

琉球大学学術リポジトリ

沖縄産主要広葉樹の重量収穫に関する研究(農学部附属演習林)

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: 平田, 永二, Hirata, Eiji メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12000/4262

沖縄産主要広葉樹の重量収穫に関する研究

平 田 永 二*

Eiji HIRATA: Studies on the weight yield of
principal broad-leaved forests in Okinawa
District

目 次

緒 言	
第1章 単木における材積ならびに重量	624
I 立木幹材積式の誘導とその検討	624
i 立木幹材積式の誘導	624
ii 材積式の精度の検討	629
II 単木重量の推定とその分析検討	635
i 単木重量の推定方法	635
ii 単木重量と直径, 樹高ならびに材積との関係	650
iii 重量回帰式の誘導	652
III 考 察	655
第2章 林分材積と林分重量の基礎的關係	656
I 既往の重量収穫予測に関する研究概要	656
II 資料の基本的構成内容	657
III 林分材積と林分重量の關係	663
IV 考 察	666
第3章 林分の重量収穫予測および重量生長経過の検討	667
I 年令を基準とした重量収穫予測	667
i 材積収穫表にもとづく重量収穫予測	667
ii 重量生長経過の検討	681
II 平均断面積直径を基準とした収穫予測	686
III 考 察	692
第4章 利用重量収穫の予測	693
I 単木重量利用率の検討	693
i 単木重量利用率の計算方法	693
ii 単木重量利用率と直径, 樹高との關係	699

* 琉球大学農学部附属演習林

II 林分重量利用率の誘導	701
i 単木重量利用率に基づく林分重量利用率の推定	701
ii 林分重量利用率と年令ならびに平均直径, 平均樹高との関係	707
III 林分の利用重量収穫の予測およびその検討	710
i 利用重量収穫の予測	710
ii 利用重量生長経過の検討	714
IV 考察	717
第5章 研究の要約および総括的考察	718
I 研究の要約	718
II 総括的考察	723
参考文献	726
Summary	731

緒 言

近年, 経済成長の高度化と科学技術のめざましい進歩発展ならびに生活レベルの向上に伴い, 建築用材, 工業用原材料等の木材資源の需要が著しく増加してきた。特に, 文化レベルの指標ともいえる紙の消費量の増加は, パルプ材の需要の著しい増大とそれに起因するパルプ資源の枯渇化を招来しつつある傾向が認められる。ちなみに, 昭和49年度林業白書によれば, パルプ材需要量の推移は, 昭和44年2,212万 m^3 , 同45年2,489万 m^3 , 同46年2,572万 m^3 , 同47年2,620万 m^3 , 同48年3,042万 m^3 と年々増加の一途をたどりつつある。その中において, 外材の占める比率は, 昭和44年には35%であったものが, 年々増加し, 同48年には実に56%を占めるにいたっている。そして, さらにこの傾向は, 今後も続くものと予想されている。

一方, パルプ原木としては, 昭和20年代まではアカマツ, エゾマツ, トドマツ等の針葉樹材がその大半を占めていたが, 昭和30年代以降は, 針葉樹資源の枯渇化とも相俟って工業技術が急速に進歩したため, 従来不適当とされていた樹種のパルプ化が可能になり, 針葉樹一辺倒から広葉樹へとその利用対象の範囲を拡大し, パルプ原木に占める広葉樹材の利用割合も急速に増加した。そのため, 従来粗放的経営の行われてきた低質広葉樹が一層注目されるようになり, その科学的生産技術の確立が強く要請されるにいたった。すなわち, パルプ材の長期かつ安定的供給をはかるためには, パルプ資源としての利用材の研究開発と併せ, 施業技術ならびに育林保育などの林業経営的な側面からの対策が極めて重要かつ緊急な課題となってきた。

他方, 今日の木材需要構造の変化に伴い, 林業生産の指向性も多様化の傾向にあり, また, その評価の指標も林業生産の目標に対応させて考えられるようになった。すなわち, 木材の原形的利用を目的とする構造材は材積を指標とし, 原材料は, 木材の組成物質を利用するものであるから, その施業の指標としては, 材積よりもむしろ木材組成物質とより関連の深い重量を用いるのが適切であると考えられるようになった。^{5, 48, 114, 119, 143)}

ところで, 木材の重量については, 材質を示す1つの指標として古くから関心がもたれていたようである。すなわち, 加納⁶⁴⁾によれば, はじめて木材の容積重という概念を導入したのは R. HARTIG (1882) であった。彼は生材容積に対する乾燥実質重量を容積密度数と称して今日の木材々料学的研究の基礎概念をつくり, 従来の容積生長表に对照してブナ林分の重量生長表を作った。以来, この容積密度数の概念を用いての木材の物理的諸性質を表現しようとする研究が木材々質論の分野において数多く試みられている。^{7, 63, 64, 97, 144, 146, 149)} しかしながら, 林木あるいは林分の生長論的立場からの重量生長に関する研究は比較的少なく, 特に重量収穫については辻本¹⁴³⁾, 関屋¹¹⁴⁾, 柿原⁴⁸⁾, 妹尾¹¹⁹⁾

等の研究報告例があるに過ぎない。しかも、これらの研究はすべて針葉樹を対象としたものであり、広葉樹を対象とした研究報告は皆無に等しく、沖縄に生育する広葉樹に関しては全くその例がない。

このような経緯と実状にもとづき、筆者は沖縄に生育する主要広葉樹を対象に、その重量収穫^{*}の予測と生長経過の法則性を究明し、パルプ材生産林の科学的生産技術確立のための基礎資料とすると共に施業上の指針を与えることを目的として各種の計測ならびに実験研究を行ってきた。

本研究の対象樹種としてイタジイ(*Castanopsis Sieboldii* Hatusima, Tan oak), モクマオウ(*Casuarina equisetifolia* J. et G. Forest, Casuarina), タイワンハンノキ(*Alnus formosana* Makino, Formosan alder)の3樹種を取りあげたが、これは、それぞれ次のような理由にもとづくものである。

まず、沖縄の広葉樹林を天然林と人工林に大別すれば、その殆んどは天然生の常緑広葉樹で占められるが、その生産目標は、経済的立場から考慮して、燃料材は経済性に乏しく、その需要は生活様式の変化に伴い激減する傾向にあるので、構造材と原材料の2つにしぼって考えることができる。しかし、構造材は沖縄に現存する天然生広葉樹の林分構成の面から考えて、その利用が限定されるため、殆んどの林分はパルプ材の生産を目標としたいいわゆる原材料生産の対象となるであろう。

このような観点から天然生広葉樹を研究の対象としたものであるが、その約75% (材積歩合) はイタジイによって占められているので、¹²³⁾ イタジイの重量生長経過の法則性を究明することにより、天然生広葉樹林の重量収穫は概ね予測できるものと考えられる。

つぎに、沖縄の広葉樹で人工林として最も重要なものは海岸防風防潮林としてのモクマオウである。

モクマオウは明治41年¹⁾から43年^{4), 117)}頃セイロンおよび小笠原諸島や台湾から沖縄へ導入されたが、海岸砂地や琉球石灰岩地帯に適し、生長が速いため、その殆んどが海岸地帯に造林されている。防風防潮林は、現在、保安林に編入され禁伐林に指定されて、何ら手を加えることなく放置されているのが実状である。しかし、その機能の維持増進および経済的な見地から適切な保育と更新が必要であることはいうまでもなく、その積極的な施業体系の組織化が切望される。この場合、その生産目標はモクマオウの特性やこれまでの実績から考慮してパルプ材生産が最適であろう。

ついで、タイワンハンノキは人工林造成の対象樹種として重要視されているばかりでなく、開墾跡地や崩壊地等に天然に侵入して次第にその占有面積も拡大の方向にあり、地力恢復用あるいは崩壊防止用樹種としても高く評価されている。

タイワンハンノキは、明治43年¹⁾にセイロンを経て台湾より導入された樹種で、沖縄の気候風土に適し、生長が極めて旺盛で、しかも更新が容易である。材の用途としては茶箱、家具、マッチ軸木などもあるが、沖縄においては、現在これらの需要がないため、当面の生産の目標はパルプ材が適切であると考えられる。

以上のような理由に基づき、イタジイ、モクマオウ、タイワンハンノキを本研究の対象樹種として選んだものであるが、これらの樹種は、いずれも公益的立場からも重要な特性をもち、その果す役割は沖縄の自然的、社会的条件に照して極めて重大であるといわねばならない。本研究は、木材の利用的側面からなされたものではあるが、沖縄においては、これらの公益的的特性も十分に理解すべきであることは論ずるまでもない。

まず、第1章では、重量収穫の予測を前提として、材積式の誘導を試み、その検討を行い、ついで生材材積に対する全乾重量を比重として単木重量を求め、この単木重量と直径、樹高、材積の関係を検討して重量式の誘導を試みた。この成果にもとづき、第2章では、林分材積と林分重量を推定し、両者が極めて相関の高い関係にあることを確かめ、第3章では、この関係を用いて重量収穫を予測すると共に重量生長経過の特性を明らかにした。ついで、天然生広葉樹のような異令林で年令査定が困難な林分に対

* ここでいう重量収穫とは、森林収穫^{45, 56, 152)}の中の物質収穫を重量で表現したものである。

する収穫予測の1つの手法として平均断面積直径を基準とした収穫表の調製を試みた。第4章では、原材料生産の立場から重量による利用率の導入が必要であることを論じ、利用重量収穫の予測を行うと同時にその生長経過の法則性を究明した。これらの研究成果により、沖縄産主要広葉樹に対して、原材料生産を指向した場合の施業技術の確立ならびに改善に1つの指針を与えたものといえよう。

本研究を遂行するに当り、九州大学教授木梨謙吉博士、同教授西沢正久博士、同助教授関屋雄偉博士には終始ご懇切なるご指導とご助言を賜り、多大な便宜を与えていただいた。また、同助教授堤寿一博士、同助教授青木尊重博士には有益なご助言とご指導を賜った。ここに記して深甚の謝意を表するものである。

また、九州大学農学部森林経理学教室長正道博士、井原直幸博士、常岡雅美博士、津山洋幸氏、上野富貴子氏および林業試験場九州支場森田栄一氏には種々のご助言と便宜をはかっていただいた。琉球大学教授砂川季昭博士、同教授大山保表博士、同教授大宜見朝栄博士、同助教授山盛直氏、同助教授新本光孝博士、同事務官渡名喜庸光係長、沖縄林業試験場安里練雄博士には公私共にご指導、激励いただいた。とくに砂川教授には調査研究上の格別な便宜とご指導ご助言ならびにご鞭撻を賜った。現地調査、比重測定および計算に当っては、琉球大学農学部附属演習林田場和雄、同比嘉達弘の両氏をはじめ全職員のご協力とご理解を得た。また、宮崎大学修士小泉修氏、沖縄県庁林務課富永実誠氏には、現地調査とりまとめ、計算、図表の作成等に尽力していただいた。さらに、モクマオウ林の調査に際しては、沖縄県北部林業事務所の関係各位に種々の便宜をはかっていただき、台湾ハンノキ林の調査に当っては、多くの森林所有者諸氏のご快諾とご協力を得た。記して深謝の意を表する次第である。

第1章 単木における材積ならびに重量

重量収穫の予測とその分析検討を行う場合には、その基礎として、単木および林分の材積が必要となる。そこで、まず、はじめに対象樹種の材積式を誘導し、ついで生材容積に対する全乾重量を比重として単木重量の推定を行い、単木重量式の誘導とその検討を試みた。

なお、説明の便宜上、樹種の配列はモクマオウ、台湾ハンノキ、イタジイの順とする。

I 立木幹材積式の誘導とその検討

i 立木幹材積式の誘導

モクマオウおよび台湾ハンノキの立木幹材積表は、沖縄において調製されたものがないため、ここに新たに材積式を計算して、その調製を試みた。イタジイについては、砂川¹²³⁾および高江洲等¹³⁴⁾の報告があるので、これらの材積表の適合度の検定を行い、使用材積表を決定した。

1) モクマオウ

モクマオウの材積式計算のための資料は、沖縄本島、宮古島、伊是名島、伊江島等において設定した51カ所のプロット内から、直径階(直径級)ごとに選定された155本の標本木を用いた。これらの標本木の各種測定値を示せば表1-1のとおりである。

つぎに、この資料に基づき、対数材積式 $V = aD^b H^c$ (V: 幹材積, D: 胸高直径, H: 樹高, a, b, c: 定数) を適用して材積式を計算した。

まず、異常資料を棄却するため、有意水準1%の棄却帯

$$t_{(n-3) 0.01} Sy. x. z \sqrt{1 - \left\{ \frac{1}{n} + c_{11} (X_i - \bar{x})^2 + c_{22} (Z_i - \bar{z})^2 + 2c_{12} (X_i - \bar{x})(Z_i - \bar{z}) \right\}}$$

$$= 0.08986 \sqrt{1 - \left\{ 0.00645161 + 0.73050815 (X_i - 0.9461)^2 + 1.26990917 (Z_i - 1.0193)^2 - 1.72419522 (X_i - 0.9461)(Z_i - 1.0193) \right\}}$$

ただし、 $X = \log D$, $Z = \log H$

Table 1-1-(1). Data for construction of volume table (Casuarina)

No	DBH (cm)	TH (m)	Volume (m ³)	No	DBH (cm)	TH (m)	Volume (m ³)
1	8.0	11.3	0.0280	41	10.1	12.2	0.0457
2	10.6	11.4	0.0468	42	11.7	13.7	0.0694
3	4.2	6.9	0.0049	43	13.4	13.0	0.0829
4	5.7	8.0	0.0102	44	7.4	10.8	0.0223
5	12.9	12.8	0.0774	45	11.8	20.0	0.0897
6	4.3	7.6	0.0059	46	15.4	20.3	0.1479
7	6.6	9.5	0.0140	47	19.7	20.4	0.2241
8	8.2	12.0	0.0305	48	16.0	14.8	0.1228
9	9.9	11.1	0.0396	49	12.7	13.0	0.0689
10	12.6	12.9	0.0672	50	10.5	10.9	0.0464
11	14.2	13.3	0.0822	51	18.5	15.7	0.2151
12	4.2	6.2	0.0046	52	6.7	9.3	0.0148
13	6.2	10.4	0.0146	53	16.9	16.0	0.1490
14	8.3	11.0	0.0251	54	4.9	8.4	0.0074
15	9.7	12.2	0.0421	55	13.5	17.2	0.1043
16	11.2	12.6	0.0531	56	8.3	11.0	0.0318
17	14.0	12.8	0.0891	57	11.0	12.0	0.0511
18	4.3	7.5	0.0064	58	15.0	16.2	0.1475
19	6.8	9.9	0.0176	59	4.9	7.5	0.0079
20	10.8	12.9	0.0567	60	7.2	10.2	0.0183
21	16.1	17.4	0.1465	61	12.2	13.9	0.0790
22	17.8	19.9	0.1969	62	9.4	13.4	0.0478
23	4.0	6.4	0.0045	63	14.2	16.4	0.1267
24	5.9	9.0	0.0127	64	10.0	14.0	0.0552
25	7.5	9.6	0.0209	65	4.2	8.5	0.0055
26	10.6	11.5	0.0403	66	5.6	7.0	0.0104
27	11.7	10.0	0.0539	67	7.4	9.3	0.0175
28	3.8	6.9	0.0041	68	5.4	9.2	0.0102
29	6.1	9.1	0.0124	69	4.0	6.2	0.0045
30	8.2	10.1	0.0256	70	6.6	10.0	0.0174
31	9.5	10.2	0.0352	71	11.3	14.2	0.0739
32	10.6	10.4	0.0421	72	9.0	12.5	0.0358
33	4.0	6.6	0.0052	73	13.6	14.5	0.0948
34	7.2	10.3	0.0222	74	11.5	13.1	0.0654
35	11.3	14.4	0.0643	75	5.4	8.5	0.0106
36	14.9	14.0	0.0978	76	7.3	10.8	0.0223
37	18.0	15.0	0.1498	77	8.8	12.1	0.0373
38	3.7	5.4	0.0037	78	4.3	4.2	0.0040
39	6.3	7.3	0.0127	79	8.8	9.6	0.0302
40	7.7	10.2	0.0228	80	5.4	6.0	0.0073

Table 1-1-(2). Continued

No	DBH (cm)	TH (m)	Volume (m ³)	No	DBH (cm)	TH (m)	Volume (m ³)
81	4.1	5.2	0.0040	119	8.0	10.4	0.0228
82	4.3	6.7	0.0049	120	11.1	9.8	0.0482
83	6.1	9.1	0.0133	121	5.8	7.3	0.0108
84	7.5	9.7	0.0217	122	10.0	9.5	0.0381
85	10.2	10.5	0.0379	123	16.0	15.0	0.1364
86	12.1	11.2	0.0550	124	17.9	15.2	0.1590
87	4.1	6.9	0.0055	125	8.2	9.7	0.0246
88	5.9	8.7	0.0123	126	14.1	15.0	0.0937
89	7.7	8.0	0.0172	127	4.1	5.3	0.0039
90	5.4	7.5	0.0084	128	6.1	8.5	0.0127
91	6.9	7.7	0.0154	129	3.9	5.9	0.0043
92	14.3	11.0	0.0744	130	10.4	12.5	0.0517
93	8.0	9.0	0.0209	131	14.1	13.3	0.0848
94	9.3	8.7	0.0273	132	4.1	9.3	0.0070
95	3.7	5.2	0.0036	133	11.9	13.3	0.0607
96	6.0	6.5	0.0089	134	19.7	17.4	0.2673
97	7.4	7.1	0.0164	135	20.3	19.8	0.3171
98	9.7	7.6	0.0261	136	12.0	15.1	0.0764
99	10.9	7.8	0.0344	137	17.9	16.3	0.1707
100	3.8	4.3	0.0033	138	14.0	14.0	0.0824
101	4.8	5.5	0.0057	139	7.7	11.7	0.0266
102	5.8	4.9	0.0082	140	8.1	11.2	0.0274
103	7.0	5.2	0.0114	141	10.0	12.5	0.0404
104	8.1	6.2	0.0175	142	16.5	15.8	0.1298
105	3.7	4.0	0.0029	143	19.6	18.4	0.2178
106	5.9	6.9	0.0093	144	10.0	12.0	0.0423
107	7.3	6.8	0.0141	145	16.6	15.0	0.1245
108	9.6	7.8	0.0260	146	16.1	16.0	0.1405
109	3.8	6.7	0.0042	147	18.3	16.0	0.1571
110	10.1	11.7	0.0425	148	16.2	17.2	0.1592
111	5.6	9.6	0.0123	149	16.1	16.9	0.1460
112	7.7	10.5	0.0237	150	11.9	14.0	0.0634
113	14.3	13.8	0.1016	151	14.2	15.8	0.1149
114	18.2	15.8	0.1877	152	12.2	13.0	0.0724
115	17.5	19.7	0.2099	153	19.5	17.0	0.2228
116	4.0	6.7	0.0049	154	19.9	18.0	0.2329
117	6.0	7.5	0.0102	155	19.9	17.0	0.1985
118	6.0	8.4	0.0104				

を計算し、資料の検定を行った結果、棄却すべき資料は出現しなかった。そのため、155本の全資料を用いて材積式を計算することにした。

Table 1-2. BARTLETT's test of homogeneity of variance (Casuarina)

Diameter class	Degrees of freedom (df)	Sum of squares of residuals (q_i^2)	Variance (s_i^2)	Logarithm of variance ($\log s_i^2$)	df x $\log s_i^2$
4 to 12 cm	95	0.09840803	0.00103587	-2.9847	-283.5460
Over 12cm	54	0.08149847	0.00150923	-2.8212	-152.3472
Total	149	0.17990650			-435.8932

$$s_p^2 = \sum q_i^2 / \sum df = 0.17990650 / 149 = 0.00120743$$

$$\log s_p^2 \times \sum df = -2.9181 \times 149 = -434.8026$$

$$\chi^2 = 2.3026 / C [(N - 3r) \log s_p^2 - r / 2 (n_i - 3) \log s_i^2]$$

$$= 2.3026 / 1.0074 (-434.8026 + 435.8932)$$

$$= 2.193 \quad \text{not significant}$$

where correction factor

$$C = 1 + 1/3 (r - 1) [1 / (n_i - 3) - 1 / (N - 3r)]$$

Table 1-3. Test of difference between regression coefficient by analysis of variance (Casuarina)

Source	DF	SS	MS	F
Whole reg.	2	14.77114438		
Reg. diff.	2	0.00447447	0.00223724	1.853 not sig.
Reg. sum	4	14.77561885		
Error	149	0.17990650	0.00120743	
Total	153	14.95552535		

Table 1-4. Test of difference between regression constant by analysis of variance (Casuarina)

Source	DF	SS	MS	F
Reg.	2	42.72612671		
Reg. diff.	2	0.00447447		
Reg. plane diff.	1	0.00059374	0.00059374	0.492 not sig.
Error	149	0.17990650	0.00120743	
Total	154	42.91110142		

つぎに、資料を2～12 cm (98本), 12 cm以上 (57本) の2つの直径級に分け、それぞれの材積式を計算して、BARTLETT 法による分散の一様性、回帰係数 b , c 間の差および回帰定数 a 間の差の検定を行った。その結果は、それぞれ表1-2, 3および4に示すように、いずれについても有意差のないことがわかったので、次式のように全資料をこみにして材積式を計算した。

$$\log V = -4.1704 + 1.9020 \log D + 0.8438 \log H \quad (1-1)$$

ここに V : 幹材積

D : 胸高直径

H : 樹高

なお、上式は修正係数 $f = 1.0033$ で修正されたものである。

2) タイワンハンノキ

この場合の資料は、沖縄本島北部に設定された50カ所のプロット内から選定した92本の標本木である。これらの標本木の材積式計算に必要な測定値を示せば表1-5のとおりである。

Table 1-5-(1). Data for construction of volume table (Formosan alder)

No	DBH (cm)	TH (m)	Volume (m ³)	No	DBH (cm)	TH (m)	Volume (m ³)
1	8.6	14.4	0.0444	25	8.0	9.0	0.0238
2	11.2	15.1	0.0742	26	9.9	9.0	0.0341
3	14.4	16.1	0.1186	27	3.9	7.9	0.0055
4	16.9	19.0	0.1707	28	6.1	11.4	0.0169
5	21.6	21.6	0.3531	29	8.0	13.0	0.0383
6	15.3	18.7	0.1535	30	10.4	13.9	0.0598
7	5.8	7.6	0.0109	31	11.9	15.2	0.0797
8	10.1	14.0	0.0639	32	14.9	14.6	0.1268
9	13.9	14.1	0.0970	33	4.3	8.6	0.0068
10	15.7	17.6	0.1646	34	5.7	9.4	0.0149
11	18.1	18.7	0.2079	35	8.0	11.5	0.0300
12	8.0	11.4	0.0288	36	9.7	11.8	0.0418
13	10.9	13.4	0.0593	37	11.8	13.8	0.0729
14	14.9	13.3	0.1111	38	15.1	15.1	0.1081
15	11.4	11.2	0.0604	39	3.8	7.6	0.0050
16	19.1	14.4	0.1562	40	6.2	8.5	0.0139
17	10.1	11.1	0.0478	41	7.9	9.7	0.0232
18	4.3	7.2	0.0059	42	10.2	12.1	0.0459
19	6.3	10.4	0.0163	43	11.6	11.9	0.0639
20	11.7	11.8	0.0589	44	12.7	12.6	0.0730
21	8.8	10.8	0.0329	45	15.5	13.0	0.1231
22	14.7	11.7	0.0866	46	2.4	4.9	0.0013
23	4.3	6.2	0.0051	47	4.0	6.6	0.0047
24	6.3	8.5	0.0143	48	6.4	8.2	0.0128

Table 1-5-(2). Continued

No	DBH (cm)	TH (m)	Volume (m ³)	No	DBH (cm)	TH (m)	Volume (m ³)
49	8.6	9.2	0.0246	71	21.5	20.2	0.2955
50	10.2	10.0	0.0367	72	23.3	18.6	0.3436
51	7.1	9.4	0.0148	73	9.7	11.0	0.0416
52	12.2	13.5	0.0753	74	4.7	8.4	0.0074
53	14.5	13.4	0.1012	75	8.1	10.6	0.0272
54	19.7	13.8	0.1848	76	13.0	13.8	0.0830
55	21.2	18.9	0.2740	77	19.4	16.3	0.2266
56	4.0	6.8	0.0057	78	4.0	7.0	0.0052
57	6.2	11.5	0.0193	79	6.0	8.3	0.0137
58	8.3	11.4	0.0303	80	28.8	22.5	0.5605
59	10.2	12.5	0.0524	81	18.9	17.4	0.2235
60	11.8	13.6	0.0720	82	19.8	21.6	0.3334
61	12.1	14.2	0.0817	83	11.8	15.9	0.0882
62	21.0	19.7	0.3224	84	13.0	15.7	0.1195
63	26.3	19.8	0.4946	85	6.1	8.8	0.0134
64	34.6	20.0	0.7551	86	10.1	11.3	0.0463
65	48.1	26.1	1.5967	87	7.9	11.9	0.0292
66	51.6	25.0	1.9530	88	9.5	12.5	0.0424
67	7.7	12.5	0.0301	89	13.5	15.6	0.1107
68	9.0	10.8	0.0363	90	12.1	13.2	0.0722
69	10.8	13.5	0.0642	91	6.9	11.9	0.0233
70	11.9	16.0	0.0857	92	40.7	23.5	1.1675

この資料を用いて、モクマオウと同様な手順で各種の検定を行い、2～10 cm, 10～20 cm, 20 cm以上の3つの直径級ごとの回帰係数および回帰定数間に有意差のないことを確かめ、つぎのような材積式を得た。

$$\log V = -4.3010 + 1.7715 \log D + 1.1101 \log H \quad (1-2)$$

ここに V：幹材積

D：胸高直径

H：樹高

上式は修正係数 $f = 1.0025$ で修正された式である。

ii 材積式の精度の検討

材積回帰式の精度を検討するため、材積の残差の百分率誤差⁹¹⁾および平均値の誤差率⁶⁵⁾を計算した。前者は材積回帰式を適用した場合の推定精度の尺度で、単木の誤差率を示すものであり、後者は材積回帰式自体の誤差を表わすものである。

まず、回帰からの対数表示での残差分散を S^2 、残差の標準誤差を s 、資料数を n 、残差の百分率誤差を $sw(\%)$ とすれば

$$s = \sqrt{S^2 / (n - 3)}$$

$$s_w (\%) = 100 (10^S - 1)$$

また、平均値の標準誤差を s_m 、平均値の誤差率を p (%) とすれば、

$$s_m = s / \sqrt{n}$$

$$p (\%) = (s_m / \log 10^e) 100$$

となる。

これらの式に従って、それぞれ材積式として対数式を用いた場合の残差の百分率誤差および平均値の誤差率を求め、表示したのが表1-6である。

Table 1-6. Error percentage of volume equations in each species

Species	Error percentage of estimate (%)	Error percentage of mean (%)
Casuarina	8.4	0.7
Formosan alder	7.3	0.7

この表から、モクマオウおよびタイワンハンノキの材積回帰式の誤差はほぼ近似しており、いずれも平均値の誤差率は0.7%で比較的精度の高い材積式を得たといえよう。

これらの材積式に基づく材積表をそれぞれ表1-7および8に示した。

Table 1-7. Stem volume table for Casuarina

Tree height in meters	Diameter at breast height in centimeters								
	4	6	8	10	12	14	16	18	20
3	0.0024 cubic meters								
4	0.0030	0.0066							
5	0.0037	0.0079	0.0137	0.0210					
6	0.0043	0.0093	0.0160	0.0245	0.0346	0.0464			
7	0.0049	0.0105	0.0182	0.0278	0.0394	0.0528	0.0681	0.0852	
8	0.0055	0.0118	0.0204	0.0312	0.0441	0.0591	0.0762	0.0953	0.1165
9	0.0060	0.0130	0.0225	0.0344	0.0487	0.0653	0.0841	0.1053	0.1286
10	0.0066	0.0142	0.0246	0.0376	0.0532	0.0713	0.0920	0.1151	0.1406
11	0.0071	0.0154	0.0267	0.0408	0.0577	0.0773	0.0997	0.1247	0.1524
12	0.0077	0.0166	0.0287	0.0439	0.0621	0.0832	0.1073	0.1342	0.1640
13		0.0178	0.0307	0.0469	0.0644	0.0890	0.1148	0.1436	0.1754
14			0.0327	0.0500	0.0707	0.0948	0.1222	0.1529	0.1868
15				0.0530	0.0749	0.1005	0.1295	0.1621	0.1980
16					0.0791	0.1061	0.1367	0.1711	0.2090
17					0.0833	0.1116	0.1439	0.1801	0.2200
18						0.1172	0.1510	0.1890	0.2309
19							0.1581	0.1978	0.2417
20								0.2066	0.2523

Table 1-8. Stem volume table for Formosan alder

Tree height in meters	Diameter at breast height in centimeters													
	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
	cubic meters													
3	0.0020													
4	0.0027	0.0058												
5	0.0035	0.0074	0.0119	0.0176										
6	0.0044	0.0093	0.0149	0.0222	0.0306									
7	0.0051	0.0108	0.0173	0.0256	0.0354	0.0465	0.0589							
8	0.0059	0.0125	0.0200	0.0297	0.0410	0.0539	0.0683	0.0842						
9	0.0067	0.0143	0.0228	0.0339	0.0468	0.0615	0.0779	0.0959	0.1156					
10	0.0075	0.0160	0.0256	0.0381	0.0526	0.0691	0.0875	0.1079	0.1300	0.1539				
11	0.0083	0.0178	0.0285	0.0423	0.0585	0.0768	0.0973	0.1199	0.1445	0.1710	0.1996	0.2300		
12	0.0092	0.0196	0.0314	0.0466	0.0644	0.0846	0.1072	0.1321	0.1591	0.1884	0.2198	0.2533	0.2889	
13		0.0215	0.0343	0.0509	0.0704	0.0924	0.1171	0.1443	0.1739	0.2059	0.2402	0.2768	0.3157	0.3566
14			0.0372	0.0553	0.0764	0.1004	0.1271	0.1567	0.1888	0.2235	0.2608	0.3006	0.3427	0.3872
15				0.0597	0.0825	0.1084	0.1373	0.1692	0.2038	0.2413	0.2816	0.3245	0.3701	0.4181
16					0.0886	0.1164	0.1475	0.1817	0.2190	0.2592	0.3025	0.3486	0.3975	0.4491
17						0.1245	0.1577	0.1944	0.2342	0.2773	0.3235	0.3728	0.4252	0.4803
18							0.1681	0.2071	0.2496	0.2955	0.3447	0.3973	0.4531	0.5119
19								0.2200	0.2650	0.3138	0.3661	0.4219	0.4812	0.5436
20									0.2805	0.3321	0.3875	0.4466	0.5092	0.5753
21										0.2961	0.3506	0.4090	0.4714	0.5376
22											0.3692	0.4307	0.4964	0.5661
23												0.4525	0.5215	0.5947
24													0.5468	0.6235
25														0.7044
														0.6523
														0.7370

つぎに、イタジイの幹材積表としては、高江洲等¹⁸⁴⁾の広葉樹天然林材積表と砂川¹²³⁾の立木幹材々積表(広葉樹)の2つが報告されている。そこで、この2つの材積表の適合性を検定することによって、それぞれの材積式および材積表の適否を検討することにした。

検定のための資料は、沖縄本島および西表島で収集した84本の標本木である(表1-9)。

検定の方法としては、実材積と材積表材積の間に直線回帰式が成立するものと想定し、この回帰式の定数が原点を通るか否か、また勾配が45°になるか否かをt検定によって確める。すなわち、実材積をx、材積表材積をyとし、両者の関係が $y = a + b(x - \bar{x})$ で表わされるものとするれば、aが0と有意であるかどうかは、 $t = |a - 0| / \sqrt{V(a)}$ で検定し、bが1と有意であるかどうかは、 $t = |b - 1| / \sqrt{V(b)}$ で検定できる。

まず、高江洲等の材積表の適合度を検定すると、

$$t = |a - 0| / \sqrt{V(a)} = 0.001 / 0.0006 = 0.167 \text{ not sig.}$$

$$t = |b - 1| / \sqrt{V(b)} = 0.0652 / 0.0079 = 8.253^{**}$$

ただし、自由度 $df = 82$

Table 1-9-(1). Data for goodness of fit test of volume table of Tan oak

No	DBH (cm)	TH (m)	Actual volume by	Volume by volume table	
			stem analysis (m^3)	(m^3)	
				SUNAKAWA*	TAKAESU**
1	7.8	8.1	0.0224	0.0235	0.0238
2	6.4	7.1	0.0130	0.0120	0.0120
3	9.0	8.8	0.0317	0.0400	0.0408
4	9.8	10.0	0.0405	0.0435	0.0441
5	16.9	9.7	0.1225	0.1083	0.1143
6	5.0	6.7	0.0078	0.0054	0.0053
7	5.3	5.9	0.0076	0.0106	0.0107
8	5.0	6.2	0.0071	0.0106	0.0107
9	5.3	7.0	0.0099	0.0120	0.0120
10	15.6	8.0	0.0844	0.0907	0.0969
11	3.7	5.9	0.0039	0.0048	0.0047
12	4.8	4.8	0.0047	0.0041	0.0041
13	6.8	5.7	0.0135	0.0106	0.0107
14	3.3	6.0	0.0035	0.0048	0.0047
15	5.0	6.3	0.0077	0.0106	0.0107
16	8.9	7.4	0.0273	0.0211	0.0215
17	3.7	5.1	0.0038	0.0041	0.0041
18	5.0	5.3	0.0073	0.0092	0.0094
19	7.0	6.0	0.0138	0.0187	0.0192
20	4.0	6.4	0.0051	0.0048	0.0047
21	5.0	5.9	0.0072	0.0106	0.0107
22	8.3	6.7	0.0213	0.0211	0.0215
23	5.8	6.3	0.0099	0.0106	0.0107
24	3.8	5.2	0.0037	0.0041	0.0041
25	9.9	7.7	0.0314	0.0364	0.0374
26	3.8	5.8	0.0039	0.0048	0.0047
27	5.0	5.6	0.0068	0.0048	0.0047
28	7.7	6.6	0.0171	0.0211	0.0215
29	4.0	6.4	0.0046	0.0048	0.0047
30	6.6	7.3	0.0141	0.0120	0.0120
31	11.6	10.4	0.0621	0.0622	0.0638
32	3.7	6.1	0.0045	0.0048	0.0047
33	5.0	6.3	0.0070	0.0048	0.0047
34	8.0	6.5	0.0199	0.0187	0.0192
35	3.9	5.6	0.0046	0.0048	0.0047
36	6.6	7.2	0.0121	0.0120	0.0120
37	12.2	10.1	0.0666	0.0622	0.0638
38	14.7	11.7	0.1038	0.0974	0.0998
39	5.9	8.1	0.0154	0.0133	0.0133
40	4.2	5.6	0.0046	0.0048	0.0047
41	3.8	5.9	0.0042	0.0048	0.0047
42	4.9	5.5	0.0069	0.0048	0.0047

* Volume by SUNAKAWA'S volume table (broad leaved forest)

** Volume by TAKAESU'S volume table of natural broad leaved forest

Table 1-9-(2). Continued

No	DBH (cm)	TH (m)	Actual volume by stem analysis (m ³)	Volume by volume table (m ³)	
				SUNAKAWA*	TAKAESU**
43	8.1	7.0	0.0219	0.0211	0.0215
44	3.9	7.3	0.0055	0.0054	0.0053
45	5.8	7.4	0.0113	0.0120	0.0120
46	13.4	8.7	0.0771	0.0775	0.0807
47	17.7	9.2	0.1241	0.1271	0.1343
48	10.4	10.8	0.0493	0.0469	0.0473
49	19.4	14.6	0.2137	0.2345	0.2428
50	28.4	15.2	0.4610	0.4547	0.4804
51	4.5	6.2	0.0057	0.0048	0.0047
52	8.4	8.2	0.0266	0.0235	0.0238
53	15.2	9.5	0.0837	0.0996	0.1143
54	4.3	6.7	0.0053	0.0054	0.0053
55	5.8	7.8	0.0111	0.0133	0.0133
56	10.3	9.8	0.0407	0.0435	0.0441
57	3.8	5.4	0.0044	0.0041	0.0041
58	4.6	4.0	0.0061	0.0035	0.0035
59	6.8	7.2	0.0138	0.0120	0.0120
60	3.9	6.7	0.0050	0.0054	0.0053
61	5.6	7.2	0.0111	0.0120	0.0120
62	9.0	7.5	0.0268	0.0235	0.0238
63	8.4	8.9	0.0195	0.0258	0.0259
64	11.3	7.9	0.0397	0.0521	0.0541
65	10.8	8.3	0.0433	0.0364	0.0374
66	12.3	11.5	0.0766	0.0719	0.0730
67	16.4	9.2	0.1008	0.0996	0.1058
68	18.5	9.3	0.1354	0.1271	0.1343
69	11.0	7.8	0.0415	0.0364	0.0374
70	9.1	7.5	0.0222	0.0328	0.0338
71	10.5	9.5	0.0393	0.0400	0.0408
72	11.6	8.2	0.0494	0.0521	0.0541
73	13.5	9.7	0.0749	0.0775	0.0807
74	14.3	11.7	0.0914	0.0974	0.0998
75	17.6	7.6	0.1073	0.1158	0.1231
76	10.4	8.6	0.0383	0.0400	0.0408
77	8.0	7.8	0.0236	0.0235	0.0238
78	11.0	8.5	0.0402	0.0400	0.0408
79	11.3	10.0	0.0592	0.0622	0.0638
80	14.5	8.5	0.0815	0.0843	0.0872
81	15.8	8.5	0.1019	0.0996	0.1143
82	21.7	13.0	0.2490	0.2525	0.2649
83	24.0	13.4	0.2941	0.2996	0.3161
84	26.2	13.5	0.3429	0.3508	0.3718

となり、回帰係数 b は 1 と著しく有意差を生ずる。従って、この材積表は本資料には適用できない。

つぎに、砂川の材積表の場合は、

$$t = |a - 0| / \sqrt{V(a)} = 0.0005 / 0.0005 = 1.000 \text{ not sig.}$$

$$t = |b - 1| / \sqrt{V(b)} = 0.0073 / 0.0070 = 1.043 \text{ not sig.}$$

と計算され、回帰定数 a と 0、および回帰係数 b と 1 の間に有意差が認められない ($df=82$)。すなわち、実測材積とよく適合することが認められる。そのため、本研究では砂川の幹材積式およびそれに基づく材積表(表1-10)を使用することにした。ちなみに、その材積式¹²³⁾を示せばつぎのとおりである。

$$V = 0.000075 D^{1.96732} H^{0.79377} \quad (1-3)$$

ここにV：幹材積

D：胸高直径

H：樹高

Table 1-10. Volume table (broad leaved forest)*

Tree height in meters	Diameter at breast height in centimeters													
	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
2	cubic meters													
3	0.0020													
4	0.0028	0.0061	0.0108											
5	0.0035	0.0077	0.0135	0.0210	0.0301									
6	0.0041	0.0092	0.0162	0.0251	0.0358	0.0486								
7	0.0048	0.0106	0.0187	0.0290	0.0415	0.0562	0.0732	0.0921						
8	0.0054	0.0120	0.0211	0.0328	0.0469	0.0635	0.0816	0.1041	0.1281	0.1545				
9	0.0060	0.0133	0.0235	0.0364	0.0521	0.0706	0.0907	0.1158	0.1424	0.1718	0.2039	0.2387		
10	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
11	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
12			0.0303	0.0469	0.0671	0.0909	0.1168	0.1490	0.1833	0.2211	0.2624	0.3073	0.3555	0.4070
13				0.0502	0.0719	0.0974	0.1252	0.1597	0.1964	0.2370	0.2812	0.3292	0.3808	0.4361
14					0.0766	0.1038	0.1334	0.1702	0.2093	0.2525	0.2996	0.3508	0.4059	0.4647
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								0.2007	0.2468	0.2977	0.3533	0.4137	0.4787	0.5480
18									0.2590	0.3123	0.3707	0.4340	0.5033	0.5749
19											0.3880	0.4542	0.5255	0.6017
20												0.4742	0.5486	0.6281
													0.5714	0.6542

* This table is taken by consent from Studies on the estimate of lumber volume by Bitterlich's method and the predication of the growth of natural broad leaved forests on Okinawa Island by Sueaki SUNAKAWA.

II 単木重量の推定とその分析検討

I 単木重量の推定方法

単木の樹幹内部における比重の変化に関する研究は、従来木材理学の面から種々なされ、その規則性も明らかにされつつある。^{7,26,27,28,29,30,31,32,63,97,144,145,146,149)}

樹幹を構成する木材部の諸性質は、その樹木の遺伝的因子、生長環境、生理的因子などの総合された働きの影響を受け、複雑に変動し、¹⁴⁴⁾ その結果、樹幹内部の比重はその部位によって著しく差異を生ずるといわれる。⁶²⁾ Brown H. P. 等⁷⁾ は、ある樹種の比重に影響する因子として樹木の生育する環境因子、樹令、樹幹内の位置、生長率および樹種などをあげ、つぎのように述べている。すなわち、(1)その樹木の生育する場所の環境因子は木材の比重に極めて大きな影響を与える。(2)幼令樹は別として、樹令は比重に強い影響を与えない。(3)一般に比重は樹幹にそってある程度の規則性をもち、根元から梢端に向かって減少する。また、1つの断面では殆んど規則性を示さないが、その樹木の生長状態と密接に関係している。(4)木材の比重は生長率と複雑に関係し、針葉樹材では年輪幅の大きい材は一般に低い比重を示す。広葉樹材の場合、環孔材では年輪幅の増加と共に晩材部が増加するので比重も増加するが、散孔材では年輪幅と比重の間に殆んど相関がみられない。また、R. TRENDELENBURG¹⁴⁴⁾ は、木材の比重の差異を多数の樹種について検討し、針葉樹材の場合は正常な樹幹であれば、髄附近は別として一般に若年時での鈍い生長は大きな比重を生み、逆に速い生長では小さな比重を示し、広葉樹材では髄附近に最も大きな比重が存在すると述べ、さらに樹幹の高さによる比重の変化については樹種によってかなり差があると指摘している。また、渡辺¹⁴⁹⁾ はスギ造林木について考究し、樹心部に高比重が存在し、外側に向かって漸減する傾向にあると述べ、さらに樹幹の下から上に向かって比重が増大する傾向のあることを認めている。大沢等⁹⁷⁾ は北海道産アカエゾマツについて研究し、樹心部の材が軽く、梢端部や地上高の低い部位に重い材が形成されると述べ、堤等^{145,146)} はミズナラの樹幹内の比重について考究し、樹幹内の高さとの比重の関係では中央部で低い比重を示し、中央部から上下に向かって比重は増加するとし、また半径方向の比重の推移は生長状態に影響されることが大きいので普遍的な傾向は得がたいが、1つの断面内では髄附近に高比重が存在し、皮部方向へ比重は低下する傾向にあると述べている。

以上のように、木材の比重は各種の要因と関連して個体内、個体間において非常に大きなバラツキを生ずるものと考えられるが、本研究の目的は経営的立場から重量を把握しようとするものであるから、単木内の比重の変化そのものについての研究よりもむしろこのような大きなバラツキの中においていかなる方法で単木重量を平均的に計測し、林分重量を推定し、重量収穫を予測するかということが研究の主体となる。

単木樹幹の全乾重量は、立木についてはいうまでもなく、伐採木についても直接計測することは不可能である。そのため、単木重量は間接的に推定するほかはない。この場合、樹幹材積にその平均的な比重を乗じて推定する方法も考えられるが、前述したように比重は樹幹内部においてその分布は一様ではなく、各部位から任意に集めた資料について算術平均を求めても幹全体を代表する値とはいえない。従って、辻本¹⁴³⁾、関屋¹¹⁴⁾ 等の提唱する方法、すなわち、樹幹析解を行い、各円板から供試片を抽出して比重を測定し、この値とそれに対応する部分の体積を乗じて各部分の重量を求め、これを合計して樹幹全体の重量を求める方法が最も適切であると考えられる。そのため、本研究においては、基本的にはこの方法に従って単木重量の推定を行った。

1) 供試片の測定および単木重量と標準比重の算定

(1) 円板採取および供試片の抽出

普通の樹幹析解法 (HUBER 法) によって円板を採取し、採取円板の直交4方向から半径方向に対して年輪幅とは無関係におよそ2cm幅の供試片を連続して抽出した。この供試片は鉋削した後、直ちに水の入ったビニール袋にいれ、飽水状態に保っておいた。

(2) 供試片の容積測定

供試片の容積は ARCHIMEDES の原理を応用して測定した。すなわち、次式によって容積を求めた。

$$V = M - M'$$

ここにV：供試片の容積

M：供試片の空気中での重量

M'：供試片の水中での重量

なお、実際の測定に当っては、供試片を水中に沈めるため錘りをつるし、後にその錘りの水中での重さを差し引いて求めた。また、容積は1/10000 cm³単位で測定し、水温による補正を表1-11に従って行った。

Table 1-11. Conversion of water temperature to water density

Water temp. (°C)	Density (g/cm ³)	Water temp. (°C)	Density (g/cm ³)	Water temp. (°C)	Density (g/cm ³)
5	0.9989	14	0.9982	23	0.9965
6	0.9989	15	0.9981	24	0.9963
7	0.9989	16	0.9979	25	0.9960
8	0.9988	17	0.9977	26	0.9958
9	0.9988	18	0.9976	27	0.9955
10	0.9987	19	0.9974	28	0.9952
11	0.9986	20	0.9972	29	0.9949
12	0.9985	21	0.9970	30	0.9946
13	0.9983	22	0.9967		

(3) 供試片の全乾重量の測定

供試片の全乾重量は、供試片を定温乾燥器に投入し、100°C~105°Cで全乾状態にし、直示天秤で秤量した(1/10000g単位)。

(4) 単木重量および標準比重の算定

以上のようにして、供試片の生材時(飽水状態)の容積と全乾時の重量を測定し、各断面高ごとの平均比重を求めた。この場合、断面積を重みとした加重平均比重と算術平均比重に差があるかどうかを検討し、両者の間に有意差のないことを確かめて算術平均で計算した。すなわち、各樹種それぞれ5本の標本木について令階(5年)ごとに供試片を抽出し、その令階の断面積を重みとした加重平均比重 r_w と算術平均比重 r_m をそれぞれ次式によって求め、その差($r_w - r_m$)が r_w に対する比率を計算した。

$$r_w = \sum a_i r_i / \sum a_i$$

ここに r_w :断面積加重平均比重

r :令階の平均比重

a :令階の断面積

$$r_m = \sum w / \sum v$$

ここに r_m :算術平均比重

w :供試片の全乾重量

v :供試片の容積

Table 1-12. Difference of average specific gravity in each sectional height of stem (Casuarina)

No.	Sectional height of stem in meters							
	0.2				1.2			
	r_w	r_m	$r_w - r_m$	$(r_w - r_m)/r_w \times 100 (\%)$	r_w	r_m	$r_w - r_m$	$(r_w - r_m)/r_w \times 100 (\%)$
1	0.71	0.71	0.00	-	0.71	0.70	0.01	1.4
2	0.63	0.64	-0.01	1.6	0.60	0.59	0.01	1.7
3	0.66	0.66	0.00	-	0.60	0.60	0.00	-
4	0.73	0.72	0.01	1.4	0.68	0.68	0.00	-
5	0.64	0.63	0.01	1.6	0.60	0.61	-0.01	1.7
Total	3.37	3.36	0.01	0.3	3.19	3.18	0.01	0.3

	3.2				5.2			
	r_w	r_m	$r_w - r_m$	$(r_w - r_m)/r_w \times 100 (\%)$	r_w	r_m	$r_w - r_m$	$(r_w - r_m)/r_w \times 100 (\%)$
		0.68	0.69	-0.01	1.5	0.66	0.67	-0.01
	0.59	0.59	0.00	-	0.56	0.56	0.00	-
	0.59	0.60	-0.01	1.7	0.60	0.60	0.00	-
	0.75	0.74	0.01	1.3	0.70	0.71	-0.01	1.4
	0.61	0.60	0.01	1.6	0.61	0.61	0.00	-
	3.22	3.22	0.00	-	3.13	3.15	-0.02	0.6

	7.2			
	r_w	r_m	$r_w - r_m$	$(r_w - r_m)/r_w \times 100 (\%)$
		0.73	0.72	0.01
	0.56	0.56	0.00	-
	0.61	0.60	0.01	1.6
	0.72	0.71	0.01	1.4
	0.59	0.58	0.01	1.7
	3.21	3.17	0.04	1.2

r_w : weighted average specific gravity by cross sectional area (g/cm³)

r_m : arithmetic average specific gravity (g/cm³)

Table 1-13. Difference of average specific gravity in each sectional height of stem (Formosan alder)

No.	Sectional height of stem in meters							
	0.2				1.2			
	r_w	r_m	$r_w - r_m$	$(r_w - r_m)/r_w \times 100 (\%)$	r_w	r_m	$r_w - r_m$	$(r_w - r_m)/r_w \times 100 (\%)$
1	0.47	0.46	0.01	2.1	0.46	0.45	0.01	2.2
2	0.38	0.38	0.00	-	0.39	0.39	0.00	-
3	0.34	0.34	0.00	-	0.34	0.35	-0.01	2.9
4	0.37	0.37	0.00	-	0.38	0.38	0.00	-
5	0.44	0.44	0.00	-	0.45	0.45	0.00	-
Total	2.00	1.99	0.01	0.5	2.02	2.02	0.00	-

	3.2				5.2			
	r_w	r_m	$r_w - r_m$	$(r_w - r_m)/r_w \times 100 (\%)$	r_w	r_m	$r_w - r_m$	$(r_w - r_m)/r_w \times 100 (\%)$
	0.47	0.46	0.01	2.1	0.44	0.44	0.00	-
	0.40	0.40	0.00	-	0.41	0.41	0.00	-
	0.38	0.38	0.00	-	0.37	0.38	-0.01	2.7
	0.40	0.40	0.00	-	0.40	0.40	0.00	-
	0.45	0.45	0.00	-	0.45	0.46	-0.01	2.2
	2.10	2.09	0.01	0.5	2.07	2.09	-0.02	1.0

7.2			
r_w	r_m	$r_w - r_m$	$(r_w - r_m)/r_w \times 100 (\%)$
0.45	0.45	0.00	-
0.44	0.44	0.00	-
0.39	0.39	0.00	-
0.43	0.42	0.01	2.3
0.46	0.45	0.01	2.2
2.17	2.15	0.02	0.9

r_w : weighted average specific gravity by cross sectional area (g/cm³)

r_m : arithmetic average specific gravity (g/cm³)

Table 1-14. Difference of average specific gravity in each sectional height of stem (Tan oak)

No.	Sectional height of stem in meters							
	0.2				1.2			
	r_w	r_m	$r_w - r_m$	$(r_w - r_m)/r_w \times 100$ (%)	r_w	r_m	$r_w - r_m$	$(r_w - r_m)/r_w \times 100$ (%)
1	0.60	0.61	-0.01	1.7	0.61	0.61	0.00	-
2	0.52	0.52	0.00	-	0.55	0.54	0.01	1.8
3	0.52	0.52	0.00	-	0.52	0.52	0.00	-
4	0.56	0.55	0.01	1.8	0.53	0.54	-0.01	1.9
5	0.54	0.53	0.01	1.9	0.53	0.53	0.00	-
Total	2.74	2.73	0.01	0.4	2.74	2.74	0.00	-

	3.2				5.2			
	r_w	r_m	$r_w - r_m$	$(r_w - r_m)/r_w \times 100$ (%)	r_w	r_m	$r_w - r_m$	$(r_w - r_m)/r_w \times 100$ (%)
	0.61	0.60	0.01	1.6	0.55	0.54	0.01	1.8
	0.52	0.52	0.00	-	0.48	0.48	0.00	-
	0.53	0.52	0.01	1.9	0.50	0.50	0.00	-
	0.53	0.53	0.00	-	0.50	0.51	-0.01	2.0
	0.53	0.53	0.00	-	0.46	0.47	-0.01	2.1
	2.72	2.70	0.02	0.7	2.49	2.50	-0.01	0.4

r_w : weighted average specific gravity by cross sectional area (g/cm³)

r_m : arithmetic average specific gravity (g/cm³)

その結果は、表1-12, 13および14に示すとおりである。これらの表から、まず、モクマオウについてみると、各断面においては0~1.7%の差を示すが、全体的には極めてその差は小さい。例えば、0.2mにおける r_w と r_m の差が0と有意差を生ずるかどうかを計算すると、

$$\text{差の平均 } \bar{x} = \sum x_i / n = 0.01 / 5 = 0.002 \text{ (g/cm}^3\text{)}$$

$$\text{差の分散 } s^2 = [\sum x_i^2 - (\sum x_i)^2 / n] / n - 1 = (0.0003 - 0.00002) / 4 = 0.00007$$

$$\text{差の平均値の標準誤差 } s_{\bar{x}} = \sqrt{s^2 / n} = \sqrt{0.00007 / 5} = 0.0037$$

$$\text{従って、 } t = |0 - \bar{x}| / s_{\bar{x}} = |0 - 0.002| / 0.0037 = 0.54 \text{ not sig.}$$

となり、統計的にも差が認められない。これは、他の断面高についても、また他の樹種についても全く同様な結果となる。このことは、3樹種とも令階による比重に差のないことを意味し、各断面の平均比重として算術平均を用いてもさしつかえのないことを示している。

このようにして求められた各断面高の算術平均比重とそれに対応する区分材積を乗じて区分重量を求

め、これを合計して単木重量とした。また、標準比重は、単木重量を皮内幹材積で除して算出した(1/100 g/cm³単位)。

以上のようにして得られた標本木の重量と標準比重を示せば表1-15, 16および17のとおりである。

Table 1-15-(1). Dry weight and mean specific gravity of sample trees of Casuarina

No.	Age (years)	DBH (cm)	TH (m)	Volume (m ³)	Dry weight (kg)	Mean specific gravity (g/cm ³)	Average specific gravity at breast height (g/cm ³)	Adjusted coefficient of specific gravity*
1	5	3.8	6.7	0.0042	22×10 ⁻¹	0.59	0.59	1.00
2	10	10.1	11.7	0.0425	28	0.69	0.70	0.99
3	6	5.6	9.6	0.0123	65×10 ⁻¹	0.59	0.59	1.00
4	8	7.7	10.5	0.0237	13	0.60	0.60	1.00
5	10	14.3	13.8	0.1016	66	0.71	0.68	1.04
6	15	18.2	15.8	0.1877	10×10 ¹	0.60	0.61	0.98
7	13	17.5	19.7	0.2099	13×10 ¹	0.68	0.68	1.00
8	6	4.0	6.7	0.0049	27×10 ⁻¹	0.66	0.66	1.00
9	6	6.0	7.5	0.0102	59×10 ⁻¹	0.66	0.66	1.00
10	6	6.0	8.4	0.0104	68×10 ⁻¹	0.72	0.70	1.03
11	6	8.0	10.4	0.0288	18	0.70	0.70	1.00
12	8	11.1	9.8	0.0482	26	0.62	0.61	1.02
13	7	5.8	7.3	0.0108	54×10 ⁻¹	0.64	0.63	1.02
14	7	10.0	9.5	0.0381	22	0.65	0.68	0.96
15	15	16.0	15.0	0.1364	94	0.77	0.78	0.99
16	17	17.9	15.2	0.1590	11×10 ¹	0.77	0.77	1.00
17	8	8.2	9.7	0.0246	13	0.60	0.59	1.02
18	13	14.1	15.0	0.0937	56	0.66	0.65	1.02
19	5	4.1	5.3	0.0039	21×10 ⁻¹	0.62	0.62	1.00
20	6	6.1	8.5	0.0127	72×10 ⁻¹	0.66	0.69	0.96
21	5	3.9	5.9	0.0043	22×10 ⁻¹	0.58	0.59	0.98
22	8	10.4	12.5	0.0517	28	0.61	0.66	0.92
23	9	14.1	13.3	0.0848	48	0.64	0.66	0.97
24	5	4.1	9.3	0.0070	35×10 ⁻¹	0.59	0.59	1.00
25	9	11.9	13.3	0.0607	36	0.64	0.64	1.00
26	18	19.7	17.5	0.2672	17×10 ¹	0.69	0.71	0.97
27	18	20.3	19.8	0.3171	20×10 ¹	0.69	0.75	0.92
28	16	12.0	15.1	0.0764	48	0.69	0.76	0.91
29	18	17.9	16.3	0.1706	11×10 ¹	0.70	0.73	0.96
30	9	14.0	14.0	0.0900	52	0.64	0.68	0.94
31	8	7.7	11.7	0.0266	15	0.64	0.65	0.98
32	6	8.1	11.2	0.0274	17	0.67	0.69	0.97
33	6	10.0	12.5	0.0433	25	0.63	0.65	0.97
34	17	16.5	15.8	0.1298	85	0.75	0.75	1.00

Table 1-15-(2). Continued

No.	Age (years)	DBH (cm)	TH (m)	Volume (m ³)	Dry weight (kg)	Mean specific gravity (g/cm ³)	Average specific gravity at breast height (g/cm ³)	Adjusted coefficient of specific gravity*
35	17	19.6	18.4	0.2210	14×10 ¹	0.65	0.66	0.98
36	11	10.0	12.0	0.0423	23	0.60	0.61	0.98
37	12	16.6	15.0	0.1245	77	0.69	0.70	0.99
38	12	16.1	16.0	0.1405	88	0.70	0.73	0.96
39	12	18.3	16.0	0.1571	94	0.65	0.66	0.98
40	12	16.2	17.2	0.1592	91	0.63	0.65	0.97
41	12	16.1	16.9	0.1460	87	0.65	0.66	0.98
42	12	11.9	14.0	0.0634	34	0.58	0.59	0.98
43	12	14.2	15.8	0.1149	67	0.64	0.67	0.96
44	12	12.2	13.0	0.0724	38	0.58	0.59	0.98
45	16	19.5	17.0	0.2228	15×10 ¹	0.73	0.72	1.01
46	17	19.9	18.0	0.2329	15×10 ¹	0.72	0.72	1.00
47	17	19.9	17.0	0.1985	13×10 ¹	0.71	0.73	0.97

* This value is in the ratio of mean specific gravity to average specific gravity at breast height.

Table 1-16-(1). Dry weight and mean specific gravity of sample trees of Formosan alder

No.	Age (years)	DBH (cm)	TH (m)	Volume (m ³)	Dry weight (kg)	Mean specific gravity (g/cm ³)	Average specific gravity at breast height (g/cm ³)	Adjusted coefficient of specific gravity
1	10	12.1	14.2	0.0817	33	0.45	0.45	1.00
2	16	21.0	19.7	0.3224	12×10 ¹	0.42	0.39	1.08
3	17	26.3	19.8	0.4946	17×10 ¹	0.38	0.35	1.09
4	21	34.6	20.0	0.7551	27×10 ¹	0.40	0.38	1.05
5	29	48.1	26.1	1.5067	65×10 ¹	0.45	0.45	1.00
6	31	51.6	25.0	1.9530	76×10 ¹	0.45	0.44	1.02
7	6	7.7	12.5	0.0301	11	0.41	0.41	1.00
8	7	9.0	10.8	0.0363	12	0.36	0.36	1.00
9	5	10.8	13.5	0.0642	24	0.40	0.42	0.95
10	9	11.9	16.0	0.0857	37	0.44	0.45	0.98
11	14	21.5	20.2	0.2955	95	0.34	0.33	1.03
12	15	23.3	18.6	0.3436	13×10 ¹	0.39	0.39	1.03
13	8	9.7	11.0	0.0416	87×10 ⁻¹	0.36	0.37	0.97
14	6	4.7	8.4	0.0074	23×10 ⁻¹	0.33	0.33	1.00
15	6	8.1	10.6	0.0272	10	0.39	0.39	1.00
16	10	13.0	13.8	0.0830	33	0.43	0.43	1.00

Table 1-16-(2). Continued

No.	Age (years)	DBH (cm)	TH (m)	Volume (m ³)	Dry weight (kg)	Mean specific gravity (g/cm ³)	Average specific gravity at breast height (g/cm ³)	Adjusted coefficient of specific gravity
17	13	19.4	16.3	0.2266	86	0.41	0.40	1.03
18	5	4.0	7.0	0.0052	20×10 ⁻¹	0.42	0.42	1.00
19	5	6.0	8.3	0.0137	48×10 ⁻¹	0.39	0.40	0.98
20	18	28.8	22.5	0.5605	23×10 ¹	0.45	0.45	1.00
21	16	18.9	17.4	0.2235	86	0.42	0.40	1.05
22	14	19.8	21.6	0.3334	13×10 ¹	0.43	0.42	1.02
23	15	11.8	15.9	0.0882	34	0.42	0.42	1.00
24	11	13.0	15.7	0.1195	42	0.38	0.38	1.00
25	6	6.1	8.8	0.0134	45×10 ⁻¹	0.36	0.36	1.00
26	9	10.1	11.3	0.0463	18	0.43	0.44	0.98
27	7	7.9	11.9	0.0262	11	0.41	0.41	1.00
28	7	9.5	12.5	0.0424	16	0.40	0.40	1.00
29	12	13.5	15.6	0.1108	43	0.42	0.41	1.02
30	8	12.1	13.2	0.0722	24	0.36	0.35	1.03
31	5	6.9	11.9	0.0233	87×10 ⁻¹	0.40	0.41	0.98
32	31	40.7	23.5	1.1675	49×10 ¹	0.47	0.47	1.00

Table 1-17-(1). Dry weight and mean specific gravity of sample trees of Tan oak

No.	Age (years)	DBH (cm)	TH (m)	Volume (m ³)	Dry weight (kg)	Mean specific gravity (g/cm ³)	Average specific gravity at breast height (g/cm ³)	Adjusted coefficient of specific gravity
1	6	3.7	5.9	0.0039	19×10 ⁻¹	0.53	0.54	0.98
2	7	4.8	4.8	0.0047	23×10 ⁻¹	0.55	0.54	1.02
3	10	6.8	5.7	0.0135	63×10 ⁻¹	0.50	0.51	0.98
4	5	3.3	6.0	0.0035	17×10 ⁻¹	0.54	0.55	0.98
5	11	5.0	6.3	0.0077	37×10 ⁻¹	0.52	0.53	0.98
6	17	8.9	7.4	0.0273	15	0.60	0.61	0.98
7	5	3.7	5.1	0.0038	19×10 ⁻¹	0.54	0.55	0.98
8	7	5.0	5.3	0.0073	34×10 ⁻¹	0.51	0.52	0.98
9	13	7.0	6.0	0.0138	66×10 ⁻¹	0.52	0.54	0.96
10	7	4.0	6.4	0.0051	25×10 ⁻¹	0.52	0.54	0.96
11	9	5.0	5.9	0.0072	36×10 ⁻¹	0.54	0.55	0.98
12	15	8.3	6.7	0.0213	95×10 ⁻¹	0.52	0.52	1.00
13	12	5.8	6.3	0.0099	46×10 ⁻¹	0.51	0.53	0.96
14	6	3.8	5.2	0.0037	17×10 ⁻¹	0.52	0.52	1.00
15	18	9.9	7.7	0.0314	14	0.51	0.50	1.02

Table 1-17-(2). Continued

No.	Age (years)	DBH (cm)	TH (m)	Volume (m ³)	Dry weight (kg)	Mean specific gravity (g/cm ³)	Average specific gravity at breast height (g/cm ³)	Adjusted coefficient of specific gravity
16	6	3.8	5.8	0.0039	19×10 ⁻¹	0.55	0.54	1.02
17	7	5.0	5.6	0.0068	32×10 ⁻¹	0.51	0.51	1.00
18	13	7.7	6.6	0.0171	82×10 ⁻¹	0.54	0.54	1.00
19	8	4.0	6.4	0.0046	21×10 ⁻¹	0.52	0.53	0.98
20	12	6.6	7.3	0.0141	70×10 ⁻¹	0.55	0.57	0.96
21	22	11.6	10.4	0.0621	28	0.51	0.50	1.02
22	6	3.7	6.1	0.0045	19×10 ⁻¹	0.48	0.49	0.98
23	11	5.0	6.3	0.0070	31×10 ⁻¹	0.49	0.50	0.98
24	16	8.0	6.5	0.0199	96×10 ⁻¹	0.54	0.56	0.96
25	5	3.9	5.6	0.0046	20×10 ⁻¹	0.49	0.50	0.98
26	14	6.0	7.2	0.0121	63×10 ⁻¹	0.57	0.56	1.02
27	15	12.2	10.1	0.0666	31	0.53	0.54	0.98
28	18	14.7	11.7	0.1038	51	0.58	0.56	1.04
29	13	5.9	8.1	0.0154	81×10 ⁻¹	0.59	0.50	1.00
30	8	4.2	5.6	0.0046	19×10 ⁻¹	0.46	0.48	0.96
31	8	3.8	5.9	0.0042	17×10 ⁻¹	0.44	0.45	0.98
32	11	4.9	5.5	0.0069	32×10 ⁻¹	0.54	0.55	0.98
33	12	8.1	7.0	0.0219	10	0.56	0.56	1.00
34	9	5.8	7.4	0.0113	54×10 ⁻¹	0.53	0.54	0.98
35	7	3.9	7.3	0.0055	22×10 ⁻¹	0.46	0.46	1.00
36	16	13.4	8.7	0.0771	35	0.52	0.53	0.98
37	34	17.7	9.2	0.1241	61	0.53	0.53	1.00
38	21	10.4	10.8	0.0493	24	0.55	0.56	0.98
39	28	19.5	14.6	0.2137	10×10 ¹	0.54	0.54	1.00
40	42	28.4	15.2	0.4610	21×10 ¹	0.49	0.47	1.04
41	10	4.5	6.2	0.0057	24×10 ⁻¹	0.47	0.47	1.00
42	20	8.4	8.2	0.0266	14	0.59	0.60	0.98
43	29	15.5	9.5	0.0837	45	0.59	0.60	0.98
44	5	4.3	6.7	0.0053	28×10 ⁻¹	0.61	0.61	1.00
45	13	5.8	7.8	0.0111	51×10 ⁻¹	0.51	0.51	1.00
46	18	10.3	9.8	0.0407	19	0.50	0.51	0.98
47	6	3.8	5.4	0.0044	29×10 ⁻¹	0.49	0.49	1.00
48	6	4.6	6.7	0.0061	27×10 ⁻¹	0.52	0.53	0.98
49	8	6.8	7.2	0.0138	62×10 ⁻¹	0.50	0.51	0.98
50	7	3.9	6.7	0.0050	27×10 ⁻¹	0.63	0.63	1.00
51	8	5.6	7.2	0.0111	59×10 ⁻¹	0.61	0.61	1.00
52	19	9.0	7.5	0.0268	13	0.54	0.54	1.00
53	32	21.7	13.0	0.2490	12×10 ¹	0.52	0.51	1.02
54	33	24.0	13.4	0.2941	13×10 ¹	0.51	0.51	1.00
55	38	26.2	13.5	0.3429	16×10 ¹	0.51	0.51	1.00

2) 標準比重の推定法

予め標準比重がわかっておれば、単木重量は、その標準比重に材積を乗じて容易に求めることができる。従って、重量計測に当っては、標準比重の推定法が重要な課題となるが、いまだに確定した方法がなく、研究者によって種々の方法が用いられている。^{62,119,143)}ここでは、実用的立場から胸高平均比重による間接推定について検討を試みた。

標準比重を求めるためには、いろいろな方法が考えられるが、およそ次のように分類できるであろう。

1. 直接法
2. 間接法
 - (1) 区分法
 - (2) 代用法
 - (3) 間接推定法

直接法は全幹を直接全乾状態にして測定しなければならないので、その設備装置等の制限から実行は極めて困難である。そのため、この種の研究ではもっぱら間接法が用いられる。間接法の中で最も普通に用いられるのは区分法であるが、多数の標本木を対象にする場合には、測定や計算にかなりの時間を要する。また、代用法は標準比重を示す高さを決め、この高さの平均比重で代表させる非常に便利な方法ではあるが、その高さの決定が容易でなく、また普通の円板採取位置とは必ずしも一致しないという欠点がある。間接推定法には、直径や樹高等の測定因子との関係から推定する方法とある特定の高さにおける平均比重との関係を用いる方法の2つが考えられるが、前者は個体間の樹令が異なる場合には相当なバラツキが予想され、また樹令を因子に加えればその関係式は複雑なものになるものと考えられる。後者は特定の高さを胸高に限定すれば非常に便利な方法で、その関係も単純な直線式で表わされることがわかっている。^{34,85)}従って、ここでは胸高平均比重と標準比重の関係を用いる間接推定法について検討した。なお、この場合、推定方法としては回帰推定と比推定の2つが考えられる。回帰推定は、標準比重と胸高における平均比重の関係式を用いる場合であり、比推定は両者の関係が原点を通る直線で表わされるものと仮定して両者の比の平均または平均の比を用いる場合である。

(1) 回帰推定の場合

まず、回帰推定の場合から検討する。

表1-15, 16 および17の資料を用いて標準比重と胸高平均比重の関係を図示すれば図1-1のよ

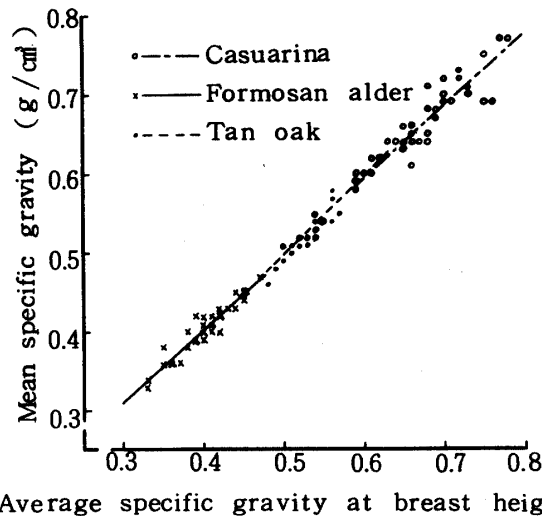


Fig. 1-1. Relation between average specific gravity at breast height and mean specific gravity

うになり、樹種ごとの回帰式は、それぞれ次式のように計算される。

モクマオウ

$$R = 0.07 + 0.88 S \quad (r = 0.933) \quad (1-4)$$

タイワンハンノキ

$$R = 0.04 + 0.90 S \quad (r = 0.952) \quad (1-5)$$

イタジイ

$$R = 0.01 + 0.98 S \quad (r = 0.973) \quad (1-6)$$

ここにR：標準比重

S：胸高平均比重

これらの式は、図1-1でわかるように実測値とよく適合し、相関度も極めて高い。従って、これらの式を用いれば胸高平均比重から容易に標準比重が推定可能である。

そこで、これらの回帰式が年齢によって差があるかどうかを検討するために、まずモクマオウについて5～10年、10年以上の2つの令級に分け、それぞれの回帰式を計算し、共分散分析法で検定した。その結果は、表1-18に示すように令級ごとの回帰式間には差が認められない。すなわち、令級ごとに回帰式を計算する必要のないことがわかったので、つぎに、資料を4～12cmと12cm以上の2つの直径級に区分し、それぞれの回帰式を求めて回帰式間の差の検定を行った。その結果は、表1-19に示すように、やはり有意差は認められない。

Table 1-18. Test of significance of regression equations for Casuarina in each age class by analysis of covariance

Source	SS	DF	MS	F
Within	0.01483389	43	0.00034497	
Reg. diff.	0.00001707	1	0.00001707	0.049 not sig.
Common reg.	0.01485096	44	0.00033752	
Adj. mean	0.00014224	1	0.00014224	0.421 not sig.
General reg.	0.01499320	45		

Table 1-19. Test of significant difference of regression equations for Casuarina in each diameter class by analysis of covariance

Source	SS	DF	MS	F
Within	0.01498731	43	0.00034854	
Reg. diff.	0.00000309	1	0.00000309	0.009 not sig.
Common reg.	0.01499040	44	0.00034069	
Adj. mean	0.00000280	1	0.00000280	0.008 not sig.
General reg.	0.01499320	45		

モクマオウの場合と同様にしてタイワンハンノキおよびイタジイについても令級、径級による差の検定を共分散分析法で行った。その結果、タイワンハンノキは令級ごとに有意差を生じ（表1-20）、令級内での2つの直径級（5～10年は4～10cmと10cm以上、10年以上では12～22cmと22cm以上）

の回帰式間に差のないことがわかった(表1-21)。またイタジイについては、モクマオウと全く同じ結果を得た(表1-22, 23)。ただし、イタジイの場合は、令級区分を5~10年, 10~20年, 20年以上の3つとし、直径級を4~8cmと8cm以上の2つに区分して検定した。

Table 1-20. Test of significance of regression equations for Formosan alder in each age class by analysis of covariance

Source	SS	DF	MS	F
Within	0.00167819	28	0.00005994	
Reg. diff.	0.00005349	1	0.00005349	0.892 not sig.
Common reg.	0.00173168	29	0.00005971	
Adj. mean	0.00172328	1	0.00172328	28.861**
General reg.	0.00345496	30		

Table 1-21. Test of significance of regression equations for Formosan alder in each diameter class by analysis of covariance

Age class	Source	SS	DF	MS	F
5 to 10 years	Within	0.00059443	13	0.00004573	
	Reg. diff.	0.00006531	1	0.00006531	1.428 not sig.
	Common reg.	0.00065974	14	0.00004712	
	Adj. mean	0.00000176	1	0.00000176	0.037 not sig.
	General reg.	0.00066150	15		
Over 10 years	Within	0.00082436	11	0.00007494	
	Reg. diff.	0.00017055	1	0.00017055	2.276 not sig.
	Common reg.	0.00099491	12	0.00008291	
	Adj. mean	0.00002171	1	0.00002171	0.263 not sig.
	General reg.	0.00101669	13		

Table 1-22. Test of significance of regression equations for Tan oak in each age class by analysis of covariance

Source	SS	DF	MS	F
Within	0.00390833	49	0.00007976	
Reg. diff.	0.00049749	2	0.00024875	3.118 not sig.
Common reg.	0.00440582	51	0.00008639	
Adj. mean	0.00051414	2	0.00025707	2.976 not sig.
General reg.	0.00491996	53		

Table 1-23. Test of significance of regression equations for Tan oak in each diameter class by analysis of covariance

Source	SS	DF	MS	F
Within	0.00431947	51	0.00008470	
Reg. diff.	0.00030362	1	0.00030362	3.585 not sig.
Common reg.	0.00462309	52	0.00008891	
Adj. mean	0.00029687	1	0.00029687	3.350 not sig.
General reg.	0.00491996	53		

以上のことから、標準比重の推定に当って標準比重と胸高平均比重の回帰式を用いる場合には、モクマオウとイタジイは令級、径級による差がなく、それぞれ1つの回帰式で推定してもさしつかえないが、タイワンハンノキは令級別に回帰式を決定しなければならないことがわかった。タイワンハンノキの令級別の回帰式を示せばつぎのとおりである。

$$5\sim 10\text{年 } R = 0.03 + 0.92 S \quad (r = 0.981) \quad (1-7)$$

$$10\text{年以上 } R = 0.07 + 0.85 S \quad (r = 0.968) \quad (1-8)$$

ここにR：標準比重

S：胸高平均比重

つぎに、樹種による回帰式間の差の検定を行った結果、表1-24に示すように、回帰係数および修正平均間のいずれにも有意差が認められない。すなわち、3樹種こみにして1つの回帰式を用いて標準比重と胸高平均比重の関係を表わすことができる。これは、標準比重推定の見地から非常に興味のある結果であり、他樹種を加えての検討が望まれるところである。

Table 1-24. Test of significance of regression equations in each species

Source	SS	DF	MS	F
Within	0.02336812	128	0.00018256	
Reg. diff.	0.00050588	2	0.00025294	1.386 not sig.
Common reg.	0.02387400	130	0.00018365	
Adj. mean	0.00028259	2	0.00014130	0.769 not sig.
General reg.	0.02415659	132		

3樹種の全資料から計算された回帰式はつぎのとおりである。

$$R = 0.03 + 0.94 S \quad (r = 0.992) \quad (1-9)$$

ここにR：標準比重

S：胸高平均比重

(2) 比推定の場合

標準比重と胸高平均比重の関係が原点を通る直線で表わされるものと仮定して比推定による方法を検討する。

まず、標準比重と胸高平均比重の比を比重修正係数⁸⁹⁾として、その平均の比を用いることにする。すなわち、比重修正係数は次式で示される。

$$K = \sum R / \sum S$$

ここに K : 比重修正係数

R : 標準比重

S : 胸高平均比重

上式から、比重修正係数Kの値がわかっておれば、その値に胸高平均比重Sを乗ずることによって標準比重Rを得ることができる。いま、各樹種の比重修正係数を計算すると、モクマオウ 0.984、タイワンハンノキ 1.008、イタジイ 0.991となる。

Table 1-25. Test of significance of adjusted coefficients of specific gravity in each age class

Species	Age class	Sample size in number	Adjusted coefficient of specific gravity	Variance	t
Casuarina	5 to 10 years	24	0.990	0.00003403	1.485 not sig.
	Over 10 years	23	0.978	0.00003131	
Formosan alder	5 to 10 years	17	0.991	0.00001749	4.305**
	Over 10 years	15	1.026	0.00004860	
Tan oak	5 to 10 years	25	0.989	0.00001868	0.164 not sig.
	10 to 20 years	21	0.990	0.00001849	1.974 not sig.
	Over 20 years	9	1.004	0.00003906	1.845 not sig.

Example for calculation of the t-value :

$$\begin{aligned}
 t &= |K_1 - K_2| / \sqrt{s_1^2 + s_2^2} \\
 &= |0.990 - 0.978| / \sqrt{0.00003403 + 0.00003131} \\
 &= 1.485
 \end{aligned}$$

Table 1-26. Test of significance of adjusted coefficient of specific gravity in each diameter class

Species	Diameter class	Sample size in number	Adjusted coefficient of specific gravity	Variance	t	
Casuarina	4 to 12cm	20	0.988	0.00003118	0.867 not sig.	
	Over 12cm	27	0.981	0.00003404		
Formosan alder	5 to 10 years	4 to 10cm	11	0.993	0.00001309	0.475 not sig.
		Over 10cm	6	0.988	0.00009759	
	Over 10years	12 to 22cm	8	1.029	0.00008071	0.345 not sig.
		Over 22cm	7	1.024	0.00012952	
Tan oak	4 to 8 cm	22	0.988	0.00001496	1.780 not sig.	
	Over 8 cm	33	0.997	0.00001005		

各樹種の比重修正係数が令級および径級によって差があるかどうか。回帰式の場合と同じ区分で検定したところ、表1-25, 26に示すように、回帰式の場合と同じ結果となった。すなわち、モクマオウとイタジイは令級、径級に区分しないでそれぞれ1つの係数を用いることができるが、台湾ハンノキは令級ごとの係数が必要である。

Table 1-27. Test of significance of adjusted coefficient of specific gravity in each species

Species	Sample size in number	Adjusted coefficient of specific gravity	Variance	t
Casuarina	47	0.984	0.00001709	
Formosan alder	32	1.008	0.00002467	3.714 not sig. 1.220 not sig.
Tan oak	55	0.991	0.00001584	2.671 not sig.

つぎに、樹種ごとの比重修正係間に差があるかどうか検定を行った結果、表1-27からわかるように、モクマオウ、イタジイ間は有意でないが、台湾ハンノキと他の2樹種間には有意な差が認められた。従って、比推定による場合には、回帰推定の場合とは異なり、樹種別に比重修正係数を求めるべきである。

Table 1-28. Error percentage of the regression estimate and the ratio estimate

Species	Error percentage (%)	
	regression estimate	ratio estimate
Casuarina	0.82	0.81
Formosan alder	0.95	1.00
Tan oak	0.50	0.50

いま、回帰推定と比推定の精度を比較検討するために、それぞれの誤差率 ($ts\bar{y}/\bar{y} \times 100$) を計算し表示すれば表1-28のとおりである。これによれば、回帰推定と比推定の誤差率は殆んど差がなく、どちらを用いても胸高における平均比重から標準比重が推定可能であるといえる。

ii 単木重量と直径、樹高ならびに材積との関係

1) 直径との関係

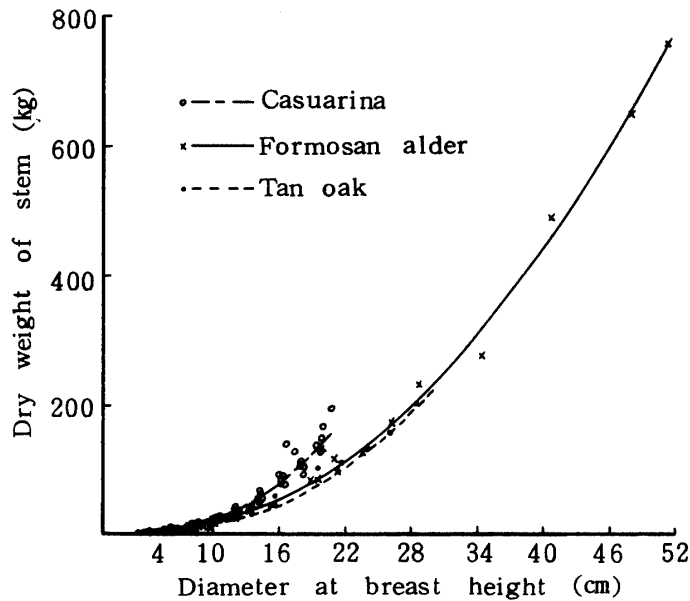


Fig. 1-2. Relation between diameter at breast height and dry weight of stem

単木重量と胸高直径との関係は、図1-2に示すとおりである。すなわち、幹材積と胸高直径の関係にはほぼ類似した傾向を示す。各樹種の両者の関係を表わす式としては、それぞれ次式が最もよく適合する。

モクマオウ

$$\log W = -1.1396 + 2.5399 \log D \quad (1-10)$$

台湾ハンノキ

$$W = 4.2230 - 1.6315 D + 0.3144 D^2 \quad (1-11)$$

イタジイ

$$\log W = -1.0567 + 2.3098 \log D \quad (1-12)$$

ここに W: 単木重量

D: 胸高直径

2) 樹高との関係

単木重量と樹高との関係は、それぞれつぎの対数式で表わすことができる。

モクマオウ

$$\log W = -3.0112 + 4.1293 \log H \quad (1-13)$$

台湾ハンノキ

$$\log W = -4.0151 + 4.7960 \log H \quad (1-14)$$

イタジイ

$$\log W = -3.6120 + 5.1977 \log H \quad (1-15)$$

ここに W：単木重量

H：樹高

図1-3は両者の関係を示したものである。この図から、イタジイの単木重量はモクマオウやタイワンハンノキに比べて樹高の高さに伴う増加の度合いが大きい。

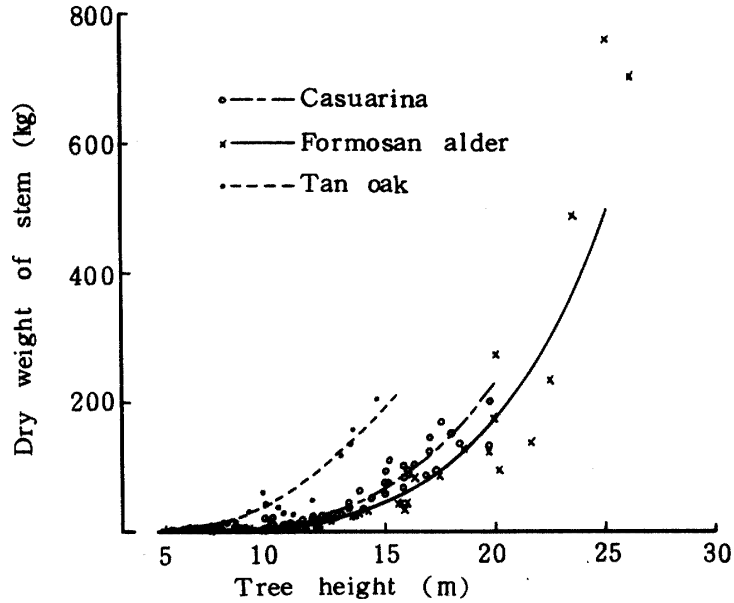


Fig. 1-3. Relation between tree height and dry weight of stem

3) 幹材積との関係

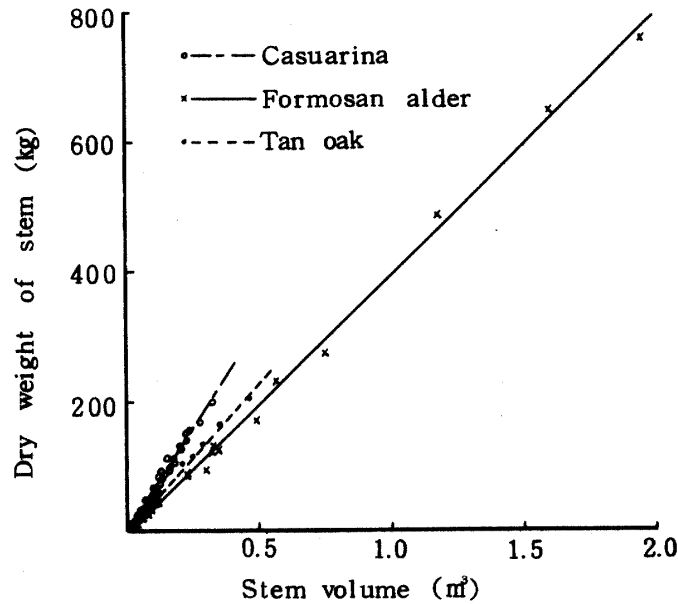


Fig. 1-4. Relation between stem volume and dry weight of stem

単木重量と幹材積との関係は、図1-4に示すように、3樹種とも直線回帰式で表わすことができる。これは、単木重量が材積の影響を強く受け、比重に左右されることが極めて小さいことに起因している。ちなみに、表1-29からわかるように、モクマオウの標準比重は0.58~0.77 g/cm³、台湾ハンノキは0.33~0.47 g/cm³、イタジイは0.44~0.60 g/cm³といずれも比較的狭い範囲内にあることから容易に予想されることである。

Table 1-29. Mean specific gravity in each species

Species	Range (g/cm ³)	Mean (g/cm ³)	Sample size in number	Confidence intervals for mean at 95% confidence coefficient (g/cm ³)
Casuarina	0.58 to 0.77	0.66	47	0.65 to 0.67
Formosan alder	0.33 to 0.47	0.41	32	0.40 to 0.42
Tan oak	0.44 to 0.60	0.53	55	0.52 to 0.54

3樹種の回帰式はそれぞれ次式のとおりである。

モクマオウ

$$W = -2.11 + 640V \quad (r = 0.997) \quad (1-16)$$

台湾ハンノキ

$$W = -2.97 + 398V \quad (r = 0.999) \quad (1-17)$$

イタジイ

$$W = 0.55 + 458V \quad (r = 0.999) \quad (1-18)$$

ここに W : 単木重量

V : 幹材積

これらの式から両者の関係を比較検討すると、比重の大きい順に、すなわち、モクマオウ、イタジイ、台湾ハンノキの順に勾配が大きくなっていることがわかる。

また、上式はいずれも相関度が高く実測値との適合もよい。従って、これらの式を用いて材積を材積に変換し、重量表を作成することも可能であると考えられるが、実際に、これらの関係式から求めた重量は、つぎに述べる重量回帰式に基づく重量や実測値と比較して、直径およそ10cm以上に対してはよく適合するが、それ以下の小径木に対しては、モクマオウと台湾ハンノキが過小となり、イタジイは逆に過大となることがわかった。そのため、重量表調製に当っては、つぎに述べる重量式を用いることにした。

iii 重量回帰式の誘導

平井²⁶⁻³²⁾は林木の重量生長に関する一連の研究報告を行い、林分重量の推定に当って、林分材積測定における直径級法に準じた方法を用いている。すなわち、直径級の断面積合計を標準木の断面積計で除し、標準木重量を乗じて各直径級の重量を求め、これを合計して林分重量とした。この方法は、一斉同令林では断面積平均木と重量平均木がほぼ一致し、¹¹⁴⁾また同じ直径級に属する林木の標準比重はあまり変動が大きいことが予想されるので、同一樹種で同令林分に対しては有効な方法と考えられるが、天然生広葉樹林のような異令混交林で複層林形を呈している林分では適用し難い。従って、異令林では個々の林木について重量を求める必要があるであろう。そのため、本研究では単木重量式を誘導し、これによって重量表の調製を試み、林分重量の推定を行うことにした。

重量式としては、単木重量と直径および樹高の関係が、幹材積とそれらの関係に極めてよく類似した

傾向を示すことから、材積式と同じ公式を用いることにした。すなわち、 $W = aD^bH^c$ W : 単木重量、 D : 胸高直径、 H : 樹高、 a, b, c : 定数) の対数式を用いて単木重量を表わすことにした。

この場合の資料は既に表 1-15, 16 および 17 に掲げてある。すなわち、モクマオウ 47 本、台湾ハンノキ 32 本、イタジイ 55 本の標本木を資料とした。

これらの資料に基づき、単木重量回帰式を計算すると、それぞれ次式のようになる。

モクマオウ

$$\log W = -1.5692 + 1.9540 \log D + 0.9526 \log H \quad (1-19)$$

台湾ハンノキ

$$\log W = -2.0250 + 1.6414 \log D + 1.4905 \log H \quad (1-20)$$

イタジイ

$$\log W = -1.4629 + 1.9399 \log D + 0.8325 \log H \quad (1-21)$$

ここに W : 単木重量

D : 胸高直径

H : 樹高

つぎに、これらの式の精度を検討するために、重量の残差の百分率誤差および平均値の誤差率を計算した。その結果は表 1-30 のとおりである。この表から、各樹種の重量式は材積式に比べてややその精度は劣るが、平均値の誤差率は 2% 前後で、実際に適用するにはさしつかえないものと考えられる。従って、上記重量式に基づき、それぞれ表 1-31, 32 および 33 のように単木重量表を作成した。

Table 1-30. Error of the weight equations

Species	Residual variance	Sample size in number	Standard error of estimate	Standard error of mean	Error percentage (%) of estimate of mean	
Casuarina	0.07959020	47	0.0425	0.0062	10.3	1.4
Formosan alder	0.09651379	32	0.0577	0.0102	14.2	2.3
Tan oak	0.13993373	55	0.0519	0.0070	12.7	1.6

Table 1-31. Stem weight table for Casuarina

Tree height in meters	Diameter at breast height in centimeters								
	4	6	8	10	12	14	16	18	20
3	1.2								
4	1.5	3.3							
5	1.9	4.1	7.3	11					
6	2.2	4.9	8.6	13	19	26			
7	2.6	5.7	10	16	22	30	39	49	
8	2.9	6.5	11	18	25	34	44	56	68
9	3.3	7.3	13	20	28	38	50	62	76
10	3.6	8.0	14	22	31	42	55	69	84
11	4.0	8.8	16	24	34	46	60	75	93
12	4.3	9.5	17	26	37	50	68	82	100
13		10	18	28	40	54	70	88	110
14			19	30	43	58	75	95	120
15				32	46	62	80	100	120
16					49	66	85	110	130
17					52	70	90	110	140
18						74	95	120	150
19							100	130	160
20								130	160

Table 1-32. Stem weight table for Formosan alder

Tree height in meters	Diameter at breast height in centimeters													
	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
3	0.5													
4	0.7	1.4												
5	1.0	2.0	3.2											
6	1.3	2.6	4.1	6.0										
7	1.7	3.3	5.2	7.5	10									
8	2.0	4.0	6.4	9.2	12	16	20							
9	2.4	4.7	7.6	11	15	19	24	29						
10	2.8	5.5	8.9	13	17	22	28	34	40					
11	3.3	6.4	10	15	20	26	32	39	46	54				
12	3.7	7.3	12	17	23	29	36	44	52	61	71	81		
13		8.2	13	19	26	33	41	50	59	69	80	91	100	
14			15	21	29	37	46	55	66	77	89	100	110	130
15				23	32	41	51	61	73	85	99	110	130	140
16					35	45	56	68	80	94	110	120	140	160
17						49	61	74	88	100	120	140	150	170
18							66	81	96	110	130	150	170	190
19								87	100	120	140	160	180	200
20									110	130	150	170	190	220
21									120	140	160	190	210	230
22										150	170	200	220	250
23											190	210	240	270
24												230	260	290
25													270	300

重のみから重量の推定が可能となる。しかしながら、この高さは普通の円板採取位置とは必ずしも一致せず、また樹種によってかなり不便なカ所になる場合が考えられる。そこで、本研究においては、この高さを胸高に限定した場合について検討を試みた。すなわち、胸高平均比重との関係から間接的に推定する方法について検討した。その結果、回帰推定か比推定を用いて、極めて高い精度で標準比重を推定することが可能であることがわかった。特に、比推定による方法は、たとえ樹種別の比重修正係数が必要だとしても、計算の煩雑さがなく有用性の高い方法と考えられる。

4) 単木重量は、比重の変動範囲が比較的小さいために、材積の大きさに左右されることが大きく、従って、幹材積との関係は極めて相関の高い一次回帰式で表わされる。これは、関屋¹¹⁴⁾のアカマツ、安里⁵⁾のコジイに対する研究結果とも一致することから、どの樹種についても両者の関係においては直線式が成立するものと思われ。また、両者の関係式を用いれば、材積表から重量表への移行も可能であるが、小径木に対する適合度が悪い。そのため、重量表の調製に当っては重量式の誘導が必要である。

5) 単木重量式として直径、樹高を独立変数とした対数式を用いたが、各樹種の平均値の誤差率は2%前後で実際に適用するにはさしつかえないものと思われる。そのため、この重量式に基づき重量表を調製した。なお、単木の重量表としては、C. E. MCGEE⁶⁾のスラッシュマツ造林木の利用重量表の例はあるが、わが国においてはその調製を試みた報告例はない。

第2章 林分材積と林分重量の基礎的關係

本章においては、重量収穫の予測を前提として、既往における重量収穫予測に関する諸種の研究成果を概略的に述べ、ついで本研究における重量収穫予測法に対する基本的構想を明らかにする。また、そのための資料の収集と標本の構成内容についてふれ、これに基づいて次章の重量収穫予測の基礎的關係になるところの林分材積と林分重量の関係式の誘導を試みる。

I 既往の重量収穫予測に関する研究概要

既往における重量生長に関する研究から、その予測法についてみると、まず、辻本¹⁴³⁾は、年令、直径、樹高を独立変数として単木の全乾比重式を計算し、この比重を容積密度数へ変換してある特定の年令、直径および樹高に対する容積密度数を求め、これより単木重量式を誘導した。ついで、この単木重量式から林分重量を推定し、これをその林分の材積で除して林分の容積密度数を求め、これと年令、平均直径および平均樹高との重回帰式を導き、これを用いて材積収穫表から重量収穫表を調製し、重量収穫を予測した。関屋は各林分の平均木(この際、予備調査によって材積平均木と重量平均が一致することを確かめている)の標準比重と年令の関係式を用いて重量収穫表の調製を行い、柿原⁴⁸⁾は年令、直径、樹高との関係から別々に計算して得られた重量を平均して平均木の重量を求め、さらに同様な方法で求めた平均木の標準比重に平均材積を乗じて得られる重量とを比較して各令階の平均木重量を求め、これにha当り立木本数を乗じて重量収穫表を調製した。また、妹尾¹¹⁹⁾は林分の標準容積密度数を材積を重みとした加重平均で求め、これと年令の関係から重量収穫を予測し、安里⁵⁾は単木の標準比重を年令および直径との重回帰式から求め、これによって重量収穫表を調製した。

以上の研究は、全て年令を含む因子と単木重量または標準比重、あるいは林分標準比重の関係を用いて重量収穫を予測しようとする点で共通している。

しかしながら、天然生広葉樹林のような異令林では年令査定が困難なため、重量収穫の予測に当っては年令を含まない因子からの予測方法を検討すべきであろう。また、単木重量表が予め調製されており、

林分重量が推定されている場合には、単木または林分の標準比重などを媒介にするよりもむしろこの林分重量を用いての予測が適切であろう。このような観点に基づき、本研究では、林分材積と林分重量が極めてよく対応し、推定精度の良いことを利用して重量収穫の予測を行うことにした。すなわち、林分材積と林分重量の関係式を導き、この関係式へ材積収穫表の幹材積を代入することによって重量へ変換し、重量収穫表を調製した。この手法は、後述するように、直接年令と林分重量の関係から材積収穫表調製と同様な方法で独自に重量収穫表を調製した場合、あるいは辻本¹⁴⁸⁾の手法のように年令と林分比重の関係から間接的に調製した場合のいずれともほぼ同じような結果を与え、また、年令や地位とは無関係にいかなる材積収穫表からでも簡単に重量収穫表を得ることができ、現実林に対しても直ちに適用できる。

II 資料の基本的構成内容

本研究においては、まず、沖縄の広葉樹をイタジイを主体とする天然生広葉樹、海岸地帯に生育するモクマオウおよび里山から山地にかけて分布するタイワンハンノキの3つの樹種に属し、各層内から地区別、令階別にプロット単位の標本を抽出し、ついで、このプロット内から直径階ごとに何本かの標本木を副次的に選定し、必要な因子の測定を実施して単木の分析資料とした。すなわち、この標本木は、第1章の単木における材積ならびに重量の解析資料として使用されると共にこの1部は第4章の単木の重量利用率の検討資料となる。つぎに、第1章の単木についての研究成果をプロットへ適用することによって、プロット単位での資料が得られ、年令、直径、樹高等の各種の測定値と併せて本章および次章以下の林分に対する分析資料として用いられる。

具体的には、例えば、モクマオウ林は沖縄本島、伊是名島、伊江島、宮古島の各島にまたがって、年令4～39年の林分を対象に51カ所の20m×20mを基準としたプロットを設定し、この中から原則として直径階ごとに155本の標本木を選定した。これらの標本木について樹幹析解を実施すると共に分析に必要な各種の因子の測定を行い、第1章の材積式計算資料に使用した。また、その中の47本については各円板から供試片を抽出して比重測定を行い、重量を求めて重量回帰式の計算ならびに標準比重推定の検討資料に供した。ついで、この47本の重量計測木の内36本について重量利用率を算出し、その分析資料に用いた。つぎに、第1章の材積表ならびに重量表を51ヶ所のプロットに適用して林分材積と林分重量を得、各種の測定因子と併せて本章および第3章、第4章の林分解析資料に供する。

このような資料の構成内容は、基本的にはタイワンハンノキおよび天然生広葉樹林についても同様である。ただし、タイワンハンノキは林分としての分布が沖縄本島北部に集中するため、その調査資料もこの地域に限定され、天然生広葉樹林は沖縄本島および西表島で資料の収集がなされた。

いま、本章および次章に用いられる資料を一括して表示すれば、表2-1, 2および3のとおりである。

Table 2-1-(1). Measurement of sample plot of Casuarina forest

Plot No.	Location	Mean			per hectare			Mean specific gravity of stand (ton/m ³)
		Age (years)	DBH (cm)	TH (m)	Tree number	Volume (m ³)	Weight (ton)	
1	Sakiyama, Nakizin-son	9	6.6	9.0	4,400	86	50	0.58
2	Ginoza, Ginoza-son	9	7.9	10.3	3,940	113	67	0.59
3	Sokei, Ginoza-son	9	6.9	9.5	4,450	98	58	0.59

Table 2-1-(2). Continued

Plot No.	Location	Mean			per hectare			Mean specific gravity of stand (ton/m ³)
		Age (years)	DBH (cm)	TH (m)	Tree number	Volume (m ³)	Weight (ton)	
4	Kohensoko, Nago City	10	9.0	11.6	3,500	152	91	0.60
5	Atta, Onna-son	5	4.6	7.0	6,967	64	36	0.56
6	Onna, Onna-son	6	5.6	8.1	5,250	77	44	0.57
7	Afuso, Onna-son	9	7.9	10.0	4,133	127	75	0.59
8	Afuso, Onna-son	9	7.9	9.5	3,625	106	62	0.58
9	Hentona, Kunigami-son	15	12.4	13.2	2,000	181	110	0.61
10	Uchihana, Ijena-son	12	8.3	11.1	3,525	142	86	0.61
11	Uchihana, Ijena-son	12	9.8	12.4	2,300	130	79	0.61
12	Uchihana, Ijena-son	12	10.9	12.4	1,700	115	70	0.61
13	Uchihana, Ijena-son	12	12.7	12.6	1,150	101	62	0.61
14	Uchihana, Ijena-son	8	7.6	10.6	3,535	113	67	0.59
15	Higashimaehama, Ie-son	13	9.5	12.0	2,625	132	80	0.61
16	Kawahira, Ie-son	4	4.3	4.7	5,500	30	16	0.53
17	Taira, Higashi-son	6	5.4	7.6	4,050	52	31	0.60
18	Taira, Higashi-son	5	4.3	6.0	6,000	34	18	0.53
19	Nishinaka, Hirara City	8	8.7	9.0	2,650	80	47	0.59
20	Kadokaru, Shimoji-cho	7	7.3	7.0	3,700	61	34	0.56
21	Nishizato, Hirara City	5	4.6	4.6	5,675	31	16	0.52
22	Irieshita, Shimoji-cho	6	5.6	5.9	6,300	57	31	0.54
23	Kyoda, Nago City	5	5.2	6.9	7,300	65	36	0.55
24	Kyoda, Nago City	14	10.9	12.7	1,800	128	79	0.62
25	Atta, Onna-son	9	8.3	9.4	3,000	100	59	0.59
26	Afuso, Onna-son	6	4.7	8.7	10,400	81	44	0.54
27	Afuso, Onna-son	7	6.1	8.6	5,200	78	44	0.56
28	Yamada, Onna-son	13	11.4	11.2	2,500	180	110	0.61
29	Nakadomari, Onna-son	10	8.7	9.7	3,600	147	88	0.60
30	Fuchaku, Onna-son	11	10.8	11.4	2,400	138	83	0.60
31	Fuchaku, Onna-son	11	10.4	11.2	3,250	173	100	0.57
32	Onna, Onna-son	10	7.8	8.2	3,625	94	55	0.59
33	Onna, Onna-son	6	6.3	8.0	5,750	90	51	0.57
34	Onna, Onna-son	8	8.3	9.7	4,200	144	84	0.58

Table 2-1-(3). Continued

Plot No.	Location	Mean			per hectare			Mean specific gravity of stand (ton/m ³)
		Age (years)	DBH (cm)	TH (m)	Tree number	Volume (m ³)	Weight (ton)	
35	Afuso, Onna-son	13	11.3	11.6	2,625	182	110	0.60
36	Afuso, Onna-son	13	10.7	11.4	3,575	226	140	0.62
37	Inbu, Onna-son	38	23.1	17.8	800	365	230	0.63
38	Yaga, Nago City	7	6.6	7.8	3,950	79	46	0.58
39	Gabu, Nago City	23	17.4	17.6	1,500	266	160	0.60
40	Oyadomari, Nakijin-son	34	21.6	16.9	1,078	309	190	0.61
41	Hirukidabaru, Kin-son	11	9.4	9.7	3,075	160	93	0.58
42	Namisato, Kin-son	12	11.3	10.6	2,500	165	97	0.59
43	Kanna, Ginoza-son	5	5.9	7.3	5,900	73	41	0.56
44	Ginoza, Ginoza-son	13	11.8	11.4	2,850	201	120	0.60
45	Ginoza, Ginoza-son	8	8.1	8.3	3,825	112	65	0.58
46	Yonamine, Nakijin-son	39	22.2	15.3	1,013	295	180	0.61
47	Yonamine, Nakijin-son	39	21.7	15.0	1,200	334	210	0.63
48	Nakaiho, Sashiki-son	7	6.3	7.3	5,000	77	43	0.56
49	Katabaru, Ginoza-son	10	9.7	10.1	3,700	191	120	0.63
50	Katabaru, Ginoza-son	14	12.4	12.2	2,350	211	130	0.62
51	Sokei, Ginoza-son	10	9.0	10.0	2,825	107	63	0.59

Table 2-2-(1). Measurement of sample plot in Formosan alder forest

Plot No.	Location	Mean			per hectare			Mean specific gravity of stand (ton / m ³)
		Age (years)	DBH (cm)	TH (m)	Tree number	Volume (m ³)	Weight (ton)	
1	Yona, Kunigami-son	11	14.4	17.3	2,225	336	140	0.42
2	Taiho, Ogimi-son	15	12.0	13.9	2,150	210	78	0.37
3	Taiho, Ogimi-son	11	10.6	11.0	2,725	166	59	0.36
4	Taiho, Ogimi-son	6	7.4	9.0	3,689	99	35	0.35
5	Hentona, Kunigami-son	6	6.4	7.6	7,030	114	38	0.33
6	Hentona, Kunigami-son	12	7.5	11.1	3,350	136	52	0.38
7	Hentona, Kunigami-son	12	7.0	10.1	3,700	116	46	0.40
8	Hentona, Kunigami-son	7	8.2	9.8	3,663	144	49	0.34
9	Hentona, Kunigami-son	5	4.2	6.1	6,963	53	16	0.30
10	Hentona, Kunigami-son	13	12.0	11.9	2,000	275	100	0.36
11	Hentona, Kunigami-son	10	5.7	8.7	5,800	116	37	0.32
12	Sosu, Kunigami-son	31	24.2	19.7	588	377	140	0.37
13	Takazato, Ogimi-son	6	7.7	8.2	2,800	87	30	0.34
14	Takazato, Ogimi-son	7	8.6	8.7	3,800	157	53	0.34
15	Takazato, Ogimi-son	5	7.1	8.5	5,400	127	44	0.35
16	Takazato, Ogimi-son	9	9.5	9.6	3,155	147	52	0.35
17	Yona, Kunigami-son	11	10.9	11.1	3,450	246	89	0.36
18	Sate, Kunigami-son	10	11.3	10.6	2,975	206	73	0.35
19	Sate, Kunigami-son	8	9.2	9.1	4,500	175	60	0.34
20	Hentona, Kunigami-son	6	6.7	8.7	4,150	93	33	0.35
21	Hentona, Kunigami-son	12	11.6	11.6	3,150	214	77	0.36
22	Hentona, Kunigami-son	13	14.3	12.8	1,980	229	83	0.36
23	Hentona, Kunigami-son	5	6.2	7.1	5,500	73	23	0.32
24	Hentona, Kunigami-son	14	12.6	12.4	2,017	256	100	0.39
25	Hentona, Kunigami-son	18	16.2	15.0	1,275	265	100	0.38
26	Hentona, Kunigami-son	16	14.9	14.1	2,100	347	130	0.37
27	Hentona, Kunigami-son	15	15.5	15.0	1,750	296	110	0.37

Table 2-2-(2). Continued

Plot No.	Location	Age (years)	Mean		per hectare			Mean specific gravity of stand (ton/m ³)
			DBH (cm)	TH (m)	Tree number	Volume (m ³)	Weight (ton)	
28	Hentona, Kunigami-son	12	12.8	12.8	2,325	259	99	0.38
29	Takazato, Ogimi-son	6	6.4	7.8	5,600	90	30	0.33
30	Janagusuku, Ogimi-son	9	10.2	10.9	2,950	198	74	0.37
31	Janagusuku, Ogimi-son	7	7.4	9.4	4,950	139	50	0.36
32	Janagusuku, Ogimi-son	13	9.7	11.3	4,050	266	100	0.38
33	Janagusuku, Ogimi-son	8	8.6	10.1	3,950	155	56	0.36
34	Janagusuku, Ogimi-son	5	6.2	8.1	7,400	110	38	0.35
35	Janagusuku, Ogimi-son	10	10.3	11.3	3,750	225	81	0.36
36	Janagusuku, Ogimi-son	11	11.1	11.7	3,075	264	100	0.38
37	Iji, Kunigami-son	12	11.9	13.1	2,150	209	79	0.38
38	Taminato, Ogimi-son	8	8.1	10.3	4,900	163	58	0.36
39	Taminato, Ogimi-son	6	6.6	8.9	5,300	107	38	0.36
40	Taminato, Ogimi-son	9	9.1	10.5	3,733	168	59	0.35
41	Taiho, Ogimi-son	7	7.1	9.4	6,100	155	55	0.35
42	Hanji, Kunigami-son	15	14.0	14.0	2,125	317	120	0.38
43	Hanji, Kunigami-son	7	7.7	8.7	4,500	131	46	0.35
44	Hanji, Kunigami-son	14	14.9	14.5	2,033	298	110	0.37
45	Genka, Nago City	14	13.7	15.0	1,600	230	90	0.39
46	Genka, Nago City	20	19.7	16.7	1,500	342	130	0.38
47	Genka, Nago City	9	8.3	10.2	2,650	107	39	0.36
48	Genka, Nago City	8	7.6	9.2	3,600	101	36	0.36
49	Genka, Nago City	12	11.2	12.4	2,000	177	67	0.38
50	Genka, Nago City	16	15.9	15.0	1,750	354	140	0.40

Table 2-3. Measurement of sample plots in natural broad leaved forest

Plot No.	Location	Mean			per hectare		Mean specific gravity of stand (ton / m ³)
		Age (years)	DBH (cm)	TH (m)	Tree numer	Volume (m ³)	
1	To-subcomp., 9-comp., Kunigami-national forest	11	5.3	4.9	7,800	64	0.50
2	He-subcomp., 9-comp., Kunigami-national forest	12	5.9	5.5	8,525	119	0.50
3	I-subcomp., 56-comp., Kunigami-communal forest	12	5.1	5.5	11,775	100	0.46
4	I-subcomp., 14-comp., Kunigami-national forest	13	5.6	5.7	10,350	108	0.49
5	Ro-subcomp., 14-comp., Kunigami-national forest	15	5.7	5.8	10,675	114	0.49
6	Ho-subcomp., 13-comp., Kunigami-national forest	16	5.7	5.9	10,925	124	0.49
7	I-subcomp., 36-comp., Kunigami-national forest	16	5.6	5.5	8,875	96	0.50
8	I-subcomp., 13-comp., Kunigami-national forest	17	6.7	6.5	8,000	141	0.49
9	I-subcomp., 12-comp., Kunigami-communal forest	17	6.6	6.9	8,500	171	0.47
10	Ro-subcomp., 56-comp., Kunigami-communal forest	21	6.2	6.2	9,975	137	0.47
11	209-comp., Iriomote-national forest	22	7.8	6.5	4,275	132	0.51
12	Ni-subcomp., 41-comp., Kunigami-national forest	27	7.3	6.8	6,550	162	0.49
13	I-subcomp., 44-comp., Kunigami-national forest	27	5.5	5.8	10,900	111	0.50
14	138-comp., Iriomote-national forest	27	8.7	6.6	3,225	156	0.52
15	208-comp., Iriomote-national forest	28	8.9	7.3	3,050	111	0.51
16	184-comp., Iriomote-national forest	30	8.6	6.5	3,700	157	0.49
17	I-subcomp., 46-comp., Kunigami-national forest	35	7.3	6.5	6,675	183	0.49
18	I-subcomp., 47-comp., Kunigami-national forest	37	7.4	7.4	7,275	239	0.50

なお、各プロットについて収穫予測に必要な年令の査定ならびに直径と樹高の測定を実施した。

年令は、モクマオウ林および台湾ハンノキ林については、標本木の地上高 0.2 m における年輪数で査定し、天然生広葉樹林については、その林分上層木から選定された標本木の内、最も年令の高いものを採用した。

胸高直径は 1.2 m の位置を輪尺を用いて 2 cm 括約で 4 cm 以上の立木を対象にして測定し、樹高は測竿を用いて 1 m 単位で計測した。

Ⅲ 林分材積と林分重量の関係

まず、モクマオウ林の林分材積と林分重量の関係について、表 2-1 に掲げた資料にもとづいて検討を試みる。

いま、林分材積を x 、林分重量を y とすれば、両者の間には一次回帰式 $y = a + b x$ が成立するものと想定される。これによって、最小自乗法の計算ならびに分散分析を行い、その結果を示せば、表 2-4 および 5 のとおりである。

Table 2-4. Solution system of regression to stand weight and stand volume for Casuarina forest

	n	x	y
1	51	6852.2	4105.4
x		1214152.16	737390.93
y			448231.22
	134.3569	293512.0651	185802.2657
	80.4980		117754.5698
	0.6330		135.9570

Table 2-5. Analysis of variance of regression

Source	S S	DF	M S	F
Constant	330476.65	1	330476.65	119305.65 **
Reg. on x	117618.61	1	117618.61	42461.59 **
Error	135.96	49	2.77	
Total	448231.22	51		

すなわち、定数、回帰の項とも著しく有意となるため、回帰式は、

$$y = -4.55 + 0.6330 x \quad (2-1)$$

となり、また、相関係数 r および平均値の標準誤差 $s_{\bar{y}}$ は、つぎのように計算される。

$$r = \frac{\sum(x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x - \bar{x})^2 \sum(y - \bar{y})^2}}$$

$$= 185802.67 / \sqrt{293512.07 \times 117754.57}$$

$$= 0.999$$

$$s_{\bar{y}} = \sqrt{s^2/n} = \sqrt{2.77/51} = \pm 0.23 \text{ ton}$$

さらに、推定精度は、

$$s_{\bar{y}} / \bar{y} \times 100 = 0.23 / 80.50 \times 100 = 0.3\%$$

となる。

従って、林分材積と林分重量の関係は、一次式で表わされ、その相関は極めて高く、推定精度も非常によいといえる。ちなみに、両者の関係を図示すれば、図2-1のとおりである。

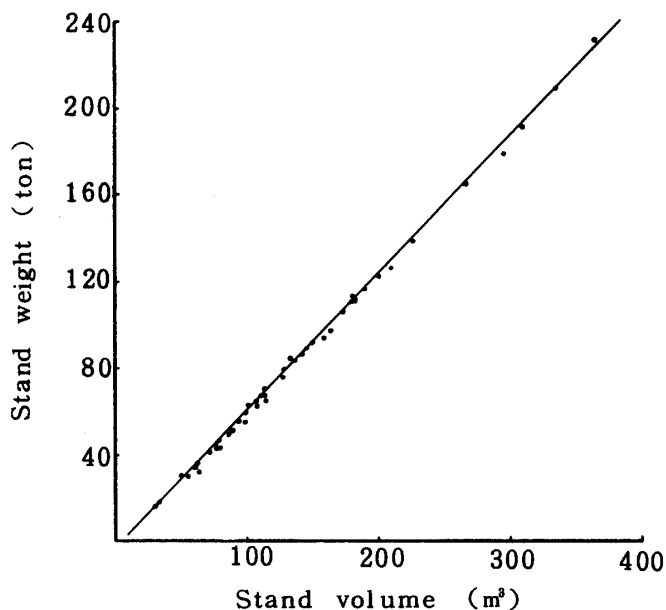


Fig. 2-1. Relationship between stand volume and stand weight per hectare in Casuarina stand

つきに、台湾ハンノキ林についても同様にして、表2-2の資料に基づき回帰式の計算および分散分析を行った。その結果は、表2-6および7のとおりである。

Table 2-6. Solution system of regression to stand weight and stand volume for Formosan alder forest

	n	x	y
1	50	9619.6	3562.4
x		2201154.46	828044.45
y			312313.70
192.392		350420.3768	142667.1892
71.248			58499.8248
0.4071			415.5117

Table 2-7. Analysis of variance of regression

Source	S S	DF	M S	F
Constant	253813.88	1	253813.88	29308.76**
Reg. on x	58084.31	1	58084.31	6707.20**
Error	415.51	48	8.66	
Total	312313.70	50		

これにより、回帰式、相関係数、平均値の標準誤差および誤差率は、それぞれつぎのように計算される。

回帰式 $y = -7.08 + 0.4071x$ (2-2)

相関係数 $r = 142667.19 / \sqrt{350420.38 \times 58499.82}$
 $= 0.996$

平均値の標準誤差 $s_{\bar{y}} = \sqrt{8.66150} = \pm 0.42 \text{ ton}$

推定誤差率 $s_{\bar{y}} / \bar{y} \times 100 = 0.42 / 71.25 \times 100 = 0.6\%$

また、この回帰式による推定値と実測値との対応を示せば、図2-2のとおりである。

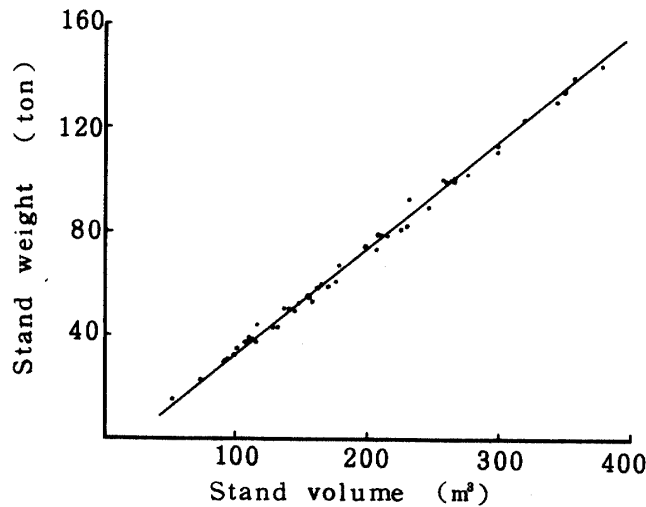


Fig. 2-2. Relationship between stand volume and stand weight per hectare in Formosan alder stand

さらに、天然生広葉樹林についても同様にして、表2-3の資料を用いて表2-8および9のように計算される。

Table 2-8. Solution system of regression to stand volume and stand weight for natural broad leaved forest

	n	x	y
1	18	2425	1191.2
x		353305	173271.1
y			85044.0
	134.7222	26603.6111	12789.9889
	66.1778		6213.0311
	0.4808		64.0983

Table 2-9. Analysis of variance of regression

Source	S S	DF	M S	F
Constant	78830.97	1	78830.97	19658.60 **
Reg. on x	6148.93	1	6148.93	1533.40 **
Error	64.10	16	4.01	
Total	85044.00	18		

すなわち、回帰式は、 $y = 1.41 + 0.4808x$ (2-3), 相関係数 $r = 0.995$, 平均値の標準誤差 $S_{\bar{y}} = \pm 0.47$ ton となり、推定の誤差率は0.7%と計算される。また、回帰式に基づく推定値と実測値との間の関係は図2-3に示すとおりで、両者はよく対応していることがわかる。

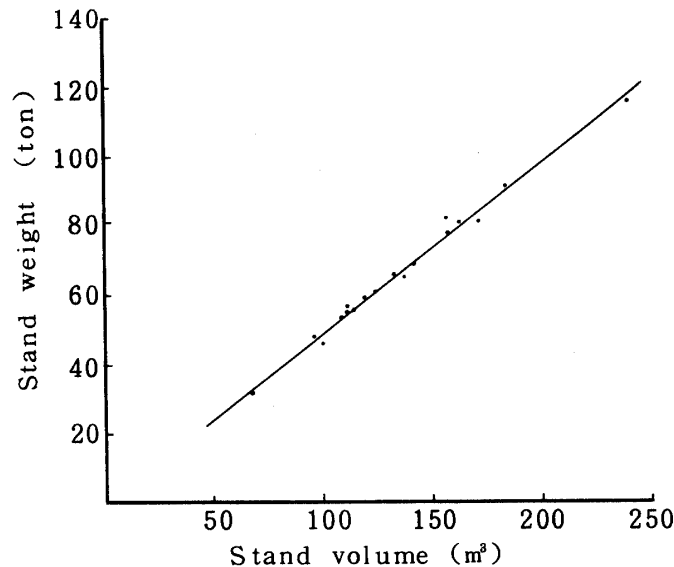


Fig. 2-3. Relationship between stand volume and stand weight per hectare in natural broad leaved forest

IV 考 察

従来、重量収穫の予測に当っては、林分標準比重あるいは単木の重量や標準比重などの年令を含む各種の因子に対する重回帰式が用いられてきた。^{5, 48, 114, 119, 143)}しかし、本研究では年令や地位を考慮することなく容易に重量収穫が予測できる方法として、林分材積と林分重量との間の関係が極めて深いことを利用することにし、本章においてその関係式の誘導を試みた。その結果、相関係数モクマオウ林0.999, タイワンハンノキ林0.996, 天然生広葉樹林0.995といずれも高く、また、回帰からの推定誤差率もモクマオウ林0.3%, タイワンハンノキ林0.6%, 天然生広葉樹林0.7%と極めて精度の高い回帰式を得た。従って、これからの回帰式を用いて材積を重量に、極めて簡単に、しかも非常に高精度で換算することができるといえよう。

つぎに、3樹種の回帰式の回帰係数を比較すると、モクマオウ林が最も大きく、ついで天然生広葉樹林、タイワンハンノキ林の順となる。これは、林分比重に起因するものであって、林分比重の大きい樹種ほど係数が大きくなっており、表2-10の共分散分析表に示すように、これらの係数間には著しく有意の差を生ずる。従って、本研究の資料収集に当って、沖縄の広葉樹をこれら3つの樹種に層化したのは、

Table 2-10. Test of significant difference of regression equations by analysis of covariance

Source	S S	DF	M S	F
Within	615.57	113	5.45	
Reg. diff.	8172.99	2	4086.50	749.82 **
Common reg.	8788.56	115	76.42	
Adj. mean	733806.63	2	366903.32	4801.14 **
General reg.	742595.19	117		

重量収穫予測の立場からも妥当性のあるものといえよう。

第3章 林分の重量収穫の予測および重量生長経過の検討

林業の生産目標は、従来、生産材の用途によって用材林と薪炭林に区分されている。しかしながら、近年、木材を原料とする第2次産業が発達し、原料材としての木材の需要が著しく増加したために、木材の需要構造は、従来の用材、薪材の区分から構造材、原料材、燃料材の区分へ変わりつつある³⁴⁾。そのため、林業の生産目標も、このような木材の需要構造の変化に対応して、構造材生産、原料材生産、燃料材生産の3つに区分して考えられるようになった。この場合、構造材は木材の原形的利用を目的とし、原料材は木材組成物質すなわち有機物の利用を目的とし、燃料材は木材の有する熱量の利用を目的とすることはいうまでもない。

一方、従来の用材、薪材の区分においては、その評価の指標としてもっぱら材積が用いられてきたため、林業の生産技術もまた材積に主眼がおかれ、その生長の最大を目差して努力が払われてきた。しかしながら、林業生産の目標が上記の3つに区分されるならば、その評価の尺度もそれぞれに対応して、材積、重量、熱量をもって当てるのが適切であり、生産技術もまたそれぞれの生産目標に即した体系づけを行うのが合理的であると考えられる。

このような観点から、本章では重量収穫の予測を試み、その生長経過の特性を明らかにした。

I 年令を基準とした重量収穫予測

i 材積収穫表に基づく重量収穫予測

1) 材積収穫の予測

重量収穫を予測するに当っては、まず材積収穫量の把握が必要となる。そのため、最初に材積収穫表の調製を行わねばならないが、天然広葉樹林については既に調製されたものがある¹³⁰⁾、これを用いることにし、ここでは、モクマオウ林とタイワンハンノキ林について新たに調製を試みた。調製資料は表2-1および2に掲げてある。

(1) 資料の吟味

資料は、林野庁の林分収穫表調製要綱¹⁰⁵⁾に従って吟味した。すなわち、つぎの各項の関係を検討し、一般的傾向と著しく差のある標準地はこれを棄却した。

イ) 年令に対するha当り本数

ロ) 年令に対するha当り幹材積

ハ) 年令に対する平均胸高直径

ニ) 年令に対する平均樹高

ホ) 平均胸高直径に対するha当り本数

以上の関係を図示し、実測値とよく適合する曲線式を計算して、これを分布中央線とし、これからの標準偏差を計算して棄却帯を決定した。この棄却帯に基づいて一般的傾向からはずれる標準地を棄却の対象とした。

その結果、モクマオウ林4標準地 (No 13, 21, 26, 32), タイワンハンノキ林9標準地 (No 1, 6, 7, 9, 11, 13, 15, 32, 47) が棄却の対象となった。しかし、総合的に検討を加えた結果、モクマオウ林はNo 26のみを、タイワンハンノキ林はNo 1, No 6, No 7, No 11, No 32の5標準地を棄却することにした。

(2) 収穫表構成数値の決定

構成数値を決定する前に地位の区分を行わねばならないが、ここでは現実林分の平均的な収穫量の予測を目的とし、また、対象地域が極限されて地位による差異が小さいため、その区分は行わなかった。

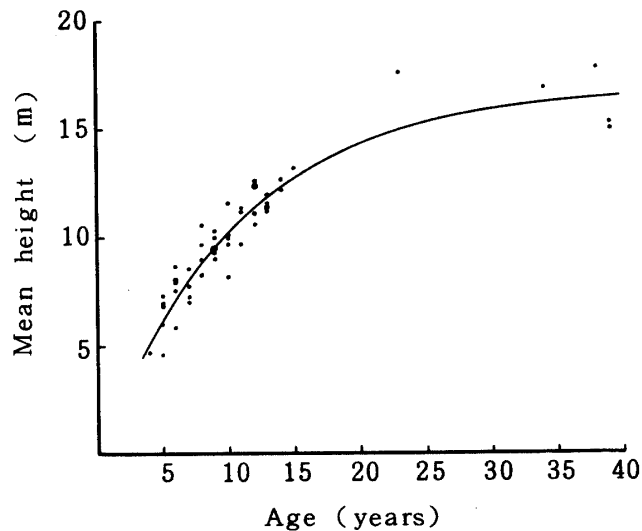


Fig. 3-1. Relation between age and mean height in Casuarina stand



Fig. 3-2. Relation between age and mean height in Formosan alder stand

イ) 平均樹高

年令と平均樹高の関係を表わす数式として、いくつかの式について計算し比較検討した結果、次式が最もよく実測値と適合した。

モクマオウ林

$$\log y = -0.0497 + 1.5123 \log x - 0.4499 (\log x)^2 \quad (3-1)$$

タイワンハンノキ林

$$\log y = 0.4234 + 0.6800 \log x - 0.0577 (\log x)^2 \quad (3-2)$$

ここに y : 平均樹高

x : 年 令

これらの式の実測値との適合は、図 3-1, 2 に示すように適正と認められる。従って、年令から平均樹高を推定するに当っては、これらの式を用いた。

ロ) 平均胸高直径

年令と平均胸高直径との関係を表わすいくつかの式の内、それぞれ次式が最も実測値との適合性がよいので、平均胸高直径の数値決定に当っては、これらの式を用いた (図 3-3, 4)。

モクマオウ林

$$\log y = x / (4.1677 + 0.6338 x) \quad (3-3)$$

タイワンハンノキ林

$$\log y = 0.1685 + 0.8787 \log x - 0.0346 (\log x)^2 \quad (3-4)$$

ここに y : 平均胸高直径

x : 年 令

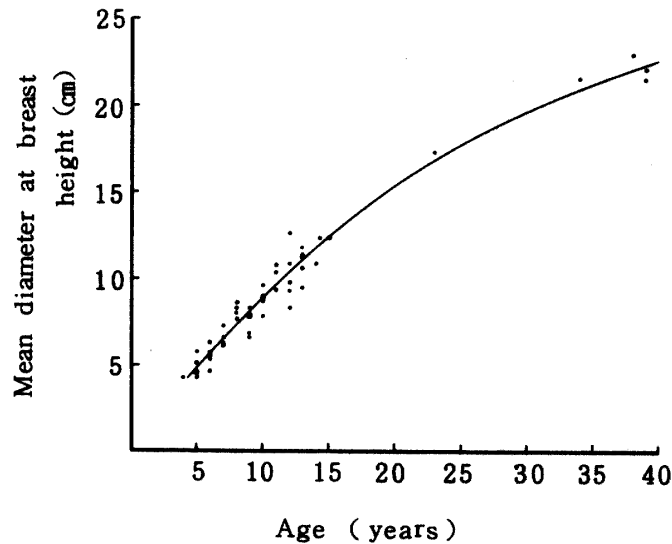


Fig. 3-3. Relation between age and mean diameter at breast height in Casuarina stand

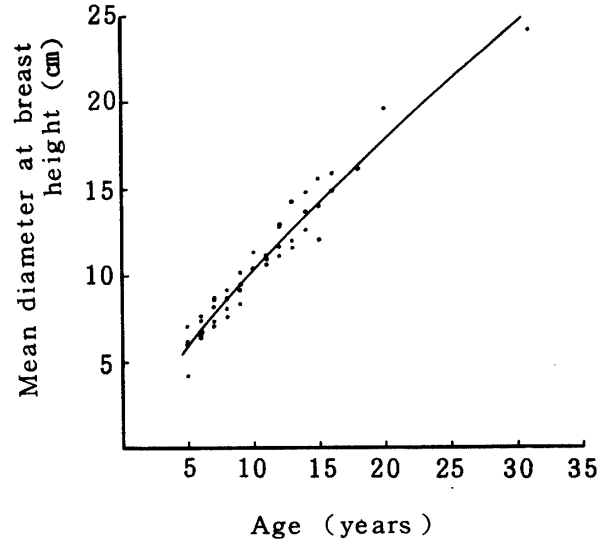


Fig. 3-4. Relation between age and mean diameter at breast height in Formosan alder stand

ハ) ha当り立木本数

年令とha当り立木本数の関係においては、それぞれ次式が成立する。

モクマオウ林

$$\log y = 4.4042 - 0.9025 \log x \quad (3-5)$$

台湾ハンノキ林

$$\log y = 4.5857 - 1.1206 \log x \quad (3-6)$$

ここに y : ha当り立木本数

x : 年 令

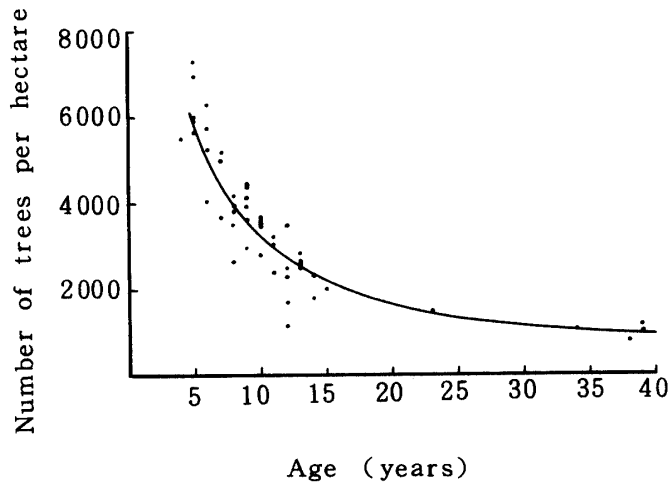


Fig. 3-5. Relation between age and number of trees per hectare in Casuarina stand

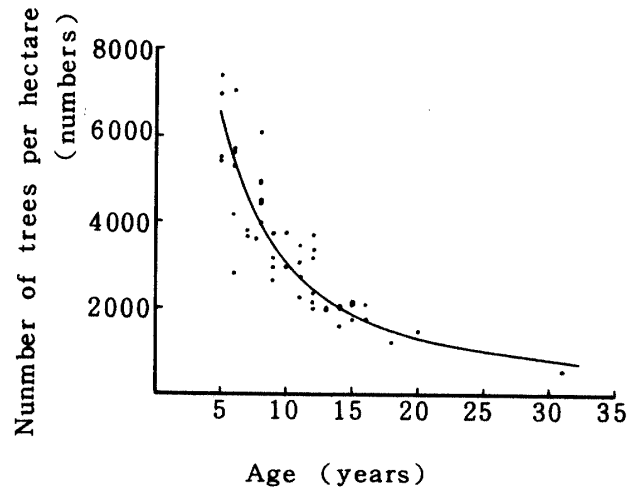


Fig. 3-6. Relation between age and unnumber of trees per hectare in Formosan alder stand

これらの式は、図3-5および6からわかるように実測値とよく対応し適正と思われるが、数値決定に当っては平均胸高直径とha当り立木本数の関係(図3-7, 8), ならびに単木材積(平均胸高直径、平均樹高に相当する材積式からの材積)とha当り幹材積の関係等を考慮して、相互に矛盾のないように修正を加えた。

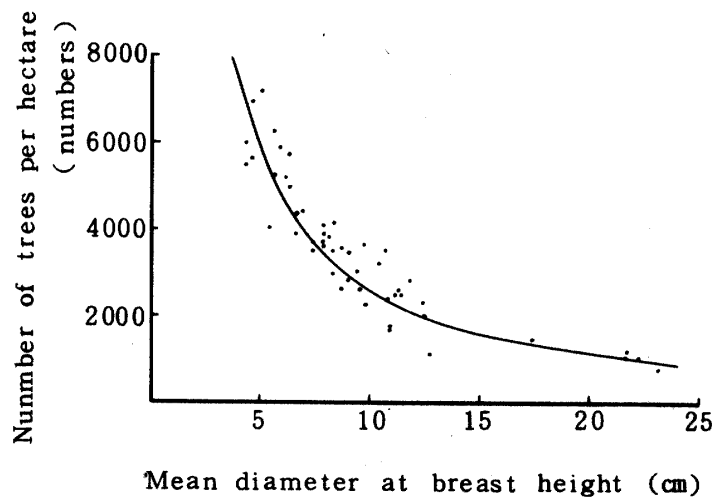


Fig. 3-7. Relation between mean diameter at breast height and number of trees per hectare in Casuarina stand

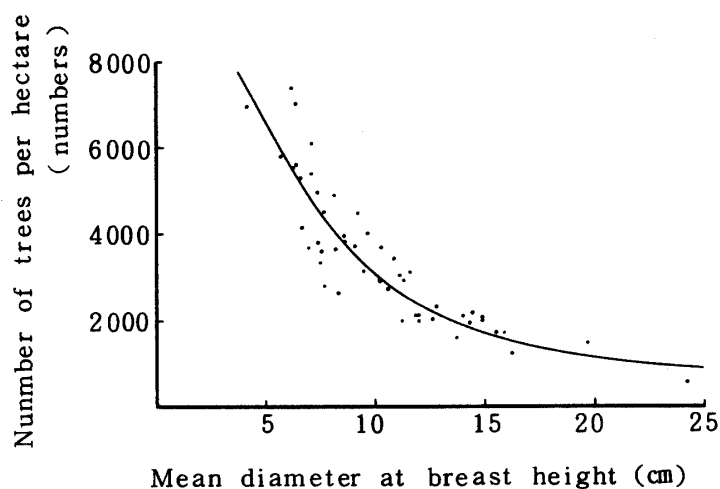


Fig. 3-8. Relation between mean diameter at breast height and number of trees per hectare in Formosan alder stand

ニ) ha当り幹材積

ha当り幹材積は、年令との関係から求めた後、その年令の平均胸高直径と平均樹高に相当する単木材積およびha当り立木本数を互に比較検討して決定した。

年令とha当り幹材積の関係は、それぞれ次式で示される (図3-9, 10)。

マクマオウ林

$$\log y = 0.2375 + 2.5913 \log x - 0.7293 (\log x)^2 \quad (3-7)$$

タイワンハンノキ林

$$\log y = 0.5440 + 2.4710 \log x - 0.7324 (\log x)^2 \quad (3-8)$$

ここに y : ha当り幹材積

x : 年 令

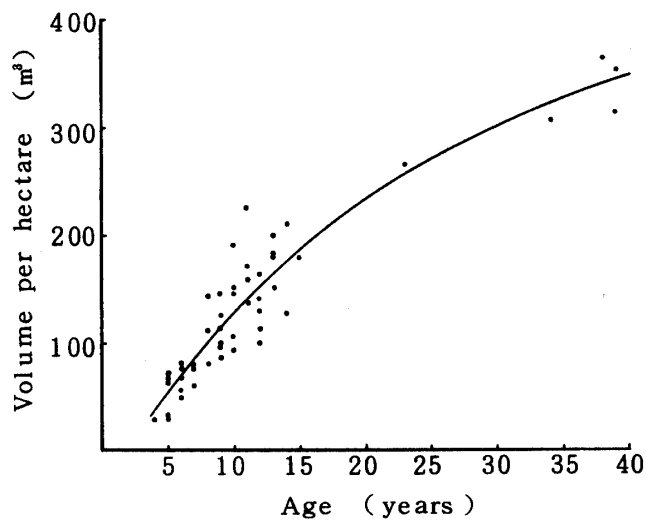


Fig. 3-9. Relation between age and volume per hectare in Casuarina stand

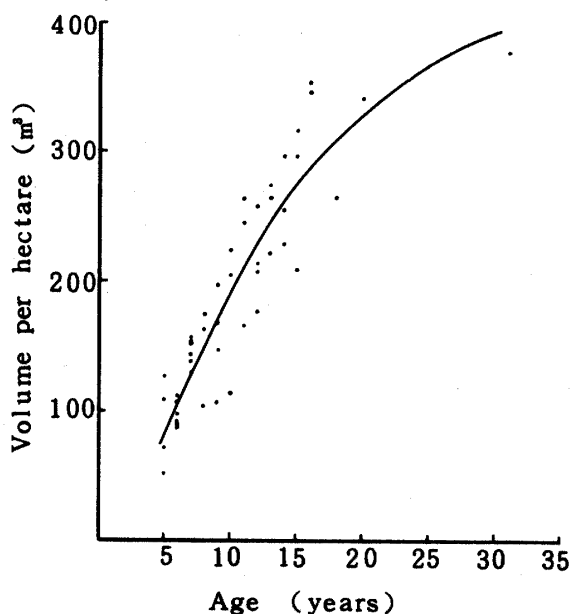


Fig. 3-10. Relation between age and volume per hectare in Formosan alder stand

ホ) 生長量および生長率

連年生長量は期首と期末の幹材積の差をその生長期間（5年）で除して求め、平均生長量は各年令の幹材積をその年数で除して計算した。また、生長率はライプニッツの公式 $P = (\sqrt[n]{\frac{M}{m}} - 1) \times 100$ を用いて計算した。

以上のようにして各種の構成因子の数値決定を行い、これらを取りまとめて表示したのが表3-1および2である。表3-3は天然生広葉樹林の数値に基づく収穫表である。

Table 3-1. Volume yield table (average site) of Casuarina forest

Age (years)	Mean		Number of trees	Per Volume (m³)	Per hectare		
	Diameter at breast height (cm)	Tree height (m)			Volume increment		Increment percent (%)
					Current annual (m³)	Mean (m³)	
5	4.8	6.1	6,560	40	8.0	8.0	-
10	9.0	10.3	3,650	115	15.0	11.5	23.5
15	12.5	12.8	2,490	176	12.2	11.7	8.9
20	15.4	14.3	1,925	222	9.2	11.1	4.8
25	17.8	15.3	1,590	256	6.8	10.2	2.9
30	19.7	15.9	1,400	282	5.2	9.4	2.0
35	21.3	16.3	1,255	300	3.6	8.6	1.2
40	22.7	16.5	1,145	312	2.4	7.8	0.8

Table 3-2. Volume yield table (average site)
of Formosan alder forest

Age (years)	Mean		Number of trees	Per Volume (m ³)	Per hectare		Increment percent (%)
	Diameter at breast height (cm)	Tree height (m)			Volume increment		
					Current annual (m ³)	Mean (m ³)	
5	5.8	7.4	7,310	76	15.2	15.2	-
10	10.3	11.2	3,910	176	20.0	17.6	18.3
15	14.3	13.9	2,515	260	16.8	17.3	8.1
20	17.9	16.2	1,740	318	11.6	15.9	4.1
25	21.3	18.2	1,265	358	8.0	14.3	2.4
30	24.6	19.9	955	384	5.2	12.8	1.4

Table 3-3. Volume yield table (average site)
of natural broad leaved forest

Age (years)	Mean		Number of trees	Per Volume (m ³)	Per hectare		Increment percent (%)
	Diameter at breast height (cm)	Tree height (m)			Volume increment		
					Current annual (m ³)	Mean (m ³)	
5	3.4	3.2	11,500	20	4.0	4.0	-
10	5.0	4.8	9,800	56	7.1	5.6	19.9
15	6.0	5.6	8,800	98	8.4	6.5	11.8
20	6.7	6.2	8,000	132	6.8	6.6	6.1
25	7.3	6.6	7,300	154	4.4	6.2	3.0
30	7.7	6.9	6,800	170	3.2	5.7	1.7
35	8.0	7.1	6,400	182	2.4	5.2	1.6
40	8.3	7.2	6,100	192	2.0	4.8	1.0

(3) 材積収穫表の検討

3樹種林分の材積生長経過の特性を明らかにするため、それぞれ他の収穫表との比較を試みた。すなわち、モクマオウ林材積収穫表は琉球地方モクマオウ防風林材積収穫予想表と^{1,18)}、台湾ハンノキ林材積収穫表はコバノヤマハンノキ林材積収穫表と¹⁴⁷⁾、また天然生広葉樹林材積収穫表は九州地方コジイ林分⁵⁾ 積収穫表および内地一般雑木林平均収穫表と²¹⁾それぞれ比較検討した。

イ) モクマオウ林と琉球地方モクマオウ防風林の比較

モクマオウ林とモクマオウ防風林の材積総生長は図3-11に示すように、モクマオウ林が大きく、年令の増加に伴ってその生長差は除々に増大する傾向が認められる。これは、立木本数の違いによるもので、平均樹高はモクマオウ林がやや高い位でさほど差がみられず、平均直径は、むしろモクマオウ防風林が優れた生長を示す。

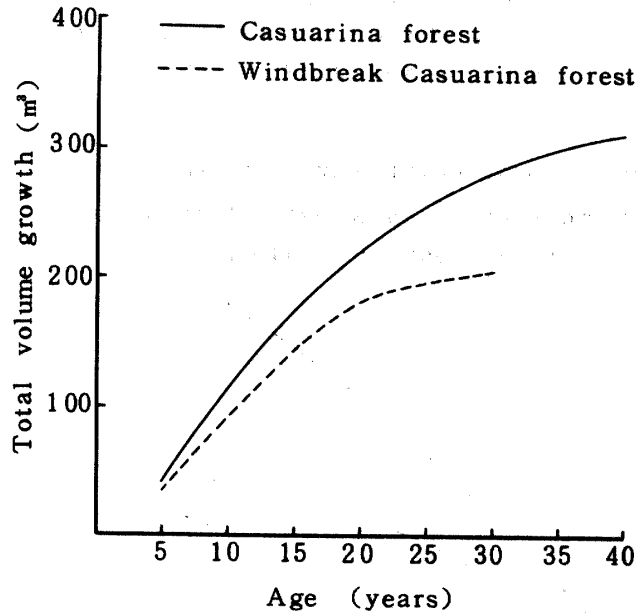


Fig. 3-11. Comparison of total volume growth curve

また、材積の平均生長量最大期は、両者殆んど差がなく、それぞれ10~15年である。すなわち、両者の材積生長の経過は、ほぼ一致するものと考えてよいであろう。

ロ) タイワンハンノキ林とコバノヤマハンノキ林の比較

両者の材積収穫表の数値に基づいて、まず、平均直径を比較すると、10年まではタイワンハンノキ林が大きく、それ以降では逆にコバノヤマハンノキ林が大きい。ついで、平均樹高についても同様に、10年頃まではタイワンハンノキ林がやや高いが、その後は殆んど差が認められない。しかし、立木本数はタイワンハンノキ林がかなり多く、15年頃まで約2倍の数値を示す。これらの総合された結果としての材積生長は、図3-12に示すように、タイワンハンノキ林が大きく、特に幼令期においてその差は著しい。

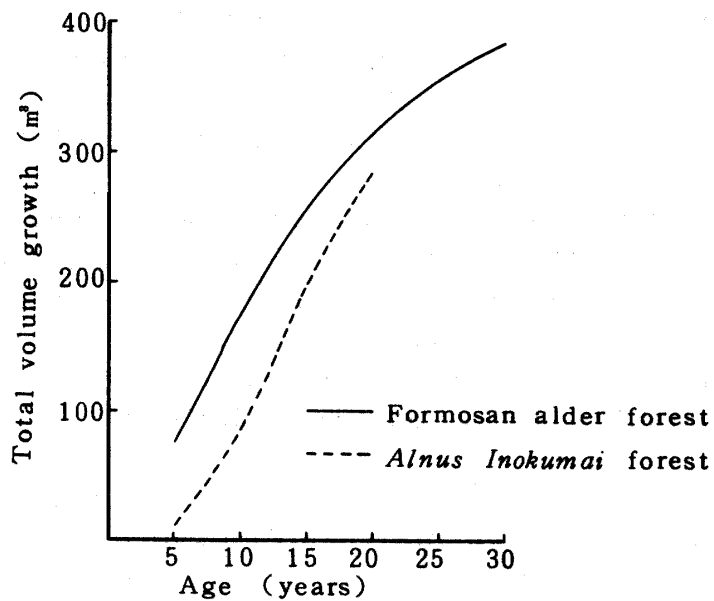


Fig. 3-12. Comparison of total volume growth curve

平均生長量は、台湾ハンノキ林が10~15年で最大に達するのに対し、コバノヤマハンノキ林は15~20年で、約5年の差が見られる。すなわち、台湾ハンノキ林は、コバノヤマハンノキ林に較べて幼令期における生長が旺盛なため、急速な生長経過をたどるものと思われる。

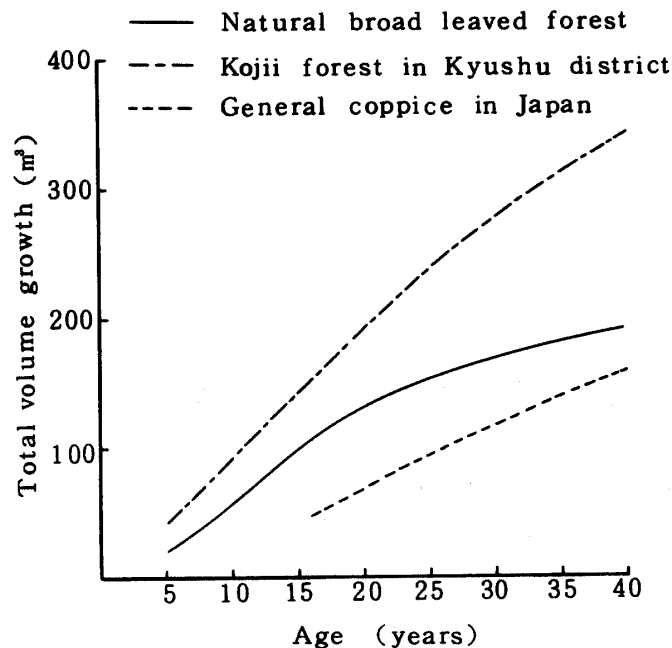


Fig. 3-13. Comparison of total volume growth curve

ハ) 天然生広葉樹林と九州地方コジイ林および内地一般雑木林の比較

各収穫表に基づき材積総生長を比較すると、図3-13のとおりである。すなわち、天然生広葉樹林は、九州地方コジイ林に比べてその生長は劣り、その差は幼令期において小さく、年令の増加と共に増大する傾向にある。これは、九州地方コジイ林が純林を形成し、平均直径および平均樹高の生長状態が極めて良好なためであると判断される。ただ、収穫表調製資料の中には、九州地方コジイ林にほぼ近い材積生長を示すものも認められ、今後の施業改善によっては、九州地方コジイ林に匹敵する位の数値まで引き上げられる可能性のあることを秘めている。

つぎに、内地一般雑木林と比較すると、平均直径および平均樹高は、20~25年までは天然生広葉樹林の方が優れているが、それ以降では逆の様相を呈する。また、これとは逆に、立木本数は25年までは内地一般雑木林の方が多く、それ以降では天然生広葉樹林が多くなる。そのため、材積生長は天然生広葉樹林が良好であるが、年令の増加と共に漸次その差は小さくなる傾向にある。

平均生長量の最大期は、天然生広葉林と九州地方コジイ林は15~20年で、ほぼ同様な生長経過をたどるが、内地一般雑木林は35~40年で、前者に比べて約20年も遅れる。

2) 重量収穫の予測

既に前章において述べたように、本研究においては、林分材積と林分重量の関係をを用いて重量収穫表の調製を行う。すなわち、材積収穫表の各令階ごとの幹材積を前章の(2-1), (2-2), および(2-3)式へそれぞれ代入して重量を求め、表3-4, 5および6のように、重量収穫表を調製した。なお、生長量および生長率の計算は、材積収穫表の場合と同じ方法で行った。

Table 3-4. Weight yield table (average site)
of Casuarina forest

Age (years)	Mean		Number of trees	Per Weight (ton)	Per hectare		Increment percent (%)
	Diameter at breast height (cm)	Tree height (m)			Increment		
					Current annual (ton)	Mean (ton)	
5	4.8	6.1	6,560	21	4.2	4.2	—
10	9.0	10.3	3,650	68	9.4	6.8	26.5
15	12.5	12.8	2,490	107	7.8	7.1	9.5
20	15.4	14.3	1,925	136	5.8	6.8	4.9
25	17.8	15.3	1,590	157	4.2	6.3	2.9
30	19.7	15.9	1,400	174	3.4	5.8	2.1
35	21.3	16.3	1,255	185	2.2	5.3	1.2
40	22.7	16.5	1,145	193	1.6	4.8	0.9

Table 3-5. Weight yield table (average site)
of Formosan alder forest

Age (years)	Mean		Number of trees	Per Weight (ton)	Per hectare		Increment percent (%)
	Diameter at breast height (cm)	Tree height (m)			Increment		
					Current annual (ton)	Mean (ton)	
5	5.8	7.4	7,310	24	4.8	4.8	—
10	10.3	11.2	3,910	65	8.2	6.5	22.1
15	14.3	13.9	2,515	99	6.8	6.6	8.8
20	17.9	16.2	1,740	122	4.6	6.1	4.3
25	21.3	18.2	1,265	139	3.4	5.6	2.6
30	24.6	19.9	955	149	2.0	5.0	1.4

Table 3-6. Weight yield table (average site) of natural broad leaved forest

Age (years)	Mean		Number of trees	Per hectare			Increment percent (%)
	Diameter at breast height (cm)	Tree height (m)		Weight (ton)	Increment		
					Current annual (ton)	Mean (ton)	
5	3.4	3.2	11,500	11	2.2	2.2	-
10	5.0	4.8	9,800	28	3.4	2.8	20.6
15	6.0	5.6	8,800	49	4.2	3.3	11.8
20	6.7	6.2	8,000	65	3.2	3.3	5.8
25	7.3	6.6	7,300	75	2.0	3.0	2.9
30	7.7	6.9	6,800	83	1.6	2.8	2.1
35	8.0	7.1	6,400	89	1.2	2.5	1.4
40	8.3	7.2	6,100	94	1.0	2.4	1.1

つぎに、上記の方法で求めた重量が、年令と林分重量の関係ならびに年令と林分比重の関係から計算された数値と一致するかどうかの検討を試みる。

まず、年令と林分重量との関係は、それぞれ次式で表わされる。

モクマオウ林

$$\log y = -0.1739 + 2.8758 \log x - 0.8279 (\log x)^2 \quad (3-9)$$

タイワンハンノキ林

$$\log y = -0.1312 + 2.8353 \log x - 0.8583 (\log x)^2 \quad (3-10)$$

天然生広葉樹林

$$\log y = 0.8058 + 0.9738 \log x - 0.1553 (\log x)^2 \quad (3-11)$$

ここに y : 林分重量

x : 年 令

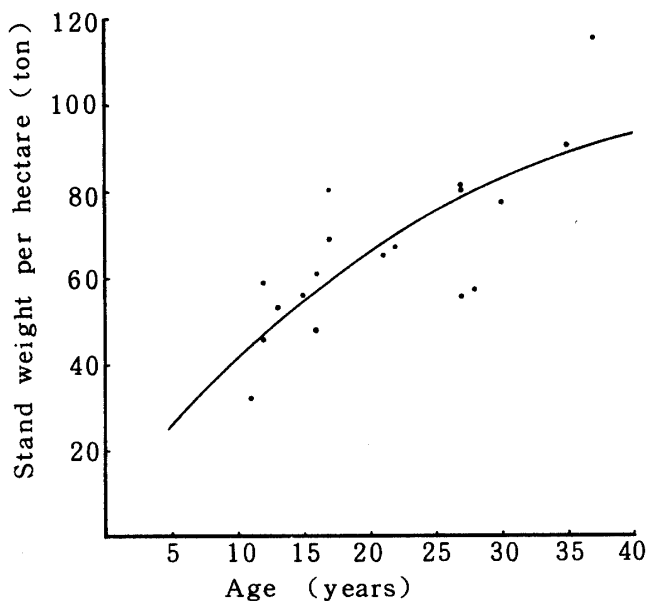


Fig. 3-14. Relation between age and stand weight per hectare in Casuarina stand

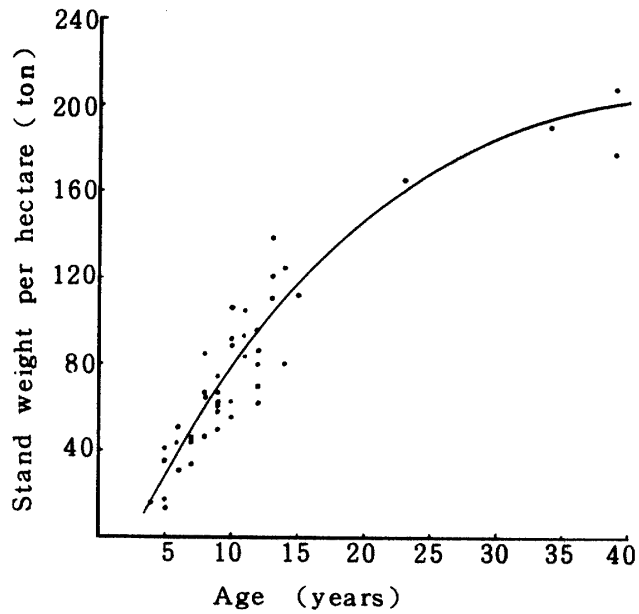


Fig. 3-15. Relation between age and stand weight per hectare in Formosan alder stand

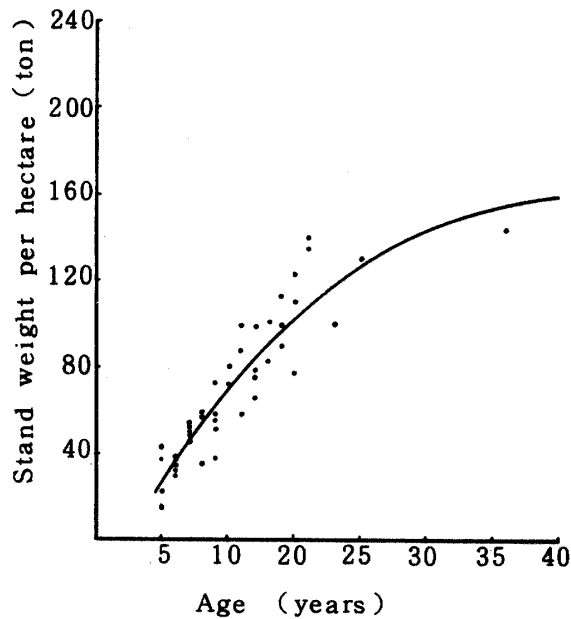


Fig. 3-16. Relation between age and stand weight per hectare in natural broad leaved stand

これらの式は、図3-14、15および16に示すように実測値によく適合している。いま、これらの回帰式を用いて、各令階ごとの重量を求め、その令階の平均直径と平均樹高に相当する単木重量（重量式から計算）および立木本数とをにらみ合せ、相互に矛盾が生じないように修正を加えて決定した数値を示せば、表3-7の第2、3、4欄のとおりである。これらの数値と先の重量収穫表の数値とを比較すると、いずれの林分についても殆んど差のないことがわかる。

Table 3-7. Estimate of stand weight in each method

Age (years)	by using relation of age to stand weight (ton)			by using relation of age to mean specific gravity of stand (ton)		
	Casuarina forest	Formosan alder forest	Natural broad leaved forest	Casuarina forest	Formosan alder forest	Natural broad leaved forest
5	22	24	10	22	25	10
10	68	65	28	68	64	28
15	108	97	49	107	99	48
20	138	122	65	137	122	65
25	160	139	77	159	139	76
30	177	150	86	176	151	84
35	188		93	188		90
40	196		97	193		94

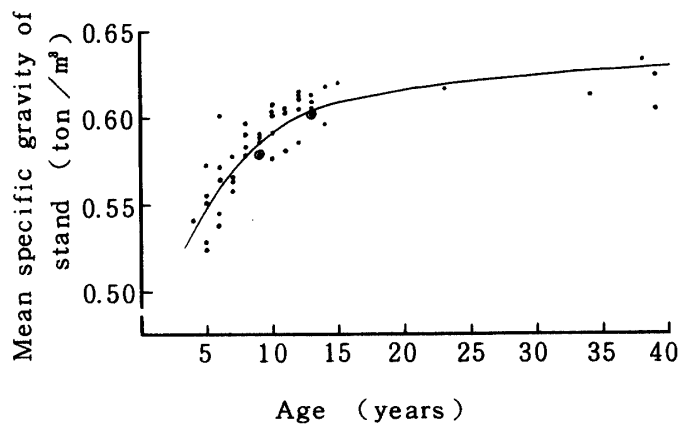


Fig. 3-17. Relation between age and specific gravity of stand in Casuarina stand

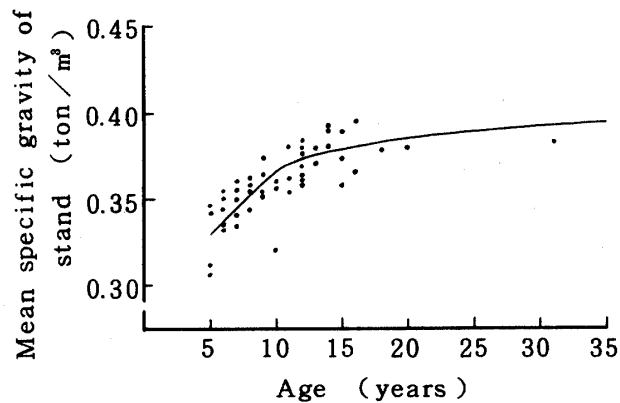


Fig. 3-18. Relation between age and mean specific gravity of stand in Formosan alder stand

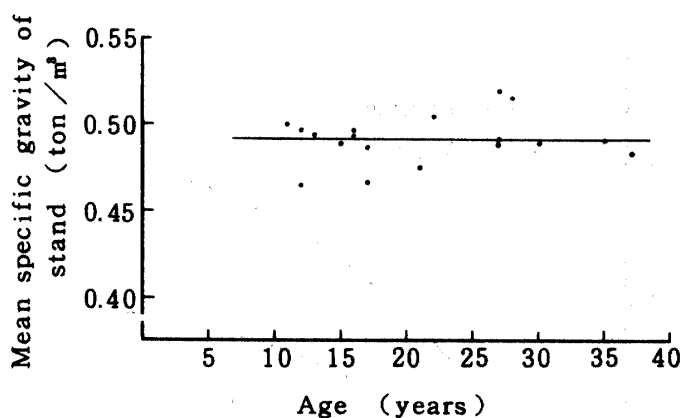


Fig. 3-19. Relation between age and mean specific gravity of stand in natural broad leaved stand

つぎに、年齢に対する林分比重（林分重量／林分材積）の関係においては、それぞれ次式が成立する（図3-17, 18, 19）。

モクマオウ林

$$R = 0.639 - 0.4502 \frac{1}{A} \quad (3-12)$$

タイワンハンノキ林

$$R = 0.404 - 0.3799 \frac{1}{A} \quad (3-13)$$

天然生広葉樹林

$$R = 0.49$$

ここにR：林分比重

A：年 令

すなわち、モクマオウ林とタイワンハンノキ林の林分比重は、年齢の増加に伴って徐々に増大する傾向を示すが、天然生広葉樹林は年齢の経過にかかわらず一定である。

いま、これらの式から、各令階に相当する林分比重を求め、材積収穫表の幹材積に乗じて得られる林分重量を示せば、表3-7の第5, 6, 7欄のようになる。この値もやはり重量収穫表の数値と殆んど一致する。

以上のことから、本研究で採用した林分材積と林分重量の関係をを用いての調製法は、年齢と林分重量の関係、または年齢と林分比重の関係から検討しても妥当な数値を与えることが立証された。

II 重量生長経過の検討

前記の重量収穫表に基づき、重量生長経過の特性を明らかにするため、まず、それぞれの材積生長との比較を行い、ついで、3樹種相互間ならびに他樹種を加えての比較検討を試みる。

1) 材積生長との比較

(1) モクマオウ林

まず、モクマオウ林の材積と重量の総生長を比較すると、図3-20からわかるように、ほぼ類似の経過をたどる。しかし、厳密には林分比重が年齢の経過に伴って増大する傾向にあるので、材積よりも重量の方がややその増加の度合は大きいといえる。

つぎに、連年および平均生長量の経過の様相は、図3-21に示すとおり、殆んど同じような変化をたどるが、詳細にこれを見ると、これらの最大期は、材積に対して重量がやや遅れる傾向を示している。すなわち、平均生長量の最大期は、材積が13年であるのに対して重量は15年と、その差はわずかに2年ではあるが、重量がいくぶん遅れて現われる。

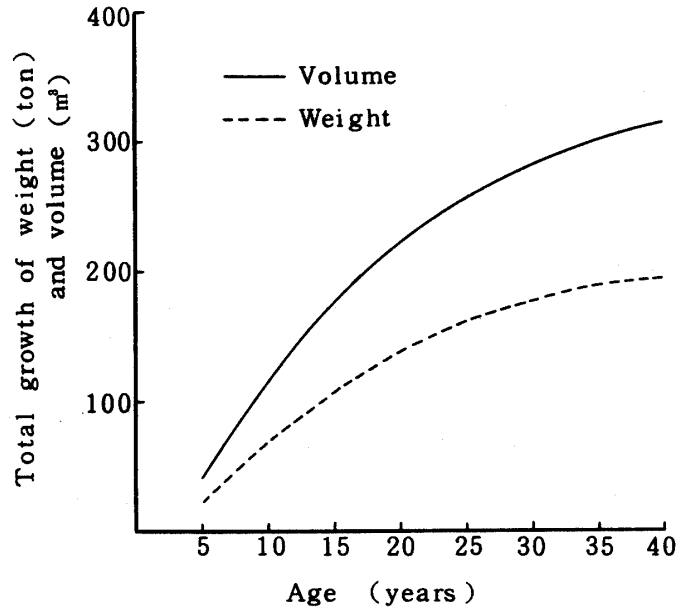


Fig. 3-20. Comparison between total weight growth and total volume growth in Casuarina forest

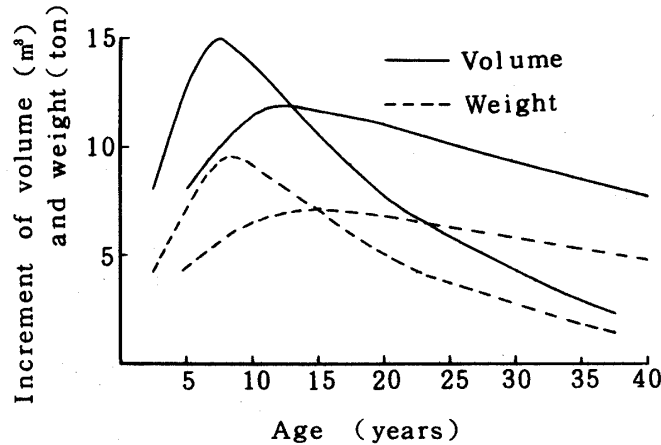


Fig. 3-21. Comparison of volume increment with weight increment in Casuarina forest

(2) タイワンハンノキ林

タイワンハンノキ林の材積と重量の総生長，連年および平均生長量の経過をそれぞれ図3-22および23に示した。

これらの図から，総生長はおよそ類似の経過をたどり，連年生長量は，その最大期において，それぞれ5～10年ではあるが，やや重量の遅れを認めることができ，また，平均生長量も材積が11年で最大に達するのに対して重量は13年で，わずかに2年の差ではあるが，やはり重量の生長経過が多少遅れることを示している。

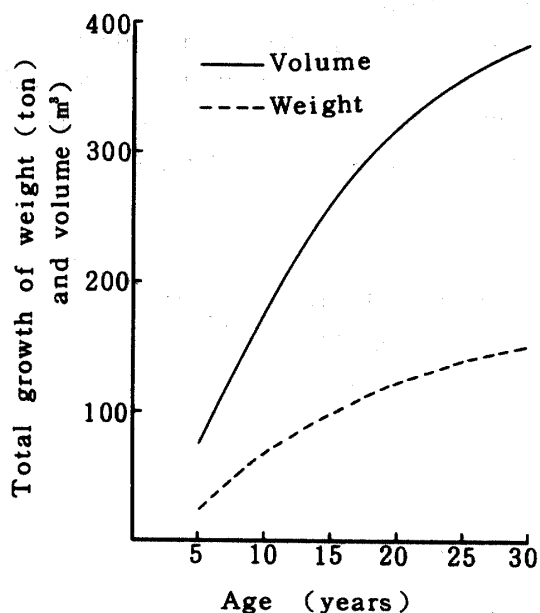


Fig. 3 - 22. Comparison between total weight growth and total volume growth in Formosan alder forest

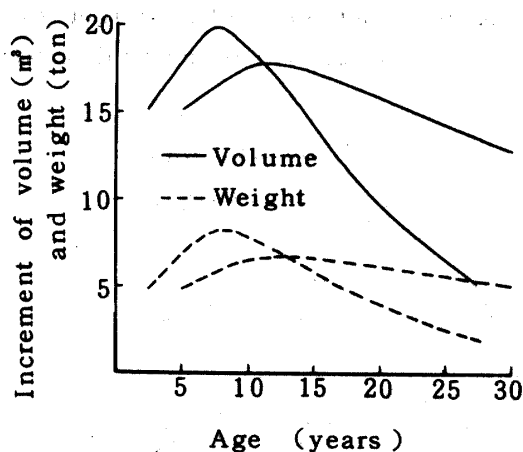


Fig. 3 - 23. Comparison of volume increment with weight increment in Formosan alder forest

(3) 天然生広葉樹林

天然生広葉樹林の材積と重量の総生長曲線は、図3-24に示すように、他樹種と同様、ほぼ同じような経時的变化をたどる。また、連年および平均生長量は、図3-25に示すように、いずれの最大期についても、材積と重量で殆んど差が認められない。

以上のことから、どの樹種についても材積と重量の生長経過は殆んど類似し、その連年および平均生長量の最大期も殆んど同時期であるとみなして差し支えない。このことは、重量生長の経過が材積生長に起因されることが大きく、比重の経時的变化による影響が極めて小さいことを示している。ちなみに、前

章の表2-1, 2および3の資料から, 林分比重についてみると, モクマオウ林 $0.52 \sim 0.63 \text{ ton/m}^3$, タイワンハンノキ林 $0.31 \sim 0.42 \text{ ton/m}^3$, 天然生広葉樹林 $0.46 \sim 0.52 \text{ ton/m}^3$ と比較的狭い範囲内にあることから判断できる。しかしながら, 年齢の増加に伴う林分比重の経過は, 図3-17, 18に示したように, わずかながら増加する傾向を示している。この点は, 重量の平均生長量最大期が材積のそれに比べてわずかに遅れて現われることの原因となるであろう。

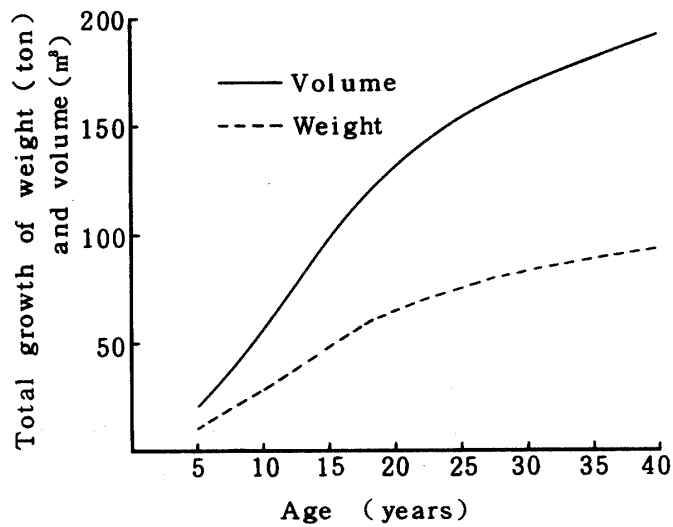


Fig. 3-24. Comparison between total weight growth and total volume growth in natural broad leaved forest

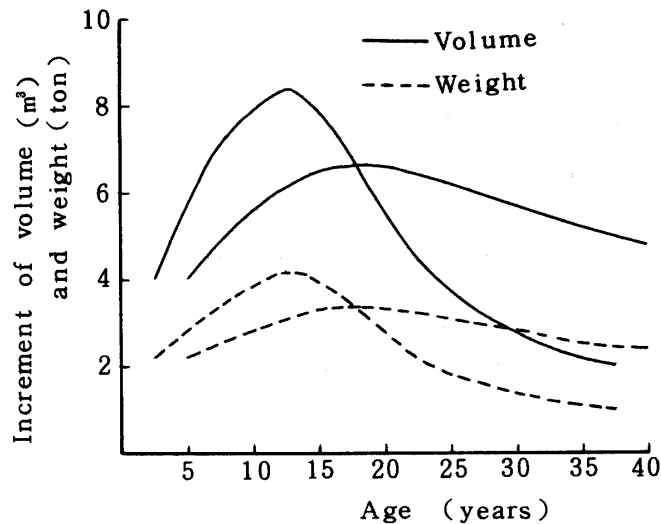


Fig. 3-25. Comparison of volume increment with weight increment in natural broad leaved forest

2) 他の重量生長との比較

ここでは、3樹種相互間とリュウキュウマツ現実林分重量収穫表¹⁴³⁾および九州地方コジイ林分重量収穫表⁵⁾を加えての比較を試みる。

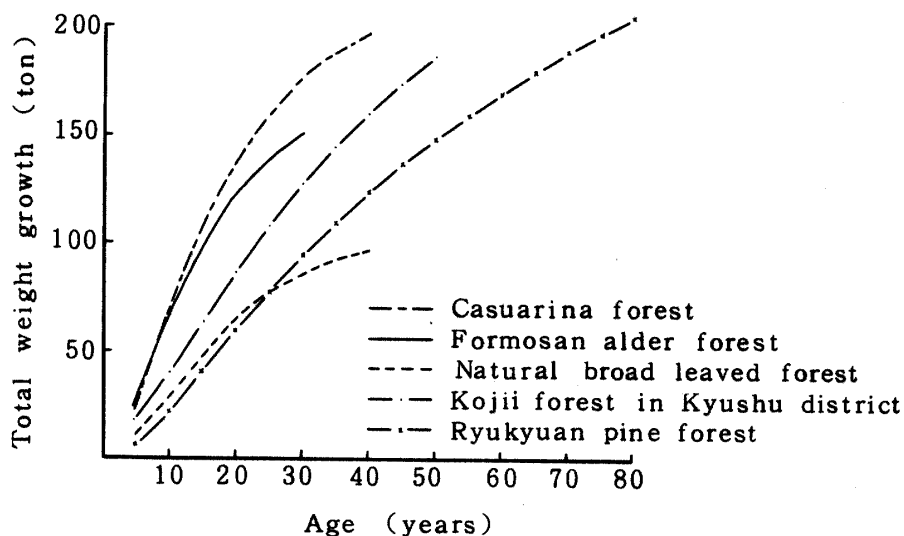


Fig. 2-26. Comparison of total weight growth in each forests

まず、それぞれの重量収穫表に基づき、その総生長の経時的变化を図示すれば図3-26のとおりである。この図から、モクマオウ林の重量は最も良好な生長を示し、40年で比較すると天然生広葉樹林の2.1倍、リュウキュウマツ林の1.6倍、九州地方コジイ林の1.1の数值を示す。これは、モクマオウ林の比重が他樹種に比べて大きいためであって、材積生長は、むしろ台湾ハンノキ林や九州地方コジイ林の方が優れている。また、台湾ハンノキ林は、林分比重が最も小さいにもかかわらず、その重量生長はモクマオウ林と余り差がなく、九州地方コジイ林やリュウキュウマツ林に比べれば極めて良好な生長を示しているといえよう。ついで、天然生広葉樹林は、25年頃まではリュウキュウマツ林を上まわる生長を示し、九州地方コジイ林ともさほど差はないが、その後は年令の経過と共にその差が大きくなる傾向にある。また、モクマオウ林や台湾ハンノキ林に比べると、相対的に約 $\frac{1}{2}$ 位の生長しか示さない。

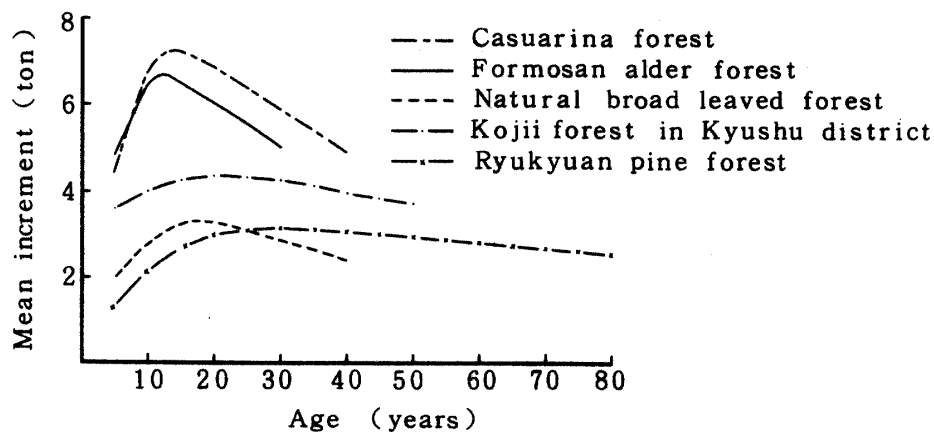


Fig. 2-27. Comparison of mean increment of weight in each forest

つぎに、図3-27で平均生長量の最大期を比較すると、台湾ハンノキ林の13年が最も早く、ついでモクマオウ林の15年、天然生葉樹林の17年、九州地方コジイ林の20年、リュウキュウマツ林の30年の順となるが、その時点における平均生長量の大きさは、モクマオウ林、台湾ハンノキ林、九州地方コジイ林、天然生広葉樹林、リュウキュウマツ林の順である。

II 平均断面直径を基準とした収穫予測

天然生広葉樹林のような異令林は、年令の査定が困難であり、たとえ本数令、面積令、材積令などによって平均年令が計算されたとしても、実用的でなく、現実には採用し難いものと考えられる。従って、このような林分においては、収穫表の調製およびその利用に当って、年令の査定が極めて重要な問題となる。これを解消する1つの手段として年令以外の因子を基準とした収穫表の調製が考えられる。例えば、平均樹高⁷⁹⁾や平均断面直径⁸⁾(平均直径⁷⁹⁾等を基準として収穫予測を行うことができれば、年令査定というわずらわしい作業をさけることができ非常に便利であろう。この場合、平均樹高は沖縄に現存す天然生広葉樹林の林分構造の面から考えて好ましくない。やはり尺度としてはある程度の幅をもち、材積や重量とより密接な関係にあり、しかも測定上非常に便利な平均断面直径が適切であると考えられる。

このような観点から、ここでは、平均断面直径を基準とした収穫表の調製を試みる。

調製方法の手順を列記すればつぎのとおりである。

- 1) 平均断面直径と平均樹高との関係式を導き、これによって平均断面直径階に対応する平均樹高を求める。
 - 2) 平均断面直径とha当り立木本数との関係式を決定し、これを用いてha当り立木本数を計算する。
 - 3) 平均断面直径と平均樹高に相当する単木材積を幹材積式から求め、2)のha当り立木本数を乗じてha当り幹材積を求める。
 - 4) ha当り幹重量は、前章の林分材積と林分重量の関係式へ3)のha当り幹材積を代入して決定する。
- 以上のようにして調製した収穫表を表3-8, 9および10に掲げた。

Table 3-8-(1). Volume and weight yield based on diameter correspondig to average basal area for Casuarina forest

Diamemter corresponding to average basal area (cm)	Mean height (m)	Stem number per hectare (number)	Volume per tree (m ³)	Volume per hectare (m ³)	Weight per hectare (ton)
3	4.2	9,240	0.0018	17	6
4	5.2	7,470	0.0038	28	13
5	6.2	6,190	0.0067	41	21
6	7.2	5,230	0.0108	56	31
7	8.1	4,490	0.0160	72	41
8	9.0	3,900	0.0225	88	51
9	9.8	3,420	0.0303	104	61
10	10.5	3,030	0.0392	119	71
11	11.3	2,710	0.0500	136	81
12	12.0	2,430	0.0621	151	91
13	12.6	2,200	0.0753	166	101
14	13.2	2,000	0.0902	180	109

Table 3-8-(2). Continued

Diameter corresponding to average basal area (cm)	Mean height (m)	Stem number per hectare (number)	Volume per tree (m ³)	Volume per hectare (m ³)	Weight per hectare (ton)
15	13.7	1,820	0.1061	193	118
16	14.2	1,670	0.1236	206	126
17	14.7	1,540	0.1428	220	135
18	15.1	1,420	0.1626	231	142
19	15.5	1,310	0.1846	242	149
20	15.8	1,220	0.2068	252	155
21	16.1	1,140	0.2306	263	162
22	16.3	1,060	0.2546	270	166
23	16.5	990	0.2813	278	171
24	16.6	930	0.3066	285	176
25	16.7	870	0.3330	290	179

Table 3-9. Volume and weight yield based on diameter corresponding to average basal area for Formosan alder forest

Diameter corresponding to average basal area (cm)	Mean height (m)	Stem number per hectare (number)	Volume per tree (m ³)	Volume per hectare (m ³)	Weight per hectare (ton)
3	4.9	10,320	0.0020	21	1
4	5.8	8,530	0.0041	35	7
5	6.6	7,150	0.0070	50	13
6	7.4	6,070	0.0110	67	20
7	8.2	5,210	0.0162	84	27
8	9.0	4,520	0.0228	103	35
9	9.7	3,960	0.0305	121	42
10	10.5	3,490	0.0402	140	50
11	11.2	3,100	0.0511	158	57
12	11.8	2,770	0.0632	175	64
13	12.5	2,490	0.0776	193	71
14	13.1	2,250	0.0932	210	78
15	13.7	2,040	0.1107	226	85
16	14.3	1,860	0.1302	242	91
17	14.8	1,700	0.1506	256	97
18	15.3	1,560	0.1729	270	103
19	15.8	1,440	0.1973	284	109
20	16.3	1,330	0.2235	297	114
21	16.8	1,230	0.2520	310	119
22	17.2	1,140	0.2809	320	123
23	17.6	1,060	0.3118	331	128
24	18.0	990	0.3447	341	132
25	18.3	920	0.3774	347	134

Table 3-10. Volume and weight yield based on diameter corresponding to average basal area for natural broad leaved forest

Diameter corresponding to average basal area (cm)	Mean height (m)	Stem number per hectare (number)	Volume per tree (m)	Volume per hectare (m)	Weight per hectare (ton)
3	2.8	18,560	0.0014	26	14
4	4.0	15,110	0.0034	51	26
5	4.9	12,290	0.0063	77	38
6	5.7	10,000	0.0101	101	50
7	6.3	8,140	0.0149	121	60
8	6.7	6,620	0.0203	134	66
9	6.9	5,390	0.0262	141	69

この収穫表は、年齢は勿論のこと地位を考慮に入れずに使用することができ、また、現場においても簡単に利用できるもので、極めて実用性の高い便利なものであるといえる。

なお、平均断面直径と平均樹高、およびha当り立木本数との関係を示せば、つぎのとおりである。

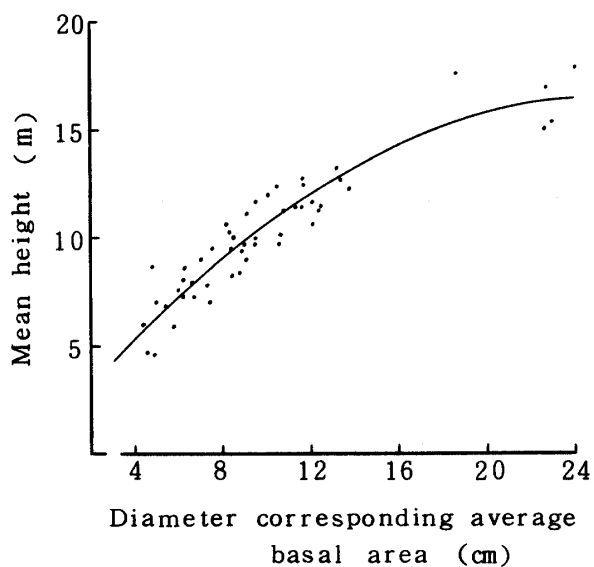


Fig. 3-28. Relation between diameter corresponding average basal area and mean height in Casuarina stand

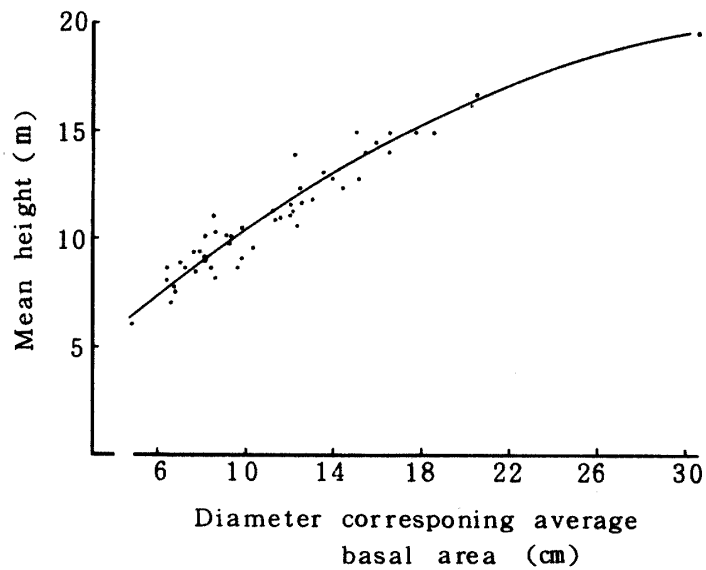


Fig. 3-29. Relation between diameter corresponding average basal area and mean height in Formosan alder stand

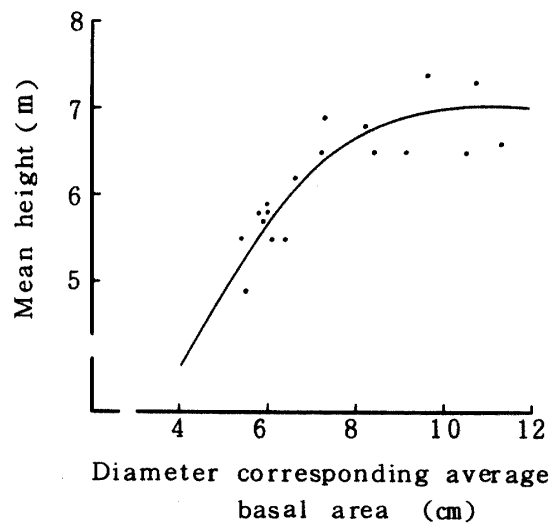


Fig. 3-30. Relation between diameter corresponding average basal area and mean height in natural broad leaved stand

すなわち、平均断面直径と平均樹高の関係(図3-28, 29, 30)は、

モクマオウ林

$$y = 0.77 + 1.20x - 0.0226x^2 \quad (3-15)$$

タイワンハンノキ林

$$y = 2.19 + 0.947x - 0.0121x^2 \quad (3-16)$$

天然生広葉樹林

$$y = -1.80 + 1.82x - 0.0942x^2 \quad (3-17)$$

ここに y : 平均樹高

x : 平均断面積直径

平均断面積直径とha当り立木本数との関係(図3-31, 32, 33)は,

モクマオウ林

$$\log y = 4.1835 - 0.2323 \log x - 0.4696 (\log x)^2 \quad (3-18)$$

タイワンハンノキ林

$$\log y = 4.1550 - 0.0084 \log x - 0.6035 (\log x)^2 \quad (3-19)$$

天然生広葉樹林

$$\log y = 4.5376 - 0.0896 x \quad (3-20)$$

ここに y : ha当り立木本数

x : 平均断面積直径

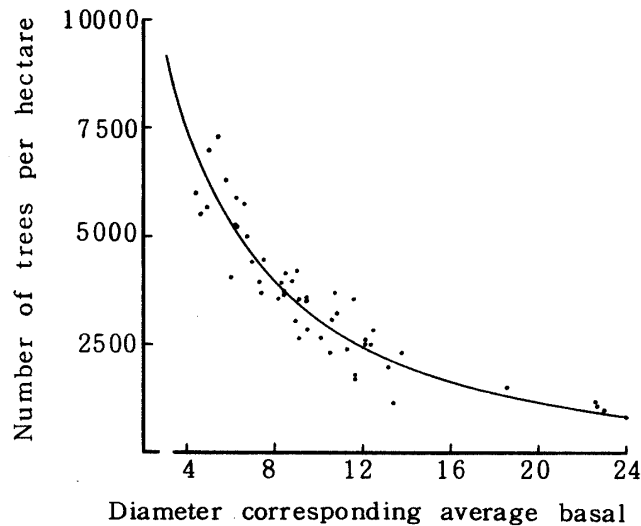


Fig. 3-31. Relation between diameter corresponding average basal area and number of trees per hectare in Casuarina stand

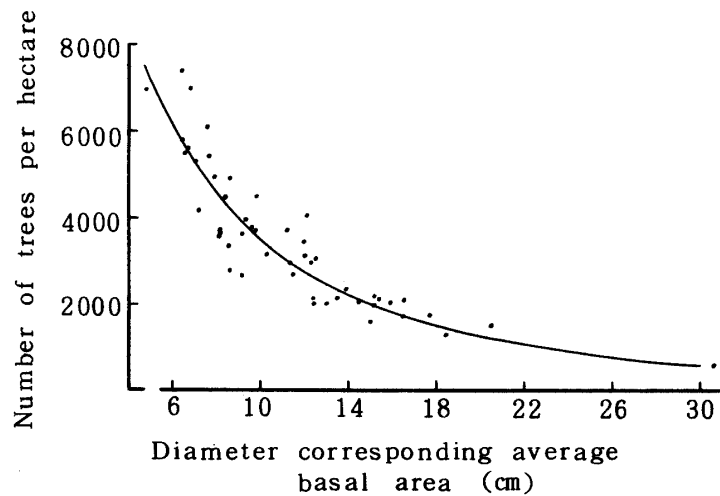


Fig. 3-32. Relation between diameter corresponding average basal area and number of trees per hectare in Formosan alder stand

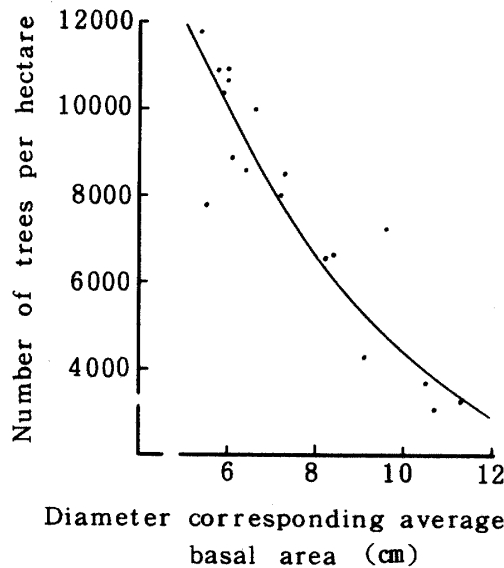


Fig. 3-33. Relation between diameter corresponding average basal area and number of trees per hectare in natural broad leaved stand

で、それぞれ表わすことができる。

つぎに、この収穫表を実際に利用するに当っては、平均断面直径よりも算術平均直径の方が求め易く、従って、算術平均直径を平均断面直径に換算することができれば、その実用性はさらに発揮できるものと考えられる。

いま、算術平均直径を \bar{D} 、平均断面直径を \bar{D}_B 、本数を N とすれば、一般に1つの林分内においては、次式が成立することが知られている。⁹¹⁾

$$\bar{D}_B = \sqrt{\sum D_i^2 / N}$$

また、直径の標準誤差を S_D とすれば、

$$\bar{D}_B = \sqrt{\bar{D}^2 + S_D^2}$$

が理論的に成立する。すなわち、平均断面直径は単木の直径の平方和を本数で割って求めることもでき、また、算術平均直径の平方に分散を加えて平方根を開いて求めることもできる。従って、これらの式を用いれば比較的簡単に平均断面直径を求めることができ便利である。

さらに、多数の林分についてみると、両者の間には一次の回帰式が成立するものと想定される。いま、各樹種の資料より、両者の関係を計算すると、それぞれ次式のような一次回帰式を得ることができる。

モクマオウ林

$$\bar{D}_B = 0.24 + 1.04 \bar{D} \tag{3-21}$$

$$(r = 0.999, S_{\bar{D}_B} = \pm 0.22 \text{ cm})$$

タイワンハンノキ林

$$\bar{D}_B = 0.07 + 1.08 \bar{D} \tag{3-22}$$

$$(r = 0.996, S_{\bar{D}_B} = \pm 0.41 \text{ cm})$$

天然生広葉樹林

$$\bar{D}_B = -2.44 + 1.49 \bar{D} \tag{3-23}$$

$$(r = 0.995, S_{\bar{D}_B} = \pm 0.20 \text{ cm})$$

これらの式は、いずれも相関度が高く、実測値によく対応し、また、推定誤差率はモクマオウ林 2.1%、タイワンハンノキ林 3.6%、天然生広葉樹林 2.6%と計算され、推定精度も非常によいといえる。従って、現場においては、算術平均直径を査定し、上式を用いてこれを平均断面直径に変換し、材積および重量の収穫量を把握することが可能である。

III 考 察

本章では、まず、材積収穫表の調製を行い、これと前章で明らかにされた林分材積と林分重量との関係を用いて、重量収穫の予測を試み、その生長経過の特性を明確にした。ついで、天然生広葉樹林のような異令林に最も適した収穫予測の方法として平均断面直径を基準とした収穫表の調製を試みた。これらの研究結果に基づいて考察すればつぎのとおりである。

1) 各樹種の材積収穫を調製し、その検討を試みた結果、モクマオウ林はモクマオウ防風林より良好な生長を示すことが認められ、また、タイワンハンノキ林もコバノヤマハンノキ林¹⁴⁷⁾に比べてその生長は良好で、とくに幼令期における生長が旺盛であることがわかった。ついで天然生広葉樹林は内地一般雑木林²¹⁾に比べれば良好な生長を示し、今後の施業改善によっては九州地方コジイ林⁵⁾に匹敵する位の生長が期待できることが認められた。

2) 本研究における重量収穫の予測方法は、年令や地位とは無関係に、いかなる材積収穫表からでも容易に重量収穫が予測でき、また、林分材積と林分重量の関係は、現実林に対しても直ちに適用し得るなどの点で、従来の年令を含む因子からの予測法に比べて優れていると考えられ、とくに年令査定困難な広葉樹林に対して有効的な手法であろう。

3) 重量収穫表に基づき、その生長経過について検討を試みた結果、重量の平均生長量の最大期は、いずれの樹種においても、材積のそれと殆んど差のないことが明らかとなった。これは、重量生長の経過が、材積の生長経過に強く影響されることに起因するものと考えられるが、しかし、比重の経時的変化は、比較的小さい範囲内にありながらも、年令の経過と共に増加する傾向にある。そのため、重量の生長経過は、わずかではあるが、材積のそれより遅れる傾向が認められる。すなわち、平均生長量最大期において、モクマオウ林 2年、タイワンハンノキ林 2年の遅れを生ずる。天然生広葉樹林はやや遅れる傾向にはあるが、ほぼ同時期と考えてよいであろう。

これまでの研究結果から、重量と材積の平均生長量の最大期は、いずれにおいても重量の方が遅れ、その差は、リュウキュウマツ林 10年¹⁴⁸⁾、アカマツ林 5~15年^{114, 119)}、九州地方カラマツ林 2年⁴⁸⁾、九州地方コジイ林 2年⁵⁾で、本研究の結果と併せて考察すれば、概して針葉樹林では差が大きく、広葉樹林では差が小さくなる傾向が認められる。これは、針葉樹材と広葉樹材の構成的特性の違いによるものと考えられる。

4) 重量収穫について、3樹種相互間ならびに他樹種を加えての比較検討を行った結果、モクマオウ林とタイワンハンノキ林はほぼ近似した数値を示し、その生長はリュウキュウマツ林¹⁴⁸⁾や九州地方コジイ林⁵⁾に比較して極めて良好であり、天然生広葉樹林は25年頃まではリュウキュウマツ林よりも優れ、九州地方コジイ林ともさほど差はないが、その後は年令の増加と共に生長が著しく低下することが認められる。これは、主として材積生長が不良であることに起因するものと考えられるので、天然生広葉樹林においては、原料材を指向する場合であっても、まず材積生長の促進に努力を払うべきであろう。

平均生長量の最大期は、タイワンハンノキ林の13年が最も早く、ついでモクマオウ林の15年、天然生広葉樹林の17年で、九州地方コジイ林の20年に比べればいくぶん早く、リュウキュウマツ林の30年に比べればかなり早いといえよう。

5) 天然生広葉樹林は年令の査定が困難なため、従来の年令を基準とした収穫表は、実際に使用する場合には極めて不便である。そのため、ここでは、平均断面直径を基準とした収穫表の調製を試みたが、この収穫表は年令や地位を考慮することなく使用でき、また、算術平均直径と平均断面直径の理論的

関係または両者の回帰式を用いれば、比較的簡単に平均断面直径を得ることができ、直ちに現実林に適用することが可能である。従って、沖縄においては、同令単純林であっても年輪の不明瞭な樹種が多いので、特に広葉樹林に対しては、このような収穫表が実用的であろう。

第4章 林分利用重量収穫の予測

同令で林分材積が等しい場合には、本数密度の高い林分ほど林分重量が大きくなるため、重量生長量の最大を指向する林分、すなわち、原料材生産林は密植仕立が有利とされる。^{5,48)}しかし、これは、小径木も全て原料材として利用することを前提とした場合であって、現在、沖縄におけるパルプ材取引の状況では、小径木の利用までにはいたっていない。すなわち、パルプ材はその規格に従って検収され、取引されるのが実状である。そのため、その利用規格に準じた利用率の導入が必要であると考えられる。すなわち、パルプ材生産林は、利用重量収穫の最多を目差して、施業の確立、改善がなされるべきであろう。

一方、従来、材積表あるいは収穫表についての研究は数多くなされているが、利用率、利用材積、利用収穫表等に関する研究は、わが国においては案外少なく、⁴⁹⁾しかもこれらの研究^{28, 29, 47, 48, 49, 115)}のすべてが構造材生産の立場からのもので、原料材生産の立場からなされたものはない。

そのため、本章では原料材生産の立場から、まず、単木利用率を重量を通して検討し、これに基づいて林分利用率を導き、これと年令の関係を明らかにし、利用重量収穫の予測を試みた。

I 単木重量利用率の検討

1 単木重量利用率の計算方法

木材の利用可能部分は、その用途によって異なる。例えば、構造材として利用する場合は、小丸太や小角材のような特殊材は別として、普通、直径の大きい丸太の部分が利用され、また、燃料材であれば、梢頭部や枝条まで利用可能である。従って、利用率はその用途によって違ってくる。

さらに、木材をパルプ材として利用する場合には、一般に末口直径（皮内）が6cmまでであるが、枝条や梢頭部をチップにして利用すれば、利用率はさらに増大する。すなわち、同じ用途であってもその利用の仕方によって利用率が異なる。

そのため、利用率を考える場合には、木材の利用目的や採材方法を明確にする必要がある。

現在、沖縄においては、パルプ材の採材規格を末口最小皮内直径6cm以上、材長1.5mとし、材積検収の場合には、末口直径の測定および材積の算定は素材の日本農林規格を適用している。すなわち、末口直径14cm以下は1cm括約、14cm以上は2cm括約で測定し、材積は末口自乗法により算定する。ただし、この場合の括約は単位以下切捨てである。

材積の利用率は、上記の方法によって採材し、測定することによって得られた単木当りの利用材積をその単木の幹材積で割って求めることができる。しかし、原料材生産林としては、材積での利用率よりも、むしろ重量での利用率の導入がより適切であると考えられるので、本研究では、材積の利用率は参考程度にとどめ、重量利用率で検討を試みる。

重量利用率を考える場合、その基礎となる材積は、より正確なものでなければならない。そのため、重量利用率を計算するための材積はスマリアン法による材積を適用した。すなわち、元口、末口の皮内直径を2方向から三角スケールを用いて0.1cm単位で測定し、スマリアン法によって区分丸太の材積を求め、これに、元口、末口の平均比重を乗じて丸太重量を算定し、これを合計して単木当りの利用重量を計算した。つぎに、この利用重量をその単木の幹重量で除して重量利用率を求めた。

なお、一般に利用率は材積表材積に対する利用材積が用いられるが、ここでは、実材積および実重量に対する利用率を用いた。

この場合の資料としては、第1章に掲げた重量計測木の内、上記採材規格によってパルプ原木の採材が可能なものを用いた。その内訳は、モクマオウ36本、台湾ハンノキ25本、イタジイ18本で、これらの資料木の重量利用率は表4-1, 2および3に示すとおりである。

Table 4-1-(1). Utilization percent of sample trees of Casuarina

Tree No.	Diameter at breast height (cm)	Tree height (m)	Stem volume (m ³)	Stem weight (kg)	Utilizing volume (m ³)	Utilizing weight (kg)	Utilization percent of volume (%)	Utilization percent of weight (%)
1	10.1	11.7	0.0425	28	0.029	21	68	75
2	7.7	10.5	0.0237	13	0.010	7	42	54
3	14.3	13.8	0.1016	66	0.078	58	77	88
4	18.2	15.8	0.1877	100	0.142	90	76	90
5	17.5	19.7	0.2099	130	0.185	120	88	92
6	8.0	10.4	0.0288	18	0.019	13	66	72
7	11.1	9.8	0.0482	26	0.032	20	66	77
8	10.0	9.5	0.0381	22	0.026	17	68	77
9	16.0	15.0	0.1364	94	0.105	82	77	87
10	17.9	15.2	0.1590	110	0.129	98	81	89
11	8.2	9.7	0.0246	13	0.012	8	49	62
12	14.1	15.0	0.0937	56	0.074	49	79	88
13	10.4	12.5	0.0517	28	0.034	22	66	79
14	14.1	13.3	0.0848	48	0.059	37	70	77
15	11.9	13.3	0.0607	36	0.042	30	69	83
16	19.7	17.5	0.2673	170	0.236	150	88	88
17	20.3	19.8	0.3171	200	0.274	190	86	95
18	12.0	15.1	0.0764	48	0.064	45	84	93
19	17.9	16.3	0.1707	110	0.148	100	87	91
20	14.0	14.0	0.0900	52	0.071	45	79	87
21	7.7	11.7	0.0266	15	0.010	9	38	60

Table 4-1-(2). Continued

Tree No.	Diameter at breast height (cm)	Tree height (m)	Stem volume (m ³)	Stem weight (kg)	Utilizing volume (m ³)	Utilizing weight (kg)	Utilization percent of volume (%)	Utilization percent of weight (%)
22	8.1	11.2	0.0274	17	0.012	10	44	59
23	10.1	12.5	0.0433	25	0.029	18	67	72
24	16.5	15.8	0.1298	85	0.107	80	82	94
25	19.6	18.4	0.2210	140	0.202	130	91	93
26	10.0	12.0	0.0423	23	0.029	18	69	78
27	16.6	15.0	0.1245	77	0.096	67	77	87
28	16.1	16.0	0.1405	88	0.115	81	82	92
29	18.3	16.0	0.1571	94	0.137	90	87	96
30	16.2	17.2	0.1592	91	0.133	84	84	92
31	16.1	16.9	0.1460	87	0.128	81	88	93
32	11.9	14.0	0.0634	34	0.039	23	62	68
33	12.2	13.0	0.0724	38	0.058	34	80	89
34	19.5	17.0	0.2228	150	0.189	140	85	93
35	19.9	18.0	0.2329	150	0.199	140	85	93
36	19.9	17.0	0.1985	130	0.175	120	88	92

Table 4-2. Utilization percent of sample trees of Formosan alder

Tree No.	Diameter at breast height (cm)	Tree height (m)	Stem volume (m ³)	Stem weight (kg)	Utilizing volume (m ³)	Utilizing weight (kg)	Utilization percent of volume (%)	Utilization percent of weight (%)
1	12.1	14.2	0.0817	33	0.062	29	76	88
2	21.0	19.7	0.3224	120	0.263	110	82	92
3	26.3	19.8	0.4946	170	0.401	160	81	94
4	34.6	20.0	0.7551	270	0.680	260	90	96
5	7.7	12.5	0.0301	11	0.012	6	40	55
6	9.0	10.8	0.0363	12	0.019	9	52	75
7	10.8	13.5	0.0642	24	0.046	20	72	84
8	11.9	16.0	0.0857	37	0.066	31	77	84
9	21.5	20.2	0.2955	95	0.251	90	85	95
10	23.3	18.6	0.3436	130	0.298	120	87	92
11	9.7	11.0	0.0416	9	0.024	5	58	56
12	8.1	10.6	0.0272	10	0.012	6	44	60
13	13.0	13.8	0.0830	33	0.069	28	83	85
14	19.4	16.3	0.2266	86	0.198	82	87	95
15	28.8	22.5	0.5605	230	0.495	220	88	96
16	18.9	17.4	0.2235	86	0.174	73	78	85
17	19.8	21.6	0.3334	130	0.295	120	89	92
18	11.8	15.9	0.0882	34	0.072	30	82	88
19	13.0	15.7	0.1195	42	0.101	38	85	90
20	10.1	11.3	0.0463	18	0.034	14	74	78
21	7.9	11.9	0.0292	11	0.017	7	58	64
22	9.5	12.5	0.0424	16	0.024	11	57	69
23	13.5	15.6	0.1107	43	0.088	36	80	84
24	12.2	13.2	0.0722	24	0.055	20	76	83
25	6.9	11.9	0.0233	9	0.010	4	43	44

Table 4-3. Utilization percent of sample trees of Tan oak

Tree No.	Diameter at breast height (cm)	Tree height (m)	Stem volume (m ³)	Stem weight (kg)	Utilizing volume (m ³)	Utilizing weight (kg)	Utilization percent of volume (%)	Utilization percent of weight (%)
1	11.6	10.4	0.0621	28	0.042	22	68	79
2	8.0	6.5	0.0199	9	0.010	6	50	67
3	12.2	10.1	0.0666	31	0.047	24	71	77
4	14.7	11.7	0.1038	51	0.075	40	72	78
5	8.1	7.0	0.0219	10	0.010	5	46	50
6	13.4	8.7	0.0771	35	0.059	31	77	89
7	17.7	9.2	0.1241	61	0.101	53	81	87
8	10.4	10.8	0.0493	24	0.034	17	69	71
9	19.5	14.6	0.2137	100	0.185	98	87	98
10	28.4	15.2	0.4610	210	0.402	200	87	95
11	8.4	8.2	0.0266	14	0.012	7	45	50
12	15.5	9.5	0.0837	45	0.062	35	74	78
13	10.3	9.8	0.0407	19	0.024	12	59	63
14	6.8	7.2	0.0138	6	0.005	2	36	33
15	9.0	7.5	0.0268	13	0.012	6	45	46
16	21.7	13.0	0.2490	120	0.216	110	87	92
17	24.0	13.4	0.2941	130	0.258	120	88	92
18	26.2	13.5	0.3429	160	0.300	150	88	94

ii 単木重量利用率と直径，樹高との関係

1) 直径との関係

単木重量利用率と胸高直径との関係は，次式のような重回帰式で表わすことができる。

モクマオウ

$$u = D^2 / (0.6732 - 0.0398 D + 0.0110 D^2) \quad (4-1)$$

タイワンハンノキ

$$u = D^2 / (0.8268 - 0.0627 D + 0.0117 D^2) \quad (4-2)$$

イタジイ

$$u = D^2 / (0.9121 - 0.0435 D + 0.0108 D^2) \quad (4-3)$$

ここに u：単木重量利用率

D：胸高直径

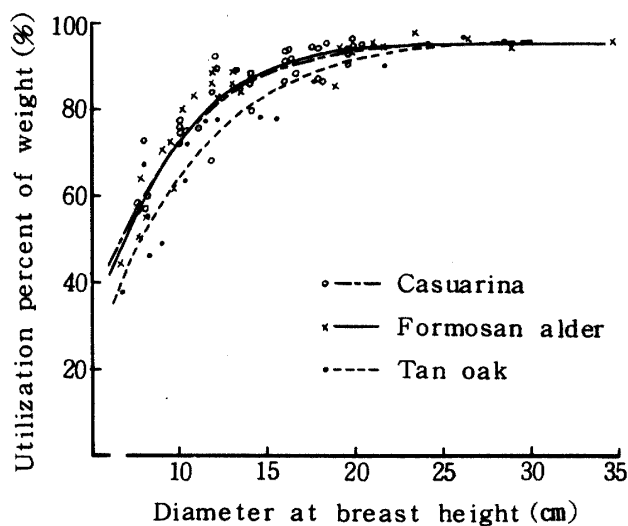


Fig 4-1. Relation between diameter at breast height and utilization percent of weight of tree

Table 4-4. Utilization percent of weight per tree in each diameter at breast height

Diameter at breast height (cm)	Utilization percent of weight		
	Casuarina (%)	Formosan alder (%)	Tan oak (%)
6	43	41	35
8	60	60	51
10	73	73	64
12	81	82	74
14	86	87	81
16	90	91	86
18	92	93	89
20	94	94	92
22		95	93
24		95	95
26		95	96
28		95	96
30		95	97

この関係を図示したのが図4-1である。すなわち、単木重量利用率は、いずれの樹種も直径およそ20cm位までは急激に上昇し、その後は緩慢となり、ある一定の値に接近する。

いま、上式に基づいて、3樹種の単木重量利用率を計算し、表示すれば表4-4のとおりである。これより、モクマオウと台湾ハンノキの単木重量利用率は、ほぼ近似してイタジイに比べてやや高いが、直径の増加に伴って、その差は漸次小さくなり、24cmからは3樹種とも殆んど一致することがわかる。また、直径20cmにおける利用率は、92~94%に達し、それ以後の増加は極めて小さい。従って、パルプ材として利用する場合、直径20cmを最大利用径級の1つの目安とすることもできよう。

2) 樹高との関係

単木重量利用率と樹高との関係においては、それぞれ次式のような重回帰式が成立する。

モクマオウ

$$u = H^2 / (1.1054 - 0.0540 H + 0.0102 H^2) \quad (4-4)$$

タイワンハンノキ

$$u = H^2 / (3.4522 - 0.3255 H + 0.0182 H^2) \quad (4-5)$$

イタジイ

$$u = H^2 / (0.6686 - 0.0147 H + 0.0083 H^2) \quad (4-6)$$

ここに u : 単木重量利用率

H : 樹高

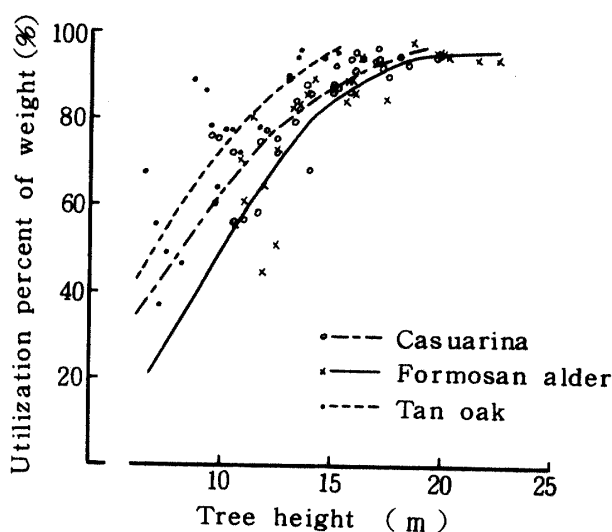


Fig. 4-2. Relation between tree height and utilization percent of weight of tree

これらの関係を図示したのが図4-2である。この図から、単木重量利用率は、はじめは急上昇し、樹高およそ15m附近からゆるやかな曲線をたどることが認められる。また、樹高が同一であれば、イタジイの利用率が最も高く、ついでモクマオウ、タイワンハンノキの順となるが、これは3樹種の内ではイタジイが最も完満な幹形を呈しているためと考えられる。

なお、この関係においては、どの樹種もバラツキが大きく、樹高のみから単木重量利用率を推定することは困難であろう。

II 林分重量利用率の誘導

I 単木重量利用率に基づく林分重量利用率の推定

利用重量の収穫予測を行うためには、林分重量利用率の誘導とその検討が必要となる。そのため、まず、前述の単木重量利用率に基づいて、各樹種の調査林分（モクマオウ林51カ所、タイワンハンノキ林50カ所、天然生広葉樹林18カ所）の重量利用率を推定した。すなわち、各林分の直径階ごとの幹重量に、それぞれの単木重量利用率（表4-4）を乗じて合計することによって林分利用重量を求め、これをその林分の幹重量で除して林分重量利用率を算定した。このようにして求めた林分重量利用率を表4-5, 6および7に掲げた。なお、林分材積利用率について同じようにして求め、参考のため表示しておいた。

Table 4-5-(1). Stand utilization percent of weight of Casuarina stand

Plot No.	Age (years)	Mean				per hectare		Stand utilization percent of volume (%)	Stand utilization percent of weight (%)
		Diameter at breast height (cm)	Tree height (m)	Stem volume (m ³)	Stem weight (ton)	Utilizing volume (m ³)	Utilizing weight (ton)		
1	9	6.6	9.0	86	49	43	30	50	61
2	9	7.9	10.3	113	67	68	47	60	70
3	9	6.9	9.5	98	58	58	40	59	69
4	10	9.0	11.6	152	91	101	70	66	77
5	5	4.6	7.0	64	36	24	17	38	47
6	6	5.6	8.1	77	44	37	26	48	59
7	9	7.9	10.0	127	75	77	53	61	71
8	9	7.9	9.5	106	62	63	43	59	69
9	15	12.4	13.2	180	112	142	97	79	87
10	12	8.3	11.1	142	86	95	66	67	77
11	12	9.8	12.4	130	79	92	64	71	81
12	12	10.9	12.4	115	70	86	59	75	84
13	12	12.7	12.6	101	62	80	54	79	87
14	8	7.6	10.6	113	67	69	48	61	72
15	13	9.5	12.0	132	80	91	63	69	79
16	4	4.3	4.7	30	16	9	6	30	38
17	6	5.4	7.6	52	31	26	18	50	58
18	5	4.3	6.0	34	18	5	3	15	17
19	8	8.7	9.0	80	46	50	34	63	74
20	7	7.3	7.0	61	34	34	23	56	68
21	5	4.6	4.6	31	16	8	6	26	38
22	6	5.6	5.9	57	31	21	15	37	48
23	5	5.2	6.9	65	36	20	14	31	39
24	14	10.9	12.7	128	79	91	67	71	85
25	9	8.3	9.4	100	59	64	44	64	75

Table 4-5-(2). Continued

Plot No.	Mean					per		hectars		Stand Utilization percent of volume (%)	Stand Utilization percent of weight (%)
	Age (years)	Diameter at breast height (cm)	Tree height (m)	Stem volume (m ³)	Stem weight (ton)	Utilizing volume (m ³)	Utilizing weight (ton)	Utilizing volume (m ³)	Utilizing weight (ton)		
27	7	6.1	8.6	78	44	32	21	41	48		
28	13	11.4	11.2	180	111	139	91	77	82		
29	10	8.7	9.7	147	88	102	71	69	81		
30	11	10.8	11.4	138	83	99	73	72	88		
31	11	10.4	11.2	173	105	123	84	71	80		
32	10	7.8	8.2	94	55	57	39	61	71		
33	6	6.3	8.0	90	51	41	29	46	57		
34	8	8.3	9.7	144	85	93	63	65	74		
35	13	11.3	11.6	182	111	139	94	76	85		
36	13	10.7	11.4	226	138	165	112	73	81		
37	38	23.1	17.8	365	231	327	220	90	95		
38	7	6.6	7.8	79	46	45	31	57	67		
39	23	17.4	17.6	266	165	226	152	85	92		
40	34	21.6	16.9	309	190	270	180	87	95		
41	11	9.4	9.7	160	93	117	76	73	82		
42	12	11.3	10.6	165	97	122	79	74	81		
43	5	5.9	7.3	73	41	29	20	40	49		
44	13	11.8	11.4	201	122	153	107	76	88		
45	8	8.1	8.3	112	65	72	49	64	75		
46	39	22.2	15.3	295	178	257	167	87	94		
47	39	21.7	15.0	334	209	295	199	88	95		
48	7	6.3	7.3	77	44	37	25	48	57		
49	10	9.7	10.1	191	116	141	96	74	83		
50	14	12.4	12.2	211	126	162	112	77	89		
51	10	9.0	10.0	107	63	70	49	65	78		

Table 4-6-(1). Stand utilization percent of weight of Formosan alder stand

Plot No.	Mean				per hectare				Stand utilization percent of volume (%)	Stand utilization percent of weight (%)
	Age (years)	Diameter at breast height (cm)	Tree height (m)	Stem volume (m ³)	Stem weight (ton)	Utilizing volume (m ³)	Utilizing weight (ton)	Utilizing volume (%)		
2	15	12.0	13.9	210	78	160	68	76	87	
3	11	10.6	11.0	166	59	123	49	74	83	
4	6	7.4	9.0	99	35	62	25	63	71	
5	6	6.4	7.6	114	38	48	21	42	55	
8	7	8.2	9.8	144	49	94	38	65	78	
9	5	4.2	6.1	53	16	19	6	36	38	
10	13	12.0	11.9	275	102	198	85	72	83	
11	10	5.7	8.7	116	37	75	27	65	73	
12	31	24.2	19.7	377	144	328	138	87	96	
13	6	7.7	8.2	87	30	55	20	63	67	
14	7	8.6	8.7	157	53	106	38	68	72	
15	5	7.1	8.5	127	44	72	30	57	68	
16	9	9.5	9.6	147	52	105	41	71	79	
17	11	10.9	11.1	246	89	189	76	77	85	
18	10	11.3	10.6	206	73	158	63	77	86	
19	8	9.2	9.1	175	60	121	47	69	78	
20	6	6.7	8.7	93	33	52	21	56	64	
21	12	11.6	11.6	214	77	158	64	74	83	
22	13	14.3	12.8	229	83	185	75	81	90	
23	5	6.2	7.1	73	23	34	14	47	61	
24	14	12.6	12.4	256	100	211	88	82	88	
25	18	16.2	15.0	265	100	223	93	84	93	
26	16	14.9	14.1	347	135	293	118	84	87	
27	15	15.5	15.0	296	111	239	98	81	88	
28	12	12.8	12.8	259	99	203	86	78	87	

Table 4-6-(2). Continued

Plot No.	Mean		per		hectare		Stand utilization percent of volume (%)	Stand utilization percent of weight (%)	
	Age (years)	Diameter at breast height (cm)	Tree height (m)	Stem volume (m ³)	Stem weight (ton)	Utilizing volume (m ³)			Utilizing weight (ton)
29	6	6.4	7.8	90	30	44	16	40	53
30	9	10.2	10.9	198	74	149	60	75	81
31	7	7.4	9.4	139	50	84	32	60	64
33	8	8.6	10.1	154	56	104	40	68	71
34	5	6.2	8.1	110	38	48	17	44	45
35	10	10.3	11.3	225	81	166	66	74	81
36	11	11.1	11.7	264	101	208	86	79	85
37	12	11.9	13.1	209	79	164	67	78	85
38	8	8.1	10.3	163	58	100	39	61	67
39	6	6.6	8.9	107	38	55	23	51	61
40	9	9.1	10.5	168	59	116	47	69	80
41	7	7.1	9.4	155	55	89	36	57	65
42	15	14.0	14.0	317	123	262	110	83	89
43	7	7.7	8.7	131	46	84	32	64	70
44	14	14.9	14.5	298	113	245	101	82	89
45	14	13.7	15.0	230	90	187	78	81	87
46	20	19.7	16.7	342	130	293	121	86	93
47	9	8.3	10.2	107	39	72	29	67	74
48	8	7.6	9.2	101	36	61	23	60	64
49	12	11.2	12.4	177	67	138	58	78	87
50	16	15.9	15.0	354	140	299	125	84	89

Table 4-7. Stand utilization percent of weight of natural broad leaved stand

Plot No.	Mean					per hectare		Stand utilization percent of volume (%)	Stand utilization percent of weight (%)
	Age (years)	Diameter at breast height (cm)	Tree height (m)	Stem volume (m ³)	Stem weight (ton)	Utilizing volume (m ³)	Utilizing weight (ton)		
1	11	5.3	4.9	64	32	19	12	30	38
2	12	5.9	5.5	119	59	46	29	39	49
3	12	5.1	5.5	100	46	29	18	29	39
4	13	5.6	5.7	108	53	40	23	37	43
5	15	5.7	5.8	114	56	42	24	37	43
6	16	5.7	5.9	124	61	51	29	41	48
7	16	5.6	5.5	96	48	40	24	42	50
8	17	6.7	6.5	141	69	73	42	52	61
9	17	6.6	6.9	171	80	99	53	58	66
10	21	6.2	6.2	137	65	60	34	44	52
11	22	7.8	6.5	132	67	94	51	71	76
12	27	7.3	6.8	162	80	105	58	65	73
13	27	5.5	5.8	111	55	65	38	59	69
14	27	8.7	5.6	156	81	124	71	79	88
15	28	8.9	7.3	111	57	85	47	77	82
16	30	8.6	6.5	157	77	117	63	75	82
17	35	7.3	6.5	183	90	129	71	70	79
18	37	7.4	7.4	239	116	180	95	75	82

ii 林分重量利用率と年令ならびに平均直径, 平均樹高との関係

1) 年令との関係

林分重量利用率と年令との関係を表わす式としては, それぞれつぎの重回帰式が最もよく適合する(図4-3)。

モクマオウ林

$$U = A^2 / (0.4399 - 0.0185 A + 0.0107 A^2) \quad (4-7)$$

台湾ハンノキ林

$$U = A^2 / (0.2325 - 0.0012 A + 0.0103 A^2) \quad (4-8)$$

天然生広葉樹林

$$U = -11.7138 - 5.2430 A - 0.0731 A^2 \quad (4-9)$$

ここに U: 林分重量利用率

A: 年令

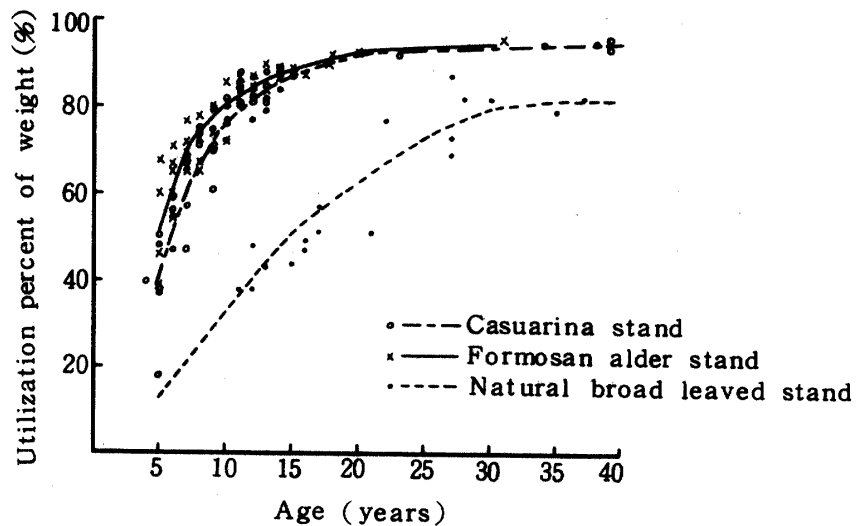


Fig. 4-3. Relation between age and utilization percent of weight of stand

Table 4-8. Stand utilization percent of weight in each age grade

Age grade in years	Stand utilization percent of weight in percent		
	Casuarina stand	Formosan alder stand	Natural broad leaved stand
5	41	52	13
10	76	80	33
15	88	89	51
20	92	92	64
25	94	94	74
30	95	95	80
35	95		82
40	95		82

これらの式から林分重量利用率を計算し、表示したのが表4-8である。ただし、天然生広葉樹林は25~30年で最大となるが、これは資料の不足に起因するものと考えられ、このような年令において利用率が最大値を示すとは考えられないので、この部分はフリーハンドで修正を加えた。

この表に基づき、林分重量利用率を比較すると、20年までは台湾ハンノキ林がモクマオウ林よりもやや高い数値を示すが、それ以降では殆んど差が認められない。これは、モクマオウ林よりも台湾ハンノキ林の方が直径生長において優れ、利用径級に達する時期がいくらか早いと認められる。また、天然生広葉樹林は、モクマオウ林や台湾ハンノキ林に比べて利用率が極めて低く、その増加の度もゆるやかである。これは、天然生広葉樹林の林分構成、とくに直径分布において、小径木の占める割合が高いためと推測される。このことを明らかにするために、資料林分について胸高直径6cm以下の立木の占める本数割合を計算し、図示したのが図4-4である。これによれば、モクマオウ林とタ

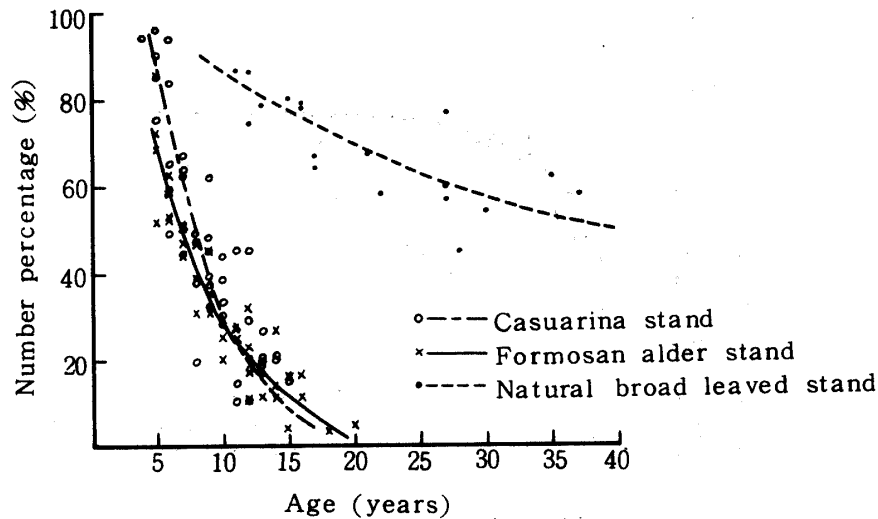


Fig 4-4. Number percentage of less than 6 cm in each stand

イワンハンノキ林の6cm以下の立木本数割合は、ほぼ近似した値をとりながら急激に減少し、20~25年では6cm以下の林木は殆んど消滅する。これに対して、天然生広葉樹林は年令の増加と共にその割合は漸次下降はするものの、35年を経過してもなお50%余りの小径木(6cm以下)が残存する。このような直径分布の違いが、林分重量利用率にかなりの影響を与えているものと考えられる。

2) 平均直径との関係

林分重量利用率と平均直径との関係を示すと図4-5のとおりである。両者の関係においては、それぞれつぎの重回帰式が成立する。

モクマオウ林

$$U = D^2 / (0.5557 - 0.00500D + 0.0117D^2) \quad (4-10)$$

台湾ハンノキ林

$$U = D^2 / (0.3408 - 0.0138D + 0.0105D^2) \quad (4-11)$$

天然生広葉樹林

$$U = D^2 / (1.7062 - 0.3514D + 0.0297D^2) \quad (4-12)$$

ここにU: 林分重量利用率

A: 平均直径

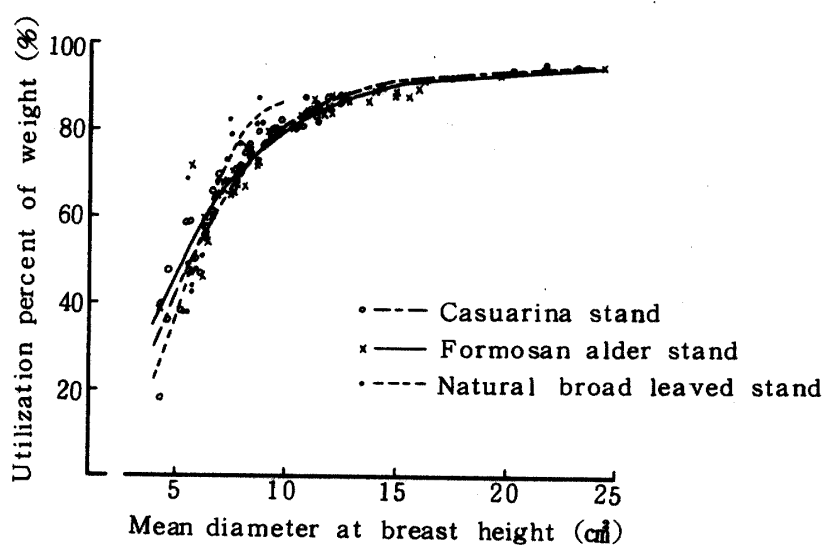


Fig. 4-5. Relation between diameter at breast height and utilization percent of weight of stand

すなわち、この関係においては、モクマオウ林と台湾ハンノキ林の利用率が、ほぼ同様な傾向をたどり、ややゆるやかに上昇するのに対して、天然生広葉樹林のそれは逆に平均直径の増加に伴って急激な変化を示す。これは、モクマオウ林と台湾ハンノキ林は同令林で、直径分布の範囲が比較的狭く、枯損率が大きいから、平均直径の増加に伴う利用重量の増加率が天然生広葉樹林に比べて小さくなることを示している。

3) 平均樹高との関係

林分重量利用率と平均樹高の関係は、それぞれ次式で表わすことができる。

モクマオウ林

$$U = H^2 / (0.9754 - 0.0840H + 0.0122 H^2) \quad (4-13)$$

台湾ハンノキ林

$$U = H^2 / (1.0197 - 0.0976H + 0.0130 H^2) \quad (4-14)$$

天然生広葉樹林

$$U = H^2 / (0.9820 - 0.1163H + 0.0097 H^2) \quad (4-15)$$

ここにU：林分重量利用率

H：平均樹高

これらの関係を図示したのが図4-6であり、平均直径との関係と同様、天然生広葉樹林の利用率は、モクマオウ林や台湾ハンノキ林のそれに比べて平均樹高の増加に伴って著しく増大する。しかも、その傾向は、平均直径との関係におけるよりも、樹形などの因子も関与してなお一層顕著である。

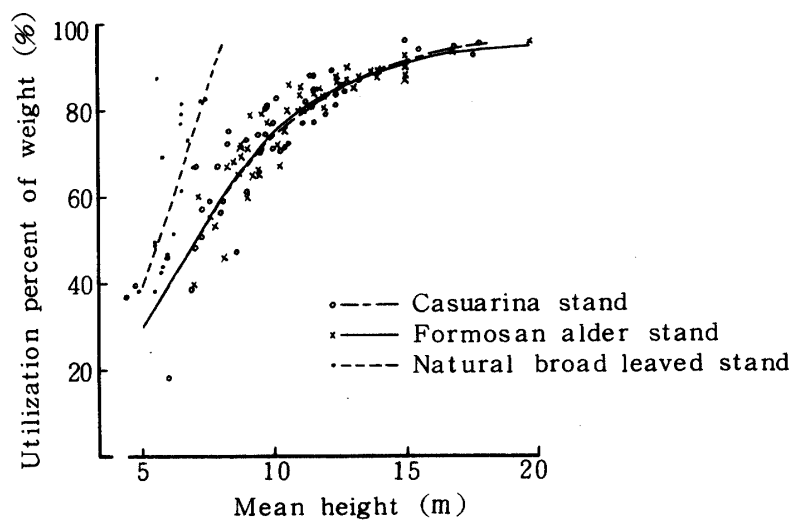


Fig. 4-6. Relation between mean height and utilization percent of weight of stand

Ⅲ 林分の利用重量収穫の予測およびその検討

Ⅰ 利用重量収穫の予測

利用重量収穫表は、前述の林分重量利用率の経時的変化と前章の重量収穫表を用いて調製した。すなわち、令階別林分重量利用率（表4-8）を重量収穫表へ適用することによって調製した。生長量および生長率の計算は重量収穫表の場合に準じて行った。

3樹種林分の利用重量収穫表を示せば、それぞれ表4-9、10および11のとおりである。なお、利用材積についても全く同じ手法で調製し、参考のため併記した。

Table 4-9. Utilizing weight yield table of Casuarina stand

Age grade in years	Mean										
	per					hectars					
	Diameter at breast height (cm)	Tree height (m)	Number of trees	Utilizing volume (m ³)	Increment Current annual (m ³)	Increment Mean (m ³)	Increment per cent (%)	Utilizing weight (ton)	Increment Current annual (ton)	Increment Mean (ton)	Increment per cent (%)
5	4.8	6.1	6,560	13	2.6	2.6	-	9	1.8	1.8	-
10	9.0	10.3	3,650	75	12.4	7.5	38.1	51	8.4	5.1	41.5
15	12.5	12.8	2,490	139	12.8	9.3	10.0	94	8.6	6.3	13.0
20	15.4	14.3	1,925	186	9.4	9.3	6.0	125	6.2	6.3	5.9
25	17.8	15.3	1,590	221	7.0	8.8	3.5	147	4.4	5.9	3.3
30	19.7	15.9	1,400	246	5.0	8.2	2.2	165	3.6	5.5	2.3
35	21.3	16.3	1,255	263	3.4	7.5	1.3	176	2.2	5.0	1.3
40	22.7	16.3	1,145	275	2.4	6.9	0.9	184	1.6	4.6	0.9

Table 4-10. Utilizing weight yield table of Formosan alder stand

Age grade in years	Mean										
	per					hectare					
	Diameter at breast height (cm)	Tree height (m)	Number of trees	Utilizing volume (m ³)	Increment Current annual (m ³)	Increment Mean (m ³)	Increment per cent (%)	Utilizing weight (ton)	Increment Current annual (ton)	Increment Mean (ton)	Increment per cent (%)
5	5.8	7.4	7,310	34	6.8	6.8	-	12	2.4	2.4	-
10	10.3	11.2	3,910	128	18.8	12.8	30.4	52	8.0	5.2	34.1
15	14.3	13.9	2,515	212	16.8	14.1	10.6	88	7.4	5.9	11.1
20	17.9	16.2	1,740	270	11.6	13.5	5.0	113	5.0	5.7	5.1
25	21.3	18.2	1,265	310	8.0	12.4	2.8	131	3.6	5.2	3.0
30	24.6	19.9	955	335	5.0	11.4	1.6	142	2.2	4.7	1.6

Table 4-11. Utilizing weight yield table of natural broad leaved stand

Age grade in years	Mean per hectare											
	Diameter at breast height (cm)	Tree height (m)	Number of trees	Utilizing volume (m ³)		Increment (m ³)		Increment per cent (%)	Utilizing weight (ton)	Increment (ton)		Increment per cent (%)
				Utilizing volume (m ³)	Utilizing weight (ton)	Current annual (m ³)	Mean (m ³)			Current annual (ton)	Mean (ton)	
5	3.4	3.2	11,500	2	0.4	0.4	0.4	-	1	0.2	0.2	-
10	5.0	4.8	9,800	14	2.4	1.4	2.4	47.6	9	1.6	0.9	55.2
15	6.0	5.6	8,800	42	5.6	2.8	5.6	24.6	25	3.2	1.7	22.7
20	6.7	6.2	8,000	74	6.4	3.7	6.4	12.0	42	3.4	2.1	10.9
25	7.3	6.6	7,300	102	5.6	4.1	5.6	6.6	55	2.6	2.2	5.5
30	7.7	6.9	6,800	123	4.2	4.1	4.2	3.8	66	2.2	2.2	3.7
35	8.0	7.1	6,400	135	2.4	3.9	2.4	1.9	73	1.4	2.1	2.0
40	8.3	7.2	6,100	140	1.0	3.5	1.0	0.7	77	0.8	1.9	1.1

ii 利用重量生長経過の検討

上記の利用重量収穫表に基づき、その生長経過の特性を明らかにするため、まず、幹重量生長との比較を試み、ついで、パルプ材生産林の成熟過程の基準ともいえる林分標準利用重量について検討を加えた。

1) 幹重量生長との比較

(1) モクマオウ林

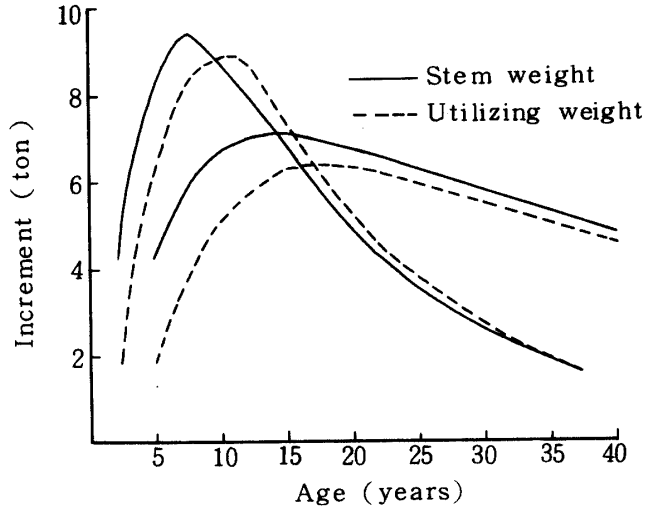


Fig. 4-7. Comparison between stem weight increment and utilizing weight increment in Casuarina forest

モクマオウ林の利用重量と幹重量の連年および平均生長量の推移を図示すれば、図4-7のとおりである。この図から明らかなように、連年生長量は幹重量が5~10年で最大になるのに対して、利用重量はこれより約5年遅れて10~15年で最大に達する。また、平均生長量についても、幹重量の10~15年に対して利用重量は15~20年と、やはりおよそ5年遅れて最大期が現われる。

(2) タイワンハンノキ林

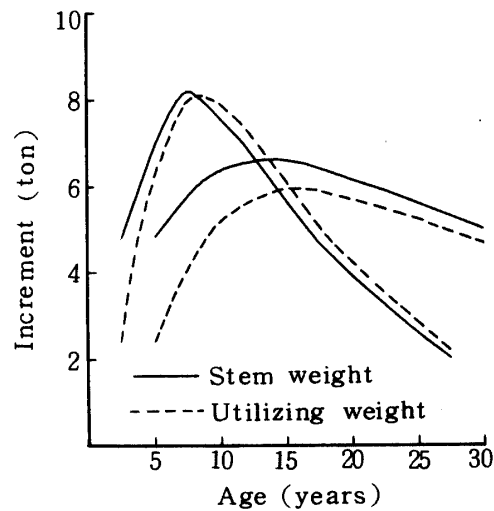


Fig. 4-8. Comparison between stem weight increment and utilizing weight increment in Formosan alder forest

図4-8は、台湾ハンノキ林の利用重量と幹重量の連年および平均生長量の経過を対比して示したものである。

これより、連年生長量の最大期は、幹重量、利用重量とも5~10年で殆んど差はないが、平均生長量は、幹重量10~15年、利用重量15~20年でそれぞれ最大に達し、約5年の違いが認められる。

(3) 天然生広葉樹林

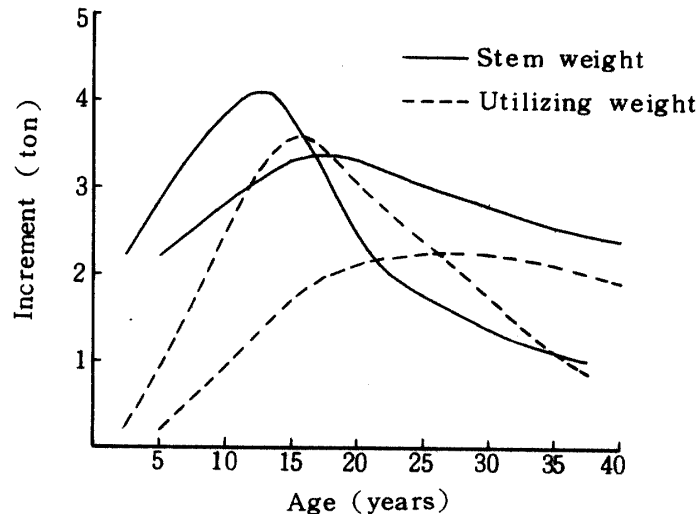


Fig. 4-9. Comparison between stem weight increment and utilizing weight increment in natural broad leaved forest

天然生広葉樹林の利用重量と幹重量の連年および平均生長量の最大期は、図4-9に示すように、それぞれ5年および10年の違いが認められる。すなわち、連年生長量は幹重量が10~15年、利用重量が15~20年でそれぞれ最大に達し、平均生長量は幹重量が15~20年で最大となるのに対して利用重量は25~30年で最大となる。

以上の分析結果から、利用重量の生長量は幹重量のそれに比べて、連年生長量についてはおよそ5年、平均生長量については5~10年遅れて最大に達することが明らかとなったが、これは、幹重量生長が最大に達しても、利用率はその時点で最大とならず、なお上昇を続けるためと思料される。なお、この傾向は、利用材積と幹材積の生長間の比較においても全く同様であった。

2) 林分標準利用重量

林分の利用重量をその林分の幹材積で除した値を林分標準利用重量と呼ぶことにすれば、これは、次式で表わすことができる。

$$\begin{aligned} W_{us} &= W_u / V \\ &= W \cdot U / V \\ &= V \cdot R \cdot U / V \\ &= R \cdot U \end{aligned}$$

ここに W_{us} : 林分標準利用重量
 W_u : 林分利用重量
 V : 林分幹材積
 U : 林分重量利用率
 R : 林分比重

すなわち、林分標準利用重量は林分の単位材積当りの利用実質重量を表わし、上式からわかるように、林分比重と林分重量利用率の積に等しい。従って、この値は林分比重および林分重量利用率の高い林分ほど大きな数値を示し、究極的にはパルプ材生産林の成熟度を表わす1つの目安になるものと考えられる。

Table 4-12. Utilizing weight of stand per 1 cubic meter of stem volume in each age grade

	Age grade in years							
	5	10	15	20	25	30	35	40
	ton per 1 cubic meter							
Casuarina stand	0.23	0.44	0.53	0.56	0.59	0.59	0.60	0.60
Formosan alder stand	0.16	0.30	0.34	0.36	0.37	0.37		
Natural broad leaved stand	0.05	0.14	0.24	0.32	0.36	0.41	0.42	0.42

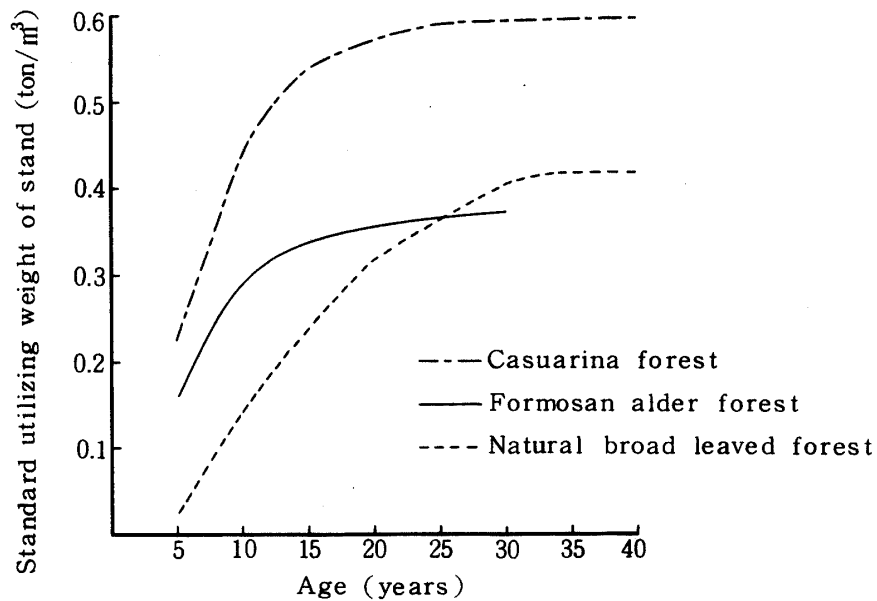


Fig. 4-10. Standard utilizing weight of stand in each forest

いま、3樹種の林分標準利用重量をそれぞれの収穫表から計算し、表示すれば表4-12のようになり、また、これを図示すれば図4-10のようになる。これらの図表から、林分標準利用重量は、幼令期においては小さく、年令の経過と共に著しく増加し、ある年令以降では一定の値に接近することがわかる。この傾向は、林分比重や林分重量利用率の経過とよく似ており、パルプ材生産林の成熟過程を適切に表現しているものと思われる。

つぎに、樹種別にその値について比較検討すると、モクマオウ林が最も高い数値を示し、ついでタイ

ワンハンノキ林、天然生広葉樹林の順となるが、25年以降では、タイワンハンノキ林よりも天然生広葉樹林の方が高い数値を示す。すなわち、3樹種の内では林分比重の最も大きいモクマオウ林が単位材積当りの利用重量が多いといえよう。また、タイワンハンノキ林は林分比重が最も小さいにもかかわらず、林分重量利用率が大きいいため、25年までは天然生広葉樹林よりも林分標準利用重量が多く、逆に天然生広葉樹林は、林分比重はタイワンハンノキ林よりも高いが、重量利用率が極めて低いため、単位材積当りの利用重量の増加率も比較的ゆるやかに上昇するものと推察される。

つぎに、林分標準利用重量の著しく減退する時期を成熟度からの伐期と考えて、その時期について検討すると、モクマオウ林約20年、タイワンハンノキ林約20年、天然生広葉樹林約30年となる。これらの時期は、それぞれ利用重量の平均生長量最大期と比べて、2～4年遅れる。

IV 考 察

本章では、パルプ材としての利用率を重量を通して検討し、利用重量収穫の予測を可能とすると共にその生長経過の特性を明らかにした。これらの研究結果に基づき、つぎに考察を試みる。

1) 従来、利用率または利用材積についての研究^{14, 15, 16, 17, 22, 23, 48, 49, 96, 115, 135, 136)}は、すべて構造材生産の立場からなされ、原料材生産の立場からなされたものはない。しかし、原材料であっても現在のところ小径木の利用までにはいたっていないのが実状である。そのため、利用径級に制限を受け、利用規格に基づいた利用率の導入を図る必要がある。

まず、原料材生産の立場から、パルプ材として採材した場合の重量での利用率を単木的に検討した。その結果、単木重量利用率は、胸高直径と極めて密接な関係を示し、直径のみからの推定が可能であることを明らかにし、これに基づいて林分重量利用率を誘導した。ついで、林分重量利用率と年令との関係を検討した。その結果、モクマオウ林とタイワンハンノキ林はさほど差がなく類いの経過をたどるが、天然生広葉樹林はこれらに比べて林分重量利用率が著しく低下し、その増加の度も緩やかであることがわかった。そして、これは、天然生広葉樹林の利用径級以下の小径木(6cm以下)の本数割合が他樹種に比べて高く、枯損率が小さいことに起因するものであることを指摘した。これらのことから考えて、天然生広葉樹林は、原料材生産を指向する場合であっても、除伐作業が必要で、少なくとも伐期にいたるまでには全林木が利用径級(6cm以上)に達するよう誘導すべきであろう。

2) 林分重量利用率と年令の関係式を重量収穫表へ適用することにより利用重量の収穫表を調製し、その生長経過の特性を明らかにするため、幹重量生長との比較を試みた。その結果、利用重量の平均生長量最大期は、幹重量のそれに比べて、モクマオウ林とタイワンハンノキ林は約5年、天然生広葉樹林は約10年、それぞれ遅れることがわかった。これは、幹重量と林分重量利用率の経時的変化のずれによって生ずるものと考えられる。すなわち、幹重量の生長量が最大に達しても林分重量利用率はなお上昇を続けるためと考えられ、天然生広葉樹林が他樹種よりも遅れの差が大きいのは、林分重量利用率の経時的増加が比較的ゆるやかなためであろう。

3) 林分の利用重量をこの林分の幹材積で除した値を林分標準利用重量と呼び、収穫表からこの値を計算し、その経時的変化について検討した結果、幼令期においては年令の増加と共に著しく増加し、ある年令以降は一定の値に接近する傾向が認められた。この値は単位材積当りの利用重量を示すと同時に、その内容が林分比重と林分重量利用率の積であることから、究極的にはパルプ材生産林の成熟度を表わす基準になるであろう。従って、この値の著しく減退する時期を成熟度からの伐期とすることも可能であろう。ちなみに、その年令は、利用重量の平均生長最大期に比べてモクマオウ林3年、タイワンハンノキ林4年、天然生広葉樹林2年、それぞれ遅れることが認められた。原料材生産林の伐期決定に当たっては、利用重量の平均生長量最大期と併せてこのことも十分に考慮すべきであろう。

第5章 研究の要約および総括的考察

I 研究の要約

本研究は、沖縄に生育する広葉樹の内、林業的に重要なイタジイ（イタジイを主体とする天然生広葉樹）、モクマオウ、タイワンハノキの3樹種について、その重量収穫の予測を行うと共に重量生長経過の自然的法則性を究明し、広葉樹の原料材生産林としての合理的保続的生産技術の確立に資することを目的とするものである。

第1章では、単木の材積と重量について究明し、この結果に基づいて、第2章では林分材積と林分重量の関係を表わす回帰式を誘導し、これを用いて、第3章では重量収穫の予測と重量生長経過の特性について検討した。ついで、第4章では、重量の利用率を導入した場合の重量収穫の予測を試みた。

これらの研究成果を要約すれば、つぎのとおりである。

1 単木における材積ならびに重量

まず、立木の重量を推定するためには立木幹材積が必要となるが、沖縄においては、モクマオウおよびタイワンハノキの立木幹材積表は調製されたものがない。そのため、新たに材積式を誘導し、その検討を試みた。

すなわち、モクマオウ155本、タイワンハノキ92本の資料を用いて資料の棄却検定、パートレット法による分散の一様性、回帰定数および回帰係数間の差の検定等各種の検定を行って、それぞれ次式のような対数材積式を誘導した。

モクマオウ

$$\log V = -4.1704 + 1.9020 \log D + 0.8438 \log H$$

タイワンハノキ

$$\log V = -4.3010 + 1.7715 \log D + 1.1101 \log H$$

ここにV：幹材積

D：胸高直径

H：樹高

これらの式の平均値の誤差率は、いずれも約0.7%で、材積式としては適正であると思われる。従って、これらの式に基づいて、表1-7および8のように、それぞれ材積表を作成した。

イタジイについては、84本の資料を用いて砂川¹²³⁾の立木幹材積表との適合度の検定を行い、よく適合することを確かめ、本表を用いることにした。

つぎに、単木重量は直接測定することが不可能なため、間接的に推定する外はない。この場合、従来のように気乾容積に基づく比重を媒介にするか、あるいは生材容積に基づく比重を用いるかが問題となる。ここでは、経営的立場から立木状態での重量推定が必要となるため、生材容積に基づく比重を用いるのが論理的であり、より適切であるという立場をとった。すなわち、生材時の容積に対する全乾時の重量を比重として単木重量を推定した。推定に当たっては、樹幹析解による方法を採用した。すなわち、普通の樹幹析解を行い、各円板から供試片を抽出して比重を測定し、円板の平均比重を算術平均で求め、この値に対応する部分の材積を乗じて各部の重量を計算し、これらを合計して単木の全幹重量を求めた。

つぎに、単木重量を簡易的に計算する1つの方法として標準比重の推定法について明らかにした。これには、いろいろな方法が考えられるが、ここでは胸高平均比重から間接的に推定する方法について検討を試みた。この方法においては、標準比重と胸高平均比重の回帰式を用いるいわゆる回帰推定と、両者の関係が原点を通る直線で表わされるものと仮定して、両者の平均の比または比の平均を用いる比推定の2通りが考えられる。

まず、回帰推定による場合は、モクマオウとイタジイについては、令級、径級による差が認められず、

従って、それぞれ1つの回帰式で表わすことができるが、台湾ハンノキは令級別に有意差があり、令級別の回帰式が必要であることがわかった。各樹種の回帰式は、それぞれつぎのとおりである。

モクマオウ

$$R = 0.07 + 0.88 S \quad (r = 0.993)$$

台湾ハンノキ

$$5 \sim 10 \text{年} \quad R = 0.03 + 0.92 S \quad (r = 0.981)$$

$$10 \text{年以上} \quad R = 0.07 + 0.85 S \quad (r = 0.968)$$

$$\text{全 体} \quad R = 0.04 + 0.90 S \quad (r = 0.952)$$

イタジイ

$$R = 0.01 + 0.98 S \quad (r = 0.973)$$

ここにR: 標準比重

S: 胸高平均比重

また、3樹種の回帰式間に有意差があるかどうかを共分散分析法によって検定した結果、回帰係数および修正平均間に差が認められなかった。すなわち、3樹種こみにして1つの回帰式で表わすことができる。3樹種の全資料から計算された回帰式を示せばつぎのとおりである。

$$R = 0.03 + 0.94 S \quad (r = 0.992)$$

ここにR: 標準比重

S: 胸高平均比重

つぎに、比推定による場合は、標準比重(R)と胸高平均比重(S)の平均の比 $K = \Sigma R / \Sigma S$ を比重修正係数(K)と呼ぶことにし、この係数について検討を加えた。その結果、令級、径級別の有意差検定では回帰推定の場合と全く同様な結果を得た。しかし、樹種間の有意差検定の結果では、モクマオウとイタジイは差がないが、台湾ハンノキは他の2樹種と統計的に有意差のあることがわかった。すなわち、比重修正係数を用いる場合には、回帰推定の場合とは異なり樹種別に係数を求める必要がある。

また、回帰推定と比推定の精度を比較するために、それぞれの誤差率を計算した。その結果、回帰推定と比推定で殆んど差がなく、いずれを用いても胸高平均比重から標準比重がきわめて高い精度(推定誤差率0.5~1.0%)で推定できることを認めた。従って、実行に当っては、たとえ樹種別の比重修正係数が必要であるとしても計算の煩雑さのない比推定が有効であろう。

つぎに、単木重量と直径、樹高および材積との関係をモクマオウ47本、台湾ハンノキ32本、イタジイ55本の資料を用いて検討した。その結果、単木重量と直径ならびに樹高との関係は、それぞれ幹材積とそれらの関係に極めてよく類似した傾向をたどることがわかった。また、単木の幹重量と幹材積との関係は、つぎのような直線回帰式で表わされ、相関度も極めて高いことがわかった。

モクマオウ

$$W = -2.11 + 640 V \quad (r = 0.997)$$

台湾ハンノキ

$$W = -2.97 + 398 V \quad (r = 0.999)$$

イタジイ

$$W = 0.55 + 458 V \quad (r = 0.999)$$

ここにW: 単木幹重量

V: 単木幹材積

これらの式を用いて、材積表から重量表の調製を試みたが、小径木に対する適合がよくないことがわかったので、つぎに独自に単木重量式の誘導を試みた。その結果、次式を得た。

モクマオウ

$$\log W = -1.5692 + 1.9540 \log D + 0.9526 \log H$$

タイワンハンノキ

$$\log W = -2.0250 + 1.6414 \log D + 1.4905 \log H$$

イタジイ

$$\log W = -1.4629 + 1.9399 \log D + 0.8325 \log H$$

ここにW: 単木重量

D: 胸高直径

H: 樹高

これらの重量式の平均値の誤差率は、いずれも約2%前後で、材積式に比べればややその精度は悪いが、実際に適用するには差しつかえないものと認め、これによって重量表の調製を行った。(表1-31, 32, 33)。

ii 林分材積と林分重量の基礎的関係

モクマオウ林51カ所、タイワンハンノキ林50カ所、天然生広葉樹林18カ所の調査林分について、前述の材積表および重量表を適用することによって、それぞれ林分材積および林分重量を得ることができる。つぎに、これを資料として林分材積と林分重量の関係について検討を試みた。その結果、それぞれ次式を得た。

モクマオウ林

$$W = -4.55 + 0.6330 V$$

タイワンハンノキ林

$$W = -7.08 + 0.4071 V$$

天然生広葉樹林

$$W = 1.41 + 0.4808 V$$

ここにW: 林分重量

V: 林分材積

これらの式は実測値とよく適合し、相関係数もモクマオウ林0.999、タイワンハンノキ林0.996、天然生広葉樹林0.995と極めて高い。また、回帰からの推定誤差率もモクマオウ林0.3%、タイワンハンノキ林0.6%、天然生広葉樹林0.7%と極めて精度の高い回帰式であることがわかった。これらの式を用いて、材積を重量に極めて容易に、しかも高精度で換算することができる。本研究においては、この利点を利用して重量収穫の予測を行うことにした。すなわち、まず材積収穫表を調製し、この収穫表のha当り幹材積を上記の関係式を用いてha当り幹重量へ変換して重量収穫表を調製することにした。

iii 林分の重量収穫の予測および重量生長経過の検討

前述したように、重量収穫を予測するためには、まず材積収穫表が必要となるので、その調製を試み検討を加えた。

まず、モクマオウ林材積収穫表と琉球地方モクマオウ防風林材積収穫予想表¹¹⁸⁾を比較した結果、材積生長においてモクマオウ林が良好な生長を示し、また、タイワンハンノキ林材積収穫表とコバノヤマハンノキ林材積収穫表¹⁴⁷⁾を比較し、タイワンハンノキ林の生長が優れ、特に幼令期においてその差が著しいことを明らかにした。ついで、天然生広葉樹林材積収穫表と九州地方コジイ林分材積収穫表⁵⁾および内地一般雑木林平均収穫表²¹⁾と比較し、天然生広葉樹林の材積生長は内地一般雑木林よりは良好で、今後の施業改善によっては九州地方コジイ林に匹敵する位の生長が期待できることを認めた。

つぎに、これらの材積収穫表から前述のようにして重量収穫表を調製した。すなわち、材積収穫表の各令階のha当り幹材積をそれぞれ林分材積と林分重量の関係式へ代入し、各令階ごとの幹重量を求めて重量収穫表を調製した。この手法は、年令と林分重量の関係から直接調製した場合、あるいは年令と林

分比重の関係から間接的に調製した場合のいずれともよく一致し、その妥当性が認められた。

この手法は、従来の年令を含む各種の因子と単木の重量または標準比重、あるいは林分比重との関係を用いての調製法に比べて極めて簡単であり、年令や地位に関係なく、いかなる材積収穫表からでも容易に重量収穫が予測できると同時に、その関係式は現実林に対しても直ちに適用できるという利点がある。

このようにして重量収穫表を調製し、これに基づいて重量生長経過の分析検討を行った。その結果、重量の平均生長量最大期は、材積のそれに比べて、差は小さいがいくぶん遅れる傾向にあることが認められた。すなわち、その差はモクマオウ林2年、台湾ハンノキ林2年、天然生広葉樹林はほぼ同時期である。これまでの研究結果とも併せて考察すれば、その差は、概して針葉樹林では大きく、広葉樹林では小さいことが認められたが、これは、広葉樹の比重の経時的変化が針葉樹に比べて比較的小さいため、重量生長が材積の生長経過に強く影響されることに起因するものと考えられ、広葉樹材の構成的特性ともいえるであろう。

つぎに、3樹種相互間ならびに他樹種を加えての重量収穫の比較検討を試みた。その結果は、1)モクマオウ林は最も良好な生長を示し、40年で天然生広葉樹林の2.1倍、リュウキュウマツ林の1.6倍、九州地方コジイ林の1.1倍の収穫量となる。2)台湾ハンノキ林は、林分比重が最も小さいにもかかわらず、材積生長が極めて良好なため、モクマオウ林と殆んど差がなく、リュウキュウマツ林や九州地方コジイ林に比べてその収穫量は多い。3)天然生広葉樹林は25年頃までは、リュウキュウマツ林よりも優れた生長を示し、九州地方コジイ林ともさほど差はないが、その後の生長が悪く、またモクマオウ林や台湾ハンノキ林に比べると、その収穫量は相対的に約 $\frac{1}{2}$ 程度である。4)平均生長量の最大期は、台湾ハンノキ林の13年が最も早く、ついでモクマオウ林の15年、天然生広葉樹林の17年、九州地方コジイ林の20年、リュウキュウマツ林の30年の順となることが明らかとなった。

つぎに、天然生広葉樹林のような異令林は年令の査定が困難で、たとえ本数令、面積令、材積令などによって平均年令が計算されたとしても実用的でなく、従って、年令を基準とした収穫表は、その調製および使用が極めて不便である。そのため、本研究では、平均断面直径を基準とした収穫予測を試みた。この結果は、表3-7, 8, 9に示すとおりであって、この収穫表は調製が簡単であるばかりでなく、年令や地位を考慮することなく使用できる。また、現場においては、直径の二乗平均の平方根とか、算術平均直径の平方と直径標準偏差の平方の和の平方根とか、もしくは算術平均直径と平均断面直径の精度の高い一次回帰式を用いる方法のいずれかによって平均断面直径を求め、この収穫表を有効に利用することができる。

従って、天然生広葉樹林ばかりでなく、沖縄においては、同令単純林であっても年輪の不明瞭な樹種が多いので、特に広葉樹林に対しては、すべてこの種の収穫表を適用すべきであると考えられる。

IV 林分利用重量収穫の予測

資源の合理的保続的利用においては、原材料を生産の目標とする林分であっても利用率の導入をはかり、利用重量収穫の最多を指向するような施業技術の確立が要請される。そのため、まず、単木利用率について検討し、林分重量利用率の推定を行い、年令と林分重量利用率の関係を用いて利用重量収穫の予測を試みた。

すなわち、まず、伐採点を0.2m、採材規格を末口最小皮内直径6cm以上、材長1.5mとして採材し、スマリアン法によって材積を求め、これに元口、末口の平均比重を乗じて重量を計算し、これを合計して単木の利用重量とした。つぎに、この利用重量をその単木の全幹重量で除して単木重量利用率を求めた。なお、一般に材積利用率は材積表材積に対する利用材積で求められるので、実用的立場からは、重量利用率も単木重量表の重量に対する利用重量で計算すべきであるが、ここでは、より正確な矛盾のない利用率を求めるため、実重量に対する比率を用いることにした。

このようにして、モクマオウ36本、台湾ハンノキ25本、イタジイ18本について単木重量利用率を

求め、直径ならびに樹高との関係について検討した。その結果、直径との関係においては、それぞれ次式が成立した。

モクマオウ

$$u = D^2 / (0.6732 - 0.0398D + 0.0110D^2)$$

タイワンハンノキ

$$u = D^2 / (0.8268 - 0.0627D + 0.0117D^2)$$

イタジイ

$$u = D^2 / (0.9121 - 0.0435D + 0.0108D^2)$$

ここに u : 単木重量利用率

D : 胸高直径

すなわち、単木重量利用率と直径の関係は、3樹種とも殆んど同様な経過をたどり、直径およそ20cmまでは直径の増加と共に急激に上昇するが、その後緩慢となることが認められた(図4-1)。

また、樹高との関係においても、樹高の低い間は急上昇し、樹高およそ15m位からゆるやかにすることが認められた。

つぎに、単木重量利用率と直径の関係を用いて林分重量利用率を誘導し、年令、平均直径ならびに平均樹高との関係を明らかにした。すなわち、林分重量利用率と年令の関係においては、つぎのような重回帰式が最もよく実測値に適合することを認めた。

モクマオウ林

$$U = A^2 / (0.4399 - 0.0185A + 0.0107A^2)$$

タイワンハンノキ林

$$U = A^2 / (0.2325 - 0.0012A + 0.0103A^2)$$

天然生広葉樹林

$$U = -11.7138 + 5.2430A - 0.0731A^2$$

ここに U : 林分重量利用率

A : 年令

この関係において、林分重量利用率は、モクマオウ林とタイワンハンノキ林はほぼ類似した経過をたどるが、天然生広葉樹林は、これらの林分に比べて著しく低下することを指摘し、これは、天然生広葉樹林の利用径級以下の小径木(胸高直径6cm以下)の本数割合が、モクマオウ林やタイワンハンノキ林に比べて極めて高く、枯損率が小さいことに起因するものであることを明らかにした。

つぎに、平均直径や平均樹高との関係においては、モクマオウ林とタイワンハンノキ林が比較的ゆるやかに上昇するのに対して天然生広葉樹林は逆に急激な上昇を示した。これは、天然生広葉樹林が他の2樹種林分に比べて立木本数が多く枯損率が小さいために、平均直径や平均樹高の増加が極めて顕著に利用重量に影響を与えるためと思われる。

つぎに、前述の林分重量利用率と年令の関係を用いて利用重量収穫表の調製を試み、その生長経過の特徴を明らかにするため、幹重量生長との比較検討を行った。その結果、利用重量の平均生長量最大期は幹重量のそれに比べてモクマオウ林とタイワンハンノキ林が約5年、天然生広葉樹林が約10年、それぞれ遅れることがわかった。これは、幹重量の生長量が最大に達しても林分重量利用率はその時点では最大とならず、なお上昇を続けるためと考えられる。

ついで、林分の利用重量をこの林分の幹材積で除した値を林分標準利用重量と呼ぶことにし、収穫表からこの値を計算した結果、幼令期においては年令の増加と共に著しく増加し、ある年令以降では一定の値に接近することが認められた。この値は、単位材積当りの利用重量を表わすと共にその内容を分析すると、林分比重と林分重量利用率の積であることから、究極的にはパルプ材生産林の成熟度を表わす基準

になるものと考えることができる。従って、この傾向は、パルプ材生産林の成熟過程を表わすものといえ、この値の著しく減退する時期をパルプ材生産林の伐期の基準とすることも可能であろう。ちなみにこの値の著しく減退する年令は、それぞれ利用重量の平均生長量最大期と比較して、モクマオウ林3年、タイワンハンノキ林4年、天然生広葉樹林2年と、2～4年遅れることがわかった。原料材生産林の伐期決定に当っては、利用重量生長とも併せて、このことを十分に考慮する必要があるであろう。

II 総合的考察

木材の需要形態の変化に伴ない林業生産の目標は構造材生産、原料材生産、燃料材生産に区分して考えられるようになった。しかし、林業生産の技術は依然として構造材生産を主体とし、原料材生産はその従属的なものとして取扱われている。そのため、原料材生産の合理的生産技術はまだ確立されていないのが実状であろう。一方、年々増加の傾向にある原料材の長期かつ安定的供給をはかるためには、それ独自の保続的生産技術の体系化が緊急な課題となってきた。

また、近年のパルプ原料材の需要増大は、パルプ資源の枯渇化を招来すると共に工業技術の進歩発展を誘発し、従来、不適當とされていた樹種のパルプ化を可能にし、広葉樹材の利用割合を急速に増加せしめた。そのため、従来、粗放的経営の行われてきた低質広葉樹に目が向けられるようになり、その科学的生産技術が強く要請されるにいたった。

しかるに、広葉樹を原料材生産の対象としたいわゆる重量収穫に関する研究は皆無に等しく、沖縄に生育する広葉樹については全然報告されたものがない。

本研究は、沖縄に生育する広葉樹の内、特に林業的に重要なイタジイ（天然生広葉樹）、モクマオウ、タイワンハンノキの3樹種を取り上げ、これらの重量収穫の予測を行うと共にその生長経過の法則性を解明し、広葉樹に対する科学的な原料材生産技術確立の基礎資料ならびに施業上の指針を与えることを目的とするものである。

最後に、これらの研究を通して総合的考察を試みる。

1) 重量を推定する場合、気乾容積を基にした比重を用いるよりも生材容積に基づく比重を媒介にした方が立木状態での全乾重量が求められ、経営上からは有効であるという立場をとった。従って、本研究では、生材容積に基づく比重を用いて単木重量を推定し、それを基礎として研究を進めた。すなわち、まず、生材時の容積に対する全乾時の重量を比重（容積密度数）として単木重量を推定し、この単木重量と直径および樹高との関係から2変数重量式を誘導し、これによって、単木重量表を作成し、林分重量の推定を可能にした。

これまで、重量表としては、C. E. MCGEE⁶⁾によるスラッシュマツ造林木の単木利用重量表の例はあるが、我国においてはその例をみない。本研究では、重量式として対数式を用いたが、平均値の誤差率は約2%前後であり、既往の材積式の精度に比べてやや劣るが、今後さらに資料数を増すことによって、その精度を材積式なみに引き上げることは決して不可能ではないと考えられる。また、重量計測が材積測定に比べて極めて困難で、かなりの時間と労力を必要とすることから、単木重量表の果たす役割は材積表に比べて大なるものがあると考えられる。従って、他の樹種についても、今後、本研究での手法を用いて単木重量表を作成しておけば、単木および林分の重量を非常に効率的に推定することができるであろう。

つぎに、簡易的に単木重量を求めようとする場合、経営的立場からは平井²⁵⁾の提唱する標準比重による方法が最も適切であろう。この場合、標準比重の推定法が問題となるが、本研究においては、胸高平均比重との関係から間接的に推定する方法について検討を試みた。その結果、回帰推定か比推定を用いて極めて高い精度で推定可能であることが明らかとなった。特に、比重修正係数による比推定は、計算の煩雑さがなく実用的であると考えられる。この方法を用いれば、胸高における比重のみを測定するこ

とによって単木重量が容易に求められ、重量計測の困難性を解消する1つの有効な手がかりになるであろう。

2) 重量収穫の予測方法として、従来、年令を含む各種の因子と単木重量または標準比重、あるいは林分比重の関係を用いて材積収穫表を重量収穫表へ変換する手法がとられてきた。しかし、本研究では、林分材積と林分重量との相関が極めて高いことを利用して、材積収穫表に基づき重量収穫を予測した。この手法は、年令や地位を考慮せず、いかなる材積収穫表からでも容易に重量収穫表が調製でき、また現実林に対しても直ちに適用できる点で従来の方法よりも優れているといえよう。

重量収穫表に基づき、重量生長経過について検討を加えた結果、平均生長量最大期は、材積のそれに比べて、その差はわずかではあるが、遅れる傾向にあることが明らかとなった。このことは、材積生長の最多を指向する場合と重量生長の最多を指向する場合では、後者の方がやや高伐期になることを示している。近年の林業生産の指向性の変化に対応するためには、高伐期の施業が望ましいことはいうまでもないが、その点からしても、原料材を生産目標とした林業経営において重量を指標とすることの意義が認められよう。

ついで、天然生広葉樹林のような異令林は勿論のこと、沖縄においては年輪が不明瞭で年令査定が困難な樹種が多いので、年令基準の収穫表よりも平均断面直径を基準とした収穫表が適切であることを指摘し、これによる収穫予測を試みた。この収穫表は、調製法が簡単であるばかりでなく、年令、地位を考慮することなく使用でき、沖縄の広葉樹の重量収穫予測に対して有効的な手段を与えたものといえよう。

3) 原料材であっても小径木の利用はコスト高となるため、規格の統制がはかられる。そのため、原料材を指向する林分に対しても利用率の導入が必要であることはいうまでもなく、少なくとも伐期にいたるまでには全林分が利用径級に達するような施業技術が要求される。従って、本研究では、まず単木利用率を重量の側面から検討し、これによって林分重量利用率の誘導を試み、利用重量収穫を予測すると共にその生長経過について検討した。すなわち、利用重量の平均生長量の最大期は、幹重量のそれに比べて約5~10年遅れることを明らかにし、さらに、パルプ材生産林の成熟度ともいえる林分の単位材積当りの利用重量の経時変化を検討し、この値の著しく減退する年令が利用重量の平均生長量最大期よりも2~4年遅れることを認めた。これらのことは、原料材生産林の伐期決定に対して極めて重要な手がかりとなり、今後の広葉樹施業上に1つの指針を与えたものといえよう。

以上は、重量収穫予測の立場から総括し、考察を試みたものであるが、つぎに研究対象樹種について総括を試みる。

4) 沖縄の森林は、その殆んどが天然生常緑広葉樹で占められているが、燃料材は生活様式の変化に伴ってその需要は激減し、経済性に乏しいので、生産目標を構造材と原料材の2つにしぼって考えることができる。しかし、構造材は現存する天然生広葉樹林の林分構成の面から考えて、その利用は限定されるため、殆んどはパルプ材の生産対象となるであろう。

天然生広葉樹林の重量収穫は、25年頃まではリュウキュウマツ林を上まわり、九州地方コジイ林ともさほど差がないので、今後、積極的に保育作業を実行し、その生長の促進に努めるならば、九州地方コジイ林に匹敵する重量収穫が期待できるものと考えられる。

パルプ材生産を目標とした場合の伐期は、利用重量の平均生長量が最大となる25~30年を最適とし、この時の利用重量は、60~70 tonで、成熟度としての林分標準利用重量は0.36~0.41 ton/m²である。

なお、天然生広葉樹の現実林分は、他樹種に比べて利用径級以下の小径木が多く、35年を経過しても50%余りの6cm以下の小径木が残存する。そのため、林分重量利用率が他樹種に比べて著しく低下する。従って、保育に当たっては、林分構成の改善に主眼をおき、伐期にいたる25~30年までには全林木が6cm以上の利用径級に達するような施業技術の確立に努めるべきであろう。

5) モクマオウは海岸砂地や琉球石灰岩地帯に適し、生長が速いため、その殆んどは海岸防風防潮林として沖縄各諸島の海岸に植栽されている。海岸防風防潮林は、現在、保安林に編入され禁伐林に指定されているために、何ら手を加えることなく放置されているのが現状である。しかし、防風防潮林であっても、伐採を全く禁止して放置しておくことは、防風機能を維持する点からは勿論のこと、経済上からも好ましくない。すなわち、防風防潮林は、その機能を十分に発揮させるために適当な保育と更新が必要であること、また経済的にはその造成に当っては多額の経費を投じていること、さらに、その位置するところは一般林地に比べて木材生産上有利な立地条件にあることなどから考えて、防風防潮林としてのモクマオウに対して、その機能の維持増進に重点をおいたところの積極的かつ合理的な施業が望まれる。この場合の生産目標としては、モクマオウの特性あるいはこれまでの実績に基づき、経済的立場を加味すればパルプ材生産が適切であろう。

パルプ材は、木材の組成物質を利用するものであるから、パルプ材生産を指向する林分においては、木材の実質量の生産に主体がおかれるべきである。従って、パルプ材としてのモクマオウは、質的には必ずしも最適とはいえないが、材積が同じであれば、比重が大きいので、他樹種に比べてパルプ原木用樹種としては極めて有利であるといえる。例えば、モクマオウ林の材積収穫量は、台湾ハンノキ林に比べて少なく、20年で約100 m³の差がある。ところが、重量収穫量については、逆にモクマオウ林の方が20 ton 多い。これは、モクマオウ林の単位材積当りの実質量がいかに大きいかを示すものである。

つぎに、モクマオウ林の幹重量の平均生長量最大期は10~15年であるが、パルプ材としての利用率を導入した場合の利用重量の生長量は、これより約5年遅れ、15~20年で最大となる。これをもって最適伐期とすることもできるが、防風林の場合には、さらに防風機能を考慮した伐期について検討すべきであろう。

一般に、林木は幼令期に耐風性が強く、老令になると、漸次それが弱くなるといわれる。しかし、防風効果の面からは、立木密度や樹形などによる多少の差はあっても樹高の高い林帯が望ましいと考えられる。従って、防風林の伐期は樹高生長の著しく減退する年令を目安にしてもよいであろう。

モクマオウ林の樹高生長は、収穫表から見た場合、25年頃から著しく減退する。従って、モクマオウを防風林としてなおかつパルプ材生産を目標とした場合には、その伐期として20~25年が最適であるといえよう。また、これは、パルプ材生産林の成熟過程から考えても適当な時期であり、この時期における利用重量は130~150 tonで、単位材積当りの利用重量は0.56~0.59 ton/m³である。

6) タイワンハンノキは低湿地に適する樹種ではあるが、道路の切取面、崩壊地および開墾跡地などにも天然に侵入し、しかもその生長は旺盛で、地力回復の効果と併せ山地防災林造成樹種としても注目されている。また、その材の利用範囲は広く、茶箱、家具、マッチ軸木などにも用いられる。しかし、現在、沖縄ではこれらの需要がなく、今後その利用面の研究開発が望まれるが、当面の目標としてはパルプ材生産が適切であろう。

台湾ハンノキ林の重量収穫量は、林分比重が小さいにもかかわらず、九州地方コジイ林やリュウキュウマツ林に比べて多く、モクマオウ林ともさほど差がない。むしろ、材質的にはモクマオウよりも優れていると考えられ、パルプ材としては十分に期待がもてるであろう。

その利用重量の平均生長量最大期は、幹重量のそれより約5年遅れ、15~20年である。すなわち、台湾ハンノキ林の伐期は、成熟度を配慮しても15~20年が最適であり、その時の利用重量90~110 tonは、モクマオウ林の90~130 tonに匹敵し、天然生広葉樹林の30~40 tonの約3倍となる。

一方、現在、台湾ハンノキの造林面積が少なく、そのため、これに関する研究は全くなされていないと言っても過言ではない。今後積極的にその造林を拡大し、併せて各分野からの研究がなされ、科学的な施業法の組織化がなされるならば、台湾ハンノキは沖縄林業の主導的役割を果すものと確信する。

以上は、沖縄の森林の大半を占める天然生広葉樹、海岸人工林として最も重要なモクマオウおよび森林崩壊地や河畔部等の代表的樹種であるタイワンハンノキの主要樹種について、その重量収穫の実態を測樹学的側面から考察を試みたものであるが、天然生広葉樹は国土保全や水源涵養林として、またモクマオウは海岸防災林造成樹種として、さらにタイワンハンノキは山地防災用樹種としてそれぞれ公益的立場からも重要な特性がある。

本来、沖縄においては、風に対する対策、水資源の確保、山地開発に伴う山地崩壊に対する施策は極めて重要な課題である。すなわち、沖縄は季節風が最もよく発達し、しかも台風の襲来が多いため農林業はもとよりあらゆる産業に多大な影響を与え、また人口の増加や農工業の進歩発展に伴う水資源の枯渇化は深刻さを増し、さらに甘蔗やパインアップル産業の規模拡大のためかなりの傾斜地まで機械化による開墾が行われて山地崩壊は急速に進みつつある。このような沖縄の自然的、社会的条件下において、森林に課された防災的役割は極めて重大であるといわねばならない。

そのため、沖縄においては、各樹種の公益的特性を十分に認識し、これに立脚したところのいわゆる森林の公益的機能と木材生産の調和のとれた施業技術の体系化に努めるべきであり、これが沖縄林業の重要な課題でもあろう。論ずるまでもなく、公益的機能を基礎とした木材生産の効率的、保続的施業技術の確立は、測樹学的側面ばかりでなく、造林学的、木材利用学的、森林物理学的側面などあらゆる分野からの研究が実施され、総合的に考察が加えられてはじめて可能である。

参 考 文 献

1. 天野鉄夫 1969 沖縄自然界の学問的開拓者「黒岩恒」 黒岩恒先生顕彰記念誌
2. 安達正昭 1962 コジイの材積及び重量生長について 未公表(九大林学科卒論)
3. 新本光孝 1973 同令単純林の形質構成に関する研究 琉大農学部学術報告 20
4. 安里練雄, 関屋雄偉 1970 原料材生産林に関する基礎的研究(Ⅱ) -コジイ林分の標準比重について- 日林講第81回
5. 安里練雄 1975 シイ林の重量生長に関する研究 沖縄林試報告 17
6. AVERY, T. E. 1967 Forest Measurements, McGraw-Hill Inc.
7. BROWN, H. P., A. J. PANSIN and C. C. FORSAITH 1952 Textbook of wood Technology, vol. 2, McGraw-Hill Inc.
8. BRUCE, D. and SCHUMACHER, F. X. 1950 Forest Mensuration, 3. ed, McGraw-Hill Inc.
9. 築瀬英世, 奥田吉春 1965 伐採の限界径級について 日林講第76回
10. COCHRAN, W. G. 1968 Sampling Techniques, John Wiley & Sons Inc.
11. 長正道, 木梨謙吉 1963 Sub Sampling による九州大学宮崎演習林第6次(1960)蓄積調査報告 九大農学部演習林集報 19
12. EGBERT H. WALKER, 1954 Important Trees of the Ryukyu Islands, United States Civil Administration of the Ryukyu Islands
13. FRANK FREESE 1964 Linear Regression Methods for Forest Research, U. S. Forest Service Research PAPER. FPL.
14. 羽田清五郎 1957 利用材積に関する研究(第1報) -未利用梢頭材積および利用長について- 日林講第67回
15. 羽田清五郎 1960 利用材積に関する研究(Ⅳ) -スギ樹形の細り表の調製について- 日林講第69回

16. 羽田清五郎 1964 利用材積に関する研究(8)ーヒバ天然木の幹形についてー 日林講第75回
17. 羽田清五郎 古客英明 1961 利用材積に関する研究(6)ースギ根曲り木の根曲り材積率と地形との関係ー 日林講第71回
18. 畑村又好, 奥野忠一, 津村善郎共訳 1972 スネデカー, コ克蘭統計的方法 岩波書店
19. 初島住彦 1971 琉球植物誌 沖縄生物教育研究会
20. 初島住彦, 天野鉄夫 1958 沖縄植物目録 沖縄生物教育研究会
21. 早尾丑磨 1939 日本主要樹種林分収穫表 帝国森林会
22. 林 亀 1959 信州カラマツの細り表について 日林講第69回
23. 樋口俊明, 林 亀 1954 カラマツ造林木の用材率 日林講第64回
24. 曳地政雄, 大北英太郎, 大森一男 1956 智頭地方スギ利用材積表の調製 日林講第65回
25. 橋本和美 1964 コジイの重量生長に基づく伐期令について 未公表(九大林学科卒論)
26. 平井信二 1947 林木の重量生長に関する研究第1報 東大演報 35
27. 平井信二 1950 同上 第2報 東大演報 38
28. 平井信二 1951 同上 第3報 東大演報 39
29. 平井信二 1953 同上 第4報 東大演報 45
30. 平井信二 1955 同上 第5報 東大演報 48
31. 平井信二 1958 同上 第6報 東大演報 54
32. 平井信二 1962 同上 第7報 東大演報 57
33. 平井信二 1962 林木の形質成長について 木材学会誌 8(1)
34. 平田永二, 砂川季昭 1969 沖縄に生育する有用広葉樹の重量生長に関する研究Iーオキナワシイ(*Castanopsis lutchuensis* Nakai)についてー 琉大農学部学術報告 16
35. 平田永二, 砂川季昭 1970 同上IIータイワンハンノキ(*Alnus formosana* Makino)についてー 琉大農学部学術報告 17
36. 平田永二, 砂川季昭 1972 同上IIIータイワンハンノキおよびモクマオウの原料材としての利用率ー 琉大農学部学術報告 19
37. 平田永二 1973 同上IVー円板採取位置および供試片の抽出法についてー 琉大農学部学術報告 20
38. 平田永二 1973 同上Vー容積測定法の検討ー 琉大農学部学術報告 20
39. 平田永二, 砂川季昭 1974 同上IVー比重修正係数による単木重量の推定ー 日林九支論 27
40. 広田貞雄 1940 木麻黄海岸林の台風被害と施業上の一考察 台湾の山林 176
41. 広田貞雄 1951 本県に於ける木麻黄の調査報告(附:木麻黄の育苗について) 鹿児島県林試場報告 3
42. 本多静六 1971 森林家必携 林野弘済会
43. 飯塚寛 1964 成長曲線にもとづく樹幹の重量成長の研究 九大農学部演習林集報 20
44. 井上由扶 1960 アカマツ林の中林作業法に関する研究 九大農学部演習林報告 32
45. 井上由扶 1974 森林経理学 地球出版
46. 井上由扶, 関屋雄偉 1962 原料材生産林の伐期令について 日林九支講 16
47. 海沼武一 1969 岩手県九戸地方における天然生アカマツの利用率について 日林講第78回
48. 柿原道喜 1967 九州地方におけるカラマツ林の施業上の特性に関する研究 九大農学部演習林報告 41
49. 柿原道喜, 尾形隆志, 木梨謙吉 1967 利用材積表の調製方法に関する研究(I) 日林講第78回

50. 神谷生 1937 挿木による木麻黄苗木養成 台湾の山林 129
51. 金平亮三 1921 木麻黄の菌根接種に関する一、二の例 台湾総督府林試場報告 7
52. 金平亮三 1936 台湾樹木誌 台湾総督府中央研究所林業部
53. 檜山徳治 1962 防風林の造成 琉球政府経済局林務課みどり 10
54. 檜山徳治 1967 防風林 琉球政府農林局農林部林業資料 8
55. 片山茂樹, 田中祐一 1954 森林經理 林野共済会
56. 香山疆 1975 熱帯地域における造林用早生樹種のパルプ特性について(1) 熱帯林業 35
57. 香山疆 1975 同上(2) 熱帯林業 36
58. 香山疆 1975 同上(3) 熱帯林業 37
59. 川口武雄 1962 森林物理学(気象編) 地球出版
60. 川崎修吾 1965 沖縄の林業推進に対する私見の概要報告 琉球政府経済局林業資料 5
61. 加納孟 1973 林木の材質 日本林業技術協会
62. 加納孟 1961 幹の平均比重をしめす位置について 林試研報 134
63. 加納孟 1958 木材材質の森林生物学的研究(第14報) 林試研報 101
64. 木梨謙吉 1953 推計学を基とした測樹学 朝倉書店
65. 木梨謙吉 1972 林業試験における実験計画法について 九大農学部演習林研究資料 7
66. 木梨謙吉, 長正道 1958 標本抽出による三方嶽天然生林(九大宮崎演習林)蓄積調査報告 九大農学部演習林集報 10
67. 木梨謙吉, 長正道 1961 標本抽出法による九州大学宮崎演習林第三次(1958年)蓄積調査報告 九大農学部演習林集報 15
68. 木梨謙吉, 長正道 1961 標本抽出法による九州大学宮崎演習林第4次(1959)蓄積調査報告 九大農学部演習林集報 15
69. 岸根卓郎 1972 理論応用統計学 養賢堂
70. 近藤正巳 1959 林業技術者のための推計学入門 養賢堂
71. 熊本営林局 1960 あかまつ立木利用材積表
72. 黒沢持恭 1938 沖縄台風と海岸林の構造 沖縄県山林会報 6
73. LI, C.C. 1964 Introduction to Experimental Statistics,
74. 林子玉 1968 台湾中南部相思樹林分収穫表及材積表 台湾省立中興大学, 台湾省林務局合作研究報告
75. 劉業経 1972 台湾木本植物誌 国立中興大学農学院叢書 6
76. MEYER, H.A. 1953 Forest Mensuration, Penns Valley P. Inc.
77. 嶺一三 1952 測樹 朝倉書店
78. 嶺一三 1955 収穫表に関する基礎的研究と信州地方カラマツ林収穫表の調製 林野庁林業試験場収穫表調製業務研究資料 12
79. 三島愨, 谷口信一, 菅野高穂 1962 広葉樹材の利用率に関する研究(I) - 苫小牧演習林の夏山作業における素材生産の集約度 - 日林講第73回
80. 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 熊本営林局
81. 森口繁一 1965 推計学によるデータのまとめ方 岩波書店
82. 中平幸助 1974 広葉樹林業の現状と展望 - ハンノキ類の育種について - 山林 1086
83. 中村賢太郎 1955 これからの林業経営 朝倉書店
84. 中村賢太郎 1958 これからの林業のあり方 琉大農家政学叢書 11

85. 中村賢太郎 1960 モクマオウの造林—国土の美化, 防風の効果, 木材生産— 琉球政府経済局林務課みどり 2
86. 中山伊知郎 1972 現代統計学大辞典 東洋経済新報社
87. 中山博一 1957 林木材積測定学 金原出版
88. 日本化学会 1972 化学便覧基礎編Ⅱ 丸善株式会社
89. 日本林業技術協会 1971 林業百科事典 丸善株式会社
90. 西沢正久 1959 森林測定法 地球出版
91. 西沢正久 1972 森林測定 農林出版
92. 西沢正久, 川端幸蔵, 神戸喜久 1962 林分解析に関する研究(第1報) 林試研報 141
93. 小幡進 1958 沖縄本島北部地区山地開発計画に関する意見書 琉球政府経済局開発課
94. 沖縄県山林会 1938 沖縄県の林業 琉球林業協会
95. 大金永治 1956 樹幹の形状と細り表の調製(第1報) 日林講第65回
96. 大沢正之, 井阪三郎 1943 アカエゾマツ樹幹内木材比重の偏異 札幌農林学会報 35(4)
97. 大隅真一, 北村昌美, 菅原聡一, 大内幸雄, 梶原幹弘, 今永正明 1971 森林計測学 養賢堂
98. 大山保表 1957 沖縄本島北部地方のモクマオウ (*Casuarina equisetifolia* Forst) 海岸林の生育について 琉大農学部学術報告 4
99. 大山保表 1970 リュウキュウマツの造林ならびに施業に関する基礎的研究 琉大農学部学術報告 17
100. 大山保表, 砂川季昭, 山盛直, 平田永二, 高江洲重一 1971 リュウキュウマツに対するソウシジュの混交効果試験1 琉大農学部学術報告 18
101. PRODAN, M. 1965 Holzmesselehre, Frankfurt am Main.
102. 林業試験場経営部 1955 標本調査法 収穫表及材積表調製業務参考資料
103. 林業試験場経営部 1957 立木材積表調製法解説書
104. 林野庁 1952 同令単純林の林分収穫表調製要綱
105. 林野庁 1971 保安林の実務 地球出版
106. 林野庁計画課 1972 立木幹材積表(西日本編) 日木林業調査会
107. 琉球政府 1970 沖縄の林業 蔡蕙叢書 11
108. 琉球政府経済局林務課 1963 沖縄の林業概況(1) みどり 17
109. 佐藤大七郎 1965 沖縄の造林について考える—おもに技術的に— 琉球林業協会林業普及書 11
110. 佐藤敬二 1964 琉球の造林とその推進に関する提言 琉球林業協会林業普及書 9
111. 佐藤敬二 1971 新造林学 地球出版
112. SCHUMACHER, F. X. & CHAPMAN, R. A. 1954 Sampling Methods Forestry and Range Management, Durham, N. C.
113. 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 九大農学部演習林報告 38
114. 関屋雄偉, 吉永智信 1969 利用材積収穫表にもとづく伐期令の研究(Ⅲ)—九州におけるスギとヒノキの同令単純林の場合について—日林講第80回
115. 四手井綱英 1970 沖縄の林業についての所感 琉大農家便り 170
116. 昇益川之 1924 木麻黄の造林試験 台湾総督府中央研究所林業部彙報 3
117. 総理府特別地域連絡局 1961 西表島第二次農業調査報告書
118. 妹尾俊夫 1973 アカマツ林の重量生長に関する基礎的研究 京都府立大学演習林報告 18

119. 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 琉大農学部学術報告 2
120. 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 琉大農学部学術報告 3
121. 砂川季昭 1957 オキナワシイの胸高形数 琉大農学部学術報告 4
122. 砂川季昭 1967 沖縄に生育する広葉樹の Bitterlich 法による材積推定ならびに収穫予測に関する研究 琉大農学部学術報告 14
123. 砂川季昭 1969 タイワンハンノキ (*Alnus formosana* Makino) の施業に関する研究 (I) 琉大農学部学術報告 16
124. 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 琉大農学部学術報告 10
125. 砂川季昭, 平田永二 1965 ビッターリッヒ法による本数ならびに材積の推定 (II) 琉大農学部学術報告 12
126. 砂川季昭, 平田永二 1965 樹木の偏倚成長について—成長錐挿入方向の検討— 琉大農学部学術報告 12
127. 砂川季昭, 平田永二 1968 リュウキュウマツおよび常緑広葉樹の施業について 蔡蕙叢書 9
128. 砂川季昭, 平田永二 1971 リュウキュウマツ林の施業に関する研究 (III) 琉大農学部学術報告 18
129. 砂川季昭, 新本光孝, 平田永二, 小泉修 1974 沖縄事業区広葉樹収穫表の調製 熊本宮林局
130. 砂川季昭, 山盛直 1964 壮令広葉樹林分の林分構成 琉大農学部学術報告 11
131. 台湾総督府農業試験場 1944 台湾農家便覧 台湾農友会
132. 高江洲重一 1967 本数密度に関する研究—潮害防備林におけるトクサバモクマオウの本数密度について— 琉球林業試験場研究報告 10
133. 高江洲重一, 玉城功 1971 イタジイ (*Casutanopsis Sieboldii* Hatusima) を主体とする天然生広葉樹林の収穫予想表の調製 琉球林業試験場研究報告 14
134. 武井富久雄 1965 ヒノキの樹幹曲線について 日林誌 47(7)
135. 武井富久雄, 渡辺実 1963 カラマツ樹幹の細りについて 日林誌 45(5)
136. 武元生 1934 木麻黄の種類と識別 台湾の山林 95
137. 玉城功, 高江洲重一, 仲間清一, 安次富長敬 1973 本数密度に関する研究—山地におけるグラウカモクマオウの本数密度について— 沖縄県林試研報 16
138. 谷口義晴 1941 造林上より見たる木麻黄の品種に就て 台湾の山林 178
139. 谷口義晴, 稲村時衛 1940 単寧資源としての木麻黄に就て 台湾の山林 172
140. 寺田一彦 1958 推測統計法
141. 東京帝国大学農学部附属演習林 1940 台湾ニ生育スベキ熱帯林木調査 有加利, あかちあ, 木麻黄, 其他濠洲林木編
142. 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 鹿大農学部学術報告 13
143. TRENDELENBURG, R. & H. M. MAYER-WEGELIN, 1955 Das Holz als Rohstoff, zweite auflage, Munchen.
144. 堤寿一, 渡辺治人 1961 九州大学北海道演習林産ミズナラ材々質試験第1報 比重について 九大農学部演習林集報 15
145. 堤寿一, 渡辺治人 1961 樹幹内の材質のパラツキについて (第1報) ミズナラ材の比重での例 木材学会誌 7(3)

146. 植村誠次 1964 肥料木と根粒菌 地球出版
147. 若江則忠 1961 日本の海岸林 地球出版
148. 渡辺治人 1939 人工杉材の樹幹に於ける容積重の分布に就て 日本林学会誌 27 (10)
149. 山田茂夫, 村松保男 1971 例解測樹の実務 地球出版
150. 柳沢聡雄外 1971 新しい天然更新技術 創文
151. 吉田正男 1950 理論森林経理学 地球出版

Summary

The purposes of this work were to estimate the weight yields of the tan oak, *Castanopsis Sieboldii* HATUSIMA, the casuarina, *Casuarina equisetifolia* J. et G. FOREST, and the Formosan alder, *Alnus formosana* MAKINO, three broad leaved trees of importance in Okinawa, to investigate the natural law of the progress of weight growth, and, hence, to contribute for establishment of the rational sustained working techniques for the broad leaved trees to form forest for production of raw materials.

In Chapter I single tree volume and weight were studied and, based on the result, in Chapter II a regression equation was derived to express a relationship between the volume of stand and the weight of stand and, based on the relationship, in Chapter III an estimation of the weight yield and the characteristics of the progress of weight growth were evaluated. Next, in Chapter IV an estimation of weight yield by introducing the utilizing percentage of weight was carried out.

The results were summarized in the following paragraphs.

Chapter I Single Tree Volume and Weight

In order to estimate the weight of standing tree, the volume of standing tree was required. Nevertheless, the volume tables of the casuarina and the Formosan alder in Okinawa were not available. Thus, new volume equations were derived and evaluated.

The following logarithmic volume equations were derived after tests of rejection of data, tests of homogeneity of variance of Bartlett's method, and evaluating difference between a regression constant and a regression coefficient using 155 samples of the casuarina and 92 samples of the Formosan alder.

The casuarina

$$\log V = -4.1704 + 1.9020 \log D + 0.8438 \log H$$

The Formosan alder

$$\log V = -4.3010 + 1.7715 \log D + 1.1101 \log H$$

where V: stem volume, D: diameter at breast height, and H: tree height.

The error percentage of the mean of these equations was about 0.7% and could be considered

as satisfactory for volume equations. Volume tables, Tables 1-7 and 1-8, were evaluated by these equations.

For the tan oak, the stem volume table of Sunagawa¹²¹⁾ was used since the goodness of fit test with 84 samples was satisfactory.

Next, since the weight of trees could not be measured directly, it could be estimated by indirect methods. In this case, a question was whether the specific gravity basing on a volume in an air-dry condition should be used as in the past cases or the specific gravity basing on the volume in a green condition should be used. In this work, since a weight estimation was required from the view point of forest management, the latter specific gravity was considered as reasonable and proper. In other words, the weight of tree was estimated by taking the value of the dry weight with respect to the green weight as the relative gravity. A method of stem analysis was used for an estimation of the volume per tree. Namely, by a usual regular stem analysis, test pieces were sampled from each disks. Their specific gravities were obtained. Then, arithmetic average specific gravity of disks was determined. To this value the respective volume of section of stem was multiplied to obtain the respective section weight. The total weight of the stem was determined by summing these values.

Next, as a conventional calculation method of tree weight a method of estimation of the mean specific gravity of tree was made clear. Among many possible ways, a method of indirect estimation from average specific gravity at breast height was examined. In this method, there were the regression estimate using the regression equation of mean specific gravity and average specific gravity at breast height and the ratio estimate using the ratio of mean or the mean of rates of the both values basing on the assumption that the relationship between the both values could be expressed by the linear equation passing through the origin.

In the case of regression estimate, the casuarina and the tan oak gave no variation among age classes and among diameter classes, hence, gave single regression equations respectively. The Formosan alder gave a significant difference among age classes, hence, gave different regression equations for respective age classes. The regression equations of these trees were shown in the following equations.

The casuarina

$$R = 0.07 + 0.88 S \quad (r = 0.933)$$

The Formosan alder

$$5-10 \text{ years} \quad R = 0.03 + 0.92 S \quad (r = 0.981)$$

$$\text{Greater than 10 years} \quad R = 0.07 + 0.85 S \quad (r = 0.968)$$

$$\text{The total} \quad R = 0.04 + 0.90 S \quad (r = 0.952)$$

The tan oak

$$R = 0.01 + 0.98 S \quad (r = 0.973)$$

where R: tree mean specific gravity, S: average specific gravity at breast height.

Furthermore, the result of the analysis of covariance test to examine significant difference among the regression equations of three types gave no significant difference among regression

coefficients and adjusted means. Namely, a single equation could be used for the regression equation for these trees as a whole. From all data of these trees, the following regression equation was obtained.

$$R = 0.03 + 0.94 S \quad (r = 0.992)$$

Next, in the case of ratio estimate, the ratio of mean specific gravity (R) to average specific gravity at breast height (S), $K = \Sigma R / \Sigma S$, was called as an adjusted coefficient of specific gravity (K) and the coefficient was evaluated. As the result, for age class and diameter class a test of significant difference gave the same conclusions to the case of the regression estimate. But, among tree types a test of significance gave no significant difference between the casuarina and the tan oak and a significant difference between the Formosan alder and other two trees. Namely, in using the adjusted coefficient of specific gravity, unlike the regression estimate the coefficients had to be evaluated for each species.

Also, in order to compare the precision between the regression estimate and the ratio estimate, respective error percentage was calculated. As the result, there was no difference between the regression estimate and the ratio estimate and either estimate could give mean specific gravity from average specific gravity at breast height with a high precision (error percentage of mean of 0.5 - 1.0). Thus, in actual evaluation, in spite of the necessity of adjusted coefficient of specific gravity for each tree species, the ratio estimate would be useful due to simplicity in calculation procedure.

Next, relationships between the tree weight and the diameter at breast height, tree height, or tree volume were studied with 47 samples of the casuarina, 32 samples of the Formosan alder, and 55 samples of the tan oak. As the result, the relationships between the tree weight and the diameter at breast height or tree height followed the same tendency to the respective relationships between the stem volume and these properties. And the relationship between the stem weight and the stem volume could be expressed by the following linear regression equation with a high value of correlation.

The casuarina

$$W = -2.11 + 640 V \quad (r = 0.997)$$

The Formosan alder

$$W = -2.97 + 398 V \quad (r = 0.999)$$

The tan oak

$$W = 0.55 + 458 V \quad (r = 0.999)$$

where W: the weight of stem, V: the volume of stem.

Since the weight table prepared with these equations showed unsatisfactory fitting for pole timbers, the following new stem weight equations were derived.

The casuarina

$$\log W = -1.5692 + 1.9540 \log D + 0.9526 \log H$$

The Formosan alder

$$\log W = -2.0250 + 1.6414 \log D + 1.4905 \log H$$

The tan oak

$$\log W = -1.4629 + 1.9399 \log D + 0.8325 \log H$$

where W: the stem weight of tree, D: diameter at breast height, and H: tree height.

These weight equations gave error percentage of mean of about 2%, slightly lower precision with respect to the volume equation, and, hence, were considered as satisfactory. The weight tables (Tables I-31, 32, 33) were prepared with these weight equations.

Chapter II Fundamental Relationships between Stand Volume and Stand Weight

Stand volume and stand weight were evaluated using the volume tables and weight tables described above for 51 forests of the casuarina, 50 forests of the Formosan alder, and 18 natural broad leaved forests. The following relationships between the stand volume and the stand weight were then obtained from these data.

Casuarina forest

$$W = -4.55 + 0.6330 V$$

Formosan alder forest

$$W = -7.08 + 0.4071 V$$

Natural broad leaved forest

$$W = 1.41 + 0.4808 V$$

where W: stand weight per hectare, V: stand volume per hectare.

These equations could well fit the data. These correlation coefficients were extremely high; i.e. 0.999 for casuarina forest, 0.996 for Formosan alder forest, and 0.995 for natural broad leaved forest. Their error percentages at 95% confidence coefficient from regression also indicated their high precision as regression equations; the values were 0.3% for casuarina forest, 0.6% for Formosan alder forest, and 0.7% for natural broad leaved forest. Using these equations volume could be easily and precisely converted to weight. Because of this advantage, these equations were used for weight yield estimation in this study. Namely, at the first step, volume yield tables were prepared and, then, stem volume per hectare in the yield tables was converted to stem weight per hectare by the above equations in order to prepare weight yield tables.

Chapter III Evaluation of the Weight Yield Estimation and Progress of Weight Growth of Forest

In order to estimate a weight yield, a volume yield table was required as mentioned above. Hence, the volume yield table was prepared at first and evaluated.

A comparison between the volume yield table of casuarina forest and that of casuarina windbreak-forest in Ryukyu district¹¹⁶⁾ showed that the casuarina forest had a better volume growth. A comparison between the volume yield table of Formosan alder forest and that of Kobanoyamahannoki forest¹⁴⁵⁾ showed that the Formosan alder forest had a better growth,

especially at a younger stage. Next, a comparison among the volume yield table of natural broad leaved forest and that of Kojii forest in Kyushu district⁵⁾ or the volume average yield table of general coppice in Japan²⁰⁾ showed that the volume yield growth of the natural broad leaved forest was better than that of the general coppice in the main lands of Japan and could be expected to reach the level of kojii forest in Kyushu district by future improvement of working techniques.

Next, weight yield tables were prepared from volume yield tables as described above. Namely, the weight yield tables were prepared by obtaining stem weights according to age grades after substituting stem volume per hectare at the various age grades of volume yield tables into the equations expressing relationships between the stand volume and the stand weight. This procedure gave the same results to the table obtained directly from a relationship between age and stand weight or indirectly from a relationship between age and stand specific gravity, showing the acceptability of this procedure.

The procedure mentioned above was highly advantageous to other procedures using relationships between age dependent factors and tree weight, mean specific gravity, or the mean specific gravity of stand, since it was independent of age and site, could be used for preparation of a weight yield table from any volume yield table, and was applicable directly to actual forests.

In this way weight yield tables were prepared. From the tables an analysis was carried out on the progress of weight growth. As the result, the age of the maximum mean increment of weight was slightly greater than that of volume. Namely, the differences were 2 years for casuarina forest, 2 year for Formosan alder forest, and almost none for natural broad leaved forest. A reason for these small differences was considered to the direct influence of the progress of volume growth over weight growth due to the invariance of specific gravity with ages. Also, from published results the difference was greater in the case of the needle leaved forest comparing with that in the broad leaved forest. This could be due to the structural characteristics of hard wood.

Next, weight yields were compared among 3 species, then, to other species. The results were 1) casuarina forest showed the best growth, reaching 2.1 times that of natural broad leaved forest, 1.6 times that of Ryukyumatsu forest, and 1.1 times that of Kojii forest in Kyushu district as expressed in yield of weight over 40 years, 2) in spite of the lowest value of the gravity of stand, due to good volume growth, Formosan alder forest showed the almost same yield of weight with respect to casuarina forest and a greater yield of weight comparing with Ryukyumatsu forest and Kojii forest in Kyushu district, 3) natural broad leaved forest grew better than Ryukyumatsu forest and almost similarly to Kojii forest in Kyushu district up to 25 years and poorly after 25 years and, furthermore, gave the yield of weight of about one half of those of casuarina forest and Formosan alder forest, and 4) the age of the maximum mean increment was 13 years for Formosan alder forest, 15 years for casuarina forest, 17 years for natural broad leaved forest, 20 years for Kojii forest in Kyushu district, and 30 years for Ryukyumatsu forest.

Next, the determination of the age of an unevenaged forest like natural broad leaved forest was difficult and unpractical even using number-age, or volume-age for calculation of average age.

Thus, the preparation and use of yield tables based on age were quite difficult. In this study, therefore, estimation of yield was carried out by using the diameter corresponding to average basal area. The resulting yield tables (Tables 3-7, 8, 9) were simple in preparation and could be used without considering age and site. Also, the yield tables could be used effectively by a method of calculating the diameter corresponding to the average basal area as the square roots of the mean square of diameter or the arithmetic mean of diameter or as the square roots of the sum of the square of the standard deviation of diameter or a method of calculating the diameter corresponding to the average basal area from the high precision first-order regression equation of the arithmetic mean of diameter and the diameter corresponding to the average basal area.

Therefore, due to the presence of many species with undetectable annual rings even in evenaged pure forest in Okinawa, not only natural broad leaved forest but also broad leaved forest should be evaluated with the above yield tables.

Chapter IV Estimation of the Utilizing Weight of Stand

In rational utilization of natural resource, it is required to establish working techniques to aim the maximum utilizing weight yield after introducing utilization percentage even with a forest for production of raw material. At first, tree utilization percentage was examined through weight and, by this, the stand utilization percent of weight was estimated and, then, the yield of utilizing weight was estimated from a relationship between age and the stand utilization percent of weight.

In other words, at first, bucking a tree with cutting height of 0.2 m, bucking stand of more than 6 cm in diameter inside bark at small end, and length of 1.5 m, volume was obtained by Smalian method, and to the volume the average specific gravity of butt end and top end was multiplied to obtain weight, and the utilizing weight of tree was obtained by summing the weights calculated. Then, the tree utilization percent of weight was calculated by dividing the utilizing weight by the total weight of the tree. Although, in general, the percentage of utilizable volume could be obtained from utilizing volume against volume in the volume table and, in a practical aspect, the percentage of utilizable weight could be obtained from utilizing weight against weight in the weight table, the ratio against actual weight was used in the present work in order to obtain a more accurate and reasonable utilization percentage.

In this work, the utilization percent of weight and its dependence on diameter and height were obtained for 36 samples of the casuarina, 25 samples of the Formosan alder, and 18 samples of the tan oak. The following equations express relationships between the tree utilization percent of weight and diameter.

The casuarina

$$u = D^2 / (0.6732 - 0.0398 D + 0.0110 D^2)$$

The Formosan alder

$$u = D^2 / (0.8268 - 0.0627 D + 0.0117 D^2)$$

The tan oak

$$u = D^2 / (0.9121 - 0.0435 D + 0.0108 D^2)$$

where u: the tree utilization percent of weight, D: diameter at breast height.

In other words, a relationship between the tree utilization percent of weight and diameter indicated that 3 species followed almost same process; i.e., a rapid increase with an increase in diameter up to 20 cm and a slow decrease beyond this diameter (Fig. 4-1).

A relationship between the tree utilization percent of weight and height also showed a rapid increase with an increase in height up to 15 m and a slow decrease beyond this height.

Next, using the tree utilization percent of weight and diameter, the stand utilization percent of weight was obtained to make relationships to age, mean diameter and mean height more evident. Namely, a relationship between the stand utilization percent of weight and age could be expressed to fit measured values by the following multiple regression equations.

Casuarina forest

$$U = A^2 / (0.4399 - 0.0185 A + 0.0107 A^2)$$

Formosan alder forest

$$U = A^2 / (0.2325 - 0.0012 A + 0.0103 A^2)$$

Natural broad leaved forest

$$U = -11.7138 + 5.2430 A - 0.0731 A^2$$

where U: the stand utilization percent of weight, A: age.

In this relationship, natural broad leaved forest showed extremely low values in comparison to casuarina forest, that showed about same process with Formosan alder forest. This was shown to be due to the low mortality of natural broad leaved forest in comparison to casuarina forest and Formosan alder forest since the number ratio of role timber below utilizing diameter-class (diameter at breast height of 6 cm) was extremely high.

Next, in relation to mean diameter and mean height, in spite of a slow increase in casuarina forest and Formosan alder forest, natural broad leaved forest showed a rapid increase. This was considered to be due to the strong influence of increases in mean diameter and mean height to utilizing weight since natural broad leaved forest had the greater number of standing tree and lower mortality than casuarina forest and Formosan alder forest.

Next, in order to make growth-progress characteristics clear after preparation of utilizing weight yield table using relationship between the stand utilization percent of weight and age, mentioned above, the weight growth of stem was studied comparatively. As the result, the age of the maximum mean increment of utilizing weight occurred, in comparison to that of the stem weight of stand, after 5 years for casuarina forest and Formosan alder forest and after 10 years for natural broad leaved forest. This was considered to be due to the fact that the stand utilization percent of weight did not become the maximum at the maximum of the stem weight of stand and continued an increase beyond that point.

Next, by defining the value obtained by dividing the utilizing weight of stand by the stem volume of stand as the standard utilizing weight of stand, calculation of this value from a yield table gave that the value increased rapidly with an increase of age in a young stage and, after a

certain age, it approached slowly to a given value. Since this value was regarded as utilizing weight per unit volume and as the mean specific gravity of stand multiplied by the stand utilization percent of weight, the value could be considered as a bases of determination of the ripening of forest for production of pulp wood in essence. Therefore, this tendency would express the ripening process of forest for the production of pulp wood and would be used for determining the bases of the final cutting age of the forest for the production of pulp as the period of its decline. In this connection, the age of a rapid decline in this value was about 2-4 years later than the age of the maximum mean increment of utilizing weight; i.e., 3 years for casuarina forest, 4 years for Formosan alder forest, and 2 years for natural broad leaved forest. For determination of the final cutting age of forest for production of raw material, this point should be considered as an important indication of the growth of utilizing weight.

Chapter V General Considerations

Along with changes in the structure of demand, the aims of forest production have been classified into production of construction timber, production of raw material timber, and production of fire-wood. The techniques of forest production, however, have been concerned mainly on production of the construction timber and secondarily on production of the raw material timber. Thus, a rational production techniques for the production of the raw material timber have not been practically established. On the other hand, for a long term and stable supply of the raw material timber that has annually increasing consumption, systematization of sustained production techniques of its own is necessary.

On the other hand, an increase in demand of pulp wood in the recent years resulted in induction of the development of industrial technique along with the exhaustion of pulp wood resources, in the realization of the use of improper species of the past for pulp production, and in an increase in the utilizing ratio of hard wood. Because of this, poor quality broad leaved forest with the extensive management of the past has been regarded so important that its rational production technique is in great demand.

There is, however, almost no work on weight yield for broad leaved forest as the object of production of raw material timber and there is practically no work on the broad leaved forest grown in Okinawa.

The purposes of this work were to estimate the weight yields of the tan oak, the casuarina, and the Formosan alder, three important Okinawa broad leaved trees, to investigate the natural law of the progress of weight growth, and, hence, to provide the basic data for establishment of the scientific production techniques and the direction of working techniques of the broad leaved trees as the forest for the production of raw materials. Finally, general considerations over these studies are given in the following sections.

1) In estimating weight, the specific gravity from volume in green condition in comparison to that from volume in air-dry condition was regarded to give dry weight in the state of standing

tree and, hence, to be profitable for management. In this work, therefore, this specific gravity was used for estimation of tree weight, on which this study was based. Namely, at first, tree weight was obtained by regarding the ratio of dry weight to volume in green condition as the specific gravity, weight equation was obtained from the relationships between this tree weight and diameter or height, and as the result of this, weight table was prepared to estimate the weight of stand.

To the present time, the only available weight table was prepared by C. E. McGee⁶⁾ as the utilizing weight table of tree for planted slash pine and there was no such an example in Japan. In this work, a logarithmic equation was used for a weight equation. The error percentage of the mean of the equation was about 2% and, although an accuracy was lower than that of a usual volume equation, it would be improved to the level of the volume equation by increasing the number of samples in the future work. And, since weight measurement, in comparison to volume measurement, was quite difficult demanding time and labor, a role of the tree weight table was considered to be greater than the volume table. Therefore, for other species, the preparation of tree weight tables using the method described in this work would be profitable in the future.

Next, in the case of obtaining tree weight in a simple way, the best method in the aspect of management would be the method using mean specific gravity as proposed by Hirai.²⁵⁾ In this case, although method of estimating mean specific gravity became a problem to be solved, in this work the method of estimating indirectly from a relationship with average specific gravity at breast height was examined and, as the result, a use of regression estimate or ratio estimate was shown to give a high precision estimation. Especially, the ratio estimate using a coefficient for correcting specific gravity was considered to have no complicated calculation and, hence, a practical convenience. By using this method, a measurement of the specific gravity at breast height could give tree weight easily and, hence, this would become one of the clues in solving the difficulties of weight measurement.

2) As a method of weight estimate, a weight yield table has been prepared from a volume yield table using relationships between various factors that involve age and tree weight, or the mean specific gravity of stand. In this work, nevertheless, a weight yield table was prepared from the volume yield table using an extremely high correlation between stand volume per hectare and stand weight per hectare. This method could be said to be superior to usual methods for it could give the weight yield table from any volume yield table without considering age and site and could be applied directly to actual forests.

As the result of an examination on the progress of weight growth basing on weight yield table, it was found to be a general tendency that the maximum of mean increment occurred slightly later than that of volume. This indicated that, between aiming at the maximum volume growth and aiming at the maximum weight growth, the latter would require a slightly greater cutting period. In order to cope with the transition of the aims in forest production, a greater cutting age of work was indeed ideal and, due to this, for the forest production aiming at production of raw wood a use of weight as a rule of measure would gain greater significance.

Next, it was shown that, for not only unevenaged forest like natural broad leaved forest but also the forest of species whose age determination was practically difficult due to unclear annual rings as found in large number in Okinawa, the yield table based on the diameter corresponding to average basal area rather than age was appropriate and, using this table, a yield estimate was examined. This yield table could be said to provide an effective method for weight-yield estimate of broad leaved tree in Okinawa since not only its preparation was simple but also its use could be done without considering age and site.

3) For a use of pole timber even as raw material required a high cost, the standard would be controlled. For this, introduction of utilization percentage was required even for the forest aiming for raw material and the working techniques had to be developed in order that all trees could reach a utilizable diameter class, at least, at their cutting period. Therefore, in this work, tree utilization percent was examined from the aspect of weight as the first step, and from this the stand utilization percent of weight was derived, and, then, utilizing weight yield was estimated together with estimation of growth progress. Namely, it was shown that the age of the maximum mean increment of utilizing weight occurred about 5-10 years later than that of stem weight. Furthermore, it was also observed that by comparative examination of stand utilizing weight per unit volume as a measure of the ripening of the forest for production of pulp wood, the age of a rapid drop in this value was about 2-4 years after the age of the maximum mean increment of the utilizing weight. These points would provide important clues for determination of the cutting age of forest for production of raw material timber and a direction for the future working techniques.

The above summary was concerned on the discussions from the aspect of weight yield estimate. The following summary was concerned on the discussions from the aspect of the species used in the present work.

4) Natural broad leaved forest covers almost all forests in Okinawa. Since the demand of firewood rapidly decreased along with changes in living pattern and the economic value was low, the aim of production may be limited to construction timber and raw material timber. Nevertheless, a use of construction timber will be limited from the aspect of the stand composition of the presently existing natural broad leaved forest, most of the forest may be used for pulp wood production.

Since the weight yield of natural broad leaved forest was greater than Ryukyumatsu forest up to about 25 years and did not have much difference from Kojii forest in Kyushu district, the weight yield comparable to Kojii in Kyushu district could be expected if better cultural works to promote growth could be positively performed in the future.

Final cutting period of 25-30 years in the case of aiming at production of pulp wood was considered to be the best. At this period, the mean increment of utilizing weight became the maximum, utilizing weight was 60-70 ton, and the standard utilizing weight of stand as a measure of ripening was 0.36-0.41 ton/m³.

Furthermore, the actual stand of natural broad leaved forest contained a larger number of pole timber with diameter smaller than a utilizing diameter-class compared with other species and, even

after 35 years, contained pole timber with a diameter of less than 6 cm as much as 50%. Because of this, its stand utilization percentage of weight became extremely low comparing with other species. Therefore, in tending a major improvement had to be done on stand composition and establishment of working techniques to reach the level of 6 cm or higher for all forest trees in 25-30 years of cutting period.

5) The casuarina has been planted almost entirely as seashore forest for tide prevention and wind break in the seashore of every islands of Okinawa since it grows best on seashore sand and Ryukyu limesone. For seashore forest for tide prevention and windbreak is, at the present time, enlisted to protection forest and is designated as cutting prohibited forest, it is actually left as untended condition. Leaving tide prevention and windbreak forest in total prohibition of any cutting, however, would not be profitable not only for maintaining a function of windbreak but also for obtaining economic value. Namely, since proper tending and regeneration are required for performance of its function satisfactorily, afforestation needs a great economic sacrifice, and its site is well acceptable for timber production in comparison to other forest lands, for the casuarina as tide prevention and windbreak forest required are the positive and rational working techniques that emphasize its functions. As the aim of production in this case, production of pulp wood seems to be proper from economical view point based on the characteristics of the casuarina and its actual results.

Since pulp wood is used for the texture of wood, for the forest aiming at production of pulp wood, the major emphasis should be put on production of the actual weight of the wood. Thus, although the casuarina may not necessarily be the best pulp wood in quality, if the volume and texture of wood are same, due to its larger specific gravity, the casuarina can be said to be extremely useful species for pulp production in comparison to other species. For example, the volume yield of casuarina forest was smaller than that of Formosan alder forest, giving a difference of about 100 m³ in 20 years. The weight yield of casuarina forest (140 ton), however, was greater than that of Formosan alder forest (120 ton). This showed how great the actual weight per unit volume of casuarina forest was.

Next, although the period of the maximum mean increment of the stem weight of casuarina forest was 10-15 years, that of the maximum increment of utilizing weight in the case of introducing utilization percentage as pulp wood was 15-20 years. Although this could be regarded as the optimum cutting period, in the case of windbreak forest, the function of windbreak also had to be considered in determining the cutting period.

In general, trees are strong in wind resisting at young period and gradually become weak as they grow older. Nevertheless, for the purpose of windbreaking effects a greater height of tree belt is desirable even existing some variation in standing density or tree form. Thus, the cutting period of windbreak forest should be determined by observing the age of an extreme decrease in height growth.

The height growth of casuarina forest, determined from the yield table, significantly decreased after 25 years. Thus, in the case of taking the aims of the casuarina as windbreak forest and,

also, production of pulp wood, the best cutting period could be said as 20-25 years. This period was also proper from the aspect of the growth progress of the forest for production of the pulp wood. Also, at this period, utilizing weight was 130-150 ton and utilizing weight per unit volume was 0.56-0.59 ton/m³.

6) Although the Formosan alder grows best in swamp, it naturally invades the splay mould of roads, slided land, and abandoned land after reclamation and it grows vigorously and contributes to the recovery of soil fertility and, hence, it is recognized as one of the hillside erosion-control species. Also, it is widely used in tea box, furniture timber, and match stick. Nevertheless, at the present time, due to no demand for these uses in Okinawa, future studies and development are required and the present profitable aim seems to be production of pulp wood.

In spite of a low value of the mean specific gravity of stand, the weight yield of Formosan alder forest was greater than those of Kojii forest in Kyushu district and Ryukyumatsu forest and about same to that of casuarina forest. Since the wood quality of the species is considered to be superior to that of the casuarina, it is expected to be well used as pulp wood.

The age of the maximum mean increment of the utilizing weight of Formosan alder forest was 15-20 years, being 5 years later than that of stem weight. Namely, the best cutting period was 15-20 years even considering a degree of ripening. At this period, utilizing weight of 90-110 ton was comparable to that of casuarina forest of 90-130 ton and was about 3 times of that of natural broad leaved forest of 30-40 ton.

On the other hand, at the present time, due to the small planting area of the Formosan alder, there is no study about this. By a positive expansion of afforestation as well as the establishment of scientific working techniques by studies from every fields, the Formosan alder is expected firmly to function a leading role of Okinawan forestry.

The above summary was discussed on the actual states of weight yield from the aspect of forest measurement of natural broad leaved forest, which covered more than half of Okinawan forest, and casuarina forest, which was the most important planted forest of shoreline, and Formosan alder forest, which was the representative forest of slided forest land and river terrace. Natural broad leaved forest as land conservation and water conservation forest, casuarina forest as disaster prevention forest in shoreline, and Formosan alder forest as slide erosion control forest had the characteristics of public interests.

Essentially, in Okinawa, extremely important subjects were protective measures against wind, obtaining water resources, and protective measures against forest land sliding due to reclamation of forest zone. In other words, in Okinawa, monsoon is well developed, the frequent coming of typhoon gives great damages to agriculture and forestry, and the shortage of water resource becomes increasingly serious due to population explosion and the progress and development of agriculture and industry, and forest land sliding is rapidly progressing due to the mechanized reclamation of sloped lands to cope with the scale expansion of sugar cane and pine apple industries. Under these natural and sociological conditions in Okinawa, the roles of forest must be said to be extremely important as the protective measures against these hazards.

From the above discussions, in Okinawa, after recognizing the characteristics of each species in the aspects of public interests, many efforts must be paid to systematize the working techniques to balance wood production with the public functions of forest, which are based on the above recognition. Very this point may be said as an important subject of Okinawan forestry. Not to mention, establishment of the economic and sustained working techniques of wood production based on the public functions would become possible by extensive discussions after performing the studies in not only forest measurement, but also other fields such as silviculture, wood utilization, and forest physics.