.84
12	583	1131	5.15
14	838	1539	5.45
16	1146	2011	5.70
18	1512	2545	5.94
20	1936	3142	6.16
22	2422	3802	6.37
24	2971	4524	6.57
26	3588	5309	6.76
28	4271	6158	6.94
30	5020	7069	7.10

第 27 表 毎木調査による幹別胸高直径階別立木本数一覧表  
 Table 27. Number of trees in each diameter grade of each frame by every tree measurement method. (0.56 ha)

No.	D(cm)	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	Total
60	26	21	9	1	1	2				1							61
61	20	20	3	2	1												46
62	7	11	8	7	5			5	1	2							46
63	25	15	11	4	4			1	1		3						64
64	27	27	7	2	4			3		1	1						72
65	20	18	8	2	5	1			2	2	1	1					60
66	26	15	5	7	1	1		2	2		1						59
71	24	19	6	3	1	1											54
72	10	8		1		1				1					1		52
73	31	6				1											38
74	42	6															48
75	34	30	12	2	2												80
76	14	18	10	4	2												48
77	15	12	10	7	3	2											49
82	30	19	14	4	2	1											70
83	17	20	15	5	3	2											62
84	32	28	8	3	1	1											73
85	36	31	3	2	1												72
86	35	18	4	1													58
87	37	30	18	9	2	1											97
91	20	23	7	3													53
92	22	16	6	8	1												53
93	24	30	12	2	4												72
94	20	12	3														35
95	26	16	7	7	6	1											63
100	23	25	8	7	4	2	3										72
101	15	10	5	1	4	2			1	1							39
102	25	12	6	4	7	5	2										61
103	40	33	4	2													79
106	54	25	4	5	3	2	1										94
107	43	24	8	9	2	4	1										91
108	10	11	2	1	1												25
109	3	4	1	2													10
113	41	19	6	3	3	2			4					1			79
114	34	22	11	4	1			2									74
115	4	3	1	1													9
116	23	28	5	7	2												65
119		7	2														9
120	19	15	8	2	2												46
121	15	3	2	4	2												26
122	8	8	7	2													25
123	16	4	1	2													23
126	11	14	6	6	1	1											39
127	24	21	9	3	1		1							1			60
128	10	4	2	1		1			1	1						1	21
129	12	3	2	3	2												22
130	7	9	5	3	1		1										27
133	11	6	9	1	1	1									1		29
134	6	8	6	2													22
135	18	10	4	2	1												35
136	9	5	1	1	2												18
137	24	19	10	4	2	1											60
141		3	1	3	1												8
142	7	11	6														24
143	22	7	8														37
146	9	3	6	1		1	1								1		22
<b>Total</b>	<b>1163</b>	<b>845</b>	<b>342</b>	<b>172</b>	<b>90</b>	<b>37</b>	<b>23</b>	<b>12</b>	<b>9</b>	<b>6</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>2706</b>	

第28表 枠別胸高直径階別材積

Table 28. Volume of each diameter with different frame. (0.56 ha)

No.	4	6	8	10	12	14	16
60	0.09152	0.18963	0.15840	0.02953	0.04507	0.12886	
61	0.07040	0.18060	0.05280	0.05906	0.04507		
62	0.02464	0.09933	0.14080	0.20671	0.22535		0.43920
63	0.08800	0.13545	0.19360	0.11812	0.18028		0.08784
64	0.09504	0.24381	0.12320	0.05906	0.18028		0.26352
65	0.07040	0.16254	0.14080	0.05906	0.22535	0.06443	
66	0.09152	0.13545	0.08800	0.20671		0.06443	0.17568
71	0.08448	0.17157	0.10560	0.08859	0.04507	0.06443	
72	0.03520	0.17224		0.02953		0.06443	
73	0.10912	0.05418				0.06443	
74	0.14784	0.05418					
75	0.11968	0.27090	0.21120	0.05906	0.09014		
76	0.04928	0.16254	0.17699	0.11812	0.09014		
77	0.05280	0.10836	0.17600	0.20671	0.13521	0.17886	
82	0.10560	0.17157	0.24640	0.11812	0.09014	0.06443	
83	0.05984	0.18060	0.26400	0.14765	0.13521	0.12886	
84	0.11264	0.25284	0.14080	0.08859	0.04507	0.06443	
85	1.12672	0.27993	0.05280	0.05906			
86	0.12320	0.16254	0.07040	0.02953			
87	0.13024	0.27090	0.31680	0.29577	0.09014	0.06443	
91	0.07040	0.20769	0.12320	0.08859			
92	0.07744	0.14448	0.10560	0.23624	0.04507		
93	0.08448	0.27090	0.21120	0.05906	0.18028		
94	0.07040	0.10836	0.05280				
95	0.09152	0.14448	0.12320	0.20671	0.27042	0.06443	
100	0.08096	0.22575	0.14080	0.20671	0.18028	0.12886	0.26352
101	0.05280	0.09030	0.08800	0.02953	0.18028	0.12886	
102	0.08800	0.10836	0.10560	0.11812	0.31549	0.32215	0.17568
103	0.14080	0.29799	0.07040	0.05906			
106	0.19008	0.22575	0.07040	0.14765	0.13521	0.12886	0.08784
107	0.15136	0.21672	0.14080	0.26577	0.09014	0.25772	0.08784
108	0.03520	0.09933	0.03520	0.02953	0.04507		
109	0.01056	0.03612	0.01760	0.05906			
113	0.14432	0.17157	0.10560	0.08859	0.13521	0.12886	
114	0.11968	0.19866	0.19360	0.11812	0.04507		0.17568
115	0.01408	0.02709	0.01760	0.02953			
116	0.08096	0.25284	0.08800	0.20671	0.09014		
119		0.06321	0.03520				
120	0.06688	0.13545	0.14080	0.05906	0.09014		
121	0.05280	0.02709	0.03520	0.11812	0.09014		
122	0.02816	0.07224	0.12320	0.05906			
123	0.05632	0.03612	0.01760	0.05906			
126	0.03872	0.12642	0.10560	0.17718	0.04507	0.06443	
127	0.08448	0.18963	0.15840	0.08859	0.04507		0.08784
128	0.03520	0.03612	0.03520	0.02953		0.06443	
129	0.04224	0.02709	0.03520	0.08859	0.09014		
130	0.02464	0.08127	0.08800	0.08859	0.04507		0.08784
133	0.03872	0.05418	0.15840	0.02953	0.04507	0.06443	
134	0.02112	0.07224	0.10560	0.05906			
135	0.06336	0.09030	0.07040	0.05906	0.04507		
136	0.03168	0.04515	0.01760	0.02953	0.09014		
137	0.08448	0.17157	0.17600	0.11812	0.09014	0.06443	
141		0.02709	0.01760	0.08859	0.04507		
142	0.02464	0.09933	0.10560				
143	0.07744	0.06321	0.14080				
146	0.03168	0.02709	0.10560	0.02953		0.06443	0.08784
Total	4.09376	7.63035	6.01920	5.07916	4.05630	2.38391	2.02032

第 28 表 (続)

18	20	22	24	26	28	30	32	Total
	0.14741							0.79042
0.11544	0.92482							0.40793
0.11544		0.55170						1.54629
	0.14741	0.18390						1.47043
0.23088	0.29482	0.18390	0.22295					1.29622
0.23088		0.18390						1.65513
	0.14741		0.22295					1.17657
								0.55974
								0.57176
								0.22778
								0.20202
								0.75098
								0.59608
								0.80794
								0.79626
								0.91616
								0.70437
								0.51851
								0.38567
								1.13828
								0.48988
								0.60883
								0.80592
								0.23156
								0.90076
0.11544	0.14741							1.22688
								0.83262
								1.23340
								0.56825
								0.98579
								1.21035
								0.24433
0.46176					0.31886			0.12334
								1.55477
								0.85081
								0.08830
								0.71865
								0.09841
								0.49233
								0.32335
								0.28266
								0.16910
								0.55742
0.11544	0.14741				0.31886			0.97287
							0.43450	0.89783
								0.28326
			0.22295					0.63836
								0.39033
								0.25802
								0.32819
								0.21410
								0.70474
								0.17835
								0.22957
								0.28145
						0.37409		0.72026
1.38528	1.32669	1.10340	0.66885		0.63772	0.37409	0.43450	37.21353



いま、4 cm の立木が1本と、30 cm の立木が1本それぞれ測定された場合の、 $k=4$  の測定器による ha 当り推定材積の差はつぎのように計算される。

$$D=4 \text{ cm のとき, } V=4 \times 1 \times 3.49=13.96 \text{ (m}^3\text{)}$$

$$D=30 \text{ cm のとき, } V=4 \times 1 \times 7.10=28.40 \text{ (m}^3\text{)}$$

$$\text{ゆえに, } 28.40-13.96=14.44 \text{ (m}^3\text{)}$$

すなわち、同じ1本の立木がそれぞれカウントされたとしても、直径の大きさの差によって、推定材積に差がでてくる。

このことは、調査箇所の直径分布の状態によって、ha 当りの材積推定値にかなりの変動があることを示している。

そのため、第3章、II、i のところで述べた調査地に隣接して、同じ琉球大学与那演習林 79 林班に小班内に 0.56 ha のプロットを設定し、10 m×10 m の枠 56 個について(林縁の枠は除外)、毎木調査を行なった結果により、直径分布の状態と林分形数との関係について考察する。

毎木調査の結果は、第27表の通りで、第28表には枠ごとの材積を、第29表には第27表と第28表から林分形数を計算して掲げた。

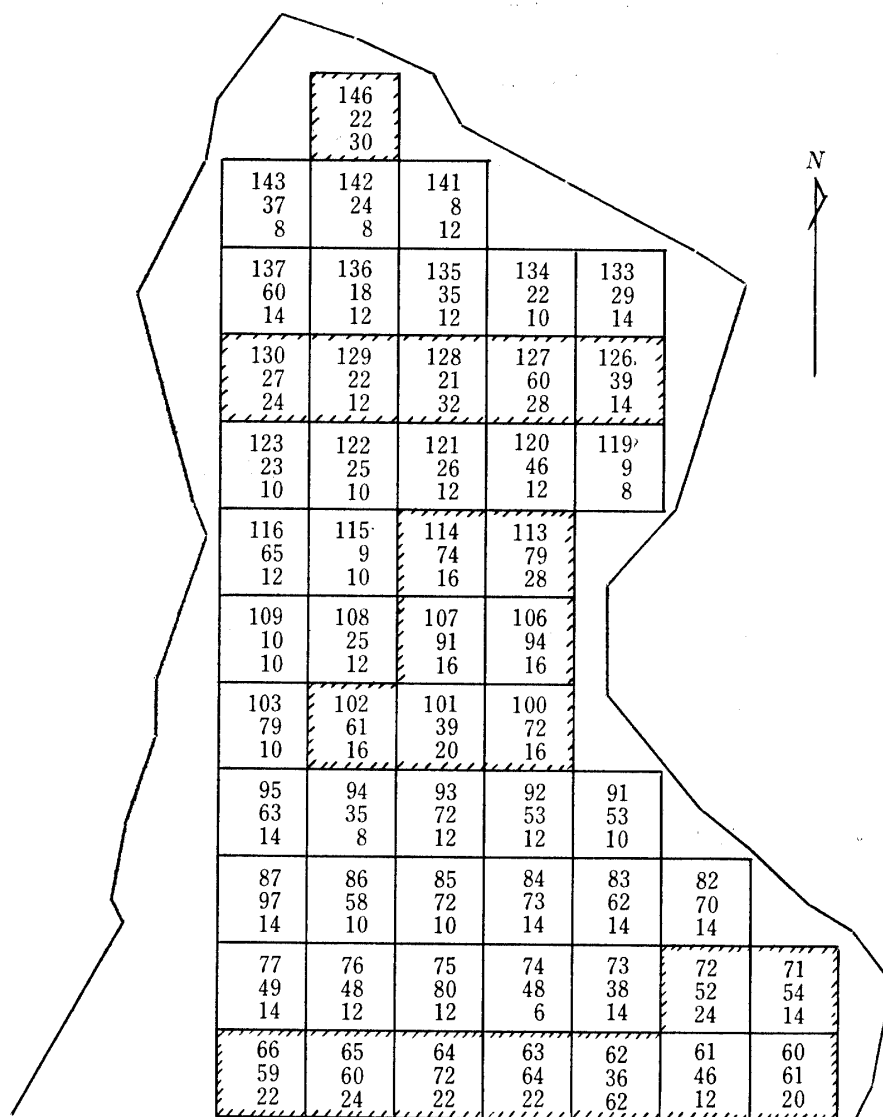
第9図には調査地の平面模式図を示した。

第9図において一つの枠の大きさは、(10 m)<sup>2</sup> であって、枠内の数字は上段は枠の番号、中段は立木本数、下段はその枠内の立木の最大直径を表わしている。

第29表 枠別、材分形数  
Table 20. Stand coefficient of each frame.

No.	Maximum D (cm)	N	R	No.	Maximum D (cm)	N	R
74	6	48	3.12	73	14	38	3.19
94	8	35	2.89	77	14	49	3.63
119	8	9	3.29	82	14	70	3.44
142	8	24	3.27	83	14	62	3.56
143	8	37	3.21	84	14	73	3.35
85	10	72	3.16	87	14	97	3.44
86	10	58	3.14	95	14	63	3.58
91	10	53	3.29	126	14	39	3.54
103	10	79	3.16	133	14	29	3.53
109	10	10	3.44	137	14	60	3.74
115	10	9	3.34	100	16	72	3.70
122	10	25	3.38	102	16	61	3.81
123	10	23	3.24	106	16	94	3.48
134	10	22	3.39	107	16	91	3.59
61	12	46	3.29	104	16	74	3.50
65	12	80	3.32	60	20	61	3.88
76	12	48	3.45	62	20	46	4.06
72	12	53	3.43	101	20	39	3.93
93	12	72	3.41	63	22	64	4.02
108	12	25	3.35	64	22	72	3.85
116	12	65	3.41	66	22	59	3.92
120	12	46	3.40	65	24	60	4.13
121	12	26	3.54	72	24	52	4.23
129	12	22	3.55	130	24	27	4.00
135	12	35	3.35	113	28	79	4.01
136	12	18	3.65	127	28	60	3.87
141	12	8	3.69	146	30	22	4.39
71	14	54	3.69	128	32	21	4.62

第9図 調査地の平面図  
Fig. 9. Horizontal figure of plot.



第27表によると、直径の大きな林木が分布している枠と、小径木の林木しか生立していない枠とに大別すると、それぞれの枠の出現には波（周期性）のあることが観察される。これを図示すると、第9図の斜線をほどこした部分が、林木の径級の大きい枠、その他は径級の小さい枠である。

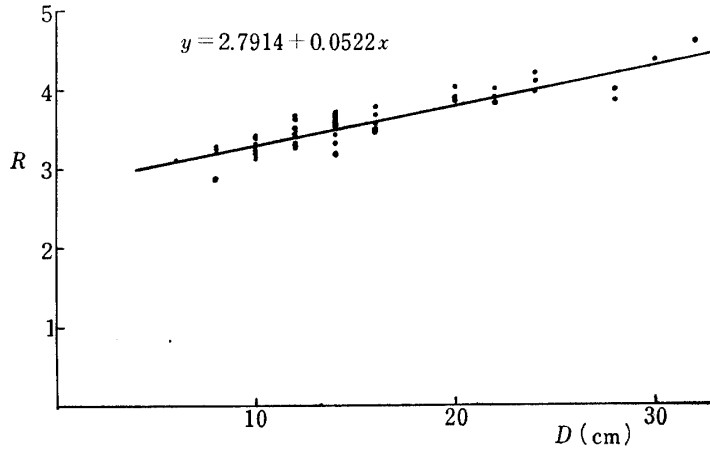
かかる状態の出現は、地形的な影響がおもな原因だと考えられるが、直径の大きさの範囲と林分形数、生立本数と林分形数の関係を図示すると、第29表より第10図および第11図のようになる。

第10図によると、直径の大きさと林分形数の関係は、直線回帰で示され、わずかに上昇するが、第11図で、生立本数と林分形数の関係は、同様に直線回帰で示されるが、X軸に平行となる。このことは、林分形数は林木の生立本数には余り影響がなく、林木の大きさと関連のあることを示している。

以上のことは、第30表および第31表によっても理解される。すなわち、第30表によると、林木の大きさと林分形数の回帰は著しく有意であり、第31表からは立木本数と林分形数の回帰は有意でない。つまり、本数のいかにかわらず一定である。

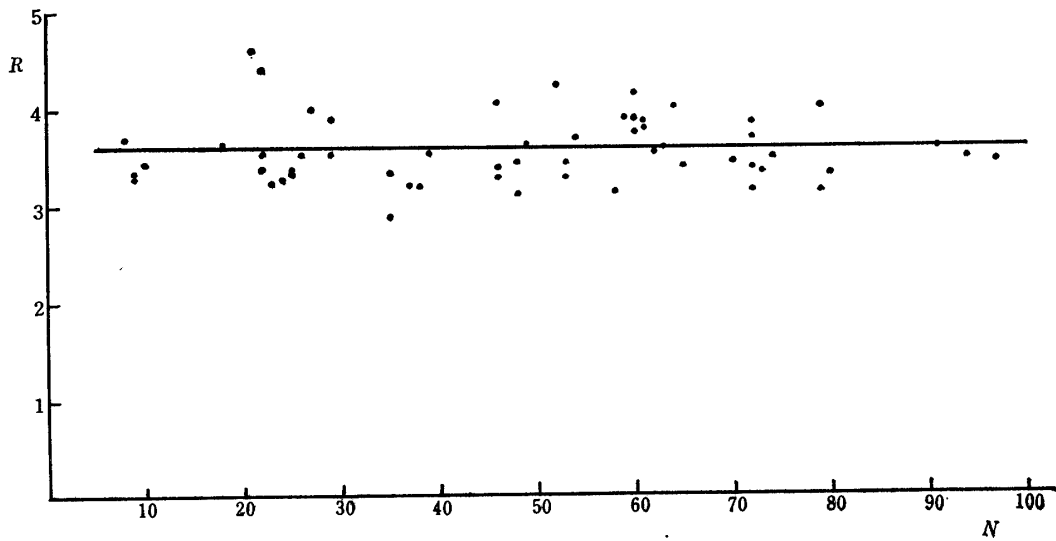
第10図 胸高直径と林分形数の関係

Fig. 10. The relation between diameter and stand coefficient.



第11図 本数と林分形数の関係

Fig. 11. The relation between number of trees and stand coefficient.



第30表 分散分析表

Table 30. Analysis of variance.

Source	S. S	D. F	M. S	F
Constant	713.1433	1	713.1433	**
Regression coefficient	5.3156	1	5.3156	**
Error	1.0937	52	0.0210	
Total	719.5526	54		

第 31 表 分散分析表  
Table 31. Analysis of variance.

Source	S. S	D. F	M. S	F
Constant	713.1433	1	713.1433	**
Regression coefficient	0.00004	1	0.00004	not sig.
Error	6.4092	52	0.1231	
Total	719.5526	54		

すなわち、Bitterlich 調査の際には、林分の本数密度にとられることなく、胸高直径の大きさの範囲を局所的にとらえて、測点を選定すればよいということになる。

一般に、林木の生長は、沢筋は生長が良好で、山頂に向って生長は悪くなるのが普通である。とくに沖縄の地形は小皺が多く、局所的に高低の差は小さいにかかわらず、以上のような傾向が強い。ゆえに、沖縄の広葉樹林で、Bitterlich 法を適用するためには、少なくとも沢、中腹、嶺の各部分に測点が等しく落されるような設計が望ましいと考えられる。

とくに、系統的に測点を落す場合（等間隔で測点をとる場合）には、第 27 表に示すような一種の周期性のあることに注意する必要があるだろう。

iv 見えにくさに伴うカウントもれの本数

いま、琉球大学与那演習林 79 林班に小班内に設定した No. 60~No. 146 の 56 個の枠について、胸高断面積定数 10, 4, 1 の各種測定器で調査した結果を第 32 表に示す。

第 32 表と第 9 図から、実際の測定で見えにくさのために、カウントもれになった本数を、第 33 表の数値を用いて検討することにする。

第 33 表には、各直径階に属する立木が、胸高断面積定数 10, 4, 1 の各種測定器で、カウントされるための限界半径を計算してある。

第 32 表 Bitterlich 法による枠別胸高直径別胸高断面積定数別カウント本数  
Table 32. Counted number of trees in each diameter and basal area factor of each frame by the Bitterlich method.

No.	60			61			62			63			64			65			66			71		
	10	4	1	10	4	1	10	4	1	10	4	1	10	4	1	10	4	1	10	4	1	10	4	1
4			2							4	1	3	7		5				3		2	4		
6		1	3	1	2	2			4			2	1	3	2				2			2		2
8			1									1	2		1	2	2		2	4	1	1		1
10		1	3			3			1				1	1	1				1					
12			1			1			4						1				1					
14		1	1	1	1	2												1	1	1				1
16	1	1	2			1		1	1				1	2	2									
18																								
20									1									1	1					
22																	1	1						
24																								
26																								
28																								
30																								
32								1	1															
Total	1	4	13	2	3	9	0	2	12	0	1	8	2	5	14	2	4	11	1	4	12	1	3	8

第32表 (続)

No.	72			73			74			75			76			77			82			83		
	D	K		D	K		D	K		D	K		D	K		D	K		D	K		D	K	
4											1	3	1	1	4		1	2		1	5			3
6												1		1	4	1	1	3			1			
8														1	1		2	3						
10														1	2									
12																1								
14																	1	1						
16																								
18																								
20																								
22		1	1																					
24																								
26																								
28																								
30																								
32																								
Total		0	1		0	0		0	0		0	1		4	1		4	11		1	5		10	3

No.	84			85			86			87			91			92			93			94		
	D	K		D	K		D	K		D	K		D	K		D	K		D	K		D	K	
4					2	5		1	8			1					1	2		5	1		1	3
6								2	4			4	1	2	4		1	4		1	4		1	9
8									1			2			4			1			1		2	1
10											1	1			2		1	1			1			2
12												1		1	1			1						2
14														1	1									2
16								1	1	1	1	1												1
18																								1
20																								2
22																								1
24																								1
26																								1
28																								1
30																								1
32																								1
Total		0	2		5	0		3	13		1	2		10	1		3	12		0	3		10	6

No.	95			100			101			102			103			106			107			108		
	D	K		D	K		D	K		D	K		D	K		D	K		D	K		D	K	
4						1			5			1			1			1			2			4
6						2			3			6			2			1			2			5
8						1			5			3			1			4			1			4
10								2	2		1	3			1		4	4			2			2
12						1			1		1	3			1		4	4			1			4
14						2	1	1	1			1			4			2			2			3
16						1						1			1			2			1			1
18		1	1			1						1			1			1			1			1
20																								
22																								
24																								
26																								
28																								
30																								
32																								
Total		1	2		9	1		3	17		1	3		17	2		5	15		1	6		17	15

第 32 表 (続)

No. D \ K	109			113			114			115			116			119			120			121		
	10	4	1	10	4	1	10	4	1	10	4	1	10	4	1	10	4	1	10	4	1	10	4	5
4			4			6			5			5			6			8	1	1	6			4
6			2		1	3			4			4			5	1	1	2		1	3		1	3
8		2	3						1	1		1	1		1	1	5			1	5			1
10	1	2	3			2			1	3		1	3	2							1			
12			3		1	1																		
14			1																					
16			2																					
18																								
20																								
22																		1	1					
24					1	1	1																	
26																								
28																								
30																								
32																								
Total	1	4	15	1	3	13	1	3	14	0	2	13	2	5	18	1	3	16	1	4	16	0	1	8

No. D \ K	122			126			126			127			128			129			130			133		
	10	4	1	10	4	1	10	4	1	10	4	1	14	4	1	10	4	1	10	4	1	10	4	1
4			3		1	1			1	6														1
6		1	1			1			1	3			3											
8						3				2	1	3	7										1	1
10			1			2			1	2		1	3		1	2							1	
12	1	1	2			1									1							1		
14										1		3												1
16			1						1	2														
18									1	1														
20																								
22																								
24																								
26																								
28																								
30																								
32																								
Total	1	2	8	0	1	6	0	5	17	1	5	16	0	1	3	0	0	1	0	1	3	0	0	2

No. D \ K	134			135			136			137			141			142			143			146		
	10	4	1	10	4	1	10	4	1	10	4	1	10	4	1	10	4	1	10	4	1	10	4	1
4			1									1			1	4					2			1
6												1	2		1	1					1			1
8		1	1				1	1				1	2		1	1					1			1
10												1	2								1			
12			1			1			1	1	1	2									1		1	1
14									1															
16																								
18																								
20																								
22																								
24																								
26																								
28																								
30																								
32																								
Total	0	1	3	0	0	1	0	1	4	1	3	7	0	1	3	1	2	9	0	1	6	0	1	4

第33表 各直径階の立木がカウントされる限界半径  
Table 33. Limited radius for counting of trees of each diameter grade. (m)

D(cm)	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32
Factor 10	0.63	0.95	1.26	1.58	1.90	2.21	2.53	2.84	3.16	3.48	3.79	4.11	4.42	4.74	5.06
4	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00	6.50	7.00	7.50	8.00
1	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00

なお、カウントもれの本数を考察するのに必要な事項は次の通りである。

- (1)  $(10\text{ m})^2$  の方形で、中心から最も遠い点(二辺の交点)までの長さは  $7.07\text{ m}$  である。
- (2)  $(10\text{ m})^2$  の二つの方形が、それぞれの辺を共有して隣接すると、一つの樫の中心から最も遠い点(他の樫の二辺の交点)までの長さは  $15.8\text{ m}$  である。
- (3)  $(10\text{ m})^2$  の二つの方形が、対角線上に一点を共有して隣接すると、一つの樫の中心から最も遠い点(対角線上の他の樫の二辺の交点)までの長さは  $21.21\text{ m}$  である。
- (4) 以下同様に、 $(10\text{ m})^2$  の樫が幾つか連結する場合も、一つの樫の中心から、他の樫の最も遠い点までの長さが計算できる。

第34表 胸高断面積定数1の測定器で測定した際のカウントもれ本数  
Table 34. Number of trees which are missed to count in the case of measurement by instrument with basal area factor 1.

No.	D(cm)	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	Total
60		1			1							2
62			4	1	1							6
63			1	1		3						5
64			1		1	1						3
65		1		1	1	1	1					5
66		1	2	2	1							6
71		1										1
72		1			1							2
73		1										1
77		1										1
82		1										1
83		2										2
84		1										1
100		1	3									4
101		1		1	1							3
102		1	1									2
106		2	1									3
107		4										4
113		2		4								6
114			2									2
121												1
127											1	2
128		1		1	1				1		1	4
129											1	1
130			1				1				1	2
135											1	1
137		1										1
146		1	1							1		3
Total		25	17	11	8	5	2	0	1	1	5	75

以上の考え方の下に、 $k=1$  の測定器で測定した際のカウントもれの本数は、第 34 表のように計算される。

第 34 表は、上記の (1), (2) に従って、立木の胸高直径と第 33 表の限界半径を参考にして計算したものである。

そのため、14 cm 以下の立木については、カウントもれの本数を見出すことはできない。

第 34 表によると、14 cm 以上の立木について、カウントもれの本数は 75 本もあり、これに 14 cm 以下の立木でカウントもれになっている本数も加えると、かなりの本数になることがわかる。

なお、ここで強調されることは、径級の大きい立木もカウントもれになっているという事実である。

この調査地における測定は、沖縄の広葉樹林で、どの位のカウントもれの立木が出現するかを知るために、次のような条件下で行なった。

(1) 測定は、初心者には何等の予備知識を与えることなく実施した。

(2) 測定は、測点から一廻りして見透しのきく立木のみを数えさせた。そのため、見透しの悪い立木に対して、測点の位置を離れて測定するという作業は行なれなかった。

かかる雑な調査を行なう場合の誤差は、第 35 表のように計算される。

第 35 表 胸高断面積定数別の ha 当り推定材積ならびに誤差

Table 35. Estimated volume and error per hectare in each basal area factor.

Method of survey	Bitterlich method			Every tree measurement method
	k=10	k=4	k=1	
Volume per hectare (m <sup>3</sup> )	24.0	35.2	33.5	66.6
Rates of error (%)	64	47	50	

なお、 $k=1$  の場合と同じように、 $k=4$  の場合の測定もれの本数を計算すると、4 本となる。 $k=10$  の場合は計算できない。

いま、第 32 表を一括表示すると第 36 表のようになる。

第 36 表によると、 $k=1$  の場合 530 本、 $k=4$  の場合 139 本、 $k=10$  の場合は 38 本カウントされている。

この林分の ha 当り材積は、66 m<sup>3</sup> であるから、胸高断面積定数別に、カウントされなければならない本数は、次のように計算される。

$$k=1 \quad 66 = 1 \times n_1 \times 3.57 \quad \therefore n_1 = 18.6 \text{ (本)} \dots\dots\dots(3-22)$$

$$k=4 \quad 66 = 4 \times n_4 \times 3.57 \quad \therefore n_4 = 4.7 \text{ (本)} \dots\dots\dots(3-23)$$

$$k=10 \quad 66 = 10 \times n_{10} \times 3.57 \quad \therefore n_{10} = 1.9 \text{ (本)} \dots\dots\dots(3-24)$$

枠は 56 個あるから、カウントされるべき全本数は、

$$k=1 \quad 18.6 \times 56 = 1051.6 \text{ (本)}$$

$$k=4 \quad 4.7 \times 56 = 263.2 \text{ (本)}$$

$$k=10 \quad 1.9 \times 56 = 106.4 \text{ (本)}$$

である。

ゆえにカウントもれになっている本数は、

$$k=1 \quad 1052 - 530 = 522 \text{ (本)} \dots\dots\dots(3-25)$$

$$k=4 \quad 268 - 139 = 129 \text{ (本)} \dots\dots\dots(3-26)$$

$$k=10 \quad 106 - 38 = 68 \text{ (本)} \dots\dots\dots(3-27)$$

となる。



第36表 胸高断面積定数別カウント本数  
Table 36. Counted number of trees of each basal area factor.

No.	Method of survey	Every tree measurement method	Bitterlich method		
			k=1	k=4	k=10
60		61	13	4	1
61		46	9	3	2
62		46	12	2	0
63		64	8	1	0
64		72	14	5	2
65		60	11	4	2
66		59	12	4	1
71		54	8	3	1
72		22	1	1	0
73		38	0	0	0
74		48	0	0	0
75		80	4	1	0
76		48	11	4	1
77		49	10	5	1
82		70	6	1	0
83		62	3	0	0
84		73	5	2	0
85		72	13	3	0
86		58	10	2	1
87		97	12	3	1
91		53	10	3	0
92		53	11	2	1
93		72	14	5	2
94		35	6	1	1
95		63	9	2	1
100		72	17	3	1
101		39	17	3	1
102		61	15	5	2
103		79	17	6	1
106		94	13	3	1
107		91	19	4	2
108		25	15	4	1
109		10	15	4	1
113		79	13	3	1
114		74	14	3	1
115		9	13	2	0
116		65	18	5	2
119		9	16	3	1
120		46	16	4	1
121		26	7	1	0
122		25	8	2	1
123		23	6	1	0
126		39	17	5	0
127		60	16	5	1
128		21	3	1	0
129		22	1	0	0
130		27	3	1	0
133		29	2	0	0
134		22	3	1	0
135		35	1	0	0
136		18	4	1	0
137		60	7	3	1
141		8	3	1	0
142		24	9	2	1
143		27	6	1	0
146		22	4	1	0
Total		2706	530	139	38

すなわち、Bitterlich 法に関して、何等の知識ももたない初心者に測定させた場合の、カウントもれの本数が、カウントされなければならない全本数に対する割合は、 $k=1$  および  $k=4$  の両者共、約半分 (50% の誤差) になるということがいえる。

このことは、沖縄の広葉樹林で Bitterlich 法による測定を行なう場合に、見えにくさに伴うカウントもれの立木が必ず生ずる、ということ念頭において、注意深い測定を行なわなければ、カウント木の本数に、約 50% という大きな誤差を生じる、ということの意味している。

なお、 $k=10$  の測定器は、カウントもれの本数を問題にする前に、沖縄の壮齢広葉樹林では、直径分布の面から、すでに適正なカウント数が得られない、ということが指摘される。

つぎに、老令林 (八重山西表島大原担当区 82・83 林班) に対して、上と同様な条件をつけて、すなわち、Bitterlich 法に関して何等の知識もなく、さらに、測点から見える樹木だけをカウントさせるという方法で測定させると、第 37 表および第 38 表のようになる。

第 37 表 胸高断面積定数別にカウントされた立木の胸高直径  
Table 37. Diameter of counted trees in each basal area factor.

Point	1			2			3			4		
	10	4	1	10	4	1	10	4	1	10	4	1
	8	8	8	18	18	18	104	104	104	4	4	4
	30	30	30		8	8		16	16	12	12	12
	68	68	68		16	16		16	16	16	16	16
		22	22		18	18		20	20	18	18	18
			4		18	18		26	26		22	22
			8		30	30		62	62		22	22
			14		32	32			4		16	16
			14		36	36			4		42	42
			16		48	48			8		8	8
			12			4			10			8
			22			4			14			10
			18			4			16			10
			32			10			16			10
			4			14			22			12
						16			24			16
						20			26			16
						32			32			16
									32			18
									34			18
												18
												20
												22
												28
Total	3	4	14	1	9	17	1	6	19	4	8	23

第 38 表 胸高断面積定数別の ha 当り推定材積ならびに誤差  
Table 38. Estimated volume and error per hectare in each basal area factor.

Method of survey	Bitterlich method			Every tree measurement method
	k = 10	k = 4	k = 1	
Volume per hectare	127.65	150.96	101.57	232.87
Rates of error	45	35	56	

第37表によれば、平均カウント数は、 $k=10$  のとき 2.3 本、 $k=4$  では 6.8 本、 $k=1$  のときは 18.3 本で、第38表の胸高断面積定数別  $ha$  当り推定材積は、次のように計算した。

$$\begin{array}{ll} k=10 & 2.3 \times 10 \times 5.55 = 127.65 \\ k=4 & 6.8 \times 4 \times 5.55 = 150.96 \\ k=1 & 18.3 \times 1 \times 5.55 = 101.57 \end{array}$$

ただし、5.55 は四つの測点を中心にして測定した  $(20\text{ m})^2$  のプロットの  $R$  の値を平均したものである。

第38表によれば、Bitterlich法では、注意深い測定を行なわないと、老齢広葉樹林では  $k=4$ 、 $k=10$ 、 $k=1$  の順に誤差が大きくなる。

さらに、 $k=1$  の測定器は視準距離が長いので、遠方にある大径木もカウントされずに誤差が大きくなるものと考えられる。

なお、この林分の  $ha$  当り材積は、 $233\text{ m}^3$  であるから、胸高断面積定数別のカウントされなければならぬ理論的本数は、次のように計算される。

$$\begin{array}{lll} k=1 & 233 = 1 \times n_1 \times 5.55 & \therefore n_1 = 42.0 \dots\dots\dots(3-28) \\ k=4 & 233 = 4 \times n_4 \times 5.55 & \therefore n_4 = 10.5 \dots\dots\dots(3-29) \\ k=10 & 233 = 10 \times n_{10} \times 5.55 & \therefore n_{10} = 4.2 \dots\dots\dots(3-30) \end{array}$$

実際に測定された本数は、

$$\begin{array}{ll} k=1 & n_1 = 18.3 \\ k=4 & n_4 = 6.8 \\ k=10 & n_{10} = 2.3 \end{array}$$

で、過小なカウント数であった。

以上、壮齡林と老齡林について、見えにくさに伴う誤差のあることを考慮しないで測定した結果は、かなりの誤差を生じたが、壮齡林の場合は、 $k=4$  および  $k=1$  の測定器で、老齡林の場合は、 $k=4$  および  $k=10$  の測定器で測定した方が誤差は少なく、壮齡林、老齡林の何れの場合も  $k=4$  の測定器で測定した方がよいという傾向をつかむことができた。

いま、これらのことを第8図の二つの曲線を数量化することによって確かめてみよう。

$$\begin{array}{l} k = \phi(\theta) \text{ は、(3-18) 式から} \\ k = 10000 (1/\theta^2) \dots\dots\dots(3-31) \end{array}$$

で示される。

$I=f(\theta)$  で、見えにくさ  $I$  をカウントもれの本数で表わすことにしよう。すなわち、倍率  $\theta$  が増大すれば、見えにくさは、カウントもれの本数が増加するということに関連する、という仮定の上に立つ。

(3-25)、(3-26)、(3-27) 式から、一つの枠についてのカウントもれの本数は、

$$\begin{array}{ll} k=1 \text{ のとき} & 6.3 \text{ 本} \\ k=4 \text{ のとき} & 2.2 \text{ 本} \\ k=10 \text{ のとき} & 1.2 \text{ 本} \end{array}$$

である。

このカウントもれの本数 ( $y$ ) と倍率 ( $\theta$ ) の関係が、

$$y = a + b\theta + c\theta^2$$

の2次式であらわされるものとし、常数  $a$ 、 $b$ 、 $c$  を最小自乗法で計算すると、

$$y = 1.4562 - 0.0973\theta + 0.0051\theta^2 \dots\dots\dots(3-32)$$

となる。

最適の  $\theta$  は、(3-31) 式と (3-32) 式の相乗積

$$ky=10000(1/\theta^2)\{1.4562-0.0973\theta+0.0051\theta^2\} \dots\dots\dots(3-33)$$

を  $\theta$  で微分して 0 とおいたときの値で求められる。

計算の結果は、 $\theta \doteq 32$  となる。この場合  $k \doteq 3$  となり、 $k=4$  に最も近似していて、沖縄の広葉樹林には  $k=4$  の測定器が最適だといえる。

なお、カウントもれの本数 ( $y$ ) と倍率 ( $\theta$ ) の関係を、

$$y=a+b\theta$$

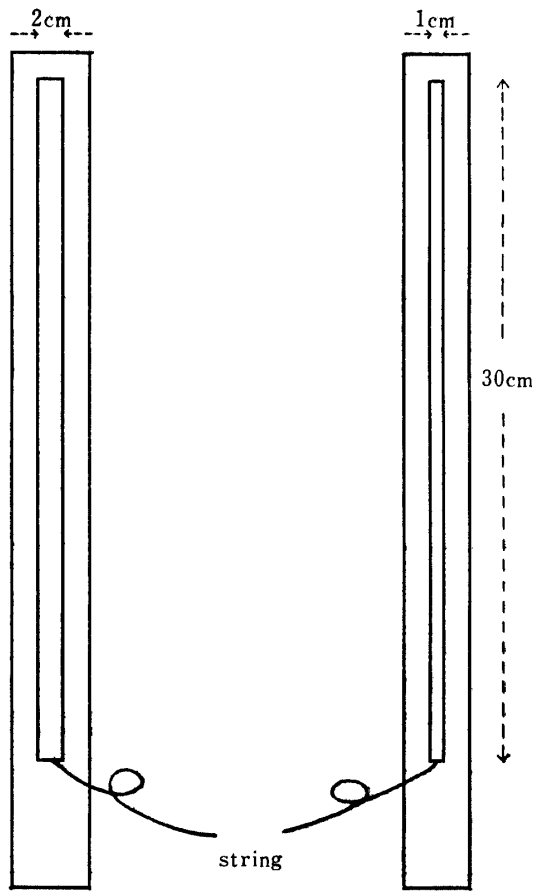
の直線回帰で表わすと、

$$y=-3.2914+0.2481\theta \dots\dots\dots(3-34)$$

となり、(3-31) 式と (3-34) 式の相乗積について、上と同様の計算を行えば、 $\theta=26.5$ 、すなわち  $k \doteq 3.6$  で、さらに  $k=4$  に近づく。

IV 沖縄の広葉樹林に対する Bitterlich 法適用の可否

第 12 図 手製の Bitterlich 測定器の構造  
Fig. 12. Structure figure of the instrument made by oneself.



$k$	Width of slit	Length of string
1	1 cm	50 cm
2	2 cm	50 cm
10	2 cm	31.6 cm

前節では、Bitterlich 法を適用したときに、カウントもれの本数が多いことを指摘した。しかし、その測定態度は、何等の予備知識も持たない初心者に見透しのきく立木のみを測定させ、果して見えにくさに伴うカウントもれの立木がどの位あるかを検討するためのものであった。

さらにいままでの調査に使用した測定器具は、全て手製のものであった。その構造は、第 12 図の通りであって、材料は厚さ約 0.76 cm の壁板であるが、誰でも、どこでも、手軽に作られて使用できるようにとの配慮が含まれていた。

そのため、沖縄に生育する天然生常緑広葉樹林に対して、果して Bitterlich 法が適用されるか否かを検討した。

調査は、正常な生長をしていると思われる沖縄本島北部安田公有林（天然生壯齡広葉樹林）内に、比較的林相の良好な林分 2 箇所を選び、20 m×20 m のプロットを設定して毎木調査ならびに Bitterlich 調査を行なった。

Bitterlich 調査は、20 m×20 m のプロットの中心に立って行ない、 $k=4$  の手製の測定器と市販の林分胸高断面積測定器（扇田氏考案）を併用して、手製の測定器で調査したときの誤差も検討することにした。

調査結果は、第 39 表～第 41 表の通りである。

第 41 表によれば、市販の測定器を使用した

第39表 胸高直径階別立木本数

Table 39. Number of trees in each diameter grade.

D (cm)	Plot 1		Plot 2		Average
	Per (20m) <sup>2</sup>	Per ha	Per (20m) <sup>2</sup>	Per ha	Per ha
4	112	2800	137	3425	3112
6	80	2000	76	1900	1950
8	51	1275	35	875	1075
10	41	1025	45	1125	1075
12	20	500	15	375	437
14	6	150	4	100	125
16	6	150	3	75	112
18	2	50			25
20	2	50			25
Total	320	8000	315	7875	7936

第40表 カウント木の各種測定値

Table 40. Measured value of counted trees by the Bitterlich method.

Plot No.	Kind of instrument		Tree No.	D (cm)	H (m)
1	On the market	Made by oneself	1	14.2	8
	"	"	2	10.0	6
	"	"	3	14.0	7
	"	"	4	11.3	7
	"	"	5	11.2	8
	"	"	6	7.6	8
	"	"	7	10.2	9
	"	"	8	11.2	9
2	On the market	Made by oneself	1	10.9	7
	"	"	2	16.2	7
	"	"	3	9.3	7
	"	"	4	12.4	7
	"	"	5	16.7	7
	"	"	6	8.2	6
	"	"	7	11.0	6
	"	"	8	10.4	7
	"	"	9	5.3	6

第41表 Bitterlich 法によって求積した ha 当り材積

Table 41. Stand volume per hectare estimated by the Bitterlich method.

Plot No.	Kind of instrument	R	Volume per hectare (m <sup>3</sup> )	Rates of error
1	Made by oneself	4.96 (by every tree measurement method)	8×4×4.96=158.72	
	On the market		8×4×4.96=158.72	
2	Made by oneself	4.28 ( " )	7×4×4.28=119.84	
	On the market		9×4×4.28=154.08	
Average	Made by oneself	4.66 ( " )	7.5×4×4.66=139.80	-11.30
	On the market		8.5×4×4.66=158.44	

ときは、推定誤差がわずかに +0.52% で、手製の測定器を使用したときは -11.30% の誤差を生じている。

このことは、手軽に作られる測定器は、その簡便さは認められるにしても、10% 内外の誤差を生ずる欠点のあることが指摘され、市販の測定器は、丁寧にさえ取扱えば、沖縄に生育する天然生の広葉樹林に対しても、かなりの精度を挙げうということがいえる。

すなわち、市販の精密な器械を用いて、丁寧に測定さえ行なえば、Bitterlich 法による測定は、沖縄に生育する天然生の広葉樹林に対しても、十分にその機動性を発揮しながら、その適用も可能だといえる。

### V カウント木の適正本数

Bitterlich や Blutel は、1点当りのカウント数を断面積定数の選択の基準にする。すなわち、カウント数の基準範囲を決めて、実際のカウント数がこの基準をみたすように、断面積定数を選ぶ。ところで、この基準数値については、Bitterlich は 10~20 本、Blutel は 20~25 本必要だとし、大隅のまとめたわが国の例では 12~22 本となり、一応の標準として、10~20 のカウント数を与えるような常数を選べばよいとしている。

いま、沖縄の広葉樹林における林分形数の値を表示すると第 42 表のようになる。

第 42 表 壮老齡林別の林分形数  
Table 42. Stand coefficient of matured and over matured forest.

Location	Type	Stand coefficient
Yona forest 75 compartment	Over matured forest	5.62
Ohara forest 82, 83 compartmet	〃	5.55
Yona forest 79 compartment	Matured forest	3.57
〃	〃	4.00
Oku forest 50 compartment	〃	4.42
Ada communal forest	〃	4.66

第 42 表から、林分形数の平均的数値を壮齡林では 4.00、老齡林では 5.50 とおさえる。

一方、沖縄に生育する天然生広葉樹林の ha 当り材積を、壮齡林 50 m<sup>3</sup>~150 m<sup>3</sup> で平均 100 m<sup>3</sup>、老齡林を約 200 m<sup>3</sup> とすると、林分形数を用いて、ha 当り材積を推定する際に必要な基準本数はおよそ次の通り計算される。

$$\text{壮齡林} \quad n_4 \times 4 \times 4.00 = 100 \quad \therefore n_4 \doteq 6 \dots \dots \dots (3-35)$$

$$\text{老齡林} \quad n_4 \times 4 \times 5.50 = 200 \quad \therefore n_4 \doteq 9 \dots \dots \dots (3-36)$$

すなわち、断面積定数 4 の測定器で測定する場合の適正な本数は、壮齡林では 6 本前後、老齡林では 9 本前後である。

### VI 回帰推定における組合わせの決定

与那演習林 79 林班に小班での調査結果を用いて、面積の大きさ別に回帰式を計算したのが第 43 表である。

第 43 表では、プロット調査の ha 当り断面積、材積と Bitterlich 法で測定した ha 当り断面積、材積の各因子をいろいろと組合わせて、回帰式を計算してある。

まず、プロット調査および Bitterlich 調査における胸高断面積と材積の回帰をそれぞれ計算してみた。すなわち、Bitterlich 法によって ha 当り材積を求める場合、V/BA の値（林分形数）を使っているのので、胸高断面積と材積の相関がどの位あるかを検討するためである。第 43 表によると、プ

第43表 プロットの大きさ別の回帰式  
Table 43. Regression equations of each plot size.

x : y	Area	Regression equation	Standard error	Mean $\bar{x}$	Correlation coefficient	Mean $\bar{y}$
Plot BA: Plot V	10 × 10	y = 162.064 + 4.4147(x - 40.13)	5.4196	28.8993	0.996	112.4827
	10 × 20	y = 153.05 + 4.1177(x - 38.589)	3.6836	"	0.997	113.1307
	20 × 20	y = 128.0912 + 3.9890(x - 32.397)	2.4548	"	0.996	114.1409
	$\pi 5^2$	y = 143.128 + 4.6167(x - 35.086)	8.5644	"	0.979	114.5659
	$\pi 10^2$	y = 129.606 + 3.6844(x - 33.79)	9.2988	"	0.927	111.5862
Bitterlich BA: Bitterlich V	10 × 10	y = 131.92 + 4.0359(x - 32.8)	8.4160	"	0.995	116.1768
	10 × 20	y = 130.224 + 4.0051(x - 32.8)	3.5958	"	0.999	114.6009
	20 × 20	y = 130.112 + 3.9107(x - 32.8)	3.3151	"	0.999	114.8571
	$\pi 5^2$	y = 133.184 + 3.9639(x - 32.8)	9.3999	"	0.994	129.2201
	$\pi 10^2$	y = 125.784 + 3.9157(x - 32.8)	9.3401	"	0.993	110.5096
Bitterlich BA: Plot V	10 × 10	y = 162.064 + 2.2015(x - 32.8)	45.7923	"	0.727	153.4752
	10 × 20	y = 153.05 + 0.8441(x - 32.8)	42.2103	"	0.403	149.7570
	20 × 20	y = 128.0912 + 1.1384(x - 32.8)	10.9872	"	0.916	123.6503
	$\pi 5^2$	y = 143.128 + 1.2225(x - 32.8)	32.6119	"	0.636	138.3590
	$\pi 10^2$	y = 129.606 + 0.9655(x - 32.8)	12.6922	"	0.858	125.8395
Bitterlich V: Plot V	10 × 10	y = 162.064 + 0.5865(x - 131.92)	41.3089	116.2218	0.785	152.8570
	10 × 20	y = 153.05 + 0.2192(x - 130.224)	41.8472	"	0.420	149.9723
	20 × 20	y = 128.0912 + 0.3101(x - 129.512)	5.6215	"	0.978	123.9699
	$\pi 5^2$	y = 143.128 + 0.3429(x - 133.184)	29.7048	"	0.585	137.3117
	$\pi 10^2$	y = 129.606 + 0.2542(x - 125.784)	11.3029	"	0.890	127.1753
Bitterlich BA: Plot BA	10 × 10	y = 40.13 + 0.5254(x - 32.8)	9.6338	28.8993	0.768	38.0802
	10 × 20	y = 38.589 + 0.1971(x - 32.8)	10.2868	"	0.388	37.7198
	20 × 20	y = 32.3965 + 0.2937(x - 32.8)	1.7105	"	0.946	31.2505
	$\pi 5^2$	y = 35.086 + 0.3055(x - 32.8)	5.9851	"	0.750	33.8939
	$\pi 10^2$	y = 33.79 + 0.2510(x - 32.8)	2.8695	"	0.887	32.8105

ロットの断面積と材積の相関および Bitterlich 法による断面積と材積の相関は非常に高く、 $V/BA$  の値を用いて ha 当り材積を推定することの妥当性が、プロット面積の大小に関係なく立証される。

Bitterlich 法によって計算される ha 当り断面積とプロット法による ha 当り断面積の回帰については、 $\pi (10 \text{ m})^2$  と  $20 \text{ m} \times 20 \text{ m}$  の場合は相関も高く、二重標本抽出法による回帰推定の場合にも、プロット調査におけるプロットの大きさは、 $20 \text{ m} \times 20 \text{ m}$  の大きさが必要であるといえる。

つぎに、ha 当り材積を Bitterlich 法で測定した断面積の関数とするか、あるいは Bitterlich 法で推定した材積の関数にするかについては、 $20 \text{ m} \times 20 \text{ m}$  のプロットにおいて、Bitterlich 断面積：プロット材積の標準誤差 10.99、相関係数 0.916 に較べて、Bitterlich 材積：プロット材積の標準誤差 5.62、相関係数 0.978 の方がよく、二重標本抽出法による回帰推定の場合は、小標本にはプロット法による材積を、大標本には Bitterlich 法による推定材積を用いた方がよいと考えられる。

## 第 4 章 生長量予測

### I 研究方法

生長量は、林木の部分によって、(1) 直径生長、(2) 断面積生長、(3) 樹高生長、(4) 材積生長と分けられ、これは単木の場合にも、林木の場合にも、それぞれについて考えられるが、生長の実質によって、(1) 連年生長、(2) 定期生長、(3) 総生長、(4) 定期平均生長、(5) 総平均生長、(6) 伐期平均生長と分類される。

本研究は、直径生長量を測定し、材積生長を連年生長量において推定せんとするものであるが、ここに直径という語句を用いる以上、樹木の断面は円であることを示している。しかしながら、これは近似的に円であるにすぎず、その偏心の度合いがそれほどひどくないので、実用的見地から、多くの場合樹木の断面を円として取扱っている。

樹幹横断面についての研究は多いが、偏倚生長について従来の学説を大別列記すると、次のようになる。

- (1) 東西方向に偏倚する
- (2) 風の方向に偏倚する
- (3) 土地の傾斜方向に偏倚する
- (4) 枝の着生状態に起因する
- (5) その他

偏倚率については、Grundner の実験によると、柵林では平均 5.6%、櫛林では 6.8%、松林では平均 8.4%、Flury の実験では唐檜および樅は 1.2~1.4%、択伐林型の唐檜林では 2.3%、高田<sup>106</sup>による黒松 50 本についての調査結果は、南北方向の直径は東西方向の直径より平均してわずかに長く、地上高 1.2 m、1.3 m、1.4 m の各点において、1.3 m の点では南北方向と東西方向には 5% の危険率で差があり、1.2 m、1.4 m の場合には差がなかった。さらに、木梨<sup>22)</sup>は、大径木の場合相当違って見えるが、最大直径と最小直径の差と最大直径の比率が 20% になるものはかなり稀であって、普通 10% 内外と考えてよしいと述べている。

次に、偏心生長は、生長錐を用いて直径生長量を査定する場合に、最も影響があると思われるが、坂上<sup>86)</sup>は、天然生広葉樹林 37 本について調査し、

(1) 各直径の両端から測定せられた生長比と偏心率との相関係数は、正負反対の符号を有し、多くの場合有意であるから、いずれか一方からのみ生長錐によって、生長量を測定すれば偏倚を生ずるおそれがある。



(2) しかし、外部から偏心の方向は察知しがたいから、皮付平均直径の両端から無作意に測定せられたと仮定して、その生長比またはその平均値と偏心率との関係を見ると、その間には、ほとんど相関々係がないことが分る。ゆえにこれらの方法で測定せられた場合には、生長量の査定はほとんど偏倚を生じない、と纏めている。

本研究は、以上の偏倚生長、偏心生長の状態を沖縄に生育する天然生広葉樹林において考察し、生長錐を使用して直径生長量を推定する場合の誤差を検討し、単位面積当りの材積生長量を計算せんとするものである。

## II 生長予測

### i 生長錐の挿入方向の検討

直径生長量または材積生長量を予測するために、生長錐による調査がしばしば行なわれる。しかるに沖縄のように季節風が最も強く発達する地域で、しかも樹木の生長期に台風の襲来が多い所では、生長錐をどの方向から挿入すればよいかという疑問を生じる。

樹木の偏倚生長に関する学説はいろいろと発表されているが、ここでは方位、傾斜、風向および枝の最長方向などを、直径生長に影響する因子と考えて、生長錐の挿入方向を検討することにした。

#### 1) 調査方法

資料は、琉球大学与那演習林 79 林班に小班から採取したが、本調査地は、海岸より 2.5 km、海拔高約 150 m で、南東と北東へ傾斜し、傾斜は約 20 度内外である。林相はオキナワシイを主体とし、平均林齢約 30 年生の広葉樹林である。

標本は、(10 m)<sup>2</sup> に細分された 56 個の枠の中から、胸高直径 4 cm~22 cm の範囲の各直径階にまたがるように、20 本を任意に抽出した。

標本木は、生長錐による直径生長量の調査を行なった後、伐倒して樹幹析解法によって円板を採取し、生長錐調査に準じた測定と、髓から樹皮の内側までの長さを測定し、材積は樹幹析解法で求積した。

なお、調査地から約 500 m ほど離れた琉球大学与那演習林事務所での気象観測値を第 44 表に掲げる。

#### 2) 直径の偏倚

20 本の標本木について、東西、南北、傾斜および水平の方向から、輪尺で胸高直径を測定した結

第 44 表 与那演習林における気象観測値

Table 44. Climate observation in Yona forest of the University of the Ryukyus.  
(1959-1963 Mean)

Item	Month											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Temperature	13.7	14.2	17.5	19.9	23.5	25.9	27.6	27.8	26.5	23.3	20.3	16.2
Humidity	76	79	80	87	85	85	80	84	80	80	81	81
Precipitation	108.8	178.3	160.9	229.0	231.4	210.0	233.6	264.1	171.8	336.6	251.8	173.7
Days of Precipitation	17.3	13.1	15.5	13.7	18.7	18.0	12.0	16.5	16.8	16.8	13.5	14.7
Evaporation	74.9	73.4	73.5	89.0	95.3	115.0	125.8	125.6	115.2	89.6	71.1	59.4
Maximum temperature	16.9	18.4	20.9	23.7	27.2	28.6	31.0	30.6	29.7	26.5	23.8	20.5
Minimum temperature	11.2	11.7	14.4	15.8	20.0	22.6	23.8	23.7	22.9	19.9	16.9	13.3
The most frequency wind direction	N	N	N	S	S	S	S	S	S	N	N	N

第 45 表 各方向の胸高直径  
Table 45. Diameter of each direction.

Tree No.	sp.	East-west	North-south (direction of wind)	Direction of slope-facing	Direction of horizon	Direction of the largest branch
1	Mochinoki	8.2	7.9	7.8	7.8	7.8 (slope-facing)
2	Okinawashii	6.3	6.2	6.0	6.4	6.0 ( " )
3	"	12.2	12.6	11.9	12.3	12.6 (north-south)
4	"	4.0	4.3	4.4	4.2	4.4 (slope-facing)
5	"	15.8	15.2	16.4	15.7	16.4 ( " )
6	"	11.2	10.7	10.7	10.8	11.2 (east-west)
7	"	18.8	19.4	18.3	19.0	18.3 (slope-facing)
8	"	23.2	22.1	22.6	22.6	23.2 (east-west)
9	"	12.5	13.4	13.6	13.5	13.6 (slope-facing)
10	"	19.0	17.5	19.0	17.5	19.0 (east-west)
11	"	5.9	6.1	5.6	6.3	5.6 (slope-facing)
12	"	11.8	13.0	13.2	13.0	13.2 ( " )
13	"	8.2	7.9	8.3	7.9	8.3 ( " )
14	Kobanmochi	4.2	4.4	4.2	4.2	4.2 ( " )
15	Okinawashii	14.0	12.9	13.9	11.7	12.9 (north-south)
16	"	22.7	21.1	23.4	20.1	22.7 (east-west)
17	Yamamoto	18.5	19.0	19.0	18.2	19.0 (north-south)
18	Okinawashii	10.4	10.6	10.2	10.4	10.2 (slope-facing)
19	"	15.8	15.5	15.0	16.2	15.0 ( " )
20	"	18.9	20.3	18.9	20.3	18.9 (east-west)
Total		261.6	260.1	262.4	258.1	262.5

果は第 45 表の通りである。

最多風向は、第 44 表から南（4 月～9 月）および北（10 月～3 月）であるから、その方向は南北方向と一致する。

枝の最長方向は、各標本木ごとに、上にあげた 4 方向のどれに相当するかをきめて、該当する方向を枝の最長方向とした。

いま、各方向について、直径生長に差があるかどうかをみるために分散分析を行なった。

その結果は第 46 表の通りであって有意差は認められない。すなわち、方向別の生長差はないといえる。

胸高直径の偏倚率については（最大直径と最小直径の差の最大直径に対する 100 分率）第 47 表の通りであって、4～16% の範囲にあり平均 7.5% となっている。

第 45 表によると、直径の合計値の最小を示すのは水平方向であって、東西、南北（風向）方向に対して約 1%、傾斜、枝の最長方向に対して約 2% 小さくなっている。

以上のことから、直径の偏倚は全体的に約 2% であり、さらに方向別の生長差も認められないので、胸高直径の測定は、方向を考えないで測定しても、全般的には影響はないものと考えられる。

第 46 表 直径の方向別の分散分析  
Table 46. Analysis of variance of diameter at various direction.

Source	S. S	D. F	M. S	F
Between	0.6886	4	0.17215	not sig.
Within	3219.8915	95	33.89359	
Total	3220.5801	99		

第47表 各標本の胸高直径の偏倚率

Table 47. Eccentric growth percentage of diameter of sample trees.

Tree No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Eccentric growth percentage	5	7	6	9	7	4	6	5	8	8	11	11	5	5	16	14	4	4	7	7

## 3) 偏心生長

方向別の偏心生長を検討するために、胸高円板で、髓の中心から樹皮の内側までの長さを測定した。ただし、風向は樹木の生長期においてはほとんど南になっているので、南と一致するものと考えた。枝の最長方向は前述のように各標本ごとに7方向の該当方向をきめて、その値を用いた。これらの測定結果は第48表の通りである。

第48表 各方向における髓から樹皮の内側までの長さ

Table 48. Length from pith to inside bark in each direction. (cm)

Tree No.	East	West	South(direction of wind)	North	Upper slope	Lower slope	Horizon	Direction of the largest branch
1	3.22	4.42	3.30	4.18	3.08	4.56	3.87	4.56 (lower slope)
2	2.80	3.48	3.20	3.08	3.28	2.80	3.13	3.28 (upper slope)
3	5.10	6.74	4.90	7.92	6.70	4.90	5.84	7.92 (north)
4	2.10	1.76	2.00	2.26	1.90	2.40	2.04	2.40 (lower slope)
5	8.72	8.84	9.00	6.42	8.78	6.30	7.91	6.30 ( " )
6	5.10	6.22	6.24	3.80	5.82	5.00	5.15	5.10 (east)
7	9.40	9.24	8.70	8.62	10.10	8.40	8.97	8.40 (lower slope)
8	12.90	9.90	13.38	8.94	8.30	13.60	11.78	9.90 (west)
9	5.40	6.10	6.64	5.50	6.10	6.18	6.24	6.18 (lower slope)
10	10.06	8.60	7.88	9.30	8.60	10.06	8.59	8.60 (west)
11	3.08	3.30	2.60	3.20	3.00	3.10	3.14	3.10 (lower slope)
12	4.88	6.50	6.80	5.28	6.20	6.18	6.09	6.18 ( " )
13	3.70	4.80	4.28	3.66	3.60	4.80	4.15	4.80 ( " )
14	2.50	2.30	3.06	1.92	2.38	2.72	2.40	2.72 ( " )
15	6.20	8.20	7.50	3.70	7.58	6.60	6.00	3.70 (north)
16	12.16	9.74	9.72	10.00	9.86	9.60	10.39	12.16 (east)
17	10.60	8.50	7.90	10.36	10.40	8.00	9.19	10.36 (north)
18	5.06	4.90	4.32	6.16	4.72	5.60	5.13	5.60 (lower slope)
19	9.34	6.50	9.36	6.24	7.86	7.40	8.30	7.40 ( " )
20	9.00	9.80	13.48	9.60	7.70	11.10	7.89	9.80 (west)
Total	131.32	129.84	134.26	120.14	125.96	129.30	128.20	128.46

第48表の測定値を用いて、方向別に偏心生長に差があるかどうかをみるために分散分析を行なった。その結果は第49表の通りであって、有意差は認められない。

いま、髓の中心から樹皮の内側までの最大、最小の差が最大に対する100分率を偏心率として、その値を標本ごとに示すと第49表のようになる。

偏心率の範囲は10~55%におよび、平均は28.9%で、かなり大きな割合を示している。

生長錐調査には、偏心生長が最も影響すると考えられるので、第48表の測定値について、最大の生長をしている方向を、標本ごとにみると、南(風向)が最も多くて7本、傾斜の下側および枝の最長方向がそれぞれ5本、以下西、東、北、傾斜の上側、水平の順に4本、3本、2本、1本、0本となっている。

さらに、全標本の合計値は、南(風向)、東、西、傾斜の下側、枝の最長方向、水平、傾斜の上側、

第 49 表 偏心生長の方向別の分散分析

Table 49. Analysis of variance of eccentric growth from pith in respective direction.

Source	S. S	D. F	M. S	F
Between	8.99824	7	1.28546	not sig.
Within	1313.00368	152	8.63818	
Total	1322.00192	159		

第 50 表 各標本の偏心率

Table 50. Eccentric growth percentage from pith of each sample disk.

Tree No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Eccentric growth percentage from pith	10	19	38	27	30	39	17	39	18	22	21	28	25	37	55	21	26	30	33	43

北の順に小さくなっていて、個々の樹木の偏心生長も、全体の測定値についても南（風向）の値が大きい。

ただ、以上の資料のみでは、偏心生長が方向（南）に関係があるのか、風向に影響されるかは明白でない。

なお、傾斜の上側、水平方向ならびに北側は、全標本の合計値についても、偏心生長が最大となる標本の数についても、共に小さくなっている。

#### 4) 方向別の錐片長

生長錐を使用して、直径生長量を測定する場合に必要なものは、最近 5 年間または 10 年間の錐片の長さである。前項では、樹木の個別別にはかなりの偏心率を示すが、全体としては分散分析の結果から、偏心生長は方向に関係のないことを指摘した。

次には、その一部（最近 5 年間または 10 年間の錐片長）については、どうであろうかということを検討してみた。

生長錐を使用して、最近 5 年間の錐片長を測定した値は第 51 表に示した。第 51 表で方向別の左欄が錐片長を、右欄が円板で測定した年輪幅（5 年）である。

錐片長が方向別に差があるかどうかをみるために、分散分析を行なった。その結果は第 52 表の通りであって、有意差は認められなかった。すなわち、生長錐を用いて生長量の調査を行なう場合、いずれの方向からでも挿入して測定しても良いと考えられる。

次に、広葉樹は年輪の測定が一般に困難である。円板によって測定するにしても、針葉樹に較べると容易ではない。

かかる広葉樹に対して、生長錐調査を行なった場合、その測定値は果して信頼できるものであるか否かを、円板の測定値に較べて検討してみた。その準備表が第 51 表であって、第 53 表には、生長錐調査による錐片長と円板測定による 5 年間の年輪幅とについて、有意差の検定を行なった。

第 53 表によると、いずれの方向にも有意差は認められず、生長錐調査によって得られる測定値は信頼するに足るものであることが認められた。

#### 5) 直径生長量

以上で、生長錐はどの方向から挿入してもよいことが分ったが、生長錐調査で得られた錐片から計

第51表 錐片長と年輪巾の有意差検定準備表  
 Table 51. Preliminary table for test of significant difference between core length and width of rings in recent five years. (cm)

Tree No.	East		West		South (direction of wind)		North	
	Increment borer	Disk	Increment borer	Disk	Increment borer	Disk	Increment borer	Disk
1	0.80	0.90	0.64	0.70	0.66	0.80	0.70	0.60
2	0.92	0.75	0.92	0.80	0.88	0.72	0.80	0.74
3	1.06	0.75	1.10	0.95	1.02	1.30	1.08	1.30
4	0.89	1.80	0.60	1.50	0.60	1.00	0.70	0.90
5	1.36	2.00	1.28	1.50	1.32	1.52	1.06	1.12
6	0.98	0.70	1.08	1.00	1.06	1.25	1.10	1.15
7	1.06	0.60	0.98	1.20	1.10	1.00	1.10	1.35
8	1.08	1.20	1.40	1.60	1.10	1.00	1.12	1.20
9	0.98	1.05	0.90	0.60	0.98	0.90	1.10	1.10
10	1.20	0.60	1.04	0.80	1.12	0.80	1.18	0.80
11	0.80	0.96	0.68	0.74	0.75	0.70	0.62	0.86
12	0.60	0.94	0.80	0.96	0.78	1.30	0.94	0.80
13	0.68	1.10	0.92	1.28	0.62	0.84	0.74	0.86
14	0.80	1.70	1.10	1.50	0.80	0.80	0.70	0.82
15	1.18	1.00	1.30	1.00	1.08	1.24	0.94	0.80
16	1.22	1.58	1.24	1.76	1.26	1.38	1.12	1.20
17	0.98	1.08	0.99	1.08	1.06	1.00	0.90	1.02
18	0.79	0.80	0.65	0.86	0.86	0.96	1.00	0.90
19	1.10	1.96	1.00	1.46	1.22	1.36	1.24	1.32
20	1.40	1.38	1.30	1.64	1.18	1.64	1.70	1.70

Tree No.	Upper slope		Lower slope		Horizon		Direction of the longest branch	
	Increment borer	Disk	Increment borer	Disk	Increment borer	Disk	Increment borer	Disk
1	0.70	0.65	0.70	0.70	0.67	0.70	0.70	0.70
2	0.80	0.90	0.78	0.72	0.90	0.80	0.80	0.90
3	1.00	1.10	0.96	0.55	1.00	0.80	1.08	1.30
4	0.62	0.82	0.90	0.90	0.63	0.70	0.90	0.90
5	1.30	1.20	0.98	1.05	1.12	1.12	0.98	1.05
6	1.12	0.90	1.00	1.00	0.99	1.02	0.98	0.70
7	1.00	1.05	1.08	1.00	0.94	0.90	1.08	1.00
8	1.10	1.10	1.20	1.14	1.15	0.85	1.40	1.60
9	1.00	1.20	1.02	1.15	1.05	1.70	1.02	1.15
10	1.04	0.80	1.20	0.80	1.15	0.85	1.04	1.10
11	0.70	0.94	0.65	0.80	0.80	0.98	0.65	0.80
12	0.82	0.92	0.90	0.90	0.70	0.86	0.90	0.90
13	1.00	1.06	0.60	0.84	0.74	0.80	0.60	0.84
14	0.78	0.82	0.68	0.72	0.84	0.86	0.68	0.72
15	1.02	1.05	1.10	1.23	1.02	0.80	0.94	0.80
16	1.08	1.06	1.20	1.24	1.07	1.16	1.22	1.58
17	1.26	1.20	1.00	1.28	1.06	1.14	0.90	1.02
18	1.05	1.16	0.95	0.90	0.91	0.90	0.95	0.90
19	1.12	1.14	1.00	1.12	1.25	1.30	1.00	1.12
20	1.30	1.38	1.40	1.28	1.44	1.36	1.30	1.64

第52表 錐片長の方向別の分散分析表  
 Table 52. Analysis of variance of core length in each diameter.

Source	S. S	D. F	M. S	F
Between	0.0198743	6	0.00331238	not sig.
Within	6.3993050	133	0.04811508	
Total	6.4191793	139		

第 53 表 0 との有意差検定  
Table 53. Test of significant difference with zero.

Item	East	West	South (direction of wind)	North
Total of difference	-2.97	-3.01	-2.06	-0.70
Average	-0.1485	-0.1505	-0.1030	-0.0350
Standard error	0.104	0.076	0.054	0.036
Estimated value of average	-0.3662 ~+0.0692	-0.3095 ~+0.0085	-0.2160 ~+0.0100	-0.1103 ~+0.0403

Item	Upper slope	Lower slope	Horizon	Direction of the longest branch
Total of difference	-0.64	-0.02	+0.83	+1.60
Average	-0.0320	-0.0010	+0.0415	+0.0800
Standard error	0.028	0.039	0.036	0.039
Estimated value of average	-0.0906 ~+0.0266	-0.0826 ~+0.0806	-0.0338 ~+0.1168	-0.0016 ~+0.1616

算された方向別の直径生長量に、差があるかどうかを、次には検討することにした。

第 54 表には、生長錐調査による方向別の直径生長量を計算した。

第 55 表には、直径生長量が方向によって差があるかどうかを検討するために分散分析を行なった。

第 55 表から、直径生長量も、いずれの方向にも有意差は認められず、直径生長量にも、方向による差の無いことが認められる。

第 54 表 生長錐使用による直径生長量計算表

Table 54. Calculation of diameter growth measured by using increment borer.

(1) East

(cm)

No.	D	2B	d=D-2B	L	x=d-L	y=2L/5	X=K·x	Y=K·y
1	8.2	0.4	7.8	0.80	7.00	0.320	7.4409	0.3402
2	6.3	0.6	5.9	0.92	4.98	0.368	5.2937	0.3912
3	12.2	1.0	11.2	1.06	10.14	0.424	10.7786	0.4507
4	4.2	0.4	3.6	0.89	2.61	0.356	2.7744	0.3784
5	15.8	0.6	15.2	1.36	13.84	0.544	14.7117	0.5783
6	11.2	0.6	10.6	0.98	9.62	0.392	10.2259	0.4187
7	18.8	1.2	17.6	1.06	16.54	0.424	17.5817	0.4507
8	23.2	1.1	22.1	1.08	21.02	0.432	22.3439	0.4592
9	12.5	1.2	11.3	0.98	10.32	0.392	10.9700	0.4167
10	19.0	0.7	18.3	1.20	17.10	0.480	18.1770	0.5102
11	5.9	0.2	5.7	0.80	4.90	0.320	5.2086	0.3402
12	11.8	0.7	11.1	0.60	10.50	0.240	11.6132	0.2551
13	8.2	0.3	7.9	0.68	7.22	0.272	7.6747	0.2891
14	4.2	0.2	4.0	0.80	3.20	0.320	3.4015	0.3402
15	14.0	1.0	13.0	1.18	11.82	0.472	12.5645	0.5017
16	22.7	1.2	21.5	1.22	20.28	0.488	21.5573	0.5187
17	18.5	1.3	17.2	0.98	16.22	0.392	17.2416	0.4167
18	10.4	1.0	9.4	0.79	8.61	0.316	9.1523	0.3359
19	15.8	1.0	14.8	1.10	13.70	0.440	14.5629	0.4677
20	18.9	1.0	17.9	1.40	16.50	0.560	17.5392	0.5953
Total	261.6		246.1					

$$K = \Sigma D / \Sigma d = 261.6 / 246.1 = 1.06298252$$

第54表 (続)

(2) West.

No.	D	2B	d=D-2B	L	x=d-L	y=2L/5	X=K·x	Y=K·y
1	8.2	0.2	8.0	0.64	7.36	0.256	7.7762	0.2705
2	6.3	0.4	5.9	0.92	4.98	0.368	5.2616	0.3888
3	12.2	0.6	11.6	1.10	10.50	0.440	11.0937	0.4649
4	4.0	0.2	3.8	0.60	3.20	0.240	3.3809	0.2536
5	15.8	0.6	15.2	1.28	13.92	0.512	14.7071	0.5409
6	11.2	0.6	10.6	1.08	9.52	0.432	10.0689	0.4564
7	18.8	1.2	17.6	0.98	16.62	0.392	17.5597	0.4142
8	23.2	1.0	22.2	1.40	21.80	0.560	23.0326	0.5917
9	12.5	1.2	11.3	0.90	10.40	0.360	10.9880	0.3804
10	19.0	0.9	18.1	1.04	17.06	0.416	18.0246	0.4395
11	5.9	0.3	5.6	0.68	4.92	0.272	5.1982	0.2874
12	11.8	0.9	10.9	0.80	10.10	0.320	10.6711	0.3381
13	8.2	0.4	7.8	0.92	6.88	0.368	7.2690	0.3888
14	4.2	0.2	4.0	1.10	2.90	0.440	3.0640	0.4649
15	14.0	0.8	13.2	1.30	12.90	0.520	13.6294	0.5494
16	22.7	1.2	21.5	1.24	20.26	0.496	21.4056	0.5240
17	18.5	0.5	18.0	0.99	17.01	0.396	17.9718	0.4184
18	10.4	0.8	9.6	0.65	8.95	0.260	9.4561	0.2747
19	15.8	1.0	14.8	1.00	13.80	0.400	14.5803	0.4226
20	18.9	1.0	17.9	1.30	16.60	0.520	17.5386	0.5494
Total	261.6		247.6					

$$K = D/d = 26.6/247.6 = 1.05654281$$

(3) South (direction of wind).

No.	D	2B	d=D-2B	L	x=d-L	y=2L/5	X=K·x	Y=K·y
1	7.9	0.3	7.6	0.66	6.94	0.264	7.3828	0.2808
2	6.2	0.6	5.6	0.88	4.72	0.352	5.0212	0.3745
3	12.6	1.0	11.6	1.02	10.58	0.408	11.2550	0.4340
4	4.3	0.2	4.1	0.60	3.50	0.240	3.7233	0.2553
5	15.2	0.8	14.4	1.32	13.08	0.528	13.9146	0.5617
6	10.7	0.6	10.1	1.06	9.04	0.424	9.6168	0.4511
7	19.4	0.2	18.7	1.10	17.60	0.440	18.7229	0.4681
8	22.1	1.4	20.7	1.10	19.60	0.440	20.8506	0.4681
9	13.4	0.8	12.7	0.98	11.72	0.392	12.4678	0.4170
10	17.5	0.8	16.7	1.12	15.58	0.448	16.5741	0.4766
11	6.1	0.3	5.8	0.75	5.05	0.300	5.3722	0.3191
12	13.0	0.8	12.2	0.78	11.42	0.312	12.1486	0.3319
13	7.9	0.4	7.5	0.62	6.88	0.248	7.3190	0.2638
14	4.4	0.4	4.0	0.80	3.20	0.320	3.4042	0.3404
15	12.9	1.0	11.9	1.08	10.82	0.432	11.5104	0.4596
16	21.1	1.6	19.5	1.26	18.24	0.504	19.4038	0.5362
17	19.0	0.6	18.4	1.06	17.34	0.424	18.4464	0.4511
18	10.6	1.0	9.0	0.86	8.94	0.344	9.5104	0.3659
19	15.5	1.6	13.9	1.22	12.68	0.488	13.4890	0.5191
20	20.3	0.8	19.5	1.18	18.32	0.472	19.4889	0.5021
Total	260.1		244.5					

$$K = \Sigma D / \Sigma d = 260.1/244.5 = 1.06380368$$

第 54 表 (続)

(4) North.

No.	D	2B	b=D-2B	L	x=d-L	y=2L/5	X=K·x	Y=K·y
1	7.9	0.4	7.5	0.70	6.80	0.280	7.1839	0.2958
2	6.2	0.4	5.8	0.80	5.00	0.320	5.2823	0.3381
3	12.6	0.8	11.8	1.08	10.72	0.432	11.3252	0.4564
4	4.3	0.2	4.1	1.70	3.40	0.280	3.5920	0.2958
5	15.2	0.6	14.6	1.06	13.54	0.424	14.3044	0.4479
6	10.7	0.8	9.9	1.10	8.80	0.440	9.2968	0.4648
7	19.4	0.7	18.7	1.10	17.60	0.440	18.5937	0.4648
8	22.1	0.8	21.3	1.12	20.18	0.448	21.3193	0.4733
9	13.4	1.6	11.8	1.10	10.70	0.440	11.3041	0.4648
10	17.5	1.0	16.5	1.18	15.32	0.472	16.1849	0.4986
11	6.1	0.3	5.8	0.62	5.18	0.248	5.4725	0.2620
12	13.0	0.7	12.3	0.94	11.36	0.376	12.0014	0.3972
13	7.9	0.4	7.5	0.74	6.76	0.296	7.1417	0.3127
14	4.4	0.2	4.2	0.70	3.50	0.280	3.6976	0.2958
15	12.9	0.8	12.1	0.94	11.16	0.376	11.7901	0.3972
16	21.1	1.6	19.5	1.12	18.38	0.448	19.4177	0.4733
17	19.0	0.6	18.4	0.90	17.50	0.360	18.4880	0.3803
18	10.6	0.8	9.8	1.00	8.80	0.400	9.2968	0.4226
19	15.5	0.6	14.9	1.24	13.66	0.496	14.4312	0.5240
20	20.3	0.8	19.7	1.70	18.00	0.680	19.0162	0.7184
Total	260.1		246.2					

$$K = \Sigma D / \Sigma d = 260.1 / 246.2 = 1.05645816$$

(5) Upper slope.

No.	D	2B	2=D-2B	L	x=d-L	y=2L/5	X=K·x	Y=K·y
1	7.8	0.4	7.4	0.70	6.70	0.280	7.1005	0.2967
2	6.0	0.4	5.6	0.80	4.80	0.320	5.0869	0.3391
3	11.9	1.0	10.9	1.00	9.90	0.400	10.4918	0.4239
4	4.4	0.3	4.1	0.62	3.48	0.248	3.6880	0.2628
5	16.4	0.6	15.8	1.30	14.50	0.520	15.3667	0.5511
6	10.7	0.8	9.9	1.12	8.78	0.448	9.3048	0.4748
7	18.3	1.2	17.1	1.00	16.10	0.400	17.0624	0.4239
8	22.6	1.2	21.4	1.10	20.30	0.440	21.5134	0.4663
9	13.6	1.2	12.4	1.00	11.40	0.400	12.0814	0.4239
10	19.0	0.9	18.1	1.04	17.06	0.416	18.0797	0.4409
11	5.6	0.3	5.3	0.70	4.60	0.280	4.8750	0.2967
12	13.2	0.6	12.6	0.82	11.78	0.328	12.4841	0.3476
13	8.3	0.4	7.9	1.00	6.90	0.400	7.3124	0.4239
14	4.2	0.2	4.0	0.78	3.22	0.312	3.4125	0.3306
15	13.9	1.0	12.9	1.02	11.88	0.408	12.5901	0.4324
16	23.4	1.2	22.2	1.08	21.12	0.432	22.3824	0.4578
17	19.0	0.6	18.4	1.26	17.14	0.504	18.1645	0.5341
18	10.2	0.8	9.4	1.05	8.35	0.420	8.8491	0.4451
19	15.0	0.7	14.3	1.12	13.18	0.448	13.9678	0.4748
20	18.9	1.0	17.9	1.30	16.60	0.520	17.5922	0.5511
Total	262.4		247.0					

$$K = \Sigma D / \Sigma d = 262.4 / 247.6 = 1.05977382$$



第54表 (続)

(6) Lower slope.

No.	D	2B	d=D-2B	L	x=d-L	y=2L/5	X=R·x	Y=K·y
1	7.8	0.3	7.5	0.70	6.80	0.280	7.2240	0.2975
2	6.0	0.4	5.6	0.78	4.82	0.312	5.1205	0.3315
3	11.9	1.1	10.8	0.96	9.84	0.384	10.4535	0.4079
4	4.4	0.4	4.0	0.90	3.10	0.360	3.2933	0.3824
5	16.4	0.6	15.8	0.98	14.82	0.392	15.7440	0.4164
6	10.7	0.6	10.1	1.00	9.10	0.400	9.6674	0.4249
7	18.3	1.8	16.5	1.08	15.42	0.432	16.3814	0.4589
8	22.6	1.0	21.6	1.20	20.40	0.480	21.6719	0.5099
9	13.6	1.0	12.6	1.02	11.58	0.408	12.3020	0.4334
10	19.0	0.7	18.3	1.20	17.10	0.480	18.1662	0.5099
11	5.6	0.4	5.2	0.65	4.55	0.260	4.8337	0.2762
12	13.2	0.6	12.9	0.90	11.70	0.360	12.4295	0.3824
13	8.3	0.4	7.9	0.60	7.30	0.240	7.7551	0.2550
14	4.2	0.2	4.0	0.68	3.32	0.272	3.5270	0.2890
15	13.9	0.8	13.1	1.10	12.00	0.440	12.7482	0.4674
16	23.4	1.6	21.8	1.20	20.60	0.480	21.8844	0.5099
17	19.0	0.6	18.4	1.00	17.40	0.400	18.4849	0.4249
18	10.2	0.7	9.5	0.95	8.55	0.380	9.0831	0.4037
19	15.0	1.2	13.8	1.00	12.80	0.400	13.5981	0.4249
20	18.9	1.0	17.9	1.40	16.50	0.560	17.5287	0.5949
Total	262.4		247.0					

$$K = \Sigma D / \Sigma d = 262.4 / 247.0 = 1.06234817$$

(7) Horizon.

No.	D	2B	d=D-2B	L	x=d-L	y=2L/5	X=K·x	Y=K·y
1	7.8	0.4	7.4	0.67	6.73	0.268	7.0725	0.2816
2	6.4	0.6	5.8	0.90	4.90	0.360	5.1494	0.3783
3	12.3	1.3	11.0	1.00	10.00	0.400	10.5090	0.4204
4	4.2	0.3	3.9	0.63	3.27	0.252	3.4364	0.2648
5	15.7	0.7	15.0	1.12	13.88	0.448	14.5864	0.4708
6	10.8	1.0	9.8	0.99	8.91	0.396	9.3635	0.4162
7	19.0	1.6	17.4	0.94	16.46	0.376	17.2977	0.3951
8	22.6	1.3	21.3	1.15	20.15	0.460	21.1755	0.4834
9	13.5	1.3	12.2	1.05	11.15	0.420	17.7175	0.4414
10	17.5	0.9	16.6	1.15	15.45	0.460	16.2363	0.4834
11	6.3	0.2	6.1	0.80	5.30	0.320	5.5697	0.3363
12	13.0	0.6	12.4	0.70	11.70	0.280	12.2955	0.2943
13	7.9	0.5	7.4	0.74	6.60	0.296	6.9990	0.3111
14	4.2	0.2	4.0	0.84	3.16	0.336	3.3208	0.3531
15	11.7	0.9	10.8	1.02	9.78	0.408	10.2778	0.4288
16	20.1	1.5	18.6	1.07	17.53	0.424	18.4222	0.4456
17	18.2	0.6	17.6	1.06	16.54	0.424	17.3818	0.4456
18	10.4	0.8	9.6	0.91	8.69	0.364	9.1323	0.3825
19	16.2	1.1	15.1	1.25	13.85	0.500	14.5549	0.5254
20	20.3	0.7	19.6	1.44	18.16	0.576	19.0843	0.6053
Total	258.1		245.6					

$$K = \Sigma D / \Sigma d = 258.1 / 245.6 = 1.05089576$$

第 54 表 (続)

(8) Direction of the longest branch.

No.	D	2B	d=D-2B	L	x=d-L	y=2L/5	X=K·x	Y=K·y
1	7.8	0.3	7.5	0.70	6.80	0.280	7.2092	0.2968
2	6.0	0.4	5.6	0.80	4.80	0.320	5.0889	0.3393
3	12.6	0.8	11.8	1.08	10.72	0.432	11.3651	0.4580
4	4.4	0.4	4.0	0.90	3.10	0.360	3.2866	0.3817
5	16.4	0.6	15.8	0.98	14.82	0.392	15.7118	0.4156
6	11.2	0.6	10.6	0.98	9.62	0.392	10.1989	0.4156
7	18.3	1.8	16.5	1.08	15.42	0.432	16.3479	0.4580
8	23.2	1.0	22.2	1.40	21.80	0.560	23.1119	0.5937
9	13.6	1.0	12.6	1.02	11.58	0.408	12.2769	0.4326
10	19.0	0.9	18.1	1.04	17.06	0.416	18.0866	0.4410
11	5.6	0.4	5.2	0.65	4.55	0.260	4.8238	0.2756
12	13.2	0.6	12.6	0.90	11.70	0.360	12.4041	0.3817
13	8.3	0.4	7.9	0.60	7.30	0.240	7.7993	0.2544
14	4.2	0.2	4.0	0.68	3.32	0.272	3.5198	0.2884
15	12.9	0.8	12.1	0.94	11.16	0.376	11.8316	0.3986
16	22.7	1.2	21.5	1.22	20.28	0.488	21.5004	0.5174
17	19.0	0.6	18.4	0.90	17.50	0.360	18.5531	0.3817
18	10.2	0.7	9.5	0.95	8.55	0.380	9.0645	0.4029
19	15.0	1.2	13.8	1.00	12.80	0.400	13.5703	0.4241
20	18.9	1.0	17.9	1.30	16.60	0.520	17.5989	0.5513
Total	262.5		247.6					

$$K = \sum D / \sum d = 262.5 / 247.6 = 1.06017770$$

Note :

- No. : Tree number
- 2B : Multiply bark thickness by 2
- L : Core length in recent five years
- y = 2L/5 : Average diameter growth inside bark
- Y = Ky : Diameter growth outside bark
- D : Diameter outside bark
- b = D-2B : Diameter inside bark
- x = d-L : Periodic middle diameter inside bark
- X = Kx : Periodic middle diameter outside bark

第 55 表 直径生長量の方向別の分散分析

Table 55. Analysis of variance of diameter growth of each direction.

Source	S. S	D. F	M. S	F
Between	0.0060	7	0.0009	not sig.
Within	1.2962	152	0.0085	
Total	1.3022	159		

ii 直径生長量の回帰

前記資料で、方向別の直径生長量の回帰式を計算すると、第 56 表の通りである。

これら方向別の回帰式の係数  $b$  は、いずれも正の値をとっていて、直径の増大につれて直径生長量も大きくなることを示している。これらの関係を図示すると第 13 図のようになる。さらに、水平方向の全ての標本の測定値を落点して、回帰直線と共に図示すると、第 14 図の通りである。

一般に、針葉樹林では、直径が増大するにつれて、直径生長量は減少するのが普通であって、このことは広葉樹林でも例外ではないと考えられる。すなわち、第 13 図や第 14 図の関係、つまり直径の増加に伴って直径生長量がいつまでも増加するということは考えられない。どこかに極大の位置があるはずである。

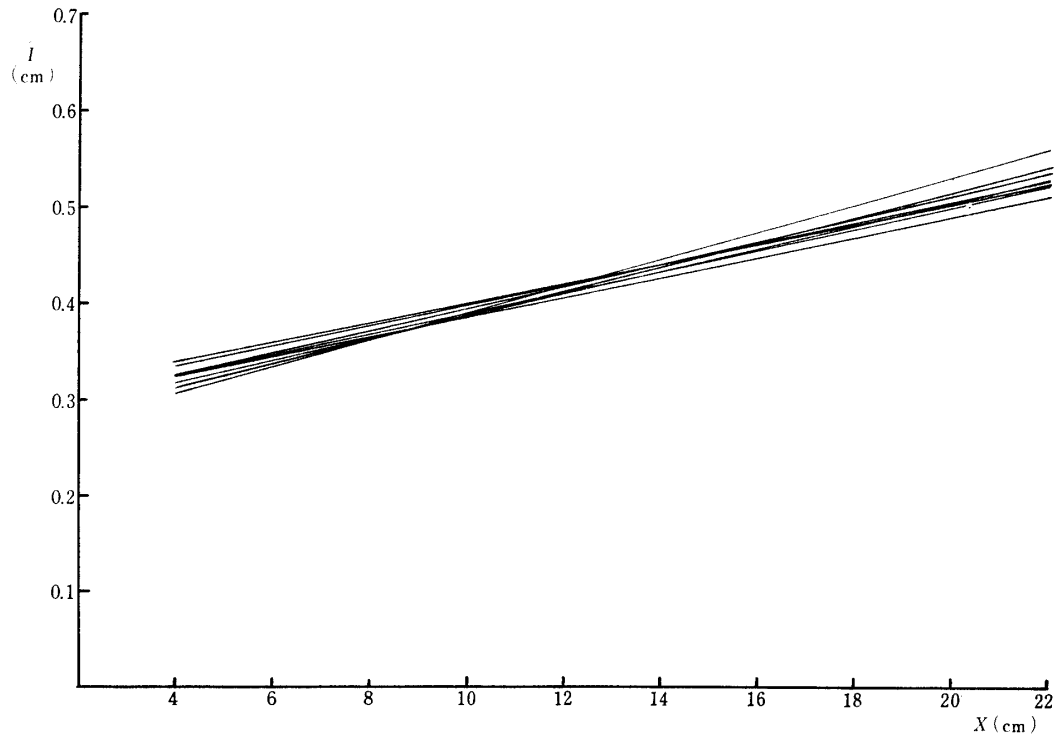
第56表 方向別の直径生長量回帰式  
 Table 56. Regression equations of diameter growth in each direction.

Direction	Regression equations
East	$I = 0.2985 + 0.0103 X$
West	$I = 0.2801 + 0.0116 X$
South (direction of Wind)	$I = 0.2618 + 0.0127 X$
North	$I = 0.2518 + 0.0140 X$
Upper slope	$I = 0.2947 + 0.0104 X$
Lower slope	$I = 0.2816 + 0.0110 X$
Horizon	$I = 0.2708 + 0.0118 X$
Direction of the longest branch	$I = 0.2838 + 0.0104 X$

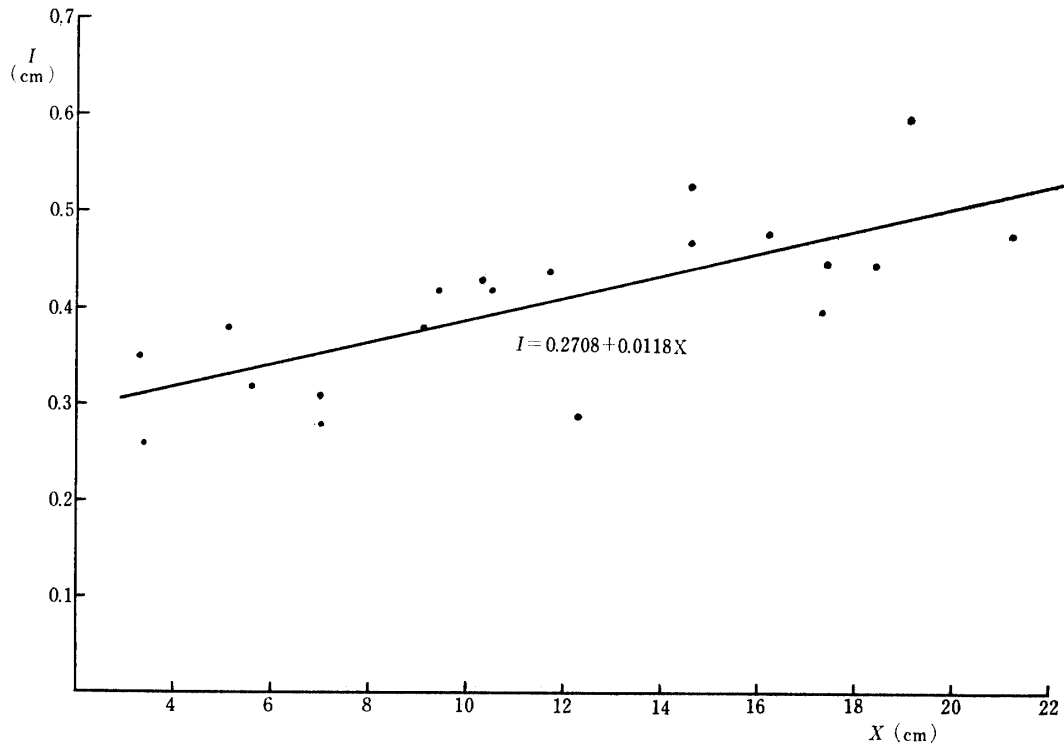
このことを明らかにする目的で、西表島祖納担当区 27 林班い小班, 9 林班い小班, 15 林班い小班に、20 m×20 m のプロットをそれぞれ設定し(順次プロット1, プロット2, プロット3とする) 毎木調査を行ない、ウーリッヒ第II法によって、各プロット毎に立木本数を5級に分け、各級より2本ずつ計31本の標本木を選定し、さら27いより6本, 9いより8本, 15いより5本の、Bitterlich法で測定されたカウント木を加え、計50本の資料を用いて検討することにした。

第57表には、カウント毎の胸高直径別立木本数を、第58表には、標本木の各種測定値を掲げた。第59表には直径生長量を計算した。第15図には、これらの計算値を落点した。

第13図 方向別の直径生長量回帰直線  
 Fig. 13. Linear regression of diameter growth in each direction.



第 14 図 水平方向の直径生長量回帰直線  
 Fig. 14. Linear regression of diameter growth in horizon.



第 57 表 胸高直径階別立木本数  
 Table 57. Number of trees of each diameter grade.

D(cm)	Plot 1	Plot 2	Plot 3	Total	Per ha
4	34	18	25	77	642
6	23	7	21	51	425
8	15	9	27	51	425
10	11	8	9	28	233
12	7	5	5	17	142
14	8	5	4	17	142
16	5	3	7	15	125
18	2	3	3	8	67
20	2	3	7	12	100
22		2	3	5	42
24	1	1		2	17
26	3	1	3	7	58
28			1	1	8
30		2	1	3	25
32		2	2	4	33
34	1			1	8
36			1	1	8
38			1	1	8
40			1	1	8
42		1		1	8
44			1	1	8
46			1	1	8
48	1			1	8
50			1	1	8
52			1	1	8
Total	113	70	125	308	2564
Per ha	2825	1750	3125	2567	

第58表 標本木の各種測定値  
Table 58. Observed value of sample trees.

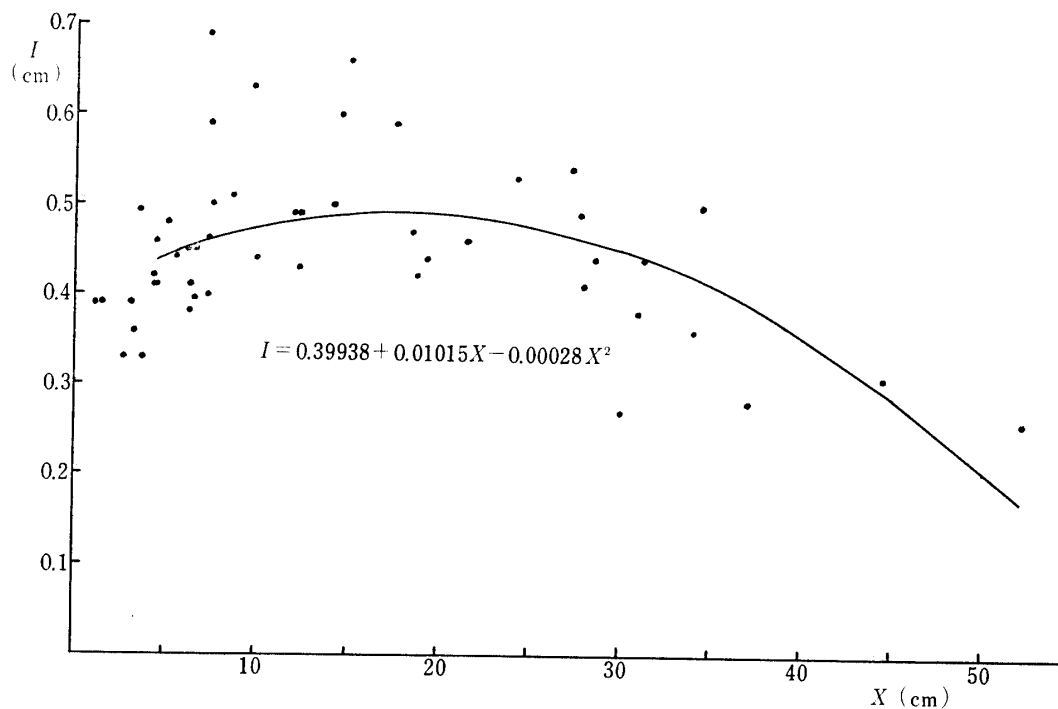
Plot 1	Tree No.	D (cm)	H (m)	V (m <sup>3</sup> )	A	Note
1	1	3.7	5.9	0.00518	10	Sample tree
	2	3.7	5.2	0.00379	13	〃
	3	4.9	6.6	0.00884	15	〃
	4	5.3	6.5	0.00845	20	〃
	5	7.4	8.6	0.02094	25	〃
	6	7.2	8.0	0.01809	23	〃
	7	10.0	10.1	0.04637	27	〃
	8	11.4	9.5	0.05110	27	〃
	9	20.5	12.4	0.22425	48	〃
	10	19.6	12.2	0.19008	40	〃
	11	7.5	6.4	0.01805		Counted tree
	12	5.5	4.0	0.00597		〃
	13	16.2	11.0	0.11488		〃
	14	8.4	8.2	0.02371		〃
	15	34.4	14.0	0.56260		〃
	16	37.0	12.7	0.43753		〃
2	17	3.9	4.2	0.00353	13	Sample tree
	18	4.1	4.5	0.00396	12	〃
	19	6.0	8.0	0.01375	19	〃
	20	5.7	5.7	0.00988	23	〃
	21	9.0	7.7	0.03242	21	〃
	22	8.9	7.0	0.02149	22	〃
	23	15.1	11.1	0.11179	41	〃
	24	13.2	9.8	0.07626	34	〃
	25	28.8	12.1	0.46452	76	〃
	26	25.5	12.0	0.30608	61	〃
	27	22.7	10.2	0.18862		Counted tree
	28	31.1	13.2	0.50283		〃
	29	28.8	11.5	0.38894		〃
	30	44.4	14.2	1.05378		〃
	31	7.1	7.2	0.01472		〃
	32	36.0	16.5	0.74684		〃
	33	17.5	10.0	0.08982		〃
	34	29.1	14.1	0.51960		〃
3	35	4.3	5.0	0.00508	14	Sample tree
	36	4.5	4.0	0.00482	10	〃
	37	13.2	9.2	0.06309	36	〃
	38	11.5	9.2	0.04858	34	〃
	39	13.1	8.2	0.07008	36	〃
	40	31.2	14.4	0.53809	92	〃
	41	8.4	9.0	0.03115	21	〃
	42	7.8	9.1	0.02663	20	〃
	43	5.7	5.4	0.00969	18	〃
	44	6.7	8.0	0.01604	25	〃
	45	29.3	14.9	0.48992	79	〃
	46	9.0	7.6	0.03199		Counted tree
	47	19.0	11.6	0.15818		〃
	48	31.8	12.9	0.50629		〃
	49	19.7	11.5	0.16140		〃
50	52.5	13.1	1.40882		〃	

第 59 表 直径生長量計算表  
Table 59. Calculation of diameter growth.

(cm)

No.	D	2B	d=D-2B	L	x=d-L	y=2L/5	X=Kx	I=Ky
1	3.7	0.3	3.4	0.94	2.46	0.376	2.57	0.3935
2	3.7	0.7	3.0	0.92	2.08	0.368	2.18	0.3851
3	4.9	0.3	4.6	1.18	3.42	0.472	3.58	0.4940
4	5.3	0.3	5.0	1.00	4.00	0.400	4.19	0.4186
5	7.4	0.2	7.2	1.08	6.12	0.432	6.40	0.4521
6	7.2	0.4	6.8	0.90	5.90	0.360	6.17	0.3768
7	10.0	0.5	9.5	1.22	8.28	0.488	8.67	0.5107
8	11.4	0.5	10.9	1.50	9.40	0.600	9.84	0.6279
9	20.5	1.0	19.5	1.04	18.46	0.416	19.32	0.4354
10	19.6	0.6	19.0	1.00	18.00	0.400	18.84	0.4186
11	7.5	0.6	6.9	1.08	5.82	0.432	6.09	0.4521
12	5.5	0.3	5.2	0.98	4.22	0.392	4.42	0.4103
13	16.2	0.8	15.4	1.44	13.06	0.572	14.62	0.6028
14	8.4	0.3	8.1	1.10	7.00	0.440	7.33	0.4605
15	34.4	1.0	33.4	0.86	32.54	0.344	34.06	0.3600
16	37.0	0.9	36.1	0.66	35.44	0.264	37.09	0.2763
17	3.9	0.6	3.3	0.78	2.52	0.312	2.64	0.3265
18	4.1	0.2	3.9	0.94	2.96	0.376	3.10	0.3935
19	6.0	0.1	5.9	1.14	4.76	0.456	4.98	0.4772
20	5.7	0.6	5.1	0.98	4.12	0.392	4.31	0.4103
21	9.0	0.6	8.4	1.42	6.98	0.568	7.31	0.5944
22	8.9	0.3	8.6	1.64	6.96	0.656	7.28	0.6865
23	15.1	0.4	14.7	1.20	13.50	0.480	14.13	0.5022
24	13.2	0.5	12.7	1.18	11.58	0.472	12.12	0.4938
25	28.8	1.4	27.4	1.30	26.10	0.520	27.32	0.5442
26	25.5	1.1	24.4	1.26	23.14	0.504	24.22	0.5275
27	22.7	1.0	21.7	1.08	20.62	0.432	21.58	0.4521
28	31.1	2.6	28.5	1.04	27.46	0.416	28.74	0.4354
29	28.8	1.2	27.6	0.98	26.62	0.392	27.86	0.4103
30	44.4	1.2	43.2	0.74	42.46	0.296	44.44	0.3098
31	7.1	0.2	6.9	0.98	5.92	0.392	6.20	0.4103
32	36.0	1.8	34.2	1.20	33.00	0.480	34.54	0.5024
33	17.5	1.6	15.9	1.58	14.32	0.632	14.99	0.6614
34	29.1	1.4	27.7	1.18	26.52	0.472	27.75	0.4940
35	4.3	0.4	3.9	0.86	3.04	0.344	3.18	0.3600
36	4.5	0.2	4.3	0.78	3.52	0.312	3.68	0.3265
37	13.2	0.3	12.9	1.02	11.88	0.408	12.43	0.4270
38	11.5	1.0	10.5	1.06	9.44	0.424	9.88	0.4437
39	13.1	0.6	12.5	1.14	11.36	0.456	11.89	0.4772
40	31.2	0.8	30.4	0.90	29.50	0.360	30.87	0.3768
41	8.4	0.5	7.9	0.96	6.94	0.384	7.26	0.4019
42	7.4	0.3	7.1	0.92	6.18	0.368	6.47	0.3851
43	5.7	0.4	5.3	1.10	4.20	0.440	4.40	0.4605
44	6.7	0.4	6.3	1.06	5.24	0.424	5.48	0.4437
45	29.3	0.2	29.1	0.64	28.46	0.256	29.79	0.2679
46	9.0	0.6	8.4	1.20	7.20	0.480	7.54	0.5024
47	19.0	0.9	18.1	1.40	16.70	0.560	17.48	0.5861
48	31.8	1.0	30.8	1.04	29.76	0.416	31.15	0.4354
49	19.7	0.8	18.9	1.12	17.78	0.448	18.61	0.4689
50	52.5	2.0	50.5	0.62	49.88	0.248	52.20	0.2595
<b>Total</b>	<b>806.9</b>		<b>771.0</b>					

第15図 直径生長量回帰曲線  
Fig. 15. Curved regression of diameter growth.



第60表 直線回帰からのふれの有意性の検定  
Table 60. Test of significance of departure from linear regression.

Source	D. F	S. S	M. S	F
Deviation from linear regression	48	0.4049		
Deviation from curved regression	47	0.3010	0.0064	
Curvilinearity of regression	1	0.1039	0.1039	16.2 **

第61表 分散分析表  
Table 61. Analysis of variance.

Source	S. S	D. F	M. S	F
1	9.9718	1	9.9718	**
X	0.0275	1	0.0275	*
X <sup>2</sup>	0.1039	1	0.1039	**
Error	0.3010	47	0.0064	
Total	10.4042	50		

第15図において、点の分布は二次曲線が適合するように観察されるので、次式すなわち

$$I = a + bX + cX^2$$

によって、回帰式を計算した。回帰式は、

$$I = 0.39938 + 0.01015X - 0.00028X^2$$

で表わされる。

この回帰式は、第60表に示す

ように、回帰が直線であるという仮説はすてられ、回帰の曲線性は有意である。

さらに、分散分析の結果は第61表のようになる。すなわち、沖縄に生育する広葉樹林の直径生長量は、壮齡林のときは上昇回帰直線で示されるが、老齡林では二次式で示される。

第 15 図から明らかなように、直径生長量は、直径の増加に伴って、始めは上昇（増大）するが、18 cm の点で極大に達し、その後は下降（減少）している。

以上のことから、沖縄に生育する天然生常緑広葉樹林の直径生長量は、直径の増加に伴って、始めは増大するが、ある点（直径）で極大に達し、それ以降は減少するということがいえる。なお、極大に達する時期は、その林分の生育状態などによって異なるものと思われる。

iii 材積生長

1) 材積生長量

与那演習林 79 林班に小班の方向別の材積生長量を計算すると第 62 表の通りである。

第 62 表 方向別材積生長量  
Table 62. Volume growth in each direction.

Direction	Whole volume growth (m <sup>3</sup> )							Whole volume (m <sup>3</sup> )
	East	West	South	North	Upper slope	Lower slope	Horizon	
Per ha Rates of growth	7.1364	6.9805	6.7488	6.8038	6.9732	6.9580	6.9338	66.4527
	10.74	10.50	10.16	10.24	10.49	10.47	10.43	

第 62 表によると、方向別の材積生長量も、方向別による差はわずかであって、沖縄のように季節風が最も強く発達し、台風の襲来の多い地域でも、方向を考慮することなく、生長錐を挿入しての生長予測も容認される。

なお、沖縄の広葉樹林で、どの位の材積生長量があるかを計算してみた。その結果を第 63 表に示す。

第 63 表 調査地別材積生長量  
Table 63. Volume growth of each plot.

plot	Range of diameter (cm)	Volume per ha (m <sup>3</sup> )	Volume growth (m <sup>3</sup> )	Retes of growth (%)
Yona forest 79 compartment	4 — 32	66.5	6.9	10
Ada communal forest	4 — 20	157.6	12.8	8
Sonai forest 27, 9,15 compartment	4 — 52	250.0	12.3	5
Ohara forest 82, 83 compartment	4 — 104	233.0	6.1	3

第 63 表には、わずか 4 調査地の調査結果しか計算していないので、沖縄の広葉樹林全体についての生長予測はできないが、およその傾向を推測すると、壮齡林あるいは老齡林（若干壯齡林に近い）の優良林分では、10 m<sup>3</sup> 以上の材積生長量があり、立地条件さえよければ、広葉樹林でもかなりの生長をすることが予測される。

単木当りの連年材積生長量は、西表島祖納担当区 29い、9い、15い の調査地の測定結果を例示すると第 64 表のようになる。

この林分の単木当り連年直径生長量最大の時期は、胸高直径が 18 cm のところにあるが、材積生長量は、胸高直径が 38 cm までは増加するが、胸高直径 40 cm 以上は減少している。



第64表 単木当り連年材積生長量  
Table 64. Current annual growth of volume per tree.

DBH (cm)	Volume of a tree (m <sup>3</sup> )	Current annual growth of diameter per tree (cm)	Current annual growth of volume per tree (m <sup>3</sup> )
4	0.0052	0.43550	0.0011
6	0.0088	0.45020	0.0020
8	0.0128	0.46269	0.0030
10	0.0173	0.47288	0.0041
12	0.0219	0.48086	0.0053
14	0.0270	0.48660	0.0066
16	0.0322	0.49010	0.0079
18	0.0377	0.49126	0.0093
20	0.0434	0.49038	0.0106
22	0.0493	0.48716	0.0120
24	0.0554	0.48170	0.0133
26	0.0616	0.47400	0.0146
28	0.0679	0.46406	0.0158
30	0.0746	0.45188	0.0169
32	0.0813	0.43746	0.0178
34	0.0880	0.42080	0.0185
36	0.0950	0.40190	0.0191
38	0.1023	0.38076	0.0195
40	0.1093	0.35738	0.0195
42	0.1168	0.33176	0.0194
44	0.1246	0.30390	0.0189
46	0.1315	0.27380	0.0180
48	0.1394	0.24146	0.0168
50	0.1475	0.20688	0.0153
52	0.1552	0.17006	0.0132

第65表 各方法による求積値  
Table 65. Estimated volume by each method. (m<sup>3</sup>)

No.	Xylometer	Stem analysis	Planimeter
1	0.01481	0.01885	0.01810
2	0.01155	0.01216	0.01151
3	0.06050	0.06110	0.06034
4	0.00351	0.00443	0.00457
5	0.08761	0.11553	0.11075
6	0.04217	0.04046	0.04286
7	0.11799	0.11399	0.11874
8	0.19204	0.22324	0.20079
9	0.05799	0.06255	0.06113
10	0.14334	0.13345	0.13615
11	0.01174	0.01243	0.01193
12	0.04899	0.06115	0.05485
13	0.02832	0.02741	0.02860
14	0.00485	0.00477	0.00499
15	0.05614	0.05220	0.05252
16	0.23196	0.23462	0.24002
17	0.11381	0.11403	0.11397
18	0.03547	0.03664	0.03562
19	0.09927	0.10421	0.10283
20	0.16740	0.14334	0.16148
Total	1.52946	1.57656	1.57175

2) 立木幹材材積表の調製

各調査地の材積生長量を計算するために、各調査地ごとに採取した標本から、2変数材積式  $y = aD^b$  を用い、樹幹析解法で求められた数値によって、材積表を作製した。

そのため、樹幹析解法による標本値を用いての、材積表調製の可否を検討してみた。

第 65 表には、琉球大学与那演習林 79 林班に小班から得られた標本 20 本について、Xylometer 法、樹幹析解法および Planimeter 法の各方法によって求積した材積を掲げた。

第 65 表の数値を用いて、各方法間に有意の差があるか否かを計算したのが第 66 表であって、第 66 表によると有意の差は認められないので、樹幹析解法による数値を用いて材積表の調製をしてもよいことが分った。

第 66 表 分散分析表  
Table 66. Analysis of variance.

Source	S. S	D. F	M. S	F
Between	0.00007	2	0.00004	not sig.
Within	0.25800	57	0.00453	
Total	0.25807	59		

前述したように、各調査地ごとの材積生長量は、各調査地ごとの標本から 2 変数材積表を調製して計算したが、次には沖縄全体の材積表の調製を試みる。

現在、沖縄に生育している広葉樹林に対しては、熊本営林局発行の立木幹材材積表を使用しているが、該表は山本式（三変数式）によって計算してある。

1954 年の琉球大学与那演習林での調査事例によると<sup>94)</sup>、山本式、寺崎式、Kopetzky 式の比較において、山本式  $V = aH^bD^c$  がよく適合した。

そのため、第 67 表には  $V = aH^bD^c$  式による材積表を掲げた。

$$\text{材積式 } V = 0.000075 H^{0.79377} D^{1.96732}$$

表中、上段は上式による計算値、下段は熊本営林局発行の立木幹材材積表から転載した数値である。

第 68 表には、標本の各種測定値を表示してある。

なお、第 68 表の標本を用いて計算した 2 変数材積表は、すでに第 26 表に示したものである。

$$\text{材積式 } V = 0.00017 D^{2.34976}$$

第 68 表に掲げた標本の直径階別本数は、第 69 表の通りであって、30 cm 以上の標本が少ないので、第 67 表の立木幹材材積表は胸高直径 30 cm までを計算してある。

さらに第 67 表の上段と下段の比較において、樹高の低いうちは、沖縄の数値は熊本営林局管内のそれよりも高く、樹高が高くなると逆になっている。

このことから、沖縄に生育する広葉樹林は、熊本営林局管内の広葉樹林に較べて、一般に梢殺であるということが指摘される。

第67表 立木幹材材積表 (広葉樹)

Table 67. Volume table (broad-leaved forest).

H(m)	D(cm)												(m <sup>3</sup> )			
	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30		
2	0.0020															
3	0.0028	0.0061	0.0108													
4	0.0035	0.0077	0.0135	0.0210	0.0301											
5	0.0041	0.0092	0.0162	0.0251	0.0358	0.0486										
6	0.0048	0.0106	0.0187	0.0290	0.0415	0.0562	0.0732	0.0921								
7	0.0054	0.0120	0.0211	0.0328	0.0469	0.0635	0.0816	0.1041	0.1281	0.1545						
8	0.0060	0.0133	0.0235	0.0364	0.0521	0.0706	0.0907	0.1158	0.1424	0.1718	0.2039	0.2387				
9	0.0066	0.0146	0.0258	0.0400	0.0572	0.0775	0.0996	0.1271	0.1563	0.1885	0.2238	0.2620	0.3031	0.3471		
10	0.0072	0.0159	0.0280	0.0435	0.0622	0.0843	0.1083	0.1382	0.1700	0.2050	0.2433	0.2850	0.3296	0.3774		
11		0.0159	0.0303	0.0469	0.0671	0.0909	0.1168	0.1490	0.1833	0.2211	0.2624	0.3073	0.3555	0.4070		
12			0.0340	0.0502	0.0719	0.0974	0.1252	0.1597	0.1964	0.2370	0.2812	0.3292	0.3808	0.4361		
13				0.0550	0.0766	0.1038	0.1334	0.1690	0.2093	0.2525	0.2996	0.3508	0.4059	0.4647		
14					0.0830	0.1090	0.1380	0.1690	0.2040	0.2410	0.2810	0.3240	0.3690	0.4170		
15						0.1100	0.1415	0.1805	0.2220	0.2678	0.3178	0.3720	0.4304	0.4929		
16							0.1494	0.1906	0.2345	0.2828	0.3357	0.3930	0.4547	0.5206		
17							0.1610	0.2007	0.2468	0.2977	0.3533	0.4137	0.4787	0.5480		
18								0.2120	0.2560	0.3020	0.3530	0.4060	0.4630	0.5230		
19									0.2730	0.3230	0.3770	0.4340	0.4940	0.5580		
20										0.3880	0.4410	0.4940	0.5580	0.6281		
											0.4010	0.4610	0.5260	0.5940		
												0.4890	0.5580	0.6300		
													0.5714	0.6542		
													5900	6660		

第 68 表 標本の各種測定値 (材積表調製資料)  
Table 68. Observed value of sample trees (data for construction of volume table).

D (cm)	H (m)	V (m <sup>3</sup> )	D (cm)	H (m)	V (m <sup>3</sup> )	D (cm)	H (m)	V (m <sup>3</sup> )	D (cm)	H (m)	V (m <sup>3</sup> )	D (cm)	H (m)	V (m <sup>3</sup> )
3.45	3.40	0.0023	5.30	6.50	0.0085	10.68	8.40	0.0464	14.18	10.23	0.0919	19.86	9.80	0.1535
3.80	5.70	37	5.70	5.70	99	10.00	9.40	395	14.75	9.82	934	19.41	11.30	1831
3.44	6.60	42	5.70	5.40	97	10.20	8.90	394	14.31	7.70	692	19.55	11.56	1814
3.89	6.10	45	5.50	4.00	60	10.20	7.70	405	14.93	10.24	1003	19.15	12.47	1835
3.84	6.20	45	6.70	9.00	172	10.00	10.10	464	14.39	7.60	675	19.63	12.00	2111
3.90	6.60	45	6.72	8.90	163	11.91	10.00	644	14.80	9.10	811	19.00	17.70	2486
3.90	5.20	44	6.80	7.35	161	11.64	9.10	566	15.06	9.40	941	19.00	11.60	1582
3.47	6.25	33	6.90	8.40	176	11.82	8.55	543	15.53	9.80	1118	19.70	11.50	1614
3.53	4.65	28	6.50	6.90	134	11.08	9.73	548	15.62	11.25	1169	19.60	12.20	1901
3.72	4.10	34	6.20	6.50	118	11.71	8.66	556	15.69	10.22	1040	20.49	10.45	1488
3.50	4.10	33	6.65	8.60	150	11.06	7.53	425	15.53	12.26	1269	20.38	11.66	2113
3.70	5.90	52	6.00	7.00	122	11.22	9.14	610	15.62	9.65	987	20.99	10.94	1859
3.70	5.20	38	6.10	6.10	97	11.61	10.10	621	15.62	9.67	1020	20.50	12.40	2243
3.90	4.20	35	6.70	8.00	160	11.50	8.80	521	15.49	9.78	1030	21.40	10.30	2057
4.10	4.50	40	6.00	8.00	138	11.76	12.20	767	15.18	9.02	881	21.46	14.20	2972
4.30	5.00	51	7.96	5.55	173	11.40	9.50	511	15.27	11.10	1124	21.78	13.65	2703
4.50	4.00	48	7.05	8.40	184	11.50	9.20	486	16.37	8.70	981	21.59	13.70	2694
4.79	4.50	52	7.00	9.00	182	12.47	8.90	591	16.98	9.42	1098	22.02	17.55	3385
4.70	4.90	52	7.40	8.60	209	12.28	10.00	675	16.05	9.95	1034	22.63	16.57	2858
4.38	7.50	79	7.20	8.00	181	12.64	7.78	611	16.53	10.74	1338	22.88	14.95	3101
4.40	6.60	57	7.50	6.40	181	12.06	12.86	788	16.45	8.68	968	22.32	14.42	2635
4.60	7.35	75	7.10	7.20	147	12.55	9.81	680	16.49	10.80	1313	22.70	11.40	2473
4.10	6.80	51	8.79	6.60	262	12.51	9.90	670	16.30	11.75	1557	23.75	11.70	2568
4.90	6.50	81	8.65	8.10	249	12.20	7.90	475	16.20	11.90	1320	23.10	12.45	2489
4.70	5.70	56	8.15	8.20	227	13.11	9.60	721	16.20	11.00	1149	24.76	13.20	3133
4.90	6.60	75	8.20	8.70	236	13.07	8.14	644	17.65	12.90	1570	25.52	16.08	3738
4.10	5.80	50	8.40	7.20	245	13.40	8.54	639	17.26	9.51	1210	25.50	12.00	3061
4.39	6.10	51	8.01	9.50	271	13.77	7.85	628	17.18	10.84	1531	28.30	13.20	3862
4.10	6.30	49	8.84	6.75	227	13.62	7.80	683	17.27	8.96	1313	28.38	15.90	5036
4.00	4.70	42	8.40	8.20	237	13.57	11.80	992	17.95	13.15	1677	28.80	12.10	4645
4.20	5.60	51	8.90	6.00	215	13.48	11.10	882	17.60	8.30	1192	28.80	11.50	3889
4.00	5.20	44	9.06	7.10	256	13.29	11.25	765	18.91	11.00	1853	29.10	14.10	5196
4.39	4.60	47	9.22	9.30	526	13.69	7.85	620	18.27	11.25	1663	29.30	14.90	4899
5.69	6.30	95	9.87	8.70	395	13.20	9.80	763	18.28	13.30	2019	30.20	16.50	5475
5.28	6.40	93	9.80	7.30	333	13.20	9.20	631	18.60	9.50	1385	30.10	16.40	5629
5.15	5.50	69	9.57	11.50	466	13.10	8.20	701	18.23	11.65	1466	31.20	14.40	5381
5.30	5.70	70	9.96	7.70	399	14.55	10.00	921	18.90	15.65	2046	31.10	13.20	5028
5.54	7.80	106	9.00	7.70	324	14.95	9.30	984	18.83	15.22	2109	31.80	12.90	5063
5.76	8.00	130	9.00	7.60	320	14.78	8.77	756	18.62	12.70	1844	34.40	14.00	5625
5.50	5.70	71	10.75	8.63	505	14.60	11.46	985	18.50	8.50	1296	36.00	16.50	7468
5.29	5.87	80	10.06	8.80	419	14.06	9.30	819	19.86	11.20	1697			

第 69 表 直径階別本数  
Table 69. Number of trees of each diameter grade

D (cm)	N	D (cm)	N	D (cm)	N	D (cm)	N
3	14	11	12	19	10	29	4
4	19	12	7	20	4	30	2
5	12	13	12	21	4	31	2
6	11	14	11	22	5	32	1
7	7	15	10	23	2	34	1
8	9	16	9	24	1	36	1
9	8	17	6	25	2		
10	7	18	9	28	2	Total	204

## 第5章 収穫量予測

現在沖縄では、防風防潮林に用いられる主要樹種、すなわち、モクマオウ、リュウキュウマツ、テリハボク各樹種についての収穫予想表は調製されているが<sup>92)120)</sup>、天然生常緑広葉樹林に対しては、収穫量の予測についての研究が全く行なわれていない。これは天然生広葉樹林の特性、ことに樹性の異なる多数の樹種を包含すること、年齢構成が必ずしも同齡的でないこと、径級分配が齊一でなく質的にも不良林木が多いことなど、調査研究上の困難性に起因することも見逃がせないが、その低位生産性ないし利用価値の低かったことにもよるものと考えられる。しかし近年パルプ原料材をはじめ広葉樹林の利用開発が進むにつれ、その施業および収穫の基準を示す収穫表を欠くことは、各種の調査計画に支障を来たすことになる。

そのため、筆者は、沖縄に適合すると考えられる広葉樹林の施業基準を検討し、現実林の測定資料にもとづいて、収穫表の調製を試みた。

### I 広葉樹林の施業基準

#### i 天然林の成立と現状

蔡温時代に「憔悴仕立敷」「藪山仕立換」なるものがあり、荒廃した森林の林相回復やリュウキュウマツの播種造林に努めていたことから、粗悪林もかなりあったであろうが、立派な森林も多かったものと想像される。

その後、明治32年の法律で、柚山をすべて国有にした結果、地元民の不安から森林の乱伐を招いたが、この時代が天然林の林相を悪くした第1期であろう。

明治39年の勅令で、国有林の払い下げが実行されて、明治40年には林務課が創設され、明治41年には、国有林に対して、国有林野法の施行をみて以来、天然林の整備も積極的に進められ、林相も次第に回復したものと思われるが、今次大戦を境に森林の破壊が再び繰返され、第2期の混乱状態の出現となる。

沖縄の天然林は、かかる育成と破壊の繰返しによって現在におよんでいるが、その成立は大部分の萌芽木と、天然下種による小数の実生木の混生によるものと認められる。

伐採後の更新は、大部分の萌芽木がその主体になったものと考えられるが、保育はほとんど実行されず、自然の生存競争にのみゆだねられた林木相互間の自然淘汰によって、現在の天然林のほとんどが成立したものといえよう。

現在見られる天然林は、製炭の盛んであった地域の林相は、比較的整備されていて優良林分もあるが、その他の地域では不良林分が多い。しかも時代の趨勢は、製炭事業が年々と縮小され、用材やパルプ材の生産に重点が置かれたことから、林業技術者をして、林種転換による拡大造林へ指向せしめた結果となるが、この事実は奇しくも、蔡温時代から繰返されてきた沖縄の林政の姿でもある。

#### ii 今後の広葉樹林施業

前述したように、沖縄の天然林には、保育の行なわれない粗悪林が多い。そのため、広葉樹林施業に対する今後の問題点を列記しよう。

##### 1) 更新

シイを根元から伐採した場合、株からの萌芽率は<sup>39)</sup>、伐採季節や株の大きさにかかわらず極めて高く、平均約80%の萌芽率を示し、萌芽して1年後の1株当たり平均萌芽数は、6~8本程度で、幼齡時代の萌芽伸長量も、きわめて大であるから、オキナワシイ(イタジイ)を主体とする沖縄の天然生常緑広葉樹林は、従来通り萌芽更新を主とする天然更新によるのが安全確実である。

## 2) 萌芽整理

1～3年生のころ、萌芽を株当たり1～3本に芽かきを行なう。この作業を全ての樹種について行なうのは、労力、経費の面より不得策であるから、有用樹種に対してのみ実行する。

## 3) 除伐

10年生内外で過密状態になれば、主として形質が良く、利用価値のある有用樹種の周辺のみでも、主として他樹種を、有用樹種の暴れ木をも含めて除伐する。

## 4) 枝打ち、間伐

有用樹種の良質木のみを枝下2m位、あるいはそれ以上、小枝の枝打ちを行なう。

間伐は、20年生内外のとき、優良木の生長を促進するために、枝打ちを行なった樹木の周辺の形質不良木を主体として行なう。

## 5) 主伐

地位によって異なるが、40年以上になると、急激に生長が低下し、被害や枯損率も増加すると予想されるので、25～40年を伐期として皆伐を行なう。

## 6) 生産の目標

森林には、いわゆる間接的効用、すなわち水源林とかその他の木材生産物以外の使命もあるが、森林生産の場においては、経済性の獲得を重視するものである。

一般に林業の生産目標は、利用目的に従って、用材林と薪炭林に大別されているが、今日のように、木材利用の技術や流通経済の発達した時代には、用薪材の区分だけの生産目標では、施業体系や施業技術の具体的選択もむつかしく、経営の経済性検討や予測も困難である。

この点から、生産目標を構造材、原料材、燃料材に分けることが適当であろう。すなわち、一般的基準として、構造材生産は、林木の原形的利用を目的とし、良質木の材積生長が最大になるように技術を選択し、原料材生産は、木材を組成する有機物利用を目標にし、林の全乾重量生長が最大になるような方向の技術を選び、燃料材生産は、元来林木のもつ熱量を利用するのが目的であるから、熱量生長が最大になるような施業技術を選ぶべきであろう。

前述の2)、3)、4)で保護育成された有用樹種は、上の基準に従えば、生産目標は構造材生産になり、その他の樹木は、原料材、燃料材生産を目標とすることになる。この場合、原料材とするか燃料材とするかについては、三善<sup>89)</sup>の計算例によると、薪炭材として利用するよりも、パルプ材として利用した方が立木単価も高くなるので(約2倍)、小径木用材として、原料材生産を目標とするのが妥当であろう。

## II 収穫予測

第3章および第4章で用いた調査資料は、沖縄に生育する現存広葉樹林分の中から、生育状態の良好な林分を選定したものである。すなわち、沖縄に生育する森林の当然あるべき姿を追求する一つの試みであって、大部分の森林は、今次大戦を境にして破壊され、不良林分としての姿を露出している。

そのため、収穫表の調製は、林野庁で定められた「同令単純林の林分収穫表調製要綱」<sup>79)</sup>に準拠しての標準地の選定ならびに資料の吟味をなすべきであるが、本節では、沖縄に生育する現存林分の状態を、現時点で把握することを主眼として、なるべく同要綱の主旨に抵触しないように収穫表の調製を試みた。

すなわち、前章までに明らかにされた常緑広葉樹林の特性にもとづき、これまでに収集せられた資料の吟味方法ならびに収穫表調製の方法を研究し、これによって現実林分の平均的な収穫量の予測を行なうこととした。

## i 資料の吟味

標準地調査資料を第70表を掲げた。

第70表 標準地調査資料

Table 70. Data of the sample plots per ha.

Plot No.	Location	Stand age	Mean height (m)	Mean DBH (cm)	Number of tree per ha (N)	Volume per ha (m <sup>3</sup> )	Number of trees in the area of square of height(N')
34	Okinawa	5	4	4.0	575	1.7	0.9
31	"	6	4	4.3	2200	8.9	3.5
29	"	7	4	4.2	2000	6.9	3.2
32	"	7	4	4.0	2425	7.6	3.9
35	"	7	3	5.4	425	3.3	0.4
39	"	7	4	4.0	2050	8.0	3.3
40	"	7	3	4.5	1025	4.2	0.9
44	"	7	3	5.0	200	1.2	0.2
107	"	7	4	4.6	3200	15.9	5.1
15	"	8	3	5.9	1075	7.6	1.0
26	"	8	3	5.1	1950	13.2	2.7
37	"	8	3	4.6	725	3.5	3.4
42	"	8	3	4.4	1675	6.1	1.5
43	"	8	3	4.3	1675	5.4	1.5
45	"	8	3	5.0	1150	6.7	1.0
64	"	8	4	4.0	425	1.4	0.7
1	"	9	5	6.4	2800	24.3	7.0
7	"	9	3	4.7	2600	12.9	2.3
11	"	9	3	4.1	2975	10.6	2.7
16	"	9	3	4.4	3825	10.4	3.4
33	"	9	3	4.0	2325	7.4	2.1
38	"	9	3	4.8	2025	9.7	1.8
41	"	9	4	4.8	4000	19.1	6.4
47	"	9	5	6.2	4050	40.1	10.1
10	"	10	3	4.1	2850	16.9	2.7
22	"	10	4	4.7	1350	7.1	2.2
48	"	10	4	5.8	3500	33.0	5.6
123	"	10	4	4.4	4050	46.2	6.5
124	"	10	4	4.5	2575	48.9	4.1
24	"	11	4	4.8	1250	6.9	2.0
122	"	11	5	4.6	10625	67.1	26.6
8	"	12	4	5.2	3275	23.0	5.2
12	"	12	5	5.9	4500	40.0	11.3
19	"	12	4	5.1	3950	26.7	6.3
21	"	12	5	5.4	2525	20.9	6.3
36	"	12	5	7.6	675	11.8	1.7
92	"	12	9	8.5	4400	119.4	35.6
6	"	13	6	5.5	4250	37.9	15.3
9	"	13	6	7.1	2900	45.6	10.4
14	"	13	5	8.4	2175	52.6	5.4
17	"	13	6	7.0	2850	49.1	10.3
18	"	13	6	5.0	5475	36.0	19.7
23	"	13	6	5.8	900	8.7	3.2
27	"	13	7	7.0	2550	60.4	12.5
49	"	13	5	5.8	4100	42.1	10.3
53	"	13	5	6.5	1475	20.1	3.7
56	"	13	5	6.2	5300	87.0	13.3
60	"	13	5	6.7	3350	44.5	8.4
69	"	13	5	6.9	1125	33.5	2.8
106	"	13	4	4.8	1975	11.2	3.2

第 70 表 (続)

Plot No.	Location	Stand age	Mean height (m)	Mean DBH (cm)	Number of tree per ha (N)	Volume per ha (m <sup>3</sup> )	Number of trees in the aera of square of height(N')
46	Okinawa	14	6	5.3	8500	60.0	30.6
51	〃	14	5	7.7	2500	53.5	6.3
84	〃	14	5	6.0	3175	35.2	7.9
2	〃	15	8	10.1	3000	98.2	19.2
54	〃	15	5	5.7	4300	39.2	10.8
65	〃	15	7	9.1	2100	67.5	10.3
79	〃	15	4	5.9	4550	56.1	7.3
102	〃	15	5	4.9	3675	23.8	9.2
108	〃	15	6	9.2	2600	91.3	9.4
119	Ishigaki	15	5	6.6	4275	51.9	10.7
5	Okinawa	16	7	6.7	4225	66.6	20.7
30	〃	16	5	6.0	3950	38.4	9.9
4	〃	17	4	8.1	1550	34.4	2.5
20	〃	17	10	7.9	4425	111.7	44.3
50	〃	17	5	7.1	1400	24.5	3.5
68	〃	17	6	6.3	4750	119.1	17.1
70	〃	17	5	6.3	2050	27.7	5.1
74	〃	17	6	8.2	1800	40.7	6.5
75	〃	17	5	5.1	2250	17.7	5.6
80	〃	17	5	6.2	5425	74.3	13.6
81	〃	17	6	6.3	2275	34.2	8.2
88	〃	17	5	6.2	4150	53.9	10.4
115	Ishigaki	17	5	8.5	1875	40.2	4.7
131	Okinawa	17	6	6.3	5850	95.0	21.1
3	〃	18	6	6.5	5125	89.6	18.5
25	〃	18	7	7.7	4425	92.4	21.7
52	〃	18	5	5.3	3600	25.6	9.0
55	〃	18	5	5.4	6750	40.2	16.9
57	〃	18	5	7.1	3850	69.0	9.6
59	〃	18	5	6.5	2925	41.4	7.3
66	〃	18	6	11.5	2700	194.7	9.7
76	〃	18	7	9.8	3675	145.3	18.0
85	〃	18	8	7.9	4625	114.3	29.6
86	〃	18	5	8.0	2700	77.8	6.8
87	〃	18	5	7.0	3300	63.3	8.3
89	〃	18	6	8.8	4175	139.1	15.0
90	〃	18	9	8.8	4825	138.3	39.1
97	〃	18	5	6.9	2825	93.4	7.1
99	〃	18	5	7.3	1950	41.9	4.9
116	Ishigaki	18	5	6.4	6350	73.4	15.9
130	Okinawa	18	6	5.7	5800	67.7	20.9
132	〃	18	6	6.5	5275	93.0	19.0
133	〃	18	6	6.4	4325	68.6	15.6
141	Iriomote	18	6	6.3	5900	101.6	21.2
162	〃	18	5	6.2	7500	98.9	18.8
165	〃	18	6	5.9	7000	89.2	25.2
166	〃	18	6	5.8	7000	87.1	25.2
28	Okinawa	19	7	8.2	5250	125.9	25.7
91	〃	19	4	4.7	2375	12.9	3.8
93	〃	19	5	7.2	4525	78.0	11.3
140	Iriomote	19	6	6.4	8200	133.6	29.5
158	〃	19	6	6.4	6675	123.3	24.0
159	〃	19	6	6.4	6600	97.9	23.8
161	〃	19	5	6.5	8800	115.6	22.0
58	Okinawa	20	5	7.1	3625	73.1	9.1



第70表(続)

Plot No.	Location	Stand age	Mean height (m)	Mean DBH (cm)	Number of tree per ha (N)	Volume per ha (m <sup>3</sup> )	Number of trees in the area of square of height(N)
78	Okinawa	20	6	7.7	3950	93.7	14.2
114	Ishigaki	20	4	6.1	3225	35.2	5.2
77	Okinawa	21	6	7.7	2550	62.9	9.2
96	〃	21	5	6.9	2750	57.2	6.9
111	Ishigaki	21	6	10.6	1050	41.7	3.8
125	Okinawa	21	5	7.0	8025	203.2	20.1
126	〃	21	5	6.8	7825	155.3	19.6
134	Iriomote	21	6	7.0	6275	122.7	22.6
148	〃	21	6	7.3	6600	141.0	23.8
153	〃	21	6	7.3	4100	97.2	14.8
155	〃	21	6	7.4	9600	198.0	34.6
156	〃	21	6	7.4	5400	110.4	19.4
164	〃	21	6	7.3	4525	92.2	16.3
138	〃	22	6	7.3	5600	82.1	20.2
149	〃	22	7	7.7	5000	173.6	24.5
151	〃	22	7	7.5	4675	174.4	22.9
154	〃	22	6	7.7	5375	131.8	19.4
160	〃	22	6	7.8	3000	76.7	10.8
67	Okinawa	23	6	10.6	2350	110.5	8.5
72	〃	23	6	7.7	2550	66.8	9.2
105	〃	23	6	9.4	2100	82.7	7.6
110	Ishigaki	23	5	9.0	5125	137.9	20.5
112	〃	23	6	8.2	4850	123.5	17.5
118	〃	23	5	7.7	3250	66.7	8.1
135	Iriomote	23	6	8.2	5200	118.1	18.7
137	〃	23	7	7.7	4450	182.9	21.8
142	〃	23	6	7.9	5500	148.4	19.8
152	〃	23	7	7.6	4100	129.8	20.1
157	〃	23	6	8.1	5850	150.7	21.1
163	〃	23	6	8.2	3525	100.8	12.7
61	Okinawa	24	6	10.1	4200	173.2	15.1
71	〃	24	6	7.3	6050	113.0	21.8
109	Ishigaki	24	7	8.1	1375	79.2	6.7
117	〃	24	6	8.7	3575	99.0	12.9
136	Iriomote	24	8	8.3	4500	199.2	28.8
146	〃	24	6	8.2	4025	257.8	14.5
150	〃	24	7	8.3	4575	197.7	22.4
82	Okinawa	25	6	7.5	2350	50.2	8.5
94	〃	25	6	10.4	2700	132.4	9.7
100	〃	25	6	9.0	4000	123.0	14.4
101	〃	25	6	10.4	1350	57.6	4.9
127	Iriomote	25	7	9.2	2825	165.1	13.8
139	〃	25	7	7.9	3125	183.8	15.3
145	〃	25	6	10.0	3625	203.3	13.1
103	Okinawa	26	5	6.7	3200	52.5	8.0
147	Iriomote	26	7	8.9	3200	229.8	15.7
62	Okinawa	27	6	10.1	3150	146.9	11.3
95	〃	27	6	11.1	1875	106.7	6.8
144	Iriomote	27	7	9.7	2325	187.6	11.4
73	Okinawa	28	6	8.7	3000	97.0	10.8
104	〃	28	6	9.8	2725	114.4	9.8
113	Ishigaki	28	5	7.1	6525	101.6	16.3
83	Okinawa	30	5	6.7	1750	29.5	4.4
120	〃	30	7	7.7	6070	152.0	29.7
98	〃	32	7	11.0	2575	137.4	12.6

第 70 表 (続)

Plot No.	Location	Stand age	Mean height (m)	Mean DBH (cm)	Number of tree per ha (N)	Volume per ha (m <sup>3</sup> )	Number of trees in the area of square of height(N')
128	Iriomote	32	7	11.7	1750	164.4	8.6
13	Okinawa	33	10	9.4	2700	129.5	27.0
63	〃	33	11	13.5	2500	211.2	30.3
167	Iriomote	34	7	10.3	2625	369.9	12.9
129	〃	35	8	12.2	3125	388.2	20.0
143	〃	38	7	11.9	2650	328.6	13.0
121	〃	41	7	9.3	3635	232.9	17.8

標準地の数は全部で 167 個あるが、No. 120~No. 167 は筆者の調査したプロットで、No. 121, No. 127~No. 129 および No. 134~No. 167 は西表島、その他は沖縄本島での資料である。No. 1~No. 119 は琉球政府林務課が、森林資源調査のため、全沖縄に対して行なった調査から得られた天然生広葉樹林の資料であって、No. 1~No. 108 は沖縄本島、No. 109~No. 119 は石垣島での資料である。

そのため、現実林の平均的な収穫表を調製する資料としては不適當なものも含まれているので、次の方式によって棄却プロットを決定した。

1) M. S. Czarnowski の 仮 説

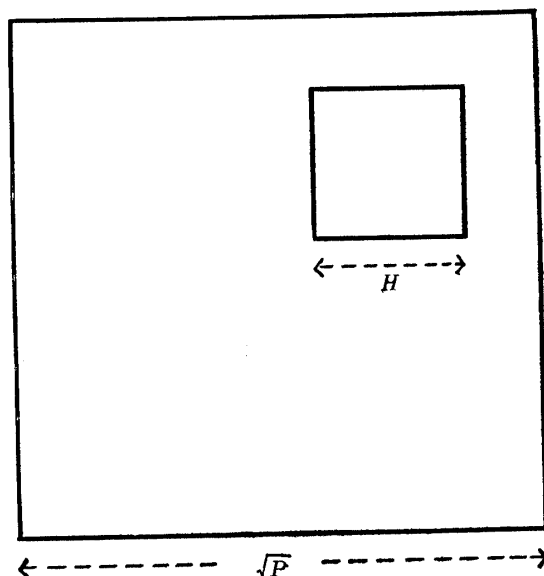
M. S. Czarnowski<sup>39)</sup> は、1947 年に次のような仮説をたて、その妥当性を米国および欧州における針葉樹林について立証した。

「同一地位の土地に生育するある一樹種の正常な、単純同齡林分において、林分平均樹高の 2 乗に等しい面積の土地に生育している立木本数は、林令から独立したある一つの定数値である」。

いま、第 16 図で、 $P$  は単位面積を、 $H^2$  は林分平均樹高の 2 乗をあらわす。もし、面積  $P$  上に  $N$  本の立木が生育しているならば、面積  $H^2$  の土地には  $N'$  本が生育している。したがって、立木

第 16 図 単位面積  $P$  と  $H^2$  の面積

Fig. 16. Relation of unit area  $P$  and the area in square of height.



の分布が一様ならば、次式が成立する。

$$\frac{P}{H^2} = \frac{N}{N'} \dots\dots\dots(5-1)$$

$$N = N' \frac{P}{H^2} \dots\dots\dots(5-2)$$

ここで、 $N$ が“単位面積上の正常本数”と定義されるならば、正常という用語の意味は、その林分が樹冠長率によって決定されるある密度をもっているということであり、したがって、前述の仮説から、 $N'$ は地位がきまることによって一定になる筈である。

## 2) 棄却資料の決定

M. S. Czarnowski の仮説によると、 $N'$ は地位がきまれば一定の値をとるので、第70表の全プロットについて $N'$ を計算した。

第70表に掲記した $N'$ の値は、0.2から44.3までの範囲にあって、その差が甚だしい。そのため全プロットについて、

- (1) 林齢に対する ha 当り本数
- (2) 胸高直径に対する ha 当り本数
- (3) 林齢に対する平均胸高直径
- (4) 林齢に対する平均樹高
- (5) 林齢に対する ha 当り材積

の関係を、グラフ上で検討し、 $N'=4\sim 13$ の範囲の資料が、沖縄に現存する平均的な地位の広葉樹林に適合すると認められたので、 $N'=4\sim 13$ 以外の資料は全て棄却することにした。採用プロットを再掲すると第71表の60箇所の林分で、それらの林令は7年～32年の範囲にある。

第71表 収穫表調製資料  
Table 71. Data of preparation for yield table.

Plot No.	Stand age	Mean H (m)	Mean DBH (cm)	N	Volume per ha (m <sup>3</sup> )	N'
107	7	4	4.6	3200	15.9	5.1
1	9	5	6.4	2800	24.3	7.0
41	9	4	4.8	4000	19.1	6.4
47	9	5	6.2	4050	40.1	10.1
48	10	4	5.8	3500	33.0	5.6
123	10	4	4.4	4050	46.2	6.5
124	10	4	4.5	2575	48.9	4.1
8	12	4	5.2	3275	23.0	5.2
12	12	5	5.9	4500	40.0	11.3
19	12	4	5.1	3950	26.7	6.3
21	12	5	5.4	2525	20.9	6.3
9	13	6	7.1	2900	45.6	10.4
14	13	5	8.4	2175	52.6	5.4
17	13	6	7.0	2850	49.1	10.3
27	13	7	7.0	2550	60.4	12.5
49	13	5	5.8	4100	42.1	10.3
60	13	5	6.7	3350	44.5	8.4
51	14	5	7.7	2500	53.5	6.3
84	14	5	6.0	3175	35.2	7.9
54	15	5	5.7	4300	39.2	10.8

第 71 表 (続)

Plot No.	Stand age	Mean H (m)	Mean DBH (cm)	N	Volume per ha (m <sup>3</sup> )	N'
65	15	7	9.1	2100	67.5	10.3
79	15	4	5.9	4550	56.1	7.3
102	15	5	4.9	3675	23.8	9.2
108	15	6	9.2	2600	81.3	9.4
119	15	5	6.6	4275	51.9	10.7
30	16	5	6.0	3950	38.4	9.9
70	17	5	6.3	2050	27.7	5.1
74	17	6	8.2	1800	40.7	6.5
75	17	5	5.1	2250	17.7	5.6
81	17	6	6.3	2275	34.2	8.2
88	7	5	6.2	4150	53.9	10.4
115	7	5	8.5	1875	40.2	4.7
52	8	5	5.3	3600	25.6	9.0
57	8	5	7.1	3850	69.0	9.6
59	8	5	6.5	2925	41.4	7.3
86	18	5	8.0	2700	77.8	6.8
87	18	5	7.0	3300	63.3	8.3
97	18	5	6.9	2825	93.4	7.1
99	18	5	7.3	1950	41.9	4.9
58	20	5	7.1	3625	73.1	9.1
114	20	4	6.1	3225	45.2	5.2
77	21	6	7.7	2550	62.9	9.2
96	21	5	6.9	2750	57.2	6.9
160	22	6	7.8	3000	76.7	10.8
87	23	6	10.6	2350	110.5	8.5
72	23	6	7.7	2550	66.8	9.2
105	23	6	9.4	2100	82.7	7.6
118	23	5	7.7	3250	66.7	8.1
163	23	6	8.2	3525	100.8	12.7
109	24	7	8.1	1375	79.2	6.7
82	25	6	7.5	2350	50.2	8.5
94	25	6	10.4	2700	132.4	9.7
101	25	6	10.4	1350	57.6	4.9
103	26	5	6.7	3200	52.5	8.0
62	27	6	10.1	3150	146.9	11.3
95	27	6	11.1	1875	106.7	6.8
73	28	6	8.7	3000	97.0	10.8
104	28	6	9.8	2725	114.4	9.8
98	32	7	11.0	2575	137.4	12.6
128	32	7	11.7	1750	164.4	8.6

ii 林分材積収穫表の調製

まず第 71 表の資料につき分布中央線の決定を試みた。すなわち、各林分の平均樹高、平均胸高直径、ha 当り本数、ha 当り材積など各因子の実測分布からみて比較的よく適合すると思われるいくつかの実験式につき、最小自乗法により各係数を求め、実測値に対する適合性を検討して、各因子の一般的生長傾向を示す分布中央線を決定した。

1) 平均樹高

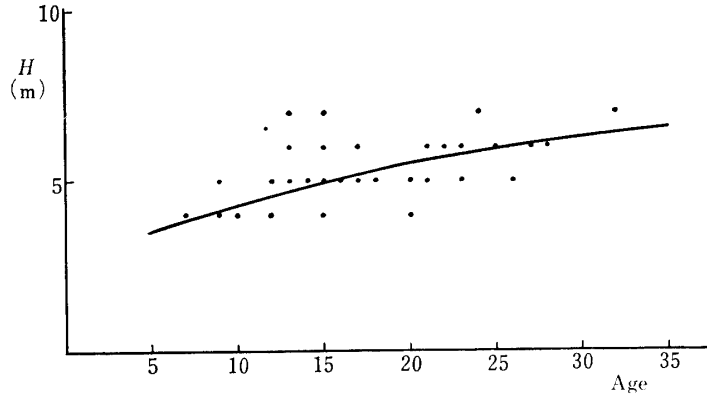
平均樹高は林齢との函数関係より求めた。林齢と樹高の函数関係をあらわす実験式のうち、つぎに示す式が実測値との関係がよく適合すると認められたので、この式で林齢に対する樹高の関係をあらわすこととした(第 17 図参照)。

$$\log y = 0.4998 + 0.0675 \log x + 0.0903(\log x)^2 \dots\dots\dots(5-3)$$

x: 林齢 y: 樹高

第17図 林齢対樹高

Fig. 17. Relation of age to height.



2) 平均胸高直径

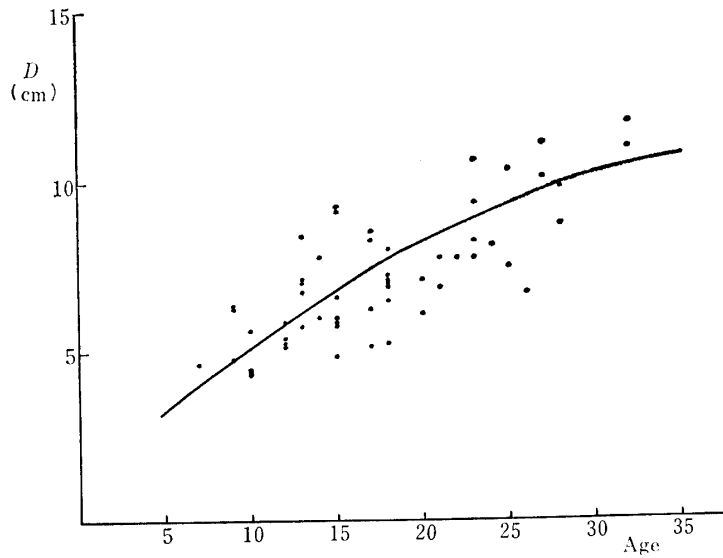
林齢に対する胸高直径の函数関係をあらわす式のうち、つぎに示す式は実測値分布との関係が適正と認められたので、これによって林齢と胸高直径との関係をあらわすこととした(第18図参照)。

$$\log y = 1.0512 - \frac{3.2311}{x} \dots\dots\dots (5-4)$$

$x$ : 林齢     $y$ : 平均胸高直径

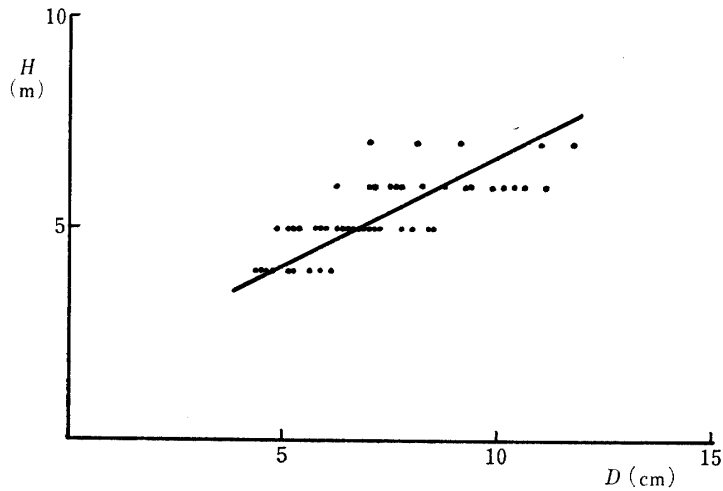
第18図 林齢対胸高直径

Fig. 18. Relation of age to DBH.



なお、胸高直径と樹高との関係においてもよく適合するように部分的修正を加えたのち(第19図参照)、林齢に対する胸高直径を決定した。

第 19 図 胸高直径対樹高  
Fig. 19. Relation of DBH to height.



3) ha 当り本数

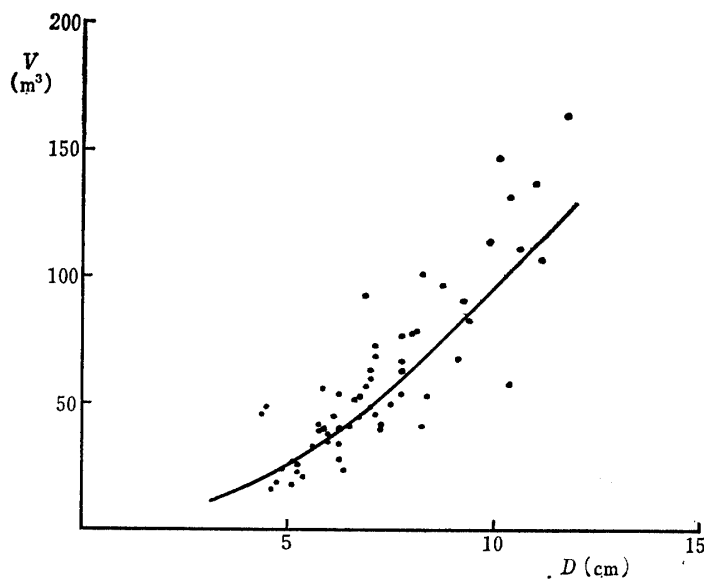
ha 当り本数は林齢との函数関係より求めることが困難であったので、平均胸高直径との函数関係から求めることとした。すなわち、平均胸高直径と ha 当り本数の函数関係をあらわす実験式のうち、実験値分布によく適合すると思われるつぎの式を用い、これに部分的修正を加えて胸高直径と本数との関係をあらわすこととした(第 20 図参照)。

$$\log y = 3.7098 - 0.0344 x \quad \dots\dots\dots (5-5)$$

$x$ : 平均胸高直径  $y$ : ha 当り本数

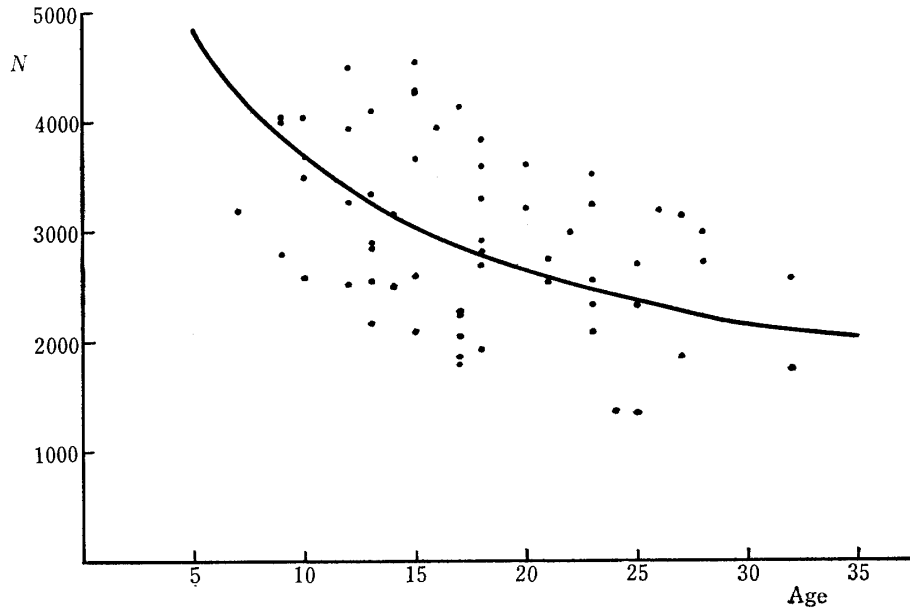
この関係を 2) の林齢に対する胸高直径との函数関係から間接的に林齢と ha 当り本数との関係におきかえ、その函数関係に矛盾のないことを確認して、林齢に対する ha 当り本数を決定した(第 21 図参照)。

第 20 図 胸高直径対 ha 当り本数  
Fig. 20. Relation of DBH to number of trees per ha.



第21図 林令対ha当り本数

Fig. 21. Relation of age to number of trees per ha.



4) ha 当り幹材積

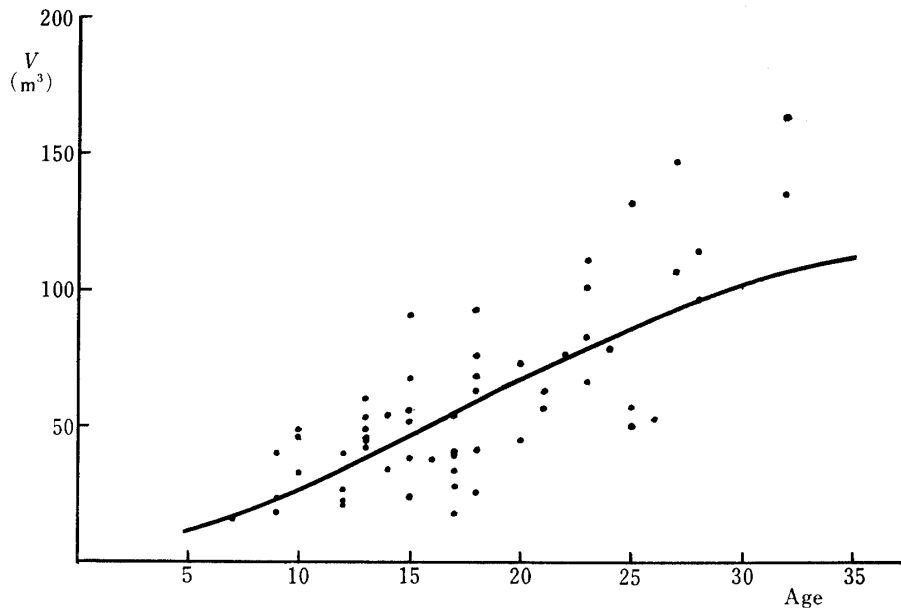
ha 当りの幹材積は林齢との函数関係より求めたのち、樹高との函数関係および胸高直径との函数を検討し、相互に調整して決定することとした。すなわち、林齢と ha 当り幹材積はつぎに示す式であらわされる(第22図参照)。

$$\log y = 0.3136 + 1.1419 \log x \dots\dots\dots(5-6)$$

x: 林齢 y: ha 当り幹材積

第22図 林令対ha当り幹材積

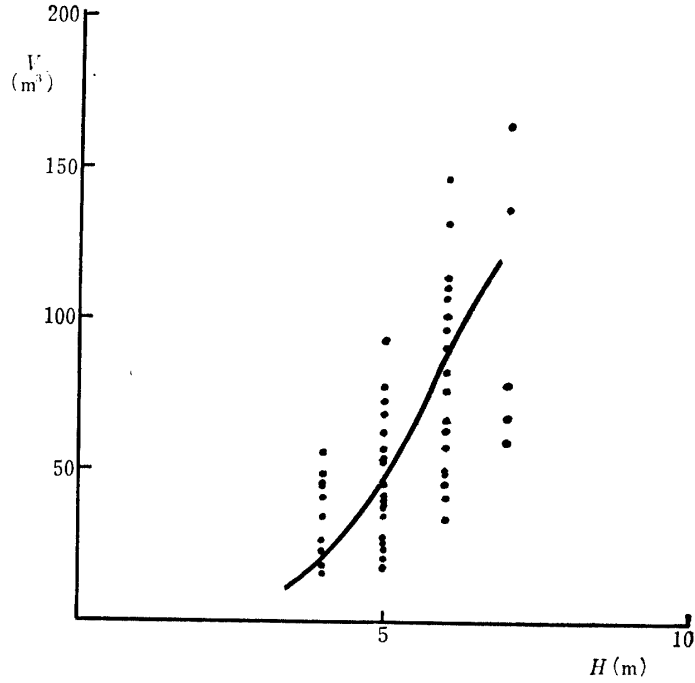
Fig. 22. Relation of age to volume per ha.



樹高との関係（第 23 図参照），胸高直径との関係（第 24 図参照）においても，これを適正に示すように部分的修正を加えて林齢に対する ha 当り幹材積を決定した。

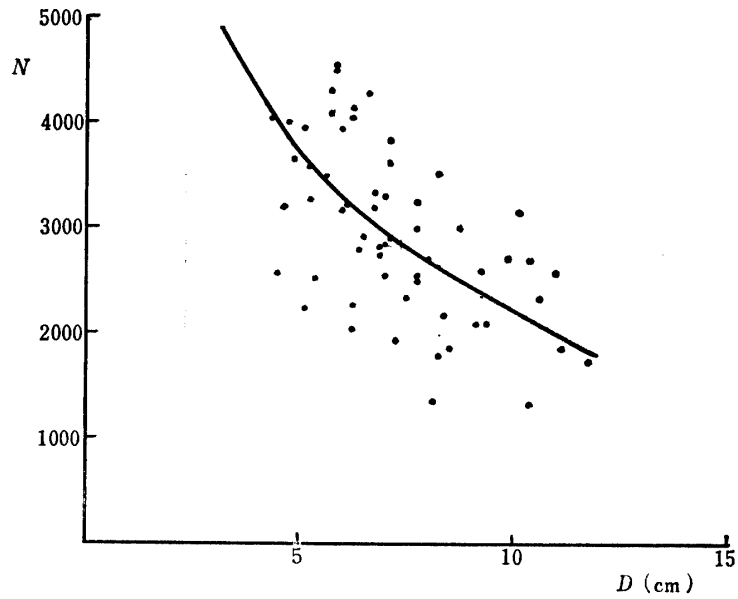
第 23 図 樹高対 ha 当り幹材積

Fig. 23. Relation of height to volume per ha.



第 24 図 胸高直径対 ha 当り幹材積

Fig. 24. Relation of DBH to volume per ha.





5) 生長量および生長率

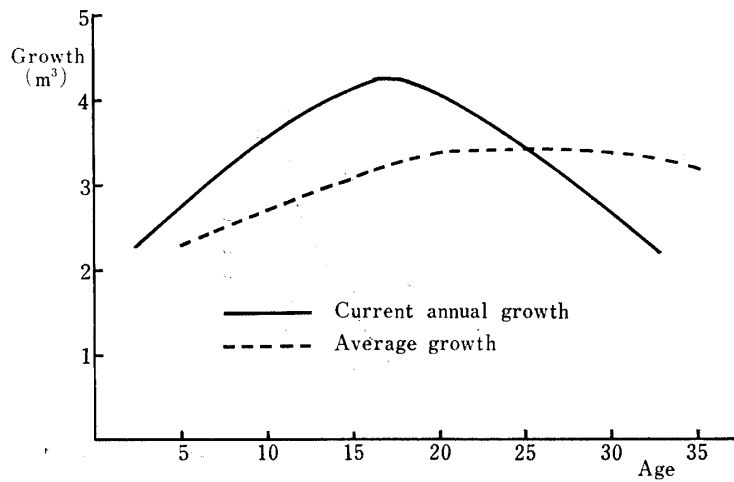
連年生長量は各年齢における後期の幹材積と前期の幹材積との差をその間の生長期間で除して求め、平均生長量はそれぞれの年齢の幹材積を年齢で除して求めた。各生長量の関係を示したのが第25図である。

生長率はライプニッツ式  $p = \left( \sqrt[n]{\frac{M}{m}} - 1 \right) \times 100$  を用いて算出した。

以上のようにして決定した収穫表構成数値を一括して示したのが第72表である。

第25図 ha 当り幹材積生長量

Fig. 25. Relation of age to volume growth per ha.



第72表 沖縄地方のオキナワシイを主体とする広葉樹林の現実林分材積収穫表

Table 72. Yield table of actual broad-leaved forest mainly consisting of Okinawashii in Okinawa district. (mean site)

Stand age	Mean		Per ha				
	DBH (cm)	H (m)	N	V (m³)	Current annual growth of stem volume (m³)	Average growth of stem volume (m³)	Rate of growth (%)
5	3.3	3.5	4830	11.5	2.30	2.30	
10	5.1	4.3	3680	27.1	3.12	2.71	18.70
15	6.7	5.0	3040	46.0	3.78	3.06	11.16
20	8.2	5.5	2660	67.5	4.30	3.38	7.97
25	9.3	5.9	2360	86.0	3.70	3.44	4.96
30	10.2	6.3	2170	101.0	3.00	3.37	3.27
35	10.8	6.6	2050	112.0	2.20	3.20	2.09

iii 収穫表の検討

第72表は現実天然生林の平均状態を示す収穫量を予測するものとして調製したため、この収穫表は、琉球列島における常緑広葉樹林の平均的地位における現実林分材積収穫表とすることができる。したがって、本収穫表には主副林木を区分表示しなかった。

この収穫表の数値を内地一般雑木林平均収穫表<sup>9)</sup>、九州地方コジイ林分収穫表<sup>7)</sup>、八重山地方テリ

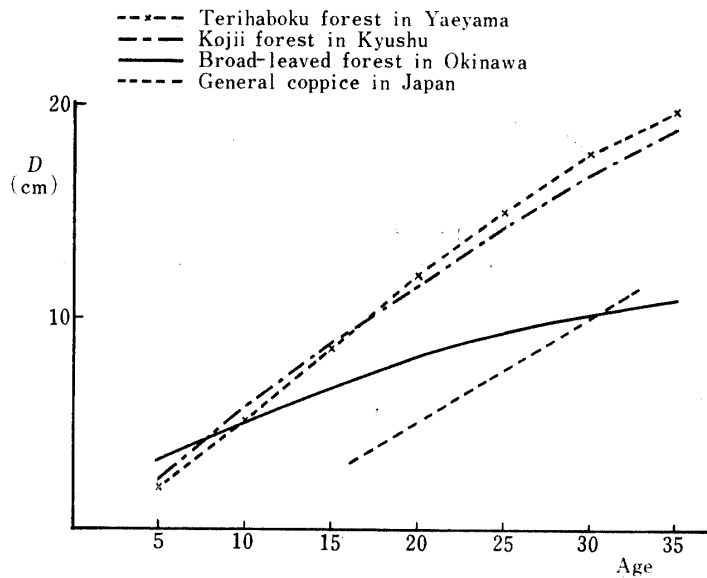
ハボク防風林収穫予想表<sup>92)</sup>と比較すると、第 26 図～第 31 図に示す通りである。これによってみると、沖縄地方における常緑広葉樹の現実林分の特徴は次のようにいえる。

(1) 林令に対する胸高直径生長の関係については、沖縄のシイを主体とする広葉樹林は、幼時の生長はよいが、10 年位から九州地方のコジイ林、八重山地方のテリハボク林が優勢となり、内地一般雑木林は、幼時の生長は悪いが、30 年頃から沖縄のシイを主体とした広葉樹林の生長を上廻る。

(2) 林齢に対する樹高生長の関係では、九州地方のコジイ林との比較において、5 年のときは、ほぼ同じ生長を示すが、5 年以降は生長の差が大きくなり、35 年になると、沖縄のシイを主体とした広葉樹林は半分の生長しか示さない。内地一般雑木林では、15 年までは沖縄のシイを主体とした広葉樹林におとっているが、15 年をすぎると生長がよくなっている。

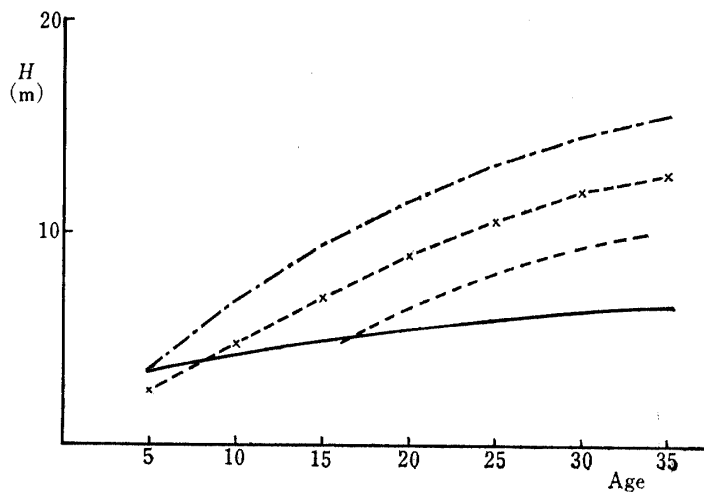
第 26 図 林 齢 対 胸 高 直 径

Fig. 26. Relation of age to DBH.

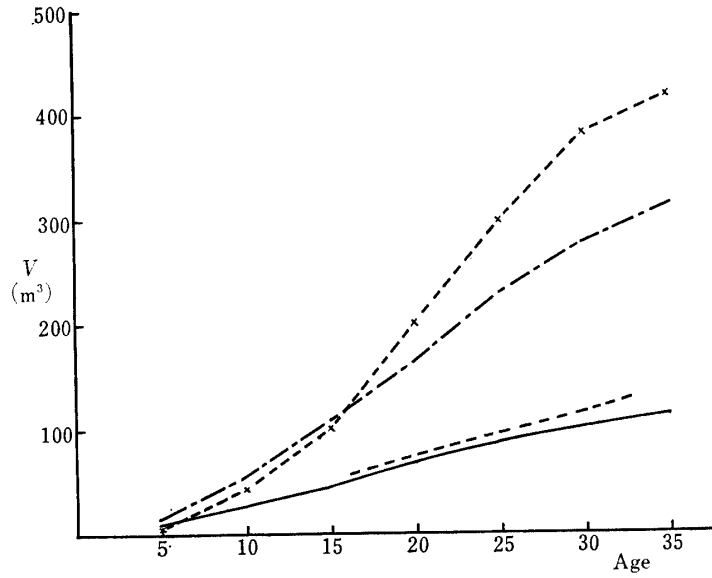


第 27 図 林 齢 対 樹 高

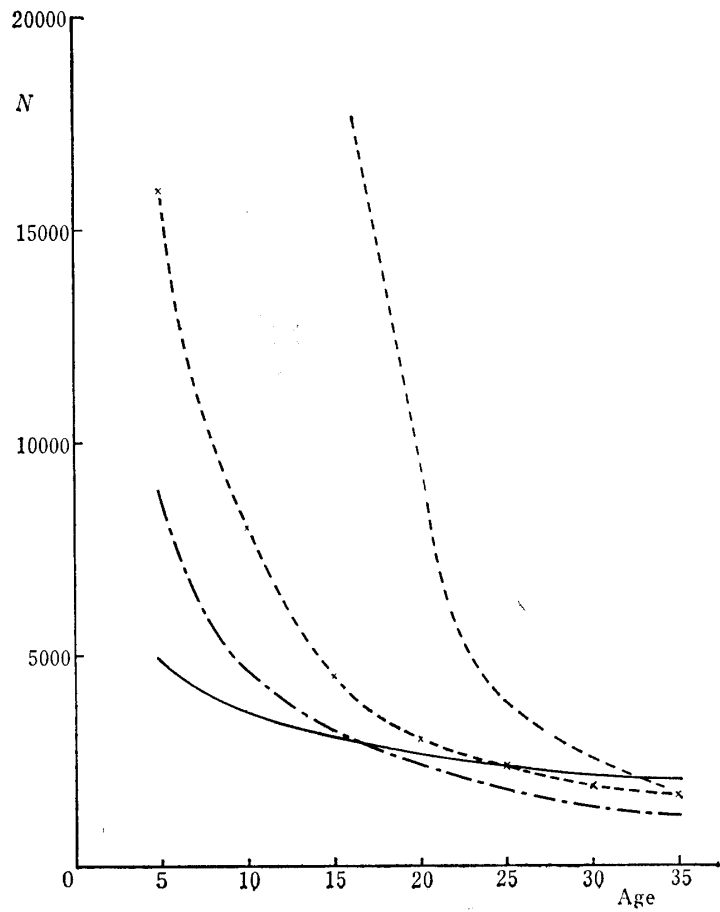
Fig. 27. Relation of age to height.



第28図 林齡対 ha 当り幹材積  
 Fig. 28. Relation of age to volume per ha.

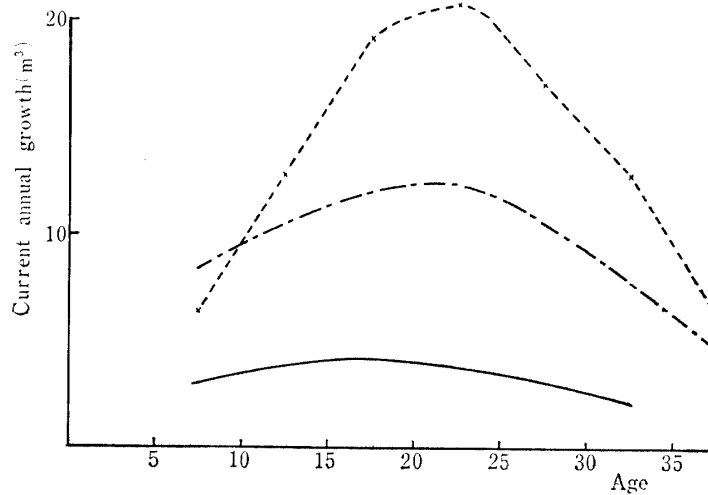


第29図 林齡対 ha 当り本数  
 Fig. 29. Relation of age to number of trees per ha.



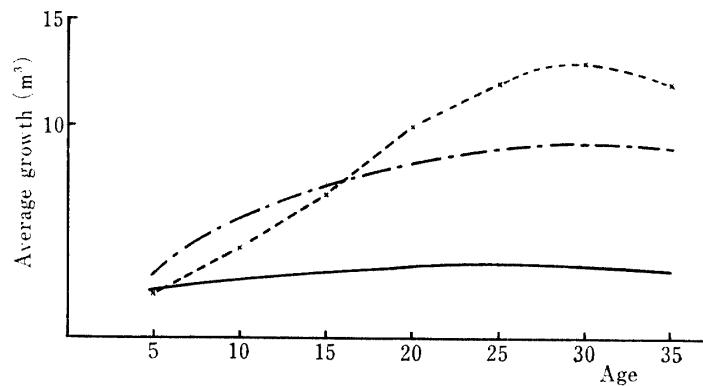
第 30 図 林 齢 対 連 年 生 長 量

Fig. 30. Relation of age to current annual growth.



第 31 図 林 齢 対 平 均 生 長 量

Fig. 31. Relation of age to average growth.



胸高直径生長の関係では、九州地方のコジイ林と八重山地方のテリハボク林は似たような生長をしているが、樹高生長では、九州地方のコジイ林が幼時から生長がよく、沖縄地方では樹高生長が特に悪いという特徴を如実に示している。

(3) 林齢に対する材積生長の関係でも、上と同様の傾向を示すが、内地一般雑木林とはあまり差がない。しかし、九州地方のコジイ林と比較すると、35年では約  $\frac{1}{4}$  に落ちており、八重山地方のテリハボク林に較べると約  $\frac{1}{8}$  の生長しか示さない。

(4) 林齢に対する本数の関係では、沖縄のシイを主体とした広葉樹林は、幼齢時の本数と老齢時の本数の差があまりなく、九州地方のコジイ林に較べると、5年の時は約半分の本数しかないが、35年では2倍の本数となっている。

八重山地方のテリハボク林、内地一般雑木林に較べても同様の傾向があるが、このことは、沖縄に生育する広葉樹林が生立以来何らの手入れや保護もなされずに放置されていることをあらわしている。

(5) 林齢に対する材積の連年生長量では、沖縄のシイを主体とした広葉樹林は、九州地方のコジ

イ林に較べて、各齡階共に  $\frac{1}{3}$  位の生長しかなく、八重山地方のテリハボク林との比較においては、15年～35年の時期に、 $\frac{1}{3}$ ～ $\frac{1}{6}$  の生長量しか示さない。

また、沖縄のシイを主体とした広葉樹林は15年～20年に連年生長量最大の時期があるが、九州地方のコイジ林および八重山地方のテリハボク林は、20年～25年に連年生長量最大の時期がある。

(6) 林齡に対する材積の平均生長量では、幼齡時はほぼ同様な生長量を示すが、25年以降は、九州地方のコイジ林に較べて約  $\frac{1}{3}$  の生長量で、八重山地方のテリハボク林に比較すると、約  $\frac{1}{4}$  の生長量を示しており、平均生長量最大の時期は、沖縄のシイを主体とした広葉樹林は25年であるが、九州地方のコイジ林と八重山地方のテリハボク林は30年である。

(7) 以上各因子ごとの比較によって、沖縄の広葉樹現実林分の生長を検討したが、第4章で述べたように、比較的正常な生長をしている林分は(第63表)、九州地方のコイジ林の生長にほぼ近い材積生長を示しているので、樹高生長を除けば今後の施業改善により、九州地方コイジ林分収穫表の数値までもっていくことは不可能なことではないと考えられる。

つぎに、沖縄のシイを主体とした広葉樹林に適用される伐期齡について検討する。

吉田は<sup>129)</sup>、伐期齡の種類として、(1) 自然的伐期齡、(2) 工芸的伐期齡、(3) 材積収穫最多の伐期齡、(4) 金員総収穫最多の伐期齡、(5) 森林純収穫最高の伐期齡、(6) 土地純収穫最高の伐期齡、(7) 林利最高の伐期齡、(8) 和田氏の理財的伐期齡を挙げている。

いわゆる経済性の獲得を重視する林業経営においては、(5) か (6) の伐期齡を採用すべきであろうが、現時点における沖縄の広葉樹林に対しては、(2) か (3) の伐期齡の適用が望まれよう。

すなわち、金員による伐期齡は、天然生広葉樹林の成立や近年の価格変動の激動からみて、その計算が困難であり、物質による伐期齡は、将来地位の変化はあっても、それほどの変動はないと考えられ、さらに近年のように木材利用の技術が発達した時代には、(2) か (3) の伐期齡が適当だと考えられるからである。

かかる観点にたてば、沖縄に現在生育する広葉樹林に対しては、第25図および第72表から、標準伐期齡は25年が適当であって、平均林齡25年のときの平均胸高直径は約10cmであるから、原料材としての使用にも堪えられるし、さらに、構造材生産のためには、25年以上40年以下の伐期齡帯を検討する必要もあると考えられる。

すでに述べたように、本収穫表は全く保育的施業の行なわれない現実天然生林について調製せられたものである。したがって、前記の施業基準による施業法が実施せられた場合には、本収穫表も当然修正されるべきものと考えられるが、このことについては、今後の研究にまわたい。

## 第6章 摘要および総括的考察

本研究は、現存する天然生常緑広葉樹林の実態と特性を測樹学の立場から把握することを目的とした。すなわち、

第1章では、沖縄の立地について、その概略を述べ、

第2章では、広葉樹林の林分構成を測樹学的にとらえ、

第3章では、広葉樹林に対して、従来のプロット法に比較して機動性のある **Bitterlich** 法適用の可否について検討し、

第4章では、生長量の予測を生長錐調査の立場から研究し、

第5章では、広葉樹林に対する施業基準の設定と現存する広葉樹林に対しての収穫表の調製を試みた。

これらの研究結果を要約して述べれば次のとおりである。

## I 摘要

### i 立地

琉球列島は、日本列島の南端に位置し、北東から南西に弧状につながる一連の諸小島からなり、全国土面積は約 238,800 ha で、その 50% にあたる約 119,000 ha が林野面積で占められ、公有 45%、官有 32%、私有 23% の比率になっている。

天然生広葉樹林は、沖縄本島北部および八重山西表島に偏在するが、沖縄本島北部はおもに古生層、中生層の粘板岩、千枚岩、砂岩からなり、中央に急峻な山脈が走り、これらが海岸にせまって平地を少なくしている。

西表島は北東部を除いて、全島ほとんど第三紀砂岩層が分布しており、北東部は古生層の変成岩、および安山岩などの火成岩が露出している。全般的に山岳地帯をなしているが、西部海岸線は屈曲が多く、深い良港湾をなしている。

琉球列島は、亜熱帯海洋性気候であって、年平均気温は 22.1 度で鹿児島より 5.3 度も高く、一年中の気温変化が少なく、那覇の年較差は 11.8 度で鹿児島の 20.5 度に較べるとかなり小さい。

沖縄一帯は、東アジア季節風帯に属していて、季節風が最も発達する地域で、冬は北東季節風が、夏は南東季節風が多い。さらに台風の影響も多く、300 km 以内通過台風は、過去約 30 年間に 243 回の多きに達している。

降水量は、山岳地帯の沖縄本島北部および西表島では年間 2500 mm を超え、その他の地域では 2000 mm を若干超える程度である。

森林の推定総蓄積は 640 万  $m^3$  で、官有林 73%、民有林 27% を占め、ha 当り蓄積は全沖縄平均 54  $m^3$  となっている。

林相別では、針葉樹林 12%、広葉樹林 88% で、前者はおもにリュウキュウマツ、後者はオキナワシイを主体とする天然林で占められている。

### ii 天然生常緑広葉樹林の林分構成

代表的な壮齢・老齢の各林分をそれぞれ 1 箇所ずつ選定して調査した結果は次の通りである。

壮齢林は沖縄本島北部、老齢林は西表島で調査したが、壮齢林ではプロット内の樹種は 25 種におよび、オキナワシイの占める本数割合は全体の 50%、材積歩合は 75% で、この割合は多少の変動はあっても、沖縄本島北部の壮齢林の樹種構成を代表するものと考えられ、老齢林ではプロット内の樹種は 55 種で、本数ではモクダチバナ、オキナワシイ、オキナワウラジロカシ、タブの順でそれぞれ 17%、9%、7%、6% を占め、残りの約 60% は他の 51 種の樹種で占められている。材積ではオキナワウラジロカシ、オキナワシイ、タブ、モクダチバナの順でそれぞれ 45%、14%、6%、4% を占め、残りの 30% は他の 51 種の樹種で占められている。本林分はオキナワウラジロカシが優勢な林分であるが、西表島でも壮老齢林のほとんどはオキナワシイを優占種とする林分が多い。

一般に天然林は複層林である。ゆえにマイヤー式によって直径分布をあらわすと、

幼齢林 (10 年)	$N=223137 e^{-0.802D}$ 分布係数 $q=4.96$
壮齢林 (30 年)	$N=9294 e^{-0.294D}$ 分布係数 $q=1.80$
老齢林 (45 年)	$N=2063 e^{-0.168D}$ 分布係数 $q=1.40$

となり、とくに壮齢林の直径分配は、九州地方の常緑広葉樹林と類似する特徴をもっている。

さらに、老齢林では 10 cm 以下は全体の 75.4%、10 cm~20 cm は全体の 18.0%、22 cm~30 cm

は 4.2%, 32 cm 以上は 2.3% であって, 20 cm 以下の立木が全体の 93% を占め, 20 cm 以上の立木は非常に少ない。

沖縄本島北部の壮齢林では, 一般に樹高が低く, 15 m を超える林木は少ない。この点は沖縄における壮齢天然生林の特徴であって, 地形による差異が甚だしい。

さらに, 西表島全域にわたっての調査結果は, 最大樹高は 18 m で, 16 m 以上は全体のわずか 0.4%, 11 m~15 m は 4.2% で, 残りの約 95% は 10 m 以下の立木である。

最後に, **Bitterlich** 法適用の立場からみた広葉樹林分の特性は次のようである。

(1) 芽かきその他の手入れがなされていないので, 1 箇所から 2 本~5 本の立木が萌芽生立しているものが多く, 地形の複雑さと相まって, **Bitterlich** 法適用の困難性を感じさせる。

(2) 沖縄本島では, 下層植生としてリュウキュウチクが叢生し, 西表島では立木にツルアダンが纏絡しているので, **Bitterlich** 法による測定が困難である。

(3) 以上の (1) および (2) は, 集約な施業を行なうことにより, 現在の施業法が改善されるならば, これらの欠点は取り除かれる。

(4) 広葉樹林の直径分配は 20 cm 以上の立木が少ないから, 胸高断面積定数 4 の測定器で胸高直径 20 cm の立木を捕捉すると, 限界半径は 5 m となるので, **Bitterlich** 法による測定を行なう場合には, 測点から 5 m までの範囲を注意深く測定すればよいといえる。

(5) **Bitterlich** 法を実行する際, 測点の選定には, 機械的(系統的)抽出によらないで, 層化無作為抽出法を適用し, 現地ではかなり注意深い測定をする必要がある。

### iii **Bitterlich** 法による材積推定

研究方法は,

(1) **Bitterlich** の **Winkelzählprobe** の立場から実験的に研究した。

(2) **Bitterlich** 法による材積推定方式にはいろいろあるが, ここでは比推定による方式を採用した。

(3) **Bitterlich** 法を実行する場合, その抽出誤差の外に重要な誤差として, 測定対象木の見えにくさによって生ずる誤差がある。これについて実験的な考察と, その数量化によつての検討を加え, 沖縄の天然生常緑広葉樹林に適用可能な断面積定数を決定した。

(4) **Bitterlich** 法が沖縄の広葉樹林に対して適用可能であるか否かの実験を行ない, さらに **Bitterlich** 法によつてカウントされる適正な基準本数を算出した。

(5) 大面積の森林調査に応用可能な回帰推定方式を, 断面積と材積の組合せにおいて検討し, 最適の方法を決定した。

研究の結果は次の通りである。

林分調査の際, 必要なプロットの最小面積は, 少なくとも 20 m×20 m の大きさが必要で, **Bitterlich** 法による比推定方式では, 一般に林分形数はプロットの大きさには関係なく一定であるが, プロット調査と平行して, **Bitterlich** 調査を行なう場合には, プロット調査の場合と同様に (20 m)<sup>2</sup> のプロットの林分形数を用いた方が好都合である。

最適の胸高断面積定数を決定する基本的な考え方は次の通りである。

比推定方式は  $V=G \times v/g$  で示されるが, この式はまた次のように書くことができる。

$$\begin{aligned} V &= G \cdot R \\ &= c \cdot k \cdot R \end{aligned}$$

ここで  $R=v/g$ ……林分形数,  $c$  はカウント数,  $k$  は胸高断面積定数

上式で  $R$  には, 測点がどこに落されるかによっておこる抽出誤差が含まれると考えられ,  $c$  にはおもに見えないために生ずるカウントもれの本数による誤差が含まれる。これは木を正当に見ないた

めのバイアスと考えられる。

いま、胸高断面積  $G$  の計算因子  $c \times k$  については次のように考える。

拡大円倍率の増加は限界半径の増加をきたし、限界半径の増加は立木の見えにくさに関連する。

一方、倍率の増加によって胸高断面積定数  $k$  は小さくなる。

断面積の推定値は (本数)  $\times k$  だから、その誤差は (本数の誤差)  $\times k$  である。ゆえに、本数の誤差が一定ならば、 $k$  が小さいと全体の誤差は小さく、 $k$  が大きいと全体の誤差は大きくあらわされることになる。

このことから、断面積の推定誤差を小さくするためには、 $k$  は小さいほどよいということがいえる。しかしながら、実際の野外調査においては、 $k$  が小さくなると見えにくさに伴う誤差が大きくなる。

以上の理論と実際の両者が平均して全体が最小になる接点を実験的に考察し、見えにくさの数量化によって検討した結果、実験的には、壮齢林で  $k=4$ ,  $k=1$ ,  $k=10$  の順に、老齢林では  $k=4$ ,  $k=10$ ,  $k=1$  の順に精度がよかった。つまり、壮老齢林のいずれの場合も  $k=4$  が最適である。

なお、壮齢林での推定誤差は  $k=10$  が 64%,  $k=4$  が 47%,  $k=1$  が 50% の誤差率で、本数にして (10 m)<sup>2</sup> の枠当たりそれぞれ 1.2 本, 2.2 本, 9.3 本の負の誤差を生じた。

以上の材積の誤差率が大きくなった原因は、見えにくさに伴う本数の誤差を明らかにするために、測定は初心者に Bitterlich 法に関する何等の予備知識を与えることなく、また測点から一廻りして見透しのきく立木のみを数えさせたためである。

つぎに、数量化のための式を、

$$k = \phi(\theta)$$

$$y = a + b\theta + c\theta^2$$

ここに  $k$  は胸高断面積定数、 $\theta$  は倍率、 $y$  はカウントもれの本数、 $a, b, c$  は常数であらわすと、実験式は

$$k = 10000(1/\theta^2)$$

$$y = 1.4562 - 0.973\theta + 0.0051\theta^2$$

で示され、これら式の相乗積を

$$ky = 10000(1/\theta^2) \{1.4562 - 0.973\theta + 0.0051\theta^2\}$$

を  $\theta$  で微分して 0 とおいたとき  $\theta$  の値は 30 となった。この場合の  $k$  の値は 3 となり、 $k=4$  に最も近似するので、沖縄の広葉樹林には  $k=4$  の測定器が最適と認められる。

さらに、カウントもれの本数 ( $y$ ) と倍率 ( $\theta$ ) を直線回帰であらわすと、

$$y = -3.2914 + 0.2481\theta$$

となり、上と同様の計算を行なうと  $\theta \doteq 26.5$  で、これは  $k \doteq 3.6$  であるから、さらに  $k=4$  に近づくことが認められた。

比推定の道具となる林分形数については、平均直径の大きさと林分形数の関係は、上昇直線回帰で示されるが、平均直径のある範囲では生立本数と林分形数の関係は横軸に平行な直線回帰で示される。したがって、林分形数は生立本数の如何にかかわらず一定で、林木の大きさとの関係のあることが分る。

すなわち、Bitterlich 調査の際は、林分の本数密度にとらわれることなく、胸高直径の分布に注意すべきである。

見えにくさに伴うカウントもれ本数の割合は、 $k=4$  の場合約 50% の誤差を生じた。これは測定が、Bitterlich 法に関して何等の予備知識をもたない初心者に、しかも測点から見透しのきく立木のみを数えさせた結果であって、使用した器械は板製の手製のものであった。



これに対して、市販の測定器も併用して、慎重に測定した結果は、手製の器械では -11%、市販の器械では +0.52% の誤差を生じ、市販の測定器で注意深く測定すれば、沖縄の天然生常緑広葉樹林にも **Bitterlich** 法は十分適用されることを認めた。

さらに、胸高断面積定数4の測定器で測定する場合の適正な基準カウント本数は、壮齢林では6本前後、老齢林では9本前後である。この場合、基準本数計算の基礎は、林分形数の平均的数値を壮齢林4.00、老齢林5.50とし、ha当り材積を壮齢林50 m<sup>3</sup>~150 m<sup>3</sup>で平均100 m<sup>3</sup>、老齢林を約200 m<sup>3</sup>とした。

**Bitterlich** 法によって ha 当り材積を求める場合  $v/g$  (林分形数) を用いたが、プロット調査および **Bitterlich** 調査における胸高断面積と材積の回帰はその相関が非常に高く、林分形数を用いて ha 当り材積を推定することの妥当性が認められた。

**Bitterlich** 法による ha 当り断面積とプロット法による ha 当り断面積の回帰は、プロットの面積別には (20 m)<sup>2</sup> の場合がその相関は高く、二重標本抽出法による回帰推定の場合にも、プロットの大きさは (20 m)<sup>2</sup> の大きさが必要であることがわかった。

ha 当り材積を **Bitterlich** 法で測定した断面積の関数とするか、あるいは **Bitterlich** 法で推定した材積の関数にするかについて計算した結果は、後者による方法のよいことが認められた。

#### iv 生長量予測

直径生長量または材積生長量を予測するための生長錐調査を、沖縄の広葉樹林ではどのように行なえばよいかを解明し、さらに、直径生長量の回帰にはどのような特徴があるかを検討し、材積生長量の計算や材積表の調製を試みた。

沖縄は季節風がきわめて強く発達する地域で、しかも林木の生長期に台風の襲来が多いので、生長錐をどの方向から挿入すればよいかという疑問がおこる。

そのために、これまで発表された樹木の偏倚生長に関する研究を参考にして生長錐の挿入方向を検討した結果次のことがわかった。

胸高直径の偏倚率(最大直径と最小直径の差が最大直径に対する100分率)は、個々の樹木について観察すると、4%~16%の範囲にあって平均7.5%であるが、本数が増加すると全体的には方向別の生長差が平均されて、方向別の有意差は認められない。

さらに、胸高直径の合計値において最小の値を示すのは水平方向で、東西、南北(風向)方向に対しては約1%、傾斜、枝の最長方向に対しては約2%小さく、直径の偏倚は全体的に約2%であることを認めた。すなわち、胸高直径の測定は方向を考える必要のないことがわかった。

次に、髓の中心から樹皮の内側までの最大、最小の差が最大に対する100分率を偏心率として、その値を標本ごとに観察すると、その範囲は10~55%、平均値は28.9%で、かなり大きな割合を示した。しかし、全体の標本木についての分散分析の結果は、偏心生長にも有意差はなく、生長錐はどの方向から挿入してもよいと認めた。

さらに、5年間の錐片長についても、有意差は認められず、生長錐はどの方向から挿入してもよいことが確認された。

一般に広葉樹の年輪測定は困難であるが、はたして生長錐調査によって得られた錐片長の測定値が信頼できるかどうかを円板の測定値と較べて検討した結果は、いずれの方向にも有意差はなく、さらに、錐片長から計算した方向別の直径生長量にも有意差のないことが認められた。

壮齢林の方向別の直径生長量の回帰式はいずれも上昇直線で示されるが、しかし、直径の増加に伴って直径生長量がいつまでも増加するとは考えられないので、老齢林で検討した。その結果は2次曲線が適合し、その回帰式は、

$$I = 0.39938 + 0.01015x - 0.00028x^2$$

で示され、直径生長量は直径の増加に伴って始めは上昇するが、18 cm の点で極大に達し、その後は減少することがわかった。ただ、極大点の位置は林分の生育状態などによって異なると考えられるが、このことについては今後の研究によって明らかにしたい。

以上の計算を通じて、生長錐調査によって推定される材積生長量にも方向別の差はなく、壮齡林あるいは比較的壮齡林に近い老齡の優良林分では 10 m<sup>3</sup> 以上の材積生長量があり、立地条件さえよければ、天然生の広葉樹林でも針葉樹林に匹敵する生長量のあることがわかった。

さらに、単木当り連年直径生長量最大の時期は、胸高直径が 18 cm のところにあるが、単木当り連年材積生長量は胸高直径が 38 cm までは増加するが、40 cm 以上では減少することを認めた。

材積生長量を計算するためには、2 変数材積表が必要であるが、樹幹析解法による標本値を用いての材積表調製の可否を、キシロメーター法およびプラニメーター法に比較して検討した結果は有意の差が認められず、樹幹析解法によって計算した数値を用いて材積表を調製してもよいことがわかった。

そのため、現在までに蒐集した 204 本の標本から 2 変数材積表および 3 変数材積表を作製して表示した。これらはそれぞれ第 26 表と第 67 表に掲げたが材積式は次のように計算された。

$$V = 0.00017 D^{2.34976}$$

$$V = 0.000075 H^{0.79877} D^{1.96732}$$

3 変数材積表について、熊本営林局の立木幹材材積表の数値と比較すると、樹高の低いうちは沖縄の数値は熊本営林局管内のそれよりも高いが、樹高が高くなると逆になり、沖縄に生育する広葉樹林は、熊本営林局管内の広葉樹林に較べて一般に梢殺であることが認められた。

#### v 収穫量予測

現在沖縄には、モクマオウ、リュウキュウマツ、テリハボクについての収穫予想表は調製されているが、天然生常緑広葉樹林に対しては、収穫量予測についての研究が全く行なわれていない。

そのため、沖縄に適合すると考えられる広葉樹林の施業基準を、林政の推移の状態や蔡温時代からの作業法の変遷を大凡把握することにより、天然林の成立を推測し、さらに現実の広葉樹林の実態を把握し、九州における研究事例を参考にして決定し、さらに収穫表の調製を試みた。

まず、広葉樹林の施業基準をつぎのように設定した。

更新は、萌芽更新を主とする天然更新による。

萌芽を 1～3 年生のころ、株当り 1～3 本に芽かきを行なう。なお、この作業を全ての樹種について行なうのは、有用樹種への側圧効果の点、および労力、経費の面より不得策であるから、有用樹種に対してのみ実行する。

10 年生内外で過密状態になれば除伐を行なう。これは利用価値を高めうる有用樹種の周辺のみでも実行する。

有用樹種の良質木のみを枝下 2 m～4 m、あるいはそれ以上小枝の枝打ちを行なう。

間伐は 20 年生内外のとき、枝打ちを行なった樹木の周辺の形質不良木を主体として実行する。

主伐は、地位によって異なるが 25 年～40 年を伐期とする。

生産目標は、上述の保護育成された有用樹種は構造材、その他の樹木は原料材生産を目標とする。

次には、沖縄に生育する現実林分の状態を現時点で把握した資料にもとづき、天然生常緑広葉樹林に対する収穫表の調製について研究を行なった。

そのため資料の吟味については、M. S. Czarnowski の仮説がこの種の林分に活用できるか否かを確かめ、

- (1) 林齢に対する ha 当り本数
- (2) 胸高直径に対する ha 当り本数
- (3) 林齢に対する平均胸高直径

(4) 林齢に対する平均樹高

(5) 林齢に対する ha 当り材積

の関係をグラフ上で検討し、 $N'=4\sim 13$  [ $N'$  は (樹高)<sup>2</sup> 内に生立する本数] の範囲の資料が、沖縄に現存する平均的な地位の広葉樹林に適合することを認めたので、 $N'=4\sim 13$  以外の資料は棄却した。

このようにして選択した資料より各因子間の回帰関係を次の各式によって求め、収穫表の構成数値を決定した。

$$\log y = 0.4998 + 0.0675 \log x + 0.0903 (\log x)^2$$

$x$ : 林齢  $y$ : 平均樹高

$$\log y = 1.0512 - \frac{3.2311}{x}$$

$x$ : 林齢  $y$ : 平均胸高直径

$$\log y = 3.7098 - 0.0344 x$$

$x$ : 平均胸高直径  $y$ : ha 当り本数

$$\log y = 0.3136 + 1.1419 \log x$$

$x$ : 林齢  $y$ : ha 当り幹材積

以上の方法で調製した収穫表は第 72 表に掲げた。この収穫表は、現実天然生林の平均状態を示す収穫量を予測するものとして調製したため、平均的地位における現実林分材積収穫表ということがいえる。

この収穫表を内地一般雑木林平均収穫表、九州地方コジイ林分収穫表、八重山地方テリハボク林収穫予想表と比較すると次のようである。

(1) 胸高直径、樹高、材積共幼齢時の数値にはそれほどの差は認められないが、老齢になるにしたがってその差が大きくなり不良になる。とくに樹高生長にこの傾向が著しい。

(2) ha 当り本数では、本収穫表は幼齢時の本数と老齢時の本数間に差のないことが特徴とみられ、例えば九州地方のコジイ林との比較において、5年のときは約半分の本数しかないが 35 年では 2 倍の本数となっている。

このことは、沖縄に生育する広葉樹林が、生立以来手入れや保護が加えられずに放置されていることを示している。

(3) 連年生長量は、各齢階共  $1/3\sim 1/6$  の生長量しかなく、沖縄のオキナワシを主体とした広葉樹林は、15 年～20 年に連年生長量最大の時期があるが、その他の地方の収穫表は 20 年～25 年に連年生長量最大の時期があり、平均生長量では、それぞれ 25 年および 30 年となっている。

以上の各因子ごとの比較において、沖縄に生育する現実広葉樹林の生長量は悪いことがわかるが、今後の施業改善によって、九州地方コジイ林分収穫表の数値まで生長を高めることの努力が必要である。

伐期齢は、現時点における沖縄の広葉樹林の生育状態ならびに広葉樹林の利用状況からみて 25 年が適当であると考えられるが、構造材生産のためには 25 年以上 40 年以下の伐期齢帯を検討する必要があると考える。

本収穫表は、全く保育的施業の行なわれない現実天然生林について調製されたものであるから、前記の施業基準による施業法が実施された場合には、本収穫表も当然修正されるべきものと考えられるが、このことについては今後の研究にまきたい。

## II 総括的考察

従来、いわゆる亜熱帯林に関する林学、林業の研究報告はその数が少ないと聞かすが、沖縄において

も天然生常緑広葉樹林に関する研究はきわめて少ない。

沖縄では、一般に常緑広葉樹林が山地いたるところに容易に成林し、その伐跡地はそのまま放置しても広葉樹林は成立し、その中には有用樹種も混交してくるから、広葉樹林に対する過去の必要量からすれば、ことさらに保護育成をする必要もなく、そのために広葉樹林に対する研究もおざりにされたものと考えられる。

しかしながら、近年の木材利用の発達は広葉樹林の需要を高め、経済林としての役割を果す面からも、さらに林地生産力の維持や国土保全的な面からも、広葉樹林の保護管理や積極的な施業の必要性が認められるにいたった。

そこで、筆者は沖縄に生育する広葉樹林を対象として、測樹学的な面からその特性を明らかにし、材積の推定方法ならびに生長量や収穫量の予測に関する基礎的な研究を行なった。

以下にこれらの研究を通じての総括的な考察を試みよう。

(i) 沖縄における森林調査の簡易化は、その経済性と森林の状況からみて緊急課題であるので、まず *Bitterlich* 法が沖縄の広葉樹林に適用されるか否かを検討した結果は、精度の高い測定器で丁寧に測定すれば、十分にその活用が期待されることを認めた。

ただ、*Bitterlich* 法を適用する際に現地での調査上注意すべきことは、層化抽出による調査方法を採用し、小面積調査の場合は、沢、中腹、嶺を区分しての層化を行なって測点を決定し、大面積の場合はあらかじめ地位区分による層化を図上でおこない、その後現地で落された測点の周辺の地形、林相の状態によって、必要ならば小面積調査に準じた調査を行なうことが望まれる。

さらに、立木が見えないために生ずるカウントもれの本数は、雑な調査を行なうと約 50% の誤差を生じるが、現地での測定は、見えにくい立木に対しては、測点を移動して立木を捕捉すること、カウントされるか否か疑問のある立木に対しては、その立木の胸高直径と立木から測点までの水平距離を測定して、カウント木にするか否かを明らかにすること、壮齡林でのカウント基準本数 6 本前後、老齡林でのカウント基準本数 9 本前後の数値でチェックすること、などの注意を払うべきである。

以上の作業を行なっても、従来のプロット法に比較すれば、その経済性と機動性は十分に発揮されるであろう。

(ii) 壮齡林での直径生長は、方向を問わず調査してもよいことが認められたが、その回帰は直線上昇回帰で示され、さらに、老齡林では曲線回帰であらわされた。

この現象は天然林の特徴をあらわすものとして興味のある問題であるが、幼齡時の上木に被圧された時代は、肥大生長もかんまんであるが漸増していることを示し、生育に対しての条件が好転すると、ある時期までは増加するが、その後老齡になると直径生長量が減少していることをあらわしている。

(iii) 沖縄は季節風が強く、樹木の生長期に台風が襲来するという立地上の不利な面もあり、天然生常緑広葉樹林の現実林を調査した結果は、樹種が多く、樹高が低く、大径木が少ないという特徴を認めたが、しかし、施業体系を整え、林業技術の確立に努力すれば、広葉樹林も十分にその経済性を発揮することができるという確信を持つにいたった。

すなわち、正常な生育をしている林分は、樹高生長を除けば、その他の生長量および収穫量共に九州の優良林分に匹敵するだけの数値を示す。さらに樹高にしても、現在 15 m を超える広葉樹は少ないが、古老の言によるとかつては 20 m を超える林木も溪間の肥沃地などには各所に存在していたといわれるから、今後積極的に地力の維持増進をはかり、施業の改善に努力するならば、広葉樹林の経済的な経営の実現も可能である。

ただしそのためには、天然生林の施業合理化の三要素として、環境、素質、保育をとり上げ、それらを調和的に改善することが、今後の課題として究明されなければならないであろう。

すなわち、生長量の良否をきめる原因の大半を占めるのは、それぞれの樹種に対する地位の如何にかかっていると考えられるから、第一に地位を高めるための研究がなされ、適地選定のための基準あるいは方法がきめられなければならない。またそれと同時に、広葉樹林を経済的に活用しうる前提条件としての地利を高める積極的施策が必要なことはいうまでもない。

素質の問題としては、数多い樹種の中から形質の良い優良樹種を環境に応じて増殖する研究が行なわれるべきであって、多方面からの今後の検討が望まれる。

つぎには、できるかぎり価値の高いものを造り出すような保育操作が加えられなければならないと考える。とくに広葉樹林は針葉樹林にも増してこのことに重点がおかれるべきで、収穫量が大きいということのみで満足すべきではないと考えられる。

前に述べた広葉樹林の施業基準も上記の主旨を尊重しての一つの試案であって、今後の大きな研究課題として残されよう。

### 参 考 文 献

- 1) 青木 繁 1931. 沖縄の森林と台湾. 台湾時報.
- 2) 青木 武 1955. 可変半径プロット法(林分材積略算法)の実用性に関する調査. 会報特.
- 3) 麻生 誠 1927. 樹幹の偏倚方向について. 林試集報 22.
- 4) 藤島信太郎 1961. 造林学講義.
- 5) 福沢喜代志外 1963. 簡易林分材積測定の一方法について. 青森営林局林業技術研究集録.
- 6) 具志幸孝 1961. 琉球の気象と農業の関係. 琉球大学農家政工学部.
- 7) 橋本和実. 未公表(九大林学科卒論 1964) コジイの重量成長に基づく伐期令について.
- 8) 畑村又好・奥野忠一・津村善郎共訳 1962. スネデカー統計的方法.
- 9) 早尾丑磨 1961. 日本主要樹種林分収穫表. 林業経済研究所.
- 10) 林 周二訳 1952. ウイルクス初等統計解析.
- 11) 平賀昌彦 1963. 十勝西部天然生林におけるビッターリッヒ法による胸高断面積測定誤差の一考察. 第74回日林講.
- 12) 平田種男 1958. ビッターリッヒ法の性格. 山林 899.
- 13) 平田種男 1958. 可変プロット法の精度. 東大演報 54.
- 14) 平田種男 1958. Strand の可変矩形プロット法—円柱体積の合計の推定—. 日林誌 40 (4).
- 15) 堀田正逸 1928. 測樹学.
- 16) 堀田雄次・前沢完次郎 1954. 胸高断面積の推定方法による誤差(英文). 東大演報第46号.
- 17) 井上由扶 1928. アカマツ林の中林作業法に関する研究. 九大演報第32号.
- 18) 鈎・図師・熊谷 1928. 樹林の偏倚生長について. 日林誌 10 (5).
- 19) 河合五敏 1958. 私製簡易胸高断面積測定器の材積査定への適用について. 森林計画研究発表集.
- 20) 木梨謙吉 1952. 新しい林分材積測定法. 林業経済.
- 21) 木梨謙吉 1952. 標本木法(標本木法への回帰の利用). 九大演報 20.
- 22) 木梨謙吉 1953. 推計学を基とした測樹学.
- 23) 木梨謙吉・砂川季昭 1961. プロット法とビッターリッヒ法の併用による胸高断面積ならびに本数の推定について. 日林九州支部第17回講.
- 24) 木梨謙吉・砂川季昭・宮島 寛 1962. Bitterlich 法による三重標本抽出調査. 第72回日林講.
- 25) 北村昌美 1961. 林分境界による Bitterlich 法の偏りの補正について. 第71回日林講.

- 26) 北村昌美 1962. 一致高和による林分材積の推定について. 第 73 回日林講.
- 27) 熊本営林局 1938. 大島, 沖縄地方の森林に就て.
- 28) 熊本営林局 1948. 立木幹材材積表.
- 29) 国吉清保 1960. 森林保護と松喰虫. みどり第 2 号.
- 30) 黒沢持恭 1938. 沖縄台風と海岸林の構造. 沖縄県山林令報第 6 号.
- 31) Kinashi, Kenkichi 1953. *Forest Inventory by Sampling Methods.*
- 32) Kinashi, Kenkichi 1959. *Yield Table Study of Cryptomeria Growing in Northern Kyushu.*
- 33) 近藤正巳 1959. 林業技術のための推計学入門.
- 34) 近藤 助 1951. 潤葉樹用材林作業.
- 35) 前沢完次郎 1957. **Bitterlich** 法における林縁の問題とその実験例. 演習林 No. 12.
- 36) 嶺 一三 1954. 測樹.
- 37) 嶺 一三 1955. 収穫表に関する基礎的研究と信州カラマツ林収穫表の調製. 収穫表調製業務研究資料 No. 12.
- 38) Czarnowski, M. S. 1961. *Dynamics of Even-Aged Forest Stands.*
- 39) 三善正市 1959. カシ・シイの中心郷土地帯における常緑広葉樹林の林分構成・成長・更新ならびに施業に関する研究. 宮崎大演報.
- 40) 中山博一 1962. 林木材積測定学.
- 41) 中村賢太郎 1950. 森林作業法.
- 32) 中村賢太郎 1958. 林業視察報告書. 琉球政府経済局.
- 43) 中村賢太郎 1958. これからの林業のあり方. 琉球大学農家政学叢書. 第 11 号.
- 44) 中村賢太郎 1959. これからの林業経営.
- 45) 中村賢太郎 1960. 育林学.
- 46) 中島広吉 1951. 樹幹析解.
- 47) 名村二郎 1960. 沖縄の林業に対する意見書要約一主として森林計画の立場から一. みどり第 6 号.
- 48) 西沢正久 1955. 林分成長量の直接予測法 (I) —単木抽出—, 日林誌 37 (9).
- 49) 西沢正久 1956. 成長曲線の適合. 日林誌 38 (5).
- 50) 西沢正久 1959. 森林測定法.
- 51) 西沢正久 1963. 土壌と結びついた林分調査法 —ポイントサンプリングと地位指数曲線作製法—, 森林立地 Vol. IV No. 2.
- 52) 西沢正久・川端幸蔵 1962. ポイントサンプリングの利用法について—カラマツ調査の一例—. 第 73 回日林講.
- 53) 西沢正久外 1962. 林分解析に関する研究 (第 1 報). 林試報第 141 号.
- 54) 西沢正久外 1964. 林分解析に関する研究 (第 2 報). 林試報第 169 号.
- 55) 西沢正久 1966. 角度測定法. 林野庁研究普及課.
- 56) 農業改良局 1952. 沖縄県土性調査報告.
- 57) 農林省林業試験場経営部 1962. 森林測定研究資料 7.
- 58) 農林省山林局 1951. 立木幹材材積表.
- 59) 小幡 進 1961. 暖帯広葉樹林の成長および林分構造に関する研究. 林野庁.
- 60) 大宜味朝栄 1960. リュウキュウマツの天然更新について (第 1 報). 琉大農学報第 7 号.
- 61) 沖縄県山林会 1937. 沖縄県山林会報第 5 号.
- 62) 沖縄県山林会 1938. 沖縄県の林業.

- 63) 沖縄気象教育研究会 1960. 台風.
- 64) 大政正隆 1960. 管見した沖縄の林業. みどり第2号.
- 65) 大隅真一 1960. 形状高の測点とその林分材積推定への応用について. 京都府立大演集第4号.
- 66) 大隅真一 未公表. Bitterlich 法による林分材積の推定に関する研究.
- 67) 大隅真一 未公表. 毎木調査による林分胸高断面積測定の誤差に関する研究.
- 68) 大隅真一 1962. O. Z. P. による林木分布の均質性の判定について. 第72回日林講.
- 69) 大隅真一 1964. ビッターリッヒ法に関する研究. 京都府立大学報第16号.
- 70) 大友栄松 1960. ビッテルリッヒ法について(1). 林試報 No. 122.
- 71) 大友栄松外 1960. ビッテルリッヒ法について(2). 林試報 No. 122.
- 72) 大友栄松 1966. プロットレス, サンプリング. 統計数理研究所.
- 73) 大山保表 1959. 沖縄本島北部の天然生リュウキュウマツ幼令林分の構成状態と生育について. 琉大農学報第6号.
- 74) Palleg, M. N. and Horwitz, L. G. 1961. Properties Some Random and Systematic Point Sampling Estimators. *Forest Sci* 7 (1) 52—65.
- 75) 林野庁 1952. 同令単純林の林分収穫表調製要綱.
- 76) 琉球气象台 1956. 台風.
- 77) 琉球气象台 1958. 調査用気候表. 石垣島測候所.
- 78) 琉球气象台 1959. 気候表. 西表島測候所.
- 79) 琉球气象台 1960. 沖縄の台風資料.
- 80) 琉球气象台 1964. 沖縄群島の気候表.
- 81) 琉球気象庁 1964. 気象要覧第109号.
- 82) 琉球林野局 1950. 沖縄経営区経営案説明書.
- 83) 琉球政府経済局林務課 1960. 経営案説明書.
- 84) 琉球政府 1964. 琉球要覧.
- 85) 琉球政府経済局林務課編 1957. 琉球林業の概要.
- 86) 坂上 実 1963. 直径成長の査定に及ぼす偏心生長の影響. 愛媛大演報.
- 87) 佐藤敬二 1964. 琉球の造林とその推進に関する提言. 琉球林業普及誌.
- 88) 佐藤敬二外 1966. 造林学.
- 89) 関屋雄偉 1964. アカマツ同令単純林における材積, 重量, 熱量の成長に関する研究. 九大演報第38号.
- 90) 扇田, 前沢 1955. Bitterlich 法による林分胸高断面積測定装置について, 演習林 10.
- 91) 島袋源一郎 1934. 林政八書. 沖縄郷土協会.
- 92) 総理府特別地域連絡局 1961. 西表島第二次農業調査報告書.
- 93) Spure, S. H. 1963. A Measure of Point Density. *Forest Sci.* 8 (1) 85—96.
- 94) 砂川季昭 1955. 与那演習林に於けるオキナワシイ幹材々積表. 琉大農学報第2号.
- 95) 砂川季昭 1956. 沖縄経営区におけるオキナワシイ立木幹材々積表. 琉大農学報第3号.
- 96) 砂川季昭 1957. オキナワシイの胸高形数. 琉大農学報第4号.
- 97) 砂川季昭 1957. 天然生広葉樹林の材積および立木本数の推定について. 琉大農学報第10号.
- 98) 砂川季昭・平田永二 1963. ビッターリッヒ法による二重標本抽出調査. 琉大農学報第10号.
- 99) 砂川季昭 1964. ビッターリッヒ法による幼令リュウキュウマツ林分の材積および立木本数の推定. 琉大農学報第11号.
- 100) 砂川季昭・山盛 直 1964. 壮令広葉樹林分の林分構成. 琉大農学報第11号.

- 101) 砂川季昭・平田永二 1965. 樹木の偏倚生長について—生長錐挿入方向の検討—, 琉大農学報第 12 号.
- 102) 砂川季昭・平田永二 1965. ビッターリッヒ法による本数および材積の推定, 琉大農学報第 12 号.
- 103) 鈴木・平田 1958. 測樹学新論抄.
- 104) 高木 武 1955. 可変プロット法の有用性に関する調査, 会報.
- 105) 高瀬五郎 1962. クヌギ萌芽林の生産構造ならびに収穫予測に関する研究, 愛媛大紀要第 6 部 (農学) 第 8 巻第 2 号.
- 106) 高田和彦 1952. 胸高直径は方向により差があるか, 第 5 回日林九支講.
- 107) 高田和彦 1954. Plotless Sampling による材積推定について, 九大演集 No. 3.
- 108) 高田・小林 1957. 胸高における根張りの影響について, 日林誌 39 (10).
- 109) 高田一彦 1959. 角度測定 of 誤差について (1) 水平方向の測定 (胸高断面積測定), 会報.
- 110) 高田一彦 1962. 定角測定法による材積推定の研究, 新潟大演報.
- 111) 高田一彦 1965. ビッターリッヒ法の断面積乗数と標本点数の問題, 北方林業.
- 112) 竹原秀雄 1960. 沖縄雑感, みどり第 3 号.
- 113) 谷口純平 1959. Anglecounter (ビッターリーヒ法) による小径木の極計算について (1), 第 69 回日林講.
- 114) 谷口幸雄 1953. 胸高断面積合計による Plotless Estimation に関する研究, 日大林学会報 10.
- 115) 立津春方 1937. 林政八書.
- 116) 寺田一彦 1954. 推測統計法.
- 117) 寺崎康正外 1964. 林分の構造と成長・収穫に関する研究 第 1 報, 秋田地方スギ人工林の成長と収穫, 林試報第 168 号.
- 118) 鳥井俊夫 1958. 可変半径プロット法に対する一考察, 森林計画研究発表集.
- 119) 辻本克己 1960. シイ林の施業に関する研究 I. コジイ林の林分構成, 鹿大農学報第 9 号.
- 120) 辻本克己 1963. リュウキュウマツの重量成長量に関する研究, 鹿大農学報第 13 号.
- 121) Cochran, William G. and Cox, Gertrude M. 1961. Experimental Designs.
- 122) 山田茂夫 1958. Winkelzählprobe, 山脈 9 (4).
- 123) 山田茂夫・村松保男 1963. 例解測樹の実務.
- 124) 矢野虎雄外 1966. 掌状作業法の研究, 九大演報第 40 号.
- 125) 安井 鈞 1962. シラカン樹幹断面の評価法について (第 1 報) 周囲および直径測定による推定断面積の誤差, 島根農大研報第 10 号 A.
- 126) 安井 鈞 1964. 択伐方式によるシラカン薪炭林の生産機構に関する研究 (第 2 報) 下山佐第 1 固定試験地の測定資料による林分構造と林分生長の解析, 島根農大研報第 11 号 A.
- 127) 安井 鈞外 1964. 択伐方式によるシラカン薪炭林の生産機構に関する研究 (第 3 報) シラカン皆伐薪炭林の林分構造および林分収穫予想表の作成, 島根農大研報第 12 号 A.
- 128) 吉田正男 1938. 測樹学要論.
- 129) 吉田正男 1950. 理論森經理林学.
- 130) Inoue, Yoshisuke 1964. Plans of Protection Forests and Farm Forests in developing the Agriculture of Iriomote Island. 九大演報.



### Summary and several proposals

The study was done in order to grasp the condition and the property of the actual natural broad-leaved forest in the forest measurement point of view. Outline of habitat of the Ryukyu Islands was explained in chapter 1; the stand composition of the broad-leaved forest was grasped in the forest measuring in chapter 2; the propriety of the Bitterlich method which have more mobility than the traditional plot method for the broad-leaved forest was discussed in chapter 3; the study on estimation of growth by using an increment borer was discribed in chapter 4; and in chapter 5 it was attempted to establish the standard of management of the broad-leaved forest and the preparation for yield table of the actual broad-leaved forest.

The results of the study are summarized as follows:

#### 1. Summary

##### 1) Outline of habitat

The Ryukyu Islands are located in southern extremity of Japan, and are formed an island chain which lengthed northeast and southwest in the shape of an arch. The total area of the Ryukyu Islands is about 238,800 hectares, of which 50 %, 119,000 hectares are covered with forest that consists of the public forest in 32 % and the private forest in 23 %.

The natural broad-leaved forests are distributed in the northern part of the Okinawa Island and in the Iriomote Island of Yaeyama Gunto. Soils of the northern Okinawa Island aer derived from clayslate, phyllite and sandstone in Paleozoic strata and Mesozoic formation. The plain area in the northern Okinawa is narrowed, because the steep mountain chain stretches to the coast.

Most of the Iriomote Island is derived from the sandstone strata of the tertiary period except the northeastern region, where metamorphic rocks of the paleozoic strata and such an igneous rock as the andesite are exposed. All over the Iriomote Island is occupied by a mountainous land, and there are deep and good harbors on the western coastline of the island because of many inlets.

The Ryukyu Islands are under the subtropical oceanic climate. The annual mean temperature in Naha was 22.1°C, which was 5.3°C higher than that in Kagoshima, and the range of the annual temperature was smaller. The range of the annual temperature in Naha was 11.8°C, and was vary smaller as compare with 25.5°C in Kagoshima.

All over the Okinawa Island was a seasonal wind zone of the eastern Asia, and was the region which a seasonal wind developed most. Most of the seasonal wind were from the direction of northeast in the winter and were from the southeast in the summer. Moreover, a large number of typhoon invaded and the typhoons passed within 30 km of the island were 243 in number during the past 30 years.

The total annual precipitation in the northern Okinawa and the Iriomote Island with mountainous region were in excess of 2,500 mm, whereas it was about 2,000 mm in the other region.

The estimated total stand volume is 6,400,000 m<sup>3</sup>, 73 % and 27 % of them are occupied by the national forest and private and communal forest respectively, and the mean stand

volume per hectare in whole of Okinawa Island is 54 m<sup>3</sup>.

In each forest type, the needle-leaved forest and the broad-leaved forest were 12 % and 88 % respectively, and the former is mainly covered with Ryukyumatsu (*Pinus luchensis* Mayr.) and the latter is mainly composed of Okinawashii natural forest.

## 2) Stand composition of natural broad-leaved forest

The results of the research in the selected representative one plot from the matured forest and the over matured forest respectively were the following:

The investigations of the matured forest were made in the northern Okinawa Island and those of the over matured forest were made in the Iriomote Island. In the matured forest the species into a plot appeared 25. The ratio of the number of trees of Okinawashii to whole was 50 %, and the ratio of volume of this species to whole was 75 %. It was assumed that the ratios were representative of the specific composition of the matured forest in the northern Okinawa Island although they had some variation. In the plot of the over matured forest, the number in species were 55. The ratios of the number of tree were computed to be 17% with Mokutachibana, 9 % with Okinawashii, 7 % with Okinawaurajirokashi, and 6 % with Tabu. And about 60 % was occupied by the other 51 species. The percentage of the standing volume of Okinawaurajirokashi, Okinawashii, Tabu, and Mokutachibana were 45 %, 14 % 6 %, and 4 % respectively, and 30 % was the belongings of the other 51 species. The dominant species in this stand was Okinawaurajirokashi, however many matured and over matured forest of Iriomote Island had Okinawashii as the dominant species.

Generally, the natural forest is unevenage forest. Hence, the distribution of diameter were expressed by Meyer's formula as follows:

Young forest (10 years):  $N=223137e^{-0.802D}$  distribution coefficient  $q=4.96$

Matured forest (30 years):  $N=9294e^{-0.294D}$  distribution coefficient  $q=1.80$

Over matured forest (45 years):  $N=2063e^{-0.168D}$  distribution coefficient  $q=1.40$

Particularly, the distributions of diameter in the matured forest were similar to the evergreen hardwood in the Kyushu of Japan.

In the over matured forest, the percentage of number was 75.4 % with the trees of less than 10 cm in diameter at breast height, 18.0 % with 10 cm to 20 cm, 4.2 % with 22 cm to 30 cm, and 2.3 % with over 30 cm. The trees of less than 20 cm in diameter occupied 93 % of whole and the trees of over 20 cm were a few.

In the matured forest of northern Okinawa Island, the height of tree was generally lower and there were a few trees reached to over 15 m in height. The above mentioned points were a character of the matured forest in the Okinawa, and the character was remarkably affected by the difference in topography.

In the results of the study in the whole Iriomote Island, the maximum height of tree was 18 m, and the percentage of number of trees of over 16 m, 11 m to 15 m, and less than 10 m in height were 0.4 %, 4.2 %, and 95 %, respectively.

The properties of the broad-leaved forest on view point of using the Bitterlich method are as follows:

(1) There are many trees of which had 2 to 5 in number of sprouts per stump, because the cutting off buds and the other tending did not make, and moreover the topography in

the area was complex. Therefore, it is very difficult to apply the Bitterlich method in such forest.

(2) Because in the Okinawa Island Ryukyuchiku (*Pleioblastus lineasis* Nakai) grow densely as under vegetation and in Iriomote Island Tsuruadan (*Freycinetia formosana* Hemsl.) cling to the trees, it is difficult to measure by the Bitterlich method.

(3) If the method of present management is improved by doing an intensive management, the faults of the above (1) and (2) could be eliminated.

(4) In the distribution of diameter of the broad-leaved forest, the trees of over 20 cm in diameter were a few. When the tree of 20 cm in diameter at breast height is counted by using the instrument of the basal area factor 4, the limited radius is to be 5 m. Therefore, in the case of measuring by the Bitterlich method, extreme care should be taken for the measurement of the distance range from the observed point to 5 m.

(5) When the Bitterlich method is carried out, the observed point must be plotted by the stratified random sampling method, not by the systematic sampling method. And it is necessary to be careful for measurement in the field.

### 3) Estimation of volume by the Bitterlich method

The methods of the study were as follows:

(1) The study was examined on the viewpoint of the Winkelzählprobe method by the Bitterlich.

(2) There were various methods on volume estimate system by the Bitterlich method, but the study was made by the ratio estimate system.

(3) When the survey was made by the Bitterlich method, it has an important error which was occurred by invisibility of the trees besides the sampling error. The experimental consideration and the examination on the indicating with quantity of the invisibility were made, and the basal area factor applied to the natural evergreen hardwood in the Okinawa was determined.

(4) The study to which the Bitterlich method could be applied in the broad-leaved forest of the Okinawa, or not, was made. And the normal basis number of the counted trees by the Bitterlich method was computed.

(5) The regression estimate system which can be applied to the forest inventory in the vast area was examined by the combination between the basal area and the volume. And on the basis of the results, the favourable combination method was concluded.

The results of the study were as follows:

In the forest survey, it was considered to be necessary to have an area of at least 20 m×20 m for reasonable estimation. In the ratio estimate system by the Bitterlich method, the stand coefficient was almost constant in spite of the plot size. When the Bitterlich method was made with the plot method, the stand coefficient of the plot size (20 m)<sup>2</sup> was favourable as the plot method.

The most appropriate basal area factor was concluded by the following fundamental consideration.

The ratio estimate system is expressed with the equation  $V = G v/g$ . And the equation is able to develop as follows:

$$V = G \cdot R = c \cdot k \cdot R$$

where  $R = v/g$ : stand coefficient

$c$  : counted number

$k$  : basal area factor

In the above equation, it is considered that  $R$  included the sampling error which is resulted from the position of the dropped point, and  $c$  included the error resulted from miss counted number which are caused by the invisibility of the trees. It is considered that it is a bias which occurred because of which we do not observe the trees correctly.

The factor of the calculation of the basal area  $G$ , that is the product of  $c$  by  $k$  is considered as follows;

The increase of the magnification produced the increase of the limited radius, and the increase of the limited radius is related to the invisibility of the trees.

On the other hand, the basal area factor  $k$  is decreased by the increase of the magnification of the rising circle.

Because the estimated value of the basal area is the product of (counted number) by  $k$ , the error of it is expressed with the product of (miss counted number) by  $k$ . Hence, if the error of the counted number is constant, the total error is small when the value of  $k$  is small and is large when  $k$  is large.

According to the above mentions, it can be said that the smaller  $k$  is the better in order that the estimated error of the basal area takes a smaller value. However, in the practical field work, the invisibility of trees caused the error of the miss counted number to large when the value of  $k$  is small.

The study on a point of contact which the total error is the minimum on the average of the above theory and practice is experimentally made. According to the examination by the indicating with quantity of invisibility, the precision became better in order of  $k=4$ ,  $k=1$ ,  $k=10$  in the matured forest and  $k=4$ ,  $k=10$ ,  $k=1$  in the over matured forest. That is, the most appropriate value of  $k$  was 4 in the case of both the matured forest and the over matured forest.

Moreover, the estimated error in the matured forest was 64% in rates of error when  $k=10$ , 47% when  $k=4$ , and 50% when  $k=1$ , and the calculated error in terms of the number per the frame  $(10\text{ m})^2$  were  $-1.2$ ,  $-2.2$ , and  $-9.3$  respectively.

The rates of error of the volume became large, because the measurement was done by beginners who had no preliminary knowledge in respect of the Bitterlich method, and they counted only the standing tree which had a wide outlook making the rounds of the surveying point, in order to explain the error of the miss counted number which occurred because of the invisibility.

The formulas for indicating with quantity are expressed as follows :

$$k = \phi(\theta)$$

$$y = a + b\theta + c\theta^2$$

where  $k$  : basal area factor

$\theta$  : magnification of rising circle

$y$  : miss counted number

$a, b, c$  : constant

The experimental formulas are

$$k = 10000(1/\theta^2)$$

$$y = 1.4562 - 0.0973\theta + 0.0051\theta^2$$

The value of  $\theta$  was 30 when differentiated the product of  $k$  by  $y$ , that is,  $ky = 10000(1/\theta^2)(1.4562 - 0.0973\theta + 0.0051\theta^2)$ , with respect to  $\theta$ , and the derivative set equal to zero. The value of  $k$  in the case was 3 which approached to  $k=4$ , therefore, it was recognized that the instrument of  $k=4$  was favorable in the broad-leaved forest of Okinawa.

And the straight linear regression between the miss counted numbers ( $y$ ) and the magnification of rising circle ( $\theta$ ) was computed as following formula,

$$y = -3.2914 + 0.2481\theta$$

The value of  $\theta$  was obtained to be about 26.5 by the result of computing such as the above, that is,  $k=3.6$ , therefore it was recognized that the value of  $k$  more and more approached to 4.

On the stand coefficient used for the ratio estimate method, the relationship between the average diameter and the stand coefficient was shown with a rising straight linear regression, in contrast, the relationship between the number of trees and the stand coefficient was shown as the parallel straight linear regression with the axis of abscissa. Accordingly, the stand coefficient was constant in spite of the variation of number of trees, and was related to the tree size in diameter.

That was, in case of the Bitterlich survey, we need not pay attention to the density of number of trees but the distribution of diameter.

The rate of the miss counted number resulted from the invisibility was about 50% in error when  $k=4$ . Because the measurement was done by beginners who had no preliminary knowledge in respect of the Bitterlich method, and they counted only the standing tree which had a wide outlook in sample point. The used instrument in the survey was a handmade wooden one.

In contrast, the cautiously measurement was made by using the instrument on the market also. The error of the handmade instrument and the instrument on the market were  $-11\%$  and  $+0.52\%$  respectively. According to the result, if the measurement was carefully done by using the instrument on the market, it will be recognized that the Bitterlich method was sufficiently able to apply in the natural evergreen forest of Okinawa.

And the normal standard number of trees counted by using an instrument of the basal area factor 4, was about 6 in the matured forest and about 9 in the over-matured forest. The standard number of trees was calculated on the basis of which the average stand coefficient of the matured forest and the over matured forest were 4.00 and 5.50 respectively, and the volume per hectare of the matured forest and the over-matured forest were  $50\text{ m}^3$  to  $150\text{ m}^3$ , average  $100\text{ m}^3$ , and about  $200\text{ m}^3$  respectively.

The value of  $v/g$  (stand coefficient) was used for the estimation of volume per hectare by the Bitterlich method. The regression between the basal area and the volume in the plot survey and the Bitterlich survey was high in correlation. Therefore, to estimate the volume per hectare by using the stand coefficient was recognized to be appropriate.

In the regression between the basal area per hectare by the Bitterlich method and by the plot method, the correlation was the highest in the plot size  $(20\text{ m})^2$ . And also in the case of the regression estimate by the double sampling method, it was found that the plot size was necessary to be  $(20\text{ m})^2$ .

In order to estimate volume per hectare, calculations were attempted by using a function of the estimated volume obtained with the Bitterlich method, and it was found that the latter function gave more suitable value in the volume estimation.

#### 4) Estimation of growth

In order to estimate the diameter growth and the volume growth in the broad-leaved forest of the Okinawa, the method surveyed with an increment borer was elucidated, and the features of the regression of diameter growth were discussed. And calculation of volume growth and preparation of volume table were attempted.

The author had a question of inserting direction of breast height of an increment borer, because the Okinawa Island was under the region of a seasonal wind developed, and most of typhoons visit at growing period of trees.

In order to solve the above question, the study on inserting direction at breast height of an increment borer was done referring to presented study on the eccentric growth of trees, and the following results were found.

The range and mean of the eccentric growth, which was expressed as percentage of the difference between the maximum and the minimum diameter to the maximum, were from 4 % to 16 % and 7.4 % respectively. But, as a whole, the difference of the growth in each inserting direction was averaged, because of the increase of the number of trees, and no significant difference in diameter at various inserting directions was recognized.

It was found that the direction of horizon took the minimum value in the total diameter, this value was 1 % smaller than the direction of east-west and north-south (the direction of wind) and was 2 % smaller than the direction of inclination and the longest branch, and the percentage of eccentric growth of diameter was 2 % as a whole. That was, it was found that it was not necessary to consider to the direction of measurement of the diameter at breast height.

The eccentric growth percentage from the pith of tree, which was expressed as the percentage of the difference between the maximum and the minimum radius excluding the thickness of the bark to the maximum, ranged from 10 % to 55 % in observing each sample, while the mean of samples was 28.9 %. They were large value in percentage. But from the analysis of variance, it was found that the eccentric growth from the pith was not significantly affected by the direction. There was, therefore, no necessity to be consider to the inserting direction of the increment borer.

Moreover, no significant difference of the core length in recent five years was recognized in any direction, therefore, it was certified that there is no necessity to consider direction for the insertion of the increment borer.

Generally, the measurement of the annual ring of the broad-leaved tree was vary difficult. The core length obtained by the increment borer was studied as compared with the growth measured by the dish of breast height in order to examine reliability of core length.

In the result, it was found that there is no significant difference between the core length and growth measured by the dish the diameter growth computed by the core length in direction was recognized.

Most of the regression equation of the diameter growth in each direction of the matured forest were shown by rising line, but it was not considered that the diameter growth increase as much as much diameter increase, therefore, the study on the regression of diameter growth was made in the over-matured forest. From the result, it was found that the quadratic curve was fitable in the regression equation. The regression formula was

$$I=0.39938+0.01015x-0.00028x^2$$

It was found that the diameter growth increased with the increase of the diameter at breast height while the diameter was small, reached maximum diameter growth at 18cm in diameter, and decreased after 18cm. The maximum point in diameter growth was differentiated by the growth condition of the stand. And the author expected to clear some results by the study on the problem in the future.

Through the above calculation, it was found that there was no significant difference in the volume growth which was estimated by the increment borer method in each direction. And it was recognized that the volume growth was to be over 10m<sup>3</sup> in the well-stocked matured forest and over matured forest, and the volume growth of the natural broad-leaved forest would give the same as the needle-leaved forest, if the site was well.

The current annual growth of diameter per tree reached the maximum at 18cm in diameter. On the other hand, the current annual growth of volume per tree increased to 38cm in diameter, and decreased from over 40cm in diameter.

The two-variable volume table was necessary for calculation of the volume growth. The volume table prepared with sample value of the stem analysis method was studied as compared with the Xylometer method and Planimeter method, and from the result of the study, it was recognized that there was no significant difference in each method. Therefore, it was found that it was good to prepare the volume table by using the value of the stem analysis method.

Accordingly, the two-variable volume table and the three-variable volume table were prepared on the basis of 204 sample trees which had been collected at the past. They were expressed with the table 66 and 67 respectively, and the volume formula were calculated as follows :

$$V=0.00017D^{2.34976}$$

$$V=0.000075H^{0.79377}D^{1.96732}$$

In comparing above three-variable volume table with the volume table in the Kumamoto Forest Bureau, the volume value in Okinawa was larger than that of Kumamoto Forest Bureau when the height of tree was lower, and it was opposed when the height of tree was higher. That was, it was recognized that the broad-leaved trees of Kumamoto Forest Bureau.

##### 5) Estimation of yield

In Okinawa, the estimated yield tables of Mokumaō (*Casuarina equisetifolia* J. et G. Forst.), Ryukyumatsu, and Terihaboku (*Calophyllum inophyllum* L.) are prepared, utb

the study on estimate of yield for the natural broad-leaved forest is not done.

Then, the standard of management which was favorable in the broad-leaved forest of Okinawa was determined by grasping the condition of development of forest policy and rough change in management system from SAION's days to the present, by estimating establishment of the natural forest, by grasping realities of the actual broad-leaved forest, and by referring the study in the Kyushu Japan. And the preparation of the yield table was attempted.

First, the standard of management of the broad-leaved forest is instituted as follows :

The regeneration is done by the natural regeneration system which is mainly done the regeneration by sprout.

The cutting off buds is reserved 1 to 3 in number per a stamp when at 1 to 3 years of age. This working carry out for only useful species because it is no advisability for the side suppressive effect to useful species, and the labor and expense, to do work for all the species.

The improvement cutting do when the stand which is about 10 years of age become excess density condition. This working carry out for circumference of the useful species which are able to enhance merchantable value at least.

The pruning carry out for only the good quality trees of useful species at height from 2 m to 4 m more in clear length.

The thinning is mainly done for bad quality trees of the circumference of the trees which have been made pruning, at about 20 years of age.

The final cutting is done for the stand which range from 25 to 40 in cutting years, though the cutting period is affected by the site.

An object of production is the construct timber in the useful species which have done as the above work, and is the production of the raw material timber in the other species.

In the next place, the study on the preparation of yield table for the natural evergreen broad-leaved forest is done on basis of data which are obtained by grasping the condition of actual forest in Okinawa at the present time.

In order to examine the data, it is attempted that N. S. Czarnowski's hypothesis is favorable for practical use to this kind of stand, or not. And the relations as follows are examined with the graph.

- (1) Number of trees per hectare to age
- (2) Number of trees per hectare to diameter at breast height
- (3) Average diameter at breast height to age
- (4) Average height of tree to age
- (5) Volume per hectare to age

In the results, the data are abandoned except that  $N'=4\sim 13$ , because it is recognized that the data  $N'$  of which range from 4 to 13 ( $N'$  is number of the standing trees in square of tree height) are adapted for the actual broad-leaved forest in average site of Okinawa.

The regression formulas of the relationship between each factor are calculated as follows, and the construction values of yield table are determined by this formulas.

$$\log y = 0.4998 + \log x + 0.0903(\log x)^2$$



where  $x$ : age

$y$ : average height

$$\log y = 1.0512 - 3.2311/x$$

where  $x$ : age

$y$ : average diameter at breast height

$$\log y = 3.7098 - 0.0344x$$

where  $x$ : average diameter at breast height

$y$ : number of trees per hectare

$$\log y = 0.3136 + 1.1419 \log x$$

where  $x$ : age

$y$ : volume per hectare

The yield table prepared by the above method is shown in Table 72. Because this yield table is prepared in order to estimate yield which is shown condition of average site of the actual forest, it is called an actual stand yield table in average site.

The yield table is compared with the average yield table of general coppice in Japan, with the yield table of Kojii stand in Kyushu of Japan, and with the estimated yield table of Terihaboku stand in Yaeyama, and the results are as follows:

(1) It is recognized that there are little difference of the diameter at breast height, height of tree, and volume when the stand is younger. But the difference of growth increases with the increase of age. Particularly, the tendency is remarkable in the height growth.

(2) It seemed that no difference between number of trees per hectare of young stand and matured stand is a feature of this yield table. For example, as compared with Kojii stand in Kyushu, the number of trees in this table is about half the number of it in Kyushu Kojii stand when age is 5 years, while it is recognized to be twice as many as that in Kyushu Kojii stand when age is 35 years.

That is, it shows that the tending protection have never done for the broad-leaved forest growing in the Okinawa since the forest was established.

(3) The current annual growth of each age class ranges from one third to one sixth. In the broad-leaved forest of the Okinawa which is mainly composed with Okinawashii, age of the maximum in the current annual growth ranges from 15 to 20 years. In the other region, age of the maximum in the current annual growth ranges from 20 to 25 years. And age of the maximum in the average growth is 25 years in yield table of the Okinawa, and is 30 years in yield table of other regions.

From the comparison of each about factors, it is found that the actual broad-leaved forest grown in Okinawa is lower growth. Therefore, it is considered to be necessary to make effort for the increase of growth till it is as large as Kojii stand in Kyushu, by improving the management in the further.

The proper final age is 25 years, because of the growing condition and utility condition of the broad-leaved forest in Okinawa at present time. But the proper final age for the production of construction timber should consider in the range from over 25 years to less than 40 years.

When the management system by the above mentioned standard management is done, it is considered that the yield table ought to be modified, because the yield table is prepared for the actual natural forest which have not tended completely. And the author expect the further study on the above mention.

## 2. Several Proposals

Hitherto, the information of the study on forest science and forest industry in the subtropical forest are scanty in number. And the study on natural evergreen hardwood in Okinawa are very scanty.

In Okinawa, generally, the evergreen hardwood occur easily in every place of mountain, and the broad-leaved trees establish even if the cutover area is leaved as it is. And the useful species are included in the established stand also. Therefore, it is not necessary to protect and tend the established stand according to necessity in the past for the broad-leaved forest, and it seemed that the study on the broad-leaved forest are neglected.

However, the necessity of protective administration or positive management for the broad-leaved forest is recognized from the sides which the development of utilization for the timber in recent years raise demand of the hardwood and accomplish a part as economic forest, and which the broad-leaved forest support the productivity of forest land and preserve the national land.

Then the basic study on the estimate method of volume, and the estimations of growth and yield for the broad-leaved forest in the Okinawa are carried out by clearing it's properties from a side of the forest mensuration.

The summarized discussion are attempted through the above studies as follows:

1) Because the simplification of the research in Okinawa is a burning theme judging from the economy and condition of the forest, it is examined to apply the Bitterlich method for the broad-leaved forest in Okinawa. According to the result of the examination, if the counting of trees is carefully done with the precise instrument, it is found that the application of the Bitterlich method is able to expect sufficiently.

In the case of application of the Bitterlich method for field investigation, the stratified random sampling method ought to be adopted. In the small area, the sampling points ought to be determined by three topography position classes, i. e, ridges, middle sloper, and lower slopes. And in the case of large area, the field is stratified by classification of site on a map beforehand, subsequently it is desirable that the investigation is made in accordance with small area when it is recognized to be necessary by the conditions of topography and forest aspect in circumference of the sampling point.

The miss counted number which occurs by invisibility is 50% in error when coarse investigation is carried out. Therefore, we ought to pay attention as follows in case of field work. For the standing trees which are difficult to see, it is necessary to catch by moving the observed point. For the standing trees which doubt whether it shall be able to count, it is necessary to make clare doubt by measuring the diameter of this trees and the distant from the observed point to this trees. And for the matured forest and the over-matured forest, it is necessary to check by the standard number 6 and 9 respectively.

Even if the above workings are carried out, economy and mobility of the Bitterlich method will be exhibited as compared with the traditional plot method.

2) For the estimation of the diameter growth in the matured forest, it is recognized that there is no necessity to consider the direction, and the regression are shown with a rising line. And the regression of the diameter growth in the over matured forest is shown with a curved regression.

The phenomenon is an interesting problem which indicate the property of the natural forest, that is, the phenomenon indicate that the thickening growth increase gradually in young period when the trees are suppressed with upper trees, increase till a certain time if the condition of the growth take a favorable turn, and subsequently decrease because of an old age.

3) The Okinawa Island has such a disadvantageous location as the strong seasonal wind blows and many typhoons visit in the growing season of trees. From the results of the investigation of the actual natural evergreen hardwood in Okinawa, it is found to have such properties as there are many species, tree height is low, and the trees having a large diameter are scanty in number. But the author is fully convinced that if the management system is regulated and we make an effort for establishment of forest technique, the broad-leaved forest will be able to exhibit it's economical worth.

That is, in the normal stand, with the exception of the height growth, both the other growth and the yield will take a value as equal to the superior forest in Kyushu. And for the tree height, the broad-leaved trees of over 15 m in height are a few in the present time, but it is said that the trees of over 20 m in height have been grown in every place of fertile valley according to word of an old man. Then if we attempt the supporting and reformation of productivity of soil, and make an effort for the improvement for management in the future, it will be able to realize the economical management of the broad-leaved forest.

For the purpose, environment, quality and tending ought to take up as three elements for rationalization of management in natural forest. And we are to improve three elements harmonizing each other, and it ought to be studied as a future subject.

That is, because it is considered that the quality of growth is mostly dependend on site for various species, first, the studies on raising of site are made, and the standard or method for selection of proper site ought to be determined. While it goes without saying that positive management for to raise locality necessary assuming that the broad-leaved forest is utilizable economically.

For the quality of tree, the study an increase of the superior species which are good quality in many species ought to be carried out in compliance with environment, and the the author expect the results of further examination from many sides.

In the next place, the tending ought to be done in order to bring up the valuable trees as much as possible, and especially, it ought to be attached weight to the broad-leaved forest rather than the needle-leaved forest. And we should not be content with only a large yield.

The above mentioned standard of management for the broad-leaved forest is a tentative plan which makes in deference to the above mentioned points, and this question must be reserved for further study.