

## 広葉樹林の造成と利用に関する研究（Ⅱ）

### 若齢キハダ人工林の成長について

片倉正行

#### 要 旨

若齢キハダ人工林の林分構造と成長量などを調査し、林分の成長予測と簡易な材積表の作成を行った。

- ① 調査地は、適潤性褐色森林土（B<sub>D</sub>, B<sub>D(d)</sub>）および弱湿性表層グライ化褐色森林土（gB<sub>E</sub>）上に成立した、11年生および15年生林分の4カ所である。
- ② 最も成長が良好な林分は、11年生で上層樹高9.5m、平均胸高直径11.6cm、林分密度1,800本/haが存在した。
- ③ キハダの成長には、土壤水分環境が大きく影響すると考えられ、弱湿性土壤あるいは適潤性土壤が生育適地と判断された。
- ④ 黄柏原料である内皮収穫量は、地位が「上」の場合に20年生で約3.60ton/haと予測された。
- ⑤ 樹幹解析試料から、地位「中」および「上」のおおまかな樹高成長曲線の推定を行った。
- ⑥ 林分密度の基準因子として胸高断面積を使用し、簡易な林分材積表を作成した。

#### 1 はじめに

キハダ（*Phellodendron amurense* Rupr.）は、中国北東部、ウスリー、アムール、朝鮮半島などに分布し、日本では北海道、本州、四国、九州の山地に自生し、薬木または染料木として古来より知られ、中国では白楽天の「生離別」に、また日本では清少納言の「枕草子」で詩に読み込まれている(2)とされる。キハダは内樹皮にベルベリン（Berberine: C<sub>20</sub>H<sub>19</sub>N O<sub>5</sub>、アルカロイドの一種）を多く含有し(3)、これを漢方では黄柏と称している。日本では、大和地方の「陀羅尼助」、山陰地方の「練熊」、そして長野県木曾地方の「百草、百草丸」などとして、健胃剤に利用されている(9)が、以前は眼薬、利尿剤、湿布剤としても利用されてきたという。なお、内樹皮のベルベリン含有率は0.99～5.89%(12)といわれ、長野県内では1.42～4.43%(11)という数値が示されている。またその材は、建築材、器具材などと多様な用途をもつが、内樹皮の採取時期（樹液流動盛期）と、材の伐採時期（樹液流動停止期）が異なるため、一般には内樹皮採取のみに利用されることが多い。

キハダは県内山地（標高600～1,500m）の広葉樹林に混交して自生するが、特に県西部から北部の多雪地帯に分布が多く、さきに述べた「百草、百草丸」などの原料として利用され、将来的にも重要な森林資源として位置づけられる。しかし、天然生キハダ資源の増加量は需要を満たしきれず、資源量は減少しつつあるといわれ、1980年頃からキハダ資源確保のために人工造林技術確立の必要性が提起されてきた。

キハダ人工林の成長について、石川ら(4)、菅原ら(10)、松田(15)、西垣ら(13)などの報告があるが、西垣らを除いては他の広葉樹類と混交した二次林あるいは植栽単木の調査事例が多い。また長野県林指(11)、篠原(9)などの人工林造成に関する技術書もあるが、林分の成長予測あるいは収

穫表の提示などを行うには至っていない。

ここでは北安曇郡小谷村と、木曾郡榑川村で実施した若齢キハダ人工林の調査結果に基づき推定した樹高成長曲線、および他県の資料を含めて検討作成した簡易材積表を示した。

なお本報告は、1986～1991年に県単独予算で実施した「広葉樹林の造成と利用に関する研究」により得られた成果である。また本報告の一部は日本林学会中部支部大会(5)、(6)において発表した。

調査にご協力頂き、また解析用立木を提供いただいた元村秀雄氏、また北安曇地方事務所林務課の皆様にお礼申し上げる。

## 2 調査地と調査方法

### (1) 調査地

調査地は北安曇郡小谷村と木曾郡榑川村の2カ所で行った。

#### ア 小谷村

小谷村中小谷の姫川右岸の標高約700mに位置し、気候的には日本海側気候に属し、年平均気温11.1℃、年降水量2,306mm、冬季の最深積雪2.35m、温量指数82.7(14)で、表層地質は第三系砂岩・泥岩からなる(8)。なお林分の成立地は傾斜30°ほどの西向きの山腹中部の水田(棚状水田)跡地で、減反政策に伴いキハダが植栽された11年生キハダ林であり、調査は林冠閉鎖した高密度林分と、林冠閉鎖していない低密度林分の2林分でおこなった。

#### イ 榑川村

木曾郡榑川村<sup>にえかわ</sup>の奈良井川左岸の標高約1,100mに位置し、年平均気温9.3℃、年降水量1,850mm、冬季の最深積雪0.42m、温量指数76.9(14)で、表層地質は古生界砂岩・泥岩からなる(8)。なお調査地は平均傾斜30°ほどの北向きの山地であり、林業総合センター榑川試験地(ろ小班-11)である。調査は立木の生育が良好な山腹中部平衡斜面と、生育不良な山腹中部凸型斜面の2カ所で行った。

### (2) 調査方法

#### ア 林分構造と成長量

林分調査は毎木調査により樹高、胸高直径、枝下高、幹曲がり、幹の分岐などを20×10m方形区法で調査した。また一部の立木については、伐採した後2m毎に円板を採取して樹幹解析に供した。

#### イ 現存量

樹幹解析用に伐採した立木で、2m毎の層別刈り取り法により幹(幹材、外樹皮、内樹皮)、枝、葉の生重量を現地測定し、これらの一部を持ち帰り、含水率を測定して現存量を求めた。

#### ウ 地況

現地調査と既往資料(8)、(14)により調査した。

表-1 調査地の概況

調査地	場所	標高 m	温量指数	表層地質	山腹傾斜 °	山腹方位	年降水量 mm	最深積雪 m
小谷-1, 2	北安曇郡小谷村中小谷	700	82.7	第三系 砂岩・泥岩	30	W	2,306	2.35
榑川-1, 2	木曾郡榑川村にえ川	900	76.9	古生界 砂岩・泥岩	30	NWN	1,850	0.42

表-2 林分構造調査結果

林分名	上層木					下層木			全林分		
	樹高 m	胸高 直径 cm	枝下高 m	立木 密度 本/ha	胸高 断面 積 m <sup>2</sup> /ha	樹高 m	胸高 直径 cm	立木 密度 本/ha	立木 密度 本/ha	胸高 断面 積 m <sup>2</sup> /ha	林齡 年
小谷-1 (Otari-1)	9.5	11.6	3.2	1,000	10.6	6.4	5.7	800	1,800	12.76	11
小谷-2 (Otari-2)	8.5	13.8	2.7	667	10.0	6.9	9.2	89	756	9.61	11
檜川-1 (Nara-1)	7.5	9.5	2.1	1,400	9.9	5.5	6.1	400	1,800	10.47	15
檜川-2 (Nara-2)	3.7	3.7	1.8	1,200	1.3	-	-	-	1,200	1.50	15

## 2 結果と考察

### (1) 林分構造

#### ア 小谷村

高密度林分(以下、Otari-1という)は表-2に示したように、11年生、林分密度1,800本/ha、平均樹高8.1m、平均胸高直径9.0cmで、松田(5)の示した土壌型別樹高成長に当てはめるとB<sub>D</sub>型(崩積)の成長に該当し、そのなかでも成長のよいほうに位置づけられ、キハダ林の樹高成長としてはきわめて良好な林分といえた。なお林冠は完全に閉鎖し、劣勢木が下層林冠を形成しており、このまま放置されれば、数年のうちには劣勢木に自然枯損が発生し始めると考えられた。

低密度林分(以下、Otari-2という)は、Otari-1と同じく11年生であるが、植栽密度が少なく、現在の立木密度は756本/haで、上層、下層の分離はまだ進んでおらず、平均樹高は8.0mと、Otari-1とほぼ同じ数値を示したが、平均胸高直径は12.4cmと低密度の影響が現れていた。

なお、胸高断面積についてみると、十分に林冠閉鎖が完了し成立密度の上限に近いと判断されたOtari-1では上層木で10.57m<sup>2</sup>/ha、下層木は2.19m<sup>2</sup>/haと示された。

#### イ 檜川村

山腹中部平衡斜面に成立している生育良好な林分(以下、Narakawa-1という)は植栽本数2,500本/haの15年生林分で、現在の林分密度は1,800本/ha、上層木平均樹高7.5m、平均胸高直径9.5cmであった。

山腹中部凸型斜面の成長不良林分(以下、Narakawa-2という)は、Narakawa-1と同じく、植栽本数2,500本/haの15年生であるが、現在の立木密度は1,200本/haと本数減少が著しく、平均樹高は3.7mとNarakawa-1の約50%、平均胸高直径は3.7cmと約40%にしかっていない。

また、胸高断面積についてみると、ほぼ林冠閉鎖が完了していると判断されたNarakawa-1では上層木で9.92m<sup>2</sup>/ha、下層木は0.55m<sup>2</sup>/haと示された。

なおこの樹高成長を松田(5)が示したキハダ二次林の土壌型別樹高成長に当てはめるとNarakawa-1はB<sub>D</sub>型(匍行)、Narakawa-2はB<sub>D(d)</sub>(匍行)の上位にそれぞれ位置した。

Narakawa-1とNarakawa-2は同一山腹上にあり、斜距離で30mほどしか離れていないにもかかわらず、成長に大きな差が生じ、後者はキハダ純林としての成立が困難ではないかと思われるほどに成長不良で、クリ、コナラ、リュウブなどの侵入が認められる。植栽後

の下刈りなどの管理が同様になされたにも係わらずこのような成長差が生じた原因は、後述する微地形の差に起因した水分環境差にあると考えた。

(2) 現存量

Otari-1で上層木、下層木各1本について、またNarakawa-1で上層木1本について、層別刈り取り法により現存量を測定した結果は、表-3、4に示したとおりで、これらから単位面積あたりの現存量を計算すると表-5が得られ、林齢10~15年で林冠閉鎖した、樹高7

表-3 キハダ立木現存量(上層木)

単位: kg (80 °C, 24hr)

高さ (m)	幹	枝	葉	内皮	外皮	合計
0 ~ 2	7.78	0	0	0.60	0.24	8.62
2 ~ 4	3.86	0	0	0.42	0.08	4.36
4 ~ 6	2.62	1.52	1.25	0.32	0.04	5.75
6 ~ 8	1.08	0.48	1.31	0.16	0.01	3.04
8 ~	0.15	0.16	0.45	0.01	+	0.77
合計	15.49	2.16	3.01	1.51	0.37	22.54

- (注) (1) 調査木の大きさ: H=9.9m、DBH=10.0cm  
 (2) 調査木採取地: 小谷村11年生キハダ人工林  
 (3) 内皮、外皮には枝からの採取を見込んでない。

表-4 キハダ立木現存量(下層木)

単位: kg (80 °C, 24hr)

高さ (m)	幹	枝	葉	内皮	外皮	合計
0 ~ 2	3.16	0	0	0.32	0.08	3.56
2 ~ 4	1.49	0.21	0.24	0.19	0.02	2.15
4 ~ 6	0.56	0.64	0.84	0.08	+	2.12
6 ~	0.05	0.15	0.51	+	+	0.71
合計	5.26	1.00	1.59	0.59	0.10	8.54

- (注) (1) 調査木の大きさ: H=6.9m、DBH=6.0cm  
 (2) 調査木採取地: 小谷村11年生キハダ人工林  
 (3) 内皮、外皮には枝からの採取を見込んでない。

表-5 キハダ人工林々分現存量

単位: ton/ha (80°C, 24hr)

高さ (m)	幹	枝	葉	内皮	外皮	合計
上層木	15.49	2.16	3.01	1.51	0.37	22.54
下層木	4.21	0.80	1.27	0.47	0.08	6.83
林分合計	19.70	2.96	4.28	1.98	0.45	29.37

- (注) (1) 調査林分: H<sub>top</sub>=9.5m、DBH=9.0cm、N=1,800本/ha  
 (2) 調査地: 小谷村11年生キハダ人工林  
 (3) 内皮、外皮には枝からの採取を見込んでない。

~10mのキハダ人工林では、幹が約15ton/ha、枝が2~6ton/ha、葉は2~3ton/ha、また内樹皮1.5ton/ha、外樹皮0.4ton/haが存在すると推定された。

また樹幹2.0m毎の材積、および立木材積と内樹皮量の間に関連を求めて下式を得た。

$$W_B = V_0 \times 35.3674 + 0.069$$

なおここで、W<sub>B</sub>: 内皮乾燥重量、V<sub>0</sub>: キハダ樹幹材積である。

(3) 土壌

ア 小谷村

Otari-1 において調査した土壌断面を図-1 に示したが、表層から深部まで全体に埴質（粘着性は乏しい）で固く締まっており、また水田に長期間使用されてきたため表層から 20 cm 程度の B 層に該当する部分に橙赤色の鉄の集積斑が顕著に認められ、グライ化の傾向は認められなかった。本土壌を林野土壌分類(16)にあてはめると、土壌層位 I B に斑鉄が多く認められ、また過去に水田利用されていたことから表層グライ化褐色森林土亜群の g B<sub>E</sub> 型土壌とするのが適当と考えられた。

土性と土壌堅密度からは本土壌は通気・通水性が不良と判断されたが、根系分布をみると 50 cm 程度にまでキハダの根が侵入している。

キハダの根系特性は、刈住によると埴質壤土を好み耐通気不良性を持ち、また一般山地では沼沢の弱湿性の土壌の深い場所に群落をつくる(7)とされていることから、キハダは土壌が弱湿性であれば、多少の通気不良地でも生育は阻害されないのではないかと判断された。

イ 榑川村

土壌断面を図-2, 3 に示したが、Narakawa-1 は腐植に富み団粒状構造の発達した A 層と膨軟な B<sub>1</sub>、B<sub>2</sub> 層をもつ B<sub>D</sub> 型（匍行）土壌であるのに対し、Narakawa-2 は A 層に土壌の乾燥を示す粒状構造が認められ、また B 層は堅く、B<sub>D</sub>(d)（匍行）土壌と判断された。また前者では B 層（50 cm）まで根系の分布が多かったが、後者では根系分布の多くは A 層に限られており、これは微地形差に起因する土壌水分の多寡に原因があると判断された。

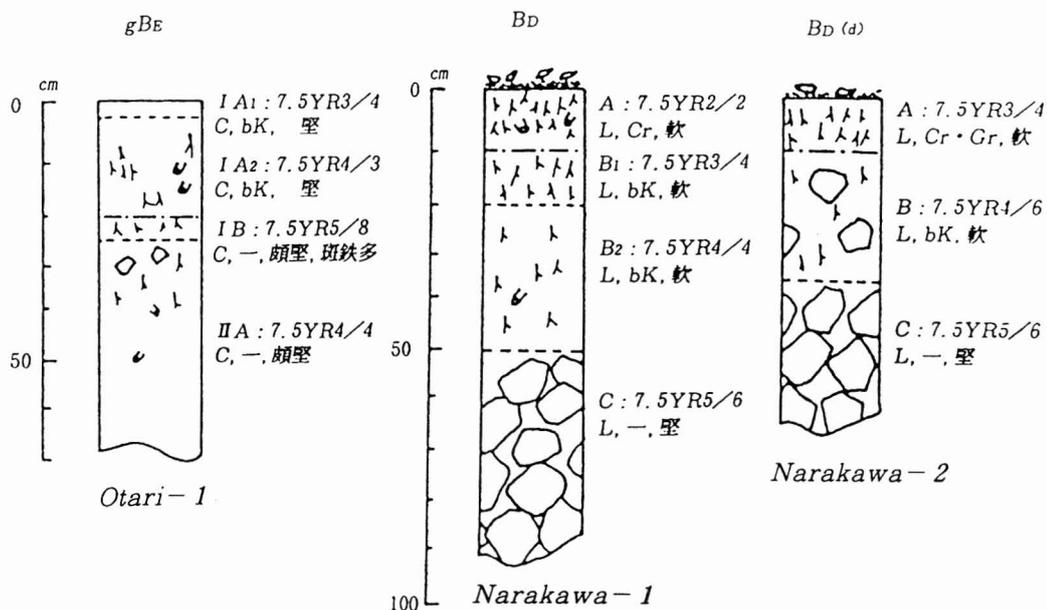


図-1 土壌断面図  
(小谷-1)

図-2 土壌断面図  
(榑川-1, 2)

(4) 樹高成長曲線の推定

人工林の管理体系の作成には、時系列的な成長（一般には樹高成長）と、林分の成立密度と直径成長の関係の把握が必要であり、これには一般に固定試験地から長期間収集した成長データから推定する方法と、多様な環境に成立している大量の林分データの解析による方法に2大別される。

今回の調査は2カ所4林分の調査であり、こうした解析を行うには明らかに不適当な資料数である。しかし、県下にはすでにキハダ人工林が造成されはじめており、その将来を示す技術的根拠の提示が急務と考えられた。

このため、ここでは簡易な方法により樹高成長曲線と、林分密度と胸高直径の関係を明らかにすることとした。

ア 樹高成長

Otari-1とNarakawa-1の樹幹解析結果の樹高成長資料（表-6）を、一般に樹高成長を表わすのに利用する修正指数式とゴンペルツ式に当てはめたところ、修正指数式が適合性が良いと判断され次のような樹高成長曲線式を得た。

Otari-1

$$H = 23.4000 - 23.2777 \times 0.9526^{t-1}$$

Narakawa-1

$$H = 11.0496 - 10.3092 \times 0.9190^{t-2}$$

なおこれらの樹高成長がキハダ人工林の樹高成長として立地生産力的に上位を示すものか、下位を示すものかの判断が必要と考えた。これにあたり、ここでは松田(15)が新潟県のキハ

表-6 キハダ人工林の樹高成長

単位：m

樹齡(年)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
標本木採取地																
小谷-1 (Otari-1)	0.4	1.1	2.2	3.2	4.1	5.1	6.0	7.0	7.8	8.0	9.1	9.9				
榑川-1 (Nara-1)	0.3	0.8	1.6	2.4	3.0	3.6	4.0	4.7	5.4	6.0	6.4	6.9	7.0	7.3	7.5	7.7

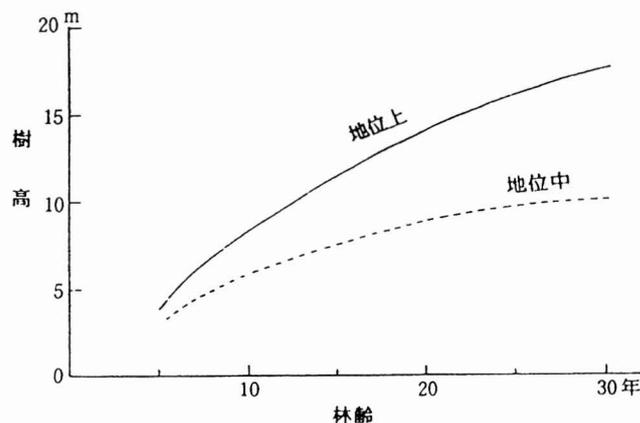


図-3 キハダ人工林樹高成長曲線

ダ二次林の調査結果から示した「キハダ樹幹解析木の樹高成長経過」を参考にして、先の2つの樹高曲線に暫定的な地位級を与えることにした。

この結果、Otari-1はB<sub>D</sub>型（崩）の上位に、またNarakawa-1はB<sub>D</sub>型（匍）の上位の成長に該当し、ここではOtari-1を「地位上」、Narakawa-1は「地位中」として考えることにした（図-3）。

#### イ 林分密度と胸高直径

単一樹種、同齢一斉林の林分密度と胸高直径については密度効果の逆数式(1)にもとづき、大量の林分データから樹種毎に各種林分密度に係わる因子の係数を解析する。しかしキハダについて、その手法を満足させるに足りる資料はない。

ここではキハダ人工林の林分密度と胸高直径の関係を胸高断面積により便宜的に求めることにした。

今回の調査林分のうち、Otari-1は林冠閉鎖が完了し、下木層を構成する劣勢木に近い将来に枯損が発生すると考えられ、林分として最多密度近くにあると考えられた。この上層林冠層を構成する立木の胸高断面積合計は、10.56m<sup>2</sup>/haとして得られた。

また、ほぼ林冠閉鎖が完了していると判断されたNarakawa-1のそれは9.92m<sup>2</sup>/haと得られた。単位面積当りの胸高断面積合計は、樹種特性あるいは生育段階などにより変動する。

ここではこれらと、松田(5)の調査地No.1, 3の胸高断面積（G=16.82, 17.03）と上層樹高との間に関係を求め、下記の式を得た。

$$\text{Log } G = 0.7621 \cdot \text{Log } H + 0.3216 \quad (r = 0.9282)$$

なおここで、G：胸高断面積（m<sup>2</sup>/ha）、H：上層木平均樹高である。

さらにこれにより林分密度と平均胸高直径の関係を下式より求めた。

$$N = G / \left( (D/2)^2 \times \pi / 10,000 \right)$$

なおここで、N：林分密度である。

#### ウ 林分材積、内皮収穫表

先に推定した樹高成長曲線、林分密度と胸高直径の関係、および内皮現存量から収穫予測を試み表-7を得た。

なおこれにあたり与えた胸高直径は、樹高に対して立木の形状比が80を維持するようにした。これはOtari-1の上層林冠構成木の平均形状比が82であることを参考とした。

また内皮乾燥重量は、下式によった。

$$W_B = V_0 \times 35.3674 + 0.069$$

なおここで、W<sub>B</sub>：内皮乾燥重量、V<sub>0</sub>：キハダ単木幹材積である。

これにより、地位上では2,500本/ha植栽、20年生で樹高14.1m、胸高直径17.7cm、林分密度643本となり、内樹皮は5.6kg/本、3.60ton/haが収穫でき、また地位中では樹高8.8m、胸高直径11.0cm、林分密度1,158本/haで、内樹皮1.4kg/本、1.66ton/haが収

穫されると推定された。なお、この地位の差にもとづく内樹皮収穫量の差は、幹直径が太いほど内樹皮が厚くなることに原因があり、ここではその現象が材積の増大として表現されているためと考えられる。

表-7 キハダ人工林簡易材積表(試案)

林齢	地 位 上						地 位 中					
	樹高 (H)	胸高 直径 (DBH)	胸高 断面積 (G)	林分 密度 (N)	林分 材積 (V)	内皮 乾重 (WB)	樹高 (H)	胸高 直径 (DBH)	胸高 断面積 (G)	林分 密度 (N)	林分 材積 (V)	内皮 乾重 (WB)
	m	cm	m <sup>2</sup> /ha	本/ha	m <sup>3</sup> /ha	ton/ha	m	cm	m <sup>2</sup> /ha	本/ha	m <sup>3</sup> /ha	ton/ha
6	5.1	6.4	7.30	2,252	18.9	0.81	3.7	4.6	5.68	3,387	11.1	0.60
8	6.8	8.5	9.07	1,584	29.9	1.15	4.8	6.0	6.97	2,427	17.1	0.75
10	8.4	10.5	10.58	1,233	41.4	1.54	5.8	7.3	8.01	1,937	23.0	0.93
12	9.8	12.2	11.90	1,019	53.8	1.97	6.6	8.3	8.85	1,647	28.4	1.11
14	11.0	13.8	13.06	876	66.1	2.39	7.3	9.1	9.55	1,457	33.3	1.27
16	12.2	15.2	14.08	775	78.1	2.81	7.9	9.9	10.12	1,325	37.7	1.41
18	13.2	16.5	14.99	700	89.7	3.21	8.4	10.5	10.60	1,230	41.6	1.55
20	14.1	17.7	15.80	643	100.7	3.60	8.8	11.0	11.00	1,158	44.9	1.66
22	15.0	18.8	16.52	598	111.2	3.97	9.1	11.4	11.33	1,103	47.9	1.76
24	15.8	19.7	17.17	562	121.1	4.32	9.4	11.8	11.61	1,061	50.9	1.87
26	16.5	20.6	17.75	532	130.3	4.64	9.7	12.1	11.84	1,027	53.2	1.95
28	17.1	21.4	18.27	508	139.0	4.95	9.9	12.4	12.04	1,000	55.2	2.01
30	17.7	22.1	18.74	487	147.0	5.23	10.1	12.6	12.20	978	56.9	2.07

(注)

(1) 胸高直径

樹高に対して形状比 80 をとる直径とした。

(2) 林分密度

胸高断面積は林分の上層木平均樹高と次式により相関すると仮定し、これを(1)の直径における単木の胸高断面積で除して得た。

$$\text{Log } G = 0.7621 \cdot \text{Log } H + 0.3216$$

(3) 林分材積

立木幹材積表・東日本編(林野庁)の長野地方・サワグルミほかにより単木材積を求め、これに林分密度を乗じて林分材積とした。

(4) 内皮乾重

幹を対象とし、枝は含まない。乾燥条件は 80℃、24 時間である。

4 まとめ

- (1) 北安曇郡小谷村および木曾郡榑川村の、若齢キハダ人工造林地で林分構造、成長量、また内樹皮量などを調査した。
- (2) この結果から樹高成長曲線の推定を試みた。
- (3) 調査結果と既往資料により、林分密度と胸高直径の関係を推定した。
- (4) これらにもとづき、材積表の作成を行い試案として示した。
- (5) 樹高成長、直径成長、林分密度などの推定には資料数が少なく、また検定不十分な仮定が多く導入してあるので、提示した収穫量などに誤差が存在すると考えられるが、キハダ造林地の造成管理に関して一応の方向を示すことができたものとする。

引用文献

- (1) 安藤貴：密度管理、93-171、農林出版、昭和43年
- (2) 上原敬二：樹木大図説-2、631-632、有明書房、昭和34年
- (3) 化学大辞典編集委員会：化学大辞典-8、PP437、共立出版、昭和46年
- (4) 石川豊治ら：長野県林指業務報告、PP52、1977
- (5) 片倉正行ら：39回日林中支論、53-54、1991
- (6) " : 40回日林中支論、61-62、1992
- (7) 刈住昇：樹木根系図説、PP868、誠文堂新光社、昭和54年
- (8) 経済企画庁総合開発局：土地分類図（長野県）、表層地質図、1974
- (9) 篠原弥寿夫：林業技術者のための特用樹の知識、日本林業技術協会、72-74、昭和58年
- (10) 菅原聰ら：長野県の特用林産物、長野県、76-77、1980
- (11) 長野県林業指導所：キハダ林造成技術、1985
- (12) 西垣真太郎ら：広葉樹林を育てる、林業改良普及双書94、163-173、1986
- (13) 西垣真太郎：鳥取県林試研報31、15-27、1988
- (14) 日本気象協会長野支部：長野県気象年報、1976
- (15) 松田氏淑：新潟県林試研報23、59-67、1980
- (16) 林業試験場土壌部：林野土壌の分類、林試研報280、1-28、1975

