



Title	林地の環境変遷と樹木の年輪情報(第1報) : 苫小牧地方演習林におけるヨーロッパトウヒの衰退
Author(s)	小林, 修; KOBAYASHI, Osamu; 深沢, 和三 他
Citation	北海道大學農學部 演習林研究報告, 49(1), 37-57
Issue Date	1992-01
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/21352
Type	departmental bulletin paper
File Information	49(1)_P37-57.pdf



林地の環境変遷と樹木の年輪情報 (第1報)*

苫小牧地方演習林におけるヨーロッパトウヒの衰退

小林 修** 深沢 和三** 中島 淳***

Tree-ring Analysis Related to Environmental Factors (I)

On the decline in growth of *Picea abies*

in the Tomakomai Experiment Forest of Hokkaido University

by

Osamu KOBAYASHI**, Kazumi FUKAZAWA** and Jun NAKAJIMA***

要 旨

近年、北海道大学苫小牧地方演習林の一部の造林地においてヨーロッパトウヒ (*Picea abies* Karst.) の葉量の減少や立ち枯れに代表される衰退の徴候が確認されている。本研究では、ヨーロッパトウヒの成長に関わる因子の抽出と、それらの因子と樹木衰退との関係解析を目的として、軟X線デンシトメトリー法による年輪解析を行った。その結果、1970年～80年および1980年～85年の期間で、試料を採取した全てのプロットに共通する年輪情報の変動が観察され、その変動は年間降水量および大気汚染に起因することが示唆された。また、年輪幅(一年輪・早材・晩材幅)、材密度(一年輪・早材・晩材密度)、および早・晩材密度の差の各指標のなかで、プロット間の一致度が最も高かったのは早・晩材密度の差であった。このことから、ヨーロッパトウヒの成長因子を解析する際には、この密度差を指標とするのが有用だと結論された。

キーワード： 軟X線デンシトメトリー、年輪解析、環境変遷、大気汚染、*Picea abies* Karst.

目 次

1. 緒言.....	38
2. 試験地概況と実験方法.....	39
2.1. 試験地概況.....	39

* 1991年9月30日受理 Received Sept. 30, 1991.

** 北海道大学農学部木材理学講座
Laboratory of Wood Physics, Hokkaido University

*** 現(株)リクルート

2.2. 試料の採取と調整	40
2.3. 試料の分析	41
2.4. 傾向曲線および標準化曲線の算出	42
3. 結果	42
3.1. 年輪幅	42
3.2. 晩材率	44
3.3. 一年輪密度	46
3.4. 早・晩材密度とその差	46
4. 考察	51
4.1. 年輪情報因子の重要度	51
4.2. 環境の変遷と年輪情報	52
5. 結言	54
謝辞	55
引用文献	56
Summary	57

1. 結 言

苫小牧地方演習林におけるヨーロッパトウヒの造林史は、1912年に始まる。その後、1938年まで造林は続けられたものの、39年以降にはほとんど植林されないまま現在に至っている。昭和59年(1984年)までの造林延べ面積は236haであり、針葉樹・広葉樹を合わせた全造林面積(1,278ha)の18.5%を占め、カラマツ、トドマツに次いで3番目の造林延べ面積であったが、途中、成育状態がおもわしくなかったために、造林延べ面積の75.8%が台帳から削除され、他の樹種に移り変わってしまったものも少なくない。そして、近年それらの造林地において葉量の減少や、病害、虫害による立ち枯れ等の衰退の徴候が目立って認められるようになった¹⁾²⁾。

苫小牧演習林には、ヨーロッパトウヒを衰退に至らしめた条件がいくつかあり、衰退の要因として挙げる事ができる。除・間伐が植林初期にのみしか行われていないことから、病原菌や病害虫の発生に有利な条件が作り出され、特に1961年から約2年間にわたってヨーロッパトウヒを中心に虫害が発生した。また、同演習林内の気象、土壌などの立地条件がヨーロッパトウヒの成育条件に適していたかどうかの問題も無視できない。さらに、苫小牧地方に被害をもたらした1954年、1981年の台風による影響やその際の塩害も影響を及ぼしている可能性もある。そのうえに、1968年より、樹木にとって有害な汚染物質を放出する工場が相次いで操業を開始したことから、乾性降下物や湿性降下物(酸性雨、酸性霧)による汚染の影響が予想される。

以上の予想の中から衰退の要因を特定するためには、樹木が衰退を始めてから現在に至るまでの推移と気象などの環境変動との対応を解析することが必要になる。過去の樹木の衰退の

変移を明らかにするには、年輪解析が有効である。FRITTS は、樹木の生理機能と気象との関係を細かに分析した上で、年輪幅と気象因子との関係を、統計的な手法を用いて分析している³⁾。その中で、気象因子のうち、低温・水によるストレス、成長調整物質の変動、栄養分の欠如が、年輪形成に影響していることを示している。さらに、SCHWEINGRUBER は軟X線デンシトメトリー法による年輪解析をもとに、気象因子だけではなく、山火事、崖崩れ、さらに地震や火山活動などを含めた種々の環境因子にまで広げて、年輪変動との関係について紹介している⁴⁾。軟X線デンシトメトリー法による年輪解析は、年輪幅のみならず、年輪内の早・晩材幅とその密度を解析することによって木材の材質的な性質をとらえることができる。また、最近では大気汚染や酸性雨との関係解析もヨーロッパを中心として行われ、日本においても太田が、大気が汚染された状態で育成した樹木 (スギ・アカマツ・ケヤキ) の年輪構造は一年輪内の最大密度の低下、最小密度の増加及び年輪幅の減少で特徴づけられることを示唆している⁵⁾。

以上のことから本研究では、苫小牧地方におけるヨーロッパトウヒの衰退要因を特定することを目的とし、年輪情報の変動パターンの把握と降水量および汚染物質の推移との関係の解析を行った。

2. 試験地概況と実験方法

2.1. 試験地概況

今回の調査では、長期間にわたる年輪情報の推移を観察することが必要とされたことから、演習林の南部の台地上に位置する約 60 年生の造林地を三地点選び、試験地とした (Table 1, Fig. 1)。Plot-1, 2 はヨーロッパトウヒとカラマツの列状混植であり、一方 Plot-3 は単一樹種による植林である。試験地の標高は、Plot-1 で海拔約 20~40 m, Plot-2, Plot-3 で 30~45 m であり、いずれのプロットも、海岸より約 5 km, 苫小牧駅からは同じく 4 km, 苫小牧臨海工業地帯にある火力発電所からは同 7 km 離れたところに位置する。また、造林史を見ると、各プロットとも大正末期から昭和初期にかけて植林され、植林初期に蔓切り・枝打ちが行われたあとはほとんど施業が行われていない (Table 2)。

苫小牧地方では、王子製紙 (1910 年から操業)、山陽国策パルプ (1943 年から操業) の 2

Table 1. Outline of sample-plots

	Plot-1	Plot-2	Plot-3
Compartment number	131	130	305
Planted year	1925	1929	1932
Number of sample trees	5	7	3
Avg. D.B.H. of sample trees (cm)	20.6	20.3	20.0
Avg. height of sample trees (m)	15.7	15.9	12.9
Sampling years	1990	1990	1986

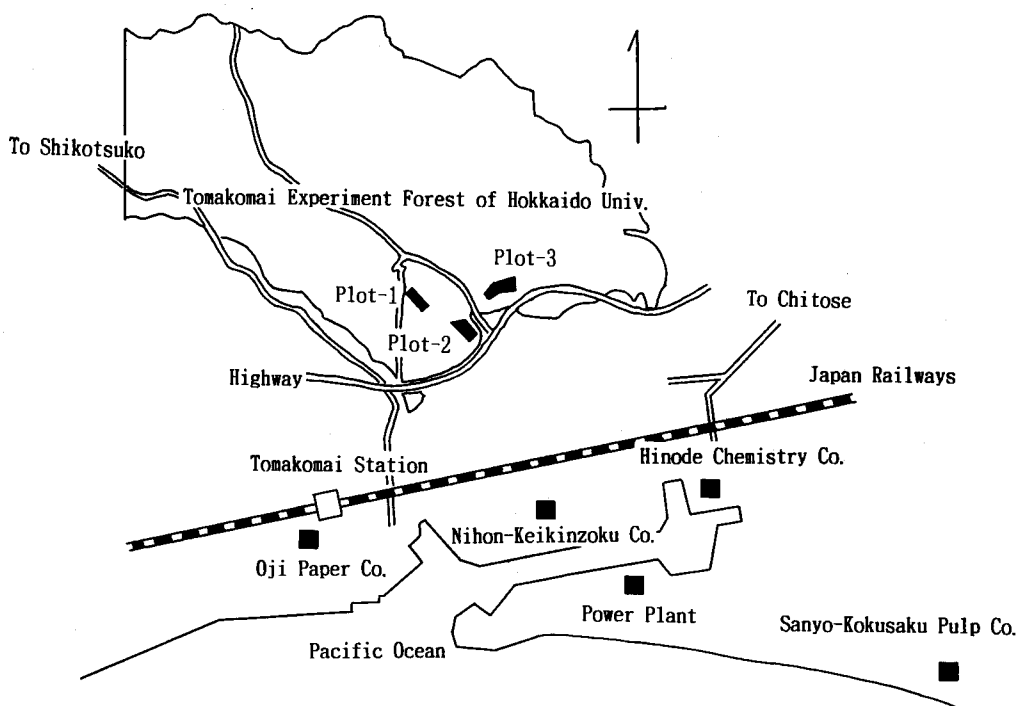


Fig. 1. Sample-plots (Plot-1, Plot-2, Plot-3)

つの製紙工場が操業している。パルプの製造やボイラー燃焼に使用する石油からは硫黄酸化物が放出されている。また、王子製紙では1974年に、それまでの高さ45mおよび75mの煙突を高さ200mの集合煙突に変えている⁶⁾。煙突の高度を上げる前と後では、汚染物質の輸送高度や距離に違いのあることが予想される。一方、苫小牧臨海工業地帯に火力発電所一基（臨海工業地帯火力発電所、1968年操業）があり、ここでも硫黄酸化物が排出されている。また、日本軽金属、日ノ出化学があり、それぞれアルミニウム精錬工程（1968年～82操業）および過リン酸肥料製造工程でフッ素化合物が放出されている。さらに、上空には千歳空港への発着便が頻繁に飛び交い、演習林の南縁には高速道路が1980年に開通した。

苫小牧地方の気象条件は、年平均気温 7.1°C 、年総降水量が 1240.6mm である⁷⁾。また、成育期間を4月～8月とすると、そのあいだの気象条件は平均気温 13.0°C 、降水量 664.3mm 、最多風向は南あるいは南南東である。目立った気象災害として、1954年、1981年の台風による被害が挙げられる⁸⁻¹²⁾。

2.2. 試料の採取と調製

試験地は、前述のように、3地点(Plot-1～3, Table 1, Fig.1参照)を設定し、各プロットよりそれぞれ5本、7本、3本の供試木を選定した。Plot-3の分析試料は、1986年に供試木

Table 2. Historic outline of sample-plots and the Tomakomai district

Year	Outline of sample-plots			Weather disasters	Outline of Tomakomai
	Plot-1	Plot-2	Plot-3		
1910					Oji Paper Co.→Op.
1925	Planted				
1929		Planted			
1932	C.C.+Th		Planted		
1935		C.C.+Th			
1936		”			
1937		”			
1938			C.C.+Th		
1943		C.C.+Th			Sanyo-Kokusaku Pulp→Op.
1952			Th		
1954				C.D. (Mar.~Sep.) Typhoon (Sep.)	
1956				C.D. (Jul.~Aug.)	
1962				Typhoon (Aug.)	
1965				Typhoon (Sep.)	
1968					Hinode Chemistry→Op. (Phosphatic Manure) Nihon-Keikinzoku→Op. (Aluminum Refining) Power plant→Op.
1972		C.C.+Th			
1973			Th		
1974					Oji 200m Chimney→Op.
1975				Typhoon (Aug.)	
1977					Highway construction
1980					Highway opened
1981				H.R. (Aug.) Typhoon (Aug.)	
1982					Aluminum Refining→Su.
1984	C.C.+Th	C.C.+Th			

Notes: C.C.; Climber cutting, Th; Thinning, C.D.; Cold damage, H.R.; Heavy rain.
Op; Operation, Su; Suspended

を伐倒し、帯状材片として採取された。Plot-1, 2 の試料は、1990 年に成長錐(径 5 mm)により、コアのかたちで採取された。各個体で採取部位に差がないように、採取方位は南に、また採取高さは胸高部に統一した。コア試料は、直ちに FAA で固定し、冷蔵庫内で保存された。分析の際、まず試料は十分に水洗して気乾状態にした。押さえ木に接着した後、ツインソーで 2 mm の厚さに製材した。恒温器に移し、40°C で約 12 時間、つづいて 105°C で同じく 12 時間乾燥して絶乾状態にし、分析に用いた。

2.3. 試料の分析

調製した試料は、恒温器から取り出され、あらかじめ密度の分かっている標準クサビとともに直ちに軟 X 線撮影装置(大日本ソフテックス社, Softex IE 型)によって撮影された。撮影

条件は、管電流 5 mA、管電圧 20 kV、照射距離 1.3 m、照射時間 75 sec. とした。撮影フィルム (FUJI X-RAY FILM FR/INDUSTRIAL) は、自動現像機 (サクラ KX-40) によって現像された。得られた X 線の濃度データは、濃度解析装置 (コニカメディカル 2111 型改) にかけてアナログ電位データに変換され、さらに A/D コンバーター (阿部設計) を通してデジタルデータに変換してパーソナルコンピューター (NEC, PC9801 VX) に取り込まれた。そして、新年輪解析プログラム¹³⁾ によって解析された。密度解析は、濃度データとその密度の実測値から求めた回帰式に基づいて行われた。そして処理によって得た密度をもとに、年輪幅 (RW)、早・晩材幅 (EW・LW)、一年輪密度 (RD)、早・晩材密度 (ED・LD) および年輪内の最小・最大密度 (MIN・MAX) を算出した。その際、一年輪内の早・晩材部の境界は、モルクの定義に基づいて算出した 0.55 g/cm^3 とした¹⁴⁾。但し、晩材密度がこの境界値を越えず、一年輪として認識されない場合があった。その際にはフィルムと試料を目視により観察し、早・晩材部および年輪の境界を設定した。

2.4. 傾向曲線および標準化曲線の算出

年輪幅や密度は、そのままでは樹齢などの個体内変動、成育環境の違いから生じる個体間差が大きすぎるため、プロットごとに平均しさらに標準化を行って補正した。今回の試料は、施業の入った人工林から採取されたこと、および年輪データの変動パターンの観察結果から、その方法として 5 年移動平均法を用いて標準化を行うことが最適であると判断した。

年輪解析プログラムによって得られたデータからは、さらに晩材率 (LW%)、晩材密度と早材密度との差 (LD-ED) を計算した。そして、各個体の年輪情報 (RW, EW, LW, RD, ED, LD, LW%, LD-ED) からプロット内平均曲線、5 年移動平均から算出した傾向曲線、および実測値と 5 年移動平均との比から標準化曲線を算出した³⁾。傾向曲線と標準化曲線の計算は以下の通りである。

$$T(i) = \frac{R(i-2) + R(i-1) + R(i) + R(i+1) + R(i+2)}{5}$$

$$S(i) = \frac{R(i)}{T(i)}$$

$R(i)$: i 年の実測値, $T(i)$: i 年の傾向値, $S(i)$: i 年の標準化値

R は実測値, T は傾向値, S は標準化値を表し、それぞれ求めようとする i 年の値が算出される。

3. 結 果

各個体の年輪情報の変動は、同じプロット内でほぼ同様の傾向を示した。したがって今回はプロットごとに平均値を求め、環境因子との関係を解析した。

3.1. 年輪幅

プロット別年輪幅傾向曲線と標準化曲線を、それぞれ Fig. 2, Fig. 3 に示す。まず傾向曲線について見ると、Plot-1 では1960年までほぼ一定の割合で減少する。次に1965年まで一旦増加した後、1974年まで再び一定の割合で減少する。1974年から1980年にかけては緩やかに上昇し、その後は減少傾向が続く。年輪幅が最小値に達した1960年以降の平均年輪幅は0.8 mmであった。Plot-2では、まず1972年までほぼ一定の割合で減少する、その後1981年まで徐々に増加し、1981年からは再び減少傾向が続く。年輪幅が最小値に達した1972年以降の平均年輪幅は1.0 mmである。Plot-3では、1950年から1955年にかけて上昇傾向を示し、初期の段階で他のプロットとは異なった変動をしている。その後、1955年からは1976年までほぼ一定の割合で減少し、1976年から80年には上昇傾向を示している。このプロットでは、1980年以降の変動は伐採年が早かったために傾向曲線では示されていないが、平均年輪幅の変動曲線を見ると他のプロットと同様、1982年より減少傾向を示していた。年輪幅が最小値に達した1976年以降の平均年輪幅は1.2 mmである。全プロットとも、1970年代初期あるいは中期から始まり、1980年代初期まで続く増加傾向が一致するとともに、1981年以降の減少についても同様の傾向を示している。

Table 3 にプロット間の標準化値相互の一致度を算出データ別に示した。一致度は、標準化年輪幅で、全ての供試木に共通する調査年数37年のうち変動が一致する年の割合を算出したものである。年輪幅の一致度は、全プロット間で32.4%であった。また、2つの組み合わせによる一致度を見ると、距離の近いプロット1・2の間で43.2%となっており、50%を割っている

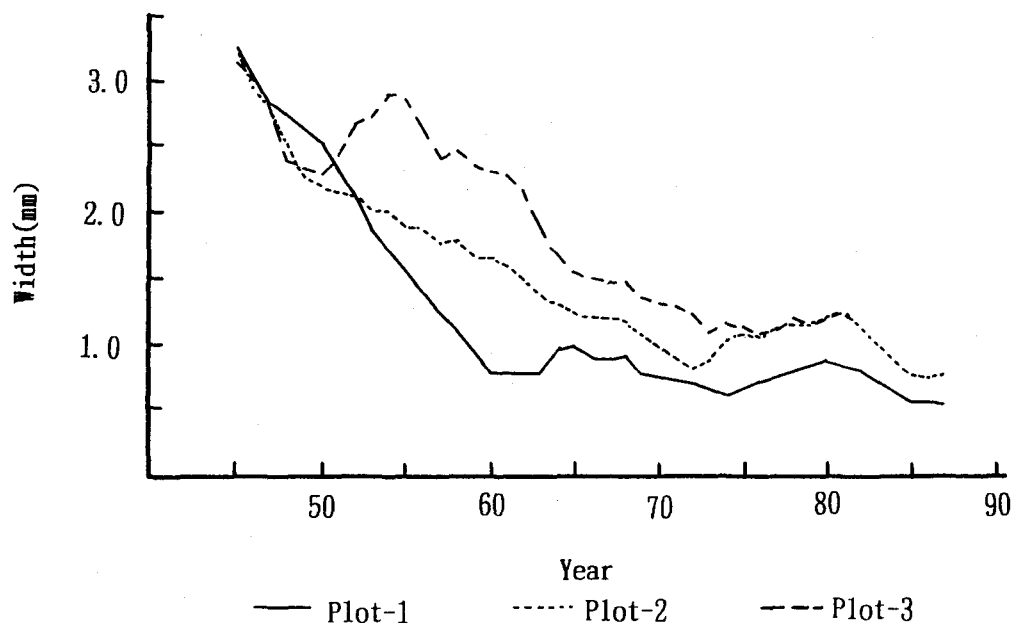


Fig. 2. Average trend curve of ring width.

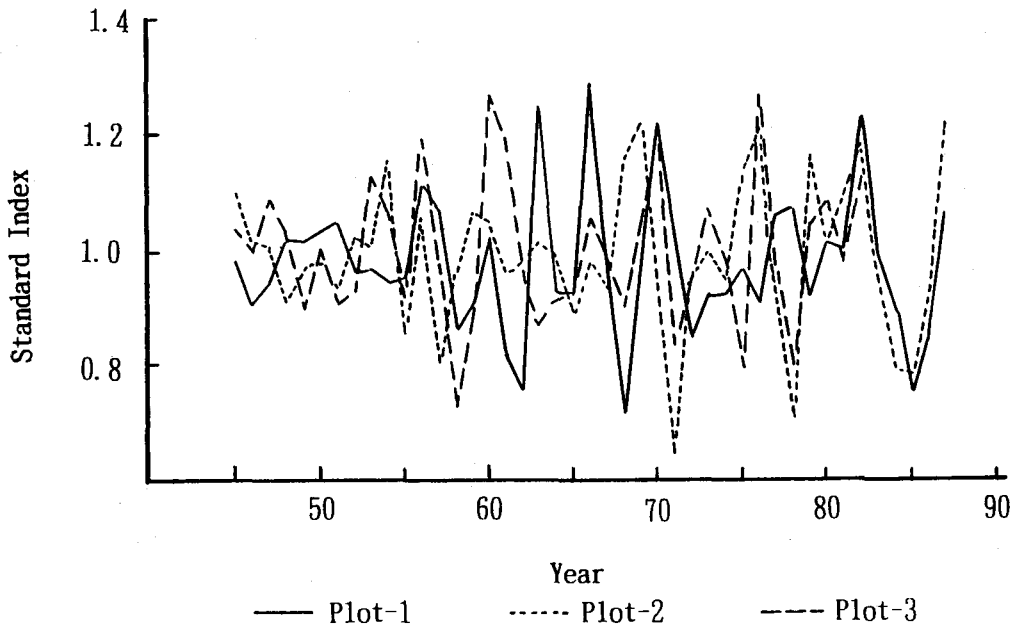


Fig. 3. Average standardized curve of ring width.

Table 3. Agreement between each sample-plot. Sampled years are 37.

	Plot 1-2	Plot 1-3	Plot 2-3	Plot 1-2-3 (%)
RW	43.2	62.2	59.5	32.4
EW	45.9	56.8	62.2	32.4
LW	37.8	54.1	75.7	35.1
RD	48.6	56.8	59.5	32.4
ED	67.6	51.4	62.2	40.5
LD	62.2	51.4	51.4	32.4
LD-ED	64.9	59.5	62.2	43.2
LW%	35.1	51.4	54.1	18.9

Plot 1-2, 1-3, 2-3 : Agreement between the sample-plots.

Plot 1-2-3 : Agreement between all sample-plots.

RW : Ring width, EW : Earlywood width, LW : Latewood width, RD : Ring density, ED : Earlywood density, LD : Latewood density, LD-ED : Difference between latewood and earlywood density, LW% : Percentage of latewood width.

に対し、離れた立地関係にある組み合わせでは、プロット1・3の間で62.2%、プロット2・3の間で59.5%と高い一致を示した。

3.2. 晩材率

プロット別晩材率傾向曲線と標準化曲線をそれぞれ Fig. 4, Fig. 5 に示す。傾向曲線を見ると、Plot-1 では、1945 年以降増加傾向を示し、1970 年にピークをむかえたあと 1982 年まで

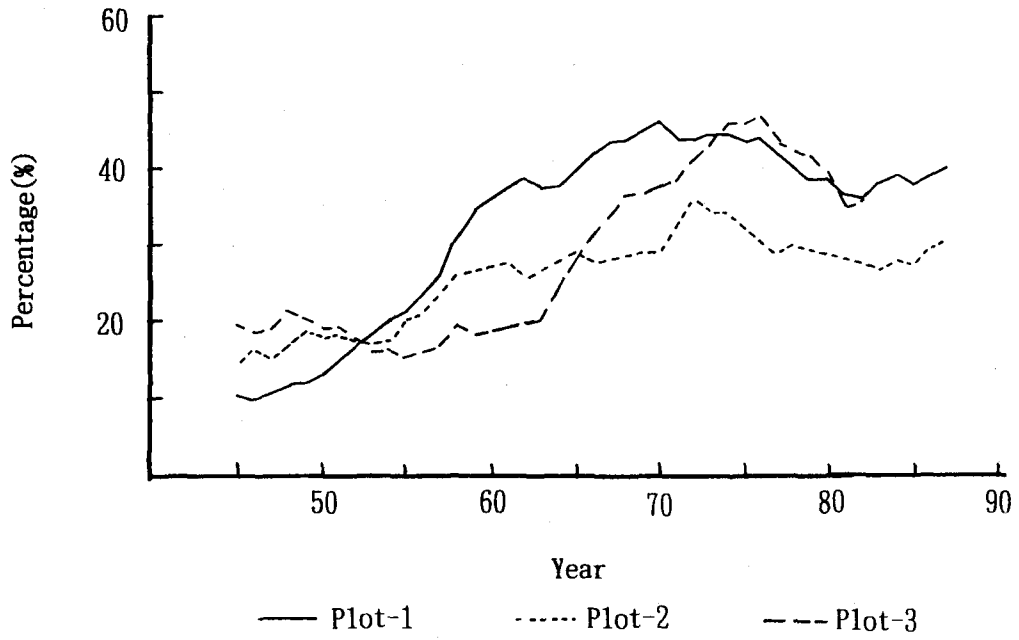


Fig. 4. Average trend curve of latewood percentage.

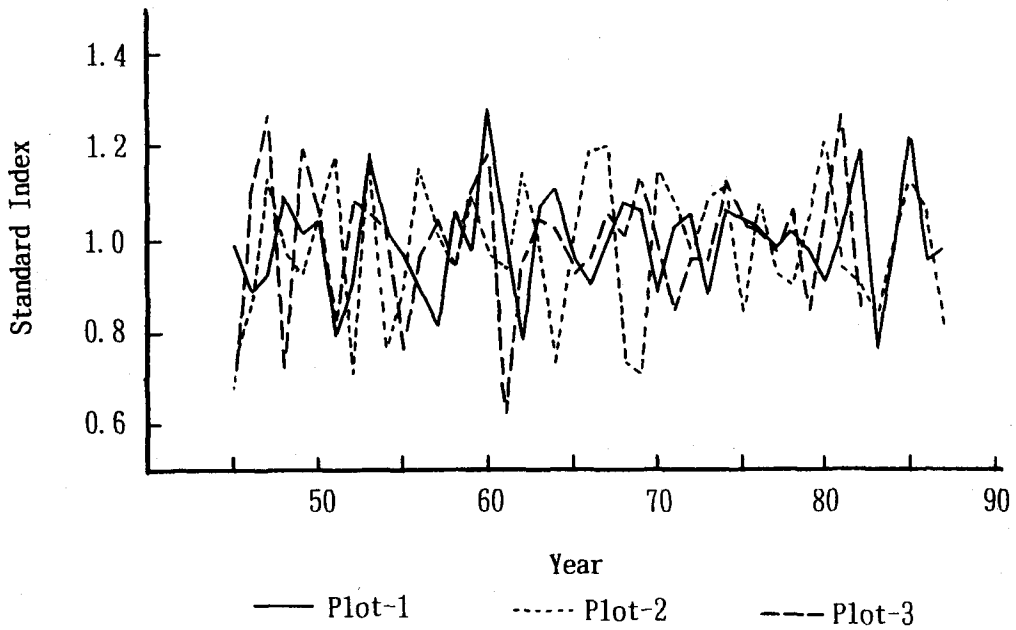


Fig. 5. Average standardized curve of latewood percentage.

減少する。1982年からは再び増加傾向が認められる。年輪幅が最小値に達した1962年以降の平均晩材率は40.7%である。Plot-2では、1970年までPlot-1よりも緩やかな増加傾向を示し、続いて1970年から1972年にかけて急激な増加傾向を示している。1972年以降では、1983年まで減少し、その後は再び上昇に転じている。年輪幅が最小値に達した1972年以降の平均晩材率は30.2%である。Plot-3では、1955年から63年にかけては徐々に、63年から76年に至るまでは急激な上昇傾向を示し、そのあと76年から81年にかけては急激に減少している。年輪幅が最小値に達した1976年以降の平均晩材率は38.7%である。

標準化晩材率における一致度は、全プロット間では18.9%と低い (Table 3)。またプロット1・2間で35.1%、1と3の間で51.4%、また2と3の間では54.1%となっており、ここでも1と2の一致度は低い。

3.3. 一年輪密度

プロット別密度傾向曲線と標準化曲線をそれぞれ Fig. 6 と Fig. 7 に示す。Plot-1では、1946年から62年にかけてははっきりした上昇を示し、それは1962年から1970年までの緩やかな上昇傾向へと続く。そして、その後は逆に減少傾向が続いている。年輪幅が最小値に達した1962年以降の平均密度は0.51 g/cm³である。Plot-2では、1972年までほぼ一定の緩やかな増加を示すが、以後緩やかな減少を示す。年輪幅が最小値に達した1972年以降の平均密度は0.47 g/cm³である。Plot-3では、まず1945年から55年にかけて減少する。その後、1962年まで緩やかに上昇し、続いて1976年まで急激に増加する。そして1976年からは急激に減少している。年輪幅が最小値に達した1976年以降の平均密度は0.52 g/cm³である。傾向曲線の変動は、各プロットとも晩材率傾向曲線の変動傾向と一致する。

密度標準化曲線における一致度は、全プロット間で32.4%、1と2では48.6%、1と3では56.8%、2と3では59.5%であった (Table 3)。

3.4. 早・晩材密度とその差

プロット別早材密度傾向曲線および標準化曲線をそれぞれ Fig. 8 と Fig. 9 に、またプロット別晩材密度傾向曲線および標準化曲線をそれぞれ Fig. 10 と Fig. 11 に示す。早材密度、晩材密度をみると、一致度はどの組み合わせにおいても50%を越え、特に1と2の一致度は60%を越えていた。また、晩材密度と早材密度の変動は、通常針葉樹で認められる変動 (早材密度は髄から減少し、成熟材ではほぼ一定、晩材密度は髄から増加し成熟材ではほぼ一定) とかなり異なる変動傾向を示した¹⁴⁾。このことから、晩材密度と早材密度との差を指標としてさらに解析を進めた。

早・晩材密度の差の傾向曲線および標準化曲線をそれぞれ Fig. 12 と Fig. 13 に示す。Plot-1では1961年に突発的な上昇を伴うものの、1970年まで減少傾向を続ける。この間、特に1966年に急激な減少が見られる。その後、1979年まで急な増加傾向を示し、1979年以降は逆に急激な減少傾向に転じる。Plot-2では、Plot-1とほぼ同様の傾向を示すが、1956年から1961年に

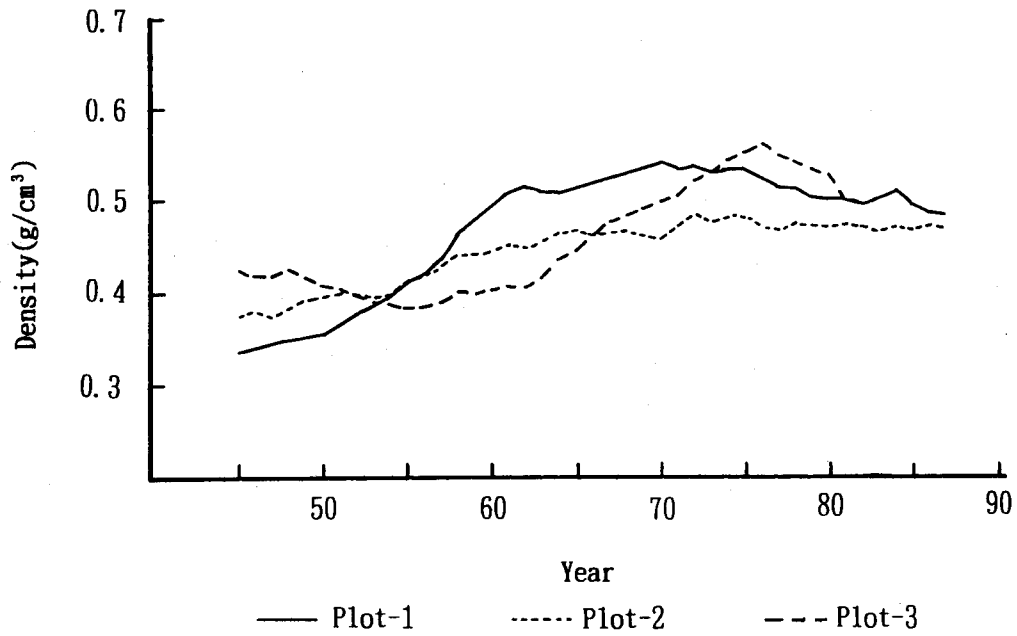


Fig. 6. Average trend curve of ring density.

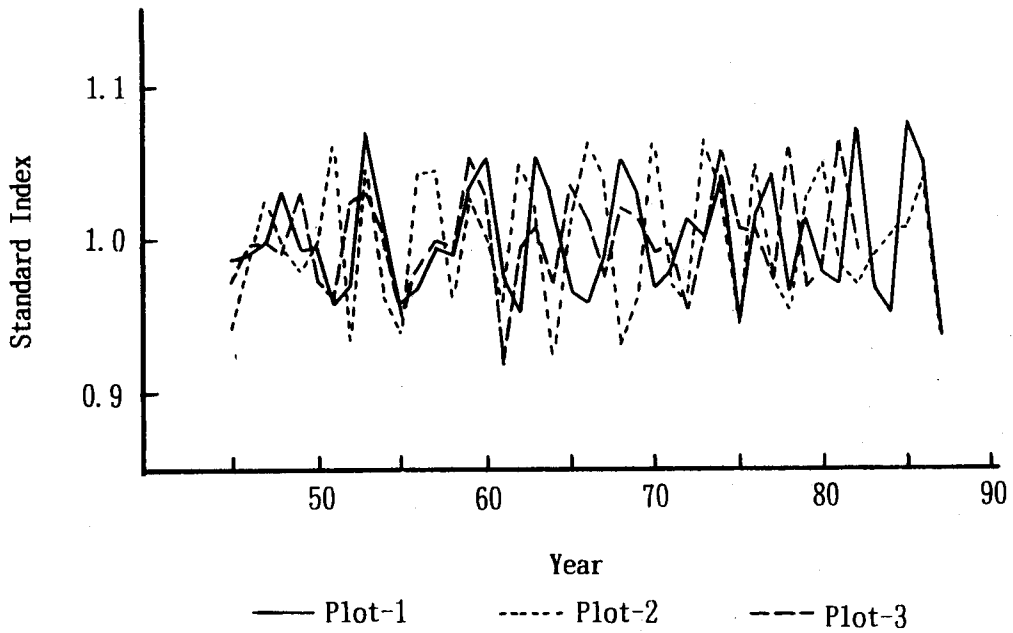


Fig. 7. Average standardized curve of ring density.

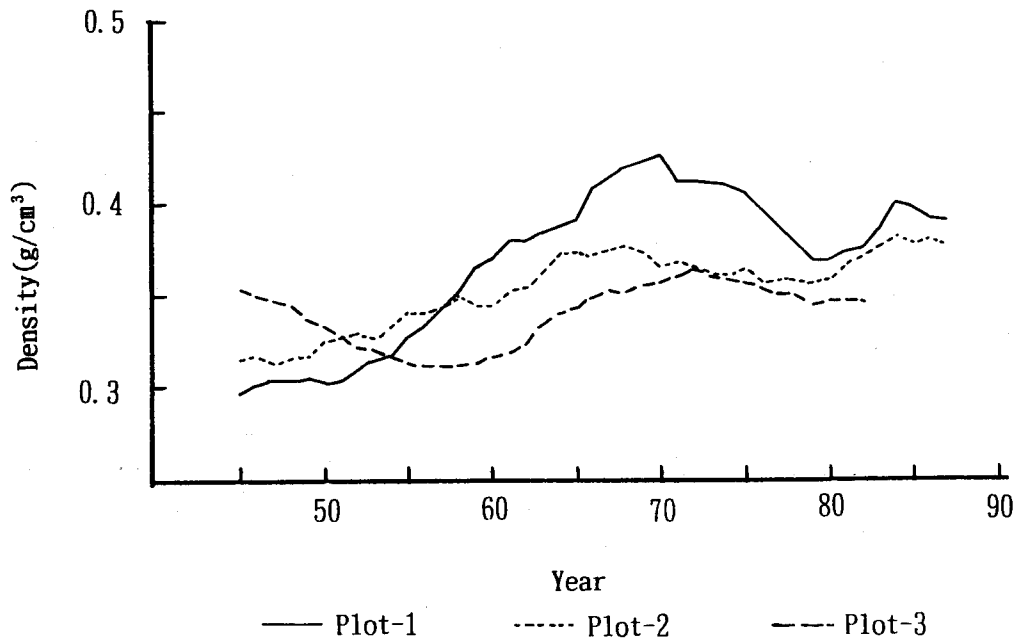


Fig. 8. Average trend curve of earlywood density.

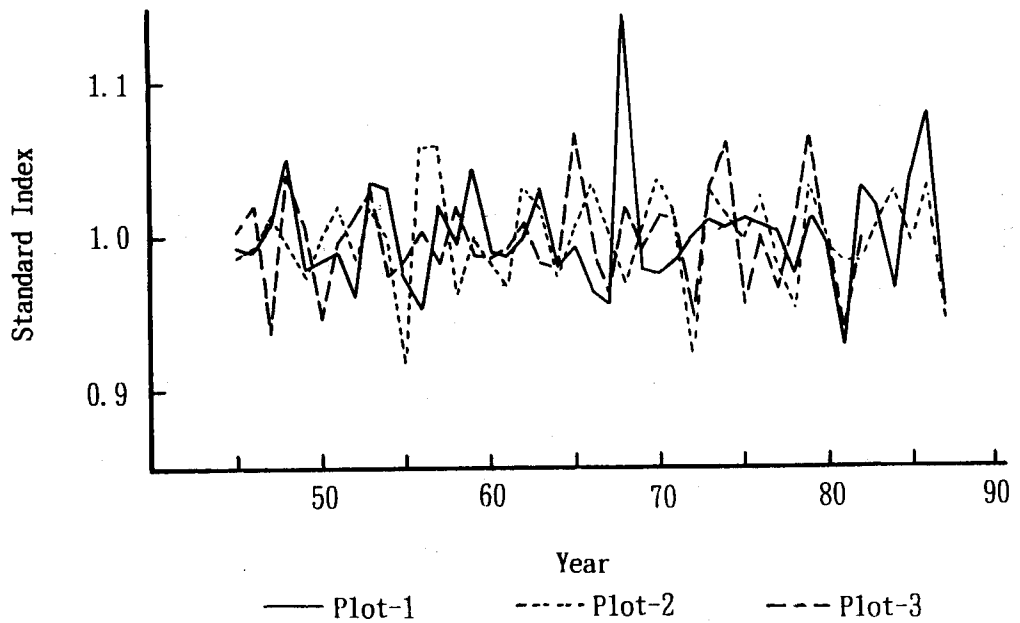


Fig. 9. Average standardized curve of earlywood density.

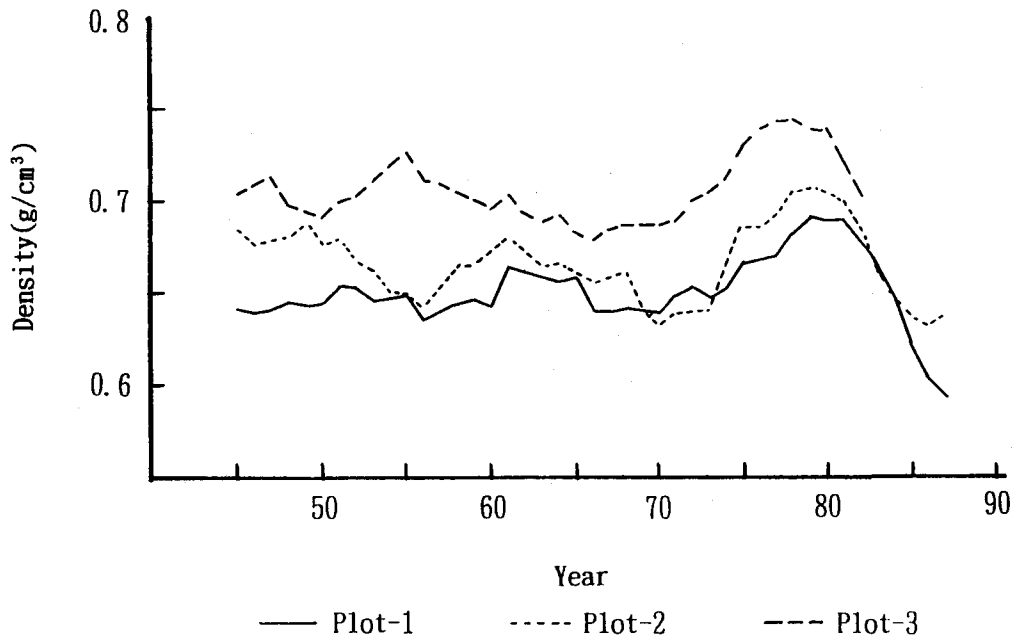


Fig. 10. Average trend curve of latewood density.

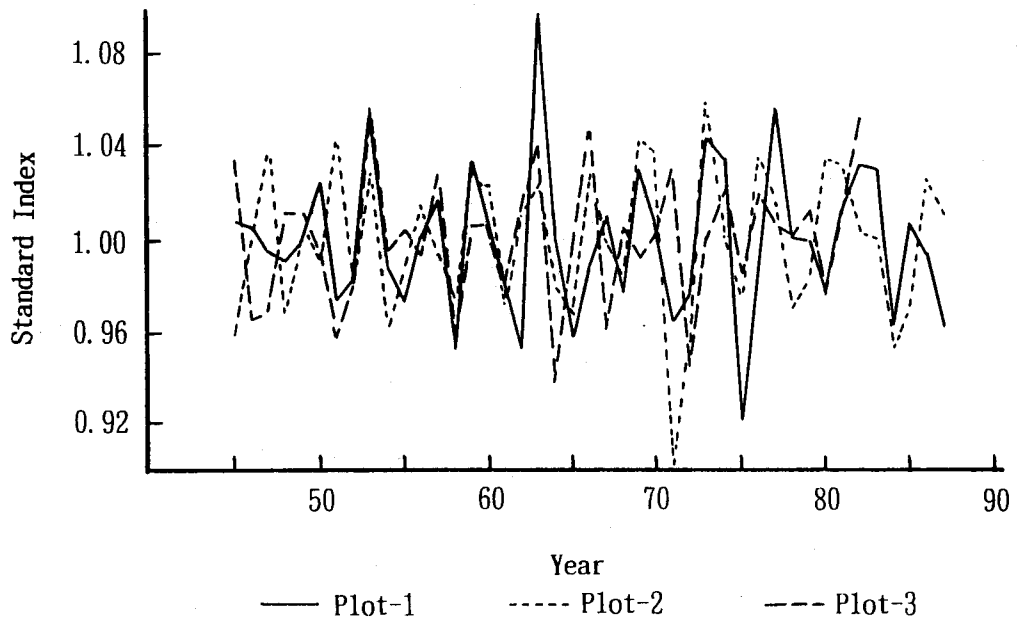


Fig. 11. Average standardized curve of latewood density.

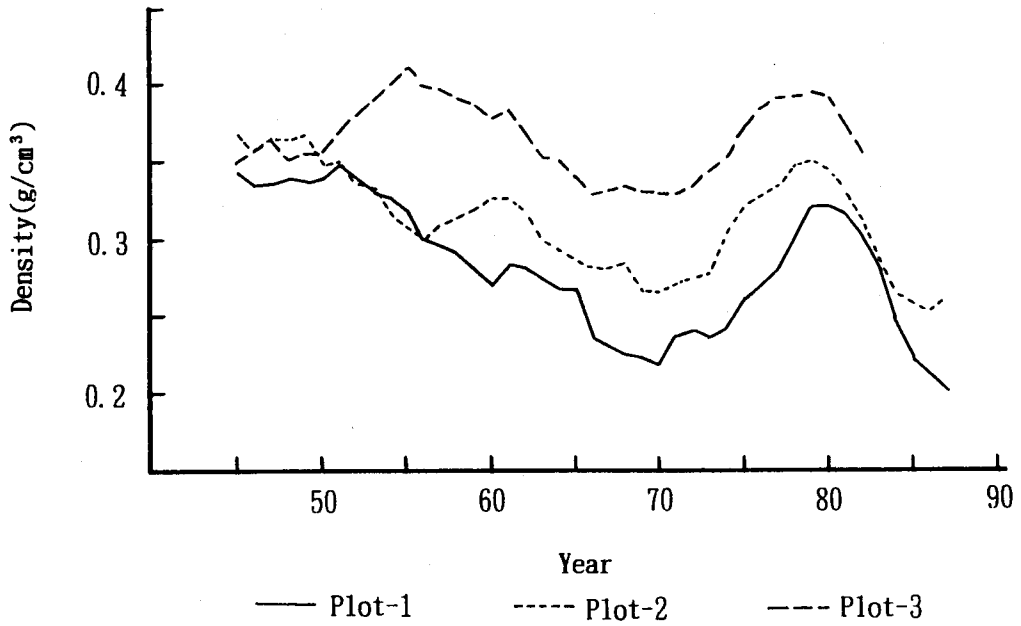


Fig. 12. Average trend curve of the difference between latewood and earlywood density.

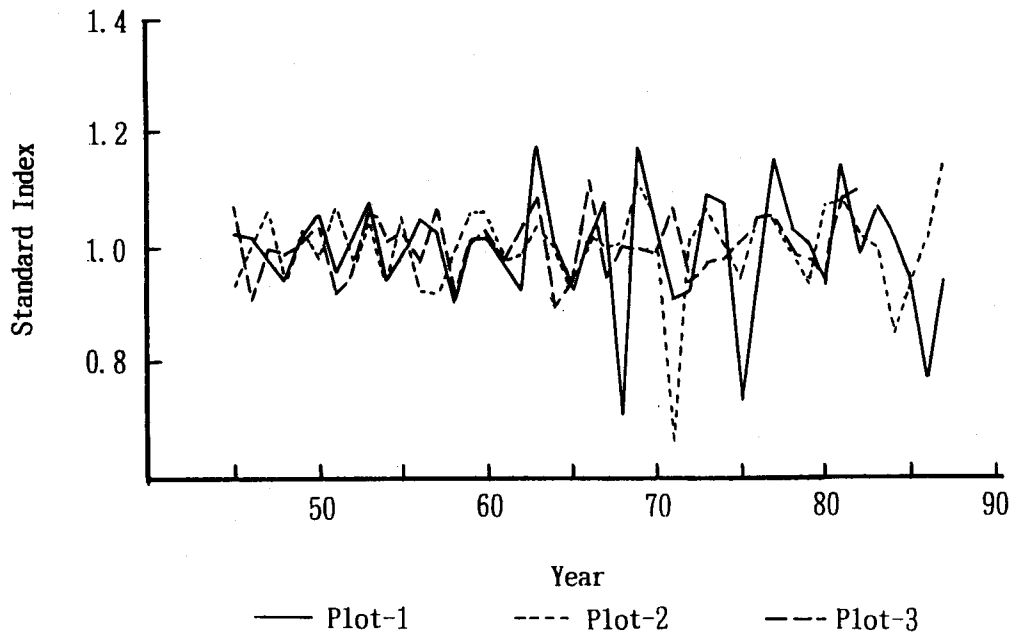


Fig. 13. Average standardized curve of the difference between latewood and earlywood density.

かけて上昇する期間が見られる。また、Plot-3でも同様の変動を示すが1950年から55年にかけて一度上昇している。各プロットにおいて1950年から70年に見られる一時的な上昇現象はおもに晩材密度の上昇に依存する (Fig. 10)。また、各プロットで一致した1970年以降の上昇では、早材密度の変動は緩やかであったのに対して、晩材密度は急激な上昇を示しており、晩材密度の変動の方が早・晩材の密度の差の変動により強く影響していることが判る。

標準化曲線での一致度は、1と2の間で64.9%、1と3で59.5%、2と3では62.2%であった (Table 3)。また、全プロット間の一貫度は43.2%であり、適用した指標の中で最高の一致度を示した。

4. 考 察

4.1. 年輪情報因子の重要度

傾向曲線は上下変動の激しい平均曲線と比較して平坦化され、経年的な成長傾向をとらえやすいという利点がある。一方、標準化曲線では樹齢の影響が除かれて、各年のプラスまたはマイナス要因の変動を顕著に表すことができる。したがって、傾向曲線ではライフスパン中の一般的な成長曲線を基盤として、森林施業や自然災害、汚染、気候因子などの影響を受けた年からその後の変動傾向を見るのに適し、標準化曲線ではその年の環境因子の影響の度合いを検証するのに適していると考えられた。また、標準化曲線の変動を解析する事によって、成長の突出あるいは突然の衰退が、いつ、何によって誘発されたかを判断することが可能となる。

年輪幅標準化曲線では、一致率が32.4%であったのに対し、早・晩材密度の差では43.2%と最高の一致度を示した (Table 3)。このことから、早・晩材密度の差は各プロットに共通する外的因子の影響をより確かに反映していることが示唆された。今後環境因子との相関解析を進めて行くことにより、変動の一致性が何によるのかが判明すると考えられる。

密度は、樹木年輪内における細胞の壁厚および直径などの総合指標であり、年輪幅だけでは得られない樹木内の材蓄積の変動を表している。早・晩材密度は、幼時においては樹齢の影響 (年齢効果) が大きく、その差は未成熟材と成熟材の区分の判定に用いられる。成熟材以降は早・晩材とも環境因子の影響を受けて形成され、それに応じて変動するが、とくにその密度の差は両者の変動を含むものとして鋭敏に反応するものと考えられる。一方、一年輪内の最大密度と最小密度を指標として用いた解析例も報告されている⁵⁾。早・晩材の平均密度を用いるか、最大または最小密度を用いるかの良否については、さらに検討を加えなければならない。前者は、早・晩材の境界の決定点を 0.55 g/cm^3 としてあり、これが妥当であるかという問題があり、後者には測定の際の電氣的ノイズや欠点の存在によるフィルム濃度の変化などがあらわれる危険がある。本報では、ある程度の時間的長さをもって起こる環境因子と樹木成長との関係を解析する際には、早・晩材密度それぞれの平均値、およびその差を指標とする方がよいと考えた。

4.2. 環境の変遷と年輪情報

ヨーロッパトウヒの原産地での成育条件は、成育期間の5月～9月の平均気温が 14.1°C 以上必要とされながらも、7月の平均気温が 10.0°C の等温線を分布の北限とすることから、気温に対する要求度は低いとされている^{15,16)}。一方水分要求度は高く、ヨーロッパ地域の中でも多雨地帯に分布し、成育期間の総降水量は300～350 mm、一ヶ月の降水量が40 mm以下の場合には成長が阻害されるとされている。これは、葉の蒸散量が比較的が多く、浅根性のために地表近くの水分が必要となるためとされる。雨量と並んで、土壌に対する要求度も高く一般的に水はけが良く、腐食質の多い土壌や片岩質土壌での成育に適するとされる。また、土壌の酸度については、pH 5.4～6.3で最も成長が最も良く、pH 2.5～3.4、pH 7.0以上では不良であるとされる¹⁶⁾。苫小牧地方演習林での成育条件は、年平均気温 7.1°C 、年総降水量が1240.6 mmであり、成育期間を4月～8月とした場合は、平均気温 13.0°C 、降水量664.3 mmである⁷⁾。このように、苫小牧の気象はヨーロッパトウヒの成育にとって十分な条件が揃っているといえる。このことから、苫小牧地域のヨーロッパトウヒの成育の制限因子として、土壌条件、干ばつや降水量などの自然条件及び大気汚染などが考えられた。

苫小牧地方演習林の土壌条件は、粗粒質火山放出物未熟度(主として樽前 a, b 火山灰)の地帯に立地するため、鉱物の風化による無機塩類の供給速度が小さく、土壌溶液の栄養塩濃度を維持するに必要な緩衝能が低い。そのために、外的条件の変化に対してきわめて敏感な養分環境にあるといえる¹⁷⁾。この土壌特性は、ヨーロッパトウヒの成育を慢性的に阻害する因子として考えられた。一方、酸性の湿性降下物による土壌への影響も予想された。佐久間・佐藤によると、土壌の pH に影響を与える酸性雨 (pH 4.5 以下) の降雨頻度は 20% であり、酸性の原因物質は主として SO_4^{2-} である事が述べられている。さらに、雨水中の $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$ モル比は海水の値よりも大きく、雨水が海水以外の汚染源から多量の SO_4^{2-} を付加されている可能性が大きいことも述べられている。しかしながら、広葉樹林での酸性雨 (ここでは pH 4.5 以下の雨水) の影響は、土壌の酸性度を慢性的に低下させることなくほぼ完全に吸収されていることがわかっている¹⁷⁾。このことから、苫小牧演習林では酸性雨による土壌の悪化は、進んでいないとみられる。したがって、現時点において、ヨーロッパトウヒ植林地でも土壌の酸性化による樹木の衰退の可能性は考え難い。

1954年、1981年の台風襲来後には演習林で被害が報告され、年輪情報の変動との対応が予想された⁹⁻¹²⁾。報告からは、トウヒ類は他の樹種に比べてはるかに被害率(根返り、幹折、傾斜、梢折に関する)が小さいことが示唆されている。さらに1954年のデータでは、今回の試験地であるPlot-1では根返り1.2%、傾斜木が5.8%に留まり比較的風害に対しては抵抗力があることが記されている。その理由として川瀬らは、苫小牧地方のような火山灰土壌で表土の浅い土壌では、むしろ浅根性のものがその樹種本来の良好な根系の発達を期待でき、根系の水平的な広がりも他樹種に比べると極めて大きな値を持ったものが見られるためであると推測してい

る¹¹⁾。一方、潮害に関しては、同じく川瀬らが1981年の台風による影響と合わせて調査している。それによると、台風の通過後数日にして森林の広い範囲にわたって主に南側の樹木の葉が褐色に変化していた。さらに、広葉樹の葉中の塩素含有量と海岸からの距離との関係を見ると、台風の有無に関わらず海岸から5.5 km以内の地点の含有量が目立って高いことが確認されている。今回の試験地はこの範囲に含まれる。今回の解析結果を見ると、標準化年輪幅曲線(Fig. 3)では、1954年から55年にかけてプロット2, 3で減少している。また、早・晩材密度及びその差の一時的な減少も見られた。しかし年輪幅傾向曲線(Fig. 2)をみると1954年を境にした急激な年輪幅の減少傾向は見られない。このことから、1954年の台風による樹木の衰退は1年限りであったと考えられる。1981年の台風に関しては、標準化年輪幅(Fig. 3)において1981年から1982年にかけて増加している。年輪幅及び晩材密度、早・晩材密度差の傾向曲線では、1980年ころから減少傾向が続いているが、これは台風による影響によるものとも考えられるが後述の年間降水量の減少傾向との関係によるものではないかと考えた。

年輪幅傾向曲線(Fig. 2)では、1975年前後から80年にかけての上昇傾向と、1980年から85年にかけての減少傾向が全プロットに共通して見られた。このうち、80年からの減少傾向には、Fig. 14に示す年総降水量傾向曲線の減少傾向に良く対応していることから、降水量との相関が示唆された。一方、1980年には高速道路が開通しており、窒素酸化物による汚染^{18),19)}やそれによる気候因子への感受性の増大、あるいは道路建設そのものによる風・気温・放射冷却等に代表される気象条件の変化による影響も考えられた^{20~22)}。また、1975年から80年までの上昇

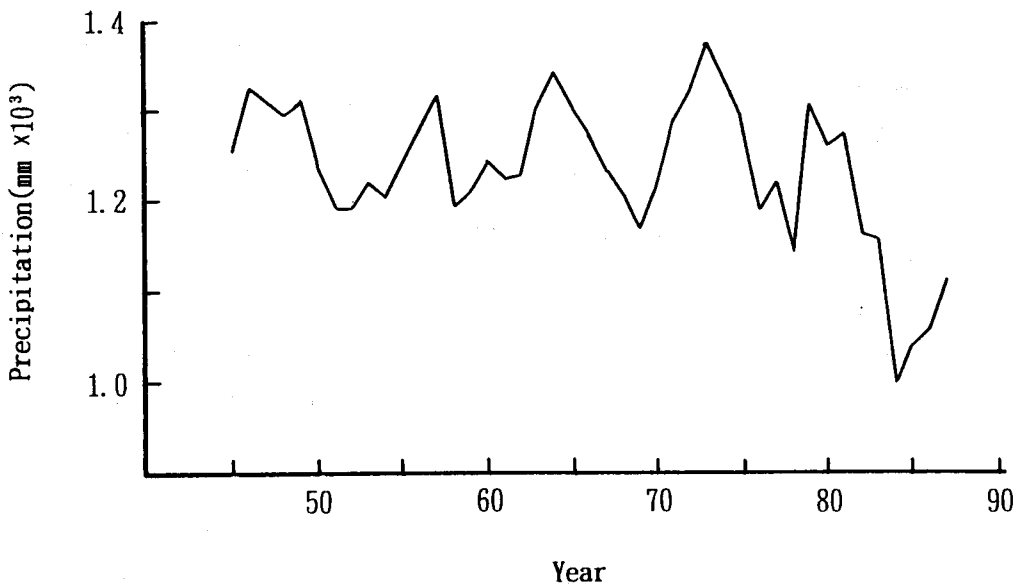


Fig. 14. Trend curve of precipitation.

傾向には、1974年の王子製紙の200m集合煙突の通煙開始との関係が示唆された⁶⁾。集合煙突のできる前の煙突は分かっているもので地上高75mと45m、その位置する海拔は約7m、一方試験プロットは海拔30m前後である。苫小牧市上空約100m(地上高)には気温の逆転層があるため⁶⁾、海拔7mに位置する75m、45mの煙突からの排出物がそれ以上上昇できず、また海岸風の流れが陸上の建築物などによって乱れて生じるいわゆる排出物のいぶし現象と合わせ²³⁾、集合煙突が使用されるまでの間、試験地はまともに排煙を受けていたと考えられる。ところが、200mの集合煙突切り替え後は、排煙が上空の気温逆転層の上部で発せられるようになり、排煙がより高い高度で拡散することになった。その結果、今回の試験地に対する排煙の影響が軽減し、年輪幅の「回復」が見られたとも考えられる。しかしながら、この時期に関する大気汚染物質濃度に関するデータは現在のところはなく、断定には至らなかった。

早・晩材密度の差(LD-ED)の傾向曲線(Fig. 12)では、各プロットとも1970年から1980年にかけて共通して上昇傾向を示した。早・晩材別にみると、この期間には、早材密度が緩やかな減少を、晩材密度が急激な上昇を示している。この変動を説明する因子として、次のことを考えてみた。ひとつは気象因子である。1970年から1975年にかけては、年平均気温と年総降水量(Fig. 14)が平年値よりも高い水準で変動していることから、樹木の晩材形成にとって有利な気象条件であったと考えられた。二つ目の要因として、1975年から1980年にかけての晩材密度の顕著な増加は、年輪幅の増加と同時であり、王子製紙の200m煙突への切り替えによる影響が晩材形成に特に大きな要因となったのであろうと考えられる。

しかしながら一方、1968年にはアルミ精錬工場(日本軽金属)、リン酸肥料工場(日ノ出化学)、火力発電所(臨海工業地帯火力発電所)の各工場が一斉に操業を開始している(Table 2)。当時から、演習林は立地上これらの工場から被害を受ける可能性が極めて高いとされていた。前田らは亜硫酸ガスと樹葉中の硫黄濃度を分析し、林縁部で両者の濃度が高く、林内に入るほど低くなる結果を導き出している²⁴⁾。また、時期を同じにして吉武らが、苫小牧北西部地域の森林地域で酸性霧によるとみられるストロブマツなど多樹種の異常落葉症状を確認している²⁵⁾。これらのことから、ヨーロッパトウヒの年輪形成にも大気汚染による影響が示されていることが予想された。ところが、一般に汚染物質の被害を受けた樹木では年輪幅の減少と最大密度の低下が起こるとされている⁵⁾。しかし、1970年以降の晩材密度の増加(Fig. 10)はこれらの予想とは変動傾向が異なって表れた。このことは、汚染物質の影響が逆に、炭酸ガスが増えたことによる炭素同化量の増加あるいは、窒素酸化物による施肥効果として樹木の成長に作用したとも考えられる。これに関しては今後の検討が必要であろう。

5. 結 言

本研究の目的は、樹木の成長に影響を与える環境因子の解明と、近年、苫小牧演習林で見られるヨーロッパトウヒ林の衰退の要因を探ることにあつた。

前者に関しては、いくつか興味深いデータが得られた。今回とくに、煙突からの排出煙の高度上昇が年輪幅および、晩材密度と早材密度との差に反応している可能性が示唆されたことが興味深い。今回のプロットは、排出源からわずか約4 kmの距離であるが、今後は2倍以上の距離にあたる10 km,あるいは20 km地点のトウヒの変化を解析することが課題として挙げられる。仮に、今回のプロットで増加傾向を示していた同じ時期に、10 km離れたところでは年輪幅の減少を始めていたとなれば、煙突の高度を上げたことによって汚染物質がより遠くに運ばれ、今度はその離れたところに影響を与え始めたという仮説が成り立つ。このことは同時に、煙突の高度が上がる前までは、排出源の近くの森林は影響を受け続けていたことを説明する。また、離れた二つの地点で気象要因との関係で説明し得る共通した変動傾向が見られれば、気象要因との関係がより明確に浮き出てくると考えられる。今後は、気象データとの多角的な統計解析を行うとともに、汚染源からの距離ごとの年輪変動の把握を検討して行くことが必要であろう。ただし、距離による拡散度合いの数値を知る必要がある。

今回は、あるプロットという限られた地域内の一斉造林木を調査対象としたために、樹齢による個体差の影響が少なく、施業も一斉に行なわれていることから、個体間の差が少なく年輪内の情報はほぼ一致した変動の傾向を示した。このことから、統計的処理を通して平均化が可能であるかの検定をせずに作業を進めた。しかしながら、各個体はそれぞれ隣接木との競争関係がことなり、またその個体が元来持っている環境因子に対する感受性の違いなども考えられ、統計による検定作業は本来必要であろうと考える。なお、平均化する際のサンプル数の確保が問題となるが、今回Plot-1で5本、Plot-2で7本そしてPlot-3で3本で行なったところ、両者に共通する森林施業以外の環境因子の影響が比較的に見えたことから、必要最低限な数を確保していたと推定できる。

年輪解析の将来的な展望として、年輪情報は現在地球上で起こっている環境問題に対して、計測機器による汚染物質などの定量と合わせて、それだけでは把握できない生物に対する慢性的な影響を明確にする可能性を示すものでもある。今後、さらに研究を進め環境因子と年輪情報との対応を明らかにすることにより、過去の影響だけではなく、今後の将来にかけての樹木成長を予測(シミュレーション)できると考えられる。

しかしながら、樹木の生理機能が種々の外的因子にどのように反応しているのか、またその結果、材の蓄積にどのように影響がでているのかというメカニズムには、まだまだ謎が多い。樹木が様々な環境因子に対して鋭敏に反応していることは確かである。年輪情報と環境変動との関連を調べることにより逆に、樹木の環境反応メカニズムの解明も可能になると考えられる。

謝 辞

この論文の作成にあたり、北海道大学農学部林産学科木材理学講座の大谷諄助教授、船田良助手、佐野雄三助手、同木材加工講座の平井卓郎助教授から助言を得た。サンプル採取や現

地の調査については、苫小牧演習林の石城謙吉林長、船越三朗助手、田中夕美子技官、横山營紀技官を始めとする演習林職員のみなさんに多大な協力を得た。さらに、年輪解析プログラム及び気象データは王子製紙株式会社林木育種研究所の野堀嘉裕博士（現 東北大学農学部助教授）から提供を得た。記して感謝の意を表します。

引用文献

- 1) 高津 富次 (1984) 苫小牧地方演習林における造林の歴史, 北海道大学演習林試験年報, 73~78
- 2) 船越 三朗・小川 隆 (1985) トウヒ属造林地におけるヤツバキクイムシの発生, 北海道大学演習林試験年報, 26~27
- 3) FRITTS H. C. (1976) TREE RINGS AND CLIMATE, ACADEMIC PRESS
- 4) SCHWEINGRUBER F. H. (1988) TREE RINGS, D. REIDEL PUBLISHING
- 5) 太田 貞明 (1978) ソフト X線による樹木年輪構造解析 (第1報) 大気汚染下で成育した樹木の年輪構造, 木材学会誌, 24 (7), 429~434
- 6) 王子製紙株式会社 (1982) 王子製紙社史—戦後30年の歩み, 凸版印刷株式会社
- 7) 財団法人日本気象協会北海道支部 (1982) 最新版—北海道の気候 (1982年版), 財団法人日本気象協会
- 8) 苫小牧市 (1990) 苫小牧市統計書平成元年度版, 苫小牧市企画調整部 企画開発室企画課
- 9) 三島 憲・谷口 信一・谷口 三佐男 (1955) 苫小牧演習林における風害状態 (I), 北大演習林研究報告, 17, 715~756
- 10) 三島 憲・谷口 信一・谷口 三佐男・菱沼 勇之助 (1958) 苫小牧演習林における風害状態 (II), 北大演習林研究報告, 19, 1~39
- 11) 川瀬 清・太田 路一 (1983) 模型ヘリコプターによる風倒木調査と潮風害の研究, 北大演習林研究報告, 40 (4), 816~854
- 12) 菱沼 勇之助 (1989) 台風による苫小牧地方演習林の塩風害—空中写真判読による解析, 北大演習林研究報告, 46 (1), 111~123
- 13) 野堀 嘉裕 (1989) 新年輪解析プログラム (Ver. 2.1改), 王子製紙林木育種研究所
- 14) 深沢 和三 編 (1990) 樹木の年輪が持つ情報 (解析技術と林業への応用), 北大農学部
- 15) 社団法人日本林業技術協会 (1991) 笹ヶ峰ドイツトウヒ林被害対策調査報告書, 社団法人日本林業技術協会
- 16) 松井 善喜 (1966) 北海道の森林の取扱いに関する研究II—北海道における各樹種の植栽沿革とその造林成績に対する考察, 林業試験場研究報告別刷, 189
- 17) 佐久間 敏雄 佐藤 冬樹 (1987) 広葉樹林下の土壌中における無機元素の動態 (第1報), 北大演習林研究報告, 44 (2), 537~552
- 18) 太田 路一・川瀬 清・石崎 健二・前田 豊 (1980) 北海道大学苫小牧地方演習林の大気汚染, 北大演習林研究報告, 37 (1), 288~305
- 19) 同上 (1983) 北海道大学苫小牧地方演習林の大気汚染 (II), 北大演習林研究報告, 40 (3), 491~525
- 20) 石崎 健二・工藤 哲也・太田 路一・川瀬 清 (1979) 道路予定地の樹木の伐採および切り土による風の変化, 北海道における道路計画と森林環境の保全に関する調査研究 (その3), 48~54
- 21) 田中 夕美子・小林 大二・藤原 澁一郎 (1980) 北海道大学苫小牧地方演習林における冬期の放射冷却, 北海道における道路計画と森林環境保全に関する調査研究 (その4), 53~58
- 22) 同上 (1981) 切り土及び盛土, 道路周辺の放射冷却 (2), 北海道における道路計画と森林環境保全に関する調査報告 (その5), 88~92
- 23) 山本 義一 監修・磯野 謙治 編 (1979) 大気環境の科学2—大気汚染物質の動態, 東京大学出版会
- 24) 前田 豊・氏家 雅男 (1971) 大気汚染と森林 (予報), 日本林学会北海道支部講演集, 20, 151~154

- 25) 吉武 孝, 増田 久夫 (1986) 苦小牧地域におけるストロームツ等の異常落葉に関する考察, 林試研報, 337, 1~28

Summary

Recently, the decline in the growth of forests, typified by foliage loss and standing death, of *Picea abies* Karst. has been reported to be occurring in the Tomakomai Experiment Forest of Hokkaido University. In this study, the main factors influencing forest decline were analyzed using the soft X-ray densitometric tree ring analysis method, and the environmental factors that affect tree growth were discussed. Eight intra-ring variables (ring-width, earlywood width, latewood width, ring-density, earlywood density, latewood density, percentage of latewood, and difference between latewood and earlywood density) were calculated. The relative curve of each variable was smoothed using a 5-year running means, expressed as a trend curve, and the ratio between the actual value and the smoothed value was then calculated as a standard index. As a result, a similar variation pattern in all trend curves from 1970 to 1985, especially in the difference between latewood and earlywood density, was observed in all 3 sample-plots. After we did a comparative study of tree ring variables and environmental factors, the main cause of this phenomenon appeared to be climate and air-pollution. For each variable, the agreement between the standard index of the 3 sample-plots was calculated and expressed as a percentage. The difference between latewood and earlywood density showed the highest percentage of all the variables. We suggest that this variable is an effective indicator to be used when evaluating the environmental factors that effect all the trees in the stand equally.