

RESEARCH REPORT  
OF  
THE OITA PREFECTURAL  
FORESTRY EXPERIMENTAL STATION

No. 25

March, 1998

Arita, Hita, Oita, Japan

# 研究時報

第 25 号

ヒノキ新時代の幕開け：小型さし穂による大量増殖と優良クローンの選抜について

諫本 信義 1

森林環境に対する酸性雨の影響（IV）：県下主要河川源流部における溪流水の水質特性

諫本 信義 18

飛高 信雄

森林環境に対する酸性雨の影響（V）：スギ炭の硝酸イオンの吸着能について

諫本 信義 29

林木の組織構造解析：実生ヒノキ、さし木ヒノキ及びナンゴウヒの組織構造

諫本 信義 38

ユリノキの育林と利用についての調査研究：東京大学農学部付属秩父演習林における

ユリノキ人工林の成長と土壤の化学性について 諫本 信義 56

澤田 晴雄

スギ主伐木の成長と材質：心持ち材、心去り材の品種別、部位別の強度特性

諫本 信義 64

津島 俊治

亀井 淳介

神川 建彦 70

諫本 信義

御前岳におけるシオジ林の構造と生育環境

(資料) 西欧諸国における酸性雨等による森林被害の実態と

その対策及び林業試験研究の動向について 諫本 信義 83

# 大分県林業試験場

平成10年3月

大分県日田市大字有田字佐寺原

# 大分県林業試験場研究時報

## 第 25 号

1998年3月

一目 次一

- 1 ヒノキ新時代の幕開け：小型さし穂による大量増殖と優良クローンの選抜について  
----- 諸本 信義
- 18 森林環境に対する酸性雨の影響（IV）：県下主要河川源流部における溪流水の水質特性  
----- 諸本 信義・飛高 信雄
- 29 森林環境に対する酸性雨の影響（V）：スギ炭の硝酸イオンの吸着能について  
----- 諸本 信義
- 38 林木の組織構造解析：実生ヒノキ、さし木ヒノキ及びナンゴウヒの組織構造  
----- 諸本 信義
- 56 ユリノキの育林と利用についての調査研究：東京大学農学部附属秩父演習林における  
ユリノキ人工林の成長と土壤の化学性について  
----- 諸本 信義・澤田 晴雄
- 64 スギ主伐木の成長と材質：心持ち材、心去り材の品種別、部位別の強度特性  
----- 諸本 信義・津島 俊治・亀井 淳介
- 70 御前岳におけるシオジ林の構造と生育環境  
----- 神川 建彦・諸本 信義
- 83 (資料) 西欧諸国における酸性雨等による森林被害の実態とその対策及び林業試験研究  
の動向について  
----- 諸本 信義

RESEARCH REPORT  
OF  
THE OITA PREFECTURAL  
FORESTRY EXPERIMENTAL STATION

No. 25  
March, 1998

—CONTENTS—

Original Articles

- 1 A Novel Approach to the Silvicultural Technique on Hinoki (*Chamecyparis Obtusa*) :  
Vegetative Propagation using the Small cuttings and Selection of Hinoki plus trees. N.Isamoto
- 18 Effects of Acid Rain on Forest Environment (Ⅳ) : Chemical Characteristics of Water in  
Mountain Stream at the Beginning Area of Main Rivers in Oita Pref. N.Isamoto and N.Hidaka.
- 29 Effects of Acid Rain on Forest Environment (V) : Absorbing Capacity of Charcoal Prepared  
from Sugi (*Cryptomeria japonica*) to Nitrate ion. N.Isamoto
- 38 Anatomical Analysis on Trees : Tissue Structure of Hinoki (*Chamaecyparis Obtusa*) Originated  
from Seedling, Rooted Cutting and Nangohhi (*Local Cultivars*), as well as Aosugi (*Local Cultivars*  
in *Cryptomeria japonica*). N.Isamoto
- 56 Investigation on Silviculture and Utilization of Yurinoki (*Liliiodendron Tulipifera L.*) :  
Faculty of Agriculture, Tokyo University, and their Chemical characteristics of the Soil.  
N.Isamoto and H.Sawada
- 64 Growth and Quality of Sugi (*Cryptomeria japonica*) for Final cutting : Strength  
Feature on Different Species and Position regard to Boxed heart Wood and Pithless Wood.  
N.Isamoto, S.Tsushima and J.Kamei
- 70 Investigation on the Structure and Habitat of Shioji (*Fraxinus speathiana*) Forest  
in Mt. Gozen. T.Kamikawa and N.Isamoto

Note

- 83 In European Area , Actual Conditions on Damage in Forest by Acid rain and  
Precipitate, and Consideration for the Counterplans, as well as Trends of Research  
works of Forestry. N.Isamoto

## ヒノキ新時代の幕開け： 小型さし穂による大量増殖と優良クローンの選抜について

諫 本 信 義

Novel approach to the Silvicultural Technique on Hinoki  
(*Chamaecyparis obtusa*):  
Vegetative Propagation using the Small cuttings and the  
Selection of Hinoki plus trees.

Nobuyoshi ISAMOTO

### 要 旨

低台仕立の採穂園により、発根性の向上と枝性の回避が可能となり、これに上高2号（愛媛県産）の増殖にみられる小型のさし穂を用いる手法の導入により、ヒノキのさし木による増殖は、実用性の高い技術として注目され、これにより、ヒノキのクローン林業の途が開けてきた。本報では、小型さし穂による増殖技術が、上高2号に限らず、他の系統についても適用性が高いのかについて、当場選抜5系統を用いて検討した。その結果、1系統を除いて、いずれも90%以上の発根率を得ることができ、ヒノキのクローン大量増殖の可能性が見出された。また、16年目をむかえた本県選抜8系統について、特性評価を行ない、2系統を優良系統として再選抜した。また、当場天瀬試験地（日田郡天瀬町）に1973年設置されたヒノキ精英樹クローン集植所23年生林を調査し、大分4号等11クローンを優良系統として再選抜し、平成8年度より開始された「大分県優良ヒノキ生産林造成事業」推進の基礎資料を得た。

### は じ め に

ヒノキのさし木は、スギにくらべて発根が不良なことや、枝性の問題（15）、採算性等によって事業的な進展がみられなかつたが、智頭町森林組合の前橋（6）による低台式採穂園の造成によつて、発根率の向上と、枝性の回避がはかられ、ヒノキのさし木育苗による優良苗木の生産が可能となってきた。この試みは、鬼塚（12）によつても実証された。また、実生苗の造林にくらべて、根元曲りや幹曲りが少なく、とくに病の発生が抑制される等の利点も報告され（3, 7, 13など）ヒノキのさし木による優良林分の造成が期待されるようになつてきた。しかしながら、養苗技術は確立されたものの、育種レベルでのクローン確保までは至らなかつたが、二宮（8）は、1988年、「上高2号」「上高7号」の若木エリートクローンを選抜育成し、ヒノキの優良クローン林業とし

て世の注目を浴びた。老齢木を対象とした選抜ではなく、若木からの選抜ということで、育種的には問題を残しているものの、特に「上高2号」の有する通直性と初期成長の旺盛さが、優良クローンとして脚光を浴びている。しかしながら、この特徴とは別にいま一つ注目すべきは、その増殖方法である。これは(10, 11)に詳しいが、従来のヒノキのさし木技術とは異なり、小型のさし穂と施肥を巧みに利用した手法を取り入れたことである。これによって、安価に大量のクローン苗の生産供給が可能となった。林業における一つの技術革新として大いに評価されてよい。

このヒノキのさし木苗の新しい生産技術の開発によって、ヒノキにもクローン林業の途が開けてきた。このため、本県では将来的に、20クローン程度の優良クローンを選抜し、県下生産苗の3分の1をさし木苗に変換していこうという計画のもとで、平成8年度より「大分県優良ヒノキ生産林造成事業」が開始された。本報は、本事業推進のために実施された下記三課題についての調査結果を報告するものである。

- I. 小型さし穂による優良クローンの増殖試験
- II. 本県選抜クローンの成長及び形態特性
- III. 本県産を中心としたヒノキ精英樹クローンからの再選抜

### I. 小型さし穂による優良クローンの増殖試験

#### 1. 目的

二宮(9)による「上浮穴高校におけるヒノキさし木育苗技術」は、さし穂を小型化して育苗する最初の技術手法であったが、その後、コーティング肥料の利用等により更に改良がはかられ(10, 11)さし木による増殖はほど技術的に完成し、コスト的にも安定供給が可能となってきた。但し、この技術は、発根性の極めて優れた上高2号を用いての事例であったためか、上高2号以外のクローンについての適用性検定の必要性が残されている。このことから、上高2号を含めて、当场で選抜した5つのクローンを用いて、小型さし穂によるさし木試験を行ない、二宮方式によるクローン増殖の適応可能性を検定した。

#### 2. 材料及び方法

##### 1) 材料

さし穂に供した親木は、1978年に当场にて選抜、さし木によって増殖し、1980年3月に天瀬試験地(日田郡天瀬町大字桜竹)に植栽し、次代検定を行っている16年生の4クローン(CC, A C-3, B, C)及び、大分県大野郡野津原町の私有林より選抜した6年生親木からの1クローン(M)とした。また比較対照のため、愛媛県東宇和郡宇和町の8年生林分より上高2号のさし穂を供試材料とした。

##### 2) 方法

採取した穂木は、一昼夜浸水の後、穂作りを行ない、IBA 0.4% 100倍液に24時間浸漬し、さし付けた。さし付けは、35cm×60cm×11cm(幅×長さ×深さ)の木箱に、安山岩の風化山土

を用いさし木床に遅効性化成肥料（商品名・エスコート、8:8:8）を20g程度施用した。さし穂木は充実した側枝を用い、長さ10cm程度で摘果バサミを使って切り、根元20%程度の葉を除去した。さし付けは、葉の表面を上にして、角度70度程度で穂長の30%程度を斜めに挿し、1箱あたり平均230本（1m<sup>2</sup>換算で1,095本）さし付けた。

さし木箱は、ミスト付き（15秒/時間）の圃場にスギ角材を土台として敷設し、その上に置いた。50%遮光の寒冷紗で日覆を4月から9月まで行なった。

さし付けは、1995年4月上旬に実施し、堀り取り調査は、1996年2月に行なった。

### 3. 調査結果

#### 1) 上高2号の発根状況

表-1に上高2号を含む当場選抜クローンの発根率及び得苗形態について示した。上高2号は、計28個の箱さしを行ったが、このうち対象として、ホルモン処理を行ったが施肥処理は行わなかったもの[上高2号(b)]、及びホルモン処理、施肥処理もどちらも行わなかったもの[上高2号(c)]をそれぞれ1箱づつ設けた。また、通常の処理（ホルモン処理+施肥処理）を行った26箱中堀り取り時に、箱内よりネキリムシの幼虫が見出され、ネキリムシによる害が明らかに認められた箱が8箱あったため、[上高2号(a)]として区分した。

表-1 クローン別の発根率と苗木の形態

クローン名	箱数	さしき 本数(本)	発根率 (%) $\bar{x} \pm S.D.$	苗 高 (%)			母樹齢 (年)	備 考
				大(30cm以上)	中(15~30cm)	小(15cm以下)		
上高2	18	4,170	96.8 ± 4.4 <sup>a*</sup>	22.7	30.6	46.7	8	
上高2(a)	8	2,032	46.6 ± 22.9 <sup>b</sup>	15.2	35.0	49.8	8	ネキリムシの害あり
CC	4	816	89.7 ± 9.9 <sup>a</sup>	7.0	45.2	47.8	19	
B	2	421	99.3 ± 0.7 <sup>a</sup>	23.8	28.7	47.5	19	
AC-3	2	425	91.4 ± 8.6 <sup>a</sup>	0.0	31.3	68.7	19	
C	2	573	93.8 ± 5.6 <sup>a</sup>	11.7	39.8	48.5	19	
M	2	425	43.0 ± 0.6 <sup>b</sup>	10.9	50.8	38.3	6	
上高2(b)	1	186	91.9	0.0	0.0	100.0	8	施肥なし
上高2(c)	1	115	90.4	0.0	0.0	100.0	8	ホルモン処理及び施肥

\* アルファベットが異なるものは、有意な差があることを示す(t-test)

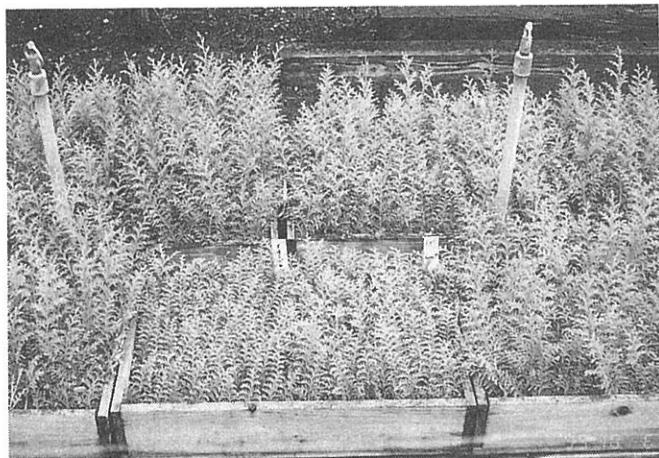
表にみられるとおり、上高2号18箱の平均発根率は96.8%と、きわめて優良な発根を示した。しかしながら、ネキリムシの害にみまわれた8箱では、その発根率は平均で46.6%と半分以下に低下した。このほか、苗長にも差がみられ、大苗比率が正常な箱に比べて7%程度減少した。

ホルモン処理を行わないものは1箱のみであったが、それでも90.4%と高い発根がみられ、ホルモン処理の影響は見出しえなかつた。上高2号は、元々高い発根性を有する特性をもつことから、その効果が見出しつらいのかもしれない。

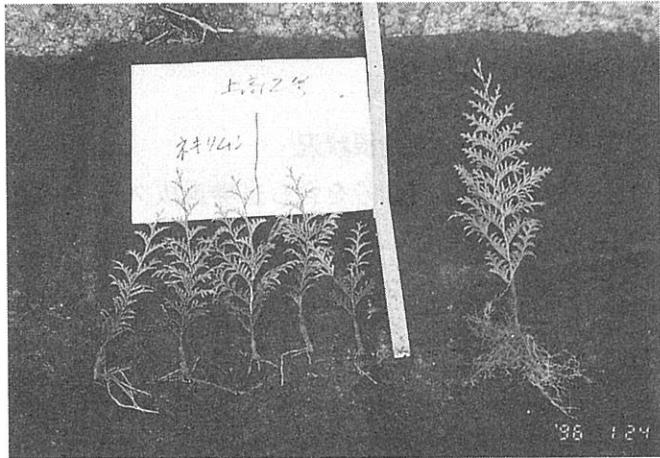
しかしながら、コーティング肥料の処理効果はきわめて顕著であった。施肥のない箱では、発根はしたものの、穂木の成長はほとんどみられず、ほゞさし付け時の大きさで推移した。表に見られ

るとおり、無施肥の箱では 100 %が苗高として小の部類に属した。

以上、上高 2 号のさし木実験より、コガネムシに対する防除の必要性、さし木床に対するコーティング肥料の施用は、小型穂木を用いたヒノキさし木育苗にとって重要な処理とみなされた。しかしながら、ホルモン剤を用いた発根処理の効果は、特に見出しえなかつた。



箱さし 7 ヶ月目の生育状況  
中央成長不良の箱は無施肥区



ネキリムシによる被害木  
(左から 5 本) と正常苗(右側)

## 2) 当場選抜クローンの発根状況

クローン CC を含め、当場選抜クローンの発根状況も、表-1 にあわせて示した。発根率について逆正弦変換値を用い、上高 2 号を含めて一元配置による分散分析を行ったところ、クローン間で 1 % 水準で有意差が認められた ( $F_0 = 16.69$ ,  $f = 5, 30$ ,  $P < 0.01$ )。t-検定の結果、クローン M が統計的に、発根率の有意に劣るクローンとして抽出された。しかしながら、他の 4 クローンにおいては差異は認められず、また上高 2 号とも有意差はなく、いずれも優れた発根率を示し、上高 2 号に限らず他のクローンにおいても、小型さし穂による増殖は適応性の高いことが認められる。

ただ、クローン M にみられるように、小型化しても発根不良なクローンも存在することから、発根不良の選抜クローンに対しては、更なる発根促進技術が求められる。

上高 2 号はきわめてさし木発根性が高く、更に特徴的なことは、発根後の苗が良く伸長し、そして真っすぐに立ち上がってくる芯立ちが見られることである。当場選抜クローンのうち、クローン B 及びクローン C では、前述の上高 2 号に似た苗木成長形態を示し、苗高形態も上高 2 号に似ている。しかしながら、クローン CC, クローン AC-3 では発根性は大差ないが、いわゆる芯立ちが弱く、従って、生産された苗高形態において大苗の出現比率が少なかった。

## 4. 考察

ヒノキのさし木は、低台式採穂園の造成によって、発根率の向上と特性の回避がはかられることは、すでに述べたとおりである。今回のさし木実験は、や、加齢の進んだ親木からの穂木を用いて

の結果である。それでも、クローンMを除いて、いずれも優良な発根率を収めており、これらを低台仕立の採穂園の造成に移行しえれば、その発根率は更に向かうことが予測できる。また、発根不良であったクローンMも、低台式採穂園よりの採穂に移行しえれば、その発根は促進される可能性が充分に残されている。

生育不良の芯立ちの小さいクローンも低台式採穂園方式によれば、生理年齢の若返りによって、さし木の伸長量の向上が期待される可能性が強い。

これらのことから、上高2号に限らず、他の優良クローンにおいても、二宮方式によるヒノキさし木増殖は十分可能であり、低台式採穂園方式の導入により、その可能性は更に高まると予想される。ヒノキのさし木によるクローン化は、一般林地からの系統選抜木に対しても十分適応しうるものと考えられた。

## II. 当場選抜クローン（とっくり病次代検定林）の成長及び形態特性

### 1. 目的

1970年代の後半、筆者は、日田、玖珠地方の原野造林地に多発するヒノキとっくり病について、調査研究を続けていたが、この研究の一環として、とっくり病の遺伝的関与の究明のため、とっくり病木からのさし木苗による次代検定を試み、とっくり病木及び健全木の検定林を当場天瀬試験地に設定した。この検定林は設定後16年を経たが、親木がとっくり病木であっても、さし木苗によるクローン苗では、どのクローンもとっくり病は発生せず、遺伝的な関与は否定された。そして大きな収穫は、とっくり病木からのさし木群は、良好な成長を示した上に、親と全く形質を異にした通直なクローン群に変質したことであった。これはいずれのクローンにも共通しており、ヒノキはさし木によって幹形の質的変換が行われることを示す貴重な林分となっている。この検定林には、8つのクローンが植栽されているが、いずれも生育良好で、通直性も高く、一般の人工造林地にみられない優良な林分を形成しており、精英樹としての特性を有していると考えられた。このため、16年生という若い林分ながら、クローンごとの特性について調査し、精英樹としての選抜可能性について検討した。

### 2. 材料及び方法

#### 1) 材料

ヒノキとっくり病の次代検定に供した各クローンの親木についての諸元は、表-2に示すとおりである。

クローンの選抜は、A2, A3, B, Cの4林分において、各林分ごとにとっくり病木及び健全木を各1本宛選出し、漸定的であるがクローン名をつけて区分した。膨大比数(4)はとっくり病の判別を数量的に把握する値であるが、この値の1.2を一つの閾値として、これより大きいものをとっくり病、これより小さい値をとるものを正常木として区別している。各林分より選出されたとっくり病木は、いずれもこの閾値を大きく越えており、形態的に著しくとっくり病状を呈していた。また、正常木は、いずれも閾値がより小さく、幹脚のしまった通直木であった。

表-2 ヒノキとっくり病選抜クローン次代検定林親木一覧

林分	クローン名	選植地	年齢	成長量			備考
				D・B・H 0.2(cm)	1.2(cm)	(m)	
A 2	A 2	玖珠郡玖珠町大字山浦	16	22.0	12.8	6.5	2.15 とっくり病木
	A C - 2	〃	16	14.4	10.9	7.3	0.93 正常木
A 3	A 3	玖珠郡玖珠町大字山浦	16	33.0	17.6	8.5	2.85 とっくり病木
	A C - 3	〃	16	16.1	13.0	8.3	0.72 正常木
B	B	玖珠郡玖珠町大字山浦	45	48.3	32.5	15.6	2.05 とっくり病木
	B C	〃	45	28.8	26.2	15.5	0.37 正常木
C	C	日田郡天瀬町大字出口	11	32.0	18.9	10.7	2.28 とっくり病木
	C C	〃	11	13.9	12.4	8.8	0.36 正常木

## 2)方法

1977年にBの林分より、1978年4月にA 2, A 3及びCの3林分よりの選抜クローンについて、樹冠上部より採穂を行いさし付けた。さし穂長25 cm, IBA 0.4 % 100倍液に24時間浸漬後さし付け、1年後床替えを行った。

1980年3月、このさし木苗（クローンB及びB Cでは床替え2回3年生苗、他のクローン1回2年生苗）を用い、次代検定林を設置した。検定林は、大分県林業試験場天瀬試験地（日田郡天瀬町大字桜竹、海拔340 m、苗圃跡、土壤 Bl<sub>b</sub>型、年平均気温14 °C、年降水量1,900 mm）に設定した。

検定林は、「親木別」（とっくり、正常）と、密度別（高密度区、1.2 m × 1.2 m植、6,944本/ha、及び低密度区、2.4 m × 2.4 m植、1,736本/ha）に植栽し、さし木苗数がクローンごとに不定であったため、ランダムに配植した。図-1にその配植図を示した。

設定時より5ヶ年間下刈りを実施し、枝打ちは1987年に据枝払を、1994年に枝打ちを最高6 mまで行った。

## 3)調査

成長量及び形態調査は、1996年2月に実施した。調査時の樹齢は16年生である。直径成長は、輪尺を用い1 mm単位で計測した。樹高は、測高桿を用い10cm単位で計測した。根曲り（幹脚1 m以内）及び、幹曲り（幹脚1 mより地表6 mまで）は、0：曲りなし、1：曲り小、2：曲り中、3：曲り大の4区分による肉眼観察で評定した。

## 3. 調査結果

表-3に、とっくり病次代検定林植栽後16年目の結果を示した。全クローンの植栽本数67本中56本が残存し、活着率は83.5 %であった。欠損木は、いずれも高密度区における被圧によって欠損したものである。

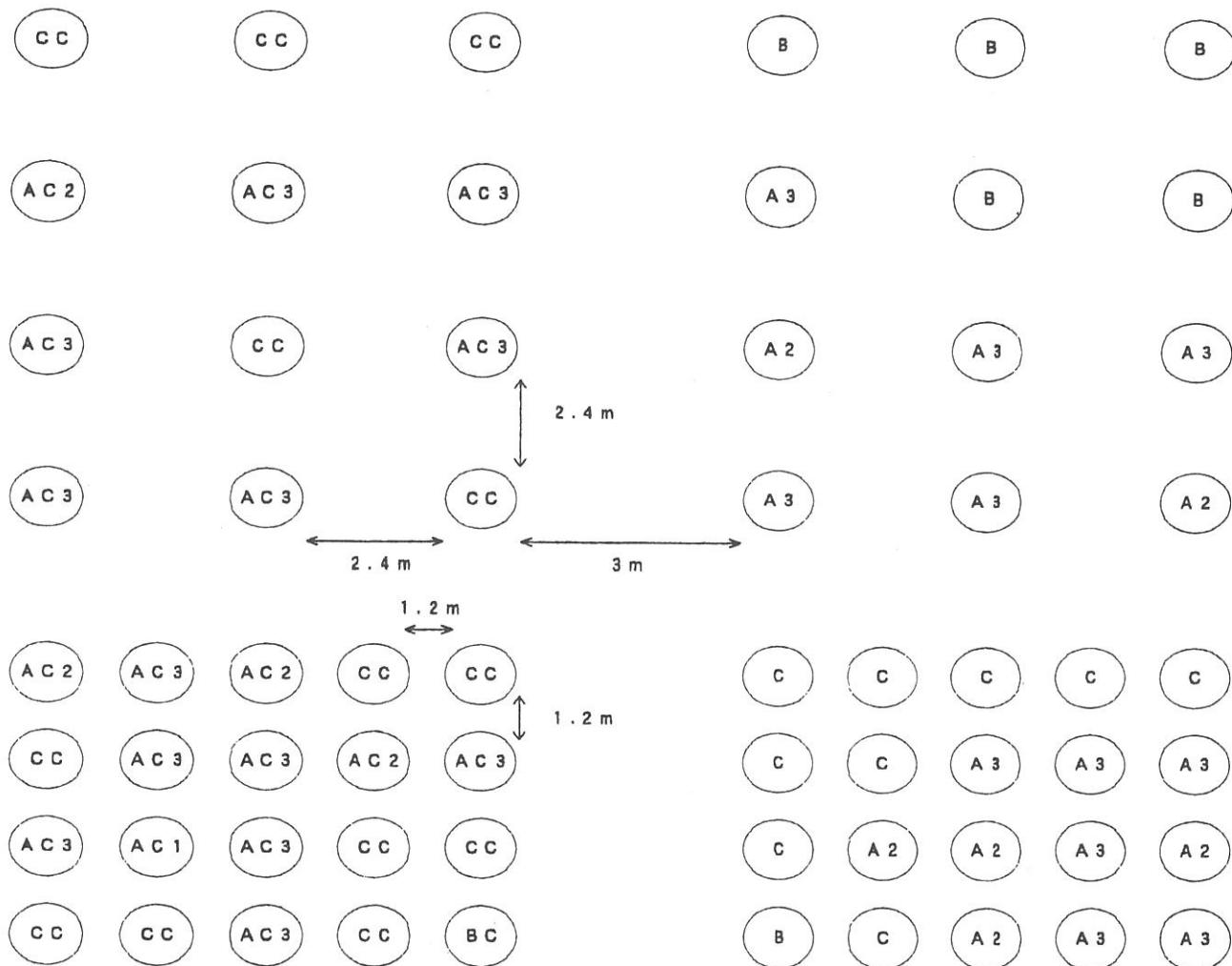


図-1 ヒノキとっくり病次代検定林植栽配置図  
(大分県日田郡天瀬町大字桜竹)

表-3 とっくり病次代検定林選抜クローンの成長及び樹幹形態(16年生)(平均値±標準偏差)

クローン名	植栽 現存		成 長 量		曲 り		膨大比数
	本数	本数	DBH(cm)	H(m)	根	幹	
AC 2	4 <sup>本</sup>	2 <sup>本</sup>	8.8 ± 0.90	9.5 ± 1.15	0.75 ± 0.25	0.50 ± 0.50	0.28 ± 0.04
AC 3	13	11	12.4 ± 2.34	10.9 ± 1.00	0.22 ± 0.32	0.04 ± 0.32	0.46 ± 0.15
BC	1	1	15.2	11.0	0.0	0.5	1.09
CC	13	12	13.2 ± 1.24	11.3 ± 0.64	0.12 ± 0.29	0.08 ± 0.18	0.19 ± 0.11
A 2	7	6	12.7 ± 2.38	10.6 ± 0.57	0.33 ± 0.47	0.66 ± 0.74	0.42 ± 0.15
A 3	13	11	13.8 ± 3.54	10.5 ± 0.42	0.27 ± 0.39	0.31 ± 0.38	0.42 ± 0.24
B	7	6	17.7 ± 3.31	10.9 ± 0.50	0.16 ± 0.37	0.33 ± 0.74	0.71 ± 0.27
C	9	7	12.3 ± 2.01	10.5 ± 0.10	0.64 ± 0.69	0.71 ± 0.36	0.54 ± 0.19
大分県地位(I)			12.3	8.0	(15年生)		

さて、この検定林で特筆されることは、いずれも成長が旺盛で、通直性に優れ、とっくり病状が全く見られず、一般の実生にくらべ、格段に優良な林分を形成していることである。親木が顕著なとっくり病状を呈していたA 2, A 3, B, Cの各クローンにおいて、1本のとっくり病の発現はみられず、根元肥大の状況を示す膨大係数は、とっくり病の閾値 1.2 よりいずれもかなり小さく、幹脚の締まったヒノキとなっている。また、根曲り、幹曲りも、評定値がいずれも 1 以下と小さく、樹幹がすこぶる通直であることを示している。成長量も、大分県地位 I (2) にくらべ、大部分がその値を越えており成長の優良性を示している。以下、クローン別に検討する。

- ① A C - 2 : 正常木からのクローン、残存本数 2 本と少なく、評価対象外。
- ② A C - 3 : 正常木を親木とするクローン、直径成長、樹高とも普通、根曲りも小さいが、幹曲りはほとんどなく、通直性に優れる。根元肥大はほとんど見られない。精英樹として選抜可能なクローン。
- ③ B C : 残存木 1 本のため、評価対象外。
- ④ C C : 正常木を親木とするクローンで、親木と地際部の根張りが極めて類似し、親子相関が高い。肥大成長、上長成長とも良好で、完満度が高く、枝葉小さく、温和なヒノキである。根曲り、幹曲りとも小さく、膨大比数も小さく、幹脚は見事に引き締まっている。高密度区と低密度区での肥大成長量の差が少なく、競争効果の高いヒノキとして注目される。精英樹として有望なクローンとして考えられる(写真-2)。
- ⑤ A - 2 : とっくり病木を親木とするクローンで、成長中庸、や、幹曲りの傾向がある。とっくり症状は全くみられない。
- ⑥ A - 3 : 肥大成長に優れるクローン。標準偏差値がや、大きいのは、高密度区と低密度区における成長の差に起因する。根曲り、幹曲りがや、みられる。とっくり病木を親木とするも、根元肥大は全くみられない。精英樹として選抜可能なクローン。
- ⑦ B : 徳利病木を親木とするクローン。他のクローンより、さし木苗の生産が 1 年ほど古いためか、肥大成長は他のクローンに卓越して大きい。鳥足状の根株を大きく張って独特の形態を示し、太枝系でや、うらごけ傾向を示す。根曲りはほとんどみられず、幹脚部は、がっしりして安定感がある。自然災害に耐性のあるクローンとしての可能性がある。精英樹として有望なクローンと考えられる(写真-3)。
- ⑧ C : とっくり病を親木とするクローン。良好な肥大成長を示すが、や、根曲り、幹曲りの傾向がある。根元肥大はみられない。精英樹として選抜可能なクローンと考えられる。

#### 4. 考察

ヒノキにおいては、実生の母樹からさし木した場合、親の形質を残さず変化する場合の多々あることを実証的に確かめ、その不可思議さに疑問を塩川(14)は呈したが、筆者も、この次代検定林の成長過程を見守りつつ、塩川と同様、さし木ヒノキの呈する不可思議な性質に惑わされ現在に至っている。実生からさし木にした場合、そのクローンは、親木と随分異なった樹形形態を示すことがこの検定林でもみられたが、それは、親が著しいとっくり病であるに拘らず、そのクローン群は

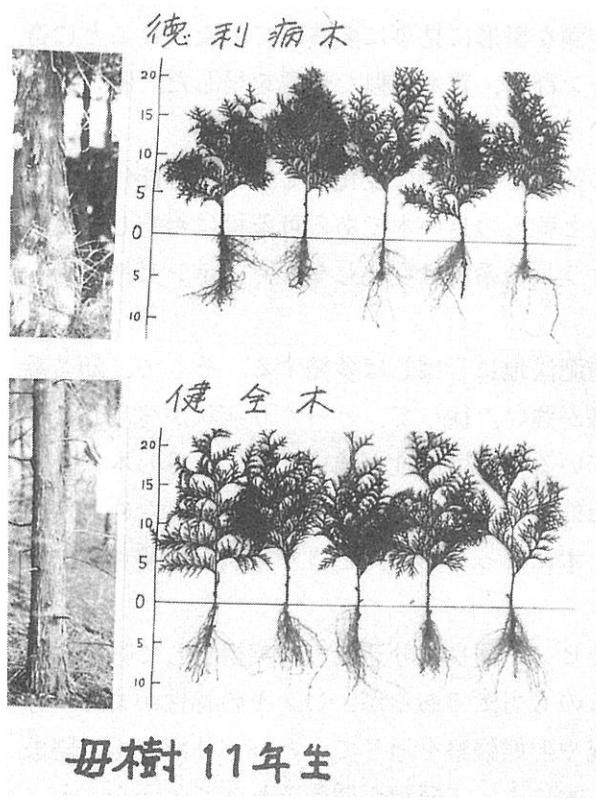


写真-2 クローンCCの親木とさし木苗(左側写真下部)とその成木(右)

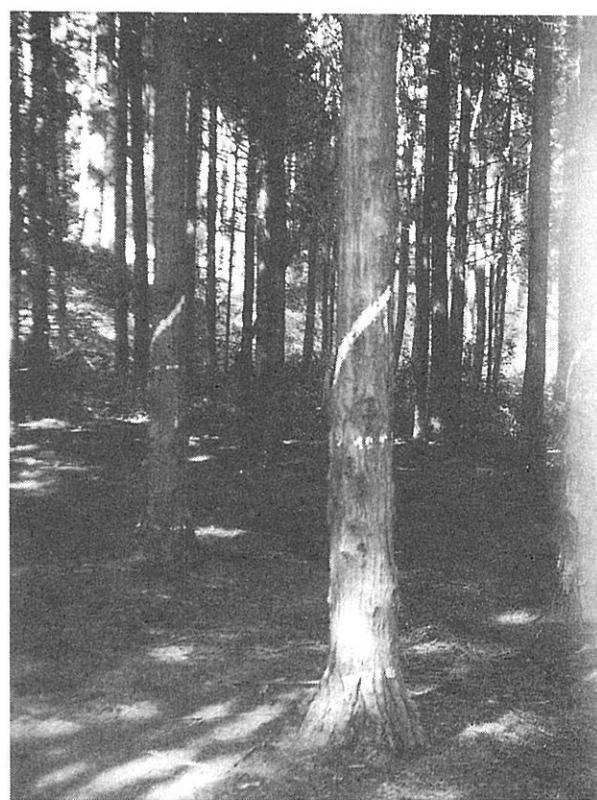
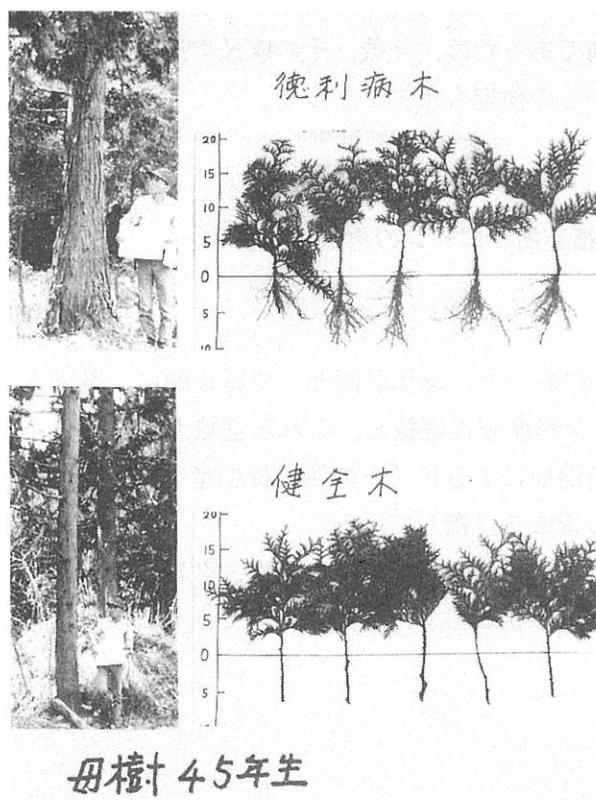


写真-3 クローンBの親木とさし木苗(左側写真上部)とその成木(右)

親木とは似ても似つかぬ端正な幹脚を呈し、通直、完満な樹形に見事に変質していた。まことに奇妙な現象といえる。一方、親木が正常であったクローン群は、親木に似た形質を呈した。特にCCとされる系統は、親木とそのクローンは、見事なまでに類似していた。

とっくり病という環境指向性の強い症状が、本来の幹形をいびつに変化させている可能性もあるとっくり病という症状を示していても、それはもともと幹形の良い木である可能性は否定しきれないものである。雑な言い方を許してもらえるなら、サクラヒの系統は変化しやすく、ホンピ系統のものは変化しにくい傾向にあるかもしれない。

とっくり病は、土壤水分に恵まれた黒色土や、谷筋肥沃地にしばしば多発する。そして、幼若齢時においてとっくり病は、優勢木として成長する性格が強い。従って、とっくり症状が発現しない場合を考えれば、生来、優勢木としての特性を有している木の可能性が強い。更に、さし木によってとっくり症状は隠蔽されても、成長の強大さは遺伝的に保持されていると推測されるため、初期成長は比較的旺盛なのである。しかしながら、さし木によって何故、とっくり病が回避され、樹幹の通直性が良好となるかは不明である。

いずれにしても、とっくり病木を親木とするものをヒノキ優良林分造成の精英樹として選抜することは、選抜育種の常識を外れており、問題視されるのも当然であるが、ヒノキの特性がまだ十分解明されていないことや、この次代検定林の生育状況や形態観察を通じて、とっくり病親木に隠蔽されている可能性のある優良木としての特性は、さし木によって発現が期待されることから、とっくり病木を精英樹の選抜対象から除外してしまうことは、適当でないと考えられた。

以上、クローンごとの特性を勘案して、CC及びBを、将来有望な精英樹として選抜した。またAC-3, A-3, Cの3つのクローンを、精英樹として可能性のあるクローンとして選抜した。しかしながら、まだ16年生という若い樹齢での判別であるため、今後、その成長や形態について追跡が必要であろうし、将来的には、材質強度の面からの検定も重要となろう。

### III. 本県産を中心としたヒノキ精英樹クローンの再選抜

#### 1. 目的

「優良ヒノキ生産林造成事業」(平成8年度開始)において、全体計画として将来的に、県下より選抜されているヒノキ精英樹を中心に、20クローン程度を再選抜し、これら選抜されたヒノキによる低台仕立の採穂園の造成をはかり、クローン苗混植によるヒノキの銘柄材生産を目標に、さし木ヒノキによる育苗技術の定着と、優良ヒノキ林の造成を目指している。

今回、当場天瀬試験地に設定されているヒノキ精英樹クローン集積所において、クローン選抜の一環として再選抜調査を行ない、8つのクローンを優良系統として再選抜したので、その概要について報告する。

#### 2. 調査地及び方法

##### 1) 調査地

調査地は、大分県林業試験場天瀬試験地に、1971年3月設定されたヒノキ精英樹クローン集積

所である。この集積所には、県内産 22 クローン、県外産 32 クローンの計 54 クローンが、1 クローンあたり 9 本、2.5 m × 2.5 m の間隔で植栽されている。このうち、平成 4 年に不良木を中心に除伐が行なわれ、1 クローンあたり 1 ~ 5 本が伐採されている。枝打ちは、6 m まで実施済みである。

このうち、1991 年 9 月台風 19 号により県内産の 2 クローン（四日市 14 号、竹田署 1 号）が全滅し現在現存する県内産クローンは、20 クローンとなっている。

植栽に用いられたヒノキは、実生ヒノキに各クローンを接木して養成した苗で、林野庁林木育種センター、九州育種場によって生産されたものである。

## 2) 調査方法及び選抜手法

1996 年 7 月に、毎木調査を実施した。調査時の樹齢は 23 年生である。肥大成長は、根元部と胸高部位の 2ヶ所について実施し、輪尺で 2 方向より mm 単位で計測した。樹高は、測高桿を用い 10cm 単位で計測した。根曲り（幹脚 1 m 以内）及び幹曲り（地表 1 ~ 7 m）は、肉眼判定による 4 区分法で行った（0：曲りなし、1：曲り小、2：曲り中、3：曲り大）。枝径、枝長及び枝密度は、いずれも肉眼による 5 区分判定により行った。判定区分は、枝径（5：大 → 1：小）、枝長（5：長 → 1：短）、枝密度（5：密 → 1：疎）とした。

優良クローンの選抜は、これら計測データを用い主成分分析にて、通直性良好で成長が優れ、枝の性質が良好なクローン集団をスコア散布図を用いて抽出し、再選抜した。

## 3. 調査結果

大分県内産 20 クローン、県外産 32 クローン、計 52 クローンのヒノキ 23 年生精英樹の成長及び形状特性は、付表-1 に示した。表-4 は、全クローンの成長量及び枝特性等について、その平均値を示したものである。

表-4 全クローンの成長量及び枝特性の平均値（ヒノキ23年生、52クローン）

項目	D.B.H (cm)	樹高 (cm)	曲り		枝特性			膨大比数
			根元	幹	枝径	枝長	枝密度	
平均値	19.6	13.6	0.18	0.60	3.80	4.55	2.84	0.34
標準偏差	2.2	1.12	0.21	0.54	1.10	0.77	1.27	0.11

当場で作成した、本県におけるヒノキ林林分収穫表（2）における地位 I の成長量は、25 年生時林分で胸高直径 16.6 cm、樹高で 13.4 m となっており、これらクローン群は、地位 I の成長を越えた成長を示し、特に、肥大成長に優れていることが認められるが、植栽密度が 1,600 本 / ha と低かったことも影響していると推測される。

根元曲りの値が極めて小さいことは、注目されてよい。0.18 という数字は、ほど通直と見なして差しつかえない。クローンの特性なのか、接木による効果なのか不明であるが、根元部の通直性は抜群といえる。幹曲りは、根曲りに比べや、大きな値をとり、バラつきも大きくなるが、それでも 1 以下であり、樹幹の通直性は一般の実生林に比べ、格段に優れているといってよい。

枝特性は、疎植の影響を受けてか太枝で、枝の長いものが目立って多くみられた。膨大比数（4）

は、地際部の異常肥大（とっくり病）の判定のため 1.2 を閾値とし、それ以上をとっくり病と判定しているが、このクローン群は、平均で 0.34 と値が小さく、異常肥大は、どのクローンにおいても発現していなかった。

### 1) 主成分分析による優良クローンの再選抜

計 52 のクローンについて計測された、成長量及び形態特性の各データを用いて、主成分分析手法により優良クローンの抽出を試みた。使用した変量は、胸高直径、樹高、根曲り、幹曲り、枝径、枝長及び枝密度の 7 変量とした。地際直径は、胸高直径と密接に関連しており、膨大比数、真円率は、クローン間で殆ど差異が認められることから、変量として用いなかった。

まず、7つの変量間における関連を相関係数を用いて検討した（表-5）。

表-5 相関係数行列

	D.B.H	樹 高	根曲り	幹曲り	枝 径	枝 長	枝密度
D.B.H	—	0.5727	-0.2566	-0.1612	0.1597	0.0999	-0.0536
樹 高		—	-0.1127	-0.1269	-0.0950	-0.0676	-0.1674
根 曲 り			—	-0.4190	-0.0322	0.0873	0.1534
幹 曲 り				—	0.0731	0.1723	-0.0668
枝 径					—	0.5135	-0.1148
枝 長						—	0.0883
枝 密 度							—

変量間の相関は、胸高直径と樹高、根曲りと幹曲り、枝径と枝長の間では、やや高い正の相関が認められたが、全体的に関連が小さく、各変量とも独立性の高いことがうかがわれた。

次に、これらの変量を用いて、主成分分析を行った。その結果を表-6として示す。

表-6 主成分と因子負荷量

変 数	主 成 分			
	第 1	第 2	第 3	第 4
固有地	1.8808	1.6038	1.1501	1.0372
寄与年(%)	26.8	22.9	16.4	14.8
累積寄与率(%)	26.8	49.7	66.1	80.9
胸高直径(cm)	0.5342	0.2933	0.2152	0.2864
樹高(m)	0.5124	0.0681	0.5080	0.2053
根曲り	-0.4721	0.0223	0.4828	0.2529
幹曲り	-0.4140	0.1991	0.5545	-0.1026
枝径	-0.0325	0.6614	-0.2285	-0.1727
枝長	-0.1432	0.9514	-0.1417	0.1605
枝密度	-0.1898	-0.0852	-0.2871	0.8635

第1主成分は、全体の26.8%の寄与率を示す特性値であるが、寄与率としては、それほど大きくはない。第1主成分を構成している主な変量は、胸高直径、樹高、根曲り、幹曲りの4変量で、あと2者は負の値となっている。成長が良好なものは大きな値に、根曲り、幹曲りの大きいものは小さな値となる。したがって、この主成分は、成長の良好さと、樹幹の通直性を示す因子とされる。第2主成分は、枝径、枝長の値が大きく、他の係数は小さいことから、枝の特性を現す主成分とされ、枝径が太く、枝長の長いものは大きな値をとる。今回のクローネ再選抜の変量対象は、第一に樹幹の通直性、第二に成長の良好さ、第三に枝形態の良好さにおいていた。

第1主成分が、成長の良否と樹幹の通直性を、第2主成分で、枝の特性が指標されることから、この第1、第2主成分で、優良クローネの選抜はほぼ可能と考えられた。たゞ累積寄与率は、この両者で49.7%とそれほど高くない。

のことから、各クローネのスコアを求め、第1、第2主成分についての散布図を描いた。これを図-2として示す。

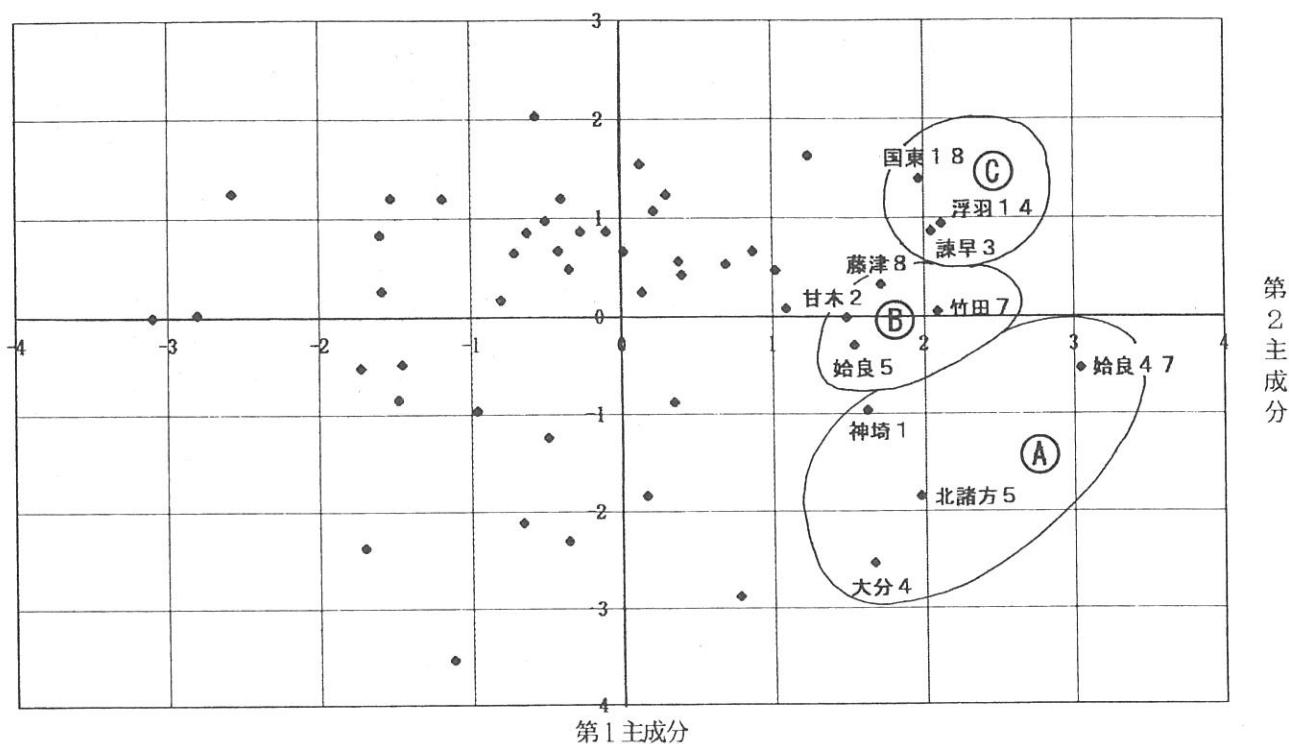


図-2 7特性値による各クローネのスコア散布図

前述の主成分と因子負荷量で触れたとおり、この散布図では、X軸の正の方向に、成長良好で根曲り、幹曲りの小さいクローネが収束し、X軸の負の方向には、成長不良で根曲り、幹曲りの大きいクローネが収束する。また、Y軸の正の方向には、枝径が太く、枝長の長いクローネが収束し、Y軸の負の方向には、枝径が小さく枝長の短いクローネが収束することとなる。

ここでの選抜目標は、第一に通直であることから、X軸の大きいクローネ群が抽出される。次いで成長の良好なクローネも、同様の位置を占めることになる。ここでは、第1主成分スコアで1.50以上の値を示すものを再選抜優良クローネとして選出した。始良47号を含め、計11クローネが抽

出された。この選抜されたクローンは、枝径、枝長の差異を加味し、A、B、Cの三グループに区分した。

A グループ：樹幹通直、成長良好、枝径小、枝長短の最優良クローン群

始良 47 号、大分 4 号、北諸方 5 号、神埼 1 号の 4 クローン

B グループ：樹幹通直、成長良好、枝径中、枝長中の準優良クローン群

藤津 8 号、竹田 7 号、始良 5 号、甘木 2 号の 4 クローン

C グループ：樹幹通直、成長良好、枝径大、枝長長の予備的優良クローン群

国東 18 号、諫早 3 号、浮羽 14 号の 3 クローン

## 2) 再選抜クローンの特性

前述のように計 52 クローンについて、主成分分析の結果、11 クローンが優良クローンとして再選抜された。再選抜されたクローン群は、枝の形態特性の差異で三つのグループに区分された。ここでは、各計測値の平均を求め、各グループの特性を要約した（表-7）。

表-7 再選抜クローンの特性（23年生）

グループ名	クローン名	成長量		曲り		枝特性		
		D.B.H	H	根元	幹	枝径	枝長	枝密度
	始良 47, 大分 4				m			
A	北諸方 5, 神埼 1	21.7	14.8	0.00	0.07	2.75	3.50	3.25
	藤津 8, 竹田 4							
B	始良 5, 甘木 2	21.5	14.5	0.04	0.25	3.50	4.50	1.25
	国東 18, 謳早 3							
C	浮羽 14	22.8	15.0	0.00	0.17	4.33	5.00	2.67

本県におけるヒノキ林の林分収穫表（2）における地位 I, 25 年生時の主林分の総成長量は、胸高直径で 16.6 cm、樹高で 13.4 m と算出されている。本クローン集植所は、黒色火山灰土壤のや、乾性型にあり、地位的には II にランクされるが、この再選抜のクローン群は、胸高直径及び樹高とも地位 I を凌駕しており、選抜精英樹としての成長の良好さが認められる。再選抜クローン群では、C グループが A、B グループに比べて若干良好な成長を示している。枝径、枝長の枝特性が大きいことから、成長にもその影響を及ぼしているのかもしれない。A グループでは、根曲りは全く認められず、幹曲りも小さい。枝径も小さく、枝長も短い。ただし、枝密度はグループ中最も高い。トータル的に、最も優れたクローン群とみなされる。柱材の生産に適するクローン群である。C グループでは、成長強大で枝が太くかつ長いクローン群で、枝密度はや、低い。生節用の材の生産に適当かもしれない。B グループでは、A、C グループの中間的な値をとるグループであるが、枝密度が低いことが特長である。柱材、一般材の生産用途が考えられる。

## 4 考察

まだ若い 23 年生の、精英樹集植所の生育状況よりの漸定的な二次選抜を試みた。全クローンとも接木苗である。クローンごとの成長量や各形態は、均一性が高く、クローンの特性判断には好都

合であった。各クローンの成長量は、立地条件は地位Ⅱクラスにあるに拘らず、地位Ⅰを越える成長を示し、根曲り、幹曲りは極めて小さく、実生林分に比べて樹幹形ははるかに優良であった。疎植のため、枝径や枝長は、一般的に強大である傾向はみられたが、成長及び形態など精英樹としての選抜効果は、現時点では明瞭に認められた。しかしながら、1林分の事例でしかないこと、まだ23年生という若齢であること、接木のため自生根ではないので、地際部の形態が本来のものか、あるいは形質的に変化した状態かが見分けられること等の問題点がある。また、材質的な面、即ち強度特性や心材色などまだ不明なこと等も挙げられ、この時点での二次選抜ははたして、どこまで信頼度がおけるかが問題となる。したがって現段階では、漸定的というとらえ方の方がいいのかもしれない。

このように漸定的ながら、主成分分析によって、まず通直性を第一主眼とし、次いで成長量を加味して二次選抜を行い、11のクローンを選出した。このクローン群を特性により、三つのグループに区分した。ベースが精英樹であること、接木で親木の形質をよく残存していること、柱材の生産がほゞ可能な木に成長していること等で、ここに選出されたクローン群は、いくつかの問題点は残しながらも、より良好な精英樹であることは、十分期待しうると考えられる。育種検定の長期性という隘路は、厳然として立ちふさがっているが、この最終結果を見届けた上での選抜は、現状の林業の推進には間に合わない。より良い結果が得られる可能性があるならば、今回のような早期検定手法の導入も、林業活性化のためには必要と考えられる。

#### おわりに

ヒノキの造林に新しい風が吹きはじめている。それは、こゝ数年来、宮崎県をはじめとした九州地方を中心に展開している上高2号によるさし木ヒノキの植林ブームである。従来、ナンゴウヒを除いて、ヒノキのクローン苗によるさし木造林は行われておらず、いずれの地方においても、ヒノキの造林は実生苗を用いて行われてきた。実生苗は曲がりやすく、場所によってはとっくり病が発生する。枝打ちしても、なかなか目的の材が生産出来ない、生産材にバラつきが大きい等、多くの不合理性を有しながら、さし木発根性の不良さ、枝性の問題等でクローン化が阻まれていたため、実生苗の造林がごく普通に行われてきた。しかしながら、前橋康夫氏による低台仕立の採穂園の造成や二宮一雄氏による上高2号という優良クローンの発掘、超小型さし穂とコーティング肥料の使用によるさし木苗作りの成功が、ヒノキのクローン林業へ大きく目を開かせる結果となり、宮崎県を拠点として、ヒノキさし木苗造林が熱を帯びてきている。

さし木利用苗の利点は、まず第一にクローン化がなされること、通直性が高まること、とっくり病が回避できることの三点があげられる。これは、優良で規格のそろったヒノキ材の生産に好都合であり、ヒノキ林の質的向上がはかられ、銘柄化や産地形成につながるものと期待される。しかしながら、クローン林業について問題も残されている。自然災害に対する耐性、長伐期移行の適否、病虫獣害抵抗性、材質評価等であり、また特に単一クローンによる大規模な一斉造林は、まだ現時点ではリスクが大きいと考えられる。このようなことから、ヒノキのクローン造林の目指す方向は、多くのさし木クローンを混植し、生態的に実生林分に近い形で管理していくクローン混植林業にあると考えられる。

本県では、クローンによる優良林分の造成を目的として、平成8年度より「大分県優良ヒノキ生産林造成事業」が開始された。ヒノキ林の質的向上をはかり、銘柄材生産を目標に、さし木による育苗技術の定着により、優良ヒノキ林を造成していくというもので、平成14年を目途に、ヒノキ新植面積の約3分の1をさし木苗利用による造林地へ変換する計画である。この事業の動向によって、種子の豊凶差による苗木生産の安定改善がはかられ、形質優良なヒノキ林の造成が可能となるという一石二鳥の効果が期待されている。

本報では、本事業推進のベースとなる採穂園造成のため、さし木増殖による苗木生産技術の定着とっくり病次代検定林及び精英樹クローン集植所を利用した、優良クローンの漸定的再選抜について検討した。さし木による増殖は、低台仕立の採穂園の造成によって、今後更に苗木生産効果率は高まると考えられる。優良クローンの選抜は、親木が若齢の早期選抜であり、選抜育種の基本原則から外れる。しかしながら、林木育種の永年性を考慮した場合、当面、林業経営に直接有効に結びつく可能性の高い系統は、さし木でクローン化することにより、目的形質は分離することなく遺伝されることから、早期検定による選抜であってもその効果は、十分に満たされるものと推測され、本事業が、ヒノキクローン林業の推進に大きな原動力になることを期待したい。

### 引　用　文　献

- (1) 橋詰隼人・谷口伸二(1981)：低台式採穂園方式によるヒノキ優良木家系の挿木増殖および挿穂の生理的齢と挿木の発根性との関係に関する二、三の研究、鳥取大演報13, 1—17
- (2) 諫本信義(1983)：ヒノキ人工林の生長と形状に関する研究－大分県におけるヒノキ林について－、大分県林試研報10, 1—120
- (3) ———(1983)：立地とヒノキ幹材の形質特性(Ⅲ)さし木苗と実生苗ヒノキ林の比較、大分県林試年報25, 49
- (4) ———(1985)：膨大比数によるとっくり病木の判定法について、大分県林試時報11, 35—39
- (5) 楠園時徳(1983)：萌芽枝によるひのき苗木の養成、日林九支研論集36, 131—132
- (6) 前橋康夫(1971)：採穂台木を利用したヒノキ挿木養苗について、智頭町森林組合, 1—12
- (7) 宮島寛(1962)：ヒノキ栄養系の育成に関する基礎研究、九大演報34, 1—164
- (8) 二宮一雄(1988)：林木の新しい育種法「ヒノキ・若木・エリートクローン選抜育種法」と郷土ヒノキ「上高二号」「上高七号」の作出に関する研究、天然しほの研究, No14, 4—17
- (9) ———(1989)：郷土ヒノキ品種のさし木育苗法、天然しほの研究, No15, 26—38
- (10) ———(1994)：ヒノキ施肥さし木育苗法、ヒノキさし木苗育苗技術研修会資料, 3
- (11) ———(1994)：さし木苗による床替育苗法、ヒノキさし木苗育苗技術研修会資料, 4
- (12) 鬼塚勇(1983)：ヒノキさし木について、林木の育種, No129, 9—11
- (13) 大山浪雄・中島精之(1985)：ヒノキさし木造林木の樹幹形質、日林関西支議36, 137—146
- (14) 塩川彰(1983)：ヒノキさし木造林の夢と疑問、林木の育種, No127, 24—26
- (15) 戸田忠雄・藤本吉幸(1983)：ヒノキのさし木に関する研究(I)－精英樹クローンのさし木発根性、日林九支研論集36, 129—130

付表-1 ヒノキ精英樹クローンの成長及び形態特性  
(大分県日田郡天瀬町 23年生)

No	クローン名	本数	DBH (cm)		樹高 (m)	曲り		枝		最大葉 数	真円率 (%)	产地	
			1.2 m	0.2 m		根元	幹	径	長				
1	中津9号	5	18.3	19.6	12.2	0.00	0.20	5	5	1	0.24	97.3	大分県
2	中津10号	3	17.4	18.9	12.4	0.33	0.67	5	5	3	0.29	96.4	"
3	中津11号	2	18.8	21.4	13.5	0.50	0.00	5	5	3	0.45	99.0	"
4	中津12号	4	19.6	22.0	12.9	0.25	0.50	4	5	2	0.42	96.6	"
5	玖珠5号	6	17.8	18.6	12.5	0.17	1.17	5	5	1	0.16	97.0	"
6	玖珠6号	6	19.1	20.6	12.7	0.17	0.67	5	5	1	0.26	96.4	"
7	竹田7号	5	23.7	25.7	13.7	0.00	0.40	5	3	1	0.32	96.7	"
8	竹田8号	6	15.4	16.6	12.4	0.17	2.17	5	5	1	0.25	96.0	"
9	三重5号	6	19.8	21.8	14.3	0.17	0.67	5	4	1	0.33	98.5	"
10	三重6号	7	21.9	23.8	14.5	0.14	0.57	5	5	1	0.30	97.2	"
11	佐伯5号	6	15.3	16.5	12.0	0.00	0.17	4	5	5	0.25	98.4	"
12	佐伯17号	6	19.8	21.0	14.7	0.17	1.00	4	5	4	0.23	97.6	"
13	大分4号	8	20.7	22.1	14.3	0.00	0.13	2	3	3	0.23	98.6	"
14	大分5号	7	21.2	23.3	12.7	0.00	0.43	4	5	3	0.33	98.6	"
15	大分7号	8	19.8	21.8	15.0	0.38	0.63	3	4	3	0.35	98.3	"
16	大分8号	8	19.9	21.1	13.1	0.00	0.88	3	3	4	0.21	98.1	"
17	日出4号	6	17.3	18.8	11.7	0.00	0.00	3	5	5	0.29	96.5	"
18	日出6号	8	17.0	19.8	12.5	0.00	0.38	5	5	3	0.53	97.9	"
19	国東18号	8	21.2	23.5	15.1	0.00	0.13	5	5	1	0.39	97.3	"
20	国東19号	8	21.3	22.5	14.3	0.13	0.38	3	5	2	0.20	98.0	"
21	山田2号	6	18.6	21.5	13.4	0.17	2.17	3	5	3	0.34	98.1	福岡県
22	筑紫5号	7	16.2	17.7	12.2	0.00	1.14	1	3	3	0.33	96.8	"
23	嘉穂5号	7	21.4	23.9	13.3	0.00	0.00	4	5	3	0.41	99.0	"
24	嘉穂6号	6	22.0	24.9	13.2	0.00	0.33	4	5	3	0.47	99.0	"
25	甘木2号	7	20.8	23.0	14.7	0.00	0.29	3	5	2	0.37	98.6	"
26	浮羽14号	8	24.1	27.0	14.5	0.00	0.13	4	5	3	0.45	97.1	"
27	佐賀1号	6	20.9	23.6	14.0	0.33	1.33	4	5	3	0.44	98.2	佐賀県
28	唐津1号	8	18.2	20.0	12.6	0.88	1.50	3	5	3	0.34	96.8	"
29	藤津8号	7	22.9	25.1	14.4	0.14	0.29	3	5	1	0.33	97.5	"
30	神崎1号	8	22.1	24.4	14.1	0.00	0.00	3	4	4	0.37	98.1	"
31	小城1号	6	16.0	17.4	11.9	0.17	0.33	3	5	3	0.27	97.6	"
32	長崎1号	4	23.3	27.5	13.0	0.25	1.75	5	5	3	0.67	97.1	長崎県
33	諫早1号	7	17.3	22.0	11.9	0.29	0.71	3	5	3	0.89	97.0	"
34	諫早3号	8	23.3	25.5	15.3	0.00	0.25	4	5	4	0.34	97.2	"
35	南高来3号	5	17.4	19.1	12.4	0.20	0.20	3	3	2	0.31	98.4	"
36	南高来8号	7	19.7	21.6	15.5	0.29	1.43	4	5	1	0.34	96.3	"
37	長崎署1号	7	19.5	21.0	13.3	0.14	0.29	5	5	5	0.25	96.9	"
38	菊地1号	7	20.2	22.4	12.9	1.00	1.71	3	5	5	0.37	97.4	熊本県
39	阿蘇3号	8	21.5	24.2	13.6	0.13	1.00	5	5	3	0.39	93.9	"
40	阿蘇4号	7	18.4	19.7	13.3	0.14	0.14	5	5	5	0.27	97.7	"
41	阿蘇6号	8	19.7	21.3	13.4	0.50	1.00	5	5	5	0.28	98.6	"
42	阿蘇7号	8	21.5	23.1	13.8	0.13	0.50	5	5	5	0.27	96.7	"
43	東臼杵1号	6	15.9	18.0	12.2	0.50	0.50	3	3	2	0.40	97.6	宮崎県
44	西臼杵1号	7	20.3	22.1	15.7	0.29	1.29	3	5	4	0.31	98.8	"
45	北諸県1号	8	21.0	22.2	14.7	0.00	0.00	3	3	3	0.22	98.1	"
46	姶良4号	7	17.1	18.9	14.3	0.43	0.43	4	5	3	0.33	99.0	鹿児島県
47	姶良5号	7	18.7	21.0	15.1	0.00	0.00	3	5	1	0.41	98.2	"
48	姶良11号	7	20.9	23.6	13.0	0.00	0.29	4	5	4	0.45	97.9	"
49	姶良12号	8	17.9	19.9	14.4	0.13	0.13	2	3	3	0.37	97.2	"
50	姶良39号	8	16.9	18.4	14.5	0.50	0.63	3	3	3	0.29	98.1	"
51	姶良47号	7	23.0	24.8	16.3	0.00	0.14	3	4	2	0.26	98.0	"
52	姶良53号	7	18.5	20.5	12.6	0.14	0.57	3	4	3	0.35	97.5	"

## 森林環境に対する酸性雨の影響（IV）： 県下主要河川源流部における溪流水の水質特性

諫本 信義・飛高 信雄<sup>1)</sup>

Effects of Acid Rain on Forest Environment (IV):  
Chemical Characteristics of Water in Mountain Stream at  
the Beginning Area of Main Rivers in Oita Pref.

Nobuyoshi ISAMOTO and Nobuo HIDAKA<sup>1)</sup>

### 要 旨

筑後川、大分川、駅館川等、大分県内における主要河川の源流部 16 地点において、平成 5 年度から年一回（10 月～ 11 月の間）、平水時に採水を行い、pH や溶存イオン、重金属類等の検出を行うとともに、経年変化を追跡している。

水質特性は、源流域における地質母材の影響を強く受け、16 ヶ所の調査地は、プロピライト、火山灰、安山岩、温泉熱水変質及びその他の 5 流域区に区分され、それぞれ特有の水質組成を示した。温泉熱水変質流域は、最も溶存成分量が大きく、126 mg/l を示し、最少の安山岩流域の 4 倍強の濃度を示した。キーダイヤグラムで分類したところ、プロピライト流域は、Ca-SO<sub>4</sub> に近い型を示したが、他の流域区は Ca-HCO<sub>3</sub> 型であった。火山灰流域区における水質は、他源流区に比べ K<sup>+</sup> 及び Si 濃度が有意に高いという特徴を示した。pH は、6.62 ～ 7.33 の間にあり、源流水間で差は認められなかった。

### I はじめに

水の貯留機能としての水源涵養及び水質浄化機能は、種々ある森林の公益的機能のうちで最も重要な機能である。特に水質浄化機能については、酸性雨等による酸性降下物の慢性的な負荷によって、その機能の劣化や水質成分への影響が懸念され、森林地帯や山岳地における降雨や溪流水に関する研究が盛んとなり、多くの基礎的データが蓄積されつつある（3, 7, 8, 9 など）。

安藤ら（1, 2）の東京都における長期データによれば、1995 年時点では、酸性雨による陸水への影響は認められないとしているが、緩衝能の低い流域においては、注意深いモニタリング調査が必要であるとしている。当県でも、酸性降下物の負荷による河川の酸性化について報告はなく、

1) 大分県衛生環境研究センター・水質部（〒870-0946 大分市大字曲芳河原団地）

東京都と同様に現時点では、その影響は認められていないが、酸性物質の流域への負荷は慢性的なものとなっており、森林及び森林生態系に対する影響については、重大な監視が必要である。

筆者らは、1993年以来、県下主要河川源流部16ヶ所において、平水時における渓流でのpHや溶存イオン等を計測し、その水質特性について検討した。その結果、源流部における水質は地質の影響を大きく受け、成分組成に特有の傾向があることが見出されたので、その概要について報告する。

## II 採水地及び分析方法

### 1. 調査地点

源流部における採水地の状況を表-1及び図-1に示した。また、図-2に本県地質の概略図を転載した。採水は年一回とし、毎年10月下旬から11月上旬の平水時に実施した。採水地は、上流部に人為的な工作物がない場所を選定した。

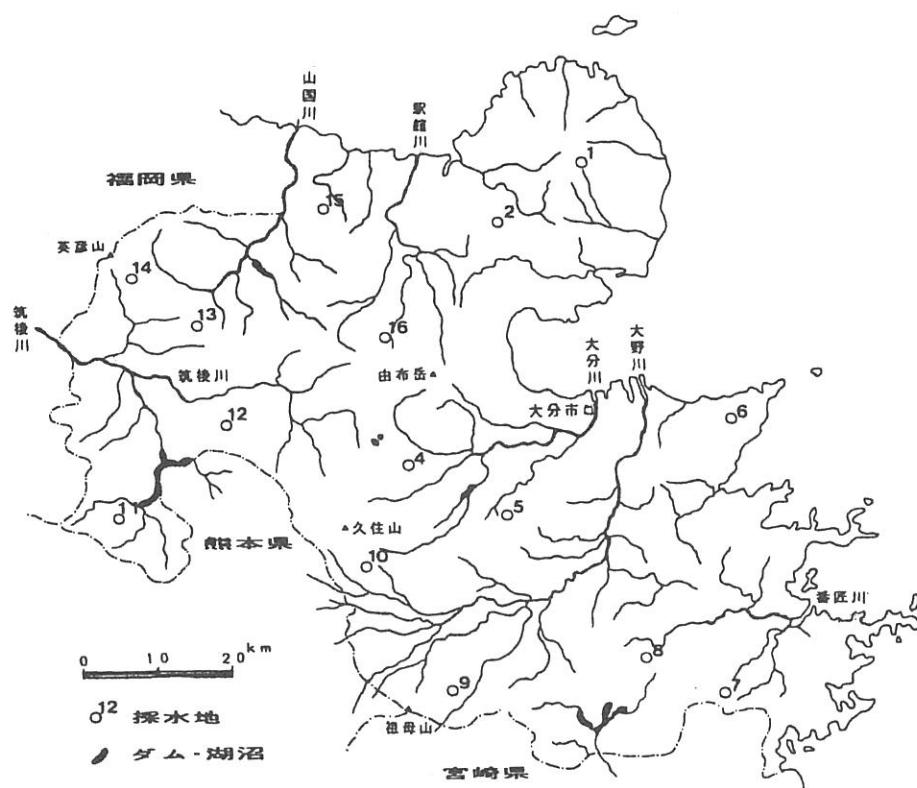
表-1 採水地の状況

採水地No	採水地	河川系	地質	土壤	標高(m)	海岸距離(km)
1	東国東郡安岐町両子	安岐川	安山岩	褐色森林土	340	9.6
2	速見郡山香町今春	寄藻川	アーピート	褐色森林土	180	9.0
3	別府市明礬	春木川	角閃石安山岩	褐色森林土	440	6.0
4	大野郡庄内町内山	阿蘇野川	流紋岩+火山灰	黒色土	750	21.0
5	大野郡野津原町高原	七瀬川	流紋岩+火山灰	黒色土	590	21.0
6	北海部郡佐賀関町志生木	志生木川	結晶片岩	褐色森林土	160	3.0
7	南海部郡直川村吹原	番匠川	古生層	褐色森林土	160	12.0
8	南海部郡本匠村上津川	番匠川	古生層(チャート等)	褐色森林土	200	21.0
9	大野郡緒方町上畠	奥岳川	大野層群(砂岩等)	褐色森林土	450	41.0
10	直入郡直入町沢水	稻葉川	火山碎屑物+火山灰	黒色土	850	34.0
11	日田郡中津江村黒谷	津江川	アーピート	褐色森林土	480	56.0
12	日田郡天瀬町塚田	玖珠川	流紋岩+火山灰	黒色土	380	42.0
13	日田市小河内町	花月川	耶馬溪凝灰角砾岩	褐色森林土	440	29.0
14	日田市源栄町中山	小野川	アーピート	褐色森林土	460	26.0
15	下毛郡三光村田口	丸川	筑紫溶岩	褐色森林土	230	9.0
16	宇佐郡院内町岡	恵良川	筑紫溶岩	褐色森林土	330	4.5

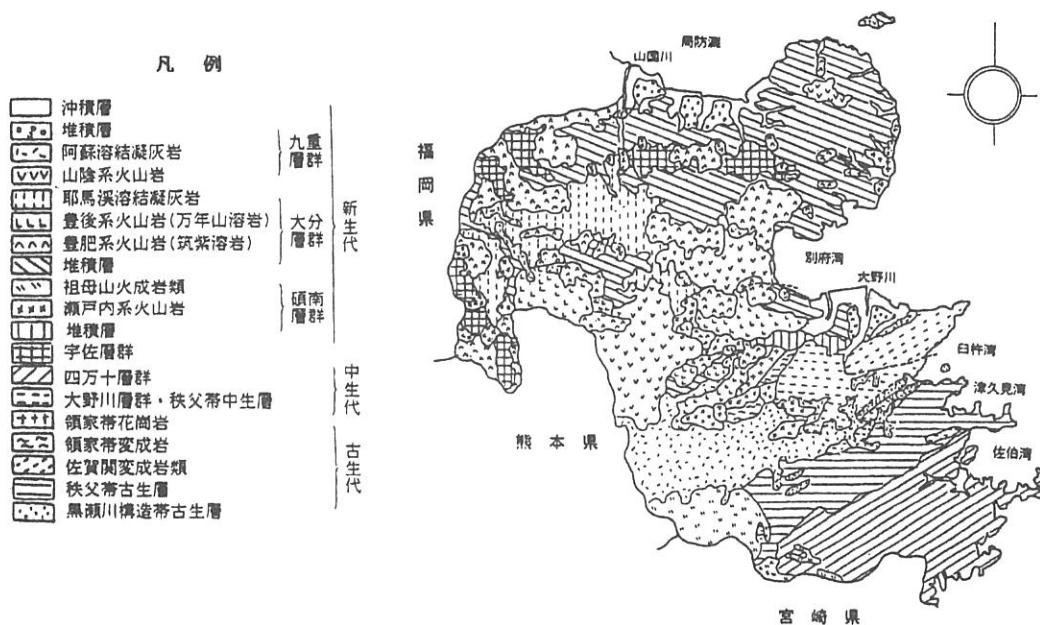
### 2. 水質測定方法

pH（水素イオン濃度）及びEC（電気伝導度）は、試料を持ち帰った後、直ちに計測した。カチオン、アニオン、重金属の定量は、冷蔵庫に保存していた試料について、一週間以内に実施した。

TOC（全有機態炭素）は、JISK-120に準拠して行い、アニオン類(Cl<sup>-</sup>, F<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)



図一1 溪流水採水位置



新版大分県植物誌(1989)より転載

図一2 大分県地質概略図

とカチオン類 ( $\text{Li}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ) はイオンクロマト法,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mn}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ , 溶解性-Si は ICP 発光分析法によって定量した。 $\text{HCO}_3^-$  は、中和点の pH 値 4.8 に対するアルカリ度を pH 計を用いて計測した。

### III 調査結果

1993 年～1996 年の 4 ヶ年における源流部 16 地点の平均水質成分を付表-1 に掲げた。

16 ヶ所における源流部の平均の pH は、7.05 ± 0.20 (土標準偏差) で、ほぼ中性の範囲にあった。最も pH が低かった地点は、別府市背後の河川で 6.69 であった。酸性熱水の影響が考えられる。

最も高い pH は 7.39 で、天瀬町塚田の河川でみられた。黒色火山灰の被覆下から流れ出る河川である。しかし、同様の火山灰被覆下流出水である直入郡沢水の pH は 6.98 であり pH の決定要因は一律ではないことが示唆された。

水質を構成する代表的な溶存イオン量について、小山 (5) による全国 225 河川のデータと比較してみた (表-2)。

これによると、 $\text{NO}_3^-$ -N が全国値よりもやや高い値を示したが、これは、森林土壤における硝化活動の結果と類推され森林地帯を源流とする本県の値が高くなっているものと思われる。 $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  カチオン類も、本県ではやや多いことが認められた。 $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  に富む石灰岩、凝灰岩、結晶片岩類等の分布が比較的広く分布することに起因すると考えられる。

逆に、 $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  等のイオン類はその溶存量が少なかった。 $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$  については、人為活動による影響による負荷が値を増加させる一因となっているか、本県での場合、源流部であり、その負荷がまだ加わっていないことがその溶存量を少なくしている原因であろう。

#### 1. 主成分分析による源流水質の特性把握

16 ヶ所の源流部水質は、溶存成分において種々の特性をもっている。これら特性は、データのバラツキの大きさによって決定されるが、そのバラツキの方向と大きさから、解析対象をより高次の集団に縮約する手法がある。これは、主成分分析と呼ばれる多変量解析の手法の一つであるが、本分析により、源流部水質の検討を行った。解析に用いた変量はアニオン類 ( $\text{F}^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  の 5 変量), カチオン類 ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  の 5 変量),  $\text{T}-\text{Al}$ ,  $\text{T}-\text{Si}$ ,  $\text{TOC}$  及び EC の計 14 変量である。

表-2 源流部 16 ヶ所の平均水質(単位 ppm)

項目	大分県源流部		A/B
	16ヶ所(A)	全国(B)*	
$\text{HCO}_3^-$	29.8	31.0	0.96
$\text{SO}_4^{2-}$	10.6	10.6	1.00
$\text{Cl}^-$	3.9	5.8	0.67
$\text{NO}_3^-$ -N	0.41	0.26	1.57
$\text{Ca}^{2+}$	9.6	8.8	1.09
$\text{Mg}^{2+}$	2.1	1.9	1.10
$\text{Na}^+$	3.9	6.7	0.58
$\text{K}^+$	0.97	1.19	0.81

\* 小山忠四郎(1980)による値

### 1) 変量間の相関行列

各変量間の相関行列を求めたところ、ECと他の変量( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ )間には、いずれも高い相関関係( $r = 0.738 \sim 0.926$ ,  $P < 0.01$ )があり、ECは他の変量で代替されることが指摘されたので、ECを除いた13変量で再度相関行列を求めた。この結果陽イオン間では、 $\text{HCO}_3^-$ と $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ 、陽イオン間では、 $\text{Ca}^{2+}$ と $\text{Mg}^{2+}$ 及び $\text{Na}^+$ と $\text{Mg}^{2+}$ の相関が非常に高く( $P < 0.01$ ),  $\text{NO}_3^-$ と $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ と $\text{Mg}^{2+}$ 間にも有意な相関がみられた( $P < 0.05$ )。Siは $\text{K}^+$ と相関関係が高かった( $r = 0.9088$ ,  $P < 0.01$ )

### 2) 主成分分析による分類

前記13変量による相関関係行列に基づき、主成分分析を行った。表-3に、主成分分析に基く第4主成分までの因子負荷量を示した。

この結果、固有値が1以上を示す主成分が4個得られたが、第3, 第4成分の比率は小さいので、第1, 第2主成分を用いて解析することにした。

第1主成分は、カチオンの $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ 、アニオンの $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ が比較的大きな値をとり、水質中の溶存イオンの総量を表わしている。即ち、カチオン、アニオンのイオン濃度の高い水質ほど、正の方向に位置することを示している。

第2主成分は、カチオンの $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{K}^+$ , アニオンの $\text{Cl}^-$ 及びTOC, Al, Siが比較的大きな値をとる。そして、 $\text{K}^+$ , Siを除いて、他は負となっている。これは、 $\text{K}^+$ 及びSi濃度の高い試料が正の方向に位置し、 $\text{Cl}^-$ , TOC, Al濃度の高い試料は負の方向に位置することを示している。

この第1及び第2主成分による累積寄与率は58.3%を示し、データ全体の約60%がこの二つの合成軸上で説明されることを表している。

図-3に各標本のスコアによる、第1, 第2主成分の散布図を示す。

図-3において、第I象限の右隅にNo.3が独立して配置されるが(A)、これは、アニオン類、カチオン類( $\text{NH}_4^+$ は除く)及びSiの溶存濃度が非常に高く、 $\text{NH}_4^+$ 及びAlの溶存が少ない水質となっている。第II象限の中間部分にNo.2, 6, 8及び14の4源流が配置される(B)。これは、アニオン類、カチオン類は比較的多いが、 $\text{K}^+$ やSiの濃度がやや低いグループである。第III象限の原点近くにNo.1とNo.7が配置される(C)。比較的バラツキの少ない平均的な値をもつ水質とされる。第III象限～第IV象限にかけて集合する最大個数のグループがみられる(D)。アニオン、カチオン

表-3 主成分と因子負荷量

変量	主成分			
	第1	第2	第3	第4
固有値	4.419	3.443	1.811	1.043
比率(%)	31.9	26.4	13.9	8.0
累積比率(%)	31.9	58.3	72.2	80.2
N a	0.438	0.006	0.229	0.038
N H <sub>3</sub>	-0.083	-0.375	0.121	-0.418
K	0.022	0.457	0.213	-0.002
M g	0.433	0.170	-0.004	-0.175
C a	0.403	0.001	-0.372	-0.068
F	0.049	-0.202	-0.391	-0.131
C l	0.192	-0.325	0.101	0.499
N O <sub>3</sub>	0.326	-0.230	0.034	0.445
S O <sub>4</sub>	0.285	-0.016	-0.446	-0.355
T O C	0.173	-0.321	0.384	-0.231
H C O <sub>3</sub>	0.418	0.129	0.120	-0.014
A l	0.053	-0.311	0.374	-0.341
S i	0.114	0.450	0.286	-0.159

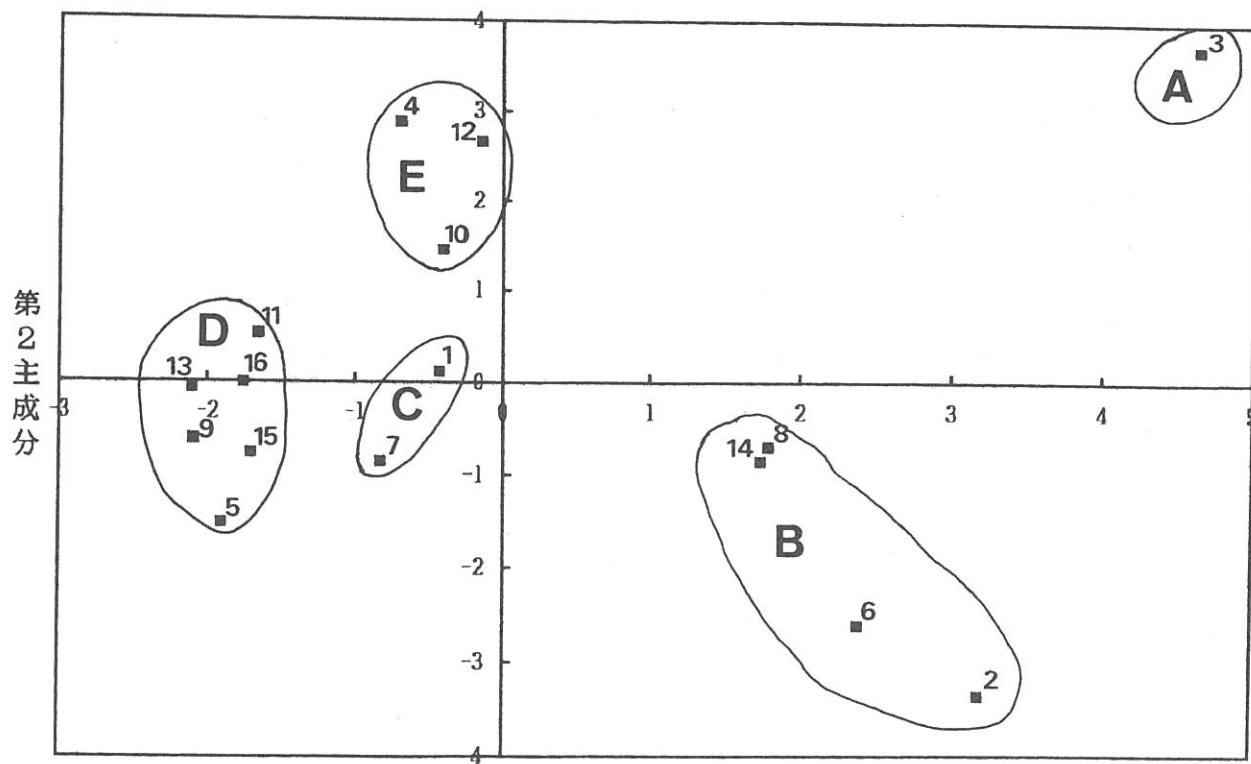


図-3 県下16源流水の散布図

類のイオン溶存量の比較的少ない低ミネラルの水質をもつ一段である。第Ⅳ象限にみられるNo.4, 10, 12の集まりは、カチオン、アニオンのイオン濃度はや、低いが、 $K^+$ 及び $Si$ 濃度が高いという特徴を有するグループである(E)。この第1及び第2主成分スコアによる合成変数より、この16ヶ所の源流水質はこのようにA, B, C, D, Eの5集団に区分することができる。

### 3) 主成分分析により区分された源流部ごとの水質特徴

源流部における13の水質計測値を用いて、主成分分析を行ったところ、16の源流水は、5つのグループに区分されることが把握され、仔細に検討すると、この区分を決定づける要因は、源流域における地質母材と関連の深いことが認められた。まずAは、酸性の温泉熱水の影響下にある水質であり、Bグループはプロピライト及び中古生層の変質岩類を母材とする源流水である。Dは安山岩あるいは凝灰岩等火山性岩類を基岩流域とするグループで、Eは火山灰被覆の流域である。Cのみが地質基岩とは、直接関連のない要因不定のグループとなっている。表-4は、5つに区分された源流グループにおける平均的な水質組成を示したものである(平均値±標準偏差)。

各成分ごとに、グループ間で差異があるかを一元配置分散分析で検討した。但し、Aグループのみは、標本数が1個であったので分析より除いた(分散分析表は省略)。

分散分析の結果、 $K^+$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $NO_3^-$ ,  $Si$ 及びECが1%水準で、 $Na^+$ ,  $HCO_3^-$ の二成分が5%水準でグループ間に有意差のあることが認められたが、この他の成分は、有意差は認められなかった。有意差の認められた成分について、処理平均を求め、最小有意差(1.s.d法)により比較検討を行った。この結果も、表-4に示した。

これら一連の統計処理により、各グループの水質特性は、大略次のように統括された。

表-4 グループ別の源流水の平均水質組成\*

項目 (単位)	A 熱水変質	B プロピライト	C 不 定	D 安山岩	E 火山灰	F o
Na <sup>+</sup> (ppm)	6.90	4.97 ± 1.51 <sup>a</sup>	4.09 ± 0.13 <sup>ab</sup>	2.60 ± 0.35 <sup>b</sup>	3.83 ± 0.83 <sup>ab</sup>	P<0.05
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ( ‰ )	0.27	0.46 ± 0.13	0.50 ± 0.03	0.48 ± 0.05	0.28 ± 0.12	N.S.
K <sup>+</sup> ( ‰ )	1.77	0.44 ± 0.06 <sup>b</sup>	0.93 ± 0.06 <sup>b</sup>	0.73 ± 0.29 <sup>ab</sup>	1.93 ± 0.39 <sup>a</sup>	P<0.01
Mg <sup>2+</sup> ( ‰ )	6.70	2.80 ± 0.59 <sup>a</sup>	1.48 ± 0.12 <sup>bc</sup>	1.21 ± 0.13 <sup>c</sup>	2.02 ± 0.20 <sup>b</sup>	P<0.01
Ca <sup>2+</sup> ( ‰ )	19.20	17.09 ± 5.47 <sup>a</sup>	7.05 ± 2.54 <sup>b</sup>	4.53 ± 1.37 <sup>b</sup>	7.99 ± 1.55 <sup>b</sup>	P<0.01
F <sup>-</sup> ( ‰ )	0.03	0.09 ± 0.01	0.07 ± 0.06	0.06 ± 0.03	0.08 ± 0.02	N.S.
Cl <sup>-</sup> ( ‰ )	2.85	5.95 ± 3.17	5.09 ± 1.53	3.12 ± 0.77	2.71 ± 0.65	N.S.
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ( ‰ )	2.21	3.36 ± 1.15 <sup>a</sup>	1.27 ± 0.82 <sup>b</sup>	1.24 ± 0.44 <sup>b</sup>	0.92 ± 0.70 <sup>b</sup>	P<0.01
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ( ‰ )	25.60	21.70 ± 19.80	6.04 ± 2.54	3.72 ± 1.44	8.07 ± 11.40	N.S.
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> ( ‰ )	60.40	34.40 ± 14.20 <sup>a</sup>	20.60 ± 0.10 <sup>ab</sup>	13.10 ± 3.30 <sup>b</sup>	24.40 ± 9.10 <sup>ab</sup>	P<0.05
TOC ( ‰ )	0.68	1.06 ± 0.57	0.82 ± 0.10	0.75 ± 0.23	0.61 ± 0.10	N.S.
Si ( ‰ )	29.10	7.10 ± 2.86 <sup>b</sup>	12.30 ± 8.90 <sup>b</sup>	9.83 ± 3.39 <sup>b</sup>	21.50 ± 0.51 <sup>a</sup>	P<0.01
Al ( ‰ )	0.01	0.11 ± 0.12	0.03 ± 0.03	0.08 ± 0.10	0.04 ± 0.02	N.S.
H <sup>+</sup> (10 <sup>-4</sup> mg/l)	2.13	0.93 ± 0.37	0.57 ± 0.93	1.06 ± 0.67	0.63 ± 0.29	N.S.
EC ( μ S/cm)	200.70	138.10 ± 15.90 <sup>a</sup>	75.20 ± 5.14 <sup>b</sup>	50.30 ± 6.66 <sup>c</sup>	82.20 ± 10.10 <sup>b</sup>	P<0.01

\* : 各水質成分項目においてアルファベットの異なるものは、有意差のあることを示す。

但し、A グループ除く。

① A グループ（酸性熱水流域）：総イオン量は、125.9 mg／l と著しく高い値を示す。全体的に、各イオンの溶存量は非常に高いものが多く、Mg<sup>2+</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> は他のグループに比べて顕著に高い。Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Si も溶存量が高い。Si と K<sup>+</sup> の溶存量の多いことは、火山灰流域と類似した傾向をもつ。県下 16 源流水としては、最も溶存量の大きい特異的な水質となっている。

② B グループ（プロピライト流域）：A グループに次いで溶存量の多いグループである。総イオン量は、88.7 mg／l であった。他の流域に比べて、Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, EC が明らかに多く (P < 0.01), Na<sup>+</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> も多かった (P < 0.05)。逆に、K<sup>+</sup> 及び Si は少ない傾向にあった。また、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> は変動は大きかったが、溶存量は全イオン中、最大であった。

③ C グループ（岩石不定流域）：総イオン量は 30.8 mg／l と低く、清浄な水質であることがうかがわれる。他のグループに比して特に突出した、または極端に少ない成分はみられない。

④ D グループ（安山岩流域）：総イオン量は 30.8 mg／l と、本県源流水としては最も少ない溶存量を示す。水質としては清冽である。日本の主要河川の 1／2 以下の溶存量である。全体的に各イオンの溶存量は少ないが、特に Mg<sup>2+</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> は有意に少ない (P < 0.01)。

⑤ E グループ（火山灰流域）：Si 及び K<sup>+</sup> の溶存量が顕著であった (P < 0.01)。火山灰流域の特徴と考えられる。総イオン量は、52.2 mg／l で河川の平均値 (5) 66.5 mg／l よりや、低い値となっている。

## IV 考察

県下 16 の源流水の pH は、平均で 7.05 とほゞ中性を示し変動も小さい（標準偏差±0.20）ことより、欧米諸国では報告されているような、pH 5.0 以下の酸性化した源流水は認められず、酸性雨による影響は現時点では認められない。

16 の源流水質は、溶存イオン量の状態から 5 つのタイプに区分され、酸性熱水の影響下にある源流水が最も高い溶存量を示し、安山岩を基岩とする源流部では溶存量が最も少なく、水質は清浄であるが、酸に対する緩衝能は低いのではないかと考えられた。山地流域の水質が表層地質の地質を反映していることは、すでにいくつかの報告例（1, 3, 9 等）があり、今回も、それを裏づける例証を得た。熱水変成を受けたプロピライト等では、 $\text{SO}_4^{2-}$  イオンの溶存が多くみられ、熱水変成によって土壤の吸着能が低下するのか、基岩により遊離する量が増加するのか、どちらかの作用が生じていると考えられる。これに随伴する形で、 $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  の溶存が多くなるのがうかがわれる。火山灰土壤流域では、Si の溶出が多いことは古くより指摘されているが（4），今回もこれは明瞭であった。ただ、 $\text{K}^+$  も多く溶存した。この原因は、今後の検討に待つところが大きいが、火入れの影響があるかもしれない。5 つに区分されたグループの水質について、ステイフ・ダイヤグラム及びトリリニア・ダイヤグラムを作成した。これを、図-4 に示す。

トリリニア・ダイヤグラムにみられるとおり、B グループは  $\text{Ca}-\text{SO}_4$  タイプと  $\text{Ca}-\text{HCO}_3$  の中間とされたが、他の 4 グループは、全て  $\text{Ca}-\text{HCO}_3$  タイプとなった。酸性熱水流域の A では、鉱山、温泉水による  $\text{SO}_4^{2-}$  成分の含有量の割合が高いという火山活動の影響がみられる。酸性熱水流域の A は、 $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  のカチオン類に富む水質を示すが、タイプとしては  $\text{Ca}-\text{HCO}_3$  型で、C,

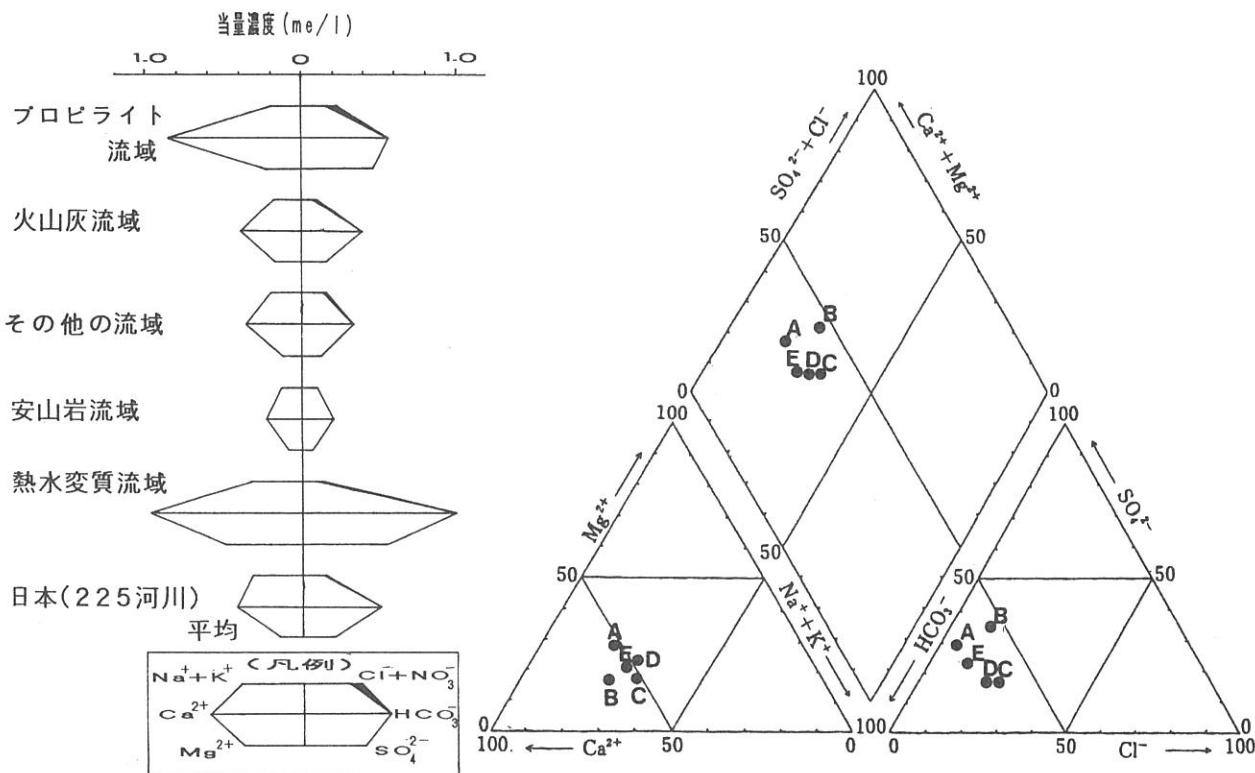


図-4 スティフ・ダイヤグラムとトリリニア・ダイヤグラム

D, E グループに近いタイプを示した。プロピライト源流の水質は、 $\text{SO}_4^{2-}$ 成分の含有量が割合高いという特徴を持ち、 $\text{Ca}-\text{SO}_4$ 型と $\text{Ca}-\text{HCO}_3$ 型の中間的なタイプであった。ステイフ・ダイヤグラムでみると、水質的には、B, C, D, E の4流域は、全体的にイオンバランスの良くとれた組成を示し、特に、B, C, D のグループは溶存量も少なく、清流水となっている。但し、酸に対する緩衝能は、かなり弱いことがうかがわれ、慢性的な酸性雨被害の影響は、これらの源流域に最も早く表れる可能性が強い。A グループは、やゝ異質の水質を持つ。前述のように、 $\text{SO}_4^{2-}$  の溶存の多いことがダイヤグラムをやゝいびつにしている。

標高があがるにつれて、水質中の無機塩類  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  及び  $\text{K}^+$  イオン濃度が低下することが報告されているが(8), 今回、地質を込みにして相関を求めたところ、 $\text{K}^+$  とは正の相関 ( $r = 0.5389$ ,  $P < 0.05$ ) があり、逆の結果となった。 $\text{Ca}^{2+}$  及び  $\text{Mg}^{2+}$  とは相関関係はなかった。標本数が少ないため、この結果については更に資料の追加が必要である。

有意差は認められなかつたが、 $\text{Cl}^-$  は、A, C グループでやゝ高い傾向があった。 $\text{Cl}^-$  は  $\text{Na}^+$ とともに、海洋起源のものが降雨によって供給される部分が考えられる。表-1 の海岸比距と  $\text{Cl}^-$ との相関を求めるとき、負の相関 ( $r = -0.5132$ ,  $P < 0.05$ ) が認められ、海岸比距の大きい源流ほど  $\text{Cl}^-$  は低下する傾向にあった。ただ、同様の行動様式を取るとされる  $\text{Na}^+$  と海岸比距は、やゝ相関が低かった ( $r = -0.4791$ ,  $P > 0.05$ )。これは、今後、源流部の海岸に対する露出の方向や、風向等も考慮した解析が残っている。 $\text{SO}_4^{2-}$  はバラつきの大きいグループがあり、有意差はなかつたが、A, B グループで特に多く、D グループで少なかつた。 $\text{SO}_4^{2-}$  は土壤、特に火山灰土壤での吸着の大きいことが知られているが火山灰源流のE グループでは、地点 10 のみが著しく高い溶存を示した。原因は今のところ不明である。

TOC (全有機態炭素) は、水中の有機物量を指標し、COD (化学的酸素要求量), あるいは、BOD (生物化学的酸素要求量) と相関が高い(10) とされ、水汚染の程度を把握するために用いられる。TOC は、プロピライト源流水のB グループでやゝ高い傾向がみられたが、源流域のためか、全般的に溶存濃度は希薄で、16 流域の平均値は  $0.80\text{mg}/\text{l}$  で、水質の汚染はみられない。

AI は、全アルミを定量した。酸性雨による土壤の酸性化は、最終的には、土壤中からの AI の溶解、溶脱が問題となる。AI は、5 つに区分されたグループ間では有意差はみられずその溶存量も全源流平均 (土標準偏差) で  $0.067 \pm 0.087 (\text{mg}/\text{l})$  で、今のところ痕跡程度の溶出といつてよく、問題とならないが、No.2 及び No.5 では、オーダが 1 術違う水準となっており、今後注意が必要である。

#### V おわりに

欧米諸国のように、pH が 5.0 以下に酸性化したような河川は、まだ我が国に報告されていないが、欧米諸国と同様の酸性雨が長く降り続いている我が国では、高い土壤の緩衝能や、雨量の多さ等が土壤及び降水の酸性化を防いでいると思われる。しかしながら、慢性的な酸性物質に負荷は依然として続いており、森林を含む生態系に何らかの影響を及ぼしていることは、容易に推測されるところである。国土の約 70 % が森林で占められている我が国では、広大な森林の存在が国土を保

全し、国民の命を、そして生態系の全てを支えているといつても過言ではない。この貴重な森林地帯に対する、慢性的な酸性降下物による影響をどのように把握し、訪れる危険を予測し、対応回避をはかることは、我々、林業にたづさわる研究者にとって極めて重要な課題である。本調査のような、地味で面白くない基本的な調査の継続こそが、これからは、慢性的な被害把握のためには欠くことのできない研究となると思われる。

### 引用文献

- (1) 安藤晴夫・山崎正夫・曾田京三(1991)：酸性雨の陸水への影響について（その1），—多摩川水系上流域の河川水質の現状—，東京都環科研年報，1991－2，203－207
- (2) ———・——・——(1995)：酸性雨の陸水への影響について（その5），—都内河川の水質の現状—，東京都環科研年報，314－323
- (3) 加藤邦夫(1992)：酸性雨の陸水影響に関する研究（第2報），県内河川の水質と酸性雨による影響の可能性，岐阜県公研年報20，29－32
- (4) 小泉清明(1971)：川と湖の生態（生態学への招待5），168pp., 共立出版, 東京
- (5) 小山忠四郎(1980)：生物地球化学—環境への基礎と応用—，280pp., 東海大学出版会
- (6) 日本地下水学会(1994)：名水を科学する，299pp., 技報堂出版, 東京
- (7) 佐々木重行・高木潤治・西尾敏(1991)：福岡県の山間部における陸水及び溪流水のpHと数種の成分について，森林立地33(1), 1－7
- (8) 佐々木重行(1997)：山地溪流水に及ぼす陸水の影響，環境技術26(10), 657－662
- (9) 佐藤冬樹・笛賀一郎・藤原滉一郎(1990)：北海道北部天然林内を流れる小河川の水質，第101回日林報，255－256
- (10) 山根一郎(1984)：環境科学実験法，237pp., 博友社, 東京

付表一 溪流水水質分析結果（1993年～1996年の平均）

番 号	採 取 場 所	pH	EC $\mu\text{S}/\text{cm}$	$\text{Li}^+$ $\text{me}/\text{l}$	$\text{Na}^+$ $\text{me}/\text{l}$	$\text{NH}_4^+$ $\text{me}/\text{l}$	$\text{K}^+$ $\text{me}/\text{l}$	$\text{Mg}^{++}$ $\text{me}/\text{l}$	$\text{Ca}^{++}$ $\text{me}/\text{l}$	$\text{F}^-$ $\text{me}/\text{l}$	$\text{Cl}^-$ $\text{me}/\text{l}$	$\text{NO}_3^-$ $\text{me}/\text{l}$	$\text{SO}_4^{--}$ $\text{me}/\text{l}$	$\text{HCO}_3^-$ $\text{me}/\text{l}$	TOC	A1 $\text{mg}/\text{l}$	Mn $\text{mg}/\text{l}$	Fe $\text{mg}/\text{l}$	Si $\text{mg}/\text{l}$
1	安岐町 両子	6.82	71.67	0.002	0.182	0.028	0.034	0.115	0.261	0.001	0.174	0.029	0.088	0.413	0.90	0.05	0.01	0.03	18.6
2	山香町 今春	7.07	135.06	0.000	0.292	0.033	0.010	0.272	0.631	0.004	0.164	0.048	0.251	0.935	1.90	0.29	0.02	0.32	11.3
3	別府市 明攀	6.67	200.72	0.000	0.300	0.011	0.045	0.558	0.959	0.001	0.080	0.035	0.532	1.207	0.68	0.01	0.01	0.01	29.1
4	庄内町 内山	7.27	74.72	0.002	0.148	0.007	0.040	0.147	0.401	0.003	0.066	0.006	0.029	0.625	0.65	0.02	0.01	0.01	21.1
5	野津原町 高原	7.01	47.12	0.002	0.103	0.028	0.019	0.083	0.195	0.003	0.098	0.026	0.086	0.203	0.72	0.28	0.01	0.02	9.0
6	佐賀関町 志生木	6.96	121.10	0.002	0.253	0.019	0.012	0.222	0.607	0.005	0.296	0.070	0.305	0.451	0.95	0.09	0.01	0.09	4.9
7	直川町 吹原	7.27	78.87	0.002	0.174	0.026	0.013	0.129	0.441	0.006	0.113	0.011	0.163	0.411	0.75	0.01	0.01	0.01	6.0
8	本匠村 上津川	7.33	136.65	0.002	0.158	0.019	0.013	0.164	1.050	0.004	0.111	0.067	0.183	0.933	0.75	0.03	0.01	0.02	5.8
9	緒方町 上畠	7.01	57.92	0.002	0.097	0.023	0.010	0.095	0.317	0.005	0.072	0.007	0.116	0.283	0.70	0.05	0.01	0.03	5.7
10	直入町 沢水	7.01	93.75	0.002	0.145	0.020	0.046	0.173	0.475	0.005	0.098	0.010	0.442	0.281	0.70	0.06	0.01	0.02	21.4
11	中津江村 黒谷	7.10	59.62	0.000	0.113	0.027	0.030	0.111	0.311	0.003	0.076	0.025	0.095	0.329	0.52	0.02	0.01	0.01	12.7
12	天瀬町 堀田	7.39	78.27	0.002	0.210	0.019	0.060	0.178	0.319	0.003	0.066	0.027	0.032	0.553	0.50	0.03	0.01	0.02	22.1
13	日田市小河内町	7.23	45.85	0.000	0.117	0.030	0.020	0.096	0.176	0.002	0.089	0.023	0.049	0.225	0.52	0.04	0.01	0.03	12.2
14	日田市源栄町中山	6.87	159.62	0.002	0.168	0.028	0.008	0.263	1.126	0.005	0.101	0.030	1.066	0.433	0.65	0.02	0.01	0.01	6.4
15	三光村 田口	6.62	47.26	0.000	0.140	0.024	0.010	0.111	0.175	0.000	0.126	0.021	0.082	0.185	0.96	0.04	0.01	0.01	6.1
16	院内町 罠	7.18	44.15	0.000	0.114	0.024	0.020	0.099	0.184	0.002	0.066	0.016	0.034	0.337	1.10	0.03	0.01	0.02	13.3

## 森林環境に対する酸性雨の影響（V）： スギ木炭の硝酸イオン吸着能について

諫 本 信 義

Effects of Acid Rain on Forest Environments (V):  
Absorbing Capacity of Charcoal Prepared from Sugi  
(*Cryptomeria japonica*) to nitrate ion.

Nobuyoshi ISAMOTO

### 要 旨

日田市森林組合炭化事業所は、日本有数の林業地である日田林業地において、大量に廃棄されるスギ廃材と、平成3年台風19号による風倒木を用いて、スギの製炭品を生産している。当場では、スギ製炭の利用に対して、樹幹流（スギ、クヌギ、ユリノキ）を用いて、浸漬処理及び、三種類の土壤（変朽安山岩、黒色土、輝石安山岩）を用いた添加実験を行い、スギ炭の処理による各イオンの放出及び吸着特性について検討した。

樹幹流浸漬においては、 $K^+$ の放出量が目立って多くみられ、スギ炭で著しかった ( $P < 0.01$ )。この他、 $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $F^-$ ,  $SO_4^{2-}$ の溶出が認められたが、備長炭に比べ、 $Mg^{2+}$ ,  $SO_4^{2-}$ はスギ炭は有意に少なかった ( $P < 0.01$ )。一方、 $NH_4^+$ 及び $NO_3^-$ の窒素類は、炭に吸着されることが認められ、特に $NO_3^-$ は、スギ炭で吸着量が大きかった ( $P < 0.01$ )。 $NH_4^+$ は、スギ炭でやや吸着の多い傾向がみられた ( $P < 0.05$ )。

スギ炭の添加量の違いが、土壤水溶液のイオン濃度に対する変化を、增量効果もあわせて検討した。スギ炭の施用により、土壤水溶液中では、いずれもpHの上昇が生じた。これは、著しい $K^+$ の放出や $Na^+$ の放出があったためと考えられた。 $Na^+$ 及び $SO_4^{2-}$ のアニオン類の放出も認められた。添加量が増加すれば放出量も増大したが、増加割合は低下していた。

一方、 $F^-$ 及び $NO_3^-$ は吸着された。特に、 $NO_3^-$ の吸着は、土壤中の含有濃度の高い黒色土で顕著であった。

以上のことから、スギ炭は $NO_3^-$ に対して、強い吸着能を有することが認められたが、反面、 $K^+$ の放出量が著しく高いという特性があり、施用に対しては、この両面の処理効果を考慮する必要のあることが指摘された。

## I はじめに

大分県日田市森林組合では、平成6年11月に、市内東有田に炭化事業所を新設し、日田市内の製材業者から廃出されるスギ廃材や、平成3年1月台風19号による風倒木を用いて、スギの製炭事業を行い、「炭太郎」という製品名で出荷している。平成8年6月から平成9年5月の1ヶ年における出荷量は、525,050ドル（30ドル入袋で約17,500袋）となっている。これらは、主に土壌改良剤やラン栽培の培土として利用されている。

木炭は、土壌改良資材、緑化資材、微生物賦活材、浄化材として、古くより用いられ、その効用については、既に多くの成書（3, 5など）がある。このうち特に、微量有害物質の除去資材として、木炭が注目されるようになってきた（1, 4, 6など）。これは、多孔性に基づく木炭の優れた吸着性、浸透性を利用した方法である。最近、環境問題の中で、施肥、畜産排水や生活排水の土壤浸透による流出水中の硝酸性窒素の汚染が懸念されているが、このスギ炭の利用によって、硝酸イオンの吸着がかなり高い水準で行われることが見出され、今後の環境保全型農業の推進に資するところが大きいと考えられたため、その概要を報告する。

## II 材料及び方法

### 1. 材料

実験に用いたスギ炭は、スギ背板又は端材等をチップ化し、連続炭化炉にて800～1000度で燃焼したものである。これを粒径化し、メッシュの大きさによってふるい分けを行い、1号（2.5mm以下）、2号（2.5～5mm）、3号（5～7mm）に区分し、「炭太郎」という商品名で販売している。実験には2号を用いた（以下、スギ炭と略す）。

また、対象として、市販の備長炭（岩手県産）を粉碎して実験に供した。

### 2. 実験方法

スギ炭及び備長炭の基本的特性把握は、各30cc（自然状態で計量、圧縮は行っていない）の炭に250mlの純水を加え、1時間振とうした後、24時間放置し、上澄液を濾過し、pH、EC（電気伝導度）及び各イオン（カチオン類、アニオン類）を定量分析した。pHは、ガラス電極pHメーターで、ECは伝導率計で測定し、アニオン、カチオン類は、イオンクロマトグラフ（DIONEX社製、DX-AQ）にて測定した。

#### 1) 実験1（樹幹流の溶存組成に対するスギ炭の影響）

pH、EC及び溶存イオンの異なる三種の樹幹流（スギ、クヌギ、ユリノキ；1996年4月1日、大分県林業試験場内で採取したもの）250mlに、30cc（重量にしてスギ炭約2.7g、備長炭約12g）を加え、1時間振とう後、24時間放置し、上澄液を濾過し、pH、EC及び各溶存イオンを定量分析した。実験は、1996年4月に実施した。

#### 2) 実験2（土壌添加による土壌水溶液中イオン成分への影響）

母材の異なる三種類の風乾細土50gに各々、スギ炭、備長炭を10cc及び30cc（重量では、スギ

炭で約 0.9 g, 及び 2.7 g, 備長炭では約 4 g 及び 12 g) を混和し, 蒸留水 125ml を加え, 1 時間振とう後, 24 時間放置し, No 5 A の濾紙で濾過した水溶液について, pH, EC 及び各溶存イオンを定量分析した。実験は, 1996 年 4 月に実施した。供試土壌の概要は, 次のとおりである。

- 1) 石河内土壌：変朽安山岩の風化土壌, 適潤性褐色森林土 (B<sub>D</sub>型) の A 層, 大分県西国東郡香々地町大字夷のスギ 35 年生林にて採取。
- 2) 両子土壌：火山灰由来の黒色土壌, 適潤性黒色土 (B<sub>L D</sub>型) の A 層, 大分県東国東郡国東町大字両子のスギ 70 年生林にて採取。
- 3) 山国土壤：輝石安山岩の風化土壌, 弱乾性褐色森林土 (B<sub>C</sub>型) の B 層, 大分県下毛郡山国町大字宇曾のヒノキ 22 年生林にて採取。

### III 実験結果

#### 1. 供試スギ炭及び備長炭の化学的特性

30cc 及び 50cc のスギ炭, 備長炭を, 250ml の蒸留水中に浸漬し, 1 時間振とう後, 24 時間放置し浸出液を用い, 各化学的性質を計測した。その結果を表-1 に示す。

表-1 供試炭の化学的特性(水浸出液)

炭 浸積量 (cc)	E C p H ( $\mu$ S/cm)	イオン濃度 (mg/l)										計		
		F <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	アニオン カチオン	合計		
スギ炭 30	7.81	231.0	0.01	0.16	0.00	0.24	0.32	0.00	20.4	0.25	0.98	0.4	1.9	22.3
	50	7.87	302.0	0.04	0.18	0.00	0.34	0.41	0.02	27.9	0.34	1.51	0.56	30.2
備長炭 30	7.66	190.4	0.01	0.09	0.00	0.93	0.10	0.00	9.60	2.30	1.68	1.03	13.7	14.7
	50	8.05	389.0	0.02	0.09	0.02	1.41	0.08	0.04	32.2	0.74	1.06	1.52	35.6

表-1 に示されるように、スギ炭、備長炭とも、その水浸出液の pH はアルカリ性を示し、炭の浸積量の増加に伴い、pH 値は上昇した。これは、スギ炭、備長炭とも、浸出液中に K<sup>+</sup> が多量に溶出したことが大きな原因と考えられた。K<sup>+</sup> イオンの溶出量は、スギ炭で、浸積量にかかわりなく、全イオン量の 90 % を超える突出ぶりであった。Ca<sup>2+</sup> の溶出がこれに次いだが、当量比では K<sup>+</sup> イオン 10 分の 1 以下であった。アニオン類では、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> が最も高い濃度を示したが、カチオン量に比べアニオン量は、オーダーが 1 衛低かった。

炭の浸積量の増加とともに、比例的に大部分のイオン類は増加したが、Cl<sup>-</sup> や Mg<sup>2+</sup> は増加率がやや低い傾向がみられた。

備長炭もスギ炭同様、K<sup>+</sup> の溶出量が目立ったが、スギ炭ほど多量ではなかった。30cc 浸積で全イオン量の約 65 %, 50cc 浸積では 86 % と増加した。スギ炭に比べて備長炭は、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup> の各イオン濃度が高いことが認められた。

## 2. スギ、イチョウ及びユリノキ樹幹流に対する炭投入の影響

強い酸性を示すスギ樹幹流、酸性雨に対し、抑制的、緩衝的に作用するイチョウ及びユリノキの樹幹流、この相異なる樹幹流が慢性的に土壤に付加されることによる影響が注目されているが、特にスギ樹幹流のように、強酸性のものの土壤への負荷に対して、スギ炭のようなアルカリ剤の施用が、どのような抑制可能性をもつかを見出すため、本実験を行った。

表-2に、炭投入前後の樹幹流の化学的变化を一覧した。表中、-の符号のついているものは、炭によって吸着されたイオン量を示す。

表-2 樹幹流に対する投入スギ炭の処理反応

樹種	項目	イオン濃度(mg/l)								合計			
		Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	F <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	p H	E C	
スギ	樹幹流(A)	2.7	0.5	1.4	0.3	1.6	0.0	6.5	5.4	5.4	23.8	3.35	312
スギ	備長炭浸漬(B)	2.3	0.1	8.7	2.4	4.8	0.0	6.2	2.4	5.9	32.8	7.52	341
スギ	スギ炭浸漬(C)	2.6	0.0	25.4	0.7	4.3	0.0	5.7	0.0	4.9	43.6	7.75	395
イチョウ	A-B	-0.4	-0.4	7.3	2.1	3.2	0.0	-0.3	-3.0	0.5			29
イチョウ	A-C	-0.1	-0.5	24.0	0.4	2.7	-0.0	-0.8	-5.4	-0.5			83
イチョウ	樹幹流(A)	0.5	0.4	2.5	0.1	0.1	0.0	0.5	1.0	0.3	5.4	5.59	41.3
イチョウ	備長炭浸漬(B)	0.5	0.0	13.9	1.9	2.8	0.5	0.5	0.5	2.5	23.1	7.74	251
イチョウ	スギ炭浸漬(C)	0.8	0.0	26.3	0.4	1.4	0.1	0.6	0.0	1.6	31.2	7.79	315
ユリノキ	A-B	0.0	-0.4	11.4	1.8	2.7	0.5	0.0	-0.5	2.2			209
ユリノキ	A-C	0.3	-0.4	23.8	0.3	1.3	0.1	0.1	-1.0	1.3			273
ユリノキ	樹幹流(A)	0.6	0.4	3.1	0.2	0.8	0.0	0.6	0.0	1.6	7.3	5.72	52.2
ユリノキ	備長炭浸漬(B)	0.6	0.1	11.5	2.1	3.4	0.3	0.7	0.0	2.3	21.6	7.60	231
ユリノキ	スギ炭浸漬(C)	0.8	0.0	25.7	0.4	1.3	0.1	0.7	0.0	1.7	30.7	7.22	306
ユリノキ	A-B	0.0	-0.3	8.4	1.9	2.6	0.3	0.1	0.0	0.7			178
ユリノキ	A-C	0.2	-0.4	22.6	0.2	0.5	0.1	0.1	0.0	0.1			254

表より明らかなように、スギ樹幹流は、p H 3.35と強い酸性を示したが、イチョウ、ユリノキはそれぞれ5.59、5.72を呈し、スギに比べ酸性度ははるかに弱かった。

これら樹幹流に、スギ炭、備長炭を加えると、樹幹流は化学的に著しく変化することが認められた。特にp Hは、いずれもアルカリ側に移動した。強酸のスギ樹幹流も容易にアルカリ化した。また、E Cも大幅に増加した。炭の投入により、樹幹流中に溶存イオンが、大幅に増加した結果による。スギ樹幹流では、スギ炭浸漬によって、溶存イオン量が1.8倍ほど増加し、備長炭浸漬では約1.4倍ほど増加した。その増加の大部分は、K<sup>+</sup>イオンによるものであった。

イチョウ、ユリノキでは、樹幹流の溶存量がスギに比べて、3分の1以下と少なかったが、炭の浸漬によって、溶存量、E Cは顕著に増加した。イチョウでは、スギ炭の浸漬で、溶存イオン量は約6倍以上増加した。ユリノキでは4.2倍であった。

溶存イオン量は、炭の浸漬によって大幅に増加したが、このうちいくつかのイオンは減少がみられた。これは、炭による吸着があったものとみなされた。NH<sub>4</sub><sup>+</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>イオンは、この減少が各樹幹

流に共通してみられたものである。

このように、溶存イオン量において、炭の浸漬により増加があった場合、炭自体からの放出がなされたものとみなした。逆に、溶存イオン量が樹幹流により減じた場合、これは、炭による吸着とした。この炭による放出量及び吸着量について、各イオン項目及びECについて、「樹幹流」(スギ、イチョウ、ユリノキの三水準)、「炭」(スギ炭、備長炭の二水準)の二要因配置分散分析にて検討した(分散分析表は省略)。

分散分析の結果、 $K^+$ 、 $Mg^{2+}$ のカチオン、 $NO_3^-$ 、 $SO_4^{2-}$ のアニオン及びECに、有意差( $P < 0.01$ )が認められた。他のイオン類やpH(H<sup>+</sup>イオンに換算して処理)には、有意差は認められなかつた( $P > 0.05$ )。有意差の認められた各イオン及びECについて、処理平均を求め検討した。

#### 1) $K^+$ イオン濃度

「炭」の種類間に有意差があり( $P < 0.01$ )、「樹幹流」間には差がなかつた( $P > 0.05$ )。スギ炭の処理平均は24.2mg／1、備長炭で12.3mg／1と算出され、スギ炭で $K^+$ イオンの放出が顕著であった。

#### 2) $Mg^{2+}$ イオン濃度

「炭」間で有意差が認められた( $P < 0.01$ )。「樹幹流」間には有意差はなかつた( $P > 0.05$ )。スギ炭における $Mg^{2+}$ の放出は、処理平均で0.3mg／1であり、備長炭では1.9mg／1で、備長炭では $Mg^{2+}$ の放出がスギ炭に比べて、明らかに多いことが認められた。

#### 3) $NO_3^-$ イオン濃度

炭の浸漬によって、吸着が行われたイオンである。「炭」及び「樹幹流」要因とも有意差が認められた( $P < 0.01$ )。「炭」要因における処理平均は、スギ炭で-2.1mg／1、備長炭で-1.2mg／1であり、スギ炭で吸着能の高いことが見出された。「樹幹流」別では、スギで-4.2mg／1イチョウで-0.8mg／1で、スギ $NO_3^-$ の吸着が高かった。しかしこれは、樹幹流中における溶存量が元々多かつたことに起因している。

#### 4) $SO_4^{2-}$ イオン濃度

全般的に放出タイプのイオンであるが、スギ炭で一部吸着がみられた。「炭」間で有意差があり( $P < 0.01$ )、「樹幹流」間では有意差はなかつた( $P > 0.05$ )。「炭」要因における処理平均はスギ炭で0.3mg／1、備長炭で1.1mg／1であり、備長炭での放出が多かった。

#### 5) EC增加量

「炭」要因で有意差があった( $P < 0.01$ )。処理平均を求めるとき、スギ炭で203 $\mu S/cm$ 、備長炭で139 $\mu S/cm$ で、スギ炭での溶出量が顕著であることが認められた。

このほか、有意差は認められなかつたが、 $Ca^{2+}$ で備長炭からの放出がスギ炭より多い傾向があり $NH_4^+$ ではスギ炭で処理平均-0.43mg／1、備長炭で-0.36mg／1と低い数値ながら、吸着能のあることが注目された。

以上の結果から総括するに、pHや成分組成を異にするスギ、イチョウ、ユリノキの樹幹流にスギ炭を浸漬した場合、 $K^+$ イオンの溶出が著しく、pHは明瞭にアルカリに変化する。このほか、 $Mg^{2+}$ 、 $SO_4^{2-}$ 等の放出が認められた。一方、 $NH_4^+$ 及び $NO_3^-$ の窒素成分は、吸着されることが認められ、特にスギ樹幹流で著しかった。

備長炭はスギ炭と同様、 $K^+$ イオンを多く放出した。しかしそれほど顕著ではなかった。 $Mg^{2+}$ 及び $SO_4^{2-}$ の放出も認められ、スギ炭に比べて有意に多かった( $P < 0.01$ )。吸着イオンはスギ炭と同様、 $NH_4^+$ 及び $NO_3^-$ の窒素類にみられたが、 $NO_3^-$ ではスギ炭ほど吸着能は高くなかった。

$Na^+$ ,  $Cl^-$ の動態は、放出するものと、吸着を示すものがあり、一定の動向は見出せなかった。

### 3. 土壤添加による土壤水溶液中イオン成分への影響

石河内土壤、両子土壤及び山国土壤の性質の相異なる土壤を対象に、スギ炭の添加を行い、その処理が水溶液の化学的性質に、どのような影響をもたらすかを検討した。表-3にスギ炭の添加による土壤水溶液の化学的变化を一覧した。表中、-の符号はスギ炭によって吸着されたイオン量を示している。

表-3 三種の土壤に対するスギ炭添加の処理反応

土壤項目	イオン濃度(mg / 100g)										p H	E C
	$Na^+$	$NH_4^+$	$K^+$	$Mg^{2+}$	$Ca^{2+}$	$F^-$	$Cl^-$	$NO_3^-$	$SO_4^{2-}$	合計		
土壤水溶液(A)	2.05	0.68	1.04	1.11	5.23	0.86	2.57	0.74	2.35	16.6	5.51	166
石 スギ炭(10cc)(B)	2.11	0.61	3.79	1.08	5.50	0.59	2.54	0.53	2.40	19.2	6.48	184
河 スギ炭(30cc)(C)	2.54	0.74	7.91	1.51	8.25	0.44	2.78	0.42	2.84	27.4	7.20	275
内 A-B	0.06	-0.07	2.75	-0.03	-0.27	-0.27	-0.03	-0.21	0.05			
A-C	0.49	0.06	6.87	0.40	3.02	-0.42	0.21	-0.32	0.49			
土壤水溶液(A)	0.93	1.30	1.50	0.73	4.99	0.76	1.53	5.77	1.69	19.2	5.08	161
両 スギ炭(10cc)(B)	0.99	1.42	4.20	0.56	4.32	0.25	1.86	2.51	2.36	18.5	5.59	167
スギ炭(30cc)(C)	1.03	1.14	7.66	0.48	3.34	0.38	1.89	1.09	2.88	19.9	6.40	174
子 A-B	0.06	0.12	2.70	-0.17	-0.67	-0.26	0.33	-3.26	0.67			
A-C	0.10	-0.16	6.16	-0.25	-1.65	-0.38	0.36	-4.68	1.19			
土壤水溶液(A)	0.93	0.65	0.91	0.40	1.20	0.97	1.44	0.26	1.01	7.7	4.49	91
山 スギ炭(10cc)(B)	0.94	0.66	3.13	0.25	1.38	0.71	1.33	0.01	1.65	10.1	4.95	97
スギ炭(30cc)(C)	1.02	0.74	7.45	0.16	1.40	0.00	1.41	0.00	2.50	14.7	6.06	129
国 A-B	0.01	0.01	2.22	-0.15	0.18	-0.26	-0.11	-0.25	0.64			
A-C	0.09	0.09	6.54	-0.24	0.20	-0.97	-0.03	-0.26	1.49			

供試土壤のうち、山国土壤は最も酸性が強く、浸出イオン量は土壤 100gあたり 7.7mg と最少で、土壤的に低位の土壤とされた。石河内、両子の両土壤は浸出イオン量が多く、肥沃性の高い土壤とされた。特に両子土壤では、 $NO_3^-$ イオンの溶出が顕著であった。

前項で検討した、樹幹流に添加した場合と同様、スギ炭の土壤添加により、 $K^+$ の著しい溶出、 $NO_3^-$ の吸着が認められた。しかし、 $F^-$ 及び $Mg^{2+}$ は吸着傾向に転じ、 $NH_4^+$ は、吸着から放出型に変化したものが多くみられ、樹幹流の場合と異なる反応がみられた。両子土壤では、 $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ のスギ炭の添加に比例して、吸着量が増加した。石河内土壤では、スギ炭 10cc では吸着があり、30cc 添加では著しい放出がみられ、土壤の種類により、反応は異なっている場合が多くみられた。

イオン濃度合計でみると、スギ炭の添加に比例して、石河内及び山国土壤では直線的に増加したが、黒色土壤である両子土壤では、ほとんど変化がなかった。

複雑な反応を示すスギ炭の添加による水溶液の化学成分について、「土壤」(石河内、両子、山国)の三水準、「添加量」(10 及び 30cc の二水準)の二要因配置分散分析にて検討した(分散分析表は省略)。

分散分析の結果、 $K^+$ イオンの「添加量」要因に 1 % 水準で有意差が、 $NO_3^-$ 及び $SO_4^{2-}$ イオンで「土壤」要因に、5 % 水準で有意差が認められたが、他の分析項目では、有意差は認められなかつた有意差の認められた各イオンについて、処理平均を求め検討した。

### 1) $K^+$ イオン濃度

「添加量」要因に有意差が認められ、10cc 添加で  $2.55mg / 100g$ 、30cc 添加で  $6.52mg / 100g$  と、明瞭な増加が生じ、添加量に応じスギ炭からの $K^+$ の放出が、そのまま土壤水溶液に遊離するものと考えられる。

### 2) $NO_3^-$ イオン濃度

土壤中の $NO_3^-$ イオンがスギ炭の添加により、有意に吸着されることを示した( $P < 0.05$ )。その吸着量は土壤の種類によって異なり、土壤中の $NO_3^-$ 量の多い土壤ほど吸着量は大きくなる。土壤別の処理平均を求めるとき、黒色土の両子土壤で  $-3.97mg / 100g$  で有意に大きく( $P < 0.05$ )、石河内土壤 ( $-0.265mg / 100g$ )、山国土壤 ( $-0.255mg / 100g$ ) 間では差がなかった。添加量が増加すれば吸着量が増加する傾向(10cc 添加で  $-1.24mg / 100g$ 、30cc 添加で  $-1.75mg / 100g$ ) はあったが、統計的には有意ではなかった( $P > 0.05$ )。

### 3) $SO_4^{2-}$ イオン濃度

$SO_4^{2-}$ イオンは、土壤自体に吸着されやすいイオンで、特に黒色火山灰土でその吸着の大きいことが知られる。スギ炭自体からの放出は 30cc の浸積量で  $0.24mg / 1$ (表-1)とそれほど多いイオンとなっていない。しかしながら土壤添加によって、溶出 $SO_4^{2-}$ イオンは、炭放出量よりも若干増加する傾向がある。特に、黒色土の両子土壤でのその傾向の強いことは、前述の一般的な事実と相反するが、土壤 pH のアルカリ化による反応と考えられる。

$SO_4^{2-}$ は、「添加量」要因で有意差があり、処理平均を求めるとき、30cc 添加区で  $1.05mg / 100g$  で有意差に放出量が多く( $P < 0.05$ )、10cc 添加区では  $0.45mg / 100g$  であった。

このほか、有意差は生じていないが、黒色土の両子土壤では、 $Ca^{2+}$ の吸着が添加量とともに増大傾向にあり、他の 2 土壤と異なる反応を示した。

## IV 考察

木炭は、その吸着性が着目され、環境浄化材としての利用が見直され、河川の浄化、浄水場の水処理など、新用途の開発が活発となってきた(4)。特に、近年、地下水や水系の環境汚染で問題となりつつある硝酸イオンの溶脱現象に、木炭を利用した除去方法が一つの手法として注目されている。一般に木炭には、アンモニア窒素、亜硝酸性窒素等を多かれ少なかれ除去する働きがあ

り（5, 6），また木炭に塩化鉄処理を行えば，硝酸イオンの流出が大幅に抑制された例（2）が報告され，この木炭に吸着された硝酸イオンは水では抽出されないが，塩化カリ溶液では抽出され吸着イオンは，正荷電による吸着の存在を推測している。

今回，樹幹流及び土壌添加による，スギ炭の処理について実験を行ったが，上述の  $\text{NO}_3^-$  イオンの吸着は明瞭に実証され，その効果は備長炭より優れることが認められた。但し，土壌処理の場合，水浸出液による抽出であり，酸性雨等の強い酸性溶液の流入があれば，その吸着能は低下する可能性がある。しかし，スギの強い酸性樹幹流を用いての実験は，強い吸着性を示したことから，吸着能は，それほど低下しないのではないかとも考えられる。また，吸着された硝酸イオンが，一時的なものか，永続性のあるものか，どのような吸着様相を持つものかは，現段階では不明であり，今後の検討課題である。

一方，スギ炭の処理は大幅な  $\text{K}^+$  の溶出をもたらす。この溶出量は，他のイオンに比べて突出しており，一時的に処理対象に大きな化学変化をもたらし，pH, EC等が直接的に影響を受けるこの他，土壌と樹幹流では，スギ炭の処理効果は，各イオン成分によって異なるが， $\text{SO}_4^{2-}$  イオンの増加， $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  の吸着や増加等，複雑な消長を示し，結局は，pHをアルカリ側に変化させる作用を持つことが認められる。しかしながら，木炭の施用は，基本的に，窒素の吸着による一時的な窒素欠乏を生じせめ， $\text{K}^+$  の溶脱によるpHのアルカリ化やMgの吸収阻害が生じることから，使用にあたってはこのことを考慮しておく必要があろう。

#### V おわりに

慢性的に降り続いている酸性雨等による酸性降下物の森林及び森林土壌に対する影響が，今後どのような兆候となってあらわれるのか懸念されるところである。欧米諸国では，土壌の酸性化や河川，湖沼の酸性化等が生じているとされ，これが，森林や生態系に大きなインパクトを与えている。幸い我が国では降水量が多く，緩衝能の高い土壌の分布が広いためか，まだ酸性雨等による森林被害は認められていない。しかしながら，将来的に起こりうる可能性に対して，また被害の発生を，可能な限り抑制する手段として，人工的に，土壌の緩衝能を高める手法の開発は急がれてよい。

欧米諸国では，この手法として，すでにライミング（CaやMgの散布）が行われ，土壌の酸性化の進行抑制や回復に，実効的に利用されている。

今回その一環として，スギ炭を用い，樹幹流及び三種の土壌を対象に，バッチ試験を行ってみたこの結果，pHのアルカリ化の促進や，現在環境的に問題となっている硝酸性窒素の除去（一時的な吸着の可能性もある）等，効果が認められた。このため，土壌緩衝能を向上させ，硝酸性窒素を抑制し，除去する資材として活用が期待されるが， $\text{K}^+$  イオンの多量の溶出も同時に行われることから，この  $\text{K}^+$  イオンの功罪を，今後どのように評価するかの課題も残されている。

### 引用文献

- (1) 松本聰(1990)：浄化材、木炭と木酢液の新用途開発研究成果集、木材炭化成分多用途利用技術研究組合、269－274
- (2) 森昭憲・小野信一(1995)：木炭の塩化鉄処理による硝酸イオン吸着態の発現、土肥誌 66, 415－417
- (3) 杉浦銀治・古谷一剛編(1988)：木炭はよみがえる、各地に広がる新しい土づくり、林業改良普及叢書97、180pp., 全国林業改良普及協会、東京
- (4) 千葉英機(1998)：上手な維持管理と木炭利用のポイント、現代林業、No. 380(1998-2)
- (5) 谷田貝光克・山家義人・雲林院源治(1991)：簡易炭化法と炭化生産物の新しい利用、わかりやすい林業研究解説シリーズ98、97pp., 林業科学技術振興所、東京
- (6) 谷田貝光克(1997)：木炭の特性とその利用、木材工業52、472－477

## 林木の組織構造解析：

実生ヒノキ，さし木ヒノキ，ナンゴウヒ及びアオスギの組織構造

諫 本 信 義

Anatomical Analysis on Trees:

Tissue Structure of Hinoki (*Chamaecyparis Obtusa*)  
Originated from Seedling, Rooted Cutting and Nangohhi  
(Local Cultivars) as well as Aosugi (Local Cultivars  
in *Cryptomeria Japonica*).

Nobuyoshi ISAMOTO

### 要 旨

大分県林業試験場天瀬試験地（日田郡天瀬町大字桜竹）におけるヒノキ試験林より14年生の実生ヒノキ，さし木ヒノキ及びナンゴウヒを各1本宛伐探し，地上高0.2cm，1.2m部位及び根部について，髓より年輪方向にいくつかの板目面の簡易プレパラートを作成し，この顕微鏡写真を用いて，仮導管長，柔細胞数及び柔細胞高について解析した。組織要素計測値を用い，主成分分析を行った結果，各立木の組織構成は，根部，髓心部，移行部（髓と木部との中間帶）及び木部に区分された。また，ヒノキの種類と4区分された部位を用いての分散分析によれば，仮導管長は，さし木ヒノキが他より長いことが認められたが，柔細胞数，細胞高では差は生じなかった。部位別では，仮導管長，柔細胞数，細胞高の各計測値で高い有意差が認められ，器官としての組織特性が統計的によく分離された。

同様に，日田郡前津江村大字赤石産のアオスギ51年生についても検討を加え，ヒノキと類似した結果が得られ，今後，組織構造要素の微細観察は，樹種の識別や力学的特性の基礎的把握に効果的な援用可能性のあることが示唆された。

### I は ジ め に

簡易プレパラートの作成（12）とその写真による画像解析により，木材の微視的構造の観察や構造要素の解析等が，比較的容易に行われるようになってきた。特に，スギ，ヒノキ等の針葉樹における接続方向（板目面）の材では，仮導管組織と軸方向放射柔組織が同時に観察されることから，樹種，器官，部位等の相違判別にとって有用であり，また，成長や材質を特性づける基礎データと

して役割が大きい。筆者は、本手法を用いてヒノキのとっくり病の罹病観察を行い、正常材との相違について検討し（8）、罹病材の組織構造的異常を明らかにし、微視的な見地からの検証の有効性を明らかにした。この板目面を用いての微細観察は、しづ材の組織特性（5）、病理学的な組織特性（1）など、いくつかの調査事例が報告されているが、いずれも、特徴部位や異常部位を対象とした限定的な組織解剖であり、組織構造の変動について全木的に調査した例や、系統間比較に応用した研究は、現在のところ報告されていない。

今回、筆者は、板目面の簡易プレパラートを利用して、微視的な組織構成の面より解析を加え、ヒノキの種類別差異検定や、スギの内部変動について検討を加え、若干の知見を得たので報告する。

## II　材料及び方法

### 1. 供試木

簡易プレパラートの作成に用いた供試木の概要は、次のとおりである。

- 1) 実生ヒノキ：大分県日田郡天瀬町大字桜竹、大分県林業試験場天瀬試験地産、14年生、胸高直径 12.4 cm、樹高 10.5 m、1991年3月伐採
  - 2) さし木ヒノキ：同上産、親木は、日田市内河野町、日田市有林 10 年生実生ヒノキ、14 年生、胸高直径 11.8 cm、樹高 11.2 m、1991 年 3 月伐採
  - 3) ナンゴウヒ：同上産、親木は、熊本県阿蘇郡高森町の馬原広雄氏の所有山林からの穂木で、当场でさし木したもの、14 年生、胸高直径 11.7 cm、樹高 8.9 m、1991 年 3 月伐採
  - 4) アオスギ：大分県日田郡前津江村大字赤石産、51 年生、胸高直径 31.8 cm、樹高 27.7 m、1988 年 3 月伐採
- ヒノキ各種については、伐採時、それぞれより、根部試料（実生ヒノキ根径 8.8 cm、さし木ヒノキ根径 9.0 cm、ナンゴウヒ根径 5.0 cm）を採取し、プレパラート作成に供した。

### 2. 供試材料の作成

- 1) ヒノキ：各供試木について、地上高 0.2 m 及び 1.2 m 部位より円板を採取し、0.2 m 円板では、髓心部より S 方向に 1, 2, 3, 4, 5, 8, 11, 14 の年輪について、1.2 m 部位では、髓心部より 3 年輪までは連続して、以下は 3 年輪ごとに早材部の接線断面の簡易プレパラートを作成し 150 倍の顕微鏡写真にて解析した。根部からもほど同様に 4 ~ 5 ヶのプレパラート標本を作成し、解析に供した。

- 2) スギ：アオスギ供試木について、地上高 1.2 m, 8.0 m, 16.0 m の各部位より円板を採取し、髓心部より 4 年輪までは連続して、以下 5 年輪ごとに早材部の接線断面の簡易プレパラート 33 標本を作成し、倍率 150 倍の顕微鏡写真を用いて解析した。

### 3. 方法

接線断面の顕微鏡標本を用いて、以下の組織構造を計測した。

- 1) 年輪巾 (mm)

簡易プレパラートを作成した各年輪の巾を、 $1/10\text{ mm}$  単位で計測した。

### 2) 仮導管長 (mm)

Cell tip method (10) により計測した。この方法 (図-1) による平均仮導管長は次式により求められる。

$$\text{平均仮導管長} = \frac{n(\text{仮導管数}) \times a(\text{範囲巾})}{\text{先端}(\times \text{印})\text{の数}} \quad \dots \dots (1)$$

(1) 式において、 $a <$  仮導管長最小値を条件とする。

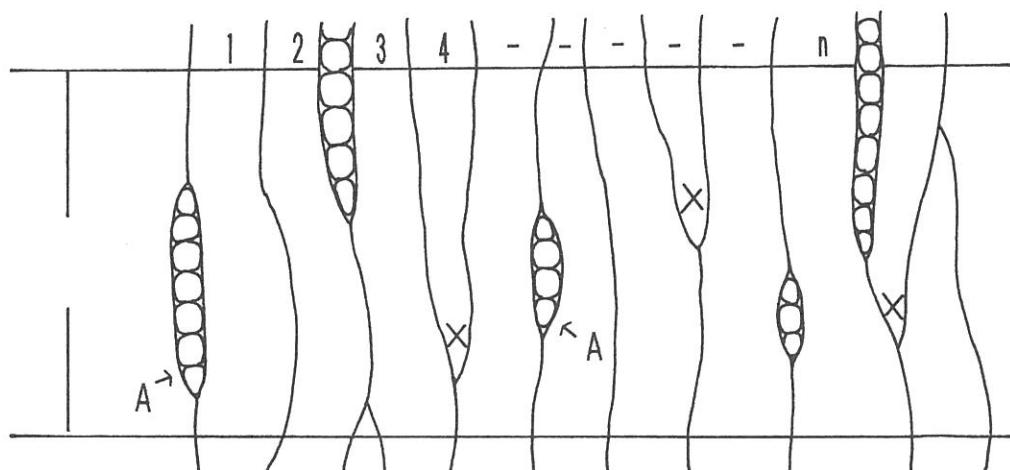


図-1 接線断面の投影模式図(Ladell, 1959原図)

### 3) 柔細胞数 (個/ $\text{mm}^2$ )

$300\text{ }\mu \times 400\text{ }\mu$  の枠内に出現する柔細胞数を計測し、 $1\text{ mm}^2$ あたりに換算した値。

### 4) 細胞高

軸方向放射組織 1 ケに含まれる柔細胞数で、 $300\text{ }\mu \times 400\text{ }\mu$  の枠内に出現する完結型の放射組織 (図-1 の A に該当する) における柔細胞数の平均値。

## III 調査結果

この研究では、3種類のヒノキ (実生ヒノキ、さし木ヒノキ、ナンゴウヒ) の組織構造特性、組織構造を用いたヒノキの種類間の差異検定及びスギ主伐木 (アオスギ) 51年生における一立木内の組織構造の変動の三つに大きく区分されるため、以下各項目ごとに記述する。

### 1. ヒノキの組織構造要素と樹幹内変動

#### 1) 実生ヒノキ

0.2 m, 1.2 m 及び根部の円板より採取された簡易プレパラート標本における計測値の平均は、表-1 のとおりである。

表-1 実生ヒノキにおける部位別の組織構成(平均値±標準偏差)

部 位	標 本 数	年 輪 巾	仮 導 管 長	柔 細 胞 数	細 胞 高
		(mm)	(mm)	(個/mm <sup>2</sup> )	(個/放射組織)
0.2 m	8	7.0 ± 5.17	1.64 ± 0.38	342 ± 96.5	5.4 ± 1.33
1.2 m	6	6.3 ± 4.48	1.78 ± 0.62	283 ± 134.4	5.6 ± 1.35
根	4	2.2 ± 1.41	2.07 ± 0.25	140 ± 37.7	2.8 ± 0.46

表-1の値は、各円板における概略値と解してよいが、樹幹部位と根部では、組織構造が大きく異なることが把握され、根部においても、柔細胞数、細胞高が樹幹部に比していずれも半分以下と少ないことが特徴的であるが、仮導管長は逆に、やや長い傾向を示している。

次に、18枚の簡易プレパラートに基づく組織計測データを用い、部位別、年輪別の特性把握のため、主成分分析を用いて検討した。年輪巾は、組織を形成する総合因子であり、構成要因ではないので、解析には用いなかった。

表-2は、組織要素間の相関関係をみたものである。柔細胞数と細胞高は、高い正の相関関係を示す。

仮導管長と放射組織間では、負の相関関係がみられ、仮導管長が長くなれば、放射組織の発達が抑制される傾向にあることを示している。

主成分分析による主成分と因子負荷量を表-3に示す。第1主成分の寄与率は66.6%と高く、第2主成分までの累積で96.4%となっており、第1及び第2主成分で、ほぼ全体が説明できることを示している。第1主成分では、柔細胞数及び細胞高の値が大きく、仮導管長が負の係数をもっている。放射組織と仮導管長が相対するファクターとなっていることを示す。第2主成分は、仮導管長を強調するファクターで、仮導管長の長いものは大きなスコアを取る。図-2に各標本のスコアによる第1、第2主成分の散布図を示す。

前述のように、第1主成分は正の方向に放射組織の量的増大を示し、第2主成分は、正の方向に仮導管長の伸長を示す。図において、仮導管が短く、放射組織の発達した集団(A)、放射組織の構成率が高く、仮導管が中～長い集団(B)、仮導管中～長で、放射組織も中庸の集団(C)及び放射組織の構成率が低く、仮導管中度の集団(D)におおよそ区分され、特に根の集団(D)は、判然とした独立集団を形成する。それぞれの集団は、実生ヒノキ材の内的構成を組織的に特徴づけており、(A)が髓を含む未成熟の集団、(C)が成熟度の進んだ木部、(B)は(A)と(C)の中間移行帶、(D)が根部と区分され、部位別、年輪別に同一円板においても、髓からの距離、加

表-2 組織間の相関行列

	仮導管長	柔細胞数	細胞高
	X 1	X 2	X 3
X 1		-0.4330	-0.1293
X 2			0.8427

表-3 主成分と因子負荷量

変 量	主 成 分		
	第 1	第 2	第 3
仮導管長	-0.3692	0.8971	-0.2424
柔細胞数	0.6571	0.0676	-0.7507
細胞高	0.6571	0.4365	0.6145
固 有 値	2.000	0.8959	0.1033
寄与率(%)	66.6	29.8	3.4
累積寄与率(%)	66.6	96.4	99.8

齢の違いによって組織構成を異にし、これが、個体内の力学的特性に影響を与えていることが推測される。

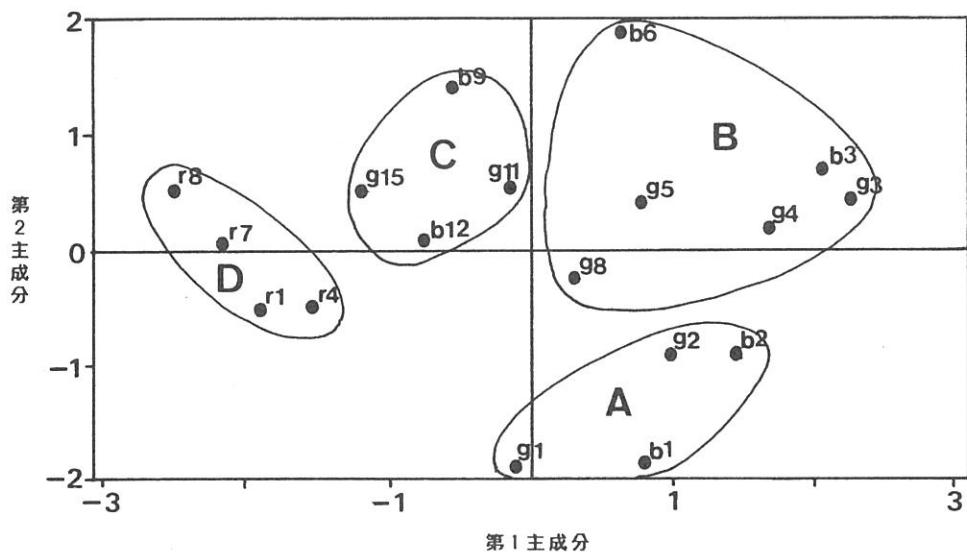


図-2 実生ヒノキの散布図

g:地上0.2m, b:地上1.2m, r:根, 添数字は、齢からの年輪数を示す

## 2) さし木ヒノキ

さし木ヒノキでは、0.2 mの部位から8枚、1.2 mの部位から6枚、根部から4枚の計18枚の簡易プレパラート標本を得た。各円板における組織構成要素の平均計測値は、表-4のとおりである。

表-4 さし木ヒノキにおける組織構成要素(平均値±標準偏差)

部 位	標 本 数	年 輪 巾	仮 導 管 長	柔 細 胞 数	細 胞 高
		(mm)	(mm)	(個/mm <sup>2</sup> )	(個/放射組織)
0.2 m	8	4.7 ± 2.26	2.11 ± 0.59	278 ± 70.4	4.6 ± 0.52
1.2 m	6	5.4 ± 2.65	2.39 ± 0.73	209 ± 96.5	4.9 ± 0.48
根	4	2.8 ± 0.56	2.27 ± 0.53	140 ± 25.5	2.3 ± 0.55

さし木ヒノキも実生ヒノキと同様、仮導管長においては差異は小さいが、放射組織では、根部での値が地上に比べて明らかに小さく、組織構成において、放射組織要素の量的占有率が低いことを示している。

根部及び樹幹内における組織構成要素の変動特性を総合的に把握するため、仮導管長、柔細胞数及び細胞高を変量とした主成分分析にて検討した。組織構成要素間の相関関係は、柔細胞数と細胞高が  $r = 0.6372$  とやや高い正の相関を示したが、仮導管長と放射組織との関連は認められなかった。

表-5に、第3主成分までの因子負荷量を示した。実生ヒノキと同様、第1主成分は、柔細胞数

及び細胞高の値が大きく、放射組織のファクターが強調されている。第2主成分は、仮導管長が大きな値をとり、仮導管要素が強調されている。

この第1及び第2主成分による累積寄与率は、92.7%と高い値を示し、全体の約93%がこの2主成分で説明されていることになる。

次に、各標本のスコアを用い、第1、第2主成分の散布図を描いた。これを図-3として示す。

表-5 主成分と因子負荷量

変 量	主成 分		
	第 1	第 2	第 3
仮導管長	-0.2485	0.8830	-0.3980
柔細胞数	0.7569	-0.0793	-0.6486
細胞高	0.6044	0.4624	0.6486
固有値	1.6793	1.1056	0.2149
寄与率(%)	55.9	36.8	7.1
累積寄与率(%)	55.9	92.7	99.8

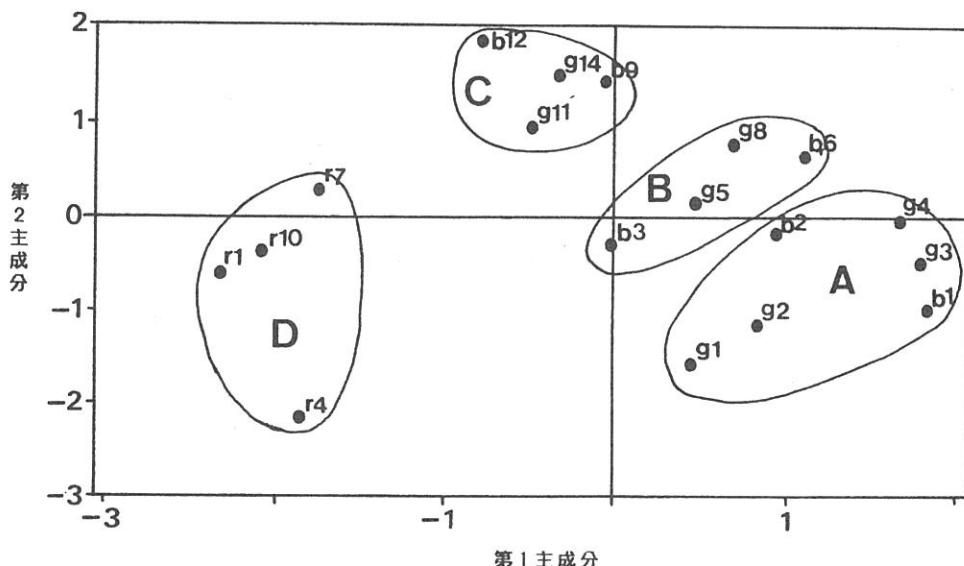


図-3 さし木ヒノキの散布図

g:地上0.2m, b:地上1.2m, r:根, 添数字は、髓からの年輪数を示す

(D) の根のグループを除いて他の標本群は、特に判然とした分離ではなく、連続的な分布を示すが、詳細に検討すれば、放射組織の比率の高い髓近辺の集団(A), 仮導管が長い木部の集団(C), 及び(A)と(C)の中間移行部と全体的に4つに区分されることが認められ、実生ヒノキと散布の違いはあるものの、さし木ヒノキもほぼ同様の組織要素をもって材の形成がなされていることが把握されている。

### 3) ナンゴウヒ

ヒノキの中で唯一、品種（クローンコンプレックスとされている）として古くより知られるナンゴウヒについては、0.2m部位から8枚、1.2m部位から5枚、根部から5枚の計18枚の簡易プレパラート標本を得た。各部位の円板における組織構成要素の平均計測値は、表-6のとおりである。

ナンゴウヒの組織構成要素は、前述の実生ヒノキ、さし木ヒノキに類似した傾向をもつが、数値的には、さし木ヒノキより実生ヒノキに近似している。ここでも根部において、放射組織の値の小さいことが特徴である。要するに根部と地上部では、器官の分化が明瞭に行われていることを示したものにはかならない。これは、実生であっても、さし木であっても変わらない現象である。

表-6 ナンゴウヒにおける組織構成要素(平均値±標準偏差)

部 位	標 本 数	年 輪 巾	仮 導 管 長	柔 細 胞 数	細 胞 高
		(mm)	(mm)	(個/mm <sup>2</sup> )	(個/放射組織)
0.2 m	8	4.9 ± 3.89	1.79 ± 0.40	349 ± 81.2	5.4 ± 2.04
1.2 m	5	5.6 ± 3.02	1.91 ± 0.33	301 ± 17.7	5.3 ± 0.28
根	5	1.8 ± 1.06	2.07 ± 0.42	181 ± 27.3	3.1 ± 0.63

この組織構成要素を用いて、ナンゴウヒの根部及び樹幹内における変動特性を総合的に把握するため、仮導管長、柔細胞数及び細胞高を变量として、主成分分析により解析した。

まず、組織構成要素間の相関行列を検討したところ柔細胞数と細胞高の間には、 $r = 0.7603$ という比較的高い正の相関関係が認められた。二つの放射組織要素と仮導管長の間には、負の相関関係がみられたが、その関連は低かった。

表-7には、主成分分析に基づく第3主成分

までの因子負荷量を示した。ここでも、前述の実生ヒノキ、さし木ヒノキとほぼ類似した傾向を有することが認められる。第1主成分では、柔細胞数と細胞高が比較的大きな値をとる。放射組織の占有率の高い標本が、正の方向に位置する傾向のあることを示している。第2主成分では、仮導管長が特に大きな正の値をとっている。この軸上では、仮導管の長い標本が正の方向に位置することを示している。第1主成分と第2主成分による累積寄与率は、91.9%と高い値を示し、データ全体のバラツキの約92%がこの二つの新しい合成軸上で説明されることを表している。

次に各標本のスコアを用い、第1、第2主成分を軸とする散布図を描いた。これを図-4として示す。

ナンゴウヒの標本群は、実生ヒノキ、さし木ヒノキに比べて、組織要素としての独立性がや、低いことが認められ、散布図は全体的にバラツキが大きく、集団指向性が少ない傾向がある。しかしながら、実生ヒノキ、さし木ヒノキで区分されたとおり、髓に近いもの(A)、木部(C)、(A)と(C)の移行部(B)、及び根部(D)と仕分けしてみれば、集団の配置やバラツキの程度はや、異なるものの、ナンゴウヒの材変動において組織構成的には、他のヒノキと同様の集団形成のあることが認められる。

## 2. 実生ヒノキ、さし木ヒノキ、ナンゴウヒの部位別組織構成要素の比較

組織構成要素の計測値を用いて、主成分分析により解析したところ、繁殖由来は異なるけれども組織構造的にいずれも、根部、髓心部、移行部、木部に4区分されることが認められた。表-8はヒノキ3種の4区分された組織部位ごとの平均的な構成を一括して示したものである。

表-7 主成分と因子負荷量

変 量	主 成 分		
	第 1	第 2	第 3
仮導管長	-0.4362	0.8998	0.0082
柔細胞数	0.6362	0.3084	-0.7071
細胞高	0.6362	0.3084	0.7071
固 有 値	1.9939	0.7663	0.2397
寄与率(%)	66.4	25.5	7.9
累積寄与率(%)	66.4	91.9	99.8

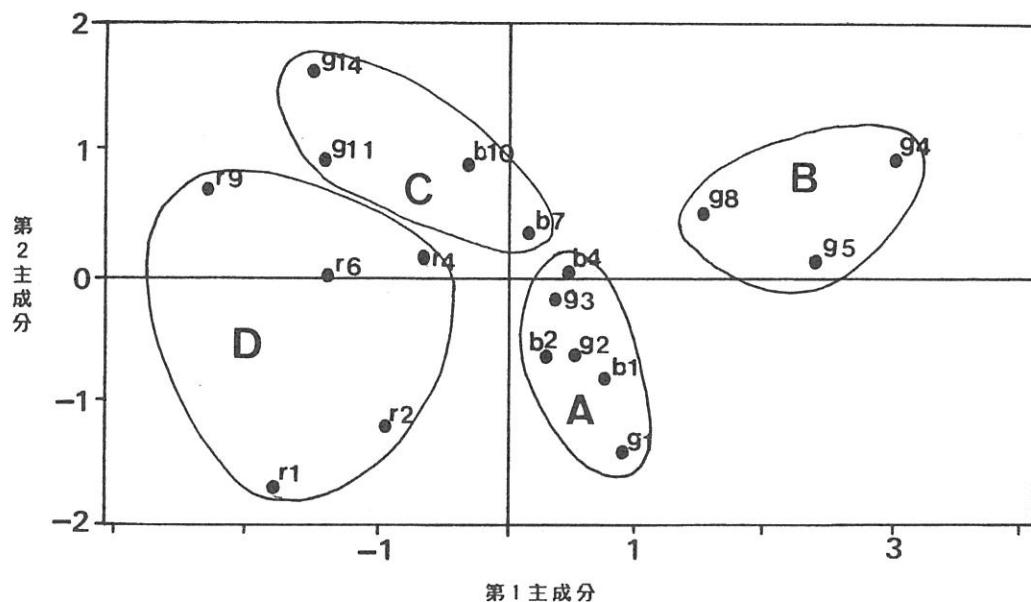


図-4 ナンゴウヒの散布図

g:地上0.2m, b:地上1.2m, r:根, 添数字は、髓からの年輪数を示す

表-8 各ヒノキの部位別平均組織構成値

組織要素	組織部位	実生ヒノキ		さし木ヒノキ		ナンゴウヒ	
		n *	x ± S.D.	n	x ± S.D.	n	x ± S.D.
仮導管長 (mm)	髓心部	4	1.11 ± 0.20	6	1.69 ± 0.34	6	1.63 ± 0.22
	移行部	6	1.80 ± 0.33	4	2.43 ± 0.27	4	1.74 ± 0.16
	木 部	4	2.14 ± 0.21	4	3.03 ± 0.25	3	2.48 ± 0.33
	根	4	2.07 ± 0.25	4	2.27 ± 0.53	5	2.07 ± 0.42
柔細胞数 (個/mm <sup>2</sup> )	髓心部	4	352 ± 98.5	6	310 ± 49.5	6	321 ± 40.3
	移行部	6	408 ± 46.3	4	279 ± 48.4	4	423 ± 40.3
	木 部	4	248 ± 27.4	4	195 ± 24.7	3	267 ± 37.7
	根	4	140 ± 37.7	4	143 ± 25.5	5	181 ± 27.3
細胞高 (個/放射組織)	髓心部	4	4.7 ± 0.85	6	4.8 ± 0.55	6	4.8 ± 0.72
	移行部	6	6.5 ± 1.12	4	4.6 ± 0.41	4	7.7 ± 1.50
	木 部	4	4.7 ± 0.73	4	4.9 ± 0.58	3	4.5 ± 0.60
	根	4	2.8 ± 0.38	4	2.3 ± 0.55	5	3.1 ± 0.63

\* n : 標本数

\*\* x ± S.D. : 平均値±標準偏差

繁殖由来を異にする3種のヒノキは、成長量や樹幹形態等において相違がみられるが、内部構造的な面での相違の有無について、組織要素別に表-8の平均値を用いて比較検討した。解析は、「種類」(実生ヒノキ、さし木ヒノキ、ナンゴウヒの3水準)及び「組織部位」(髓心部、移行部、木部、根の4水準)を要因とする二元配置分散分析にて行った。分散分析の後、処理平均を求め有意差の認められた要因については、処理平均の比較(1.s.d法)を行った。これを表-9に示す。

表-9 組織要素別の処理平均の比較

要因	水準	平均仮導管長	平均柔細胞数	平均細胞高
組織	髓心部	1.48 <sup>a*</sup>	327 <sup>a</sup>	4.76 <sup>a</sup>
	移行部	1.99 <sup>b</sup>	370 <sup>a</sup>	6.26 <sup>b</sup>
	木部	2.55 <sup>c</sup>	236 <sup>b</sup>	4.73 <sup>a</sup>
	根部	2.14 <sup>b</sup>	161 <sup>c</sup>	2.71 <sup>c</sup>
種類	実生ヒノキ	1.78 <sup>a</sup>	287	4.69
	さし木ヒノキ	2.35 <sup>b</sup>	231	4.15
	ナンゴウヒ	1.98 <sup>a</sup>	303	5.01

\* グループ内でアルファベットの異なるものは、有意差のあることを示す ( $P < 0.05$ )

### 1) 平均仮導管長

「組織」要因に1%水準で、ヒノキの「種類」要因に5%水準で有意差が認められた。部位でみた場合、仮導管長は髓心部で最も短く、木部で最長であった ( $P < 0.05$ )。根部と移行部では、その中間程度の長さを示し、両者間では差がなかった。

「種類」別では、さし木ヒノキが最長で、他の二つのヒノキと差のあることが認められた ( $P < 0.05$ )。

### 2) 平均柔細胞数

「組織」要因に1%水準で有意差が認められたが、「種類」要因では差がなかった。柔細胞数は移行部で最大を示し、次いで髓心部であり、この両者は、他の部位に比べて顕著に多かった ( $P < 0.05$ )。根部は、最少の柔細胞数を持ち、他部位ときわだった特性を示した。「種類」別では、さし木ヒノキに少ない傾向がみられた。

### 3) 平均細胞高

「組織」要因に5%水準で有意差が認められたが、「種類」要因では差がなかった。細胞高は、移行部で最も高かった ( $P < 0.05$ )。髓心部、木部では有意差はなかった ( $P < 0.05$ )。根部は最少の細胞高を示し、他の部位と異なる形態を示した ( $P < 0.05$ )。「種類」別では、さし木ヒノキにおいて、平均細胞高がやや少ない傾向がみられた。

以上の結果から、ヒノキの組織要素について概括すれば、平均仮導管長は、髓心部より移行部、木部と加齢に伴い増加するが、今回のデータでは、さし木ヒノキでは各組織部位を通じて、他のヒノキより長いことが認められた。根の仮導管は、木部と移行部の中間的な長さであった。

平均柔細胞数は、成長の盛んな髓心部及び移行部で多かった。成熟度が高い木部では、急激に少なくなることが認められた。根部は他部位に比べ、極端に少ない異質の器官として独立している。ヒノキの種類別では、さし木ヒノキにやや少ない傾向がみられた。

平均細胞高は、移行部で最大値を示し、未成熟部に髓心部と成熟部の木部の間で差がみられなかった。髓心部では、根部に似て柔細胞数の少ない放射組織が発達しているため、放射組織の形質は異なっていても、数値的には、近似した値となっていることが推測された。種類別では、さし木ヒノキに少ない傾向がみられた(写真1, 2, 3参照)。

### 3. スギ品種アオスギの部位別組織構成と樹幹内変動

アオスギ 49 年生より得られた地上高 1.2 m, 8.0 m 及び 16.0 m 部位の円板における、33 枚の簡易プレパラート標本の年輪巾及び組織要素の平均計測値は、表-10 に示すとおりである。

表-10 の値は、悉皆値によるデータではなく任意抽出による値であるので、信頼度は十分ではないが、概略的な傾向把握には問題ないものと考えられる。これによると仮導管長は、1.2 m 部位では短いが、8 m 以上の部位では長くなることが認められる。柔細胞数は、樹幹高さ方向に増加し、逆に細胞高は減少することが把握される。三つの円板を込みにして、組織要素間における相関係数を求めると、仮導管長と細胞高の間には正の相関がみられ ( $r = 0.6311$ )、また、柔細胞数との間には負の相関があった ( $r = -0.5052$ )。柔細胞数と細胞高の間には、負の相関 ( $r = -0.4627$ ) があった。

表-10 アオスギにおける断面別の年輪巾及び組織構成(平均値±標準偏差)

部 位	標 本 数	年 輪 巾	仮 導 管 長	柔 細 胞 数	細 胞 高
		(mm)	(mm)	(個/mm <sup>2</sup> )	(個/放射組織)
0.2 m	13	4.5 ± 3.91	2.23 ± 0.70	224 ± 51.6	4.87 ± 0.90
1.2 m	12	3.6 ± 1.73	2.64 ± 0.77	239 ± 60.0	4.72 ± 1.00
根	8	4.5 ± 2.18	2.62 ± 0.72	265 ± 26.5	4.43 ± 0.72

#### 1) 主成分分析による組織構造の特性把握

33 枚の簡易プレパラートに基づく組織計測データを用い、年輪方向及び軸方向における組織構造の特性把握のため、主成分分析により検討した。年輪巾は、組織の総合因子であり、構成要素ではないので、変量として用いなかった。表-11 に、主成分分析に基づく第 3 主成分までの因子負荷量を示した。第 1 主成分では、各変量とも平均して比較的大きな値をとり、柔細胞数のみが負となっている。これは、仮導管長が長く、細胞高の高い標本が正の方向に位置し、柔細胞数の覆い標本が負の方向に位置することを示している。

第 2 主成分は、柔細胞数が特に大きな値をとり、この軸上では、柔細胞数の多い標本が正の方向に位置することを示している。

この第 1 及び第 2 主成分による累積寄与率は、87.7 % と高い値を示し、データ全体のバラツキの約 87 % が、この二つの合成軸上で説明されることを表している。図-5 は第 1、第 2 主成分を軸とする散布図である。

散布図において、第 I 象限は仮導管長が長く、細胞高の高い、そして柔細胞数の多い傾向をもつ標本群が配置され、第 II 象限は第 I 象限と同様ながら、柔細胞数が少ない傾向の標本群とされる。

表-11 主成分と因子負荷量

変 量	主 成 分		
	第 1	第 2	第 3
仮導管長	0.5955	0.3812	-0.7071
柔細胞数	-0.5391	0.8422	0.0000
細 胞 高	0.5955	0.3812	0.7071
固 有 値	2.0692	0.5618	0.3688
寄与率(%)	69.0	18.7	12.3
累積寄与率(%)	69.0	87.7	100.0

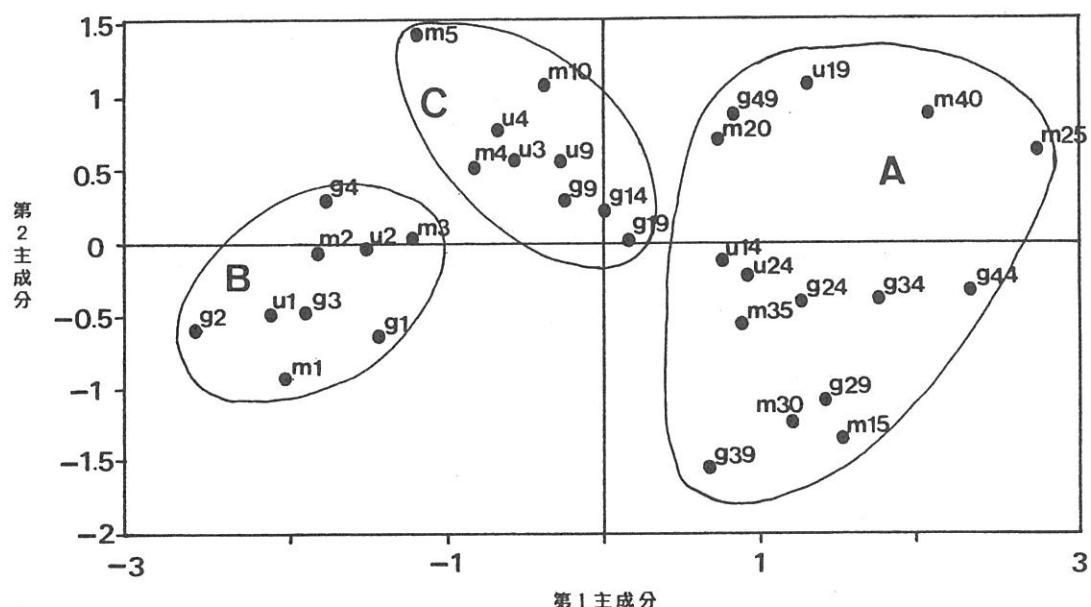


図-5 アオスギの散布図

g:地上1.2m, m:地上8.0m, u:地上16.0m, 添数字は、髓からの年輪数を示す

この第Ⅰ及び第Ⅱ象限に配置される標本は、髓からの距離を有する木部であることが把握される。第Ⅲ象限を中心に配置される標本群は、仮導管長が短く細胞高が少ない集団で、これらは共通して髓心部に近接した標本となっている。第Ⅲ象限の原点近くに集合する標本群は、柔細胞数が多いが仮導管長、細胞高は中庸である標本群で、髓心部と木部の移行部にあたる部位となっている。即ち、や、バラツキは大きいものの、このアオスギの標本は断面高にかかわりなく、木部（A）、髓心部（B）及び移行部（C）に大きく3区分されることが認められる。

## 2) 主成分分析による部位区分と組織構造特性

前項において、アオスギの3断面における円板の組織要素について、主成分分析で検討した結果木部、髓心部及び移行部の3組織部位に区分されることがわかった。表-12は、各断面高ごとに3区分された組織部位について、平均的な組織構成を算出したものである。

各組織要素において、区分された組織部位と樹幹高さ方向における差異検定のため、表-12の平均値データを用いて検討した。解析は、「組織部位」（髓心部、移行部、木部の3水準）及び「断面高」（1.2 m, 8.0 m, 16 mの3水準）を要因とする二元配置分散分析にて行った（分散分析表は省略）。

分散分析の結果、平均仮導管長、平均柔細胞数において、「組織部位」要因に1%水準で、平均細胞高では、「組織部位」に5%水準で有意差が認められた。「断面高」要因においては、いずれの組織要素も有意差は認められなかった。

分散分析の後、各要因について処理平均を求め、有意差の認められた要因については、処理平均の比較（1.s.d法）を行った。これを表-13として示した。

表-12 アオスギの部位別平均組織構成

組織要素	組織部位	1.2 m		8.0 m		16.0 m	
		n*	x ± S.D.**	n	x ± S.D.	n	x ± S.D.
仮導管長 (mm)	髓心部	4	1.42 ± 0.32	3	1.61 ± 0.08	2	1.77 ± 0.08
	移行部	3	2.16 ± 0.15	3	2.69 ± 0.29	3	2.37 ± 0.17
	木部	6	2.81 ± 0.45	6	3.14 ± 0.56	3	3.44 ± 0.11
柔細胞数 (個/mm <sup>2</sup> )	髓心部	4	276 ± 21.1	3	271 ± 16.6	2	277 ± 2.8
	移行部	3	244 ± 15.2	3	304 ± 25.9	3	280 ± 10.5
	木部	6	181 ± 38.0	6	191 ± 40.2	3	222 ± 24.6
細胞高 (個/放射組織)	髓心部	4	3.7 ± 0.52	3	3.7 ± 0.65	2	3.5 ± 0.56
	移行部	3	5.3 ± 0.10	3	4.3 ± 0.10	3	4.7 ± 0.30
	木部	6	5.4 ± 0.46	6	5.4 ± 0.89	3	4.7 ± 0.64

\* n : 標本数

\*\* x ± S.D. : 平均値 ± 標準偏差

表-13 組織要素別の処理平均の比較\*

要因	水準	平均仮導管長	平均柔細胞数	平均細胞高
組織	髓心部	1.60 <sup>a*</sup>	274 <sup>a</sup>	3.63 <sup>a</sup>
	移行部	2.40 <sup>b</sup>	276 <sup>a</sup>	4.76 <sup>b</sup>
部位	木部	3.13 <sup>c</sup>	198 <sup>b</sup>	5.16 <sup>b</sup>
	1.2 m	2.13	233	4.80
断面高	8.0 m	2.47	255	4.46
	16.0 m	2.52	259	4.30

\* グループ内でアルファベッドの異なるものは、有意差のあることを示す (P &lt; 0.05)

表-13より、アオスギの材部における微視的な内部変動を把握することができる。

平均仮導管長は、髓心部が短く、移行部、木部と直線的に長くなり、組織部位間に有意な差が認められる (P < 0.05)。髓心部で最少で、加齢とともに漸増する仮導管の成長過程は、この事例に限らず一般的に認められる現象である。樹幹高さ方向での変動は、有意差は認められなかったが、傾向としては、地際から梢端部に向かって漸増していくことが認められた。上部ほど加齢が加わり未成熟材比率が相対的に減少するからであろう。

平均柔細胞数は、木部で顕著に減少した (P < 0.05)。成長の活発な髓心部や移行部分では、材的には、未成熟の要素を持つ部分と考えられるが、活発な成長を支えるために栄養源として、放射組織の発達が求められるのであろう。これが故に、材質強度の相対的な低下が生じ、未成熟材として取り扱われるのであろう (写真-4 参照)。樹幹方向別では、地際部でや、少い傾向があった。断面に占める成熟材及び未成熟材の占有比率の違いではないかと考えられる。

平均細胞高は、髓心部で最も少なく、木部で最も高かった (P < 0.05)。木部と移行部では差が生じなかった。髓心部付近では、1~2個の少ない柔細胞よりなる放射組織が多くみられることから、平均的に細胞高を低下させている (写真-4 参照)。断面高別には、上部に向かうにつれ、漸減している傾向があった。

#### IV 考 察

筆者は、ヒノキとっくり病に関する研究過程において、さし木苗に由来する造林木の仮導管長が実生ヒノキに比べて、成長初期にすでに長いことを報告し（9），これはエイジング（加齢）による効果ではないかと推測した。この研究に端を発した格好で、仮導管のみならず他の組織要素まで加え、組織構成の特徴や樹幹内変動を考察することにより、ヒノキの組織特性や種類判別を試み、また、スギ品種アオスギを用いて、組織要素の横断及び軸方向に対する計測を行い、一立木中における個体内変動について把握を試みた。

仮導管長を含む三つの組織要素を用いて、主成分分析を行ったところ、スギ、ヒノキとも髓心部移行部及び木部とされる三組織部位に区分された。このうち、平均的な組織の計測値から類推して髓心部、移行部の範囲が、太田ら（13）のいう未成熟材部に該当し、木部が成熟材部に相当すると思われる。

組織の基本構成として、スギ、ヒノキとも、未成熟材部とされる髓心部、移行部では、仮導管長が短く、放射組織がよく発達していることが指摘される。この範囲では成長が活発なために、養分要求量が大きく、仮導管という骨組み器官より栄養補給器官の働きが優先するからであろう。そのため、力学的強度が劣り成熟材部と区分されるのは、その組織構成の相違に起因していることは明瞭である。

組織構造の違いを拠点にヒノキの類別を試みたが、明確な区分は困難であった。実生ヒノキに比べてさし木ヒノキは、仮導管長が長く、放射組織の発達程度が低いことから、全般に材質的に成熟度の高いこと、即ち、エイジングの効果のあることが読み取れたが、同時に実験を行ったナンゴウヒは、増殖方法の違いによるヒノキの組織構造への影響は判然としえなかつた。

スギ（アオスギ）の場合、最も特徴的であったのは、木部組織における柔細胞数の顕著な減少であった。また、仮導管長の伸長もみられた。木部組織部が材質的に成熟部材として区分されるのは組織構造的に、仮導管を主体にした構造に変化していくからと考えられる。写真-4にも一部みられるように、加齢の進んだ木部組織においては、仮導管方向が整然と並立し、放射組織の構成率が減少し、きわめてシンプルな接線面を示す傾向が認められる。これら放射組織の構造特性が材質面における力学的特性に影響を及ぼしている可能性が考えられる。今後、スギ、ヒノキの構造的利用において、内部の組織構造を関連させた強度性能の研究が望まれる。

#### V お わ り に

同じ樹木を対象としながら、木材利用を育林研究の間には、一種のブラック・ボックス的なもののが存在し、その連携がうまくはかれない状況がある。木材利用側から、育種、育林へのフィード・バックが期待されるが、即応性に乏しい林業の長期性がこれをはばんでいる。

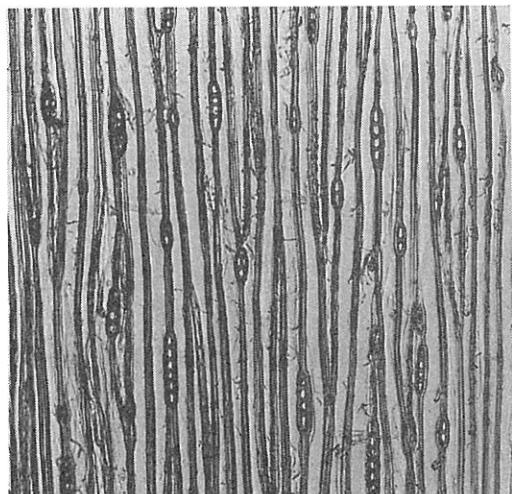
このような乖離する二つの分野にあって、組織構造を介在させた研究は、これらを連携させるものとして考慮されてよい。樹木における組織構成要素は、成長、形態あるいは材質を決定づける遺伝的発現の最少単位である。成長、形態、材質等は、樹種ごとに、品種ごとに、あるいは個体内で

様々の変化を生じる。この変化は、組織要素のバラツキの結果に起因する。外的に、内的に生じる変化を法則性まで高め、総合的に評価していくことこそ、樹木固有の特性を眞の意味で解明することにはかならない。

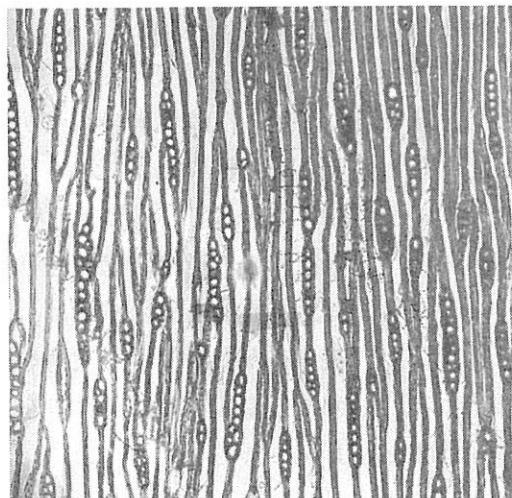
今回、14年生という若齢ヒノキ3種、51年生のアオスギ主伐林、それぞれ各1本という極めて限定された材料を用い、組織構成要素の観察から、スギ、ヒノキのもつ樹種特性を抽出する試みを行ってみた。もとより、最小限の簡易プレパラートを用いた実験で、予備試験的な域にあることは十分承知しているつもりである。しかしながら、この稚拙な実験にかかわらず、組織要素を通じて、木材利用と育種、育林分野との連携研究の在り方が垣間見えてきたことは確かである。今後、更に材料を吟味し、十分な数の標本を利用すれば、新しい研究分野として発展応用が可能となると思われる。木の葉をくぐる一滴の水がやがて大海をなすが如く、一本の微細な仮導管はやがて集積して大樹を形成する。マクロを論じるにはミクロを征することの重要性は、育林や木材利用の分野においても例外ではないように思える。

### 引 用 文 献

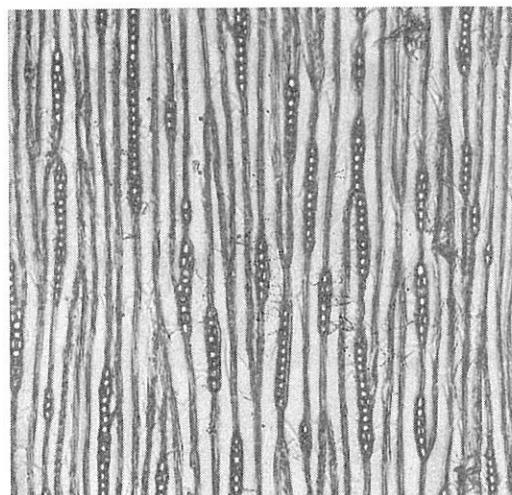
- (1) 新井雅史・中村克哉(1971)：スギ黒粒葉枯病材の解剖学的性質、82回日林講、251—253
- (2) 藤崎謙次郎(1985)：スギ品種における組織構造と材質との関係(I)，クモトオシ、ヤイチヤブクグリ及びメアサについて、愛媛大演報23、47—57
- (3) 長谷川浩一・山谷孝一(1977)：遠野地区スギ造林木の材質(Ⅲ) 地位による放射組織の細胞高と分布数の差異、日林誌59(9)、341—343
- (4) 林昭三・角谷和男・野村隆哉(1983)：スギ36品種の組織構造的性質、京都大学木材研究資料No18、81—92
- (5) 今村祐嗣(1978)：スギのシボ材の放射組織、木材学会誌24(1)、71—74
- (6) ————(1983)：天然絞品種の木材組織による識別の試み、天然しほの研究、No3、8—10
- (7) 諫本信義(1986)：ヒノキのとっくり病に関する研究(鱗)－ヒノキ徳利病木の組織構造の個体内変異について－、大分県林試研究時報、No12、13—19
- (8) ————(1987)：ヒノキのとっくり病に関する研究(Ⅶ)－顕微鏡標本による組織構造の解析について－、日林九支研論、No40、263—264,
- (9) ————(1990)：ヒノキのとっくり病に関する研究(第15報)－ヒノキさし木の仮導管長におけるエイジング効果について－、日林九支研論、No43、101—102
- (10) Ladell, J. T (1959) : A New Method of Measuring Tracheid Length. Forestry32, 124—125
- (11) 見尾貞治、松本聰、堤寿一(1985)：スギ品種の木材性質について、九州産の在来スギ6品種による予備試験、九大演報55、187—199
- (12) 緒方健(1980)：木材組織のやさしい観察法、遺伝34(10)、100—105
- (13) 太田禎明(1972)：スギ、ヒノキ樹幹内における未成熟材の力学的特性に関する基礎研究、九大演報45、1—80



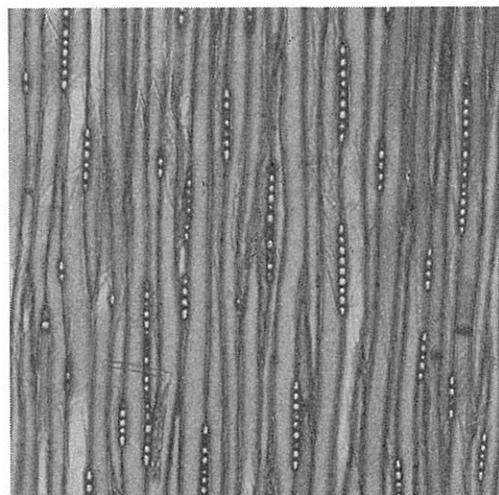
根 部  
髓より 10 年輪  
年輪巾 1.8mm



髓 心 部  
1.2m 部位, 髓心部  
年輪巾 6.8mm

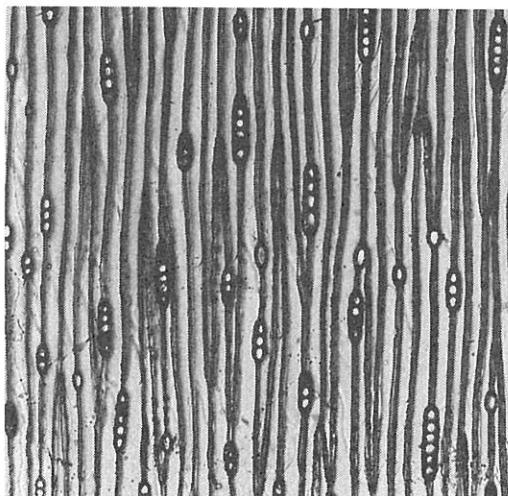


移 行 部  
1.2m 部位, 髓より 3 年輪  
年輪巾 13.5mm

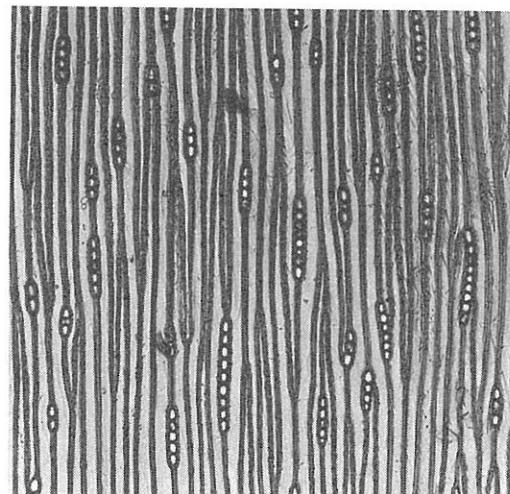


木 部  
1.2m 部位, 髓より 9 年輪  
年輪巾 1.6mm

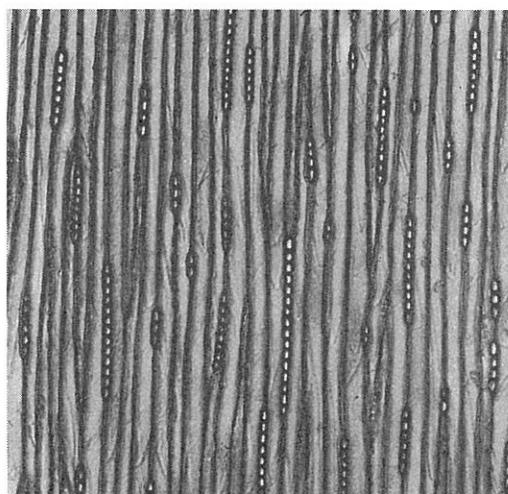
写真一 実生ヒノキの簡易プレパラート（早材部, 接線面）



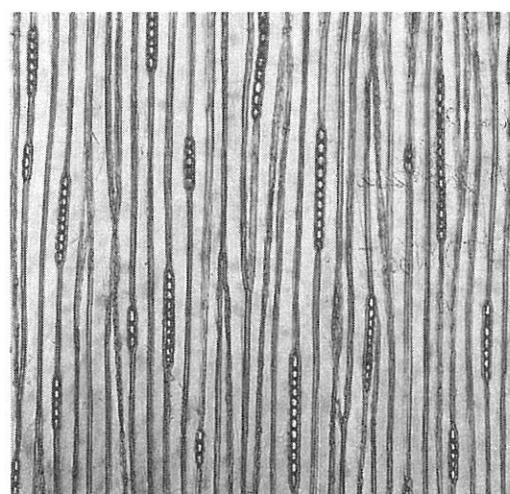
根 部  
髓より 3年輪  
年輪巾 2.0mm



髓 心 部  
0.2m部位、髓心部  
年輪巾 3.5mm

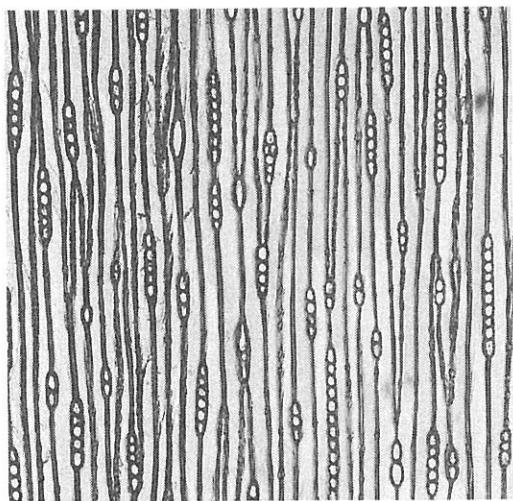


移 行 部  
0.2m部位、髓より5年輪  
年輪巾 6.6mm

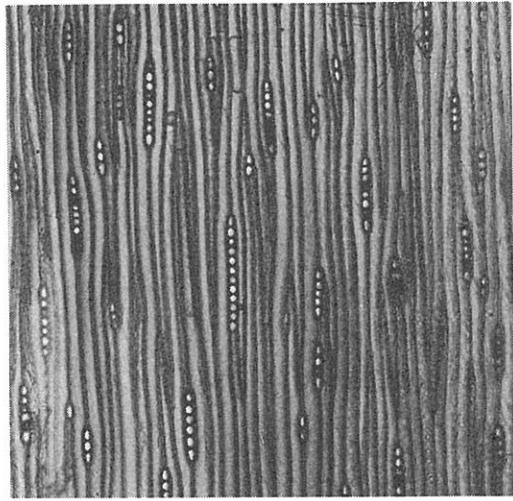


木 部  
1.2m部位、髓より9年輪  
年輪巾 3.1mm

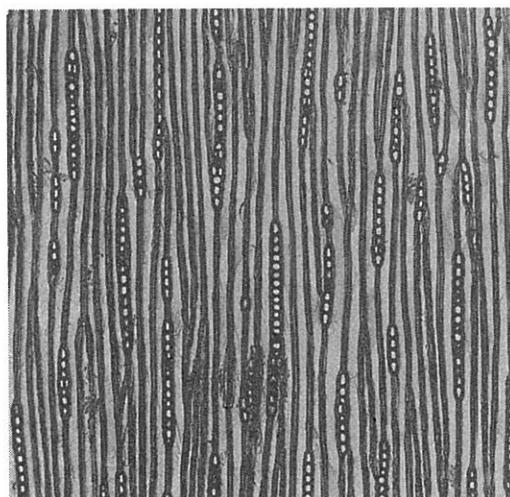
写真一2 さし木ヒノキの簡易プレパラート（早材部、接線面）



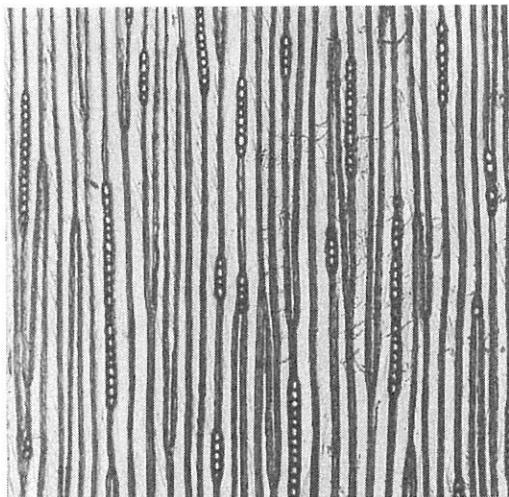
根 部  
髓より 3 年輪  
年輪巾 1.8mm



髓 心 部  
0.2m 部位, 髓心より 2 年輪  
年輪巾 3.0mm

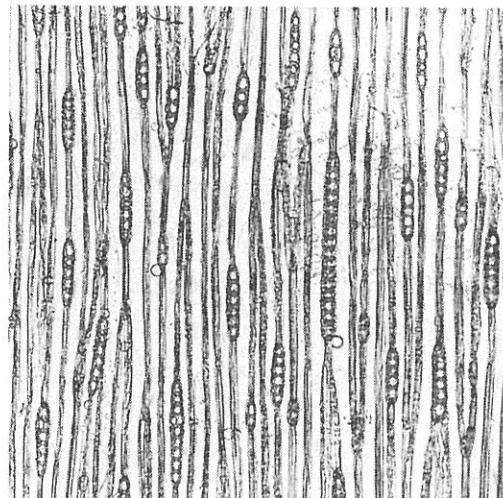


移 行 部  
0.2m 部位, 髓より 5 年輪  
年輪巾 10.0mm

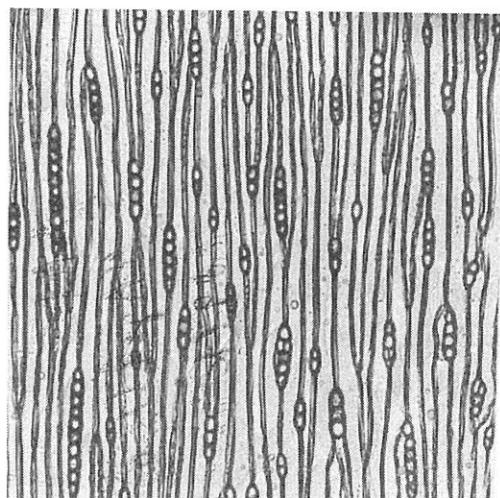


木 部  
1.2m 部位, 髓より 6 年輪  
年輪巾 2.8mm

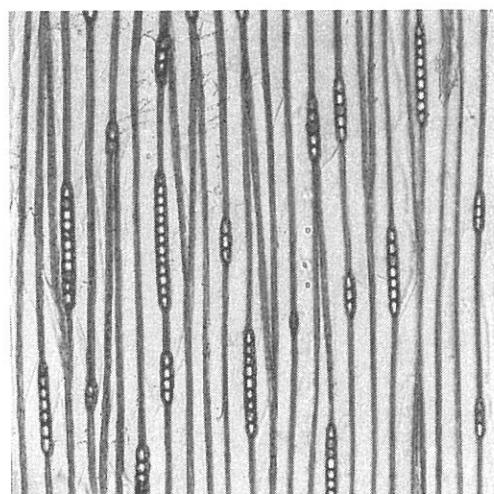
写真—3 ナンゴウヒの簡易プレパラート（早材部, 接線面）



髓心部  
1.2m 部位、髓心より 2 年輪  
年輪巾 10.0mm



移行部  
16.0m 部位、髓より 4 年輪  
年輪巾 6.6mm



木部  
0.2m 部位、髓より 45 年輪  
年輪巾 2.2mm

写真一4 アオスギの簡易プレパラート（早材部、接線面）

## ユリノキの育林と利用についての調査研究： 東京大学農学部附属秩父演習林におけるユリノキ人工林の成長と土壤の化学性について

諫本 信義 ・ 澤田 晴雄<sup>1)</sup>

Investigation on Silviculture and Utilization of Yurinoki  
(*Liliodendron Tulipifera L.*) (III):  
Growth of Yurinoki Plantation at the Chichibu Experimental  
Forest Belonging to the Faculty of Agriculture, Tokyo  
University, and their Chemical characteristics of the soil.

Nobuyoshi ISAMOTO and Haruo SAWADA<sup>1)</sup>

### 要 旨

東京大学農学部附属秩父演習林の一角に、我が国に現存するユリノキ人工林のうち最も古いとされる造林地がある。1997年3月にこの林分及び土壤を調査する機会を得た。この林分は、1934年に植栽されたもので、調査時点で63年生であった。過去の風害等により20%程度が倒伏又は折損し、これらは現在萌芽更新されているが、すべて副林木となっている。主林分の本数はhaあたり697本、平均胸高直径31.7cm、平均樹高26.8m、平均単木幹材積1.083m<sup>3</sup>、haあたり755m<sup>3</sup>の蓄積を示し、良好な林分を形成していた。また、林分調査を併行して、ユリノキ林の土壤化学性について分析し、隣接スギ林と比較した。

### I はじめに

ユリノキは、モクレン科の落葉高木で、イエローポプラ、チューリップツリーとも呼ばれ、アメリカ合衆国東部ア巴拉チア山脈一帯を郷土としている。中国には近縁種シナユリノキ(*L. chinense*)がある。陽樹で、旺盛な成長を示し、最も良好な立地では、樹高61m、胸高直径は2.4～3.7mに達し、樹齢は200～250年、いくらかの木は300年まで生育すると報告され(4)，高大通直な樹幹を形成する。成長が早く、材は家具材、内装材、集成材など広い用途利用が期待され、また、キノコの培地や蜜源花として有用であり、土壤の酸性化の抑制(5)など、環境面での機能増進効果もあり、広葉樹造林推進の有力な樹種の一つとして期待が大きく、林業的に、一日も早い産地形成が待たれている。しかしながら外来種のため、我が国において造林事例が少なく、人工造林に関する基礎資料はいくつかみられるものの(1, 6, 7, 8)，造林樹種として立地、施業及び育種

1) 東京大学農学部附属秩父演習林(〒368-0034 埼玉県秩父市日野田町1-1-49)

面での課題がまだ残されている。

今回、東京大学農学部附属秩父演習林において、1934年に植栽された63年生ユリノキ人工林を調査する機会を得たので、その概況について報告する。

現地調査にあたり東京大学農学部附属秩父演習林、仁多見俊夫林長、蒲谷肇林長補佐には、種々ご高配を賜わった。ここに記して謝意を表する。

## II 調査地及び方法

### 1. 調査地

調査地は、東京大学農学部附属秩父演習林柄本作業所（埼玉県秩父郡大滝村大字大滝字柄本）31林班にあり、標高1,055～1,090m、方位S 5 W、傾斜20度内外の中腹や、凸型の開放地形を呈し、土壤型はB  $\ell$  D型である。母材は中生層の結晶片岩で、これに火山灰が被覆している。ユリノキの植栽面積は、約0.16haである。植栽時の植付本数は300本で、これをhaあたりに換算すると1,842本となる。

### 2. 調査方法

調査は、1997年3月1日に実施した。調査時の林齢は63年生であった。人工林内に8mの円型プロットを2ヶ所設定し（林縁部は除く）、毎木調査を行った。調査項目は、成長量（樹高：ブルメライスにより0.5m単位で測定、胸高直径：輪尺にて1cm単位で計測した）、及び樹幹通直性（幹曲り及び根曲り、0：曲りなし、1：曲り小、3：曲り中、5：曲り大の4区分による肉眼観察）とした。なお、根曲りは地上高2.0m以内、幹曲りは地上高2～8m以内の範囲とした。

林分調査とともに、土壤断面調査を行うとともに、ユリノキの根元及び樹間部位から、各10ヶ所の表層土壤を採取した。また対象として、ユリノキ林下方のスギ林（実生63年生）より、同様に各10ヶ所の土壤を採取した。土壤試料は、風乾後2mmのふるいを通して分析に供した。風乾細土1量と水5量の比率で混合し、1時間振とう後、No.5の濾紙で濾過し、その浸出液を用いて、pHをガラス電極pHメーターで、ECを導電率計で測定し、アニオン、カチオン類はイオンクロマトグラフ（DIONEX社製、DX-AQ）にて測定した。pH及びECは各土壤について、アニオン、カチオン類の水溶性イオンは、10ヶ所の土壤を混合したものを供試土壤として計測した。

## III 調査結果

このユリノキ林は、1934年春に植栽され、記録（7）によれば、1937年及び1940年に下刈りが実施されている。枝打ちは行われていない。1961年に台風の襲来を受け、35.5%が倒伏又は折損を受け86本を処理している。1985年2月には、山火事の延焼により林床の大部分が燃焼したが、ユリノキには枯損は生じていない。

### 1. 成長量及び樹幹形質調査

二つの円形プロットを用いての、ユリノキ人工林 63 年生の林分構成を表-1 に示す。海拔 1,000 m を越し、露出度の大きい風衝地形に立地する林分であるが、その生育は比較的良好となっており、広葉樹の人工林として見事な純林を形成している。

澤田（7）の調査によれば、1990 年時点の残存本数率は 55.3 % となっている。今回は、標準地設定による調査で、澤田らの悉皆調査とは若干異なるが、残存率は 48.6 % と算定された。このうち植栽時より無被害で、現在主林木を形成しているものの残存率は 37.8 % と算出された。

表-1 ユリノキ人工林の林分構成(63年生)

林 齡 (年)	主 林 木				副 林 木				主 副 林 木 合 計			
	N (本/ha)	H (m)	D·B·H (cm)	V (m <sup>3</sup> /ha)	N (本/ha)	H (m)	D·B·H (cm)	V (m <sup>3</sup> /ha)	N (本/ha)	H (m)	D·B·H (cm)	V (m <sup>3</sup> /ha)
63	697	26.8	31.7	755	199	13.7	15.0	292	896	23.9	28.0	784

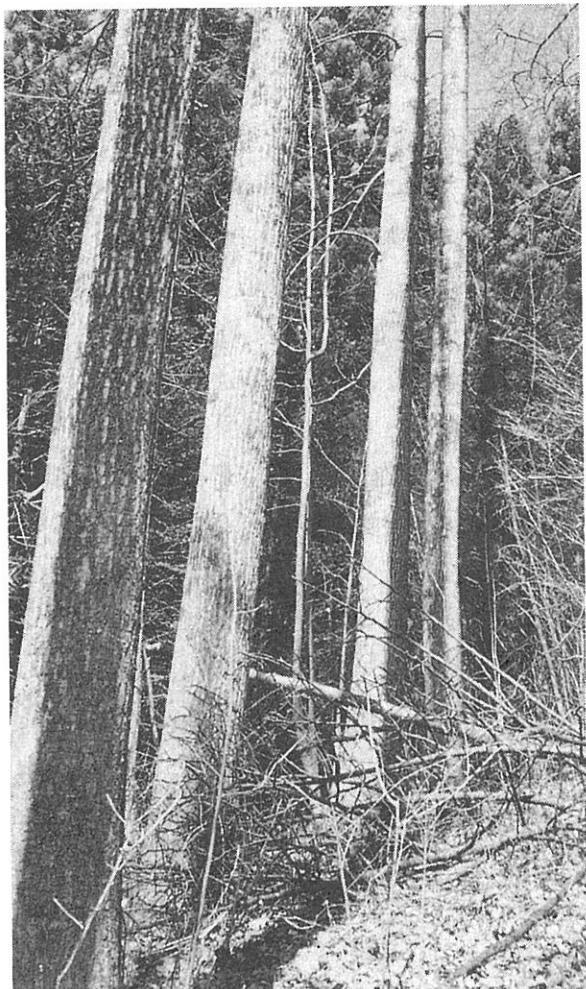


写真-1 東京大学農学部附属秩父演習林ユリノキ人工林 栃木作業所 31 林班

1934 年植栽 1997 年 3 月時 63 年生

(左) 林内 (右) 林縁木(林内にくらべ巨大木が多い)

北関東・阿武隈地方スギ林分収穫表(2)地位(上)では、10年次haあたり2,750本の本数が、60年生時では475本に減少している。この時点での樹高は28.2mとなっており、残存率にして約17.3%と算定される。植栽本数、樹種施業等の相違があり、単純比較は出来ないが、ユリノキの残存率は良好であり、比較的高密度管理が出来ることを示している。主林木樹高は、上記スギ収穫表に優れるが、平均胸高直径では劣っている。除間伐なしの高密度管理による影響と考えられる。

主林木のhaあたり材積は755m<sup>3</sup>であり、単木材積は平均で1.08m<sup>3</sup>となる。上記スギ林の60年生時における主林木のhaあたりの材積は751m<sup>3</sup>となっており、材積的にはスギ林地位上には△近似した成長量を示し、針葉樹の代替広葉樹として注目に値する。

副林木は、1961年における台風被害処理木が萌芽更新されたもので、処理木86本のうち32本が更新し、37.2%の更新率とされた。副林木の本数は、全体の約2割であり、樹高及び胸高直径の大きさは、主林分の約半分程度であった。

根曲り(平均値±標準偏差)は、0.88±1.18であり、幹曲りは1.91±1.79であった。根曲りはきわめて小さく、幹曲りは曲り小~中の間にあったが、バラツキはかなりみられた。しかしながら採材にとって支障となるほどの曲りではなく、針葉樹のスギ、ヒノキの通直材に匹敵する樹幹通直性を有する広葉樹とされた。しかしながら、風に対しての抵抗性については、やゝ問題があること認められ、特に梢端部や枝先が、風によって折損しているものがかなり認められた。梢端部の折損は、そこから側枝が主軸となり伸長しているが、明らかに曲屈点がみられる。

ユリノキは、陽樹指向が強く、パイオニア的な樹種であるため、陽光の十分な林縁部での成長が目立って大きい。この林分において、南~東縁部の10本について胸高直径を測定したところ、54.8±6.51cmの大きさであった。これは、林内主林木の平均値31.7cmの1.73倍となっており、単木材積では、2倍を優に越す成長であり、林縁木の成長は顕著であった。

## 2. ユリノキ林の土壤化学性

ユリノキの樹幹流は、土壤の酸性化に対して抑制的である(5)と報告されている。この現象を検証するため、このユリノキ林分より無作為に10本を選出し、根元近接土壤(樹幹流圏土壤)を採取し、同様に、樹間土壤(林内雨圏土壤)も10ヶ所より採取した。比較の意味で、近接のスギ林土壤を対象に同様の試料採取を実施した。

### 1) 土壤のpH

土壤のpHについて、比較検討した。要因は、「樹種」(ユリノキとスギの2水準)及び「採取



写真-2 ユリノキ人工林の梢端部

位置」(根元及び樹間の水準)の二要因とし、繰り返し10の二要因配置分散分析を行った。分散分析の結果は、表-2のとおりである。

表-2 土壌pHについての分散分析

要 因	平 方 和	自由度	平均 平 方	分 散 比	寄与率(%)
樹 種(A)	1.6524	1	1.6524	31.47**	30.1
採取位置(B)	0.9703	1	0.9703	18.48**	17.2
A × B	0.8094	1	0.8094	15.41**	14.2
誤 差	1.8898	36	0.0524		38.5
全 体	5.3219	39			

\*\* : 1%水準で有意

分散分析の結果、「樹種」「採取位置」の二要因、及び「樹種×採取位置」の交互作用に1%水準で有意差が認められ、特に「樹種」の要因効果は大きかった。要因効果を処理平均で比較すればユリノキでpH 5.49、スギで5.01となっており、ユリノキの酸性抑制効果がみられた。採取位置では、根元土壌で5.13、樹間土壌で5.45を示し、根元部で酸性化の傾向の強いことが認められた。

図-1は、有意差のみられた「樹種」「枝打ち」の交互作用をしたものである。

ユリノキ林の土壌は、スギ林土壌に比べて、どちらの採取位置でもpH値が高く、酸性度の弱いことが認められる。また、根元と樹間との差異の小さいことも指摘される。一方スギ林土壌は、樹幹流の酸性度が強いためか、根元部の土壌のpH値がユリノキにくらべ約0.7ほど低く、酸性化の進行がうかがわれる。樹間土壌では、ユリノキに近接した値を示す。

この図-1より、樹種による樹幹流及び林内雨の特性は、土壌に対し、かなり特異的に作用していることがうかがわれ、ユリノキの土壌酸性化抑制は、作用として認められるが、むしろスギの根元部の酸性化の促進が特徴的となっている。

## 2)電気伝導度(EC)

土壌pHと同様、ECについても分散分析をとった。表-3にその結果を示す。

分散分析の結果、「採取位置」要因及び「樹種×採取位置」の交互作用に1%水準で有意差が認められたが、「樹種」要因には有意差は認められなかった。有意差のみられた「採取位置」要因について処理平均で比較すれば、根元部で31.2  $\mu S/cm$ 、樹間部で16.5  $\mu S/cm$ となっており、根元部のECが樹間部の倍近い濃度を示し、根元部において、樹幹流による影響のあることを示し

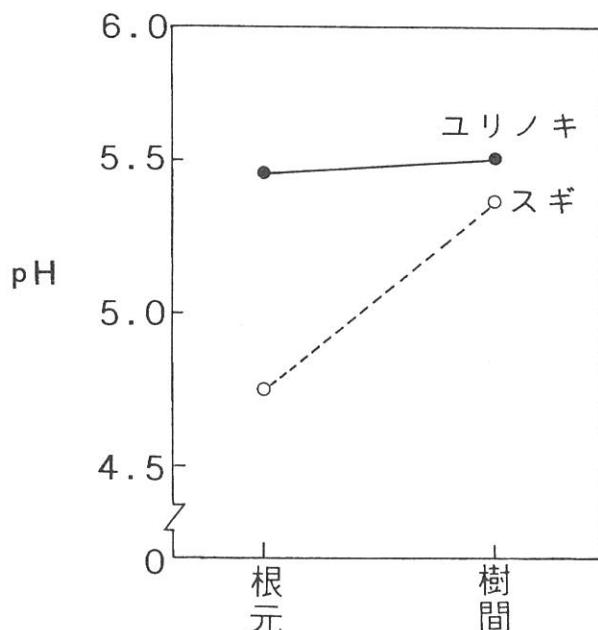


図-1 樹種と採取位置の交互作用(pH)

表-3 土壤のECについての分散分析

要因	平方和	自由度	平均平方	分散比	寄与率(%)
樹種(A)	21.7	1	21.7	0.1634N.S.	1.4
採取位置(B)	2150.6	1	2150.6	16.15 **	24.8
A × B	1187.0	1	1187.0	8.91 **	12.9
誤差	4792.2	36	4792.2		62.3
全體	8151.6	39			

\*\* : 1%水準で有意

N.S.: 有意差なし

ている。図-2は、有意差のみられた「樹種×採取位置」の交互作用をみたものである。

ユリノキ林の土壤は、根元部で高いECを示すが、樹間部では大幅に減少し、根元部と樹間部の較差が大きいことが特徴的である。一方スギ林土壤では、ECの値は比較的高いが、根元部と樹間部での較差が小さかった。ECは、土壤水溶液中の塩類濃度を指標する計測値であるが、この交互作用にみられるとおり、ユリノキ、スギ林土壤とも根元部でその値が大きく、樹間部で小さくなっていることは、根元部位において、樹幹流による塩類の供給量の大きいことを示したものと解される。

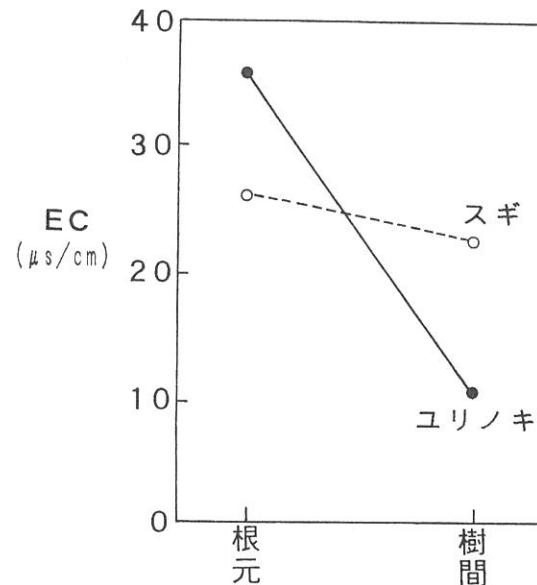


図-2 樹種と採取位置の交互作用(EC)

### 3) 水溶性イオン含有量

前述ECは、土壤水溶液中のイオン含有量、特に、硝酸イオン及び硫酸イオン含有と関連が深いとされている。表-4は、ユリノキ及びスギ林土壤の根元部及び樹間部における、土壤溶液中のアニオン及びカチオン含有量を計測したもので、水抽出液の計測値で交換性の塩基の含有量ではないので、土壤の基本的な能力を決定づける値ではないが、一応の目安として計測したものである。

表-4 土壤水溶液中のイオン含有量(土:水=1:5)

樹種	採取位置	イオニン含有量 (mg/100g)										カチオン計(C)	アニオン計(A)	C/A
		H <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	F	Cl	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>			
ユリノキ	根元	0.002	0.33	2.14	4.88	1.06	3.36	0.21	1.10	8.14	1.99	11.77	11.44	1.02
	樹間	0.002	0.40	2.16	2.59	0.73	2.55	0.23	1.47	4.05	1.82	8.43	7.57	1.11
スギ	根元	0.008	0.45	2.42	3.00	1.76	7.91	0.23	1.76	11.20	1.98	15.54	15.17	1.02
	樹間	0.002	0.34	1.63	2.88	0.36	1.37	0.20	1.84	3.32	1.61	6.64	6.97	0.95

水抽出液であるためか、全体的にイオン含有量は小さい。ユリノキ、スギ林土壤とも根元部でのイオン含有量が大きく、特にユリノキでは  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $NO_3^-$  が、スギでは  $NH_4^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $NO_3^-$  の含有量が高くなっている。スギ根元部で  $Ca^{2+}$  の含有量の高いことが目立っている。

ECと関連の深い  $NO_3^- + SO_4^{2-}$  は、スギの根元部で 13.18(mg / 100g) と最も高く、次いでユリノキの根元部 10.13(mg / 100g) となっており、樹間部ではユリノキ 5.87(mg / 100g), スギ 4.93(mg / 100g) となり、図-3とは密接に連動していない。この原因は不明であるが、一事例での結果であり、ここでは特に言及しない。イオン総量は、スギ、ユリノキ林土壤とも根元部で大きく、樹間部で小さかった。特にスギ林土壤においては、樹間部のイオン総量は、根元部の半分以下と少なかった。これは、根元部における樹幹流の影響と推測された。

ユリノキ林の土壤においてもスギにくらべて、根元部、樹幹流とも、酸性度が弱いことが見出だされ、土壤の酸性化抑制の効果が認められたが、その緩衝作用については十分明らかにしえなかつた。

#### IV おわりに

アメリカ東部を原産地とするユリノキは、純林を形成する傾向をもつ広葉樹であり、通直強大な樹幹を形成し、その初期成長が旺盛なため、スギ、ヒノキ等の針葉樹に匹敵する代替樹種として注目されている。ユリノキは外来種であり、林業種苗法にもとづく政令指定樹種となっていないため我が国では、造林樹種としての植栽は現在のところ不可能となっている。しかしながら、前述のように、成長の良好さ、純林形成度の高さ、樹幹の通直性は、用材として君臨するスギ、ヒノキ、カラマツ等の針葉樹類に凌駕匹敵し、加えて、初期成長の旺盛さと萌芽による更新が可能なことは、省力性の上できわめて魅力的であり、軽くて腐りにくく強度もある材は、建築、家具、合板など広い用途利用が可能であり、花は蜜源花として、枝条は各種キノコの原木や培地としての利用を考えられる。またその樹幹流による土壤酸性化の抑制は、良好な環境形成にとって効果的に作用しており、今後広葉樹造林推進にとって、きわめて有望な樹種と考えられる。

今回、我が国におけるユリノキ人工林事例として極めて貴重な東京大学農学部附属秩父演習林 63 年生林を調査する機会を得た。調査結果は、風による折損に起因する梢端の屈曲が一部認められたものの、林分構造は良好で、主林木の幹材積は haあたり  $755m^3$  を示し、当該地方のスギ林地位(上)に匹敵する成長を示していた。

土壤化学性においては、スギ林に比較して、土壤酸度が明らかに弱く、土壤酸性化に対して抑制的に作用していることが認められた。

ユリノキは、まだ造林事例が少なく、外来種のため、現地適応性や病虫害の発生、あるいは自然災害に対する耐性等解決すべき問題はあるものの、緑化樹として多くの植栽事例から勘案しても有望な広葉樹の造林樹種としての可能性が高く、一刻も早い政令指定が待たれる樹種となっている。

### 引 用 文 献

- (1) Donald E. Beck (1990) : *Liriodendron tulipifera L.* (Yellow-poplar), *Silvics of North American Volume 2. Hardwood*, 406 – 416.
- (2) 本多静六原著(1982) : 最新改訂、森林家必携、810pp., 林野弘済会、東京
- (3) 毛藤勤治(1989) : ユリノキという木—魅せられた樹の博物誌ー、301pp., アポック社出版局、鎌倉市
- (4) Ray Procte r (広井敏男訳) (1973) : 世界の樹木、190pp., 主婦と生活社、東京
- (5) 佐々朋幸・長谷川浩一(1992) : 特定樹種の樹幹流による土壤の酸性化抑制作用—ユリノキの場合ー、日林誌74(5), 437 – 440
- (6) 佐藤修(1969) : 高冷地におけるハンテンボクの成長、長野林友、昭和44年第2号、10 – 17.
- (7) 澤田晴雄・五十嵐勇治・佐々木潔・大畑茂(1994) : 秩父演習林内ハンテンボク人工林の成長経過、平成2年度東京大学農学部附属演習林研究会議報告書、39 – 50.
- (8) 鈴木久雄(1995) : 広葉樹見本園展示材(ユリノキ林の成長)、林業新知識 No 499(5), 22-23.

## スギ主伐木の成長と材質： 心持ち材、心去り材の品種別、玉番別の強度特性

諫本 信義<sup>1)</sup>・津島 俊治<sup>1)</sup>・亀井 淳介<sup>2)</sup>

Growth and Quality of Sugi (*Cryptomeria japonica*) for final cutting:

Strength Feature on Different Species and Position regard to Boxed heart wood and Pithless wood.

Nobuyoshi ISAMOTO, Syunji TSUSHIMA<sup>1)</sup> and Jyunsuke KAMEI<sup>2)</sup>

### 要旨

スギ主伐木の強度特性把握の一環として、心持ち材及び心去り材の強度性能を検討した。スギ品種は、オビスギ（オビアカ）、ナオミアオ及びヒノデの三品種を用いた。また玉番別には、1番玉から6番玉まで製材し試験に供した。強度性能は、全スパンに対する曲げヤング係数（EL）にて検討した。心持ち材の強度は、品種間には有意差は認められなかったが、玉番別には有意差が認められ、一番玉が最も低く、6番玉が最も高い強度を示し、地際から梢端に向かって、強度性能が高くなることが明らかに見出された。またオビスギを用い、心持ち、心去り材の強度性能を評価した結果、心の有無による有意差は認められなかったが、1番玉～3番玉においては、心持ち材の強度が低い傾向がみられた。玉番別にみられた強度性能の差異は、未成熟部材と成熟部材の存在の量的な相違によるものと推測された。

### はじめに

スギの強度性能に関して、実大材製品を用いての評価が盛んとなり、スギ品種による差異（5, 7, 8）や、樹幹高さ別の強度（3, 6）などが報告され、スギ材の適切な有効利用のため、その力学的性質の変動に対する関心が高まっている。

当場では平成4年度以降、県産スギ品種について、主に主伐木を対象に、その成長特性や組織構造及び強度特性について研究を続けており、その一部についてはすでに報告した（1, 2, 3, 9）。

本報では、この研究の一環として、県内に植栽されているスギ三品種（オビスギ、ナオミアオ、

1) 大分県林業水産部林業振興課木材振興流通係（〒870-0022 大分市大手町3丁目1番1号）

2) 大分県竹田直入地方振興局林業課（〒878-0013 竹田市大字竹田字山手1501）

ヒノデ）について実大角材を利用し、心持ち材、心去り材及び部位別の強度性能について評価を行い、若干の知見が得られたので報告する。

## II 調査地及び方法

### 1. 材料

実大材の強度性能に用いた各供試木の概要は次のとおりである。

- 1) オビスギ（タノアカ）：大分県南海部郡直川村横川産、49年生、樹高30.7m、胸高直径40.4cm  
生枝下高20.0m、1988年12月伐採
- 2) ナオミアオ：大分県南海部郡直川村横川産、53年生、樹高29.3m、胸高直径40.6cm、生枝下高17.5m、1988年12月伐採
- 3) ヒノデ：大分県日田郡前津江村大字赤石産、49年生、樹高30.0m、胸高直径36.6cm、生枝下高19.4m、1988年3月伐採

### 2. 方法

各供試木を地上高1.2m部位より1.2～4.2, 5～8, 9～12, 13～16, 17～20, 21～24mの3m材を6番玉まで採材し、各丸太を9cm角に製材し、乾燥後3等分点荷重方式で実大曲げ試験を行った。心去り材はオビスギで4番玉まで、ナオミアオでは1番玉のみ、ヒノデでは2番玉までの製材試料が得られたが、ナオミアオ、ヒノデについてはデータ数が少なく今回は資料として用いなかった。心持ち材は、各供試木とも1～6番玉まで完備したデータが得られている。

## III 調査結果

今回の強度性能の評価については、品種別、部位別の強度特性と、心持ち材及び心去り材の強度特性把握の二つの評価実験に分けられているので、以下項を分けて説明する。

### 1. 品種別心持ち角材の強度特性評価

「品種」（オビスギ、ナオミアオ、ヒノデの3水準）、「玉番」（1番玉から6番玉までの6水準）を要因とする二元配置分散分析を用いて検討した。強度性能は、曲げヤング係数（E L, tf/cm<sup>2</sup>）を用いた。分散分析の結果、「品種」要因には有意差は認められなかったが、「玉番」要因には1%水準で有意差が認められた（分散分析表は省略）。

表-1は、有意差の認められた「玉番」要因について、処理平均を1.s.d法により比較したものである。表から明らかなように、玉番が上がる（樹幹高さ方向）に従い、曲げヤング係数は高くなる。しかしながら、玉番の上昇と曲げヤング係数は、比較的単調な正の相関関係を示し、連続したいいくつかの玉番間には有意差は生じないが玉番が離れれば有意差は生じる。例えば1番玉は、連続する2番玉、3番玉とは有意差はなく、強度性能は同じ群にまとめられるが、4番玉以上とは有

意差が生じ、強度性能的に劣ることが判る。同様に2番玉は、連続する1番玉、3番玉、4番玉とは有意差のない同一の群とされるが、5番玉、6番玉に比べれば、有意に弱い部位と判断される。すなわち、曲げヤング係数は樹幹高さ方向に増加するが、その増加量は連続性がある。この玉番と曲げヤング係数の回帰線を求めるとき次のように算出された ( $r = 0.9032$ )。

$$Y = 35.95 + 9.35 X \dots \dots \quad (1)$$

(1) 式において、X：玉番数 (1, 2, ..., 6番玉), Y：曲げヤング係数 ( $t f / cm^2$ )

(1) 式における回帰係数にみられるように、玉番が1つ上がるごとに、曲げヤング係数は、 $9.35 t f / cm^2$  ほど大きくなると計算上は算定されるが、現実には上位の玉番になれば、上昇率は低下し、横這状になってくる。

「品種」要因では有意差はみられなかったが、品種ごとの傾向をみるために曲げヤング係数の処理平均（平均値±標準偏差）を求めるとき次のようになる。

ナオミアオ	$72.6 \pm 17.57 t f / cm^2 (n=6)$
オビスギ (タノアカ)	$70.5 \pm 12.12 t f / cm^2 (n=6)$
ヒノデ	$62.9 \pm 24.66 t f / cm^2 (n=6)$

供試3品種のうち、ナオミアオが最も曲げヤング係数が大きく、ヒノデが最も小さく、またバラつきが大きい傾向がみられた。

「品種」と「玉番」要因と曲げヤング係数の実態を図-1に示す。

統計的には、有意な差はみられなかったが、図にみられるとおり、4番玉までの曲げヤング係数は、ヒノデが他品種に比べて低い水準で推移していることが認められた。

表-1 「玉番」別処理平均の比較 ( $n = 3$ )

玉番	曲げヤング係数 ( $t f / cm^2$ )
	平均値±標準偏差*
一番玉	$45.8 \pm 10.5^a$
二玉	$53.2 \pm 11.4^{a,b}$
三玉	$63.5 \pm 10.1^{a,b,c}$
四玉	$75.8 \pm 9.1^{b,c,d}$
五玉	$82.7 \pm 7.7^{c,d}$
六玉	$91.1 \pm 4.4^d$

\* ) アルファベットが異なるものは有意差があることを示す

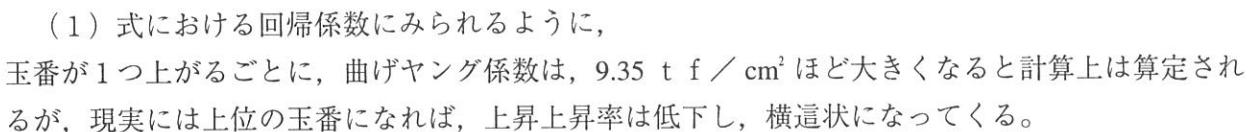


図-1 スギ品種別、部位別の心持ち材の曲げヤング率

## 2. オビスギ（タノアカ）の心持ち及び心去り材の強度特性評価

供試木オビスギについては、4番玉まで心持ち材のほかに心去り材を製材したので、これらの試料を用いて、心持ち及び心去り角材の強度性能（曲げヤング係数）を比較した。心去り材は一番玉で4本、2番玉で4本、3番玉で3本、4番玉で1本が製材されており、今回の解析においては、4番玉を除いて、他の番玉では、その平均値を代表値として用いた。従って要因は、「心の有無」（心持ち、心去りの2水準）及び「玉番」（1番玉から4番玉の4水準）の二要因である。

強度性能は、曲げヤング係数（ $E_L$ ,  $t_f/cm^2$ ）を用い、二元配置分散分析によって検討した。

分散分析の結果、「心の有無」要因には有意差は認められなかったが、「玉番」要因には1%水準で有意差が認められた（分散分析表は省略）。

有意差の認められた「玉番」要因について、処理平均を求め、最小有意差（1.s.d法）により比較検討した（表-2）。

この玉番は、それぞれ心持ち材と心去り材の両者を込みにした平均値を示すが、前項心持ち材の場合と同様、玉番が上がるにつれて、曲げヤング係数も増加し、強度性能の向上が認められた。ただ、前項の実験では、連続した玉番間では有意差は認められなかったが、ここでは、一番玉と二番玉と三番玉間に有意差が認められ、樹幹下部位における全体的な曲げヤング係数の低さが指摘された。

玉番を込みにした心持ち材の曲げヤング係数（ $n=4$ ）は、 $65.6 \pm 11.2 t_f/cm^2$ （平均値±標準偏差）であり、心去り材（ $n=4$ ）の値は、 $67.4 \pm 8.9 t_f/cm^2$ で、心去り材がやや優れる傾向にあった。

図-2は、曲げヤング係数に関して「心持ちの有無」及び「玉番」の要因効果の実態を示したものである。一番玉においては、心持ち材の曲げヤング係数が心去り材に比べてかなり低下していることが指摘されるが、二番玉より上部では、その差異がほとんどみられず、四番玉ではわずかではあるが、心持ち材の曲げヤング係数が高くなっている。

表-2 「玉番」別処理平均の比較（ $n=2$ ）

玉番	曲げヤング係数（ $t_f/cm^2$ ）
	平均値±標準偏差*
一番玉	52.8 ± 3.60 <sup>a</sup>
二々	65.2 ± 0.94 <sup>b</sup>
三々	73.0 ± 0.95 <sup>c</sup>
四々	75.0 ± 0.26 <sup>c</sup>

\*）アルファベットが異なるものは有意差があることを示す

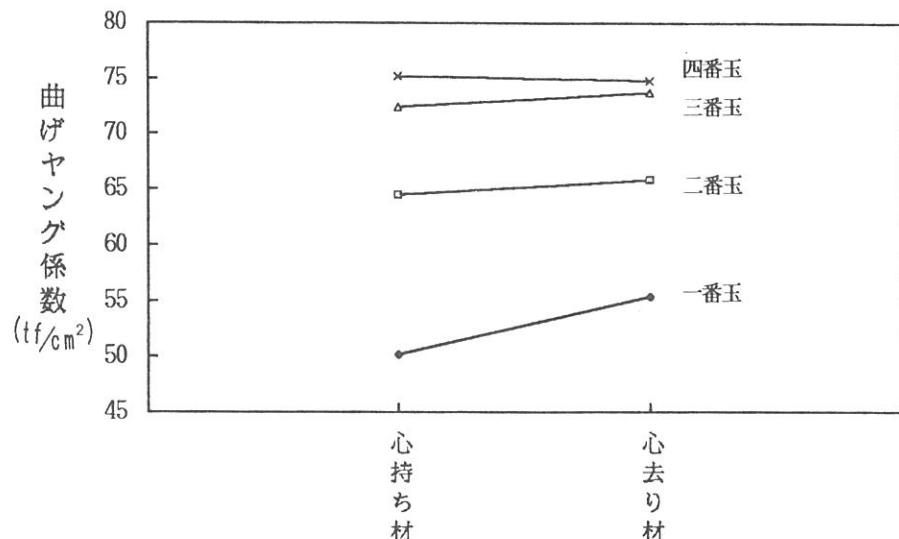


図-2 曲げヤング係数に対する心持ちの有無及び玉番との関係

また、玉番が上がるにつれて、曲げヤング係数は、心持ち材、心去り材ともに増加していくことが図-2より明瞭にうかがわれる。

#### IV 考 察

構造用材としてのスギ材の安定的利用をはかるため、実大材を用い、現場と密接に関連した強度性能の評価に関するデータが蓄積されてきた。このうちで、高い関心が寄せられたものが、実大材の樹幹高さ方向における強度性能の変動であり、いま一つは、スギ品種別の強度性能である。

長尾ら(5, 6)は、スギの心持ち正角材を用いた実験において、曲げヤング係数は、地際から梢端部に向かって直線的に大きくなることを確かめ、この原因は、心持ち正角に占める未成熟材の範囲が、地上からの高さの違いによって異なることに起因するのではないかと推測している。

また長尾(5)は、スギの品種別強度性能について、仮導管の長い品種は比重が小さくて、比ヤング係数が高い品種であり、仮導管の短い品種は比重が大きくて、比ヤング係数が低い品種であるとし、品種ごとにみられる基礎的な組織構造特性が、強度性能に影響を及ぼしていることを示唆している。今回の実験において、スギ心持ち角材の曲げヤング係数は、樹幹高さと比例して直線的に増加することが明瞭に把握され、長尾ら(6)の結果と一致した。しかしながら、品種別には特に差異は認められず、むしろ三倍体であるヒノデ(4)のデータが、他の二品種に比べて若干劣る傾向がみられた。ヒノデは、仮導管が長く、比重が他品種に比べて小さいことが報告されており(8, 9), この組織特性ゆえに強度性能はより高いと予想されたが、ここでは、その傾向は見出されなかつた。一立木のデータであり、その原因についての論及は、ここでは行わない。心持ち材及び心去り材については、一番玉を除いて、特に差異が見出せなかつた。

一般に心持ち材は、心去り材に比べ、年輪巾が広く、比重が高いことが報告(9)されており、未成熟材の占める範囲も多いことから、強度性能は低いと想定されるが、今回の実験では、その傾向は明らかではなかつた。さらに多くの材料を用いて追跡実験をする必要があると考えられる。

#### V お わ り に

スギの実大材を用い、曲げヤング係数を評価値として、スギの強度性能の把握を行つた。一品種一立木という最小単位での実験であり、データ処理を行うには十分とはいえないものであったが、データの配置が統計的に満足されるものであったため、解析を行つてみた。この結果、予測されたように、スギ樹幹高さ方向における強度性能の変動、すなわち、地上からの高さに比例して、曲げヤング係数が増加するという強度特性を統計的に実証した。この変動因は、成熟材及び未成熟材の占める範囲の相違、高さ方向や、横断方向に加算される加齢効果、すなわちエイジングの効果、それによって引き起こされる組織構造の変化等に求められるが、これらの変化が一立木という個体において、内的変動を引き起こしていると考えられ、スギ材の構造的利用において、採材部位が考慮されてよい理由となっている。

品種別には、三倍体であるヒノデを含めて検討したが、差異は特に認められず、強度の高いと予想されたヒノデでもしろ低い傾向がみられたことである。この原因については、前述のごとくわずか一立木の実例であり、年輪巾、比重等を含め総合的な面からの検討が必要と考えられる。

### 引 用 文 献

- (1) 諸本信義・津島俊治(1989)：スギ主伐木の成長と材質（II）—ヒノデ主伐木について—、日林九支研論、No42、285—286
- (2) 諸本信義・亀井淳介・津島俊治(1989)：スギ主伐木の材質（III）—オビスギ主伐木について—、日林九支研論、No44、221—222
- (3) 城井秀幸・井上正文(1995)：大分県産スギ材の強度特性について—タノアカの樹高別強度特性—、日林九支研論、No48、201—202
- (4) 松田清・宮島寛(1977)：スギさし木品種の染色体数、日林誌、59(4)、148—150
- (5) 長尾博文・中井孝・田中俊成・鈴木広明・野々田稔郎(1990)：スギ造林木における曲げ強度性能の垂直分布—スギ心持ち正角の場合—、第40回日本木材学会大会研究発表要旨集、383
- (6) 長尾博文(1990)：スギの強度性能—樹幹内高さ方向の変動と品種について—、日本木材学会組織と材質研究会、木材強度・木質構造研究会秋期シンポジウム資料集、11—15
- (7) 大塚誠(1991)：スギ品種別の心持ち角材の曲げ強さ、日林九支研論、No44、219—220
- (8) 小田一幸・古賀信也・堤寿一(1987)：材質育種を考慮した三倍体を含むスギ品種の年輪構造 第37回日本木材学会大会研究発表要旨集、102
- (9) 津島俊治(1988)：スギ品種間における材質の差異（I）、日林九支研論、No41、245—246
- (10) 津島俊治・諸本信義(1989)：スギ主伐木の成長と材質（I）—ヤブクグリ主伐木について—、日林九支研論、No42、283—284

# 御前岳におけるシオジ林の構造と生育環境\*

神川 建彦<sup>1)</sup> · 諫本 信義

Investigation on the structure and habitat of Shioji  
(*Fraxinus speathiana*) forest in Mt. Gozen.

Tatehiko KAMIKAWA<sup>1)</sup> and Nobuyoshi ISAMOTO

## 要 旨

御前岳 (1,211 m) は、大分県西部に位置し、日田郡前津江村と福岡県八女郡矢部村と境界をなしている。この御前岳一帯は、人の手の加わっていない原生的自然林が広く残されている。特に、御前岳北側の谷筋に広く分布しているシオジ林は、極盛相として残存状態もよく、全国的にみても例のないほどの規模を誇り、林野庁により「林木遺伝資源保存林」に指定されている。

今回このシオジ林の現況について、総合的な調査を行なった結果、胸高直径 20 cm 以上の総本数は 166 本であり、平均胸高直径 69.9 cm、最大木の胸高直径は 203.7 cm、樹高は高いもので 32 m であることが確認された。シオジは谷筋の転石地帯の通気性の良好な立地を好むという局所的な分布特性を示し、しばしば混生するサワグルミとは、微妙にその生育場所をすみわけていることが観察された。このほか、本稿においては、シオジの更新特性、シオジ林の保護等についても考察を加えた。

## I はじめに

シオジ林は本州特に関東の表日本側の温帯林の谷部に多く分布し、九州中央山地の谷部にもかつては多く分布していたが、現今では極めて希少となっている。大分県下では、例えば、福岡県境の御前・釈迦山系、英彦山山系や九重山系、祖母・傾山系の谷部に極めて局所的に存在するが、中でも御前岳、釈迦岳一帯に残存するシオジ林は、その地理的条件から人為の影響が少なく、自然林の状態がよく保存されているため、貴重な自然遺産としてその学術的価値が注目されてきた。シオジは通直高大な樹幹を聳立させたかも熱帯雨林におけるエマージェントツリー(巨大高木・超高木)的存在であり、非常に高い林冠を形成し、下層の樹木や草本、樹幹上の着生植物やつる植物など極めて多様な生物社会を育んでいる。年 4,000 mm に達する多量の降水のため、林内は湿潤でいわゆ

\* 本報は、「大分県前津江村・御前・釈迦岳の自然」(郷土日田の自然調査会、1994) に一部発表した。

1) 森林インストラクター・大分県指導林家 (〒 877-1242 日田市殿町)

る温帯雨林の様相を呈している。

一方シオジ林をとりまく環境は平穏とはいいがたい。津江地方でも古くから社叢への造林のみでなく私有林でのスギの造林（直挿し造林）が始まり、その後戦後の拡大造林に至るまで自然林の人工林化が推進され、国有林においても林種転換の名のもとに同様のスギ・ヒノキ化が進められた結果、自然林は尾根沿いに島状に残存するのみとなった。福岡県側の御側林道、大分県側のスーパー林道等林道の開設・整備によっても、林業関係者のみならず多くの人々が自然林内に侵入することになり、人為的搅乱の機会も増えてきた。1991年9月17日襲来した台風19号は、その前の17号と合わせてシオジ林に壊滅的な被害を与えさらに翌1992年の10号、1993年の13号と度重なる台風によって追い討ちをかけるかのような風害をもたらした。風害木の中の銘木級のケヤキやシオジの大材を搬出することによっても、林内、林床の搅乱が行なわれてしまった。このようにシオジ林は、自然災害と人為的搅乱によって今や危機的状況にあるといつてもよい。

現在大分北部営林署は、今回の調査地を含む大分県側の権現岳国有林を、林木遺伝資源保存林に指定し施業の制限をしているが、より積極的な保護と研究の対象とするため、天然記念物として指定され万全の保護がなされることを期待する。このことは初島住彦博士らにより指摘され要望されている課題である。この調査報告が、天然記念物指定のための基礎資料の一部になりうれば幸いである。

## II 調査地

大分北部営林署管内の権現岳国有林（70.45ha）の東半の約40.59haを調査地とした。本調査の主対象は谷部に存在するシオジ林であるが、尾根部のブナ林を含め一体として保護する必要があるため流域全体を調査地とした。

## III 調査方法

調査地に生育する胸高直径20cm以上のシオジ全個体についてその位置関係を知るため、ナンバリングの後測量を行った。全個体の胸高直径も測定し、健全木で梢端の判然とするものの樹高を測定した。胸高直径は胸高の測定値から換算し、板根部の発達する個体ではその上部で計測した。倒木等で年輪の読める個体からは、樹齢を推定した。またシオジ林の成因を知るため調査地の自然環境も調査した。地況の調査では微地形等地表の微細な環境の変化に特に注意して観察した。シオジ以外の主な高木の生育環境も観察した。樹幹流が土壤に与える影響を知るため主要樹種の根元の土壤のpH値を測定し、一部土壤調査も行なった。調査は、1991年4月から1994年11月にかけて実施した。pHは生土を用い、土と水を1:2.5の比率で混合し、1時間震盪後No.5Aの濾紙で濾過した濾液のpHをガラス電極pHメーターにより計測した。

## IV 調査結果

## 1. 御前岳シオジ林の自然環境

## 1) 気象

釧路岳の雨量計によると 1993 年の年降水量は 4,000 mm を超え、平均値も 3,000 mm を超えると推定され、一帯が有数の多雨地帯であることがわかる（表 1）。特に夏の降雨の多いのが特徴で、雨期にはしばしば集中豪雨となって山腹の崩壊や土石流を発生させる。調査地においても新旧大小さまざまな崩壊跡地が見られ、これらの地表変動による地表の裸出、ギャップ（林冠孔隙地）の出現が、森林の動態に深く関わっている。年平均気温は、約 8.8 °C 前後と推定され冷温帶域に入る。標高は 818 m から 1,211 m までで、関東地方等のシオジ分布域に符合する。

表-1 釧路岳山頂月別降雨量 (mm)

	4	5	6	7	8	9	10	11	計
1993 年	340	230	1,310	824	681	478	106	146	4,115
平均値	220.9	311.3	688.1	734.9	378.9	311.7	178.7	91.5	2,916

(12 月～3 月の間の降水は凍結のため計測していない)

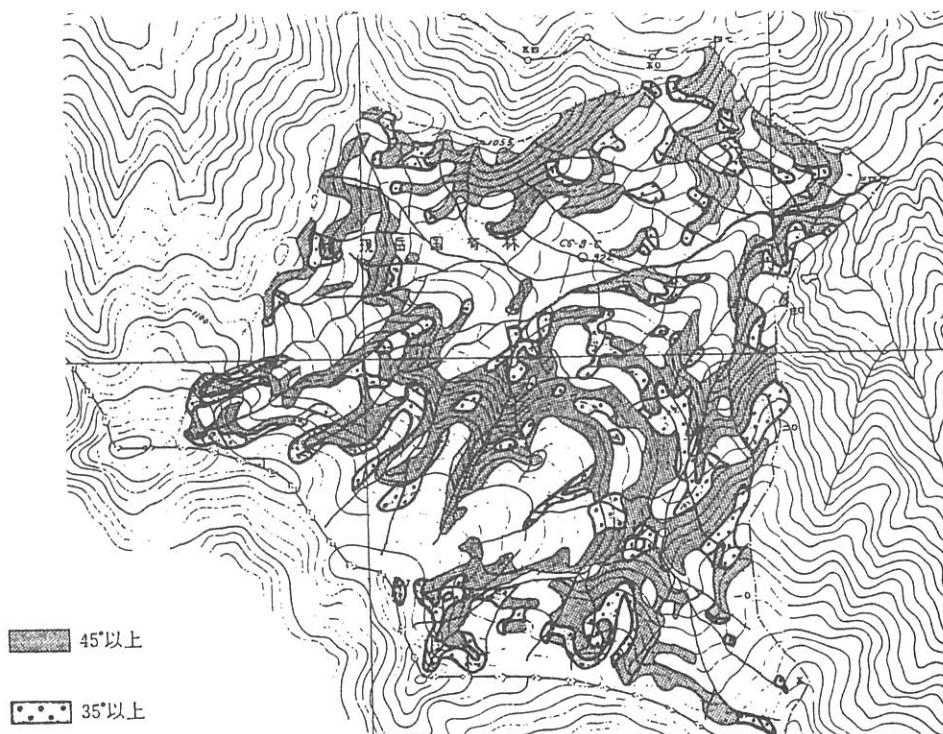
## 2) 地質

母岩は新世代第四紀の火山噴出物の互層であるが、堅密な溶岩質の部分と凝灰角礫岩質の部分とが見られる。溶岩は輝石安山岩質で板状節理が発達して割れやすい部分と、節理の少ない部分があり後者では断崖をつくる。溶岩の中には自破碎溶岩型の部分もあると思われるが、凝灰角礫岩質の部分と区別できない。母岩が露出するのは、尾根の岩角と谷底、そして崩壊部のみで、ほとんどの斜面は転石の多い崩土で覆われる。シオジ林の環境としては、母岩の岩石学的成因や分類より、裂かのでき方、岩塊・岩片～石礫の大きさや形状、風化の程度、表面の状態や孔隙などの方が重要と思われる。谷筋の転石地帯の岩上の蘚苔・落葉層中から多くのシオジの実生が発芽する。

## 3) 地形

1,211 m の御前岳（権現岳）から釧路岳（1,231 m）に至る背稜の屋根に囲まれて北に面する急峻な壯年期の山岳地形である。谷床の勾配は大きく、ガリ状に侵蝕されていて、しばしば崩落した土石のためダムを形成し、伏流を生じる。谷沿いの斜面下部は、特に急傾斜で崖状に堀削されていることが多い。傾斜角をみると、35 °以上さらには 45 °以上の急斜面が大半を占める（図 1）。比較的緩傾斜の部分が尾根筋に見られることもあるが、そこでも岩角が多く、緩やかな丸尾根というわけではない。勾配の緩やかな谷部に氾濫原状の緩傾斜地をわずかに見る。斜面型についてみると、水分・栄養、落葉落枝（リター）や、土壤・石礫が集積する凹型斜面は、わずかに細く谷筋に見るのみである。シオジはこの凹型斜面とその辺縁に生育する。斜面では各所に崩壊の痕跡が見られ、過去の地表変動の歴史が現在の斜面を形成しているのが読みとれる。斜面では日常的な崩落崩積とは別に、より強度の搅乱をひき起す地表変動（植生や地表の剥落、地辻り、さらに谷筋を下流まで走る土石流）が風水害として発生し微地形を変化させている。土石流についていえば、最上流の剥落部分（いわゆるヌケ）から流下し、上流中流下流を経て舌状の土石流堆となり、巨石を混じた土

石流堆先端部にいたる微地形の変化が見られる。土石流先端部は、時間の経過とともに、雨水や地表水、伏流水により転石間の土砂が流亡して、大孔隙の多い転石地（日田地方ではゴウヤと呼ぶ）となることがある。ゴウヤはいわゆる転石地帯～岩石原全般を呼び、多くは、日常的な崩落や軽度の崩壊の積み重ねによって谷部に形成される。シオジは以上のような経過で形成された転石地帯（ゴウヤ）に生育する。このように地表の状況が植生の侵入、生育を規定することから、植生の把握のためには、微地形等を詳細に観察すると同時にいわゆる土地の履歴とその後の経過時間を知る必要がある。方位については、南面と北面、あるいは裏と表で森林の相観が一変する例もあり、一般的にいえばたとえ光斑であれ直斜光の存否が重要だと思われるが、調査地は谷が深く、その日照や水分条件に関しては、方位の他に、少し範囲の狭い土地の露出度を考慮する必要がある。シオジについては、林内の散光下で生存可能であるが、生長のためには、より多くの陽光が必要となる。空中湿度については、谷からの距離（飛沫や蒸発）や気流の状態も影響する。



図一1 傾斜区分図

#### 4) 土壤

堆積状態から分類すると、尾根の緩傾斜部に定積土（残積土）、急傾斜地では匍匐土、谷部凹型斜面に崩積土が見られる。急傾斜地は多いが、何よりも降雨が多いために、土壤の生産力は高く、肥沃な土壤が多い。屋根～凸型斜面では土壤の層は浅いが、多量の降水のため地力の低下は比較的少ない。堆積の状態としては前述の土石流堆もあり、岩角地の下部は崖錐となる。土壤型についていえば、弱湿性褐色森林土（B<sub>E</sub>）が谷部凹型斜面に適潤性褐色森林土（B<sub>D</sub>）が斜面中部まで、弱乾性褐色森林土（B<sub>D</sub>(d)）が尾根部凸型緩斜面におよそ対応して出現する。崩壊剥落部は受蝕土（E<sub>r</sub>）である。この一帯の褐色森林土は火山灰が多く混入し、黒色土から褐色森林土へと森林

土壤化してゆく移行途上のものと考えられる。痩せた尾根筋岩角地で、ツガ、ハリモミ、ヒメコマツ等の生じるところでは落葉の分解が進まず、ややポドソル化（？）した土壤も見られる。

## 2. シオジの分布と更新特性

### 1) 主要樹種の分布

常緑針葉樹の高木層（亜高木層）に達するのは、ヒメコマツ、ハリモミ、ツガ、モミ、カヤ、イヌガヤの六種である。調査地外ではあるがイチイが釧路岳山腹に確認される。スギの直挿しによるもの（？）が調査地内に点生する。その内モミ、カヤ、イヌガヤがシオジ林の辺縁に生育する。落葉高木では、ブナ、ヒメシヤラ、ミズナラ等が尾根に出現し、ハリギリ、イタヤカエデ（ケイタヤ）、ケヤキ、エゾエノキが斜面から谷部へと分布する谷部には、ユクノキ、サワグルミ、キハダ、シオジが分布する。ユクノキ、サワグルミは陽樹で比較的強度の搅乱の跡（氾濫原、土石流堆）に更新し、キハダも陽樹であるが、土壤の搅乱の少ない、明るいギャップに更新する傾向がある。シオジとサワグルミはしばしば混生するが、シオジは幼時の耐陰性が大きく、微妙にその生育場所をスミワケているように観察された。

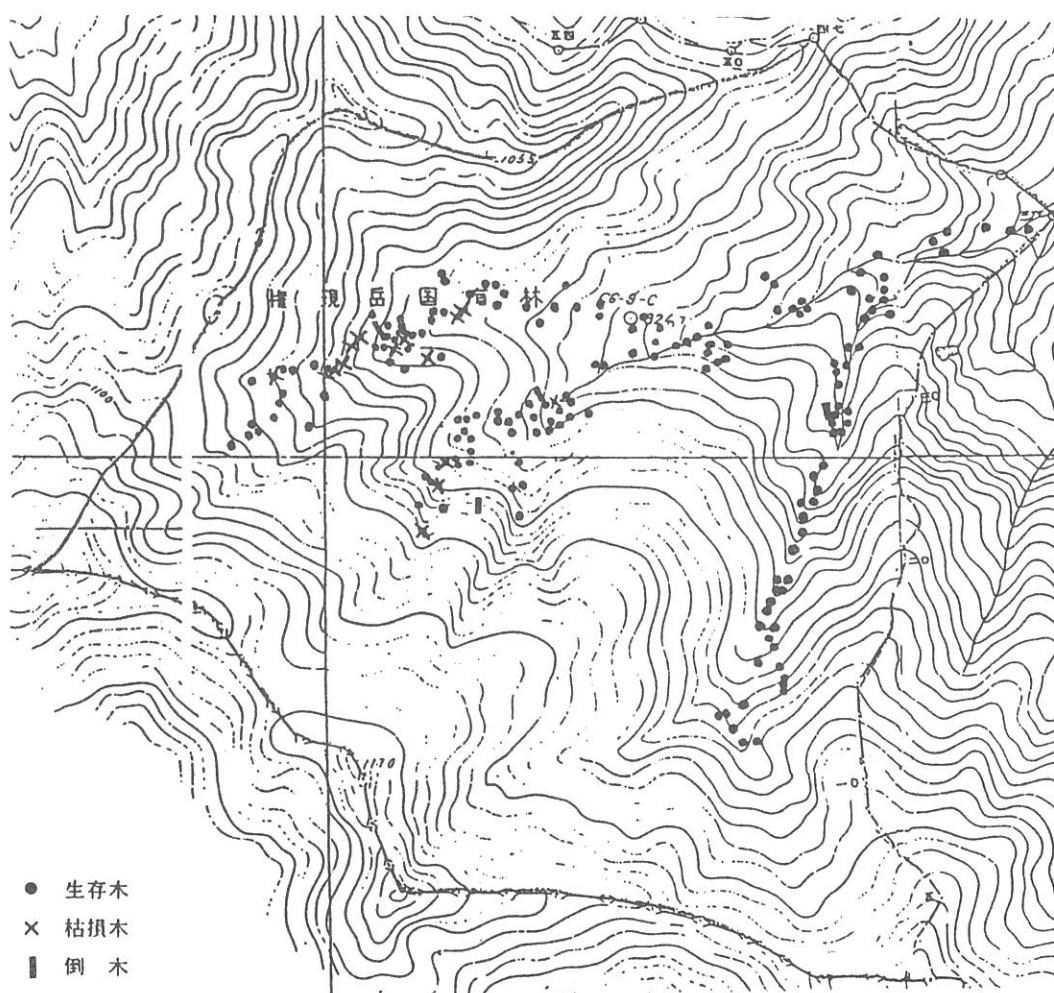
### 2) シオジの分布

調査地においてシオジは谷筋に極めて局所的な分布をする（図2）。一般的にいえば、谷部凹型斜面の転石地帯（ゴウヤ）に生じるが、同様な場所に生育するキハダやサワグルミとの立地の違いを確認しなければならない。キハダは、極く陽性の早生種のため、極相林内での個体数は非常に少ない。サワグルミは極相林内でシオジと同居しているかのように見え、その生育場所の微細な環境の差異を知ることは容易でなく、そのシオジに似た樹皮や樹形とともに調査者を悩ませたものである。サワグルミは、土砂が多く有機物の少ない堆土上に早生の生長を見せて、サワグルミ林を形成するが、やや短命で、大孔隙の多い転石地帯は好まぬ傾向がある。一方シオジは、転石地帯の岩片上の蘚苔落葉層や倒木上に多く更新し根を岩石間の空隙中に伸長させて安定した地表に到達する。シオジの根系は、水分条件が良好であるとともに通気性の良好な立地を好むため、あまりコンパクトな根系を作らず、蘚苔・落葉層中や石礫間の孔隙中を長く、広く伸長する傾向がある。もし新たな土石流や氾濫によって、孔隙間が土砂で再び充填されるなど、過湿の状態が続くような事態が発生すると、シオジは衰弱し枯死する。それを証明するかに見えるシオジ枯木群も観察されたサワグルミといえども過湿には弱いがシオジほどではない。シオジの垂直分布域については800m～1,200mと言われ、現実の分布もそのとうりなのではあるが、植栽例では、より低高度で充分適応している例もあり、特にサワグルミとのスミワケについて、光環境、水分環境、養分や土壤酸度、生長の早晚、寿命の長短、開花結実・発芽更新特性などを詳細に検討し生育地の微細環境の相違を明らかにした上で、狭い垂直分布域が説明されなければならないと思われる。また、トネリコ属の他種、例えばアメリカトネリコなどに共生菌類の存在が報告されており、シオジについても研究してゆく必要がある。

シオジの根、根株については、その板根化や筏吹き（倒れた主軸～幹からのシートが直線上に連続して生長する現象）も見られた。板根は樹冠の形状に対応し、樹冠の広大なものほど板根化が著しい傾向が見られた。筏吹きについては、スコティッシュアッシュの杖の製法を想い出させ興味深いものがある。

### 3) 土地の履歴による植生型の配置（植生パッチの存在）

さまざまな原因による地表や林冠の搅乱は、林冠や林床にギャップを出現させ、搅乱の種類、強度、形態、面積……等々が、更新する樹種～植生を規定する。このシオジ林においても、過去に多くのギャップの形成を経験しており、特に地表変動は、微地形や土壤に班状、筋状の痕跡（パッチ）を残しているはずであり、それに対応する植生のパッチも当然存在すると考えられる。本調査地でのシオジ群とサワグルミ群のパッチはその好例であり、林床における例えばツリフネソウ群とエンシュウツリフネソウ群のスミワケ等も興味深い。



図一2 シオジ分布図

### 4) シオジ林の林況

権現岳国有林のシオジ林は、度重なる台風禍によって甚大な被害をこうむったとはいえ九州地方において希少かつ貴重なシオジ林であることに変わりはない。またその有用な材のため林業サイドからの関心も強くその生態学的、造林学的特性を知る必要も生じている 調査地の概況を知るため

行った測量、測樹の結果は、胸高直径 20 cm 以上のシオジの総数は 166 本、平均胸高直径 69.9 cm、最大木の胸高直径 203.7 cm、樹高 32 m であった。枯損木は 14 個体、未搬出の倒木は 4 個体である。樹幹は通直完満で利用率は 80 ~ 90 % と高いが、伐採・搬出等の経費を考慮したいわゆる採算性のある蓄積量はわずかだと想われる。単位面積当たりの蓄積は、分布が局部的かつ狭長で不整形のため推定できなかった。風害後の健全木は、被害前の 1 / 2 に満たぬと推定され、一見無傷に見えるものも、よく観察すると圧縮側にモメ、引っ張り側に割裂を生じており、今後も、衰弱、腐朽、枯死、折損、倒状が引続くと予想される。樹幹基部に萌芽の生じるものが多く、上部に何らかの障害も有することを示している。シオジの樹齢を推定したサンプルはわずかに 3 例で、いずれも内部に空洞を有する倒木で精度は低いが、それぞれ 430 年、170 年、150 年前後を推定した。今後シオジ林の履歴を知るために、より多くの年輪観察～樹齢推定が必要である。登山道沿いのスギについても人為的搅乱の歴史～造林史とも関連して調査を継続していかねばならない。シオジ林の植生については、植生の報告にゆずるが、シオジ樹幹上には多数のシダ植物やラン科の植物、ヤシャビシャクなどが着生し、付着根型のたとえばイワガラミやケツルマサキが這い登り、ぶら下り型の例えはサルナシ等のツル植物も絡んでいる。シオジ樹冠は比較的小さく、ケヤキ > ケイタヤ > シオジの順である。樹幹上には地衣が付き、ヤドリギがブナやケヤキに寄生する。林床では、ヤマウツボも見られ、各種のキノコ類が林床や倒木、枯損木に生じる。菌根を有する植物も多いと思われる。豊富な降水と高い地力のためか暖地性の植物も遡上し、深山幽谷のいわゆる山塊効果（？）があるのかも知れない着生植物にも種特異的なものと感受性の低いものがあり、前者については樹幹流との関係が考えられる。サワグルミ樹幹の着生植物には、ツリシュスランやフガクスズムシソウやウチョウラン等があり、シオジ樹幹上のそれと若干異なる印象を受けた。林分構造と植生の面で今一つ気になることは、ここ数十年來の種構成の変化である。佐藤ら（6）の報告によると 1980 年の時点でこのシオジ林は、シオジ = ミヤマクマワラビ群集としての典型的な構造を示し、林床には標徴種のミヤマクマワラビが多く存在していたが、今回の調査では全く確認することができなかった。一方、それに代わるかのようにコクサギが異常にその分布域を拡大しているのが確認された。何故このような構成種の劇的交代が起こったのか、今後その原因を解明してゆく必要があると思われる。

##### 5) 樹幹流と土壤への影響について

樹幹流は、雨水が樹幹の表面をつたって流下するもので、それが種特有の成分を持ち、種固有の pH 値を持つことが明らかにされつつある（3, 7）。この樹幹流に関する研究は、樹幹上の地表や蘚苔を含めて、寄生植物の寄主特性や、着生植物の種特異性と関連して注目され高木群が下層植生を規定することについての従来の認識に新たな視点を導入することにもなった。もちろん、すべてを樹幹流で説明することは出来ないが、それが根元土壤の pH や成分を変化させることが知られつつあり、広い意味でのアレロパシー的現象として植生への影響が予想される。調査地内で数種の高木について、その根元の土壤の pH 値と、幹からの距離による変化を測定した（表 2）。

根元近接部における土壤の pH は、最も酸性の進んだスギと、最も酸性の弱いケヤキ間に 1.67 の差異が認められる。スギの樹幹流は土壤の酸性化を促進することが知られておりここでも同様の結果が得られた。シオジを含め、他の樹種については、樹幹流特性についてまだ十分なデータが得られていないが、この表にみられるとおり、土壤 pH に対する影響は、かなり大きいことが認められる。50 cm, 100 cm における土壤 pH は、根元部に比べ種間差異は小さくなっている。これらの

ところでは、樹幹流よりむしろ林内雨の影響が強い可能性がある。いずれにしても、森林の生態系の仕組みを解明する場合、一つの大きな要因としての位置づけが必要となっていることがうかがわれる。

シオジは、養分要求度の高い樹種であり、例えばアメリカトネリコ等では第一にN、第二にCa等を要求するといわれている。また、生育地のpHは、アメリカトネリコ、グリーンアッシュでそれぞれ5.0～7.5、7.5～8.0と報告されており、土壤酸度がシオジの分布や生育にとって、極めて重要な因子であることを示唆している。

表-2 御前岳自然林における樹木と土壤pH

樹種	pH		
	根元	50 cm	100 cm
スギ	3.89	4.65	5.08
アカガシ	4.26	4.47	4.49
ブナ	4.46	4.75	4.76
シキミ	4.54	4.85	5.00
モミ	4.78	4.88	4.65
ウラジロガシ	4.81	4.71	4.81
カヤ	4.85	5.03	4.93
ツガ	5.18	5.47	5.49
シオジ	5.28	5.80	5.24
ケヤキ	5.56	5.04	2.92

## V 考察

よく、適地適木といわれるが、今回シオジ林を調査しながら、生育場所の微細な環境と種の更新特性～適応戦略との関係、場所と生き物たちとの危うくも絶妙な符合にただただ感動する他なく、人為的搅乱の恐ろしさを改めて痛感した。

## 1. 更新特性について

サワグルミとシオジを改めて比較すれば、先駆種のサワグルミの種子は休眠せず、陽光を得て翌春発芽するが、極相種のシオジの種子は休眠型で温度発芽型であり、休眠打破あるいは種皮の膨軟化のために、湿潤条件下での低高温あるいは変温により発芽が促進される必要がある。シオジ実生苗の生長は極めて緩慢で、30 cm前後の稚樹の苗齢を観察すると4～8（平均6年）年程度のものが多く幼令での耐陰力が極めて大きい。地表が強度の搅乱により裸出ししその面積が大きければ、先駆種（サワグルミ）が更新（侵入）し、林冠の搅乱のみで地表の搅乱がなくギャップの面積が小さければ、極相種（シオジ）の解放に有利になると考えられる。サワグルミの実生は、閉鎖した渓畔林の林床で生存できないが、シオジの実生は、全光（林外光）の5%内外の照度で生存しつづけ、

実生バンクとして解放の機会をうかがっているのである。このように、ギャップの質や大きさにより、先駆種の侵入か極相種の解放かが決定されることになる。今後、サワグルミとシオジが、どの程度の大きさのギャップで、どのような地表の状態で、いつの時点で更新してゆくのか注意深く見守ってゆかねばならない。

シオジの結実については、ビックバン的な一斉開花ではなく、3年といわれる結実周期も現地で確認されていない。結実の豊凶には個体差もあり、特に前年の天候によって影響されるため、原則的にとされる周期を持つ場合でも、しばしば攪乱される。林内の実生の苗令観察からは2年の周期も想像され、若干の豊凶はあっても実生苗からの年齢推定では、ほぼ隔年毎の豊凶周期がある傾向があり、長い間断はないようである。シオジは風媒衣を持ち、雄花をつける雄株と、両性花と雌花をつける株とがあり、種子の活力や稚樹の形質を保証するためにも、ある程度の個体群が必要である。開花は5月に葉に先立ち、早いものでは6、7月から種子の成熟が始まりそれが10月頃に終了して落下する。トネリコ属の苗畑作業の実際としては、10月中旬以前の取り播き（採取直後の播種）や湿潤処理が求められるから、自然状態でもその時期に播きつけられた状態になっていることが望ましい（8）。春播きの実際では変温前処理が必須とされ、温度発芽型の休眠種子であることを示している。シオジ種子の飛散距離は、その高い樹冠と有翅種子である点から、100m以上のかなり遠方に運ばれると思われる。

シオジの更新特性について今一つ注意しなければならないのは、リター（落葉落枝）～A<sub>0</sub>層の状態である。落葉の種類、分解状態、水分状態、堆積の深さも着床・発芽と関係してくる。例えばサワグルミは、A<sub>0</sub>層欠如を好む。シオジの発芽には、地表付近の大気とA<sub>0</sub>層～蘚苔層が湿潤状態を保っていなければならず、湿潤状態に間断を生じ、落葉層～地表がヒステレス状態になることは避けられねばならない。A<sub>0</sub>層と関連して興味深いのは、切株や倒木上の更新である。調査地では、ケヤキの例が、やや広い谷部や氾濫原の倒木に多く見られ、シオジの例はケヤキに比して少なかった。倒木上の世代交代劇については、やや文学的説明が多いくらいがあり、多くの事例研究、比較研究の他、倒木の種類やその上での蘚苔等の遷移、腐朽菌等の菌相の変化等も研究していくなければならないまた、イワガラミ等のため稚樹が枯れることも多い。地床より倒木上が特定の種にとって有利な理由もより詳細に検討されねばならないし、今回観察されたような転石地帯での更新＝ゴウヤ更新（新称）についても倒木更新と比較する必要がある。なお、倒木が林冠を攪乱するのは、自然災害や伐採などの人為による比較的大きな衝撃が原因しており、自然の腐朽の進行に伴う平穏な森の状況下での、梢端や枝の落下や主幹の倒伏によるであろう林冠ギャップの形成が林冠～林床に与える影響は、周囲の樹木の樹冠が徐々に拡大することもあり、微々たるものとみてよい。

## 2. 植生パッチ～群の存在について

隣の林木が一本毎に異なるという熱帯雨林や、広大な平地林の場合はさておき、本調査地のように、微地形、微気象等微細環境の多様な流域においては、それに対応する多様な植生パッチ（林型）が成立し、その境界も明瞭となってくる。松川（4）は、青森のヒバ天然林において、森林を構成する単位として大小様々な植物群を認め、それを森林構成群とした。森林構成群は林冠群と林床群からなり、その組合せによって林型を区分した。同一林型の森の集合体が林分であり、林分の集合体が森林である。松川はさらにそれら林型の動態を観察して、その移相の方向性を検討し、判断基

準としての移相表を作製し、森林施業の指針とした。高橋（8）は、その林分施業法において、低地トドマツ・広葉樹混交林で林冠群を把えることは困難としながらも、エゾマツ主体の森林についてはよく理解できるとし林分を仕分けする基本的な考え方として松川の方法に合理性があるとした。調査地においても、例えば林冠群としてシオジ、サワグルミ等の種群を代表として、様々な種群とその混生群を認め、林床群としても例えば、エンシュウツリフネとツリフネソウのスミワケ等様々な植生パッチを観察できるのであるが、今回はその存在に注意を喚起するにとどめたい。松川の群思想は、更に精緻に発展させるとともに、他の種々の植生分類の方法と統合される必要がある。熱帯雨林のギャップ動態論も氾濫原等の植生パッチの動態論も、松川の森林把握の方法と整合してゆくと思われる。

### 3. 酸性雨の影響について

酸性雨（霧、物質）の森林に対する影響、樹木～森林の衰退については、最近日本でも各地から事例が報告されている。報告された樹種には、スギ、モミ、ブナ、ナラ類等があり、原因が特定されず、酸性雨が原因である可能性のあるものは枚挙にいとまがないほどである。現在では、あのマツ枯れ現象も、酸性雨が原因あるいは誘因であったといわれている。日田地方でも酸性雨は日常的となっており、日本の森林の保護や造成を考えるときに、酸性雨対策はもはや看過できぬ最重要の課題となっている。酸性雨対策に関連しても樹幹流の研究は重要であり今後も本調査地での調査を継続していく予定である。林床のミヤマクマワラビの減少、コクサギの増加現象については、獣害（イノシシの影響）等の諸説があるが、地衣、蘚苔、羊歯植物等は特に水の性質と成分に対する感受性が大きいと考えられ、酸性雨との関係も実験的研究を含めて検討してゆかねばならない。

### 4. 今後のシオジ林の動態について

19号を代表とする一連の台風により、調査地のシオジ林は大きなダメージを受けたためその荒廃した林況は短期間ではとうてい改善されず、当面活力を回復することはないであろう。病害虫の追い討ちも考えられる。例えば、シオジのほとんどの個体にエカキムシによる葉の食害が見られるし、風害木の幹枝には、相当数の穿孔虫が侵入していると思われ今後、当分の間～数十年間シオジ林の荒廃は続くと思われる。一方あまりにも大きな面積の疎開のため、林床には充分な量の更新高木種の種子バンクや実生バンクが存在しているとも思われない。傷ついたシオジが少しでも樹勢を回復し生きながらえ、その間に下層の稚樹たちが次世代の森を準備してゆくのを期待しつつ、注意深くその推移を見守り続け記録しつづけてゆくしかないとと思われる。

### VI まとめ シオジ林の保護に対する意見

シオジ林の保護については特に遺伝子保存の立場から、林内ジーンバンクとしての自然林の保護とそれを補完する林外ジーンバンクの設置を提言する。

## 1. 林内ジーンバンク

一部尾根沿いの登山道沿いの部分が景観林として指定されている他は、権現岳国有林の大部分が林木遺伝資源保存林に指定されている。この林内での伐採や収奪は禁止され、被害木や枯損木を含む軽度の択伐のみが許される。更新は天然更新により、そのため必要な地表処理や刈出し作業は許され、もし人工植栽や人工下種を行う場合は、林内から採取した種穂、あるいはそれから養成した苗木を用いねばならないとされている。この保存林設定要領では、軽度の択伐の解釈と搬出方法について若干の懸念が残る他は、当然予想される作業であり、林内からの稚樹の持ち出しを禁止している点も評価できる。現に県内の某業者がシオジ実生苗の採取に入山したという情報もあり、どうせ枯れるのだから他所で育ててやろうという弁明もあるけれど、一木一草持ち出さないのが原則である。そういう更新予備軍が存在するからこそ、突発的な森林の危機に対応できるのである。問題の残る伐採搬出については、その採算性から見ても有利なわけではなく、森林衛生上もそれを必要とするわけではなく、今後あらゆる伐出を禁止する方向に改めるべきであろう。天然記念物指定が実現すれば当然そのような制限を受けることになる。

## 2. 林外ジーンバンク

一木一草採取せぬといつても完全に人為的搅乱を回避し、森林窃盗を一掃することは困難であり、突発的大災害に対し、林内ジーンバンクのみで、保存林を再生し、恒続しつづけることが困難な場合もありうるであろう。そこで林内バンクを補完するための林外ジーンバンク（種子貯蔵施設、採種・採穂園～林、苗畠等）が設置され、林外に種子や苗木のプールが準備されている必要がある。そこで用意された苗木や種子が、林内導入用として、あるいは分譲用として用いられる。広葉樹材～広葉樹林の再評価の動きの中で今後とも分譲の要請は増すものと思われる。この一帯のシオジやケヤキは、従来より用材としての高い評価を受けてきた。特に御側ケヤキは有名である。大分北部営林署は、九州林木育種場に対し、シオジ採種林の設定・造成についての協力要請をしており、その早期実現が期待される。挿木については、同属のヤチダモやグリーンアッシュなどについての報告もあり、シオジについても試験的ながら発根を確認しているので、今後は挿木によるクローン化も考えねばならない（1）。

## 3. 希少種の林外保存と増殖

高木上の着生植物や林床の植物の中には、他地域では希少な種も含まれている。例えば着生植物の中には、ウチョウラン、ベニガヤラン、ケナシヤシャビシャク等、マニア垂涎の種もみられる。強風の過ぎ去った跡には、七つ道具を持ったマニアがどこからともなく侵入し、倒木や岩壁上の植物をごそり持ち去ることがある。国有林の管理体制では、彼らを取締ることはほとんど不可能といつていいだろう。またこれら生育場所の急変、不適地への移住を余儀なくされた植物を全て倒木上で、あるいは岩から剥落したまま朽ちさせるのも惜しい。彼らは、早急に林外に持ち出され積極的に増殖され、再び林内に導入されるか分譲用として利用される。これも林外ジーンバンクの役割である。

#### 4. 広葉樹人工林とそのための基礎的試験研究

特に日田地方で、スギ・ヒノキ人工林の拡大によって追い詰められた状態の自然林について、それのみを保護するのでは安全とはいえない、その自然林を守るためにだけの特定の林外ジーンバンクのみでも、種の保存の意味で万全とはいがたい。そこで危険分散の意味からも、各所に自然林前線を設定し、多種な樹種～植物種の適応試験を行い、技術や採算性についてのある程度の見通しがついたならば、積極的に人工造林を実行すべきである。本来自然林と人工林は表裏一体のものなのであり、多様な自然林を守るためにには、一方で多様な人工林を必要とするのである。そのような遺伝子保存や多様性回復や環境機能改善を考慮した人工林に対しては、一般的のスギ・ヒノキ等の造林のそれに対して大幅に上積みされた補助がなさなければならない。自然林でのシオジの分布を規定する萌芽・更新特性は、人工造林では考慮する必要がなく、シオジの造林可能範囲は、自然林の分布よりもっと大きく、谷部の適地を選べば、500～600 m以上で充分な生育が期待できると思われる。シオジの生長は自然林内で直径 50～60 cm／100 m年程度であるが、人工林ではそれ以上加速できると思われるし、萌芽更新可能なことも有利な点である（2）。御前岳を後背にいだく前津江村の、将来の一村一品としても期待できると思われる。シオジ人工林でもし天然更新を実行しようとする場合は、皆伐方式でなく、成熟した（衰弱前の）シオジを選択的～単木的に、回帰年毎に伐採する方式を採用すべきである。自然林内の構成種や微細環境の研究は、大いに人工林化や天然更新法確立のため参考になると考えられるが、近年、盛んな単なる記載的、趣味的ギャップ動態論は、林業の現場には何ら貢献するところがないと思われる。

#### 5. 天然記念物としての指定

権現岳国有林のほとんどが林木遺伝資源保存林に指定され、尾根筋も景観林として保護の対象となっており、重ねて天然記念物に指定することに何らの支障もない。より積極的な保護と研究の対象としてゆくためにも天然記念物指定は有効だと思われる。岩壁下の岩屋部分には祠がまつられており、山村民の信仰の対象としてもこの森は大切な遺産であることを示している。地元町村の文化庁に対しての積極的な働きかけに期待したい。

#### 参考文献

- (1) Burns R.M and B.H.Honkala: Silvics of North America: 2 Hard woods. Agricultural Handbook 654 Forest service. U.S. Department of Agriculture 325～357, 1990
- (2) 初島住彦：森林地帯区分調査報告書 熊本県林務部, 1-56, 1971
- (3) 諸本信義・森崎澄江：数種の樹種における樹幹流の化学的性状と季節変動 大分県林試研報 12, 1-44, 1994
- (4) 松川恭佐：森林構成群を基礎とするヒバ天然林の施業法 青森営林局 1935.
- (5) 野呂忠幸・佐々朋幸：主な落葉広葉樹樹幹流の酸性度比較 日林東北支誌44, 137～140, 1992
- (6) 佐藤仁蔵：大分県におけるシオジ林について：日田市立博物館報（自然科学部門）第13号,

67~75, 1980

(7) SEEDS OF WOODY PLANTS IN U. S.: Forest service, U. S.

Department of Agriculture 1971

(8) 高橋延清：林分施業法 全国林業改良普及協会, 1971

資料 (NOTE)

西欧諸国における酸性雨等による森林被害の実態と  
その対策及び林業試験研究の動向について

諫 本 信 義

In European area, actual conditions on damage in forest by acid rain and precipitate, and consideration for the counterplans, as well as trends of research works of forestry.

Nobuyoshi ISAMOTO

ま　え　が　き

いささか旧聞に属するが、1990年の秋、筆者は「県職員海外派遣研修」の一員としてヨーロッパ諸国を歴訪し、研修視察を行った。

本稿はその時、総務部人事課に提出した報告書であるが、これはその後、一般の目にふれる機会はなく、今日に至っている。

この度、用あって、久しく筐底にあった本稿を取り出し再読したところ、最近我が国で話題となっている酸性雨の被害や、広葉樹の問題、ビオトープの話など、いくつかの興味ある事柄が取り込まれており、このまま埋没させてしまうのはしのびないと思い至り、ここにあえて公刊するところである。大方の参考になれば幸甚である。

目　　次

I. はじめに

II. 各国の林業関係研究機関を訪ねて

1. スエーデン林木育種場
2. スエーデン農科大学生態環境学科
3. オーストリア国立林業試験場
4. ドイツ、バイエルン林業試験場
5. ドイツ、バーデン・ブツデンブルグ林業試験場
6. フランス・ナンシー農事試験場

III. むすび

## I. はじめに

平成2年度の「県職員海外派遣研修」の一員として、9月29日から10月27日のまる1ヶ月間にわたり、統一後間もないドイツ連邦をはじめ、スエーデン、フランスなど、ヨーロッパ5ヶ国を訪問観察した。

表題のとおり、少々欲張った長たらしいテーマを設定してしまったため、いよいよ出発ともなると、はたして目論みどおりの成果が得られるだろうかと不安が先行し、重い十字架を背負った感じで機上の人となる。

で・・・とに角、なんとか予定通りの国々を訪問し、10月27日、無事成田に帰ってきたが視察研究のメインであった“酸性雨による森林被害”については、我が国ではかなりセンセーショナルに喧伝されているにもかかわらず、そのような実態には結局遭遇しえず、いささか期待はずれの旅となってしまった。しかしながらこの間、スエーデン農科大学など6機関を公式訪問し、森林をめぐる環境問題について取り組んでいる第一線級の延べ三十有余名の学者、研究者に会うことができ、森林衰退に対する最新の研究成果や動向について、多くの知識や示唆を与えられ、また膝を接しての意見交換が出来たことは、大変有意義な旅であったと思う。

以下、公式訪問を行った研究機関などを中心に、視察研修の概要を報告する。

## II. 各国の研究機関を訪ねて

### 1. スエーデン林木育種場

目のさめるような真っ白な幹が林立するシラカバの純林、見事なまでに通直なヨーロッパアカマツの林、整然として鬱蒼たるトウヒ林の重厚さ、はじめて目にしたスエーデンの森林の姿は、足を踏み入れた最初の異国であったためか、特に新鮮で印象深いものがあった。これら森林の母体を担うスエーデンの林木育種は、1967年に設定された林木育種場によって実行されている。

スエーデンの首都ストックホルムから70km北方に、閑静で美しい古都ウプサラの町が広がるが、このウプサラの郊外に林木育種場の本部がある。10月1日月曜日の朝9時、その本部を訪問する。二階建の建物の前にナラの大木が褐色を帯びた黄葉を四方に揺らし、秋の深まりを感じさせる。サムエルソン場長が自ら紅茶のサービスをして歓迎してくれる。担当のダンネル博士よりスエーデンの林木育種の状況について説明を受ける。

スエーデンの林野面積は、2,350万ha(日本とほぼ同じ)で国土の57%を占めていること、森林の所有形態は26%が公有林、残り74%のうち私有林が48%、社有林が26%となっていること、森林の樹種構成は、トウヒ(ノルウエー・スプルース)47%、ヨーロッパアカマツ38%カンバ類5%、その他10%であることなどである。

スエーデンにおける林木育種場の業務は、ヨーロッパアカマツ、コンコルタマツ、ノルウエー・スプルースの育種に重点がおかれており、このほか、カバノキ、カラマツ、ハイブリッドポプラなどもその対象とされている。これら樹種に対する育種の基本目標は、1)各種抵抗性の獲得、2)成長量の増

大、3)品質の改良となっている。スエーデンはまた、集団選抜の理論を軸に、品種の改良を着実にはかっていることで有名であるが、この国における選抜育種の基本は、精英樹の選抜とこれら精英樹間の交雑、そしてその繰り返しによるものである。選抜効果は、ノルウエー・スプルースを例にとれば、母集団のそれを100とした場合、一次選抜で106%、交雫による改良とその繰り返しにより126%まで高められると試算されている。

スエーデンの林木育種場の本部は、ウプサラに設置され、全土を統括しているが、実際の育種事業は、地域ごとに分けられた3つの支所で行われている。ウメオに北部支所が、ウプサラに中部支所が、そして南部支所はエケボに配置されている。

私は、この3つの支所のうち、南部支所を訪問する機会を得た。ストックホルムから飛行機で1時間、スエーデンの南端エンゲホルムという地方都市から更に車で50分の所にある。この南部支所では、約400haの試験地を管理しており、トウヒの産地別現地適応試験、トウヒ、ヨーロッパアカマツの採穂園、大型機械を備えた大規模な苗畠等を管理するとともにさし木によるトウヒのクローン増殖、ポットを利用したカンバ類の育苗等が大規模な施設の中で行われている。また、採穂園における種子の生産量や、各種産地試験における成長量などのデータは完備されたコンピューター・システムに取り込まれ、いつでも利用可能な状態に整備されている。

この南部支所は、私を案内してくれたウエナー所長ほか7名の研究員で運営されているということであった。

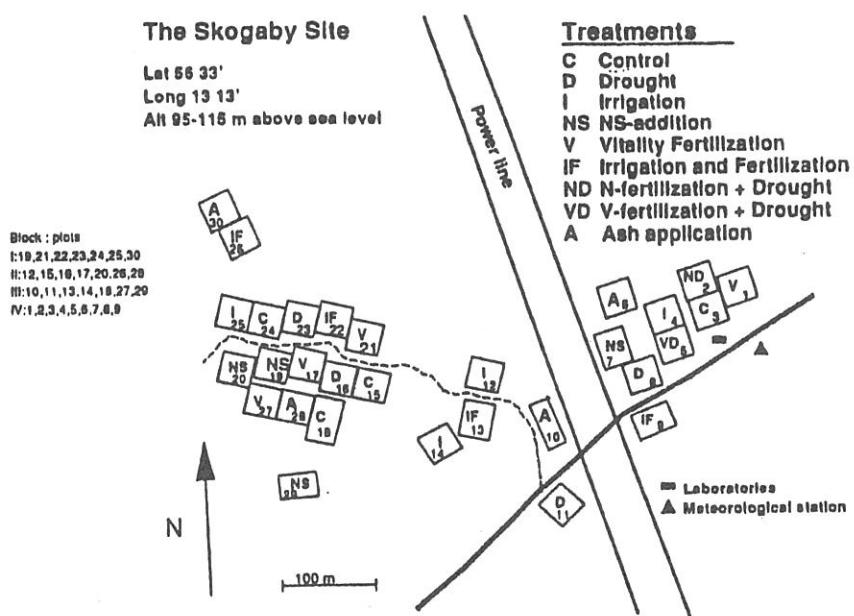
## 2. スエーデン農科大学生態環境学科

スエーデン農科大学は、1977年に、それまでの王立林業大学のほか、農学、獣医の各単科大学を統合して設立されたスエーデンにおける唯一の農業単科大学で、ウプサラのほか全国40ヶ所にキャンパスや試験地を持っている。生徒数2,000名に対して、教官等大学関係者3,500名という恵まれた大学となっている。私の訪れた生態環境学科は、ウプサラの郊外の豊かな緑と実験圃場に囲まれた農学部のキャンパス内にある。ここでは、主任教授であるエーゲレン博士のほか6名の研究者から、それぞれの研究内容について説明を受ける。そのうちの一人、ニルソン博士は、スエーデンの森林及び土壤に対する酸性雨等の森林被害について語ってくれる。その概要是次のとおりである。

- 1) スエーデン南部における土壤の酸性度は、1950年に比べpH 1.0ほど酸性化している。
- 2) N-降下物は、年々增加の傾向にあり、1940年代における10kg/ha/年が、現在では、最大25kg/ha/年に達しているところさえ生じている。
- 3) N-降下物の増大は、植物の成長量の増大に役立つ。しかし、過剰なN-降下物は、土壤のN-含有量を飽和させ、他の無機物成分(K、Mg、Pなど)の吸収を抑制するため、これが逆に植物の成長を低下させることになる。
- 4) 多量のN-降下物は、土壤中にとりこまれ、これが溶脱し、河川、湖、そして海へ流入することにより、生態系への影響が心配される。
- 5) 土壤の酸性化は、土壤中のアルミニウムを活性化させる。酸性化に伴うアルミニウムの増加は、Ca、Mgなどの有用成分の溶脱原因になるとともに、根系の機能に直接被害を与え、養分吸収を抑

制し、また土壤微生物の減少をもたらす。

- 6) 土壤の酸性化は、根系の働きを低下させ養分の吸収を妨げ、また針葉における気孔の開閉機能を低下させる。
- 7) 酸性化の進んだ土壤では、乾燥によるストレスが更に助長される。スコガビイ（スエーデンで酸性化の最も進んだところ）における年降水量は 1,050mmであるが、もし20%の降水増があれば、その成長量は20%～30%の増加が期待されるが、逆に20%の降水減が生じれば、その成長量は30%～40%低下すると考えられる。
- 8) 樹木に対する影響としては、南部スエーデンの一部において、葉量の減少（樹冠の透かし）が見られる。
- 9) 樹冠の透かしは、古いトウヒの林で最も顕著である。
- 10) ブナでは、梢端や枝の枯死が生じており、いったん被害にかかったものは回復は非常に困難である。
- 11) トウヒの針葉には黄化現象が認められ、またコケの付着が多い。このコケは、N-降下物の多いところほどよく繁茂しているが、樹木に対する影響については、今のところ不明である。10数年前にはこの種のコケの繁茂は見られなかった現象である。
- 12) KやMnといった成分は、酸性の雨によって針葉中から溶脱され、その量は以前に比べ10倍にも達している。しかしながら溶出量そのものは、針葉中に含まれている量からすれば、まだ問題とならない程度である。
- 13) 酸性化の進行を止めるには、大気中に放出されるS、N、そしてO<sub>3</sub>の量を早急に低い水準に引き下げる事、Nを含まない活性肥料(Mg、Ca、K、P、Mn、Cuなどを含む)を施用することが必要である。このことは、生態系における成分バランスの復元にほかならない。
- 14) 木材工業生産の過程で作られる木灰を施用することは、生態系のバランスの復元に効果的である。



スエーデン農科大学 Skogaby-プロジェクトの配置図

このスエーデン農科大学においては、酸性雨と森林及び土壌に対する影響把握のため、Skogaby-プロジェクトという野外実験を1988年より開始し、その成り行きが世界的に注目されている。その実験の概要について少し触れておく。

#### Skogaby-プロジェクト

スエーデンの南部、スコガビイに成立する23年生のトウヒ林6.5ha内に設定されている試験地で、その特徴とするところは、① 2,000m<sup>2</sup>の大きさをもつプロット30よりなる大規模な試験である。② 人工的な乾燥(雨水遮断)や、逆に栄養塩類などを含んだ各種の灌水など水分ストレスと栄養ストレスの影響を見るための実験である。③ 1999年までの長期に亘るなどがあげられているが、実験は開始されたばかりで、その成果は、もう少し先になりそうである。

### 3. オーストリア国立林業試験場

オーストリアの国立林業試験場は、森と音楽の都ウィーンの市街中心より南西方向に車で30分の所にあり、深い木立に囲まれた閑静な環境となっている。270余名の職員が赤い尾根を頂く二階建のや、古びたクリーム色の研究棟の中で働いているが、実際の研究者は70名であり、研究は遺伝育種や森林立地、林業経営など12の専門に分けられ、それぞれの分野で積極的な研究が進められていると、育林部長のボーランスクエッズ博士が話してくれる。この国立林業試験場を訪ね、名刺の交換を行ったが、これまでに見たことのない枕詞(?)があるのにまず面食らう。

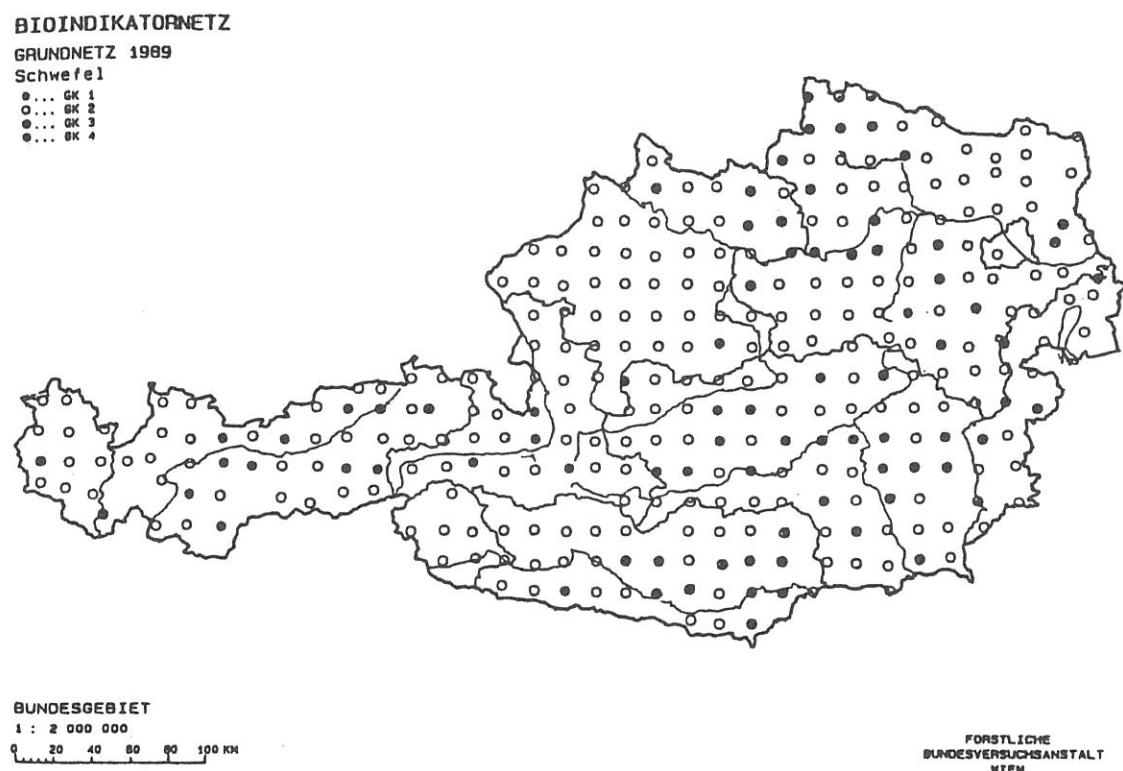
Dipl. Ing. Dr. Klaus STEFAN

Diplは大学卒、Ingはエンジニアの略である。従って、上記の人物は、名刺を解読すると、大学卒のエンジニア、クラウス・ステファン博士ということになる。

さて早速、クラウス博士よりオーストリアの林業概要について説明を受ける。森林面積 385万ha (大体九州と四国の森林面積を合わせた位)、このうち65%が私有林で16%が国有林残りの19%が町村などの公有林となっている。5ha以下の小規模所有者が私有林全体の67%を占め、200ha以上の所有者は、わずか0.8%にあたる 2,000にすぎないとのことである。木材価格の低迷と労賃の高騰により、林業を專業とするためには、300ha 以上の所有が必要とされるらしい。地形が急峻で機械化が容易でなく、トウヒ林の除間伐がなかなか進まないことなど聞いてみると、なにやら日本の林業の当面する問題とよく符号していることに気付くオーストリアにおける樹種構成は、トウヒ60%、ヨーロッパアカマツ7%、カラマツ5%、モミ3%、ブナ10%、その他広葉樹15%と、針葉樹が全体の80%を占めるという極端な構成となっている。特にトウヒの比率の高いことは、日本におけるスギの場合に似ている。そしてこのトウヒは、10数年前まではhaあたり、5,000 本の植え付けが普通とされ、補助金もそれ以下では支給されなかつたため、高密度のトウヒ林が増大していったが、その後の調査研究の進展の結果、トウヒ林の植栽本数はha当たり 2,500本が適当であると判定されたため、現在適正本数に戻すのに苦慮しているようであった。

オーストリアにおける森林衰退に関する研究は、1983年より開始され、現在に至っているが、それは“Bioindicator-Grid”と呼ばれているプロジェクトで、“植物を指標とし

た格子網調査”とでも訳されるものである。これは、16km×16kmの格子網を全土にはりめぐらせ、その交点付近に成立する二種類の木(トウヒとマツ)を指標植物としてマークし、連年観察を行うとともに成分分析を実施し、あわせて土壤中の成分変化まで追跡しようというものである。これまで、317点の定点が設けられ、計6,000点におよぶ葉分析が行われてきている。このうち、葉中イオウの検出例がすでに公表されているが、南縁チェコスロバキヤの国境沿いにおける含有量が高いことから、“もらい公害”が問題となっているようである。



オーストリアにおける植物指標観察網の配置図と葉中イオウ量による被害区分

#### 4. ドイツ、バイエルン林業試験場

バイエルン林業試験場は、ミュンヘン市の北西市街地にあり、ミュンヘン大学と同居した格好となっている。何の変哲もない5階建ての古めかしいいくつかのビルがその建物で、車の往来が激しく、人の行き来が絶えない道路に面しており、一般に見られる木立の中の林業試験場とはいささか異なった殺風景とさえいえる研究機関となっている。

10月15日快晴、ドイツ語の同時通訳が出来るという才媛の浅野久子氏と共に訪問する。ホルツアーフエル場長が、自分で射止めたという巨大な角をもつヘラ鹿の頭部剥製を飾った部屋で、ドイツ、バイエルン州における林業について、時には研究者のあり方も交えつつ説明してくれる。

バイエルン州の森林は、州面積の33%を占める約240万haであり、その50%が私有林、30%が州

有林、残り20%が公有林等地方有林である。私有林の所有規模は0.5~200haで、平均的には約3haとなっている。天然林はほとんどなく、大部分がトウヒ、モミを主とした人工林であり、針葉樹が80%、ブナ、カシ等の広葉樹林が20%という比率を示し、針葉樹の林が卓越した構成になっている。

最近、酸性雨等の酸性降下物による森林の衰退や、土壤の悪化がみられつつあることから新しく森林の活性化をはかろうということが、重要な研究テーマとなってきている。

1889年に我々林業の大先達カール・ガイナーが「造林」という名著を著しているが、この内容とするところは、皆伐、人工植栽を否定して自然環境に適した森林－混交林を作れということであった。このカール・ガイナーの思想こそ、今我々が求めている森林の姿ではないかと思い至り、彼のアイデアを実現しようとしているのが現在の状況である。それは、針葉樹優先の現在の植栽比率を、広葉樹80%、針葉樹20%に変換し、しかもそのうちの50%は、天然更新にゆだねようとする試みである。この場合問題は、野生動物が増えすぎていることである。彼らは、好んで広葉樹の稚樹を食べるから。ドイツの古い諺に、“狼が通れば森が良くなる”というのがあると、ホルツアフエル場長はこうしめくくった。

翌日、ガルダー研究員が自慢の愛車、トヨタ・スプリンターにて、ミュンヘンの北方ホーグヴェルトの森に案内してくれる。ドイツの誇るアウト・バーンを疾走すること1時間の所にある丘陵性山地で、一面トウヒの林が延々と続く。この森の中で、ミュンヘン大学のクロイツア博士を中心となって実施している野外試験地がある。地名をとって、Hoglwald-projectという。81年生のトウヒ林に対し、人工酸性雨とライミング(石灰施用)を組み合わせた試験で、1984年に開始され現在に至っている。

試験は、トウヒ林内に40m×40mのプロットを6ヶ所設定し、人工酸性雨(H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, pH 2.7~2.8、年平均16~18回実施、1回に10~12mm、年間170mm)とライミング(CaCO<sub>3</sub>+MgCO<sub>3</sub>, 4,000kg/ha、1984年1回のみ実施)の組合せである。この試験は、私が訪れた1990年10月で終了ということで、特に目立った結果が得られなかつたため継続は行わず、これで打切ることであった。過去7年間で、40年に匹敵するという量の酸性物質を加えたことになる人工酸性雨による影響は、次のとおりになっている。

- 1) トウヒの成長や葉量、針葉の色調の変化は生じなかつた。
- 2) 林床植物に対する影響は、キイチゴやオシダ類にみられたが、カタバミでは影響なかつた。キノコ類は明らかに減少した。
- 3) 動植物に対しては、統計的な差異は見出せなかつた。

次にライミングの施用に対する結果を記す。

- 1) pHはA<sub>0</sub>層(有機物質)で施用効果が大きく、酸度が大幅に改良された。しかし、土壤層では明瞭ではなかつた。
- 2) 地表下20cmにおける土壤溶液は、施用区のMg/AI比が大きくなつた。すなわち処理区では、アルミニウムの活性化が抑制されていることが認められる。
- 3) 施用区では、ミミズの増加が著しく、対照区に比べ約16倍の数を示した。
- 4) 林床植物に著しい差が生じた。処理区では46.7g/m<sup>2</sup>であったが、対照区ではわずか2.5g/m<sup>2</sup>にすぎなかつた。

以上が、Hoglwald-projectの結果であるが、酸性雨の過剰灌水による影響は意外に小さく、酸性雨に起因すると予想されていた森林への被害は、単一的でないことがこの試験結果から読み取ることができるようである。タイミングの効果は、その施用量の大きさが生態系に対して、新たな問題を引き起こす可能性もあるとして、その施用は慎重を要すると、ガルダー研究員は語っていた。

## 5. ドイツ、バーデン・ブッデンベルグ林業試験場

バーデン・ブッデンベルグ州は、バイエルン州に次ぐ森林面積を有し、その面積は130万haとなっている。このうちには、世界的に有名なシュヴァルト・ヴルト(黒い森)が含まれている。バーデン・ブッデンベルグ林業試験場は、フライブルグの市街地より東部に少しあはいったところにあり、丘陵性の豊かな森林に囲まれた落ち着いた静かな環境にある。「黒い森」への一つの玄関口ともいえる位置となっている。フライブルグ大学の教授も兼ねているというモスマイヤー場長より研究所の概要を聞く。この林業試験場は、バーデンにあった研究所とブッテンベルグにあった研究所が1957年に統合し現在に至っているもので、管理部内を含めて、育林、生態など9つの部門があり、これが更に46のセクションに分かれ、広い範囲にわたって研究が行われているようである。

職員数108名、そのうちの85名が研究に従事しているが、研究者のうちの約半数は、期限つき(流动研究員?)という。その後、育林、森林立地、保護、森林科学、風致生態学の各部門の研究室を訪ね、それぞれの担当者より説明を受ける。森林の衰退現象については、保護部門が主体となって調査しており、4km×4kmの格子網における樹木の定点観測を年1回実施している。森林の衰退は、1970年代の半ばよりはじまり、モミからトウヒへと被害は広がったが。最近は回復傾向にあるとのことであった。森林衰退の原因の一つには、時々、ヨーロッパを襲う台風による被害も含まれると担当のハンスヨハン博士が語っていた。

風致生態部(スパヒル博士)は面白い研究を行っており、我々の今後の研究にとって、いささか参考になるところが多いように感じられた。この部門で現在取り組んでいる項目は、次のようなものである。

- 1) 詳細な自然環境地図の作成(森林のあらゆる利用を目的として、池、沼、こけ地、乾燥地、有機物層の動態分布、珍しい動物の棲息地、特殊植物の分布等々)
- 2) ゴミ焼却の煙の森林に与える影響
- 3) 針葉樹が多く植栽されることによって生じる生態系の変化
- 4) 保護林の利用密度(1~10人/ha/1日と10人以上/ha/1日)の違いによる管理、整備の方法等々であった。

森林のもつ尊厳さや、美しさ、豊かさなど、その持つ多様な価値というものをこれほど見事な形で表現しているところは他にあるまいといわれるほどに有名な、世界を代表する一大森林地帯「黒い森」の南部一体を、リップベイガー副場長の案内で駆け巡ってみた。

「黒い森」は、ドナウ川の源流地域に広がる60万haにも及ぶ森林丘陵地帯で、モミ、トウヒの鬱蒼とした林が黒々と野山を埋め尽くし、ドイツの人々が「心のふる里」と呼ぶ自慢の森である。この自

慢の森も、1970年代の後半から酸性雨とされる被害のため森林の衰退が目立ちはじめ、現在ではその75%が被害を被っているとされているが、終日、森や丘の中を縦横に走る道路や山麓の村々、小高い山の頂などより見て廻った感じでは、「森の病気」の深刻さはうかがうことができなかった。ただ、この「黒い森」で最初の被害が出たというカーベルショイエ付近では、向かいの山の稜線から山頂にかけてトウヒの枯木が無残な姿をさらしていた。このあたりではモミはすでに枯れつくし、被害はトウヒ、ブナに移行しつつあったが、その原因については“複合的なもので、本当の理由はまだ不明である。”と、リップバーガー博士は慎重に語っていた。

## 6. フランス・ナンシー農事試験場

フランスには、パリに本部を置く22の国立農事試験場があり、INRAと総称されているフランスの東部、パリより300kmのところにロレーヌ地方の中心都市ナンシーの町が広がるが、このナンシーの街から更に16kmの東部郊外にINRA・ナンシー研究所は位置する。ゆるやかな起伏をもつ豊かな田園地帯がまわりに広がっている。この研究所は、25の分野に分かれ研究が進められているが、このナンシーでは特に、林業関係の研究が中心となっているちなみにこのナンシー研究所では、86名の研究者が在職しているが、そのうちの60名が森林関係の研究に従事しており、研究機関として林業へのウェイトが非常に大きいところである。

この研究所における主要なテーマの一つは、DEFORPAという略称を持つプロジェクトである。“大気汚染と森林衰退に関するプロジェクト”と訳されるものである。このプロジェクトの概要について、ガイ・ランドマン博士より説明を受ける。

### DEFORPA - Projects

- 1) 1980年頃よりドイツ国境近くのアルザス地方ボージュ山地において、モミ、トウヒの林に不自然な状態(落葉、黄化)が目立ちはじめた。
- 2) このことより、1984年よりDEFORPAというプロジェクトを樹立し、種々の森林調査を開始した。
- 3) DEFORPAにて実行されていることは、次のとおりである。

- ①被害量の推定(16km×16kmの定点網におけるモミ、トウヒの観察)及び赤外線利用による航空写真観察
- ②原因究明(山岳森林地帯における気象及び大気[S0x、N0x、Oなど]の観察、ボージュ他10所)
- ③自然現象の解明(気候、土壤の理化学性変化及び密度管理による成長への影響)
- ④土壤微生物への影響(菌根菌の研究、土中の無機成分、重金属類の微生物に対する影響)
- ⑤対策方法(大気の清浄化、土壤の復元化、森林の適正管理)

これらについて、40万haに及ぶボージュ山脈を対象に調査を継続中であるが、現在のところ、1985年をピークに異常落葉と黄化症状は減少しつつある。ナイス博士の研究によれば、黄化、落葉のみられたトウヒに対して、2,500kg/haの石灰を施用したところ、顕著な回復がみられ、葉中のCa、Mgが増加したという。同様にNを200kg/ha 施用した区では、落葉、黄化が加速したというマイナ

ス効果が生じている。この落葉、黄化は、土壤中のMg不足ということを博士は力説していたが、このことは、今回訪問したスエーデン、オーストリア、ドイツでも共通していた。

DEFORPA—プロジェクトにおける重要な実行の一つに、ドノン・タワーの建設がある。

ドノン・タワーは、森林の衰退の明らかに認められたボージュ山脈の中心地ドノン（海拔750m）に65万フラン（約2千万円）をかけて、1987年建設された高さ47mの観測塔で、地上7m、16m、30m及び44mの位置で、各種気象データ及び大気物質(SO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub>、O<sub>3</sub>、CO)を常時観測し、パリの本部に送り込んでいる。

### III. むすび

林業に身をおくものとして、かねてから、新聞、テレビ、雑誌等を通じて報道されるヨーロッパにおける酸性雨等による森林被害については、強い関心があった。マスコミによる報道は、一般の関心をとらえるために、しばしば過大に、そしてセンセーショナルなものになりやすいが、そのことをさし引いてもヨーロッパ諸国における森林衰退の状況は、相当なものに違いないと、私はいつの間にか確信にも似た被害像を自分の内につくりあげていた。このような折に、幸運にも海外視察研修の機会が与えられ、私は自分の内なる森林衰退を我が目で確かめるべく旅立ったのであるが、期待に反して、西欧及び北欧の森林は、私の見て廻った限りではすこぶる健全に育っているようであった。私は自分の内なる被害を見出さんと行く先々で、“酸性雨による被害林を見たい”と口を酸っぱくして案内を乞うたのであるが新聞で、テレビで、あるいは雑誌の特集で見たあの悲惨な森林の姿は、結局見届けることができなかった。ドイツ・バーデンブッデンベルク州には130万haの森林があるが、最新の資料(AID、1989)によると、これら森林の58.8%が被害を受ているとされるが、「黒い森」の中を終日走り廻った感じでは、そのような状況は見出しえなかつた。それは一つは、樹木の被害度に関する測定方法の認識の違いによるものかもしれない。樹冠葉量密度(樹冠の透け)の程度によって、少しでも透けがあれば森林被害と見なす判定の厳しさが、ヨーロッパの森林衰退に拍車をかけているようにも受け取られたが、逆にいえば、私自身の感受性の乏しさが、被害を過小にとらえていたのかもしれない。

さて、いま一つの思い違いは、その衰退原因に対するものであった。私自身、出発前までは、ヨーロッパにおける森林衰退は、“酸性雨による”と単純に信じきっていたのである。しかしながら、現地での第1線級の研究者は、誰一人としてその原因を“酸性雨”に特定して話すようなことはなかったのである。森林衰退が“酸性雨”による一元的な被害であると考えている研究者は、一人としていなかったということである。今にして思えば、まさにその通りかもしれないが、とんだ思い違いをしていたものである。

ヨーロッパの研究者たちは、森林衰退が単純に起こっているとは考えておらず、複雑な過程の中で生じているということを百も承知で、今あらゆる方向から、その衰退状況に関して矛盾のない因果関係を求めようと必死になっているようである。彼らの目には、まだまだその明白な姿を表わさ

ないまでも、ヨーロッパの森林にじわじわしひ寄る何かがあるのを、全知全能を傾けてさぐりだそうとしている。しかし彼らは、決してファジーな段階では、ものを云わない。酸性雨もその重要な要因としてとらえられてはいるものの、まだまだファジーな状態であろう。だから、論理的で慎重な彼らは、決してそれが“酸性雨”とは口にしないのである。森林衰退にかかわるとされる多くの要因を、さまざまな角度から一つづつ着実に、因果関係を明らかにしていこうとする試みが続けられているようであった。フランスの森林地帯における大規模な大気観測ステーションの建設、これはドイツでもオーストリアでも同様に、規模こそ違え重要なプロジェクトとして推進されていたが、因果関係が不明であればあるほど、基礎的な面に照明をあてる必要が増すのでだろう。深まりゆく秋のミュンヘン、穏やかな光が差し込むバイエルンの林業試験場の場長室で、ホルツァフェル場長が静かに語っていたことを私は鮮やかに思い出すことができる。“研究というものは、半分は今(行政)のために、そうして半分は、未来のために時間を使わなければならない。教授は、Professorと呼ばれているが、Professorという言葉は、ラテン語で、未来を予測するという意味をもっています。ですから、教授というものは、未来に対する正確な判断が要求されます” . . . . と。

日本の森林のために、今なにをすべきなのか、何をしておくべきなのか、Professorにはほど遠い私は、大いに頭を悩ますのですが、この貴重な体験を研究になんとか生かしてゆかねばと心を新たにした旅でありました。

大分県林業試験場研究時報, No.25, 1998

---

平成10年3月20日 印刷  
平成10年3月25日 発行

編集 大分県林業試験場・編集委員会  
〒877-1363 大分県日田市大字有田字佐寺原  
TEL 0973-23-2146  
FAX 0973-23-6769

印刷 カワハラ企画  
〒877-1365 大分県日田市水目町315-4  
TEL 0973-22-1241  
FAX 0973-22-1444

---