

スギ林の保育形式に関する研究

安 藤 貴⁽¹⁾・蜂 屋 欣 二⁽²⁾
土 井 恭 次⁽³⁾・片 岡 寛 純⁽⁴⁾
加 藤 善 忠⁽⁵⁾・坂 口 勝 美⁽⁶⁾

目 次

緒 言	2
I 調査地, 調査法および現存量の推定法	3
1. 調 査 地	3
2. 調 査 法	4
3. 現存量の推定法	6
4. 調査基準と調査林分の比較	6
II 林分構造要因の成長経過	21
1. 平均胸高直径と本数密度比数	21
2. 枝下高, 枝下率	21
3. 胸高断面積と幹材積	22
4. 幹, 枝, 葉および地上部の重量	23
5. 幹重, 枝重および葉重の地上部重に対する割合	29
III 相対成長関係	30
1. 時間方向の相対成長関係	30
2. 密度方向の相対成長関係	33
3. 時間方向, 密度方向の相対成長関係と個体の相対成長関係	35
IV 物質生産量	37
1. 純生産量	37
2. 年間幹材生産量	43
V 密度と現存量	44
VI 間伐についての検討	48
1. 間 伐 木	48
2. 間伐により失われる現存量	53
3. 間 伐 率	54
4. 残存木と間伐木の関係	56
5. 間伐前の密度と現存量および間伐後の密度と残存量	58
VII 伐期に収穫される材の形質	60
1. 幹 の 形	60
2. 胸高における年輪の状態	61
3. 伐期に収穫される丸太の量と質	62
結 言	66
要 約	67
文 献	68
Résumé	72

(1) 元造林部造林第二研究室・現四国支場造林研究室長・農学博士 (2) 造林部造林第二研究室長
(3) 造林部造林第一研究室長 (4) 元造林部造林研究室・現日本大学農学部講師
(5) 造林部長 (6) 元造林部長・現場長・農学博士

緒 言

本邦各地の古くから発達している林業地では、その自然環境と経営の条件から、それぞれ独自の経営方式がとられており、生産される材は長期間にわたる経験にもとづいて、経営方式によって違った用途にむけられている。

筆者の一人坂口⁵⁷⁾⁵⁹⁾は、本邦における有名な林業地の本数密度比数の解析から、目的とする形質をそなえた丸太を生産するために固有の密度管理のあることを示し、これらの林業地における植栽密度や間伐形式によって決まる密度管理と伐期の長さおよび伐期に収穫される丸太の量と質の関係を明らかにし、これらの違いにもとづくそれぞれの経営方式を保育形式と名づけた。

しかしながら、具体的にある生産目標に対し最適と考えられる保育形式を決定するという問題になると、実数的な事例についての知見にも乏しく、未解決な分野がまだまだ多い。保育形式を特徴づけるいろいろな密度管理について、林分構造要因の経過や収穫量などはそれぞれの有名林業地を対象とした収穫表²¹⁾からある程度のことを伺い知ることができる。しかしながら、収穫表の調製方法や表示の方法が地域により異なるので、かならずしも同一の基盤に立って比較することはできない。

また、林業においては幹の利用が主であるから、同化生産物をできるだけ多く幹に蓄積させることが有利になる。同化生産物の分配は林分構造によってかわるから、林分における生産構造と、これをかえる要因について知ることが必要である。そのため林分構造と物質生産に関する研究が近年さかんにおこなわれている^{4)~6)13)15)17)18)30)~32)43)44)48)~50)56)48)60)~65)71)75)76)78)~81)86)90)91)}。これまでの研究から密度は同齢単純林の群落構造をかえ、また同化生産物の分配をかえるもっとも重要な因子の一つと考えられてきた^{4)~6)13)15)17)30)31)56)58)61)71)72)76)86)}。しかしながら、今日までの研究の多くは、ある生育段階における林分の生産構造、あるいはモデル林の生産構造を密度との関係について論じたものが多く、植栽時から主伐時までの長期にわたり、ある一定の密度管理下での生産構造の変化を論じたものはない。

坂口⁵⁹⁾は、目的とする丸太を生産するための密度管理基準は組織的につくられた密度試験地の林分生産構造が解析されてはじめて問題が解決されるであろうと述べている。このような考え方にもとづき、筆者ら⁹³⁾⁹⁴⁾は保育形式比較試験地の設定をおこない、あらかじめ決められた密度管理基準にそって林分を育て、その経過を追跡するという仕事をはじめている。しかしながら、その結果がえられるには数十年の年月を要し、今日の要求される林分の密度管理上の諸問題の解決に必要な資料を短時日に与えることはできない。

そこで、密度管理と生産材の特徴の著しいスギの保育形式を選び、それぞれの保育形式の収穫表の調製方法が違うために、同一基盤に立って比較できなかった諸量や、収穫表に示されていない林分構造要因、さらに生産材の量と質を比較しうるように調査し、それらの得失を明らかにするための調査が計画された。この調査は1955年、当時の造林科長兼造林研究室長であった坂口を中心に土井、蜂屋、安藤により企画立案され、その後加藤が加わり片岡が協力し1956年からはじめられた。また1957年から木材部の加納、枝松、蕪木が生産材の製材用原木としての品質等を調査するために共同研究の体制がとられた。さらに、一時蜂屋が東北支場に転出するなど担当者にも曲折があったが、1960年に調査を終わった。

この調査資料の一部は安藤⁹⁾、蜂屋・安藤¹⁶⁾により植栽密度や間伐の解説資料として用いられ、また概要は1963年度林業試験場年報⁹¹⁾に報告されている。本報には、調査ならびに解析の結果が示され、おもに

安藤によってとりまとめられた。また材質関係については「製材用原木としてのスギ造林木の品質」²⁵⁾²⁷⁾として別途すでに報告されている。

この調査を実施するにあたり、ご協力をいただいた奈良県吉野郡川上村、埼玉県飯能市、同入間郡名栗村の森林所有者の方々、日南市有林と部分林契約を結んでおられる方々に伐倒調査にご理解ご協力いただいたことを厚く感謝いたします。また森林所有者との間に立たれて調査の円滑な遂行に終始ご尽力いただいた奈良県林務部、当時の部長山田 耕氏はじめ担当官、吉野郡川上村森林組合の当時の組合長住川龍三氏はじめ役員、職員各位、前埼玉県林業試験場熊井正善氏はか担当官、宮崎県林務部当時の部長中馬 尚氏、日南市役所林務課長年澄仙夫氏はか担当官の各位および国有林の調査にあたりご協力いただいた前橋営林局勿来営林署、東京営林局高萩営林署の担当官に厚くお礼申しあげます。また飢肥地方の調査にご助力いただいた宮崎大学の外山三郎博士、当時の宮崎分場長、現熊本県林業試験場長松尾安次氏、宮崎分場安藤正武技官に感謝いたします。さらに国有林の現地調査には現鳥取県林業試験場の福田英比古氏、吉野の現地調査に関西支場の山本久仁雄技官のご協力をいただき、また資料整理、計算等にご助力いただいた元造林研究室斎藤義雄氏、現調査室成田忠範技官、現東北支教育林第二研究室佐藤昭敏技官、造林第二研究室棚秋一延技官に心から謝意を表します。

I 調査地、調査法および現存量の推定法

1. 調査地

調査の対象となる保育形式は、密度管理の特徴が著しく、また固定した保育技術をもった林業地におけるものであることが必要である。坂口⁵⁹⁾によって総括されたスギの保育形式の中から、植栽密度、間伐形式、伐期の長さ、生産材の用途等を考慮して典型的と考えられる密植密仕立長伐期型の吉野保育形式、密植密仕立短伐期型の西川保育形式、中庸植中庸仕立長伐期型の国有林保育形式および疎植疎仕立長伐期型の飢肥保育形式を調査の対象として選んだ。これらの保育形式の概要は次のとおりである。

吉野保育形式³⁸⁾⁴²⁾⁴³⁾

植栽密度は10,000~20,000本/haである。間伐に際してはアバレ木や生育の見こみのない立木と永代木とよばれる伐期まで残ると思われる立木の成長をさまたげるものが除かれる。植栽後約10年くらいに地上1.2~1.5mくらいまでの枝打がおこなわれるが、それ以降に枝打をおこなわないのが普通である。伐期は近年は60年以上で、生産材は戦前は樽丸であったが、戦後は優良建築材または一般材にむけられている。

西川保育形式⁵⁹⁾⁵⁵⁾

植栽密度は4,000~4,500本/haである。間伐は被圧木または枯損木をのぞく程度の弱度間伐がおこなわれる。植栽後10~13年ころ地上1.0~1.2m程度に枝打をおこない、その後18~20年に3.5~4.5m、25~26年に5.5~9.0mまで枝打をくり返しおこなう。生産材は小角用材や足場丸太などに用いられ、伐期は30~40年である。

国有林保育形式⁵⁹⁾

この調査の対象地としては北関東・阿武隈地方が選ばれた。植栽密度は3,000本/haで、B種間伐がおこなわれ、枝打はおこなわない。伐期は60年くらいで、生産材は板材や一般用材にもちいられる。

飢肥保育形式²²⁾⁸⁹⁾

植栽密度は1,500本/ha程度である。間伐は早い時期に早生形の品種が間伐され晩生形の品種が残さ

第1表 調査の場所と時期および調査員

Table 1. Area, date and investigator of measurement

保育形式 System of stand density control	場 所 Area	予備調査 Preparation measurement		本 調 査 Main measurement	
		時 期 Date	調 査 員 Investigator	時 期 Date	調 査 員 Investigator
吉 野 Yoshino	奈良県吉野郡川上村 Kawakami Village, Yoshino District, Nara Prefecture	1957年9月 Sept. 1957	安藤貴・加藤善忠 山本久仁雄 T. ANDO, T. KATO and K. YAMAMOTO	1958年4月 Apr. 1958	安藤貴・山本久仁 雄・片岡寛純 T. ANDO, K. YAMAMOTO and H. KATAOKA
西 川 Nishikawa	埼玉県飯能市入間郡名栗 村 Hannoo City and Naguri Village, Iruma District, Saitama Prefecture	1957年3月 Mar. 1957	安藤貴・蜂屋欣二 土井恭次 T. ANDO, K. HATIYA and K. DOI	1957年4月 Apr. 1957	安藤貴・蜂屋欣二 ・土井恭次・片岡 寛純 T. ANDO, K. HATIYA, K. DOI and H. KATAOKA
国 有 林 (北関東・阿武 隈地方) National Forest (Kitakanto-Abu- kuma District)	前橋営林局勿来営林署管 内 Management Area of Nakoso Forest Station, Maebashi District Forest Office	1956年10月 Oct. 1956	安藤貴・蜂屋欣二 土井恭次・福田英 比古 T. ANDO K. HATIYA, K. DOI and H. FUKUDA	1956年12月 Dec. 1956	安藤貴・蜂屋欣二 ・土井恭次・福田 英比古 T. ANDO, K. HATIYA, K. DOI and H. FUKUDA
	東京営林局高萩営林署管 内 Management Area of Takahagi Forest Station, Tokyo District Forest Office	1957年8月 Aug. 1957	安藤貴・斎藤義雄 T. ANDO and Y. SAITO	1957年12月 Dec. 1957	安藤貴・片岡寛純 T. ANDO and H. KATAOKA
飫 肥 Obi	宮崎県日南市および南那 珂郡北郷村 Nichinan City and Kita- go Village, Minaminaka District, Miyazaki Prefecture	1960年2月 Feb. 1960	安藤貴・加藤善忠 T. ANDO and Y. KATO	1960年4月 Apr. 1960	安藤貴・片岡寛純 T. ANDO and H. KATAOKA

れ、個体の成長に重点がおかれておこなわれる。伐期は45～50年で、生産材は弁甲材に利用されるので著名であるが、近年は一般材に向けられる比率が大となってきた。

以上の4保育形式について調査をおこなったが、その地域ならびに時期および調査員を第1表に示す。

2. 調査法

i. 調査基準

それぞれの保育形式における平均的な森林の取扱いのおこなわれた林分を調査するため、それぞれの地域の収穫表の林齢、樹高および密度を基準とした。緒言で述べたように、密度管理がそれぞれの地域の収穫表のとおりにおこなわれたときの林分構造要因や生産材の形質を比較するのが目的であるから、4形式間の樹高による地位はなるべく違いの少ない方がよい。このために基準とした収穫表は、吉野においては奈良県C基本区である吉野郡川上村のスギ林の基準収穫表とされている北村清治²¹⁾調製奈良県吉野地方スギ林主伐収穫表の3等地、西川においては埼玉県⁵⁵⁾林務課調製埼玉県西川地方スギ林林分収穫表2等地、国有林においては林野庁・林業試験場⁵²⁾調製北関東・阿武隈地方スギ林林分収穫表2等地および飫肥においては小川悦助²¹⁾調製宮崎県飫肥地方挿木スギ林収穫表2等地である。

これらの収穫表は国有林をのぞき尺貫法で示されているので、メートル法に換算して調査の基準とした。この基準となった林齢、樹高および密度を第2表に示しておく。この基準の平均樹高は大半北関東・阿武隈地方国有林の収穫表2等地の樹高範囲の中に入る(第2図参照)。密度による樹高の影響は、収穫表の調製あるいは育林の取扱いの立場からみれば、その変異を無視してもさしつかえないことはこれまでも

第2表 調査基準

Table 2. Standards of measurement

林 齢 Stand age (yrs.)	吉 野 Yoshino		西 川 Nishikawa		国 有 林 National Forest		飼 肥 Obi	
	平均樹高 Average height (m)	密 度 Stand density (No./ha)	平均樹高 Average height (m)	密 度 Stand density (No./ha)	平均樹高 Average height (m)	密 度 Stand density (No./ha)	平均樹高 Average height (m)	密 度 Stand density (No./ha)
10	5.1	9450	5.2	3520	4.6	2850	—	—
15	7.8	6530	9.1	3060	8.2	2850	6.1	1340
20	10.5	4400	12.1	2600	11.0	2180	9.1	980
25	13.1	3180	14.2	2220	13.4	1700	—	—
30	15.3	2520	15.7	1960	15.4	1360	14.5	670
35	17.1	2070	17.3	1760	17.2	1110	—	—
40	18.5	1740	—	—	18.8	950	18.8	520
45	20.0	1500	—	—	20.0	820	—	—
50	21.1	1310	—	—	21.5	720	22.5	440
55	22.2	1160	—	—	22.7	650	—	—
60	23.1	1040	—	—	23.9	590	—	—

これらの数値は収穫表²¹⁾⁵²⁾⁵⁵⁾によった。

These values were drawn from the yield table²¹⁾⁵²⁾⁵⁵⁾ of each system of stand density control.

良く知られていることであるから、この基準によって調査された林分間の樹高を基準とした地位はほぼ等しいと判断される。

ii. 調 査 法

調査はさきの第1表に示したように予備調査と本調査にわけておこなわれた。

予備調査においては林齢10年から5年ごとに、それぞれの地域で一般に慣行されている伐期の林分まで、第2表の基準に適合した林分を選定し、その林分内に立木配置にかたよりがなく、立地条件が均一と判断される場所に立木約50本を含む標本林分を設け、周囲測量をおこない、胸高直径、樹高、枝下高を毎木調査した。飼肥の収穫表は第2表に示したように10年ごとに表示されているが、調査にあたっては部分比例により5年ごとの値をもとめ参考とした。

基準には、林齢については±1年、密度は±10%、樹高は国有林では収穫表2等地で指定された範囲内、他では範囲が指定されていないので、1等地と2等地、2等地と3等地の樹高をそれぞれの林齢ごとに平均して上限と下限を設けこれらの範囲内にある林分を選定した。しかしながら、齢級配置や被害（雪害）などの関係でこれらの基準にあった林分をさがすことの困難な林齢があり、一部では基準とした範囲をいくぶん離れた林分も調査したがなお欠測となった林齢もある。

また、収穫表の構成は国有林では主林木を、吉野、西川、飼肥は主副林木合計を主体に示されているので、その点に十分留意して標本林分を選定をおこなった。

さらに予備調査の段階で国有林においては調査員が、他においては地元の指導的な立場にある實際家に依頼し、調査時を基準に間伐をおこなうものとして間伐木の選定をおこなった。

調査にあたって林齢は成長錐を用いて査定したが本調査で伐倒の結果、吉野の10年生林分は14年生と判定され、また西川の35年生林分には45年生の立木が半数近く混入していることがわかった。しかしながら、これらの林分はそれぞれ吉野の10年、西川の35年の林分構造の基準にしたがってえらばれているの

で、成長量の比較など明らかにふつごとと考えられるときは除いて、現在の林分構造を考察する場合にはそれぞれ10年生、35年生の参考資料としてもちいた。

本調査においては予備調査の結果から各標本林で立木を樹高により15年生までは上層木、下層木、20年生以上では上層木、中層木、下層木にわけ、各層の本数に比例して8～9本の標本木を at random に抽出し、伐倒調査をおこなった。ただし、飢肥では樹高の優劣が少ないので層化をおこなわず、吉野では森林所有者の要望から有意的な標本がとられた。国有林の20年生と45年生では林分の葉量や枝量の推定法に検討を加えるため、約2倍の本数を伐倒調査した。

標本木の数を8～9本とした理由は、この調査に先だち安藤³⁾によっておこなわれた林分枝葉量の推定法についての検討から、林分構造要因の中で特に大きな葉量の推定値を変動係数で10%以内におさえるために決められたことによる。これらについては国有林の20年生、45年生の資料についても検討が加えられ、目標とした精度が十分にえられることが確かめられた。

伐倒した標本木は幹、枝、葉にわけ、幹からは樹幹解析用の円盤を定法により採取し、枝と葉は秤量したのち、乾重を求めるための資料を採取した。これらの資料は80℃で十分に乾燥し含水量を求めた。

3. 現存量の推定法

現存量の推定方法については、いわゆる相対成長法³⁰⁾が多く用いられているが、胸高断面積による比推定の方法が、相対成長法と大差ない精度を示し、また計算の容易さから有利な推定法であることを安藤³⁾、安藤⁵⁷⁾は示してきた。

幹材積、枝重量、葉重量の現存量の推定は上層木、中層木、下層木の各層から求めた各層ごとの胸高断面積と、各層からえられた標本木の値から比推定により求めた。すなわち葉重を例にとると(1)式で示すとおりである。

$$y_L = \sum_h \left(G_h \times \frac{\sum l_{hi}}{\sum g_{hi}} \right) \dots\dots\dots (1)$$

y_L : ha あたり葉量, G_h : h 層木の胸高断面積 (ha あたり)

l_{hi} : h 層木の標本木の葉量, g_{hi} : h 層木の標本木の胸高断面積

ただし、さきに述べたように吉野においては有意的な標本となり、また飢肥では層化をおこなわなかったので層化せずに推定した。

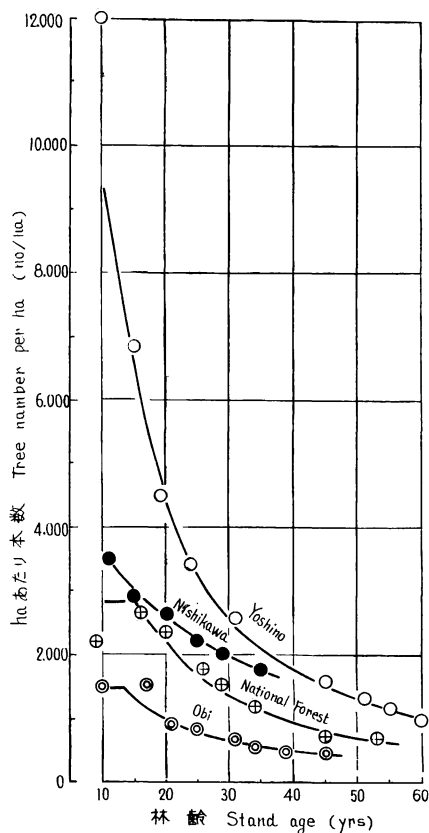
幹の重量は幹材積に容積密度数を乗じて求めた。容積密度数は各標本木について木材部材質研究室で測定された結果によった。平均の諸量については、ha あたりの量を ha あたり本数で除して求めた。

4. 調査基準と調査林分の比較

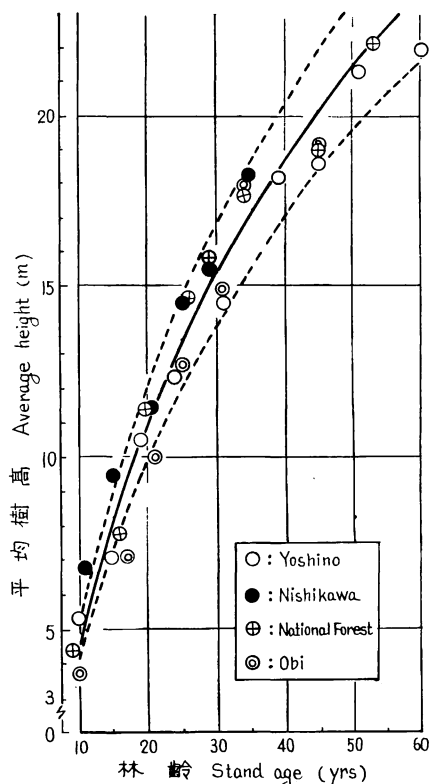
第2表に示した調査基準と調査林分の比較をしておこう。第1図に密度、第2図に平均樹高を示す。第2図の実線は北関東・阿武隈地方収穫表の2等地を、点線は2等地の上限と下限を示す。幼齡林では若干この限界を越えたものもあるが、全体としては基準に比較的良好であった林分が選定されたといえよう。

また、さきにも述べたように、各地方間での平均樹高に大きなちがいが認められない。したがって、ここで調査した地域は地理的に離れ、環境的なちがいもありまたスギの地域品種の問題など、いくつかの複雑な問題が含まれているが、次章以下で示される林分構造要因の大きなちがいや生産される丸太の形質などのちがいは、これまでに報告されている密度と林分構造についての報告と結びつけて考えると、密度管理のちがいに起因するところがきわめて大きいと考えてよいであろう。

調査をおこなった標本木の諸測定値を第3～6表に、これらから求めた標本林分の諸数値を第7～10表に示しておく。なお吉野の幹材積の実数は都合によって表示しなかった。



第1図 調査基準と調査林分の密度
Fig. 1. Stand density of sample stands and the standard of measurement.



実線は北関東・阿武隈地方スギ林林分収穫表Ⅱ等地の中心線を、点線は同上限および下限を示す。
Solid line shows the average height of site quality II and broken lines show the upper and the lower limit of the same site quality in the yield table of Kitakanto-Abukuma district (National Forest).

第2図 調査林分の平均樹高
Fig. 2. Average height of sample stands.

第3表 吉野地方単木測定資料
Table 3. Measured data of sample trees in Yoshino

林 齢 Stand age (yrs.)	No.	樹 高 Height (m)	胸高直径 D.B.H. (cm)	葉 重 Leaf weight (kg)	枝 重 Branch weight (kg)	幹 重 Stem weight (kg)	地上部重 Above-ground part weight (kg)	幹材積 Stem volume (m ³)
10	5	4.8	4.3	0.76	0.09	1.23	2.08	
	9	6.5	6.8	3.02	0.62	4.56	8.20	
	19	4.2	2.9	0.57	0.04	0.48	1.09	
	21	5.9	5.9	2.00	0.34	3.06	5.40	
	23	5.1	3.8	0.71	0.20	1.11	2.02	
	29	5.8	6.4	3.03	0.53	3.16	6.72	
	35	5.8	5.6	2.09	0.34	2.60	5.03	
	38	4.7	4.2	1.15	0.16	1.21	2.52	

林 齡 Stand age (yrs.)	No.	樹 高 Height (m)	胸高直径 D.B.H (cm)	葉 重 Leaf- weight (kg)	枝 重 Branch- weight (kg)	幹 重 Stem- weight (kg)	地上部重 Above- ground part-weight (kg)	幹 材 積 Stem- volume (m³)
15	9	6.0	5.6	2.08	0.34	3.32	5.74	
	19	9.0	9.3	2.48	0.67	11.32	14.47	
	26	5.0	4.3	1.00	0.00	2.01	3.01	
	30	7.7	8.1	2.43	0.51	6.32	9.26	
	35	8.0	7.6	2.27	0.36	7.02	9.65	
	51	7.2	7.6	2.97	0.79	5.73	9.49	
	54	7.0	6.2	1.32	0.18	3.93	5.43	
	55	6.8	6.1	1.84	0.61	4.13	6.58	
19	6	12.1	12.8	10.56	3.90	28.55	43.01	
	8	10.8	9.6	5.63	1.41	15.35	22.39	
	10	11.9	10.4	5.34	1.26	17.86	24.46	
	13	10.4	8.2	2.39	0.66	10.02	13.07	
	24	11.1	10.4	4.93	1.43	16.67	23.03	
	27	11.1	9.4	3.38	1.07	14.51	18.96	
	33	11.6	11.8	6.48	2.23	23.20	31.91	
	41	11.7	10.9	4.26	2.85	20.34	27.45	
24	17	10.6	8.4	2.02	0.82	9.89	12.73	
	19	13.0	9.8	4.66	1.19	16.66	22.51	
	20	13.8	12.7	7.92	3.38	31.44	42.74	
	26	13.6	12.3	5.51	1.89	27.72	35.12	
	34	14.0	15.8	11.48	4.57	45.61	61.66	
	39	11.8	9.3	3.07	0.73	14.13	17.93	
	44	14.9	14.1	8.85	2.64	40.30	51.79	
	46	13.5	11.4	4.05	0.93	24.16	29.14	
31	1	13.3	12.1	3.32	2.05	26.00	31.37	
	9	15.2	15.9	6.78	4.78	51.68	63.24	
	10	16.1	17.2	7.96	5.10	65.35	78.41	
	18	14.7	18.0	10.90	4.65	64.22	79.77	
	29	15.2	16.3	11.62	6.84	56.92	75.38	
	31	15.0	15.0	9.04	3.81	46.72	59.57	
	38	13.4	14.9	4.67	2.19	40.58	47.44	
	40	13.4	13.4	5.70	3.08	34.16	42.94	
45	1	15.8	15.3	5.05	3.31	52.05	60.41	
	9	21.1	23.5	12.03	11.39	156.81	180.23	
	11	18.6	20.8	15.31	6.83	110.83	132.97	
	19	19.2	20.2	10.72	5.78	111.83	128.33	
	23	20.2	24.3	20.24	13.87	158.48	192.59	
	26	15.6	15.9	4.16	2.10	48.67	54.93	
	29	17.4	17.2	6.67	2.97	72.12	81.76	
	33	20.7	25.2	21.27	14.08	181.73	217.08	
51	6	18.0	18.6	14.62	6.31	85.21	106.14	
	9	23.2	25.7	42.33	17.46	201.98	261.77	

林 齢 Stand age (yrs.)	No.	樹 高 Height (m)	胸高直径 D.B.H (cm)	葉 重 Leaf- weight (kg)	枝 重 Branch- weight (kg)	幹 重 Stem- weight (kg)	地上部重 Above- ground part-weight (kg)	幹 材 積 Stem- volume (m³)
51	11	23.8	23.5	27.78	15.23	176.64	219.65	
	15	22.0	20.0	15.86	6.57	134.24	156.67	
	21	22.2	21.1	16.19	8.45	128.28	152.92	
	25	20.8	20.0	13.98	10.03	104.90	128.91	
	28	24.9	27.6	21.94	10.41	237.78	270.13	
	35	21.4	22.1	13.79	9.34	137.43	160.56	
60	8	23.5	29.5	24.99	19.37	271.02	315.38	
	14	24.4	30.5	16.71	11.44	303.86	332.01	
	17	20.9	26.2	22.43	10.16	186.82	219.41	
	18	20.2	20.9	7.52	5.24	122.14	134.90	
	28	22.8	25.6	18.56	12.27	214.21	245.04	
	31	24.8	33.1	39.91	18.62	363.58	422.11	
	35	23.0	26.6	21.38	18.08	213.00	252.46	
	44	21.5	22.3	15.96	9.85	164.75	190.56	

重量は乾重である。Weight shows dry weight.

第4表 西川地方単木測定資料
Table 4. Measured data of sample trees in Nishikawa

林 齢 Stand age (yrs.)	No.	樹 高 Height (m)	胸高直径 D.B.H (cm)	葉 重 Leaf- weight (kg)	枝 重 Branch- weight (kg)	幹 重 Stem- weight (kg)	地上部重 Above- ground part-weight (m)	幹 材 積 Stem- volume (m³)
11	4	7.4	9.8	6.45	1.05	9.90	17.40	0.027667
	6	7.0	7.7	6.33	0.84	6.00	13.17	0.016763
	7	7.1	9.3	5.99	1.17	8.86	16.02	0.024718
	12	5.3	5.5	2.46	0.56	2.48	5.50	0.006931
	16	8.3	10.6	8.41	1.75	12.68	22.84	0.035390
	29	5.7	6.6	4.37	0.35	3.71	8.43	0.010366
	38	7.7	8.7	4.80	0.69	8.17	13.66	0.022853
	39	6.9	8.4	5.63	1.08	7.00	13.71	0.019568
15	5	9.0	10.2	7.42	1.20	13.18	21.80	0.038764
	8	9.4	9.8	4.26	0.90	12.31	17.47	0.036223
	13	9.7	10.8	6.59	1.80	15.76	24.15	0.046350
	14	10.4	12.3	12.20	2.33	20.96	35.49	0.061658
	22	10.5	11.2	8.41	1.43	18.46	28.30	0.054374
	23	9.7	11.3	8.43	1.49	17.42	27.34	0.051240
	27	9.8	11.4	12.18	2.26	19.07	33.51	0.056101
	33	7.6	10.5	6.05	1.09	11.01	18.15	0.032398
20	5	9.3	10.3	5.63	1.64	15.36	22.63	0.042617
	13	10.5	11.6	5.83	1.36	19.14	26.33	0.057543
	20	9.7	10.7	5.91	1.47	16.35	23.73	0.045201
	33	11.2	11.8	7.95	2.12	23.77	33.84	0.066585
	34	12.6	14.7	13.72	4.16	37.99	55.87	0.105489

林 齡 Stand age (yrs.)	No.	樹 高 Height (m)	胸高直径 D.B.H. (cm)	葉 重 Leaf- weight (kg)	枝 重 Branch- weight (kg)	幹 重 Stem- weight (kg)	地上部重 Above- ground part-weight (kg)	幹 材 積 Stem- volume (m ³)
20	37	13.1	14.5	12.24	3.59	38.76	54.59	0.117481
	42	9.1	10.4	3.96	1.07	15.55	20.58	0.048086
	43	13.5	15.5	13.88	3.87	37.16	54.91	0.127465
	46	11.3	14.2	9.45	2.68	32.42	44.55	0.090879
25	4	13.9	14.7	8.02	1.70	38.61	48.33	0.115845
	5	15.3	14.7	10.73	1.55	50.29	62.57	0.142392
	11	14.6	14.3	8.99	1.85	43.38	54.22	0.130128
	13	14.7	13.2	9.22	1.82	40.34	51.38	0.111275
	15	12.7	13.0	8.01	1.59	33.32	42.92	0.098812
	17	14.0	14.6	8.12	1.66	41.16	50.94	0.129636
	29	16.0	17.9	12.61	2.59	59.15	74.35	0.204419
	40	16.7	18.2	18.38	5.90	80.20	104.48	0.233292
	42	13.1	12.4	7.04	1.46	30.27	38.77	0.081629
29	6	15.1	17.4	9.58	2.52	52.17	64.27	0.174117
	8	17.2	19.2	16.33	7.73	77.51	101.57	0.244166
	12	14.3	15.4	9.80	3.57	50.24	63.61	0.143776
	20	13.5	14.0	8.33	2.90	37.83	49.06	0.116768
	22	15.4	18.2	11.29	3.02	76.19	90.50	0.209684
	37	16.3	18.3	11.64	4.74	79.02	95.40	0.223783
	40	15.5	14.7	12.07	5.10	55.60	72.77	0.150109
	43	14.0	12.9	7.51	1.88	36.73	46.12	0.106843
35	44	17.4	20.6	20.84	7.05	94.08	121.97	0.299917
	5	19.5	20.5	15.29	8.84	119.17	143.30	0.340886
	6	16.3	13.9	4.33	1.66	49.75	55.74	0.130240
	13	20.0	23.3	18.10	11.69	153.16	182.95	0.422028
	19	17.5	15.0	7.39	3.39	70.45	81.23	0.158788
	21	20.0	22.6	15.91	12.08	137.40	165.39	0.405246
	26	17.8	18.1	7.38	4.68	75.43	87.49	0.225022
	39	19.2	19.0	12.51	6.14	99.78	118.43	0.285399
	40	17.0	15.7	5.43	3.23	60.47	69.13	0.171565
	43	18.1	18.6	7.81	4.20	96.05	108.06	0.249687
	45	17.3	16.1	6.16	2.55	69.29	78.00	0.174807

重量は乾重である。Weight shows dry weight.

第5表 国有林単木測定資料
Table 5. Measured data of sample trees in National Forest

林 齡 Stand age (yrs.)	No.	樹 高 Height (m)	胸高直径 D.B.H. (cm)	葉 重 Leaf- weight (kg)	枝 重 Branch- weight (kg)	幹 重 Stem- weight (kg)	地上部重 Above- ground part-weight (kg)	幹 材 積 Stem- volume (m ³)
9	6	4.8	6.2	4.95	1.39	2.60	8.94	0.009342
	9	3.0	3.0	1.58	0.65	0.78	3.01	0.002869
	10	2.5	2.0	1.02	0.12	0.35	1.49	0.001242

林 齢 Stand age (yrs.)	No.	樹 高 Height (m)	胸高直径 D.B.H. (cm)	葉 重 Leaf- weight (kg)	枝 重 Branch- weight (kg)	幹 重 Stem- weight (kg)	地上部重 Above- ground part-weight (kg)	幹 材 積 Stem- volume (m³)
9	14	4.9	5.0	3.77	1.25	2.40	7.42	0.008606
	18	4.9	6.0	4.82	0.73	2.17	7.72	0.007846
	20	5.0	6.5	3.55	0.83	2.72	7.10	0.009809
	21	6.1	8.4	6.88	2.21	15.21	65.21	0.022213
	26	5.4	8.0	5.23	1.56	3.84	10.63	0.013880
16	7	6.0	9.2	5.24	1.87	6.22	13.33	0.021886
	9	9.5	12.4	4.95	1.32	14.95	21.22	0.052727
	10	9.0	10.9	7.32	3.17	12.35	22.84	0.043195
	11	8.5	10.1	9.00	2.16	10.21	21.37	0.035835
	12	7.0	10.8	8.02	3.53	10.23	21.78	0.035847
	13	7.5	11.3	8.07	3.33	11.02	22.42	0.038934
	14	8.5	12.8	8.55	4.27	14.85	27.67	0.052574
	26	9.5	14.4	12.08	5.02	22.61	39.71	0.079776
	29	9.0	12.8	7.29	3.26	15.57	26.12	0.054892
20	1	10.4	13.8	6.64	4.23	25.00	35.87	0.086983
	5	11.3	12.5	7.97	2.48	23.12	33.57	0.080005
	9	10.9	13.7	9.81	1.33	26.86	38.00	0.093191
	16	11.2	11.8	10.08	2.25	20.37	32.70	0.070798
	17	13.1	17.4	13.38	4.79	44.69	62.86	0.155814
	19	13.2	17.1	15.61	8.43	49.08	73.12	0.170888
	31	10.9	12.4	6.93	2.21	19.92	29.06	0.069352
	37	13.3	16.6	10.37	5.38	44.02	59.77	0.153148
	38	11.2	13.1	8.42	2.01	23.77	34.20	0.083031
	39	14.8	19.2	14.27	5.78	64.50	84.55	0.223686
	41	13.6	17.5	14.12	7.57	49.68	71.37	0.172935
	43	12.6	15.4	12.31	4.82	35.98	53.11	0.124880
	47	13.8	17.4	12.52	5.48	46.57	64.57	0.162194
	48	12.9	16.1	8.21	2.73	39.82	50.76	0.138404
	51	10.5	13.1	9.21	3.02	23.20	35.46	0.080379
	52	13.2	15.4	11.38	3.57	37.72	52.67	0.130931
	57	14.2	21.5	21.52	8.85	79.00	109.37	0.275811
	60	12.9	16.2	14.33	4.86	41.16	60.35	0.143061
26	6	18.0	21.1	18.85	8.60	116.60	144.05	0.389456
	14	12.0	10.7	3.54	1.29	17.52	22.35	0.060363
	20	15.2	13.7	10.84	2.89	36.61	50.34	0.126519
	24	17.7	22.1	15.95	5.78	89.63	111.36	0.308837
	37	17.6	20.8	15.59	5.36	86.98	107.93	0.300237
	47	18.8	21.2	20.36	7.83	94.62	122.81	0.326413
	48	13.7	14.3	3.81	0.78	31.00	35.59	0.107214
	49	15.2	15.7	7.95	1.92	43.36	53.23	0.149790
	51	15.2	16.1	6.85	1.87	47.00	55.72	0.161718
29	3	17.4	21.7	18.29	11.94	91.06	121.29	0.312050

林 齢 Stand age (yrs.)	No.	樹 高 Height (m)	胸高直径 D.B.H (cm)	葉 重 Leaf weight (kg)	枝 重 Branch- weight (kg)	幹 重 Stem- weight (kg)	地上部重 Above- ground part-weight (kg)	幹 材 積 Stem- volume (m³)
29	7	13.2	15.2	4.91	5.18	35.65	45.74	0.122275
	8	17.9	27.2	22.23	28.14	148.44	198.81	0.507796
	9	15.5	16.2	5.86	3.35	47.69	56.90	0.163266
	11	13.2	16.3	8.04	9.33	44.70	62.07	0.153342
	14	18.1	28.7	19.44	18.53	143.19	181.16	0.489982
	16	15.6	19.8	7.12	5.55	72.89	85.56	0.249972
	18	18.0	20.9	15.91	10.49	89.78	116.18	0.308108
	27	16.2	18.0	5.72	3.57	68.52	77.81	0.235150
34	12	21.6	33.0	32.67	32.95	266.55	332.17	0.897467
	14	17.2	21.9	9.15	7.74	93.51	100.40	0.315582
	19	18.7	22.6	7.79	4.74	97.87	110.40	0.330982
	23	20.5	24.0	22.48	11.07	134.27	167.82	0.453242
	24	20.7	25.2	30.20	22.79	158.59	211.58	0.535387
	28	17.4	18.5	6.01	4.08	70.15	80.24	0.235999
	32	17.2	18.1	14.57	7.68	69.31	91.56	0.233460
	36	20.6	26.0	15.85	12.10	151.29	179.24	0.511079
	48	20.6	29.0	18.75	18.99	179.21	216.95	0.604518
45	1	15.8	22.2	11.98	10.23	85.42	107.63	0.277763
	5	18.0	22.7	15.87	8.11	115.95	139.93	0.376737
	7	13.0	16.0	3.35	2.76	34.75	40.86	0.113089
	10	20.2	31.2	25.64	16.71	215.32	257.67	0.700631
	12	21.0	33.5	45.07	28.96	243.58	317.61	0.790198
	18	14.7	12.7	6.37	2.25	32.92	41.54	0.106928
	27	18.2	25.0	17.76	13.31	129.30	160.37	0.420053
	28	23.6	37.4	79.64	48.88	394.49	523.01	1.280976
	33	24.3	34.9	50.84	30.66	334.34	415.84	1.084749
	36	20.5	28.6	30.01	21.12	188.88	240.01	0.613283
	37	21.9	30.1	31.60	16.85	223.21	271.66	0.725449
	38	23.5	39.4	58.62	49.82	263.02	371.46	1.177814
	41	19.7	25.6	28.99	11.11	155.24	195.34	0.504405
	46	17.6	22.9	17.19	11.89	100.95	130.03	0.327732
	49	23.0	32.9	31.35	20.79	281.78	333.92	0.912301
	50	21.8	32.2	31.04	23.10	240.37	294.51	0.781042
53	13	20.2	22.0	16.84	8.79	129.12	154.75	0.401075
	14	23.5	32.6	33.35	22.97	269.51	325.83	0.839169
	22	25.0	34.2	46.14	22.68	367.04	435.86	1.143460
	23	25.3	35.1	58.07	31.34	381.15	470.56	1.187617
	27	23.2	35.9	67.84	51.46	349.58	468.88	1.089636
	34	23.6	33.0	38.88	27.08	319.88	385.85	0.996240
	35	24.7	32.4	42.77	22.46	323.92	389.15	1.008480
	39	21.0	25.8	28.84	20.89	189.94	239.67	0.590712
	42	25.6	34.6	49.82	29.52	381.66	461.00	1.188503

重量は乾重である。Weight shows dry weight.

第6表 飢肥地方単木測定資料
 Table 6. Measured data of sample trees in Obi

林 齢 Stand age (yrs.)	No.	樹 高 Height (m)	胸高直径 D.B.H. (cm)	葉 重 Leaf- weight (kg)	枝 重 Branch- weight (kg)	幹 重 Stem- weight (kg)	地上部重 Above- ground part-weight (kg)	幹 材 積 Stem- volume (m ³)
10	2	3.1	4.1	2.13	0.96	1.05	4.14	0.002951
	6	3.5	5.3	3.17	0.50	1.95	5.62	0.005445
	10	3.0	2.6	1.07	0.14	0.96	2.17	0.001428
	15	2.5	2.2	0.91	0.06	0.46	1.43	0.001284
	22	4.5	8.1	8.97	1.82	5.06	15.85	0.014096
	26	3.9	6.4	5.22	0.74	2.79	8.75	0.007777
	30	4.4	6.3	4.83	0.70	3.21	8.74	0.008947
	44	4.9	8.9	8.68	4.75	6.55	19.98	0.018265
17	8	7.3	11.8	7.59	3.00	14.16	24.75	0.040241
	11	7.6	14.4	9.98	6.01	20.39	36.38	0.057948
	15	5.9	11.3	6.90	3.00	11.46	21.36	0.032569
	21	5.5	8.9	2.01	0.96	5.73	8.70	0.016300
	22	7.5	12.9	5.39	3.29	16.81	25.49	0.047751
	26	8.3	20.3	33.46	18.31	45.87	97.64	0.130318
	30	5.0	8.2	2.62	0.91	5.25	8.78	0.014921
	41	7.1	12.7	8.96	5.19	14.59	28.74	0.041476
21	5	10.0	19.9	24.16	14.55	45.43	84.14	0.131835
	6	11.2	21.4	31.62	19.26	68.04	118.92	0.197420
	10	10.6	20.0	19.98	13.45	52.21	85.64	0.151443
	18	11.1	21.6	21.21	16.12	66.52	103.85	0.192971
	19	11.6	22.8	21.68	13.28	70.52	105.48	0.204569
	26	9.8	17.8	17.20	8.74	39.84	65.78	0.115580
	32	12.3	24.4	31.18	20.51	89.80	141.49	0.260639
	45	8.0	15.1	13.08	7.60	24.12	44.80	0.070006
25	6	12.8	23.1	26.60	16.17	88.25	131.02	0.256083
	11	12.2	19.5	22.63	10.91	61.02	94.56	0.177027
	20	11.4	17.5	28.07	14.53	48.26	90.86	0.140005
	22	14.4	28.6	39.31	23.25	140.16	202.72	0.406622
	26	13.5	23.6	18.57	9.58	101.39	129.54	0.294192
	36	12.7	21.2	25.47	12.06	73.54	111.07	0.213364
	43	13.6	25.3	32.73	27.50	104.86	165.09	0.304256
	61	14.2	27.0	32.53	18.69	127.56	178.78	0.370127
31	1	14.1	23.1	16.84	10.26	100.94	128.04	0.292874
	3	15.8	30.9	33.22	23.91	192.08	249.21	0.557294
	8	12.8	19.9	15.11	7.06	67.28	89.45	0.195191
	27	15.2	27.4	23.68	18.57	142.77	185.02	0.414155
	30	14.7	30.1	32.74	26.18	182.54	241.46	0.529552
	35	15.6	29.1	24.61	21.97	159.73	206.31	0.463305
	41	16.5	32.3	26.13	19.69	202.35	248.17	0.587019
	45	14.1	24.8	25.78	15.95	119.98	161.71	0.348140

林 齢 Stand age (yrs.)	No.	樹 高 Height (m)	胸高直径 D.B.H (cm)	葉 重 Leaf- weight (kg)	枝 重 Branch- weight (kg)	幹 重 Stem- weight (kg)	地上部重 Above- ground part-weight (kg)	幹 材 積 Stem- volume (m ³)
34	14	19.0	32.4	34.51	24.94	234.28	293.73	0.679774
	20	19.1	32.1	32.03	24.31	241.91	298.25	0.701711
	23	16.5	24.4	22.83	12.79	135.48	171.10	0.393082
	29	21.5	40.1	40.75	43.40	373.95	458.10	1.084850
	33	19.6	35.4	36.43	32.41	281.36	350.20	0.816188
	46	17.9	35.5	32.06	30.09	256.48	318.63	0.743919
	51	18.3	30.4	31.30	24.39	212.94	268.63	0.617761
	52	18.2	28.0	25.13	16.83	187.18	229.14	0.543000
39	6	16.7	40.3	47.06	41.73	282.21	371.00	0.823232
	23	16.8	31.7	40.45	36.67	213.46	290.58	0.622648
	25	16.1	35.1	25.99	30.53	237.97	294.49	0.694145
	29	18.5	37.2	35.92	34.41	317.98	388.31	0.927548
	31	19.0	37.3	43.06	38.79	303.48	385.33	0.885304
	36	22.4	44.3	46.30	47.36	480.89	574.55	1.402594
	40	20.2	34.9	30.45	30.20	285.76	346.41	0.833532
	53	17.9	32.6	29.00	29.51	225.39	283.90	0.657399
45	2	22.6	45.7	82.29	15.60	484.54	582.43	1.413305
	12	19.0	40.4	46.86	45.06	352.12	444.04	1.027152
	13	22.9	48.1	48.96	56.20	544.02	649.18	1.586838
	16	21.1	37.8	56.81	65.91	342.41	465.13	0.998805
	20	21.3	43.2	41.50	43.34	456.85	541.69	1.332541
	25	20.3	41.9	57.38	65.56	413.65	536.59	1.206582
	27	17.8	36.4	45.30	34.22	292.56	372.08	0.853413
	38	17.7	34.3	43.56	30.66	254.88	329.10	0.743383

重量は乾重である。Weight shows dry weight.

第7表 吉野地方諸数値
Table 7. Measured data of sample plots in Yoshino

林齡 Stand age (yrs.)		平 均 Average									ha あたり Per ha						
		胸 高 直 径 D.B.H (cm)	樹 高 Height (m)	枝下高 Clear length (m)	断面積 Basal area (m ²)	幹材積 Stem- volume (m ³)	葉 重 Leaf- weight (kg)	枝 重 Branch- weight (kg)	幹 重 Stem- weight (kg)	地上部重 Above- ground part- weight (kg)	密 度 Density (No.)	断面積 Basal area (m ²)	幹材積 Stem- volume (m ³)	葉 重 Leaf- weight (ton)	枝 重 Branch- weight (ton)	幹 重 Stem- weight (ton)	地上部重 Above- ground part- weight (ton)
10	間 伐 前 Before thinning	5.0	5.3	2.0	0.0021	—	1.65	0.29	2.15	4.09	12019	25.10	—	19.87	3.46	25.88	49.21
	間 伐 木 Thinnings	4.3	5.0	1.9	0.0016	—	1.22	0.21	1.56	2.99	5609	8.76	—	6.86	1.17	8.75	16.78
	残 存 木 After thinning	5.7	5.7	2.0	0.0026	—	2.03	0.36	2.67	5.06	6410	16.34	—	13.01	2.29	17.13	32.43
15	間 伐 前 Before thinning	7.1	7.1	3.7	0.0042	—	2.22	0.47	5.92	8.61	6865	29.01	—	15.23	3.22	40.64	59.09
	間 伐 木 Thinnings	5.9	6.1	3.3	0.0030	—	1.57	0.34	4.25	6.16	2370	7.09	—	3.72	0.80	10.08	14.60
	残 存 木 After thinning	7.8	7.6	3.9	0.0049	—	2.56	0.54	6.80	9.90	4495	21.92	—	11.51	2.42	30.56	44.49
19	間 伐 前 Before thinning	10.1	10.5	6.6	0.0081	—	5.05	1.74	17.24	24.03	4503	35.58	—	22.73	7.85	77.63	108.21
	間 伐 木 Thinnings	9.4	10.1	6.5	0.0069	—	3.82	1.08	13.55	18.45	1272	8.78	—	4.86	1.38	17.23	23.47
	残 存 木 After thinning	10.4	10.6	6.7	0.0086	—	5.53	2.00	18.69	26.22	3231	27.80	—	17.87	6.47	60.40	84.74
24	間 伐 前 Before thinning	12.5	12.3	7.4	0.0130	—	6.97	2.37	30.83	40.17	3438	44.82	—	23.98	8.15	105.98	138.11
	間 伐 木 Thinnings	10.1	11.2	7.3	0.0084	—	4.22	1.41	19.00	24.63	801	6.76	—	3.38	1.13	15.22	19.73
	残 存 木 After thinning	13.3	12.6	7.6	0.0144	—	7.81	2.66	34.42	44.39	2637	38.06	—	20.60	7.02	90.76	118.38
31	間 伐 前 Before thinning	16.1	14.5	8.1	0.0207	—	8.35	4.53	53.77	66.65	2557	52.83	—	21.36	11.59	137.50	170.45
	間 伐 木 Thinnings	15.0	14.4	7.7	0.0180	—	7.46	3.90	45.63	56.99	639	11.49	—	4.77	2.49	29.16	36.42
	残 存 木 After thinning	16.4	14.6	8.2	0.0216	—	8.65	4.74	56.49	69.88	1918	41.34	—	16.59	9.10	108.34	134.03
45	間 伐 前 Before thinning	21.8	18.6	11.8	0.0392	—	14.06	8.89	129.34	152.29	1557	61.03	—	21.89	13.84	201.39	237.12
	間 伐 木 Thinnings	20.7	18.4	12.1	0.0347	—	12.29	8.42	118.33	139.04	240	8.33	—	2.95	2.02	28.40	33.37

スギ林の保育形式に関する研究 (安藤ほか)

林齡 Stand age (yrs.)		平 均 Average									ha あたり Per ha						
		胸 高 直 径 D.B.H (cm)	樹 高 Height (m)	枝下高 Clear- length (m)	断面積 Basal- area (m ²)	幹材積 Stem- volume (m ³)	葉 重 Leaf- weight (kg)	枝 重 Branch- weight (kg)	幹 重 Stem- weight (kg)	地上部重 Above- ground part- weight (kg)	密 度 Density (No.)	断面積 Basal- area (m ²)	幹材積 Stem- volume (m ³)	葉 重 Leaf- weight (ton)	枝 重 Branch- weight (ton)	幹 重 Stem- weight (ton)	地上部重 Above- ground part- weight (ton)
45	残 存 木 After thinning	22.0	18.6	11.7	0.0400	—	14.38	8.97	131.35	154.70	1317	52.70	—	18.94	11.82	172.99	203.75
51	間 伐 前 Before thinning	23.7	21.3	13.7	0.0447	—	22.99	11.57	166.82	201.38	1321	59.05	—	30.37	15.29	220.37	266.03
	間 伐 木 Thinnings	20.9	20.9	13.6	0.0348	—	21.24	10.65	154.58	186.47	201	6.99	—	4.27	2.14	31.07	37.48
	残 存 木 After thinning	24.4	21.4	13.7	0.0465	—	23.30	11.74	169.02	204.06	1120	52.06	—	26.10	13.15	189.30	228.55
60	間 伐 前 Before thinning	28.3	21.9	10.5	0.0618	—	22.13	13.88	243.61	279.62	980	60.57	—	21.69	13.60	238.74	274.03

重量は乾重である。Weight shows dry weight.

第8表 西 川 地 方 諸 数 値
Table 8. Measured data of sample plots in Nishikawa

林齡 Stand age (yrs.)		平 均 Average									ha あたり per ha						
		胸 高 直 径 D.B.H (cm)	樹 高 Height (m)	枝下高 Clear- length (m)	断面積 Basal- area (m ²)	幹材積 Stem- volume (m ³)	葉 重 Leaf- weight (kg)	枝 重 Branch- weight (kg)	幹 重 Stem- weight (kg)	地上部重 Above- ground part- weight (kg)	密 度 Density (No.)	断面積 Basal- area (m ²)	幹材積 Stem- volume (m ³)	葉 重 Leaf- weight (ton)	枝 重 Branch- weight (ton)	幹 重 Stem- weight (ton)	地上部重 Above- ground part- weight (ton)
10	間 伐 前 Before thinning	8.1	6.8	1.7	0.0054	0.0195	5.40	0.90	6.97	13.27	3504	18.96	68.20	18.93	3.14	24.41	46.48
15	間 伐 前 Before thinning	11.0	9.5	4.3	0.0095	0.0480	8.35	1.60	16.32	26.27	2933	27.99	140.82	24.50	4.70	47.88	77.08
	間 伐 木 Thinnings	10.7	9.4	4.3	0.0079	0.0348	5.75	1.04	11.83	18.62	355	2.81	12.36	2.04	0.37	4.20	6.61
	残 存 木 After thinning	11.1	9.9	4.3	0.0098	0.0498	8.71	1.68	16.94	27.33	2578	25.18	128.46	22.46	4.33	43.68	70.47
20	間 伐 前 Before thinning	13.1	11.4	5.4	0.0142	0.0867	9.69	2.71	29.22	41.61	2650	37.61	229.64	25.68	7.18	77.44	110.30
	間 伐 木 Thinnings	9.7	9.7	5.6	0.0077	0.0415	4.46	1.27	13.96	19.69	323	2.47	13.39	1.44	0.41	4.51	6.36
	残 存 木 After thinning	13.5	11.6	5.4	0.0151	0.0929	10.42	2.91	31.34	44.67	2327	35.14	216.25	24.24	6.77	72.93	103.94

林齢 Stand age (yrs.)		平 均 Average									ha あたり Per ha						
		胸 高 直 径 D.B.H (cm)	樹 高 Height (m)	枝下高 Clear- length (m)	断面積 Basal- area (m ²)	幹材積 Stem- volume (m ³)	葉 重 Leaf- weight (kg)	枝 重 Branch- weight (kg)	幹 重 Stem- weight (kg)	地上部重 Above- ground part- weight (kg)	密 度 Density (No.)	断面積 Basal- area (m ²)	幹材積 Stem- volume (m ³)	葉 重 Leaf- weight (ton)	枝 重 Branch- weight (ton)	幹 重 Stem- weight (ton)	地上部重 Above- ground part- weight (ton)
25	間 伐 前 Before thinning	14.9	14.5	8.5	0.0178	0.1427	10.30	2.27	47.71	60.28	2238	39.94	319.37	23.05	5.09	106.77	134.91
	間 伐 木 Thinnings	13.1	12.3	7.5	0.0137	0.1029	7.69	1.55	34.37	43.61	238	3.27	24.48	1.83	0.37	8.18	10.38
	残 存 木 After thinning	15.1	14.7	8.6	0.0183	0.1474	10.61	2.36	49.30	62.27	2000	36.67	294.89	21.22	4.72	98.59	124.53
29	間 伐 前 Before thinning	16.6	15.5	10.0	0.0223	0.1856	11.86	4.28	62.23	78.37	2022	45.14	375.28	23.98	8.65	125.83	158.46
	間 伐 木 Thinnings	14.1	12.8	8.1	0.0157	0.1191	8.20	2.84	39.90	50.94	211	3.32	25.13	1.73	0.60	8.42	10.75
	残 存 木 After thinning	17.0	15.7	10.2	0.0231	0.1933	12.29	4.55	64.83	81.57	1811	41.82	350.15	22.25	8.05	117.41	147.71
35	間 伐 前 Before thinning	18.5	18.2	11.7	0.0280	0.2845	10.34	6.28	103.23	119.85	1754	49.07	499.00	18.14	11.02	181.06	210.22

第9表 国 有 林 諸 数 値
Table 9. Measured data of sample plots in National Forest

林齢 Stand age (yrs.)		平 均 Average									ha あたり Per ha						
		胸 高 直 径 D.B.H (cm)	樹 高 Height (m)	枝下高 Clear- length (m)	断面積 Basal- area (m ²)	幹材積 Stem- volume (m ³)	葉 重 Leaf- weight (kg)	枝 重 Branch- weight (kg)	幹 重 Stem- weight (kg)	地上部重 Above- ground part- weight (kg)	密 度 Density (No.)	断面積 Basal- area (m ²)	幹材積 Stem- volume (m ³)	葉 重 Leaf- weight (ton)	枝 重 Branch- weight (ton)	幹 重 Stem- weight (ton)	地上部重 Above- ground part- weight (ton)
9	間 伐 前 Before thinning	6.0	4.4	0	0.0032	0.0107	4.58	1.25	2.87	8.70	2210	7.00	23.56	10.13	2.76	6.34	19.23
16	間 伐 前 Before thinning	11.3	7.8	2.0	0.0107	0.0458	7.78	3.08	12.73	23.59	2652	28.43	121.39	20.62	8.17	33.75	62.54
	間 伐 木 Thinnings	8.1	5.8	1.3	0.0067	0.0287	4.65	1.81	7.98	14.44	531	3.56	15.23	2.17	0.96	4.24	7.67
	残 存 木 After thinning	12.1	8.3	2.1	0.0117	0.0501	8.56	3.40	13.91	25.87	2121	24.87	106.16	18.15	7.21	29.51	54.87
20	間 伐 前 Before thinning	14.1	11.4	5.6	0.0163	0.1072	9.63	3.44	30.34	43.41	2378	38.79	254.92	22.91	8.19	72.14	103.24

林齡 Stand age (yrs.)		平 均 Average									ha あたり Per ha						
		胸高直 D.B.H (cm)	樹高 Height (m)	枝下高 Clear- length (m)	断面積 Basal- area (m ²)	幹材積 Stem- volume (m ³)	葉重 Leaf- weight (kg)	枝重 Branch- weight (kg)	幹重 Stem- weight (kg)	地上部重 Above- ground part- weight (kg)	密度 Density (No.)	断面積 Basal- area (m ²)	幹材積 Stem- volume (m ³)	葉重 Leaf- weight (ton)	枝重 Branch- weight (ton)	幹重 Stem- weight (ton)	地上部重 Above- ground part- weight (ton)
20	間伐木 Thinnings	12.4	10.7	5.8	0.0126	0.0815	7.46	2.60	23.06	33.12	692	8.72	56.41	5.16	1.80	15.96	22.92
	残存木 After thinning	14.9	11.7	5.5	0.0178	0.1177	10.53	3.79	33.32	47.64	1686	30.07	198.51	17.75	6.39	56.18	80.32
26	間伐前 Before thinning	16.7	14.6	8.0	0.0234	0.1983	10.82	3.63	56.71	71.16	1723	40.33	341.65	18.64	6.26	97.71	122.61
	間伐木 Thinnings	15.6	12.6	7.2	0.0212	0.1782	9.76	3.23	50.95	63.94	294	6.24	52.38	2.87	0.95	14.98	18.80
	残存木 After thinning	17.0	15.0	8.2	0.0239	0.2024	11.04	3.72	57.89	72.65	1429	34.09	289.27	15.77	5.31	82.73	103.81
29	間伐前 Before thinning	19.9	15.8	8.6	0.0319	0.2570	10.87	8.91	74.27	94.05	1528	48.72	392.65	16.61	13.62	113.48	143.71
	間伐木 Thinnings	17.6	14.5	8.6	0.0240	0.1543	7.87	6.50	44.58	58.95	286	6.85	44.12	2.25	1.86	12.75	16.86
	残存木 After thinning	20.4	16.1	8.6	0.0337	0.2806	11.56	9.47	81.10	102.13	1242	41.87	348.53	14.36	11.76	100.73	126.85
34	間伐前 Before thinning	23.4	17.6	9.4	0.0439	0.4094	15.40	10.91	120.36	146.67	1189	52.16	486.77	18.31	12.97	143.11	174.39
	間伐木 Thinnings	22.0	17.0	9.8	0.0375	0.3416	12.36	7.69	100.46	120.51	195	7.31	66.62	2.41	1.50	19.59	23.50
	残存木 After thinning	23.7	17.8	9.4	0.0451	0.4227	16.00	11.54	124.27	151.81	994	44.85	420.15	15.90	11.47	123.52	150.89
45	間伐前 Before thinning	27.7	19.0	8.9	0.0629	0.5964	28.09	17.94	182.51	228.54	822	51.72	490.25	23.09	14.75	150.02	187.86
	間伐木 Thinnings	26.2	17.4	8.1	0.0575	0.5212	24.13	15.23	159.54	198.90	109	6.27	56.81	2.63	1.66	17.39	21.68
	残存木 After thinning	27.9	19.2	9.0	0.0637	0.6079	28.70	18.36	186.02	233.08	713	45.44	433.44	20.46	13.09	132.63	166.18
53	間伐前 Before thinning	30.1	22.1	11.8	0.0733	0.8535	38.75	24.17	273.13	336.05	726	53.32	619.67	28.13	17.55	198.29	243.97

第10表 飼 肥 諸 数 値

Table 10. Measured data of sample plots in Obi

林 齡 Stand age (yrs.)		平 均 Average									ha あたり Per ha						
		胸 高 径 D.B.H (cm)	樹 高 Height (m)	枝下高 Clear- length (m)	断面積 Basal- area (m ²)	幹材積 Stem- volume (m ³)	葉 重 Leaf- weight (kg)	枝 重 Branch- weight (kg)	幹 重 Stem- weight (kg)	地上部重 Above- ground part- weight (kg)	密 度 Density (No.)	断面積 Basal- area (m ²)	幹材積 Stem- volume (m ³)	葉 重 Leaf- weight (ton)	枝 重 Branch- weight (ton)	幹 重 Stem- weight (ton)	地上部重 Above- ground part- weight (ton)
10	間 伐 前 Before thinning	5.5	3.7	0.6	0.0029	0.0078	4.49	1.33	2.78	8.60	1500	4.28	11.63	6.74	1.99	4.17	12.90
17	間 伐 前 Before thinning	12.2	7.1	1.3	0.0127	0.0453	9.14	4.83	16.02	29.99	1541	19.56	69.83	14.08	7.45	24.69	46.22
	間 伐 木 Thinnings	12.8	7.2	1.3	0.0142	0.0506	9.57	4.88	18.76	33.21	492	6.97	24.90	4.71	2.40	9.23	16.34
	残 存 木 After thinning	12.2	7.0	1.3	0.0120	0.0428	8.93	4.81	14.74	28.48	1049	12.59	44.93	9.37	5.05	15.46	29.88
21	間 伐 前 Before thinning	20.1	10.0	2.7	0.0328	0.1634	22.20	14.02	57.53	93.75	923	30.23	150.82	20.49	12.94	53.10	86.52
	間 伐 木 Thinnings	19.6	9.9	3.0	0.0310	0.1546	21.72	13.18	55.80	90.70	157	4.87	24.28	3.41	2.07	8.76	14.24
	残 存 木 After thinning	20.2	10.1	2.6	0.0331	0.1652	22.65	14.19	57.88	94.72	766	25.36	126.54	17.35	10.87	44.34	72.28
25	間 伐 前 Before thinning	23.0	12.7	3.2	0.0426	0.2652	27.76	16.28	91.41	135.45	838	35.64	222.25	23.26	13.64	76.60	113.50
	間 伐 木 Thinnings	21.9	12.4	3.2	0.0380	0.2374	25.10	14.90	86.78	126.78	143	5.44	33.95	3.59	2.13	12.41	18.13
	残 存 木 After thinning	23.3	12.8	3.3	0.0435	0.2709	28.30	16.56	92.46	137.22	695	30.20	188.30	19.67	11.51	64.19	95.37
31	間 伐 前 Before thinning	27.2	14.9	6.5	0.0600	0.4282	24.96	18.14	145.17	188.27	673	40.39	288.15	16.80	12.21	97.70	126.71
	間 伐 木 Thinnings	28.8	15.4	6.5	0.0687	0.4900	26.51	20.47	177.21	224.19	86	5.91	42.14	2.28	1.76	15.24	19.28
	残 存 木 After thinning	27.0	14.9	6.5	0.0587	0.4191	24.74	17.80	140.48	183.02	587	34.48	246.01	14.52	10.45	82.46	107.43

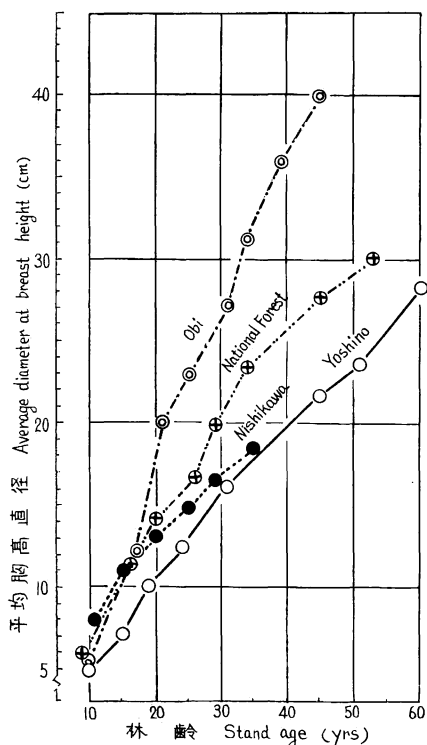
スギ林の保育形式に関する研究 (安藤ほか)

林齡 Stand age (yrs.)		平 均 Average									ha あたり Per ha						
		胸 高 直 径 D.B.H (cm)	樹 高 Height (m)	枝下高 Clear- length (m)	断面積 Basal- area (m ²)	幹材積 Stem- volume (m ³)	葉 重 Leaf- weight (kg)	枝 重 Branch- weight (kg)	幹 重 Stem- weight (kg)	地上部重 Above- ground part- weight (kg)	密 度 Density (No.)	断面積 Basal- area (m ²)	幹材積 Stem- volume (m ³)	葉 重 Leaf- weight (ton)	枝 重 Branch- weight (ton)	幹 重 Stem- weight (ton)	地上部重 Above- ground part- weight (ton)
34	間 伐 前 Before thinning	31.3	17.9	8.5	0.0784	0.6547	29.98	22.80	225.69	278.47	575	45.07	376.48	17.24	13.11	129.77	160.12
	間 伐 木 Thinnings	28.8	17.0	8.0	0.0670	0.5596	25.28	20.00	195.85	241.13	53	3.55	29.66	1.34	1.06	10.38	12.78
	残 存 木 After thinning	31.5	18.0	8.6	0.0795	0.6644	30.46	23.08	228.72	282.26	522	41.52	346.82	15.90	12.05	119.39	147.34
39	間 伐 前 Before thinning	36.0	18.2	8.6	0.1031	0.8259	36.09	34.85	283.14	354.08	458	47.21	378.26	16.53	15.96	129.68	162.17
	間 伐 木 Thinnings	33.2	18.1	8.4	0.0872	0.6983	33.40	26.81	264.89	325.10	47	4.10	32.82	1.57	1.26	12.45	15.28
	残 存 木 After thinning	36.3	18.2	8.6	0.1049	0.8405	36.40	35.77	285.23	357.40	411	43.11	345.44	14.96	14.70	117.23	146.89
45	間 伐 前 Before thinning	39.4	20.2	8.0	0.1242	1.0661	49.20	41.49	365.47	456.16	435	54.01	463.74	21.40	18.05	158.98	198.43

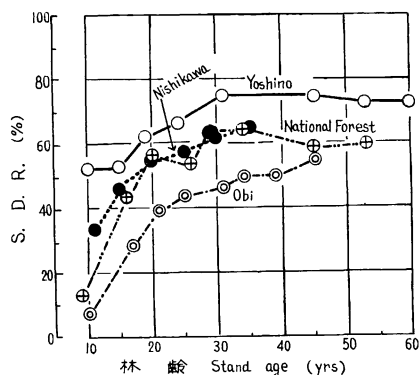
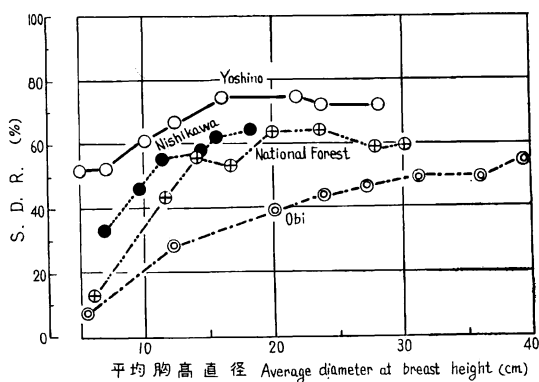
II 林分構造要因の成長経過

1. 平均胸高直径と本数密度比数

平均胸高直径の成長経過を第3図に示す。平均胸高直径が密度の増加とともに減少することはこれまでも十分よく知られていることで、この傾向が明らかに認められ、飢肥のように低密度管理されるほど大となり、吉野のように高密度管理されるほど小となっている。



第3図 調査林分の平均胸高直径
Fig. 3. Average diameter at breast height of sample stands.



第4図 平均胸高直径および林齢と本数密度比数
Fig. 4. Stand density ratio (SDR) and average diameter at breast height or stand age.

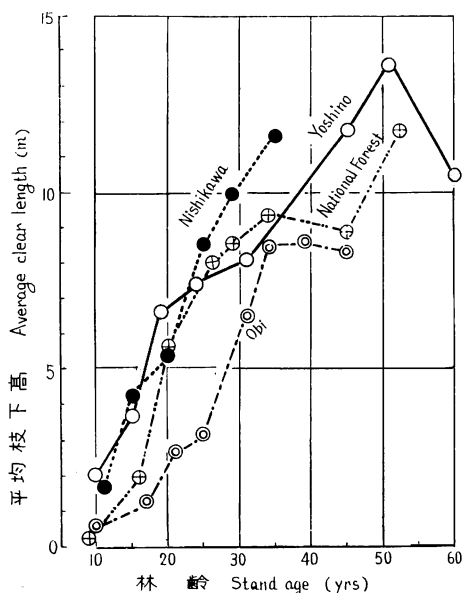
$$SDR = (N/N_m) \times 100$$

N : stand density, $\log N_m = -1.630 \log D + 5.5010$,
 D : average DBH

ある胸高直径に対する最大本数密度と現実密度の百分率で示される本数密度比数 (S.D.R.) は、林分の相対的な密度をあらわし、坂口⁵⁷⁾⁵⁹⁾が保育形式を導く上で重要な役割を果たした。調査林分の本数密度比数を胸高直径と林齢との関係で第4図に示す。当然のことであるが、傾向的には坂口の示したものと大差は認められない。

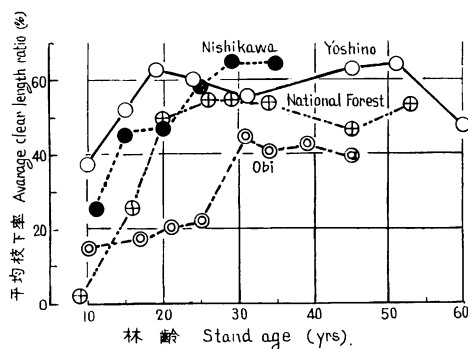
2. 枝下高, 枝下率

枝下高の経過を第5図に示す。枝下高は林齢が同じならば、密度の増加とともに大となり樹冠長は逆に



第5図 調査林分の平均枝下高

Fig. 5. Average clear length of sample stands.



第6図 調査林分の平均枝下率

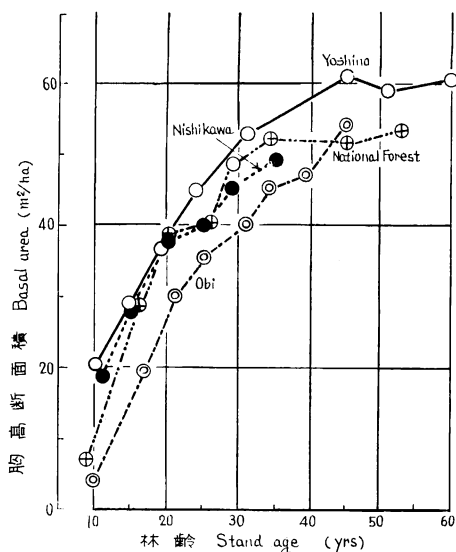
Fig. 6. Average clear length ratio of sample stands.

小さくなることが知られているが⁽¹⁾⁷⁶¹⁾⁷¹⁾、ここでもほぼ同じ傾向がみられる。ただし西川のみは枝打が強くおこなわれ、その回数も多いので、枝下高が上がり高密度に管理されている吉野よりも高くなっている。

これらの調査林分間の地位には大きなちがいが無いと考えることはすでに述べたが、樹高基準に幅があるので、個々の林分について細かくみればいくぶんちがいが認められる。このことの枝下高への影響をのぞくために、枝下率を求め、第6図に示す。枝下高は、いずれの地方でも林齢とともに増加したが、枝下率は林齢20~30年くらいまでは増加し、それ以後は一定化する傾向が認められる。

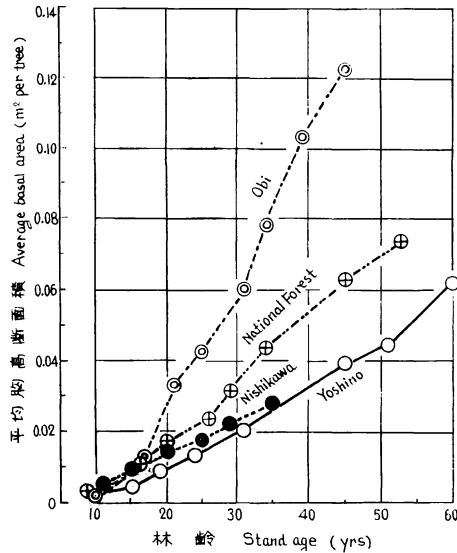
3. 胸高断面積と幹材積

haあたり断面積と平均断面積を第7図、第8図に、haあたり幹材積と平均幹材積を第9図、第10図に示す。haあたり断面積と幹材積は同一林齢においては密度が増加すると大になるが、林齢が高くなるにつれて、密度の幅に比し断面積や幹材積の差が縮まってくることは収量密度効果として知られており、また平均断面積と平均幹材積が密度の増加とともに小さくなることは、競争密度効果として知られている³⁴⁾⁷³⁾ (44ページ参照)。ここでも全く同様な傾向を認めることができた。



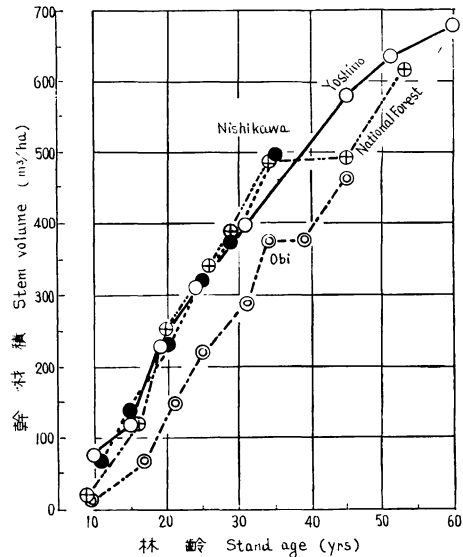
第7図 調査林分の胸高断面積

Fig. 7. Basal area of sample stands.



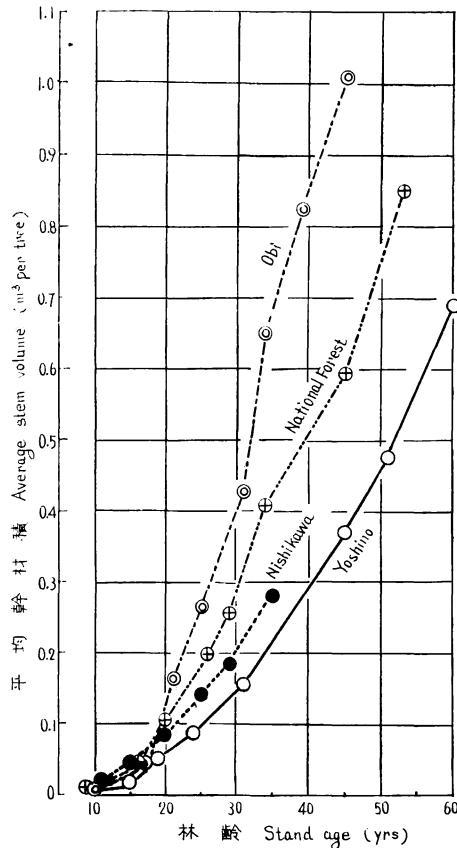
第8図 調査林分の平均胸高断面積

Fig. 8. Average basal area of sample stands.



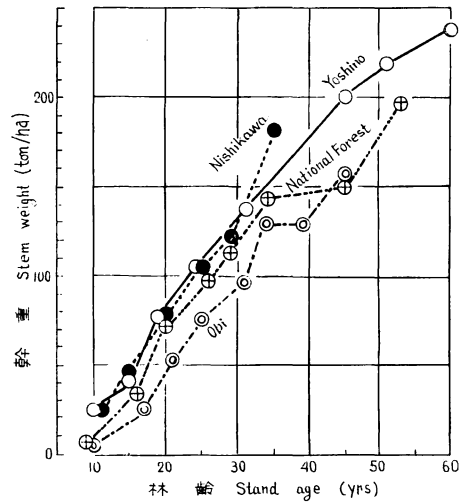
第9図 調査林分の幹材積

Fig. 9. Stem volume of sample stands.



第10図 調査林分の平均幹材積

Fig. 10. Average stem volume of sample stands.

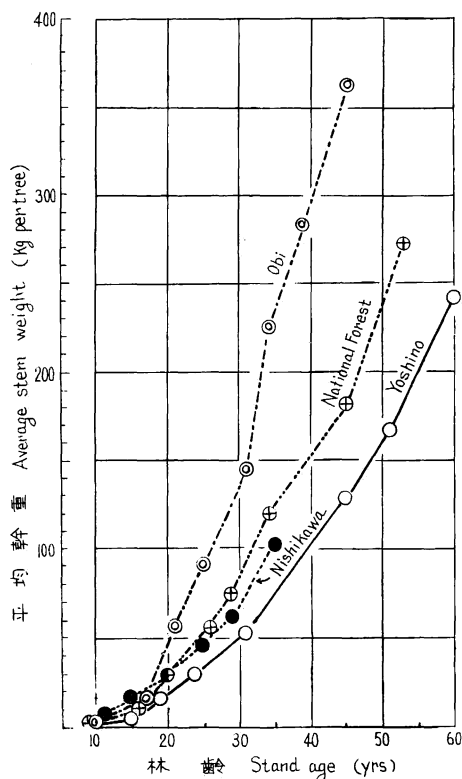


第11図 調査林分の幹重

Fig. 11. Stem weight of sample stands.

4. 幹、枝、葉および地上部の重量

幹、枝、葉および地上部の重量は森林における物質生産の問題を論ずる上で重要な役割を果たす。いうまでもなく、林木も一般の緑色植物と同じように太陽エネルギーを利用し葉における光合成によって炭水化物を作り、それを使って呼吸によって生活をつづけ、根から吸収した水分や養分とともに有機物をつくり成長していく。植物におけるこのような物質生産の関係を

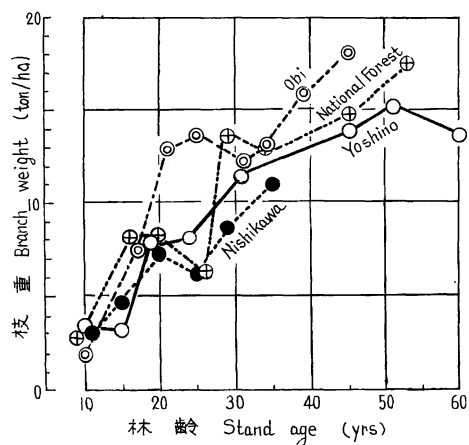


第 12 図 調査林分の平均幹重
Fig. 12. Average stem weight of sample stands.

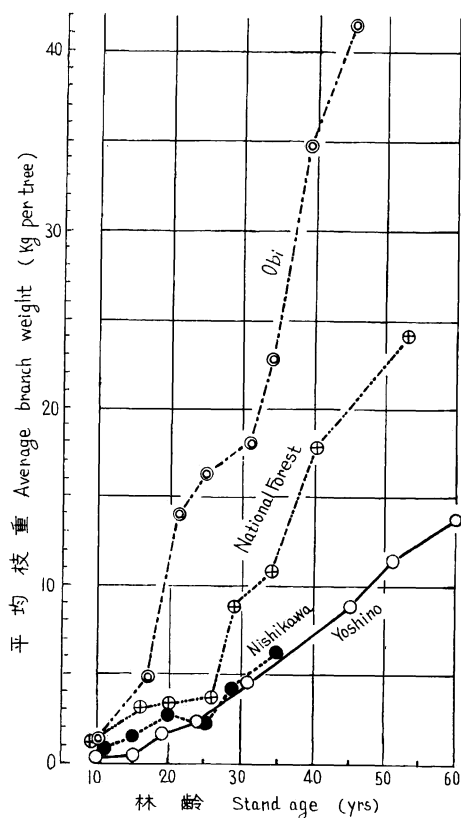
最初に示したのは BOYSEN-JENSEN¹⁰⁾ であるが、林木の主要な利用の対象部分である幹材の生産について佐藤⁶⁶⁾⁶⁹⁾は次のように示している。

$$\begin{aligned} \text{幹の生産量} &= \text{乾物生産量} - (\text{葉, 枝, 根などの生産量}) \\ &= (\text{葉の量} \times (\text{単位量の葉の平均光合成量} \\ &\quad - \text{その平均呼吸量}) - (\text{葉以外の部分の} \\ &\quad \text{量} \times \text{その平均呼吸量})) - (\text{葉, 枝, 根な} \\ &\quad \text{どの生産量}) \dots\dots\dots (2) \end{aligned}$$

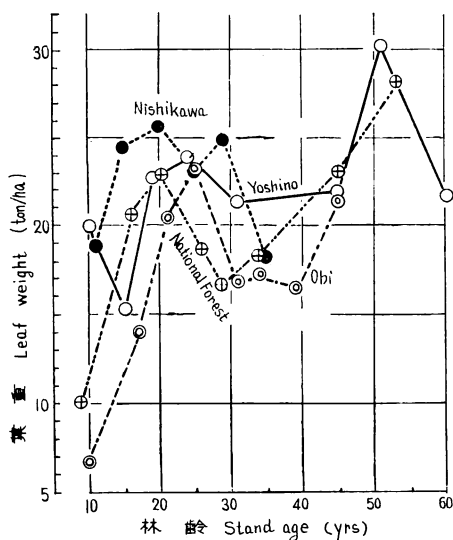
(2)式の葉以外の部分の量には根量や種子量なども含まれる。種子の量は普通少量であるから無視しうるとしても、根量の測定をおこなっていないが、 T/R 率は密度や林齢などによる影響が比較的小さく、巨視的にはほぼ一定であると報告²⁸⁾²⁹⁾されているので、この量は地上部重から比較的容易に推定することができる。しかしながら、本報においては(2)式の関係そのものの量的な問題を直接論議の対象としては取り扱わ



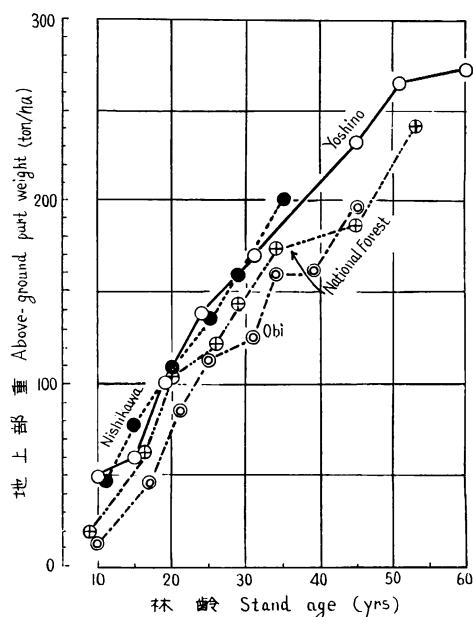
第 13 図 調査林分の枝重
Fig. 13. Branch weight of sample stands.



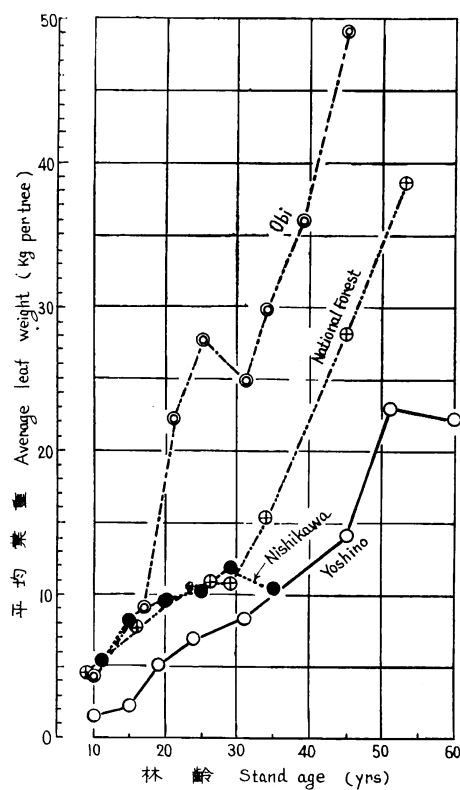
第 14 図 調査林分の平均枝重
Fig. 14. Average branch weight of sample stands.



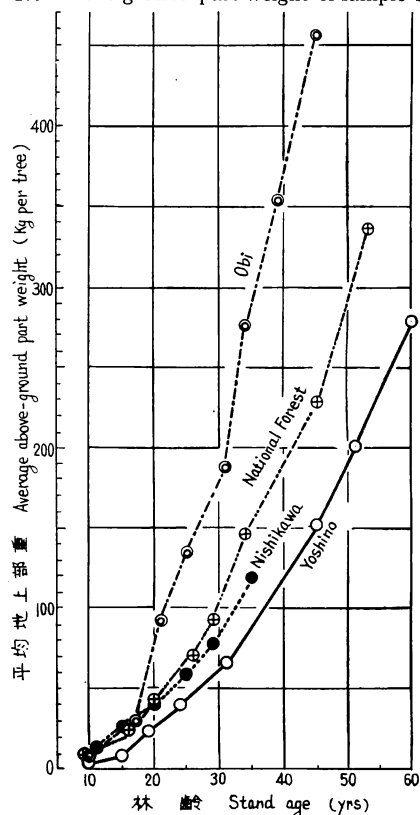
第 15 図 調査林分の葉重
Fig. 15. Leaf weight of sample stands.



第 17 図 調査林分の地上部重
Fig. 17. Above-ground part weight of sample stands.



第 16 図 調査林分の平均葉重
Fig. 16. Average leaf weight of sample stands.



第 18 図 調査林分の平均地上部重
Fig. 18. Average above-ground part weight of sample stands.

ないので、ここでは根量についてはふれない。

このような物質生産に関する知識は、その研究に多くの困難があるため、現在まだ十分にえられているとはいえないがこれまでも多くの研究者により報告されており、これらの知識を間伐に関連させて佐藤⁽⁶²⁾⁽⁶⁶⁾が詳しくとりまとめ、また個々の成果は近年の造林学の著書⁽³³⁾⁽⁶⁹⁾⁽⁷²⁾にも引用されるようになってきた。

ha あたりの幹重と平均幹重を第 11 図、第 12 図に、ha あたり枝重と平均枝重を第 13 図、第 14 図に、ha あたり葉重と平均葉重を第 15 図、第 16 図に、また ha あたり地上部重と平均地上部重を第 17 図、第 18 図に示す。

幹重の関係は、傾向的には幹材積でみられたものと同じである。

枝の ha あたり重量は林齢が同じならば密度が高くなると減少するという報告⁽⁶¹⁾⁽⁷¹⁾、密度によってあまりかわらないという報告⁽³⁰⁾⁽³¹⁾、また密度とともに増加するという報告⁽¹⁵¹⁾⁽¹⁸⁾があるが一般に十分に密度の幅がとられたときは蜂屋・安藤⁽¹⁶⁾、加藤・蜂屋⁽³³⁾が例示したように、密度に対して optimum curve を描くものと考えられる。第 13 図ではいずれの地方も林齢とともに増加するが、林齢が同じ場合には高密度で管理される地方ほど小さい。ただし西川がより高密度に管理される吉野より低いのは枝打の影響であろう。平均枝重は飢肥のように低密度管理されるほど大きくこの傾向はこれまでに知られている結果と同じである。

葉量は(2)式の右辺第 1 項の同化作用の担い手としてこれまでも多くの論議がおこなわれてきた。第 15 図の ha あたり葉量は同齢ならば高密度管理されるほどやや多い傾向が認められ、また地域により多少ズレはあるが 20～25 年ころまでには林齢とともに増加し、23～25 ton/ha くらいに達する。この時期は高密度管理される地域ほど早いように見うけられる。その後 40 年ころまでは 17～21 ton/ha とやや低い値を保ちつづけ、その後 28～30 ton/ha とふたたび増加するような傾向がある。

単位面積あたりの葉量は、十分な密度をもつ閉鎖林分では巨視的には林齢や地位や密度に無関係に、樹種ごとにはほぼ一定の値を保つことが MOLLER⁽⁴³⁾⁽⁴⁴⁾、佐藤ら⁽⁶¹⁾⁽⁶²⁾⁽⁶⁴⁾⁽⁶⁶⁾、扇田ら⁽⁷¹⁾、四手井⁽⁷²⁾、只木⁽⁷⁸⁾⁽⁸¹⁾、筆者ら^{(5)(6)(15)～(18)(33)(56)(58)(59)}などによって述べられており、この理論的な根拠は MONSI und SAEKI⁽⁴⁶⁾の光と葉量の垂直的な分布の関係を示す BEER-LAMBERT の式によって与えられている。

閉鎖した林分の葉量が樹種によりほぼ一定であるとすれば、飢肥は密度が低いので除くとして、20年以降についてみると 17～30 ton/ha、平均 22 ton/ha くらいと考えられる。この葉量は BURGER⁽¹²⁾の *Picea abies* の 15～20 ton/ha、MOLLER⁽⁴⁴⁾ 同じく 12 ton/ha、四大学合同調査班⁽⁹⁰⁾のトドマツ 19.1 ton/ha、加藤⁽³²⁾の同 13～15 ton/ha、四大学合同の調査班⁽⁹⁰⁾のアカエゾマツ 7.5 ton/ha、OSHIMA *et al.*⁽⁴⁸⁾のシラベオオシラビソの 8.6～12.1 ton/ha、WEETMAN and HARLAND⁽⁸⁸⁾の *Picea mariana* の 8.6 ton/ha、佐藤、扇田⁽⁶⁴⁾のヒノキの 9.5～10 ton/ha などこれまで報告されている比較的葉量の多い樹種に比べてもかなり多い値を示し、佐藤らのアカマツの 5～6 ton/ha、安藤らのアカマツ⁽⁴⁾の 7～9 ton/ha、蜂屋ら⁽¹⁷⁾⁽¹⁸⁾のアカマツ 6～9 ton/ha、ANDO⁽⁶⁰⁾のクロマツ 13～14 ton/ha などマツ類に比べると倍以上の葉量をもつといえる。しかしながら、スギの葉として測定する緑色部分には木化した材が若干含まれていることを考慮する必要がある。

単位面積あたりの葉量は上述のように巨視的には一定と考えることができるが、細かくみると季節変化のあることを只木・四手井⁽⁷⁵⁾はアキニレについて報告した。また葉量の経年変化にも変動がみられる。すなわち、OVINGTON⁽⁴⁹⁾はヨーロッパアカマツについて林分の葉量は 20 年頃まで林齢とともに増加するがそ

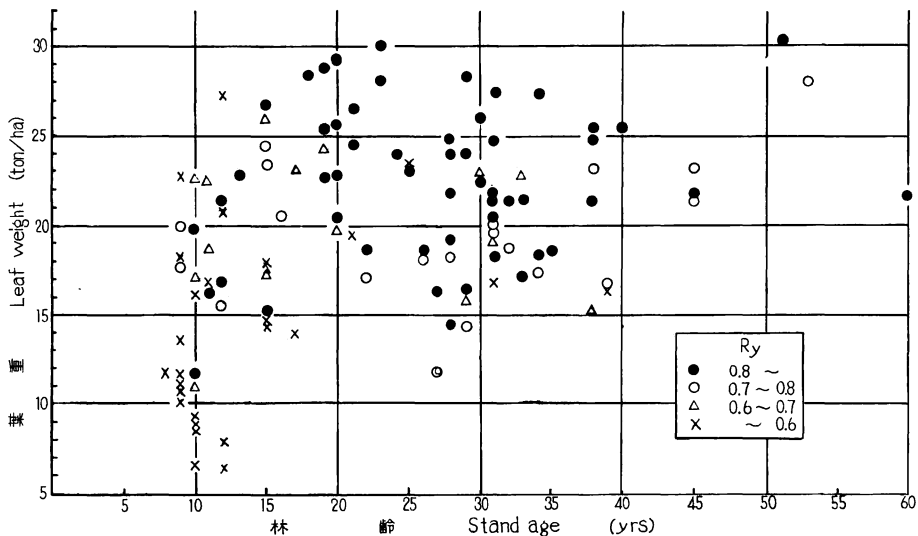
の後やや低い値をとり、20 年ごろに 1 つの頂点のあることを示し、また OVINGTON and MADGWICK⁵⁰⁾はヨーロッパシラカンバ林で 24 年までは林齢とともに増加して 2.4 ton/ha に達し、その後は 1.3~1.4 ton/ha くらいの値を保って 50 年を過ぎてからふたたび 2.3~2.5 ton/ha と増加することを示した。丸山・佐藤⁴¹⁾は葉量と胸高直径の単木の相対成長関係をもとに収穫表の構成値から林分の葉量を求め、15 年ごろに 1 つの頂点をもつことを示し、さらに汰木⁸⁶⁾もスギ林で 20 年ごろに 1 つの頂点がみられることを報じた。汰木⁸⁶⁾はさらに、壮齢林では間伐などのために閉鎖が不完全な林分が多かったことから理想的な閉鎖状態の林分葉量として、調査木の最大クローネ直径から ha あたりの成立可能本数を算出し、これに調査木の葉量を乗じて求め、また丸山・佐藤⁴¹⁾と同様の方法で収穫表から林分葉量を求めていずれも 1 つの頂点のあることを示した。しかしながら、同齢単純林の胸高直径と葉量の関係が密度や林齢でわかることはこれまで指摘されているとおりで⁴⁾⁶⁷⁾⁶⁸⁾⁷⁸⁾⁸¹⁾、丸山・佐藤、汰木のおこなった方法で収穫表から推定して葉量を論ずることには問題があろう。また三大学合同調査班⁶⁰⁾の吉野地方におけるスギ林葉量も 20 年ごろに 1 つの頂点がみられ、60 年でふたたび増加する傾向にある。さらに MOLLER⁴⁵⁾はヨーロッパパナで 20 年から 120 年までの葉量の増加は 10~20% であると述べている。

さらに、四手井⁷²⁾、只木・四手井⁷⁷⁾、TADAKI⁸¹⁾は OVINGTON⁴⁹⁾のヨーロッパアカマツ、丸山・佐藤⁴¹⁾のアカマツ、汰木⁸⁶⁾のスギおよび OSHIMA *et al.*⁴⁸⁾のシラビソ—オオシラビソなどの結果から、成長にともない林分葉量は増加するが、閉鎖直後の林分には一時葉量過剰の時期があり、その後急速に下枝の枯れ上がりが起こり安定した量となり、その後はこの状態がかなり長期間つづいて老齢期にはいと葉量は徐々に減ずると述べた。このような四手井らのいう閉鎖林分の時間的な経過は第 15 図や、さきに述べた OVINGTON and MADGWICK⁵⁰⁾のヨーロッパシラカンバや三大学合同調査班⁶⁰⁾のスギによって示された経過とは多少ちがっている。四手井らの用いた資料のうち、OVINGTON⁴⁹⁾のヨーロッパアカマツや汰木⁸⁶⁾のスギは 1 林分からとられた資料が少ないので、その推定値の変動は非常に大きいことが考えられる。また丸山・佐藤⁴¹⁾のアカマツなどはさきにも述べたように葉量推定の上で問題がある。また OSHIMA *et al.*⁴⁸⁾のシラビソ—オオシラビソの資料は混交林で、また多層林であることから同齢単純林の葉量と直接比較することに多少問題があると考えられる。

葉量をかえる要因としては林齢のほかには密度と地位が考えられる。地位については ASSMANN⁹⁾によると MORK はヨーロッパトウヒについて、樹木限界付近で葉量が低下することを示していると述べ、また蜂屋¹⁸⁾はアカマツについて同齢で同じような相対的な密度を示す林分でも樹高成長の極端に悪いところでは葉量が若干低くなることを示した。しかしながら、さきの第 15 図に示した調査資料はほぼ同一の地位の範囲にあると考えられるので、地位が葉量に変動を与えていると考えることはできない。密度が低くなると葉量も少なくなることはこれまでも知られていることである。しかしながら、葉量の時間的な経過を密度に関連させて検討を加えるには、かなり多くの資料を必要とする。そこで、この調査に筆者らの手もとに集められているスギ林の葉量測定資料を加えて、密度を考慮した上での検討を加えよう。このための資料は、蜂屋・安藤¹⁵⁾により報告された新潟県の三俣植栽密度比較試験地の資料と未発表¹⁹⁾の秋田営林局管内の資料、さらに安藤（1962 年度）・蜂屋（1963 年度）の調査設計によっておこなわれた林野庁の連絡試験⁵³⁾による宮城県、福島県、群馬県、埼玉県、鳥取県、愛媛県、高知県、長崎県、鹿児島県（以上 1962 年度）、栃木県、新潟県、福井県、岐阜県、奈良県、和歌山県、徳島県、福岡県、佐賀県（以上 1963 年）の 18 県における調査資料である。これらの調査はいずれも成長休止期におこなわれ、調査法、推定法の

ほぼ等しいものであり、極端に地位の悪いものは含まれていない。また間伐された林分と無間伐林分について調査されており、間伐林分における最終間伐期から調査時期までの経過年数はさまざまであるため、間伐の影響を避けるため、無間伐林分と間伐後 5 年以上を経過した林分のみを用いた。

これらの資料を収量比数⁶⁾¹⁶⁾⁵⁴⁾によって区分し、その林齢との関係を第 19 図に示した。収量比数とは、ある樹高階における、ある林分の幹材積とその樹高階の最多密度における幹材積との割合によって示される相対的な密度の尺度であって林齢が違えばあいに、林分間の相対的なこみ方を比較するのにつごうがよい。収量比数は短期育成林業立木密度調査の報告書⁵⁴⁾に示したスギの林分密度管理図をもちいて求めたが、この算定根拠は近い将来筆者の一人である安藤⁵⁾がその詳細を報告する予定である。収量比数 R_y が大であるほど相対的な密度は高くこんだ林分であることを示し、 $R_y=1.0$ のとき最多密度に一致する。



第 19 図 収 量 比 数 と 葉 重
Fig. 19. Yield index (R_y) and leaf weight.

第 19 図から、収量比数が高いほど葉量も大となることがわかる。十分に閉鎖している林分の収量比数は 0.8 以上の値をとると考えられるが、収量比数の 0.8 以上の林分でも葉量の変動は非常に大きく 15~30 ton/ha の範囲にわたっている。また収量比数が 0.8 以上の林分の葉量にも 20 年ころに 1 つのゆるやかな頂点があり、50 年を越えたところでふたたび増加する傾向が認められ、傾向的にはさきの第 15 図と同じ結果がえられた。このように収量比数が 0.8 以上の林分でも、葉量に変動の大きいことは、資料として用いた林分のうち間伐のおこなわれた林分は間伐後 5 年以上経た林分のみに限ったが、間伐により葉量が減少し、それが回復する過程では年々の落葉による減量を補い、その上間伐による減少量を回復させることになるから、完全に葉量が回復するにはかなり長期間を要し、5 年で区切ったことが原因となっていないかと考えてみた。そこで第 19 図の資料を間伐林分と無間伐林分にかけて検討を加えてみたが、両者の葉量の変動に違いは認められなかった。閉鎖林分の葉量の変動が大きいということとともに葉量が第 19 図に示したような動きをするということは、さきに述べた BEER-LAMBERT の式⁴⁶⁾から考えると問題がないわけではない。しかしながら、現段階でこれ以上の解析を加えることは不可能と考えられるので、ここでは密度を考慮に入れて林分葉量に検討を加えた結果を示すにとどめたい。第 19 図の資料は 35 年生以下

の資料が大部分である。したがって、さらに 35 年生以上の資料を集めた上で、一般的な傾向を論ずることが適当と考える。

平均葉量は第 16 図に示すように低密度に管理されている地域ほど大きく、これまで知られている結果と同じである。

地上部重量の傾向は幹材積などにみられた傾向と同じで、ha あたり地上部重では高密度管理されている地域ほど多くなる傾向があるが、その差は高密度に管理されるほど小さく、一定化する傾向がみられる。また平均地上部重は低密度管理されるほど大きい。

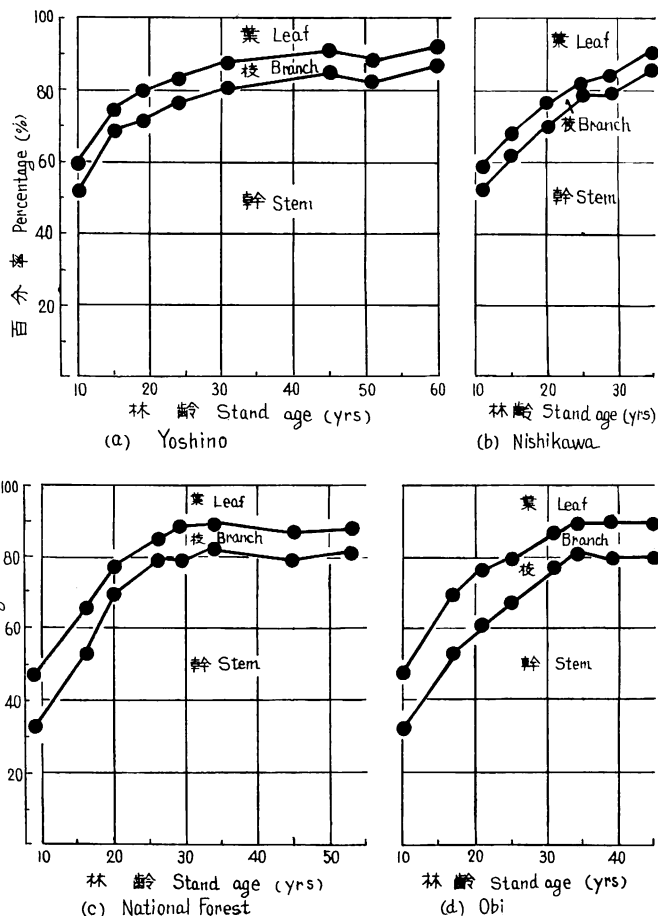
5. 幹重、枝重および葉重の地上部重に対する割合

幹、枝および葉の重量の地上部重に対する割合を地域ごとに第 20 図に示す。若い時期には幹の割合は小さく、葉の割合は大きいが、30 年をこえるとどの地域でも比較的安定した割合となり、枝の割合は他に比べると林齢によってあまり大きくは変化しない。

同じ部分についての割合を地域間で比較して第 21 図に示す。幹の割合は高密度管理されている地域ほど高く、枝の割合は低密度管理されている地域ほど高い。また枝打のおこなわれている西川の枝の割合はもっとも低い。葉の割合は幼齢時には高密度管理される地域でいくぶん低い値をとるが、林齢が 30 年を越えるとほとんどかわらない値をしめしている。

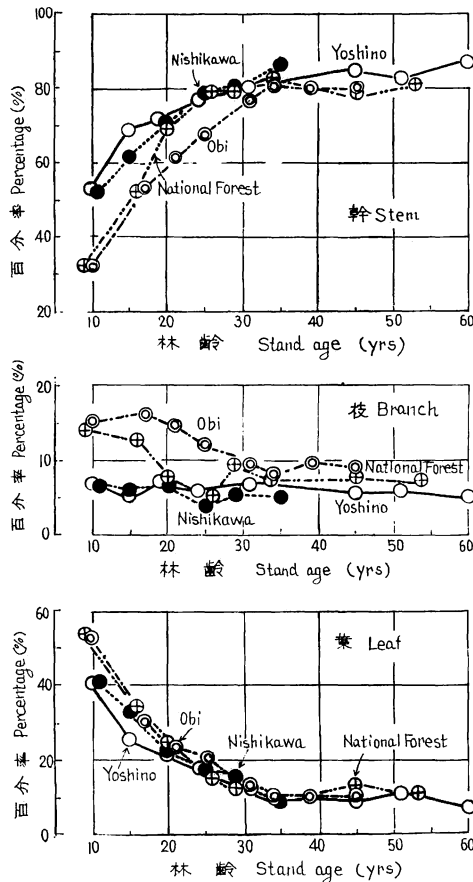
30 年以前でみると幹の割合のもっとも高い吉野と、もっとも低い飢肥との差は 10~20%、枝の割合のもっとも高い飢肥と最も低い吉野の差は約 10% であるが、30 年以降の安定した割合についてみると、幹は 10% 弱、枝は約 5% とその差は縮まってくる。

幹の割合が高密度管理されるほど多くなることはこれまでよく知られていることで



第 20 図 幹重、枝重および葉重の地上部重に対する百分率
Fig. 20. Percentage of stem, branch and leaf weight to above-ground part weight.

ある。また枝や葉の割合が、高密度管理されるほど小さくなるのは枯れ上がりが激しいためと思われる。



第21図 各部分の地上部重に対する百分率
Fig. 21. Percentage of each part weight to above-ground part weight.

$$\frac{1}{x} \cdot \frac{dx}{d\rho} = h \cdot \frac{1}{w} \cdot \frac{dw}{d\rho} \quad \dots\dots\dots (6)$$

と変形できる。このことから x と w の両者の成長率の比例関係が(3)式の基礎をなすものであるといえる。吉良³⁵⁾³⁶⁾はこの(5)式で示される内容を含んで相対成長関係を、 x や w の変動をおこす要因が時間であることから、「時間方向の相対成長関係」、(6)式で示される内容を含んだ相対成長関係を、変動をおこす要因が密度であることから、「密度方向の相対成長関係」と呼んだ。(5)式と(6)式の内容が違うことは式から明らかであるが一般にはいずれも(3)式で記述されるため、式の形は同じでも全く異質な現象の示されていることに注意する必要がある。

1. 時間方向の相対成長関係

平均個体について地上部重と幹、枝および葉の重量との時間方向の相対成長関係を第22図、第11表に示す。この図から密度管理によって時間方向の相対成長関係がかわることがわかる。

第22図の幹重は図の上側から吉野、西川、国有林、飢肥と高密度管理から低密度管理の順となるが、枝、葉では逆の順となる。ただし枝で吉野と西川が逆になっているのは西川の枝打の影響によるものである。もし、西川で枝打がおこなわれなければ、値の小さいところでは国有林に近く、値の大きいところでは吉

したがって、幹をおもな収穫の対象部分とする林業においては、これまでもいわれているように、高密度管理は物質生産量だけからみると有利な管理方式であるということができ⁷⁷⁾、短伐期であるほどその効果は大きいといえる。

Ⅲ 相対成長関係

前章では林分構造要因の生育経過について述べたが、本章では主として平均個体について相対成長関係が密度管理によってどのようにかわるかをみることにしよう。

平均個体の任意の部分の量 x と、他の部分の量 w との関係は

$$x = Aw^h \quad \dots\dots\dots (3)$$

で示されるのが普通である³⁵⁾³⁶⁾。 x や w の変動をおこす要因として、ここでは時間 t と密度 ρ について考えよう。

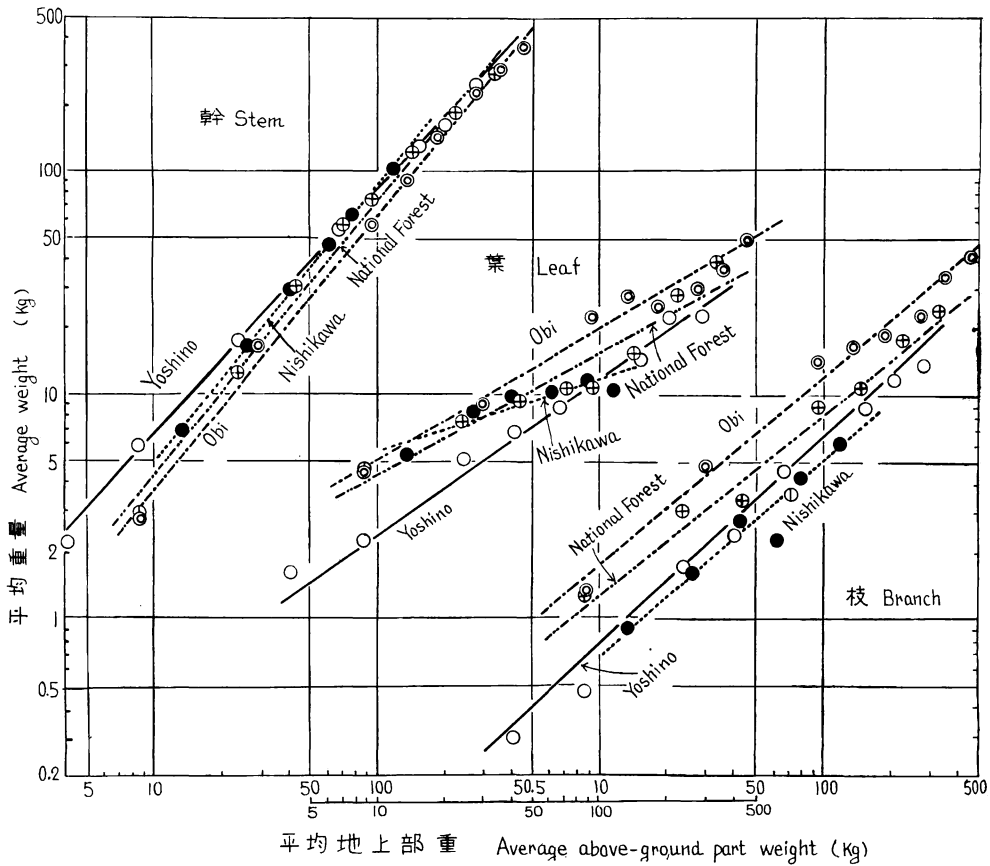
(3)式を微分すると

$$\frac{1}{x} \cdot \frac{dx}{dw} = h \cdot \frac{1}{w} \quad \dots\dots\dots (4)$$

(4)式はまた変動をおこす要因によって

$$\frac{1}{x} \cdot \frac{dx}{dt} = h \cdot \frac{1}{w} \cdot \frac{dw}{dt} \quad \dots\dots\dots (5)$$

または



第 22 図 平均地上部重と平均部分重の時間方向の相対成長関係
 Fig. 22. Time dependent allometric relations between average above-ground part weight and average each part weight.

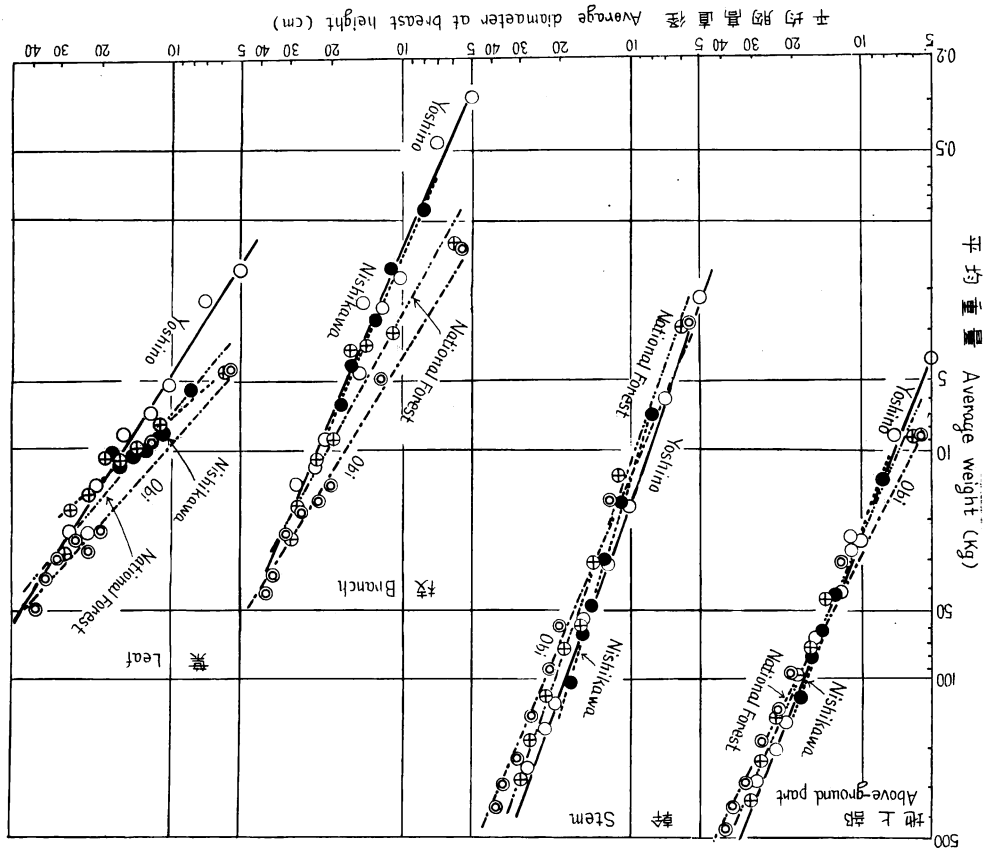
第 11 表 平均地上部重と平均部分重の時間方向の相対成長関係
 Table 11. Time dependent allometric relations between average above-ground part weight and average part weight

$$\log x = h \log w + A'$$

x : part weight (kg) w : Above-ground part weight (kg)

h, A' : Constants

地 方 Area	幹 重 Stem weight		枝 重 Branch weight		葉 重 Leaf weight	
	h	A'	h	A'	h	A'
吉 野 Yoshino	1.1018	-0.2950	0.9242	-1.0380	0.6698	-0.2517
西 川 Nishikawa	1.2388	-0.5464	0.8510	-1.0104	0.3198	+0.4287
国 有 林 National Forest	1.2352	-0.6090	0.8137	-0.7199	0.5457	+0.0925
肥 前 Obi	1.2312	-0.6677	0.8348	-0.5975	0.5766	+0.1311



第23図 平均胸高直径と平均部分重の時間方向の相対成長関係
Fig. 23. Time dependent allometric relations between average diameter at breast height and average each part weight.

第12表 平均胸高直径と平均部分重の時間方向の相対成長関係
Table 12. Time dependent allometric relations between average diameter at breast height and average each part weight

$$\log x = h \log D + A'$$

x : Part weight (kg) D : Diameter at breast height (cm)
 h, A' : Constants

地方 Area	幹重 Stem weight		枝重 Branch weight		葉重 Leaf weight		地上部重 Above-ground part weight	
	h	A'	h	A'	h	A'	h	A'
吉野 Yoshino	2.7358	-1.5504	2.2815	-2.0761	1.5876	-0.9277	2.4802	-1.1363
西川 Nishikawa	3.2291	-2.1188	2.2105	-2.0820	0.8600	-0.0069	2.6179	-1.2820
国有林 National Forest	2.8092	-1.7581	1.8183	-1.4374	1.1997	-0.3646	2.2544	-0.9060
肥前 Obi	2.3478	-1.2406	1.5945	-0.9894	1.0963	-0.1329	1.9694	-0.5479

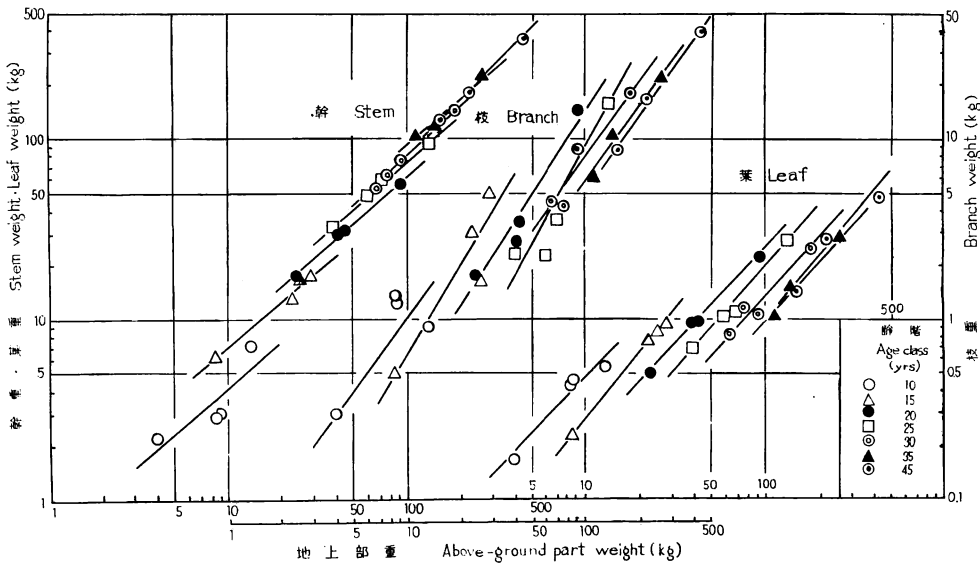
野に近いという幹や葉と同じ傾向を示したものと考えられる。

また、第11表からわかるように、相対成長係数 h の値は、幹、枝、葉の順に小さくなる。このことは幹として生産されたもののほとんどすべては蓄積されるが、枝や葉は枝打落葉となって失われるので、地上部重に対する増加率を示す h の値が幹に比べると低くなり、また枝と葉では着生期間の長い枝の増加率が大きな値を示す。また幹の h は1より大きく、枝、葉の h は1より小さいが、このことは地上部重の増加率に比べ幹の増加率は大きく、枝、葉の増加率は小さいことを示す。

平均胸高直径と部分重の関係を第23図、第12表に示す。平均胸高直径と幹重の関係は図の上側から、高密度管理された地域から低密度管理された地域の順となる。枝、葉では幹の逆になり、また地上部重は直径の小さいところでは低密度から高密度の順になっているが、直径12 cm前後で交わり、それ以上の直径では順序が逆になる。また第12表でも相対成長係数 h の値は地上部重との関係で述べたのと同じ傾向を示す。

2. 密度方向の相対成長関係

地上部重に対する部分重の密度方向の相対成長関係を齢階ごとに第24図、第13表に示す。この地上部重と部分重の相対成長関係は部分重と密度の関係の後述の逆数式(44ページ)によって解析するとき重要な意味をもつ⁶⁾²⁰⁾。相対成長係数 h の値は部分が同じならば齢階によってほぼ一定と考えることができ、その値は幹では1より小さく、葉は1に近いがやや1より大きく、枝は1より大きい。



第24図 平均地上部重と平均部分重の密度方向の相対成長関係

Fig. 24. Density dependent allometric relations between average above-ground part weight and average each part weight.

胸高直径に対する部分重の関係を齢階ごとに第25図、第14表に示す。これらの関係も、それぞれの部分ごとに相対成長係数は齢階によってほぼ一定の値をとると考えられる。

第 13 表 地上部重と部分重の密度方向の相対成長関係

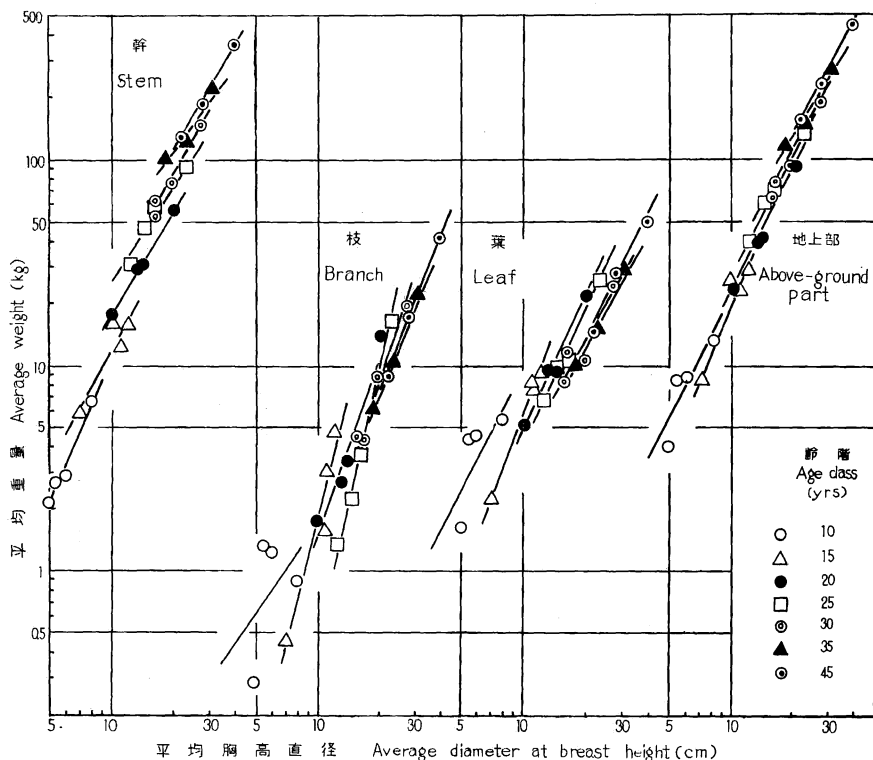
Table 13. Density dependent allometric relations between average above-ground part weight and average part weight

$$\log x = h \log w + A'$$

x : Part weight (kg) w : Above-ground part weight (kg)

h, A' : Constants

齡 階 Age class (yrs.)	幹 重 Stem weight		枝 重 Branch weight		葉 重 Leaf weight	
	h	A'	h	A'	h	A'
10	0.8748	-0.2726	1.1338	-1.1136	1.0646	-0.3947
15	0.8259	-0.0010	1.6270	-1.8547	1.1694	-0.7415
20	0.8804	+0.0312	1.5764	-2.0155	1.0833	-0.7851
25	0.8833	+0.0935	1.6979	-2.5021	1.1435	-1.0230
30	0.9601	-0.0228	1.4190	-1.9521	0.9963	-0.8769
35	0.9410	+0.0545	1.4376	-2.1412	1.2088	-1.4693
45	0.9532	+0.0239	1.3855	-2.0473	1.1085	-1.2316



第 25 図 平均胸高直径と平均部分重の密度方向の相対成長関係

Fig. 25. Density dependent allometric relations between average diameter at breast height and average each part weight,

第 14 表 胸高直径と部分重の密度方向の相対成長関係

Table 14. Density dependent allometric relations between average diameter at breast height and average part weight

$$\log x = h \log D + A'$$

x : Part weight (kg) D : Diameter at breast height (cm)

h, A' : Constants

年齢階級 Age class (yrs.)	幹 重 Stem weight		枝 重 Branch weight		葉 重 Leaf weight		地上部重 Above-ground part weight	
	h	A'	h	A'	h	A'	h	A'
10	2.4341	-1.3825	1.3442	-1.1409	1.8697	-0.8953	2.0595	-0.7066
15	1.8750	-0.8166	3.9548	-3.7233	2.7165	-1.9577	2.3152	-1.0320
20	1.7335	-0.4964	3.0980	-2.9529	2.1236	-1.4231	1.9673	-0.5972
25	1.7316	-0.3810	3.0320	-3.0259	2.2468	-1.6439	1.9569	-0.5338
30	1.7949	-0.4267	2.7806	-2.7140	1.7963	-1.2095	1.8706	-0.4221
35	1.5162	+0.0604	2.4487	-2.3083	2.0320	-1.5724	1.6175	+0.0022
45	1.7705	-0.2709	2.5869	-2.5041	2.0762	-1.5986	1.8639	-0.3186

3. 時間方向、密度方向の相対成長関係と個体の相対成長関係

林分内個体の胸高直径と部分重の関係が(3)式によって示されることは、この関係が林分の現存量推定の一方法として用いられるためこれまでも良く知られていることである^{4)60)~65)71)78)81)90)91)}。林分内個体の胸高直径と部分重の相対成長関係を第 15 表に示す。

第 15 表 林分内個体の胸高直径と部分重の相対成長関係

Table 15. Allometric relations between diameter at breast height and part weight on individual trees within each of the stand

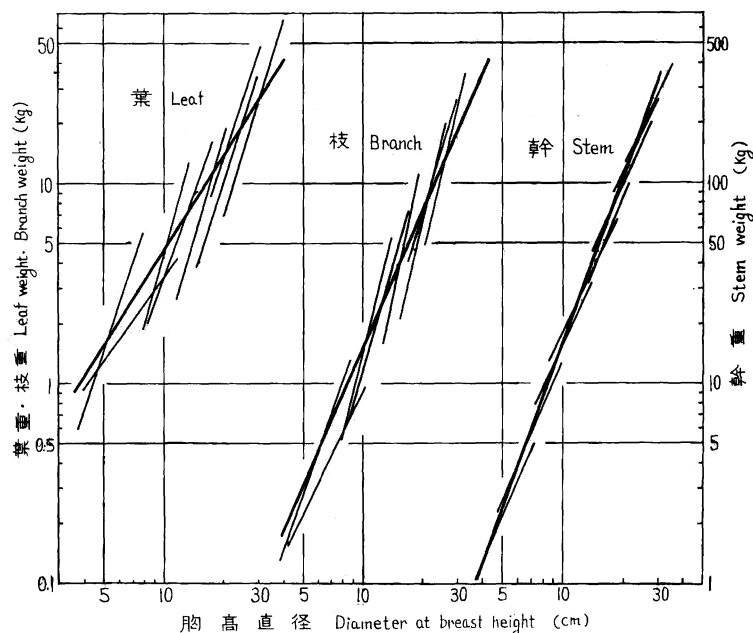
$$\log x = h \log D + A'$$

x : Part weight (kg) D : Diameter at breast height (cm)

h, A' : Constants

地 方 Area	林 齢 Stand age (yrs.)	幹 重 Stem weight		枝 重 Branch weight		葉 重 Leaf weight		地上部重 Above-ground part weight	
		h	A'	h	A'	h	A'	h	A'
吉 野 Yoshino	10	2.5066	3.5485	2.9432	3.2145	2.1854	3.0217	2.3784	3.6641
	15	2.2368	3.3001	1.4770	1.3467	1.2222	1.7256	1.8434	3.0304
	19	2.2806	3.4902	3.8384	3.9863	2.8278	3.5150	2.5136	3.8594
	24	2.4388	3.6608	2.1814	2.2633	2.5600	3.1197	2.4862	3.8182
	31	2.4278	3.6480	2.5134	2.6295	2.7276	3.0702	2.4732	3.7772
	45	2.6142	3.8298	2.6800	2.6570	3.0270	3.1268	2.7098	3.9635
	51	2.4222	3.7423	1.9374	2.2631	2.1688	2.7037	2.3924	3.8053
	60	2.2108	3.6113	2.2332	2.3703	2.5316	2.7385	2.2378	3.6864
西 川 Nishikawa	11	2.4964	3.5310	1.8986	1.9908	1.6148	2.4789	2.0450	3.3303
	15	2.8466	3.9333	4.1672	4.1806	4.3934	5.1169	3.3850	4.6546
	20	2.4216	3.5767	2.8470	2.9124	2.5910	3.2442	2.4866	3.7890
	25	2.0912	3.3907	2.6788	2.5353	1.9492	2.6119	2.0948	3.5407
	29	1.9938	3.3288	2.0444	2.1842	1.6832	2.3700	1.9566	3.4010
	35	2.0628	3.4769	3.6600	3.4066	2.6898	2.9539	2.1984	3.6426

地 方 Area	林 齢 Stand age (yrs.)	幹 重 Stem weight		枝 重 Branch weight		葉 重 Leaf weight		地上部重 Above-ground part weight	
		<i>h</i>	<i>A'</i>	<i>h</i>	<i>A'</i>	<i>h</i>	<i>A'</i>	<i>h</i>	<i>A'</i>
国 有 林 National Forest	9	1.7934	2.6086	1.6018	1.9963	1.2746	2.1767	1.4214	2.6432
	16	2.5252	3.4614	1.5364	1.9011	0.9090	1.7325	1.8850	3.1406
	20	2.4308	3.5296	3.2964	3.2562	1.7920	2.4919	2.2454	3.5358
	26	2.4650	3.6336	2.8180	2.6617	2.3240	2.7844	2.4508	3.7181
	29	2.1740	3.3893	2.6976	2.8112	2.3906	2.6802	2.3626	3.6231
	34	2.2720	3.5072	3.0734	2.9513	2.1640	2.5263	2.3016	3.6119
	45	2.3318	3.5232	2.7688	2.7521	2.4852	2.7907	2.4006	3.6639
	53	2.2053	3.5664	2.4582	2.6185	2.3562	2.7843	2.2466	3.6764
飼 肥 Obi	10	1.7192	2.5475	2.4970	3.0410	1.7108	2.7467	1.7854	3.1106
	17	2.4406	3.3720	3.4152	3.6569	2.9178	3.5102	2.7238	3.8788
	21	2.6716	3.6133	2.0742	2.5717	1.6600	2.4904	2.3530	3.5842
	25	2.1962	3.3488	1.3398	2.0497	0.5710	1.8054	1.7442	3.2379
	31	2.2592	3.4285	2.5550	2.6779	1.4818	2.2242	2.1814	3.4974
	34	1.8660	3.2917	3.3232	3.0372	1.1632	2.0732	1.7814	3.3861
	39	2.1112	3.3783	1.2138	2.0838	1.2752	2.1202	1.8510	3.3637
	45	2.2506	3.4581	1.5228	2.2758	0.7796	2.0167	1.9272	3.4319



太線は時間方向，細線は林分内個体の相対成長関係

Thick lines: Time dependent allometric relations.

Thin lines: Allometric relations within stands.

Only a part of the regression lines are shown to avoid the complexity of the figure.

第 26 図 吉野の林分内個体の胸高直径と部分重の相対成長関係と平均胸高直径と平均部分重の相対成長関係

Fig. 26. Allometric relations within stands between diameter at breast height and each part weight, and time dependent allometric relations between average diameter at breast height and average each part weight in Yoshino.

SATOO⁶⁷⁾⁶⁸⁾は葉量推定の問題に関連して、平均胸高直径と平均葉量の時間方向、または密度方向の相対成長係数よりも林分内個体の胸高直径と葉量の相対成長係数が大となることを指摘した。このことは第12表、第14表、第15表を比較しても同様なことのいえることがわかる。

第26図に平均胸高直径と平均部分重の時間方向の相対成長関係と林分内個体の胸高直径と部分重の相対成長関係を示した。この図は複雑になるのを避けるため、回帰線の位置のみが示してある。太線が時間方向の、細線が林分内個体の回帰線である。図からわかるように、葉は時間方向の傾きに比べ、林分内個体の傾きが大きく、SATOO⁶⁸⁾が指摘したのと同じ傾向を示した。また枝は葉と同様であるが、幹は逆に林分内個体の傾きが小さくなっており、地上部重の傾きには、あまり大きな違いは認められない。

IV 物質生産量

森林で生産される物質は幹、枝、葉、根がその大部分を占める。このような生物体物質の一定期間における生産量、厳密には総生産量から同化器官の呼吸量と非同化器官の呼吸量を引いた値は純生産量 (net production) と呼ばれている。植物群落の純生産量についての研究のなかでも、樹木群落における研究が近年さかんにおこなわれるようになってきているが¹⁷⁾⁴⁹⁾⁵⁰⁾⁷⁹⁾⁸⁰⁾⁹⁰⁾⁹¹⁾、その推定が困難なため推定法の研究の段階にあると考えられる。

スギ林の純生産量の推定に際して、とられた標本について直接測定が可能な部分は幹で、葉は当年葉と旧葉が成長休止期には区分することが困難なため直接測定しても誤差がとまらなく、枝や根の生産量については良い測定の方法も見い出されていない。したがって、純生産量を求めるには標本の直接測定値によって推定される幹材以外の部分は、何らかの方法で間接的に推定されるのが普通である。

本章においては幹、枝、葉および根の生産量の合計量を純生産量とみなし、この推定値について述べるが、林業における主たる収穫対象部分である幹材の生産量については、他の部分に比べ推定の精度も高いと考えられるので詳細に解析した。

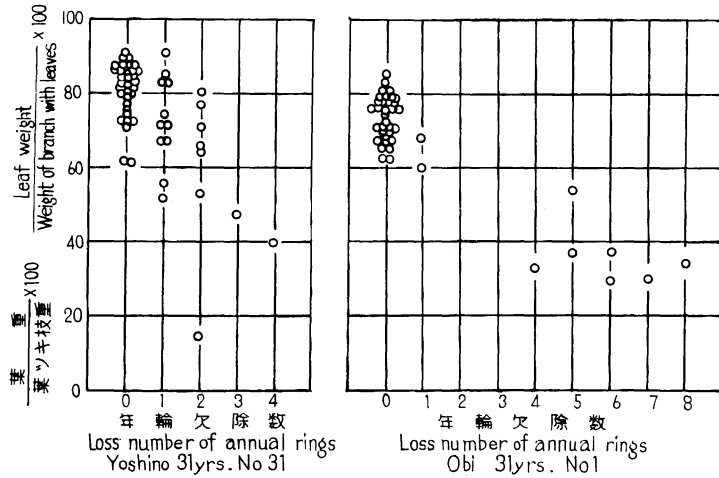
1. 純生産量

本報においては幹、枝、葉、根の1年間の生産量の合計を年間純生産量とみなすことにする。おのおののプロットごとの年間純生産量はつぎのように算定した。

幹 標本木の現在と1年前の幹材積を樹幹解析によって求め、その差に容積密度数を乗ずることによって算定した。

枝 スギの枝の生産量を正確に求めることはきわめて困難である。ここでは次に示す枝解析によって算定する方法と、前章に示した相対成長関係から算定する方法の2法で求め比較してみた。

枝解析による方法は各標本林分から大中小3本の標本木について全枝数の1/3~1/5の枝について、枝ごとに着生位置と葉ツキ枝の重量および葉の重量を測定し、それらの枝を持ち帰り枝解析をおこなった。枝のなかでも樹冠下部の枝に年輪が欠けることはこれまでも知られている。この年輪欠除の実態を知るために、樹幹解析の結果と枝の基部の年輪数からおのおのの枝について年輪の欠年数を求めた。このばあい、不定枝と判定される枝はあらかじめ除外しておいた。年輪の欠年数の多い枝は樹冠下部に多く、また枝の大きさに比べて着葉量の少ないものに多かった。そこで葉ツキ枝重量に対する葉の重量の百分率と年輪欠除年数との関係を求めたところ第27図に例示するように年輪欠除の多い枝では明らかに葉の百分率が小さかった。年輪欠除をおこなっている枝でも先端部は成長していると考えられるが、その量はわずかと考



第 27 図 葉ツキ枝重に対する葉の割合と枝の年輪欠除数の関係

Fig. 27. Relation between percentage of leaf weight to the weight of branch with leaves and loss number of annual rings at the base of branch.

て無視することにし、年輪欠除のない枝についてのみ枝の中央で円盤を採取し、コンパレーターで年輪幅を測定し円柱とみなして材積を算定し、成長量を求めた。一部の枝について 30 cm の長さごとに年輪幅を測定して区分求積により求めた材積と、中央の測定値から円柱とみなして求めた材積の兩者について比較してみたが、兩者の材積に有意なちがいは認められなかった。標本枝の年輪欠除枝も含む全標本枝の材積合計に対する年輪欠除の認められない枝の材積成長量合計の成長率を求めて ha あたり枝重に乘じ、枝の材積成長量を算定し、さらに枝の容積密度数²⁾を乘じて枝の重量成長量とした。この方法は年輪欠除枝や不定枝の成長量を含まないから過小推定になっていると考えられる。

相対成長関係による方法 前章の時間方向の相対成長関係を示す(5)式、すなわち、

$$\frac{1}{x} \cdot \frac{dx}{dt} = h \cdot \frac{1}{w} \cdot \frac{dw}{dt}$$

において x を平均枝重、 w を平均胸高直径とし、 dt を 1 年間とすると樹幹解析の資料から $\frac{1}{w} \cdot \frac{dw}{dt}$ を求めることができ、 h は第 12 表によって x は第 7~10 表によって与えられるから平均枝重の増加量 dx/dt は

$$\frac{dx}{dt} = h \cdot x \cdot \frac{1}{w} \cdot \frac{dw}{dt} \dots\dots\dots (7)$$

として求めることができる。この dx/dt に密度を乗じた値を 1 年間の ha あたりの枝の生産量とみなす。

以上の 2 法によって推定した枝の生産量を第 16 表に示す。枝解析による方法は前述のとおり過小推定と考えられたが、相対成長関係による方法は一般にその値よりさらにかなり低い値がえられた。只木ら⁸⁰⁾はスギ林の純生産量の算定に際し非同化部分の重量 w_c と D^2H (D は胸高直径、 H は樹高)の個体の相対成長関係をもちいた。只木らの示した幹材積成長量に容積密度数を 320 kg/m^3 として乗じ幹の生産量とし、それに葉の生産量を加え、さらに枝と根の生産量の概数として幹と葉の生産量の 20% を加えてみると、大部分は、この概算値に比べ算定された純生産量は小さくなる。第 16 表や、方法はちがうが只木らの結果から考えると、相対成長関係をもちいて推定された生産量は過小推定になるおそれがあるといえる。したがって、この方法は今後さらに検討を加える必要があろう。本報における純生産量の算定には枝解析の値をもちいることにする。

第 16 表 最近 1 年間の枝の生産量
Table 16. Annual branch production in the latest one year

吉 野 Yoshino			西 川 Nishikawa			国有林 National Forest			飢 肥 Obi		
林 齢 Stand age (yrs.)	枝生産量 Annual branch production (ton/ha·yr)		林齢 Stand age (yrs.)	枝生産量 Annual branch production (ton/ha·yr)		林齢 Stand age (yrs.)	枝生産量 Annual branch production (ton/ha·yr)		林齢 Stand age (yrs.)	枝生産量 Annual branch production (ton/ha·yr)	
	(1)	(2)		(1)	(2)		(1)	(2)		(1)	(2)
10	1.77	0.69	11	0.61	0.91	9	0.84	1.10	10	0.65	1.10
15	0.91	0.50	15	0.99	0.58	16	2.07	0.63	17	2.22	0.65
19	2.01	0.69	20	1.52	0.48	20	2.13	0.70	21	3.23	1.20
24	1.94	0.58	25	0.90	0.26	26	1.46	0.30	25	2.84	0.80
31	1.62	0.65	29	1.19	0.34	29	1.70	0.74	31	2.45	0.35
45	1.54	0.52	35	0.77	0.35	34	1.46	0.48	34	2.60	0.32
51	1.17	0.55	—	—	—	45	1.17	0.55	39	2.53	0.37
60	1.49	0.32	—	—	—	53	1.92	0.57	45	3.29	0.37

(1): 枝解析から求めた値 Calculated from branch analysis.

(2): 相対成長関係から求めた値 Calculated from allometric relation.

葉 葉量については、只木ら⁸⁰⁾のスギ林の例にしたがって葉の現存量の 25% が当年に生産された葉であると仮定して求めた。汰木⁸⁶⁾の葉齢別に調査した結果をみると幼齢時代には若干高い割合を示すようであるが、その程度はわずかであるところから本報では一定とした。

根 今回は根の量については測定していないが、荻住²⁸⁾²⁹⁾によると林分の T/R 率は年齢や密度であまり大きくは変わらず、しかもスギ、アカマツ、カラマツなどでもあまり差がなく 3~4 程度の値をとる。そこで、スギ林分の幹重の T/R 率を平均的に 3.5 として、地上部重より根の現存重量を推定した。1 年前の根の重量は、林分ごとに地上部重に対する幹重の割合が、最近 1 年間は変化しないものとして 1 年前の地上部重を求め、さらに T/R 率をさきと同じく 3.5 として 1 年前の根の重量を出し、推定された根の現存量との差を一応根の生産量とみなした。この方法は蜂屋ら¹⁷⁾がアカマツの根の生産量を求めた方法と同じである。

以上の算定方法によってえられた年間純生産量および幹と枝の材積成長量を第 17 表に示す。この表および以下に示す第 18~19 表には、すべての林分の値を示したが、先にも述べたように吉野の 10 年と西川の 35 年の林分は林齢の査定にあやまりがあったので、本章のこれ以下の論議には、これらの 2 林分を除いておこなうことにする。

純生産量は低密度管理から高密度管理の順に大となるが、その違いは幼齢時代ほど大きく、20 年を越えるとその差は縮まってくる。只木・四手井⁷⁶⁾は 100 本/m² (100 万本/ha) 植えのアカマツ群落で、2~4 年生の 3 年間の地上部の年平均純生産量が約 2 kg/m² (20 ton/ha) に達することを認め、吉良³⁷⁾は平均樹高 5 m で数万~数十万本/ha のトドマツ林で 20 ton/ha、の年間純生産量をあげている例を示し、幼齢期であっても高密度が維持されていれば高い生産力がえられることを指摘した。このことは第 17 表でも同様なことがいえる。林分閉鎖後の純生産量は 15~20 ton/ha·yr、平均して 17 ton/ha·yr くらいと考えられ、この値は只木ら⁷⁹⁾⁸⁰⁾の求めた値より若干高い。また純生産量が最大になる時期は 20 年ころと考えられ、密度管理によってあまり影響をうけないようで、幹の生産量の最大になる時期より多少早いにみうけ

第 17 表 純生産量および幹と枝の材積成長量
Table 17. Net production and the volume increment of stems and branches

林 齢 Stand age (yrs.)	純生産量 Net production					材積成長量 Volume increment	
	幹 Stems (ton/ha·yr)	枝 Branches (ton/ha·yr)	葉 Leaves (ton/ha·yr)	根 Roots (ton/ha·yr)	計 Total (ton/ha·yr)	幹 Stems (m³/ha·yr)	枝 Branches (m³/ha·yr)
吉 野 Yoshino							
10	4.42	1.77	4.97	2.39	13.55	13.43	3.09
15	6.13	0.91	3.81	2.54	13.39	18.30	1.59
19	7.70	2.01	5.68	3.04	18.43	22.70	3.51
24	9.49	1.94	6.00	3.51	20.94	27.68	3.38
31	7.51	1.62	5.34	2.67	17.14	21.84	2.83
45	8.48	1.54	5.47	2.82	18.31	24.43	2.69
51	8.39	1.77	7.59	2.86	20.01	24.12	2.05
60	7.41	1.49	5.42	2.41	16.73	21.12	2.60
西 川 Nishikawa							
11	5.81	0.61	4.73	3.15	14.30	16.59	1.13
15	5.82	0.99	6.12	2.67	15.60	17.65	1.84
20	6.90	1.52	6.42	2.80	17.64	21.04	2.82
25	7.57	0.90	5.76	2.62	16.85	22.12	1.67
29	6.95	1.19	6.00	2.33	16.47	20.75	2.19
35	8.85	0.77	4.54	3.04	17.20	23.79	1.42
国 有 林 National Forest							
9	1.95	0.84	2.53	1.65	6.97	6.88	1.47
16	3.93	2.07	5.16	1.79	12.95	13.80	3.62
20	7.68	2.13	5.73	2.99	18.53	26.56	3.72
26	6.74	1.46	4.66	2.41	15.27	22.91	2.54
29	8.30	1.70	4.15	3.02	17.17	27.67	2.97
34	7.24	1.46	4.58	2.54	15.82	23.42	2.54
45	6.38	1.17	5.77	1.79	15.11	19.09	2.05
53	10.43	1.92	7.03	3.51	22.89	28.19	3.35
飫 肥 Obi							
10	1.41	0.65	1.69	1.25	5.00	3.90	1.13
17	2.57	2.22	3.52	1.37	9.68	7.25	3.37
21	6.22	3.23	5.12	2.90	17.47	17.62	5.63
25	7.26	2.84	5.82	3.07	18.99	21.04	4.95
31	4.27	2.45	4.20	1.57	12.49	12.59	3.93
34	5.77	2.60	4.31	2.00	14.68	16.73	4.54
39	4.45	2.53	4.13	1.61	12.72	12.97	4.42
45	5.53	3.29	5.35	1.95	16.12	16.11	5.75

られる。

生産物の各器官への分配率を求めてみると第 18 表のようになる。幹への分配率は林齢とともに増加し、また高密度管理される吉野や西川が低密度管理される国有林や飫肥に比べて大きい。枝への分配率は吉野と国有林では林齢とともに減少する傾向が認められるが、西川でははっきりした傾向がみられず、飫肥で

第 18 表 生産物の各器官への分配率 (%)

Table 18. Ratio of distribution of annual products among various organs

林 齢 Stand age (yrs.)	幹 Stems	枝 Branches	葉 Leaves	根 Roots
吉 野 Yoshino				
10	32.6	13.1	36.7	17.6
15	45.7	6.8	28.5	19.0
19	41.8	10.9	30.8	16.5
24	45.2	9.3	28.7	16.8
31	43.9	9.5	31.2	15.6
45	46.3	8.4	29.9	15.4
51	41.8	5.8	37.9	14.3
60	44.3	8.9	32.4	14.4
西 川 Nishikawa				
11	40.6	4.3	33.1	22.0
15	37.3	6.3	39.3	17.1
20	39.1	8.6	36.4	15.9
25	44.9	5.3	34.2	15.5
29	42.1	7.2	36.3	14.4
35	51.4	4.5	26.4	17.7
国 有 林 National Forest				
9	28.0	12.1	36.2	23.7
16	30.3	16.1	39.8	13.8
20	41.4	11.6	30.9	16.1
26	44.1	9.6	30.5	15.8
29	48.3	9.9	24.2	17.6
34	45.8	9.2	28.9	16.1
45	42.3	7.7	38.2	11.8
53	45.6	8.4	30.7	15.3
飼 肥 Obi				
10	28.2	13.0	33.8	25.0
17	26.5	22.9	36.4	14.2
21	35.6	18.5	29.3	16.6
25	38.2	15.0	30.6	16.2
31	34.2	19.6	33.6	12.6
34	39.3	17.7	29.4	13.6
39	34.9	19.9	32.5	12.7
45	34.3	20.4	33.2	12.1

第 19 表 純同化率, 葉重量比および成長率

Table 19. Net assimilation rate (NAR), leaf weight ratio (LWR) and relative growth rate (RGR)

林 齢 Stand age (yrs.)	純同化率 NAR (ton/ha-yr)	葉重量比 LWR (%)	成 長 率 RGR (ton/ha-yr)
吉 野 Yoshino			
10	0.682	31.42	0.214
15	0.879	20.06	0.176
19	0.811	13.25	0.133
24	0.873	13.51	0.118
31	0.802	9.75	0.078
45	0.836	7.18	0.060
51	0.659	8.88	0.059
60	0.771	6.16	0.048
西 川 Nishikawa			
10	0.755	31.69	0.239
15	0.637	24.73	0.157
20	0.687	18.12	0.124
25	0.731	13.30	0.097
29	0.687	11.78	0.081
35	0.948	6.72	0.064
国 有 林 National Forest			
9	0.688	41.00	0.282
16	0.628	25.66	0.161
20	0.809	17.27	0.140
26	0.819	11.83	0.097
29	1.034	8.99	0.093
34	0.864	8.17	0.071
45	0.654	9.57	0.063
53	0.814	8.97	0.073
飼 肥 Obi			
10	0.742	40.65	0.302
17	0.688	23.71	0.163
21	0.853	18.43	0.157
25	0.816	15.95	0.130
31	0.743	10.32	0.077
34	0.852	10.77	0.071
39	0.770	10.19	0.061
45	0.753	8.39	0.063

は林齢とともにわずかに減少する。西川はさきにも述べたように枝打ちがくり返しおこなわれるので、枝打ちの強さによって、さまざまにかわると考えられ、飼肥のように常に低密度に維持されると樹冠下部の枝がいつまでも成長をつづけるために大きくは変化しないと考えられる。葉への分配率は林齢によっても密度管理についてははっきりした傾向は認められない。さらに根への分配率は林齢とともに減少する傾向が

ありまた密度管理によって大きくはかわらないが、低密度管理されるとわずかに低い値をとるようにみうけられる。これらの分配率と密度管理との関係は蜂屋ら¹⁷⁾が岩手地方の45年生アカマツ林で調査した結果と同じ傾向にあるといえる。

林業のおもな生産の対象部分である幹の生産量は、全生産量の30～50%にすぎず、樹冠をつくる枝、葉にまわる割合の大きなことがわかる。さらに枝の生産と幹の生産に対する割合は、高密度管理される吉野では林齢によってちがいが1/3～1/7程度であるが、低密度管理される飢肥では壮齢林でも1/2強にも達している。

いま、haあたり全現存量を y 、純生産量を Δy 、葉量を y_L とすると、成長率 $\Delta y/y$ (Relative growth rate, RGR) はつぎのように書きあらわせる。

$$\frac{\Delta y}{y} = \frac{\Delta y}{y} \times \frac{y_L}{y} \dots\dots\dots (8)$$

$\Delta y/y_L$ は純生産量を葉量で除した値で純同化率 (Net assimilation rate, NAR) といわれ、葉の物質生産の能率をあらわし、 y_L/y は全現存量に対する葉量の割合で葉重量比 (Leaf weight ratio, LWR) とよばれる⁷⁰⁾。成長率 $\Delta y/y$ は(8)式によって示されるように $\Delta y/y_L$ と y_L/y の2要因にわけて考えることができる。各林分の成長率、純同化率、葉重量比をまとめ第19表に示す。

成長率は林齢とともに減少し、10年生では高密度管理されるほど小さい値を示すが、それ以上の林齢では密度管理によってあまり違いは認められない。純同化率の林齢にともなう変化はあまり明らかではないが20年ころまでには多少増加し、それ以後はほぼ一定の値を保ち、さらに林齢がますます多少減少する傾向を示すようにみうけられ、密度管理のちがいによってあまりかわらない。また葉重量比は林齢とともに減少し10年ころには高密度管理するほどに小さい値を示すが、それ以上の林齢では密度管理によってそう大きくはかわらないようにみうけられる。蜂屋ら¹⁷⁾は45年生のアカマツ林で密度がますますつれて純同化率、葉重量比、成長率がともに減少することを報告しているが、この資料からはそのような傾向をはっきりと認めることはできなかった。

林齢によって成長率が減少する原因としては純同化率が林齢に対してゆるやかな放物線を描いても、林齢の増加にともなう葉重量比の減少度合がはげしいので、その影響を強くうけるためと考えることができる。

2. 年間幹材生産量

最近1年間の幹材積生産量の経過を第28図に示す。最近1年間の幹材積生産量は高密度管理される地方ほど大で、低密度管理されるほど小さい。またどの地方でも25年前後までは林齢とともに増加するが、それ以降は減少する傾向にある。また最近1年間の幹材積生産量が最多になったときの量は20～27m³/ha・yrで、国有林の保育形式として調査された北関東・阿武隈地方の収穫表2等地の連年成長量最多の時期の25年の20m³/ha・yr弱に比べると、いずれの地方も若干高い値がえられた。最近1年間の幹材積生産量とは連年成長量のことであるが、この最大になる林齢は25年前後で密度管理によって大きくは動かないようにみうけられる。

最近1年間の幹重量生産量の経過を第29図に示す。傾向的には幹材積のばあいと全く同じで、幹重量生産量が最多になる20年前後における量は7～10ton/ha・yrとなる。

物質生産のないてである葉量との関係において、幹材生産量をみると次のとおりである。

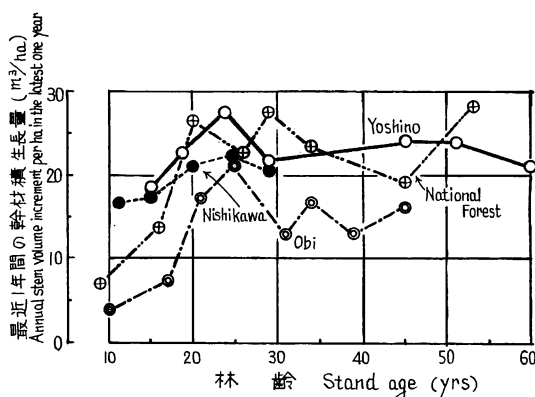
すなわち、葉の幹生産能率(単位葉量が生産した幹の量)は第30、31図のとおりで、25年前後にゆるい頂点があるものと考えられ、この時期は、さきに述べた最近1年間の幹生産量最多の時期とほぼ一致するようにみうけられる。このときの値は著しく高い国有林の29年を除くと0.8~1.2 l/kg、または0.3~0.4 l/kgとみてよいであろう。この0.8~1.2 l/kgという値は只木ら⁸⁰⁾が示した値とほぼ同じである。

密度と葉の幹生産能率との関係には佐藤ら⁶¹⁾⁶⁵⁾⁷¹⁾が指摘しているように、いろいろな傾向がみられる。すなわち、密度が高いほど葉の幹生産能率がよくなる傾向を認めたものには佐藤らのアカマツ⁶¹⁾、ケヤキ⁶⁵⁾、扇田・佐藤⁷¹⁾のストロブマツの報告があり、また密度が高くなるほど葉の幹生産能率が低くなる傾向を認めたものにはBURNS and IRWIN¹³⁾のWhite pineとRed pine、蜂屋・安藤¹⁵⁾のスギがある。また坂口ら⁵⁸⁾、安藤ら⁴⁾はアカマツで明らかな傾向を認めなかった。さらに坂口ら⁵⁶⁾や蜂屋ら¹⁷⁾はアカマツで密度が増すにつれて葉の幹生産能率も増すが、ある密度以上になるとかえって低下する傾向のあることを認めた。今回の調査では西川と鉄肥が比較的低い値を、吉野と国有林が比較的高い値をとり、密度管理との関係は明らかでなかった。

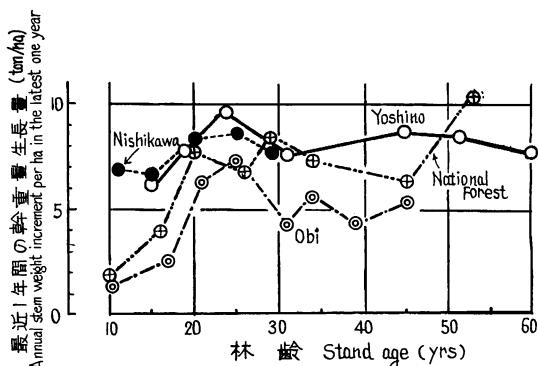
蜂屋ら¹⁷⁾は上述の密度と葉の幹生産能率についての報告から、林分の葉量が増加するほど葉の幹生産能率が減少する傾向にあることを指摘した。同じ齢階における保育形式間の葉量と、葉の幹生産能率の関係について検討を加えてみたが明らかな傾向を認めることはできなかった。

V 密度と現存量

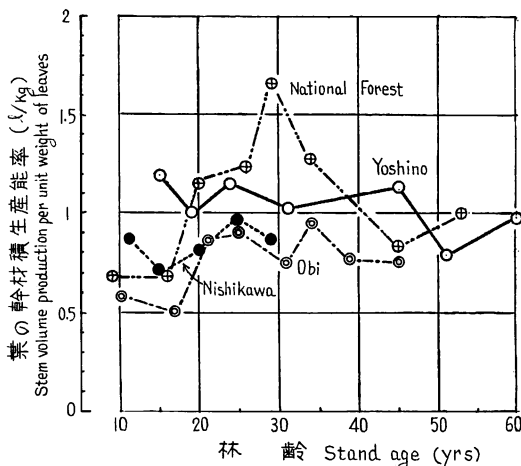
この調査資料のように調査林分間の地位に



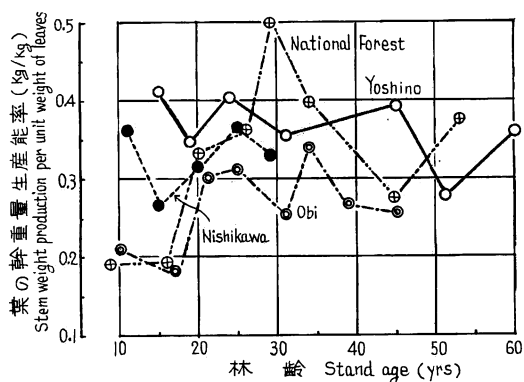
第28図 最近1年間の幹材積成長量
Fig. 28. Annual stem volume increment per ha in the latest one year.



第29図 最近1年間の幹重量生産量
Fig. 29. Annual stem weight production per ha in the latest one year.



第30図 葉の幹材積生産能率
Fig. 30. Stem volume production per unit weight of leaves.



第 31 図 葉の幹重量生産能率

Fig. 31. Stem weight production per unit weight of leaves.

大きな差が認められず、同一生産段階において密度の幅が十分にあるときに、密度と現存量の関係が生育段階によってどのように変わっていくかをみるには、密度効果の逆数式をあてはめてみるとよい。

この式は、同一環境の土地に密度のみをかえて植物を生育させたときの密度と、平均個体または単位面積あたり収量との関係を示すもので、吉良ら²⁰⁾³⁴⁾⁷³⁾によって導かれ、林木にも良くあてはまることはこれまでに十分よく知られている。

密度効果の逆数式は

$$\frac{1}{w} = A\rho + B \dots\dots\dots (9)$$

$$\frac{1}{y} = A + \frac{B}{\rho} \dots\dots\dots (10)$$

ただし、 w : 平均個体の量、 ρ : 密度、 y : 単位面積あたりの収量

A, B : 生育段階により決まる常数

によって示され、(9)式は密度と平均単木の量との関係を示し、競争密度効果の逆数式、(10)式は密度と単位面積あたり収量との関係を示し収量密度効果の逆数式と呼ばれている。(9)式から $y = w \cdot \rho$ の関係によって(10)式は容易に導かれ、常数 A, B の値は(9)式、(10)式ともに同じである。これらの式の w や y は

第 20 表 密度効果の逆数式の常数

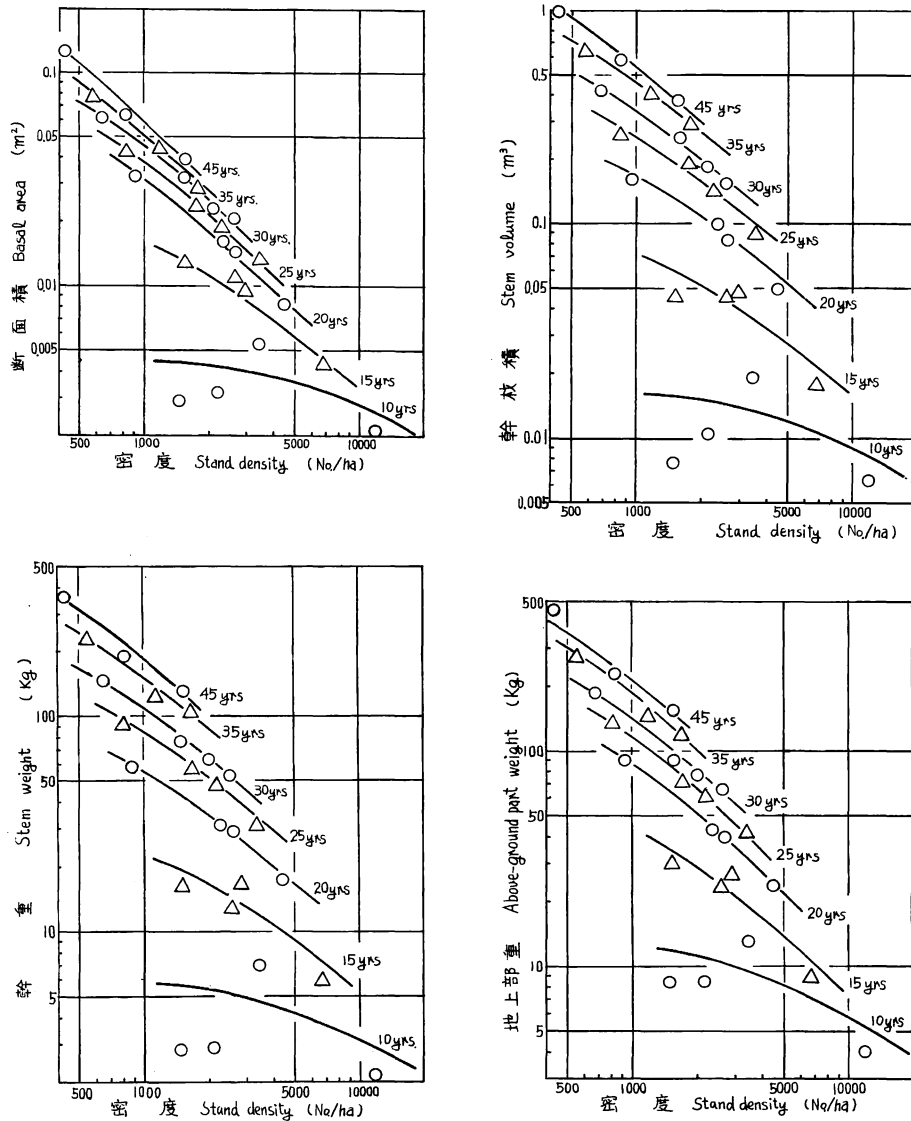
Table 20. Constant values of the reciprocal equation of density effect

$$\frac{1}{w} = A\rho + B \quad \text{or} \quad \frac{1}{y} = A + \frac{B}{\rho}$$

w : Part weight per tree y : Part weight per ha

ρ : Stand density (No./ha) A, B : Constants which determine by growth stage

齡 階 Age class (yrs.)	地上部重 Above-ground part weight (ton)		幹 重 Stem weight (ton)		幹 材 積 Stem volume (m ³)		断 面 積 Basal area (m ²)	
	A	B	A	B	A	B	A	B
10	0.01049	76.642	0.01643	152.816	0.00549	54.389	0.01606	202.027
15	0.01564	9.119	0.01693	27.377	0.00545	8.973	0.02751	36.087
20	0.00836	2.886	0.01080	7.207	0.00327	2.795	0.02409	7.581
25	0.00677	1.783	0.00738	4.223	0.00249	1.431	0.02137	5.813
30	0.00543	1.738	0.00659	2.581	0.00213	0.864	0.01805	4.541
35	0.00431	1.180	0.00484	1.754	0.00163	0.576	0.01842	1.936
45	0.00376	0.982	0.00481	0.770	0.00161	0.256	0.01638	1.142



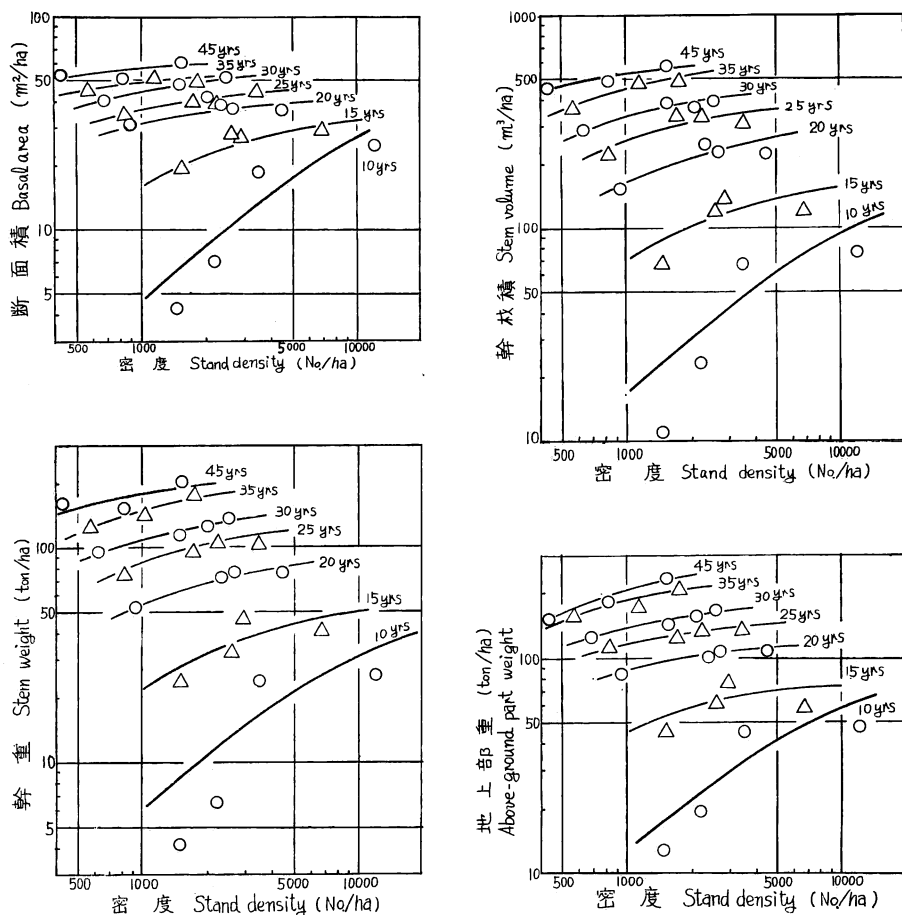
第32図 競争密度効果

Fig. 32. Competition density effect.

全植物体の重量を指すが、部分重をとってもよく近似でき、この場合に、さきに述べた密度方向の相対成長関係 (33ページ) がその理論的根拠を与える³⁴⁾。

この調査は厳密な意味での密度比較試験といいがたいが、年齢を区切って地上部重、幹重、幹材積、胸高断面積に (9) (10) 式をあてはめてみた。その結果を競争密度効果として第32図に、収量密度効果を第33図に、また常数 A , B の値を第20表に示す。いずれの場合にも十分によく近似でき、密度と平均単木または単位面積あたりの量との関係を良く示している。

(9)(10)式の常数 A , B と林齢または平均樹高 x との関係は



第33図 収量密度効果

Fig. 33. Yield density effect.

第21表 逆数式の常数と林齢または平均樹高との関係

Table 21. Relations between the constant of reciprocal equation and stand age or average height

$$\log A = -b \log x + a, \log B = -b' \log x + a'$$

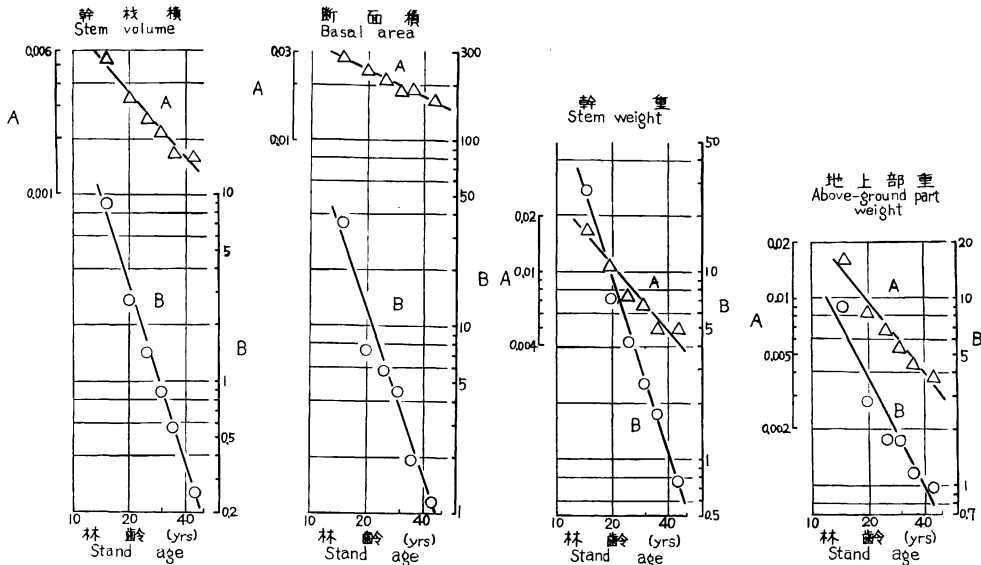
A, B : Constants of reciprocal equation

x : Stand age or average height

a, a', b, b' : Constants

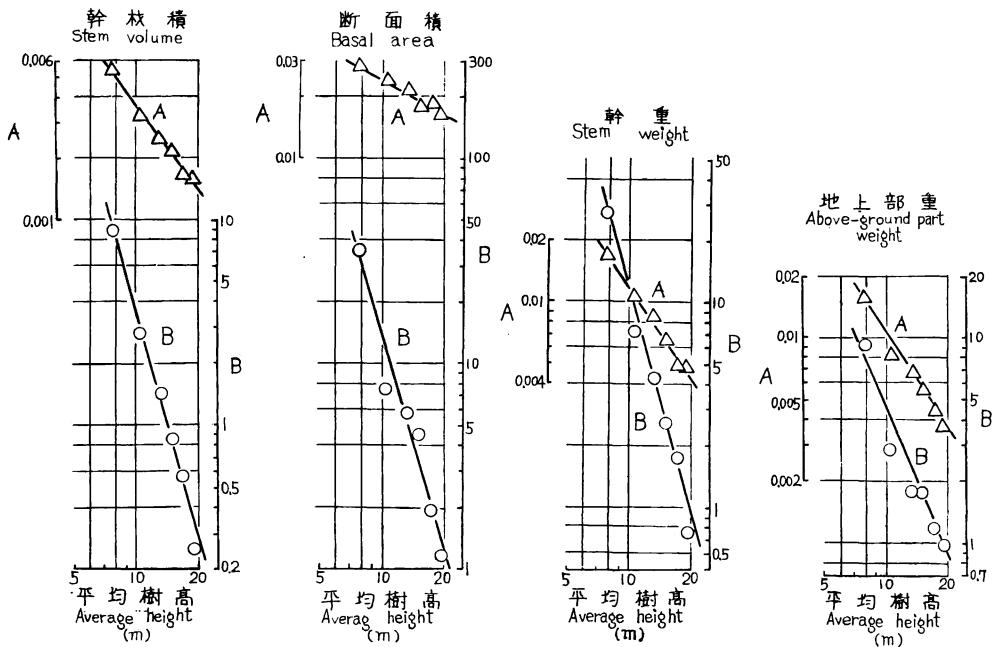
r : Correlation coefficient

部 分 Parts	林 齢 Stand age						平均樹高 Average height					
	A			B			A			B		
	b	a	r	b'	a'	r	b	a	r	b'	a'	r
地上部重 Above-ground part weight	1.2809	-0.3600	-0.9795	1.9273	3.0752	-0.9468	1.5385	-0.4468	-0.9949	2.3558	2.9908	-0.9787
幹 重 Stem weight	1.2016	-0.4020	-0.9711	3.1040	4.9994	-0.9926	1.4584	-0.4663	-0.9968	3.6281	4.6758	-0.9811
幹材積 Stem volume	1.1428	-0.9727	-0.9702	3.1548	4.6050	-0.9970	1.3879	-1.0336	-0.9964	3.7042	4.2950	-0.9899
断面積 Basal area	0.4868	-0.9917	-0.9829	2.9630	4.9220	-0.9751	0.5706	-1.0406	-0.9743	3.4884	4.6415	-0.9709



第34図 林齢と逆数式の常数の関係

Fig. 34. Relation between stand age and constant values of reciprocal equation of density effect.



第35図 平均樹高と逆数式の常数の関係

Fig. 35. Relation between average height and constant values of reciprocal equation of density effect.

$$\left. \begin{aligned} \log A &= -b \log x + a \\ \log B &= -b' \log x + a' \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (11)$$

a, a', b, b' : 常数

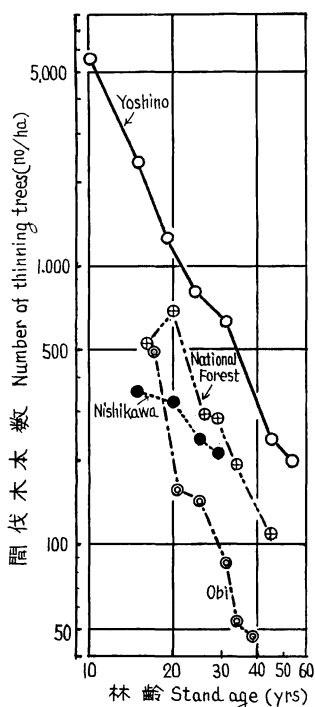
によって示されることを安藤³⁵⁾は示した。この関係がわかると、密度と現存量の関係をいろいろな生育段階について予測するのにつづがよくなる。第 34 図、第 35 図、第 21 表に示すように、(11) 式によって A, B と林齢または平均樹高との関係を良く近似できる。いずれの場合も相関係数は著しく有意であったが林齢に対する関係よりも、平均樹高に対する関係の方が相関係数はわずかに大きな値を示す傾向があるようにみうけられる。

VI 間伐についての検討

これまで保育形式間の間伐前の諸量について述べてきたが、これらの値はそれぞれの保育形式で、植栽密度がちがうと同時に、間伐率や間伐木の選定方法のちがいの影響をうけてえられた値である。そこで、ここでとりあげた保育形式の間伐の特徴について述べてみよう。間伐木の選定は国有林以外では、すでに述べたように、育林作業において地元の指導的立場にある人に依頼しておこなったものである。

1. 間伐木

各標本林分における間伐木の ha あたり本数を第 36 図に示す。同一齢階における間伐本数は吉野、国有林、西川、鉄肥の順に少ない。

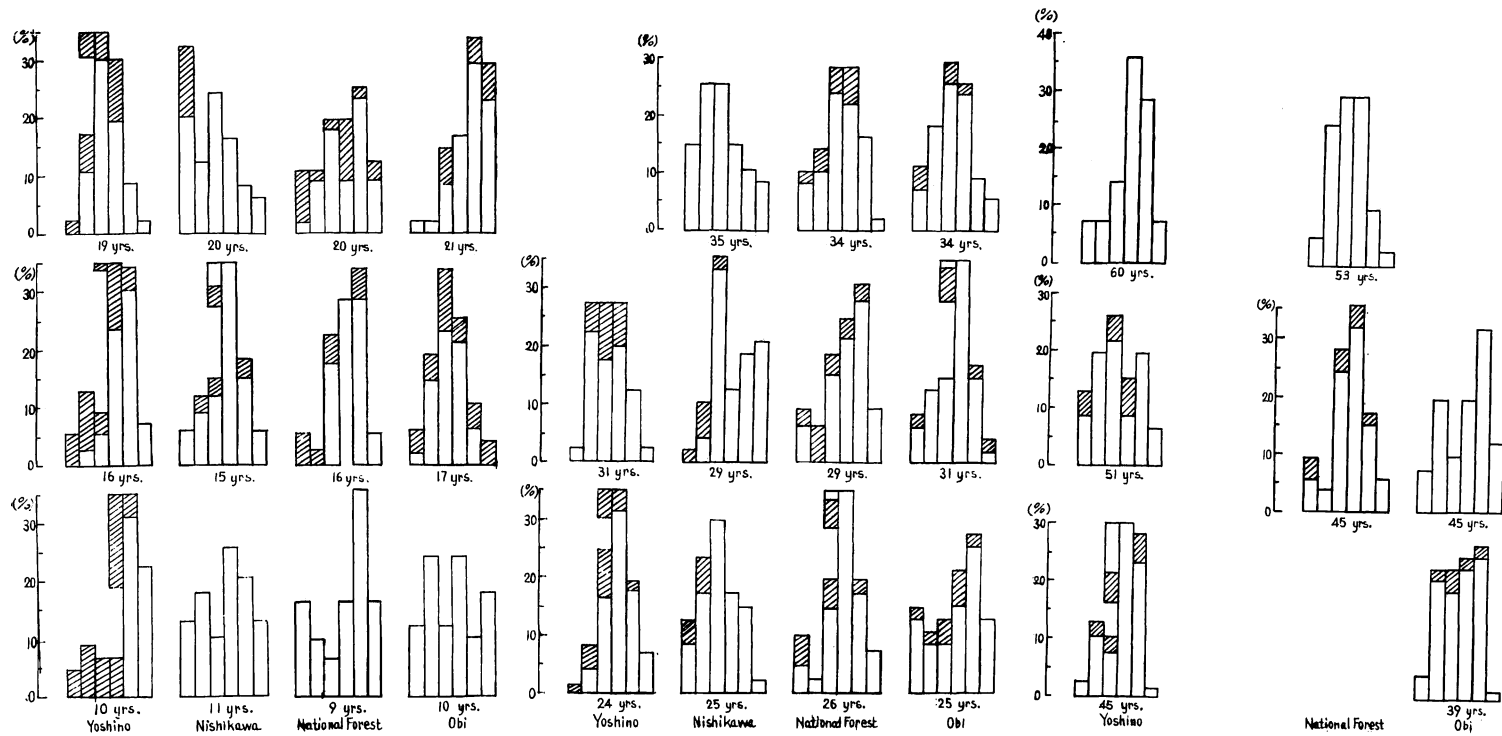


第 36 図 間伐木の本数
Fig. 36. Number of thinning trees.

間伐木が個々の林分でどのような直径階や樹高階から取り除かれるかをみるために、直径と樹高の最小値と最大値の間を 6 等分して樹高階と直径階を決め、相対的な度数分布で示した間伐木と残存木の関係を第 37, 38 図に示す。いずれの図も左側にいくほど樹高階または直径階は小さく、右側にいくほど大きい。

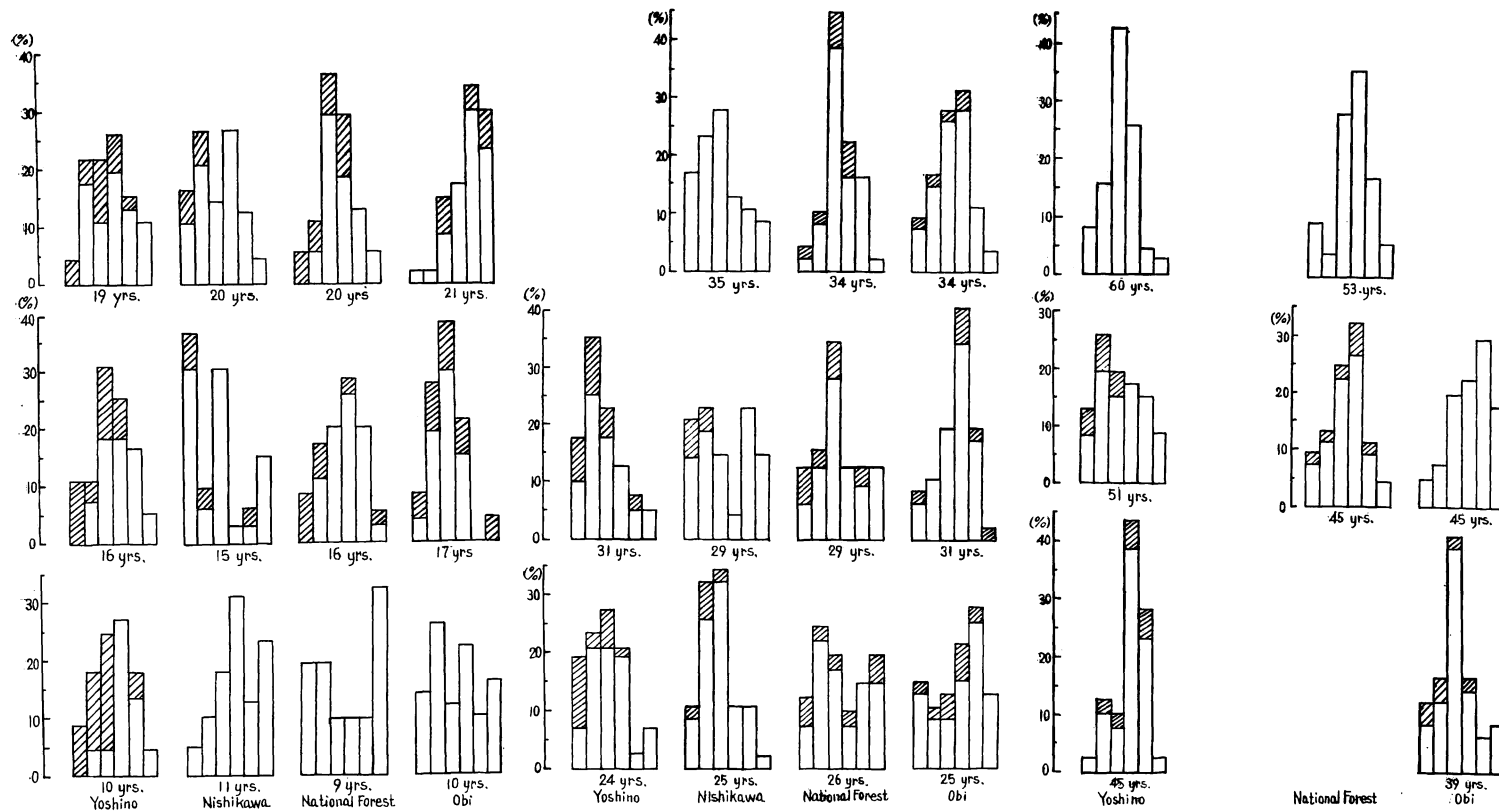
吉野地方³⁸⁾⁴²⁾⁴³⁾⁸³⁾では永代木をきめて、その生育のさまたげとなる立木や生育の見込みのない立木、あばれ木などを間伐の際に取り除き、西川地方³⁹⁾⁵⁵⁾では生育の見込みのない下層木をおもに間伐し、国有林では寺崎式 B 種間伐⁸²⁾がおこなわれ、鉄肥⁸⁹⁾²²⁾では幼時の成長はよいが、壮齢になると成長の衰え、しかも形質の悪い、いわゆるオビスギのなかでもクロ系統といわれるものを間伐し、幼時の成長は悪いが、壮齢以後の成長のよい形質のすぐれたアカ系統を残すように間伐するといわれている。このような間伐方法の特徴は第 37, 38 図からもうかがうことができる。鉄肥では樹高階や直径階のもっとも大きい部分でも間伐がおこなわれるが、他の地方ではそのようなことはまれで、特に西川では、樹高階や直径階の中心より低いところで間伐木が選ばれる。

間伐木の平均的な大きさが密度管理や選木方法のちがいによりどのようにかわるかを知らるために、間伐木の平均樹高、平均胸高直径、平均胸高断面積、平均幹材積、平均幹重、平均枝重、平均葉重、平



斜線部分は間伐木，白色部分は残存木
Oblique line parts show thinned trees and open parts show residual trees.

第 37 図 間伐木と残存木の樹高の相対度数分布
Fig. 37. Relative frequency distribution of tree height of thinned trees and residual trees.

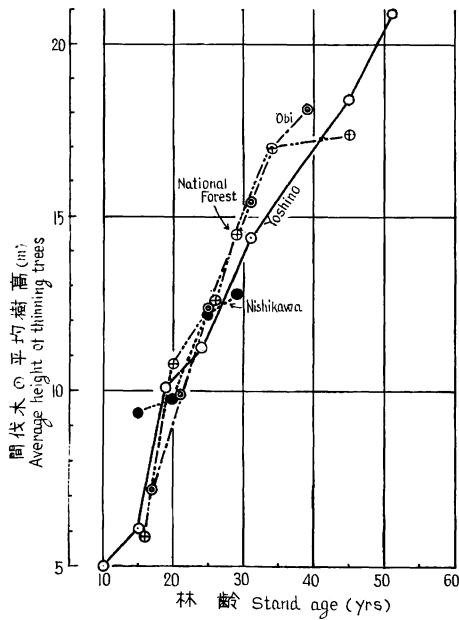


斜線部分は間伐木、白色部分は残存木

Oblique line parts show thinned trees and open parts show residual trees.

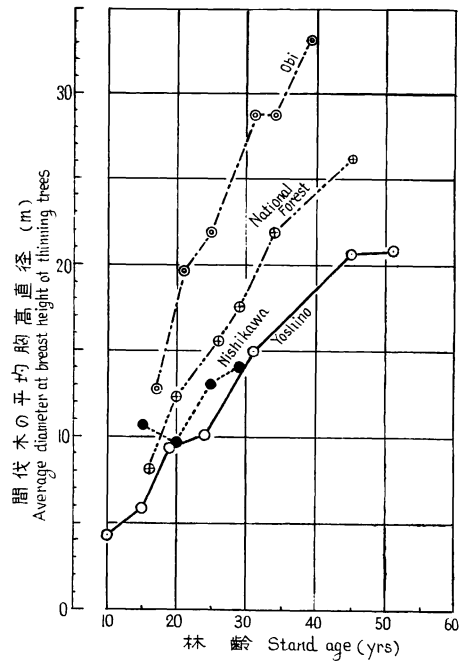
第 38 図 間伐木と残存木の胸高直径の相対度数分布

Fig. 38. Relative frequency distribution of diameter at breast height of thinned trees and residual trees.



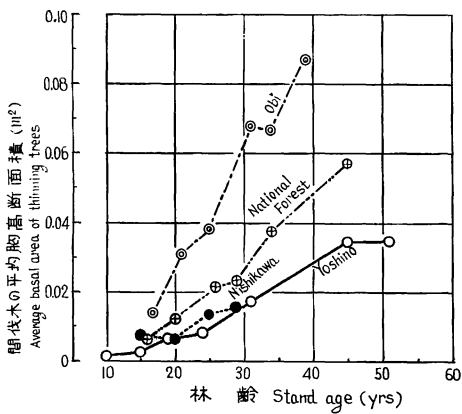
第 39 図 間伐木の平均樹高

Fig. 39. Average height of thinned trees.



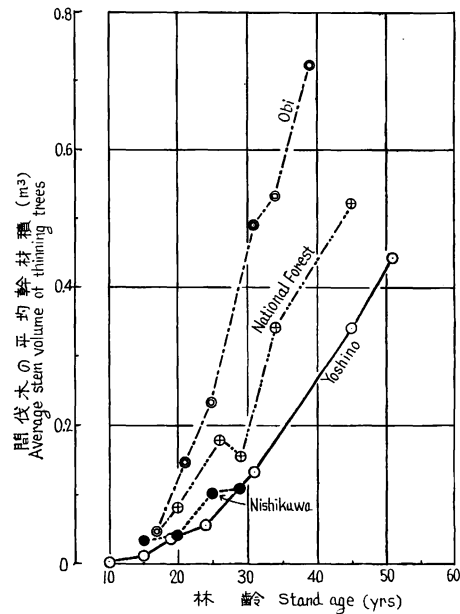
第 40 図 間伐木の平均胸高直径

Fig. 40. Average diameter at breast height of thinned trees.



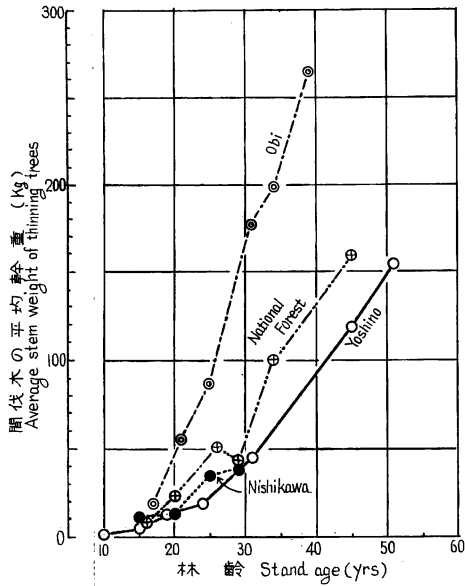
第 41 図 間伐木の平均胸高断面積

Fig. 41. Average basal area of thinned trees.

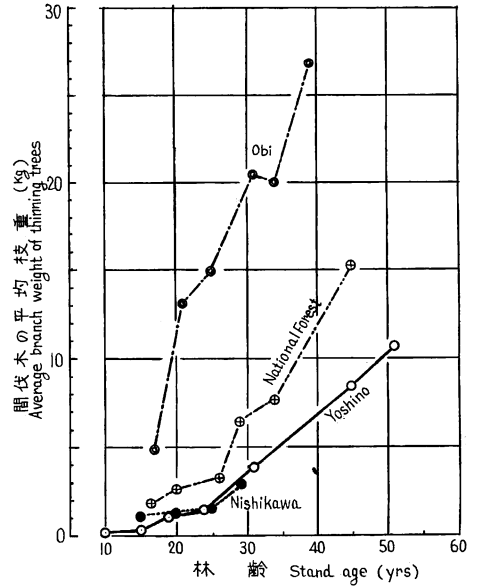


第 42 図 間伐木の平均幹材積

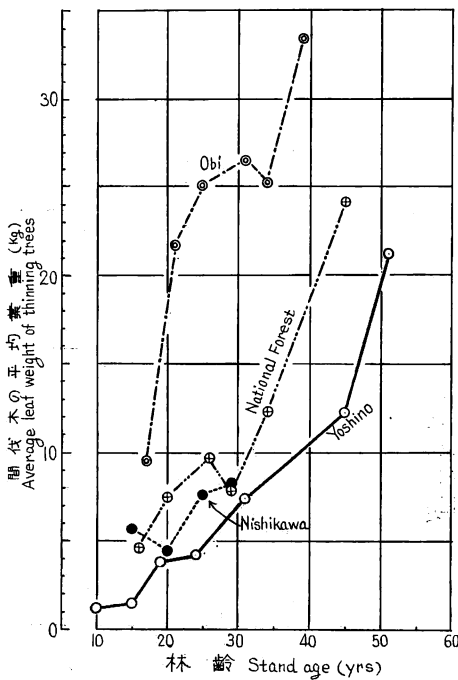
Fig. 42. Average stem volume of thinned trees.



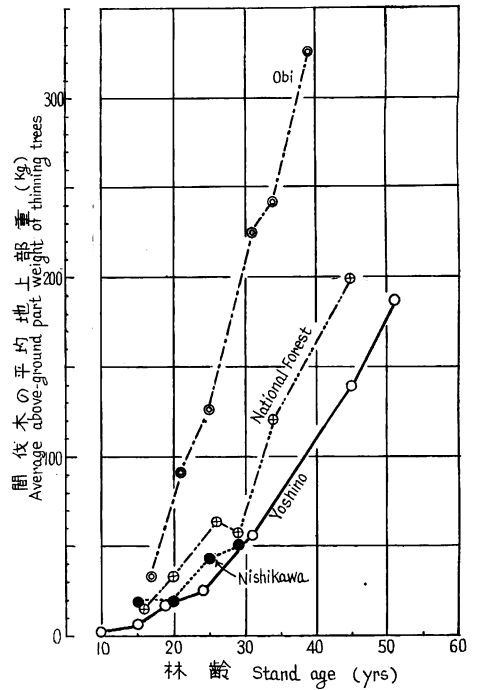
第 43 図 間伐木の平均幹重
Fig. 43. Average stem weight of thinned trees.



第 44 図 間伐木の平均枝重
Fig. 44. Average branch weight of thinned trees.



第 45 図 間伐木の平均葉重
Fig. 45. Average leaf weight of thinned trees.

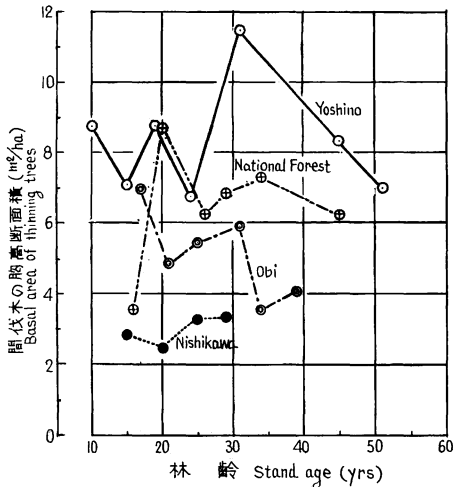


第 46 図 間伐木の平均地上部重
Fig. 46. Average above-ground part weight of thinned trees.

均地上部重を第39～46図に示す。これらの傾向は、植栽から伐期までの密度管理が高密度であるか低密度であるかによって決まり、さきにⅡで述べた諸量の平均の傾向と全く同じで、一般に平均樹高はあまりかわらないが、他の量は高密度管理されるほど小さく、低密度管理されるほど大きい。間伐木の選木方法が餌肥では他の地方より大きくなるようにおこなわれているが、すべての地方で同じような間伐木の選定方法がとられたとしても、この傾向が大きくなることはないと考えられる。

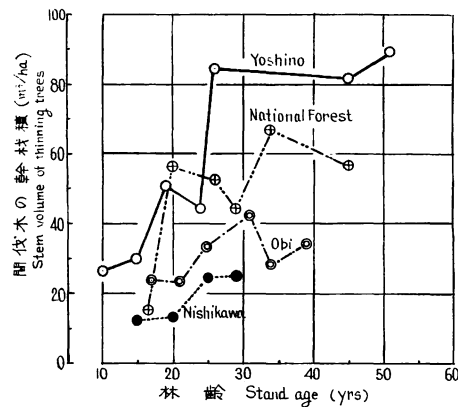
2. 間伐により失われる現存量

間伐によって失われる量のなかで、主として林外に持ち去られる部分は幹で、枝や葉などは林地に還元されるのが普通である。

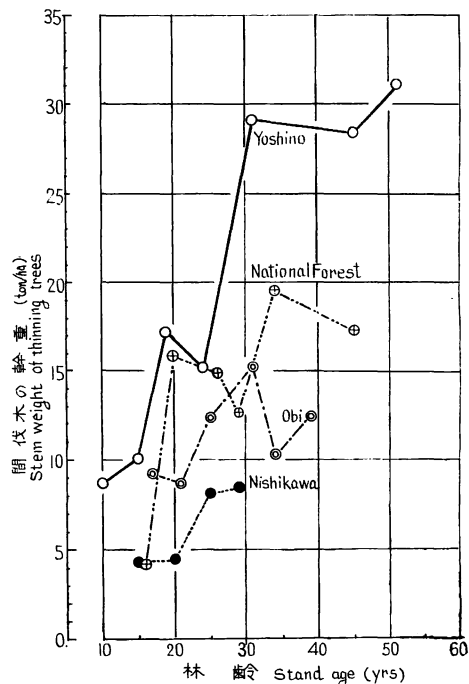


第47図 間伐木の胸高断面積
Fig. 47. Basal area of thinned trees.

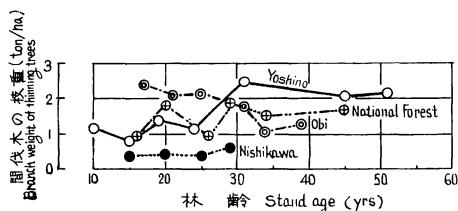
間伐木の諸量を第47～52図に示す。重量についてみると幹重では西川4～8 ton/ha、餌肥8～15 ton/ha、国有林4～20 ton/ha、吉野9～30 ton/ha、で、枝重は西川0.5 ton/ha弱、餌肥2.5～1.0 ton/ha、国有林1～2 ton/ha、吉野1～2.5 ton/ha、葉重は西川2 ton/ha弱、餌肥5～1.5 ton/ha、国有林5～2 ton/ha、吉野7～3 ton/haである。葉は林齢とともに減少する傾向があるが、幹と地上部重は林齢とともに増加し、枝は餌肥のみは林齢とともに減少するが、他は増加する傾向がある。また西川では、このほかにかなりの枝・葉量が枝打で失われているはずである。間伐本数が比較的少なく、しかも下層木のみを間伐し、さらに枝打のおこなわれている西川の量がいずれのばあいも低い。餌肥は間伐本数が少ないにもかかわらず、若



第48図 間伐木の幹材積
Fig. 48. Stem volume of thinned trees.

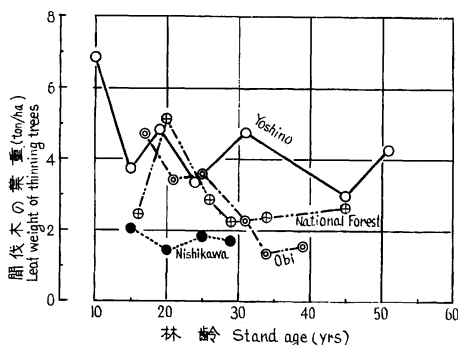


第49図 間伐木の幹重
Fig. 49. Stem weight of thinned trees.



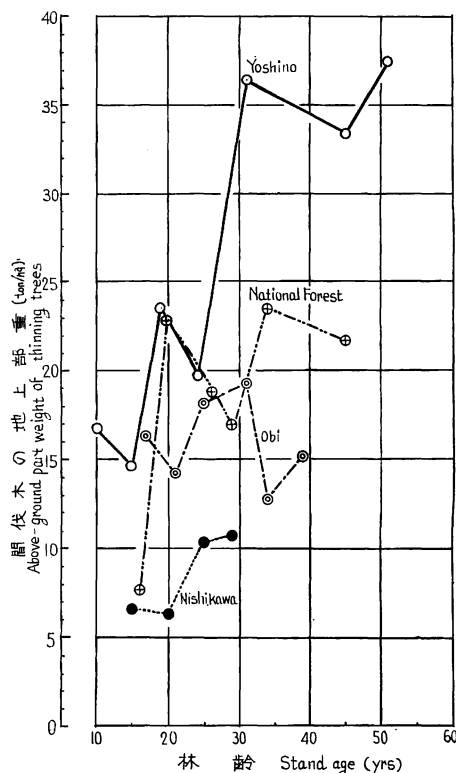
第 50 図 間伐木の枝重

Fig. 50. Branch weight of thinned trees.



第 51 図 間伐木の葉重

Fig. 51. Leaf weight of thinned trees.



第 52 図 間伐木の地上部重

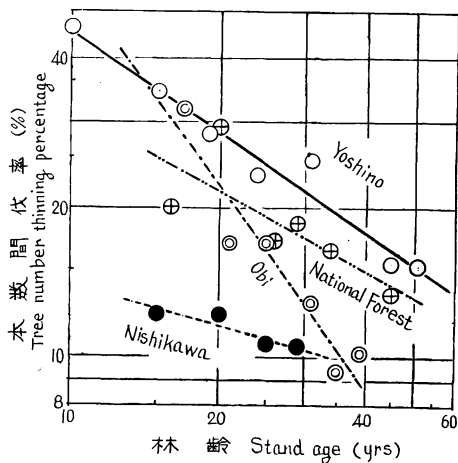
Fig. 52. Above-ground part weight of thinned trees.

いときには間伐で失われる枝の量は吉野や国有林を上回り、また葉量は吉野や国有林のそれとほぼ同じ量を失うことになる。また間伐で失われる断面積と幹の量は吉野、国有林、飯肥、西川の順に小となり、地上部重でもほぼ同じ順になる。

3. 間伐率

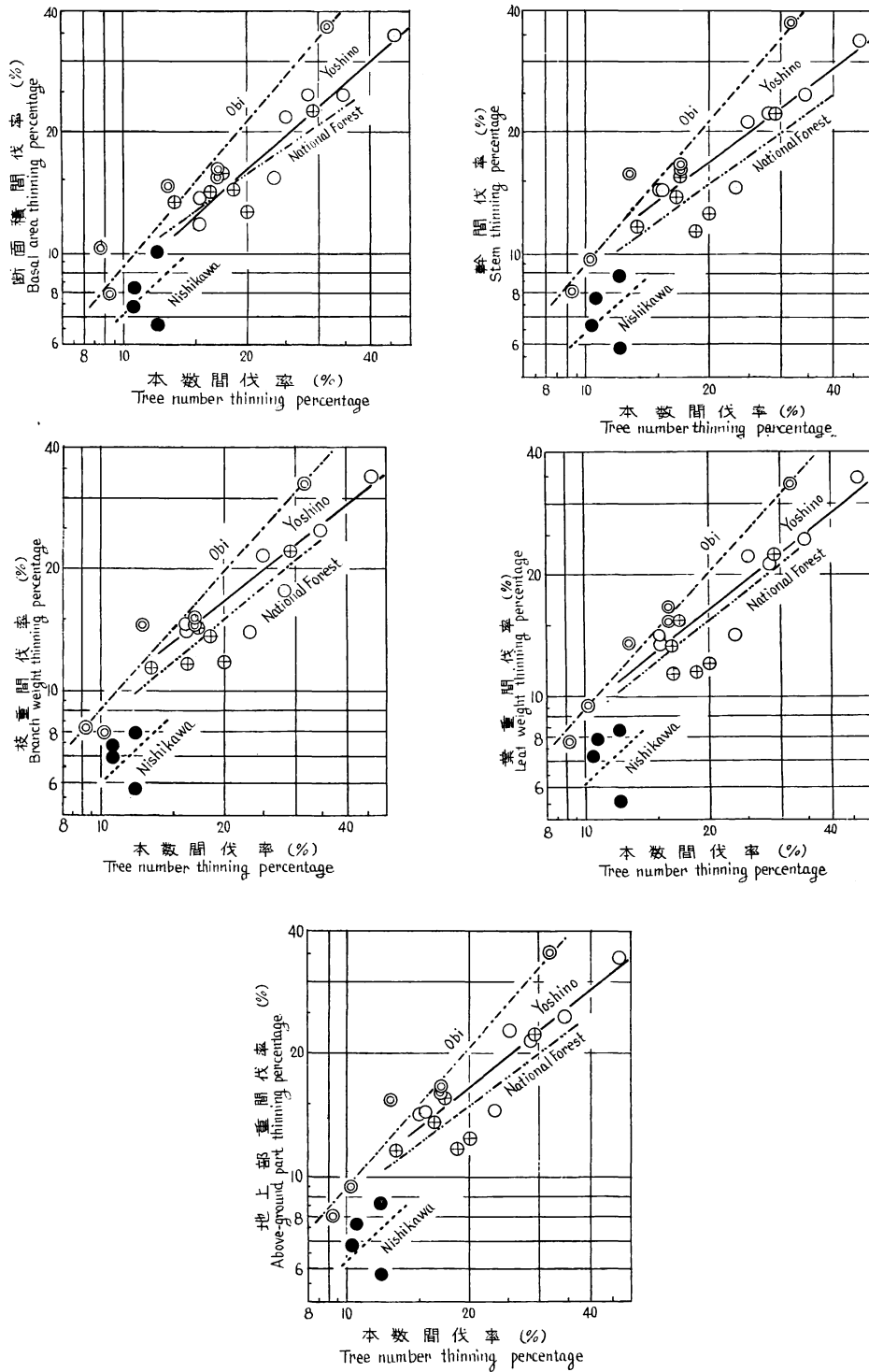
密度管理がちがうと間伐率も当然ちがってくる。林齢と本数間伐率の関係を第 53 図に示す。この図から、一般に間伐率は林齢とともに減少し、また吉野、国有林、西川の順に低く、飯肥は若いときには吉野と同じくらい高いが、林齢の増すにしたがい急激に低くなる。

本数間伐率と材積または断面積間伐率がちがうことはこれまでに知られている⁸²⁾⁸⁵⁾。本数間伐率と他の部分の間伐率の関係を第 54 図に示す。BRAATHE¹¹⁾によれば ULLEN は“本数間伐率/材積間伐率”の値で間伐方法の特徴づけられると述べ、また LANGSAETER⁴⁰⁾は、この値が 1.40 以上



第 53 図 間伐率

Fig. 53. Thinning percentage.



第54図 本数間伐率と他の間伐率の関係

Fig. 54. Relation between tree number thinning percentage and other thinning percentage.

第 22 表 本数間伐率と部分の間伐率

Table 22. Relations between thinning percentage of number of trees and thinning percentage of various part

$$\log y = b \log x + a$$

x: Thinning percentage of number of trees

y: Thinning percentage of each part

a, b: Constants

部 分 Parts	地 方 Area	吉 野 Yoshino		国 有 林 National Forest		猷 肥 Obi	
		b	a	b	a	b	a
断 面 積 Basal area		0.9070	0.0214	0.7206	0.2558	1.1950	-0.2451
幹 Stems		0.7796	0.2027	0.7429	0.2040	1.1739	-0.1994
枝 Branches		0.7410	0.2427	0.8160	0.1069	1.1332	-0.1864
葉 Leaves		0.8054	0.1637	0.7919	0.1524	1.0642	-0.0944
地 上 部 Above-ground part		0.7816	0.1986	0.7603	0.1826	1.1422	-0.1709

であれば下層間伐，1に近ければ上層間伐，0.60より小さければ択伐式間伐であると述べた。さらに寺崎・林⁸⁴⁾は本数間伐率と断面積間伐率が両対数軸上で直線関係を示すことを認め，間伐種による本数間伐率と断面積間伐率の関係を示した。本数間伐率を x ，他の部分の間伐率を y としたとき

$$\log y = b \log x + a \dots\dots\dots(13)$$

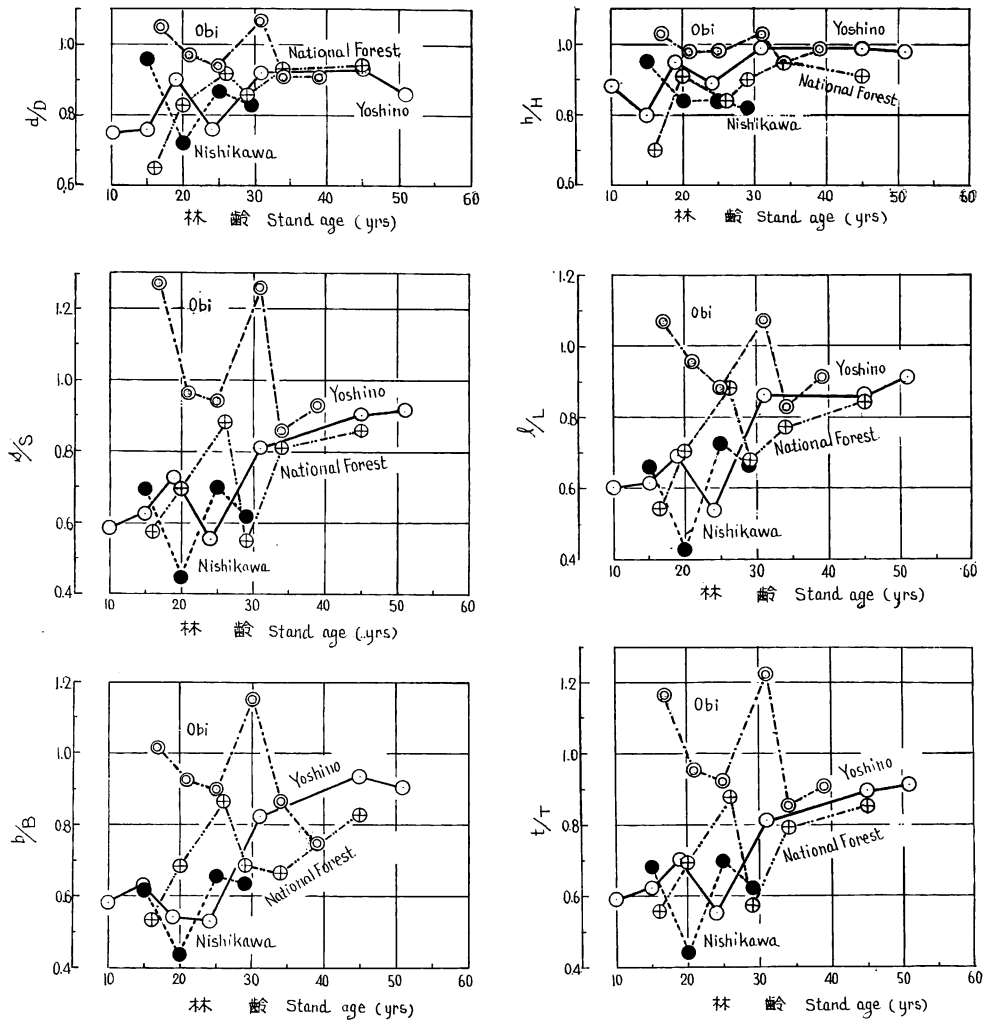
a, b: 常数

の関係が認められ，常数の値を第 22 表に示す。猷肥地方では本数間伐率の大きい幼齢期に“本数間伐率<他の間伐率”，本数間伐率の低い壮齢林では，“本数間伐率>他の間伐率”であるため b の値は 1 より大きい。吉野，国有林では一般に“本数間伐率>他の間伐率”であるが，また本数間伐率の高い幼齢期には他の間伐率が相対的に低いため， b の値は 1 より小さくなる。西川では明らかな傾向が認められないが，本数間伐率と他の間伐率の比率が常に一定であるとする第 54 図に示したような 45° の傾きをもって示される。

4. 残存木と間伐木の関係

残存木と間伐木の平均樹高 (H, h : 大文字は残存木，小文字は間伐木—以下同じ)，平均胸高直径 (D, d)，平均幹重 (S, s)，平均枝重 (B, b)，平均葉重 (L, l)，平均地上部重 (T, t) の比 $h/H, d/D, \dots\dots t/T$ の林齢との関係を第 55 図に示す。EIDE and LANGSAETER¹⁴⁾ は d/D が 0.7 より小さいときには下層間伐がおこなわれ，0.7~0.80 では下層間伐か上層間伐かを定めることができず，0.85~1.00 では上層間伐がおこなわれたものと考えられると述べ，また，JOERGENSEN²⁴⁾ は b/D が 0.65 以下は除伐，0.65~0.75 は下層間伐，0.75~0.90 は強度の下層間伐または弱度の上層間伐，0.90~1.00 は強度の上層間伐，1.00 以上は択伐式間伐と区分している。

図からわかるように，猷肥ではいずれの部分でもこれらの比が他の地方に比べて大きく，ときには 1 を越すこともあって，一般に大きな立木が間伐され，また西川では一般にこれらの比が小さく，下層木がおもに間伐されるなどそれぞれ選木方法のちがいを示している。また国有林や吉野で林齢が高くなると比の



D : 残存木の平均胸高直径
 d : 間伐木の平均胸高直径
 H : 残存木の平均樹高
 h : 間伐木の平均樹高
 S : 残存木の平均幹重
 s : 間伐木の平均幹重
 B : 残存木の平均枝重
 b : 間伐木の平均枝重
 L : 残存木の平均葉重
 l : 間伐木の平均葉重
 T : 残存木の平均地上部重
 t : 間伐木の平均地上部重

Average diameter at breast height of residual trees.
 Average diameter at breast height of thinned trees.
 Average height of residual trees.
 Average height of thinned trees.
 Average stem weight of residual trees.
 Average stem weight of thinned trees.
 Average branch weight of residual trees.
 Average branch weight of thinned trees.
 Average leaf weight of residual trees.
 Average leaf weight of thinned trees.
 Average weight of above ground part of residual trees.
 Average weight of above ground part of thinned trees.

第55図 間伐木の平均と残存木の平均の比

Fig. 55. Ratio of the average value of thinned trees to the average value of residual trees.

値が大きくなるのは間伐がくり返しおこなわれ、また間伐率も比較的高いので、被圧木が少なくなり、相対的に優劣の差が縮まってくるためと考えられる。

5. 間伐前の密度と現存量および間伐後の密度と残存量

間伐前の密度と現存量，間伐後の密度と残存量の関係を断面積，幹材積，幹重，枝重，葉重，地上部重について第 56 図に示す。これらの関係は密度管理によって大きくかわってくる。またこれらの図で，高密度から低密度に移るということは，単に密度が間伐によって減少するというのではなく，間伐は時間の経過にともなっておこなわれるから，時間の経過にともなう成長の問題も含まれている。したがって，これらの図からは，間伐にともなう現存量の減少とともに成長の経過をうかがうことができる。

断面積，幹材積，幹重，枝重，地上部重は間伐によって現存量が失われても次の間伐期には前の間伐前の現存量を上回る量を示し，時間の経過とともに一方的に増加していくが，葉量はⅡの 4 で詳しく述べたように，はっきりした増加の傾向は認められない。

葉以外の部分については間伐前の密度と現存量または間伐後の密度と残存量の間に

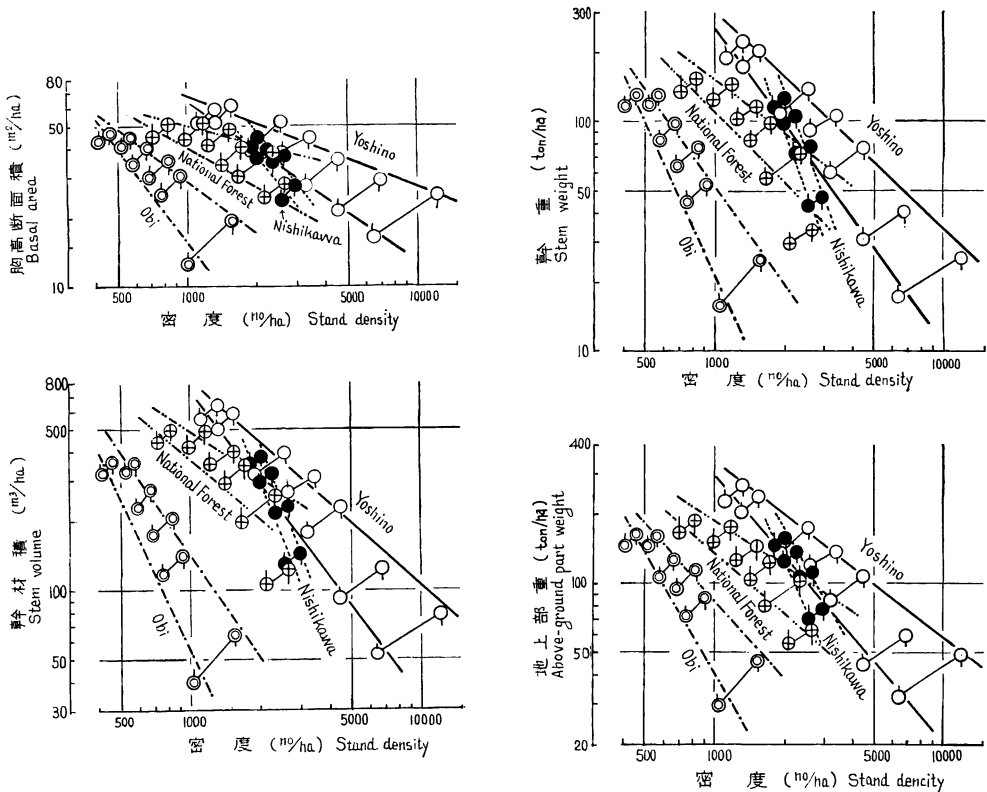
$$\log y = b \log \rho + a \quad \dots\dots\dots (14)$$

y : 間伐前の現存量または間伐後の残存量

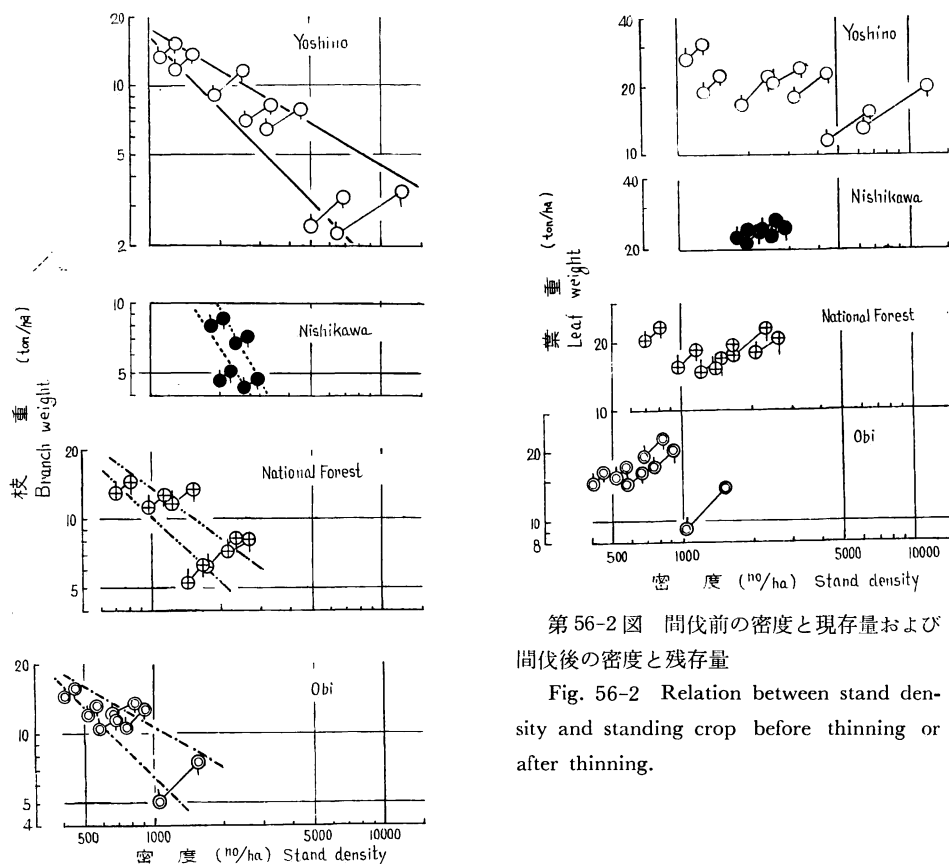
ρ : 間伐前の密度または間伐後の残存密度

a, b : は常数

の関係が認められる。この常数を第 23 表に示す。



第 56-1 図 間伐前の密度と現存量および間伐後の密度と残存量
Fig. 56-1 Relations between stand density and standing crop before thinning or after thinning.



第 56-2 図 間伐前の密度と現存量および
間伐後の密度と残存量

Fig. 56-2 Relation between stand density and standing crop before thinning or after thinning.

第 23 表 間伐前の密度と現存量および間伐後の密度と残存量の関係

Table 23. Relations between stand density and standing crop before thinning or after thinning

$$\log y = b \log \rho + a$$

y : Standing crop before thinning or residual standing crop after thinning

ρ : Stand density before thinning or residual density after thinning (No./ha)

b, a : Constants

間伐の前後 Before or after thinning	地 方 Area 部 分 Parts	吉 野 Yoshino		西 川 Nishikawa		国 有 林 National Forest		肥 前 Obi	
		b	a	b	a	b	a	b	a
間 伐 前 Before thinning	断 面 積 (m ² /ha) Basal area	-0.3787	2.9589	-1.5767	6.8880	-0.2731	2.5217	-0.7551	3.7235
	幹 材 積 (m ³ /ha) Stem volume	-0.8916	5.5787	-3.3230	13.6673	-0.6669	4.6894	-1.4621	6.5480
	幹 重 (ton/ha) Stem weight	-0.9163	5.1987	-3.2105	12.7775	-0.7652	4.4664	-1.4336	6.0082
	枝 重 (ton/ha) Branch weight	-0.5895	3.0063	-1.8840	7.1748	-0.7025	3.2445	-0.5740	2.7487
	地上部重 (ton/ha) Above-ground part weight	-0.7428	4.7213	-2.4355	10.3014	-0.6709	4.2788	-1.0843	5.1592

間伐の前後 Before or after thinning	地 方 Area 部 分 Parts	吉 野 Yoshino		西 川 Nishikawa		国 有 林 National Forest		肥 前 Obi	
		b	a	b	a	b	a	b	a
間 伐 後 After thinning	断 面 積 (m ² /ha) Basal area	-0.6871	3.8596	-1.2598	5.7337	-0.5548	3.2744	-1.3205	5.1705
	幹 材 積 (m ³ /ha) Stem volume	-1.3490	6.9211	-2.7214	11.4378	-0.8521	5.1243	-2.3117	8.7048
	幹 重 (ton/ha) Stem weight	-1.3759	6.5453	-2.6891	10.8578	-0.9438	4.8695	-2.2426	8.0818
	枝 重 (ton/ha) Branch weight	-1.0663	4.4257	-1.1140	4.4762	-0.9774	3.9515	-0.9957	3.8076
	地上部重 (ton/ha) Above-ground part weight	-1.1442	5.8912	-2.4064	10.0760	-0.8224	4.6054	-1.7246	6.7895

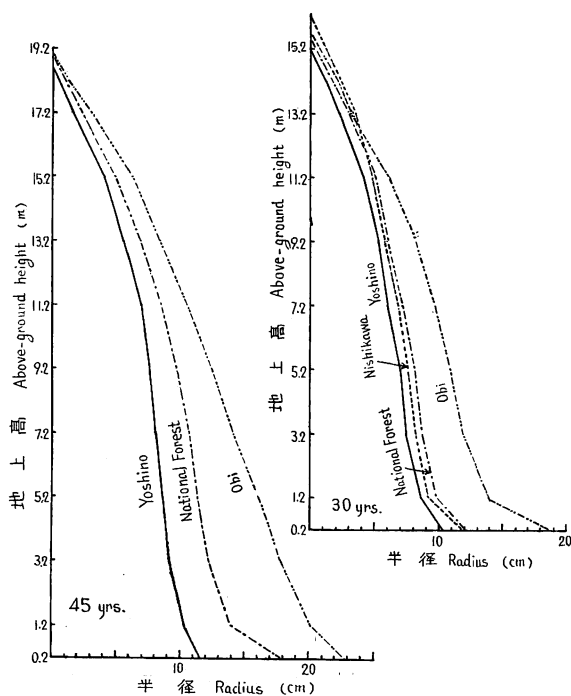
VII 伐期に収穫される材の形質

これまで述べてきたことから、密度管理がかわると、林分構造要因が生育段階に応じてかわることを知ることができた。このように林分構造要因がかわることは、その結果として生産される幹材の形質や量に、大きなちがいを与える。そこで本章では、伐期に収穫される丸太の形質のちがいについて述べよう。本報でとりあげた保育形式では、伐期の長さはそれぞれ違っているが、伐期を同じにしたときにどのような違いがあるかわかるように、それぞれの保育形式の伐期のみでなく、林齢ごとにその違いを示すことにする。

1. 幹 の 形

幹の形が密度によってかわることはこれまでも知られている⁶¹⁾。30年生と45年生の平均胸高直径と平均樹高に近い標本木について幹の形を第57図に示す。幹の形は高密度管理されているほどカンマンで、低密度管理されるほどウラゴケになっている。幹の形がウラゴケであるかカンマンであるかは、造材歩止りや製材歩止りに影響する。また丸太で利用するばあいでも、たとえば電柱用材の日本農林規格では丸太の地ぎわ径と末口径が規定されていて、ウラゴケな材は不利な取扱いをうけ、また杭木の日本農林規格にも末落ちの規定がある。

幹の形を数量的に表示することはむずかしいので、ここではいくつかの幹の形に関係のある係数について述べてみる。胸高形数や直径率（胸高直径と樹高の2



第57図 幹の形
Fig. 57. Stem form.

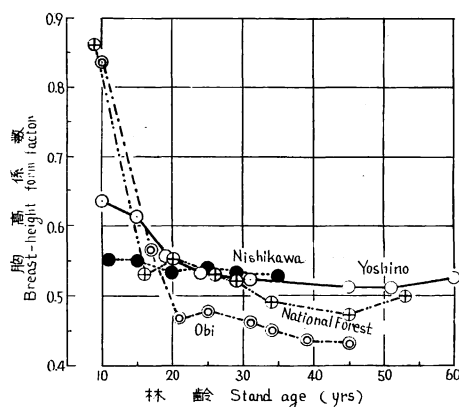
分の1のところの直径の比)はウラゴケの程度を示す(第58, 59図)。ウラゴケになるほど胸高形数や直径率は小さくなる。これらの図からも高密度管理をするとカンマンな幹形になり、低密度管理するとウラゴケになることがわかる。

第60図に平均樹高($\bar{H}$)と平均胸高直径($\bar{D}$)によって示される形状比($\bar{H}/\bar{D}$)を示す。この図から、形状比は高密度管理されると大になることがわかる。形状比の大小は単に材の利用の面からだけでなく、雪害などに対する抵抗力を左右することが指摘されており、保護上からも重要な尺度であって石崎²³⁾は形状比と雪害についてのこれまでの報告を総合的に取りまとめている。ここで示した形状比を加納²⁶⁾は完満度と呼んで同じ資料によって同様の図を示した。加納の図はすべての齢階で西川が吉野よりも高い値を示している。第60図でも西川の35年は吉野を上回っているが、これはすでに述べたように、西川の35年とした林分には35年と45年の立木がまざっているために、単に密度のちがいでだけでなく、他の要因のちがいも影響しているものと考えられる。加納の図は各地方の最大林齢の林分からえられた標本木の樹幹解析の資料によったので、この傾向がそのまま林齢の低いところにも現われたものと考えられる。また、加納の示した値は第60図よりも高い値が示されているが、これは皮無直径をもちいたことによる。

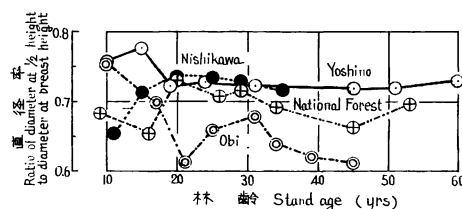
2. 胸高における年輪の状態

伐期に収穫される丸太の年輪の状態もまた材の品質に関係する要因とされ、建築材などにおいては年輪幅のせまい年輪密度の高い材が賞用される。また、腕木の日本農林規格には年輪密度が規定され、また1辺の長さが12 cmをこえる正角、および幅が12 cmをこえる平角、について、平均年輪幅を6 mm以下と以上にわけた規定がある。木材を利用する側からみた年輪幅に対する要求として、構造用木材の品質について日本建築学会⁴⁷⁾では平均年輪幅の最大値を6 mmと規定している。

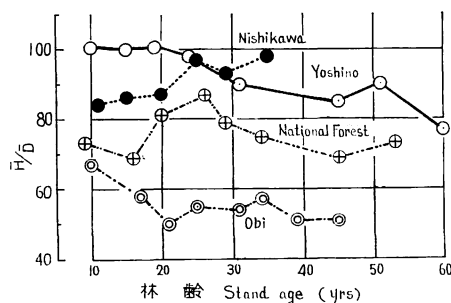
また舟艇会⁷⁴⁾では、ポート、ヨットなど軽構造木船建造基準で建造材の良材の品質を示す標準として、平均年輪幅をスギのばあい1.0~3.0 mmと規定し、運輸省⁸⁷⁾ではおもに漁船など木造船の良材の品質をしめす標準として、平均年輪幅を1.0~1.5 mmと規定している。年輪幅の形成は地上高によってか



第58図 胸高形数
Fig. 58. Breast height form factor.

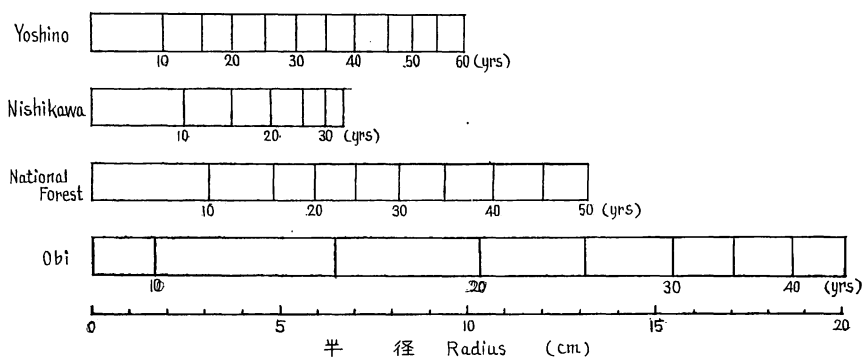


第59図 直径率
Fig. 59. Ratio of diameter at 1/2 height to diameter at breast height.



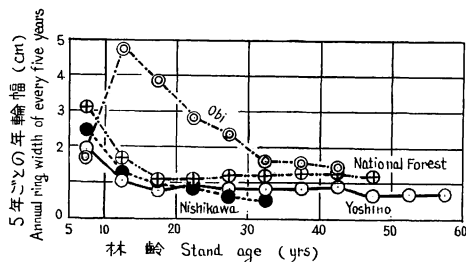
$\bar{H}$: 平均樹高, $\bar{D}$: 平均胸高直径
 $\bar{H}$: Average height,
 $\bar{D}$: Average diameter at breast height.

第60図 $\bar{H}/\bar{D}$
Fig. 60. $\bar{H}/\bar{D}$



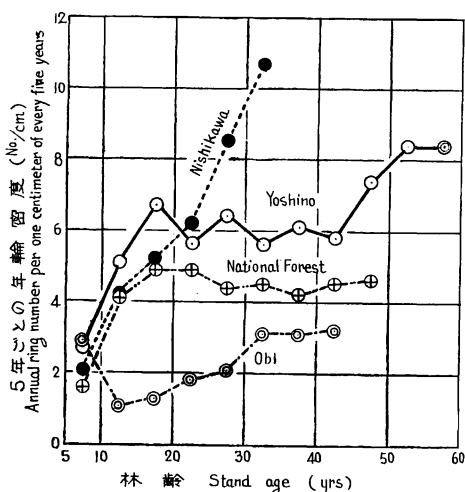
第61図 5年ごとの年輪

Fig. 61. Annual ring of every five years.



第62図 5年ごとの年輪幅

Fig. 62. Annual ring width of every five years.



第63図 5年ごとの年輪密度

Fig. 63. Annual ring number per one centimeter of every five years.

わかるが、ここでは胸高の年輪の状態をみることにする。

それぞれの地方で伐期と考えた林齢の、林分の標本木から求めた胸高における平均の年輪状態を第61図に示す。西川の35年生の林分はさきにも述べたように、45年の立木がまざっているので、ここでは35年の標本木と29年の調査林分の標本木を参考に描いた。また6～10年、11～15年……と5年ごとの年輪幅とこの値から求めた1 cmあたりの平均年輪数で示した年輪密度を第62、63図に示す。一般に低密度管理されると年輪幅はひろく、年輪密度は低い、高密度管理されると年輪幅のせまい年輪密度の高い材が生産される。また吉野や国有林では年輪幅や年輪密度に変動が少ないが、西川では林齢が高くなると急激に年輪幅がせまくなり、年輪密度が高くなる。

弁甲材として著名な飢肥の平均胸高直径は45年で、約40 cmである。したがって、平均年輪幅は4.4 mmくらいである。これではボート、ヨットなどの良材⁷⁴⁾とはならないことになり、また同じ林分でも大径木は漁船などの規格⁸⁷⁾からはずれることになりそうである。また、この調査は地位中庸の林分でおこなわれた調査であるから、地位上のところ

では規格をはずれる可能性はさらに高くなる。これらの規格は比較的近年設けられたものではあるが、今後の飢肥地方での弁甲材生産で考慮されなければならない注目すべき点である。

3. 伐期に収穫される丸太の量と質

前節までに述べた事項から、伐期に収穫される材の形質が保育形式で大きくちがうことが認められた。

これらの林分から具体的に製品として丸太の採材を考えたとき、どのくらいの径級の丸太がどのくらいの量採材されるかをみておこう。

i) 4 m 材の採材

まず、もっとも一般的に採材される 4 m 材についてみることにする。用材の農林規格では素材を末口径によって 14 cm 未満のものを小丸太、14 cm 以上 30 cm 未満のものを中丸太、30 cm 以上のものを大丸太と区分している。ここでは一応この区分に準ずるが、中丸太の幅が広いので、これを 2 つに分けて第 24 表のように区分し、末口 6 cm 未満は採材しないことにした。

日本農林規格を参考にした。

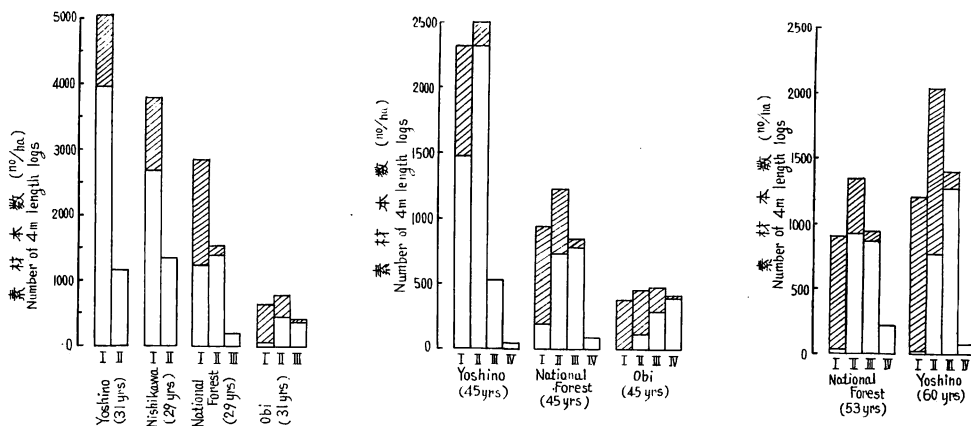
The Japanese Agriculture Standard are used for reference.

また、節の有無は丸太の品質を決める上で重要な因子となるから、節の有無についても大まかにわけてみた。丸太の節の有無を区別するため、一応イキブシを主に考え、枝下高から上で採材されるイキブシのある材の品質を“下”，枝下高から下で採材されるイキブシのない材を“上”と表示することにした。このばあい枝下高近くで採材される丸太については、4 m 材の半分、2 m 以上が枝下高より上にかかるときは品質を“下”とし、2 m 以上が枝下高から下の部分にかかるときは“上”とした。品質を示すとき、当然シズビシや材中に巻き込まれたフシも同様に問題の対象となるが、これらについてはうまい区分の方法がないこと、またイキブシの多い、すなわち枝下高の低い保育形式では、枝が太くなってから枯れるので当然落枝もおそく、シズビシも多くなるはずで、さらに材中のフシも大きくなると考えることができるから、品質の傾向を知るには十分と考えた。

第 24 表 4 m 材の径級区分

Table 24. Classification of 4 m length log

区 分 Classification	符 号 Symbol	末口直径階(cm) Top diameter class
小丸太 Small log	I	6~12
中丸太 Median log	II	14~20
	III	24~28
大丸太 Large log	IV	30 above



斜線部分は枝下高より上の部分で採材，白色部分は枝下高より下の部分で採材，I，II，III，IVは第 26 表参照。

Oblique line parts are logged from stem within living crown, and open parts are logged from clear stem I, II, III and IV see Table 26.

第 64 図 4 m 材の採材本数

Fig. 64. Number of 4 m length logs.

第25表 4 m材の径級別品質別百分率
Table 25. Percentage of log number and log volume on diameter class and log quality of 4 m length log
30年生林分 Age class 30 years

区 分 Log number or log volume	末口直径階 Top diameter class	Yoshino 31 yrs.			Nishikawa 29 yrs.			National Forest 29 yrs			Obi 31 yrs.		
		上 Good	下 Poor	計 Total	上 Good	下 Poor	計 Total	上 Good	下 Poor	計 Total	上 Good	下 Poor	計 Total
本数百分率 Log number percentage	I	63.9	17.5	81.4	52.5	21.3	73.8	27.1	35.4	62.5	3.1	31.7	34.8
	II	18.6	—	18.6	26.2	—	26.2	30.3	3.0	33.3	24.1	18.6	42.7
	III	—	—	—	—	—	—	4.2	—	4.2	20.9	1.6	22.5
	計 Total	82.5	17.5	100	78.7	21.3	100	57.4	42.6	100	48.1	51.9	100
材積百分率 Log volume percentage	I	54.8	9.9	64.7	43.6	9.9	53.5	20.2	16.2	36.4	1.4	9.3	10.7
	II	35.3	—	35.3	46.5	—	46.5	46.2	5.0	51.2	27.5	18.0	45.5
	III	—	—	—	—	—	—	12.4	—	12.4	41.0	2.8	43.8
	計 Total	90.1	9.9	100	90.1	9.9	100	78.8	21.2	100	69.9	30.1	100

45年生林分 Age class 45 years

区 分 Log number or log volume	末口直径階 Top diameter class	Yoshino 45 yrs			National Forest 45 yrs			Obi 45 yrs		
		上 Good	下 Poor	計 Total	上 Good	下 Poor	計 Total	上 Good	下 Poor	計 Total
本数百分率 Log number percentage	I	27.4	15.6	43.0	6.1	24.6	30.7	—	21.5	21.5
	II	43.0	3.7	46.7	23.6	16.1	39.7	6.1	20.2	26.3
	III	10.3	—	10.3	25.1	2.0	27.1	17.2	11.0	28.3
	IV	—	—	—	2.5	—	2.5	23.3	0.6	23.9
	計 Total	80.7	19.3	100	57.3	42.7	100	46.6	53.4	100
材積百分率 Log volume percentag	I	11.3	4.9	16.2	1.6	6.0	7.6	—	3.4	3.4
	II	54.5	3.7	58.2	22.9	12.9	35.8	3.9	10.9	14.8
	III	25.6	—	25.6	45.2	3.6	48.8	21.0	12.2	33.2
	IV	—	—	—	7.8	—	7.8	47.5	1.1	48.6
	計 Total	91.4	8.6	100	77.5	22.5	100	72.4	27.6	100

上は枝下高より下の部分で
採材。

下は枝下高より上の部分で
採材。

I, II, III, IVは第26表参照。
Good and poor show log
quality.

Good are logged from clear
stem, and poor are logged
from stem within living
crown.

I, II, III and IV see Table
26.

上述の区分にしたがって採材量を比較するために、まず各林分の標本木について、皮付胸高直径と地上 4 m, 8 m, 12 m……と 4 m ほどの皮無直径の関係を求めた。そして、標本林分内の全立木について、胸高直径と枝下高から 1 本 1 本の丸太の末口径と品質を区分し、集計して ha あたりの数値に換算した。

第 64 図に林齢約 30 年, 45 年で主伐とし、4 m 材を採材したときの各保育形式の、また国有林の 53 年, 吉野の 60 年を主伐としたときの丸太本数を示す。第 25 表に林齢約 30 年と 45 年のときの径級別、品質別の割合を示しておく。この表や第 64 図でもわかるように、フシの多い丸太は低密度管理されるほどその割合は著しく大となる。

また、約 30 年で主伐にすると高密度管理される吉野や西川ではⅠの 6～12 cm の径級の丸太が多く収穫され、国有林ではⅡの 14～20 cm の中丸太のなかでも細いものが、さらに餌肥のように低密度管理されると大部分が 14～28 cm の中丸太ⅡとⅢになることがわかる。

さらに 45 年を主伐の時期とした場合、高密度管理される吉野ではⅡの径級が最も多く、国有林はⅡ, Ⅲの径級が多く、餌肥のように低密度管理されるとⅣの大丸太が相当量生産されることがわかる。また国有林の 53 年と吉野の 60 年ではⅡ, Ⅲの径級が多い。

したがって、伐期にⅠの小丸太を生産の目標として考えるならば、30年くらいの伐期で吉野や西川のような密度管理をおこなえばよいことになる。Ⅱの中丸太でも細い材を目標と考えるならば、国有林のような密度管理で 30 年くらいで主伐にするか、吉野のように高密度管理をおこなって 45 年くらいの伐期にするかが考えられる。Ⅲの中丸太でも太いものを目標とするならば、餌肥のように低密度管理をおこなって 30 年くらいで伐るか、国有林のような密度管理で 45～50 年、吉野のような高密度管理で 60 年前後の伐期を考えればよいことになる。さらに、Ⅳの大丸太を主伐に収穫しようとするならば、餌肥のような低密度管理で 45 年、国有林のような密度管理では、この調査からは明らかでないが収穫表の数値から考えると 60 年以上、吉野のような高密度管理では 80 年以上を伐期として考えなければならないだろう。

量的な面について述べると、同一径級の丸太を生産しようとするならば、高密度管理をして伐期を長くした方が収穫量は多くなり、また伐期が同じでなるべく径級の太い丸太を生産しようとするならば、低密度管理をおこなえばよいが、このばあいには総収穫量に犠牲を払うことを覚悟しなければならない。

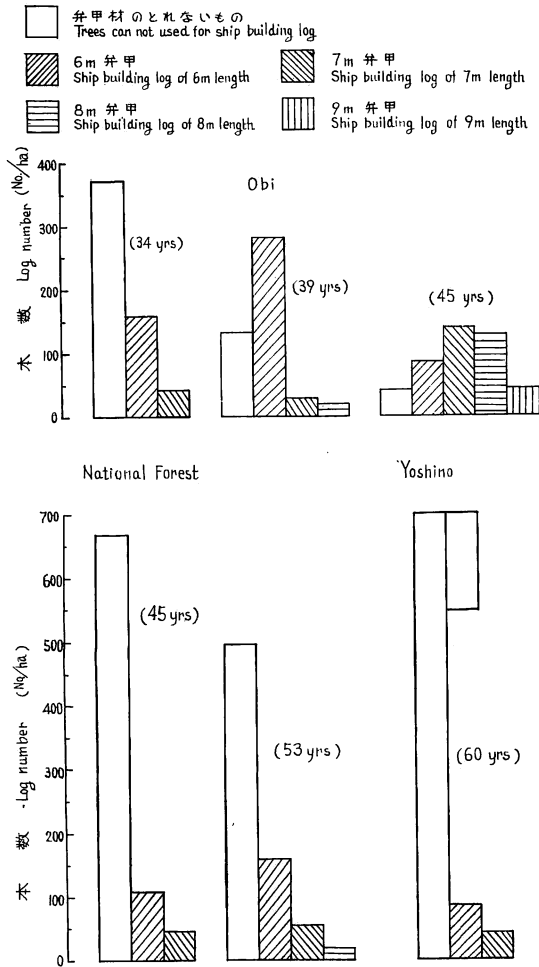
ii) 弁甲材の採材

餌肥地方では古くから弁甲材の生産が主目標とされているので、弁甲材についての採材を比較してみよう。弁甲材は木造船用材の日本農林規格として第 26 表のように示されている。この規格にあてはまる材が、それぞれの保育形式で林齢別にどのくらい収穫されるかを示したのが第 65 図である。これらは 4 m 材の採材と同様、標本木の胸高直径と地上 3.0, 3.5, 4.0…m の周囲長との関係を求めておいて、標本林

第 26 表 弁甲材の規格（木造船用材の日本農林規格）

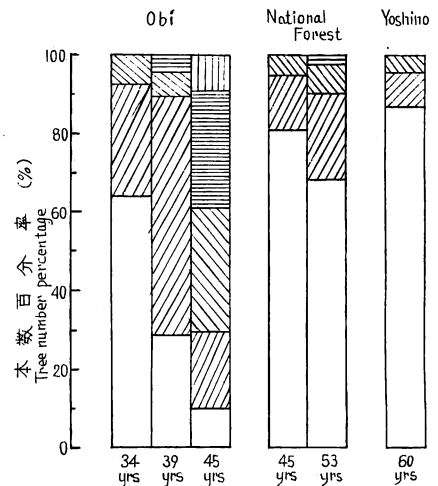
Table 26. Classification of ship building log of Japanese Agriculture Standard

名 称 Classification	中央周囲 (cm) Middle circumference
6 m 弁甲 6 m length log	90以上 above
7 m 弁甲 7 m length log	100以上 above
8 m 弁甲 8 m length log	110以上 above
9 m 弁甲 9 m length log	120以上 above
10 m 弁甲 10 m length log	130以上 above
11 m 弁甲 11 m length log	140以上 above
12 m 弁甲 12 m length log	150以上 above



第 65 図 弁甲材の採材本数

Fig. 65. Number of ship building log.



符号は第 65 図参照

Symbols see Fig. 65.

第 66 図 弁甲材の採材本数割合

Fig. 66. Number percentage of ship building log.

分内の全立木について胸高直径からどの規格の弁甲材がとれるかを求めたものである。

飢肥では 34 年の林分ですでに弁甲材の採材が可能であるが、国有林では 45 年、吉野では 60 年にならないと弁甲材が採材できない。また第 66 図に弁甲材の採材本数百分率を示した。飢肥では 45 年になると 90% の立木から弁甲材がとれるが国有林では 53 年で約 30%、吉野の 60 年では、わずかに 10 数%が採

材されるにすぎない。弁甲材のような特殊材を短期間に収穫するためには、飢肥のような低密度管理はすぐれた方式であるといえよう。しかしながら、2. で述べたように、年輪幅に造船用材の規格⁷⁴⁾⁸⁷⁾に照して問題があるので、密度管理については将来さらに具体的な検討をおこなう必要があるといえよう。

結 言

スギの保育形式のなかから、その密度管理と生産材の特徴の著しい吉野、西川、国有林および飢肥の保育形式をえらび、生育にともなう林分構造要因の経過や物質生産や間伐の特徴、さらに生産材の形質について検討を加えた。

これまで、保育形式の成長にともなう林分構造の変化や生産材の量は、それぞれの地方の収穫表をもとに比較されてきていた。しかしながら、収穫表の調製方法や表示方法は地方によってちがうので、収穫表に示された数値を同一の基礎に立って比較することができなかった。この調査の目的はこのように直接比較できなかった諸数値や、収穫表にもられていない諸数値について相互に比較し、保育形式の得失を論じら

れるような資料を現実の施業林からえようということであった。このような調査の初期の目的は十分に達せられ、保育形式すなわち林分の密度管理について有用な資料が提供されたものとする。

これまでの解析の結果を総合的に考えると、いままで断片的な知識から概念的に考えられていた現実林の経営における密度管理と林分構造と生産材の関係を、この調査でえられた実数を基礎に具体的に認識することができた。

これらの資料によって、現実林を取り扱う上での実行指針にもふれるべきであろうと考えるが、これらについては筆者の1人である安藤⁸⁾が、別途取りまとめをすすめているのでそちらにゆずりたい。

要 約

スギの保育形式のなかから密度管理と生産材に特徴の著しい密植密仕立長伐期型の吉野保育形式、密植密仕立短伐期型の西川保育形式、中庸植中庸仕立長伐期型の国有林保育形式および疎植疎仕立長伐期型の低肥保育形式の4形式を選び、林分構造要因や生産材の形質などのちがいを明らかにした。

1. 保育形式間の林分構造要因の時間的経過は、これまでに知られている密度と成長にともなう経過とよく一致した。

2. 同一林齢において、高密度に管理されるほど小となり、低密度に管理されるほど大となるものは平均胸高直径、平均断面積、平均幹材積、平均幹重、平均枝重、平均葉重、平均地上部重、平均樹冠長、haあたり枝重などであつた。

3. 同一林齢において、高密度に管理されるほど大となり、低密度に管理されるほど小となるものは平均枝下高、haあたり断面積、haあたり幹材積、haあたり幹重、haあたり葉重、haあたり地上部重などである。

4. haあたり葉量は巨視的にみると17~30 ton/ha、平均22 ton/haくらいと考えられる。この量は他の常緑針葉樹に比し大きな値であるが、スギの場合は葉として区別した緑色部分には木化した部分がかなり含まれていることにもよる。また、こまかく葉量の経過をみると同一林齢ならば高密度管理されるほどやや多い傾向が認められ、林齢とともに増加して20~25年ころに23~25 ton/haの1つの頂点がみられる。この頂点に達する時期は高密度管理されるほど早くなるようで、その後40年ころまでは17~21 ton/haとやや低い値を保ち、その後ふたたび増加するような傾向が認められた。このような傾向に関連して、この調査以外の資料を加え、相対的な密度を加味して検討を加えたが、閉鎖が十分と考えられる林分については、全く同様な傾向が認められた。

5. 地上部重に対する幹重の割合は高密度管理されるほど大となり、枝の割合は低密度管理されるほど大となり、また葉の割合は高密度管理されると幼齢期にはいくぶん低くなるが、30年を越えるとほとんどかわらない。

6. 平均個体の地上部重と部分重、胸高直径と部分重の時間方向の相対成長関係は、 $\log x = h \log w + A'$ (x : 任意の部分量, w : 他の部分量) で示され、いずれの関係も密度管理によるちがいが認められた。相対成長係数 h は w の増加にともなう x の増加率を示すが、この値は幹重、地上部重、枝重、葉重の順に小となる。これは幹では蓄積された物質がそのまま残るが、枝や葉では落枝、落葉となって失われ、さらに枝は葉よりも着生期間が長いためと考えられる。また密度方向の相対成長関係も上式によって示された。さらに林分内個体の胸高直径と部分重の関係も、上式で示される。葉と枝の林分内個体の相対成長係数は

平均個体の時間方向、または密度方向の相対成長係数より大きい、幹重では逆で、地上部重についてはあまり違いが認められなかった。

7. 純生産量は高密度管理されるほど大であるが、その傾向は幼齢時代に著しい。閉鎖林分の純生産量は 15~20 ton/ha・yr, 平均 17 ton/ha・yr と考えられる。全純生産量の幹への分配率は高密度管理されるほど大で、枝への分配率は低密度管理されるほど大きく、葉、根への分配率はあまりかわらなかった。成長率(RGR)は林齢とともに減少し、10年生では高密度管理されるほど小であるが、それ以上の林齢では密度管理によって大きなちがいを示さない。純同化率(NAR)は20年ごろまでは多少増加し、それ以後はほぼ一定の値を保ち、さらに林齢が増すと多少減少する傾向がみられるが、密度管理によって大きなちがいは認められなかった。葉重量比(LWR)、は林齢とともに減少し、10年生ころには高密度管理するほど小さい値を示すが、それ以上の林齢では密度管理によって大きな違いは認められなかった。成長率が林齢とともに減ずることは葉重量比の影響を強くうけるためと考えられる。

8. 葉の幹生産能率は25年前後にゆるい頂点が認められ、この値は 0.8~1.2 l/kg または 0.3~0.4 kg/kg と考えられ、密度管理との関係は明らかでなかった。

9. 齢階ごとに密度と地上部重、幹重、幹材積および断面積の関係は密度効果の逆数式によってよく近似される。逆数式の常数と齢階または齢階ごとの平均樹高の間には両対数軸上で直線関係が認められた。

10. 間伐木の選木方法は相対度数分布の上で保育形式によってちがうことが示された。

11. 間伐木の平均的な大きさは間伐木の選定方法にちがいがあっても、高密度管理されるか低密度管理されるかによって決まり、高密度管理されるほど小さい。

12. 間伐により失われる現存量は保育形式によってちがいが認められ、また本数間伐率にもちがいが認められた。

13. 間伐前の密度 ρ と現存量 y , 間伐後の密度 ρ' と残存量 y' の間には $\log y = b \log \rho + a$ または $\log y' = b' \log \rho' + a'$ の関係が認められ、これらの関係は密度管理によって大きくかわった。

14. 伐期に収穫される立木の幹の形は高密度管理されるほどカンマンで、低密度管理されるほどウラゴケであった。

15. 胸高における年輪幅は低密度管理されるほど広く、したがって年輪密度は小となった。

16. 4 m 材を採材し、30年を伐期とすると吉野と西川では小丸太が、国有林では中丸太の細いものが、飢肥では中丸太がおもに収穫され、45年を伐期とすると吉野では中丸太の細いものが、国有林では中丸太が、飢肥では大丸太が収穫され、国有林の53年や吉野の60年では中丸太がおもに収穫される。

17. 同じ径級の丸太を収穫するならば、高密度管理をして伐期を長くした方が伐期にえられる丸太の材積は多くなる。また高密度管理するほどフシの少ない良材の収穫される割合が高くなる。

18. 弁甲材を採材すると飢肥では34年の林分から採材可能で、45年では総本数の90%から採材が可能となるが、国有林では45年、吉野では60年にならないと採材ができず、国有林の53年で約30%、吉野の60年では10数%の採材ができるにすぎない。飢肥のような低密度管理は短期間に長大径材を生産するのに有利な方式といえることができる。

文 献

- 1) 安藤 貴・蜂屋欣二・土井恭次・福田英比古：標本調査によるスギの単木および林分枝葉量の推

- 定, 日林誌, 41, pp. 117~124, (1959).
- 2) ———・片岡寛純: スギの枝の容積密度数, 同上, 43, pp. 280~283, (1961).
 - 3) ———: 植栽本数の多少とその効果, 植栽本数の決め方, 山林, 938, pp. 1~8, (1962).
 - 4) ———・坂口勝美・成田忠範・佐藤昭敏: アカマツ天然生除伐試験林の解析, 第1報, 生育経過と相対成長, 林試研報, 144, pp. 1~30, (1962).
 - 5) ———: 同上, 第2報, 本数密度を中心とした解析, 同上, 174, pp. 45~77, (1962).
 - 6) ANDO, T.: Estimation of dry-matter and growth analysis of the young stand of Japanese black pine (*Pinus Thunbergii*), Advancing Frontiers of Plant Sci., 10, pp. 1~10, (1965).
 - 7) 安藤 貴: 相対生長法による林分の現存量推定についての問題点, 76回日林講集, pp. 171~172, (1965).
 - 8) ———: 同齡単純林の密度管理に関する生態学的研究, (未発表)
 - 9) ASSMANN, F.: Waldertragskunde. Organische Production, Structure, Zuwachs und Ertrag von Waldbeständen, pp. 490, (1961).
 - 10) BOYSEN-JENSEN: Die Stoffproduktion der Pflanzen, pp. 108, (1932).
 - 11) BRAATHE, P.: The thinning in even-aged stands, A Summary of European Literature, Faculty of Forestry of New Brunswick, pp. 92, (1957).
 - 12) BURGER, H.: Holz, Blattmenge und Zuwachs. V Fichten und Fören verschiedener Herkunft auf verschiedenen Kulturorten. Mitt. Schweiz. Anst. forstl. Verswes., 22, pp. 10~62, (1941).
 - 13) BURNS, G.P. and F.S. IRWIN: Studies in tolerance of New England forest trees. XIV Effect of spacing on the efficiency of white and red pine needles as measured by the amount wood production on the main stem, Vt. Agr. Exp. Sta. Bull., 499, (1942).
 - 14) EIDE, F. and A. LANGSAETER: Produksjonsundersøkeiser i granskog (Referat: Produktionsundersuchungen von Fichtenwald) Medd. f. Det norske Skogsforsökswesen, VII, pp. 356~500, (1941).
 - 15) 蛸屋欣二・安藤 貴: スギ人工林の密度と生長 (三股植栽密度比較試験地の解析), 75回日林講集, pp. 340~342, (1964).
 - 16) ———・———: 植栽本数と間伐, 保育形式の決め方, pp. 52, (1964).
 - 17) ———・土井恭次・小林令爾: アカマツ林の林分成長の解析, 岩手地方壮齡人工林の一例, 林試研報, 176, pp. 75~88, (1965).
 - 18) ———・棚秋一延・成田忠範: アカマツ天然生林の林分生長の解析, 地位のちがいと生長の関係, 76回日林講集, pp. 161~162, (1965).
 - 19) ———・安藤 貴: スギ人工林の密度と成長, (未発表)
 - 20) 穂積和夫・篠崎吉郎: 植物生長のロジスチック理論, 植物生態学(2), 生態学大系2上, pp. 272~304, (1960).
 - 21) 早尾丑麿(編): 日本主要樹種林分収穫表, pp. 494, (1961).
 - 22) 石崎厚美: 飢肥林業, 林業技術, 223, pp. 38~43, (1960).
 - 23) ———: 冠雪害とスギの品種, 同上, 279, pp. 12~15, (1965).
 - 24) JOERGENSEN, C.: Thinning experiments, B.C. For. Ser. Pub., T. 45, (1957).
 - 25) 加納 孟・枝松信之・蕪木自輔: 製材用原木としてのスギ造林木の品質 第2報 西川産材, 林試研報, 134, pp. 59~114, (1961).
 - 26) ———: 保育と材質, 造林ハンドブック, pp. 277~287, (1965).
 - 27) ———・枝松信之・蕪木自輔・斎藤久夫: 製材用原木としてのスギ造林木の品質 第3報 保育形式の異なる造林木の品質, 林試研報, 185, pp. 57~197, (1966).
 - 28) 荻住 昇: 本数密度と根の成長, 山林, 946, pp. 10~21, (1963).
 - 29) ———: 育苗育林技術の基礎としての, 根の働きと生長, わかりやすい林業研究解説シリーズ,

- 3, pp. 56, (1963).
- 30) 加藤亮助: 植付様式をかえればあいのカラマツの本数密度と生産量, 林試北海道支場年報, pp. 17~29, (1959).
- 31) ———: カラマツ幼令林における密度効果の一例, 北方林業, 11, pp. 27~30, (1959).
- 32) ———: トドマツ人工林の解析の一例, その現存量と相対生長, 同上, 13, pp. 27~30, (1961).
- 33) 加藤善忠・蜂屋欣二: 除伐・間伐, 造林ハンドブック, pp. 255~270, (1965).
- 34) 吉良竜夫(編): 密度, 競争, 生産, みやま, 8, pp. 13~24, 9, pp. 9~18, 11~12, pp. 34~45, (1957).
- 35) ———: 相対生長, 植物生態学 2, 生態学大系 2, 上, pp. 265~272, (1960).
- 36) ———: 高等植物の相対生長 I, 時間以外の生長要因と相対生長, 成長, 2, pp. 1~9, (1963).
- 37) ———: 原生林保護の必要とその生態的意義, 日生態誌, 13, pp. 67~73, (1963).
- 38) 北村又左衛門: 吉野林業概要, pp. 110, (1941).
- 39) 熊井正善: 西川林業, 林業技術, 220, pp. 39~44, (1960).
- 40) LANGSAETER, A.: Om tynning i enaldret gran-og furuskog (Referat: Produktionsundersuchungen von Fichtenwald), Medd. f. Det. norske Skogforsöksvesen, VIII, pp. 131~216, (1941).
- 41) 丸山岩三・佐藤正林: 林木および林分の葉量に関する研究(第1報)岩手県地方のアカマツについて, 林試研報, 65, pp. 1~10, (1953).
- 42) 松島良雄: 吉野のスギ林業, スギの研究, pp. 716~752, (1955).
- 43) 森庄三郎: 挿画吉野林業全書, 441pp., (1898).
- 44) MÖLLER, C.M.: Untersuchungen über Laubmenße, Stofferlust und Stoffproduktion des Waldes, Beret. f. Det forstlige Forsøgsvaesen i Danmark, 17, pp. 1~287, (1945).
- 45) ———: The effect of thinning, age and site on foliage, increment and loss of dry matter, J. For., 45, pp. 393~404, (1947).
- 46) MONSI, M. und T. SAEKI: Über den Lichtfactor in dem pflanzengesellschaften und seine Bedeutung für die Stoffproduktion. Jap. J. Bot., 14, pp. 22~52, (1953).
- 47) 日本建築学会: 木構造設計基準・同解説, p. 18, (1961).
- 48) OSHIMA, Y., M. KIMURA, H. IWAKI and S. KUROIWA: Ecological and physiological studies on the vegetation of Mt. Shimagare. I. Preliminary survey of the vegetation of Mt. Shimagare. Bot. Mag. Tokyo, 71, pp. 289~301, (1958).
- 49) OVINGTON, J.D.: Dry-matter production by *Pinus sylvestris* L., Annals of Botany, N.S., 21, pp. 287~314, (1957).
- 50) ——— and H. A. MADGWICK: The growth and composition of natural stands of Birch, 1. Dry-matter production, Plant and Soil, X, pp. 271~283, (1959).
- 51) 林業試験場: 昭和38年度林業試験場年報, (1964).
- 52) 林野庁・林業試験場: 北関東・阿武隈地方すぎ林林分収穫表, (1955).
- 53) ———: 短期育成林業立木密度調査補助金, 都道府県林業試験指導機関試験費補助金実施要領, (1962), (1963).
- 54) ———: 短期育成林業立木密度調査, 昭和38年度林業試験報告, pp. 3~14, (1965).
- 55) 埼玉県林務課: 西川林業, pp. 5, (1954).
- 56) 坂口勝美・土井恭次・安藤 貴: 立木密度からみたアカマツ幼齡林の生産構造, アカマツ研究論集, pp. 312~327, (1954).
- 57) ———: 間伐, 特に定量的間伐への発展, 育林学新説, pp. 164~194, (1955).
- 58) ———・土井恭次・安藤 貴・福田英比古: 本数密度からみた天然生幼齡林分の解析, 林試研報, 93, pp. 1~23, (1957).

- 59) ———: 間伐の本質に関する研究, 同上, 131, pp. 1~95, (1961).
- 60) 三大学合同調査班: スギ林の生産力に関する研究, 大阪営林局, pp. 58, (1964).
- 61) 佐藤大七郎・中村賢太郎・扇田正二: 林分生長論資料, 立木密度のちがう若いアカマツ林, 東大演報, 48, pp. 65~90, (1955).
- 62) ———: 林木の生長の物質的基礎: 育林学新説, pp. 116~141, (1955).
- 63) ———・功力六郎・桑川昭夫: 林分生長論資料 3, チョウセンヤマナラシの再生林における葉の量と生長の関係, 東大演報, 52, pp. 33~51, (1956).
- 64) ———・扇田正二: 同上 4, わかいヒノキ人工林における葉の量と生長量の関係, 同上, 54, pp. 71~100, (1958).
- 65) ———・根岸賢一郎・扇田正二: 同上 5, 上層間伐をおこなったケヤキ人工林における葉の量と生長量, 同上, 55, pp. 101~123, (1959).
- 66) ———: 森林の保育と林木の生理, 林業技術, 246, pp. 6~11, (1962).
- 67) SATOO, T.: Note on KITTREDGE method of estimation of amount of leaves of forest stand. J. Jap. For. Soci., 44, pp. 267~272, (1962).
- 68) ———: Further note on the method of estimation of the amount of leaves of forest stand, Ibid. 47, pp. 185~189, (1965).
- 69) 佐藤大七郎: 林木, 造林学, pp. 14~27, (1965).
- 70) ———: 苗木の生長, 造林ハンドブック, pp. 203~211, (1965).
- 71) 扇田正二・佐藤大七郎: 林分生長論資料 2, いろいろなツヨサの間伐をした北海道のストロームマツ林, 東大演報, 52, pp. 15~31, (1956).
- 72) 四手井綱英(編): アカマツ林の造成, 基礎と実際, pp. 326, (1963).
- 73) SHINOZAKI, K. and T. KIRA: Intraspecific competition among higher plants. VII Logistic theory of the C-D effect. Jour. Inst. Polytech., Osaka City Univ., D. 7, pp. 35~72, (1956).
- 74) 舟艇会: 軽構造木船建造基準案とその解説, p. 4, (1963).
- 75) 只木良也・四手井綱英: 森林の生産構造に関する研究 I, アキニレ稚樹林における葉量の時期的変化とその乾物生産, 日林誌, 42, pp. 427~434, (1960).
- 76) ———・———: 林木の競争に関する研究 III, アカマツ幼樹を用いた小型林分での機械的な間伐試験, 同上, 44, pp. 129~139, (1962).
- 77) ———・———: 数量的間伐に関する生態学的研究, 京大演報, 34, pp. 1~31, (1963).
- 78) ———: 森林の生産構造に関する研究 IV, 林分および単木の葉量についての若干の考察, 日林誌, 45, pp. 249~256, (1963).
- 79) ———・尾方信夫・長友安男・吉岡 清・宮川良幸: 同上 VI, 足場丸太生産スギ林の生産力について, 同上, 46, pp. 246~253, (1964).
- 80) ———・———・———: 九州スギ林の物質生産力, 林試研報, 173, pp. 45~66, (1965).
- 81) TADAKI, Y: Some discussions on the leaf biomass of forest stands and trees. Bull. Gov. For. Exp. Sta., Tokyo, 184, pp. 135~161, (1966).
- 82) 寺崎 渡: 実験間伐法要綱, 239 pp., (1928).
- 83) ———: 大和国吉野杉林ニ於テ慣用セル間伐方法及其林木の物質的生長ニ及ボス効果ノ調査, 林試研報 4, p. 177~299, (1907).
- 84) ———・林 敬太: 間伐の林冠疎開度 G'/G と間伐本数率 N'/N との関係, 68回日林講集, pp. 205~207, (1958).
- 85) 寺崎康正: スギ林の間伐, スギの研究, pp. 257~283, (1955).
- 86) 汰木達郎: 林木の成長を支配する要因に関する解析的研究, 九大演報, 37, pp. 85~178, (1964).
- 87) 運輸省: 木船構造規則・船舶検査心得, (1964).

- 88) WEETMAN, G.F. and R. HARLAND: Foliage and wood production in unthinned Black spruce in Northern Quebec. For. Sci., 10, pp. 80~88, (1964).
89) 山内規矩馬: 飼肥のスギ林業, スギの研究, pp. 606~623, (1955).
90) 四大学合同調査班: 森林の生産力に関する研究 第 1 報, 北海道主要針葉樹について, 国策パルプ工業 K.K., pp. 98, (1960).
91) 四大学および信大合同調査班: 同上, 第 II 報, 信州産カラマツ林について, 日林協, pp. 60, (1964).
92) 造林研究室: アカマツ保育形式比較試験久慈試験地設定報告, 研究だより, 106, pp. 1~6, (1959).
93) ———: カラマツ保育形式比較試験岩村田試験地設定報告, 長野林友, 1962/9, pp. 46~58, (1962).

**Studies on the System of Density Control
of Sugi (*Cryptomeria japonica*) Stand**

Takashi ANDO, Kinji HATIYA, Kyooji DOI, Hirozumi KATAOKA,
Yoshitada KATO and Katsumi SAKAGUCHI

(Résumé)

In our national forest and prominent private forests, their artificial even-aged stands have been managed with various systems of density control corresponding to the various economical purposes. The system of stand density control consists of the control of planting number of seedlings and thinning schedule mainly. In a recent paper, one of the authors, SAKAGUCHI⁵⁹⁾ typified these systems qualitatively and asserted that the techniques of density control are most important in silviculture, and the quality and size of produced timber are greatly affected by them. However, the quantitative study for the density control from planting to final cutting in commercially managed stands with the various systems of density control are scanty.

The object of this paper is to clarify quantitatively the difference of stand structure and produced timber depending on the difference of the system of density control among the group of commercially managed stands.

Investigated systems and method

From the systems of stand density control typified by SAKAGUCHI⁵⁹⁾, the most important and representative systems of Sugi (*Cryptomeria japonica*) were selected as follows:

1. Dense planting, frequent thinning and long cutting period system in Yoshino district, Nara Prefecture.

Planting number of seedlings is 10,000~20,000 per ha. Frequent thinning is done from early stage. About 10 years after planting, usually branches are pruned till 1.2~1.5 m above ground and the pruning is done only once. Final cutting period is about 60 years or more. The produced timber of final cutting has been used for wine barrel manufacture before the Second World War, but nowadays is used for the superior large timber members of buildings (especially boards) or general use.

2. Dense planting, light thinning and short cutting period system in Nishikawa district, Saitama Prefecture.

Planting number of seedlings is 4,000~4,500 per ha. Frequent light thinning is done. At

10~13 years after planting, usually branches are pruned till 1.0~1.2 m above ground. Repeated pruning is done till 3.5~4.0 m at 18~20 years and till 5.4~9.0 m at 25~26 years. Final cutting period is 35~40 years. The produced timber of final cutting is used as squared or pillar timber.

3. Moderate planting, moderate thinning and long cutting period system in National Forest.

Kitakanto-Abukuma National Forests (Ibaragi and Fukushima Prefecture) was selected for this investigation. Planting number of seedlings is 3,000 per ha. Frequent B grade thinning is done. Usually, pruning is not done. Final cutting period is about 60 years. The produced timber of final cutting is used as saw timber and for general purposes.

4. Sparse planting, light thinning and long cutting period system in Obi district, Miyazaki Prefecture.

Planting number of cuttings is about 1,500 per ha. Pruning is not done. Final cutting period is 45~50 years. The produced timber of final cutting is used for ship building.

The field works for this study were carried out from 1956 to 1960 as shown in Table 1. Table 2 shows standard values in the yield tables of selected systems. In each district the standard plots that fitted in the values of Table 2, were sampled with 5-year interval from 10-year-old to the final cutting period. In each plot, comprising 40~50 trees, the diameter at breast height, tree height, and clear length of all trees were measured. The 8~9 trees selected as samples were felled and their stem, branches and leaves were weighed.

The measurements of sample trees and stands are shown in Table 3~6, and 7~10. The standing crop per ha was estimated by the ratio estimate method which was reported in preceding papers¹⁾⁵⁾.

Results

i) Time trends of the stand structure elements

The time trends of the amount of stand structure elements per ha and per tree are shown in Fig. 2~18. These trends agree with the well-known relations between stand density and growth. That is, at same stand age, average crown length, average diameter at breast height, average basal area, average stem volume, average stem weight, average branch weight, average leaf weight, average above-ground part weight and branch weight per ha in such lower density controled district as Obi are larger than those in such higher density controled district as Yoshino, in general.

Otherwise, average clear length, basal area per ha, stem volume and weight per ha and above ground part weight per ha are larger in higher density controled districts.

The leaf weight per unit area increases with increasing stand density; however, after full closure of canopy, leaf weight keeps approximately constant as shown in Fig. 15. But microscopically considered, it seems that leaf weight increases towards a maximum of about 23~25 ton/ha at 20~25 yr.-old and after that decreases to 17~21 ton/ha, and then increases again in stands over 45 years old.

The ratio of stem weight to above-ground part weight is larger in higher density controled districts, whereas the ratio of branch weight is smaller in higher density. Leaf weight ratio in younger stage, is larger in higher density but after 30 yr.-old, the difference of ratio is not recognized clearly.

ii) Allometric relations

The allometric relations for average trees of different stands with comparable nature, are held with respect not only to time but also to density as were recognized by KIRA³⁵⁾³⁶⁾. These relations

are shown in the following equations:

$$x = Aw^h \dots\dots\dots (3)$$

x : Amount of arbitrary part, w : Amount of other part, A, h : Constants.

Now, assuming that the variations of x and w are caused by time (t) or stand density (ρ).
From (3)

$$\frac{1}{x} \cdot \frac{dx}{dw} = h \cdot \frac{1}{w} \dots\dots\dots (4)$$

and from (4)

$$\frac{1}{x} \cdot \frac{dx}{dt} = h \cdot \frac{1}{w} \cdot \frac{dw}{dt} \dots\dots\dots (5)$$

$$\frac{1}{x} \cdot \frac{dx}{d\rho} = h \cdot \frac{1}{w} \cdot \frac{dw}{d\rho} \dots\dots\dots (6)$$

“Time dependent allometry” that includes the content of equation (5) is shown in Fig. 22 ~23 and Table 11~12. And “density dependent allometry” that includes the content of equation (6) is also shown in Fig. 24~25 and Table 13~14. The slope of the time dependent allometric equation reflected the difference of the system of density control. And the values of slope (h) of the relations between the diameter at breast height and the weight of various parts, become smaller in the order of: stem, above-ground part, branch and leaf.

These allometric relations are expressed by equations of the same form for both the relation of individual trees within a stand and for the average trees of different stands of comparable nature. Table 15 shows the relationships within stands and Fig. 26, in addition to the relationship within stands gives the relationship for average trees among stands in Yoshino district.

The slope of the equation for the time dependent allometry of leaf weight between stands is always smaller than the slope of relationship within stands, as was described already by SATO⁶⁷⁾⁶⁸⁾.

In the allometry of branch weight, the relation is similar to the leaf. But, on the contrary, the slope of the stem allometric relation between stands was larger than that of the relation within stands.

iii) Annual production of dry matter

The net production here means the production of living substances, which are mainly stems, branches, leaves and roots. Stem production was calculated by stem analysis method. Two estimations of branch production were examined; one of these was calculated by branch analysis method and the other was estimated using the time dependent allometry between average diameter at breast height and branch weight among stands in each district. The annual branch production in the latest one year are shown in Table 16.

The new leaves were regarded as 1/4 of the whole leaves in weight tentatively. Root production was estimated from the above-ground part weight to root weight (T/R ratio=3.5).

The net production of each stand, including the amount of increment in each organ is shown in Table 17. The net production is larger in higher density controlled districts, and this trend is remarkable in the younger stage. It seems that the net production reaches a maximum value at about 20 yr.-old in each district, regardless of the system of density control.

The net production of dense stand was 15~20 ton/ha·yr. generally. The ratios of distribution of annual products among various organs are shown in Table 18.

The relation among the standing crops of whole plants (y), the net production (Δy) and the leaf weight (y_L) are shown in the following:

$$\Delta y/y = \Delta y_L/y_L \times y_L/y \dots\dots\dots (8)$$

where $\Delta y/y$ represents the relative growth rate (RGR), $\Delta y/y_L$ the net assimilation rate (NAR) and y/y_L the leaf weight ratio (LWR). And these values shown in Table 19.

The annual volume and weight production of stems per ha in the latest one year are shown in Fig. 28~29. These values increase with increasing stand age till about 25 yr.-old and after that decrease gradually. The maximum values of these were 20~27 m³/ha or 7~10 ton/ha, and the values of higher stand density controlled district are larger than those in the lower.

The stem production per unit weight of leaves is shown in Fig. 30~31. The time trends of these values are nearly equal to the trend of annual stem production as above mentioned, and the maximum values of these were 0.8~1.2 l/kg or 0.3~0.4 kg/kg, regardless of the system of density control.

iv) Stand density and standing crop

The competition-density effect and the yield-density effect which were found by KIRA *et al.*⁽²⁰⁾⁽³⁴⁾⁽⁷³⁾ with herbaceous plants, have been recognized to be applicable also in the case of woody plants. When the growth factors other than stand density are equally supplied, after a certain period of growth, the relations between stand density (ρ) and average amount (w) or yield amount per unit area (y) are given by the reciprocal equations of density effect as follows:

$$1/w = A\rho + B \dots\dots\dots (9)$$

$$1/y = A + B/\rho \dots\dots\dots (10)$$

where A and B are constants determined by the growth stage. These relations of above-ground part weight, stem weight, stem volume and basal area are shown in Fig. 32~33 and Table 20.

Relations between A and B which are the constants of reciprocal equation of density effect and stand age or average height (x) are given approximately by the following equations⁽³⁾⁽⁵⁾:

$$\left. \begin{array}{l} \log A = -b \log x + a \\ \log B = -b' \log x + a' \end{array} \right\} \dots\dots\dots (11)$$

where a , a' , b and b' are constants. These relations are shown in Fig. 34~35 and Table 21.

v) Thinning

In Yoshino, some of the intermediate trees, all of wolf-trees and suppressed trees, and furthermore, the trees which prevent the growth of crop trees are removed by thinning. In Nishikawa, the thinned trees are almost all of suppressed tree only. In National Forest, thinning is done by B grade thinning. And in Obi, thinning is practiced to stimulate the growth of remaining individual trees, and early growth cultivars are thinned and late growth cultivars are left in the early stage. The relative frequency distribution of thinning trees and remaining trees are shown in Fig. 37~38. In Nishikawa, the greater part of thinning trees are selected from lower diameter or height class, but in Obi, some of the thinning trees are selected from higher classes, occasionally from the highest class.

The number of thinning trees gets smaller at the same age in order of Yoshino, National Forest, Nishikawa and Obi (Fig. 36). The average amount of various parts of thinning trees in lower density controlled district are larger than that in higher density controlled district in spite of the difference of the selection methods of thinned trees (Fig. 40~46). The amount of various parts of thinned trees per ha are shown in Fig. 47~52. The thinning percentage in tree number is shown in Fig. 53. The relationships between the percentage in tree number and the thinning percentage in weight of various parts are shown in Fig. 54 and Table 22.

The ratio of the average amount of thinned trees (small letter) to the average amount of remained trees (capital letter) in height (h/H), diameter at breast height (d/D), stem (s/S), branch

(b/B), leaf (l/L) and above-ground part (t/T) are shown in Fig. 55. These ratios in Obi get larger than 1, occasionally, but in other districts are always smaller than 1, because the ratios show the difference of the selection methods of thinning trees.

The relations between stand density and standing crop per ha of various parts before or after thinning in each district are shown in Fig. 56. These relations are affected largely by the system of density control and are shown by following equation:

$$\log y = b \log \rho + a \dots\dots\dots(14)$$

y : Standing crop before thinning or residual standing crop after thinning

ρ : Stand density before thinning or residual density after thinning

a, b : Constants.

These constants are shown in Table 23.

vi) Quality and size of produced timber

The stem form in higher density controled district is less tapering than that in lower density controled district (Fig. 57). Therefore, the breast-height form-factor, ratio of diameter at 1/2 height to diameter at breast height and $\bar{H}/\bar{D}$ ($\bar{H}$: average height, $\bar{D}$: average diameter at breast height) in higher stand density controled district are larger than those in lower (Fig. 58~60).

The annual ring width at breast height in lower density controled district is wider than that in higher, but annual ring number per one centimeter at breast height are inverse (Fig. 61~63).

As shown in Fig. 64 and Table 25, the size of produced timber in each district reflected the difference in the system of density control closely.